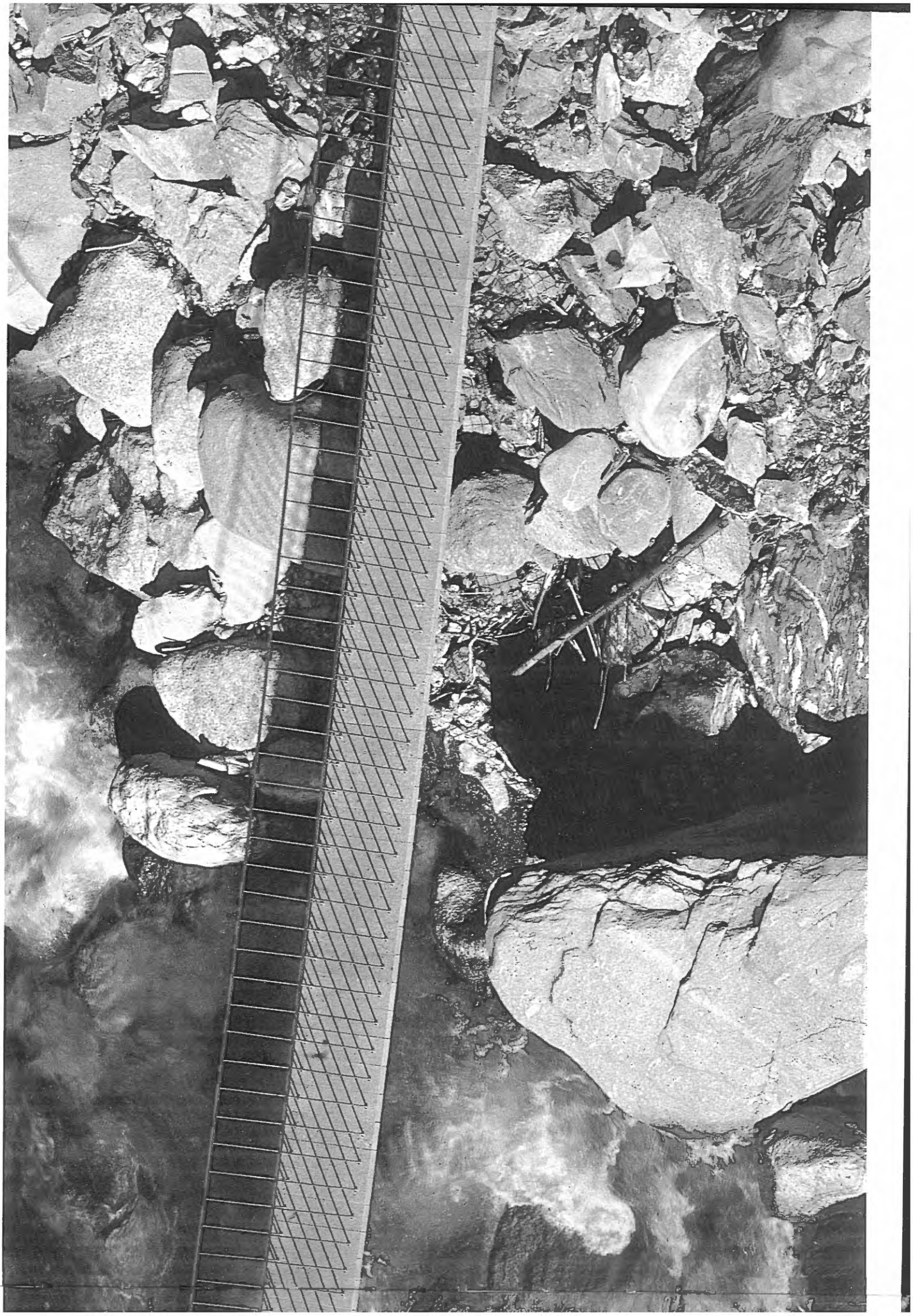
Structure as Space
Engineering and Architecture in the Works of Jürg Conzett and His Partners

Editor Mohsen Mostafavi

Structure as Space
Engineering and Architecture in the Works of Jürg Conzett and His Partners



008 Structure as Space
Space as Structure
Mohsen Mostafavi

018 The Beauty of Calculation
Bruno Reichlin

Projects
032 Structure as Space
086 Abstract Principles
110 Structural Overlay
126 Traditions & Precedents
170 Transforming Existing Structures
190 Engineering & Architecture
222 The Cultural Landscape

256 On Perception
Jürg Conzett

260 Retaining Walls
Jürg Conzett

266 Struktur als Raum
Raum als Struktur
Mohsen Mostafavi

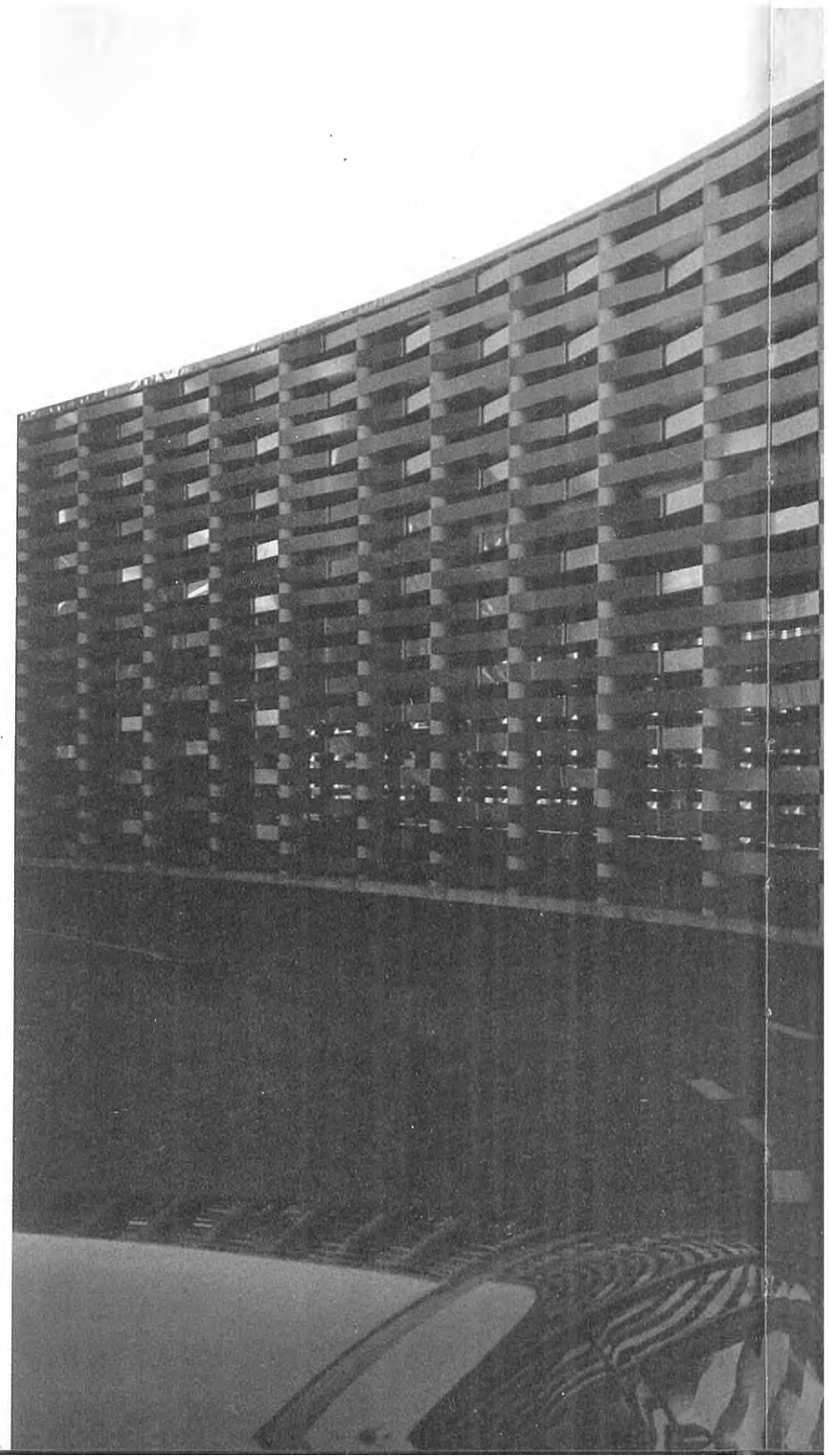
271 Die Schönheit der Berechnung
Bruno Reichlin

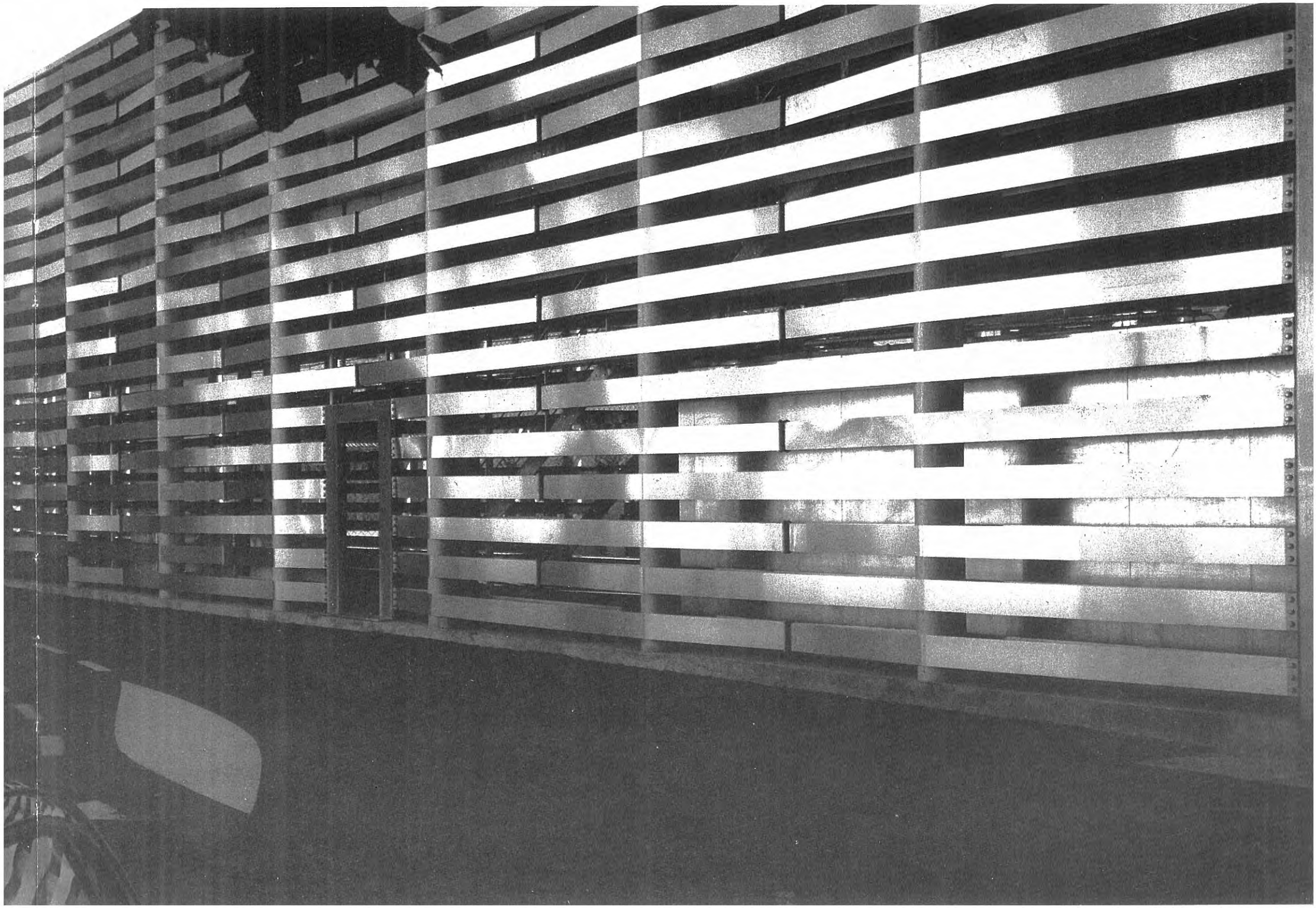
279 Die Wahrnehmung der Landschaft
Jürg Conzett

280 Werkbeschreibung

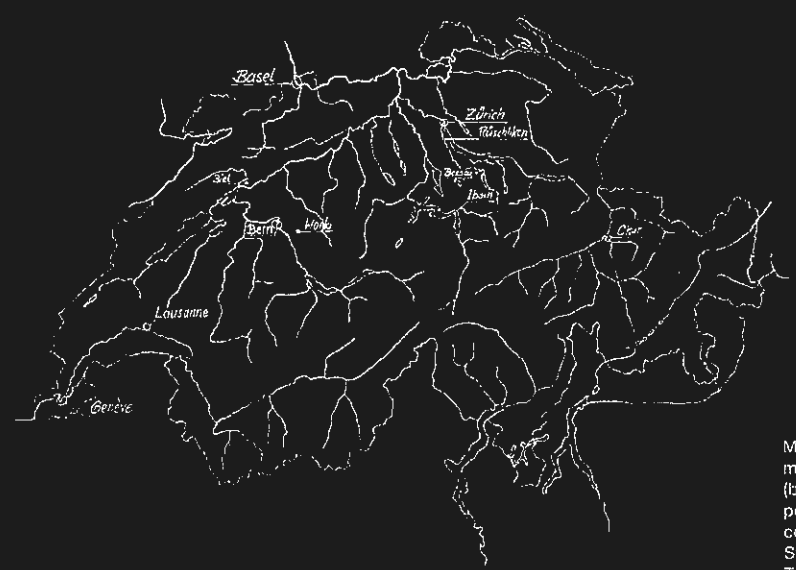
301 Project Credits

304 Acknowledgements





St. Luzisteig
Mastrils
Landquart
Chur
St. Peter
Ilanz
Flerden
Duvin
Thusis
Alvaschagn
Vrin
Par-
vals.
Hohe Br.
Vals
Pùnt da
Suransuns
Travers.
Steg
Zillis



Maps drawn by Jürg Conzett to show the location of the main projects in Graubünden (above) and Switzerland (below). Vrin, Duvin and Vals can be reached by public postbus from Ilanz railway station. There are also bus connections between Flerden and Thusis, and between St Peter and Chur. The best way to experience the Traversina Bridge and Pùnt da Suransuns is to hike the trail from Thusis to Zillis (a walk of about four hours).

Projects

032 **Structure as Space**
036 Ottoplatz Building, Chur
048 Volta School, Basel
058 Swiss School of Timber Technology, Biel
070 Mur Footbridge, Murau
082 Airport Gate, Zurich-Kloten

086 **Abstract Principles**
088 School Gymnasium, Flerden
092 Swiss Re, Rüschlikon
100 New Traversina Bridge, Graubünden

110 **Structural Overlay**
112 Multipurpose Hall, Alvaschagn
118 Traversina Footbridge, Graubünden

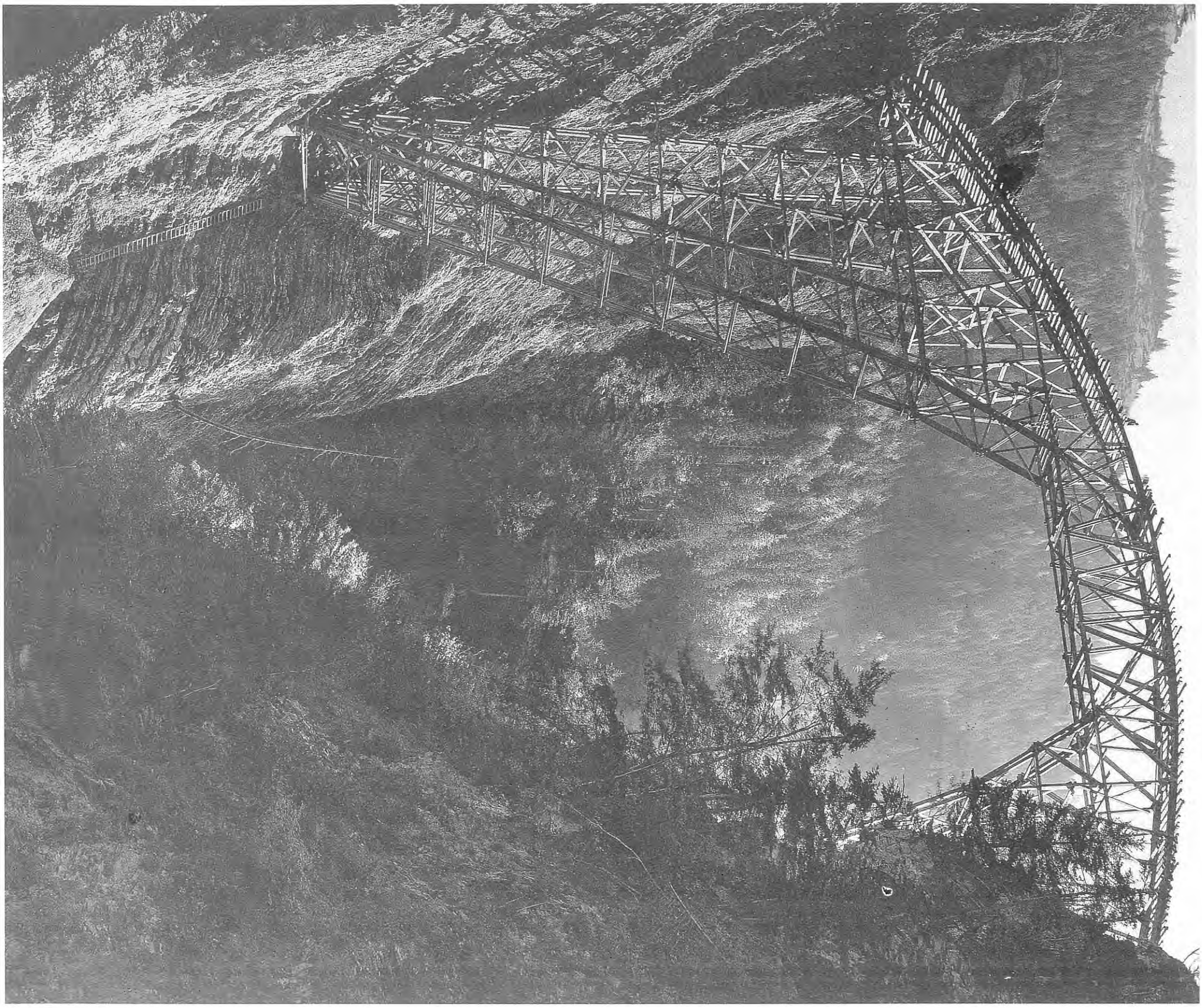
126 **Traditions and Precedents**
128 School, Duvin
136 School, St Peter
142 School, Mastrils
152 Multipurpose Hall, Vrin
158 Canopy, Chur
162 Goat Dairy, Alp-Parvalsauns

170 **Transforming Existing Structures**
172 Hohe Brücke, Vals
176 Muota Bridge, Ibach-Schwyz
186 Zeche Zollverein, Essen

190 **Engineering & Architecture**
192 Hardturm Stadium, Zurich
200 Army Canteen, St Luzisteig
208 Expo Pavilion, Hanover
214 RBS Station, Worb

222 **The Cultural Landscape**
224 Pùnt da Suransuns, Viamala
230 Landquartlöser Overpass
240 Coupurebrug, Bruges
248 Bennau Footbridge, Schwyz

280 **Werkbeschreibung**

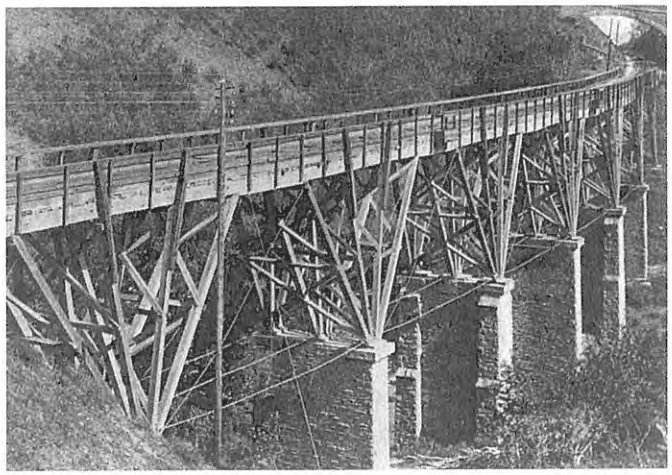


Jürg Conzett's Alternative Strategies in between Architecture and Engineering

The rational, objective and pragmatic world that appears to surround and condition much of today's civil and structural engineering work is invariably also the force that legitimates its project of aesthetic and visual anonymity. This attitude is a source of strength, as well as weakness: think of how highway infrastructures proliferate, growing thousands of miles every year, without any of the substantive interrogation of design issues that is regularly applied to the simplest of architectural structures. When it comes to engineering projects, there seems to be a common denial of the domain of appearances, even when these projects possess a high degree of visual presence.

This stealth quality is particularly evident in the engineering of many architectural structures, when the perceived role of the engineer is to respond to the architect's design and, in the best instance, propose a compatible and consistent solution. In practice, the emphasis on the functional dimension of structural engineering accounts for the predominance of singular and utilitarian solutions to the varied and circumstantial requirements of an architectural project. The seeming objectivity of the engineer's methods both ensures his success and immunizes the artefacts of his deductive solutions from criticism. And here lies the irony of his position. The major engineering structures that surround us undoubtedly possess formal and aesthetic values, yet we have generally come to accept their scientific and calculable origins as sufficient justification for their appearance, their manner of becoming.

Throughout the history of engineering there have been many exceptions to this rule. One of the most relevant here is the British engineer Isambard Kingdom Brunel (1806–1859), who over a span of just 30 years left a legacy of innovative projects that has inspired generations of engineers. Brunel's role in the development of the Great Western Railway, as well as his designs for numerous bridges, buildings, steamships and docks, gave his work a broad yet ingenious dimension on many levels. He was able to transfer technology from one field to another. He considered the achievements of the past and modified and reused their principles in new ways. He also collaborated with architects and fabricators



– for example at Paddington Station in London – at a time when such collaborations were uncommon. In contrast to the present, with its emphasis on safety regulations and risk aversion, Brunel operated in a context which expected the engineer to be concerned with the more risky domains of inventions and innovations: with making the unimagined possible.

The sheer scope of Brunel's work and the methodical nature of his practice appear again and again to have been a source of inspiration for the contemporary Swiss engineer Jürg Conzett. This is not to suggest that Conzett's work is visually akin to nineteenth-century engineering structures. It is more that, like Brunel, he is not afraid to use the achievements of the past as a source of innovative thinking for the present. Equally, many of his projects and those of his practice, Conzett Bronzini Gartmann, are dedicated to some of the most advanced and radical approaches in the field of structural engineering. From his base in the town of Chur in the Graubünden region of Switzerland, Conzett therefore occupies a special position among the leading engineers of the world. When he works with architects, as he often does, the results are unconventional and unexpected in appearance. When he works alone as an engineer, he resists the overtly expressive dimension of structural engineering, focusing instead on an approach that might be characterized as innovative reticence.

The reference to the work of Brunel and other engineers as precedents for new projects has made the work of Conzett stylistically more interpretative than singular. This approach in some respects parallels what the Italian philosopher Gianni Vattimo terms 'weak thought', *pensiero debole*. Of course, 'weak thought' is not a weakness of thinking as such. It denotes an approach where thinking is no longer demonstrative – where the role of the philosopher is no

Facing page:
Richard Coray's falsework for the Salginatobel Bridge, 1929
Courtesy Andreas Kessler

Above:
Isambard Kingdom Brunel, Lostwithiel Milltown Viaduct, Cornwall, 1850s
Royal Cornwall Museum

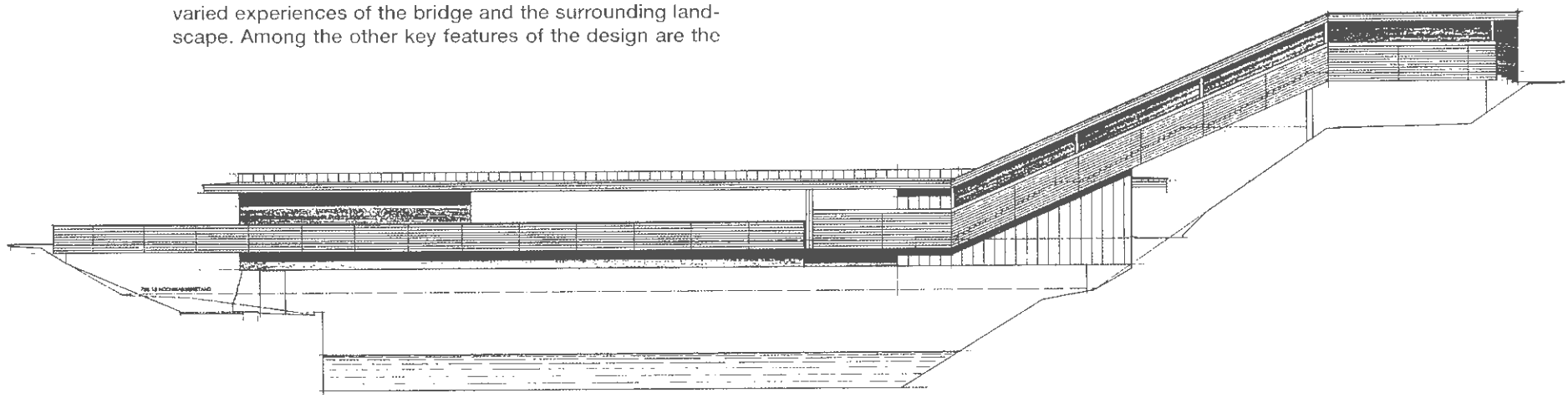
longer to be 'humanity's guide to the Eternal' – but is instead edifying, in the sense that it 'redirects humanity towards history'. By a process of weakening, 'the weight of objective structures is reduced'.[1] This position, itself a critique of pure rationality and ideology, builds on the Nietzschean critique of the notion of 'things as they are' in order to reconsider things as they have been and as they might become. As a mode of thinking, it requires at least momentary suspensions of belief, or what Vattimo calls a 'fictionalized experience of reality', in order to imagine unforeseen possibilities or, in philosophical terms, to achieve a measure of freedom. Inasmuch as Conzett's work addresses and focuses on an interpretative model as a process of weakening, it approximates Vattimo's thinking. It engages structural principles with a much wider set of programmatic and pragmatic concerns, which it responds to in new and extraordinary ways.

I first met Jürg Conzett when, during the latter part of the 1990s, I helped to organize an exhibition at the Architectural Association in London on the design and construction of the Murau Bridge in Austria, a project he had recently completed in collaboration with the Zurich-based architectural firm of Meili & Peter. This is a structure that does not follow our common expectations about timber bridges. If anything, because of its planar rather than elemental design quality, it looks at first sight like a bridge that might have been made of concrete rather than wood.

According to Conzett, the design of the bridge is the result of the juxtaposition of architectural and structural criteria. The structural concept of a central girder gives the bridge its stiffness and rigidity against the elements. Architecture's role, on the other hand, is not limited to the spatial characteristics: a series of walls and slabs provide the user with varied experiences of the bridge and the surrounding landscape. Among the other key features of the design are the subtle shifts or displacements that occur on entering and exiting the bridge. These shifts are then literally used as a mechanism for incorporating the technical within the spatial, and vice versa. For example, rather than being placed on the central longitudinal axis, the shear walls are fixed to the side of the chords, which in turn enables a straightforward means of connection with screw rods and ductile dowels. The collaboration between architect and engineer has led to a design that in many respects transcends the everyday conceptual logic of either discipline. Here it is the asymmetry of the spatial organization that helps to reinforce the stability of the central girder. Perhaps a different version of the project – one based on purely technical concerns – would have done away with such displacements, thereby subjugating the visuality of the work to its technical logic. Instead at Murau the spatial, visual and technical requirements of the project come together, not to assert the ideality of their independent domains, but to reinforce the cause of the others, gaining in strength like the strands in a bundle.

Conzett's work, as mentioned above, roughly falls into two categories: collaborative projects, carried out with architects, and independent projects done solely by the firm of Conzett Bronzini Gartmann (or its predecessor, Branger and Conzett). The first category encompasses schools, multipurpose halls, gymnasia and railway buildings, offices and, more recently, the project for the Zurich Stadium. The latter category consists mainly of bridges and other infrastructural schemes.

Conzett began his professional career, not in an engineering office, as would be the norm, but in the studio of the now celebrated Swiss architect, Peter Zumthor. During this period his primary role seems to have been as an intermediary between the architects and their engineers and builders. His daily routine involved articulating and translating the architects' intentions in a manner that preserved their original



Murau Bridge, 1995–98

consistency. Working within such an environment further exposed Conzett to visual and spatial thinking and must have made him particularly aware of the importance of the dialogue between construction and its inseparable counterpart, the conceptual design process. He gradually began to work as much as an architect as he did as an engineer, a fact that further accounts for his exceptional capacities.

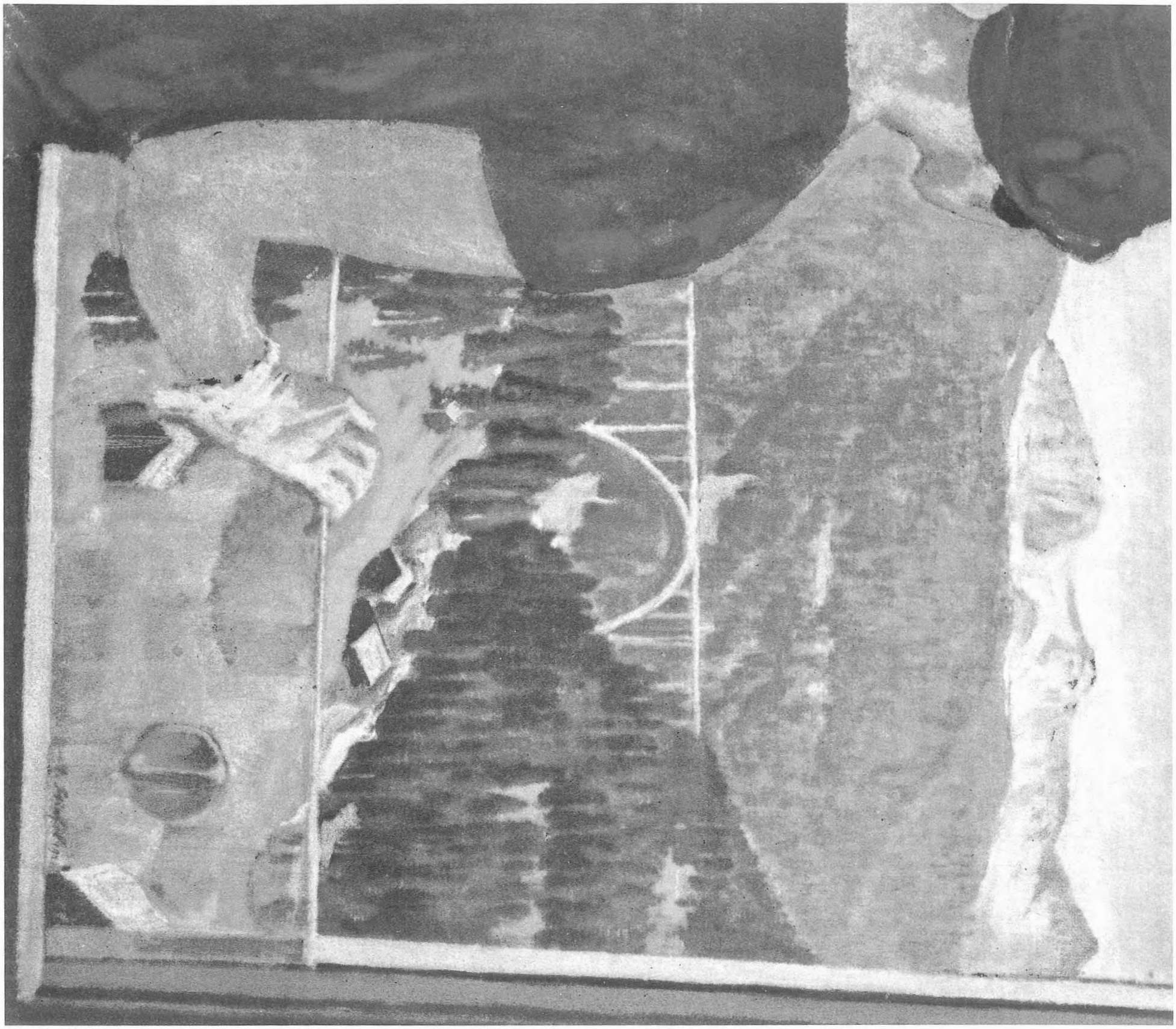
Despite the relative uniqueness of his position among contemporary engineers, Conzett's mode of working and research is in many respects consistent with the traditions of Swiss engineering education that were developed from the establishment of the ETH in Zurich in 1855. The American academic David P. Billington has made a special study of the 'art' of structural design and engineering in Switzerland. According to him, the approach of two of the early professors of the subject, Carl Culmann (1821–1881) and Karl Wilhelm Ritter (1847–1906), differed from the more mathematical approach of German engineers of the time, in that it 'followed from local field experience, international study and travel, and individual research that emphasized visual methods of analysis'.[2] Specifically, Culmann and Ritter developed the principles of graphic statics as a means of visualizing how different forms can change the flow of forces within a structure. In this manner of working there is a direct connection between aesthetics and mechanics: not just calculations but diagrams are involved. And diagrams, along with pencil sketches, play an important role in the development of Conzett's structures, especially during the conceptual phase. For him, they offer a visual means of analysis more immediate than any computer drawing.

But Conzett's work also transcends Swiss academic tradition by constantly seeking unexpected solutions. One of the most inspiring sources is the work of Richard Coray (1869–1946). Coray was responsible for constructing the centring scaffolding – sometimes referred to as the 'falsework' – for numerous concrete bridges, among them Robert Maillart's elegant Salginatobel Bridge. The artistry, precision and economy of Maillart's bridge was highly dependent on the daring wooden scaffolding for pouring concrete that was designed by Coray and assembled in the ravine by six of his assistants in the summer of 1929. Though delicate and inevitably short-lived, Coray's falsework shaped the beauty of the bridge in a lasting way. It has also fuelled the imagination of Conzett, who seems as much influenced by the structure of the wooden scaffolding as he is by the work of Maillart.

As an example of this analogical mode of practice, it is perhaps worth noting that many of Conzett's designs for structures such as bridges involve the construction of extremely accurate models by his wife Lydia, who originally trained as a cabinet-maker. These precise artefacts enable Conzett and his colleagues not only to evaluate the visual characteristics of a design but also, to a certain extent, to approximate its structural behaviour.

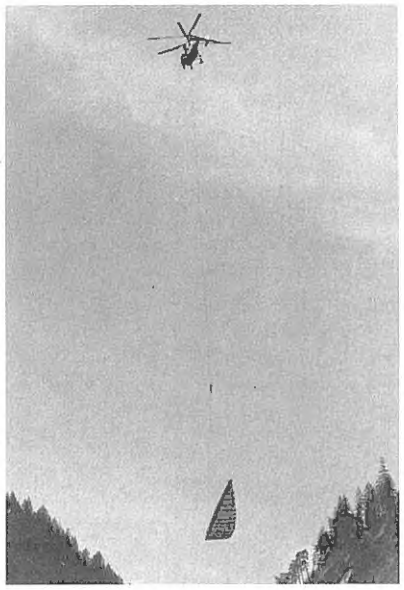
A project that clearly benefited from a close study of the relationship of all the elements is the design for the first Traversina Footbridge. In comparison to the bridge designs of another great contemporary Swiss engineer, Christian Menn, Conzett's bridges often demonstrate an incredible modesty of scale and means. This difference can partly be explained by the initial scope and parameters of a given project, but there is more to it than that. Menn's work often continues the manner and tradition of Maillart's concrete bridges. He builds enormous yet elegant structures that are read against and in conjunction with the grandeur of the landscape; their drama is overwhelming. By contrast, Conzett pays greater attention to the perceptual and haptic qualities of the structures, which are generally smaller in scale. Furthermore, his bridges seem to be able to use transfer technology in ways that make their appearance less conventional. Conzett's work undermines our conceptions about bridges and what they are made of or how they perform, both technically and visually, especially in terms of their role as catalysts for perceiving the surrounding landscape in a directed way.

The first Traversina Bridge is a good example of a structure that not only looked lightweight but was in fact as light as could be, with its steel tie-bars and minimum number of timber compression members. A combination of triangular truss system, timber decking and solid parapet walls provided the bridge with the necessary rigidity and stiffness. Despite this, the structure had a bounciness that made the user aware of the special and precarious nature of crossing



Fac
Pla
cel
Sw
the

Ab
Airl
Tra



the ravine in that location. Lightness was also a factor influencing the process of construction, as the weight of the substructure was calculated according to the maximum lifting capacity of the helicopter that could be used to position it on site. After this wood-and-cable structure, Conzett's next footbridge was made of heavy granite. A homage to a 1950s proposal by Heinz Hossdorf, the Pùnt da Suransuns works on the principle that a thin prestressed stone covering behaves in reality like a monolith. In addition to this, the use of a stress-ribbon system accommodated the height differences at either end of the crossing on the Viamala trail.

A particular quality of Conzett's bridges is the way in which they fit, both physically and experientially, into the walking routes of Switzerland, at times reconnecting with old Roman trails. In this respect they become important elements in the formation of a specifically Swiss landscape, part of a geographically bound and constructed national identity. In his book *Crowd and Power* Elias Canetti speaks of the importance of what he calls a nation's 'crowd symbol', as the primary element around which a sense of national identity is formulated. According to Canetti, in England it is the sea that plays this role, while in Germany it is the forest, and in France the Revolution. For the Swiss, it is the mountains, with the imagery of the Alpine landscape infiltrating everything from chocolate boxes to tourist brochures. However, in this context the contemporary historian Oliver Zimmer makes a particularly interesting distinction between what he calls the 'nationalization of nature' and the 'naturalization of nation'. In the first instance (as verified by the chocolate box image), the Alps, by virtue of being 'authentically' Swiss, become a way of 'conjoining landscape and nation'.[3] The second, historically more recent phenomenon, which took root in the latter part of the nineteenth century, is the imbuing of the Alps with the deterministic quality of forming 'national character'. This shift in assignation, from a passive and representational landscape to an active and character-forming agent capable of unifying the nation, bears a similarity to the changing popular perception of the geography and environment of the American frontier. In the case of Switzerland, this phenomenon was also used to counteract neighbouring Germany's increasing emphasis on racial and ethnic identity as well as homogeneity at the start of the twentieth century.

> ...There may well be Alps, mountains, seas and rivers outside Switzerland; and yet, the Swiss homeland constitutes such a coherent and richly structured natural whole, one that enables us to evolve on its soil a peculiar feeling of a common homeland which unites its inhabitants as sons of the same fatherland, even though they live in different valleys and speak different languages.[4]

Whatever the significance of the Alps in the construction of Swiss identity, it is worth noting that the country has only a 12 per cent share of the Alpine chain, with the proportions of France, Italy and Austria all being much higher. The difference in Switzerland is that the mountains cover more than 60 per cent of the land. The notion of an intimate connection with the topography still survives: today, the nationalization of the nation and its naturalization seem to have become comingled.

By constructing railways, roads, tunnels and bridges, by opening up travel, engineering has in certain ways played a role in improving, almost perfecting, the citizens' experience of the landscape. These experiences, however, have not always been perceived to have the same qualitative or consistent value. At its inception, the speed of the railway put an end to the intensity of travel by coach and, in the process, according to Erwin Straus, resulted in the space of landscape becoming geographical space.

> In landscape we always get to one place from another place; each location is determined only by its relation to the neighbouring place within the circle of visibility. But geographical space is closed, and is therefore in its entire structure transparent. Every place in such a space is determined by its position with respect to the whole and ultimately by its relation to the null point of the coordinate system by which this space obtains its order. Geographical space is systematized.[5]

Facing page:
Plate from a 1920s publication celebrating the rail journey to the Swiss resort of Arosa. The focus of the view is the Langwies Viaduct.

Above:
Airlifting the substructure for the first Traversina Bridge, 1996

The negative aspects of travelling on the railway, such as tedium and the confusion of imagery, were soon countered by the perceptions of those who saw the positive and enriching effects of the new technology:

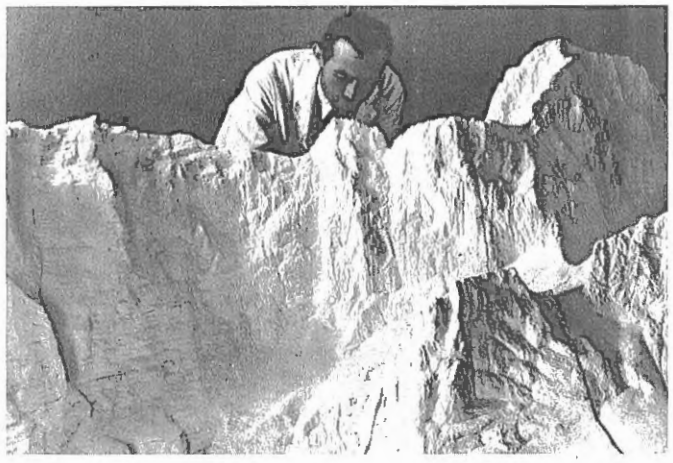
> The velocity and linearity with which the train traversed the landscape did not destroy it – not at all; only under such conditions was it possible to fully appreciate that landscape.[6]

It is through the art of mapmaking that landscape and engineering come together. Conzett has long been fascinated by the cartographic inventions of Eduard Imhof, who taught cartography at the ETH for 40 years and is best known for his shaded relief maps of Switzerland.[7] Imhof contributed more than any other cartographer to the understanding and modelling of mountain topography. Based on his knowledge of geography and his skills as an artist, his work not only takes account of the limits of our perceptual capacities but uses them as an indispensable component of the process of mapmaking. Rather than attempt to rationally record every detail of a terrain, Imhof focuses on those significant attributes which can be apprehended by the viewer. His work is therefore situated between the scientific and calculable domain of mapping or measuring the land and the artistic manner of its representation. For Imhof, the choice of what is left out of the scene is just as important as what is included:

> That which one does not see cannot be made visible by any amount of experience and reflection. Rather the essential point here is to be aware of the *possibilities* of being deceived.[8]

As an example of this, he points out that on a map the light has to appear to come from the north, to create the right impression for the viewer, even if this never happens in reality – an attitude in contrast to the prevailing notion of 'structural honesty'.

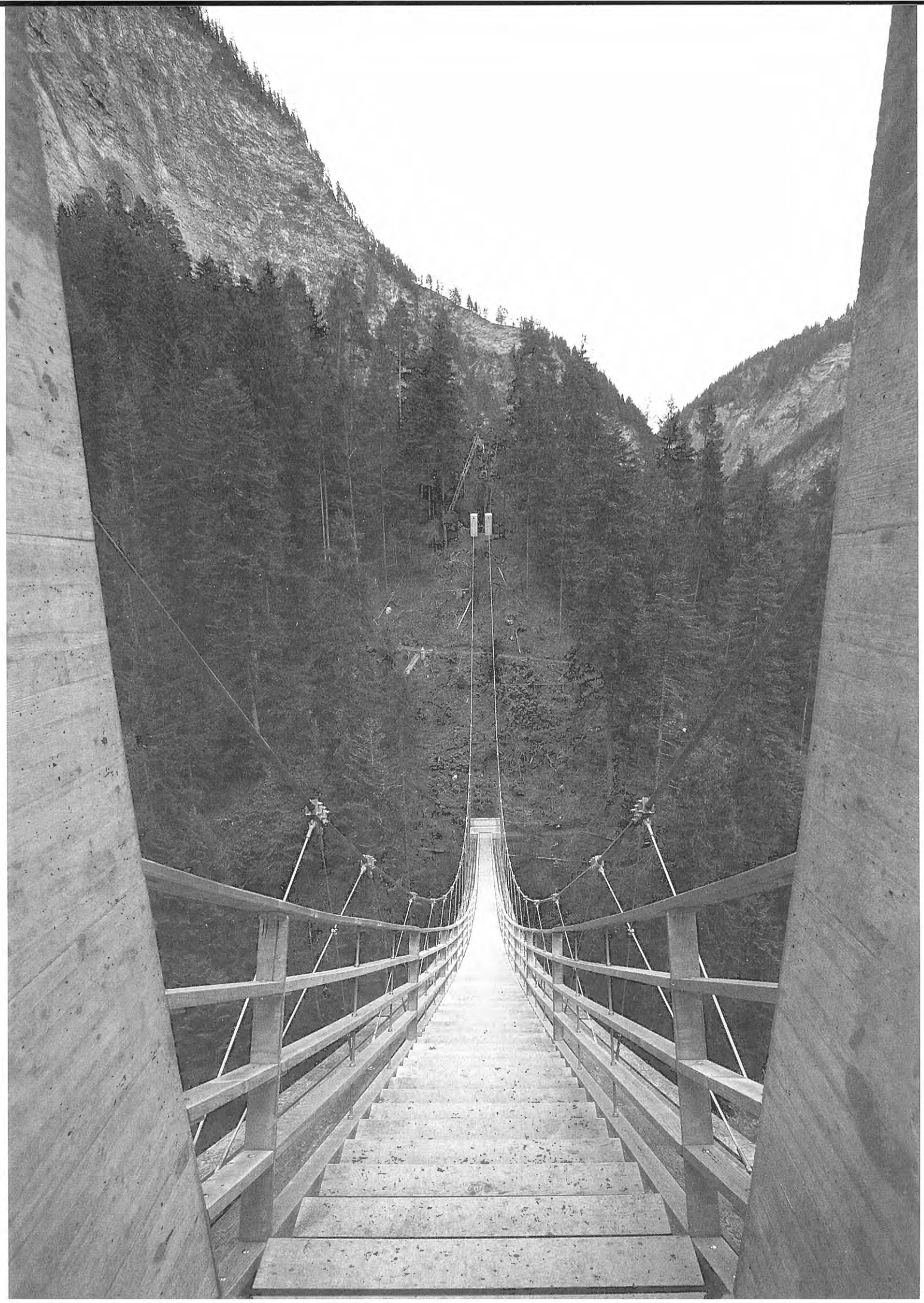
Perhaps the most crucial influence of Imhof's work for Conzett is his attention to the minutiae of things – what they are and how they come to appear, the interplay between the fragment and the whole. Conzett on one level translates this into the absorption of all the details and qualities of a site as the necessary precondition for the making of the work. His engagement with the cartographic imagination of Eduard Imhof demonstrates that his work as an engineer is not to be limited to the technical realization of a functional artefact. Instead, his projects operate at multiple levels of interest and influences. Where to fix the position of a bridge? How will the walkers experience the territory? How will this experience fit into a larger sense of the landscape? What are the technologies and techniques to be adopted in the realization of the project? These and many other questions provide the basis for that segment of the work which for the time being is simply referred to as a bridge.



The new Traversina Bridge is a model of the synthetic confluence of all these elements. The initial plan was to construct the bridge on the same spot as its predecessor, which was destroyed by a rockfall. It soon became clear that a safer site had to be found. The final location, selected after careful surveying, involved a walkway of approximately 57 metres, and allowed the moraine ribs on either side of the valley to be used as natural 'pylons' for the new suspension bridge. The decision to anchor the cables on pylons had interesting consequences for the appearance of the bridge. The pillars had to be made broad enough to accommodate hydraulic jacks alongside the cable anchors. This gave them a monumental effect, akin to that of nineteenth-century Rhine bridge portals. On the one hand this monumentality is an assertion of permanence (an important psychological factor, given the destruction of the original bridge). On the other hand, according to Conzett, it also enables the bridge to act as a kind of 'filter', in the same sense that the Victorian railway station acted as a filter preparing travellers for a journey to places unknown.[8] At the north end of the bridge, the unnerving prospect of the crossing over the abyss remains concealed right up to the moment when one stands between the pylons and sees that the drop is not so 'terrible' after all. This delayed mo-

Facing page:
Second Traversina Bridge, near the end of construction, summer 2005

Above:
Eduard Imhof making a model of the Windgällen mountains, 1938



015

he
5

the

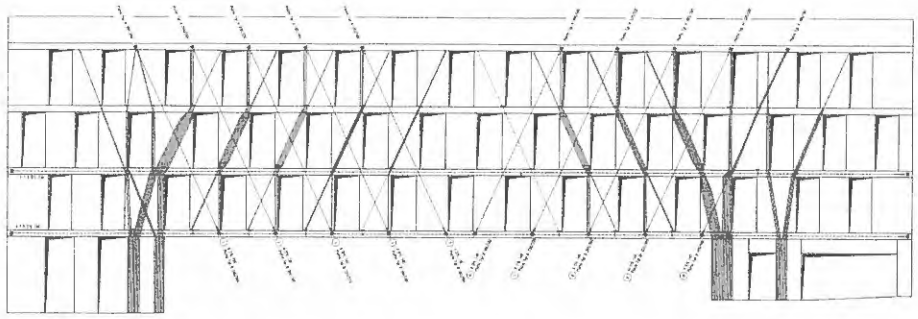
ment of realization is something every mountaineer has experienced: a route that seems impossible from a distance is much less threatening from up close. Furthermore, for alpine walkers, going down is harder than going up. The insertion of a stair as the central walkway eases the descent – there is a dramatic difference of 22 metres in height between the two ends – and walkers are rewarded with a bench at the bottom of the bridge rather than the top.

The new Traversina Bridge is in some respects the artefact that best exemplifies the concept of the coming together of the 'falsework' and the bridge, or rather the 'falsework' as bridge – a phenomenon which was arrived at through the consideration of the 'possibilities and conditions of construction'. Of the ten longitudinal beams, initially only six were fixed during the assembly process. These then acted as the falsework for the construction of the rest of the bridge and the insertion of the four remaining beams, with the completion of this process transforming the whole into the new bridge. The careful incorporation of the conditions and materials of the site, such as the use of local timber, together with the refined simplicity of the construction, makes this one of Conzett's most accomplished projects. At the same time the work pays homage to the structural topics addressed by nineteenth- and twentieth-century engineers, among them the relation between the diagram of forces and the layout plan, as investigated by Carl Culmann in his studies of graphic statics.

Many examples today still attest to the veracity of Le Corbusier's dictum on the disciplinary distinctions between architect and engineer, and specifically the subservient position of the latter. Nevertheless, in this regard two important changes have already taken place. The first concerns the shift in our sensibilities towards an appreciation of many engineering projects that were supposedly built without any concern for aesthetic criteria but nevertheless possess a strong visual content. Among this category are numerous examples of industrial plants and other types of installations that have the capacity to subvert our conventions of building construction. These represent a rich vein of research for new work that remains unmined, beyond the photographs of artists such as Bernd and Hilla Becher or some of the early explorations of the Archigram group and the more recent projects of the British High-Tech architects.

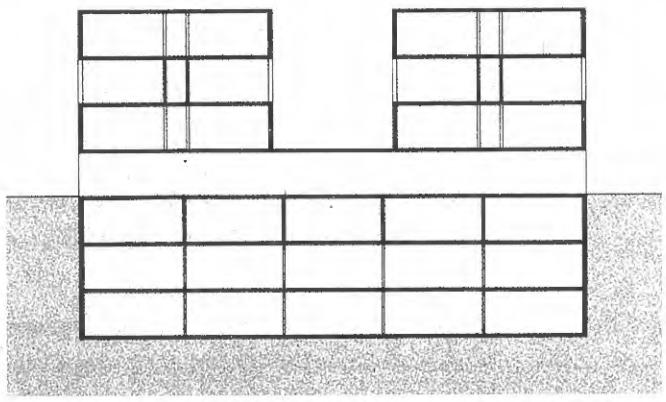
The second change, more pertinent in this context, concerns the way in which closer collaboration between the two disciplines has transformed the output of both. Working together, often from the inception of a project, a growing number of contemporary architects and engineers have designed buildings that would be inconceivable without equal input from both parties.[9] Conzett's collaborations with architects fall into this category.

One of the relatively early projects that fully illustrates the potential for a greater fusion of architecture and engineering is the Ottoplatz Building in Chur (1995–98), designed with the architects Jüngling and Hagmann. In contrast to a frame building, where there is a clear demarcation of areas of responsibility, this wall-and-slab structure demanded a close collaboration between architect and engineer. Furthermore, it offers many of the advantages of a frame building while avoiding some of its disadvantages, notably the lack of adaptability of the column grid (a major consideration in this case, given the client's uncertainty regarding the building's final use). The building is sectionally divided into three parts: open-plan, column-free basement parking floors, a similar pattern for the ground-floor showrooms, offices and retail spaces, and three upper floors of offices. With the top floors hovering over the lower floors like a bridge, the structure of the building in its entirety plays a direct role in forming its spatial qualities – structure as space and space as structure. In place of a frame and cladding strategy, the precast concrete panels of the facade of the building become an indispensable part of the structural solution. The requirements of the structural design component have led in this instance to subtle variations in the building's appearance, such as the shifts in the concrete panels of the upper storeys to accommodate the post-tensioning cables that are used to stiffen the whole facade. At the same time the spatial demands of the project and the need for a scalar variation of the spaces on various floors have produced the specific structural solution of load-bearing walls.



Not in the same spirit, but equally relevant in terms of the benefits of collaboration between the architect and the engineer, is the example of the Goat Dairy in Parvalsauns (1992–93), carried out together with Gion Caminada. Based in the small village of Vrin, Caminada has been responsible for much of the new construction in the locality, from phone booth to school building to mortuary. It is hard to think of any place, apart from Switzerland, where such a significant and talented architect would be occupied in such a dramatically localized manner of working. Caminada's works are both reminiscent and respectful of the early traditions of modest village buildings. He is not however an architect who simply follows the vernacular path towards construction. His buildings, while possessing the charm of local building methods, are nevertheless highly designed artefacts, and they are mostly constructed in collaboration with Conzett. Unlike Ottoplatz, where it is the unseen precision of the structural forces that constructs the logic of the building's appearance, here it is the uneven dimensions of milled timber and the use of an archaic method of construction that provide the conceptual driving force of the project.

In these as well as in many other examples of Conzett's work it is the conversational character of the space between the structural and the architectural that establishes the formative qualities of the project. In this respect, Jürg Conzett is among a small group of contemporary engineers who have managed to negotiate the critical line between an enabling or, conversely, dominating technology – who are not afraid to contaminate the principles of technical thinking with other concerns and criteria that rid them of the potential tyranny of their pure and unadulterated project of rationality. The pragmatic optimism of Conzett's work opens up a new horizon for innovations in both architecture and engineering: one that is based on a logic of choices and possibilities rather than necessities and constraints. The projects of Jürg Conzett and his partners deliberately explore the unidentical yet parallel realms of the structural and the formal. The work – the resolution of a process that involves both separation and union across these two realms – emerges from the creative mediation between the certainties of calculability and the uncertainties of spatial becoming.



1 See '"Weak Thought" and the Reduction of Violence: A Dialogue with Gianni Vattimo' in *Common Knowledge* 8.3 (2002), pp. 452–63.
2 David P. Billington, *The Art of the Structural Design: A Swiss Legacy*, Princeton University Art Museum, Princeton 2003, p. 23.
3 Oliver Zimmer, 'In Search of Natural Identity: Alpine Landscape and the Reconstruction of the Swiss Nation', *Comparative Studies in Society and History*, vol. 40, 1998, pp. 637–65.
4 Johann-Caspar Bluntschli, *Die schweizerische Nationalität*, Zurich [1875] 1915, quoted in Zimmer p. 651.
5 Erwin Straus, quoted in Wolfgang Schivelbusch's *The Railway Journey: The Industrialization of Time and Space in the 19th Century*, Berkeley 1992, p. 53.
6 Wolfgang Schivelbusch, op. cit. p. 59.
7 In 1927 Eduard Imhof was asked to revise the atlas for Swiss high schools: *Schweizerischer Mittelschulatlas*. In addition to numerous cartographic studies of various regions, in 1961 he was asked to produce an 'Atlas of Switzerland' that was intended to show in maps the diversity of nature, population, culture and economy of the country. The first edition, which included the work of many Swiss scientists, was published in 1978 by the Federal Office of Topography.
8 Eduard Imhof, *Gelände und Karte*, Erlenbach-Zurich 1950, p. 13.
9 Here I am thinking, for example, of the collaborations between the engineer Cecil Balmond of Arup and such architects as Rem Koolhaas, Alvaro Siza and Daniel Libeskind, or between Hanif Kara of the engineering firm Adams, Kara, Taylor and the architect Zaha Hadid.

This page:
Ottoplatz Building, Chur
1995–98, west facade showing 'stress fields' (top) and schematic section showing vertical load-bearing elements (bottom)

The Beauty of Calculation

Bruno Reichlin

There are certain historical episodes that seem to crystallize an entire epoch, illuminating (or at least illustrating) a great issue of the day: cognitive, philosophical or moral. Such moments occur in architecture too, when the artistic or technical accomplishment of a project, and the aesthetic experience it generates, clarify a larger question of truth or falsehood. A splendid example of this, a nexus of both instruction and inquiry, is the famous AEG Turbine Hall that Peter Behrens built in 1909 when he was at the height of his creative powers. For its universally acknowledged quality, for its role as a catalyst for comment and criticism,[1] for its influence on architectural discourse, this is a highly absorbing building.

Precisely because the principal outlines of this building are so utterly familiar, I shall confine myself to those aspects of it that interest me most. I shall consider how it encapsulates the difficulties experienced – by engineers, architects, art historians and laymen in general – in defining and appreciating the true scientific, intellectual and artistic aims of the so-called civil engineer, that obligatory fellow traveller (as either accomplice or antagonist) on every structural enterprise, from its inception to its construction on site.

As we all know, Peter Behrens gave the main elevation of the Turbine Hall two imposing pylons at either side, made up of immense curved concrete quoins, hollowed out and plainly tilted inwards in the manner of the ancient architecture that had by then engaged the tectonic imaginations of architects and the wider public.[2] As the initiated know, these concrete pylons support naught whatsoever: their static 'function' is purely feigned, as feigned as the 'mass' of the grand cantilevered polygonal tympanum, which transmits its (scant) load not to the pylons but to the frame enclosing the immense glazed vertical plane that descends almost to the ground at the centre of the facade. Is this commanding modern 'cathedral of labour' (to borrow an epithet from Karl Scheffler that recalls the political and representative goals of the industrial apparatus of Wilhelmine Germany[3]) then nothing other than a paradoxical tectonic *mise-en-scène*?

The paradox, if such it is, is embedded in the particular attitude towards experiencing and appreciating architecture that prevailed at the time. To put it more simply, I would say that Behrens and many of his contemporaries employed a dual approach: a feeling response – something spontaneous, emotive and sensory – overlaid with an intellectual and culturally discriminating response, which I propose to call 'semiotic'. Corresponding to these two dimensions of tectonic perception is the distinction, postulated by Behrens and Gropius, between 'calculated stability' and 'represented stability'.[4] Thus the corner pylons were designed as great quoins, to suggest an effect of stability, of solidity. In his key text 'Art and Technology' Behrens confirms this. Referring to the Turbine Hall, he writes:

> Architecture is the formation of the corporeal and its task, its essential nature, is not to unveil but to enclose space. If it were now said that the beauty of pure iron or steel construction lies in line, then I would reiterate that line has no substance and that architecture resides in corporeality.[5]

To reinforce the point he (like Gropius) criticizes the Eiffel Tower, describing it as a 'bird-cage' (Joris-Karl Huysmans' term), even if it incorporated more material, for reasons of aesthetics, than was structurally necessary. In turn Gropius, assuming the role of naive positivist, actually seeks to furnish palpable proof that 'calculated' stability cannot always fulfil the canons of 'represented' stability. To make his case he employs pen and pencil to convert the diamond-truss frames of a large railway bridge into a plate girder. 'How much stronger the architectural effect would be', he argues,

> if the architect had planned for a simple cladding of the lattice girder. Instead of a mesh of countless rods that the eye sees through, the aesthetic impression would be that of a simple, substantial beam, a point in space for the gaze of the passerby to rest on.[6]

It matters little if the – expressive – means of reinforcing perception (and/or aesthetics, Gropius adds) are feigned, or chosen to create an illusory effect; indeed, they may even contradict calculated results. Behrens resorts to a distinction essential to the general theme of this study when he cautions against the dogmas of Semper's 'materialist metaphysics'[7] and says that he refuses to accept the 'results of the engineer's work' as being in themselves 'elements of an artistic style'. The issue is of such importance that he does not hesitate to invoke 'authority', in the form of the 'Viennese scholar' Alois Riegl, endorsing the passage in which Riegl treacherously distorts Semper's theoretical construct:

> Semper's mechanistic view of the nature of the work of art should be replaced by a teleological view in which the work of art is seen as a result of a specific and purposeful artistic volition (*zweckbewusstes Kunstwollen*) that prevails in the battle against functional purpose, raw materials and technology.[8]

It would seem, then, that even in architecture the creation of the work does not arise from the flow of the project, but rather struggles against its rationale, its materials, its tools and its procedures. Does the architectural work thus become a conquest, a transcendence, a transgression, open or implicit, of the rules and practices governing a normal solution? What does this phrase 'specific and purposeful artistic volition' mean? Could it conceivably be taken to indicate an expressive purpose that also includes the dramatic representation of the struggle itself – a struggle with materials, measurement, construction and programme, engaged via formal intention and evolved compromise? It is evident that

AEG Turbine Hall,
view of exterior around 1928
Siemens AG Archive

Behrens is simultaneously aiming at calculated stability by articulating, in the case of the angled pylons, a message that corresponds in every respect to what we usually refer to as a formal language, a system of signs, or a semiotics. Behrens explains that the concrete pylons 'are subdivided horizontally by metal strips, so they appear as infills'.[9] Pressed by his critics, in 1917 he subsequently established what might be defined as a semiotic decodification, with the reference to a formal system evidently understood and taken as granted. Behrens:

> ... the two corner pylons have only a linking and closing function. Precisely for this reason, they are made of a different material – namely concrete – and stand with their horizontal articulation in intentional contrast to the verticality of the structural frame. As the pylons do not add stability, they are also given the inclined plane of the side windows.[10]

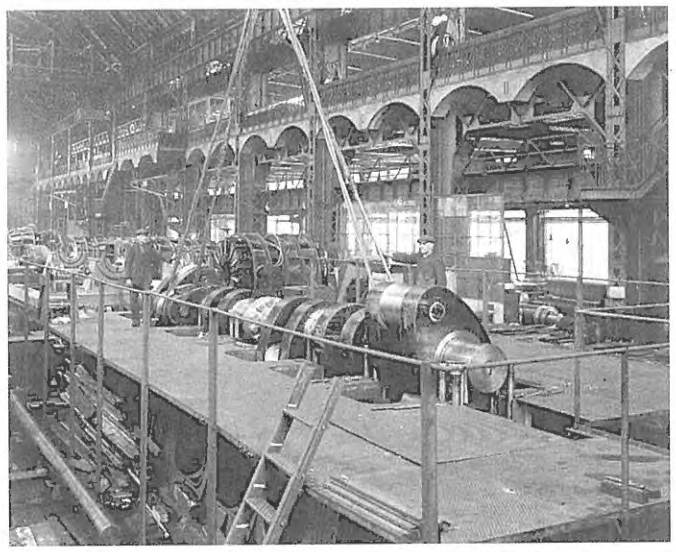
The angle of the corner pylons, prolonging the inclined plane of the glazed surfaces, skilfully corroborates the effect of 'corporeality'. Semiotically speaking, it works as a distinctive feature of the non-supporting elements in the design as well. The 'load-bearing effect' – that is to say the representation of the static/bearing function – would remain the exclusive preserve of the metal framework.

> In support of this principle, the windows facing the Berlichingenstrasse are also inclined backwards, parallel to the inner edge of the heavy steel pillars, so that the lintel running along the side elevation creates a deep shadow over the top of the long front. The lintel works like a steel cornice, and together with the front gable heightens the impression of the roof's corporeality. The roof itself rests on the supports of the side facades and on the window frame in the front facade.[11]

Thus the distinctive features of the non-load-bearing materials – the glass and the concrete – are their inclination and the horizontal weft of their separation from one another, while the load-bearing steel framework is characterized by verticality. But what should we make of the great vertical window in the polygonal facade onto Huttenstrasse? Behrens's semiotics leaves nothing to chance. The architect, with a casuistry worthy of a Jesuit theologian, anticipates his critics, explaining that:

> On the front facade the structural element finds aesthetic expression in the large steel-frame window, which for this reason is made up throughout of reiterated steel elements. In order to make the entire window an expression of the load-bearing frame, it is set flush to the plane of the gable, and this impression is heightened by the glass panes, which also lie flush to their steel frames.[12]

Hence, because the frame is metal and vertical, like the struts, this enormous window is intended to be read as a load-bearing element.



Above:
AEG Turbine Hall, view of interior looking towards the courtyard, 1927
Siemens AG Archive

Not everyone decoded this message correctly, the principal culprit being the Turbine Hall's engineer, Karl Bernhard, who enjoyed a considerable reputation in this very field of steel construction. In his account of their collaboration he outlined Behrens's semiotic programme, with which he was fully acquainted, before concluding that 'in spite of these principles, and notwithstanding the generous architectural effect of the gable, on the whole the desired effect of the corners has not been achieved'. Instead of reading the corners as purely cladding, 'everyone sees the gable, which is in fact a thin skin of reinforced concrete in front of a steel frame, as a mighty piece of concrete construction: two corner piers supporting a high tympanum'. And the proof:

> This unintended impression is so pervasive that Oberbaurat Erhard from Vienna has described the AEG Turbine Hall ... as a 'reinforced-concrete building' and cited it as a characteristic example of the 'Materialistic Style' [a style derived from the materials used].[13]

The confusion around this issue would appear to validate the assessment of the Turbine Hall offered by Karin Wilhelm, one of a number of experts who have provided an account of the polemics surrounding this great work of twentieth-century architecture. 'While not wishing to mislead anyone about the nature of the structure, Behrens was clearly concerned above all with the aesthetic effect', says Wilhelm, adding that 'this contradiction – between the efforts of the architect and the truthfulness of the structure – is in my opinion one of the sources of the building's peculiar fascination'.[14] According to Wilhelm, Behrens's aesthetic invention is essentially limited to the 'production' of an effect of solidity that only approximates 'represented stability'. The laborious signposting of the 'real structural relations' responds to a purely allusive ethical requirement which we are authorized to interpret as only foreshadowing the 'structural truth' subsequently both reclaimed and proclaimed by the 'moderns'.

To say that the fascination of the Turbine Hall resides in its obvious and almost disruptive ambiguity of expression, is simply to restate Behrens's belief that artistic intention is perpetually at odds with rationality, with the dominance of technology and programme, and with the demonstrative, pedagogical discourse of the work. Yet for many architects

on the threshold of modernism, that belief in the preeminence of 'palpable sensation' (*sinnfällige Wirkung*), in the indefinable essence of an object, was beginning to wane, even as they continued to recite it as an article of faith, or self-reassurance. Only the intuition of an imminent change in the paradigm can explain the subtle qualifications and concessions advanced by Behrens in his ambitious enquiry, 'Art and Technology'. On the one hand he seems to give too much space to an argument that was largely undisputed: namely, that the objective static–structural calculations of the engineer do not automatically produce an aesthetic effect. Following Behrens through the meanders and aporias of his argument opens up a tunnel along which the hermeneutic mole can burrow.

> Without doubt, the success of structural design resides in its capacity to determine the minimum amount of material required for a construction, and the beauty of iron and steel resides partly in their rigidity without volume. In a certain sense they have a dematerializing quality.[15]

Thus Behrens recognizes that the architectural dematerialization made possible by the use of metal and by advances in structural calculation can also produce a 'sensation' of beauty. But what sort of 'beauty' is Behrens talking about? The beauty of an intellectual construction, of an object shaped by 'architectonic' thought? Or the beauty of an effect of 'dematerialization', an effect intended for the eye? However that may be, according to Behrens, dematerialization may be made manifest on the condition that it does not compromise the essence of architecture, which to him resides in corporeality (*Körpergestaltung*) and therefore in the enveloping of space: not even the modern need for air and light justifies an architecture that has the effect of a 'threadbare framework'.[16] For Behrens, metal and glass, by their very nature, are incapable of producing a 'volumetric' effect: that role is the preserve of layered masonry.

Some sort of corrective then becomes necessary, however. Without pausing to draw breath, Behrens maintains that if calculated stability does not in itself suffice to instil a sense of perceived stability, this can be achieved by means of a skilful manipulation of less palpable or virtual materials such as light, shade and formal composition.

> [Through] a well-considered distribution of areas of light and shadow on the facade – whereby the large glazed surfaces are tied together in a single plane by metal struts, while the horizontal connections protrude forcefully – the building can be helped to achieve corporeality and thereby also an aesthetic feeling of stability, which otherwise would remain hidden from the eye... regardless of the metal's mathematically demonstrable stability...
>
> The structures of the engineer are the result of mathematically ordered thought. No one would doubt their structural stability, but it is a different matter whether or not this is given a dynamic visual expression, thus fulfilling the aesthetic demand (as a Doric temple, for example, does so completely).[17]

If the beauty of calculation does not reward the eye – that is to say, the eye accustomed to stability or, better still, to the image of stability in masonry architecture – then this beauty counts for nothing, Behrens affirms, or concedes. But then, reprising the theme for the nth time, he surrenders, admitting that new structures – modern ones – were already changing modes of perception, allowing stability to be identified in forms and effects that were altogether different from those he had already noted and discounted: 'We have already become accustomed to quite a few modern forms of construction', he was heard to utter, and at this point he seems to have understood, or at least intuited, that he was opening the door to an aesthetic that acknowledged the essential role played by cultural and historical factors in conditioning perception, which up to then had been regarded as the most intuitive and natural of all processes. What is more, he would have realized that his very own 'instructions for reading' the Turbine Hall were derived from an authentic creation, a 'semiotics of figuration' that up to then had been largely unexplored in architecture. Such a semiotics of figuration, in the year of grace 1909, would certainly have owed more to painting and drawing than to any architectural tradition. (This was a semiotics which tended to become a poetics, when serving as a code for a single work, as was the case with several productions of the so-called modern avant-garde.)[18] Behrens speaks of 'effects' and refers to the eye as an 'imperturbable seismograph', but in 1909 it would have taken a cultured and skilful eye indeed to register 'in a wholly natural way' the stabilizing effects of the play of light and shadow on a dense layer of translucent glass, angled and framed by metal porticos in plain profile.

Once more the special nature of the engineer's contribution to the creation of architecture – his 'performance' – confirms the distinction between that which contributes to aesthetic experience (or should or could contribute) and that which, on the contrary, involves 'mere' technical competence and scientific knowledge. Such competence and knowledge provide the necessary spark to unite the work, but they lack the 'aura' and unpredictability and visibility that are essential for aesthetic appreciation. This is why Behrens, while conceding that taste may evolve, cannot convince himself that 'calculated stability [would] ever achieve a suggestive impact on the eye'. For 'this would mean that an art form would acquire an intellectual basis, a contradiction in itself'.[19]

As perhaps at no time before the Turbine Hall's creation, Behrens – together with the young clique of artists, architects, engineers and critics who commented on, admired and cannibalized it (such as Walter Gropius with the Fagus Factory, or Mies van der Rohe with the interior facade of the Turbine Hall)[20] – realized that the reception of a work of architecture could stimulate the most disparate sensibilities and the most contradictory reactions. Although Behrens summons the eye as a witness and defends the 'effect', his instructions for reading the building cast such a sophisticated light on a wide range of assumptions – cultural, technical, compositional and poetic – that we might genuinely wonder where such contradictions could possibly have come from.

The Turbine Hall excited the spirits of architects, engineers, critics and historians in the years we tend to think of as the incubation period of the modern movement, a period generally seen, not without understandable hesitation, as lasting until the early 1920s. The problems posed then regarding how we should understand the artistic qualities of architecture, or the contribution of labour, expertise and sensibility to the aesthetic fruition of a work, or the collaboration of the user in recreating its aesthetic experience, or simply comprehending it – all these problems have endured even if they are periodically proposed afresh and reformulated almost out of all recognition, as if this 'recycling', this acknowledgement of their ambiguity, were essential to the functioning of architecture as an 'artistic institution' as we know it. In face of these questions of enduring ambiguity, the engineer, as a real presence, but even more as a fantasy figure, has consistently been the embodiment of architecture's desired or feared fate – the ethical straitjacket imposed by reality on artistic autonomy, or the agent of a disciplinary specificity which dissociates architecture, a 'mechnical art', from the other purely contemplative arts.[21] Thus for the 'radical functionalists' of the ABC group such as Hannes Meyer or Mart Stam, or for Karel Teige, the architect, like the engineer, had effectively to become a scientist. The discipline had to be plucked from the shifting sands of art.[22]

Le Corbusier, in his grandiloquent and ironic 'Defence of Architecture', takes issue with 'the avant-gardes of the *Neue Sachlichkeit*'[23] who attempted to reduce the beautiful to an epiphenomenon of the useful. In *Precisions*, at the threshold of the 1930s, he uses the opposing figures of the engineer and the builder as a framework on which to elaborate the most extreme reflections on his aesthetic vision. The engineer is depicted as the 'blind' agent of technical and scientific progress:

> To be an engineer is to analyse and to apply calculations; a builder makes a synthesis and creates. Notice this: engineers, admirable in their painstaking tasks, bent over their slide rules, are generally in revolt against the children they create. They believe in them only as operative mechanisms. They do not recognize thinking entities in them. They don't *know* their works, they submit to them.[24]

Le Corbusier seems to suggest that a creative undertaking should be premised on reflection, something he saw as part of the architect's task. Unable to deny engineers' structural creativity (despite their 'revolt' against the 'children' they create), he takes aim instead at the lack of an expressive project that would confer upon the structural product of their calculations a form that would also speak 'semiotically' of its function. Because, for Le Corbusier during his 'Purist' period, the 'elegant solution' is – among other things – self-referential. Among all possible or hypothetical responses to a given problem, the 'elegant solution' is whatever allows us to recognize both the whole and the parts, the nature of the problem under consideration and the generalizations that can be drawn from it; it is whatever surprises us by opening up new avenues of research and creativity. This broadly conforms to the definition of the elegant solution in mathematics proposed by Henri Poincaré in his *Science and Method*,[25] which so fascinated the rationalist cohort of the French avant-garde. An echo of Poincaré can be found, not altogether by chance, in a splendid passage from *Urbanisme (The City of Tomorrow*, 1926) discussing the issue of the viewer's cognition of a work. Le Corbusier writes:

> Behind the eye is that agile and generous, fecund, imaginative, logical and noble thing: the mind... Here is a wonderful mechanism that each of us can set in motion: knowledge and creation. We can create symphonies. To be soothed by certain forms, to realize how they were conceived, by what relationship they were brought together, how they answer a need which has become articulate, how they rank in one's personal scheme of chosen images. To measure, to compare indeed; to share with their creator his raptures and his torments.[26]

But Le Corbusier, who was himself accused of using scientific determinism – i.e. the very thing that he thought of as limiting, insuperably, the engineer's task – became more wary and discreet. Or else, like so many of his contemporaries, he simply became disoriented. Regardless of the contradiction, he would later attach to this aesthetic of rational hypothesis – almost semiotic or structuralist *avant la lettre* – another aesthetic, designed to titillate altogether different sensibilities.

> Design, dissect, give order to the emotive event, so as to explain it? An illusory exegesis! Words cannot have the subtlety of feeling. This is something unattainable, a definite mystery.[27]

This rhapsodic historical digression cannot pretend to be a considered contribution to the representations conditioning an understanding of the role and performance of the engineer, either among architects or the wider public; nor does it indicate how the engineer has gradually forged his mode of practice, with attendant consequences for the status of his work and achievements. Yet these ideas serve to contextualize the opinion of Antoine Picon in his introduction to *L'art de l'ingénieur*,[28] in which he says that engineers themselves 'contribute towards reinforcing this strange conception of a practice that is almost involuntarily artistic'. Proposing the notion of 'an art of limits', he explains:

> ... it seems as if engineers are in reality trying to negotiate a compromise between the rejection of a conventional artistic process and the simultaneous desire to create. The tension this provokes may well be the basis of the art of the contemporary engineer, an art whose ambiguity often finds its manifest counterpart in the resultant object, the chosen system or the technical performance of the work – an art of limits because its most successful products are invariably located on the boundary between two worlds that the conventions of the industrial era have taught us to think of as separate.[29]

After more than a hundred years of promiscuous coexistence, of exposure to the architect's desire for admiration, to his exaggerations and his eternal quest for fresh beginnings, the engineer has gradually carved out an image for himself that is in some senses defined in opposition to the practices and prerogatives of the architect. This is not the place to weigh this historical 'difference' in the balance, but we can at least attempt to trace its outline. The example of two of today's most exciting engineers, Santiago Calatrava and Jürg Conzett, will serve to give focus to our enquiry.

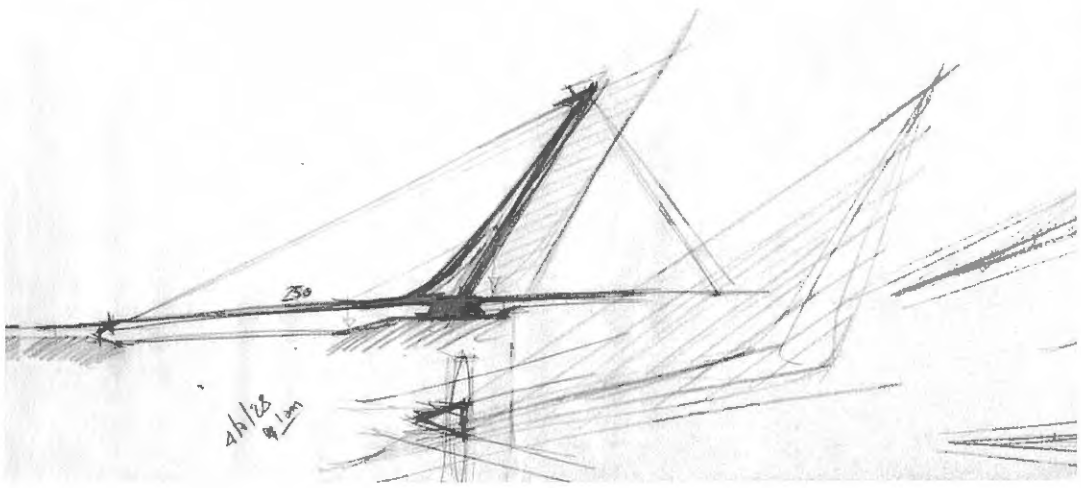
In his training, research and professional life, the engineer accumulates knowledge, integrating, through his scientific work, the different strands of specialist expertise at his disposal. He can call on specialists in metalwork, as well as concrete, timber and glass; still others will advise on civil construction and consolidating works; on vaulting, articulated structures, surveying, materials, site management or calculations. Even as a general expert, the engineer relies constantly on specialist knowledge, collected in 'state-of-the-art' manuals and information standards.

In his collaborations with the generalist architect, the engineer will as a rule (and with some relief) adapt himself to an undertaking whose creative impulse – the leap in the dark – is, even on a structural level, the preserve of the architect. It is the architect who is master of the approximate, of analogical thought, of formal and material metaphor, of the heuristic approach, of trial and error, of conjecture and refutation, of falsification and abduction. The engineer, on the other hand, has the virtuoso role of reducing approximation to a defined typology, of turning experiment into proven experience. Under the rubric 'Invention', the encyclopedic *L'art de l'ingénieur* declares, 'It is often supposed that invention is a matter of suddenly coming up with something completely new, such as a bicycle.' (This, I would say, is what architects implicitly believe in any case.) 'In the domain of structures', it continues, 'very few inventions of this kind exist. Patents are equally rare. In most cases, invention involves adapting existing knowledge and experience, conceiving of new combinations based on familiar material or structural elements, replacing one material or type of structure with another.'[30] The engineer, we understand, therefore deduces and adapts.

In architecture an enthusiasm for invention often exists in inverse proportion to the supplicant's grasp of structural realities. The engineer, on the other hand, is 'formatted' by his solid technical training: for him, new forms can only be justified by new typologies. Consequently he must indulge his *amour-propre* elsewhere, applying himself to ensuring that the workshops are operating at peak efficiency, to reducing the need for manual work or maintenance, to improving safety and materials, to refining calculating instruments and so on. When Christian Menn was asked 30 years ago why new highway bridges tended to be less spectacular than their predecessors, he answered that research was no longer forcibly directed towards achieving an economy of materials and slender, subtle structures. Instead the beauty of the solution was to be sought in the process of assembly, in the programming and procedures adopted to save time and energy. So, for example, the construction technique for slightly inclined bridges, which makes use of the slipperiness of graphite to slide the different prefabricated sections towards the determined position with the minimum of effort, seemed more important to him than producing beautiful, anaemic creations that would send architects, with their residual structural romanticism, into transports of delight.[31]

This episode suggests a new engineering aesthetic, entirely addressed to concept or process,[32] an aesthetic in confrontation with the ephemerality of conceptual art, the practice of the Happening – minus the relish of provocation or transgression, obviously, since 'the god A + B' (as César Daly, in a toast, once playfully designated engineer and architect respectively) will never be mistaken for 'the goddess fantasy'.[33]

A recent example of this wholly conceptual approach is the renovation of the reinforced-concrete bridge at Dorénaz in the Valais (1933), an early work by the engineer Alexandre Sarrasin. The bridge was long neglected, with disturbing traces of carbonization and, even worse, outdated safety



features, but it was also historically important and well crafted. Under these circumstances Eugen Brühwiler, the engineer in charge of the renovation, was uneasy about any intervention that could have altered the way people perceived or experienced the bridge. Surveying the structure with more sophisticated instruments than were available at the time of its construction, he concluded that several precise, almost imperceptible reinforcing operations, together with routine maintenance work, would obviate the need for the massive alterations that had been anticipated, so preserving the integrity of the bridge.[34] In this example of engineering restoration, 'beauty' or aesthetic satisfaction consists in the quality and the 'immaterial' form of a project strategy that revolves around sophisticated techniques of measurement and calculation. In short, a quasi all-software, no-hardware project; all concept, no product.

Antoine Picon, in the text quoted earlier, rightly says of the engineer that:

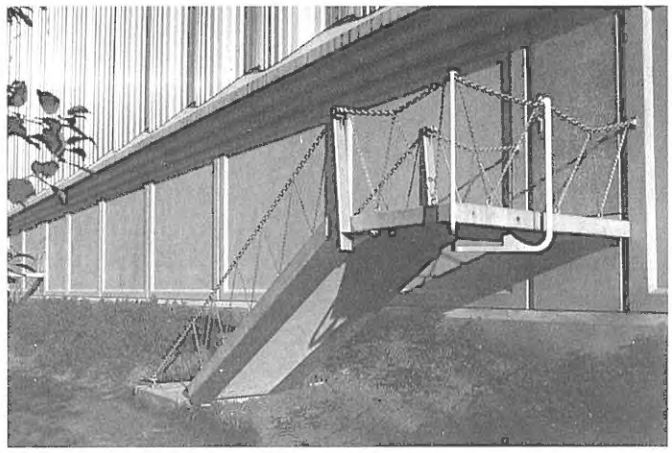
> the attitude of supreme detachment we readily accord him, as regards the desire to create or the quest for beauty, never fails to interest modern artists haunted by themes such as the death of art or its integration within a larger field of experimentation.

To this effect, Picon cites as an example 'the process adopted by Andy Warhol, who opened a factory to churn out art objects as if they were automobiles, using the techniques of mass production'.[35] The yearning for engineering that periodically seizes the architect, the nostalgia for a beauty that arises naturally, involuntarily, for beauty as a simple corollary of 'pure calculation', all are manifestations of what may be considered the recurring palingenetic dream (or nightmare) of the absorption of architecture into science, or its death as art.[36] 'Engineer, Hope of Architecture', to paraphrase the title of Oskar Kokoschka's famous drama. The intentions expressed by the most radical representatives of the 'Neue Sachlichkeit' have already been noted,[37] but why should we not dream even now of an architecture that embraces conscious, rational thought and scientific systems and procedures? Why should we not hope for an architectural culture in which heroes and martyrs are supplanted by the disciplined subjects of Bachelard's *cité scientifique*[38] – an alternative to the curse of Peter Pan that afflicts so many architects, causing them never to grow out of their urges to repeat avant-garde gestures to the end of time or, at least, up to and beyond the boundaries of kitsch.

Charles S. Peirce would have charged the average contemporary engineer, on the other hand, with the defect of 'positivism', which promotes a restrictive, renunciatory notion of inquiry overvaluing the function of induction and undervaluing the generation of hypotheses.[39] As Peirce warns, 'Induction never can originate any idea whatever. No more can deduction. All the ideas of science come to it by the way of *abduction*.'[40] Constructing hypotheses, being open to controlled and verifiable conjecture, proceeding on the basis of evidence and intuition... abduction consists, among other things, in deriving 'from observation strong intimations of truth, wihout being able to specify what were the circumstances we had observed which conveyed these intimations'.[41] Peirce adds, 'But it is the idea of putting together what we had never before dreamed of which flashes the new suggestion before our contemplation.'[42] So as to avoid any further epistemological risks, I will refer you to Peirce himself for an example of abduction, specifically to the episode in which he relates how he unmasked the thief of his Tiffany watch and overcoat, and how, more skilfully still, he managed to recover the stolen goods from the house of the perpetrator himself.[43]

Testing the viability of solutions with pencil sketches, trying out things on the basis of experience, and bringing into play, by modification or analogy, solutions that have been worked out by others – these are the architect's abductions and they are effective, even if the methods employed might horrify Peirce or a Sherlock Holmes. These are also the methods that have been tried in recent years by all those engineers who have connived with architects in their work. (The kind of collaboration that Peter Rice has left us moving testimonies to.) In the case of Jürg Conzett, it was a desire to 'muck in' (figuratively speaking) that prompted him, at the end of his engineering studies, to seek employment in the studio of Peter Zumthor, who was just then coming into his own. Conzett's intense involvement in the projects of many other (mainly Swiss) architects can be explained in the same way.

Above:
Santiago Calatrava, sketch for Alamillo Bridge, Seville



Santiago Calatrava seems to be a case apart, since he is a 'turncoat' architect who has defected to the side of the engineers. Yet his projects, so imaginative and diverse, are irreconcilable with those of the 'legitimate' polytechnic engineer. They owe everything – or almost everything – to his having addressed themes of engineering as an engineer armed with the conceptual and manual methods and instruments customarily used by an architect – an especially talented one in this instance.

A master of the architectural sketch, Calatrava has the ability to outline countless possible variants in form and dimension in just a few rapid strokes. His sketches allow him to hypothesize, examine and mix structural figures and types, both familiar and less well known or forgotten. They draw on vast reserves of mechanical, plant or zoomorphic analogy, transforming them out of all recognition or, conversely, presenting them as dazzling illustrations of the concept. Calatrava shares with Conzett and other young engineers an interest in the works and figures defining the history of the discipline. This is not a detached curiosity – a mere sounding of an evolutionary process – but is, rather, a determined search for examples worthy of study that will fuel the imagination and provide material for constructing hypotheses, for solving cases, for possible inventions.

It has been suggested, by the mathematician Wulf Rehder, that Sherlock Holmes is the hitherto unacknowledged paradigm of Peircian abductions. Holmes, the creation of Sir Arthur Conan Doyle, 'was a systematic collector of historical case-studies and famous examples of uncommon astuteness or ingenuity'. As Rehder explains, Holmes used to study 'the collection as a paradigm in researching elements that, by contrast and analogy, would help him to resolve the case under investigation'.[44] Holmes: a paradigm for the architect and the engineer who have passed through the 'postmodern condition'?[45]

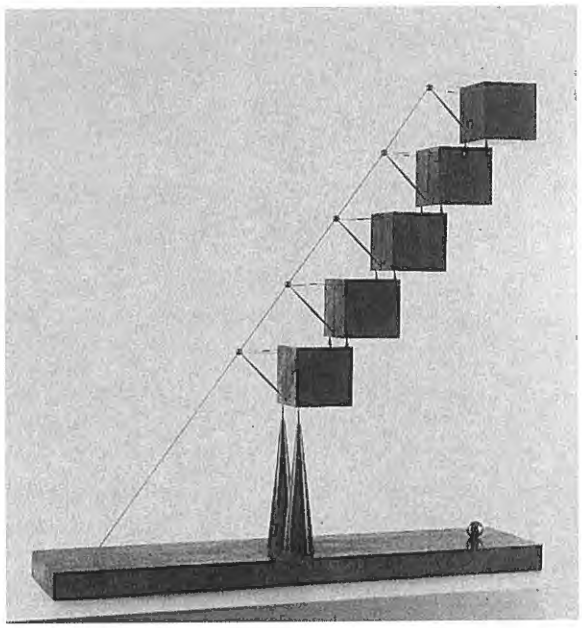
For the architect, a predatory curiosity attuned to history, and more generally to context and actuality, has been deemed essential: the examples of the past offer themselves as fluid entities, imperfect yet ripe for reinterpretation. However, the engineer's scientific methodology has generally prevented him from adopting a similar approach. This is another reason why the paths opened up by Calatrava and Conzett seem so stimulating; all the more so because they diverge both in intention and result, revealing striking and significant differences between their grounding in the profession.

As an architect who was involved in Calatrava's early projects, I can say that we all felt a sense of gratitude for a long-awaited act of liberation: as we contemplated the drawings taking shape at the tip of Calatrava's pencil we had the sense that we were witnessing, at last, the creation of an empathetic relationship binding the forms of the structures to the weight, force, tension and compression of the materials that made them. The registered structural forces that had seemed to lurk so menacingly within the engineer's calculations finally emerged as friendly little sprites amenable to discovery, to staging the spectacle created by the elements of force and structure.

In many recent paeans to engineering we can read about exceedingly daring, totally groundbreaking structures. Personally I do not believe that these structures necessarily go beyond the bureaucratic norms established by the profession's regulatory bodies. From a strictly engineering viewpoint, moreover, I do not think that so much remains (or can remain) to be discovered. What is seldom remarked on, on the other hand, is Calatrava's ability to confer a figurative theatricality on static forms and established structural principles. Similarly overlooked is the pedagogical impact of his bridges, walkways and roof structures. It may be that Calatrava provokes a mean-spirited jealousy among certain engineers, his (private) detractors: 'I could have done that!', they say, (If only I'd thought of it first). This is precisely what Le Corbusier was referring to when he talked about the 'blindness' of the engineer who does not 'know' his own work'. Calatrava, on the contrary, ranks as one of those rare poets of structural self-reflexivity.

Calatrava's structures employ many narrative devices. I will mention only a few here by way of illustration. One device is to divide the forces into elements subject to compression and tension respectively. This division sometimes translates itself into an opposition of materials: concrete for compression and steel for tension. Often the split contrasts elements exposed to normal forces (compressive or tensile) with elements affected by a bending moment: cantilevers or

Above:
Ernsting Warehouse at Coesfeld, Westphalia, 1983–85

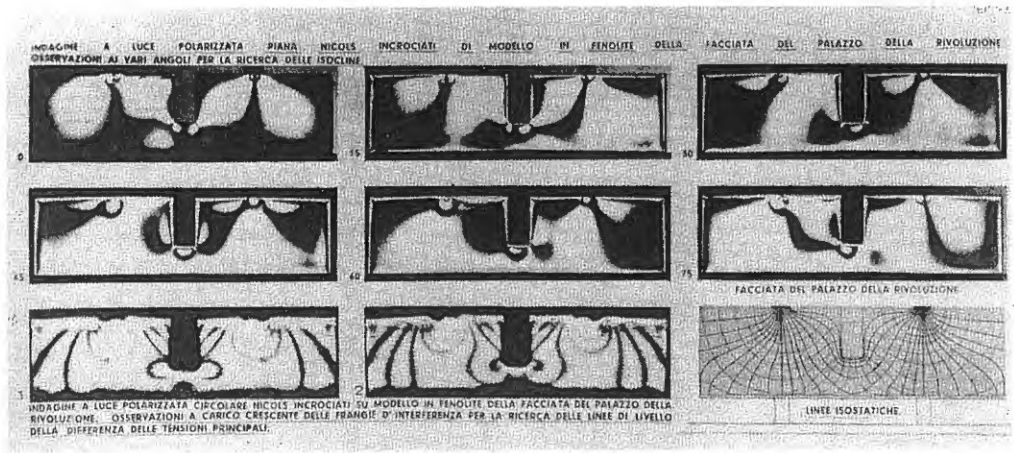


consoles, which then assume the characteristic 'tensed muscle' configuration. Calatrava, fond of individualizing every piece of the structure, also formally indicates the nature of each connecting device, whether it is an articulated hinge or a fixed joint. A recurring element, especially in his early projects, is the immediately identifiable 'spindle' pillar that 'expresses' the permanent load, the resistance to buckling, and the articulation of the hinges at the two ends. The configuration of the truss elements, on the other hand, often proposes an emphatic transcription of the bending moments and demonstrates, unreservedly, any required stiffening against shearing, etc.
Calatrava is a consummate master of the art of surprising his public, assigning unsuspected structural functions to materials that in daily use seem fragile or yielding. This is the case with the beams in the Jakem Works at Münchwilen, Switzerland (1983–84), made of ordinary sheet metal but still capable of spanning around 26 metres. Another fine example of such 'speaking statics' is the fire escape of the Ernsting Warehouse at Coesfeld, Westphalia (1983–85). Two chains functioning as handrails support vertical stanchions that form part of the stair ramp, the base of which thrusts against the same foundation the chains are attached to. These same chains extend to form a parapet to the upper platforms of the stair, but here, liberated from their structural duties, they are no longer straight and tensed but hang in a catenary.[46]
The immense 'lyre' bridge built for the 1992 Seville Expo is another example of 'static–structural narrative', deploying what used (somewhat opportunely) to be called the '*Einfühlung*' effect, i.e. empathetic identification. The beam and pylon form a folded arm whose flexed muscles oppose the tension of the cables. The asymmetry of the structural form, quite unusual in a bridge, is the feature that captures public attention. It can be read as a gesture pointing the way to the Expo – or as a 'dynamic' form, to use the 'empathetic' jargon favoured by many critics.
Some critics charge Calatrava with a level of excess – financial, material and technical as well as intellectual – that could apparently be avoided if he resorted to 'normal' solutions, zero-options that took account of harsh reality. To counter these charges, he could employ the arguments used some years ago by an architect he admires, Carlo

Mollino. It was Mollino who explained that, from an expressive point of view, the most effective solution was not the functionally correct one, but the excessive one, the one that paid little heed to engineering common sense.[47]
There are also projects of Calatrava's that to the layman might seem little short of miraculous, either because some essential element of the static system – the parallelogram of forces? – has been astutely hidden, or simply gone unnoticed because our attention has been drawn by a diversionary effect. The frequent use of tensors enables the creation of those lurching forms that critics like to call 'dynamic', because they seem 'miraculously' arrested in the act of toppling over. In the sculpture *Toro*, two counterposed cubes are prevented from falling outwards by the continuous cable that obstinately twines around three of their faces, reacting to the empty space between them. But to the eye, the absence of a horizontal link from cube to cube produces an impression of serious instability – emphasized by the destabilizing effect of the spacers that are clearly visible below – that raises doubts as to the resistance of the slender cable.
However the most successful example of 'concealment' is offered by the Uribidarte bridge in Bilbao,[48] a bridge improbably suspended on a single arch and tilted to one side.

Above left:
Santiago Calatrava, *Toro* sculpture in marble and stainless steel, 1986

Above right:
Ottoplatz Building in Chur, 1995–98
Hartbertstrasse facade



This asymmetrical suspension – recalling the unilateral suspension of the footbridge over the Rhine-Main-Danube canal at Kelheim (Schlaich Bergmann engineers in collaboration with Ackermann architects, 1986–87)[49] – responds to eccentric forces with its torsional resistance, helped by the curvature of the walkway in plan and the flexural stiffness of the hangers. Calatrava brings into play the rigidity of the hollowed out profile that constitutes the walkway. The torsional stiffness ensured by this form – normally underplayed in this type of suspension bridge – is here emphatically activated, so to speak.

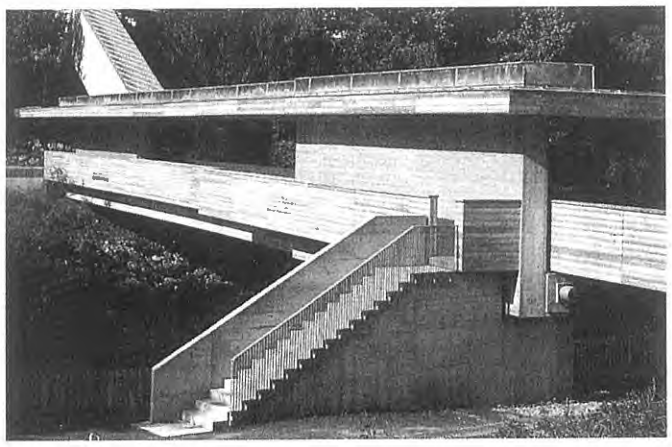
To recapitulate, Calatrava has given us a visual science of construction that is as supple and invigorating as a gymnastic performance – a complete contrast to the anodyne uniformity of so many of the bridges and roof structures constructed all over the globe. It is proof, too, that formal levelling is not the inevitable outcome of objective and immutable laws of construction but is, rather, the result of global forces of coercion exercised over the representations and identity of a profession undergoing a process of rationalization. It can hardly be a coincidence that engineers are beginning to 'strike out on their own' at a time when they are being shoehorned into the same kind of technical professional education that has long been prescribed for their architect cousins. Is there a shared destiny for engineer and architect, that of the contortionist?

The difference between Calatrava and Conzett is not so easy to explain. But the fact that they part company on grounds of structural and aesthetic culture, rather than rational calculation, could be seen as symptomatic of the shift among engineers in the perception and understanding of their role. In an attempt to illustrate the difference between the two approaches, I shall take as my starting point the Ottoplatz Building in Chur, realized with the architects Jüngling and Hagmann, Conzett's collaborators on several absorbing projects. The building forms an isolated block within the trapezoidal site, has set-backs, and deviates slightly from the orthogonal. On the three levels above the ground floor, it has a chequerboard facade that alternates 'solids' in reinforced concrete with 'voids', recessed windows. The window elements are all seemingly the same as each other. The concrete solids are wider (just a little, but perceptibly so) and also apparently equal in size. It's only at second glance that one notices that a few of them are wider than others – but I'll return to this later. The succession of the different storeys can be read plainly on the facade, and the top storey is capped with a solid band of reinforced concrete that forms a kind of parapet.

Facing Hartbertstrasse, the ground floor presents a continuous 30-metre-wide glazed facade, contained at each end by a large concrete slab, above which the chequerboard pattern runs up to the fourth storey. All normal enough, we might say, in a work that appears to be inscribed in the neo-minimalist poetic discourse of recent Swiss architecture. The surprises are reserved for those who wish to know more – for those who peer past the reflections of the glass, past the vertical window mullions and the curtain folds – and who seek out the discreetly recessed columns that undoubtedly support this building, figuratively affirming the impression of solidity. The real surprise is that there are no columns: not a single one along the whole 30 metres – a fact that might trouble the people lounging in the bar next door, if they weren't blissfully unaware of it! There is a trick here, but it's concealed – from view, from our intuition – so it has to be pointed out. The entire facade is an enormous girder, three storeys high and 30 metres from end to end, post-tensioned by a system of cables that crosses it diagonally from top to bottom, passing through the solid areas. Now we understand that the reason for the slight overlap between these wall elements and the vertical alignments is to create enough space within the concrete floors to run the cables through.

Conzett and his two architect acolytes are certainly neither the first nor the only people to have used a girder facade. One was famously proposed in the major competition for Palazzo Littorio in Rome in 1934. The so-called 'Solution A' – by the Milan/Como-based group composed of Carminati, Lingeri, Saliva, Terragni and Vietti, with Bertolini as consulting engineer – envisaged an immense, thick curved wall that was several storeys high and incised at the centre to accommodate an imperial tribune raised off the ground by two beams contained within four granite pillars. The cladding of red porphyry applied to a large slab of galvanized steel was intended to 'reveal on its surface the lines that indicate the tensile and compressive forces of the suspended wall',[51] in other words, the isostatic lines the architects had observed on a Phenolite model exposed to Nicols polarized light. The structural solution is entirely different from that of Chur, but it raises two interesting points. One is that the architects wished to use the cladding – the decoration – to make manifest, to 'illustrate', the structural performance of the girder facade. The other is that the

Above:
'Solution A' for the facade of the Palazzo Littorio in Rome, 1934, based on the isostatic lines observed on a Phenolite model



visualization of an engineering feat was chosen as the emblem for a monumental building celebrating the Fascist revolution, a building intended to take its place alongside the most glorious monuments of Roman civilization.

One of the progressive fronts of Italian architecture thus appropriated an image – an iconic, analogical transcription – of a recent development in the field of construction science (namely, the determination of isostatic lines indicating static stress, in order to calculate the required reinforcement of the concrete) in proposing a structure that associated advances in science and technology with modern architecture, socio-political progress and the Fascist revolution. Never before had construction science been asked to bear such a compromised, politicized message. In stark contrast, the Ottoplatz Building maintains a rhetorical silence.

Further examples of the girder-facade are not hard to find. Mies van der Rohe's 1934 sketch for a 'glass house on a slope' (*Glashaus in Hanglage*) was the inspiration for a holiday retreat designed by Philip Johnson, the Leonhardt House at Lloyd's Neck, Long Island (1956); Craig Ellwood also designed various bridge-houses in this manner (prototype for a Weekend House, 1964, and Goldman House, 1967–8). In each of these examples the facade is 'reduced' to a glazed metal framework: the structure is the message. More ambiguous, semiotically speaking, is the facade of Oscar Niemeyer's long low building at the University of Constantina in Algeria (1969), conceived as an immense concrete girder on widely spaced supports with an uninterrupted series of small circular perforations along its length.

The above examples should be sufficient to highlight the singularity of the prospect at Ottoplatz – a prospect that reveals nothing of the building's structural support. And there's more that's disturbing besides. The kind of gridwork facade used and abused by Italian rationalist architects from the mid-1930s (beginning with Terragni's Casa del Fascio at Como and BBPR's Monument to Victory in Piazza Fiume, Milan, and proceeding through innumerable competition projects for EUR '42) can still be viewed as an emblem, a modern trilithon in reinforced concrete.

This is the rationale offered – and critiqued – by Cattaneo:

> Many modern buildings that purport to be expressions of a rigorous functionality are frequently (indeed almost invariably) spoiled by ornamental pretence, by what I have elsewhere termed 'functional symbolism'. This often happens when architects tell us that they want to 'declare' the load-bearing structure 'on the exterior'...[52]

On the other hand, the chequerboard is archetypically representative of the architecture that in the 1950s and 1960s sought to demonstrate, almost *ad nauseam*, how the facade could be released from any form of static–structural constraint. But Conzett and his two architect accomplices exploit the expectations that have been cultivated, in an almost Pavlovian fashion, among the informed public, and then go on to confound them. For Ottoplatz is a chequerboard that rejects this semiotic convention of late modern architecture. In Conzett's work this erasing or overturning of structural figuration is not an isolated incident, but part of a programme. A precedent was in fact set by the timber footbridge at Murau in Upper Styria, Austria, designed in association with the architects Meili & Peter.

A bridge is, in principle at least, a simple linear object with clearly defined abutments that often express the structure's impact on solid ground. At Murau this principle is violated: the covered bridge engages with both banks via a series of tentacle-like ramps and stairs. But this is not the sole transgression, for the pedestrian is not led across the kind of robust trusswork structure we are familiar with. On the contrary, the bridge is 'reduced' to a parapeted walkway with a horizontal wing forming a roof and a large central void in the very place where we might expect maximum stress. I have said where we might 'expect maximum stress', but the last question to be asked of anyone who might be dancing on the bridge is 'what's it like up there?', for the structural evidence is discreet to the point of invisibility. To experience a shudder of anticipation and then feel reassured; what people generally expect from a bridge is a gestural structure, with everything in plain view. At Murau the structural performance is wholly at the service of self-concealment. Thanks to the engineer's magical art the structure fulfils one of the avant-garde postulates of De Stijl; effacing the 'tragic' aspect of construction, it offers a retort to the proselytizers for a modern 'skeleton and skin' architecture.[53]

A wholly conceptual shudder seizes anyone equipped with some knowledge of structures if they insist on looking above or below the footbridge. For this brings the realization that the functional elements, namely the walkway,

Above:
Murau Bridge, 1993–95

Facing page:
First Traversina Bridge, 1996–99

parapets, roof, tentacular extensions and unexpectedly transparent central space, are all a screen. In the same way that the magician's top hat and the dancers' stupendous sequined body-stockings are all a screen for the stage magician's sleights of hand, they conceal a very special version of a Vierendeel girder: a c. 47-metre-span girder reduced to an immense rectangular frame, stretched lengthwise by the two shear walls shifted to the two sides of the chords (upper and lower). The 'beauty' of this deception lies in the fact that, on the level of an image, it further delays the decodification of the structural principle while itself constituting a structural improvement, by stabilizing the bridge against overturning (with a bigger support surface), as well as ensuring a simple bolted connection of the shear walls to the chords. Is the Murau bridge therefore a static-structural *trompe l'oeil*?

This same game of concealment is reprised in the structural solution devised by Conzett for the Volta School at Basel in collaboration with the architects Miller and Maranta (competition 1996, construction 1998–2000): a caisson construction in which the reinforced-concrete wall and floor slabs act as load-bearing elements over four levels, achieving a span of 28 metres without any sort of girder. Here, the engineer's cunning injunction is to 'move along now, there's nothing to see'. The fragmented and labyrinthine spatiality of the school, so imaginative and responsive to the site, effectively disorients any curious visitor who might still be clinging to the belief that simplicity and transparency are what constitute an 'honest' construction.

There are a number of comparisons of approach between the two engineers that would reward closer examination, but I shall focus on one in particular. In the present panorama of 'tectonic' research, Calatrava and Conzett seem to represent the two opposite poles of 'structural poetry'. Calatrava is the fabulist, a creator of static systems that present themselves as visual spectacles, complete with the feints, hammer blows and lunges of an all-in wrestling match. Calatrava's engineering is Catholic and baroque, astonishing and seductive. Conzett, at least in the works described here, seems instead to embody the 'Protestant' wing, iconoclastic in the sense that it renounces the use of images and proceeds via 'ellipses' and 'reticence'. Fontanier, a late master of teaching the art of polite conversation to young ladies, defined reticence as 'abruptly breaking off mid-sentence, so as to make understood, through the few words one does say, and with the aid of circumstances, that which one affects to suppress, and often even more than that'.[54]

Other works by Conzett, such as the acrobatic Traversina Footbridge, completed in 1996 and unfortunately destroyed by a rockfall in 1999, reveal a completely different kind of expressive register – the private amusement of someone who, more scientific than artistic in his approach, sees his own work within the historical continuity of the discipline. In this context, engineering problems and solutions are part of a common 'toolbox'. Conzett's predecessors are his guarantors – their work is alive still. For proof of this we need only read his fine project description for the bridge, in which he locates and explains the idea of his three-chord truss girder in terms of preindustrial structural attitudes.[55]

The Traversina Bridge offers a pretext for drawing some sort of conclusion regarding an aspect of Conzett's work that I've referred to earlier and that seems to me the determining, incontrovertible object of his preoccupations, both technical and aesthetic. I refer to the process – to the timing and form of the installation of the work – considered in all its implications. The precipitous slope of the Viamala site, the fact that the elements had to be prefabricated and then transported to the site by helicopter, the consequent imposition of a maximum weight limit, the minimizing and simplification of onsite construction to reduce costs and risks, etc. – are all factors which contributed to the complex, hybrid image of the bridge. The structure itself is an ingenious joining of two elements brought separately to the site as required. The first is a lightweight three-chord truss girder that serves as a supporting substructure, while the other, at the very limits of the helicopter's capacity, is a walkway that, working in synergy with the substructure, stiffens, stabilizes and protects the most vulnerable part of the girder, the upper compression chord made of larch glulam beam. 'The Traversina Footbridge', writes Jürg Conzett 'is structurally an overlaid complex system of high redundancy'. This structural redundancy, intended to facilitate the individual replacement of damaged elements over time, is expressed in the complex, dense, almost intricate image of the footbridge. It is a redundancy whose beauty we can only fully appreciate if we add the 'intellectual' dimension of temporality – meaning the temporality of the construction site and the temporality of the bridge's life-span: a chronometric duration, implying a resistance to both tempests and the tempo marked out by walkers' feet.

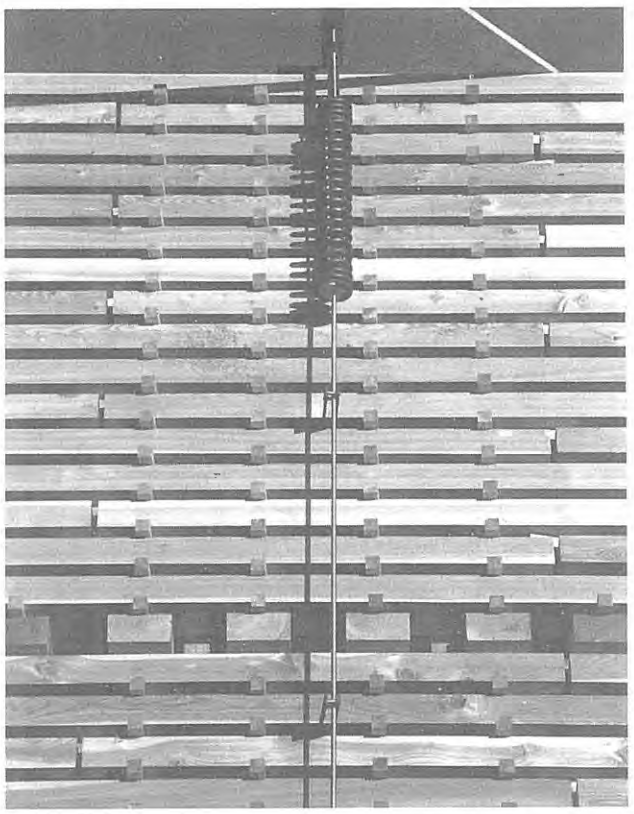
Duration, as a theme, a subject for a work, found its most complete expression in the Swiss pavilion for the Hanover 2000 Expo, where the highly original architectural concept devised by Peter Zumthor suggested a congenial extension of this structural approach. Since duration is a constitutive factor of an exhibition, which is, by definition, an ephemeral event, Zumthor conceived a pavilion whose constitutive structural element directs us, unequivocally, to the notion of the 'temporary'. He chose the image of the woodstack, a familiar sight by sawmills in our villages: enormous planks, meticulously stacked and sawdust-scented, suggesting a moment of suspended activity, the process of drying by which wood assumes its working character and becomes ready for despatch to workshops and builders' yards.
Assembled without nails or screws (since the timber was earmarked for other uses at the end of the expo), the stacks were held together solely by vertical, post-tensioned connecting rods. The pavilion constituted a 'living organism', as the engineer put it: during the course of the exhibition it passed from a median humidity of 22 per cent to 14 per cent, losing weight and shrinking in the process. Constant adjustment and maintenance were required.

> Operating and maintaining a living structure of this kind demands as much attention as the process of construction itself. Stress controls are carried out on a weekly basis. For this purpose each spring has two shrinkage gauges that are easy to read and monitor. If the spring shows a shortening of 90 mm or more, post-tensioning becomes necessary.[56]

Monitoring and adjusting the tension of the springs, checking the weights of the woodstack walls, protecting the tension elements from corrosion, etc., all required a dedicated maintenance team, as Jürg Conzett has explained.
By halting here, at this image of the woodstack, without taking into account the experimental aspect of this workshop-building or the process of the event – the Happening – we are denying ourselves a profound and cunning message as to the temporal significance of every work: a message pondered by the architect in deep complicity with his engineer.

1 *Industriekultur: Peter Behrens and the AEG 1907–1914*, Cambridge, Mass. 1984, edited by Tilmann Buddensieg in collaboration with Henning Rogge and translated by Iain Boyd White, is a rich mine of information and interpretations. It is also the source of the translations of a number of the quotes reproduced here. See also Julius Posener, *Berlin auf dem Wege zu einer neuen Architektur. Das Zeitalter Wilhelms II*, Munich [1979] 1995, particularly the chapters 'Fabrikbau' und 'Die Jüngeren und die Jüngsten'; Mechthild Heuser, 'Die Fenster zum Hof. Die Turbinenhalle, Behrens und Mies van der Rohe', in *Peter Behrens – Wer aber will sagen, was Schönheit sei?*, edited by Hans-Georg Pfeifer, Düsseldort 1990; Karin Wilhelm, *Walter Gropius: Industriearchitekt*, Braunschweig/Wiesbaden 1983, especially pp. 50–5.
2 Wilhelm Worringer's *Abstraktion und Einfühlung*, Munich 1908, provided architects and artists with a convincing introduction to so-called 'primitive forms': Egyptian architecture, archaic Doric, etc. There was also a growing interest around this time in non-Western art.
3 Karl Scheffler, *Die Architektur der Grossstadt*, Berlin 1923, p. 47.
4 The distinction referred to by Karin Wilhelm (op. cit. note 1) among others was postulated at a lecture given by Gropius on 10 April 1911 at the Folkwang Museum at Hagen: see the typescript in the Bauhaus Archive Berlin (West), Gropius-Sammlung 20/3, reproduced in Hartmut Probst and Christian Schädlich (eds.), *Walter Gropius – Band 3: Ausgewählte Schriften*, Berlin 1988, pp. 28–51. The theme had already been comprehensively addressed by Behrens in a lecture, 'Art and Technology', delivered on 26 May 1910 and reproduced in various publications, including *Industriekultur: Peter Behrens and the AEG 1907–1914*, pp. 212–9.
5 Behrens, 'Art and Technology', reproduced in *Industriekultur*, p. 213.
6 *Walter Gropius – Band 3: Ausgewählte Schriften*, op. cit. p. 33.
7 Behrens, 'Art and Technology', reproduced in *Industriekultur*, p. 213.
8 Alois Riegl, in his introduction to *Spätrömische Kunstindustrie*, Vienna 1901, caricatured the opposition between so-called 'Semperian materialism' and the idealistic theory of artistic volition (Kunstwollen).
9 Peter Behrens, 'Die Turbinenhalle der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft in Berlin', first published in *Mitteilungen des Rheinischen Vereins für Denkmalpflege und Heimatschutz*, vol. 4, no. 1, 1 March 1910, pp. 26–9, and reproduced in *Industriekultur*, p. 210 ff.
10 ibid. p. 210.
11 ibid.
12 ibid.
13 Karl Bernhard, 'Die neue Halle für die Turbinenhalle der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin', in *Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure*, vol. 55, no. 39, 30 September 1911, pp. 1625–31 and 1673–82, reproduced in *Industriekultur*, p. 250 ff.
14 Wilhelm, Walter Gropius: *Industriearchitekt*, op. cit. p. 138, note 381.
15 Behrens, 'Art and Technology', reproduced in *Industriekultur*, p. 217.
16 ibid.
17 ibid.
18 Cf Umberto Eco, *Opera aperta*, Milan 1962, as well as the introduction to the second edition of 1967.
19 Behrens, 'Art and Technology', reproduced in *Industriekultur*, p. 217.
20 Mies van der Rohe designed the side facade of the Turbine Hall; the circumstances of this collaboration are reconstructed in Mechthild Heuser, op. cit. In retrospect Mies did not have a high opinion of the building, writing in a tract of 1928 that 'whosoever builds a factory as a temple, lies and disfigures the landscape' (quoted in Fritz Neumeyer, *Mies van der Rohe: Das kunstlose Wort – Gedanken zur Baukunst*, Berlin 1986, p. 104). Before that, in the journal *G2*, Mies had criticized the use of rounded corners in concrete structures without directly naming the Turbine Hall.
21 Christian Ludwig Stieglitz asks in his introduction to *Baukunst der Alten* (1796) whether architecture should not be categorized as a *mechanical* rather than a fine art, since it was subject to the limitations of use and technique. For more on this perennial theme of the nineteenth century, which had its origins in Kant's critique of pure reason, see Sebastian Müller, *Kunst und Industrie – Ideologie und Organisation des Funktionalismus in der Architektur*, Munich 1974, chapter 1.
22 *ABC – Beiträge zum Bauen* was published in Zurich between 1924 and 1928. Founded by Mart Stam and a group of Swiss architects including Hans Schmidt and Emil Roth, it published contributions by El Lissitzky and Hannes Meyer, among others.
23 Le Corbusier, 'Défense de l'architecture', in *L'Architecture d'aujourd'hui*, no. 10, 1933, an issue devoted to Le Corbusier and Pierre Jeanneret.
24 Le Corbusier, *Précisions*, Paris 1929, p. 35 (p. 34 in the English edition translated by Edith Schreiber Aujame).
25 Henri Poincaré, *Science et Méthode*, Paris 1908, p. 25. See also Bruno Reichlin, 'Solution élégante', in *Le Corbusier, une encyclopédie*, edited by Jacques Lucan, Paris 1987.
26 Le Corbusier, *Urbanisme*, Paris 1926, pp. 58–9 (p. 62 in the English edition, *City of Tomorrow*, translated by Frederick Etchells).
27 Le Corbusier, *Oeuvre plastique – peinture et dessins, architecture*, Paris, n.d., published 1938, unpaginated.
28 Antoine Picon (ed.), *L'art de l'ingénieur: constructeur, entrepreneur, inventeur*, Paris 1997, catalogue to an exhibition of the same name at the Pompidou Centre.

Facing page:
Swiss Pavilion, Hanover 2000 Expo



29 Picon, introduction to *L'art de l'ingénieur*, op. cit. p. 23
30 Keyword 'invention', defined by Bill Addis, in *L'art de l'ingénieur*, op. cit.
31 Christian Menn, public lecture on the occasion of his 60th birthday at the ETH in Zurich, quoted from memory.
32 On the significance of process for the engineer see also Tom F. Peters, *Transitions in Engineering, Guillaume Henri Dufour and the early 19th Century Cable Suspension Bridges*, Basel/Boston 1987, pp. 8–12, and David P. Billington, *The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering*, New York 1983, pp. 209–12.
33 The architect César Daly (1811–1894) was known above all as the founder and publisher of the famous *Revue générale de l'architecture*, which had the express aim of futhering exchange between engineers and architects. See the introduction to *L'art de l'ingénieur*, op. cit.
34 Damien Metry, 'Pérennité des ouvrages en béton armé d'Alexandre Sarrasin', in *Alexandre Sarrasin, structures en béton armé – audace et invention*, edited by Eugen Brühwiler and Pierre Frey, Lausanne 2002, pp. 27–36.
35 Picon, introduction to *L'art de l'ingénieur*, op. cit.
36 On the theme of the end of art, which is only touched on here but which merits further exploration, particularly in relation to architecture, see Dino Formaggio, *La morte dell'arte e l'Estetica*, Bologna 1983, or the more recent work by Hans Belting, *Das Ende der Kunstgeschichte – eine Revision nach zehn Jahren*, Munich 1995. Karel Teige put it succinctly, 'Constructivism is the negation of aesthetics and the traditional conception of art. It announces the death of art', *Stavba*, vol. VII, nos. 1–2, 1928.
37 Hannes Meyer, 'All things in this world are a product of the formula : (function times economy) ; all these things are therefore not works of art ; all art is composition and thereby runs counter to use. All life is function and therefore inartistic....', in *bauhaus zeitschrift für gestaltung*, Dessau, no. 2, 1928. This declaration forms the point of departure for Karel Teige's essential criticism of Le Corbusier's Mundaneum project and the values it expressed. Teige, 'Architecture as an art believes that its task begins at the point where construction – the rational work of the engineer – ends, or so Le Corbusier thinks. Architecture as an art builds for "the glory of God", says Poelzig, and is not bound to a purpose. This means that a proper architect has to add something "more" to a functional solution. If this something "more" serves a purpose and improves functionality, then it is just use and functionality and nothing more. Alternatively, it can ignore use, in which case it is superfluous and harmful, in other words always something "less". Aesthetic measures in the production of useful things, which includes architecture, always lead to objective deficiencies and that is without doubt their defining characteristic', in 'Mundaneum', *Stavba*, vol. VII, no. 10, 1929. Quoted in the Italian edition of the writings of Karel Teige, *Arte e ideologia*, Turin 1982, vol. 1.
38 According to the French philosopher Gaston Bachelard (1884–1962), scientific activity must be counterbalanced with a social reality, a *cité scientifique* or consensus of all those who are concerned with a particular theory or technique. The idea is described in his posthumously published collection of writings, *Epistémologie. Textes choisis*, Paris 1971.
39 See Massimo A. Bonfantini in the introduction to *Charles S. Peirce, Le leggi dell'ipotesi, antologia dai 'collected papers'*, Milan 1984, p. 10.
40 Charles S. Peirce, *Collected Papers*, Cambridge 1931–35, 5.145, quoted in Bonfantini, op. cit.
41 Charles S. Peirce, 'Guessing', a text published posthumously in *The Hound and Horn*, February 1929, pp. 267–82, quoted in Umberto Eco und Thomas A. Sebeok (eds.), *The Sign of Three: Dupin, Holmes, Peirce*, Indiana 1983, p. 35.
42 Peirce, *Collected Papers*, op. cit., 5.181.
43 Pairce, 'Guessing', op. cit. pp. 29–33.
44 Wulf Rehder, 'Sherlock Holmes, Detective Filosofo', in Eco and Sebeok, op. cit. p. 272.
45 See Jean-François Lyotard, *La condition postmoderne*, Paris 1979
46 The project and the built work are comprehensively documented in *Lotus International*, no. 45, 1985, pp. 5–27, with contributions by Pierluigi Nicolin, Werner Oechslin and Luca Ortelli.
47 Carlo Mollino, on the occasion of a symposium, 'Fedeltà o evasione dalla funzionalità o dalla razionalità', organized on 24 April 1952 by the Associazione Pro Cultura Femminile di Torino. For more on this see Bruno Reichlin, 'Figure di un'architettura al limite', in *Carlo Mollino (1905–1975): architettura ed altro*, special issue of *Periodico di Arti figurative e di Cultura*, Porti di Magnin, May 1997, pp. 5–8.
48 Kenneth Frampton, Anthony C. Webster, Anthony Tischhauser, *Calatrava Bridges*, Basel 1996.
49 Annette Bögle (ed.), *leicht weit / light structures: Jörg Schlaich, Rudolf Bergermann*, Munich/Berlin 2004.
50 Heinz Wirz, Walter Zschokke, *Bauwerke: Dieter Jüngling und Andreas Hagmann*, Lucerne 2002.
51 Francesco Tentori, 'La Mostra della rivoluzione fascista e alcuni progetti di Giuseppe Terragni', in the catalogue *Giuseppe Terragni*, edited by Marco de Michelis and Giorgio Ciucci, pp. 241–55.
52 Cesare Cattaneo, *Giovanni e Giuseppe – Dialoghi di Architettura*, Milan 1941, p. 192 [new edition edited by Ornella Selvafolta, Milan 1993].
53 Van Doesburg criticized contemporaries such as Berlage and Perret for insisting on the display of the structure. 'Building in a creative way does not mean laying bare the joints and skeleton of a structure. In such a case the activity of building is anatomically exposed in the same way that the activity of painting was during the period of naturalism. Theo van Doesburg, 'Von der neuen Ästhetik zur materiellen Verwirklichung', in *De Stijl*, March 1923, p. 10. Piet Mondrian added that Neoplasticism 'could remove the tragic aspect of construction, and make architecture live' (in a letter to Alfred Roth of 26 June 1933, published in Alfred Roth, *Begegnung mit Pionieren*, Basel/Stuttgart 1973, p. 174).
54 Pierre Fontanier, *Les figures du discours*, Paris [1821] 1968, introduction by Gérard Genette. Fontanier lists seven 'figures d'expression par réflexion'.
55 Jürg Conzett, 'Der Traversiner Steg', in *Schweizer Ingenieur und Architekt*, nos. 1–2 1997.
56 Conzett, 'Klangkörper Schweiz', in *Deutsche Bauzeitung*, no. 9 2000 (see also pp. 208–13 of this publication).

Structure as Space

Uniting all the projects in this section is a particular kind of innovation that arises not from the use of new materials or spectacular structural systems, but rather from the incorporation of external, non-structural considerations into the form. A readiness to allow external factors to 'interfere' with the work – even become a driving force in it – is an essential part of an approach that attempts to reconcile the competing demands of engineering, architecture and other disciplines such as construction management. This synthetic approach, I am convinced, offers functional and economic advantages as well as greater intellectual satisfaction.

Contrary to the current trend for displaying the static forces or structural behaviour, the buildings here do not set out to reveal some 'solo' contribution on the part of the engineer. The use of a load-bearing system to create a representative facade for the Ottoplatz Building can be seen as a manifesto for greater collaboration between architect and engineer. The design of the facade is not solely derived from practical considerations: it also invites a reaction.[1] At Ottoplatz, the origin of the chequerboard system of self-supporting corridor walls remains concealed from the uninitiated – without a section, no more than one level can be perceived at a time. And while the exposed concrete surfaces of the Volta School allow one to locate the load-bearing structure, the effect of this structure can only be understood if one is aware of the spatial connections through all levels of the building.

With timber construction the issue of revealing and concealing is of central importance, because of the need to protect the wood. The facade structure of the Swiss School of Timber Technology in Biel, which was carefully developed around the requirements of the fenestration, is simultaneously concealed and explained by the cladding hung in front of it. Issues of assembly and construction management had a huge impact on the design of the building. These technical issues were highlighted in the pedestrian bridge at Murau where the design, based around torsionally stiff chords, could not have been achieved without the contractor's expertise in bridge-building and nail-glueing techniques. Finally, the discovery that even an ordinary diamond-truss could offer a new outlook to waiting air travellers, was the surprising and pleasing outcome of our work on the competition for a temporary gate at Zurich airport.

Since frequent reference is made in this section to the combined action of slabs and plates (in German 'Scheiben' and 'Platten'[2]), I will outline on the following pages the basic structural principles at work.[3] JC

Notes

1 The facade has a provocative quality like that of the facade of the Maison du Peuple in Brussels, which was described by Colin Rowe in this way: 'Horta's [work] is predominantly a polemic... Horta invites a reaction, and, accordingly, the Maison du Peuple exhibits a humanity...'. See Colin Rowe, 'Chicago Frame' in *The Mathematics of the Ideal Villa and Other Essays*, Cambridge, Mass. 1976, p. 101.

2 German uses these terms to indicate two different kinds of forces – a precision unavailable in English. The same component can be either a 'Scheibe' or a 'Platte' depending on load effect. The designation has nothing to do with the spatial situation (wall or floor or skewed element in a polygonal arch). The impossibility of translating the terms into English inspired Tom Peters' lecture on creative misunderstandings, in which he wryly observed that you could not hope to understand the work of Robert Maillart if you only spoke English.

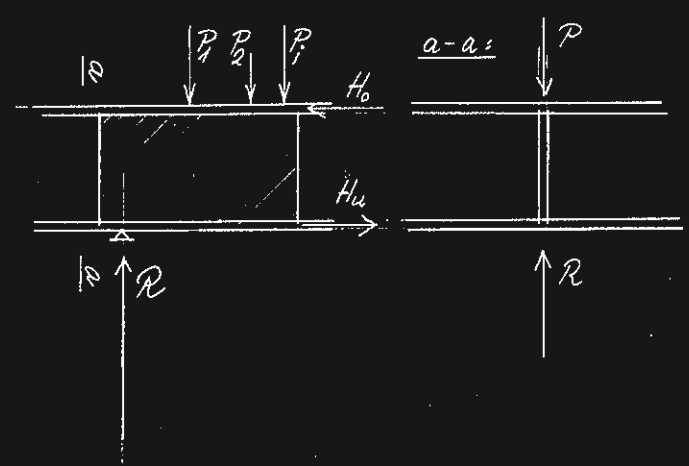
3 One source here is Stefan Polónyi's book, *Mit zaghafter Konsequenz: Aufsätze und Vorträge zum Tragwerksentwurf*, Braunschweig 1997.

1. The basic module of composition is the simple wall slab.

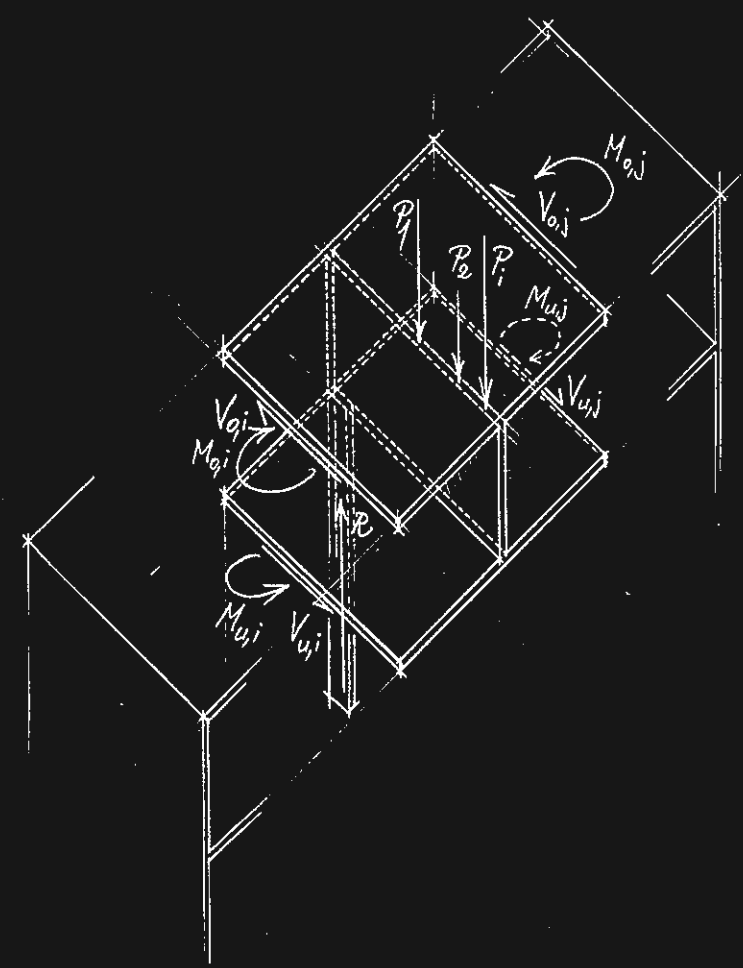
2. If this slab is stabilized horizontally by the floors above and below it, it cannot rotate. (As a rule floors are horizontally stable if they are connected to stiff stair cores or facades with few perforations.)

If the individual wall slab cannot turn, it may also be supported off centre. The floors now have to act as horizontal slabs to transfer the reaction forces Ho (above) and Hu (below) generated by the wall slab to their horizontal bearing points – the above-mentioned core.
The floors act like horizontal beams.

1



2.



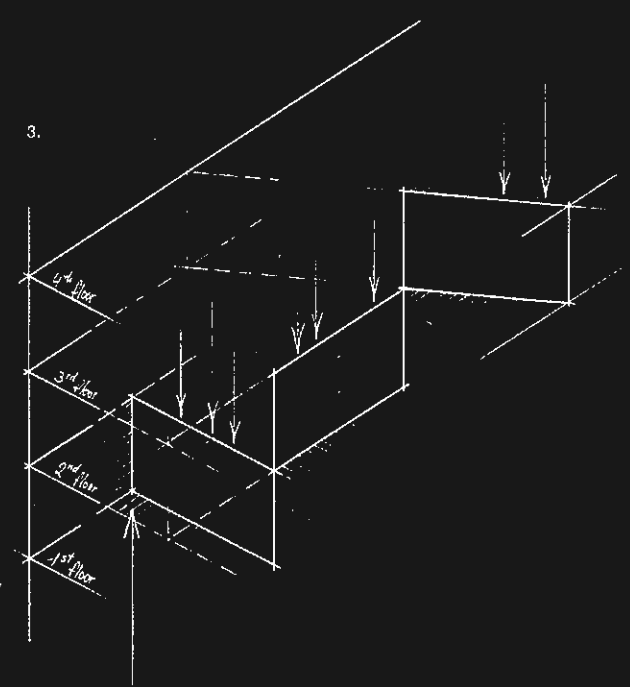
3/4. A wall slab can also serve as a support for another wall slab branching off from it in a different direction. This too can be placed on the floor above or below it. To sum up, provided that the floors are horizontally stable, a wall slab supported at any point can be used as a static load-bearing element. This principle can be extended to structures without a core. A series of connected wall slabs – whether curved or polygonal – acts in the same way overall as a single level wall slab.

5. Consider the sequence as broken into individual wall slabs. If the ends of the sequence, A and B, are each subject to equal and opposite forces, constant shear flows will arise between the wall slabs and floors, independently of how the individual slabs are arranged between the points of loading.

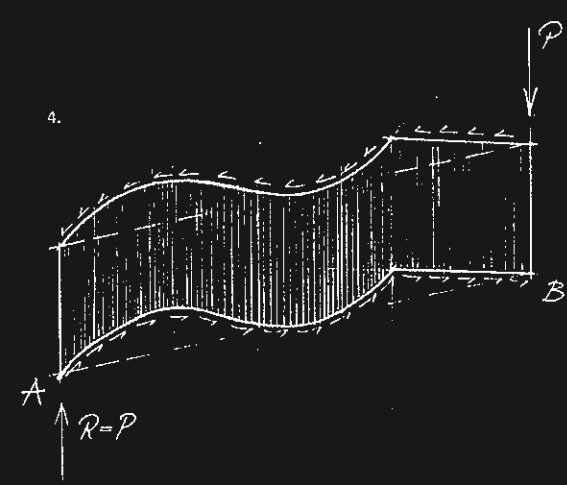
6. The shear flow at any given location can be broken down at the level of the slab into two components – one parallel to the line A–B and the other perpendicular. Since the curved or branching line between A and B is continuous, each component perpendicular to line A–B has a counterpart running in the opposite direction; the sum of the right-angled components is nil, while the sum of the components parallel to line A–B equals the shear flow multiplied by the length A–B.

7. Normally in order to be stable a wall-and-slab system composed of plane elements must have a minimum of three point-supported slab elements arranged in different directions, so that their vectors do not run into a single point. In general terms this means:
A wall-and-slab spatial system is stable if it has at least three pairs of bearing points, connected to each other by continuous lines of wall slabs. A single bearing point may form part of several pairs, but the continuous lines may not overlap along their entire length.
So, for example, these systems are stable.

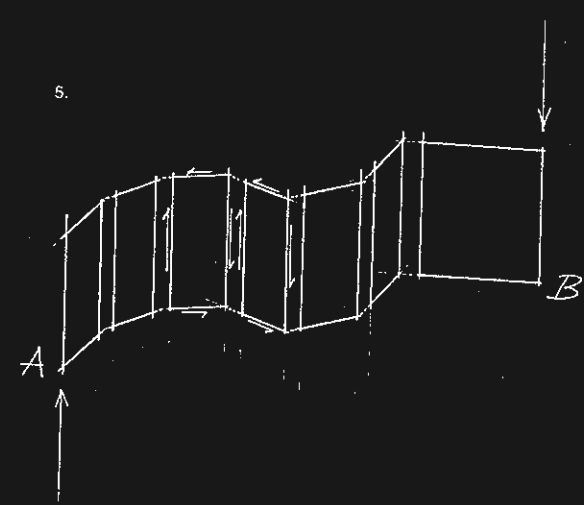
3.



4.

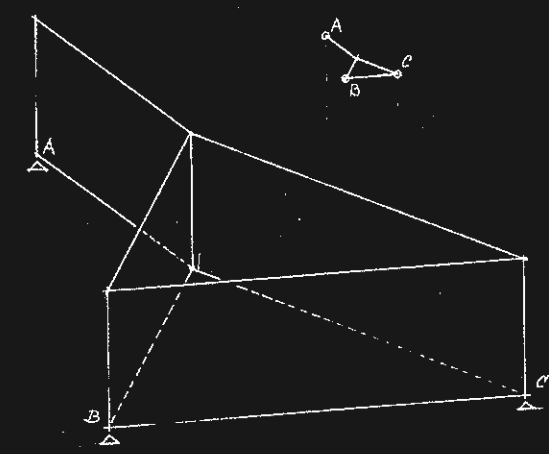


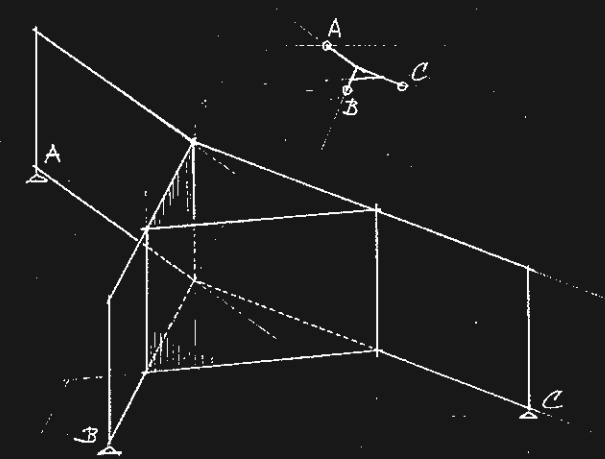
5.



6.

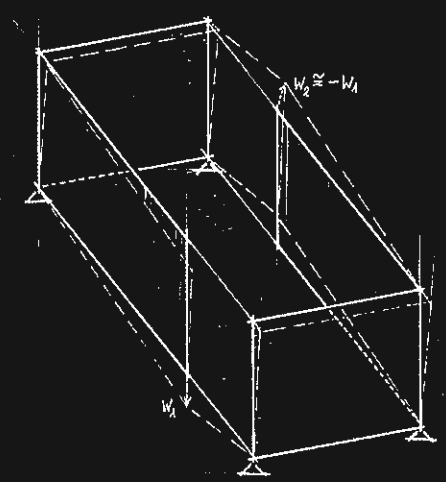
7.

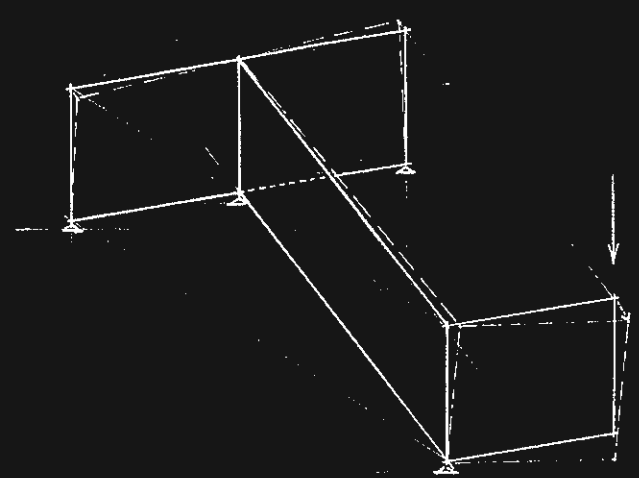




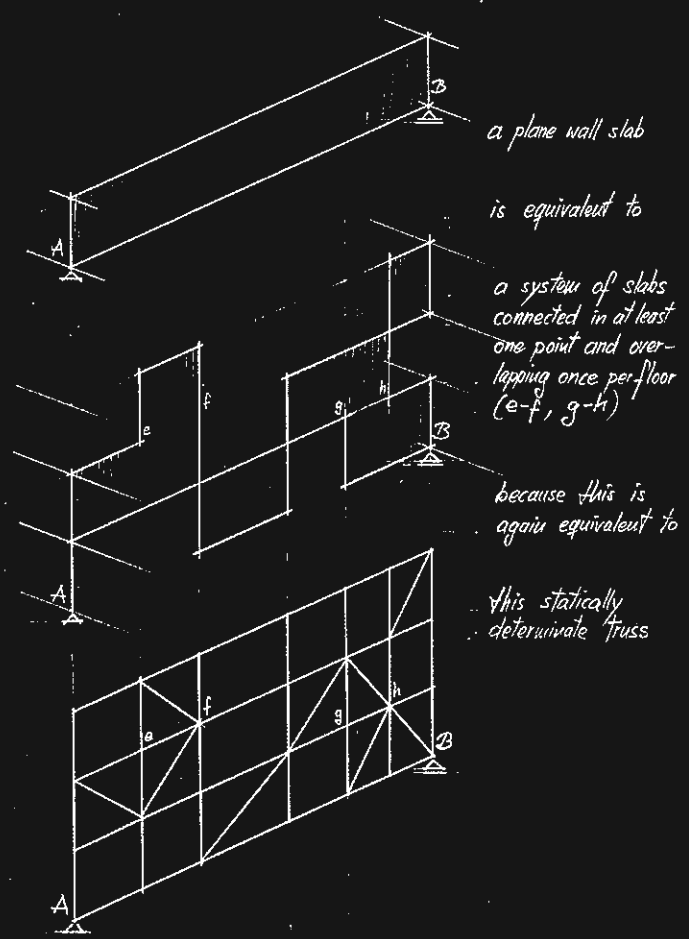
8. Whereas this one is not.

9. Neither is this one.



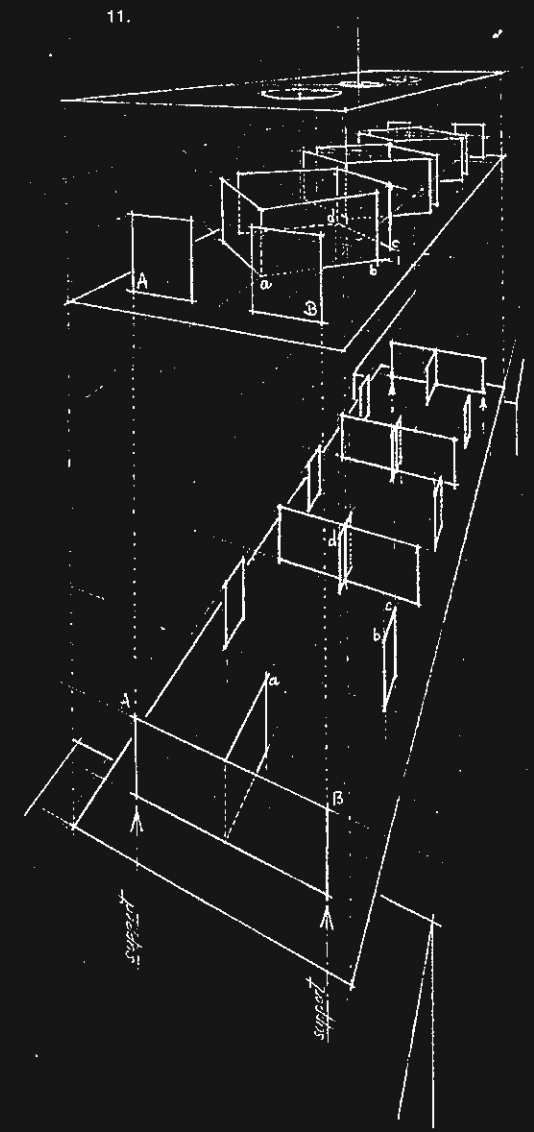


10. This principle extended to a multi-storey building.



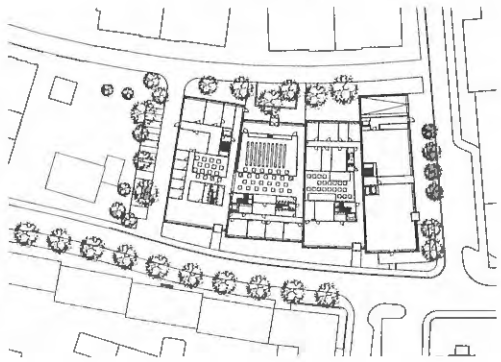
11. Self-supporting buildings can also be developed using these principles. One example is this two-storey 'bridge house'.

11.



DENNER
DENNER-Satellit

Ottoplatz Building
Chur
1995–98



In some respects the Ottoplatz Building exemplifies the problems of contemporary urban construction. The complex spatial brief called for some flexibility: requirements for floor space and lighting varied, and not all end users were known. In addition, the building was to be representative of an important public institution. The need for a range of different room types posed problems for both the structure and the construction process, yet these were resolved in an unusual way. Above ground, the building's floors, corridor walls and facades are linked to form rigid boxes with spans of 20 to 30 metres, supported only by the dividing walls of the individual building segment. The structural discipline imposed on the long-span walls, which act as beams, produced a diamond pattern of solid areas that together create a truss-like system within the wall. All openings for corridor doors and windows are arranged in a chequerboard pattern. This structural concept defines many of the building's characteristic features. The upper floors are organized as a double band: the walls of the corridors are fixed and permanent, but the office space they serve is freely divisible. The floors behave both as supporting membranes and as the flanges of the principal load-bearing beams. Most importantly, perhaps, the entrance floor is freed from the supporting structure, creating large, adaptable hall-like spaces suitable for meetings and conferences. This horizontal transfer of load over the entrance level also allows the geometry of the above-ground office and living accommodation to be completely independent of the structure for underground parking. Both strength and stability are achieved without spectacular support structures: the building creates these by itself, so to speak, as the bearing function is carried by elements that would be part of the structure in any case, namely wall and floor slabs. Above ground, there is no need for multiple columns or binding beams – the perforated walls are all that is required.

Architects:
Jüngling & Hagmann, Chur
Collaborators:
Reto Tobler, Manuel Salvator

Left:
Detail of north facade. The horizontal elements are of poured concrete, whereas the precast wall panels are made of Muschelkalk aggregate, polished and then sandblasted.

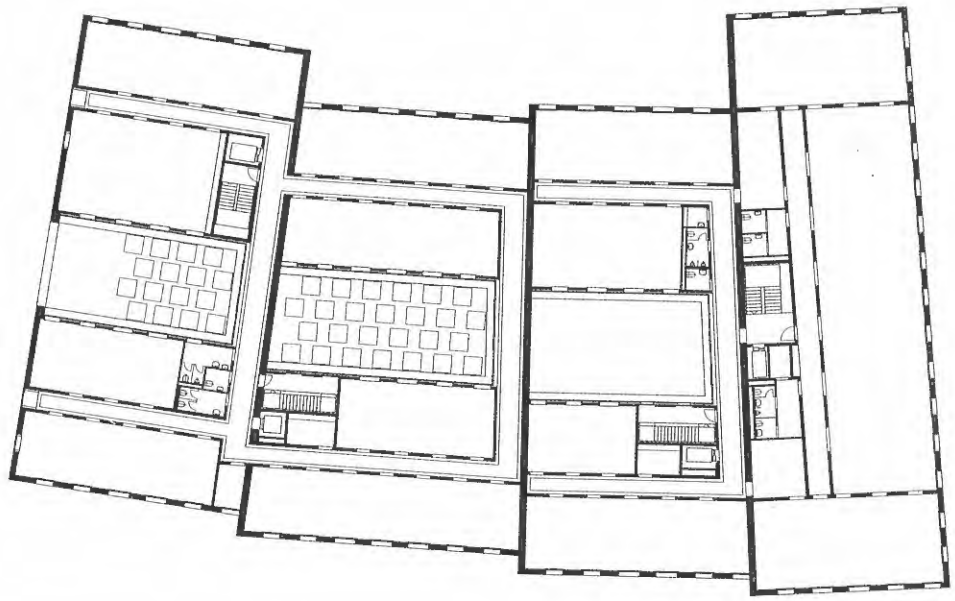
Right:
Site plan and ground-floor plan. Though unified by a single structural principle, all of the facades respond in different ways to their urban surroundings.

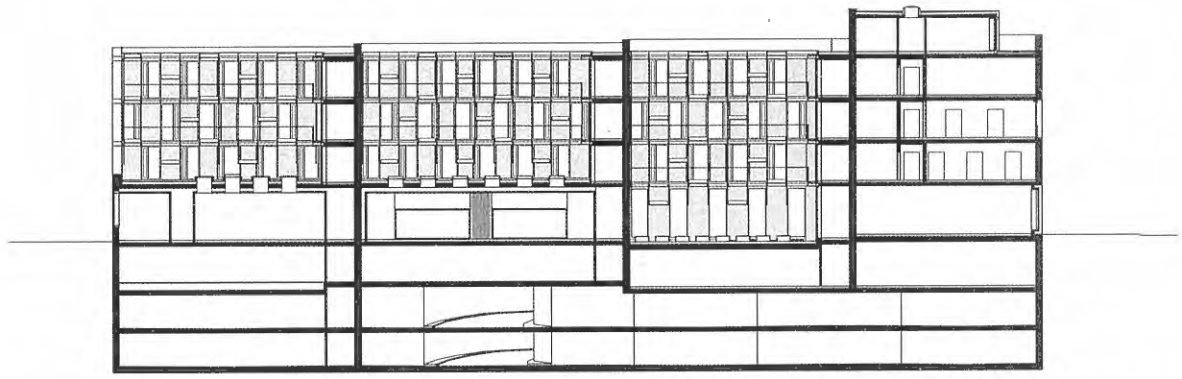
From top:
Plan of upper level showing
load-bearing elements
Longitudinal section
Cross section

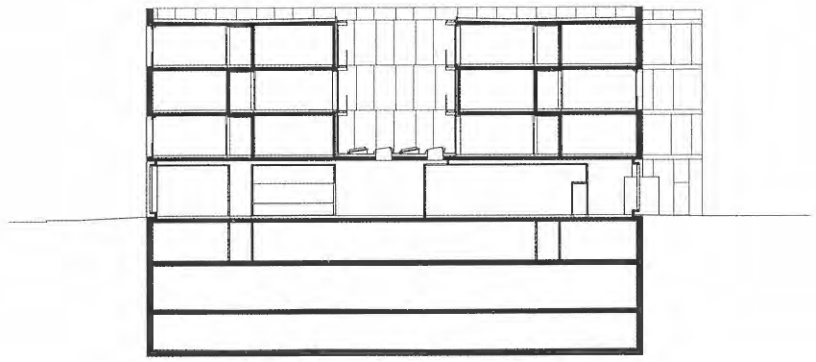
038

Ottoplatz Building
Chur
1995–98

The walls differ from those of a traditional structure in only two respects: the insertion of post-tensioning cables to take up the tensile forces, and the use of concrete rather than plasterboard. Whereas the wall slabs of the internal corridors are of poured fair-face concrete, the facade is made of precast concrete panels that have a polished and sandblasted finish. The load-bearing structure is made visible in the facade, as a formal principle. While this arrangement may initially seem unusual, its effect is wholly practical: the most robust parts of the external wall protect the delicate windows and shades fixed internally to the shell. The insulation is on the same plane as the window: to avoid thermal bridges it is carried through the interior – through the floor void and above the suspended ceilings.
The upper floors are stiffened horizontally by the various circulation cores around the stairs and lifts. There are no joints anywhere in the building (though temporary contraction joints were used during construction). Because most of the structure is internal, the temperature of the building remains practically constant. The elements of the facade are held in place by the inner part of the building (similar to the way that railway tracks are welded through their base) and they react to heat and cold through changes in tensioning. Cracks are prevented by the high degree of post-tensioning.
A traditional frame structure, though not as adaptable as the Ottoplatz Building, has one distinct advantage: its organizational simplicity. The architect defines the grid, while the engineer does his utmost to minimize the size of the columns. This requires cooperation at an agreed minimum level, within clearly defined areas of responsibility. By contrast a wall-and-slab building generates a series of possibilities for conflict, as each floor of the carcass must be designed jointly by the architect and the engineer, and a decision taken by one party invariably affects the work of the other. And it is this, rather than any demanding technical issue, which presents the main obstacle to a more widespread application of this functional and cost-effective construction method.

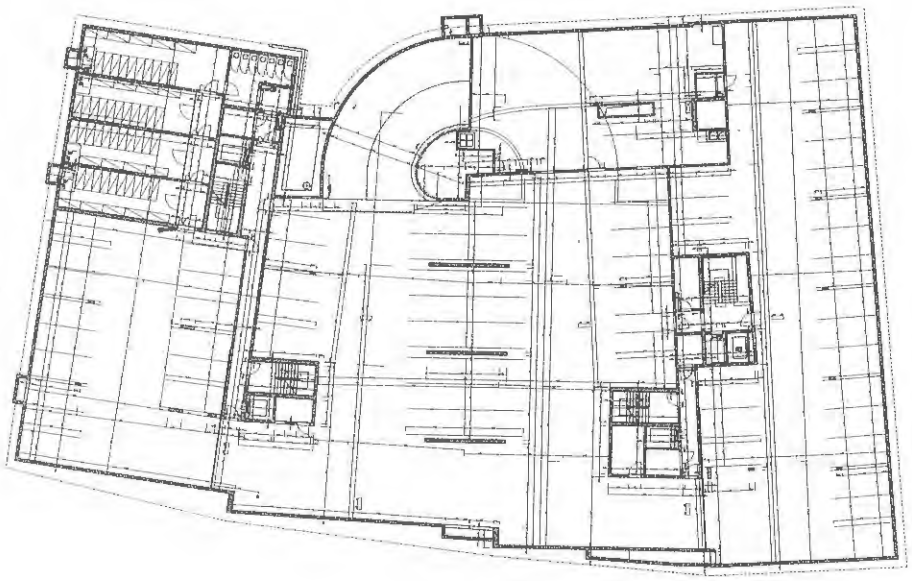


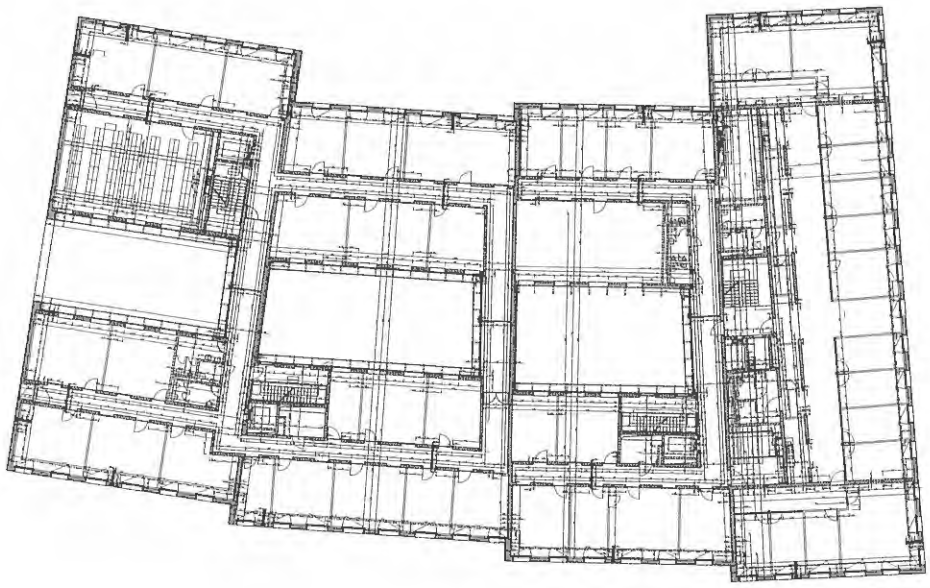


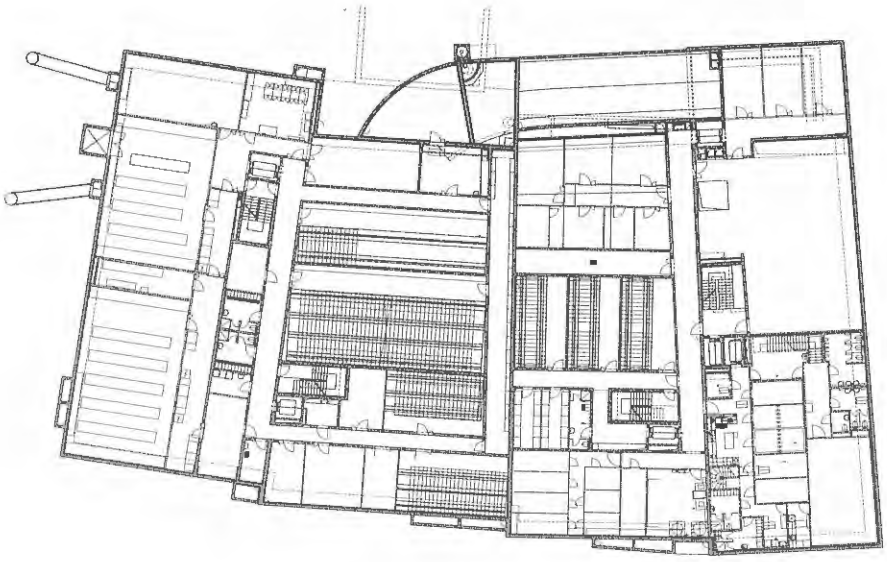


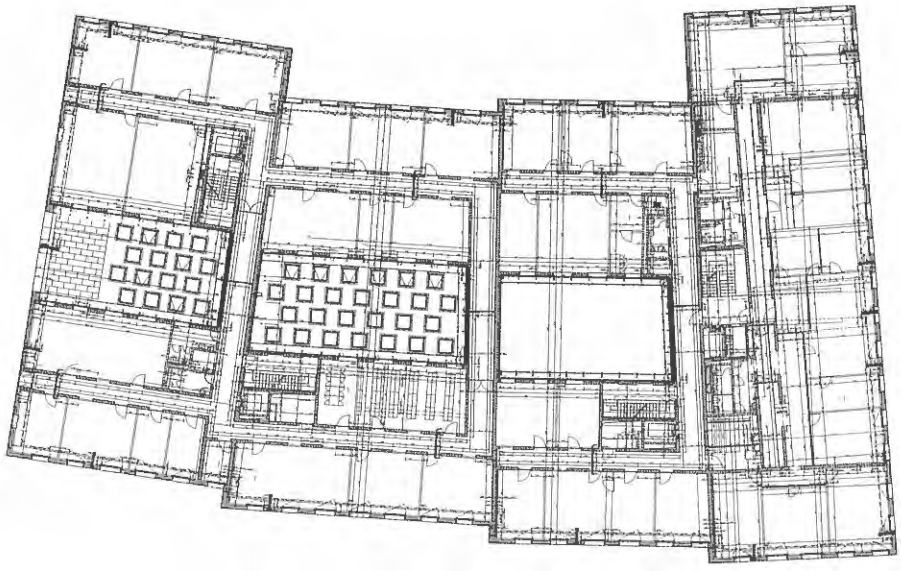
From top:
Parking level (-2)
Archive (-1)

Office plans, from top:
Second/third floors
First floor



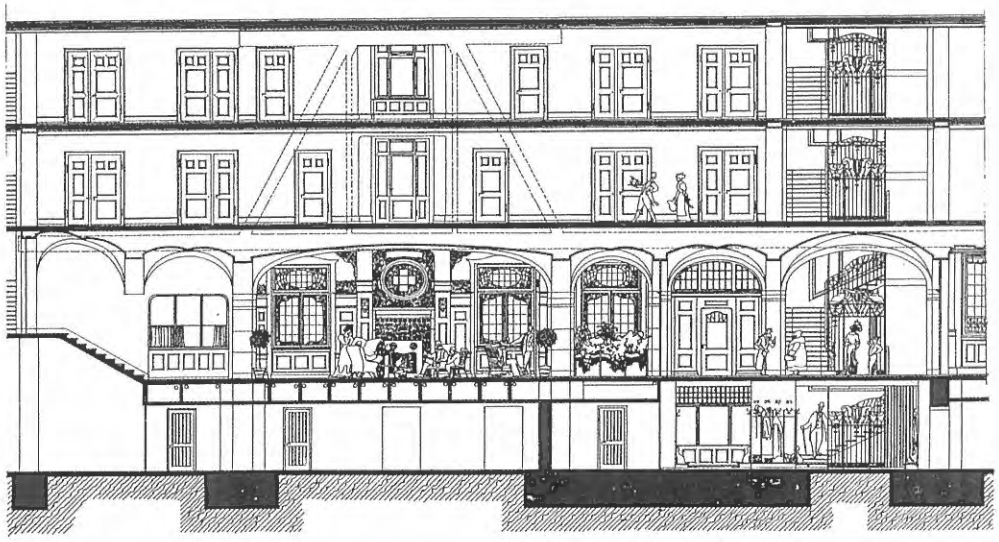


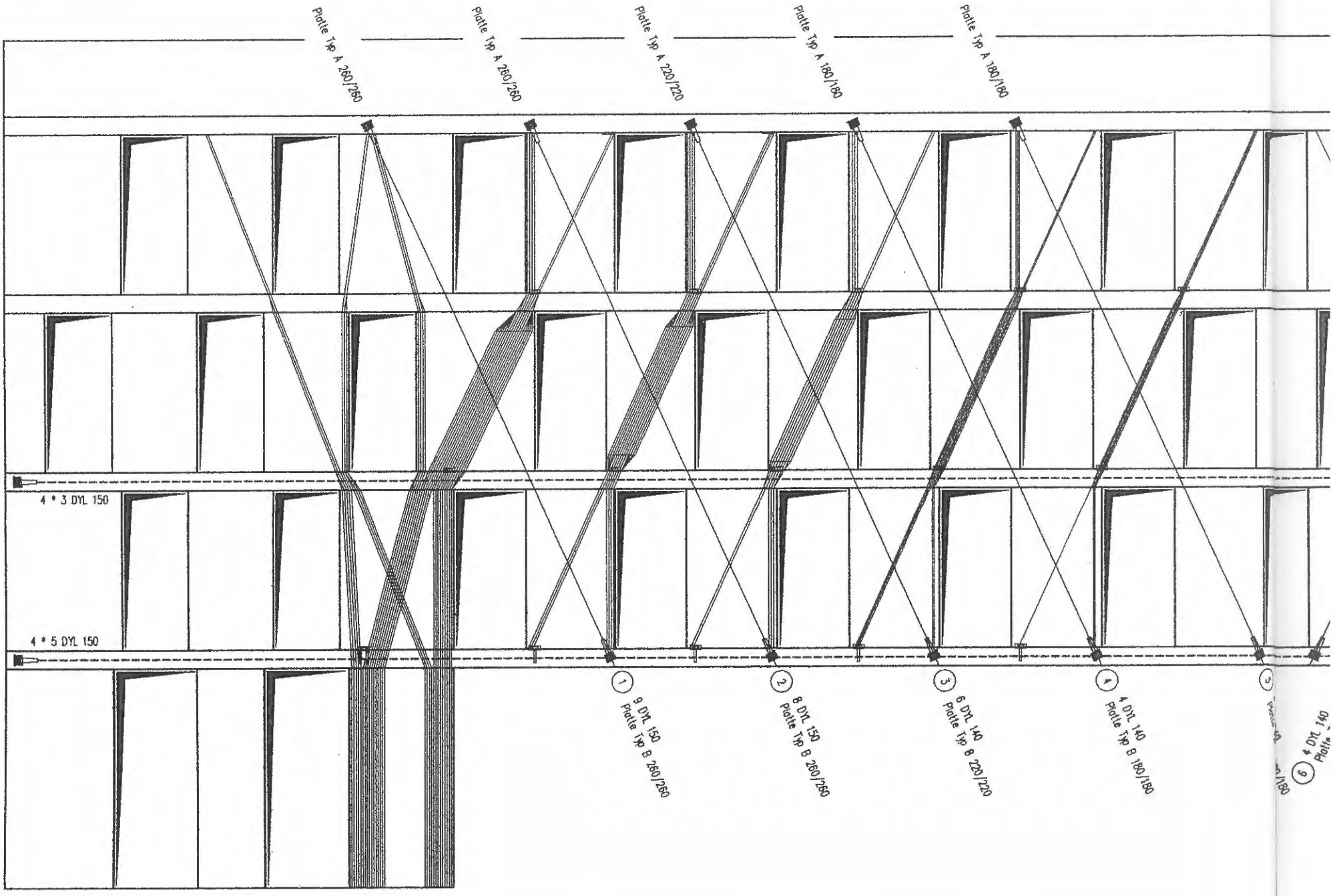




Right:
The Schatzalp Sanatorium in Davos is an early example of a concrete frame structure that cleverly circumvents the limitations of the type. To create the space for a large salon, the regular frame is interrupted by a two-storey concreted *Hängewerk* (Queen-Post truss). The only visible evidence of this measure is the displacement of the axis of the door openings between the first and the second storeys. The Ottoplatz Building simply systematized this principle. Drawing courtesy of Quintus Miller.

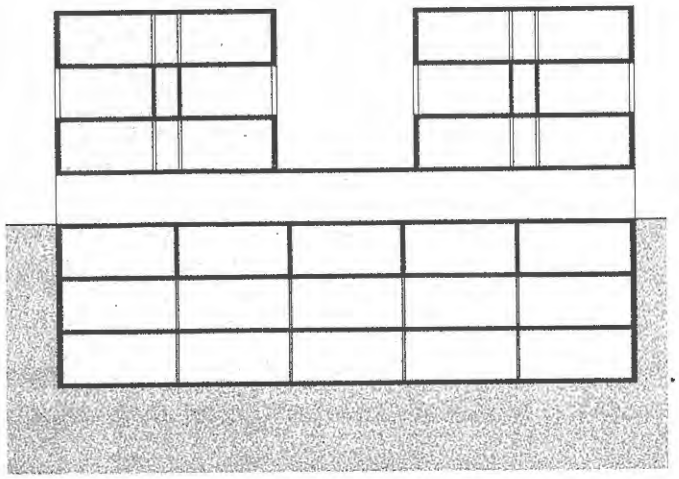
Below:
30-metre span of the west facade showing 'stress fields'

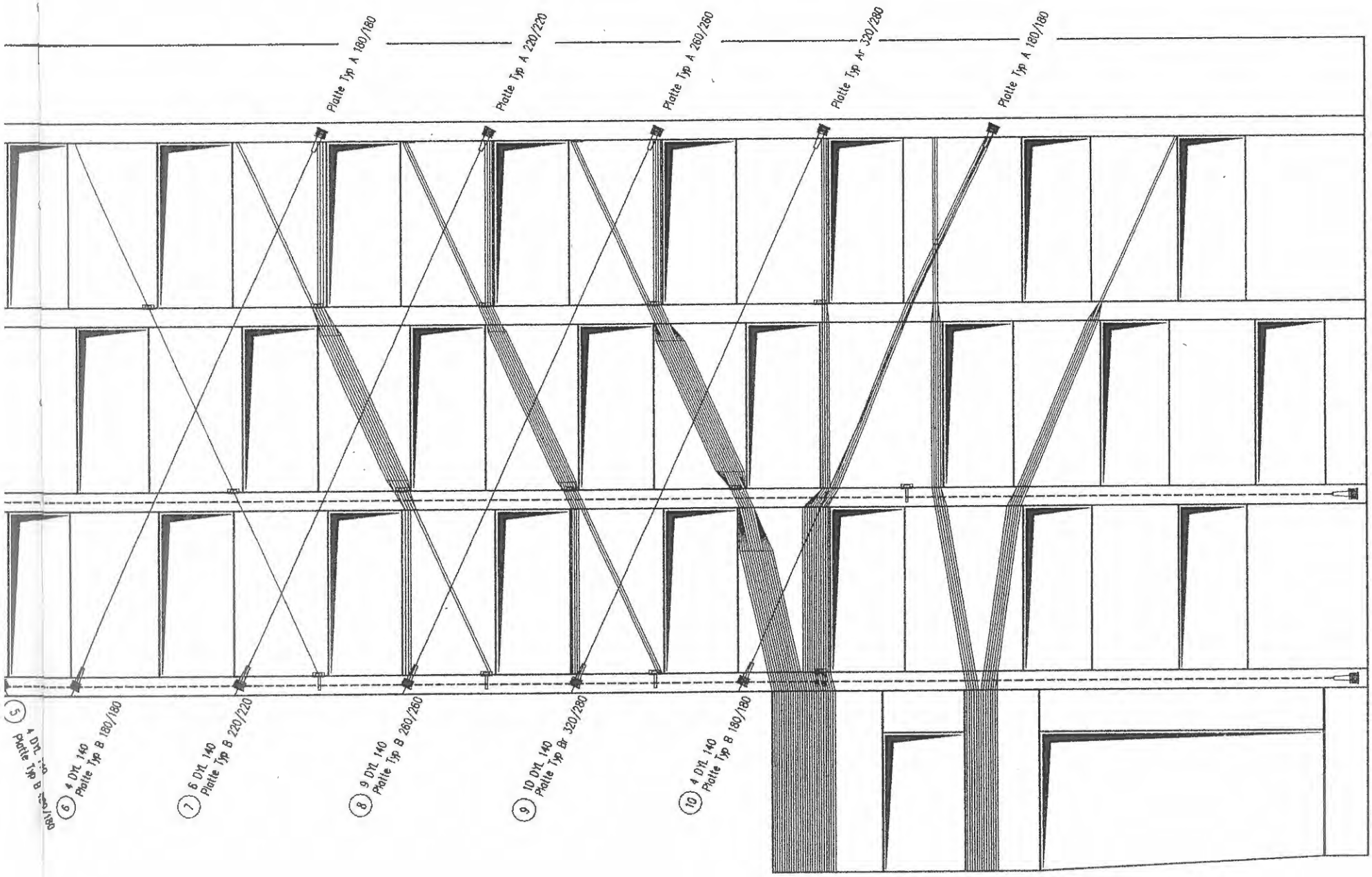


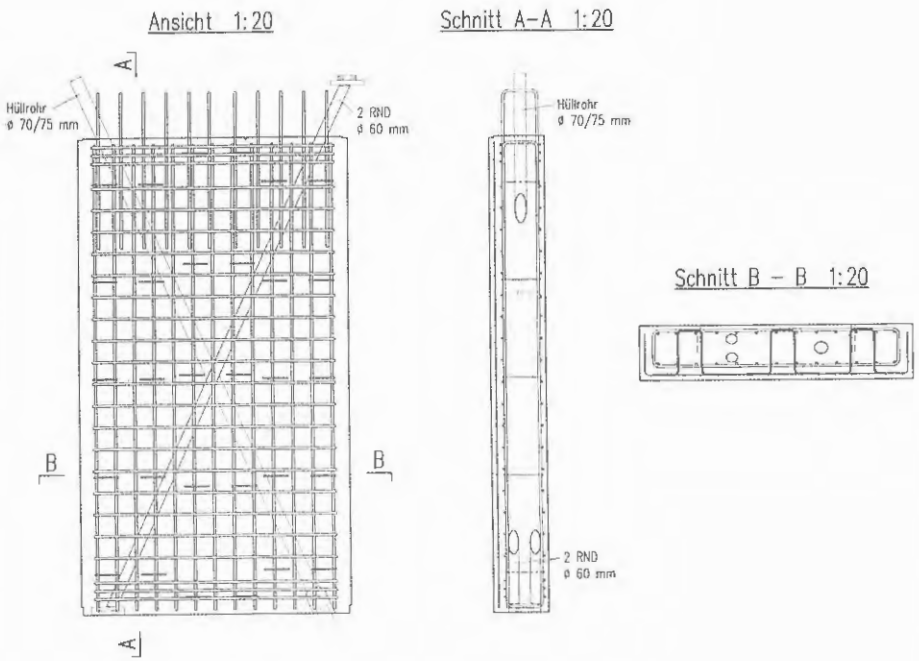


Right:
Schematic section showing the vertical load-bearing elements, column-free entrance and independent structural organization of the basement

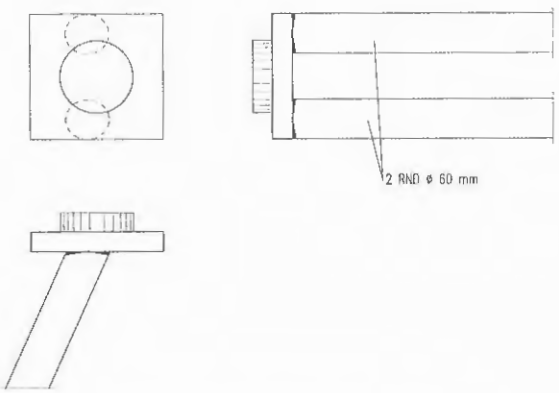
Far right:
West and south facades with integrated entrance to parking space



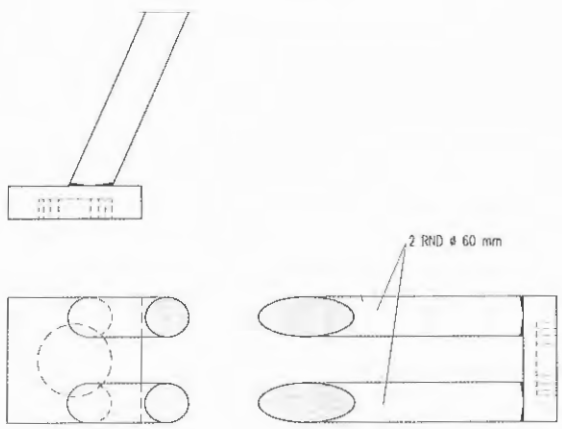




Kopfdetail Druckdiagonale 1:5



Fussdetail Druckdiagonale 1:5



Left:
Reinforcement of prefabricated facade elements and static sheath for post-tensioning cables, with broom-shaped bottom. Beneath this are two concreted diagonal struts, capped with domes that have either round cams or equivalent negative elements.

Below:
Construction sequence

Bottom, from left to right:
1. When the ceilings above the ground floor are poured, the anchors for the cables and the cams are set.

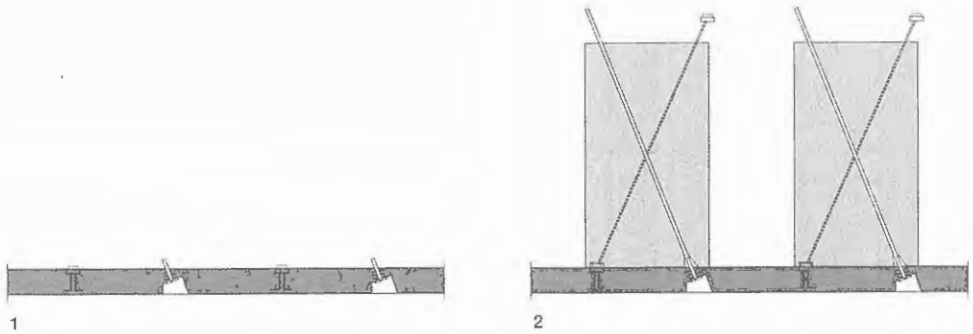
2. The joints between ceilings and elements are provided with a mastic packing and a mortar bed. The elements are set on top of the cams like pieces of lego. The cams hold the elements firmly in place while providing the funnel-shaped ends of the cable sheaths with a small built-in tolerance.

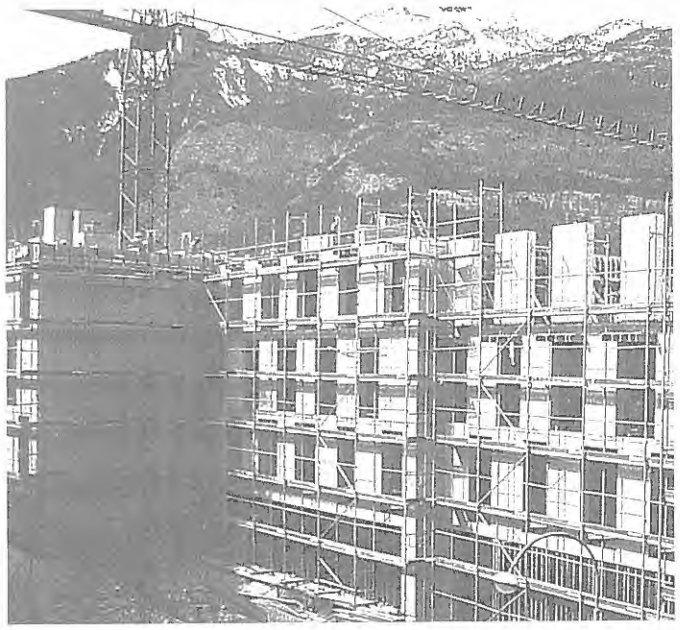
3. The ceiling above is poured. The existing joints create a monolithic connection with the wall elements below.

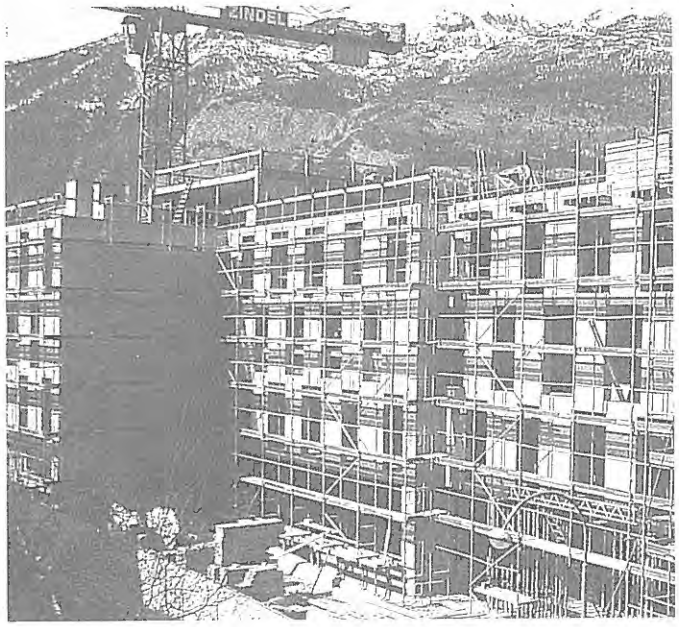
4. The facade elements of the second floor are created in exactly the same way.

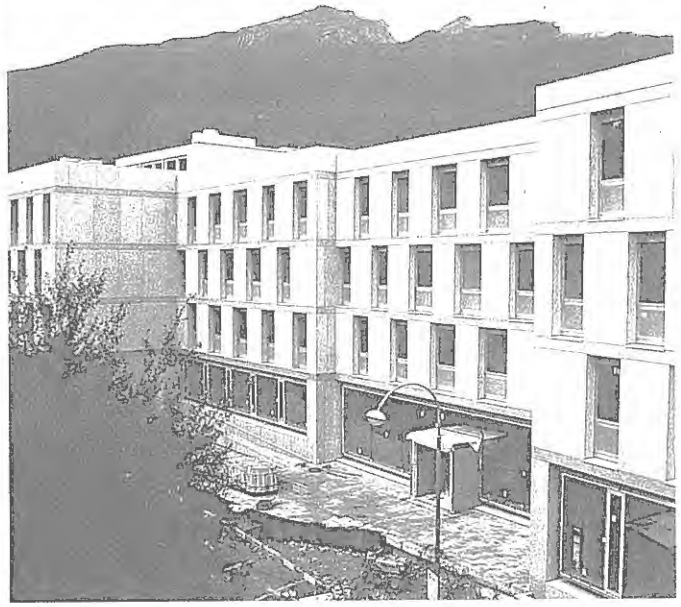
5. After all the floors have been completed, the cables are inserted and tensioned.

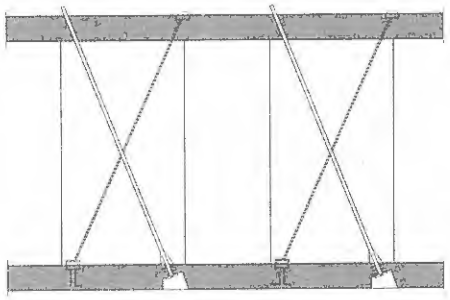
6. The cable sheaths and the anchor housing are injected from below. Because some settling of the grout is unavoidable, the housing for the upper anchors has to be reinjected.



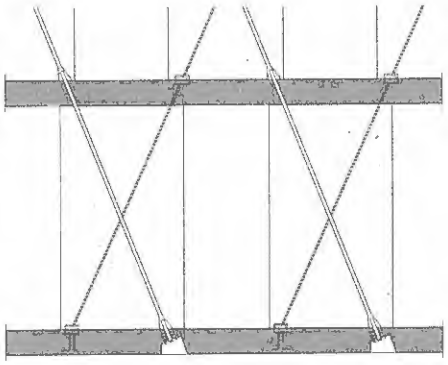




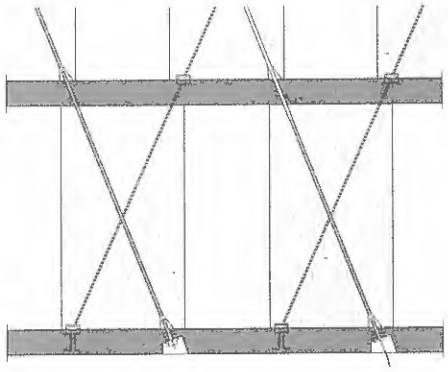




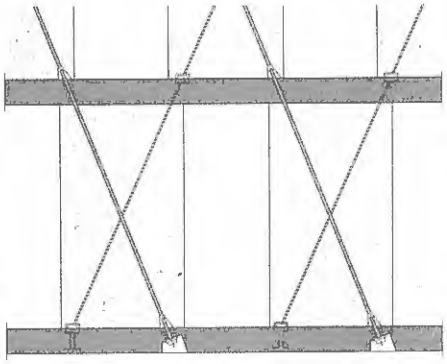
3



4



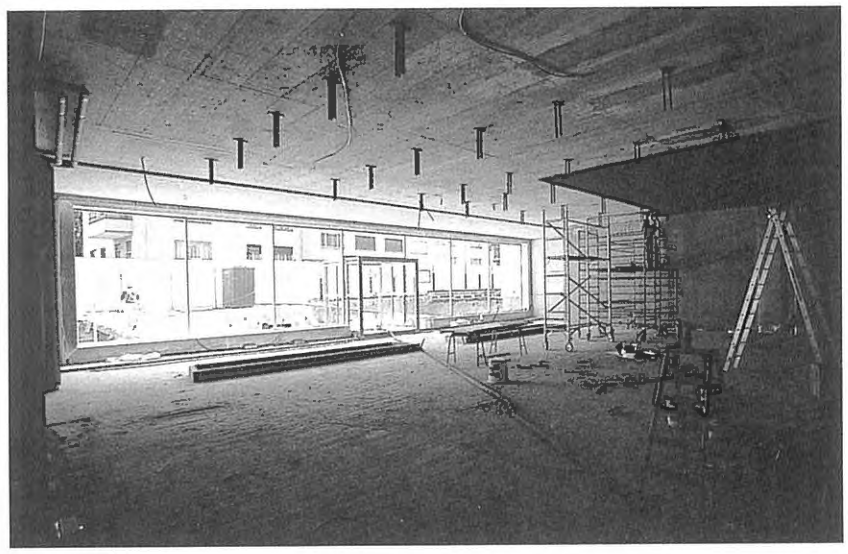
5

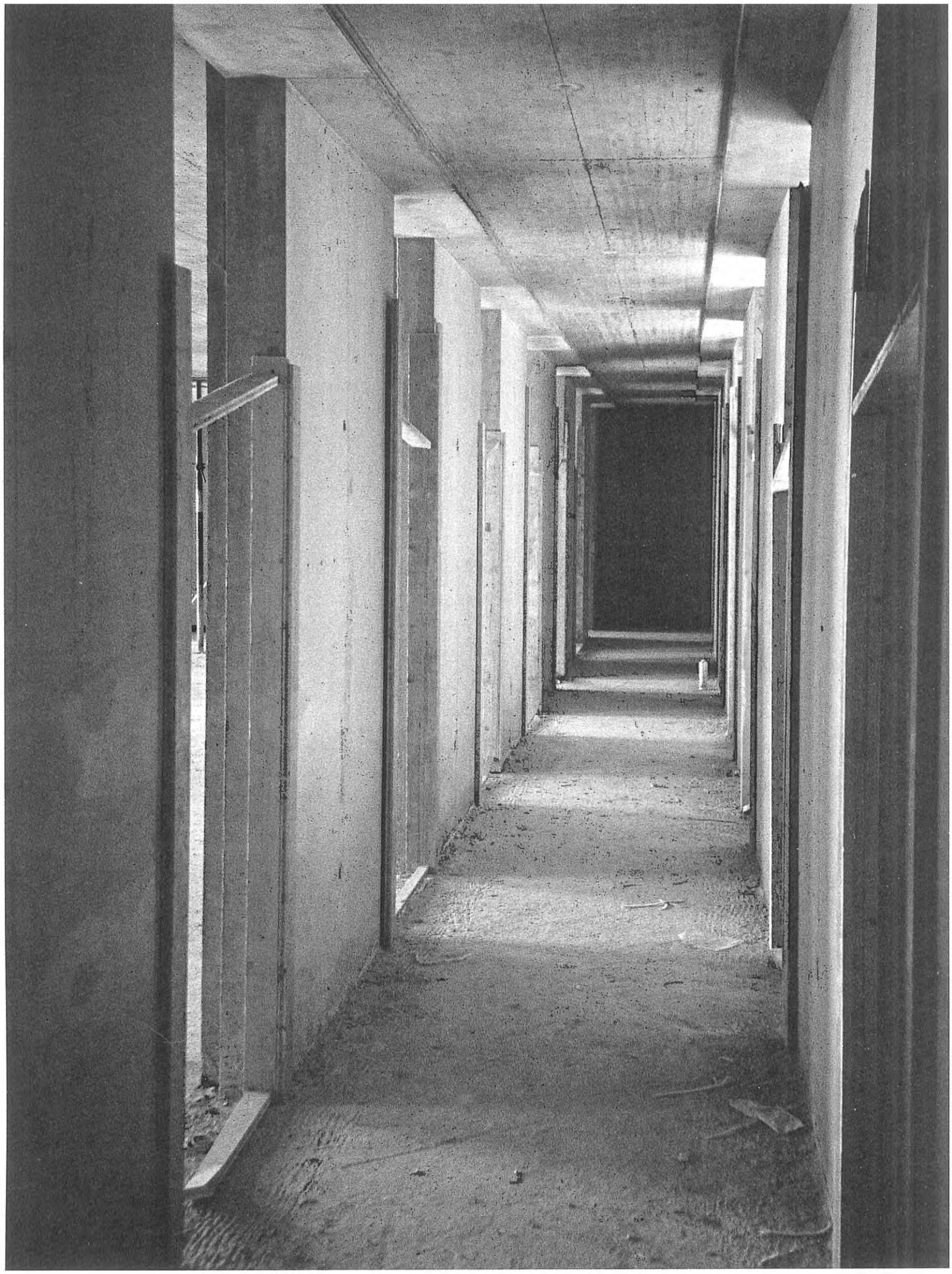


6

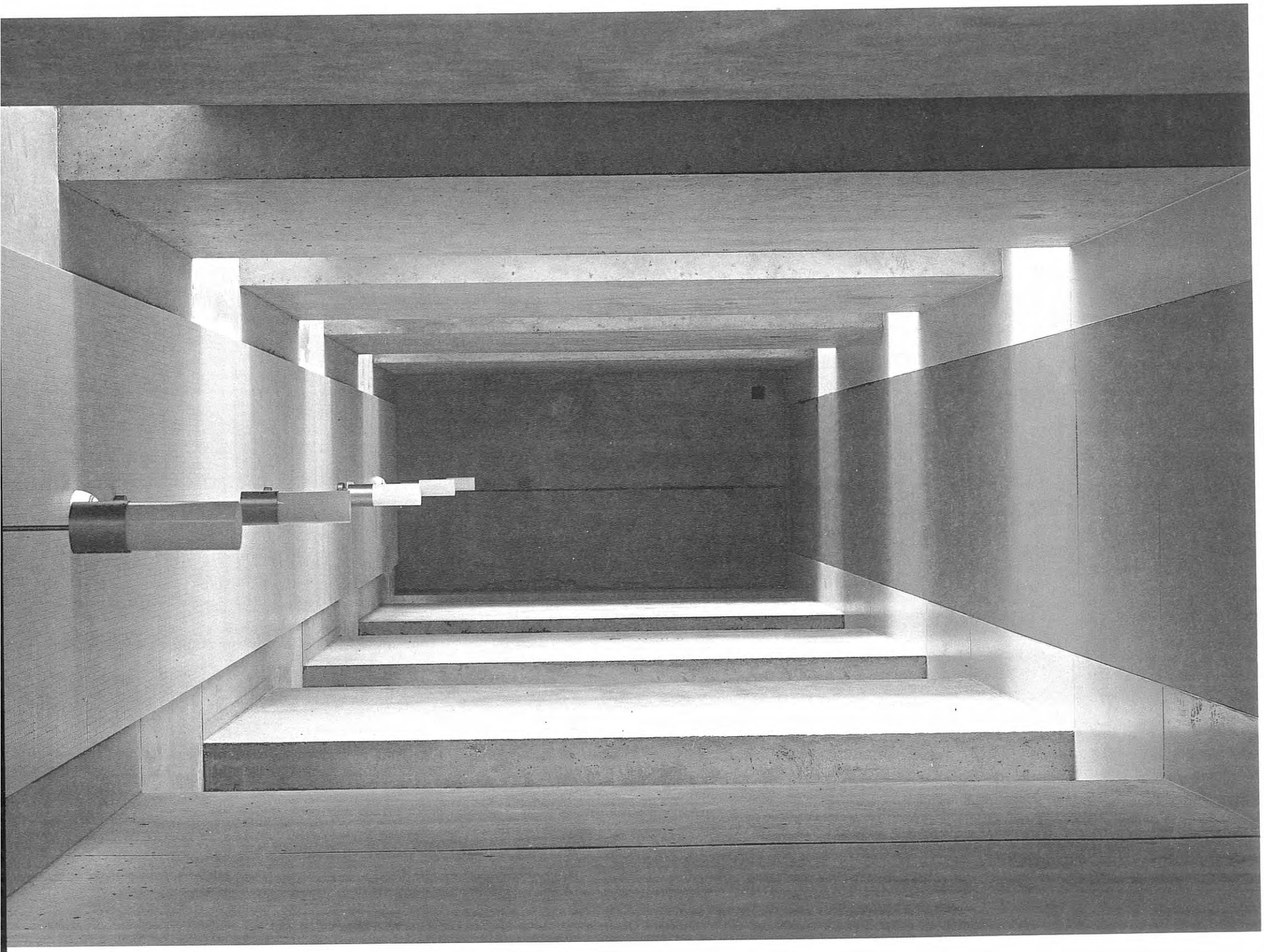
Facing page:
Detail of south facade. In the centre of the photo you can see clearly how the individual facade elements overlap to accommodate the post-tensioning cables. On the far right are larger window openings with 'negative overlaps': at these points (in the middle of the span) the shear forces are small and tension cables are not required. These negative overlaps produce locally greater bending forces at the edges of the floors, which are taken up with stronger passive reinforcement.

Right and below:
Carcass of 'Calven Hall', and the same space completed

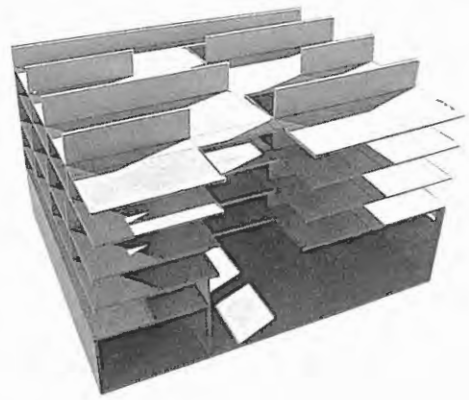




Corridor views during construction (left) and after completion (right). Load-bearing concrete is used as a characteristic material throughout the public spaces of the building.



Volta School
Basel
1996–2000



While the structural system of the Ottoplatz Building is ultimately based on simple beams of varying spans, at Volta a decisive role was played by the two-way connection of individual wall slabs through the horizontal stiffness of the floors. There was also a signifcant external element to contend with: a massive 6-metre-deep trough housing a redundant oil tank. Given the tightness of the site, it seemed appropriate to reuse the trough space for sporting activities, since it was easily large enough to accommodate a double gymnasium and ancillary rooms. This meant that the classrooms had to span freely above the gymnasium. After several comparative studies, we decided the best way of doing this would be to insert a longitudinal load-bearing wall into the basement, so as to divide the building into two fields of 28 and 12 metres.

As at Ottoplatz the ground floor forms a structural and spatial caesura. The upper part of the building rests on the longitudinal load-bearing wall in such a way that it acts structurally as a simple beam with a one-sided cantilever. This structural function is evident on the west facade, where the fenestration on the ground floor is displaced in relation to the floors above. A survey of the trough established the basic outlines of the new structure. To bring ample daylight into the 40-metre-deep building, the architects created a series of meandering internal courtyards. In plan the courtyards reestablish an almost symmetrical distribution of the transverse load-bearing walls, supported at ground-floor level by an emphatically asymmetrical structure. This asymmetrical bearing produces strong turning moments in individual wall slabs, which are taken up by the horizontal structural action of the floors. This is possible because the floors are braced horizontally by the north and south facades, which have relatively few perforations. The considerable structural action in the floor slabs is made evident by the curving tension cables,[1] while the cables that are straight in plan take up the usual bending stresses over the 8.26-metre spans between supporting wall slabs.[2]

Architects:
Miller & Maranta, Basel
Collaborators:
Guido Lauber and Beat Joss of Affentranger & Partners, Basel (engineers)

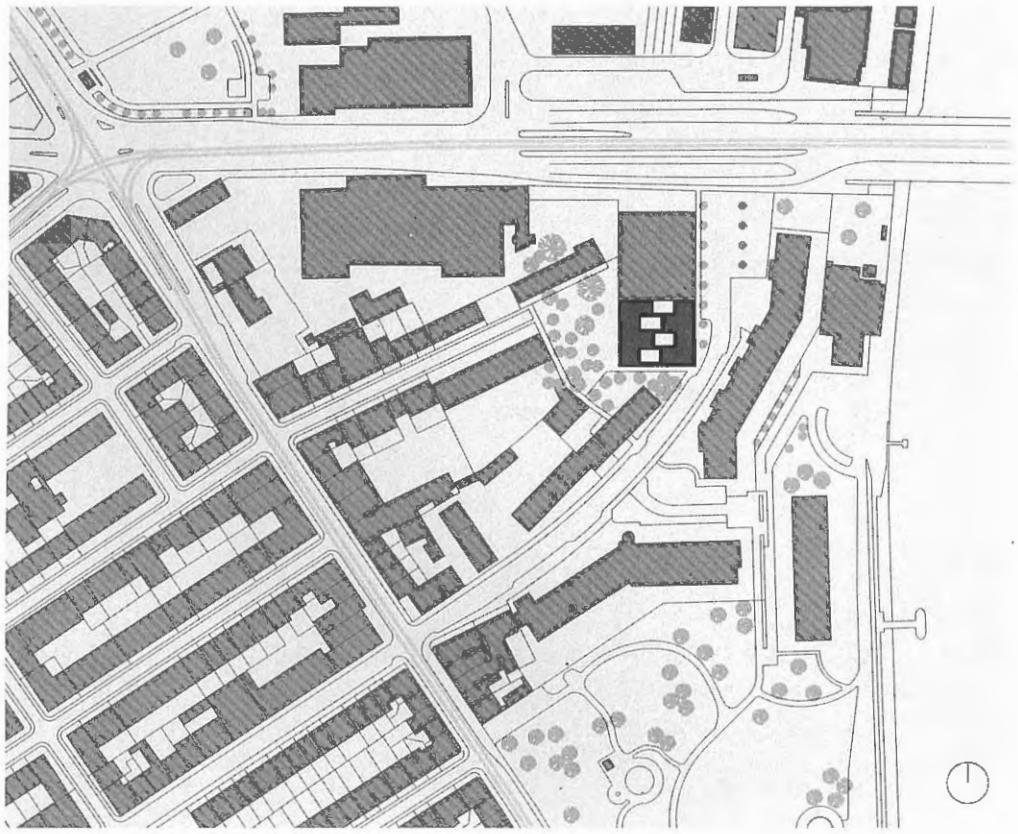
Left:
East facade, with part of the redundant oil tank visible in the foreground

Right:
Structural model minus the main facade and roof plate

Volta School
Basel
1996–2000

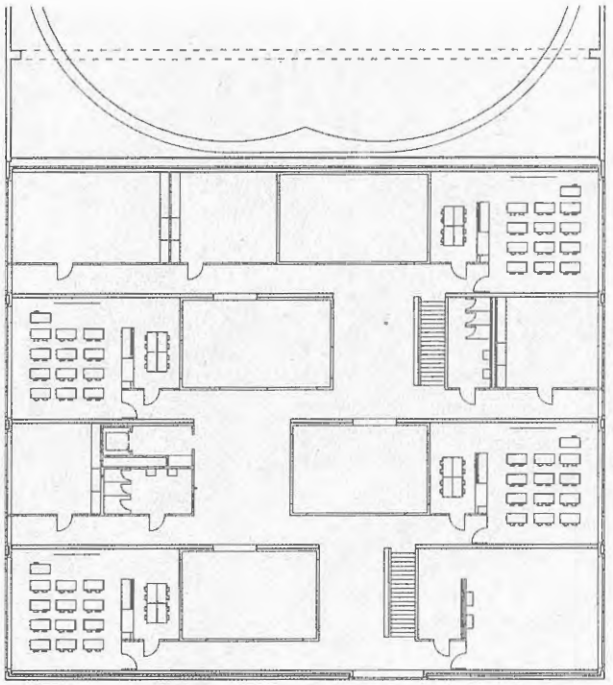
This latter kind of post-tensioning is unusually strong, since the spatial–structural action over the large spans meant that it made good economic sense to minimize the permanent load of the supporting elements. Hence the floors are as thin as possible: only 250 mm.
In the interior of the building the load-bearing elements are finished in fair-face concrete, to distinguish them from the non-structural partition walls. Since all the load-bearing walls are arranged transversely, the longitudinal facades take up the role of stiffening against horizontal wind and earthquake forces.
The development of the construction details, undertaken in collaboration with Affentranger & Partners of Birsfelden, provided an opportunity to elaborate several special features. To create enough unobstructed space within the formwork to pour and compact the concrete, we used 'flat cables' raised on edge. Since flat cables are normally employed to make better use of the eccentric positioning of tendons in floors, this small detail could almost be seen as a symbol for the static similarity between floors and slabs in this building. Furthermore, the positioning of the cables and anchors took into account the phased assembly of the walls. On the ground floor, the right-angled points of contact between two wall slabs are subject to large forces. Since it was hardly practical to increase the overall thickness of the walls on account of these few exceptional points, we instead used two massive superimposed rectangular steel clumps encased in concrete to distribute the forces into the walls via broom-shaped fans of reinforcing steel.

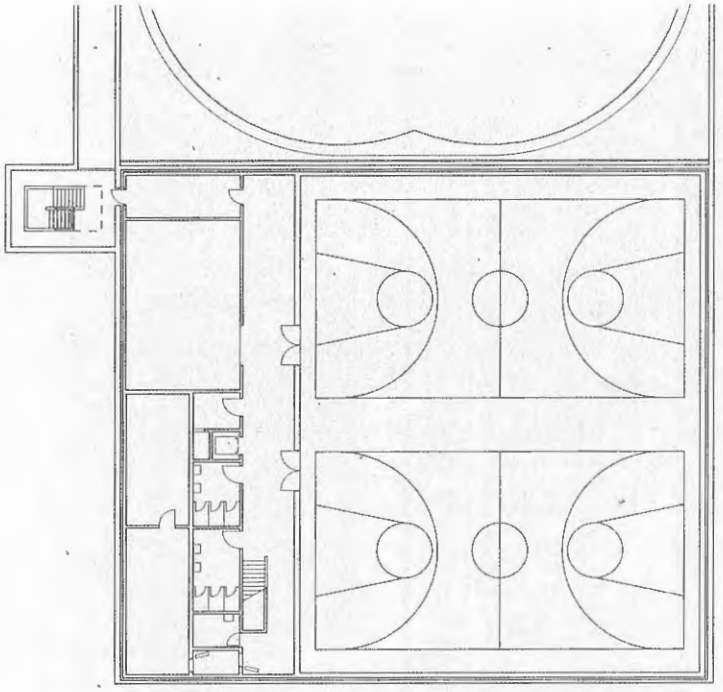
1 In German this is called the 'Scheiben' action.
2 The 'Platten' action, in German.

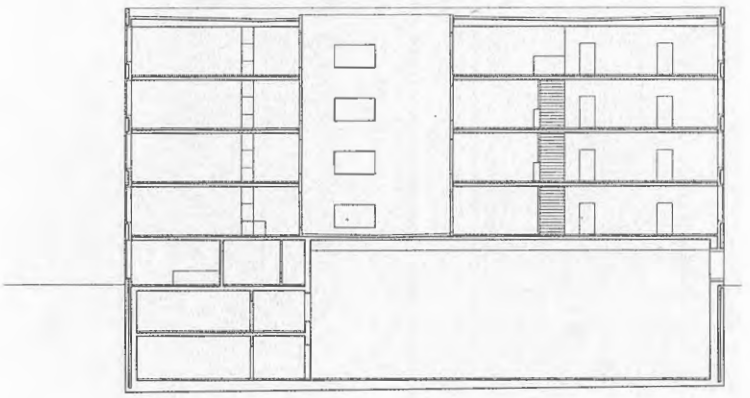


Below:
Site plan

Right, from top:
Upper-floor plan: the numbers indicate the location of the diaphragms (see plans pp. 54-5)
Basement plan
Section

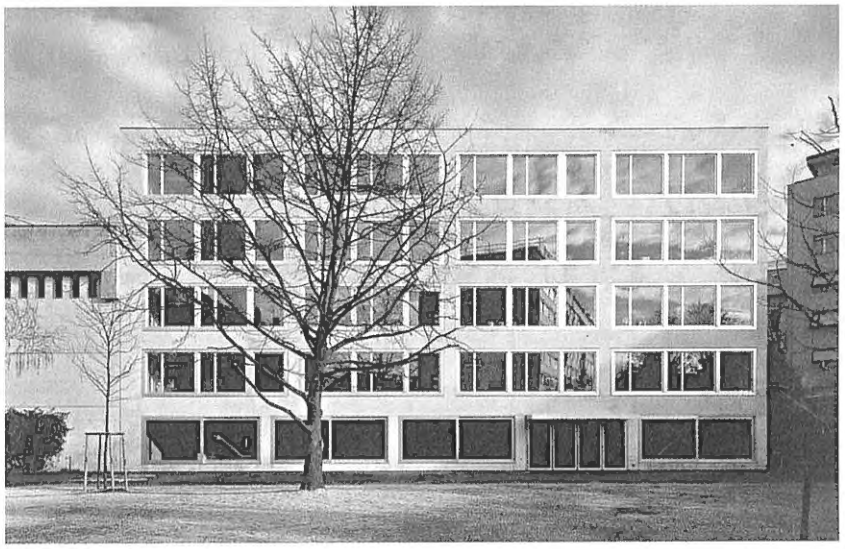


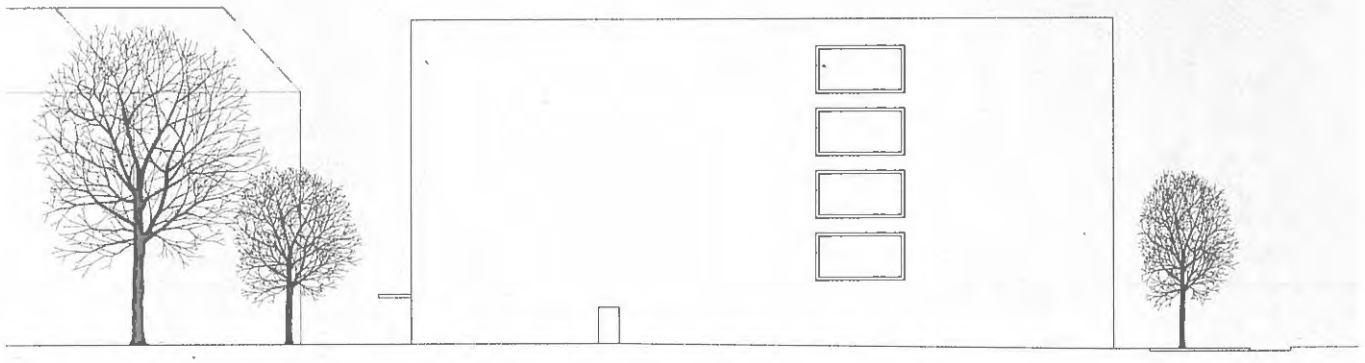


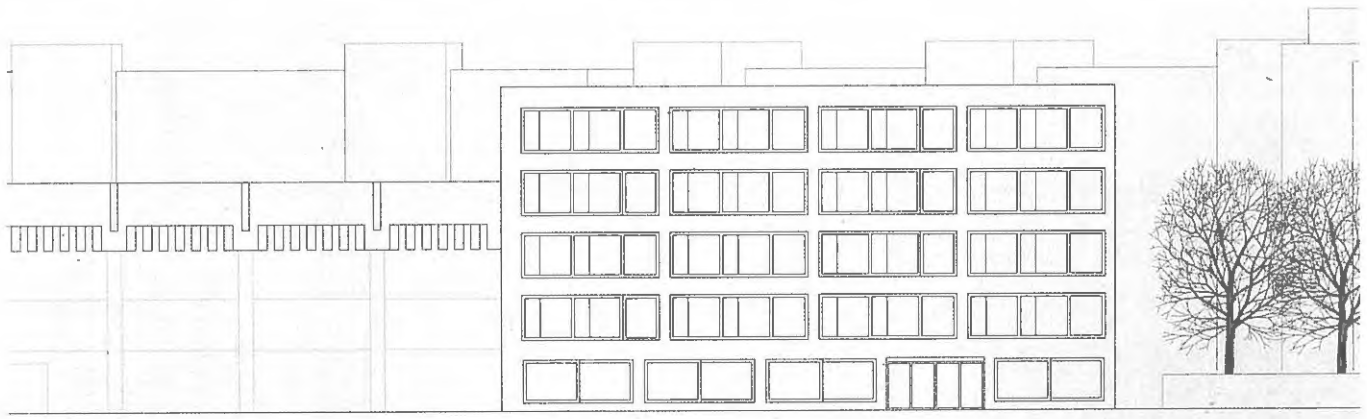


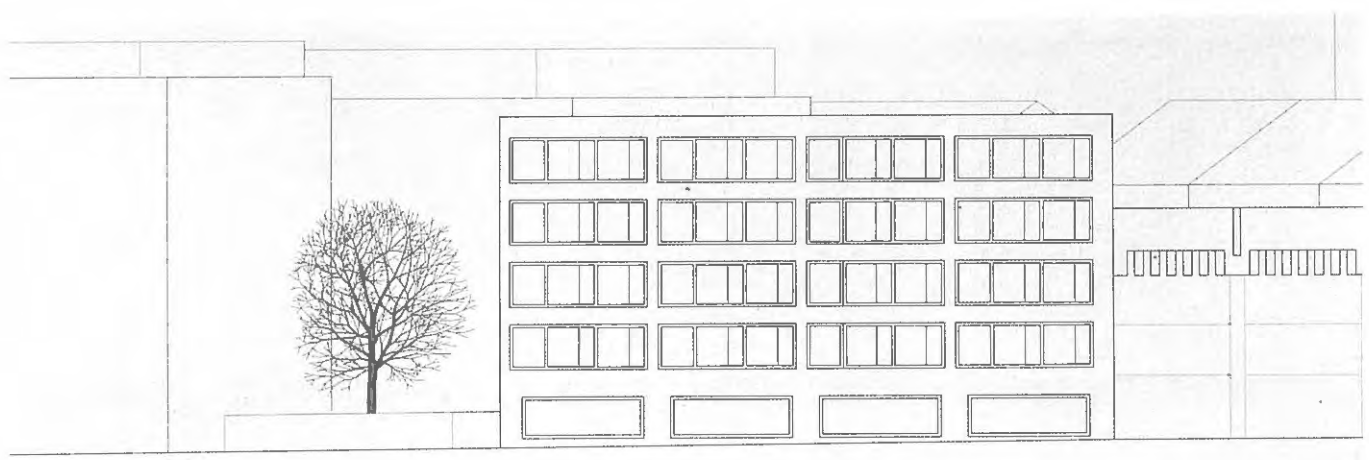
Right:
West facade. As the fenestration indicates, the facade has no load-bearing function at ground level.

Below, from top:
South facade
West facade
East facade



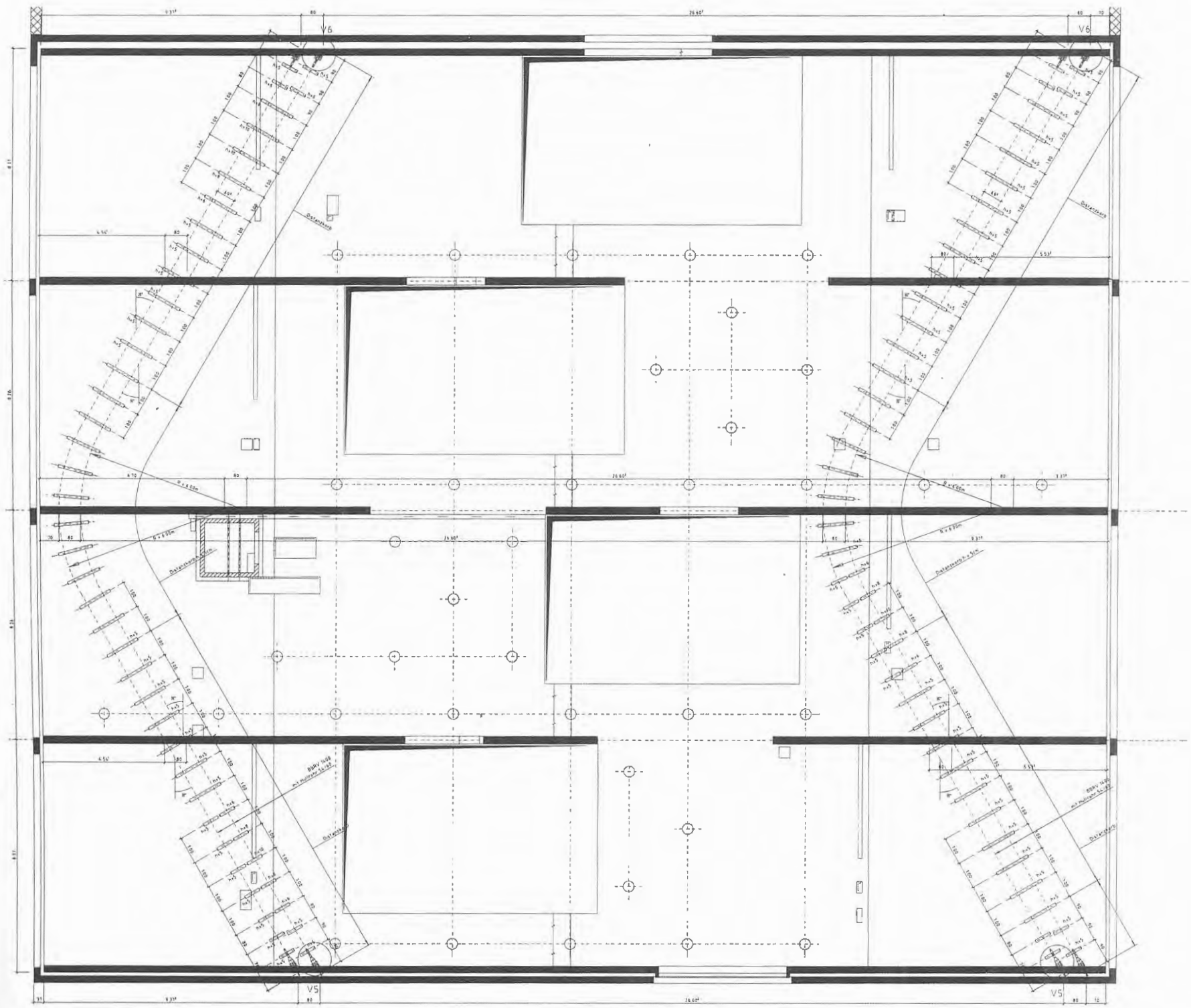


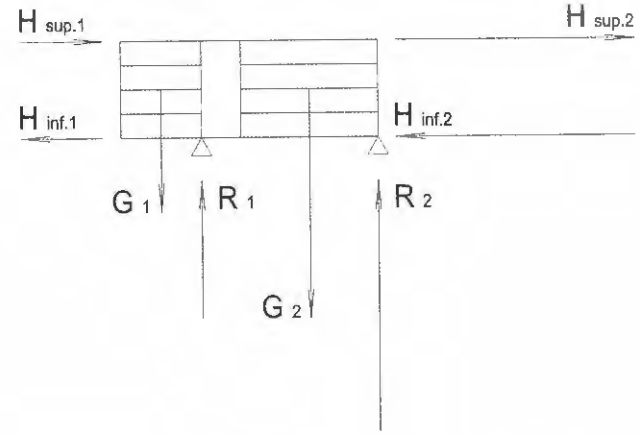


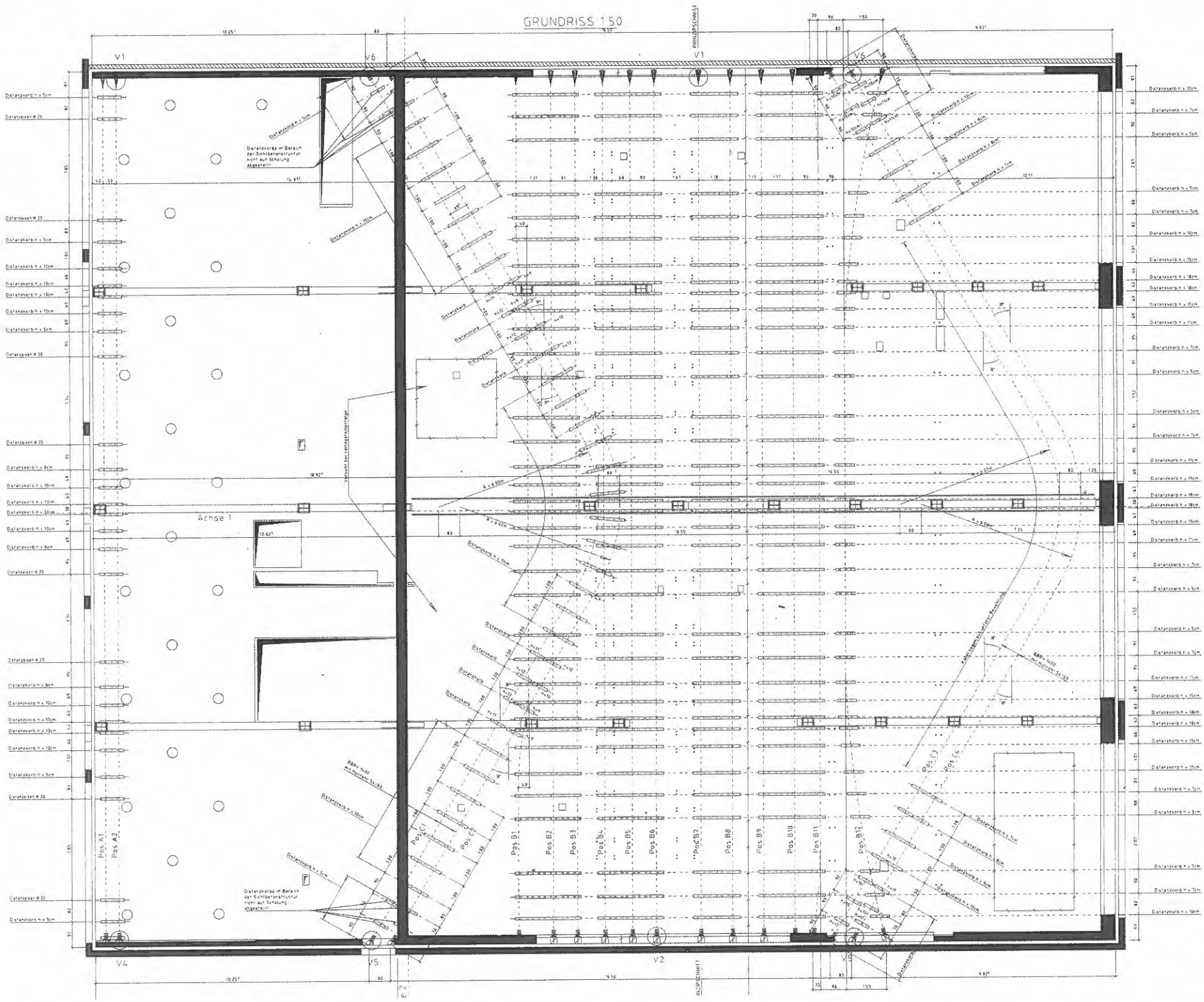


Below:
Ceiling over fourth floor:
the post-tensioning cables divert forces towards the *right*.

Facing page:
Ceiling over ground floor:
the post-tensioning cables divert forces towards the *left*.

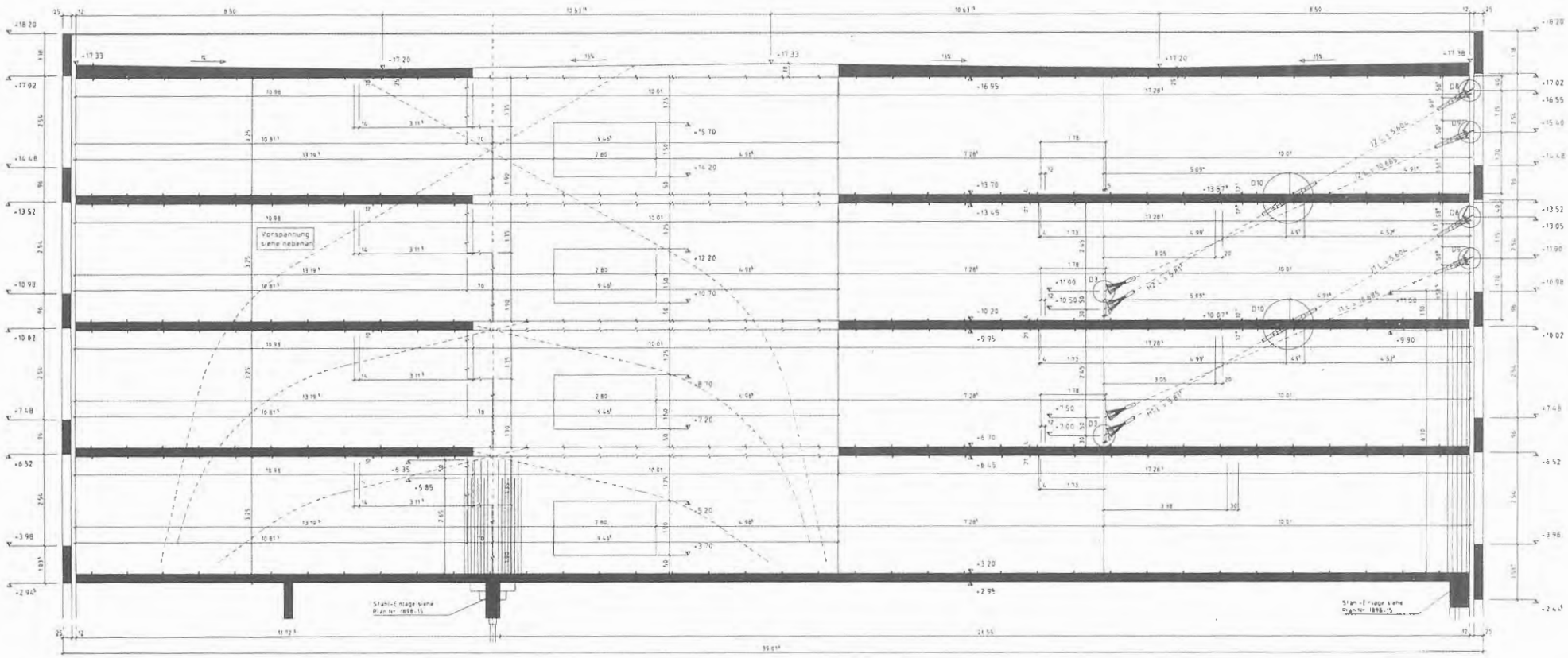



H sup.1
H sup.2
H inf.1
H inf.2
G 1
R 1
R 2
G 2

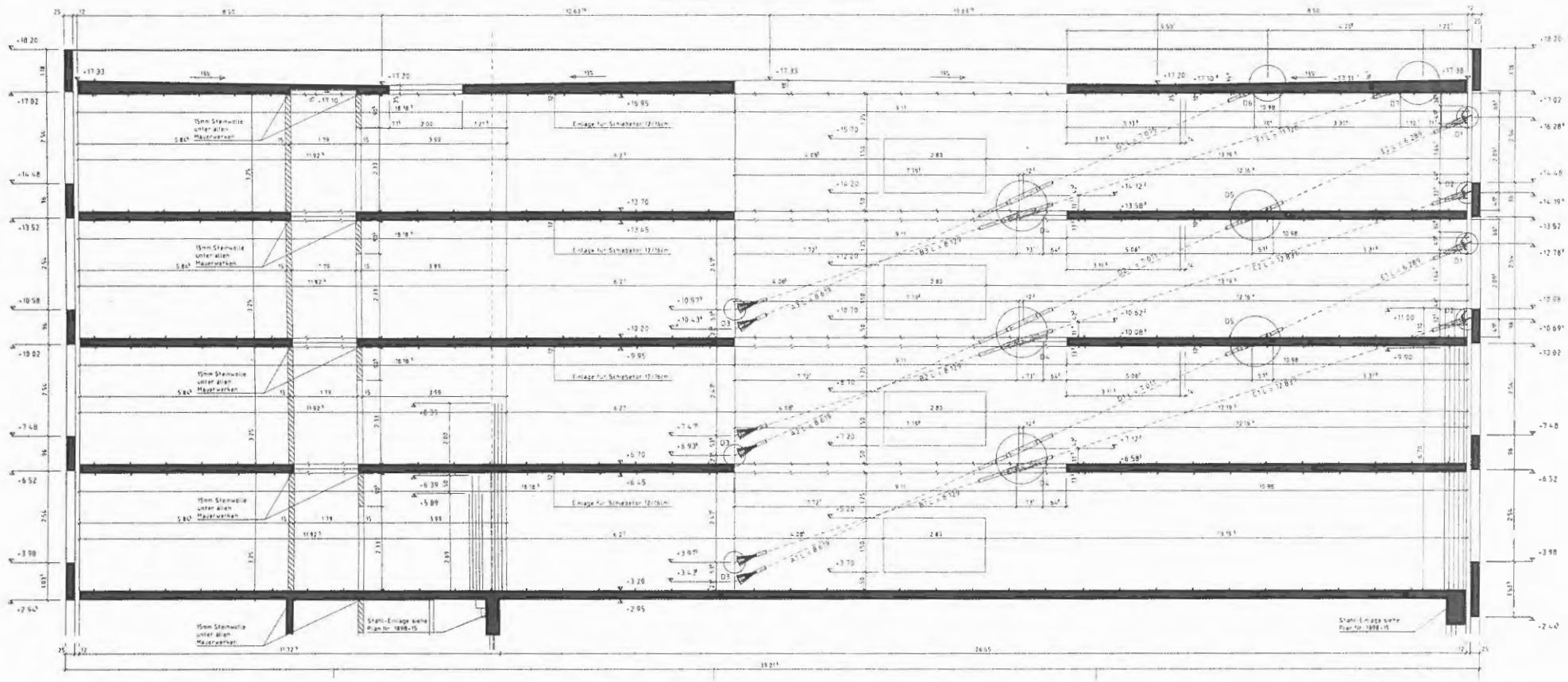

GRUNDRISS 1.50
V1
V6
V4
V5
V2
Achse 1
Pos A1
Pos A2
Pos C1
Pos C2
Pos B1
Pos B2
Pos B3
Pos B4
Pos B5
Pos B6
Pos B7
Pos B8
Pos B9
Pos B10
Pos B11
Pos B12
Pos C3
Pos C4

Wall slabs with post-tensioning tendons
(drawings by Affentranger & Partners)
From top:
Diaphragm 1
Diaphragm 2

ANSICHT SCHOTTE 1 1:50

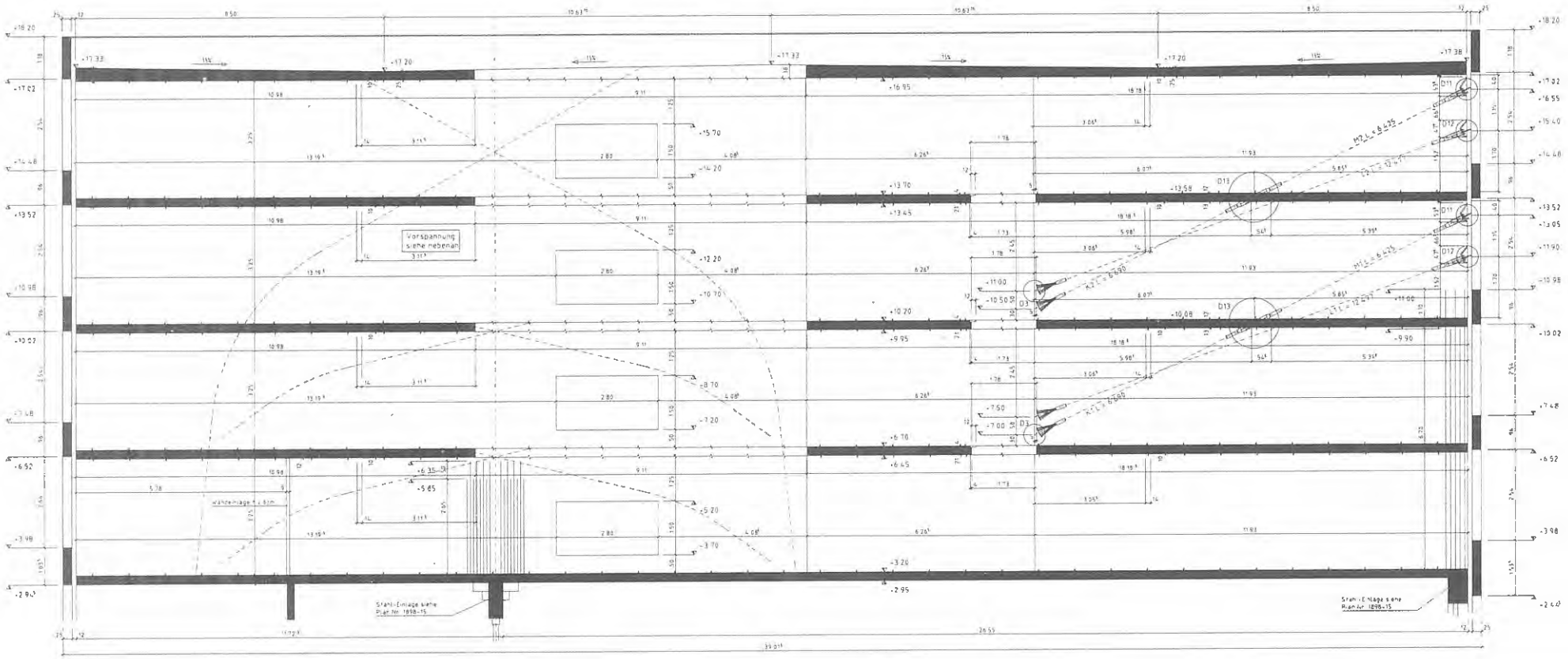


ANSICHT SCHOTTE 2 1:50



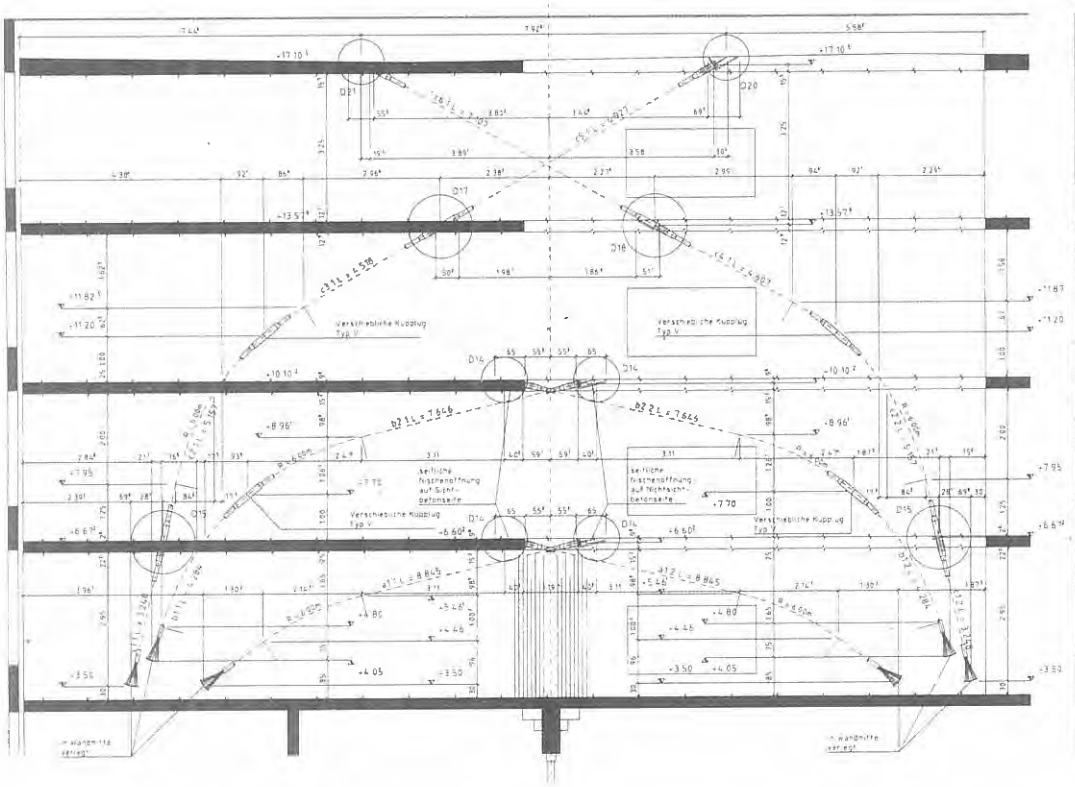
From top:
Diaphragm 3
Details of left halves of diaphragms
1 and 3 and of anchor and couplings

ANSICHT SCHOTTE 3 1:50



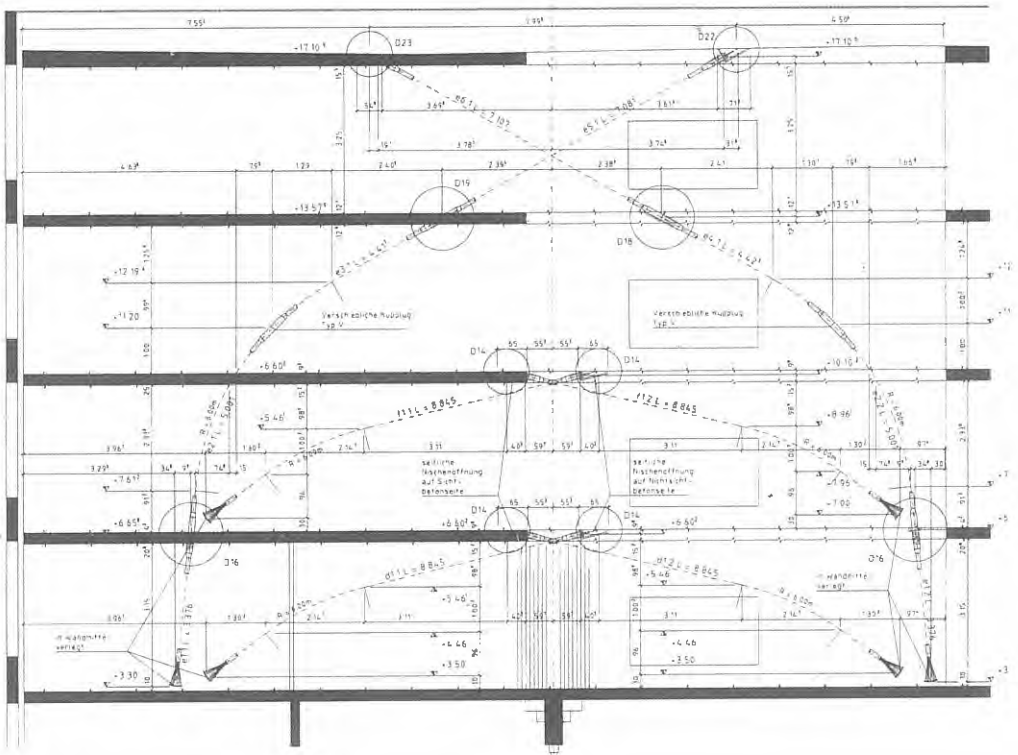
ANSICHT SCHOTTE 1 1:50

VERMASSUNG VORSPANNUNG

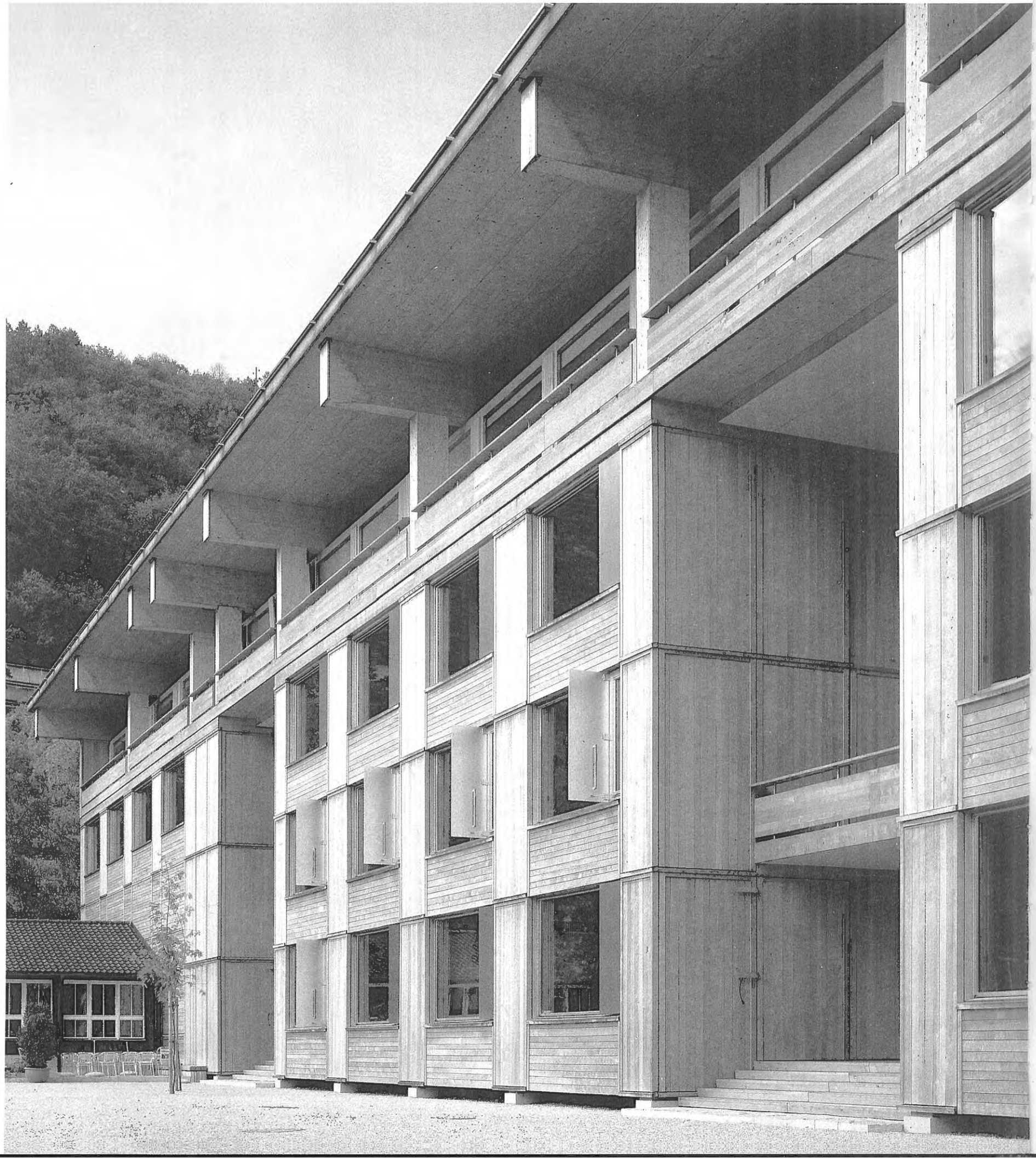


ANSICHT SCHOTTE-3 1:50

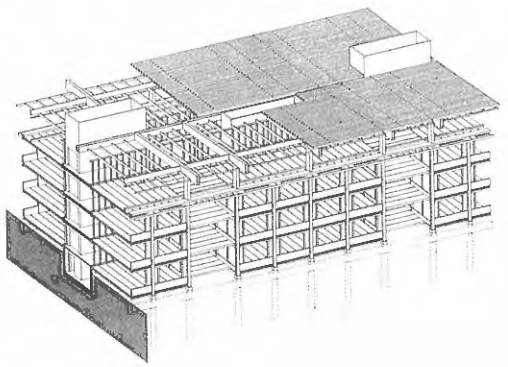
VERMASSUNG VORSPANNUNG



Views of interior. The load-bearing elements are in fair-face concrete; non-structural parts are rendered and painted.



Swiss School of Timber Technology
Biel
1991–99



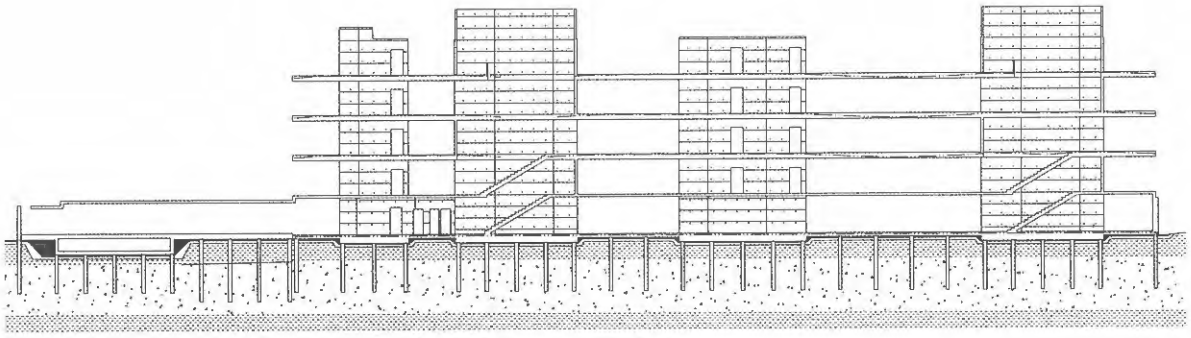
This project began with a competition open to teams of architects and engineers. The brief was to design a representative (timber) building for the Swiss School of Timber Technology, which trains engineers and technicians in timber construction, and carries out applied research. In the context of Switzerland the scale of the project was unusual: a four-storey building 90 metres long and 22 metres wide. Central concerns were fire safety and economic viability. Any solution had to withstand comparison to traditional, supposedly cheaper massive construction techniques. Spatial and organizational flexibility were assured by the concept of setting a number of independent timber blocks around a central fireproof concrete core that contains services and vertical circulation, including fire escape routes. The isolation of the timber cells ensures that any outbreak of fire is contained locally. Independently of this, a sprinkler system prevents the spread of fire and the timber structure is dimensioned to give a F30 fire-rating.

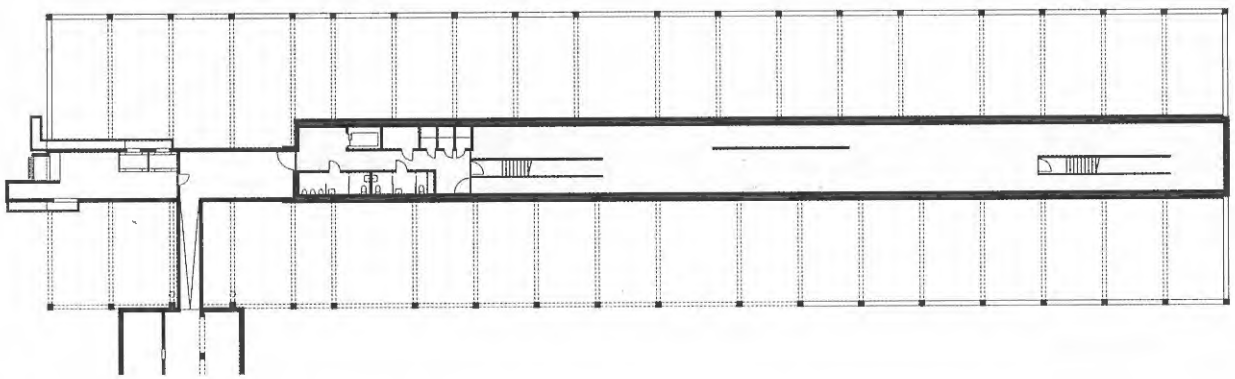
This arrangement informs the design of the building in all its details. The heavy concrete core penetrates the ground to form a basement storey buoyed by the soft soil of the site (a former seabed), while the timber cells around it are 'nailed' into the ground with piles. The relative yield of the piles in a horizontal direction allowed us to construct the whole building without the use of mortises: a relatively small post-tensioning of the basement, increased during the course of construction, rules out cracks in the concrete (the longitudinal stressing of the self-supporting upper floors would otherwise have caused shrinkage creeping). The project shows effectively that there is no such thing as 'bad' soil conditions: there are only special conditions, that one should attempt to exploit to the full.

Architects:
Meili & Peter, Zurich,
with Zeno Vogel
Collaborators:
Rolf Bachofner, Reto Tobler

Left:
Main elevation. The hollow box beams span transversely, creating large overhanging eaves.

Right:
Isometric of load-bearing structure





The timber cells containing the classrooms are structurally independent and so do not load the concrete core with vertical forces. They do however use the core for horizontal stabilization in a transverse direction. The floor plates, which are made of timber box beams laid edge to edge, span from the facade to the internal load-bearing timber wall, which runs in front of the concrete core. The transverse end walls have no function in relation to the cells, but support the 'balconies' that span between the cells, at right angles to the direction of the floor plates.

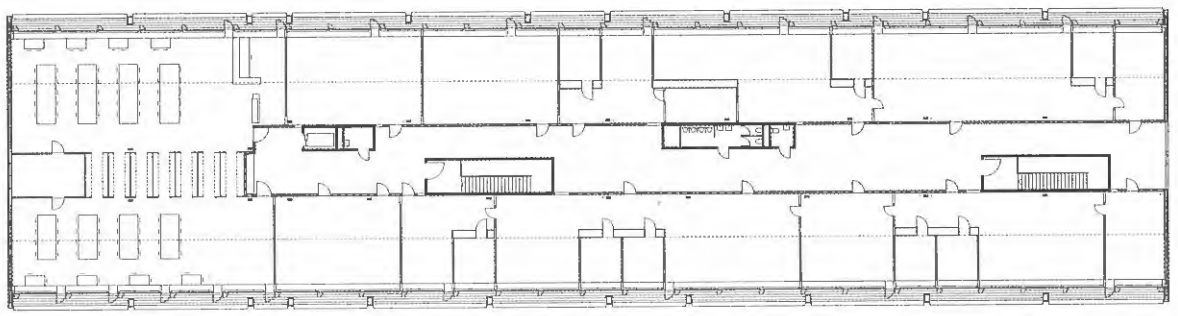
As the floor system was one of the most important elements of the structure, a system competition for timber contractors was held at a preliminary stage of the project. This allowed a detailed investigation of the architectonic, constructional and economic implications of ten different proposals,[1] and ultimately led to the choice of hollow timber beams distinguished by their light weight and high stiffness. At a later stage of the project's development, the lower boards of the beams were left out near their supports in areas of low structural forces; 'cut away' like this, the beams allow an insight into their construction while at the same time fulfilling a spatial-acoustical function thanks to the insulating slab inside them. Compatability with the F30 fire requirement had to be proved with a test carried out specifically for this purpose. The timber roof is subject to considerably smaller loads than the rest of the structure (since the snow loads are much less than the live loads of the floors). Exploiting this fact, the top floor has non-structural dividing walls that can be positioned according to the required room size. At a double centre-to-centre distance from the foundations, the hollow box beams span transversely (to the building), creating large overhanging eaves. Through their flexurally stiff connection with the external posts they form half frames which stabilize the roof in a transverse direction. Spanning over these roof frames in a longitudinal direction is a layer of slender box beam elements that form Gerber beams with alternately staggered joints. The unity between structural system and external appearance is expressed on the main elevation. The classrooms are each 9.5 metres long. Consequently the centre-to-centre distance for the piled foundations is 4.75 metres. The fenestration was the determining factor in further decisions relating to the facade. As the overall height of the building was limited by building regulations, it was important to find a slender, space-saving floor structure. But since the height of the rooms is comparatively small in relation to their depth, the windows had to be situated as high as possible, to ensure good internal lighting. In terms of construction this meant it was essential to avoid heavy window lintels. This could only be achieved by hanging the floor plate from the window parapets: the floor elements are laid on a thin 150 mm timber beam (the dimensions correspond to the minimum fire-safety requirements), which is fixed at 700 mm intervals by a threaded rod to the parapet beam above it. The parapet beam, measuring 120 x 800 mm, is able to take up the roof load above a 3.5-metre-wide window. It is supported on vertical posts at the side of the window (and not on the main posts – the span of 4.75 metres would have been too wide). These side posts are in turn connected to the main posts by means of shear-stiff plywood panels. At the same time the shear action of the panels takes care of the longitudinal stiffening of the facade. Small exceptions occur at the edges: the lowest parapet beam is hung from the window posts and plywood panels, and on the third floor a broad horizontal beam replaces the parapet beam. The structural action of the facade could be described as two-dimensional: it defines the distribution of centres and voids along the elevations. The arrangement of the timber cladding alludes to the main direction of structural forces.

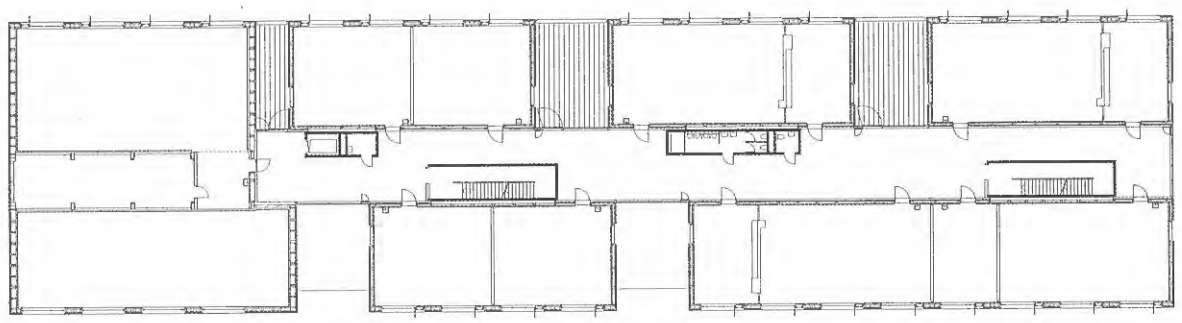
This synthesis between architectural concept and structural system defines the building as a whole. That it has proved impossible to make an exact comparison of the building's cost in relation to a massive construction is a token of this. A student assignment at the Technical College in Chur investigated an alternative design based on massive construction techniques and uncovered various difficulties relating to the connection between interior and exterior. For example the balconies between the classroom cells would have been much more difficult to resolve in concrete than they were in timber, as they would have either required an autonomous supporting structure, or needed to be anchored to the inner load-bearing structure via thermally insulated connectors – an expensive option, of questionable durability. These problems highlight just how strongly the design of the school is connected to the characteristics of its constituent material, timber, and how it avoids any hint of arbitrariness within a framework of references.

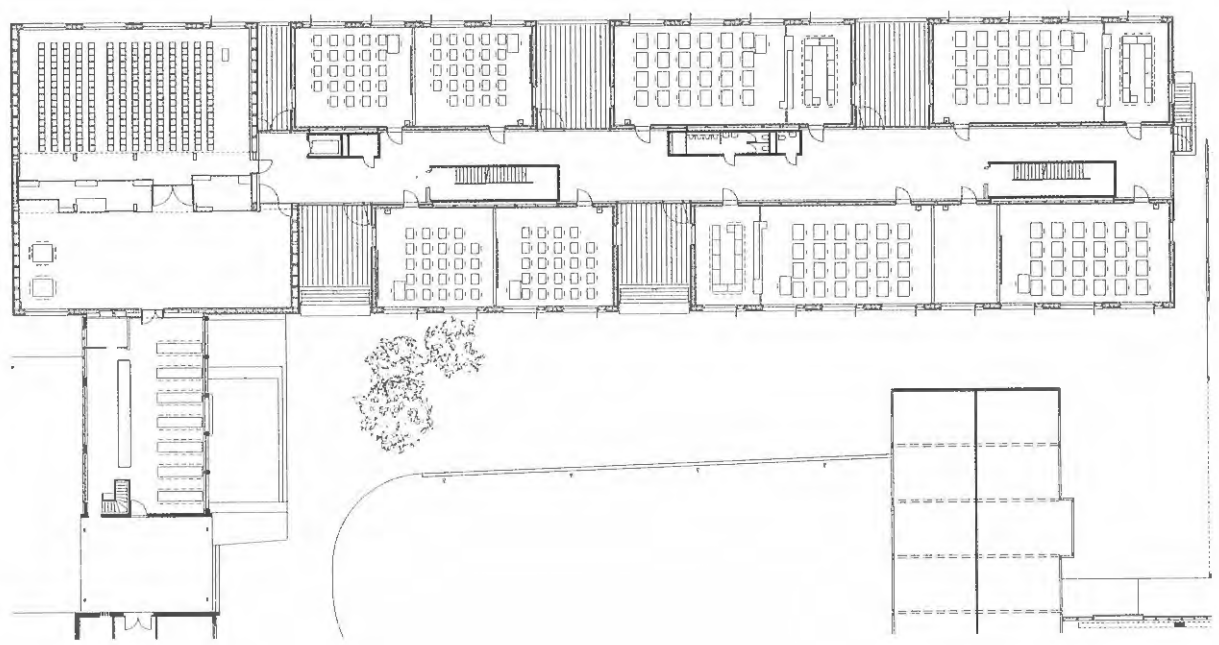
1 Department of Structural Engineering, Canton of Berne, 'Deckensystemwettbewerb für die Holzfachschule Biel', Berne, 1992. This competition was the trigger for discussions that also influenced the floor system of later projects including the schools in Duvin and St Peter.

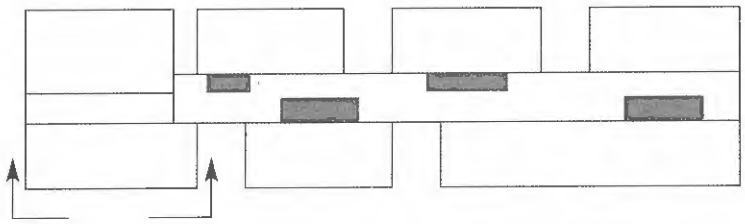
From top:
Top-floor plan
First-floor plan
Ground-floor plan

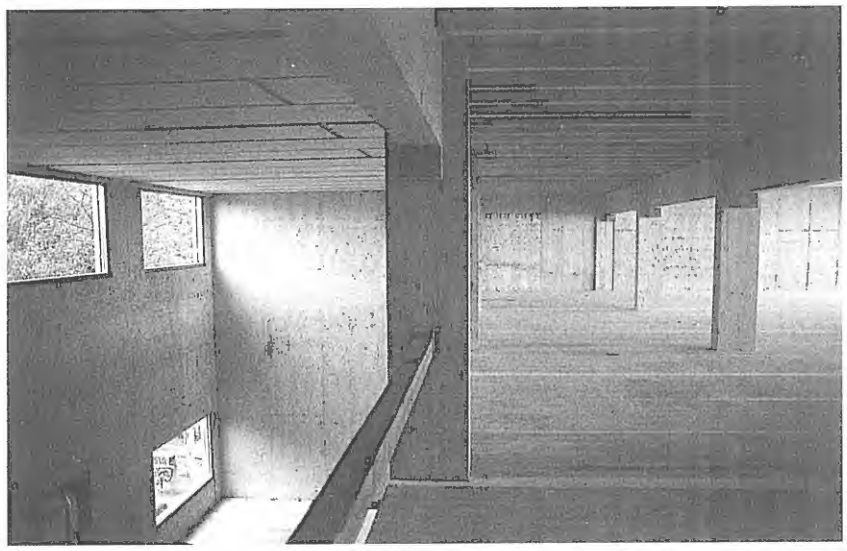
Facing page, from top:
Longitudinal section
emphasizing the
concrete structure
Concrete core

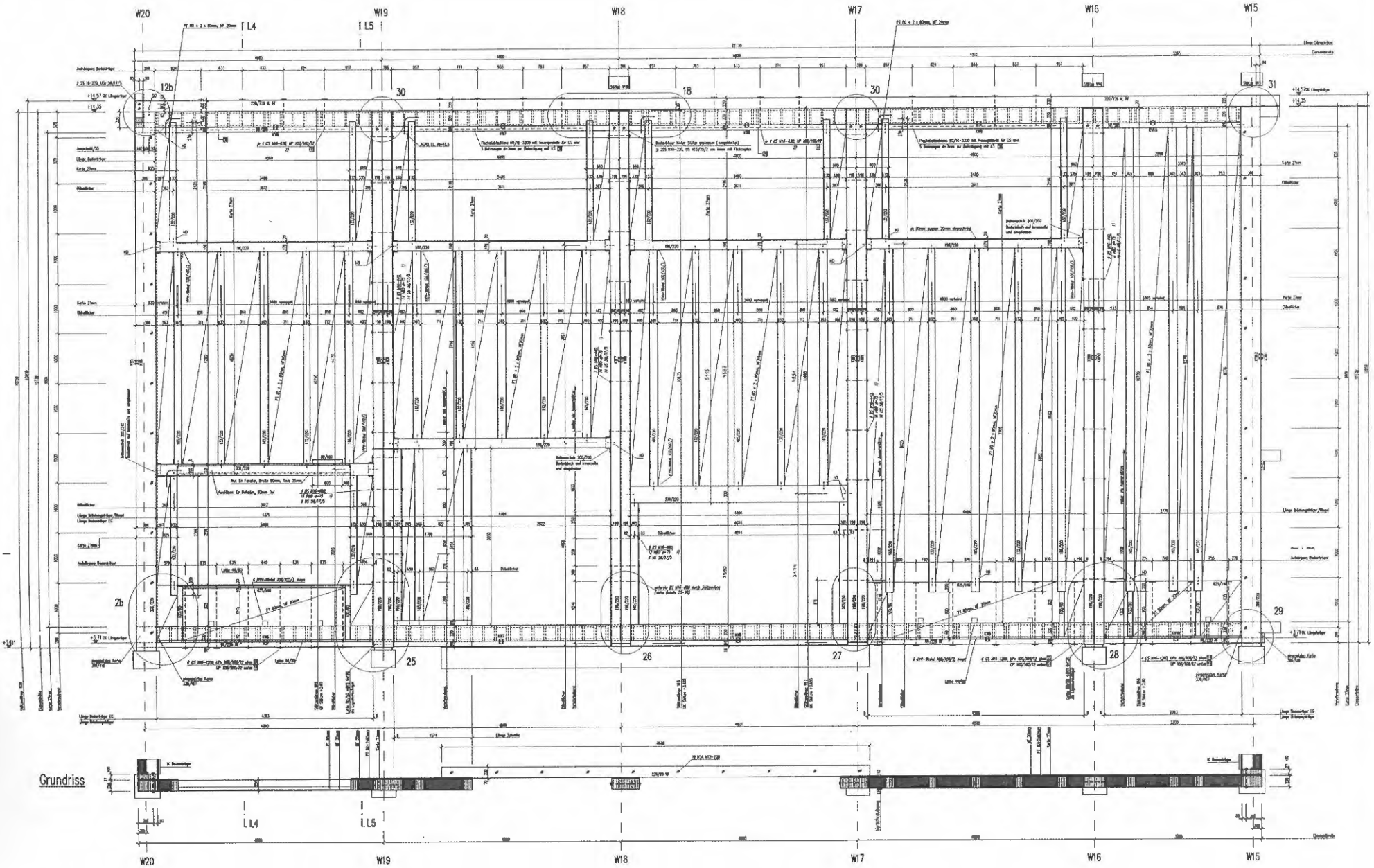


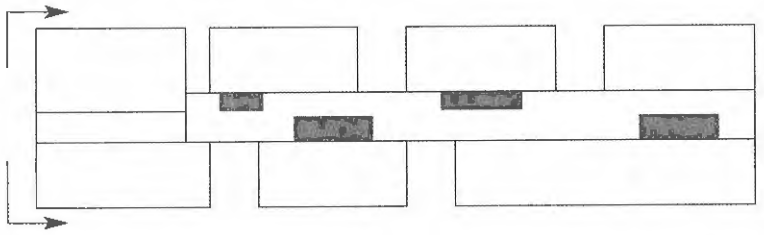






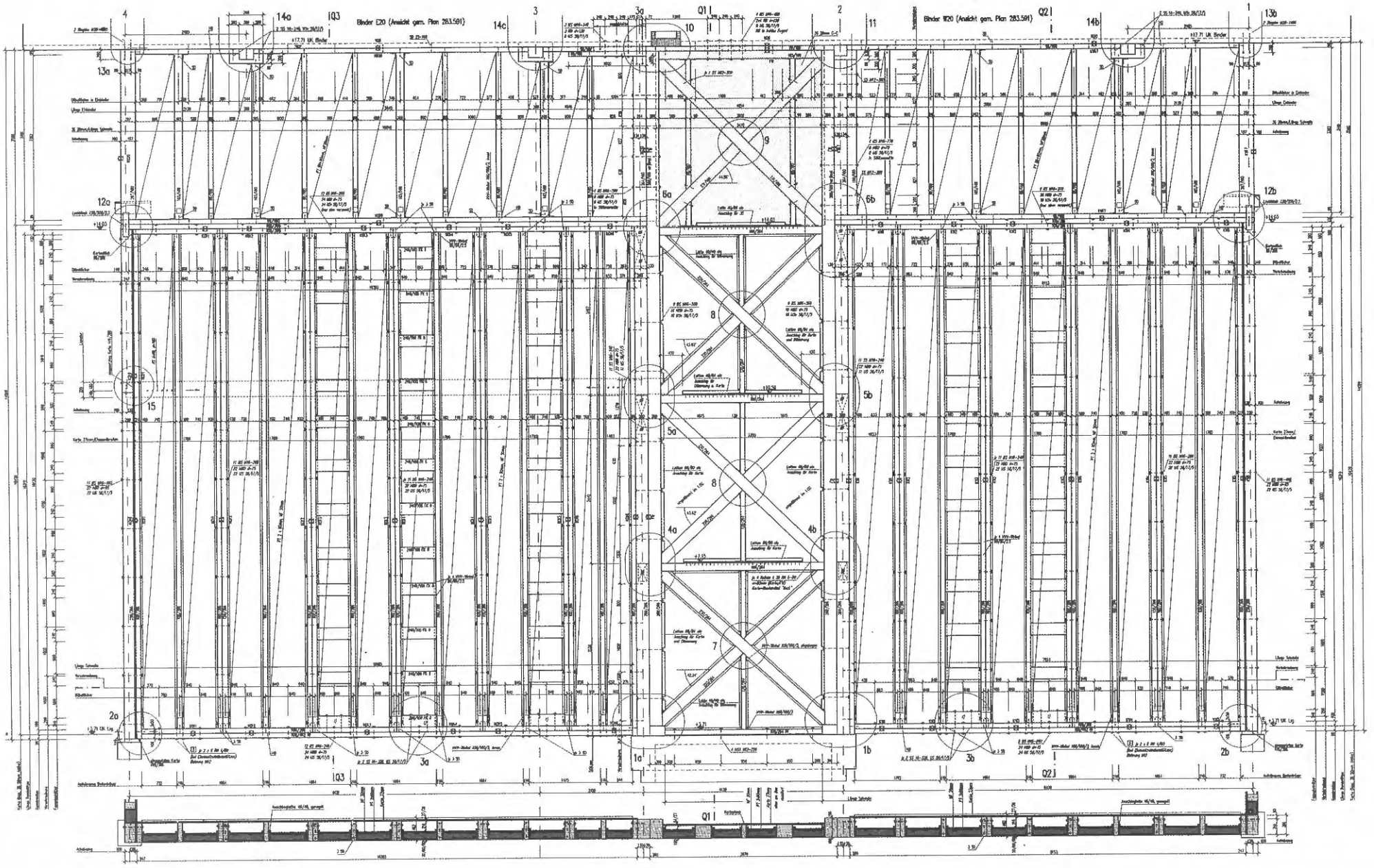


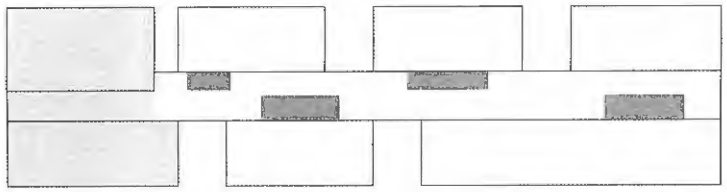

W20
W19
W18
W17
W16
W15
L4
L5
12b
30
18
30
31
2b
25
26
27
28
29
Grundriss



Facing page, from top:
Interior during construction
External structure of west wall at the head of the building

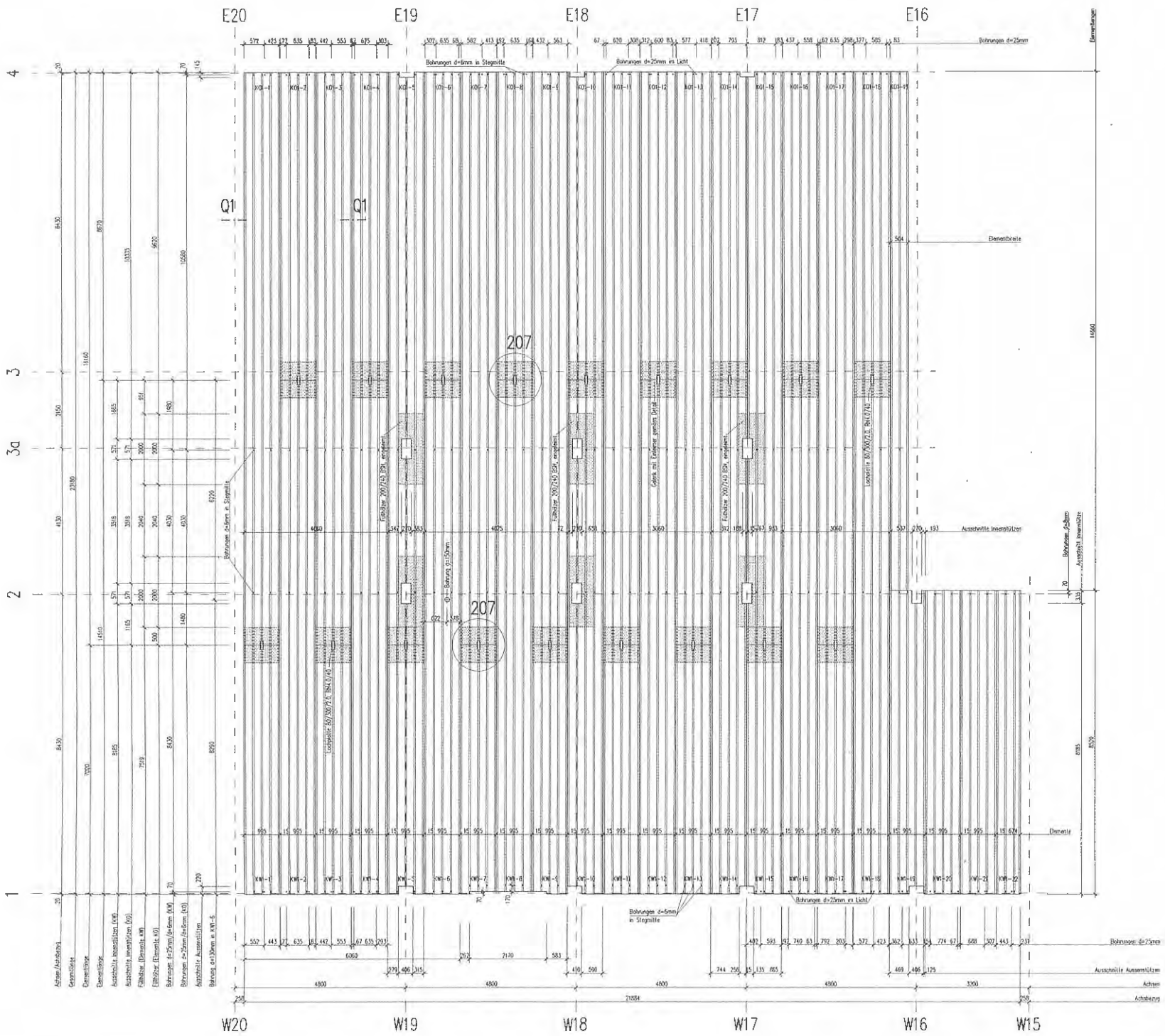
Below:
External structure of north wall

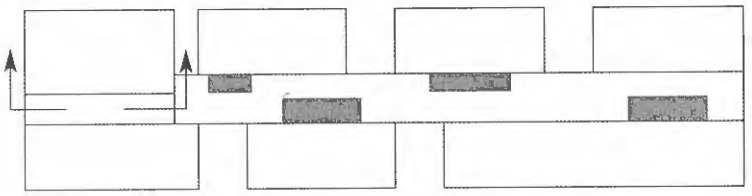


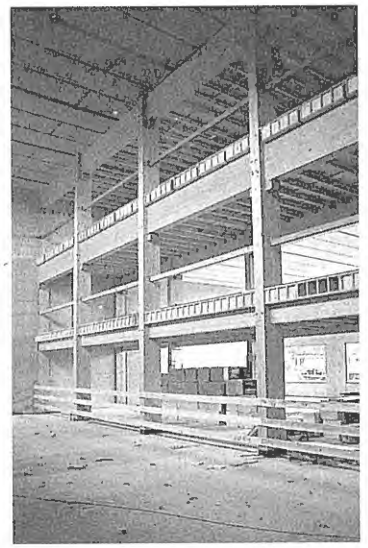


Below:
Roof plan at front of building

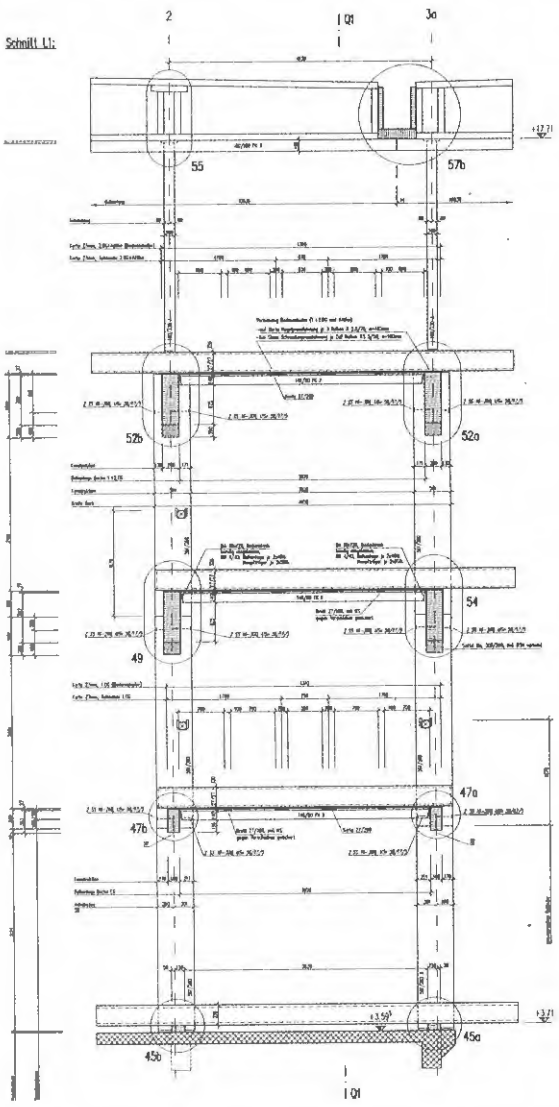
Facing page, from top:
Interior of front of building during construction
Cross and longitudinal sections through front of building



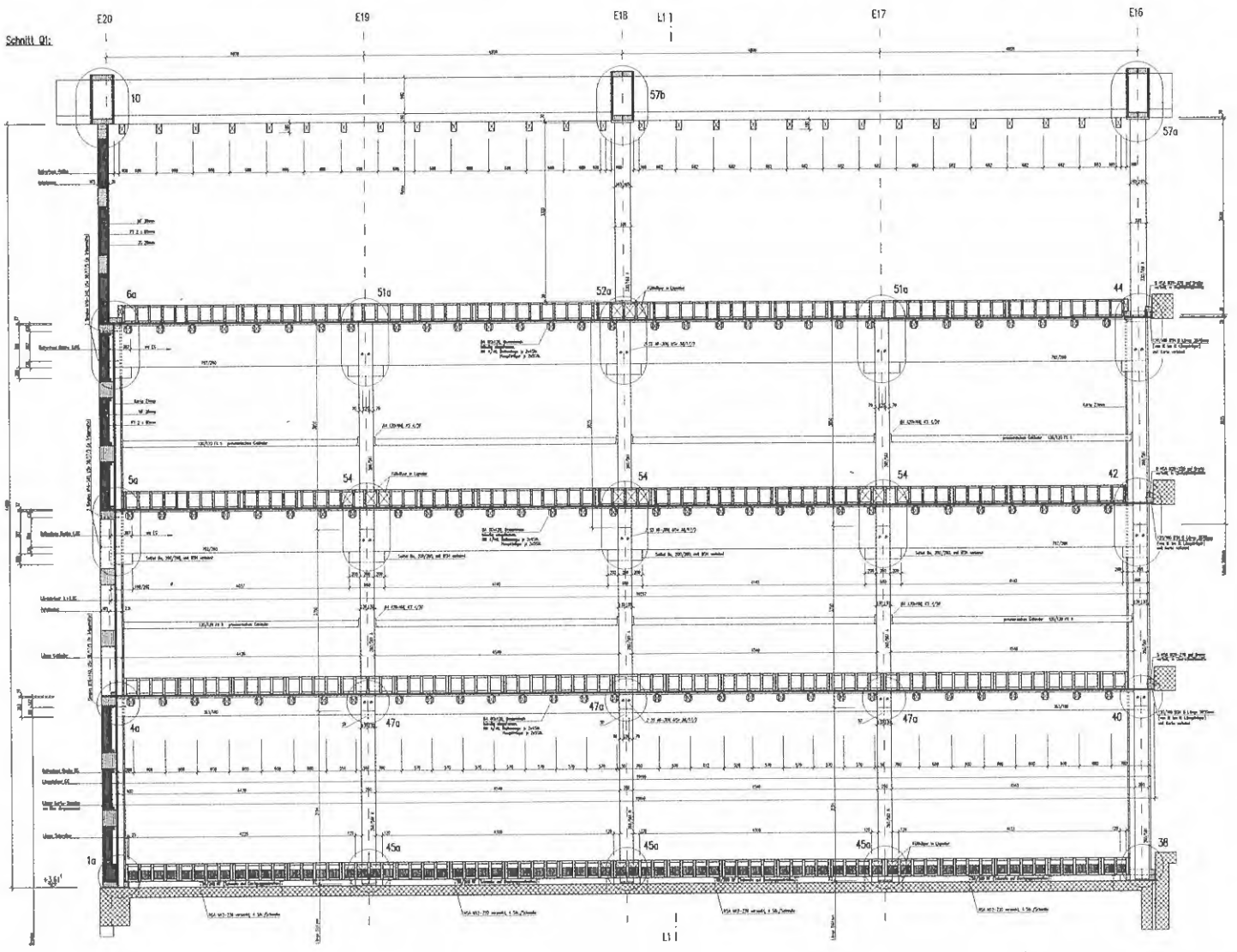


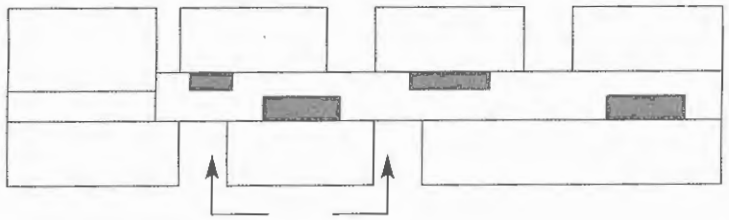


Schnitt L1:



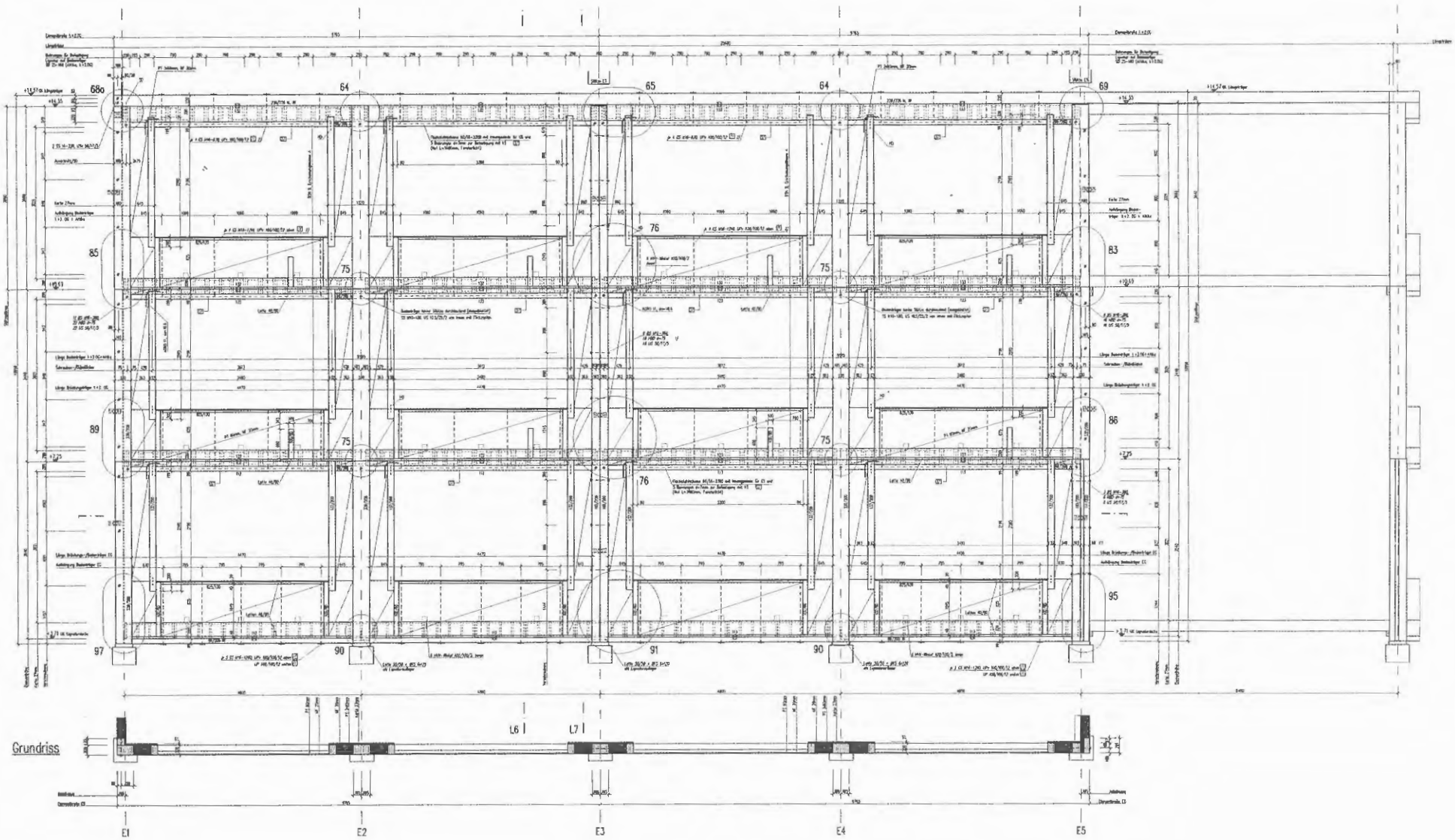
Schnitt Q1:

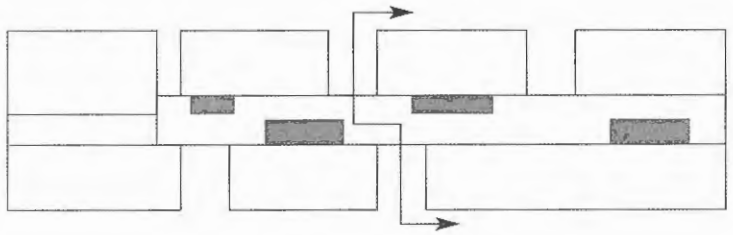


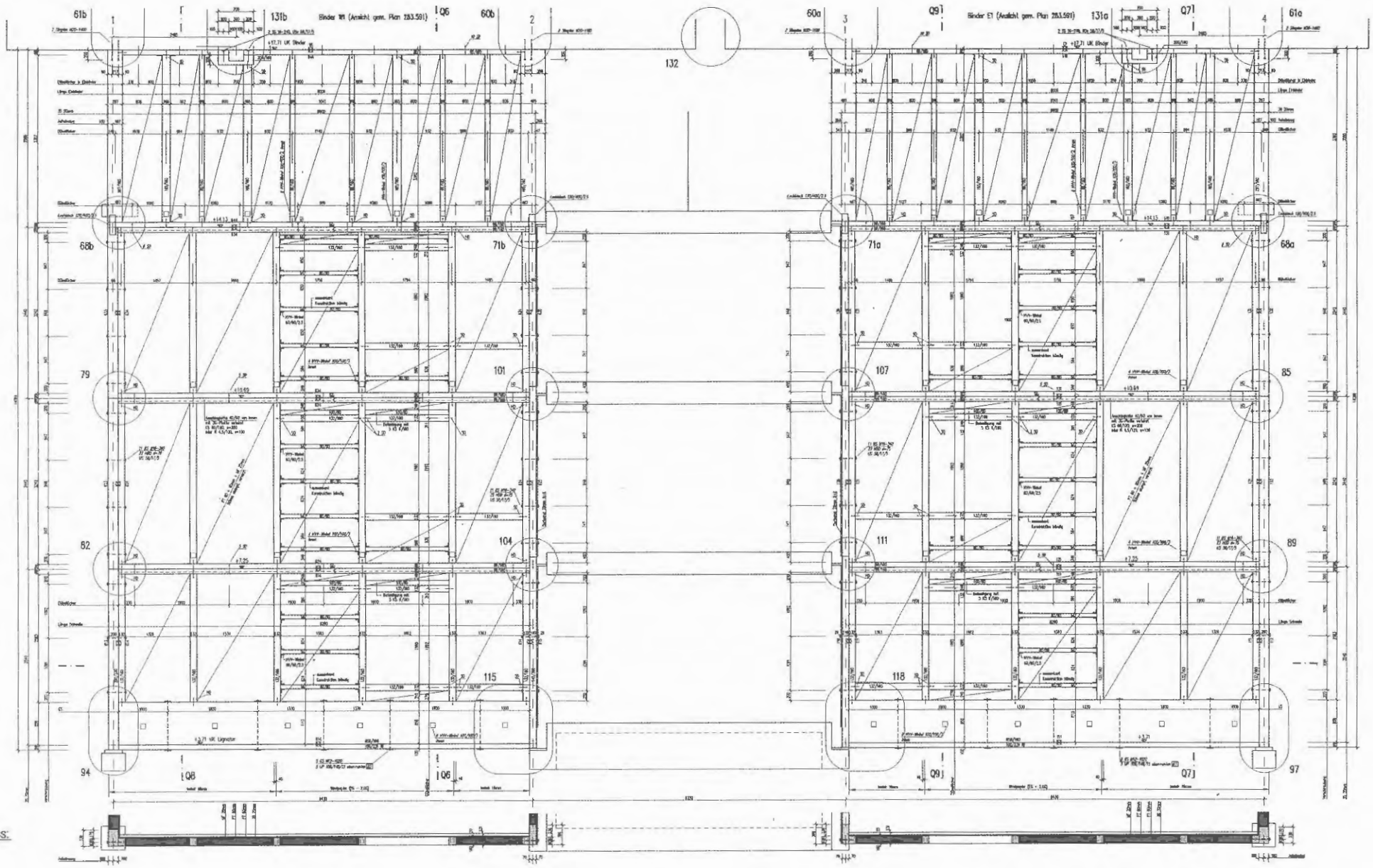


Below:
External structure of facade

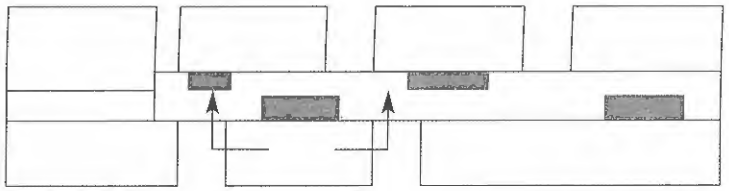
Facing page:
External structure of facade between classrooms and balcony





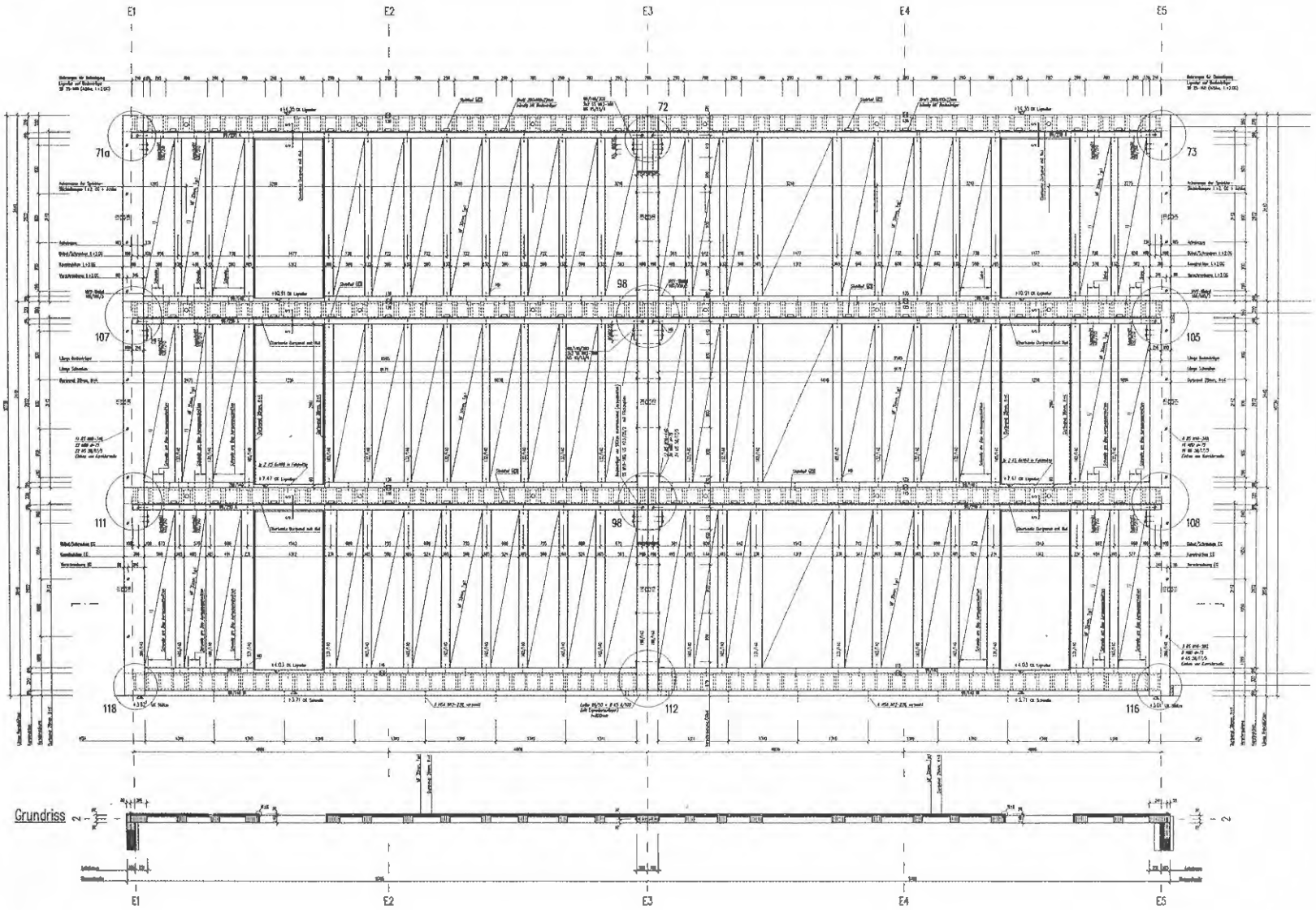

61b
131b
Binder W1 (Ansicht gem. Plan 283.591)
Q6
60b
132
60a
Q9
Binder E1 (Ansicht gem. Plan 283.591)
131a
Q7
61a
68b
71b
71a
68a
79
101
107
85
82
104
111
89
115
118
94
97
Q8
Q6
Q9
Q7

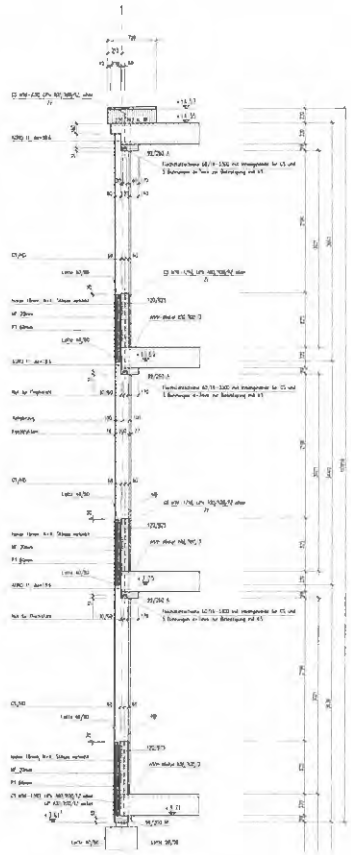
Grundriss:

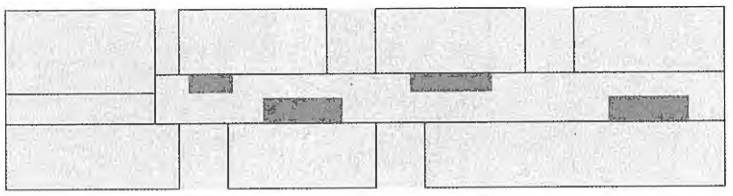


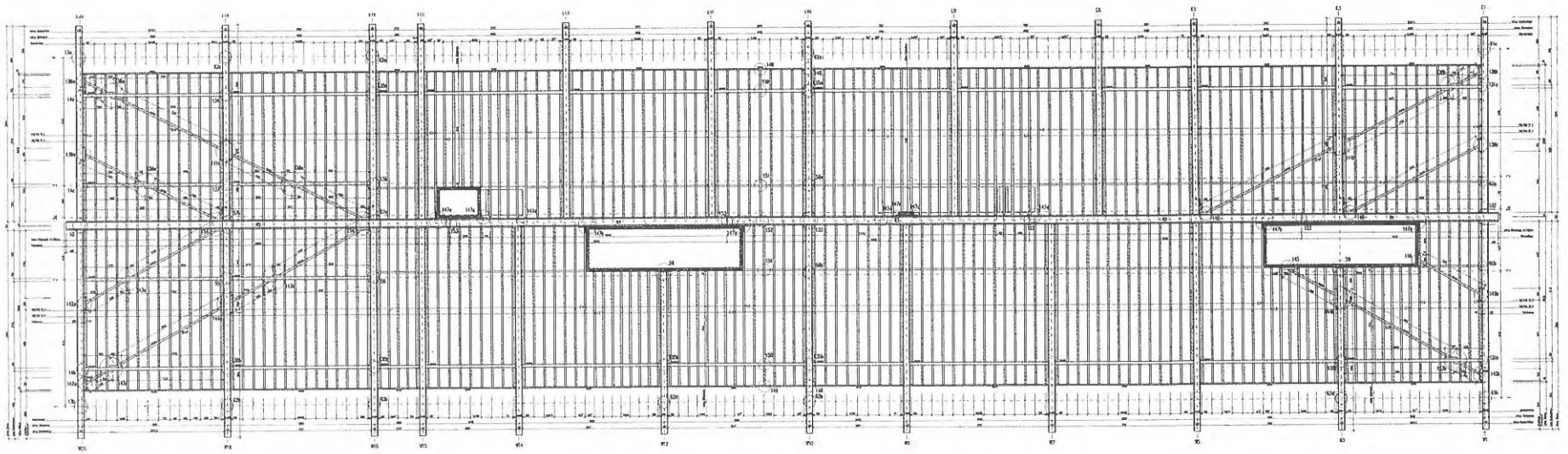
Below:
Construction of internal wall

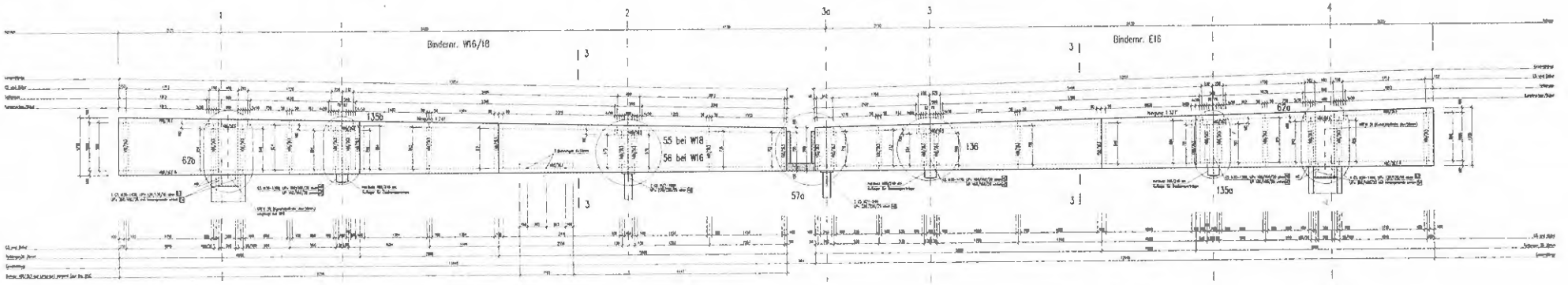
Facing page, from top:
Roof plan
Roof frame structure

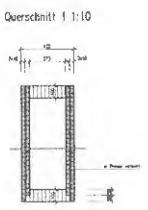


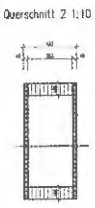


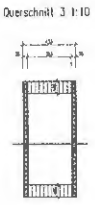


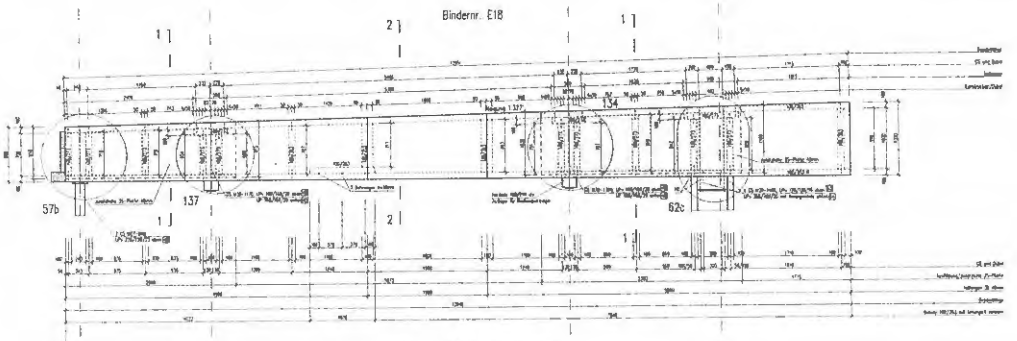


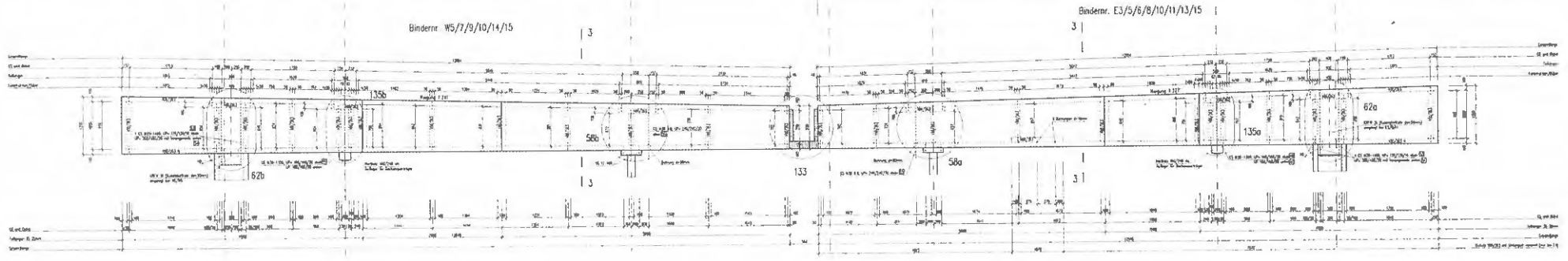

Bindernr. W16/18
Bindernr. E16
55 bei W18
56 bei W16
62b
135b
57a
136
62a
135a


Querschnitt 1 1:10


Querschnitt 2 1:10

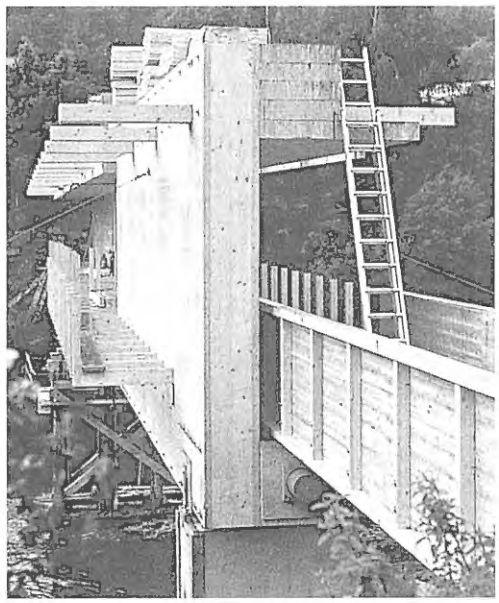

Querschnitt 3 1:10


Bindernr. E18
57b
137
134
62c


Bindernr. W5/7/9/10/14/15
Bindernr. E3/5/6/8/10/11/13/15
135b
62b
58b
133
58a
62a
135a

690

Pedestrian Bridge
Murau
1993–95



This covered wooden footbridge was the result of a competition organized in 1993 in conjunction with the 'Holzzeit' (Time for Timber) Expo in Styria, Austria. It is defined by two basic concepts: one structural in nature, the other spatial. What is *structural* is the concept for the central girder, which offers the optimum protection against the elements. What is *spatial* is the decision to build the bridge using walls and slabs, in order to provide the user with a variety of spatial experiences characterized by the oppositions between narrow passageway and open space, steep stair and level path, and directed and distant view. It is not hard to pinpoint the origin of the main decisions guiding the design: the engineer was responsible for the principle of the central framework, the architect for the eccentric planar organization of the shear wall elements. However the 'motifs' derived from these starting points became so strongly intertwined in the course of the project's development that the bridge as built may be considered equally as a spatial sequence or a technical construction with its own intrinsic value.

Thus the spatial decision to displace the shear wall elements from the central longitudinal axis opened up the technical possibility of fixing these elements to the side of the chord, which in turn permitted a very simple connection with screw rods and ductile dowels. At the same time this created, almost by itself, a large load-bearing surface over the abutments, which helped to stabilize the central framework against rotating. Neither of these structural solutions could have been achieved in such a straightforward way with a 'normal' planar rigid frame. Conversely, the structural choice of a single central girder meant that the chords had to be torsionally stiff – and correspondingly large. The dimensions of the chords were primarily determined by the sectional form of the bridge but were also designed to be able to take up, without further adjustment, the considerable longitudinal bending stresses, which was useful in that it made possible the central opening of the bridge, its 23.8-metre-long 'window'.

Architects:
Marcel Meili &
Markus Peter, Zurich
Collaborator:
Holzbauwerk Kaufmann,
Reuthe, Voralberg

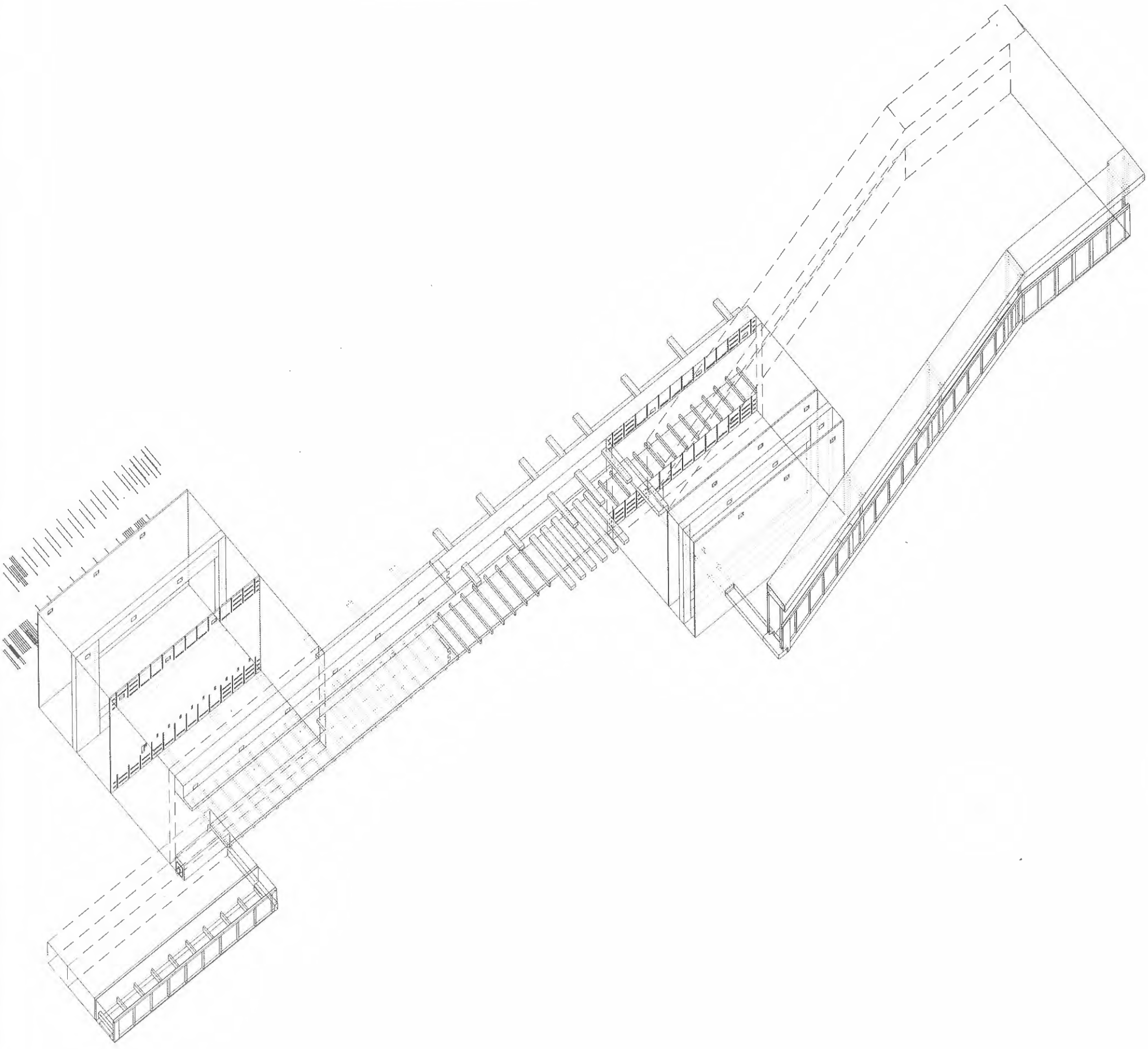
Left:
The bridge connects a variety of routes in an almost urban situation. On the south bank a narrow covered stairway rises from the bridge to the station situated above it, while on the opposite bank a stair leads down to the promenade along the river. This view has been much altered by the subsequent construction of a Local Authority building.

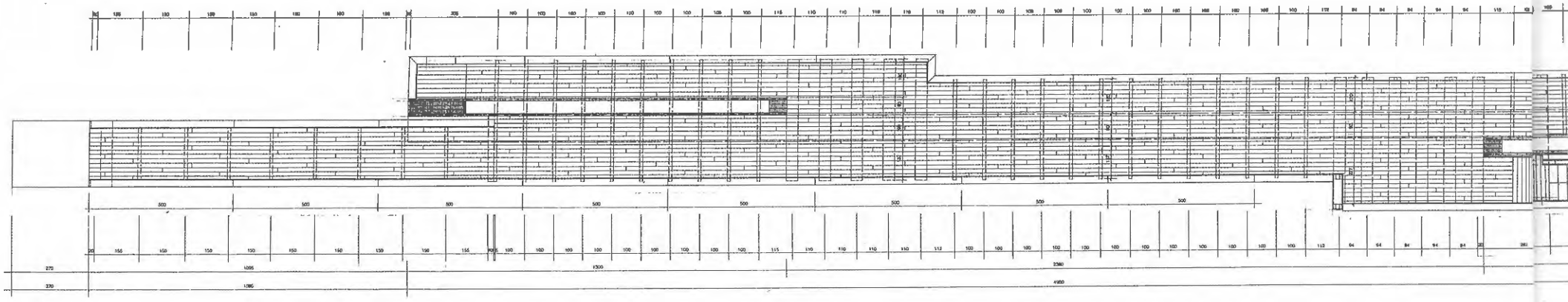
Right:
Load-bearing structure during assembly

KAUFMANN

Left:
View from east

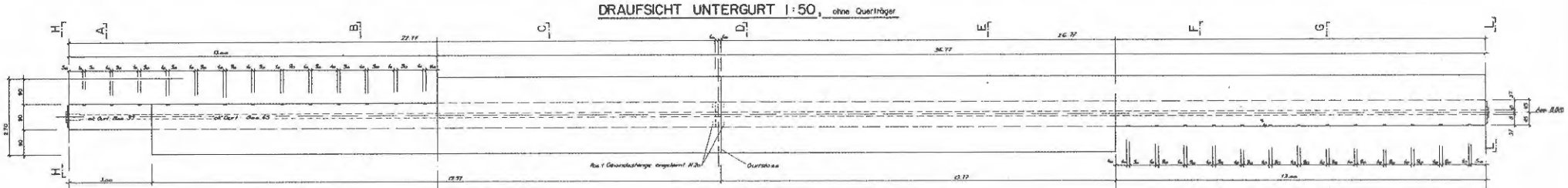
Below:
Isometric of load-bearing structure: the central structural frame is formed of the shear wall elements combined with the top and bottom chords.



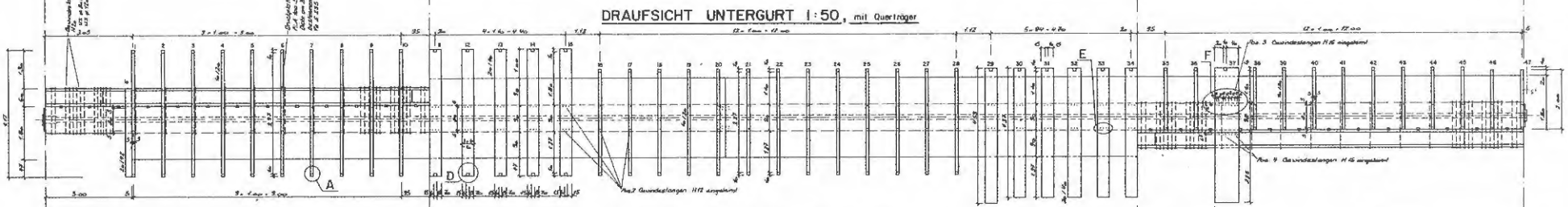


074

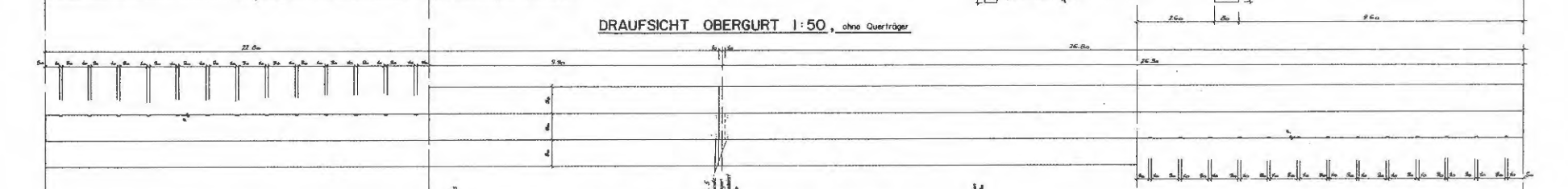
DRAUFSICHT UNTERGURT 1:50, ohne Querträger



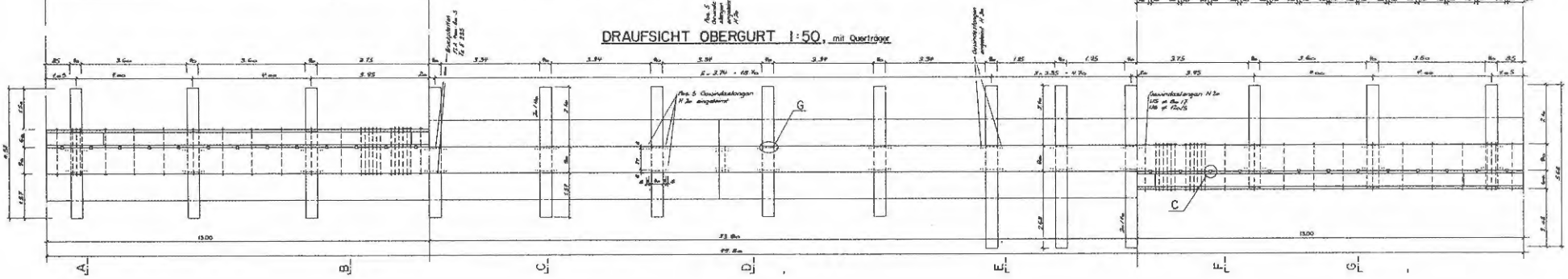
DRAUFSICHT UNTERGURT 1:50, mit Querträger

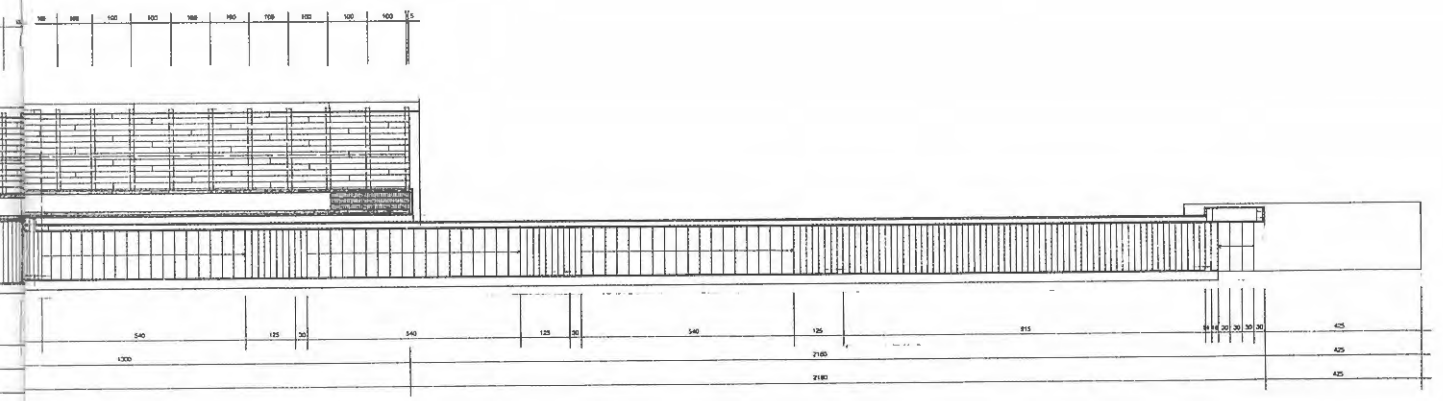


DRAUFSICHT OBERGURT 1:50, ohne Querträger



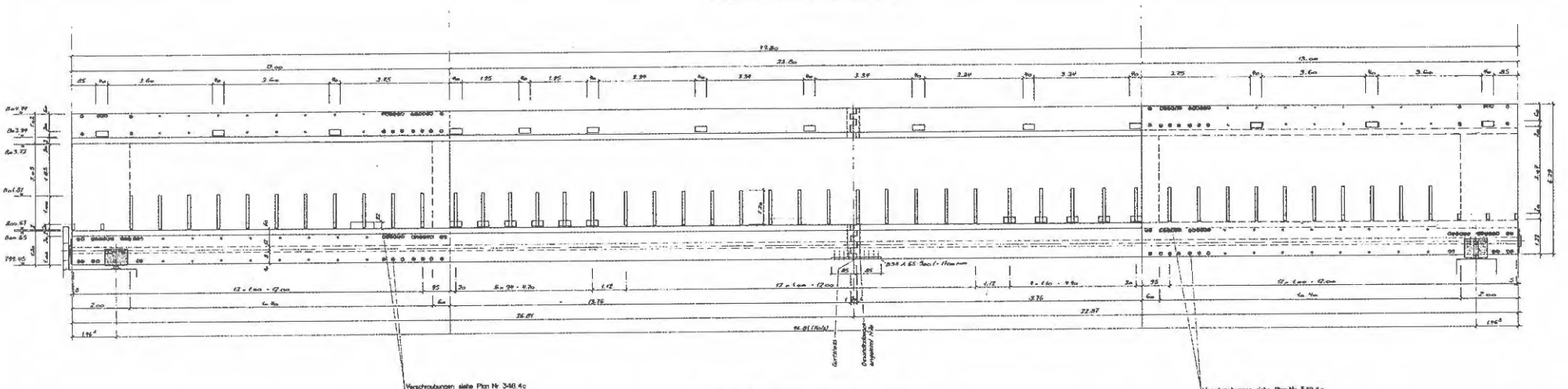
DRAUFSICHT OBERGURT 1:50, mit Querträger



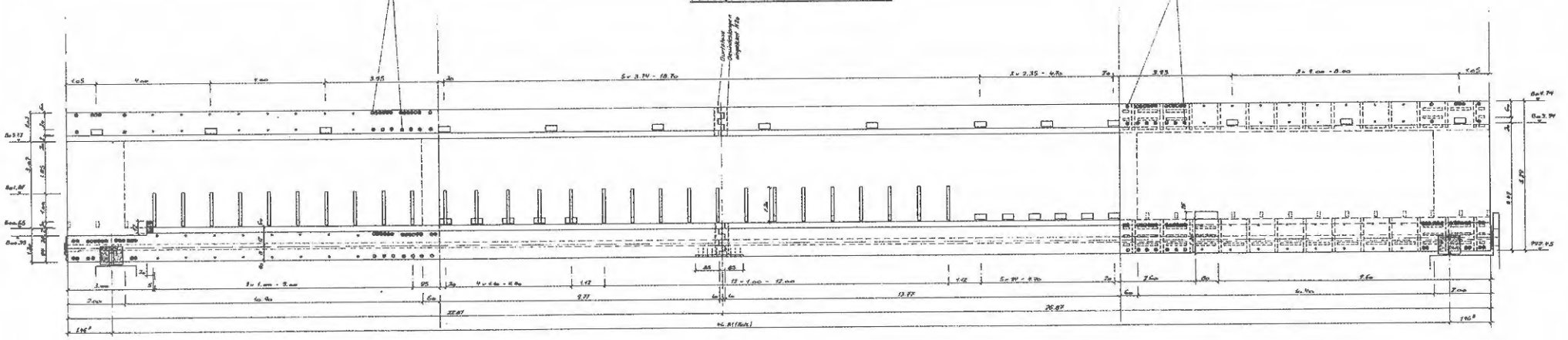


Left:
Plan of walkways with eccentrically organized shear wall elements

ANSICHT VON OSTEN 1:50

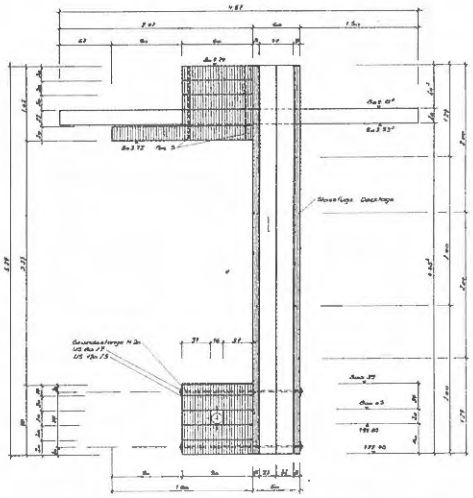


ANSICHT VON WESTEN 1:50

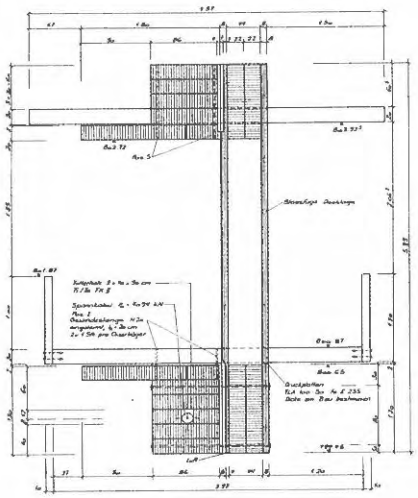


Facing page, below:
Construction of chords and transverse beams

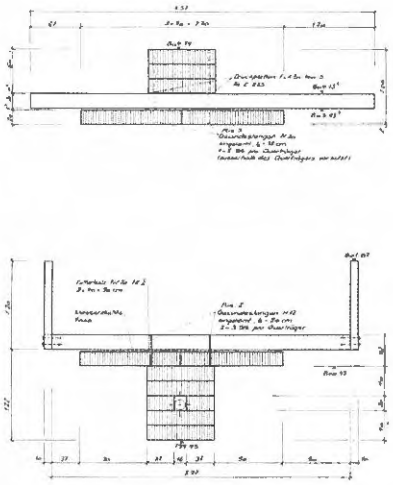
Above:
Construction of load-bearing frame



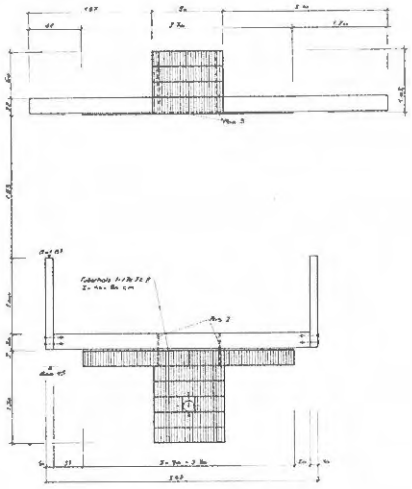
A-A



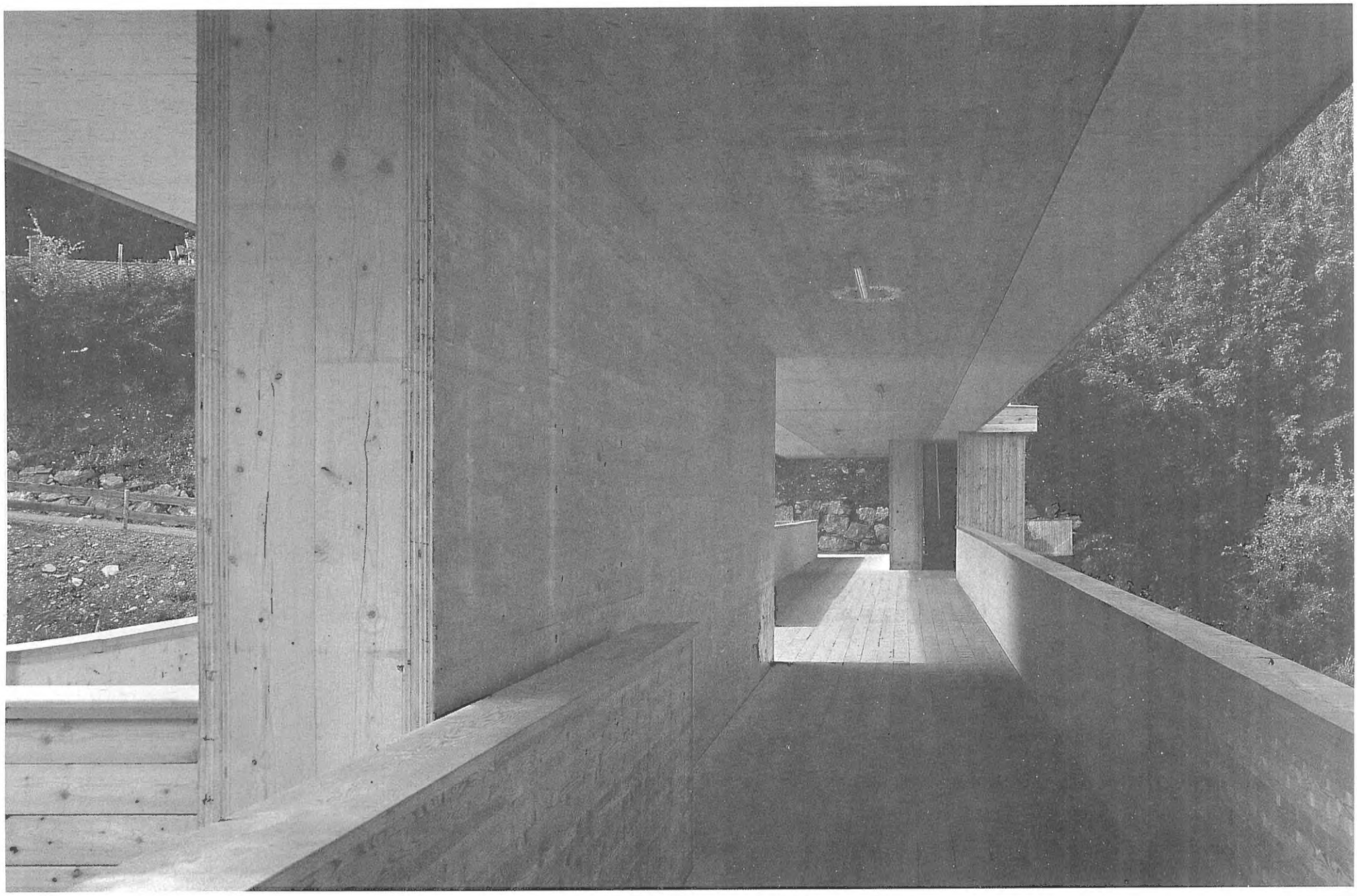
B-B

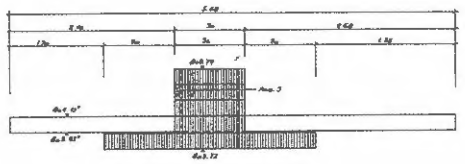


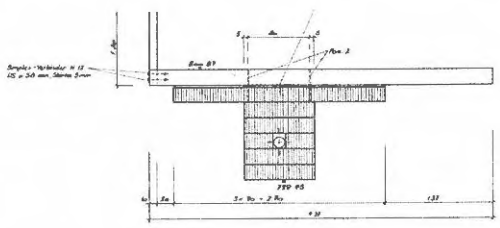
C-C



D-D



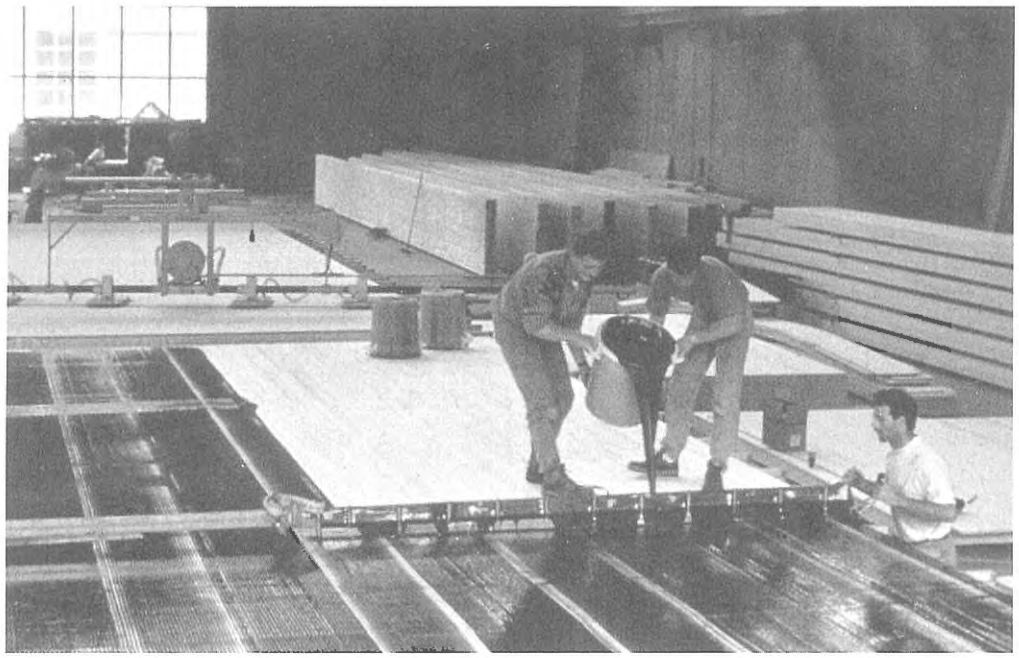


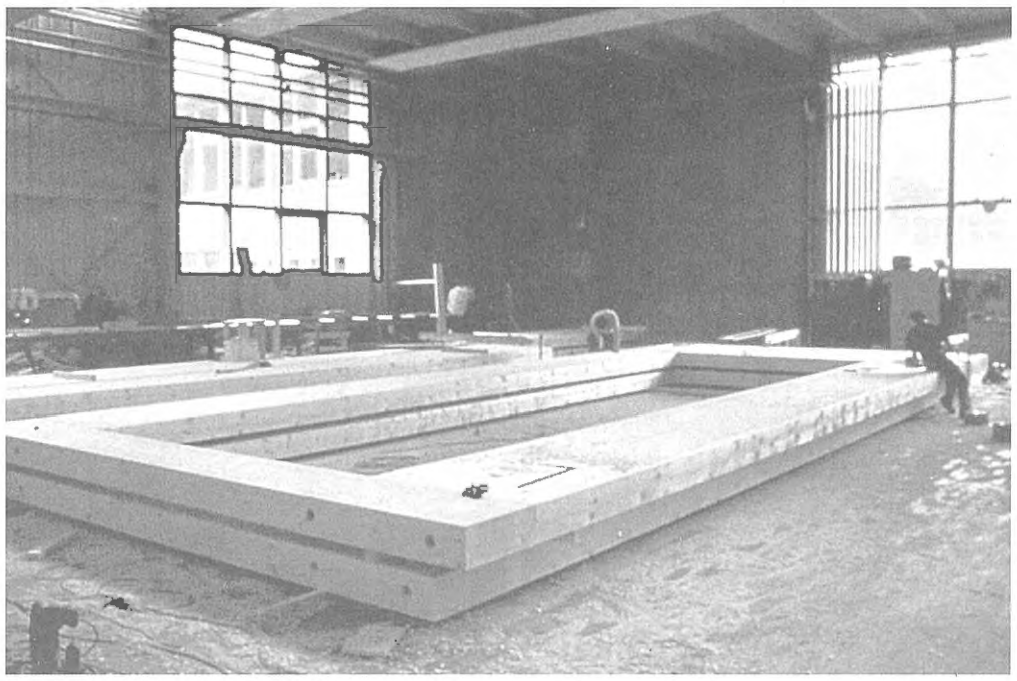


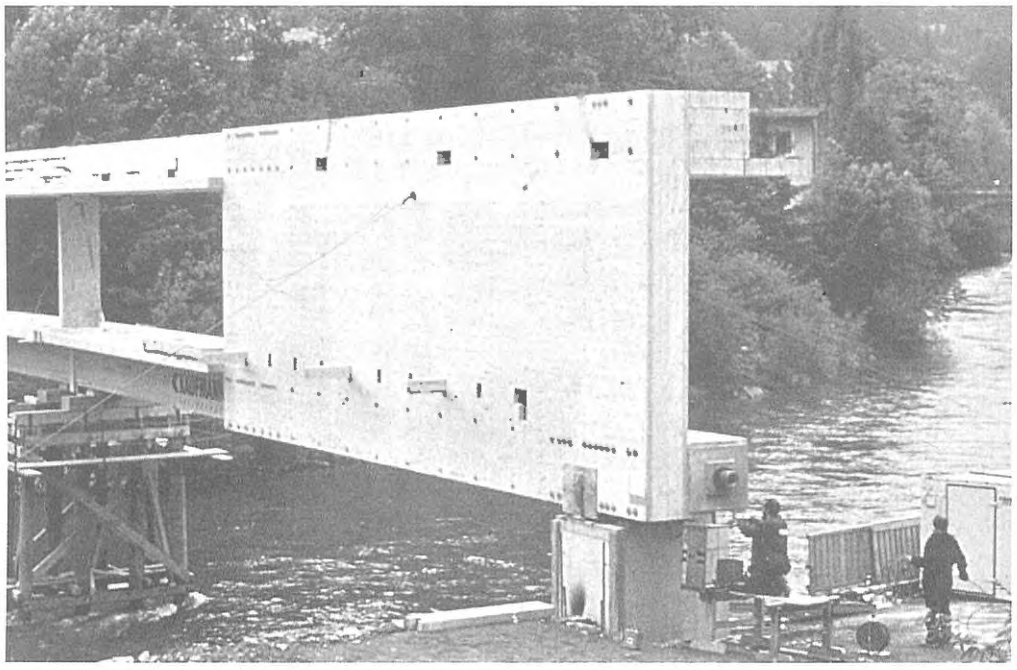
E-E

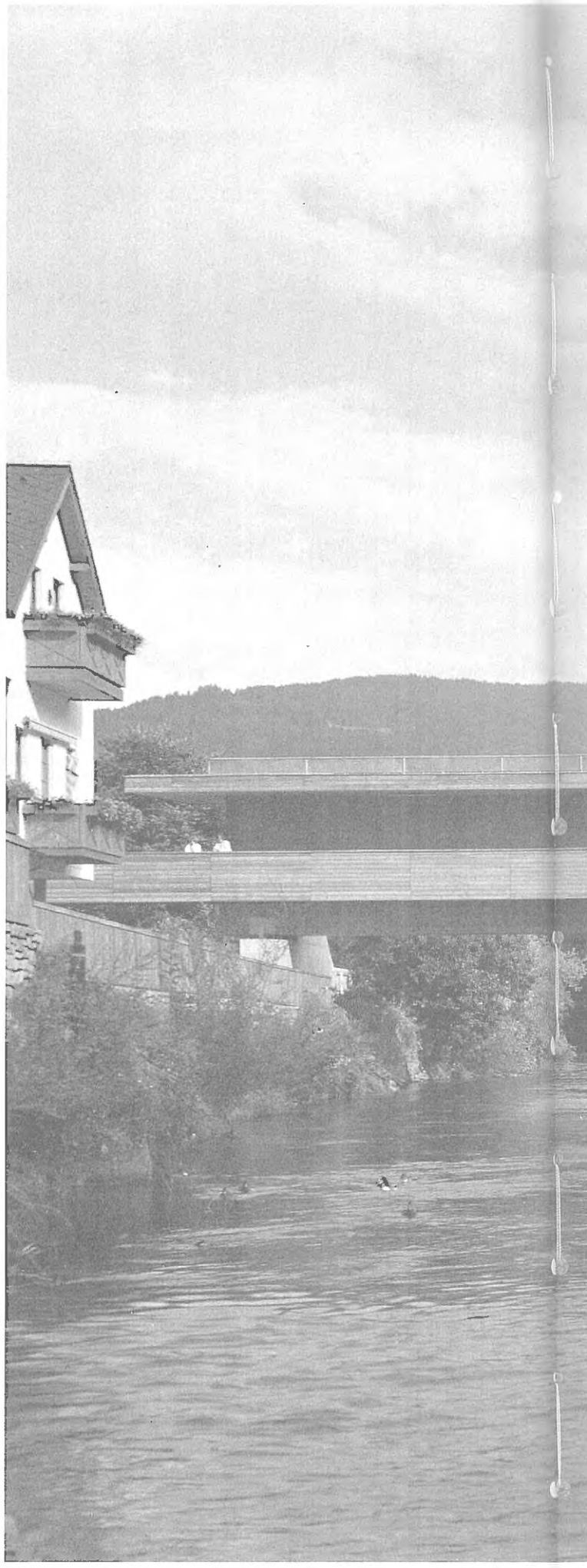
Left:
Sections through load-bearing structure. The section is organized hierarchically: the more important an element is for the static strength of the bridge, the nearer the centre it lies. Thus the topmost surface of the walkway, which is subject to wear, is designed to be easy to replace as required. The same is true for the exposed side parapets (which are not part of the primary load-bearing structure either) and even the transverse beams.
The lateral 'flanges' of the T-shaped chord provide the necessary horizontal stiffness transversely to the bridge. They are separated from the transverse beams by open joints, allowing these to bend without touching the flanges. A vertical loading of the flanges would produce bending tensile stresses in the timber transversely to the fibres: even at low values, the timber would split and eventually break.

Below:
Views inside the completed bridge. The parallel projection of both shear wall elements in the longitudinal direction creates the impression of an opening framed on two sides. The user steps, so to speak, through a doorway, whose side reveals are staggered in relation to one another.







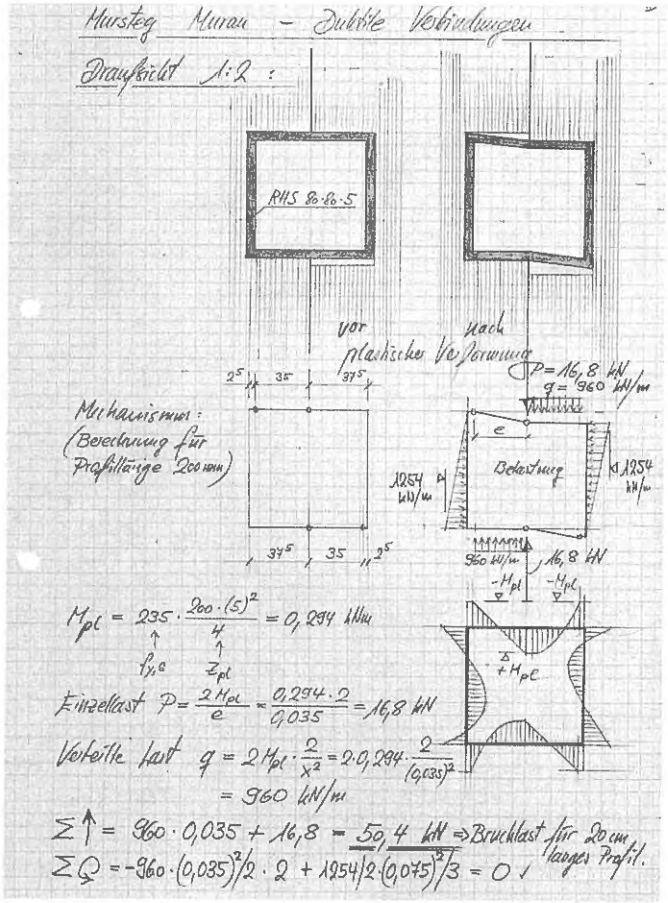


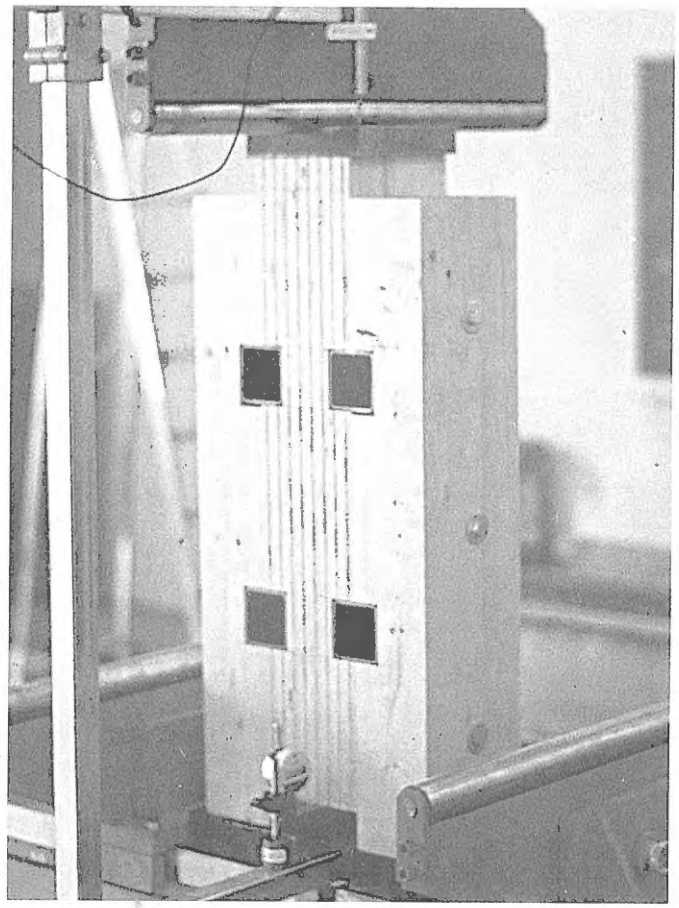
Right, from top:
The sides of the shear walls are assembled from four layers of gang-nailed and glued three-ply panels.
The inner frames of the shear wall elements before they are joined to the side walls.
Post-tensioning of the bottom chord on the construction site. Just visible in the river is the temporary structure that has supported the two halves of the bridge up to this point.

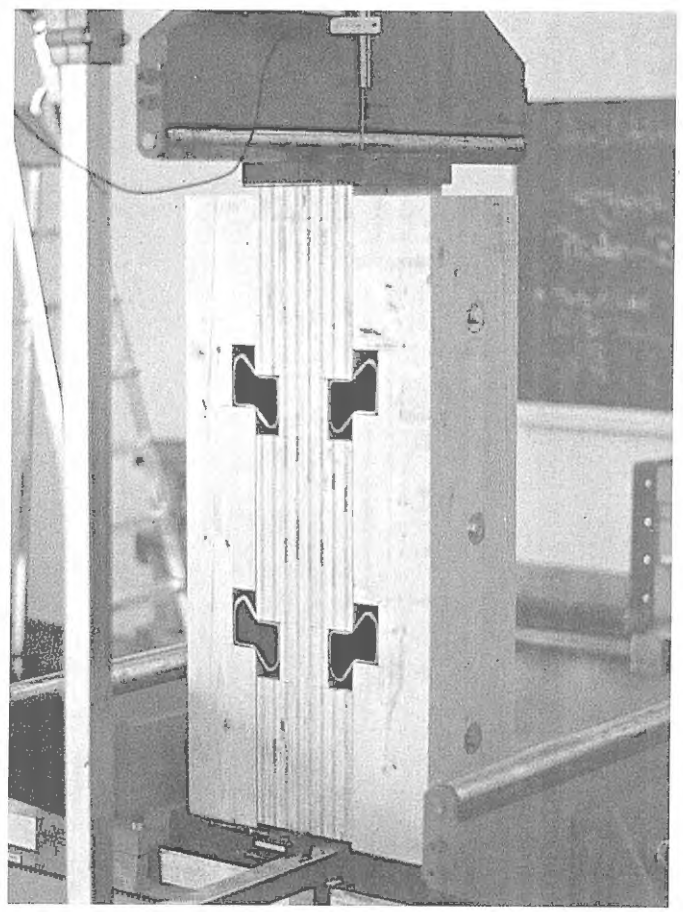
Far right:
View of bridge from west

Calculations and test for ductile connections between chords and shear wall elements.
Forces are carried over a length of 13 metres between chords and shear wall elements. These forces must be distributed evenly over the entire length in order to avoid local overstresses that could progressively cause the bridge to fail. A second problem is that several days can elapse between the precise preparation of joints and grooves in the workshop and their assembly on site, during which time the dampness of the wood can change, producing millimetre-long displacements. These tolerances must be taken into account during assembly. For this reason we used 'ductile dowels' which operate in a similar manner to relief valves, in that the steel yields when subject to a certain force and so can tolerate large deformations without being structurally compromised.
The force taken up by the dowels initially increases in relation to the deformation, but then remains constant from a certain predetermined value of deformation. The tension in the timber therefore remains in each case below a defined value, even when subject to large deformations.
If several of these ductile dowels are used in a row, then under a small stress the overall bearing action can be distributed differentially over the individual dowels. When the forces are greater, the dowels subject to the greatest stresses reach their yielding limit but then maintain a constant resistance. At this point the other dowels take up an increased share of the load. A failure only occurs if all the dowels yield. Hence the breaking load corresponds simply to the sum of the individual resistances of the dowels, independent of the asymmetrical distribution of forces.

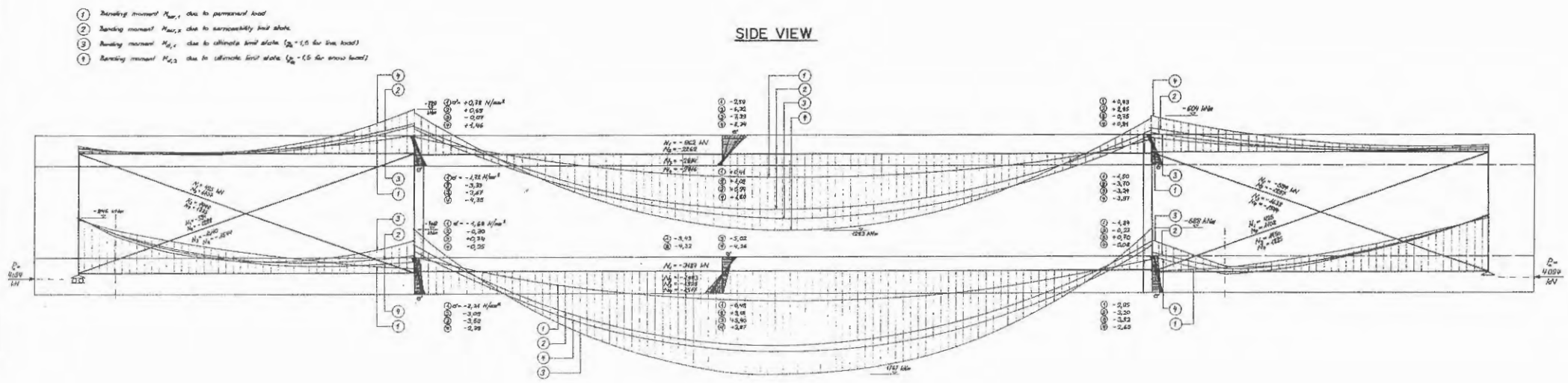
The single test was not concerned with assessing the mechanical properties of the timber and the means of connection (that would ultimately have required a large number of representative tests). Rather its purpose was to verify the thinking behind the calculation of the connection; in other words to make sure that nothing essential had been overlooked, that there was no fundamental error in the concept for the connection.

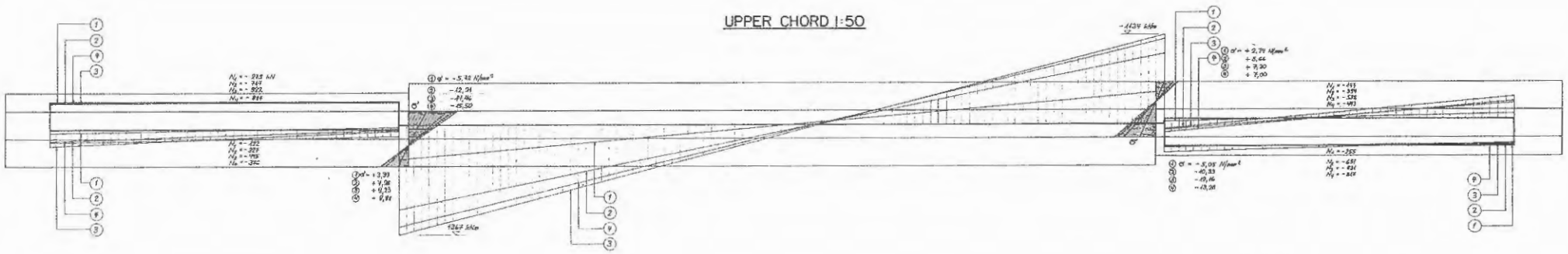


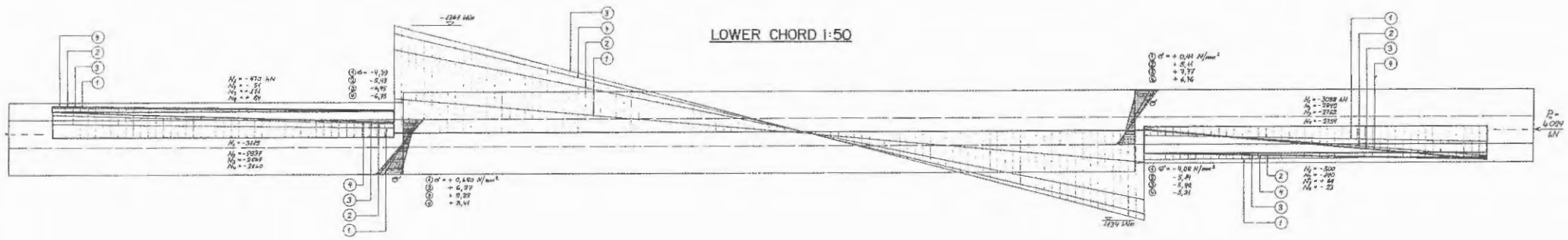


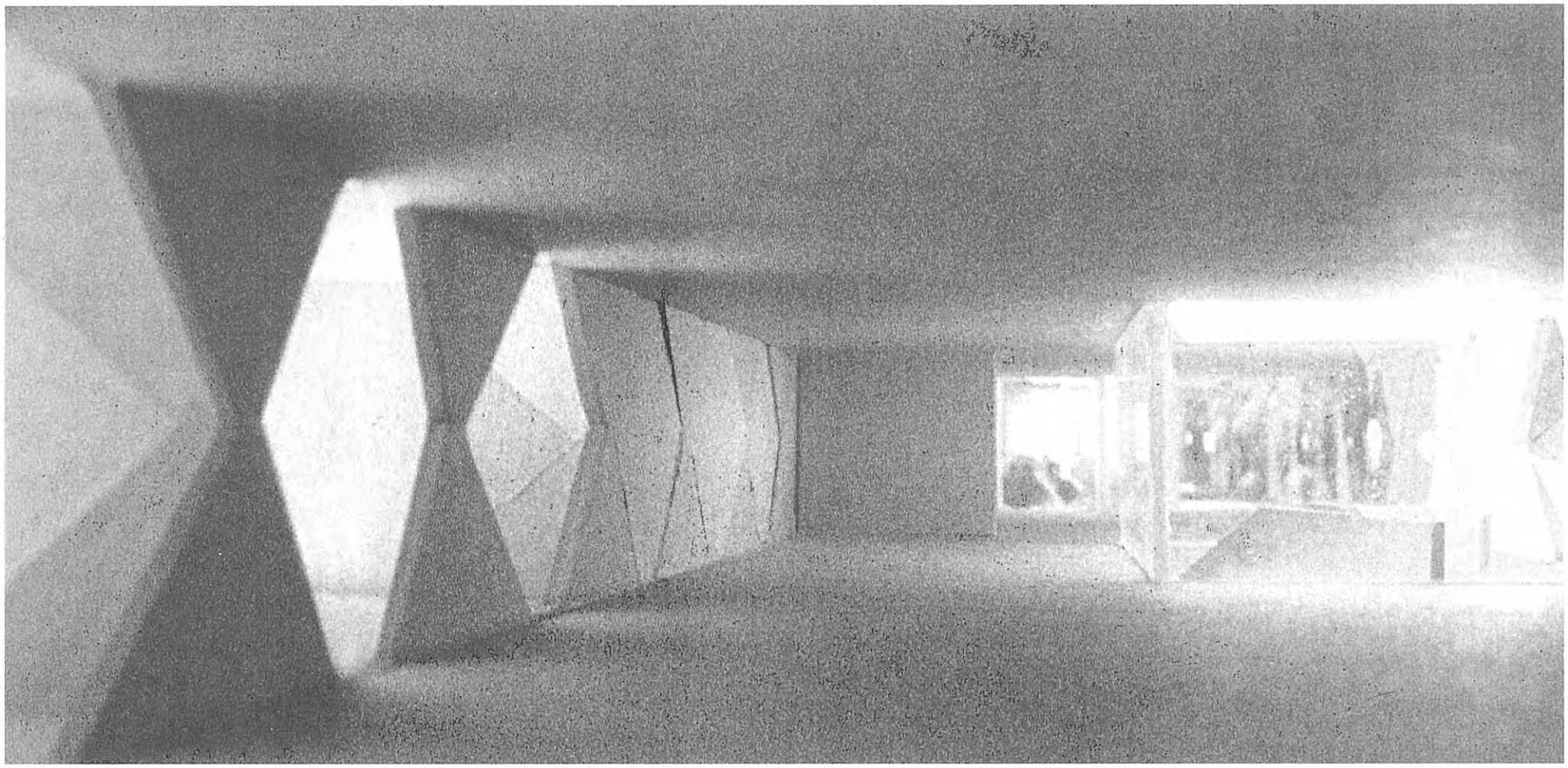


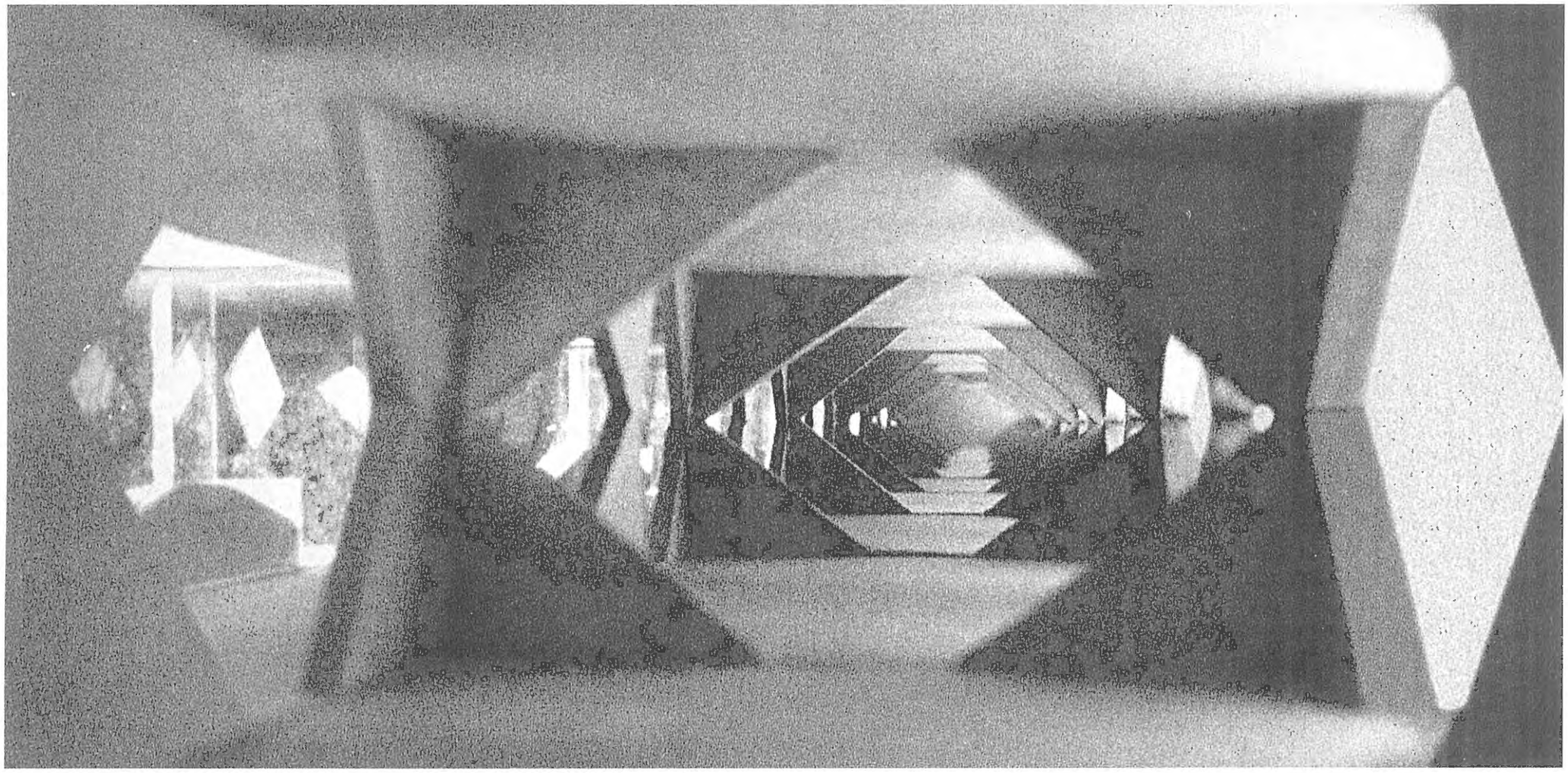
From top:
Bending moments in the vertical plane for upper and lower chords
Bending moments in the horizontal plane for the upper chord
Bending moments in the horizontal plane for the lower chord











Airport Gate Zurich-Kloten 1999

Wolfgang Schivelbusch has described the nineteenth-century railway station as being like a filter, preparing travellers step by step for the incredible experience of 'panoramic travel' awaiting them on a speeding train.[1] Few people today would feel the need to prepare themselves mentally for a journey by train, yet the preliminaries for boarding a plane seem to correspond exactly to the rituals of the Victorian traveller.

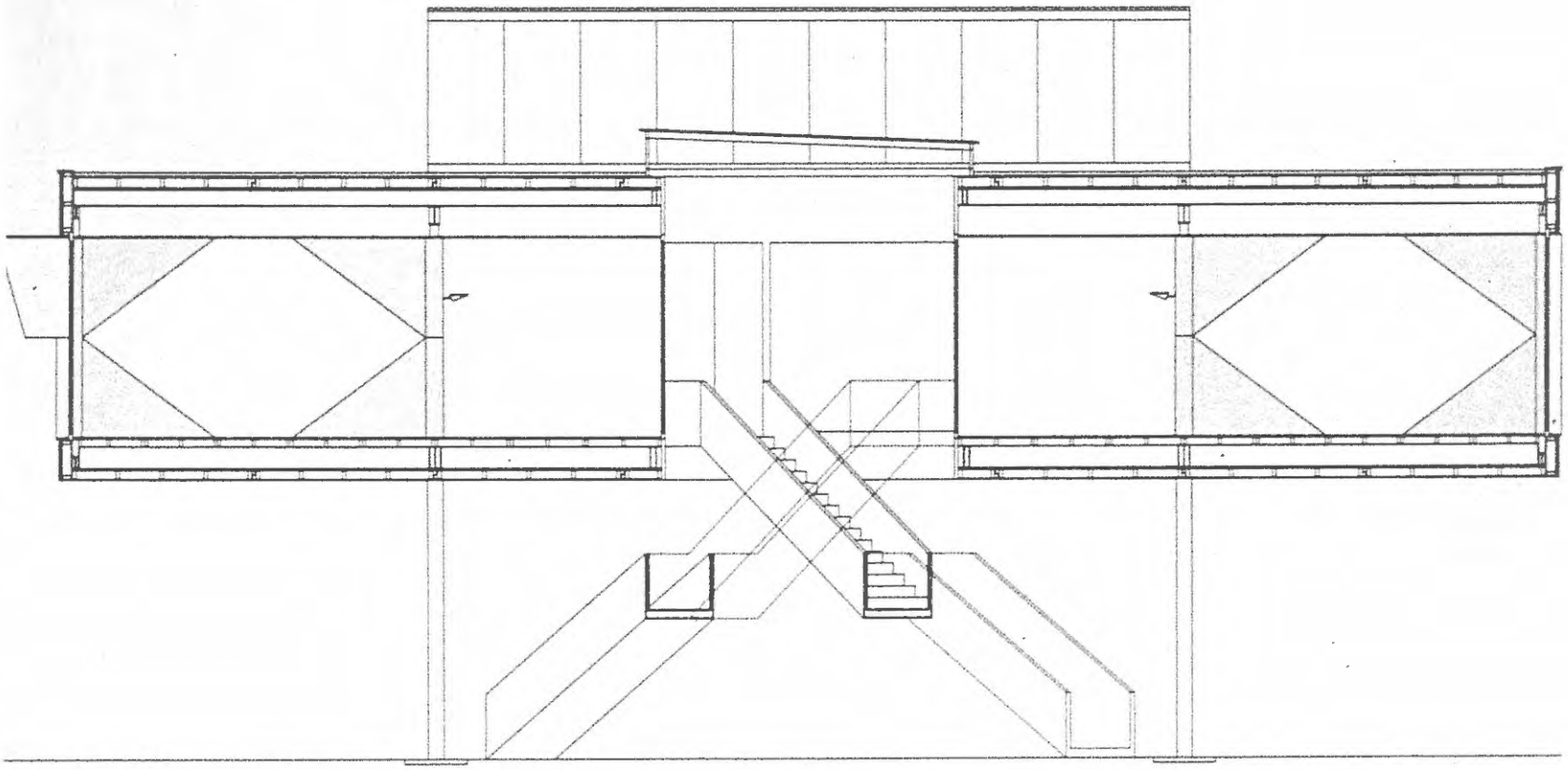
This temporary structure was designed to provide a waiting lounge for passengers pending the completion of additional airport gates. It is something half-way between a building and a plane (a category that could also include the bridge). Entry is on the upper level; once the flight is ready for boarding, passengers take an escalator down to the transit buses below. To accommodate the wide bus lanes, a structural grid approximately 11 metres square was required. The upper storey is formed as a man-size girder. The floor and ceiling contain the chords of a diamond-shaped steel truss; the structure is encased in plasterboard for fire protection. Combined with the cavity between floor and ceiling, the truss produces hexagonal openings for passenger circulation. A curious spatial effect arises. When you are standing or walking, the central nodal points of the struts are roughly at eye level. Your eye is drawn to the horizontal plane at which the structure is physically most open, and your view encompasses the space as a whole, taking in the side bays as well as the central hallway. When you are sitting in the waiting area to the side, however, you get a completely different impression. In this position, triangular wall screens limit the field of vision and give you the feeling of being in a room – the space is no longer expansive, but intimate. This competition project uses the simplest means to create space out of pure structure. Unfortunately, it turned out to be a bit too unusual for the jury's taste.

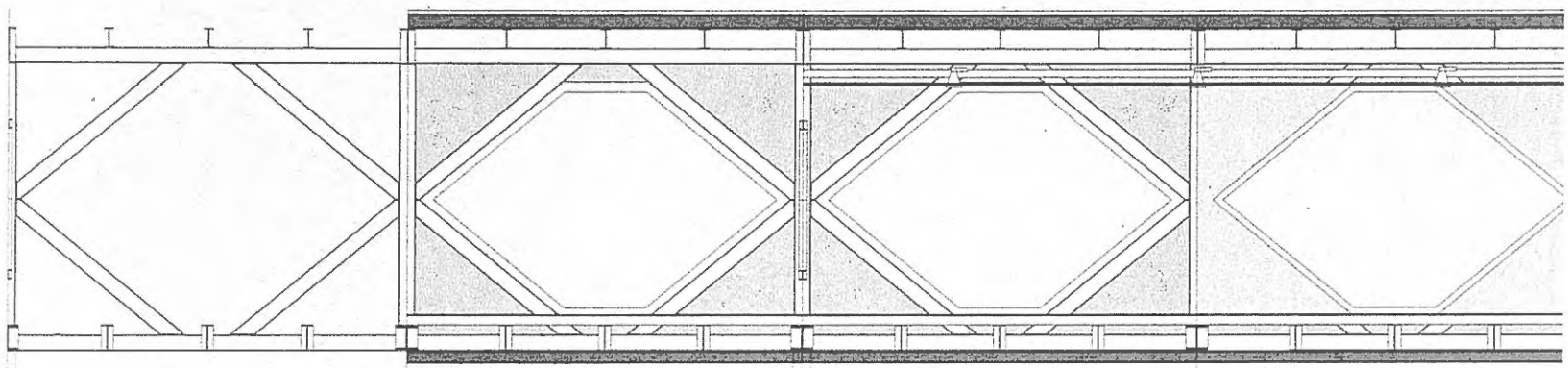
Architects:
Lorenzo Giuliani and Christian Hönger, Zurich
Collaborator: Martin Valier

Left:
Model views

Right:
Inside an old-style Swiss Railway carriage. The positioning of the luggage rack encourages a dual perception of the space: expansive on the one hand, intimate on the other.

1 Wolfgang Schivelbusch, *The Railway Journey: Trains and Travel in the Nineteenth Century*, Urizen Books 1978





Phase 1

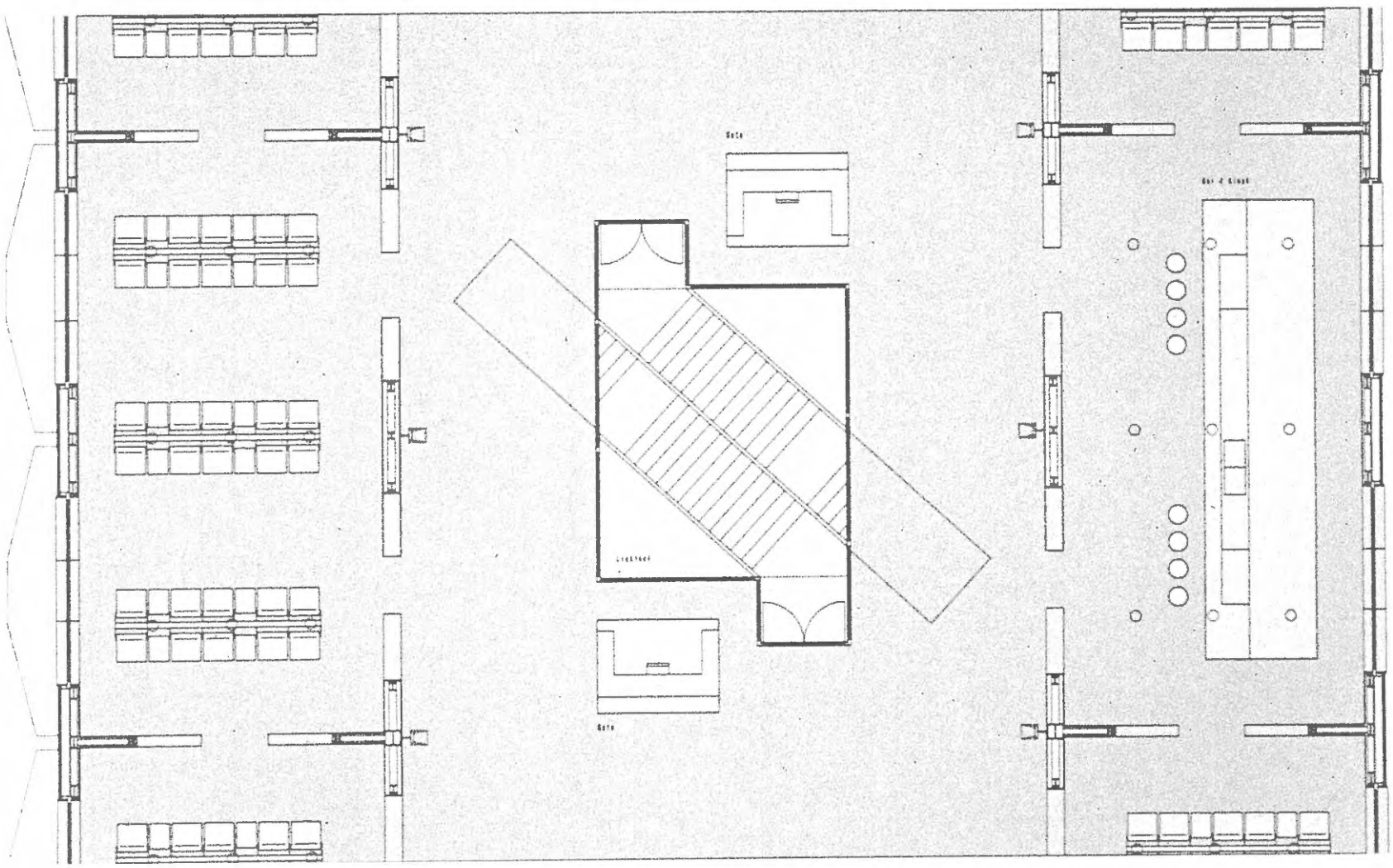
Phase 2

Phase 3

Phase 4

Left:
Sections

Below:
Plan



Abstract Principles

When you begin a design by sketching out ideas you have an intuitive sense of what the completed structure will look like. But when you begin with a general abstract principle the opposite holds true: a strict, almost formulaic process, based on a mathematical algorithm, can ultimately yield quite surprising results. In fact abstract principles are an effective means of discovering new forms – convincing, irrefutable forms, such as Pauli or Schwedler trusses in the nineteenth century or, in more recent times, Musmeci's log-cos curve.

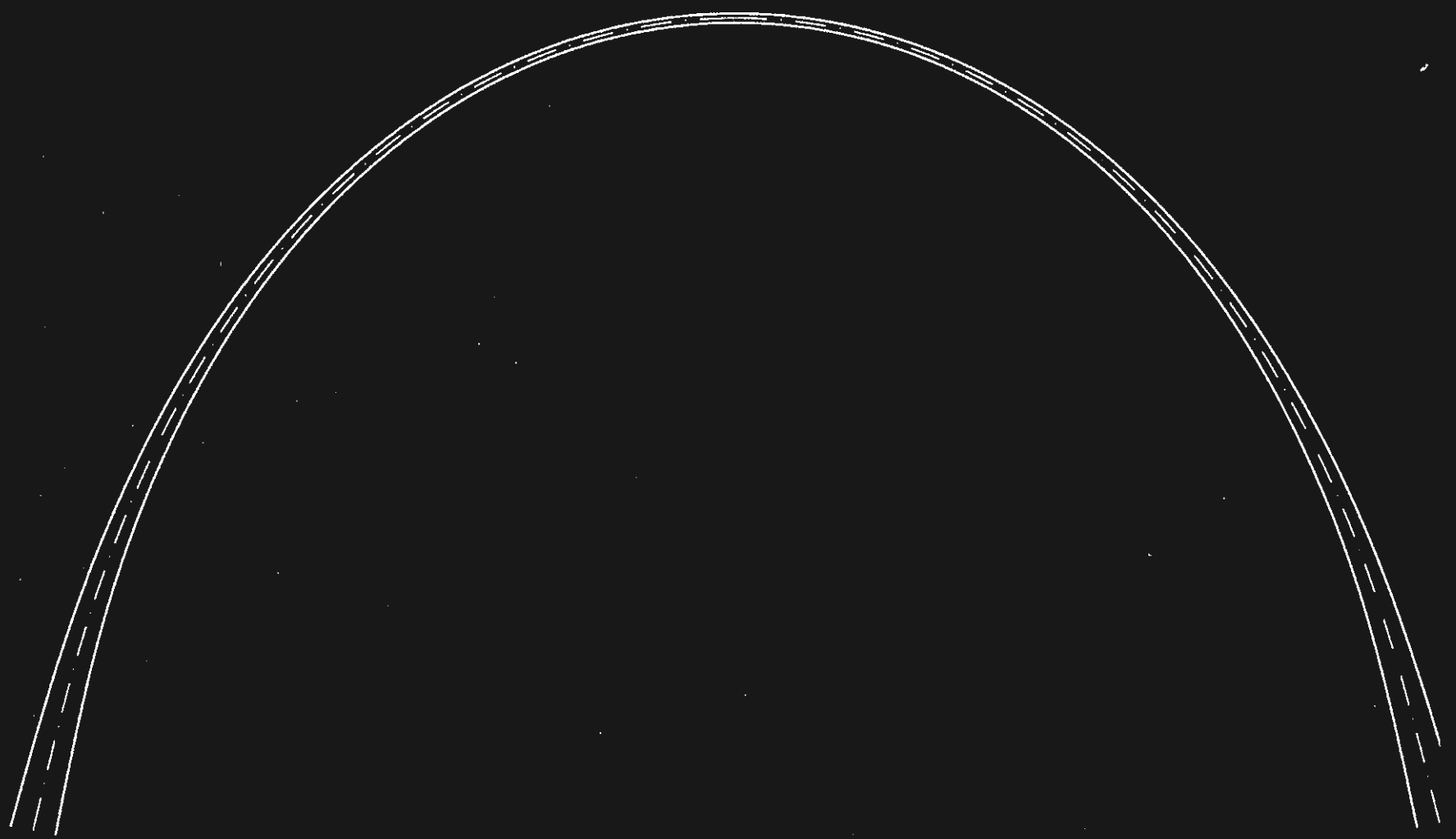
The notion of abstract principles conforms to popular perceptions about the way the engineer works, 'calculating' form according to a neutral process. In practice, however, the ideal forms defined by abstract principles can only be realized with a high degree of fidelity if the task is sufficiently narrow in scope. As soon as some complication is introduced, the ideal form is 'disrupted'. Dealing with such disruptions – an integral part of the engineer's role – means adjusting the project in line with more subjective assessments.

This section shows three projects that were conceived on the basis of abstract principles. In the first two instances we were drawn in, as specialists, at a relatively late stage, when certain elements had already been defined: the saddle form and incline of the roof at Flerden, and the geometrical layout and choice of material at Swiss Re. The last project involved a complete rethinking of a task we had tackled once before: the Traversina Bridge over the treacherous Viamala Gorge.

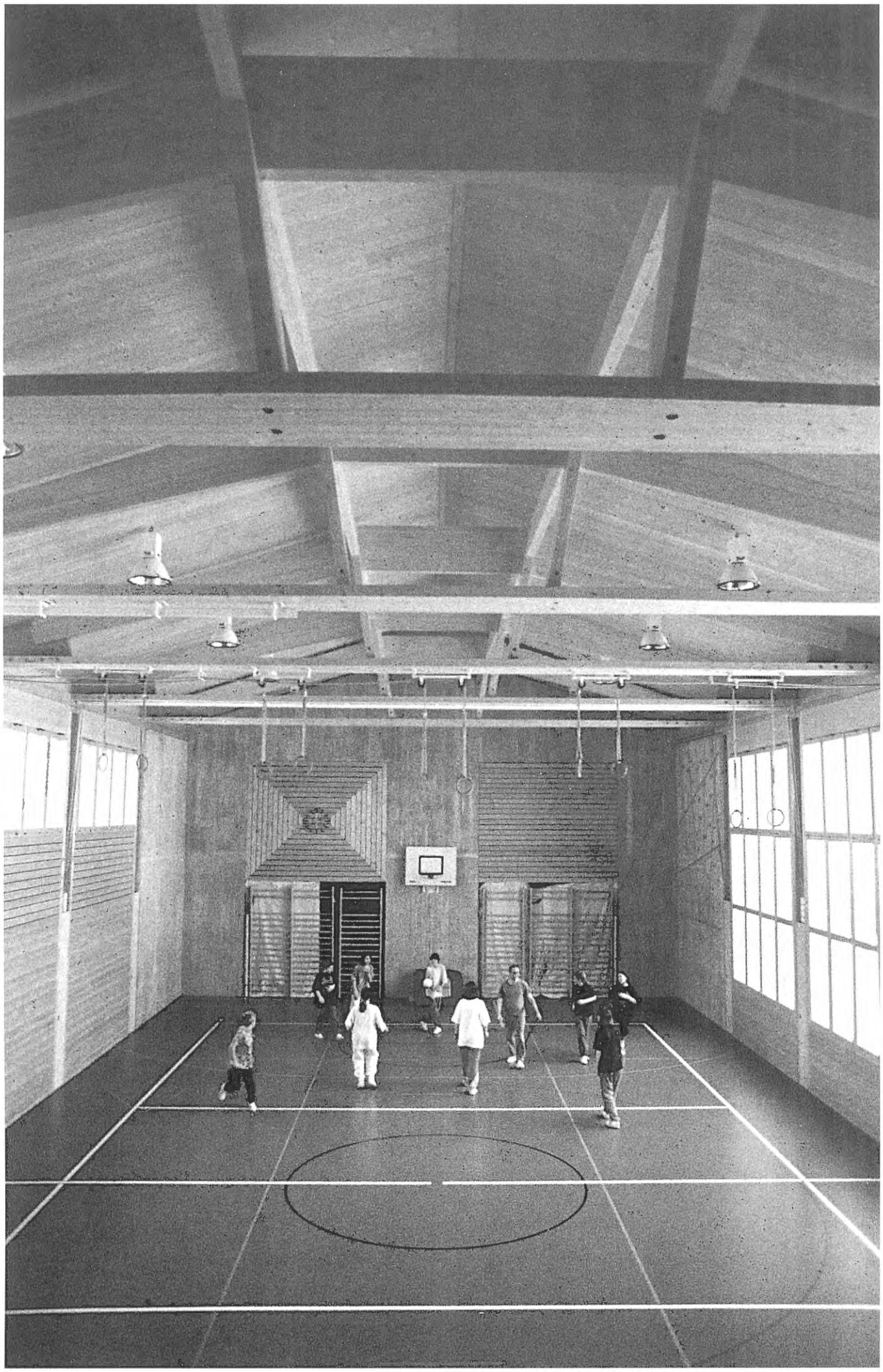
Only abstract thinking provided a solution for a problem that at first seemed intractable – the roof girder of the Swiss Re foyer. The abstract principle was to use post-tensioning to convert compression into tension. The 'disruption' to this principle was the natural tendency of wood to creep. Moreover, the form of the anchors and the thinness of the tension cables meant that it was not possible to have the cables follow the ideal geometric-static line exactly. Defining the strength and geometry of the tension cables therefore became the subjective part of this task.

The initial concept for the roof structure of the Flerden gymnasium was based on the application of a principle of concrete construction to a timber structure. The disruption to the principle was the clear realization that our initial solution based on a single ridge beam was economically unviable. It took a real effort to admit that the more usual system of two central purlins was more appropriate. In retrospect, I find that the structure that ultimately arose as a result of this economic constraint is 'right' precisely because it was not the automatic response. But in the central compression beam that is a little too short from the viewpoint of the rafter, and in the purlins that are set back a little too far, we can still see a trace of the initial idea – in just the right measure to achieve a reduction of loads on the roof frame that compensates for the extra outlay on the rafters.

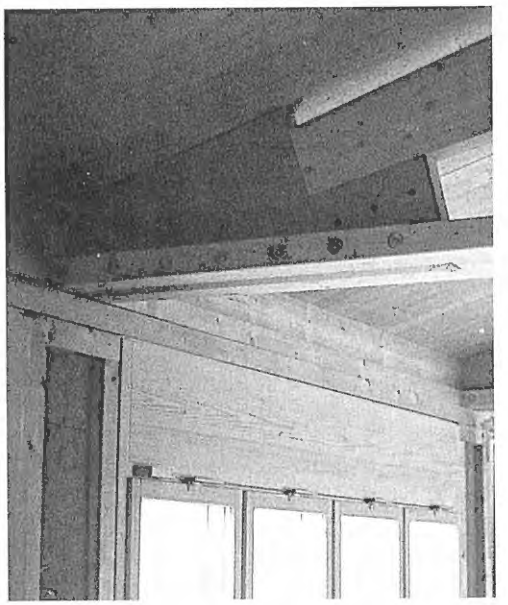
In the second Traversina Bridge the truss layout was defined according to the abstract principle of having a constant normal force in the main cable under the maximum snow load. This was achieved using the still fascinating nineteenth-century method of the reciprocal figures of forces invented by Cremona. JC



The Italian engineer Sergio Musmeci's (1926-81) log-cos curve provides an arch with constant stresses at each point under its own weight.



School Gymnasium
Flerden
1992



Our starting point here was an abstract principle: if we considered glulam timber beams as two-dimensional structural elements, could we then transfer the wall-and-slab technique of concrete construction to a timber gymnasium roof?
The timber elements of the roof are uniformly 100 mm thick, and they have all been designed as walls or slabs with a shallow rectangular section. Depending on their structural role, they are oriented either vertically or horizontally: the linking purlins and diagonal struts are upright (to take up the bending stresses), while the diagonal joists, increasing in size as they move upwards, respond to the form of the timber connections at their ends: smaller transverse stresses above, stronger longitudinal stresses below. By contrast the lower tension member of the roof frame is placed flat, to provide the best resistance to the horizontal forces from the sports equipment.
The initial idea was to have a single ridge beam, because its sectional form seemed best suited to the basic formal principle. But this would have resulted in overly large rafters acting as simple beams with big bending moments. A variant of the design with two central purlins proved much more economical. The bending moments in the rafters are reduced by the smaller span and the cantilever. The two purlins are sandwiched between the diagonal struts and the short compression beam, and are turned into the bisector of the angle to keep the shear forces equal on both sides. The compression forces from the struts are transferred to the horizontal tension beam at the base point. Glued into a notch in the tension member is a birch-ply element that resists the big shear stresses, acting like the gusset plate of a steel truss. The construction screws – visible at the sides – created the necessary pressure for the bonding process.

Architect:
Hans Marugg, Thusis

Left:
Interior of gymnasium

Right:
Detail of roof structure

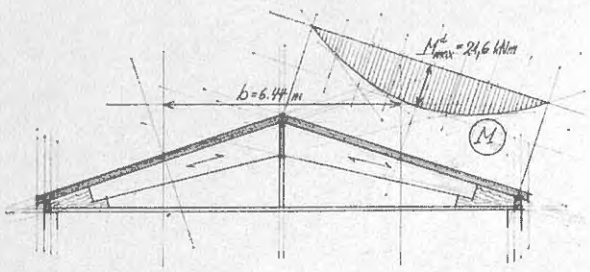


Fig. 1: Flerden, 1st version. Big bending moments in the rafters.

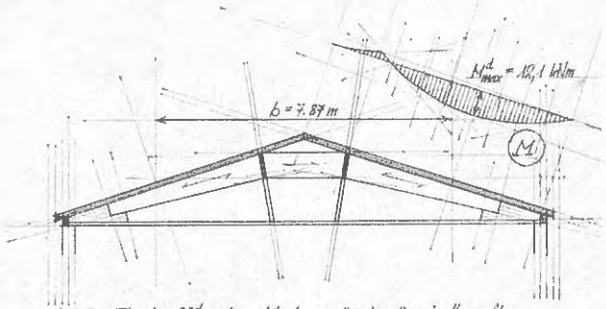


Fig. 2: Flerden, 2nd version. Much smaller bending in the rafters, but b has increased.

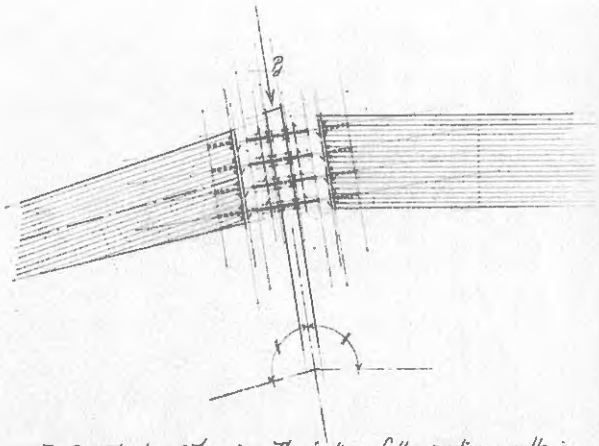
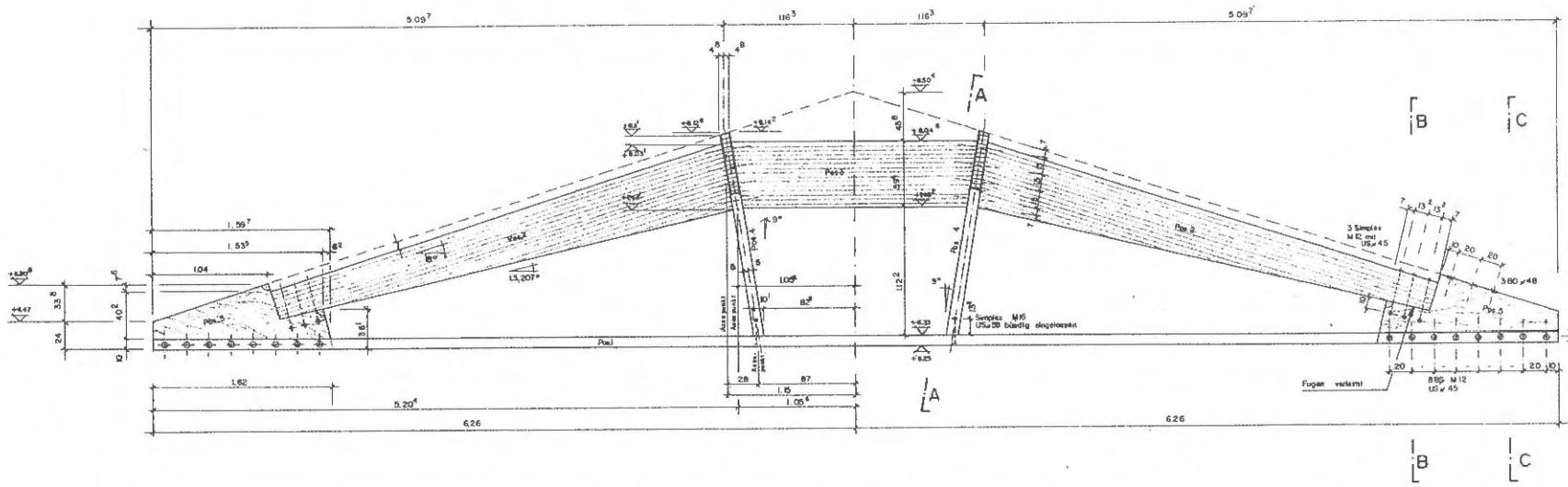


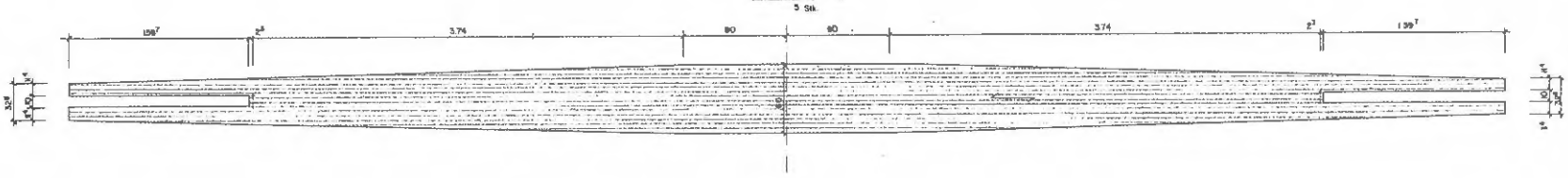
Fig. 3: Flerden, 2nd version. The incline of the purlins results in equal shear forces on both sides.

Ansicht 1:20



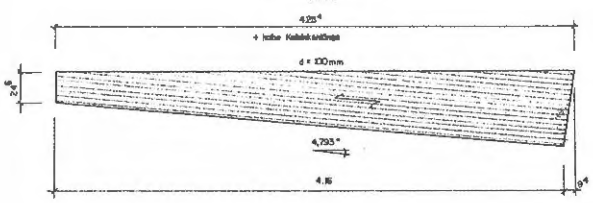
Pos. 1 1:20

5 Stk.



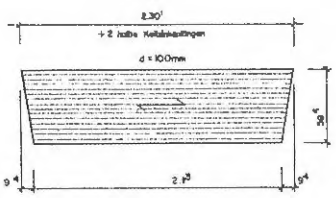
Pos. 2 1:20

10 Stk.



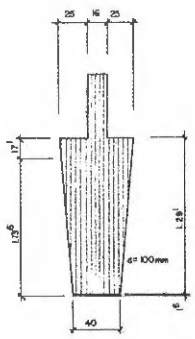
Pos. 3 1:20

5 Stk.



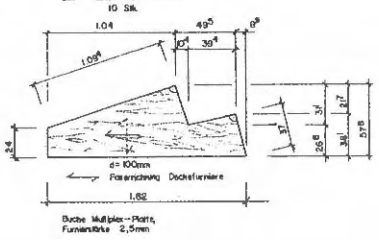
Pos. 4 1:20

10 Stk.



Pos. 5 1:20

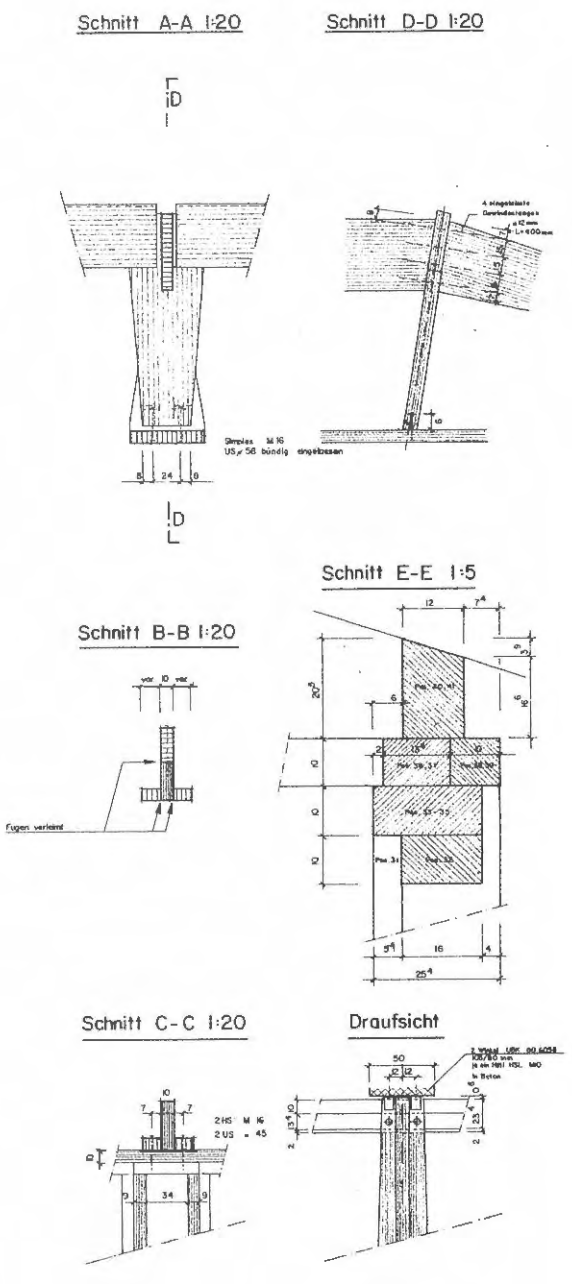
10 Stk.

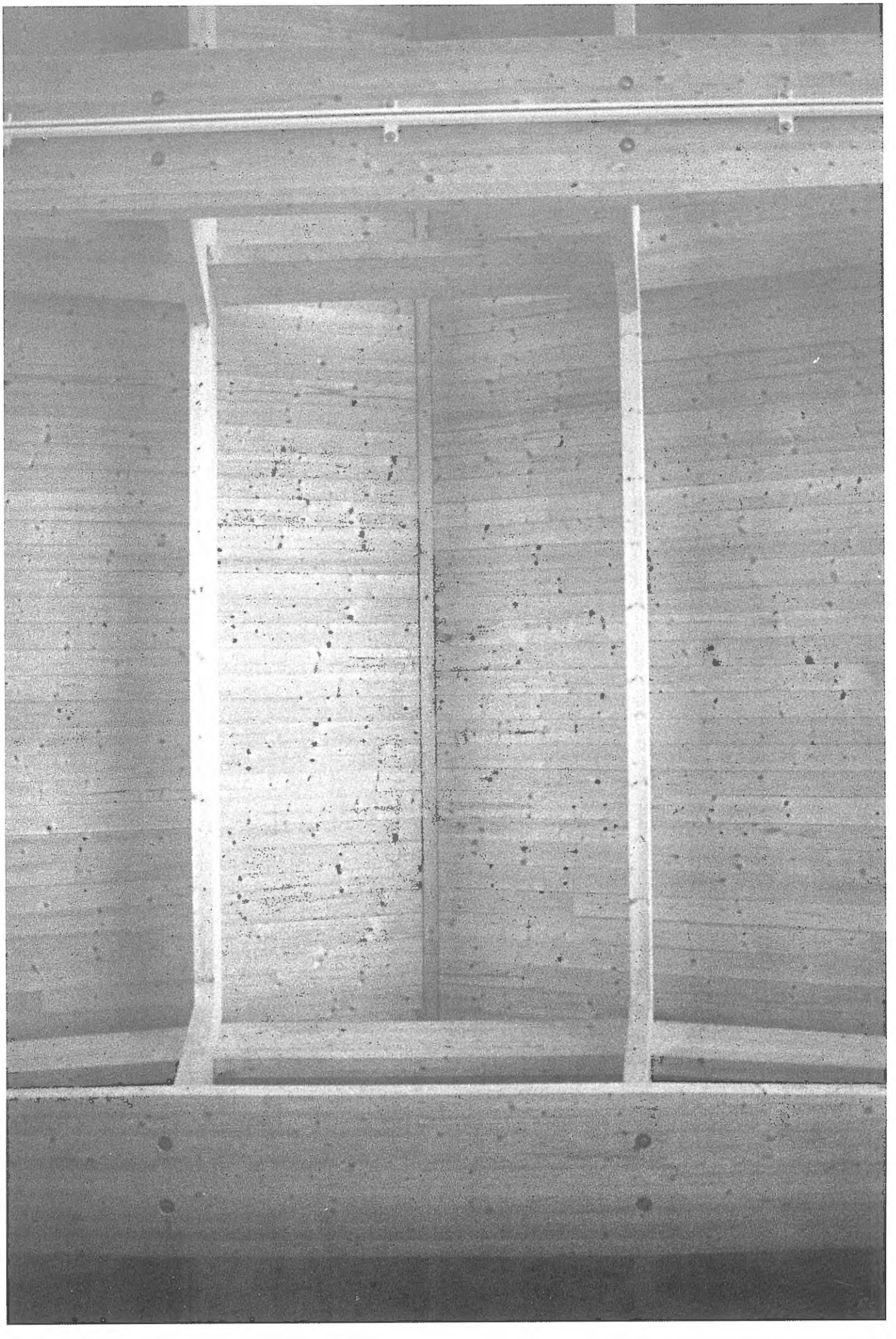


Facing page, top:
Development of the design. Fig. 1 shows the initial proposal for a single arris rail. Fig. 2 is the more economical version with two central purlins.
Fig. 3 demonstrates the principle of equalizing shear forces on both sides.

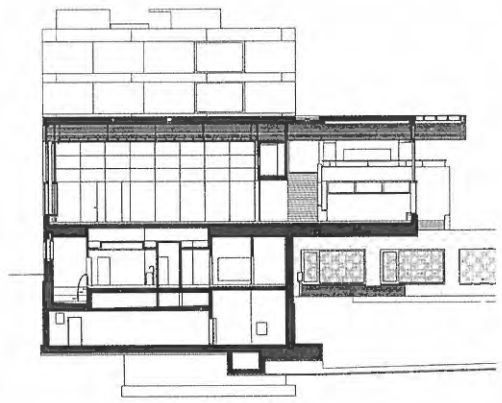
Below (this and facing page):
Final plan and details of roof frame

Right:
View up into the roof structure





Lobby Roof Structure
Swiss Re, Rüschlikon
1996–99



The lobby of the Swiss Re Centre for Global Dialogue is a 'garden hall' with a generous glazed facade that offers unobstructed views of the surrounding parkland. In the absence of columns in the facade, our immediate response to the problem of supporting the lobby roof was to use timber beams that cantilevered more than 13 metres from the front of the building. Timber allowed for a smooth transition from the outside to a controlled internal climate; its fine quality also contributed to the elegance of the space. However, a preliminary study immediately showed that the beams would deflect several centimetres even under small snow loads, and raised the issue of how to reinforce and seal the facade against such soft building components.

In the 1950s Emil Schubiger referred to the 'magic' of post-stressing in a description of his Val Nalps bridge at Sedrun.[1] The hidden post-stressing cables allowed the engineer to transform a minus into a plus (tension into compression) and vice versa. It seemed appropriate to apply Schubiger's magic trick to this lobby facade: to post-stress the facade, substituting thin rods under tension for columns under compression. To achieve this, the roof beams had to be post-stressed to such an extent that even under the largest imaginable snow loads they would still appear to deflect upwards. The facade is therefore permanently under tension: the tensile stresses decrease when the roof plate is loaded by snow, and increase when it is unloaded. Changes in tension produce only negligibly small deflections in the tensile members, with the result that the beams over the facade hardly move. The post-tensioning cables were dimensioned and positioned according to the principle of form-true post-tensioning, i.e., under uniform loads the timber beams are subject to more or less constant axial compression forces and very little bending.

Architects:
Meili & Peter, Zurich
Collaborators: Reto Tobler, Rolf Bachofner

Left:
Garden lobby. The vertical tension elements are placed on the side of the roof beams, so underlining the apparently non-load-bearing character of the facade.

Right:
Section

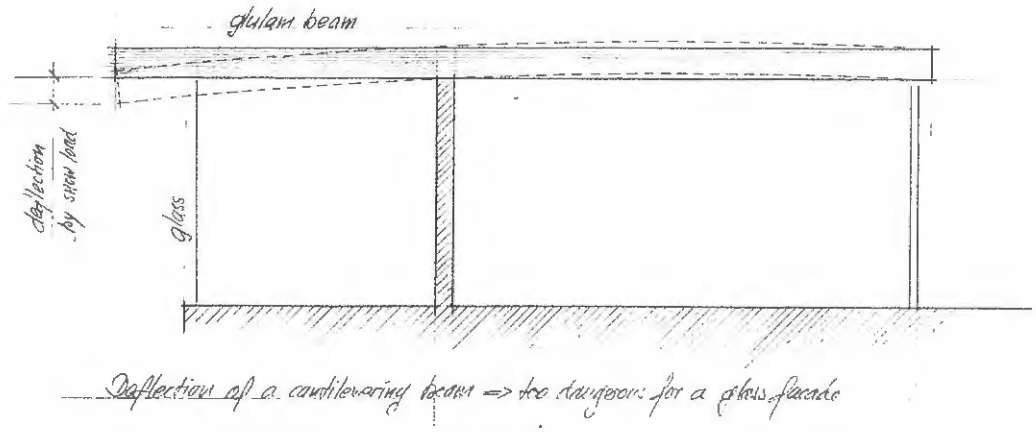
Lobby Roof Structure
Swiss Re, Rüschlikon
1996–99

The beams take up the compression forces generated by the outside anchor of the tension cable. Conversely, the permanent load of the beams themselves and the distributed load of the roof are taken up directly by the upwards-curving tension cables, which work in a similar manner to the cables of a suspension bridge. The wall between lobby and hall serves as a kind of pylon, with the cables wrapping over a baffle saddle before disappearing back inside the beams above the hall (see detail drawing overleaf). The roof plate consists of a concrete slab that rests upon the timber beams and acts as a counterweight to the downwards tension forces generated within the facade on the foyer side of the 'pylon'. At the hall end the beams rest on a tubular steel support subject to the usual compression forces.

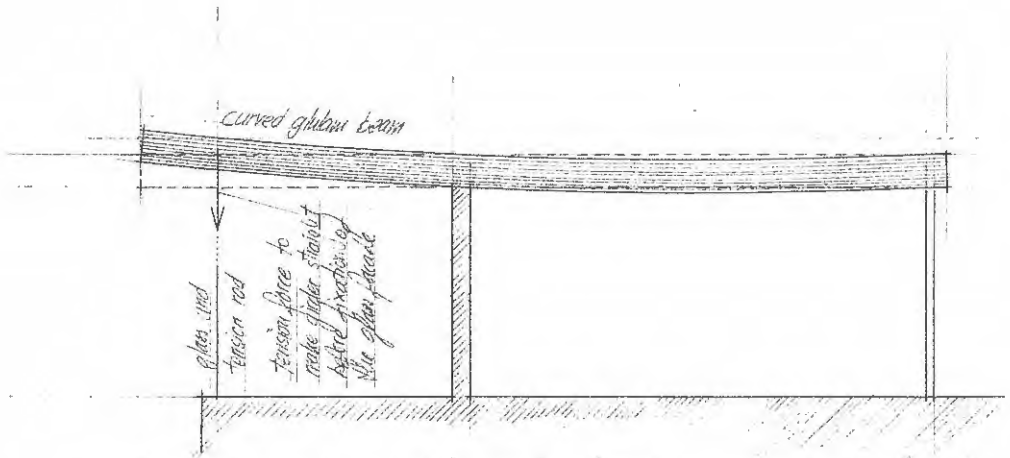
Like the chords of the Murau bridge, the laminated timber beams are assembled from gang-nailed glulam to form a solid cross section of 800 by 1200 mm. The outer layers consist of red cedar, one of the few fine woods that can easily be bonded with spruce or fir. Although assembled from two different types of timber, the cross section works structurally as a single entity. Semicircular channels were milled out of the beams, and the cables were inserted before the bonding process. At points subject to greater lateral tensile stresses, the wood was reinforced with both glued and mechanically fixed threaded rods. Tensioning the cables was carried out in several stages, responding to the increasing loads as construction progressed. In theory it will be possible to post-tension the cables at any time, but our favourable experience with longitudinally tensioned timber at Murau suggests this will probably not be necessary. The deflections of the beams are periodically measured and monitored.

The structure may at first sight appear rather unusual and bold. But it is ultimately like a jigsaw, composed using familiar systems and techniques. This type of research is something that the independent engineer's office can engage with, because it is carried out primarily in the mind.

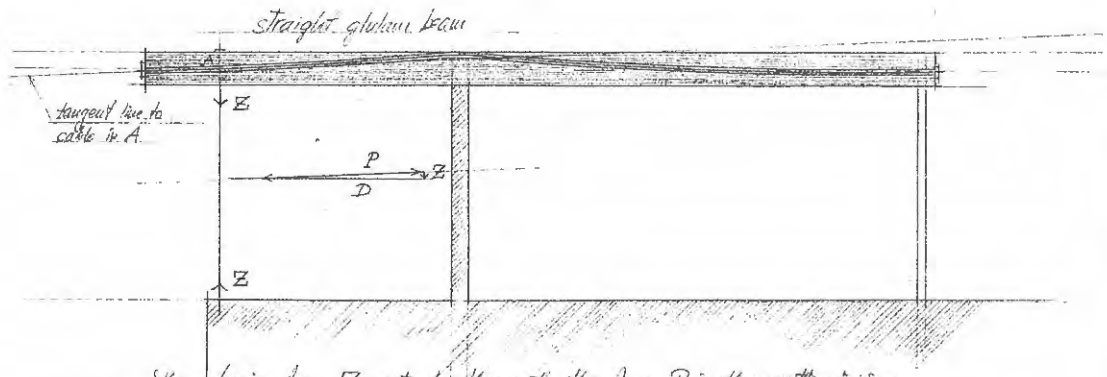
1 Emil Schubiger, 'Zwei vorgepannte Schrägstielbrücken', *Schweizerische Bauzeitung*, 14 June 1958.



Deflection of a cantilevering beam => too dangerous for a glass facade

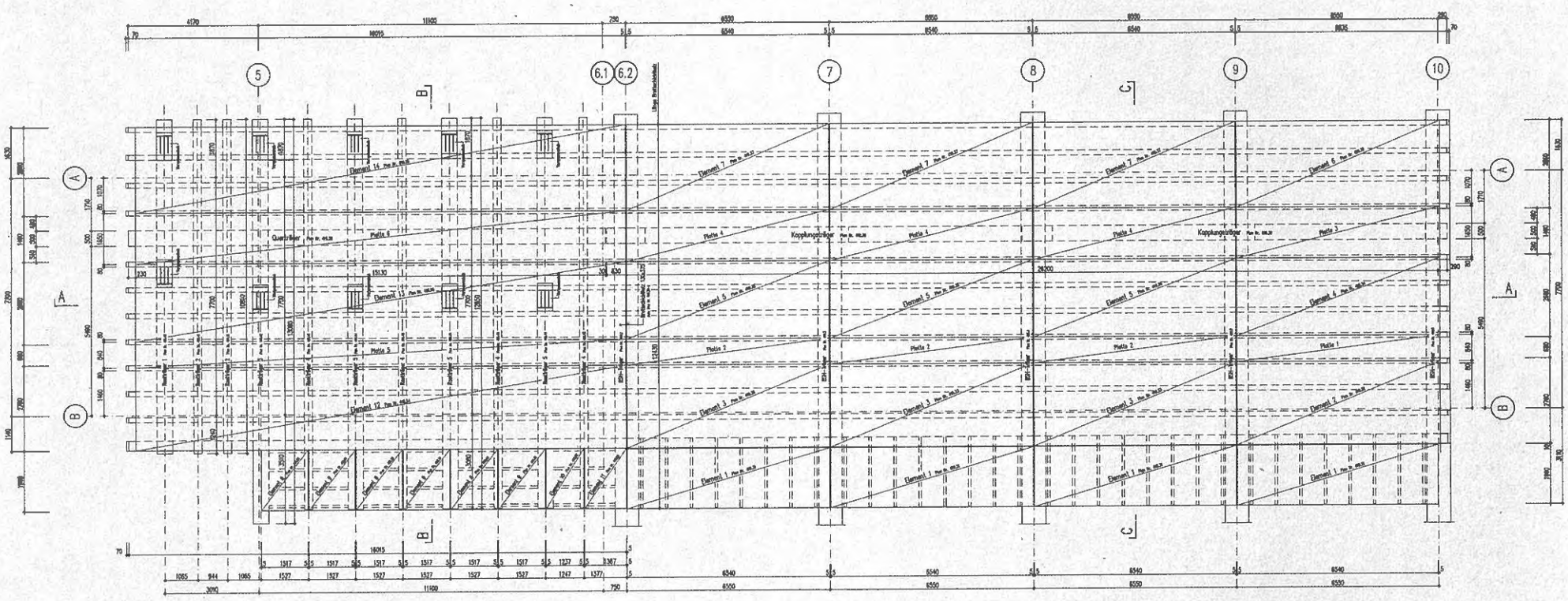


Snow load would diminish the tension force (without any movement within facade)
Creeping causes a loss of tension down to $e^{-P} = 0{,}135$ of the initial force
(see Kleinhardt: „Spannbeton für die Praxis", p. 334)

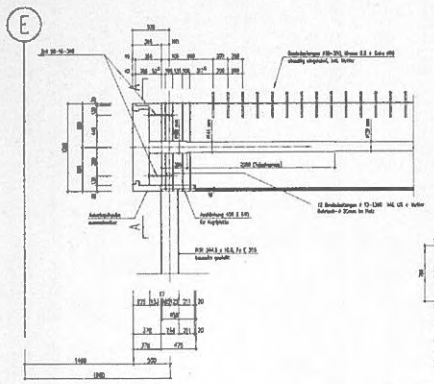


The tension force Z acts together with the force P in the posttensioning cable so that the resulting force of P and Z becomes the pure compression force D in the beam. Creeping results in a small axial shortening of the beam. The tension force in the elastically elongated cable remains at about 70% of the initial posttensioning force. „Formtreue Vorspannung"

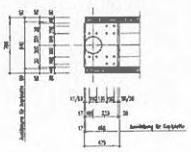
Layout of beams and roof elements.
The garden side is at the top.



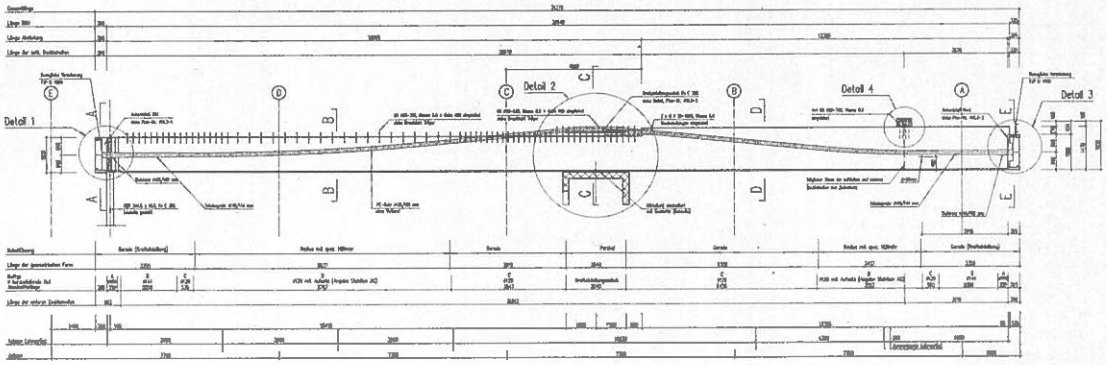
Detail 1 1:20 Schnitt



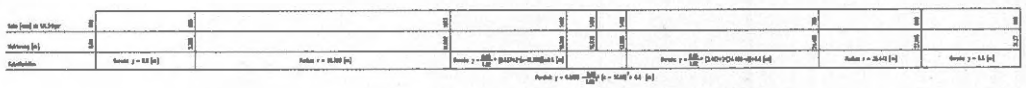
Detail Ausklinkung 1:20



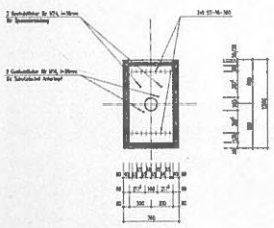
Längsschnitt 1:50



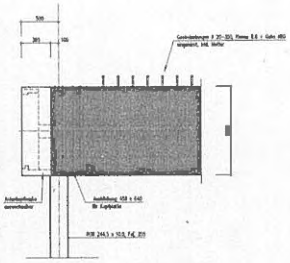
Kabelgeometrie 1:50



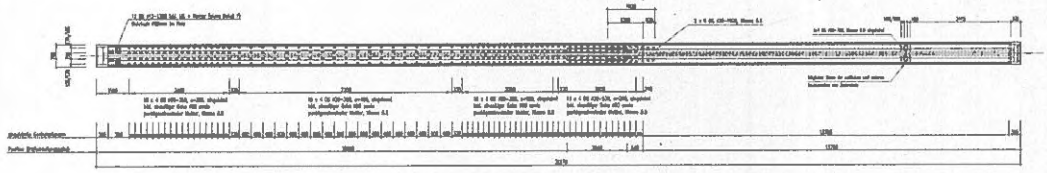
Schnitt A – A 1:20



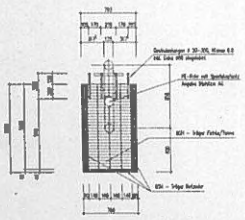
Detail 1 1:20 Ansicht



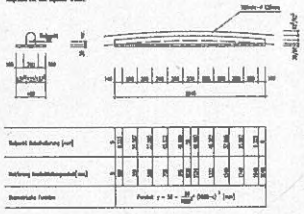
Draufsicht 1:50



Schnitt B – B 1:20



Detail Krafteinleitungsschuh 1:10



Nutlyoen:

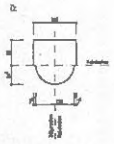
Alle Nutquerschnitte sind senkrecht zur Kabelachse von konstanter Form

A: ø169 rund

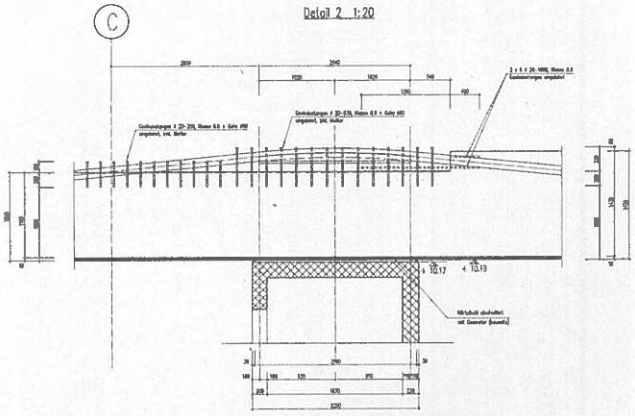
B: ø144 rund

C: ø129 rund

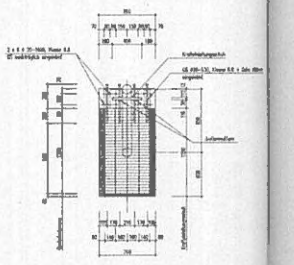
D:

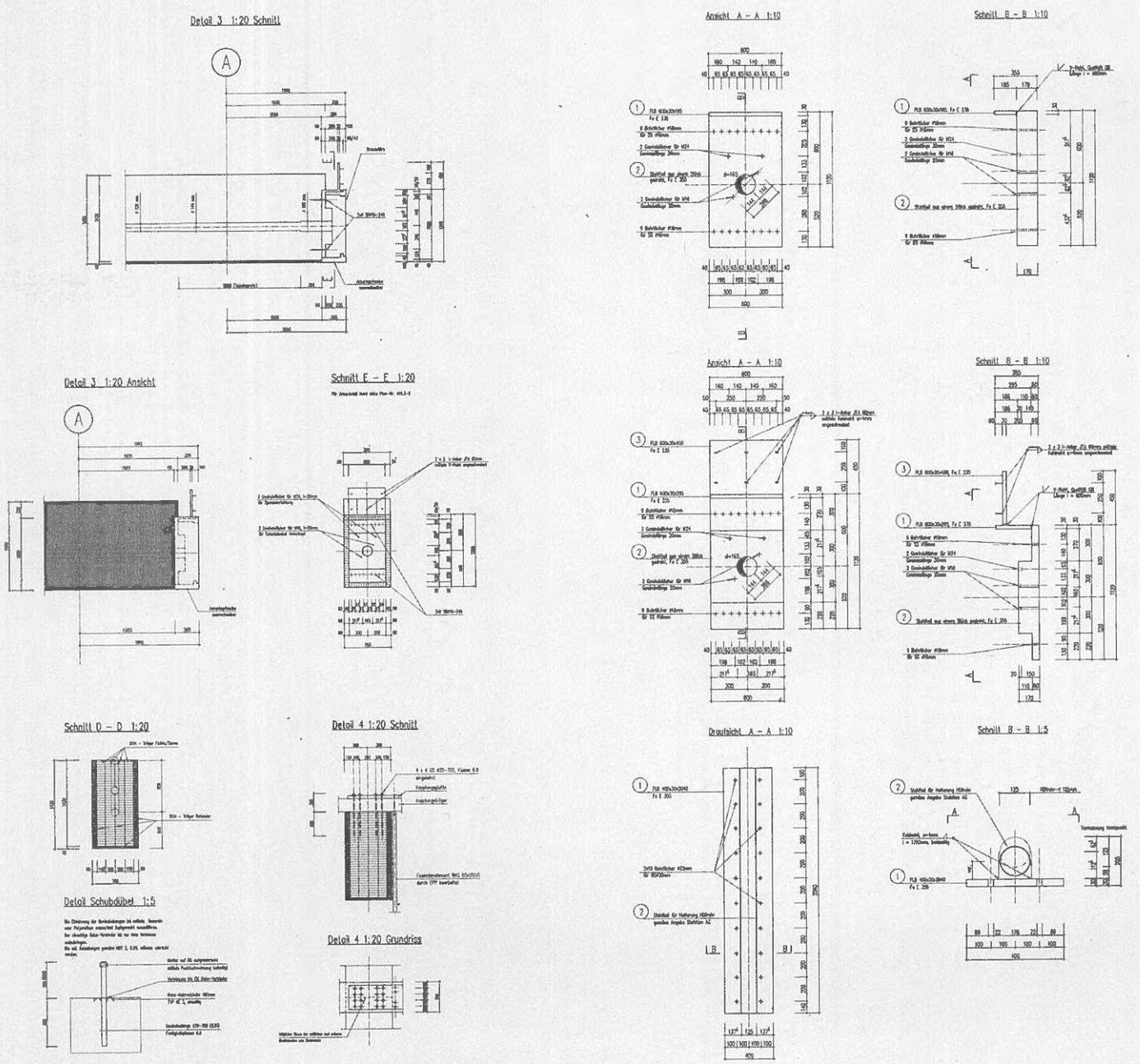


Detail 2 1:20

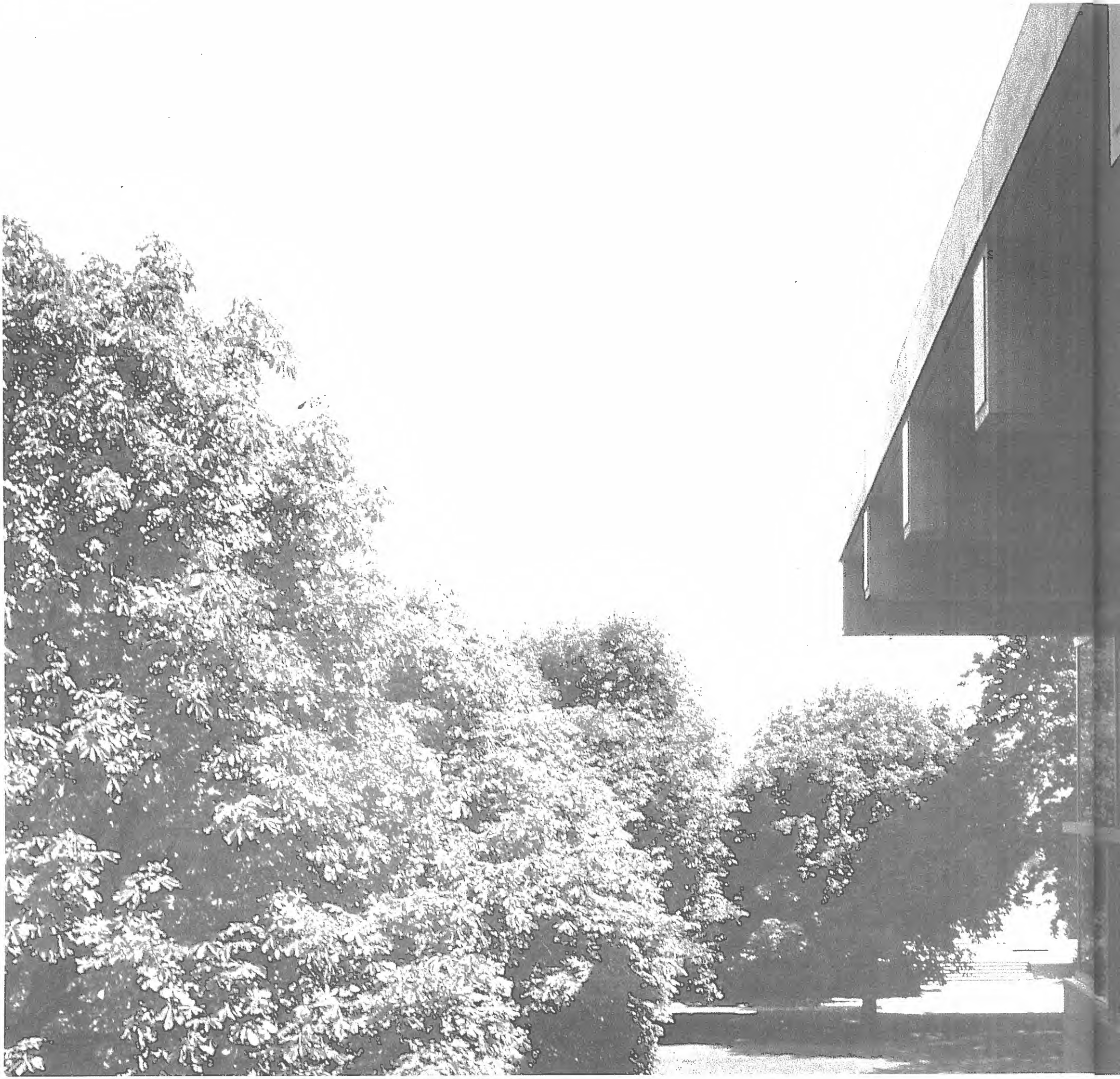


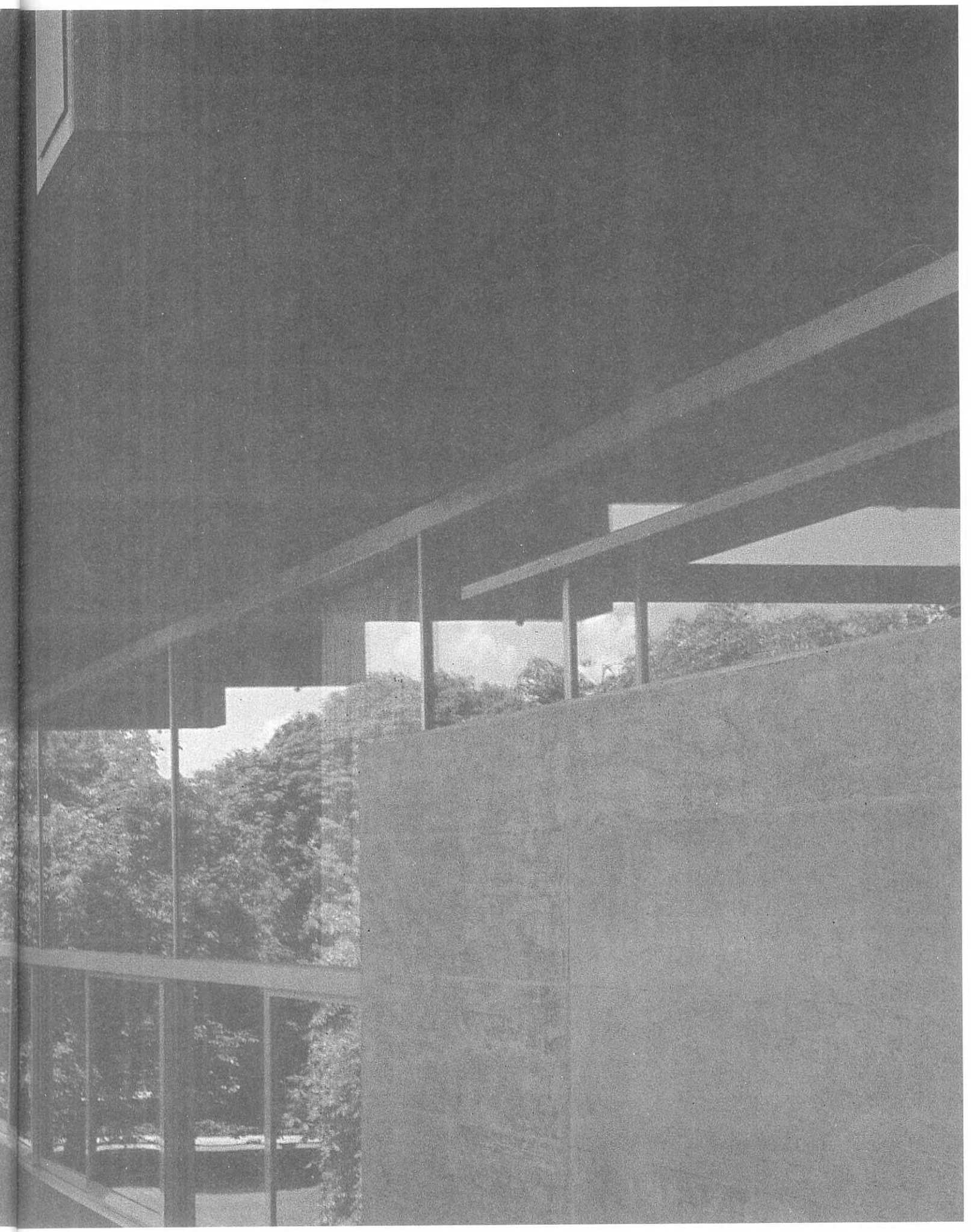
Schnitt C – C 1:20

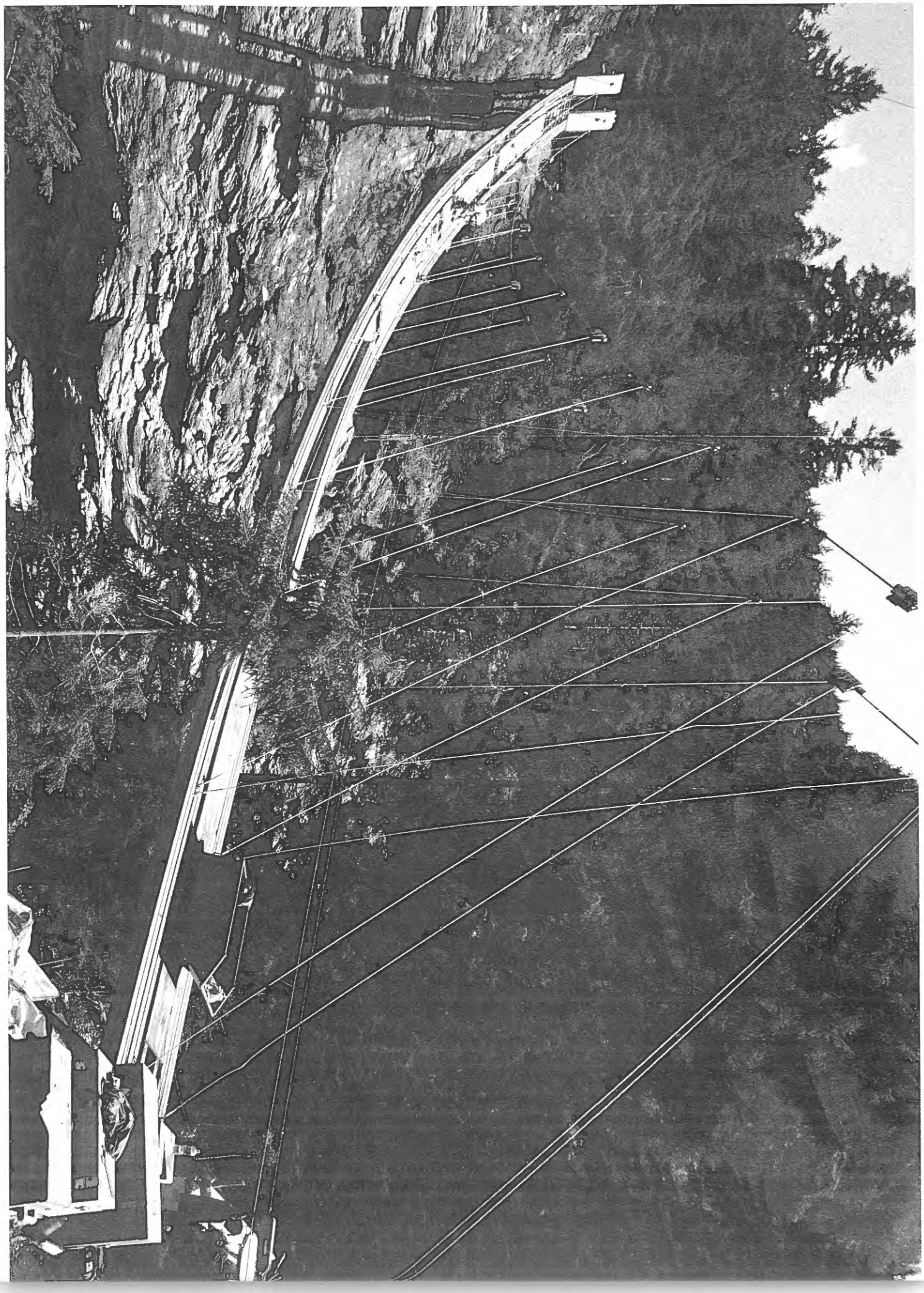




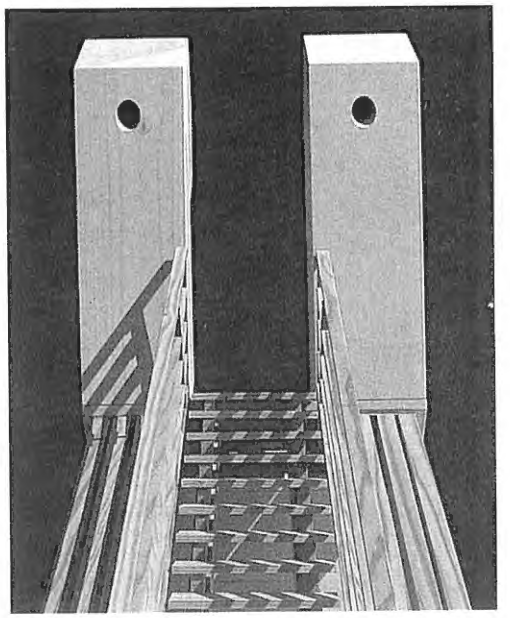
Final plan of a roof beam







Second Traversina Bridge
Graubünden
1999–2005



In March 1999 the first Traversina Bridge was destroyed by a rockfall. We spent the following weeks in a state of shock, feverishly trying to work out, with the client, a plan for its reconstruction. The trajectory of the rockfall was meticulously retraced, rockfall barriers were envisaged, support committees formed, and money collected. It took some time, and a number of discussions with people in a calmer frame of mind,[1] before we realized that it made no sense to rebuild the bridge in the same location, as it would remain vulnerable to a rockfall in the future. Counting ourselves fortunate that no one had been hurt – the rockfall had happened at the end of winter, while the trail was still closed – we came to see the destruction as a sign that the bridge and the path leading up to it were too dangerous for tourist use. The only viable option appeared to be to move the bridge down the valley, closer to the river and further away from the unstable inner gorge. Moving in that direction, however, took us into a difficult site, where the north flank of the valley formed a steep vertical rockface. The most obvious solution for this location was a suspension bridge spanning around 100 metres. But was this a feasible proposition? Could we raise enough money to build it? Or would we have to abandon the idea of bridging the Traversina Gorge altogether? We were reluctant to do so. Giving up would have undermined the viability of the Veia Traversina all along the east bank of the Hinterrhein river, from Sils up to the middle of the Viamala Gorge. It would also have called into question an essential component of the Viamala Ecomuseum – the use of the largely preserved historic trail. Only gradually did we develop the idea of shortening the span of the bridge by making an angled walkway, in the form of a long stair. This arrangement allowed us to use the moraine ribs on either side of the valley as natural pylons for a suspension bridge. Having located and surveyed a suitable site – one not at risk from a rockfall – we found that the span of the walkway, at around 57 metres, would only be 10 metres or so longer than that of the old bridge.

Collaborator:
Rolf Bachofner

Left:
Construction view showing timber assembly nearing completion

Right:
1:10 model of the bridge's upper end and pylons

1. Form-finding for the main cable's curve: diagram of forces
The length of each straight line in this diagram is equal to the force in the corresponding layout diagram on the right side. As the forces within each segment of the main rope are supposed to be constant, the left end points of the clustered lines between s and t in the force diagram describe a circle around O with a radius of 393 kN.

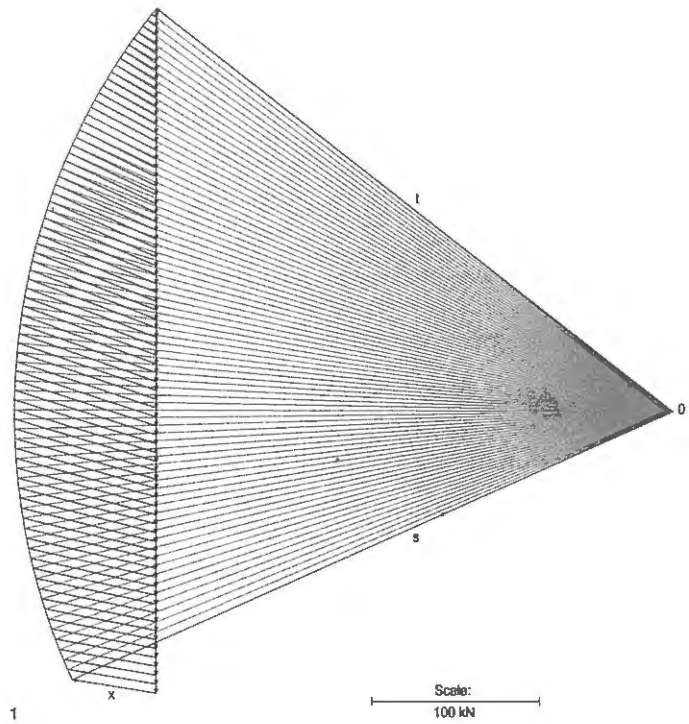
2. Form-finding for the main cable's curve: layout plan
The line from U to X is part of a circle. Its form is chosen in advance by some rough stress calculations relating to a regular form of the prefabricated walkway elements. The constant main cable force of 393 kN under maximum snow load was given by the available type of wire rope. The drawing of this diagram started with point T and an arbitrary direction of line t. Following a process of trial and error this direction was adapted several times until the rope's curve arrived at the intended position of S.

3. Comparing the vibration behaviour and cost of different numbers of panels for the diamond-truss system led to the choice of 17 segments defining the points A to R. The position of the knots in the upper chord was found by drawing a line from each point A to R to the intersection of the adjacent 'hangers'. The intersection points of these lines with the rope's curve gave the points A' to R'.

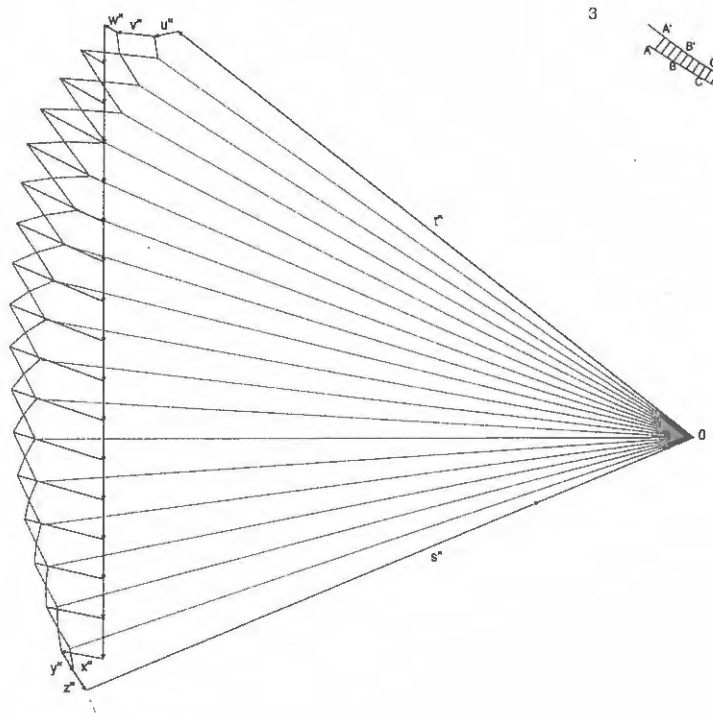
4. An investigation of the truss system showed that the tangent components of the tensioned diagonals create an additional longitudinal tension parallel to the main cable. Thus the efficiency of the cable is improved by the arrangement of diagonal tension cables (as opposed to the perpendicular hangers shown in fig. 2). While still aiming for a constant cable force of 393 kN, we were able to flatten the polygon of the rope and shift the points A' to R' along the auxiliary lines AA' to RR' from fig. 3. This led to the final truss geometry...

5. ... with this diagram of forces, where the ends of the 'rays' s" to t" again form a circle around O with radius 393 kN...

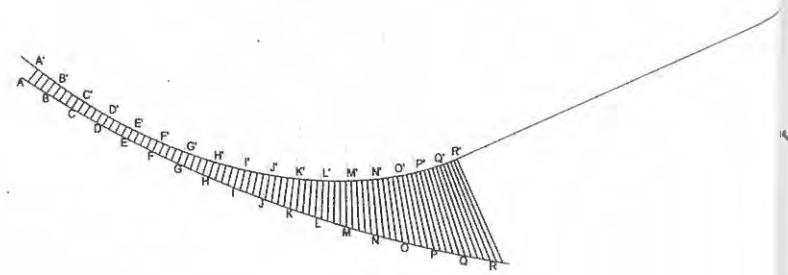
6. ... and the corresponding layout of the axes of the different cables (in the built abutment, the level of point S has been lifted by 160 mm to compensate for the dip of the rope under its own load along the long freely spanning end segment of the main cable).



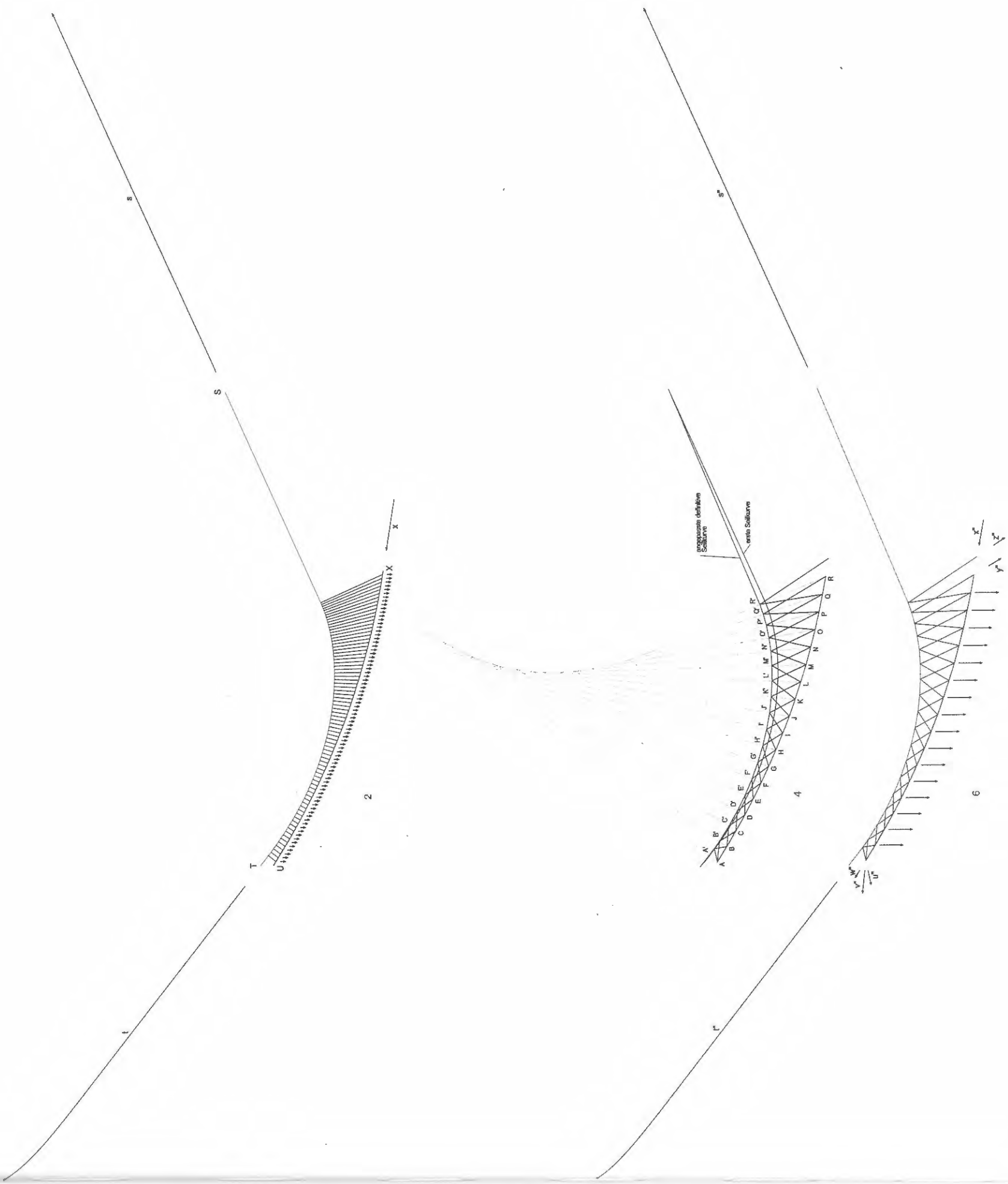
1

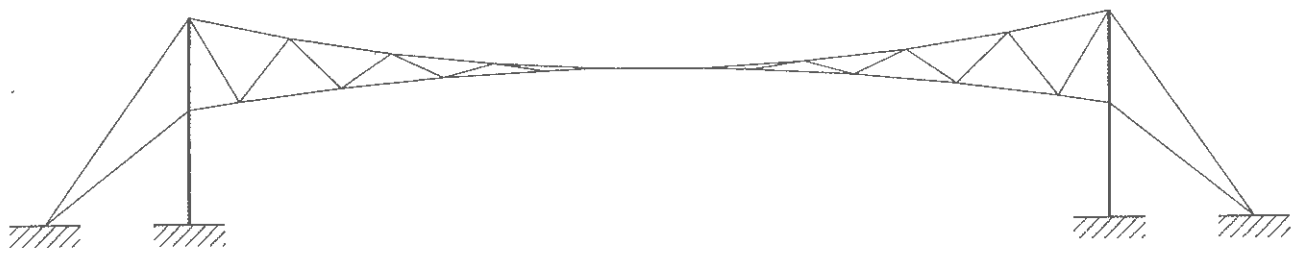


5



3


s
S
t
T
U
U'
X
x
2
s"
S"
t"
T"
V"
V'
W'
W"
X"
x"
Z"
z"
4
6
A'
B'
C'
D'
E'
F'
G'
H'
I'
J'
K'
L'
M'
N'
O'
P'
Q'
R'
A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
N
O
P
Q
R
angepasste definitive Seilkurve
erste Seilkurve



Furthermore, the topography allowed us to fasten the almost 100-metre-long main cable to low pillars and anchor it simply with a counterweight of earth (on the south side) or a concreted sling wrapped around a large erratic boulder (on the north side). The drop of 22 metres from the northern to the southern end of the walkway is compatible with the alignment of the existing trail, which is lower to the south than to the north.

The second Traversina Bridge can be considered part of the landscape's accommodation of tourism. As was the case with the construction of the alpine railways a century ago, the question of how the visitor perceives or responds to the landscape was of central importance. Establishing an appropriate level of comfort for the hiker was one of the most demanding aspects of developing the project. For financial reasons (like its predecessor, this bridge was to be constructed and maintained using private funds), we initially envisaged a very basic crossing – a light, swaying bridge, of the kind you see in the Himalayas or the Andes. The longer we worked to clarify the design, however, the clearer it became that the elevated position of the bridge and the unusual length and steepness of the steps called for a somewhat higher standard of safety, on a par with the facilities for tourists in the rest of the Viamala. So we came to the decision to make the walkway out of proper stair treads rather than catwalk-like ledgers. The suspension cables – which we'd originally arranged vertically and parallel to each other, as in a classic suspension bridge – were replaced with two crossed diagonal wire ropes. This created a diamond-truss system, which is much stiffer against vibrations than the classical type. Carrying the loads up a short zigzagging path to the abutments, the diamond truss is even stiffer than a simple row of triangular tension bars. The inbuilt redundancy of the system also means that the diagonals are easy to replace as required.

The arrangement of the suspension cables also represents an adaptation of the model of the traditional suspension bridge. Instead of running the cables over saddles on the pillars to anchor points set close to the ground behind them, we decided to terminate them at their apex and to construct the pillar and anchor monolithically out of concrete. This will simplify the post-tensioning of the cables, should long-term deformations make this necessary in the future (over the course of time wire ropes undergo a small degree of stretching under permanent load, similar to the creeping of concrete). It also avoided the need for a restraining cable close to the ground, where it would have been at risk from snowfall and toppling trees.

The horizontal wind forces are taken up by cross bracing inserted into the substructure of the walkway, which is fairly wide, while the walkway itself remains narrow (similar in concept to the first bridge). For users of the bridge the substructure acts like a pair of 'blinkers', preventing a direct view down into the ravine (though if you look between the joints in the treads, you get a very good idea of how far it is to fall). The strong dip of the stepped walkway fulfils static requirements on the one hand, and on the other hand makes the bridge seem less steep than it actually is.

In structural terms, the bridge is similar to a Jawerth truss system, where two suspension cables are curved in opposite directions, one upwards, one downwards, and held in constant tension by the diagonal cable between them. At the Traversina Bridge, however, the lower Jawerth cable is replaced by an upside-down bow. The curve means that the walkway is tensioned by the stretching of the suspension cable and is keyed between its footings. In this respect it acts in a similar way to a tension band that is anchored on both sides. No anchoring of the two end points of this fictive tension band is necessary, however, because when the bridge is under load the permanent stress between walkway and abutment is simply reduced.

The nature of the bridge section – a broad substructure combined with a narrow walkway – means that it is snow load that produces the largest stresses on the cables. The post-tensioning does not require a special dimensioning of any construction member, because the forces of the cables and beams under post-tensioning are gauged to match the stresses under the heaviest snow load. In other words, under the heaviest snow loads the tensioning effect disappears and the bridge becomes weaker, which doesn't matter much, as it is not used in the winter. As a consequence, we were able to base the form of the cable truss directly on the instance of the greatest snow load, since we could safely assume that this would yield a truss form and dimensioning for the cables that would also correspond to the requirements for vibration behaviour. A separate comparison of vibration behaviour was required only to determine the optimum number of panels for the truss system.

The structural parts of the walkway are made of splinter-free larch glulam beams, whereas the stair treads and railings are of an equally weather-resistant heartwood of fir. The logs were felled nearby and then transported off site for processing. Aerial cables, cable connections, cross girders and railing posts are all of galvanized steel (in contrast to the Punt da Suransuns, where these elements had to be made of stainless steel because of exposure to salt spray from a road). What is unusual is the use of bonded plywood for elements exposed to the weather – the bent larch timbers of the walkway had to be bonded in any case, and contemporary bonding techniques guarantee a long life-span even in applications of this kind. The alternative – providing these elements with a watertight coating – would have increased construction costs disproportionately. Therefore a significant concern was to ensure good ventilation of the long and the short ends of the timber beams; to achieve this, we screwed the beams over the cross girders from above.

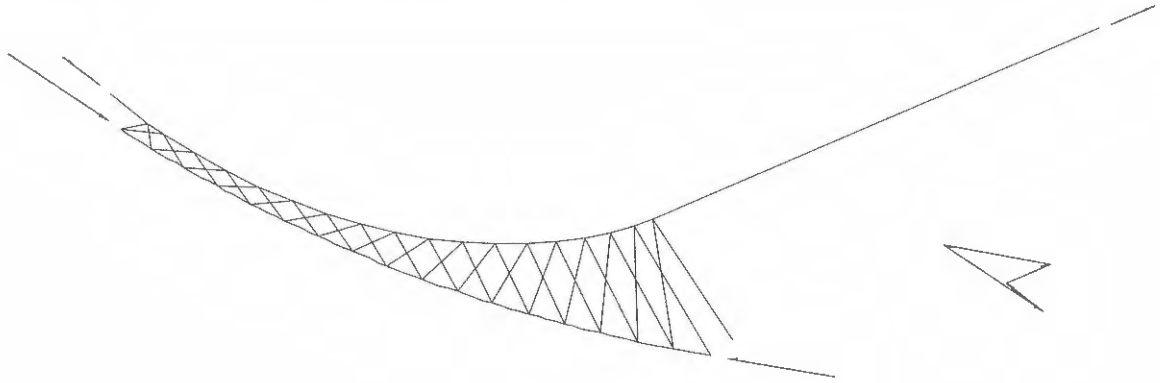
The design of this project was influenced to a large extent by the possibilities and conditions of construction. The decision to use an aerial crane rather than a transport helicopter (as we had done with the first bridge) allowed us to assemble the walkway from prefabricated timber elements. Since the elements were wider than the gap between the bridge cables, they were attached to the crane only on one side, so that they hung vertically and could be lowered down between the suspension cables onto the floor of the ravine. From there they were rotated into the correct position, then raised again and fastened onto the main bridge cable from below. Of the total of ten longitudinal beams only six were fixed to the elements during their assembly. The remaining four timbers were then inserted individually from above and fastened to the cross girders. This limited the weight of the elements. Simultaneously, the butt joints of the four inner longitudinal joists were displaced in relation to the outer ones, so that the flexurally weak joints were distributed more or less evenly over the length of the bridge. These timbers were therefore inserted individually from above and fastened only after the assembly of the element. The construction process also required the cable levels to be ordered vertically, with no upper cross connections between the suspension cables.

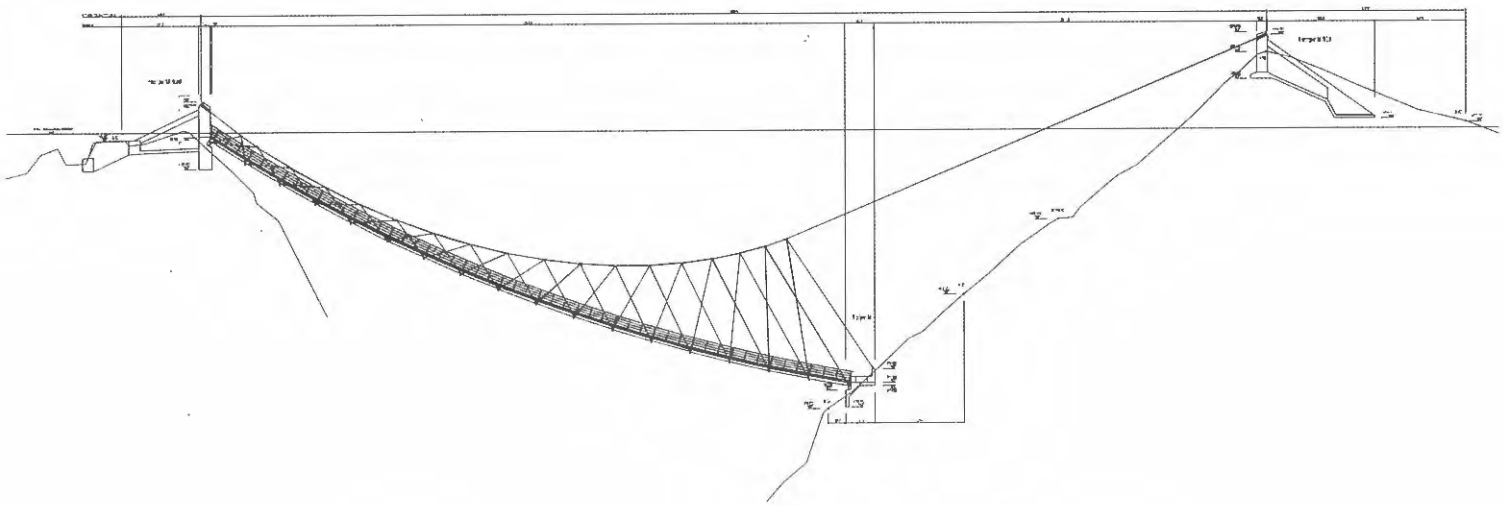
What is particularly interesting about this design is the decisive role played by basic structural concerns that were investigated by engineers in the nineteenth and early twentieth centuries. The choice of vertical bearing levels for the cables thus also has a structural justification: if the cables had been inclined, they would have produced sizeable additional horizontal forces in the walkway under eccentric vertical loads – as O. Domke of Aache proved in a comprehensive essay almost a century ago.[2] The truss system and the form of the suspension cables were derived using the methods of graphic statics. The duality between the diagram of forces and the layout plan, investigated so thoroughly by Cremona, Culmann and Maxwell,[3] was explored during the design process, working on site and force polygon simultaneously. Whether the polygonal sides of the main cable now in fact describe a mathematically defined curve of a higher order, is a question that cannot be answered at this stage. As we all know, what is ultimately foremost in the mind of the practising engineer is the need to resolve problems that arise in a satisfactory manner within a reasonable time frame...

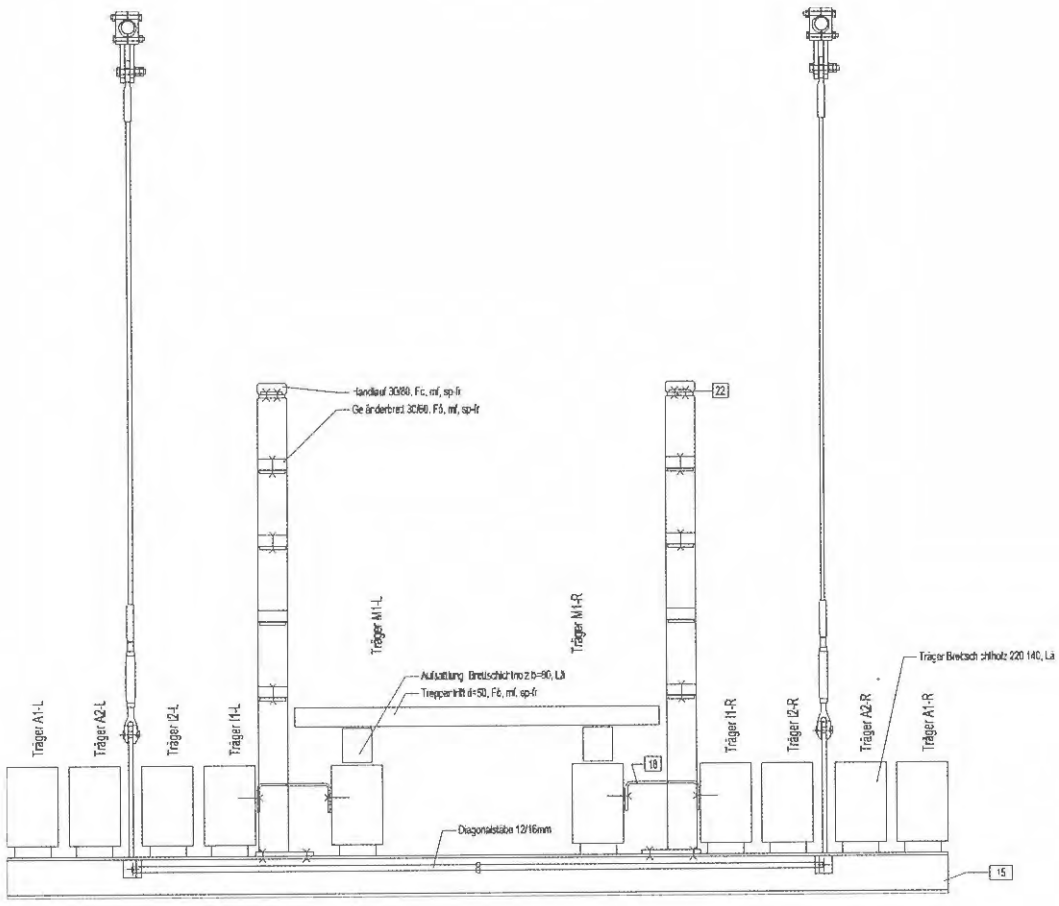
1 Calmer people such as Christian Menn, for example, who pointed out that Maillart's Tavanasa Bridge, 'in one sense his most important work', was not rebuilt after it was swept away by the Mur floods of 1927.

2 O. Domke, 'Über den Windverband versteifter Hängebrücken', in H. Boost (ed.): *Festschrift für Heinrich Müller-Breslau*, Leipzig 1912.

3 Carl Culmann, *Die Grafische Statik*, second edition, Zurich 1875, p. 280 ff. And Erhard Scholz: *Symmetrie, Gruppe, Dualität. Zur Beziehung zwischen theoretischer Mathematik und Anwendung in Kristallographie und Baustatik des 19. Jahrhunderts*, Basel 1989.







Facing page:
Principle of a Jawerth truss

This page, from top:
Diagram of post-tensioning forces
Side view
Cross section

Zweiter Traversiner Steg, Viamala

Treppe

HOLZBAU: Ansichten, Details

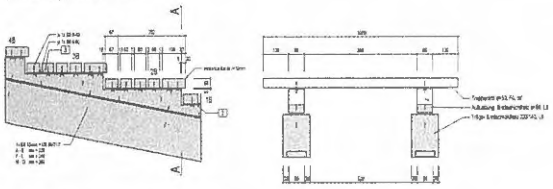
757.12

Verbindlichkeit

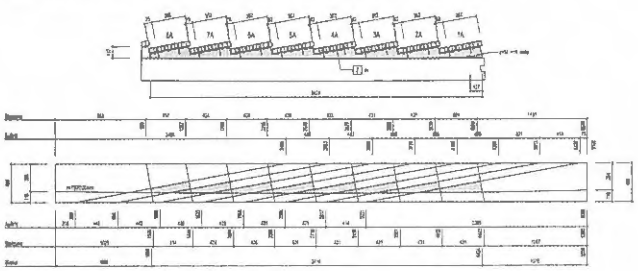
Verbindlichkeiten

Bemerkungen zu diesem Plan

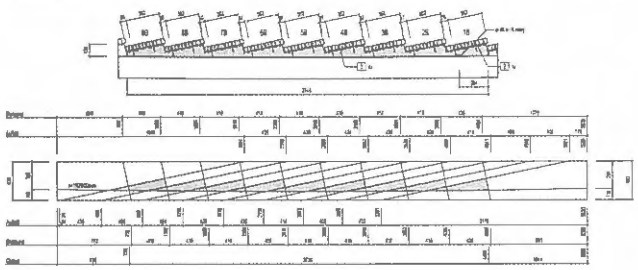
Detail Treppentritt 1:10



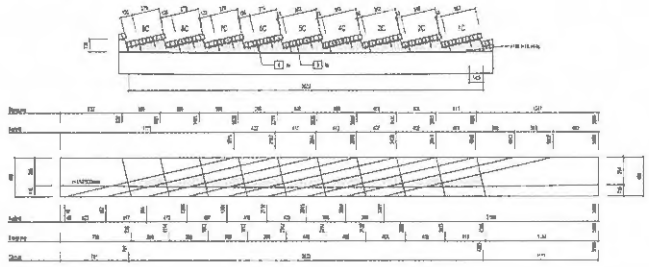
Aufsattlung A und Tritte 1A bis 8A 1:20



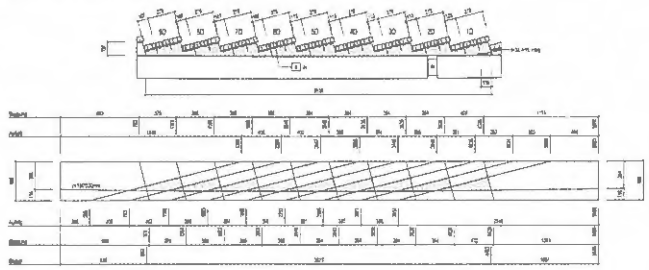
Aufsattlung B und Tritte 1B bis 9B 1:20



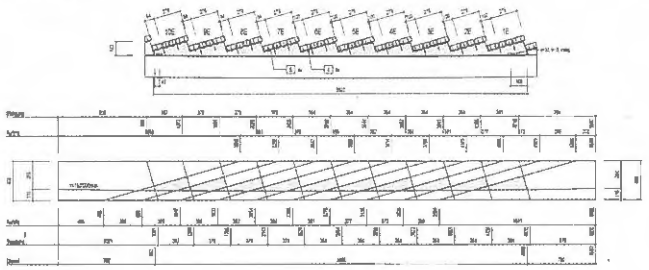
Aufsattlung C und Tritte 1C bis 9C 1:20



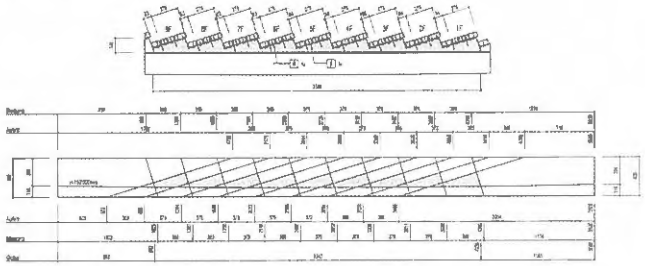
Aufsattlung D und Tritte 1D bis 9D 1:20



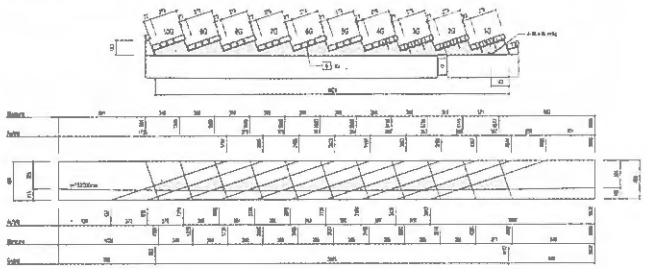
Aufsattlung E und Tritte 1E bis 10E 1:20



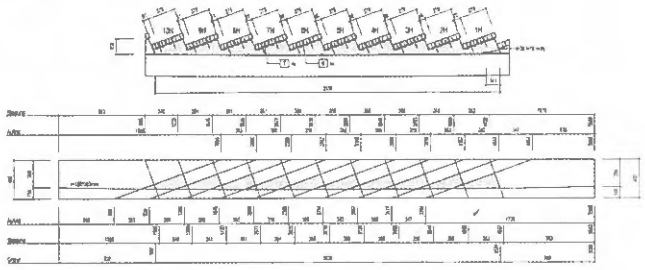
Aufsattlung F und Tritte 1F bis 9F 1:20



Aufsattlung G und Tritte 1G bis 10G 1:20

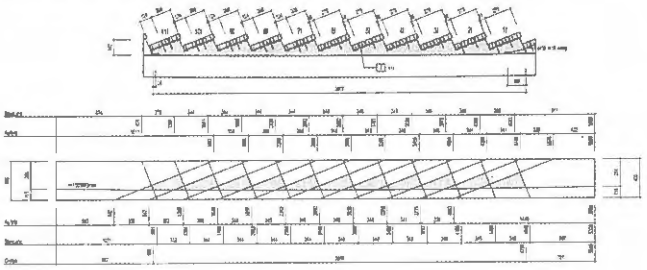


Aufsattlung H und Tritte 1H bis 10H 1:20

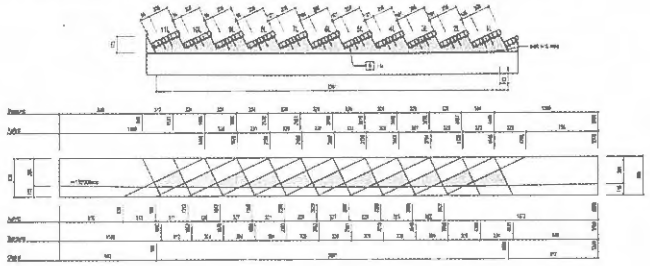


Construction drawing
for stairs

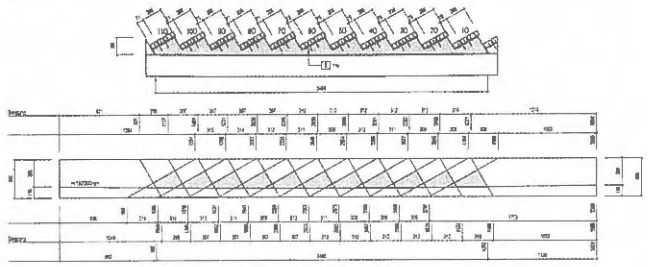
Aufsattlung I und Tritte 1I bis 11I 1:20



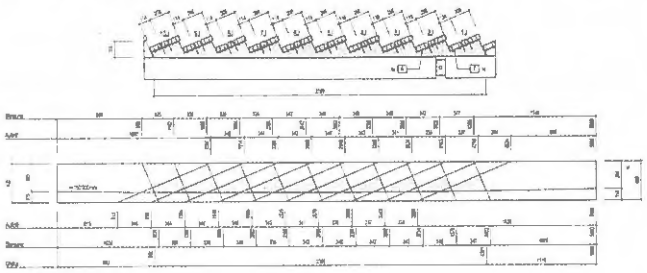
Aufsattlung L und Tritte 1L bis 11L 1:20



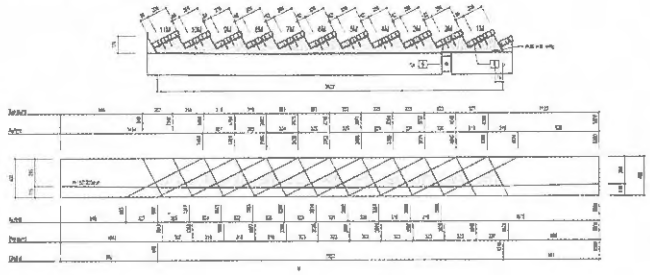
Aufsattlung O und Tritte 1O bis 11O 1:20



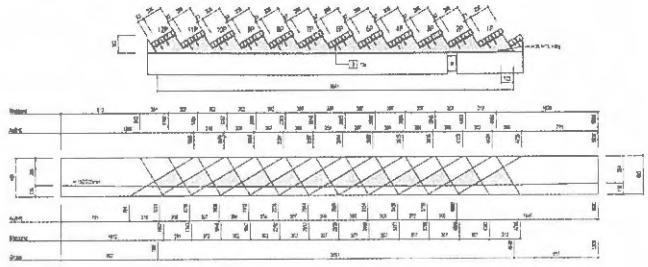
Aufsattlung J und Tritte 1J bis 10J 1:20



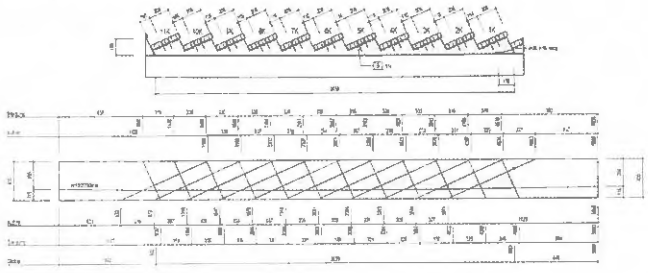
Aufsattlung M und Tritte 1M bis11M 1:20



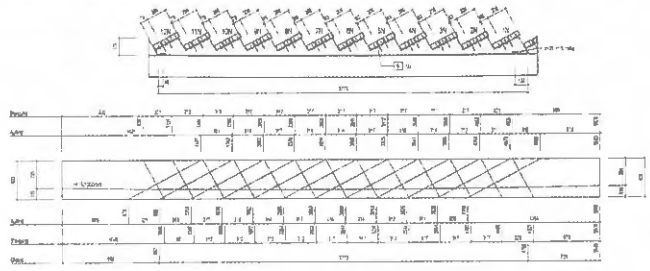
Aufsattlung P und Tritte 1P bis 12P 1:20



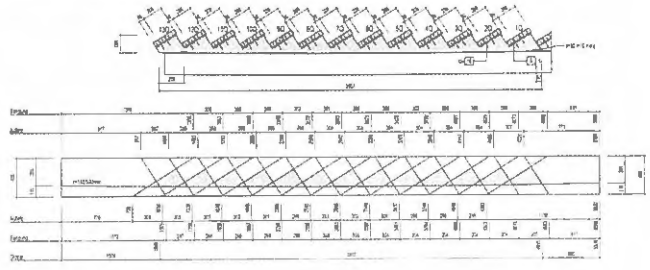
Aufsattlung K und Tritte 1K bis 11K 1:20

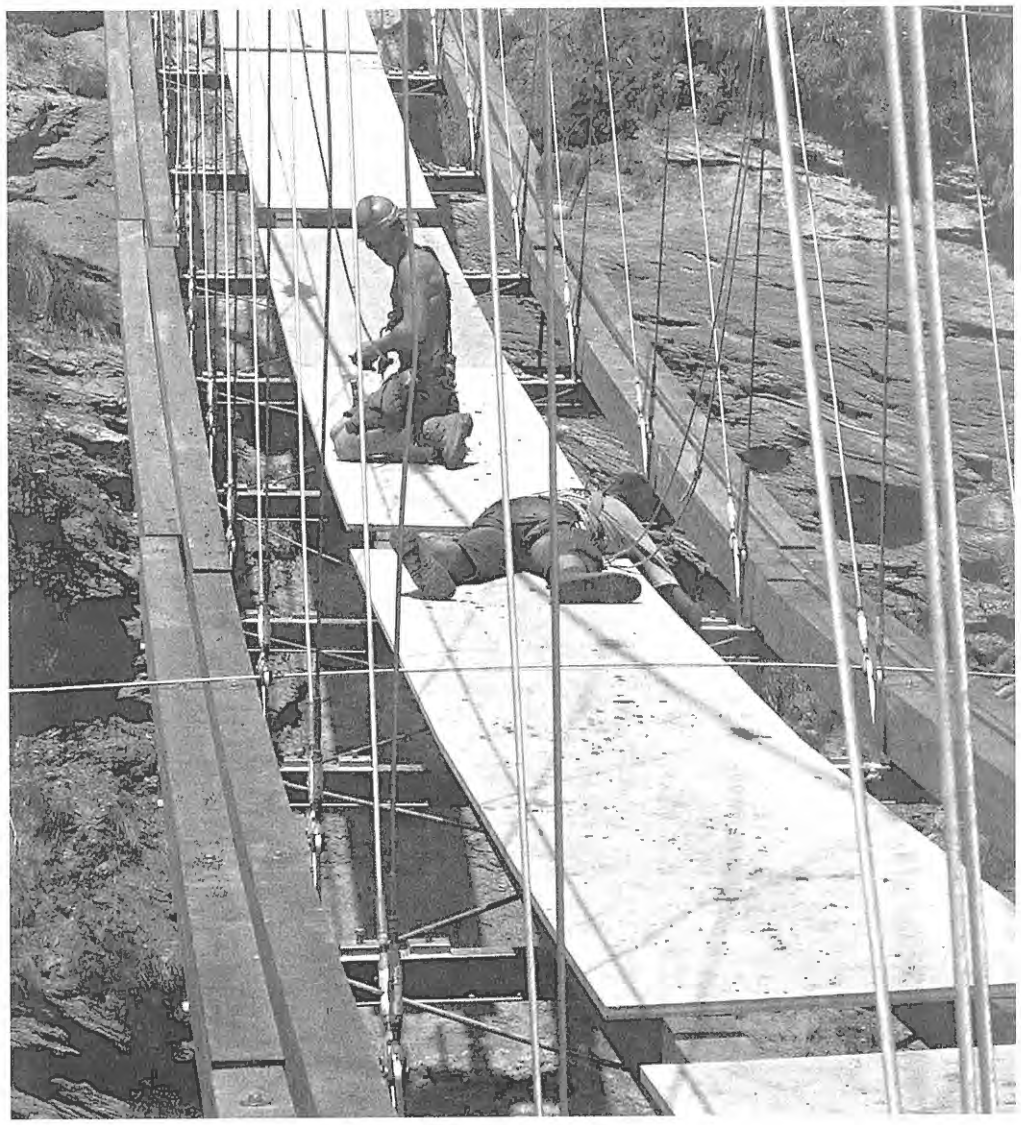


Aufsattlung N und Tritte 1N bis 12N 1:20



Aufsattlung Q und Tritte 1Q bis 13Q 1:20



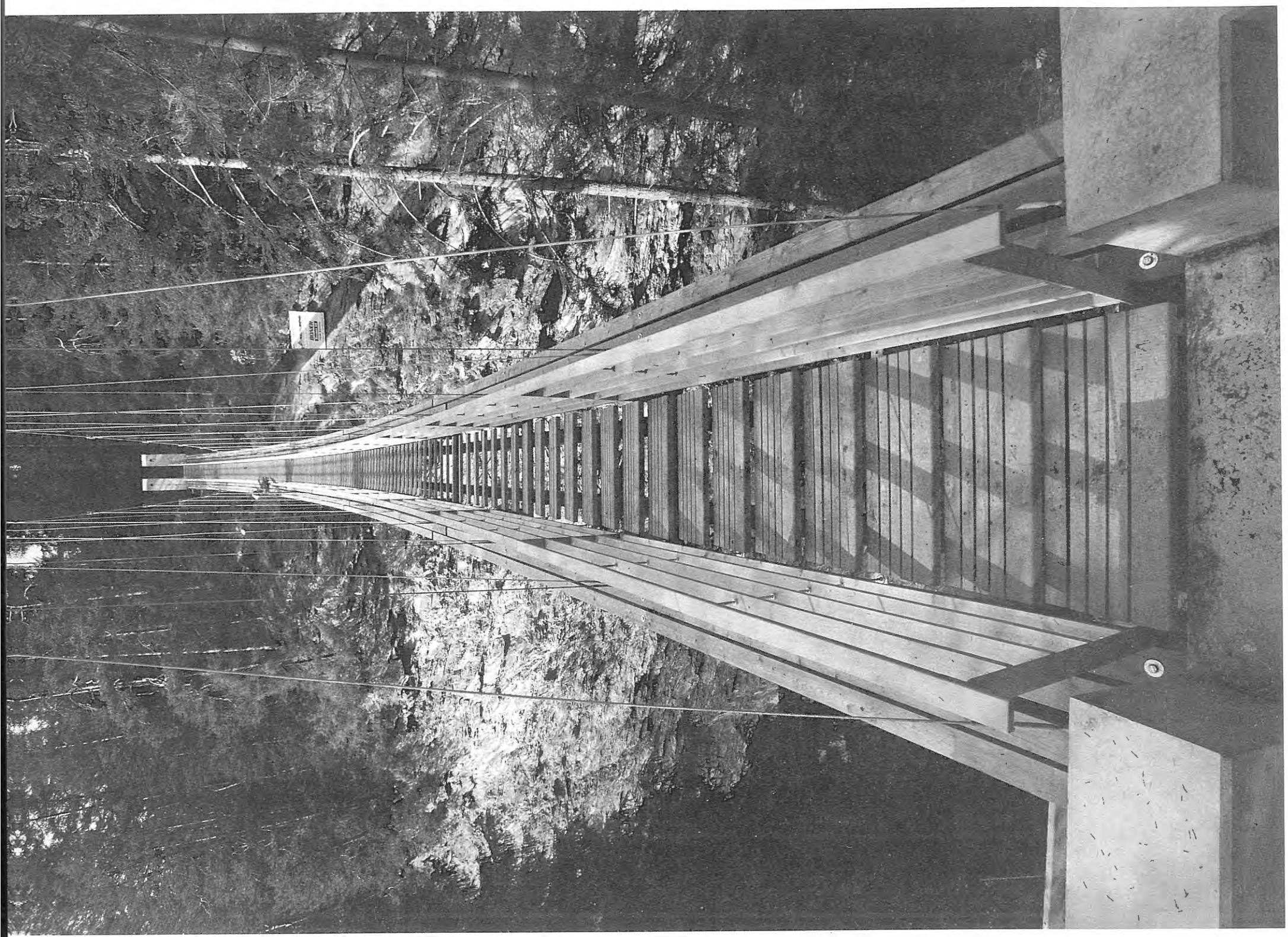


Top left:
Bending the reinforcement around the erratic block on the north abutment

Top and bottom right:
Fixing the cross bracing

Bottom left:
Applying the post-tensioning to the main cables using a pair of hydraulic jacks

Facing page:
Completed stair



Below
Hans Ulrich Grubenmann.
Schaffhausen Bridge, 1758
Model by Albert Wiedenkeller
Sammlung-Grubenmann, Teufen

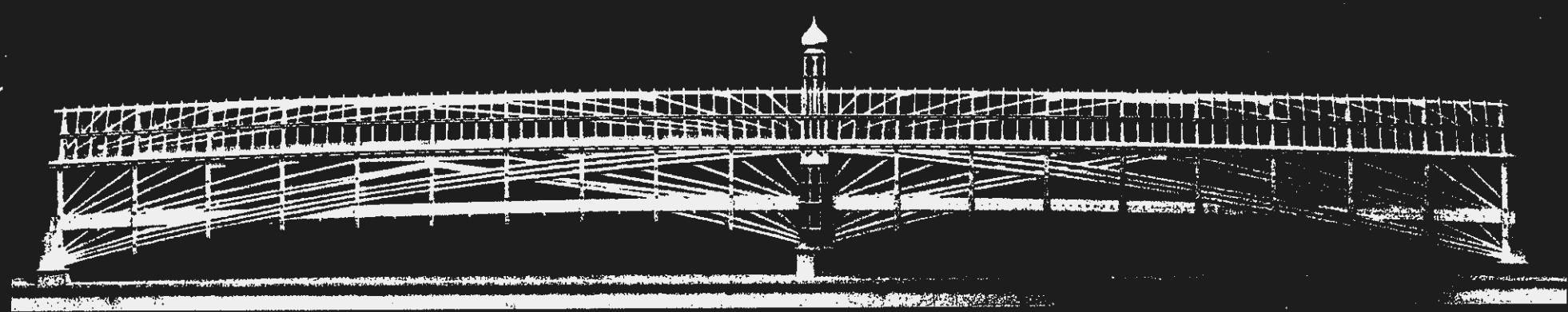
Facing page:
I. K. Brunel, Royal Albert Bridge,
Saltash, 1859

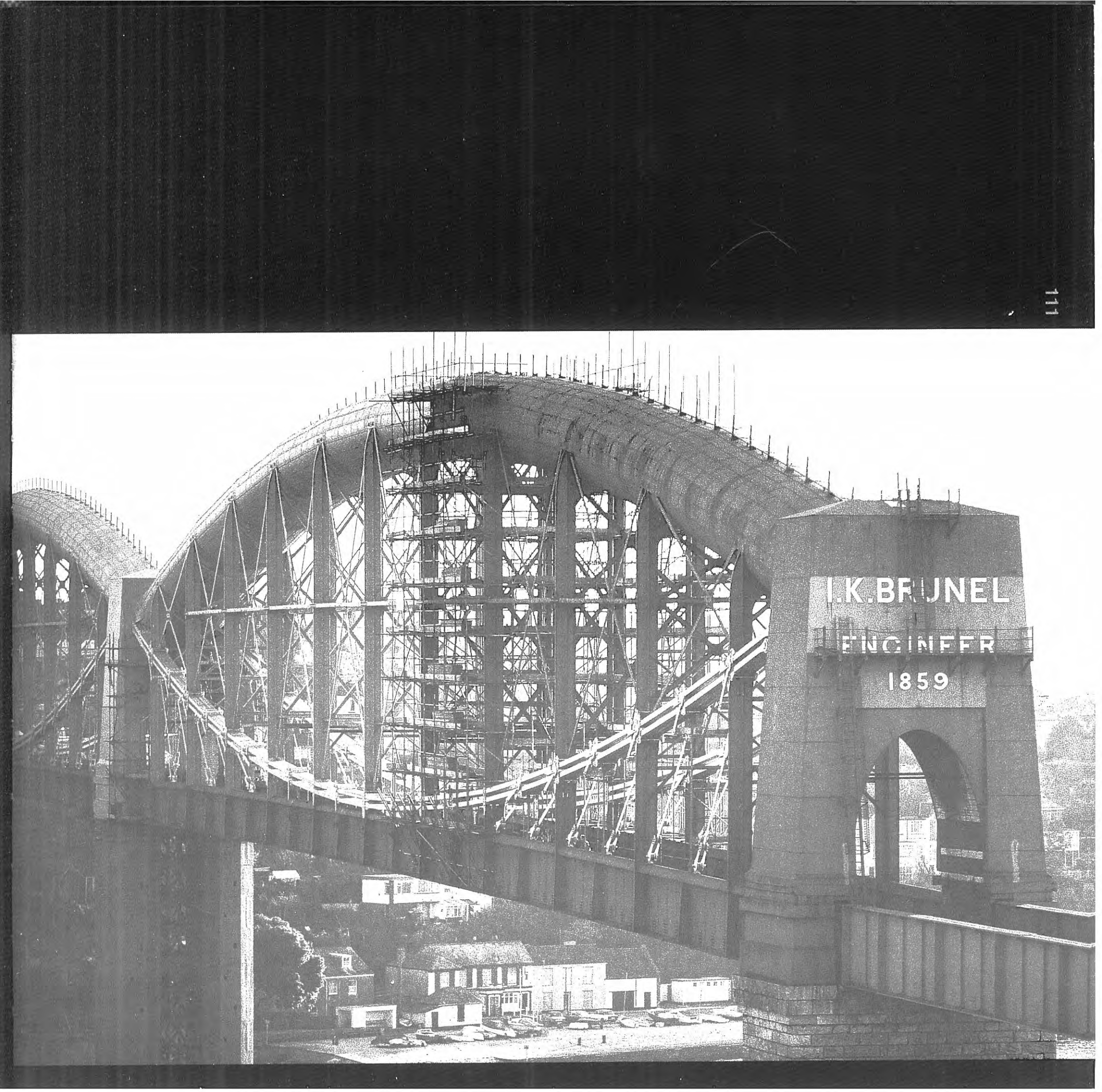
Structural Overlay

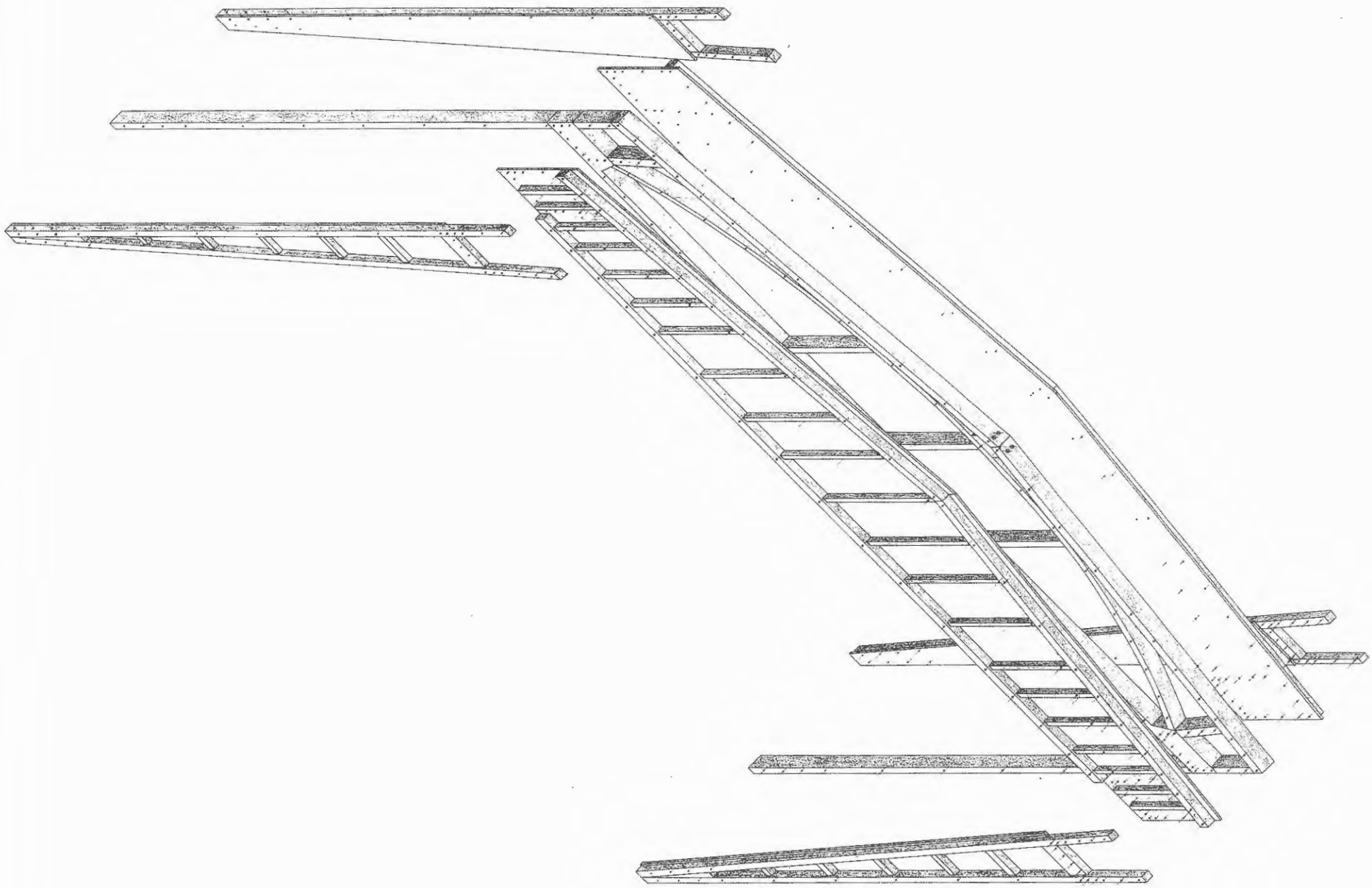
The idea of overlaying different structural systems is rooted in the principle of solidarity: if one system ceases to function or fails, then the other one will come into play. This principle was often used in the preindustrial era, when tried experience could not be relied on. Hans Ulrich Grubenmann's bridge over the Rhine at Schaffhausen (1758) famously employed this kind of overlay. Further examples can be found even well into the nineteenth century, when static strength could be analysed much more accurately. Brunel's Royal Albert Bridge (1859) is based on an overlay of a suspension and an arched bridge. But because Brunel was able to accurately predict the action of the individual parts of his bridge, the two systems are not simply laid one on top of the other but are used in fragments, acting symbiotically. A comparatively modern structural action can be traced back to a design method rooted in the past.
From the second half of the nineteenth century such statically indeterminate systems gradually fell out of favour, giving way to a new ideal: the clear, calculable structure. More complex, intuitively evolved systems were dismissed as prescientific and anachronistic. (In 1920 Arthur Vierendeel described the Brooklyn Bridge, an overlay of a cable suspension and a cable stayed bridge, as 'not only daring, but reckless, because it is in fact uncalculable'.)[1]

Today the idea of the 'clean construction' has become so internalized that the concept of overlaying systems is rarely considered. Yet this type of more complex system has potential advantages over contemporary models, not just offering an increased load-bearing capacity (as was the case in the eighteenth century), but also creating special material properties or facilitating assembly or maintenance.
The roof frame of the Multipurpose Hall in Alvaschagn combines Robert Maillart's principles of the deck-stiffened arch and the hollow box. With the first Traversina Bridge, the division of the static system into two was a response to the requirements of the construction process. In both instances the resulting overlay was efficient and practical. Both solutions grew out of research into plural overlaid structural systems – a process that, by engaging with preindustrial precedents, runs counter to the widespread belief in the linear progress of the art of structural engineering. JC

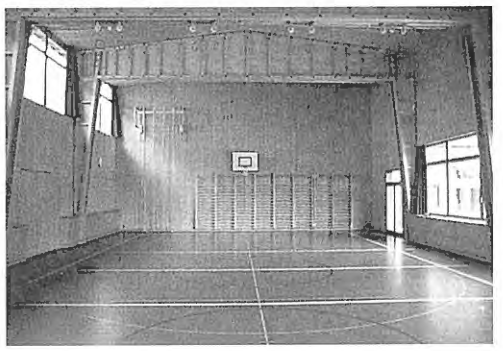
1 Arthur Vierendeel, *Cours de Stabilité des Constructions*, vol. III, Louvain 1920, p. 90.




I.K.BRUNEL
ENGINEER
1859



Multipurpose Hall
Alvaschagn
1990–91



The village hall is used for a variety of events, both sporting and cultural. With this in mind, we made a similarly adaptable structure. The two-pin portal frames have three-walled supports that serve as a kind of storage cupboard, allowing sports equipment to be stowed away, inconspicuously, during concerts, plays and council meetings. The roof structure is designed to support heavy snow loads. As the greatest shear forces occur in the horizontal member before the lateral bearing points, the shallowest part of the beam requires the most noggins. However, in timber construction it is hard to use a web of variable thickness, so the horizontal member is based on the principle of the stiffened arch, being formed of a thin laminated timber arch enclosed by a hollow-section beam with veneer plywood sides and laminated timber chords. The stiffened arch takes most of the vertical forces. The plywood web, on the other hand, is mainly subject only to snow loads on one side, so the panels can be thin – the construction minimum of 27 mm. The horizontal members are much deeper than the uprights. This stiffness ratio means that the corner moments are small under vertical loads: horizontal members effectively act as simple beams, and verticals are principally subject to bending moments when lateral wind forces occur. The frame corners were therefore straightforward to construct, and were stiffened simply by the addition of gauge bolts on assembly. The stiffened arch is concealed inside the box beam; only the bolt heads on the sides of the ribs hint at its existence. The combination of arch and box beam is an example of an assembly which incorporates the best characteristics of each system: the arch's great stiffness under a uniform load, and the thin-walled box beam's load-distributing effect.

Architects:
Bearth & Deplazes, Chur

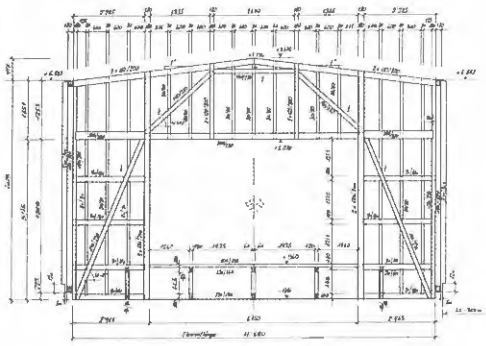
Left:
Isometric of portal frame showing the arch, which is not visible from the outside.

Right:
Interior of completed hall

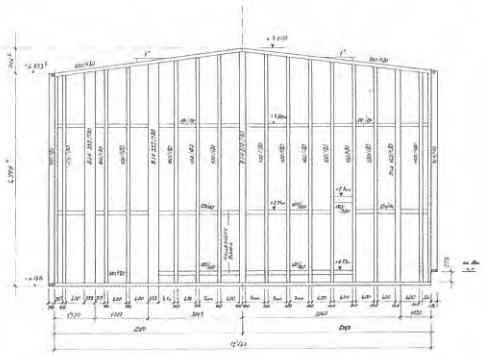
SCHULANLAGE ALVASCHEIN / MZ-HALLE	Plan-Nr. 112 - 106
BINDER Nr. 1 , Nr. 2 , Nr. 6 ANSICHTEN und DETAILS	Ersatz für: Nr. 106a Format: 60 / 126 Datum: Juni 90 Kontr. Ing.: 1:1/2.5 Kontr. Arch.:
JÖRG CONZETT, DIPL. ING. ETH/SIA Bahnhofstr. 10, 7023 Haldenstein, Tel. 081/27 24 72	Massstab: 1:1/50 Gez. / Ges.:

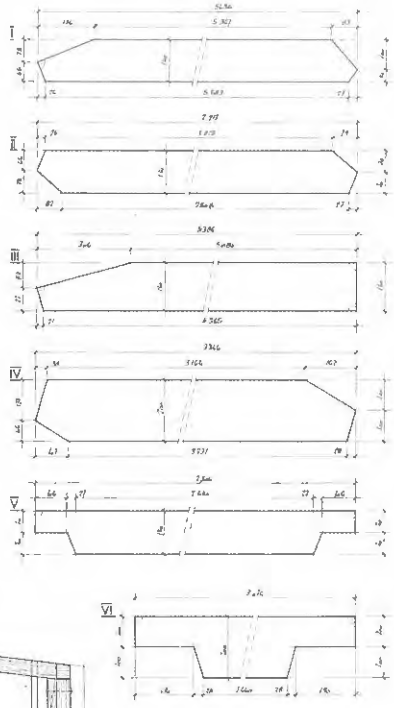
BSH B
FH ▯ gehobelt
FH ▯ roh

BINDER Nr. 1 Ansicht von Bühne gegen Wand 1:50

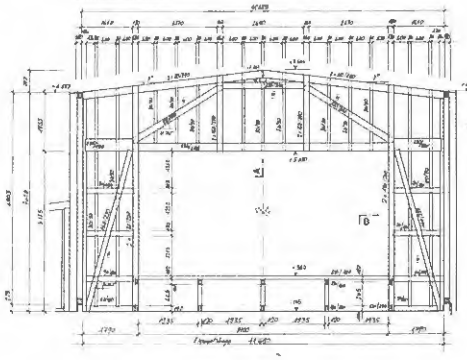


BINDER Nr. 6 Ansicht von Halle gegen Wand



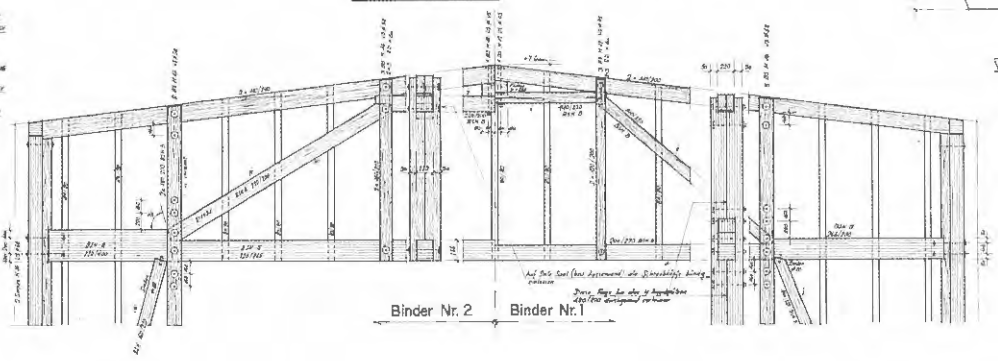


BINDER Nr. 2 Ansicht von Bühne gegen Saal 1:50



A 1:50

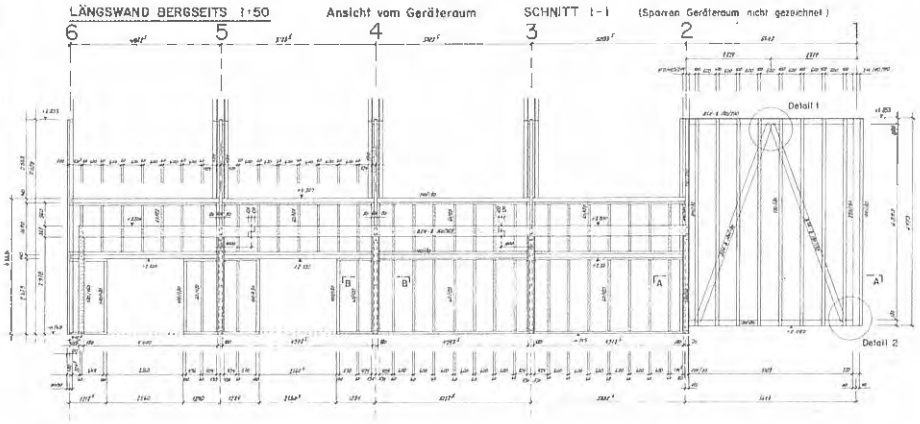
HÄNGEWERKE 1:20



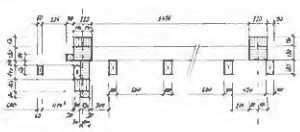
SCHULANLAGE ALVASCHEIN / MZ-HALLE	Plan-Nr. 112 - 107
LÄNGSWÄNDE	Ersatz für: Format: 60 / 126 Datum: Juni 90 Kontr. Ing.: Kontr. Arch.:
JÖRG CONZETT, DIPL. ING. ETH/SIA Bahnhofstr. 10, 7023 Haldenstein, Tel. 081/27 24 72	Massstab: 1:1/50 Gez. / Ges.:

BSH B
FH ▯ gehobelt
FH ▯ roh

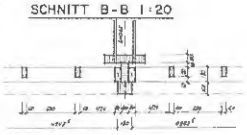
LÄNGSWAND BERGSEITS 1:50 — Ansicht vom Geräteraum — SCHNITT 1-1 (Sparren Geräteraum nicht gezeichnet)



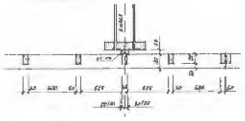
SCHNITT A-A 1:20



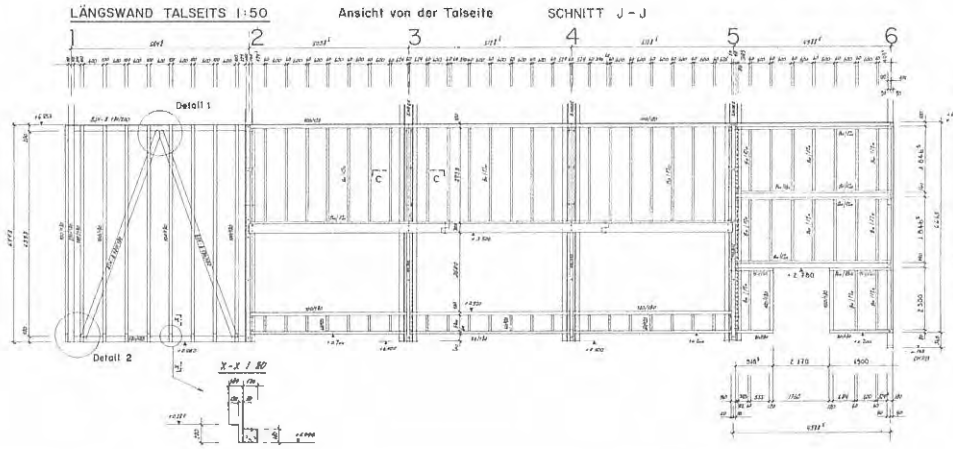
SCHNITT B-B 1:20



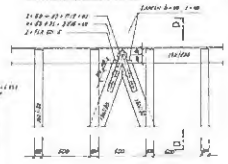
SCHNITT C-C 1:20



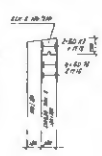
LÄNGSWAND TALSEITS 1:50 — Ansicht von der Talseite — SCHNITT J-J



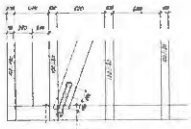
DETAIL 1 1:20

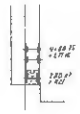


D-D 1:20

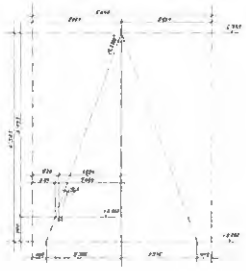


DETAIL 2 1:20

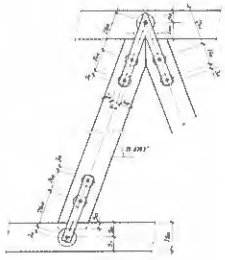


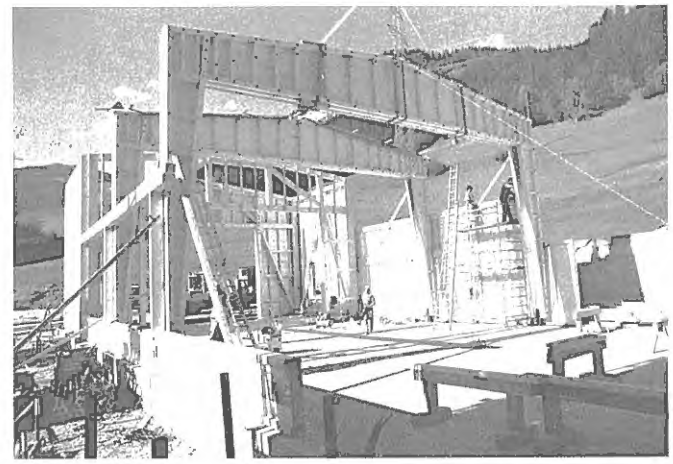


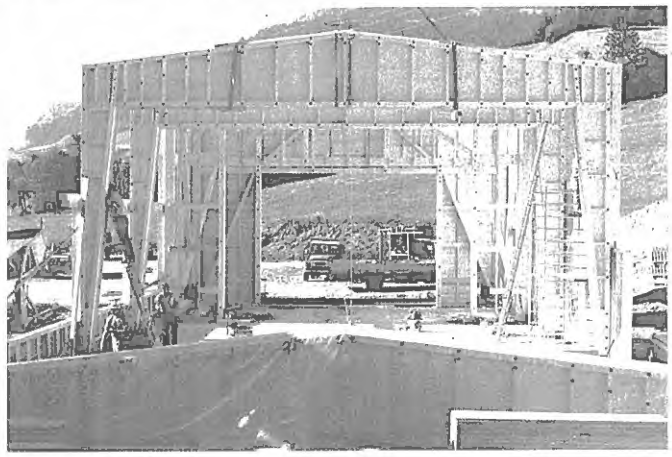
GEOMETRIE WINDBOCK

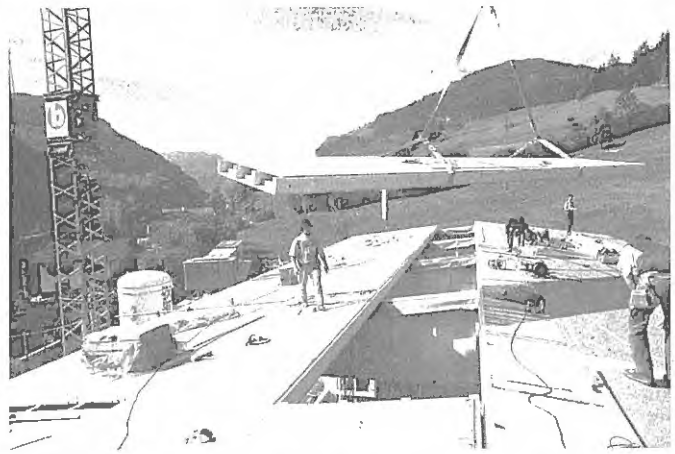


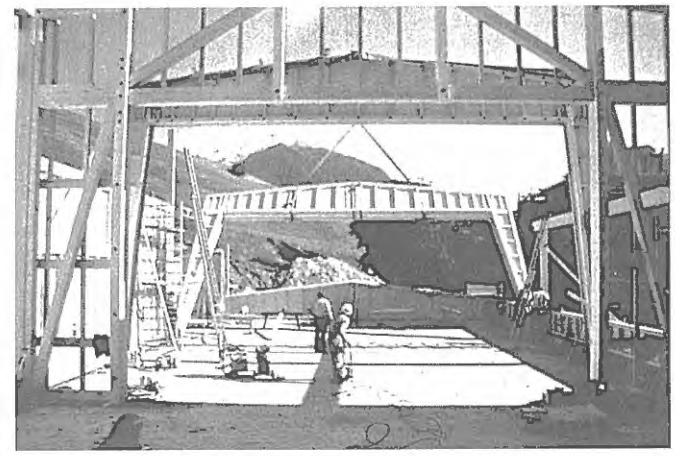
DETAIL 1+2, 1:10

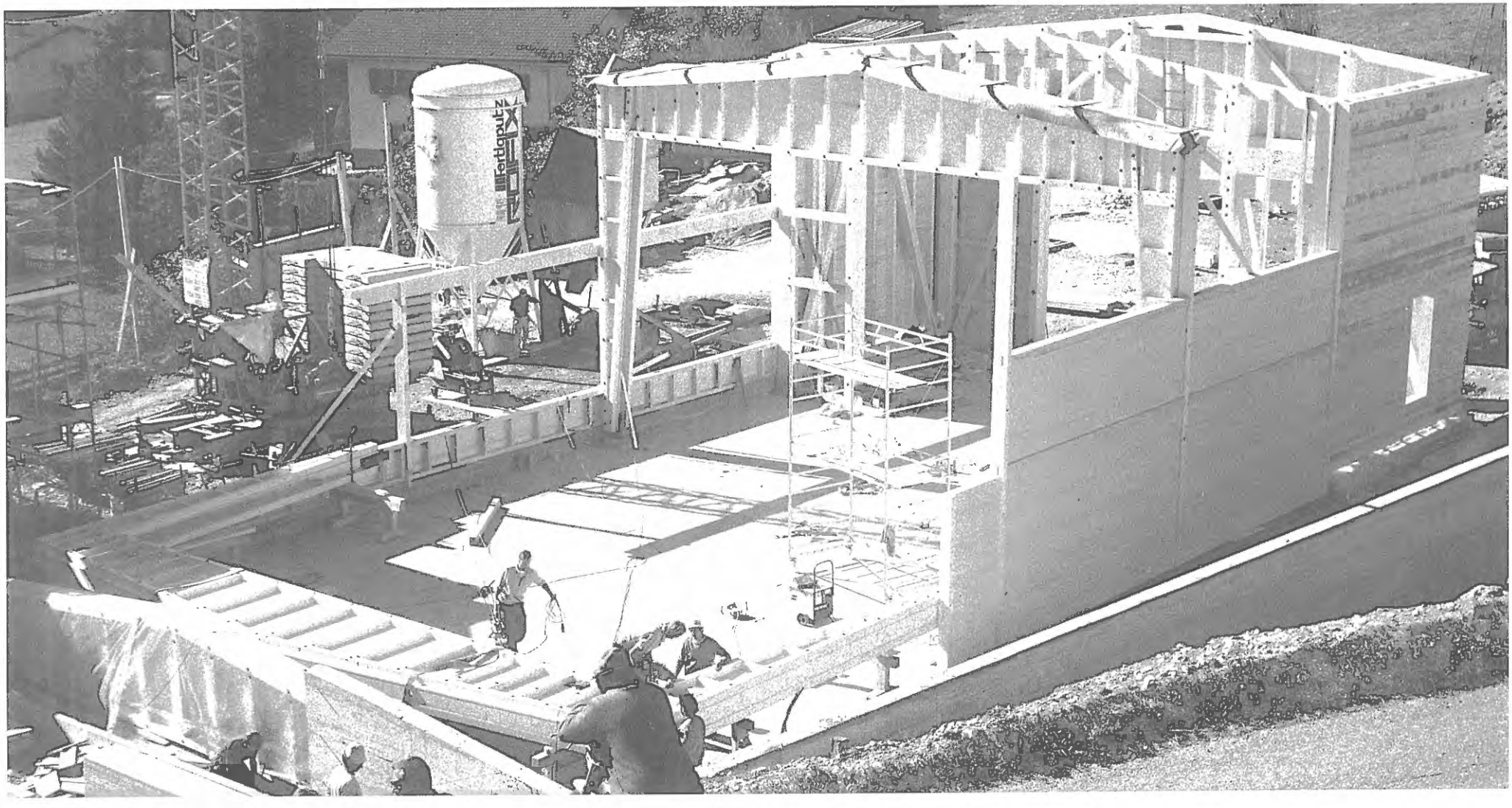




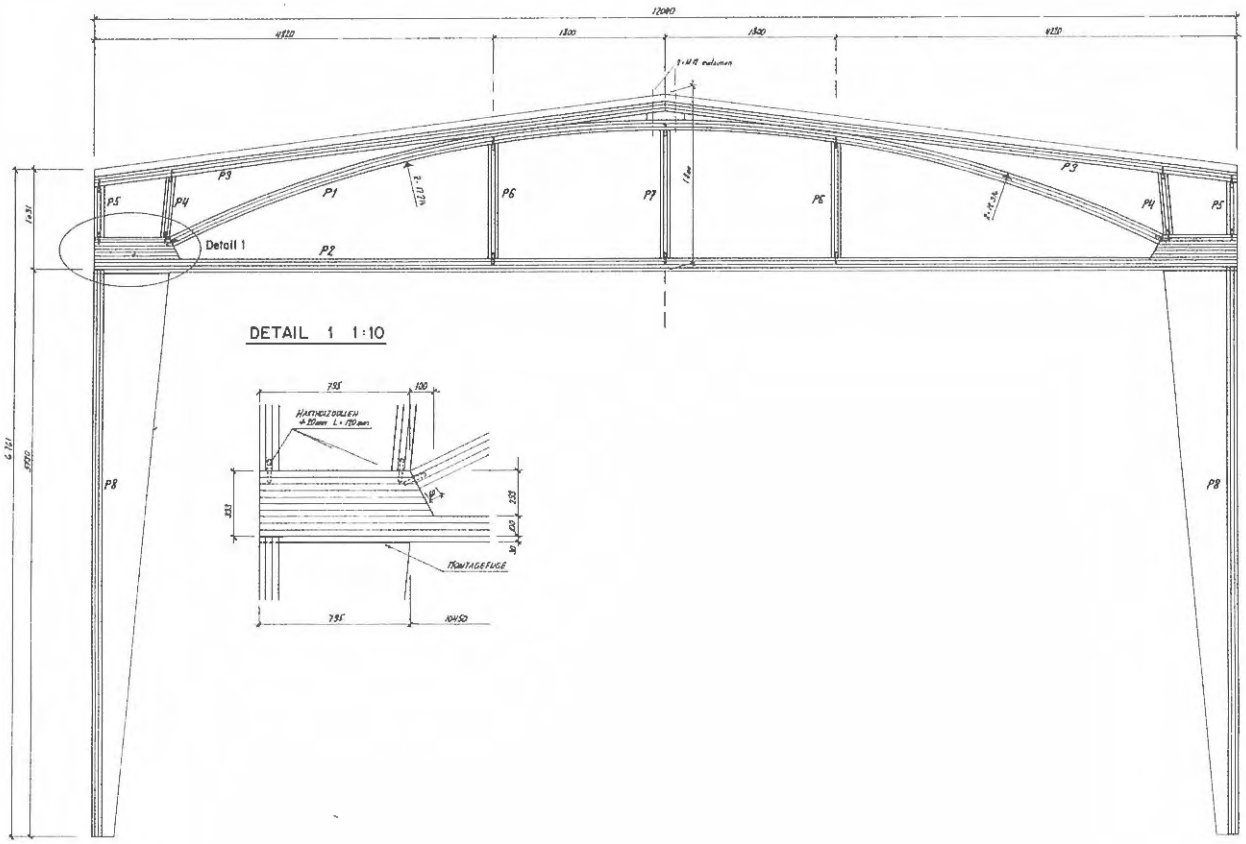




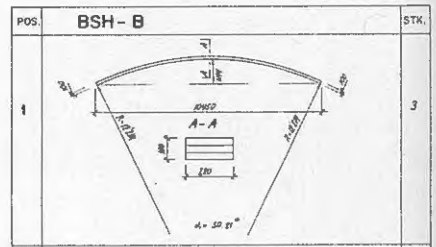
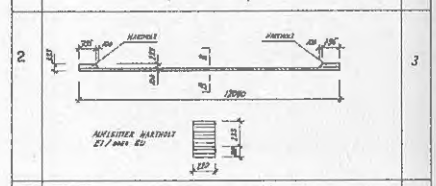
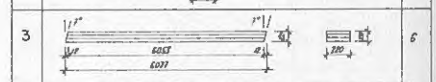
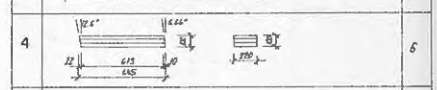
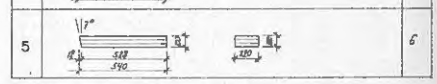


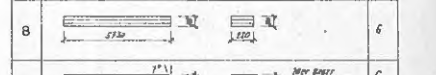
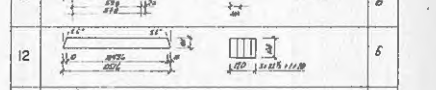

Fertigbeton

QUERSCHNITT 1:20

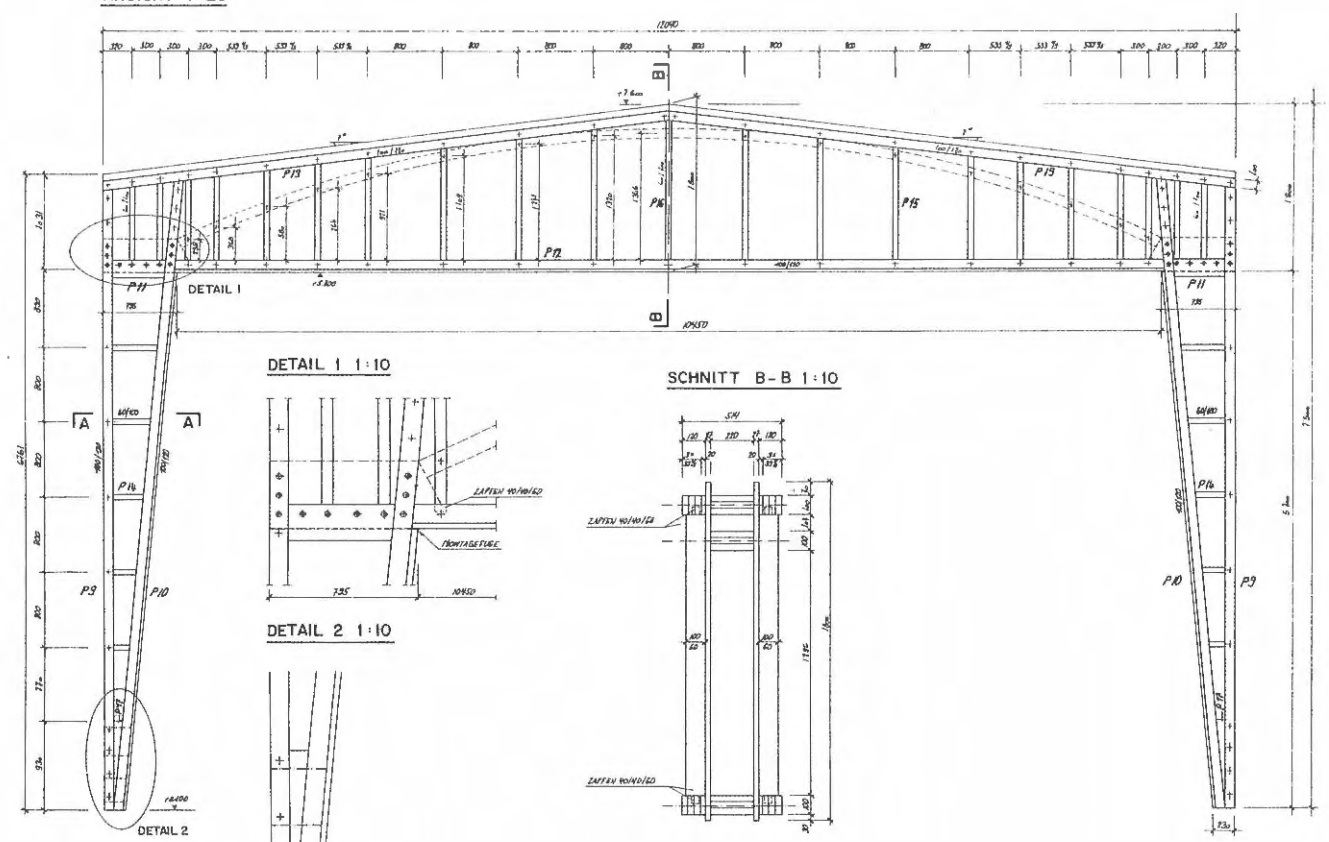


DETAIL 1 1:10

POS.	BSH - B	STK.
1		3
2		3
3		6
4		6
5		6

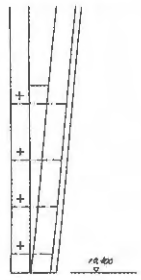
POS.	BSH - B	STK.
6		6
7		3
8		6
9		6 6
10		6 6
11		6 6
12		6
13		6 6

ANSICHT 1:20

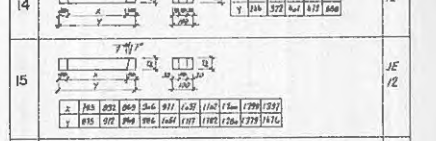


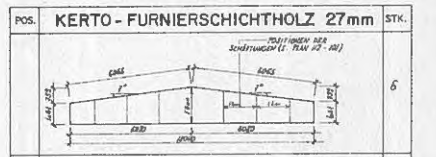
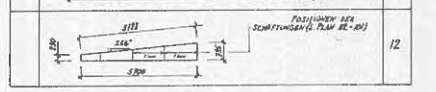
DETAIL 1 1:10

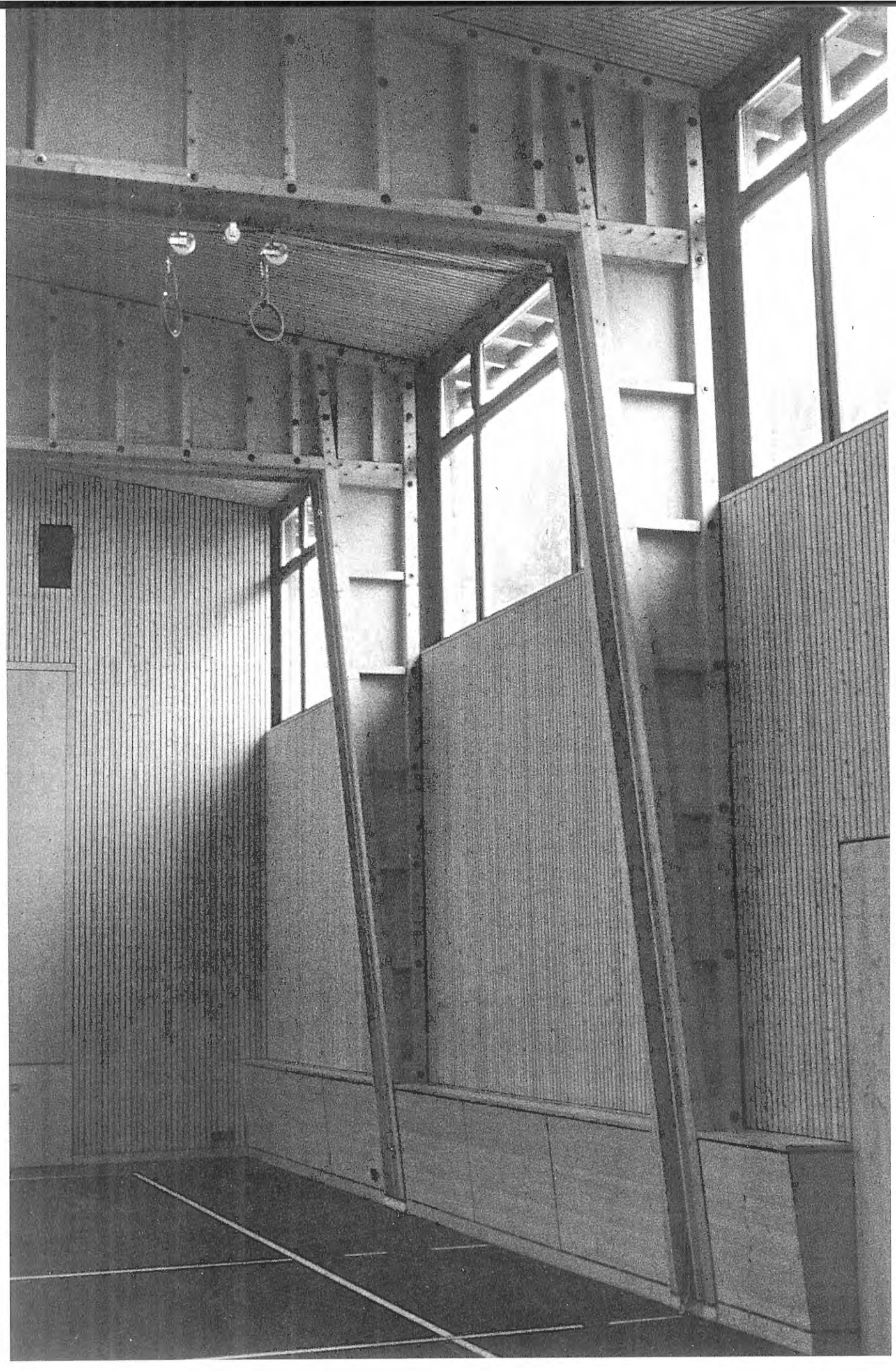
DETAIL 2 1:10



SCHNITT B-B 1:10

POS.	SCHNITTHOLZ FK II	STK.
14		JE 12
15		JE 12
16		6
17		12

POS.	KERTO - FURNIERSCHICHTHOLZ 27mm	STK.
		6
		12



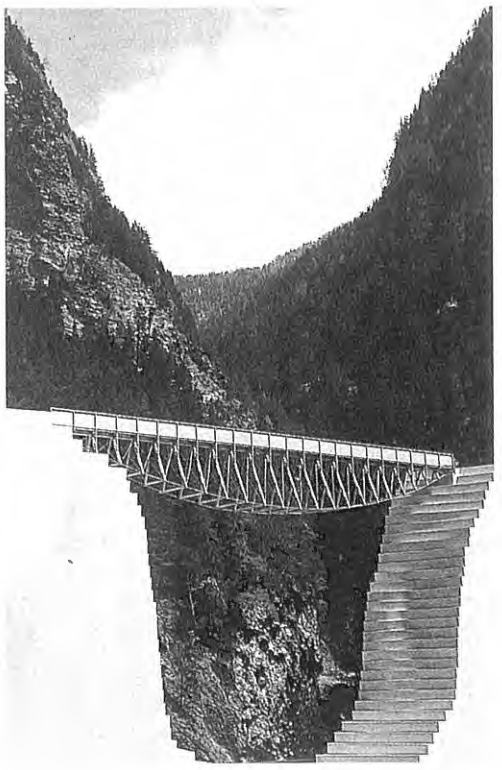
Previous spread:
Construction drawings for end facade (frame no. 1), stage beam (frame no. 2) and long facade.
The right-hand page shows the assembly of timber structure.
The stiffening of the hall is effected in a longitudinal direction via the two 'A-trestles' left and right of the stage area. The stage was therefore assembled first, to form a 'box' that was stable on all sides, then the frames were hung onto it.

Far left:
Main frame: section through axis (above) and view (below)

Centre:
Component list and cutting of the elements of main frame

Left:
Detail of upright and connection points. The bolt heads are the only indication of the existence of the arch within.

Traversina Footbridge
Graubünden
1993–96



The first Traversina Footbridge had to overcome some typical obstacles for alpine structures – a remote site with difficult access, a restricted budget, and a short construction season. In many respects, design and construction were taken to their limits through the use of unconventional methods. Beyond a few basic principles, there were no failsafe options, and sometimes subjective judgements were required.

The bridge connects two fragments of an old Roman trail which probably crossed the valley in a loop, with a ford across the stream. Since it would have been difficult and costly to reconstruct this crossing in the wet and eroded terrain, a new bridge was proposed, linking the remnants of the trail on either side of the ravine. The geological conditions for the two abutments were considered to be satisfactory and safe as they were located along the traces of the Roman trail. The bridge was required to span 47 metres at an inclination of 6 per cent. The self-weight of the substructure was limited to 4.3 tonnes – the maximum load of the most powerful helicopter available.

Thus the bridge consists of a very light space-truss system with panelled side rails acting as stiffening girders. It is made mainly of larch wood and non-corrosive steel cables.

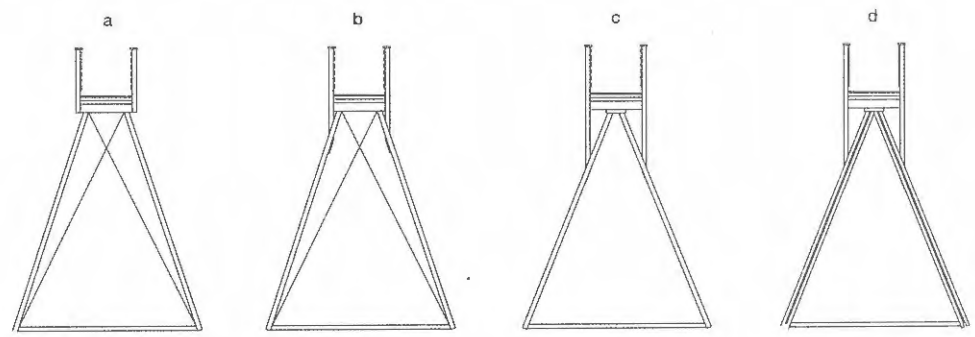
To minimize the construction weight of the assembly units, the structure was divided into a light substructure and a much heavier superstructure, designed to stiffen and protect it. For the substructure, we compared a number of structural systems (including Schwedler and Pauli trusses). The lightest solution proved to be a three-chord truss girder, triangular in cross section, with two parabolic cables as lower longitudinal chords. The parabolic form has a further advantage in that the diagonal timber members are almost stress-free under permanent load, making them easy to replace as required.

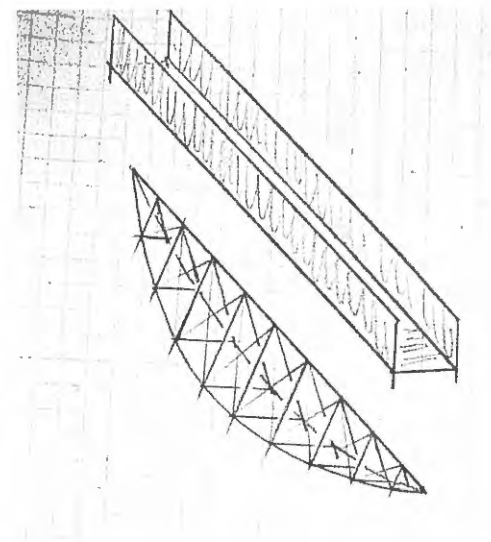
Collaborators:
René Fanchini
(timber engineer) and
Maurus Cadosch
(draughtsman)

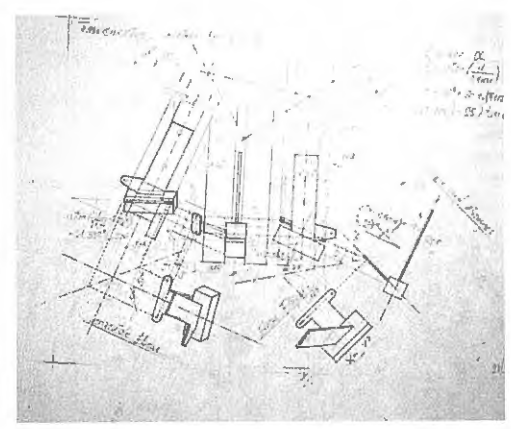
Left:
Landscape with bridge

Right:
Model set in the landscape

This page, from top:
Development of cross section (see text)
Overlay of truss and beam
Sketch of a node. The complex geometry of the truss was determined by two independent processes: by 'traditional' vector geometry, and by a CAD program.







Because the truss girder tapers to a point at each end it has no means of resisting torsion at the two supports. Instead, stability against pendulum motion is provided by the superstructure – the bridge deck and side rails. The deck consists of a horizontal glulam beam (running under the walkway) and two three-ply panel-stiffening girders (the side rails). Vertical struts connect the superstructure to the substructure. Wind resistance determined the design of the cross section. Indeed, together with wind load, it was a crucial factor in determining the shape and cost of the bridge as a whole. As soon as their normal force reduces to zero, cables behave structurally like brittle members, which means there is a risk of the lower chord on the upwind side losing its tension during a strong gale, causing the walkway to rotate around the downwind lower chord. Safety depends on the ratio of wind load to permanent load and on the geometry of the cross section.[1] To withstand the maximum lateral wind load, additional horizontal resistance is provided by the glulam beam located under the walkway.

Since exposed timber has a limited life-span, it was essential to protect the main structural elements – the three chords of the substructure – and allow for the eventual replacement of exposed parts. The upper chord, working in compression, is made of Class A larch glulam timber and protected from water by the protruding wind beam above. Each of the struts is made up of four (individually replaceable) 30 x 80 mm larch boards. Their slender cross section accelerates the drying time after a rainfall, increasing their durability. All nodes are also designed to allow easy replacement of the connecting elements. The static system ensures that the stresses under permanent load are small both for the lower cross beams and the galvanized-steel diagonal tie-bars. Struts, beams and walkway are made of unfinished sawn larch. Railings are three-ply panels in Douglas fir. All wood is left untreated.

In the first design sketches (see above), the substructure consisted of four cross braced planes (a). In a second option, the balustrade posts were extended downwards and fastened to the main struts to improve the connection between the balustrade and the substructure (b). When a rotation or tipping of the walkway was ruled out, it became possible to significantly reduce the width of the upper chord and omit the relatively ineffective cross bracing (c). At the same time the compression chord was disengaged from the horizontal shear plate to provide protection from the elements and minimize the overall weight of the substructure. Rigid balustrades were introduced to compensate for the torsionally weak support of the substructure (d).

Structural variants were also proposed for the longitudinal direction. The aim was to find a structure with as many light steel tie-bars and as few heavy timber compression members as possible (the density of larch timber was assumed to be 700 kg/m³). The optimum solution was a 5-metre-deep parabolic truss consisting of 24 bays. A 4-metre-deep structure would have been 355 kg lighter, but would have produced unacceptable deflection. The number of bays had a negligible effect on the overall weight and was therefore decided on the basis of practicality.

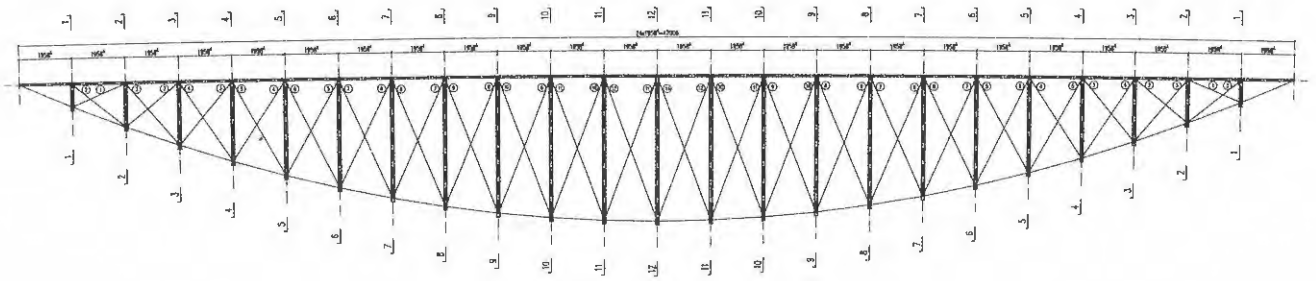
The lower chord nodes were the most difficult to construct. In order to reduce the effect of the timber shrinking and swelling they follow the principle of fixing steel directly to steel. The diagonal tie-bars of the inclined supporting planes are fixed to cleats welded onto shovel-like steel plates that, in turn, are welded onto the two-piece cable clamps. The horizontal cross bracing tie-bars are fixed to cleats welded to horizontal wing-like plates that project and slot into saw cuts within the cross beams. The galvanized-steel upper chord nodes are similar (albeit without wing-like projections). By removing one of the diagonal struts and one of the lower cross bracing bars, the cross beam can be slid out sideways and replaced. This is a most important feature, since it allows the bridge to remain in use while under repair. The deviation force of the main cable is transferred from the cable clamps into the struts by direct contact into the timber's end section. The cleat location at each node is such that the central axes of the tie-bars intersect at a single point. The connection angles between the steel plates and the cable clamps are different at each node – precise angles were arrived at using a CAD program and vector geometry calculations. The lower chord nodes are made from V4A stainless steel. The main cables are anchored at each end by thick distribution plates that transfer the force of the cables onto the compression chord.

Following delivery of the substructure, a lighter helicopter was used to fly in the remaining components. We developed and employed three rigid joints within the horizontal shear plate and within the two balustrades. The rigid joints to the shear plate were achieved using slotted and bolted steel plates. The joints to the thinner balustrades were located halfway between balustrade supports and were glued and bolted using surface-mounted fishplates. The fishplates were recessed almost flush to make them inconspicuous and enable the balustrade to be perceived as a single, continuous plane.

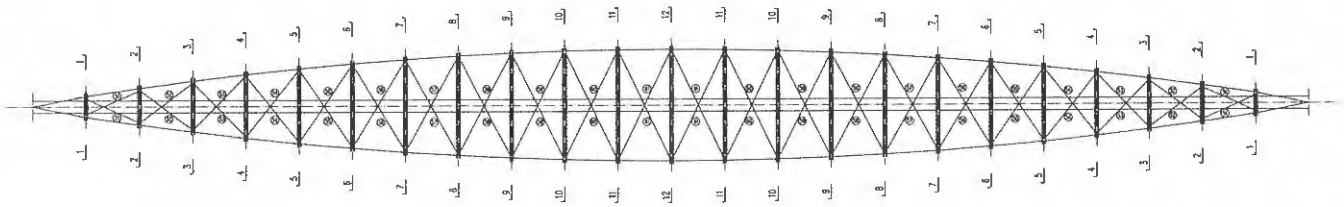
Postscript
The Traversina Footbridge was destroyed by a rockfall in March 1999.

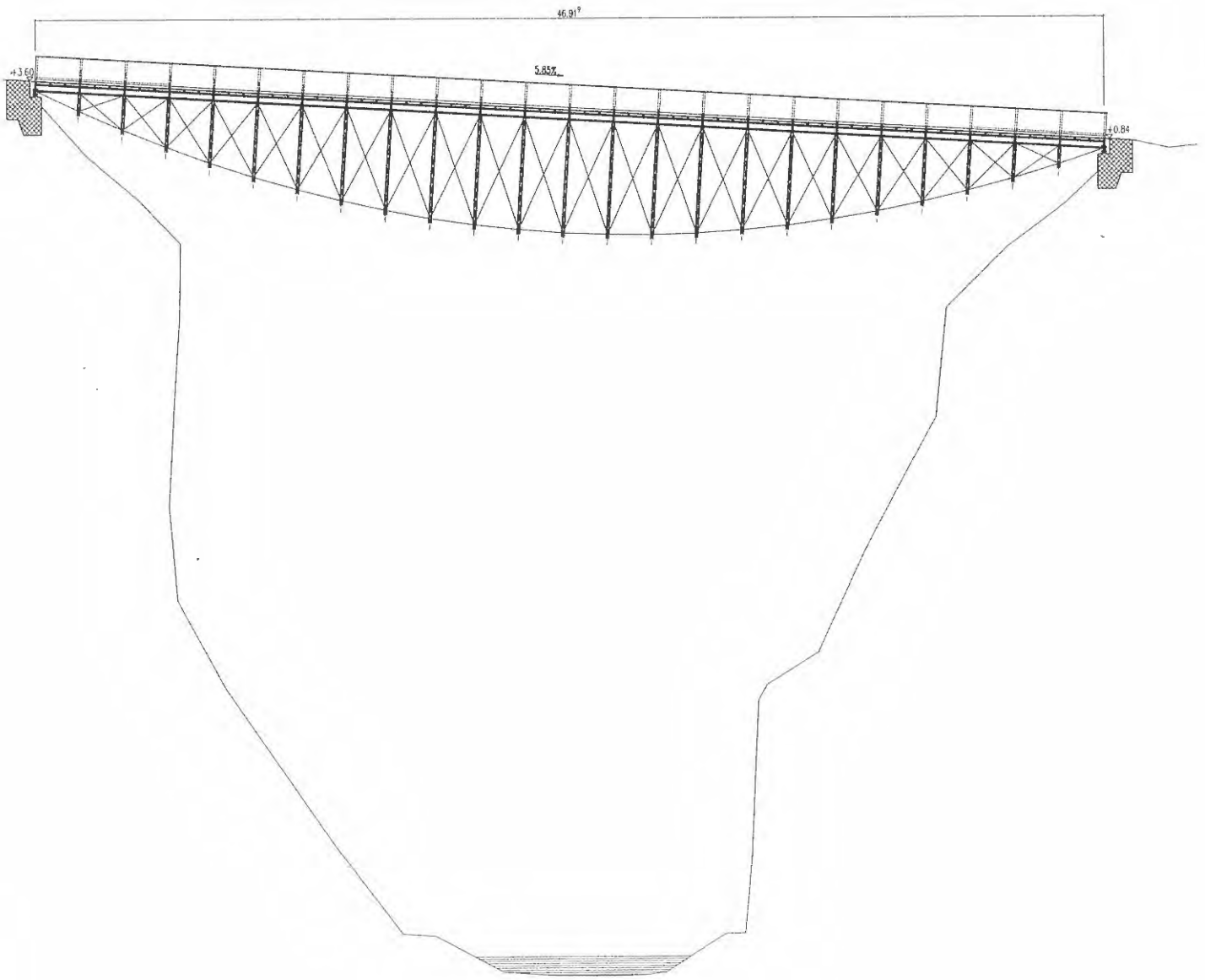
1 This 'geometrical truss resistance' is equal to 40 per cent of the permanent load, corresponding to 1 kN/m². Therefore the structure is able to resist the maximum five-year wind through truss action alone. The horizontal deflection under this load scenario would be 92 mm.

Überhöhte Ansicht in der wahren Grösse 1:50

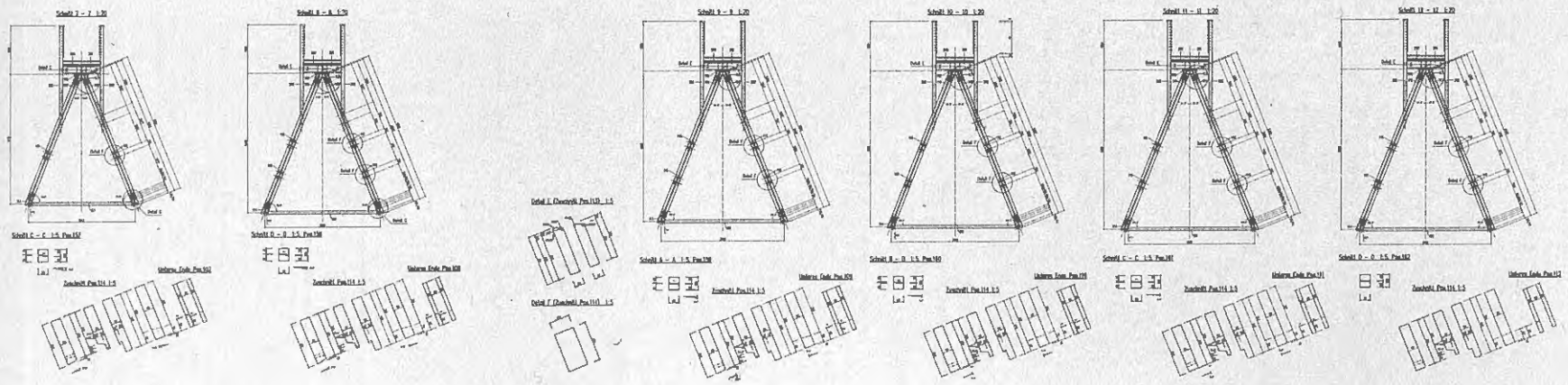


Untersicht 1:50





From top:
View, plan and longitudinal section



Above:
Series of twelve triangular systems

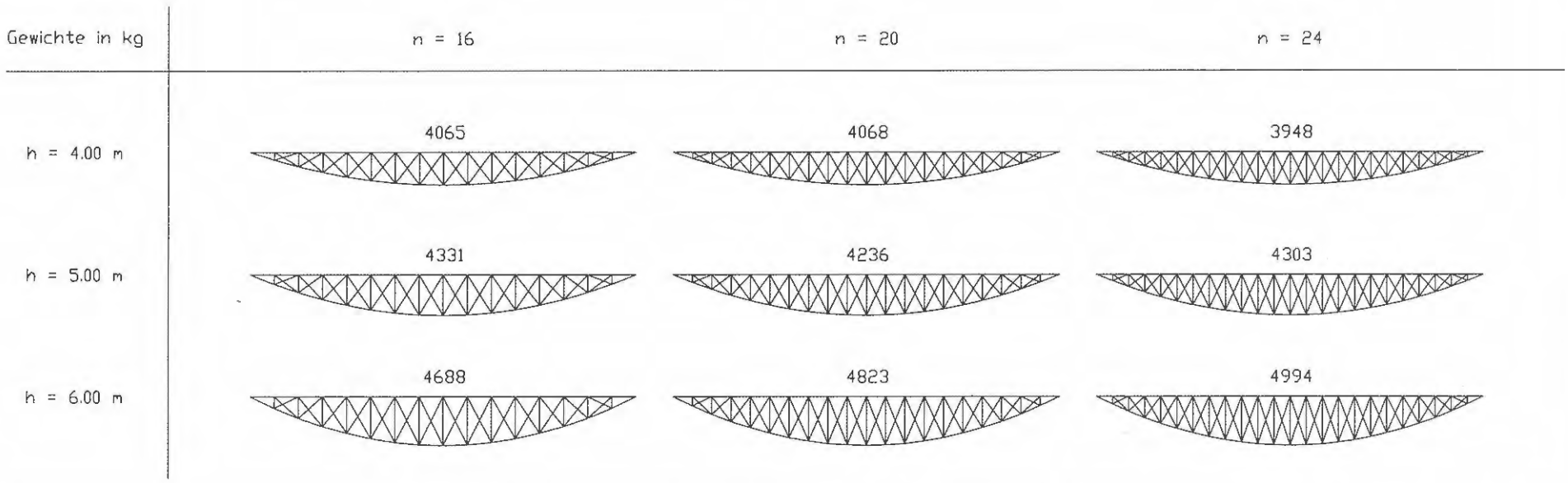
Left:
View of bridge from mountainside

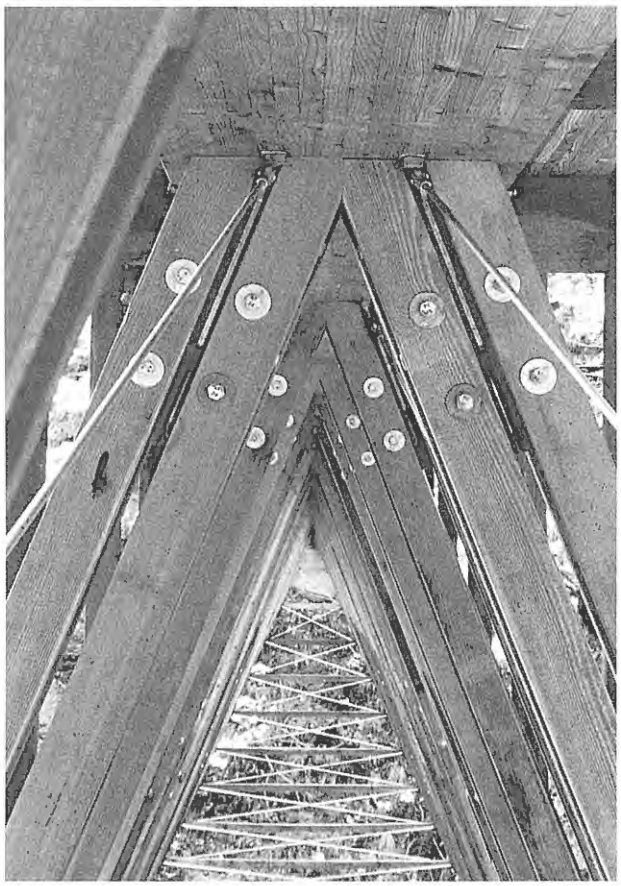
Below:
Investigation of different truss sytems. The depth of the truss had a much greater impact on the weight than the number of bays, so the selection of the 5-metre-deep truss was 'objective', aimed at achieving the greatest stiffness within the given weight limit, whereas the choice of 24 bays was 'subjective'.

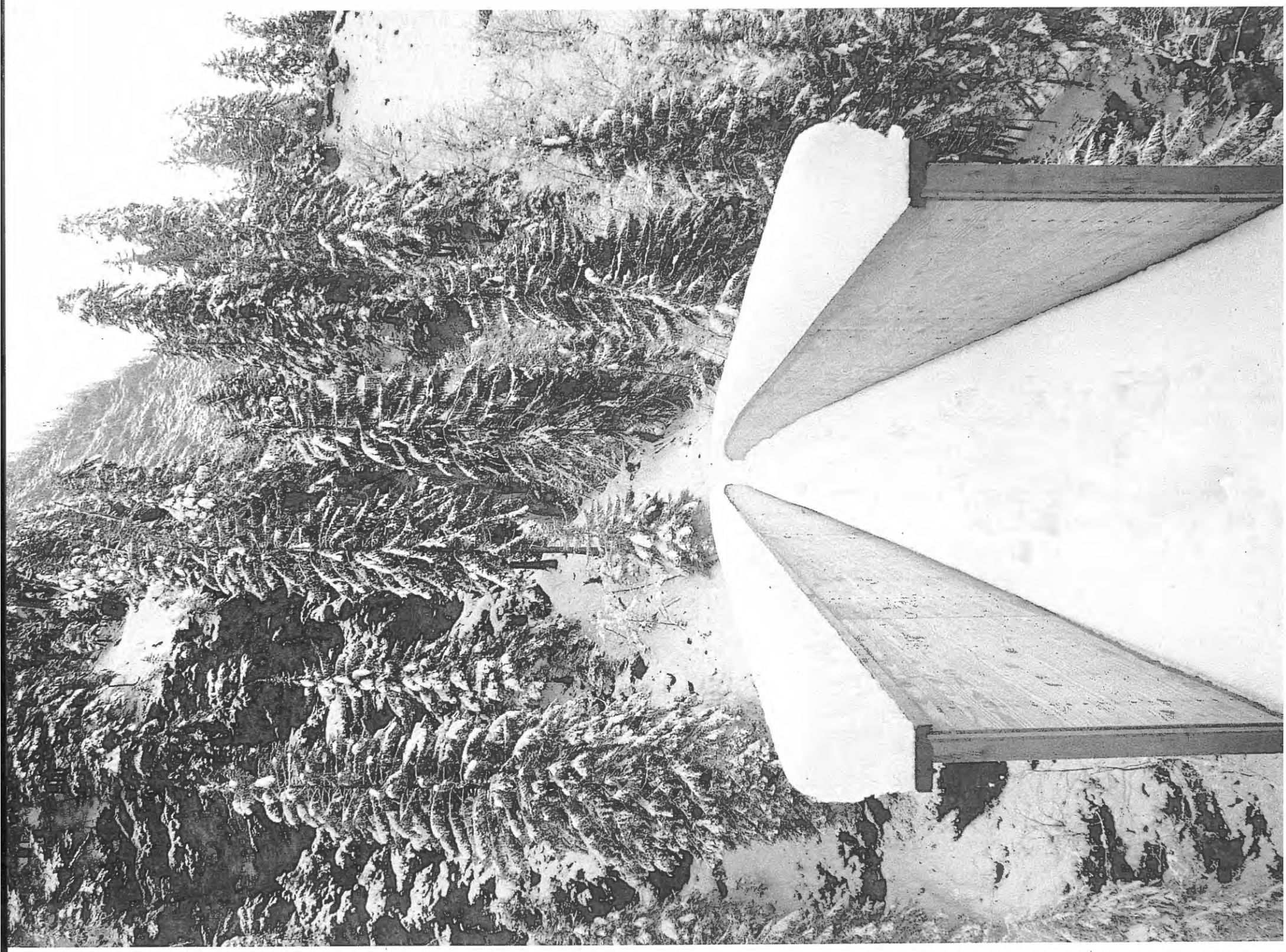
Bottom left and centre:
Detail of triangular system. The upper chord, working in compression, is protected by the wind beam above. The struts are each made of four individually replaceable larch boards.

Bottom right:
Bridge under construction. The H-elements are in place but the shear wall and parapets have still to be added. The cable is for securing the workers' safety harnesses.

Facing page:
The installation of the parapet walls provides a 'safety rail' that allows the walker to relax sufficiently to appreciate the depth of the gorge and the beauty of the landscape.







Facing page:
Saddle roof of the church at Grub,
1752, by Jakob Grubenmann
Model by Albert Wiedenkeller
Sammlung-Grubenmann, Teufen

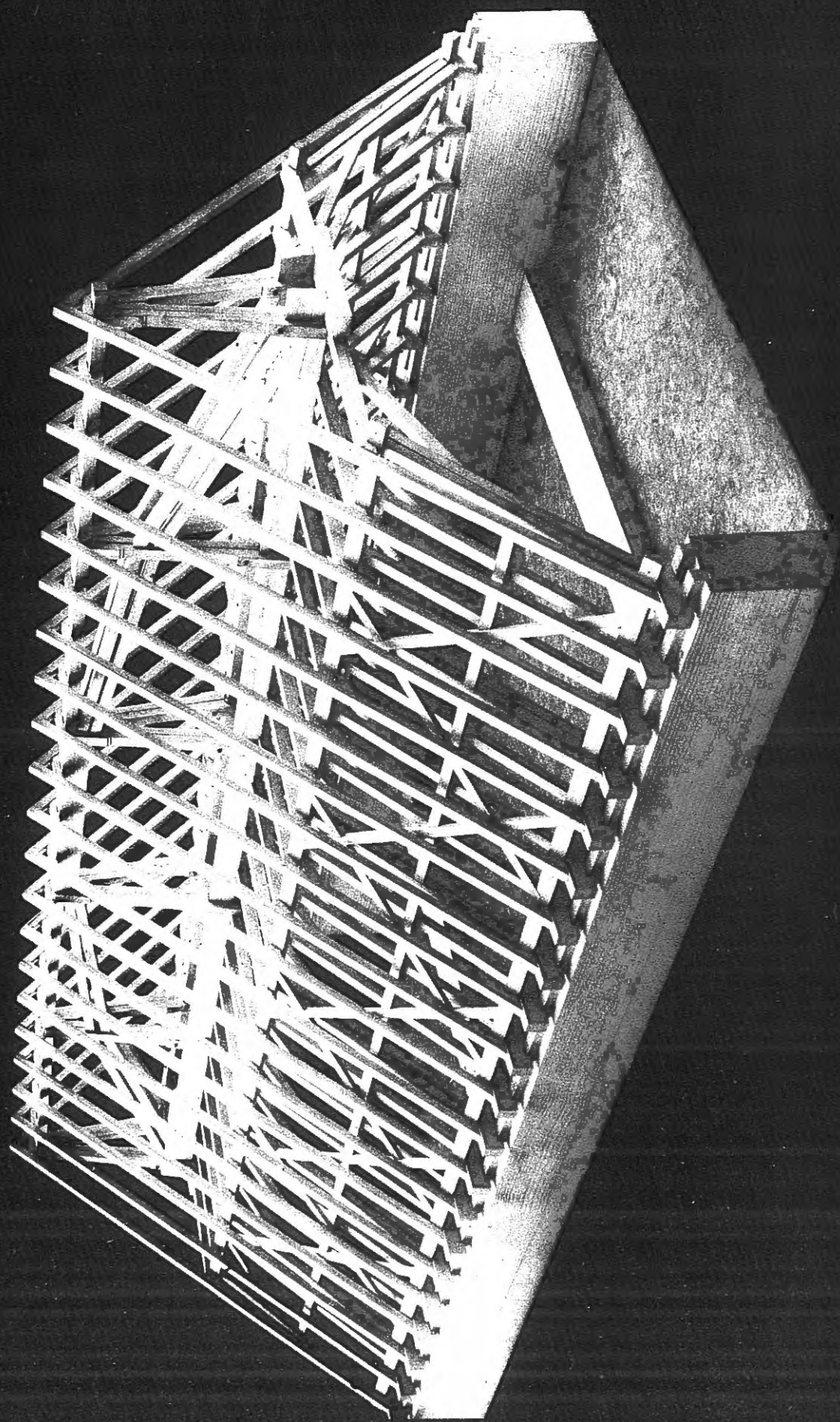
Traditions and Precedents

The horizons of my profession have been severely limited by the widely held belief that the field of engineering is somehow continually advancing, in an unchecked linear progress. The truth is that traditional techniques still have a lot to teach us. They can reveal new aspects when applied to new conditions (as, for example, when a baroque principle of timber construction is translated into a concrete structure). In this sense, my interest in historical buildings has nothing to do with nostalgia, and everything to do with a desire to discover alternative ways of doing things.

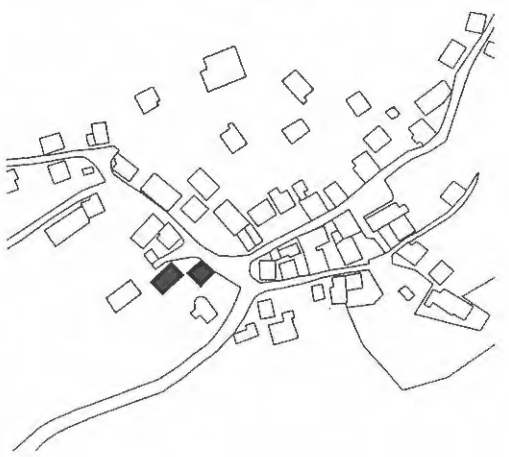
The following projects either relate directly to built precedents or operate with traditional techniques. One example of this is the technique of massive timber construction known as 'Strickbau' (literally 'knit-building'). With the school house at Duvin, for instance, it quickly became clear to both architect and engineer that this was the right solution for the location and the budget. The only problem was that we knew of no precedents for using 'Strickbau' in a larger building. In addition it appeared that no one had done any research into the buckling of massive timber walls. As we delved further into this centuries-old construction technique, we entered fascinating new territory and in the process gained experience that could be transferred to a second larger building, the school at St Peter. Here, having gained in confidence, we were able to act more freely. The massive timber technique was combined with the principle of post-tensioning, and an unconventional treatment was found for the long-term settlement of the timber. The Swiss Pavilion at Hanover Expo 2000 also belongs to this 'research series'.

My interest in the Grubenmann brothers – which I touched on in the introduction to the last section – is not merely academic. Their works can offer practical precedents. Many of the saddle roofs of their churches have inclined arch structures, which provide a stiffening shear effect. We were able to apply the Grubenmann principle almost to the letter to the stiffening of the roof structure of the gymnasium at Mastrils: their timber compression arch had merely to be 'translated' into post-tensioned cables.

The load-bearing structure of the Multipurpose Hall in Vrin is formed entirely of standard timber, sourced locally. But the timber is bent to achieve greater resistance – an ancient shipbuilding technique. The canopy for the infantry barracks in Chur arose as a homage to Hans Hilfiker, who unfortunately never achieved the recognition he deserved during his lifetime. The final project in the section, the goat dairy in Parvalsauns, represents an attempt to reintroduce log timber techniques in a remote site, on the very fringes of civilization. Its success is in no small part due to the skills and knowledge of the joiners who built it. JC



School Duvin 1994



Duvin is a farming community in a spectacular but remote mountain setting close to the confluence of the Vals and Lumnezia valleys. Its houses and barns are built in the traditional manner, using planks and unmilled timber. Only the old school house, with its pyramid roof, has the classic air of a public building, although it too employs local construction methods.

The competition brief called for the design of a new school and a multipurpose hall. The existing school was to be converted to house a municipal office, a post office and a kindergarten. In our proposal the two new buildings are placed one below the other, on a diagonal axis from the old school.[1] So aligned, the three buildings form a strong geometrical composition with a scalar progression that embraces the neighbouring church. This layout also creates an interesting series of squares of varying character: the square between the village road and the new and old schools has the feel of a public courtyard; the one between the church and the two school buildings is more of a private playground; while the new school and multipurpose hall back onto a large sports field that opens out towards the valley. The contrast could hardly be more vivid: in the space of a few steps, one moves from narrow, almost urban enclosures to wide open spaces with alpine vistas. The new school was built in 1994 as the first stage of the planned complex. The project offered the opportunity to apply the local technique of 'Strickbau' (literally: 'knit construction') on a larger scale. This technique is little used today and its potential is largely unexploited. Yet at Duvin there were ample local supplies – both of timber and of joinery skills – to support it.

Architect:
Gion Caminada, Vrin
Collaborators:
Rolf Bachofner (engineer)
and Simeon and Claudio Alig
(carpenters)

Left:
New and old school houses

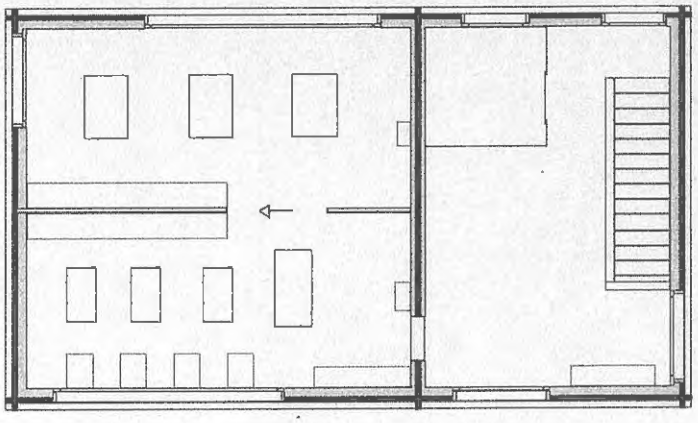
Right:
Site plan

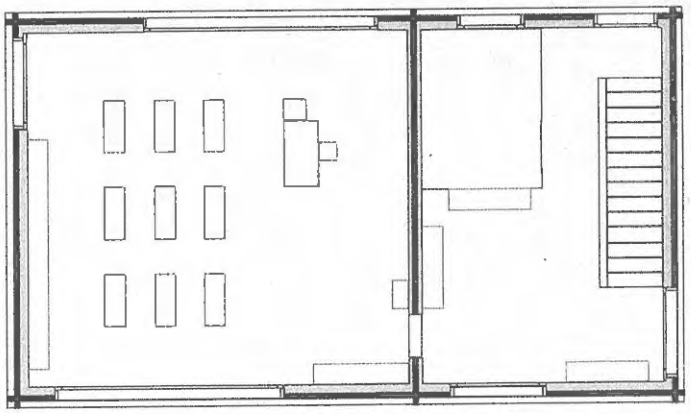
School Duvin 1994

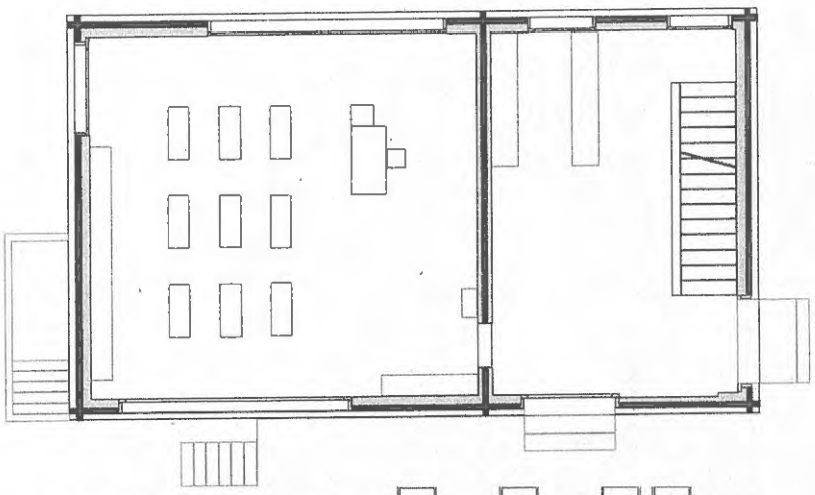
The school is hardly a standard timber building, with its large, unstiffened walls and spans of 8 to 9 metres. To achieve resistance to buckling (no easy task), we had to look for a conceptual solution, which is as follows. Each segment of the wall has just a single large opening: as a result, it is held and stiffened on at least three sides by the floor slab and corner scarf joints. For the floor slabs we chose a composite concrete–timber system that offered very effective soundproofing and distinct advantages in terms of structure and ease of construction. The lower part of the floor, which is subject to tensile stress, is a planked deck made of timbers 140 mm thick and 200 mm wide, locked together with tongue-and-groove joints. Concrete was then poured on top of this horizontal deck, to form a 140 mm-thick slab. To connect the different layers of timber and concrete, four mortises were cut into each plank – two deep ones at the ends, two shallow ones in the middle – and the concrete was allowed to flow into the holes, creating the necessary shear connection. The timber works compositely with the concrete to make a floor slab. The floors over the large windows are suspended by tie-rods on the oversailing parapet walls.
The concrete part of the floor slab is reinforced and the shear connections are provided with stirrups. In this way the floor spans in both directions, even though the composite action of the wood offers greater strength in the direction parallel to the planks. Transversely the concrete distributes the load, with the wood playing a negligible role. This enables the floor to take the loads off the weaker parts of the wall and concentrate them on the stronger zones near the corners, as the L-and T-shape of the overlapping joints between intersecting walls enables them to take greater loads. With a task like this, the engineer must first consider limit states – the aim is not to examine the real ratios of stress and force that would arise if the structure was fully elastic and isotropic (an illusory exercise, in our case), but rather to find possible ways in which load might be distributed.[2] This approach corresponds to the principles of the theory of plasticity. The pre-industrial technique of 'Strickbau' reveals new qualities when applied using modern engineering methods.

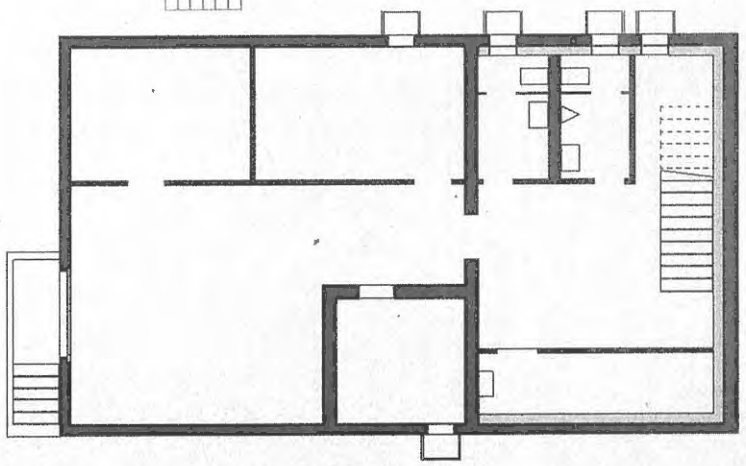
1 The corner-to-corner positioning also had the advantage of considerably reducing the minimum distances between buildings required by fire regulations. To compensate, a fire lobby was created within the school, between the stairway and the classrooms. In timber construction this could only be achieved by cladding the wall with veneered cement-bound particle boards.

2 This uncertainty in predicting the real stress ratios extends to the calculation of possible deformations. In fact, in the first three years following the completion of the building, fairly large creep deformations appeared in the lintels over the 5-metre-long windows and the oversailing parapet walls. Even though the window frames had been designed to move in relation to the carcass, the available tolerance was almost exhausted. It became necessary to reinforce the parapet walls. In addition, the lintels were lifted back up into their original position using hydraulic jacks. Subsequently, vertical holes were bored into the parapet walls, allowing them to be fixed to the building with threaded rods. This measure, though born out of necessity and taken rather reluctantly, proved to be both efficient and satisfactory. It was incorporated from the outset into the St Peter project to deal with the movement of the roof trusses.



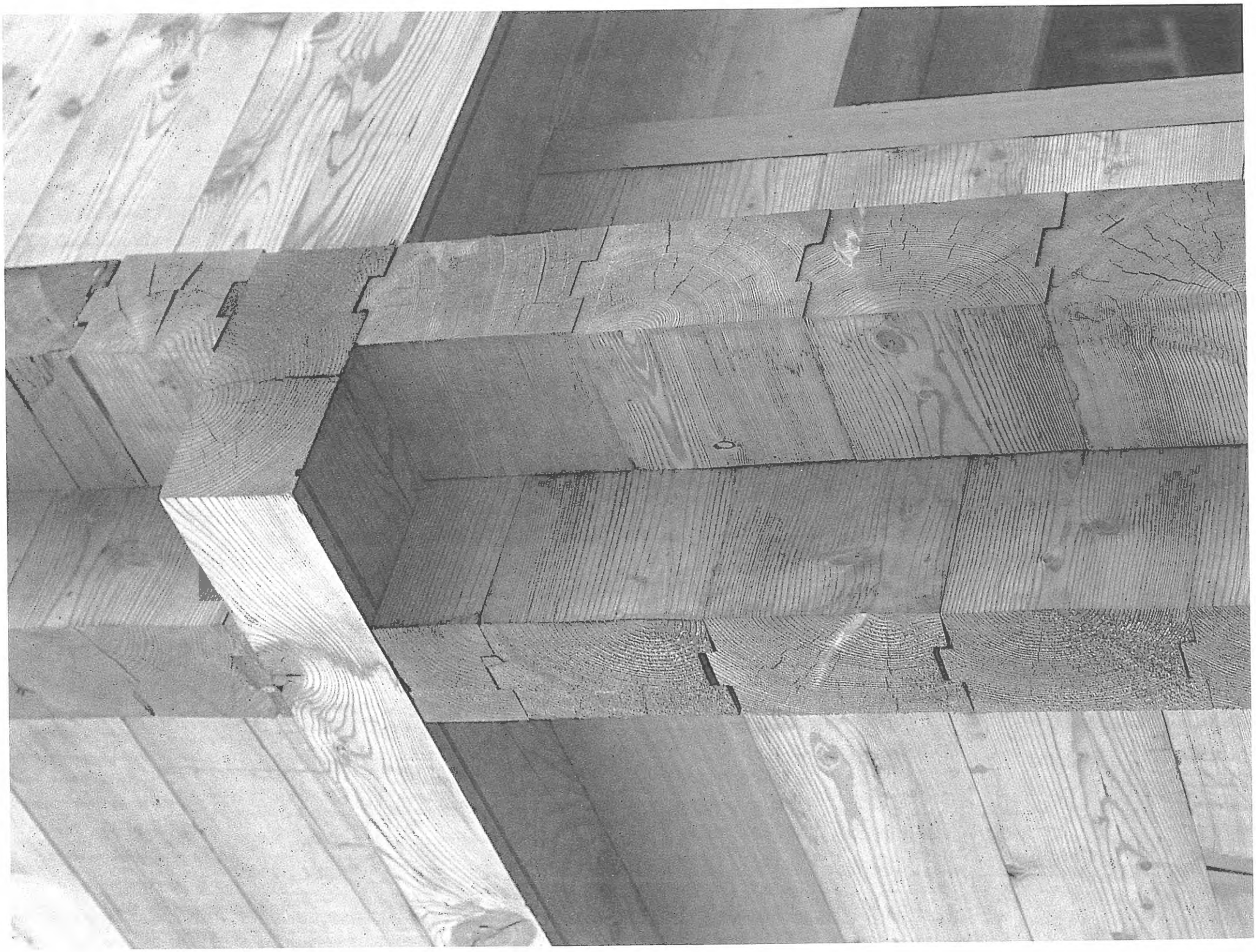




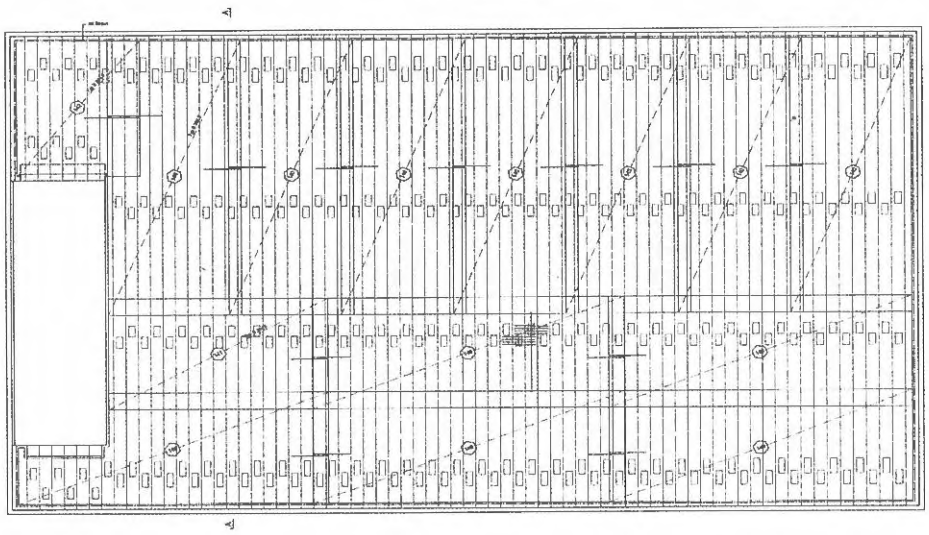


Right, from top:
Plans of top floor, first floor, ground floor and basement

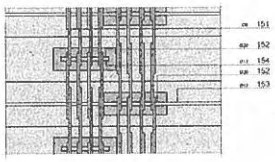
Facing page:
Detail of corner connection. Acting on the suggestion of the joiner, we used a simple tongue-and-groove connection as opposed to the more usual double-groove, because it reduced the deformation caused by the different rates of shrinkage internally and externally.



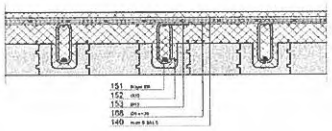
Grundriss Bewehrung 1:20



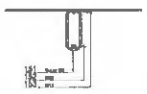
Grundriss Typ A1 und A2 1:5



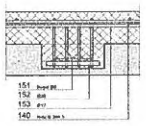
Lochquerschnitt Typ A1 1:5



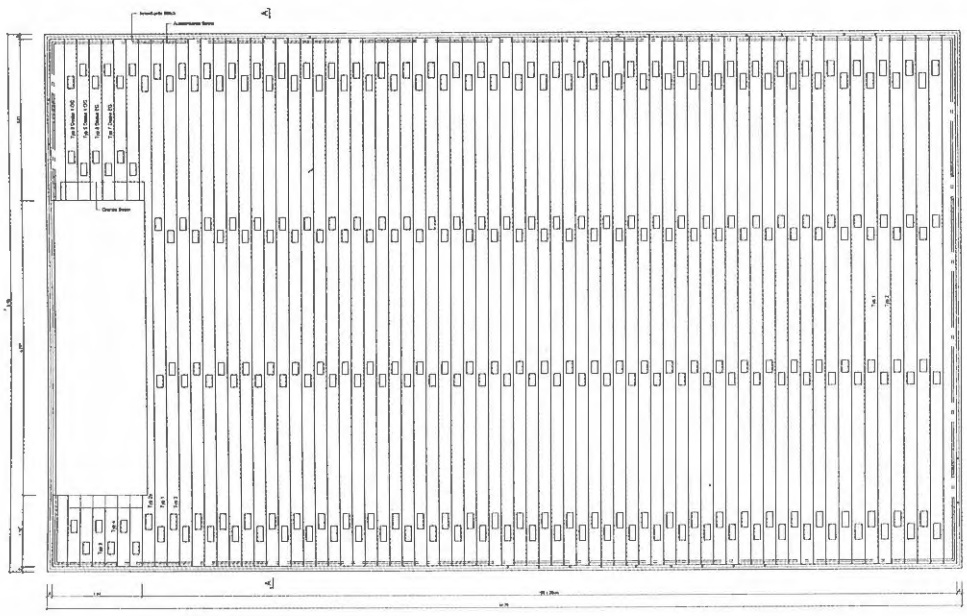
Bewehrungskorb 1:5



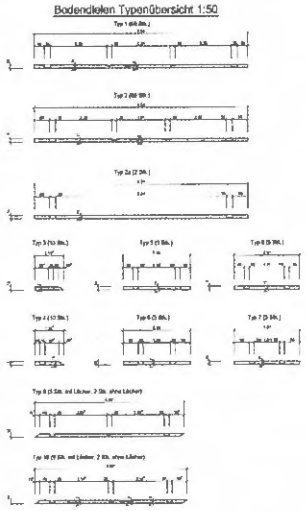
Lochlängsschnitt Typ A1 1:5



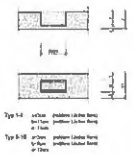
Grundriss Dielenlage 1:20



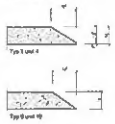
Bodendielen Typenübersicht 1:50



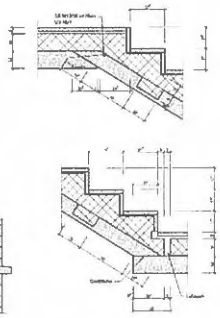
Detail 7 1:10



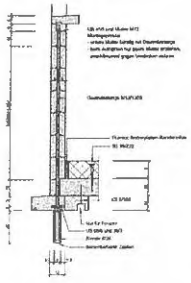
Detail 8 1:10



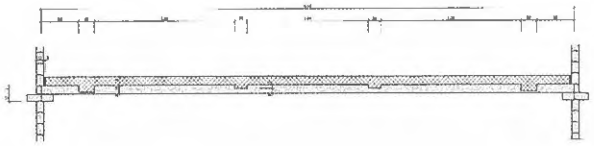
Detail 9 1:10

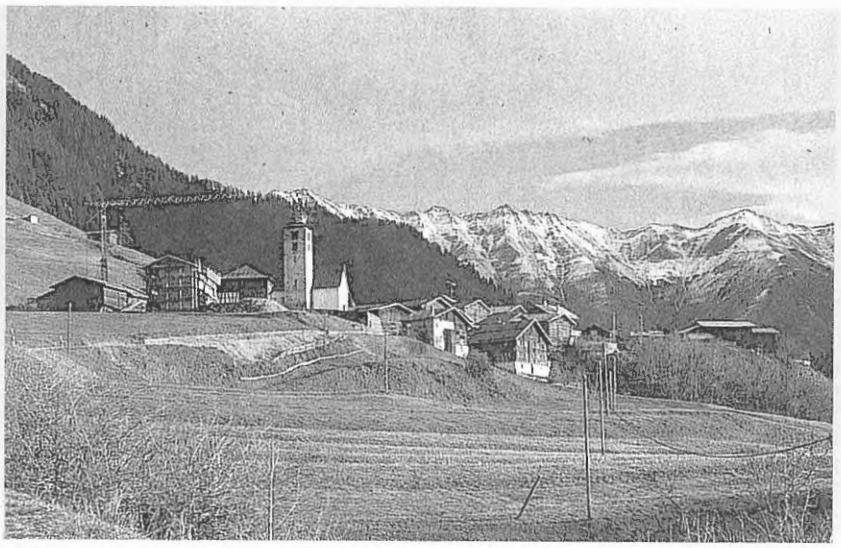


Detail 10 1:10



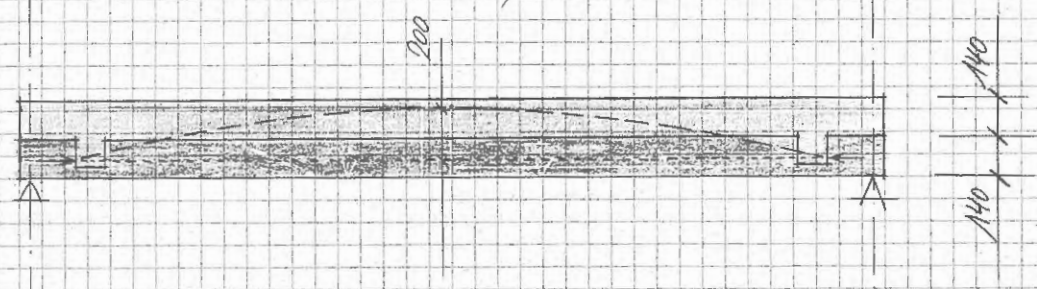
Schnitt A-A 1:20





Duvin: Verbunddecke

Schnitt überhöht 1:50 / 1:20

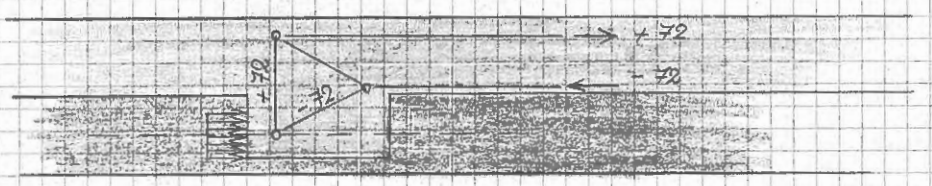


Last auf 20 cm-Diele: $q_d = 0{,}20 \cdot 10{,}5 = 2{,}10\ kN/m$

Zugkraft: $Z = \frac{qL^2}{8f} = \frac{2{,}10 \cdot (7{,}40)^2}{8 \cdot 0{,}200} = 71{,}9\ kN.$

Spannungsfeld oben: erf $t_c = \frac{71'900}{200 \cdot 16} \cdot 1{,}2 = 27\ mm.$

Kontaktpressung bei Nocken: $\sigma_d = \frac{71'900}{110 \cdot 80} = 8{,}2\ N/mm^2$ i.O.

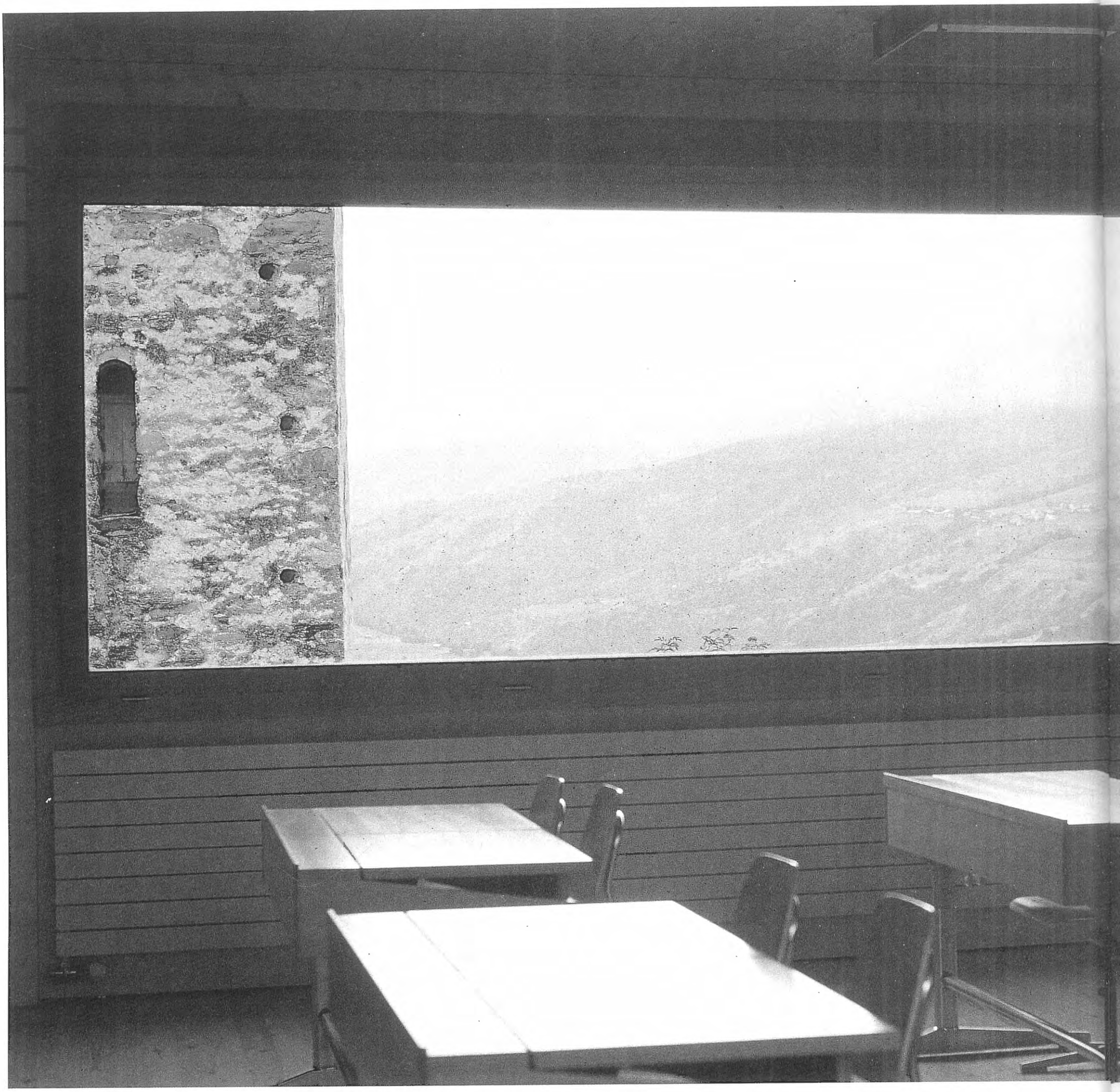


$\sigma_s = \frac{72'000}{4 \cdot 50{,}3} = 358\ N/mm^2 < 460/1{,}2 = 384\ N/mm^2$ i.O.

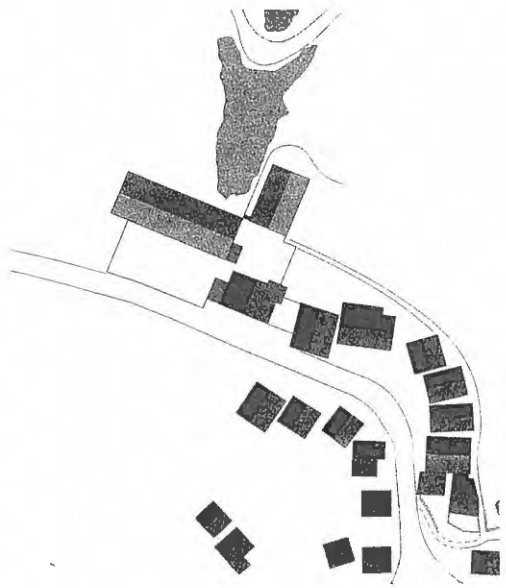
Facing page:
Reinforcement plan (above) and roof frames and joists with details of composite concrete–timber floor slabs. During the first four years the 'Strickbau' can shrink up to 50 mm per storey, as the timber slowly dries out and compression forces take their toll. If the stairs were fixed to the two floors above and below, they would become compressed by this shrinking and act like an inclined prop, with unpredictable consequences for the adjacent structural elements. To free the stairs from this action, they are moveable, able to slide horizontally on their lower support.

Left:
Static model and predimensioning of composite slabs. The definitive calculation of static forces was achieved using a computer program for slabs that took into account the two-dimensional structural action.

Top:
School under construction



School & Multipurpose Hall
St Peter
1998–99



The architect was clear from the outset that he wanted to carry the expressiveness of large-scale traditional 'Strickbau' construction into the interior of this project. The load-bearing walls were to be covered externally with a layer of thermal insulation and timber planks, but left unclad inside. This ruled out the use of interpenetrating walls to stiffen either the classrooms, with their large windows, or the 12 x 24 metre multipurpose hall. A further difficulty was the long-term settling of the timber structure, which can be up to several centimetres per floor. If substantial vertical posts are used for stiffening they support the naturally settling side walls, so they cannot simultaneously take up roof or floor loads. The posts therefore contain dovetailed grooves into which a series of guiding boards were inserted during assembly. The posts inside the wall also provide fastening points for windows and external cladding, so allowance has to be made for movement in all internal sills and lintels. For this reason, the internal window linings are restrained by substantial grooves: the ones below the windows were initially completely closed during assembly, while the ones above were left as wide open as possible. Now that the timber walls have begun to settle, the windows in the interior are visibly moving upwards – a constant barometer of the anticipated settlement over time.
Preliminary investigations indicated that construction costs would fall within the average for the region. This pleasing discovery spurred the architect and engineer to look for further ways to exploit the potential of 'Strickbau' construction. Hence the ceilings, too, are modified plank structures with alternating high and low beams, of which only every second one is load-bearing. This represents a substantial saving of timber compared to an equally distributed, fully supported plank structure. The roof of the hall is structured in a similar manner – the high cross sections span continuously over the roof trusses and support closely spaced offset purlins.

Architect:
Conradin Clavuot, Chur
Collaborator: Josef Dora

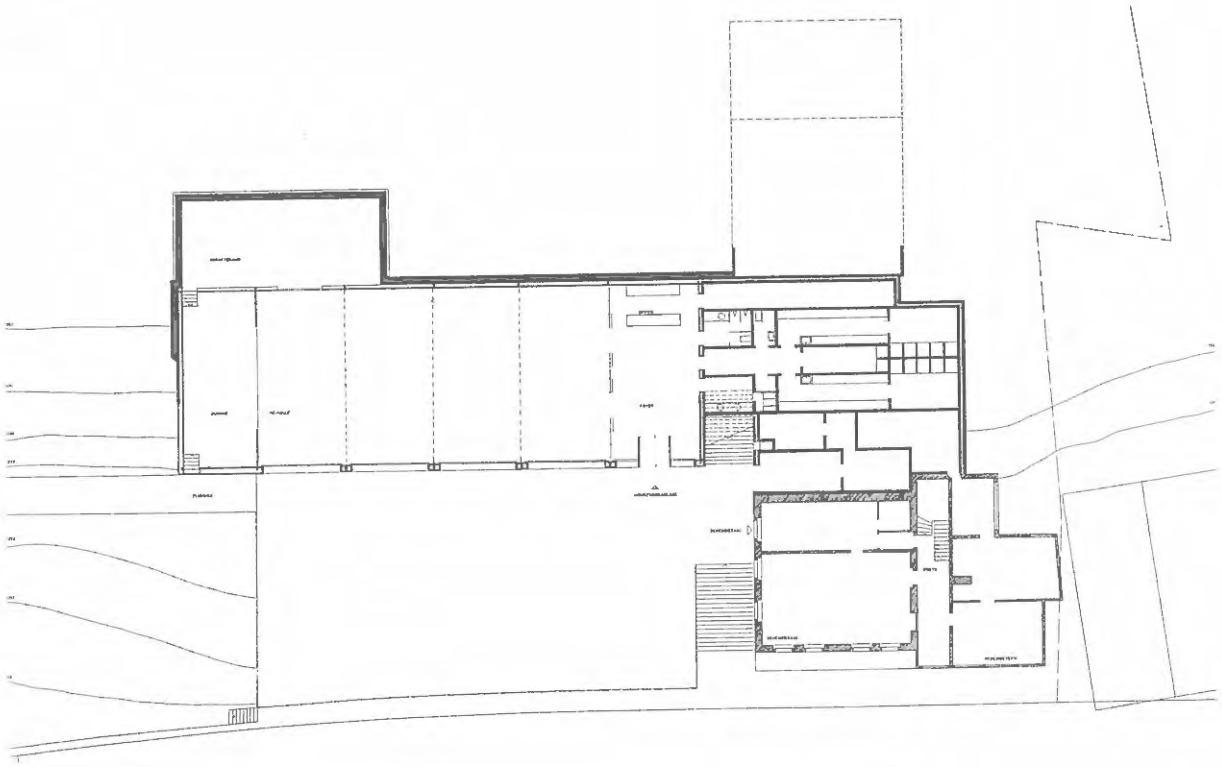
Left:
View from east showing the school with the multipurpose hall behind it

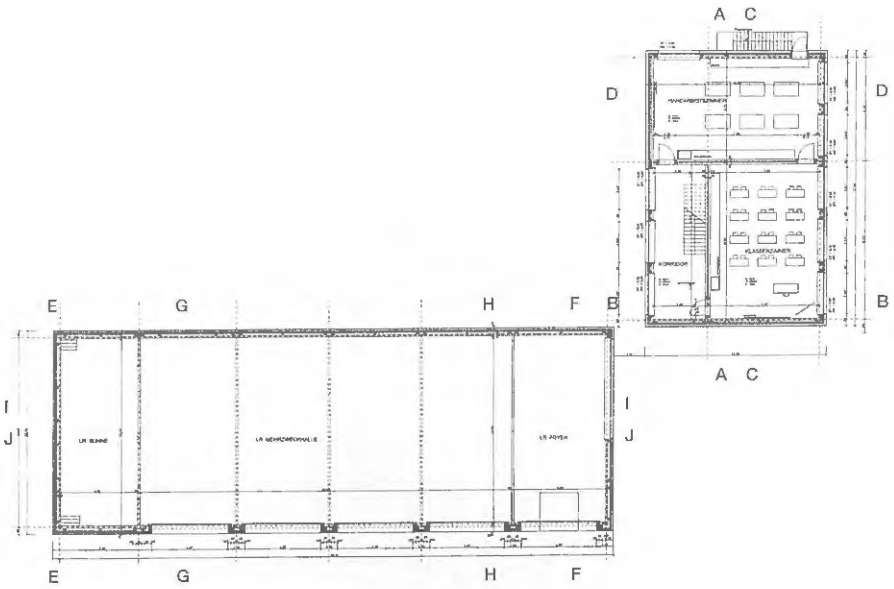
Right:
Site plan

Below:
Ground-floor and first-floor plans of school and multipurpose hall

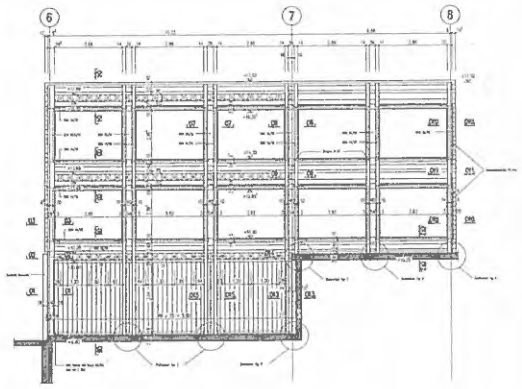
Right, from top:
East, south, west and north sections of school house. In sections A-A and B-B the rotated direction of the Strickbau in the basement level is clearly visible.

Facing page:
Sections of multipurpose hall

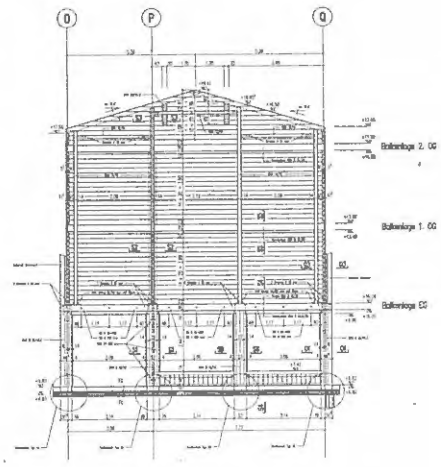




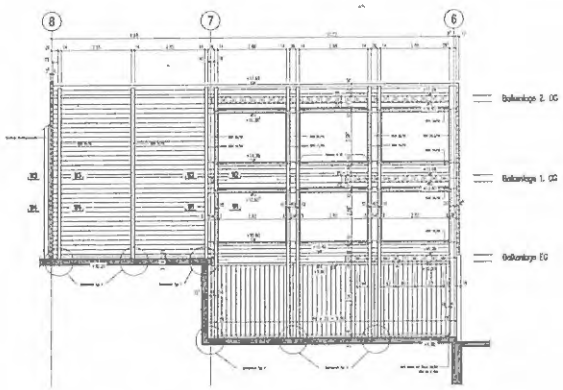
A-A



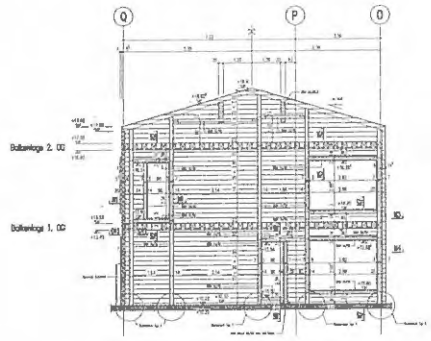
B-B



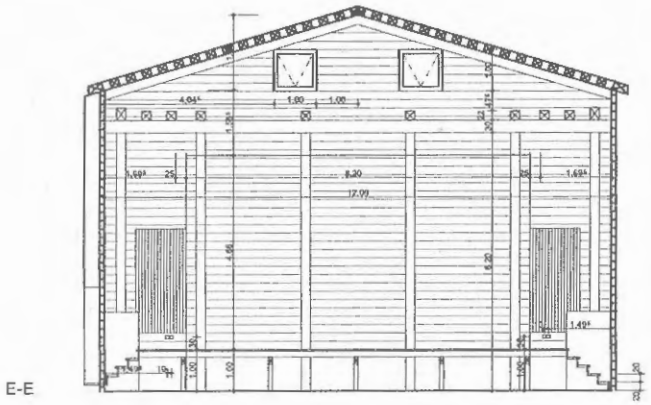
C-C



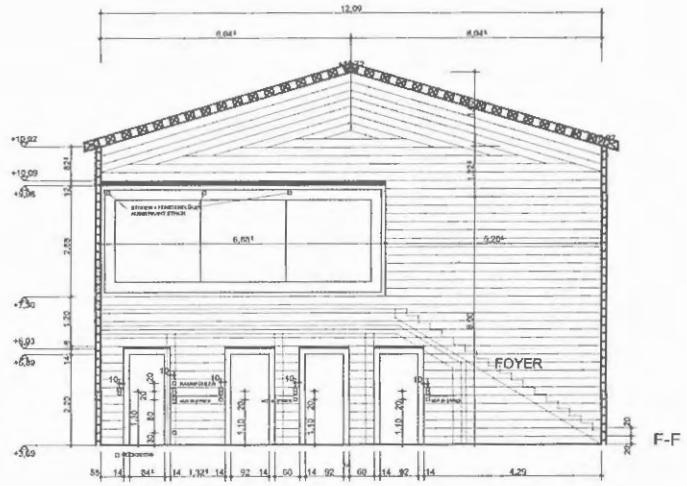
D-D



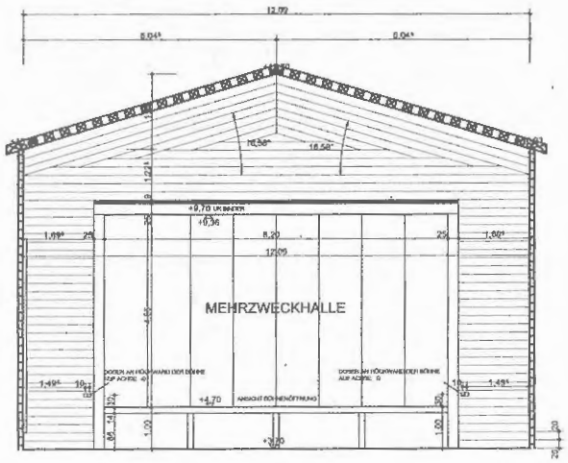
School & Multipurpose Hall
St Peter
1998–99



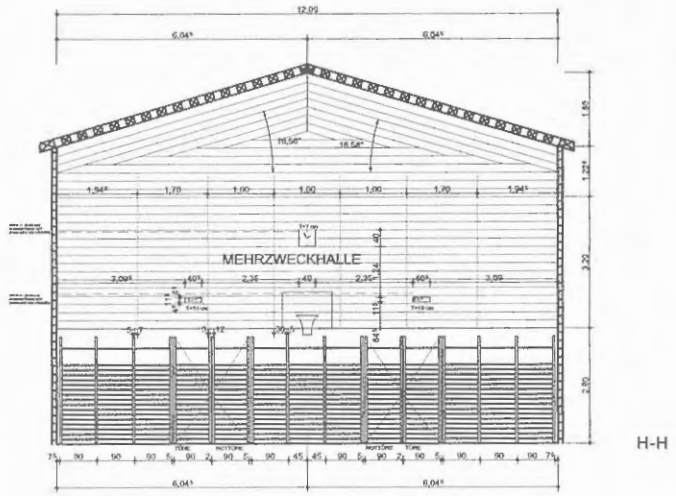
ANSICHT BÜHNE WEST



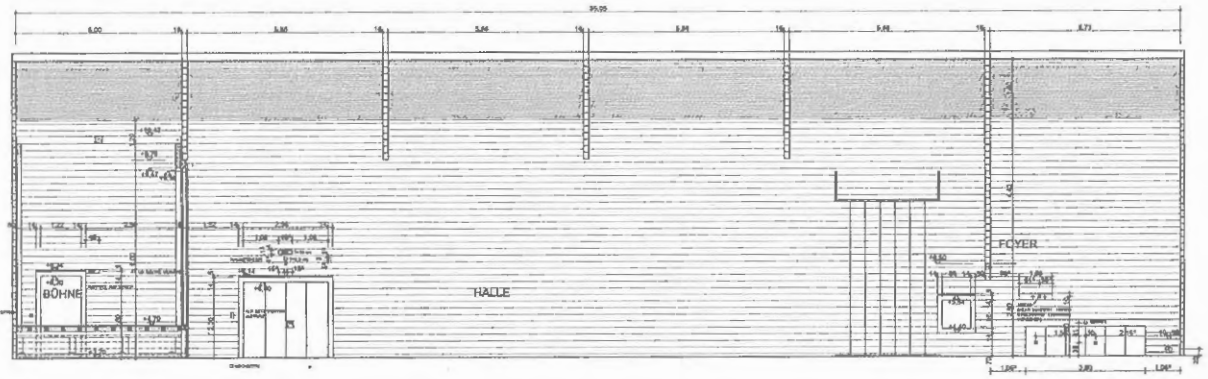
ANSICHT OST



ANSICHT WEST MZH

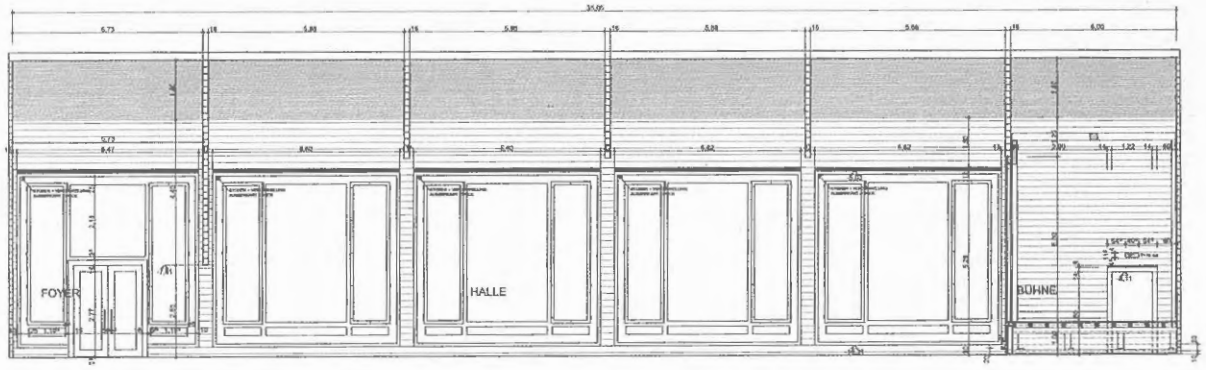


ANSICHT OST MZH



ANSICHT NORD

I-I



J-J ANSICHT SÜD

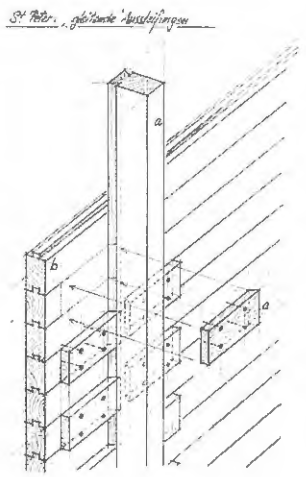
The main beams spanning the multipurpose hall are pentagonal slabs of wood. The upper timbers follow the slope of the roof and act as a system of compression members. The lower timbers are horizontal. At their ends, over the supports, all timbers are secured by steel plates, which work symmetrically through milled steel-rod connections. The triangular central section of the beam is filled with shorter timbers whose ends fit into each other in a simple herringbone pattern.

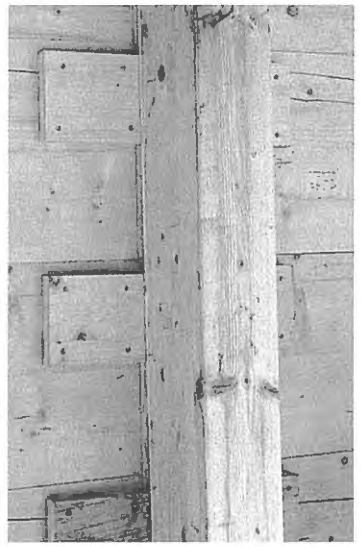
The overall position of the timbers is fixed by concealed threaded rods – a lesson we learned from building the school in Duvin. The role of the lower horizontal timbers in the overall structure once again reflects the advantages of post-stressing: conventional triangular wooden beams would have required a lateral tension connection, which would have been difficult and expensive to manufacture. On the other hand, a simpler frame with a steel tension rod would have resulted in an overly flexible structure. In the actual structure, by tightening tension rods that artificially apply compression to the timber via anchor plates, the timber becomes post-tensioned. When the beam carries live load, the timber experiences a net loss of compression and it is this that carries the applied bending moment. The massive cross section of the lower timbers contributes much more to the stiffness of the beam than does the small cross section of the rods.

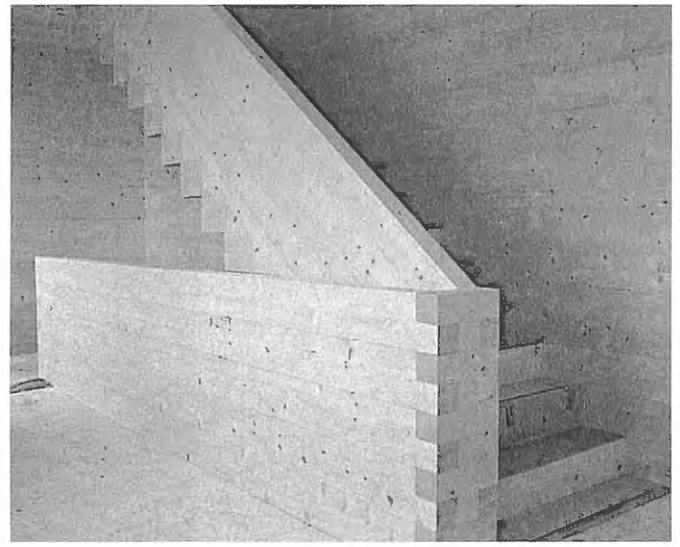
As the school is on a slope, the side facing the valley has an additional basement level. In a standard log construction, this arrangement would soon have given rise to torque and racking. To avoid this, the structure was rotated by 90 degrees in the basement level, producing a vertical plank arrangement that does not settle. The school complex at St Peter demonstrates how the structural potential of 'Strickbau' construction can be extended. The inevitable cross grain movement is revealed through imaginative details in the building.

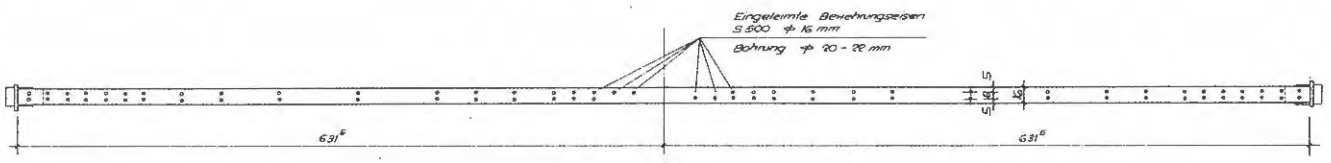
Top left and centre:
Principle of 'sliding' reinforcement. The assembly of a wall starts by fixing the post (a). Next comes the 'Strick' (knit) connection: the beams (b) are connected to the post (a) by conical pieces (c) which fit into the dovetail grooves of (a). The conical pieces (c) can be screwed to (b) at any time. Vertical loads are only supported by the 'Strick' wall. The posts prevent the wall from buckling out of their plane but do not take any vertical load themselves. Vertical movements between wall and posts are possible.

Top right:
Staircase during construction

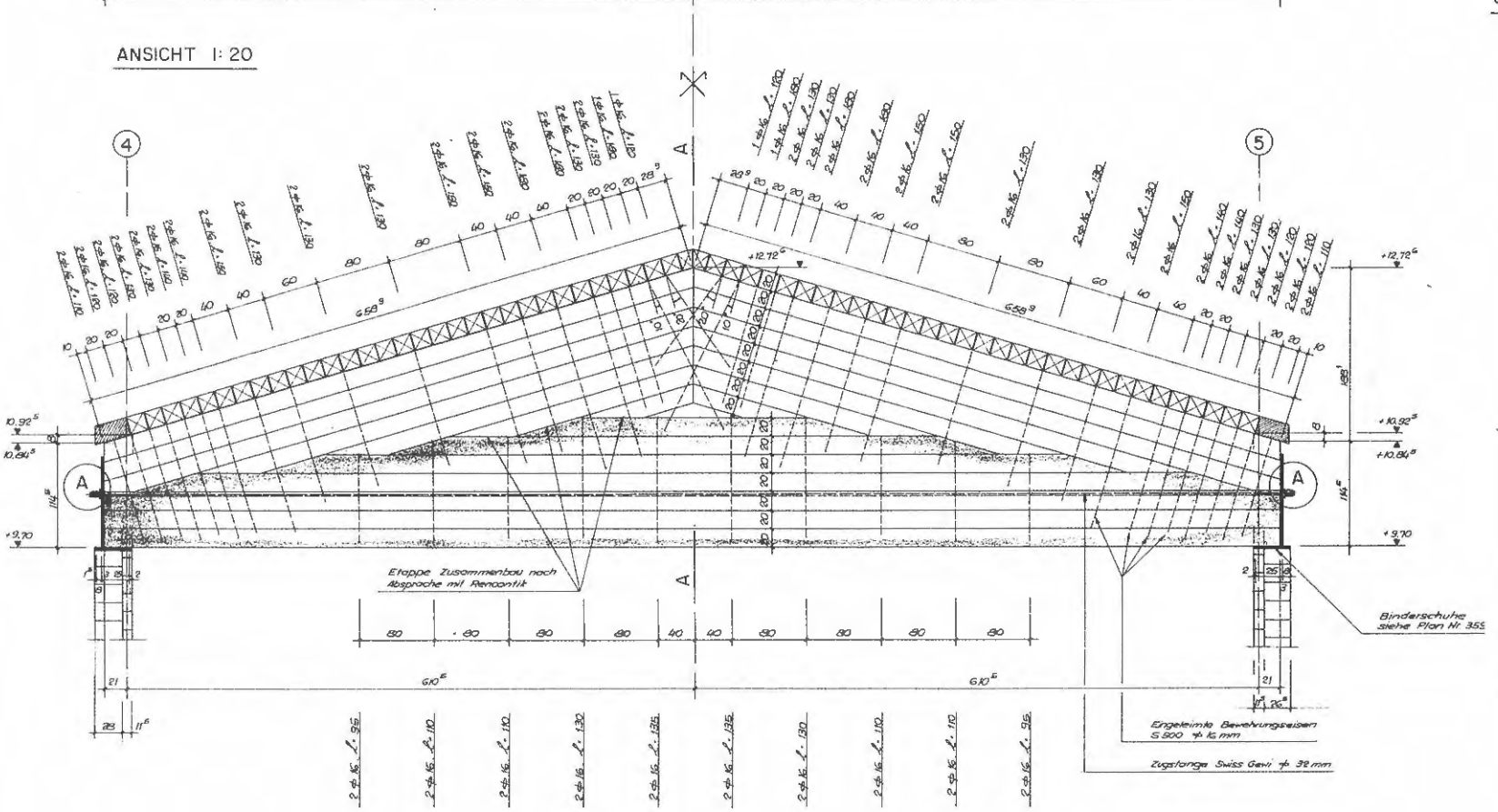




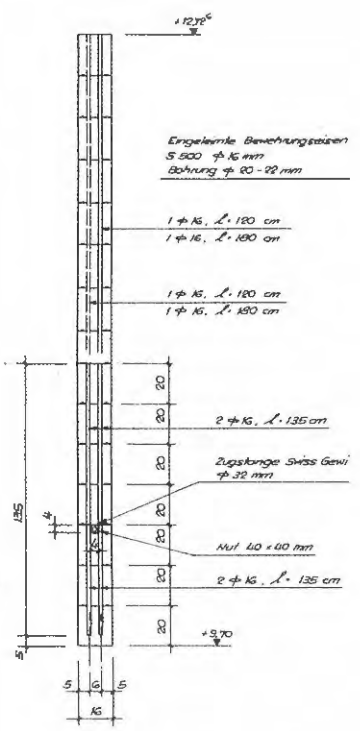




ANSICHT 1:20



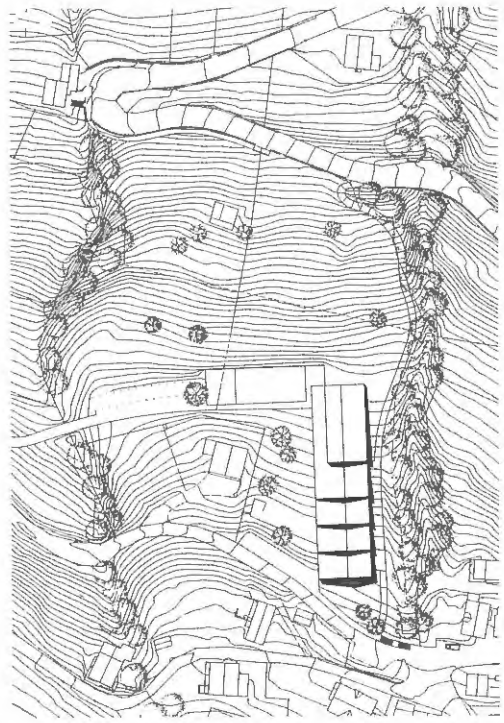
SCHNITT A–A, 1:10



Facing page:
View of roof frames in multipurpose hall. After four years the 'pigtail' connections stand out clearly.

This page:
Construction drawing for roof frames. The horizontal tendons for post-tensioning are visible in the lower part of the beam.

School Mastrils 1993–94



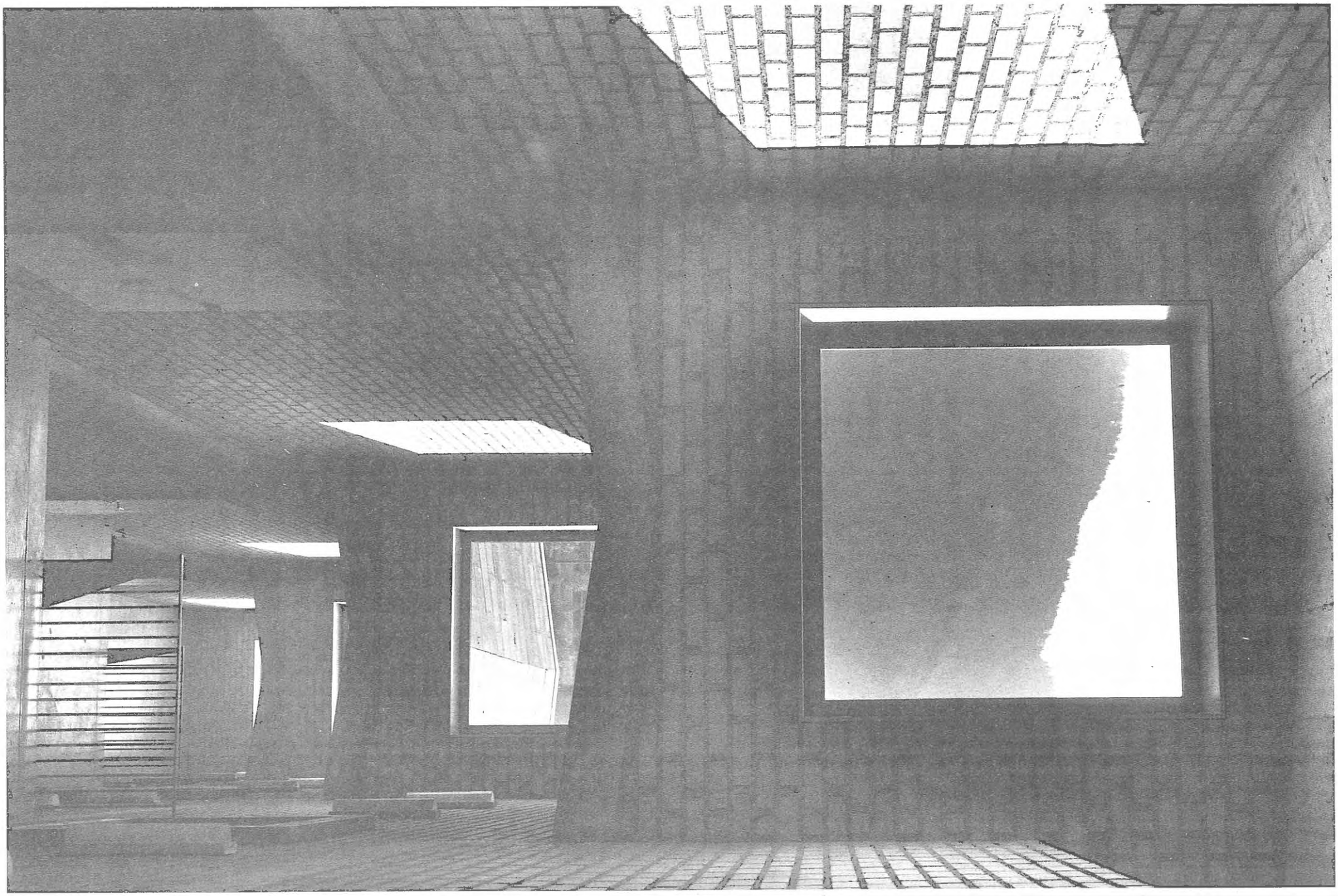
The school steps down a hillside, with the floor on one level extending visually to become the roof of the next. It seemed natural, therefore, to make both these elements out of the same material – concrete slabs, inclined at a slight angle. The school hall has an asymmetrical saddle roof that corresponds to the common ridge line for the complex. The asymmetry enhances the natural lighting inside, causing south light to be reflected against the longer roof slab on the north side, but it ruled out a conventional roof structure with underlying tie-rods. Here, despite the shallow incline, a post-tensioned folded-plate system provided a remarkably efficient and economical load-bearing structure.

The ridge only needs to be 200 mm thick. Either side of it, each half of the roof contains parabolic tension cables. Under stress, these produce stabilizing forces that are directed diagonally upward towards the ridge, preventing outward horizontal movement of the two plates. The stabilizing forces can be applied before the concrete is distorted (during post-stressing the roof actually rises a centimetre). This avoids cracking and removes the risk of long-term subsidence due to creep deformations – a particularly important consideration for such a shallow folded-plate structure. There are precedents for the principle of the stiffened sloping plate in the later churches of Grubenmann, for example the chapel at Ebnat (1762) or the gallery in the church at Wädenswil (1764–67). The Traversina Footbridge can also be thought of in these terms, if one imagines the complete girder as a pair of trusses pushing against one another at the ridge.

Architects:
Jüngling & Hagmann, Chur
Collaborator: Plácido Pérez

Left:
South facade. The surfaces are made of a specially prepared fine-grained porous concrete mix, held in place by reinforced in-situ concrete ledges.

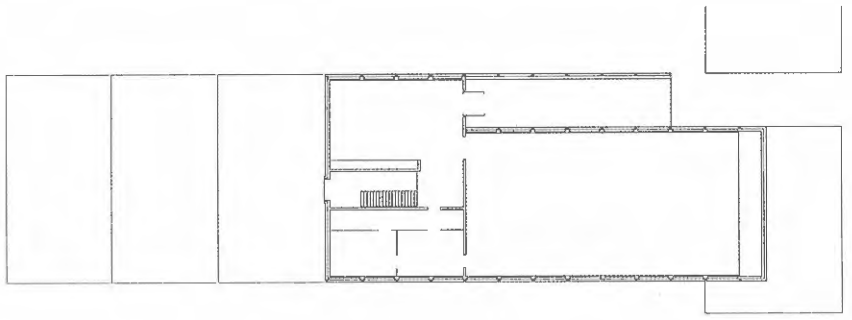
Right:
Site plan

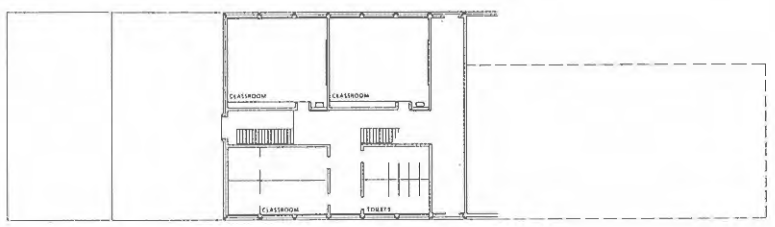


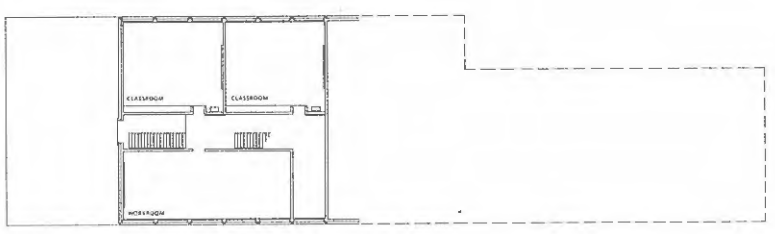
Facing page:
Each floor of the staircase offers views out over the valley.

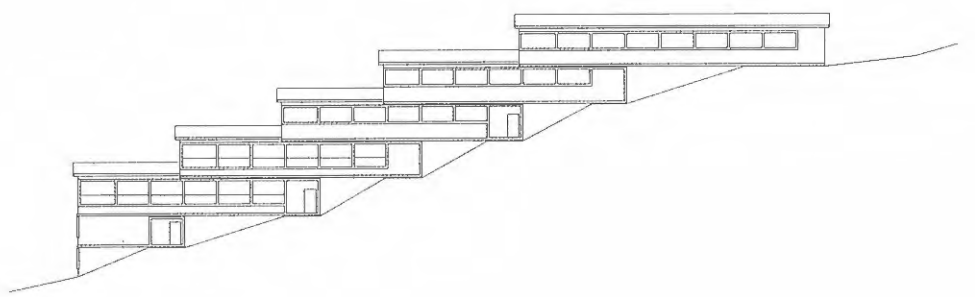
Below:
Floor plans from the top of the building to the bottom

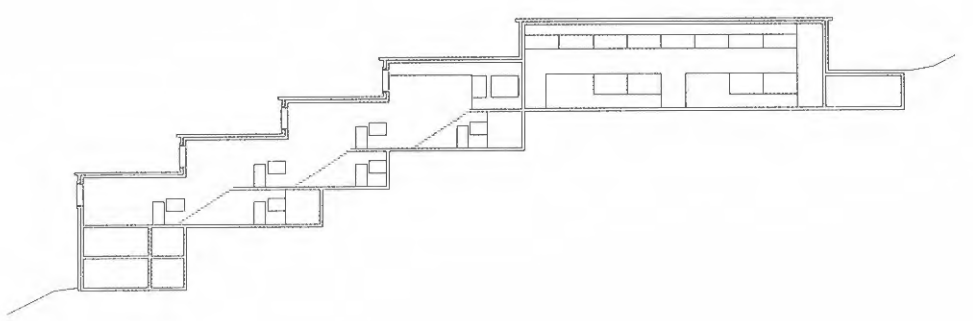
Right, from top:
North facade
Longitudinal section

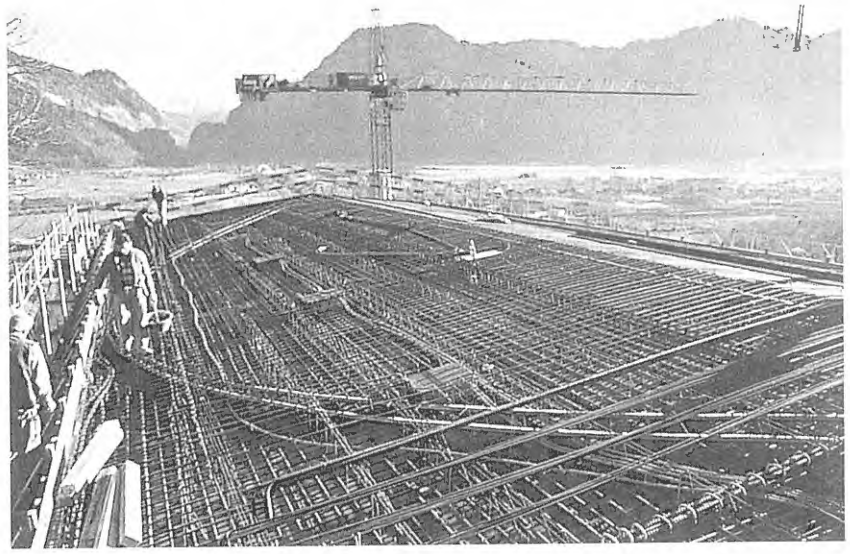








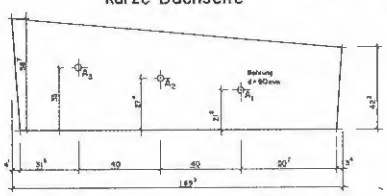




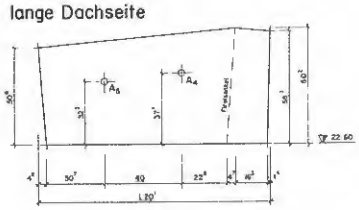
Abschalflächen bei beweglichen Ankern 1:10

in wahrer Grösse

kurze Dachseite

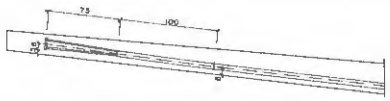


lange Dachseite



fester Anker 1:20

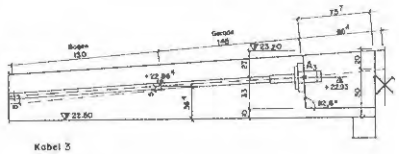
(Schnitt parallel zur Kabelachse)



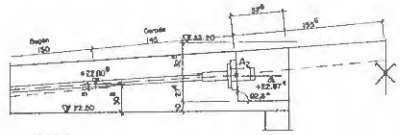
bewegliche Anker 1:20

(Schnitt parallel zur Kabelachse)

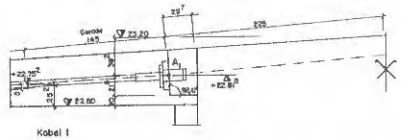
— — — UK Decke in der Halle



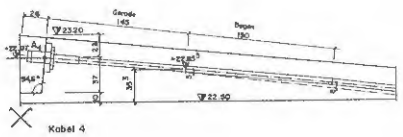
Kabel 3



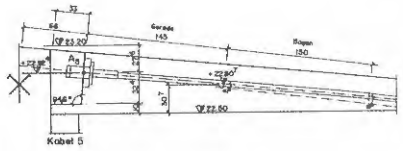
Kabel 2



Kabel 1



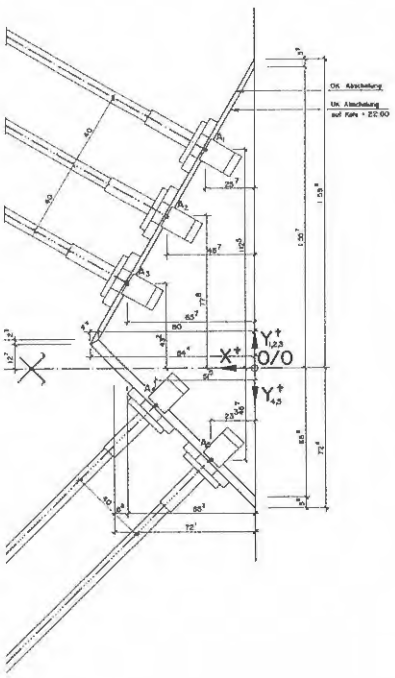
Kabel 4



Kabel 5

Bewegliche Anker 1:10

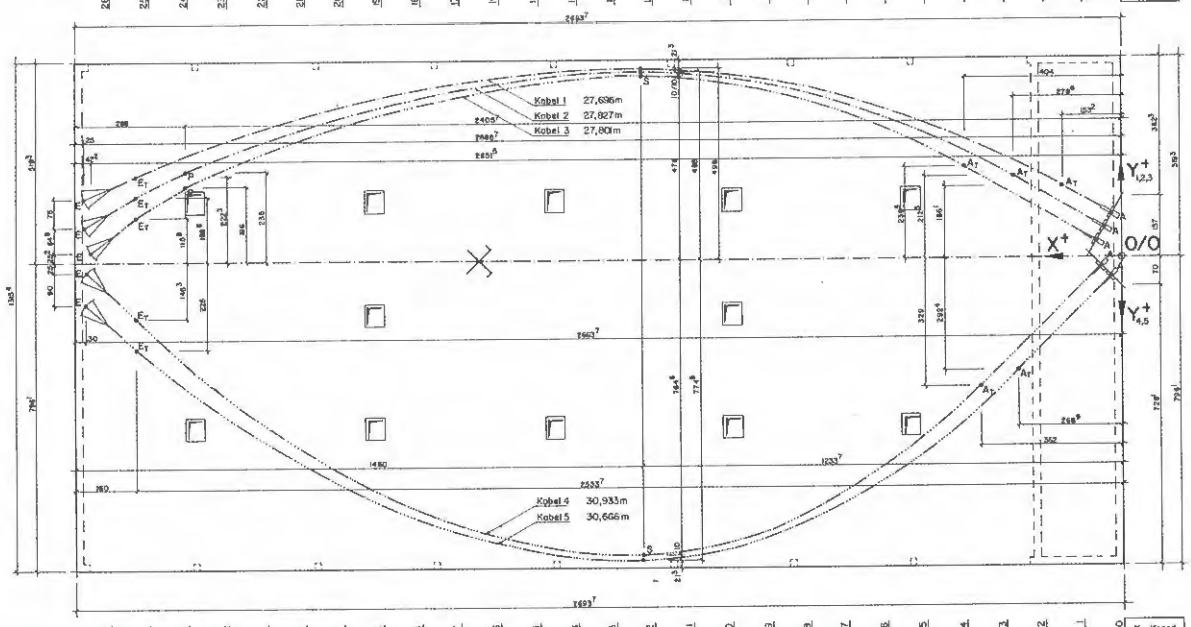
Masse horizontal



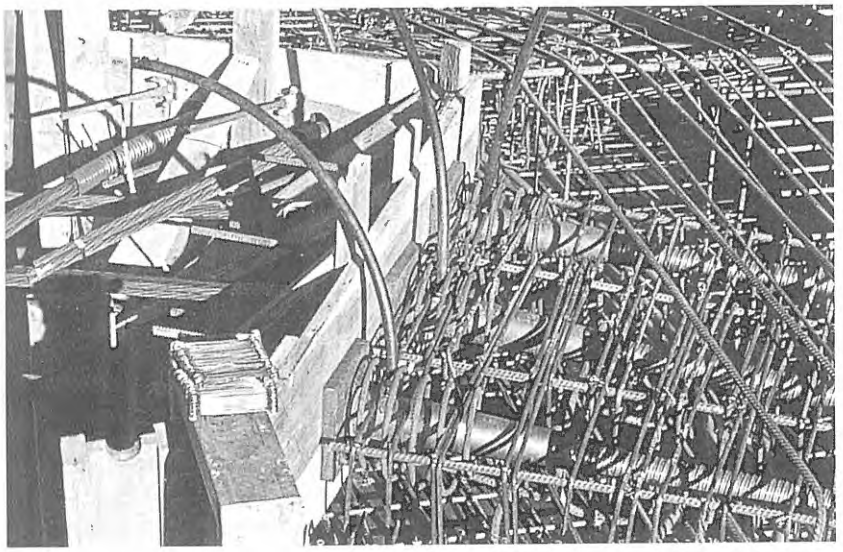
Kabellage in schräger Projektion 1:50

(Masse UK Decke in wahrer Grösse)

	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Y - Koord.																											
Kabel 1	1.941	2.364	2.761	3.125	3.457	3.756	4.022	4.256	4.457	4.625	4.761	4.864	4.935	4.973	4.977	4.932	4.834	4.683	4.479	4.219	3.907	3.542	3.123	2.651	2.125	1.554	
Kabel 2	1.305	1.688	2.375	2.786	3.150	3.498	3.798	4.062	4.289	4.480	4.633	4.749	4.829	4.872	4.877	4.826	4.715	4.543	4.312	4.019	3.666	3.253	2.779	2.245	1.669	1.092	
Kabel 3	0.649	1.406	1.987	2.446	2.863	3.239	3.574	3.869	4.122	4.334	4.505	4.634	4.723	4.771	4.776	4.718	4.590	4.393	4.126	3.789	3.363	2.907	2.362	1.785	1.207	0.630	
X - Koord																											

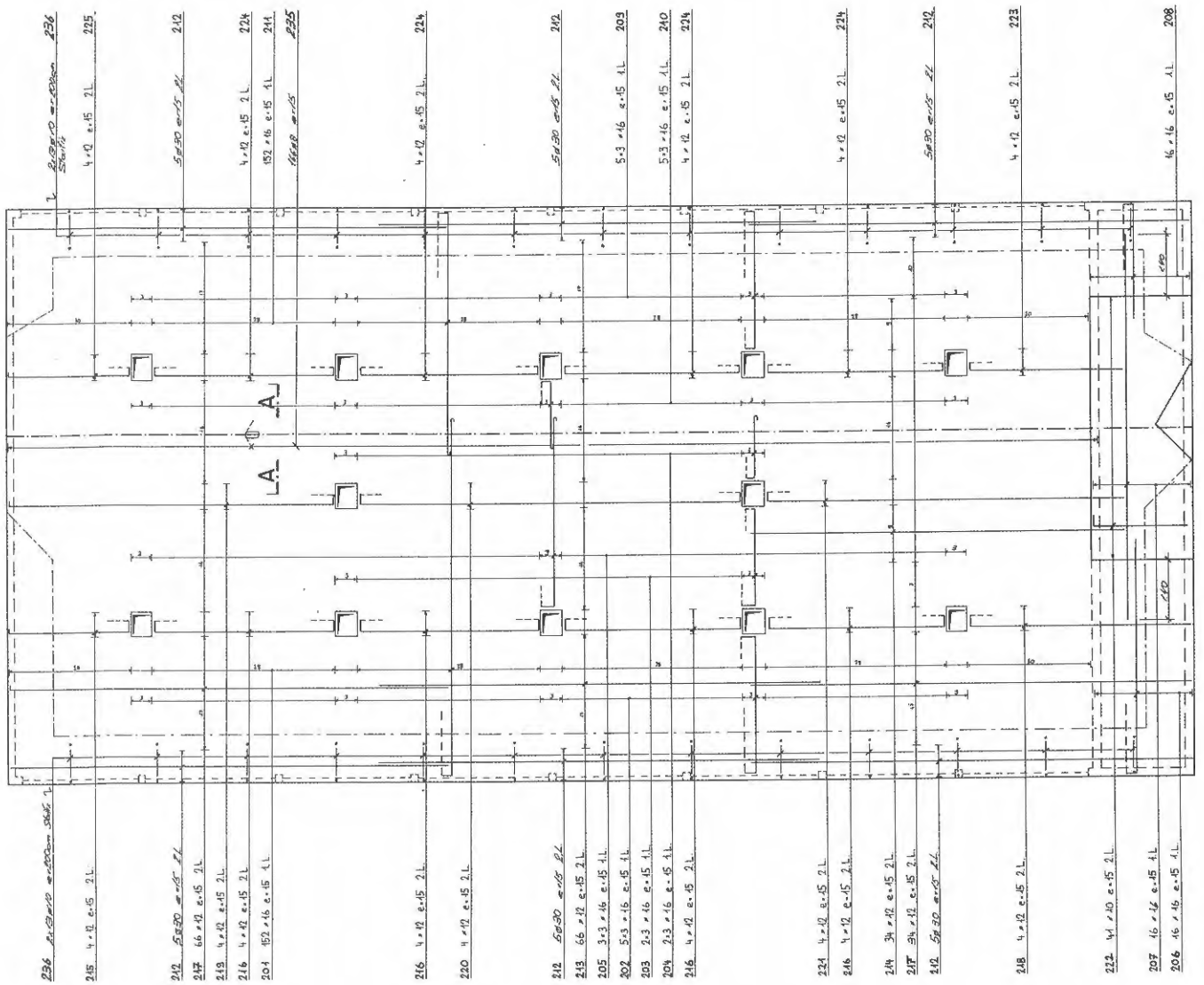


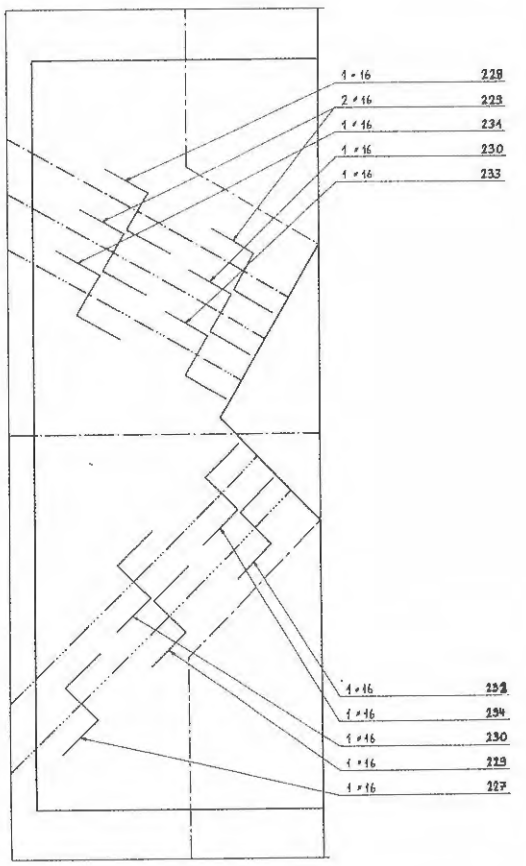
	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
X - Koord.																											
Y - Koord.																											
Kabel 4	0.854	1.799	2.685	3.500	4.242	4.910	5.506	6.029	6.476	6.853	7.159	7.389	7.547	7.632	7.642	7.546	7.335	7.009	6.569	6.014	5.345	4.560	3.661	2.669	1.669	0.659	
Kabel 5	1.689	2.531	3.323	4.049	4.710	5.306	5.838	6.304	6.705	7.041	7.312	7.517	7.658	7.734	7.742	7.655	7.465	7.171	6.773	6.272	5.667	4.958	4.146	3.230	2.235	1.235	



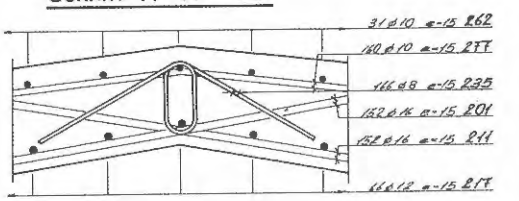
Facing page, from top:
Installation of reinforcement and tension cables in the north roof plate
Cable plan

This page, from top:
Detail of tensioning anchor before pouring of concrete
Reinforcement plan (the north direction runs underneath)





Schnitt A – A 1:5

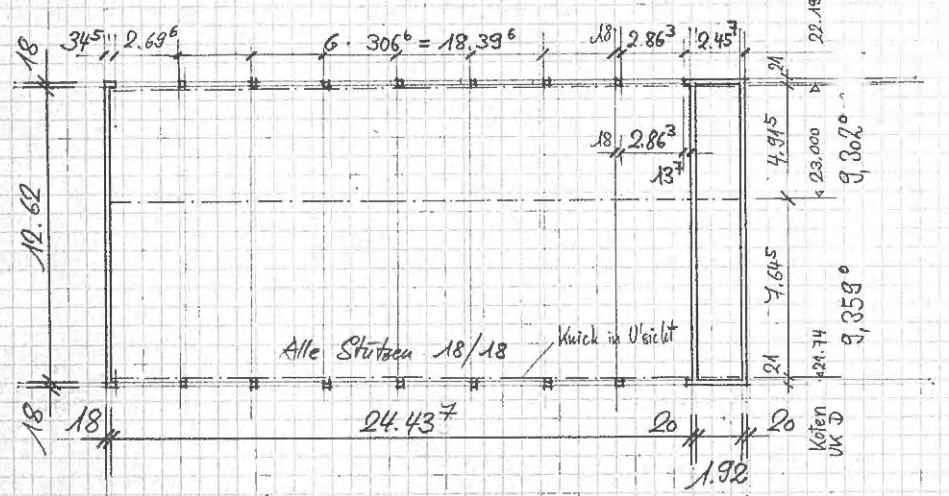


Static calculations for the roof of the multipurpose hall. A parallel computer calculation produced more favourable results, taking into account the additional factors suggested – but not yet incorporated – here.

1. Dach

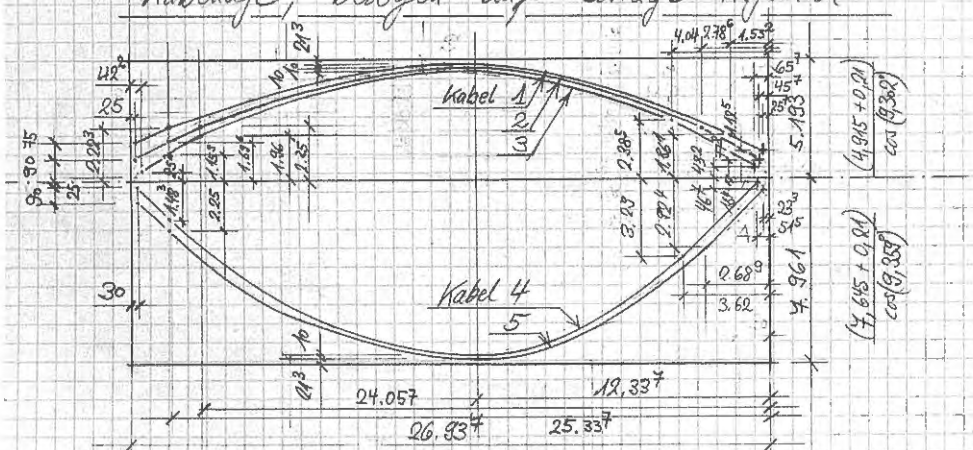
TH 2

1.1. System:



Horizontalprojektion 1:200.

Kabellage, bezogen auf schräge Projektion:



Detail bei Stützenkopf:

1.2. Belastungen

Lastfall 1): Eigenlast mit $\rho = 25\ kN/m^3$.

Lastfall 2): Ausbaulast:

Betonplatten auf Dach	$0{,}04 \cdot 25 = 1{,}00$
Schutzvlies	$0{,}01 \cdot 1 = 0{,}01$
Abdichtung GV3/EP4	$0{,}01 \cdot 20 = 0{,}20$
Dämmung Foamglass	$0{,}12 \cdot 1{,}5 = 0{,}18$
	$g_2 = 1{,}39\ kN/m^2$

Lastfall 3): Schnee (Dachformbeiwert 0,8) $q_3 = 2{,}83\ kN/m^2$

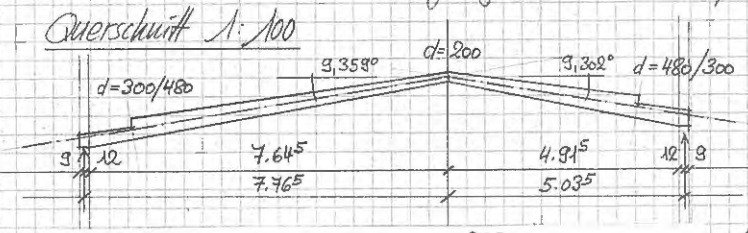
Lastfall 4): Nutzlast: Deckengeräte, Licht usw. $q_4 = 0{,}50\ kN/m^2$

Lastfall 5): Vorspannung

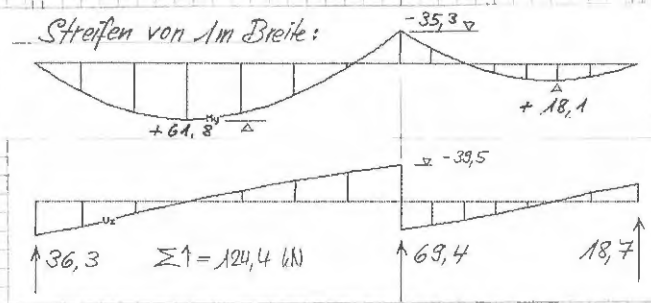
1.3. Berechnung in Querrichtung

Modell: der First wird zunächst als starr angenommen. Dies stimmt nur, solange die Vorspannung ungefähr formtreu wirkt. Die Variation mit elastisch gelagertem First wird später untersucht.

Querschnitt 1:100



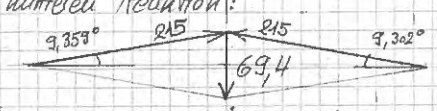
Streifen von 1m Breite:



M_{ser} Lastfälle 1+2 [kNm]

V_{ser} [kN]

Zerlegen der mittleren Reaktion:



Pro Scheibe führt dies zu einem Moment von $M^{Sch}_{1+2} = 215 \cdot \frac{24{,}627^2}{8} = 16'300\ kNm$

Beide Dachscheiben erhalten eine ständige Last von $215\ \frac{kN}{m}$ in ihrer Ebene.

1.4. Vorspannung

approximative Kabellängen $L = L_h\left(1+\frac{8}{3}\frac{f^2}{l_h^2}\right)$:

Kabelgruppe 1–3: $L \approx 26.25\left(1+\frac{8}{3}\cdot\frac{4{,}04^2}{26{,}25^2}\right) = 27{,}90$ m

Kabelgruppe 4,5: $L \approx 26.25\left(1+\frac{8}{3}\cdot\frac{7{,}18^2}{26{,}25^2}\right) = 31{,}50$ m

Berechnung der Spannkraftverluste über die halbe Kabellänge:

$\mu = 0{,}18$; $\Delta\alpha = 0{,}008/m$; $\gamma_A = 1{,}07$. Die Kabel werden einseitig, über der Bütme, mit 107% P_0 vorgespannt.

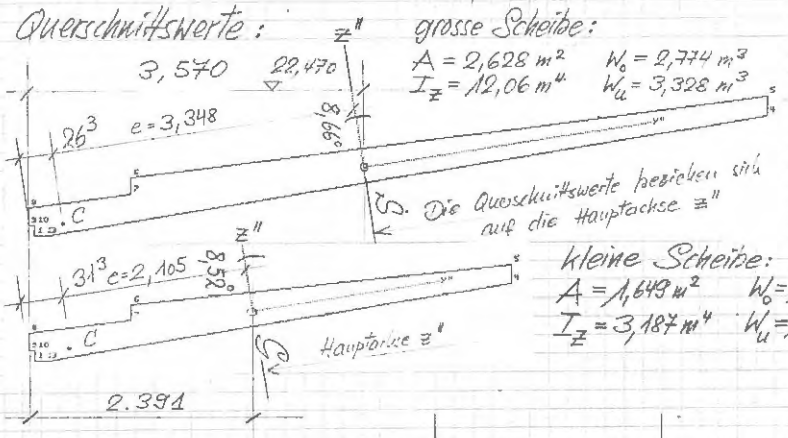
Kabelgruppe	1–3	4,5	
pro Kabel 7 DYL 150: $P_0 = 1301$ kN: eff. P_0	3903	2602	kN
im Moment des Überspannens $1{,}07 P_0$	4176	2784	kN
Vorspannkraft bei halber Kabellänge:			
Umlenkwinkel (gemittelt aus Systemskizze)	0,49	0,79	rad
ungewollte Umlenkwinkel $\Delta\alpha\cdot\frac{L}{2}$	0,11	0,13	rad
Summe Umlenkwinkel	0,60	0,92	rad
Vorspannkraft: $P_x = 1{,}07 P_0 \cdot e^{-\mu\Sigma\alpha}$	3748	2359	kN

Querschnittswerte:

grosse Scheibe:

$A = 2{,}628\ m^2$ $W_o = 2{,}774\ m^3$

$I_z = 12{,}06\ m^4$ $W_u = 3{,}328\ m^3$



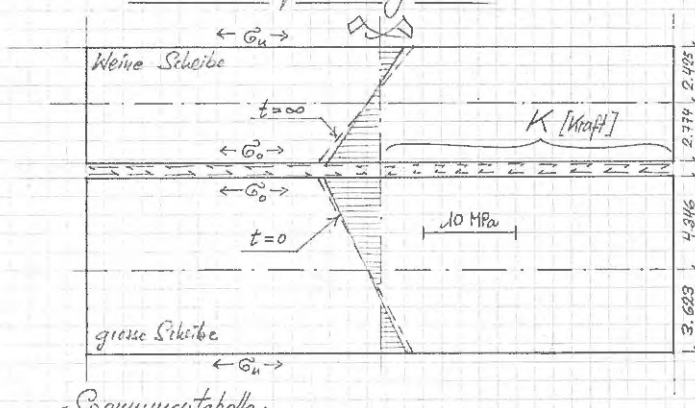
kleine Scheibe:

$A = 1{,}649\ m^2$ $W_o = 1{,}149\ m^3$

$I_z = 3{,}187\ m^4$ $W_u = 1{,}314\ m^3$

Momente aus Vorspannung:	grosse Scheibe:	kleine Scheibe:
$M_{t=0} = -P_{x,t=0}\cdot e = 2359\cdot 3{,}348 \;\; 3748\cdot 2{,}105$	−7'898	−7'889
$M_{t=\infty} \cong 0{,}85\cdot M_{t=0}$	−6'713	−6'706

1.5. Scheibenspannungen



Das Dach wird als einfach statisch unbestimmtes Faltwerk gerechnet. Die überzählige Grösse K produziert folgende Schnittkräfte: (Mittelschnitt)

kleine Scheibe:
$M = -2.774\,K$; $N = +K$

grosse Scheibe:
$M = +4.346\,K$; $N = -K$

Spannungstabelle:

	M^{Sch}_{1+2}	Vorspannung t=0 $M_{t=0}$	$N_{t=0}$	Σ_R	σ^0_{res} t=0	K=1 MN M_K	N_K	Σ_K	σ t=0	σ^0_{res} t=∞	σ t=∞	
kleine Scheibe												
σ_u	+12,40	−6,00	−2,27	−8,27	+4,13	−2,11	+0,61	−1,50	+2,42	+5,37	+3,54	[MPa]
σ_o	−14,19	+6,97	−2,27	+4,60	−9,59	+2,41	+0,61	+3,02	−6,15	−10,28	−6,60	"
grosse Scheibe												
σ_o	−5,88	+2,85	−0,90	+1,95	−3,93	−1,57	−0,38	−1,95	−6,15	−4,22	−6,60	"
σ_u	+4,90	−2,37	−0,90	−3,27	+1,63	+1,31	−0,38	+0,93	+2,69	+2,12	+3,25	"
					am Grundsystem				Gesamtsystem	Grundsystem	Gesamtsystem	

Verträglichkeit bei t=0 für σ_o: $-9{,}59 + 3{,}02K = -3{,}93 - 1{,}95K \Rightarrow K_o = 1{,}139$ MN

" " " " t=∞ " " : $-10{,}28 + 3{,}02K = -4{,}22 - 1{,}95K \Rightarrow K_\infty = 1{,}219$ MN

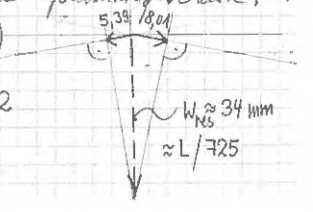
In dieser Berechnung sind folgende Aspekte noch nicht berücksichtigt:

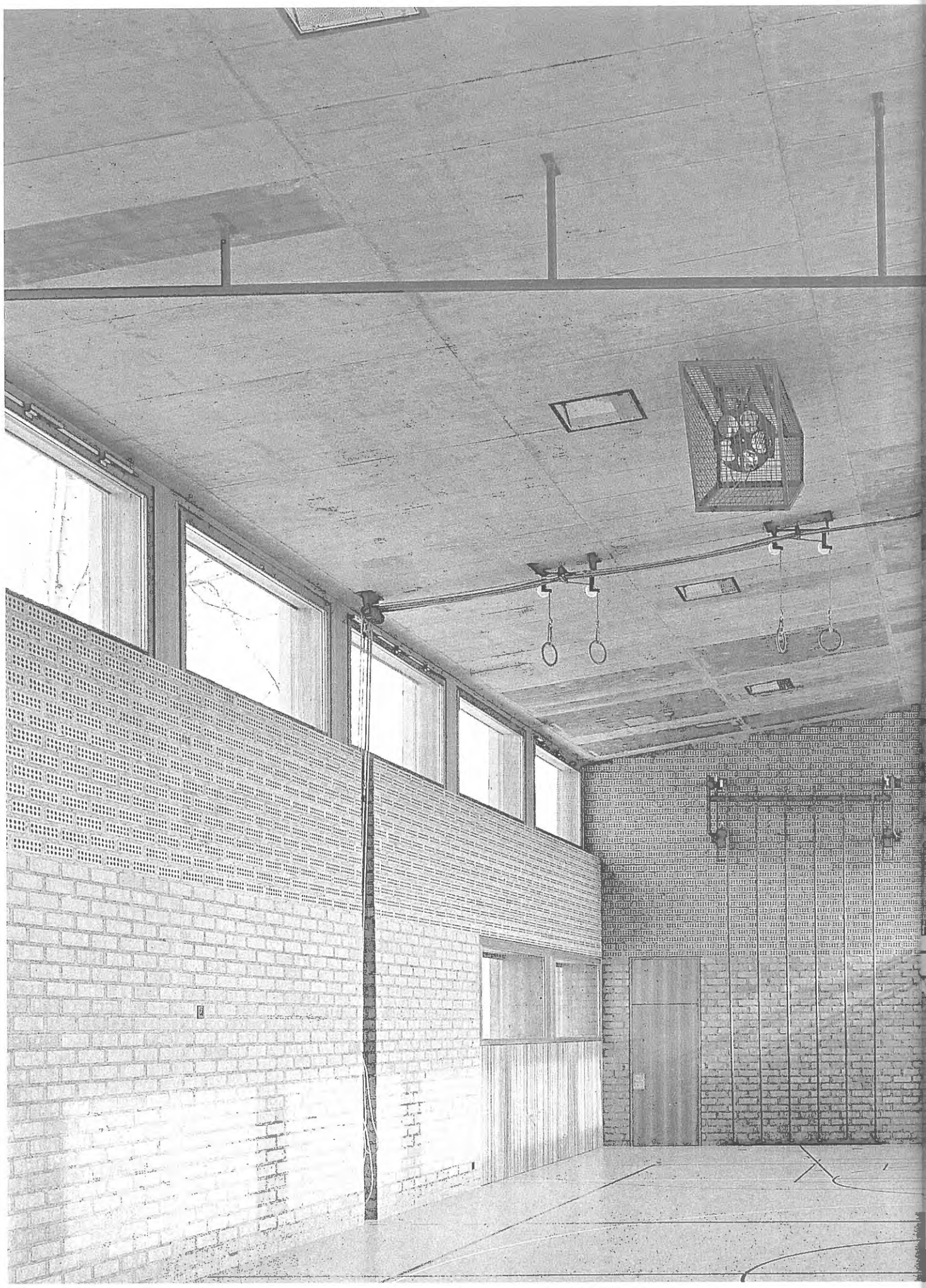
- Nachgiebigkeit im Scheitel in Querrichtung führt zu kleinerer First-Last (und grösseren positiven Biegemomenten in Querrichtung).
- Teilweise Einspannung der Scheiben über der Bütme und daraus resultierend etwas positive Momente aus äusserer Last.
- Tiefe Lage der Kabel gegenüber der Mittelebene der Platte führt zu negativen Momenten in Querrichtung bei den äusseren Auflagern und damit zu einer Entlastung der First-Auflagerkraft.
- Zugspannungen entlang der Kabel reduzieren die Spannkraftverluste.

Verformung der Scheiben: ($t=0$, $E_{lang} = 13'000$ MPa)

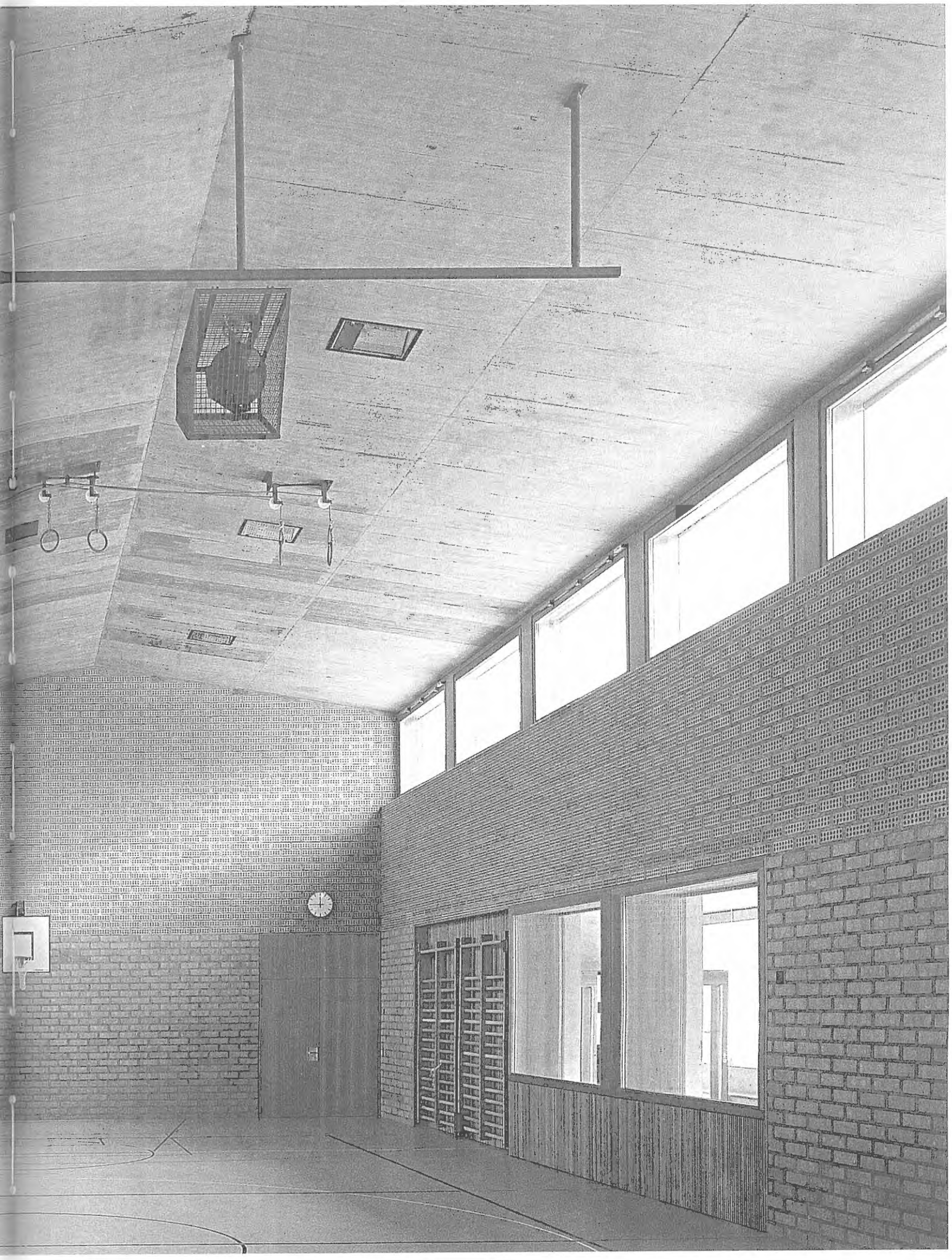
kleine Scheibe: $W_{kSch} = \frac{5}{48}\cdot\frac{\sigma_u - \sigma_o}{E\cdot h}\cdot l^2 \hat{=} 8{,}01$ mm $\varphi = 2$

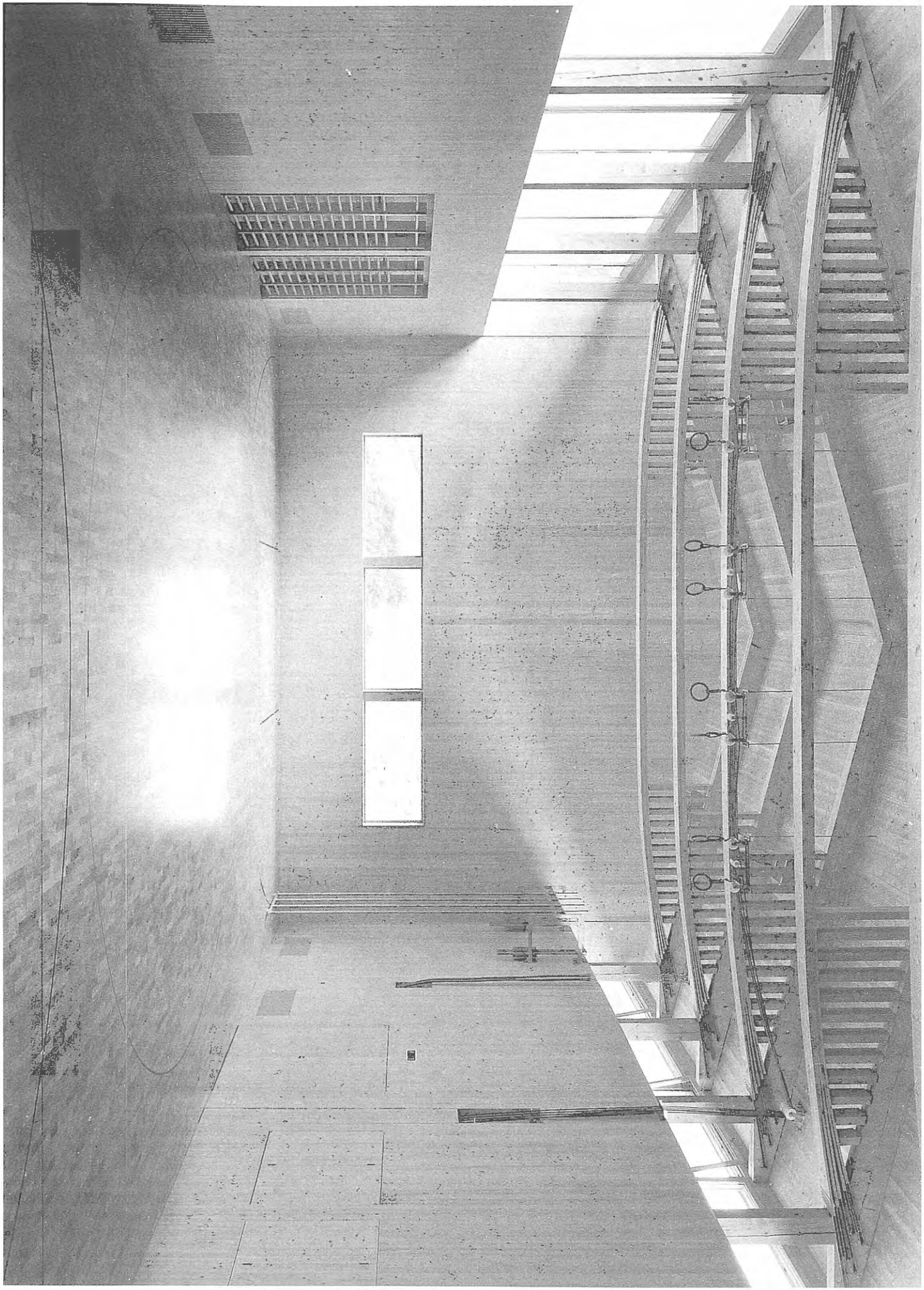
grosse Scheibe: $\frac{5}{48}\cdot\frac{2{,}69+6{,}15}{13'000\cdot 7{,}969}\cdot(24{,}627)^2 \hat{=} 5{,}39$ mm



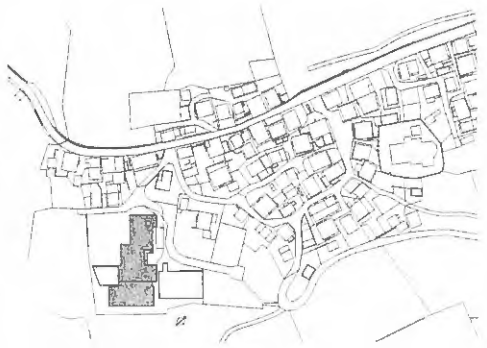


Interior of multipurpose hall. The architects took care to ensure that the lighting and gym equipment were carefully placed, to avoid compromising the character of the folded-plate roof structure.





Multipurpose Hall
Vrin
1995

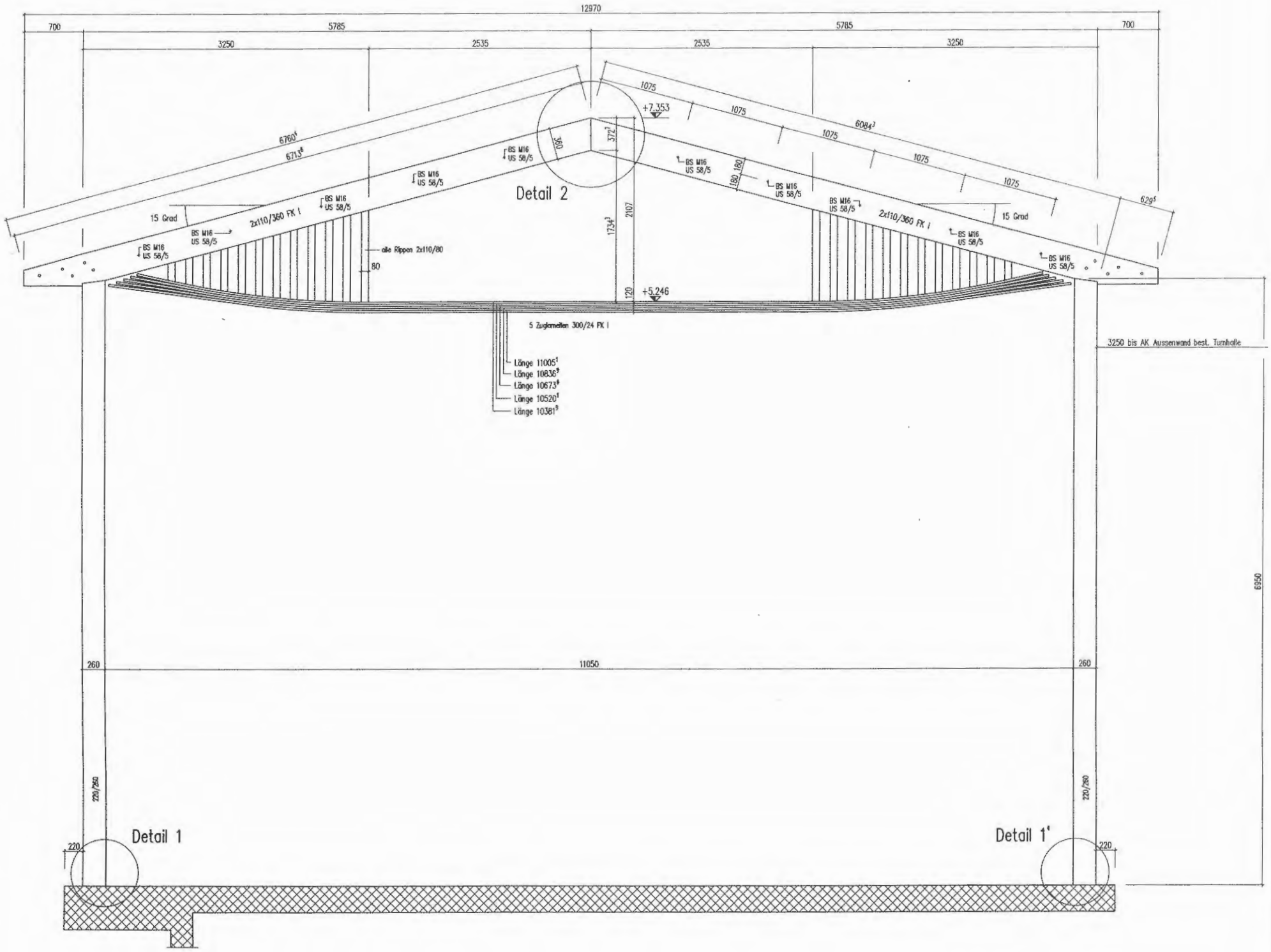


The community of Vrin made the decision to construct this multipurpose hall, an addition to a 1950s school, using local timber wherever possible. Working with a nearby sawmill, we were able to obtain long timber with an unusually large cross section. While the building envelope is a conventional post-and-beam structure, the roof system was specially designed to take advantage of this exceptional timber. In contemporary construction, useful structural scantlings of timber are often made by a process of dividing and assembling in the workshop, as for example when laminated timber is made 'endless' by glued finger joints. At the opposite end of the scale, massive timber is useful in traction if it can be joined end to end, like vines in the jungle. In this instance the beams are trussed with an angled top chord. Because the central joint under the roof ridge tends to be pushed upwards by compression forces, there is no need for additional support at the centre. By contrast, the ends of the beams contain closely spaced uprights that produce an almost constant curve in the bottom chord, so this tension element can be made of flexible continuous timber planking. The connections between bottom chord, posts and top chord – which are subject only to compression – are simple mortise and tenon joints. The flexurally stiff top chord consists of a pair of massive planks (160 x 360 mm), screwed together to resist twisting and bending. The lateral connections between the tension bars and the top chord are structurally delicate, in contrast to the simple joints of the posts. The timber planking – which is only 25 mm thick – had to be individually fastened with thin screws that distribute the forces onto steel plates both above and below. Welded to the steel plates are braces, which are slung around horizontal 24-mm-diameter dowel bolts. In order to reduce the bearing pressure of the bolts against the timber, the bolt diameter is amplified with 40-mm-sleeves set into the beams. To maintain the minimum distances between the dowel bolts, the individual boards of the bottom chord are spread against the supports. The fan of boards at both ends is a clear reminder of the principle of using small boards to create larger members.

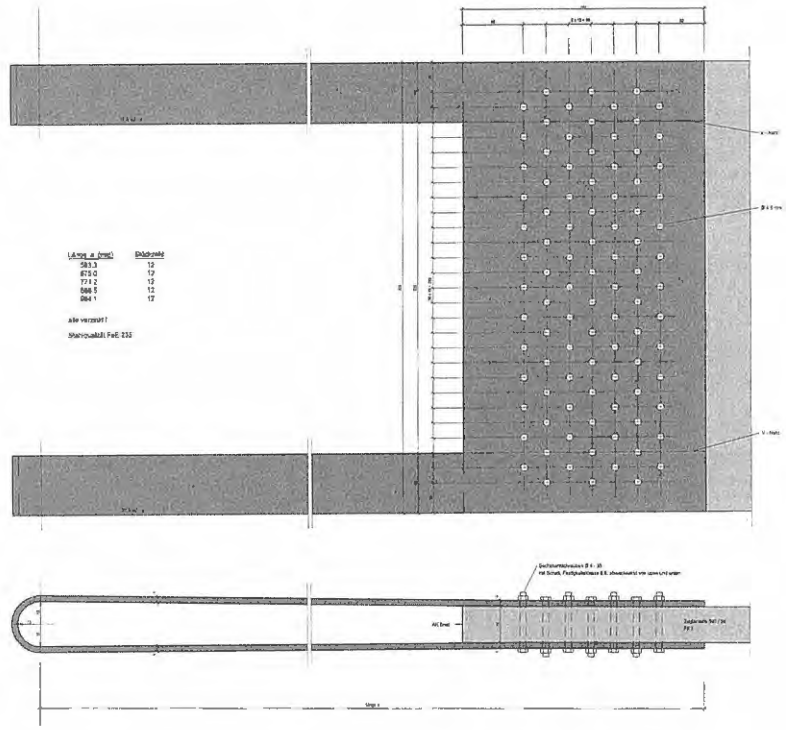
Architect:
Gion Caminada, Vrin
Collaborator: René Fanchini

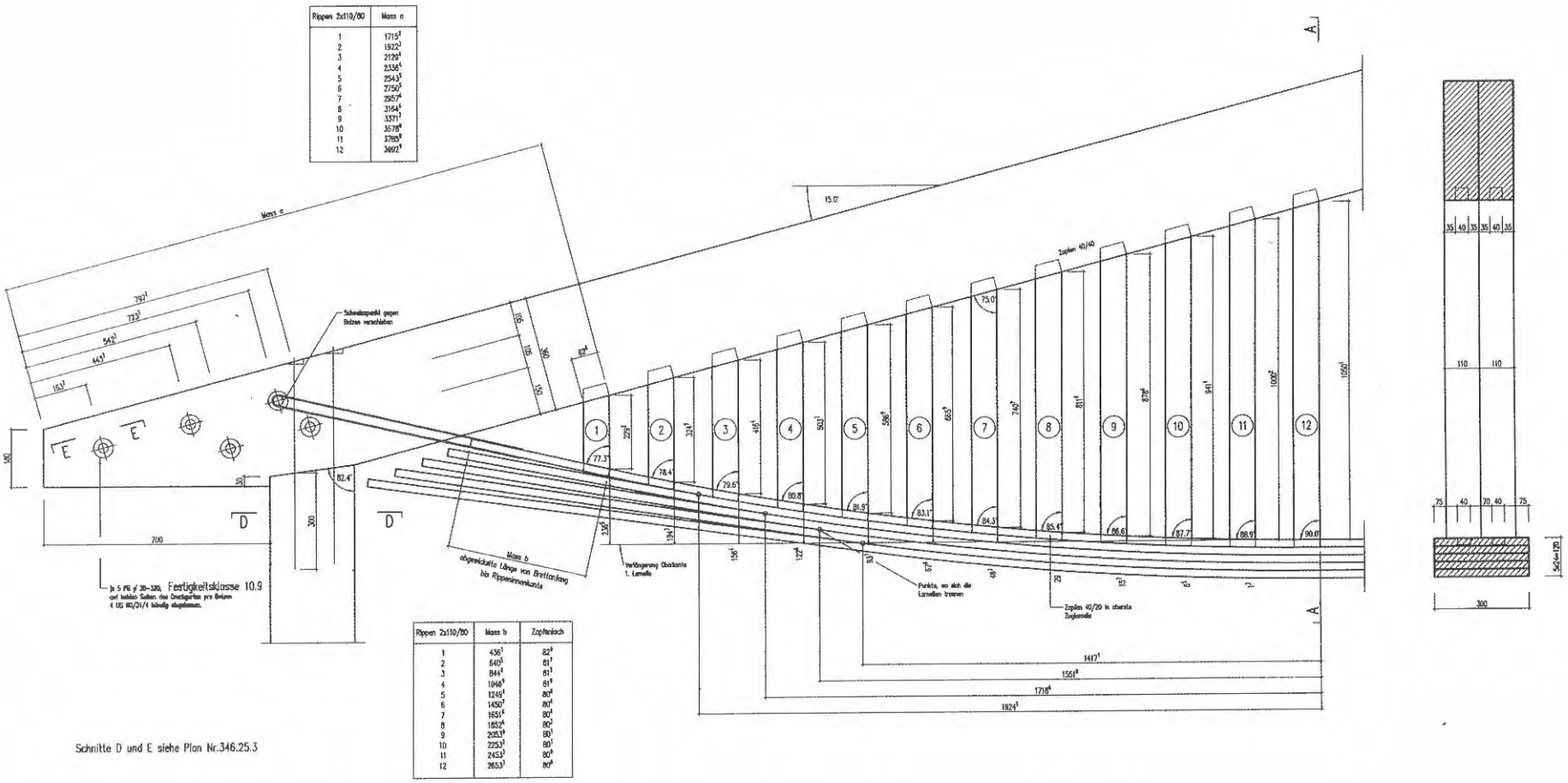
Left:
Interior of multipurpose hall: the supports stand clear of the upper row of windows, which are set in the outer envelope of the building – an arrangement that neatly corresponds to the construction of the bearing points.

Right:
Site plan



Above:
Setting plan of a hall frame





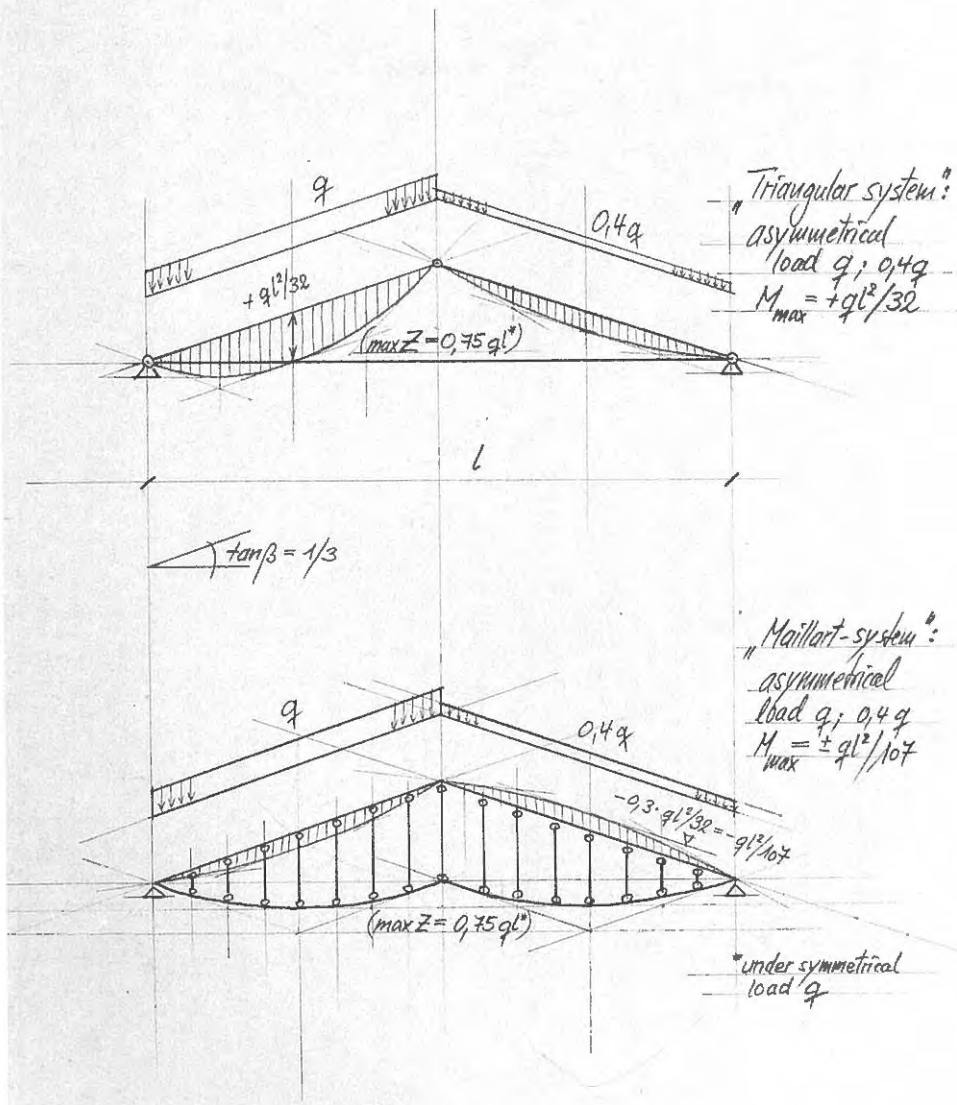
From top:
Detail plan of the 'Bavarian braces' used to fasten the tension chords
Geometry of the curved tension chords, posts and dowel bolts

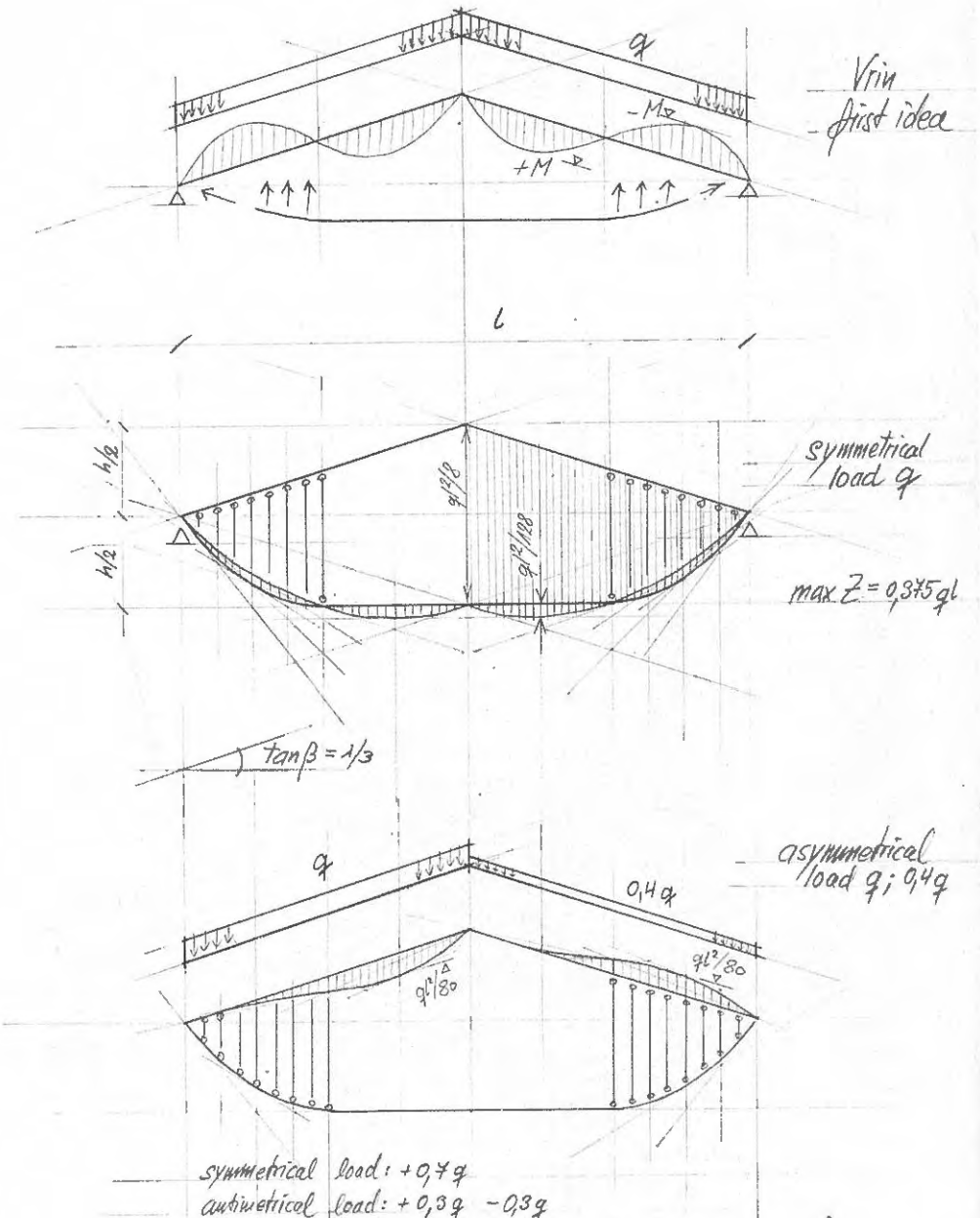
Static comparison of various roof frame systems

Below left:
A standard triangular frame compared to the beam designed by Maillart for the Magazzini Generali in Chiasso. Under the same tensile forces, the bending moments under an asymmetrical load in Maillart's curved lower chord are less than one third those of the triangular beam.

Below centre:
The concept of a moment area as a double wave with equal positive and negative moments under constant load only works with a certain geometrical configuration, as is shown in the middle sketch (the initial incline of the lower chord corresponding to the two-fold incline of the roof). The moments and tensile forces are indeed small, meaning that the beam is too deep.

Below right:
The beam form that was ultimately chosen fully exploits the potential of timber construction. While the moments under an asymmetrical load are only marginally smaller than with a triangular form, they are much more favourable with an evenly distributed load. The tensile forces in the bottom chord reach only four-fifths of the corresponding values of the triangular or Maillart forms, making connections more economical.

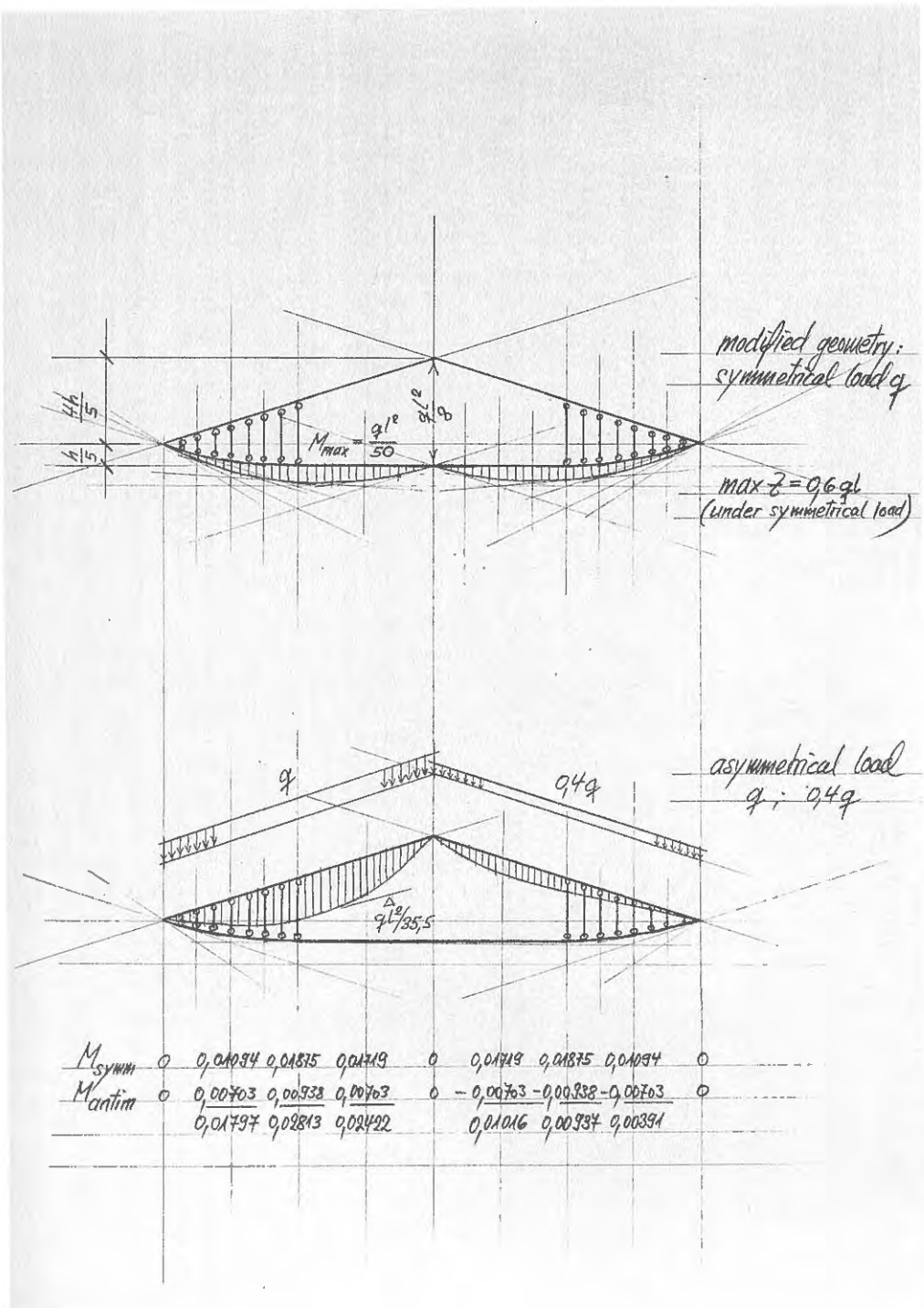


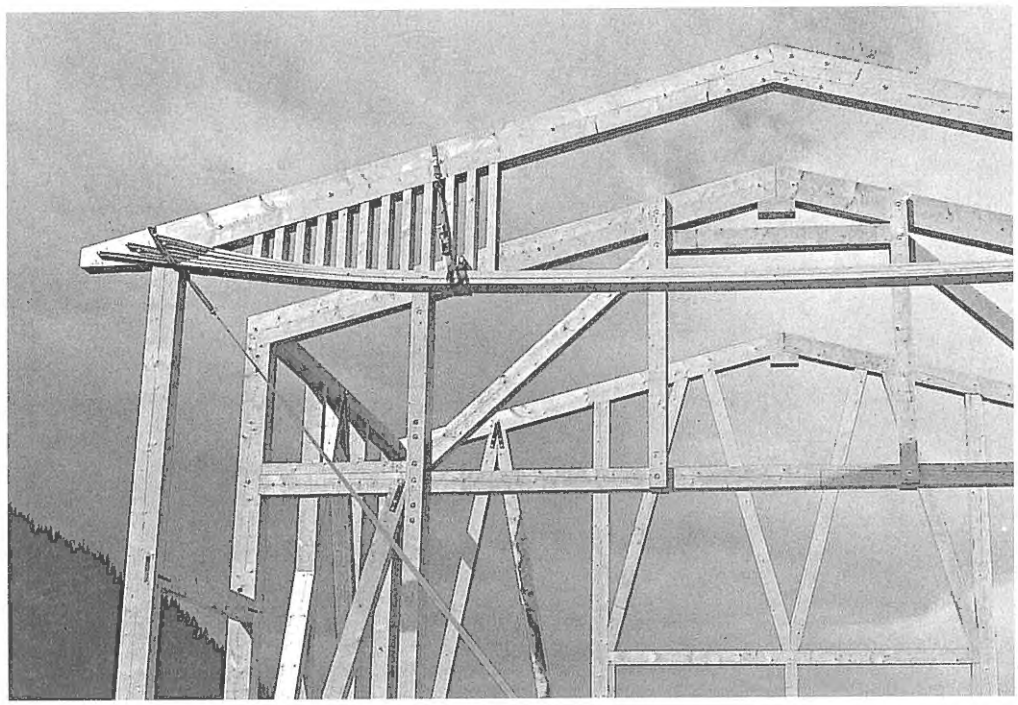


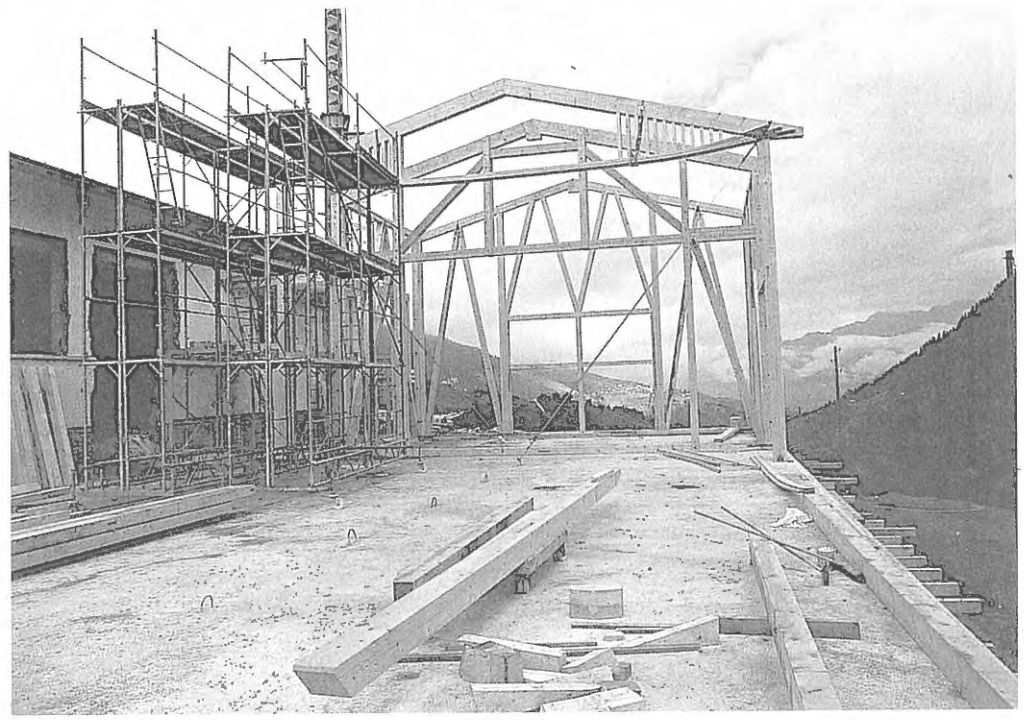
symmetrical load: +0,7q
antimetrical load: +0,3q −0,3q

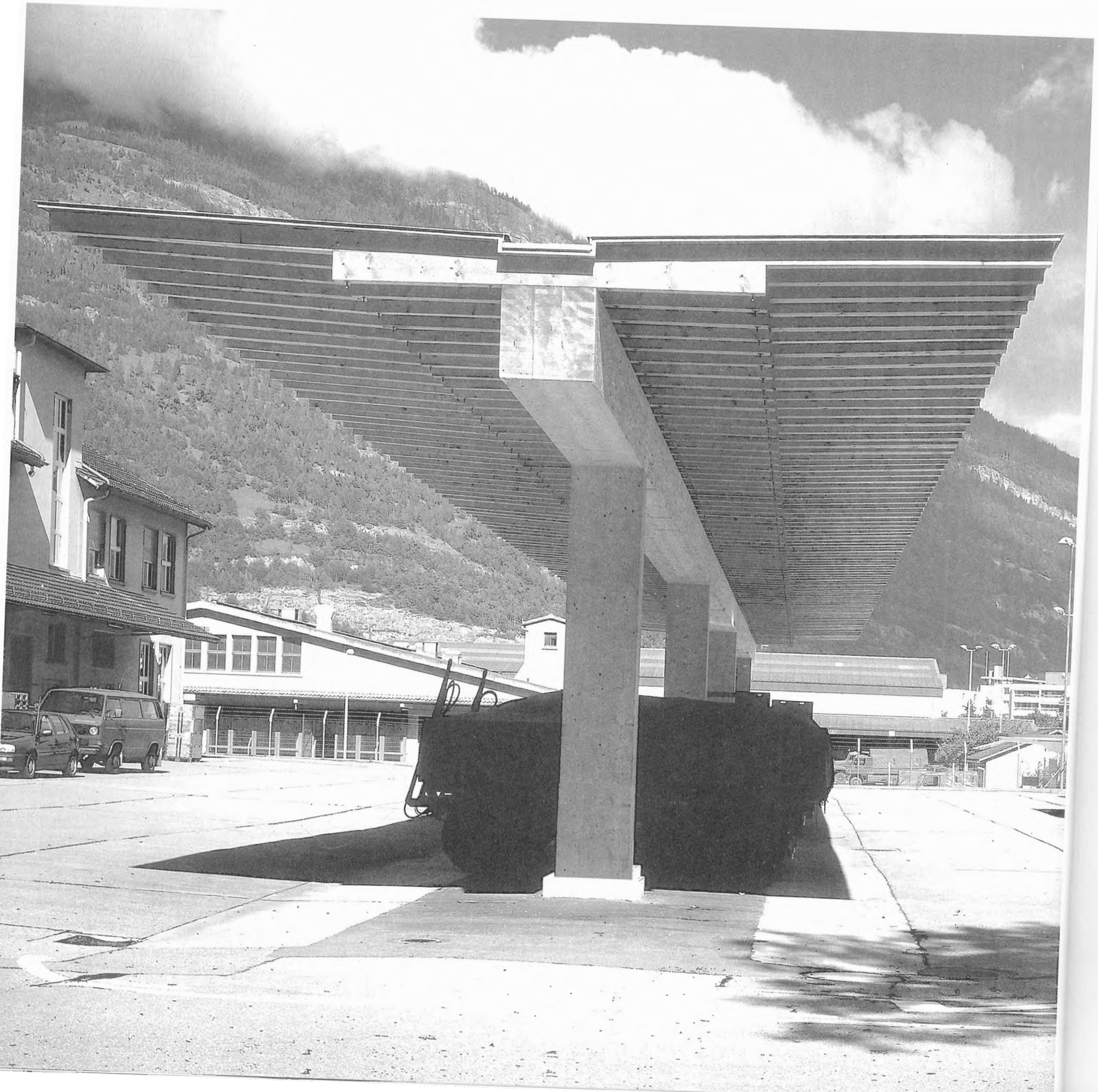
M_{symm}	0	-0.00547		0	0.00547		0	0.00547		0	ql^2
M_{antim}	0	0.00703	0.00938	0.00703	0	-0.00703	-0.00938	-0.00703	0	ql^2
		0.00156	0.00938	0.01250		-0.00156	-0.00938	-0.01250		

Below:
Assembly of first roof frame. In contrast to the hall at Alvaschagn, the roof frames are delicate in a transverse direction and had to be temporarily stiffened with ties.

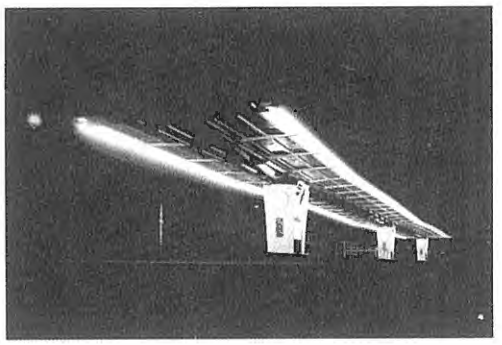








Army Barracks Canopy
Chur
1998



This structure is a translation into timber of Hans Hilfiker's steel and concrete canopy at Winterthur-Grüze station, a prototype that unfortunately never found wide application.[1] The idea was to increase the circulation space on the platform by using the minimum number of supports, and making them large enough to incorporate additional service elements such as telephones and wiring. This produced a structure with a central circular steel girder that spans large openings and holds concrete roof elements on both sides.

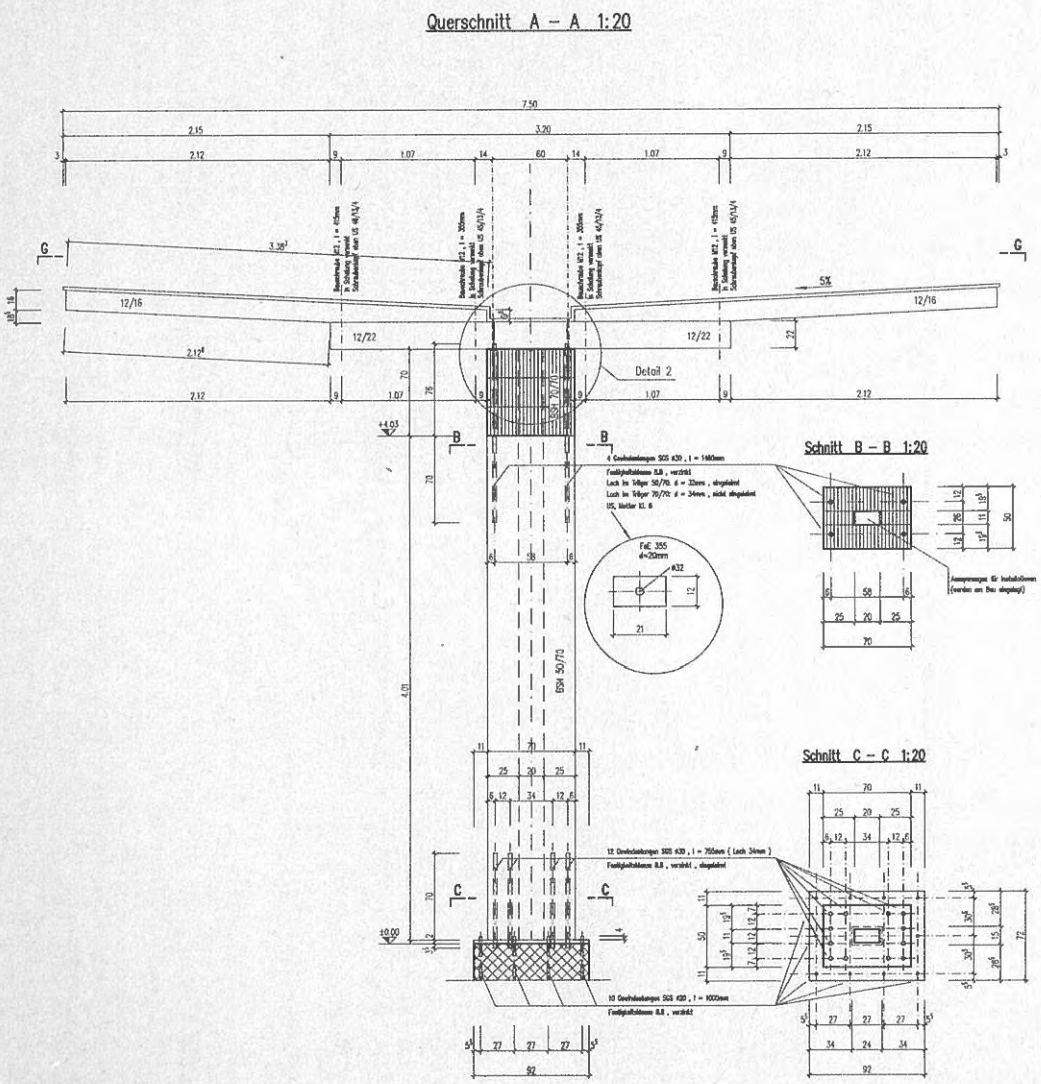
For the longitudinal beams of the canopy at Chur barracks, where both torsional and flexural stiffness were required, we used gang-nailed laminated timber (drawing on our experience with the bridge in Murau). The rafters were each assembled from three beams, which solved the problem of making an elegant transition between the different roof pitches and the long collecting channel.

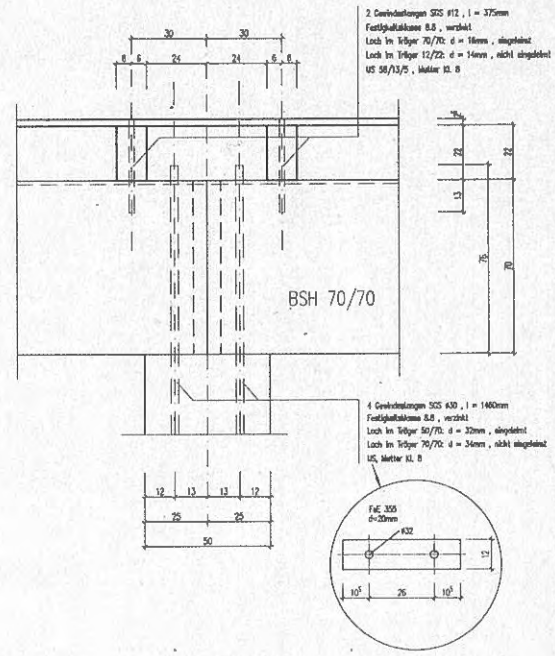
To simplify assembly, the joints of the longitudinal beams were placed over the two inner supports. The bending moments in simple beams are higher than in continuous beams, but since torsional stiffness was the decisive factor in dimensioning the longitudinal beams, there was additional capacity for the flexural load. The roof structure was preassembled on the ground in three large sections which were then joined and lifted together onto the supports. All supply conduits run in a cavity inside the columns. At the front of the column bases are concealed steel rods that support a strong steel plate. The rods are fixed at the top and bottom with nuts that are pegged into the foundations. This allowed us to position the columns with extreme precision, in a similar manner to railway catenary masts. The gap between the foundations and the steel plate was then filled using a casting mortar.

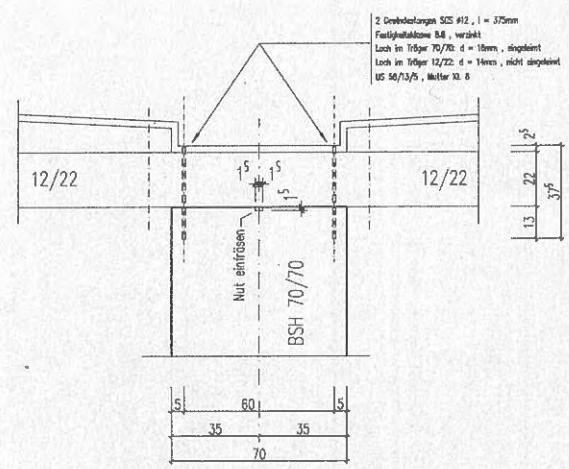
Collaborator:
Guido Lauber

Right:
Night view of Hilfiker's canopy at Winterthur-Grüze station

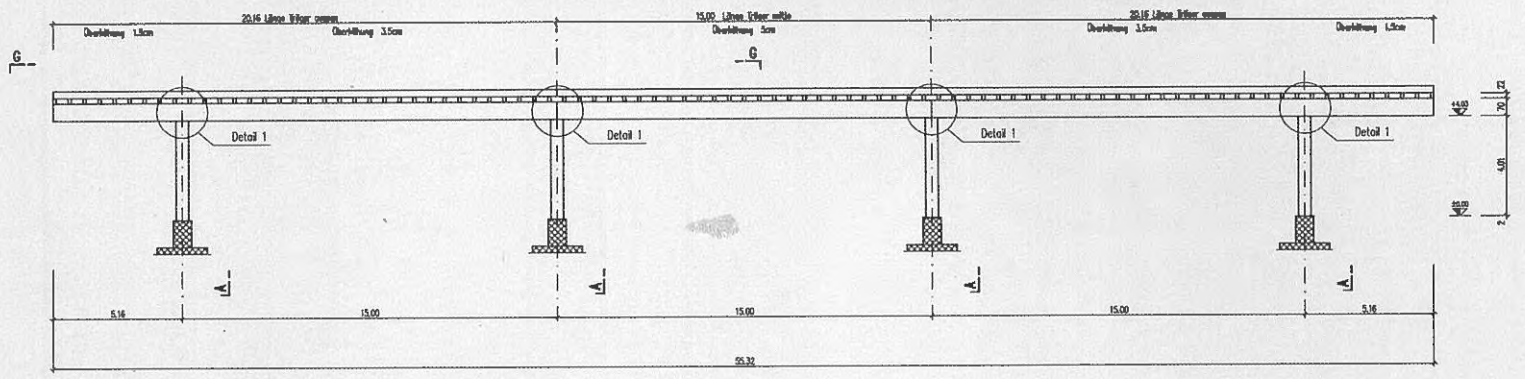
Below:
Detail plans



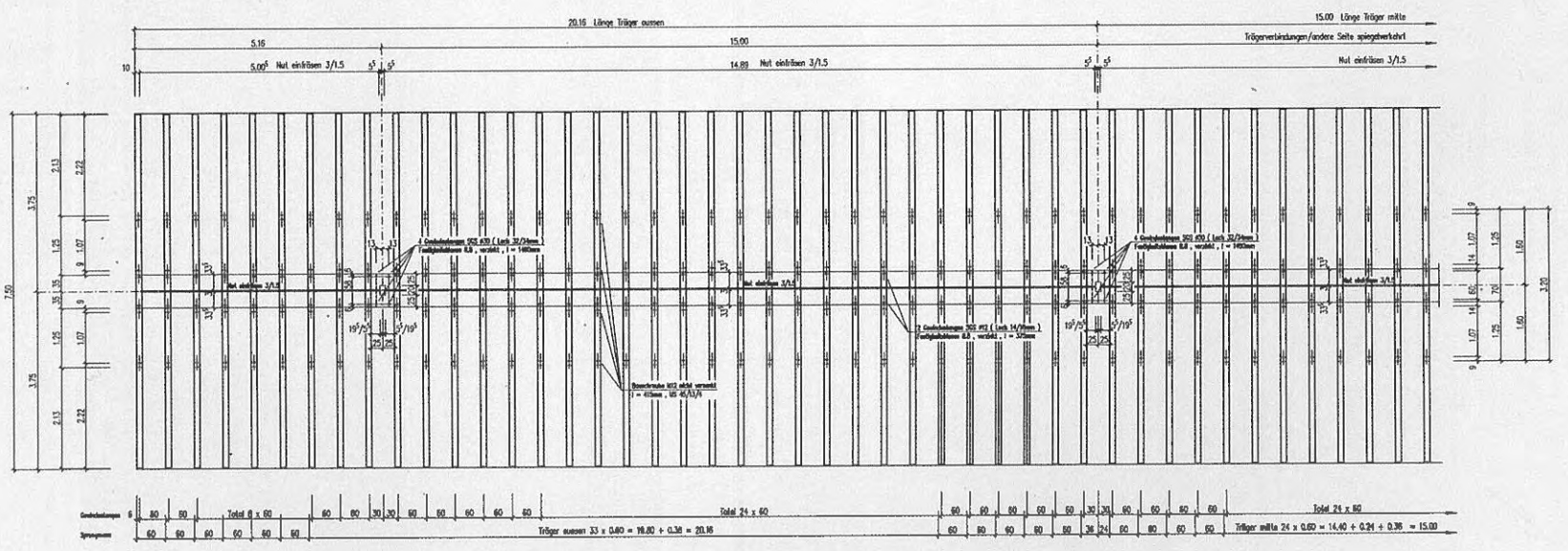


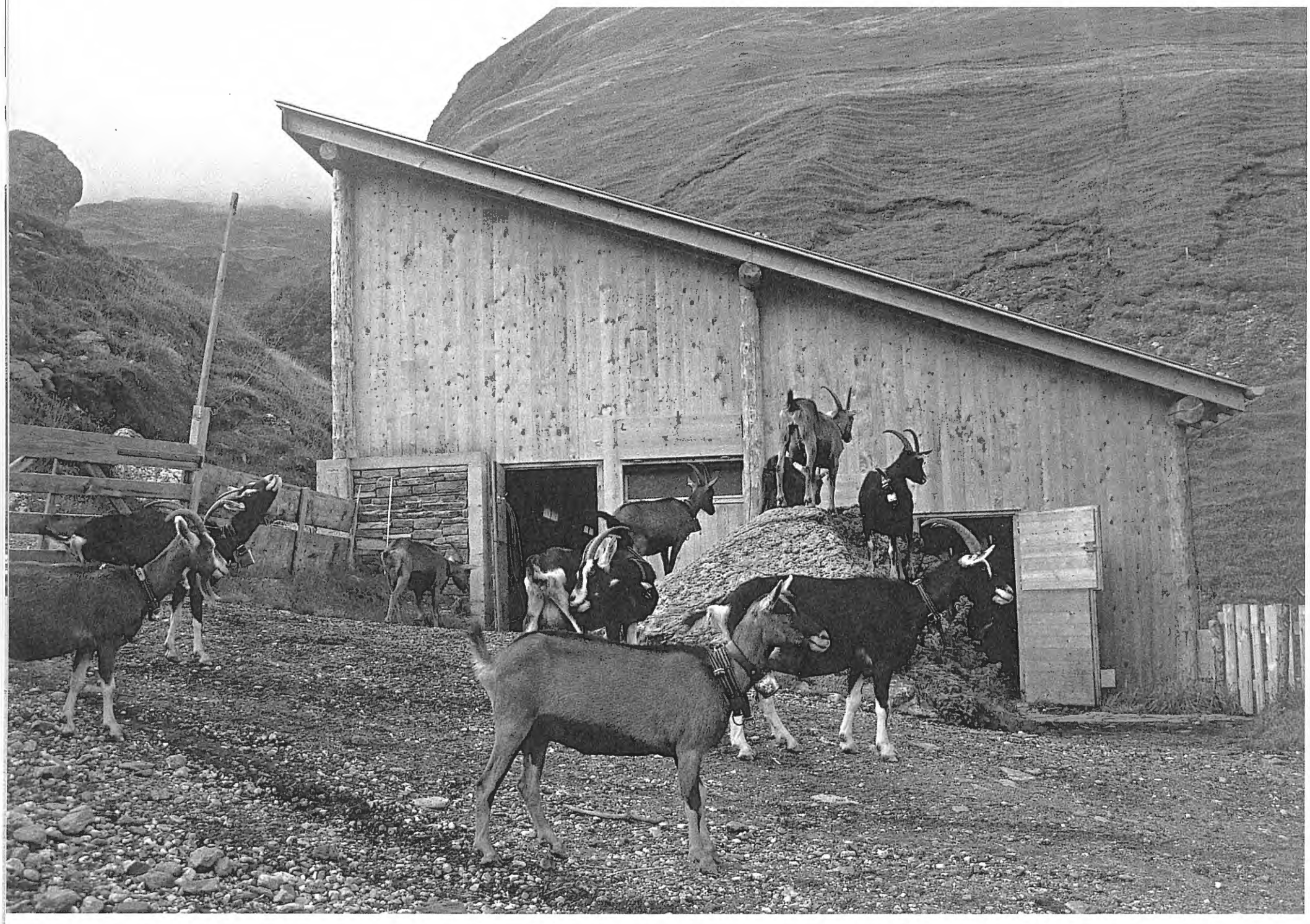


Längsansicht 1 : 100

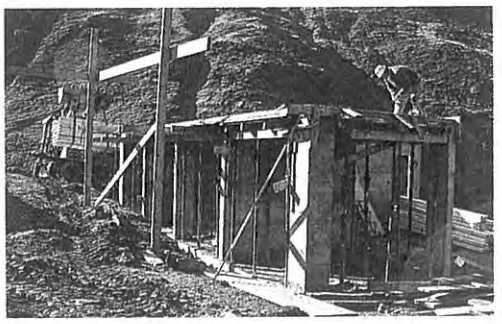


Grundriss G – G 1:50





Goat Dairy
Parvalsauns
1992–93



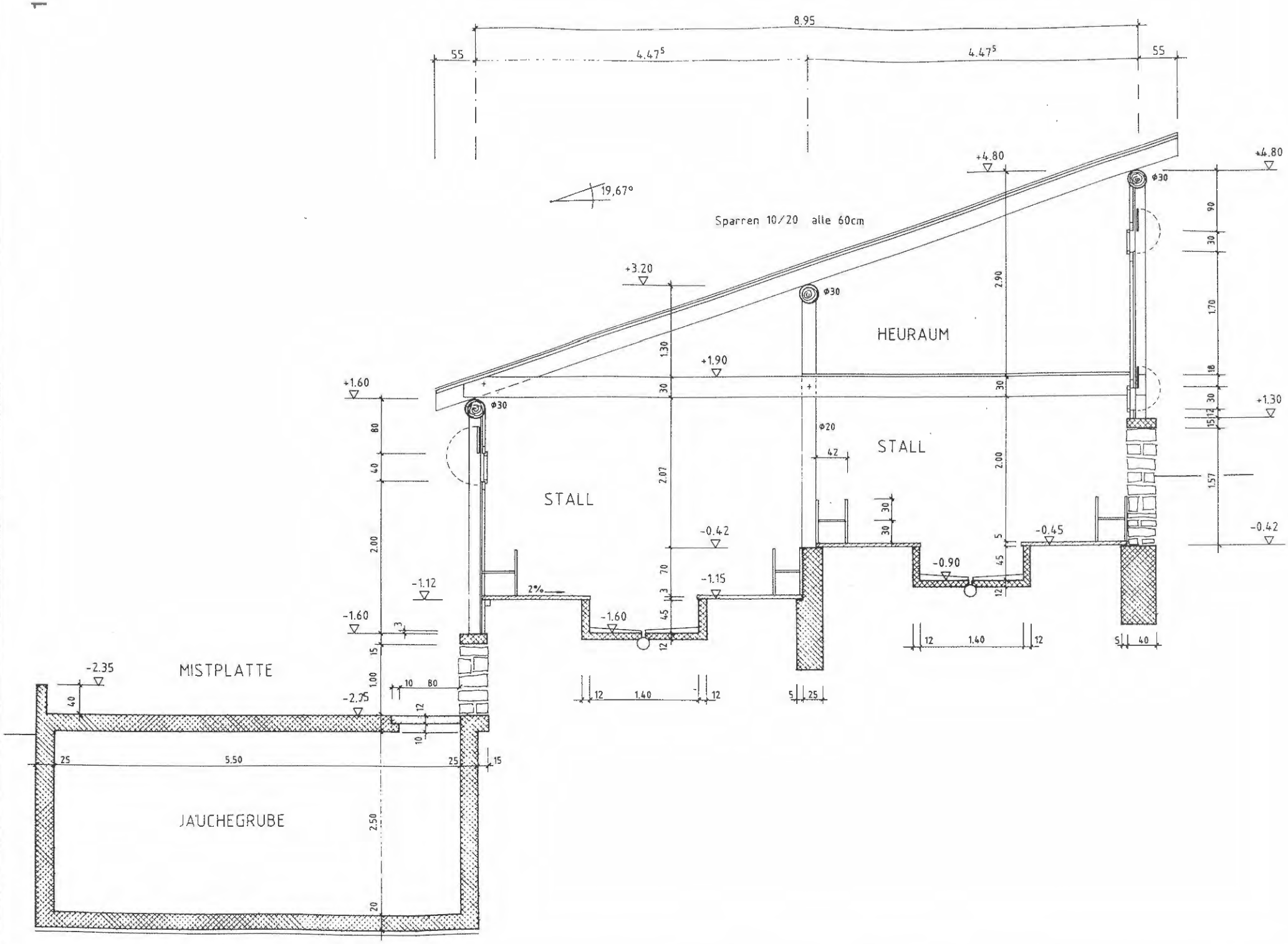
The goat dairy lies up in the mountains a few kilometres from Vrin, on the way to the Greina Pass. It consists of two buildings. The dairy proper contains accommodation for the dairymen and rooms for the making and storing of cheese. Alongside it, there is a kind of traditional 'staggered' long goat shed. To avoid the difficulties of transport associated with a remote site, the construction uses local materials wherever possible. The plinths of both dairy and shed are formed of a thin concrete skeleton infilled with rubblestone (only the muck heap is of concrete, since it has to be watertight). A heavy demolition hammer was used to break up erratic boulders found on site: the stone split easily into coursable pieces. Where they come into contact with the ground, the stone walls are always slightly damp, as those of a cheese cellar ideally should be. The plinth of the dairy is topped by a timber post-and-beam structure infilled with 'knit' timber (Strickbau). The shed, at the instigation of the carpenter Simeon Alig, is largely a log timber structure. The side of the shed that faces the mountain is two storeys high: above the stalls is a hay loft, accessed from the hill behind the building. As the section makes clear, the pitch roof responds to the topography of the site. A level and precise base for the sheet metal roof is provided by rafters made of sawn timbers, whereas most other structural elements are of round timber. The roof is carried by three series of purlins that are set at regular intervals on log timber posts and flattened at the supports below them. The cross bracing is achieved by horizontal elements – tongs made of halved logs – that run from the eaves on the downhill side to the top of the opposite wall. The longitudinal bracing of the external walls is achieved by diagonally nailed planks, stabilized in the middle by the shear resistance of the roof. Working with round timber is a demanding task for carpenters, since the thickness of the logs varies constantly along their length. Here the visible traces of the quest for precision lend the goat shed a character all of its own.

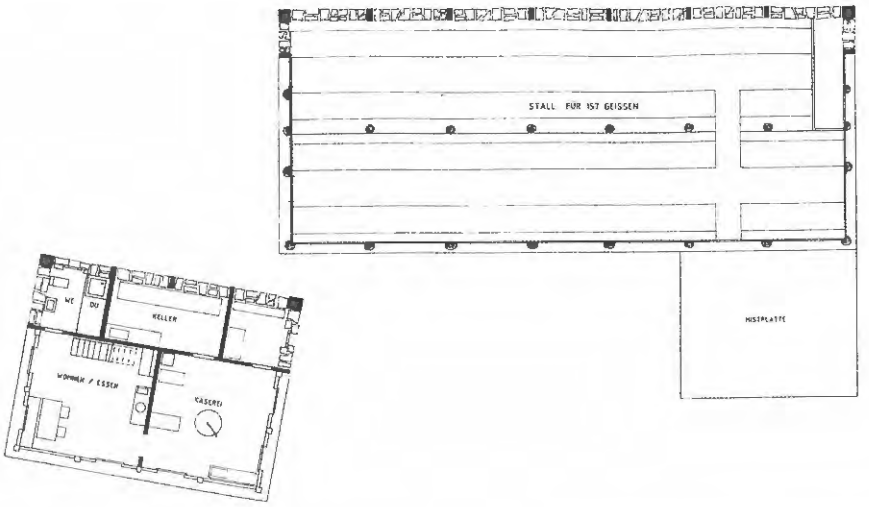
Architect:
Gion Caminada, Vrin

Left:
Goat shed

Right:
Dairy under construction

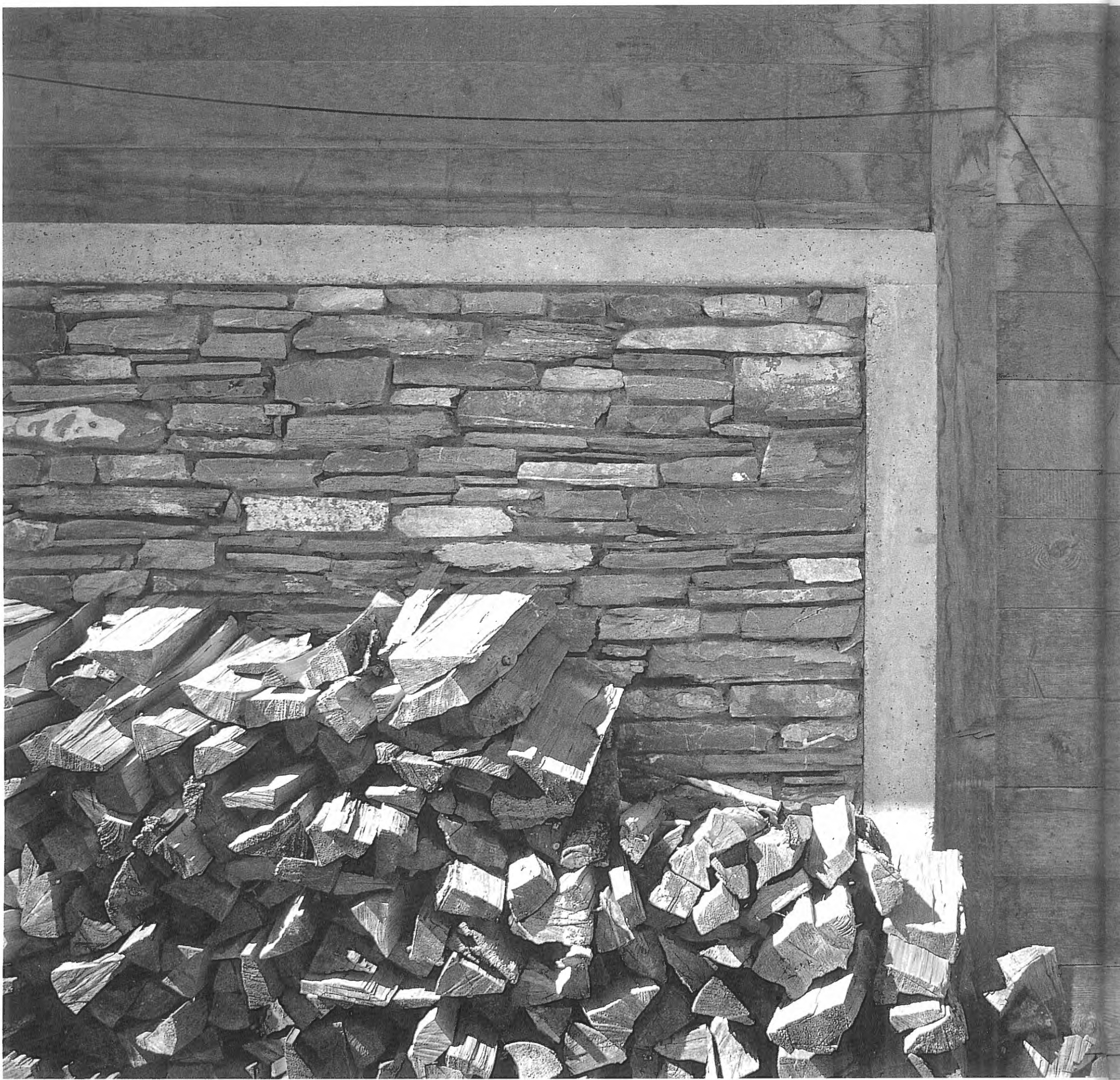
Below:
Section through goat shed





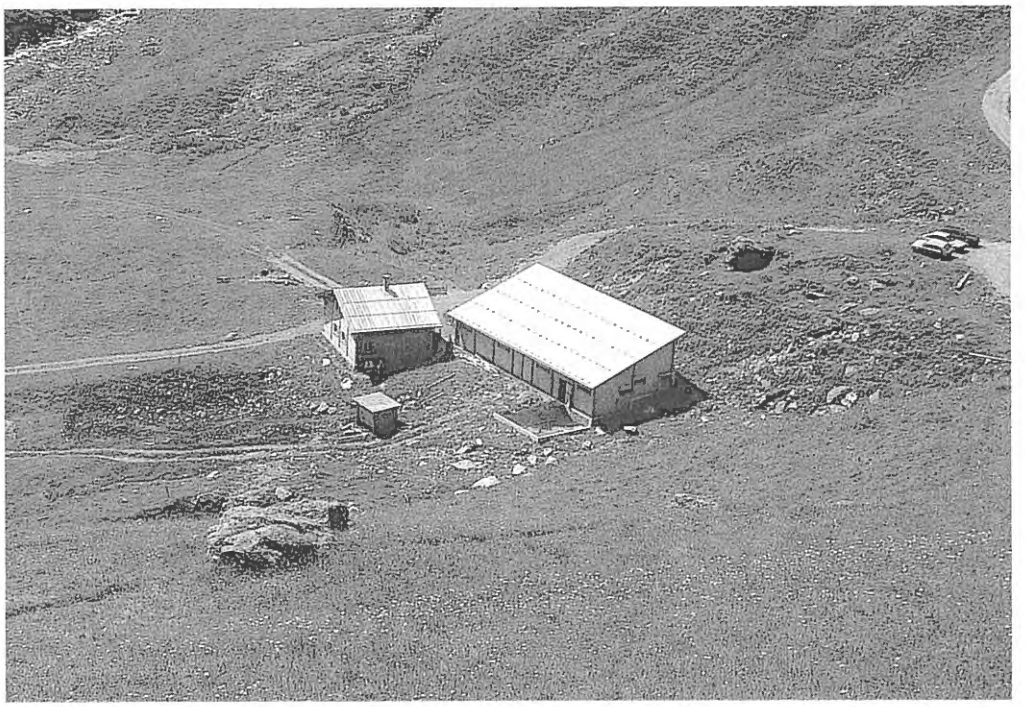
Left:
Plans of goat shed and cheese cellar

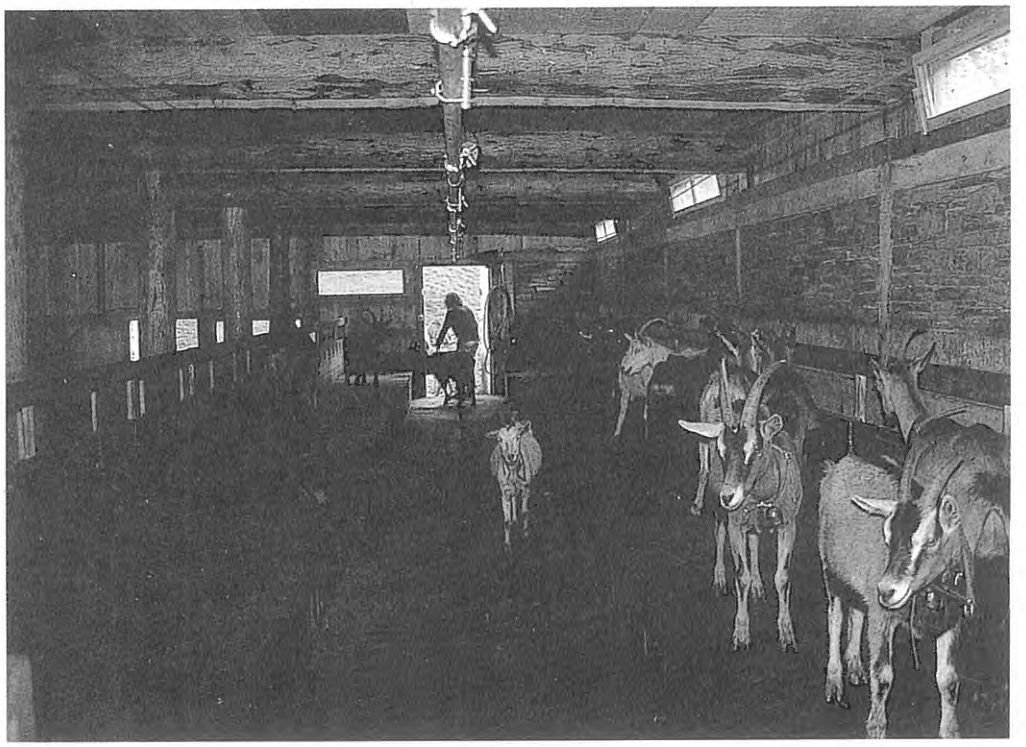
Below:
View from west



Left:
Detail of base of cheese cellar

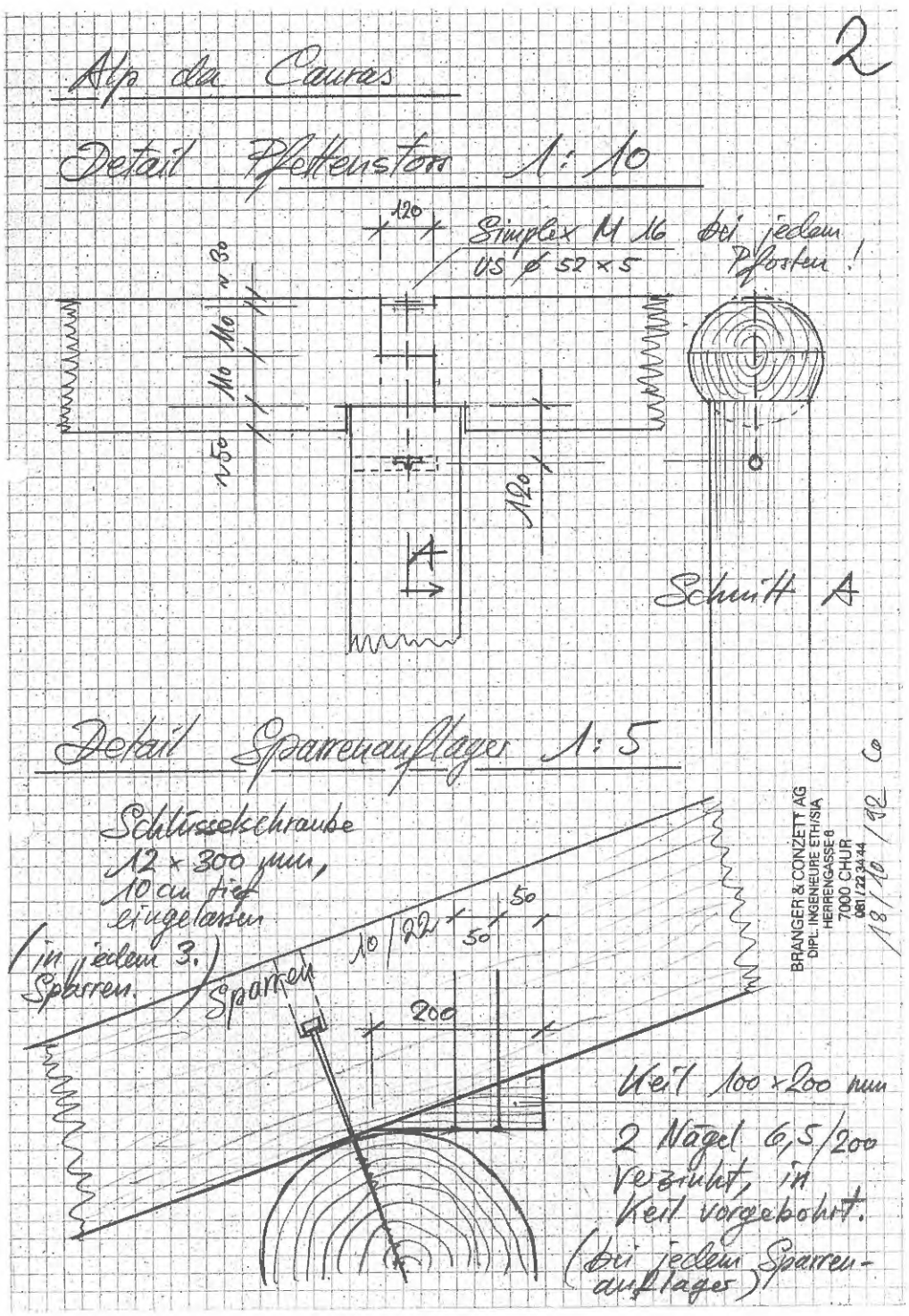
Below:
View from above of
goat shed and dairy
Interior of goat shed

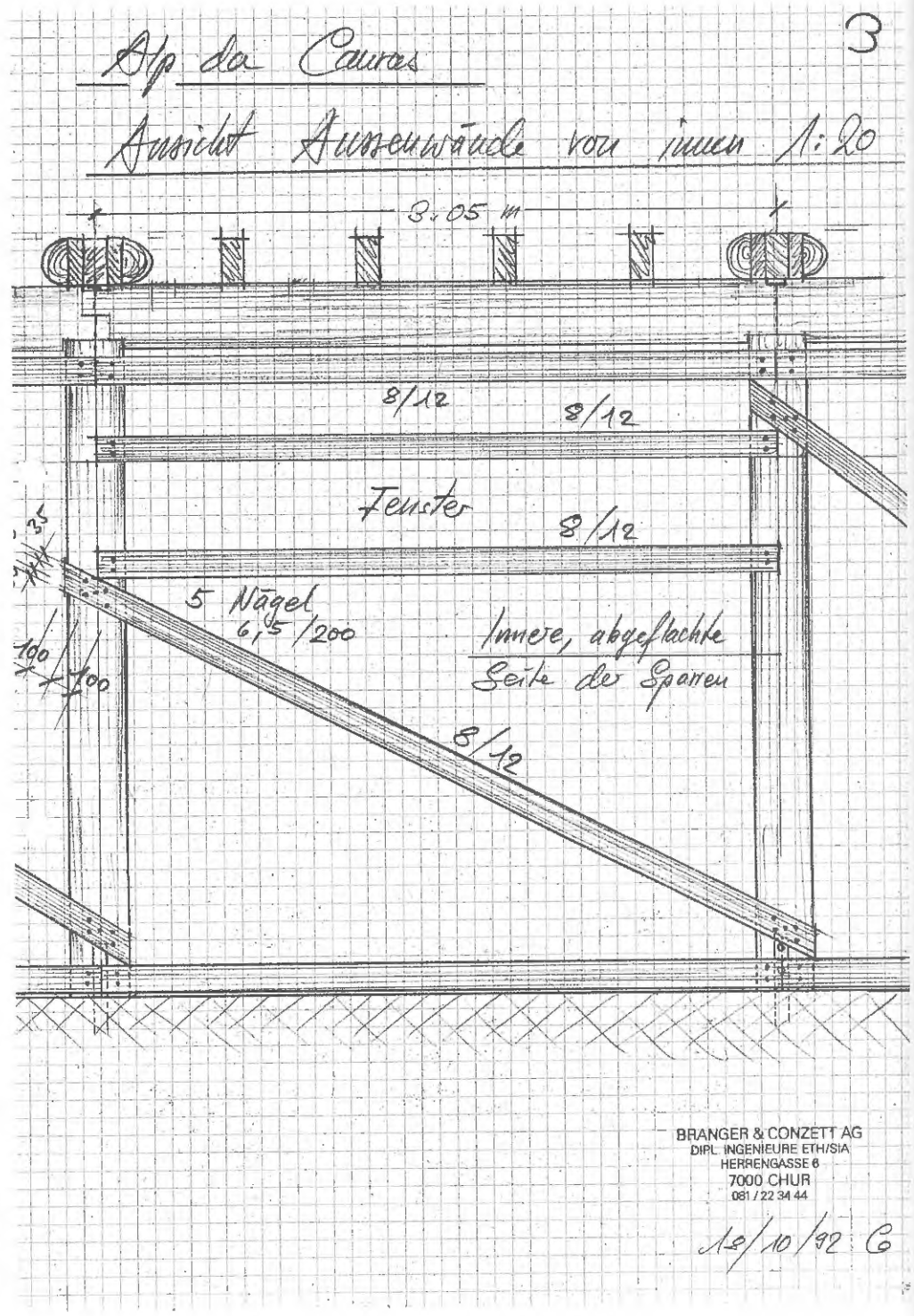


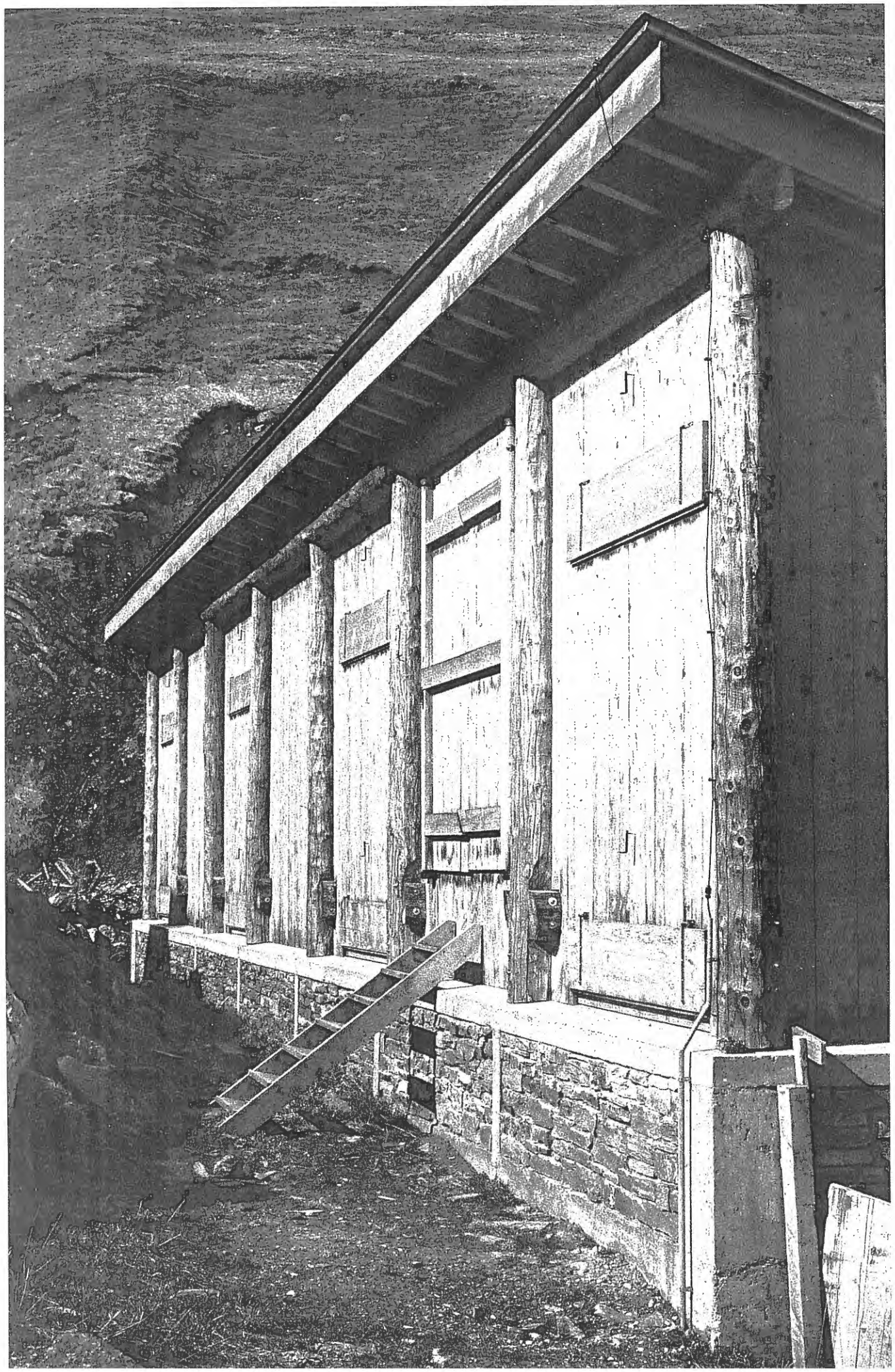


Below left:
Construction details for goat shed

Below right:
External wall structure viewed from within





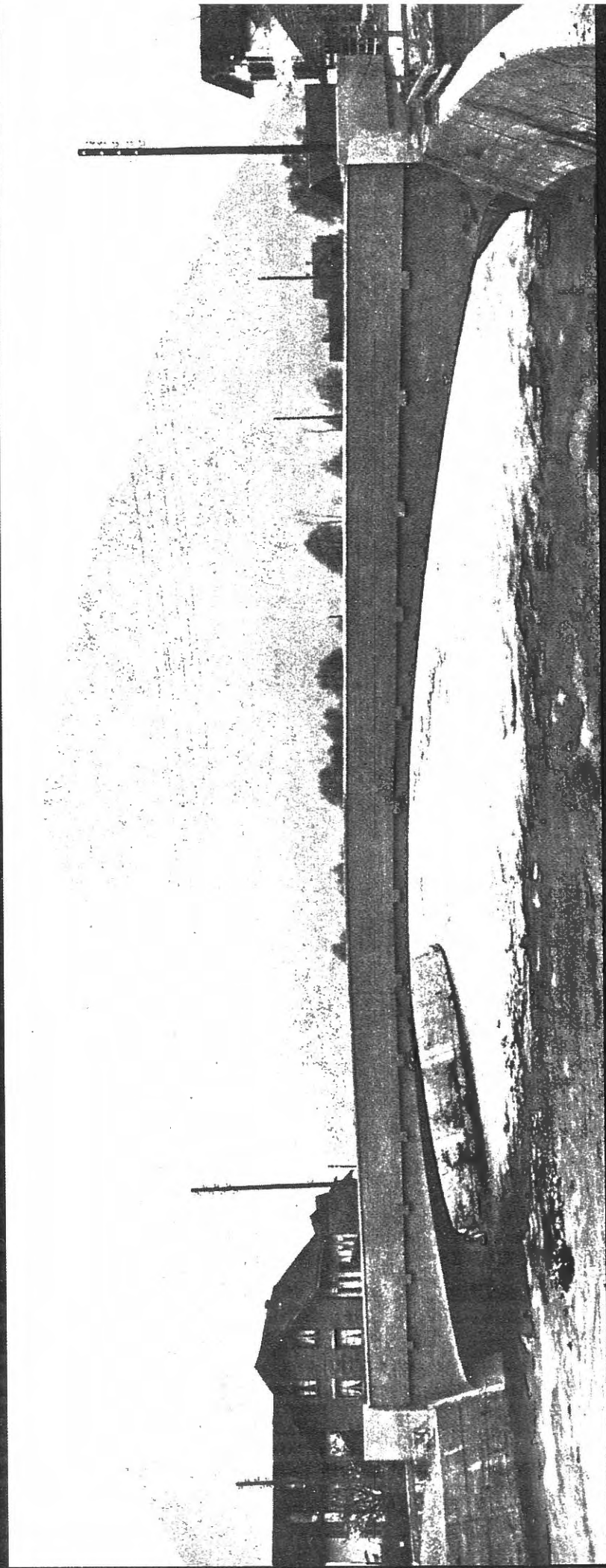


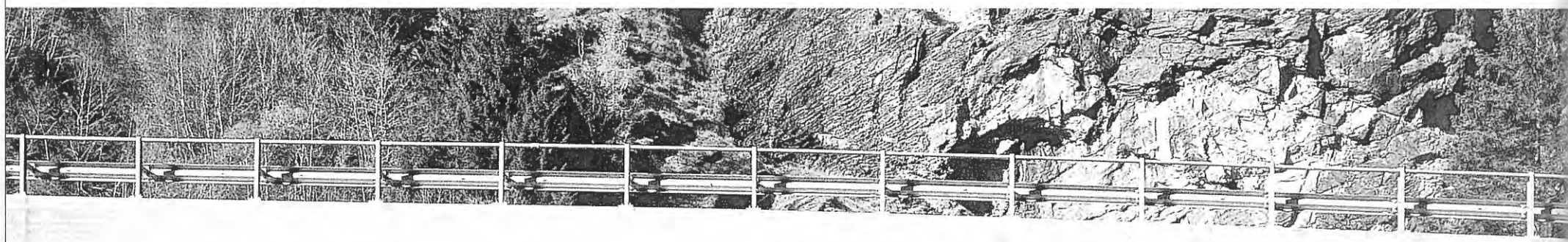
Left:
West facade

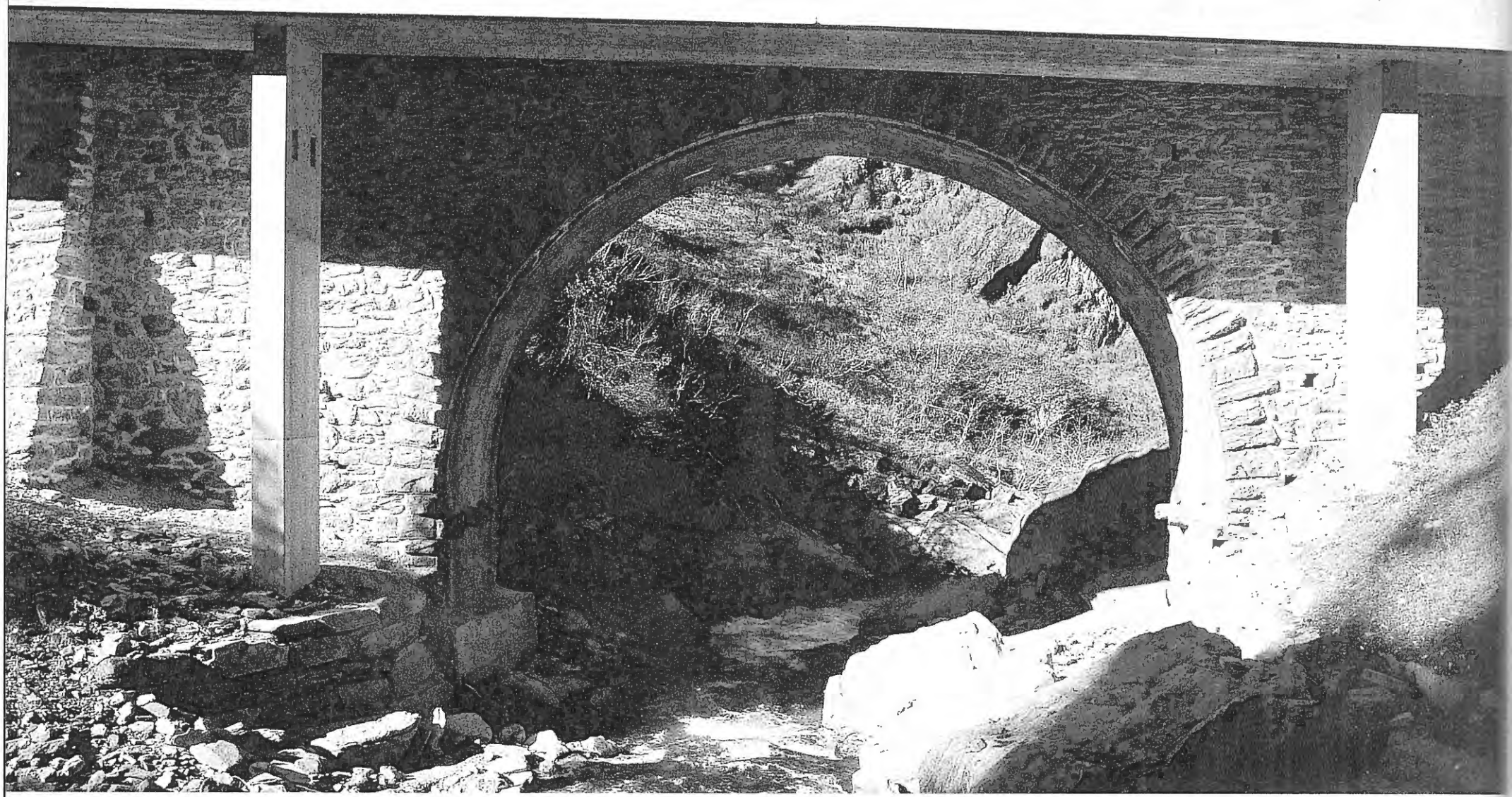
Transforming Existing Structures

The popular heroes of the engineering profession all make their name with the design of *new* and *autonomous* projects. There is no broad category of creative individuals who are concerned with the restoration, conversion or extension of existing structures, no counterparts to architects such as Plecnik or Scarpa. For evidence of this disinterest in our built heritage one need look no further than the 'parallel bridges' that have proliferated alongside existing road bridges. These new structures have been defined according to purely pragmatic considerations, and the result is more often than not an aesthetic failure, developed without regard for the effect of the ensemble.
In considering how to widen the 'Hohe Brücke' at Vals, we took such aspects into account. The resulting structure should be considered as a prototype. The new Muota Bridge was also concerned with a desire for continuity, though in a concealed, literally submerged manner. The original bridge by Robert Maillart lives on mainly in spirit – in the form of a conceptual decision. Conversely, the decision to add another storey to the Zeche Zollverein in Essen stemmed from a belief that this unique industrial monument could only be preserved if restored to its original status as a gigantic machine. The existing load-bearing structure was therefore conceived as a link in a chain – a link that could fulfil its role in altered surroundings without losing its essential character. JC

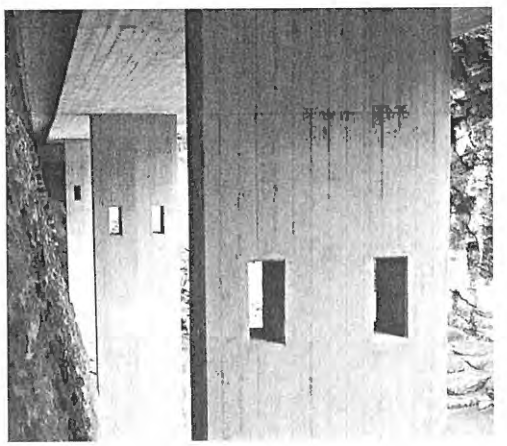
Facing page:
Robert Maillart, Muota Bridge, 1913







Hohe Brücke
Vals
1999



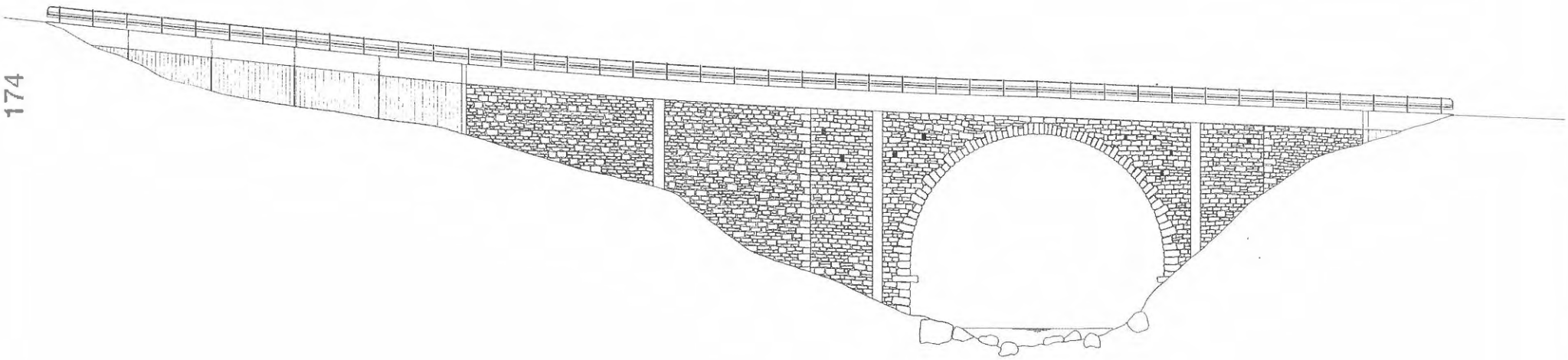
At first sight this seemed a routine task: a nineteenth-century road bridge had to be widened to accommodate present-day traffic loads. But the presence of a rockfall gallery in front of the north abutment made the task more complicated, by limiting expansion to one side only. Our solution was to set an independent structure alongside the existing bridge. In a preliminary design we considered a hollow arched bridge in stone. Truffer & Co. was able to supply, on favourable terms, the same type of stone that Peter Zumthor had used for the Thermal Bath at Vals. Nonetheless, the cost remained around 30 per cent higher than for a concrete frame bridge. So a concrete bridge it had to be.

We experimented with a model to develop a structure that maintains a strong relationship with the existing bridge. In doing so, we were guided by four purely architectural considerations. First, the old bridge is framed by the new structure: the new piers are positioned symmetrically around the existing arched opening. Second, the road level is raised so that the new structure does not block the front view of the arch at any point. Third, the piers of the new bridge are designed to have as slender a profile as possible in the transverse sense, to increase the gap between the old walls and the new piers. Fourth, the fascia of the bridge is also deeper than it need be; by completely covering the deck, it avoids the aesthetic ambiguity between a kerb element and a beam that spoils many smaller bridges. It also gives the beam a strong, calm archaic character that fits in well with the rugged environment and the old bridge. Some may object that the best views of this bridge seem to be reserved for the fish and the foxes. Our response would be that we regard the bridge as a prototype, and that all experience is valuable, no matter where it is gained.

Collaborators:
Patrick Gartmann,
Fredric Benesch

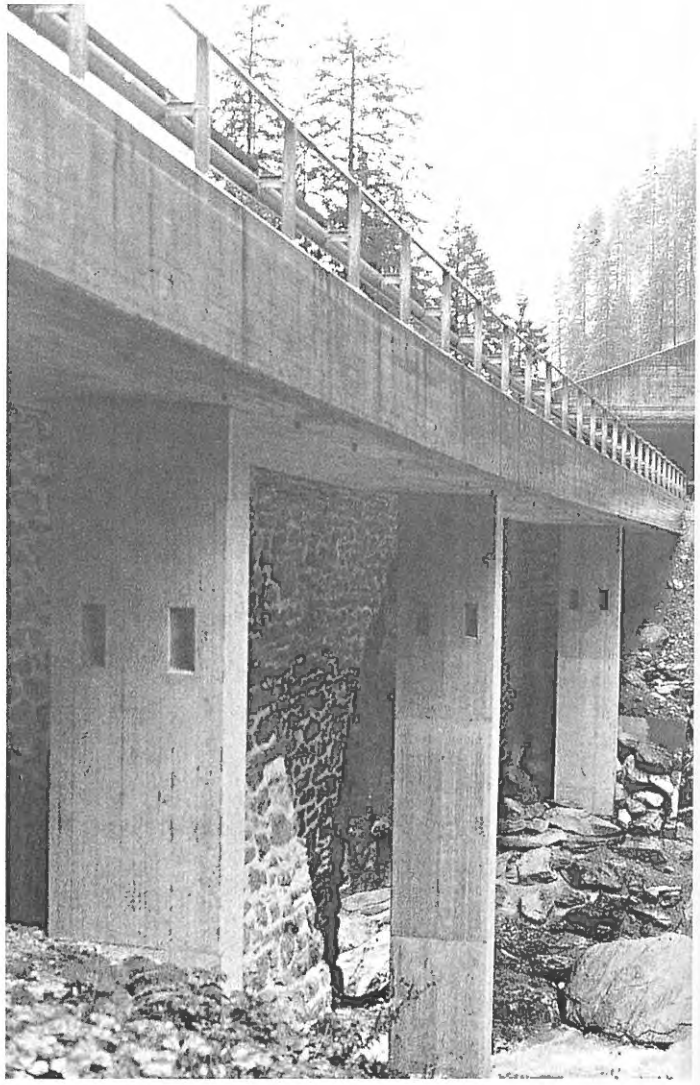
Left:
View from east. The existing installations in the river, though unsightly, had to be retained on economic grounds.

Right:
Gap between the old and the new. The notches in the piers served as bearing points for the falsework.

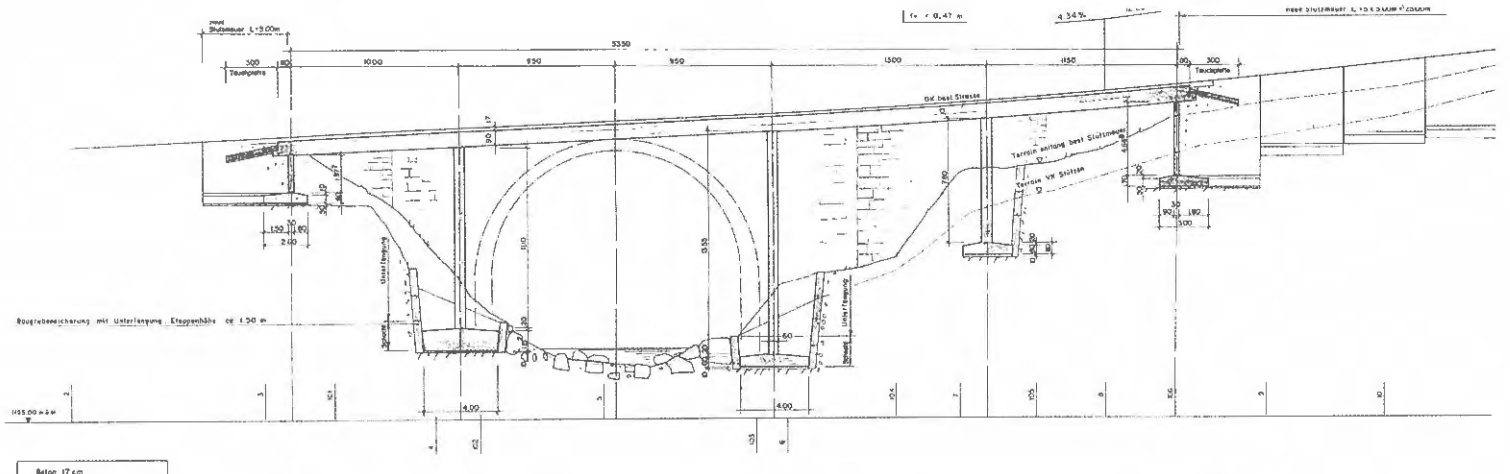


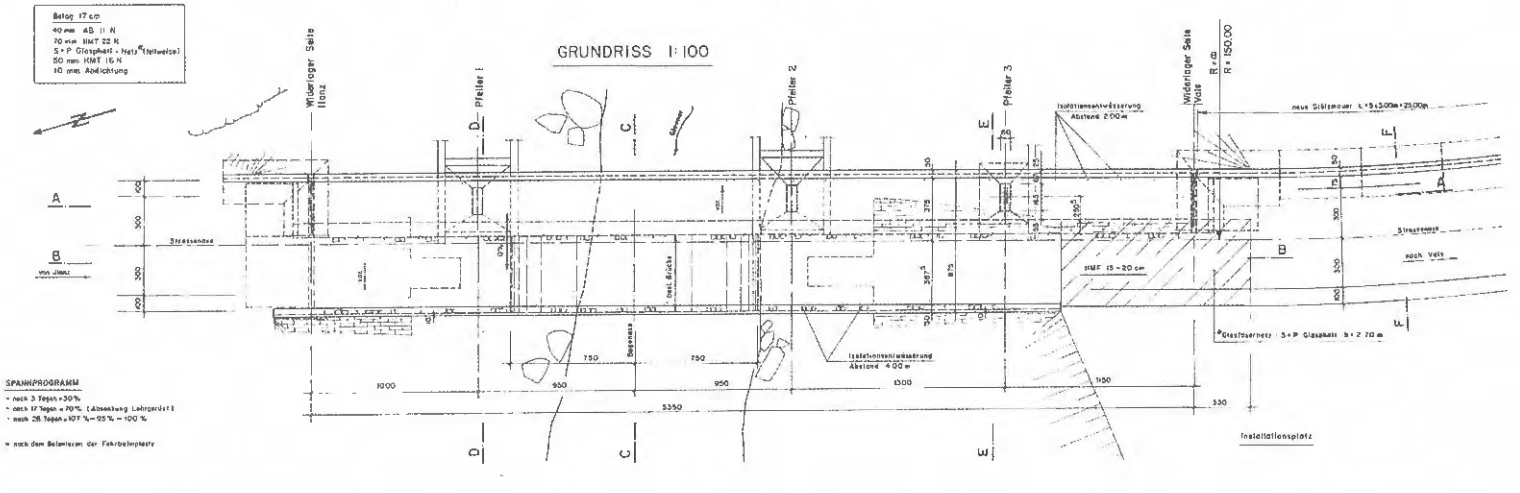
Above:
Perspective from east

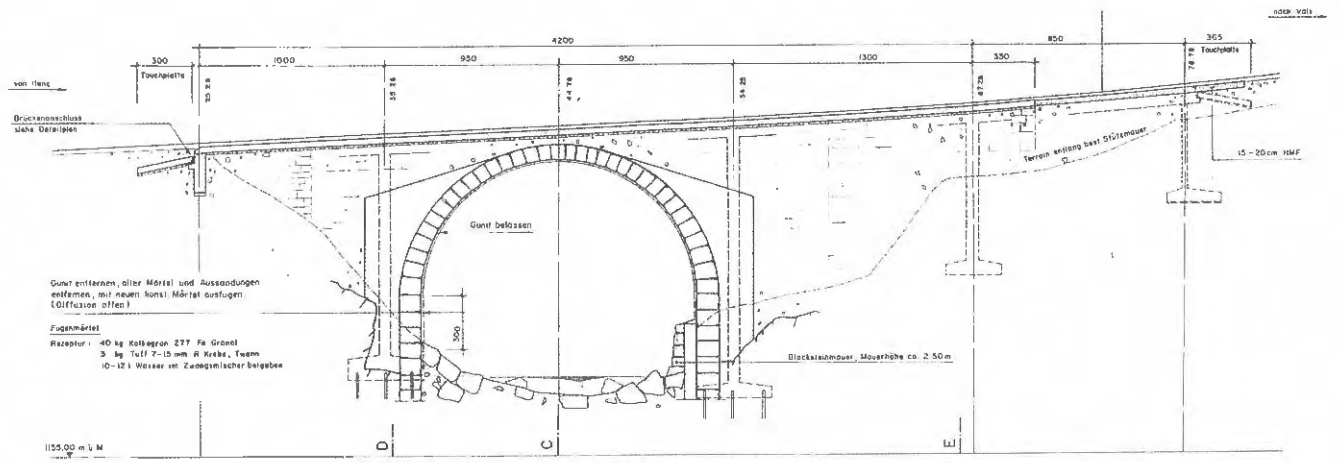
Right:
Oblique view from south



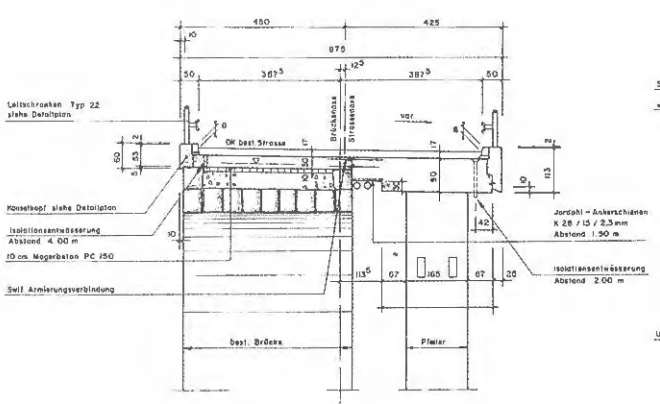
Left:
Plan and sections. The orientation of these drawings (in contrast to the one on the opposite page) follows the convention that all objects on this road should be shown with the direction 'Ilanz' on the left and 'Vals' on the right.





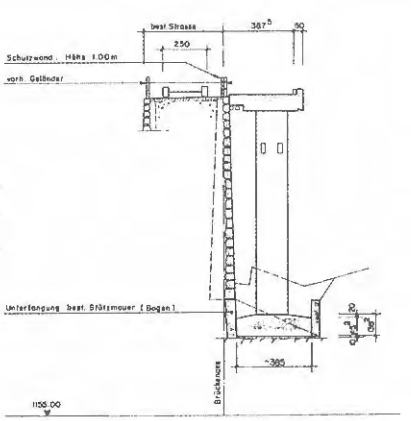


SCHNITT C–C, 1:50



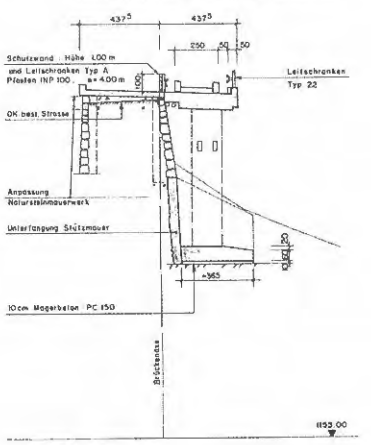
SCHNITT D–D, 1:100

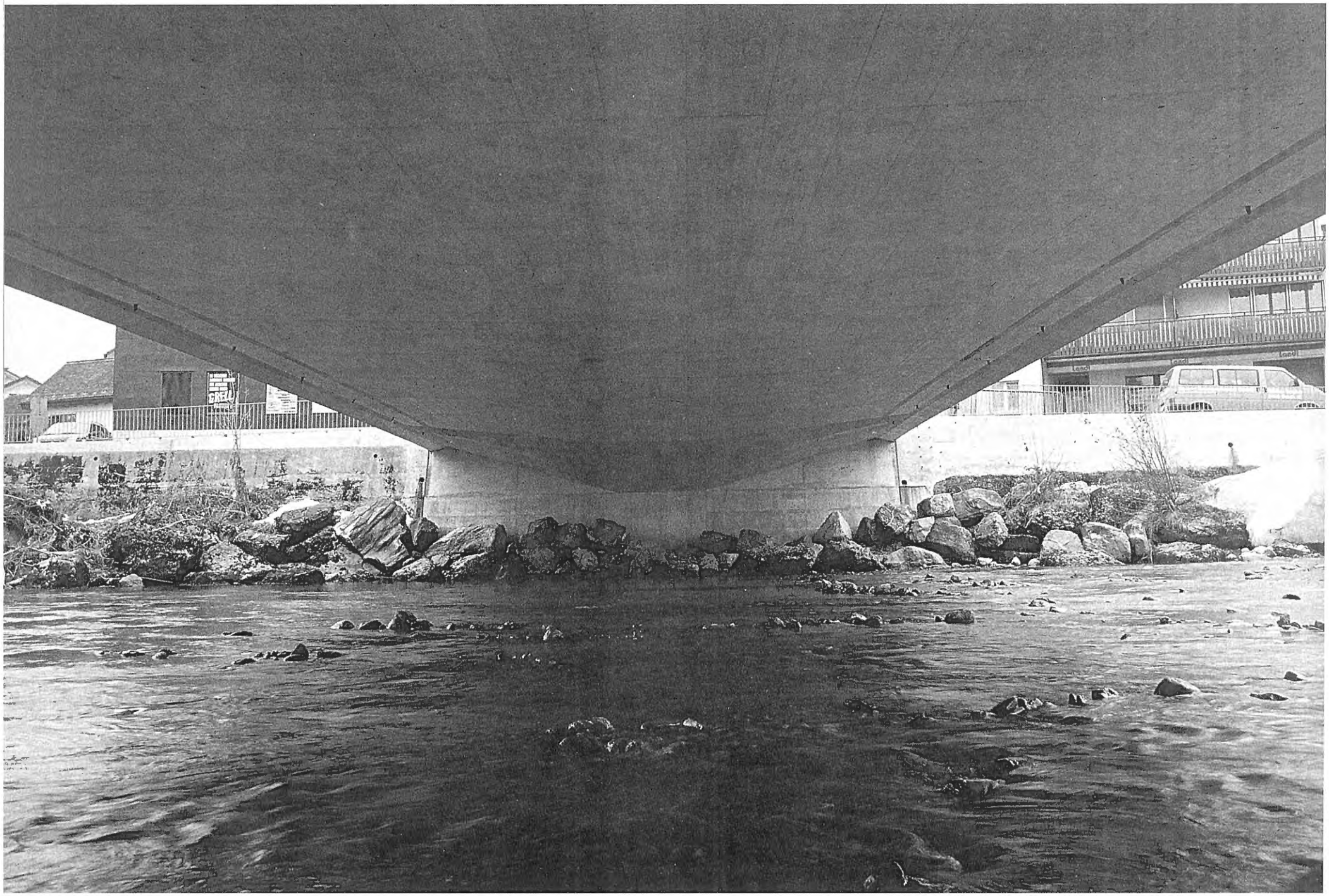
Verkehr Bauphase 1 (Verkehr auf best. Fahrbahn)



SCHNITT E–E, 1:100

Verkehr Bauphase 2 (Verkehr auf neuer Fahrbahn)




GREEN

Muota Bridge
Ibach-Schwyz
2000–01

The original Muota bridge was designed and built by Robert Maillart in 1913. It was a statically determinate articulated structure made up of two independent cantilever beams supporting a suspended slab in the centre; the beams were anchored on both sides of the river by large concrete blocks that acted as counterweights. This structure adapted to settlement, as its foundations gradually sank into the soft clay river bed. The curved, arch-like lower edge of its beams also provided the optimum flood profile. By the 1990s, however, Maillart's bridge was heavily corroded and no longer able to safely support the required traffic loads. A competition was held to design a replacement.

It was important that the profile of the new bridge should accommodate the rapidly rising flood waters of the Muota river. Another significant issue was the need to ensure that its construction did not disrupt the heavy flow of traffic along the Gotthard road. The area immediately around the bridge was built-up, so traffic could not easily be rerouted through it. Several comparative studies pointed to just one viable solution: the installation of a temporary bridge parallel to the construction site. The problem was that the roads leading to and from the temporary bridge had to run directly over the crossings alongside the river, leaving very little room for work on or behind the abutments. This arrangement also meant that the counterweights of the Maillart bridge were cut off by the traffic, which ruled out the repair and widening of the existing structure – in itself an extremely difficult task.

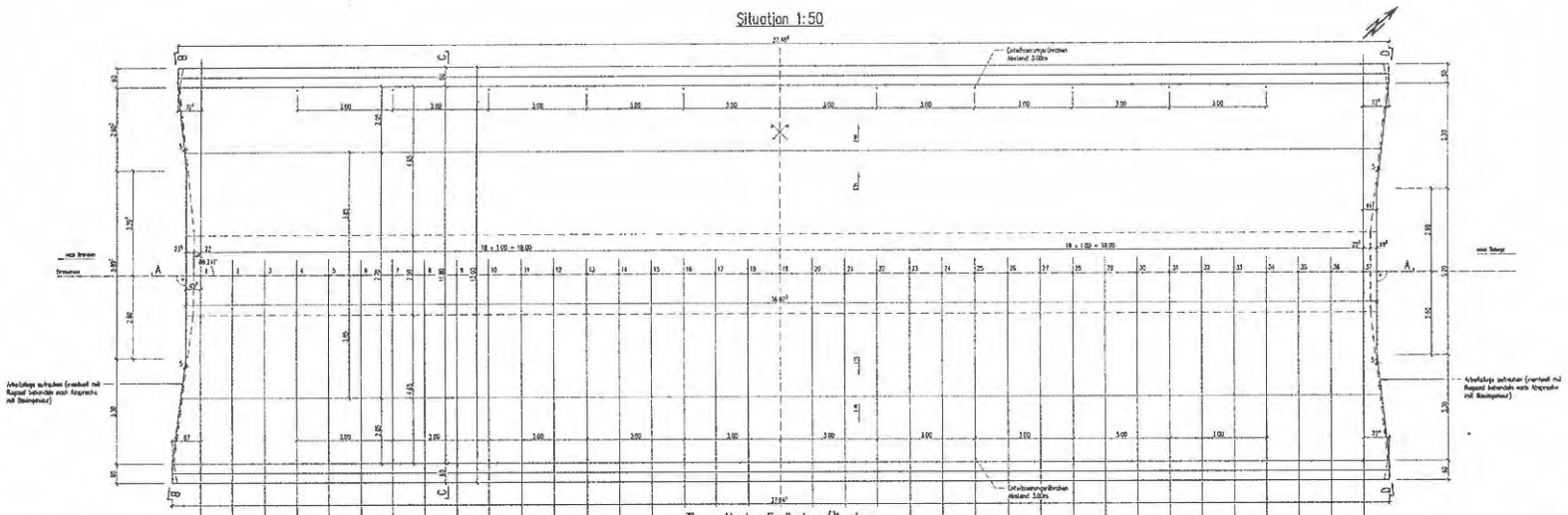
The village of Ibach is effectively divided into quadrants by the heavy traffic and by the river. To counteract this we conceived of the new bridge as a unifying element: an 'urban' structure with an open, broad carriageway offering unobstructed views in all directions. A slim-profiled structural 'frame' in post-tensioned concrete seemed to be best means of meeting these requirements, all the more so because the flatter longitudinal profile avoided the 'hump' of the old bridge, reinforcing the sense of unification.

Collaborators:
Birchler, Pfyl & Partner, Schwyz (engineers), BSS Architekten, Schwyz, Gianfranco Bronzini, Maurus Cadosch

Left:
The underside of the bridge offers no adhesion points for flotsam.

Right:
We were inspired by the urban character and fine detailing of Amerigo Vespucci bridge in Florence, designed by Riccardo Morandi (engineer) with Enzo and Giuseppe Gori and Ernesto Nelli (architects).

Situation 1:50



Theoretische Endkoten Überbau

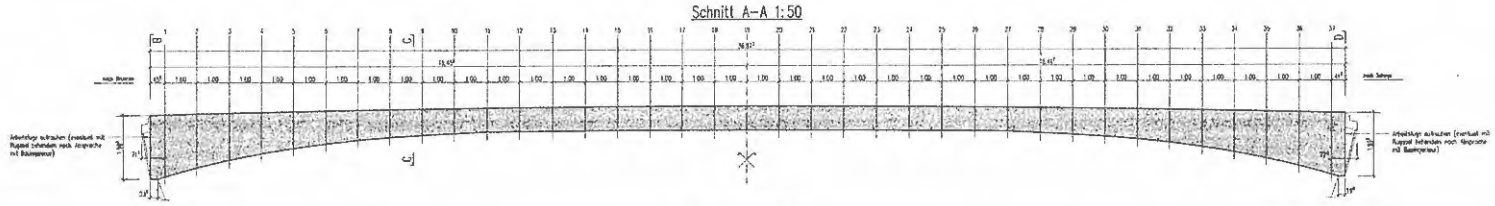
Profilbezeichnung		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		Profilbezeichnung
Zwischendistanzen	mm		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	mm	Zwischendistanzen
Kote A	m.ü.M.	454.295	454.295	454.305	454.337	454.356	454.378	454.396	454.412	454.428	454.441	454.454	454.465	454.474	454.482	454.488	454.493	454.497	454.499	454.500	454.499	454.497	454.493	454.488	454.482	454.474	454.465	454.454	454.441	454.428	454.412	454.396	454.378	454.356	454.337	454.305	454.295	454.295	m.ü.M.	Kote A
Kote B	m.ü.M.	454.169	454.185	454.216	454.241	454.262	454.281	454.299	454.316	454.331	454.345	454.357	454.368	454.378	454.386	454.392	454.397	454.401	454.403	454.404	454.403	454.401	454.397	454.392	454.386	454.378	454.368	454.357	454.345	454.331	454.316	454.299	454.281	454.262	454.241	454.216	454.185	454.169	m.ü.M.	Kote B
Kote C	m.ü.M.	454.019	454.045	454.068	454.091	454.112	454.131	454.149	454.166	454.181	454.195	454.207	454.218	454.228	454.236	454.242	454.247	454.251	454.253	454.254	454.253	454.251	454.247	454.242	454.236	454.228	454.218	454.207	454.195	454.181	454.166	454.149	454.131	454.112	454.091	454.068	454.045	454.019	m.ü.M.	Kote C
Kote D	m.ü.M.	453.986	454.010	454.032	454.053	454.073	454.091	454.108	454.123	454.137	454.149	454.160	454.169	454.177	454.184	454.189	454.192	454.195	454.195	454.195	454.192	454.189	454.184	454.177	454.169	454.160	454.149	454.137	454.123	454.108	454.091	454.073	454.053	454.032	454.010	453.986	453.960	m.ü.M.	Kote D
Kote E	m.ü.M.	454.317	454.337	454.363	454.383	454.404	454.424	454.442	454.458	454.474	454.488	454.500	454.511	454.520	454.528	454.535	454.540	454.543	454.545	454.546	454.545	454.543	454.540	454.535	454.528	454.520	454.511	454.500	454.488	454.474	454.459	454.442	454.424	454.404	454.383	454.363	454.337	454.317	m.ü.M.	Kote E
Kote F	m.ü.M.	454.306	454.331	454.355	454.377	454.398	454.418	454.436	454.453	454.468	454.482	454.494	454.505	454.514	454.522	454.529	454.534	454.537	454.540	454.540	454.540	454.537	454.534	454.529	454.522	454.514	454.505	454.494	454.482	454.468	454.453	454.436	454.418	454.398	454.377	454.355	454.331	454.306	m.ü.M.	Kote F
Kote G	m.ü.M.	453.586	453.615	453.635	453.657	453.678	453.698	453.718	453.733	453.748	453.762	453.774	453.785	453.794	453.802	453.809	453.814	453.817	453.820	453.820	453.817	453.814	453.809	453.802	453.794	453.785	453.774	453.762	453.748	453.733	453.718	453.698	453.678	453.657	453.635	453.615	453.586	m.ü.M.	Kote G
Kote H	m.ü.M.	453.711	453.738	453.760	453.782	453.803	453.823	453.841	453.858	453.873	453.887	453.899	453.910	453.919	453.977	453.934	453.938	453.947	453.945	453.945	453.945	453.942	453.938	453.934	453.927	453.919	453.910	453.899	453.887	453.873	453.858	453.841	453.823	453.803	453.782	453.760	453.738	453.711	m.ü.M.	Kote H
Kote J	m.ü.M.	452.328	452.664	452.840	453.040	453.207	453.344	453.451	453.540	453.606	453.654	453.704	453.715	453.724	453.733	453.738	453.743	453.747	453.749	453.750	453.749	453.747	453.743	453.738	453.733	453.724	453.715	453.704	453.654	453.606	453.540	453.451	453.344	453.207	453.040	452.840	452.664	452.328	m.ü.M.	Kote J

Koten Überbau in erhöhter Lage

Kontrolle der Überhöhung der Entwässerungsröhrchen muss zwischen Bauleitung und Bauingenieur bereinigt werden !

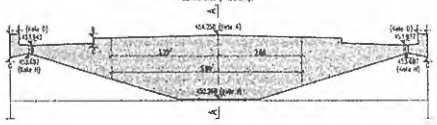
Profilbezeichnung		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37		Profilbezeichnung
Zwischendistanzen	mm		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	mm	Zwischendistanzen
Kote A	m.ü.M.	456.930	456.956	456.984	457.007	457.030	457.053	457.075	457.094	457.113	457.130	457.147	457.162	457.175	457.186	457.195	457.202	457.208	457.211	457.213	457.211	457.208	457.202	457.195	457.186	457.175	457.162	457.147	457.130	457.113	457.094	457.075	457.053	457.030	457.007	456.984	456.956	456.930	m.ü.M.	Kote A
Kote B	m.ü.M.	456.834	456.862	456.887	456.911	456.934	456.956	456.978	456.998	457.016	457.034	457.050	457.065	457.079	457.090	457.099	457.106	457.112	457.115	457.117	457.115	457.112	457.108	457.099	457.090	457.079	457.065	457.050	457.034	457.016	456.998	456.978	456.956	456.934	456.911	456.887	456.862	456.834	m.ü.M.	Kote B
Kote C	m.ü.M.	456.684	456.712	456.737	456.761	456.784	456.804	456.828	456.848	456.866	456.884	456.900	456.915	456.929	456.940	456.949	456.956	456.962	456.965	456.967	456.965	456.962	456.956	456.949	456.940	456.929	456.915	456.900	456.884	456.866	456.848	456.828	456.804	456.784	456.761	456.737	456.712	456.684	m.ü.M.	Kote C
Kote D	m.ü.M.	456.626	456.653	456.679	456.702	456.725	456.748	456.770	456.790	456.808	456.826	456.842	456.857	456.870	456.881	456.891	456.898	456.903	456.907	456.908	456.907	456.903	456.898	456.891	456.881	456.870	456.857	456.842	456.826	456.808	456.790	456.770	456.748	456.725	456.702	456.679	456.653	456.626	m.ü.M.	Kote D
Kote E	m.ü.M.	456.877	457.004	457.030	457.053	457.078	457.099	457.121	457.141	457.159	457.177	457.193	457.208	457.221	457.232	457.242	457.249	457.254	457.258	457.259	457.258	457.254	457.249	457.242	457.232	457.221	457.208	457.193	457.177	457.159	457.141	457.121	457.099	457.078	457.053	457.030	457.004	456.877	m.ü.M.	Kote E
Kote F	m.ü.M.	456.931	456.958	457.024	457.047	457.070	457.092	457.115	457.135	457.153	457.171	457.187	457.202	457.215	457.226	457.236	457.243	457.248	457.252	457.253	457.252	457.248	457.243	457.236	457.226	457.215	457.202	457.187	457.171	457.153	457.135	457.115	457.092	457.070	457.047	457.024	456.998	456.971	m.ü.M.	Kote F
Kote G	m.ü.M.	456.751	456.778	456.804	456.827	456.850	456.873	456.895	456.915	456.933	456.951	456.967	456.982	456.995	456.506	456.516	456.523	456.528	456.532	456.533	456.532	456.528	456.523	456.516	456.506	456.495	456.482	456.467	456.451	456.433	456.415	456.395	456.373	456.350	456.327	456.304	456.278	456.251	m.ü.M.	Kote G
Kote H	m.ü.M.	456.378	456.403	456.429	456.452	456.475	456.498	456.520	456.540	456.558	456.576	456.592	456.607	456.620	456.631	456.641	456.648	456.653	456.657	456.658	456.657	456.653	456.648	456.641	456.631	456.620	456.607	456.592	456.576	456.558	456.540	456.520	456.498	456.475	456.452	456.429	456.403	456.378	m.ü.M.	Kote H
Kote J	m.ü.M.	454.993	455.271	455.509	455.710	455.879	456.019	456.133	456.227	456.291	456.343	456.397	456.412	456.425	456.436	456.445	456.452	456.458	456.461	456.463	456.461	456.458	456.452	456.445	456.436	456.425	456.412	456.397	456.343	456.291	456.227	456.133	456.019	455.879	455.710	455.509	455.271	454.993	m.ü.M.	Kote J

Schnitt A–A 1:50

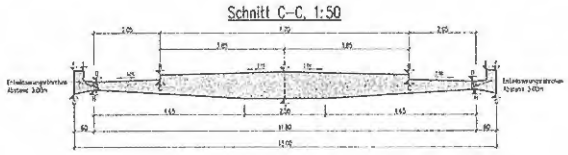


Schnitt B–B, 1:50

Schnitt entlang Arbeitsfuge

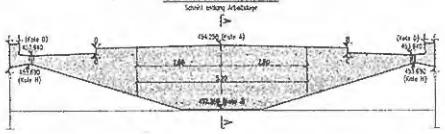


Schnitt C–C, 1:50

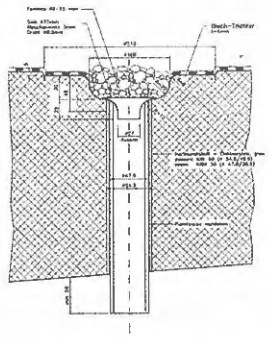


Schnitt D–D, 1:50

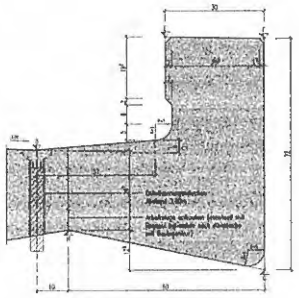
Schnitt entlang Arbeitsfuge



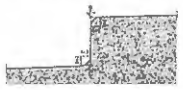
Detail Entwässerungsröhrchen 1:2



Detail Randkonsole 1:5

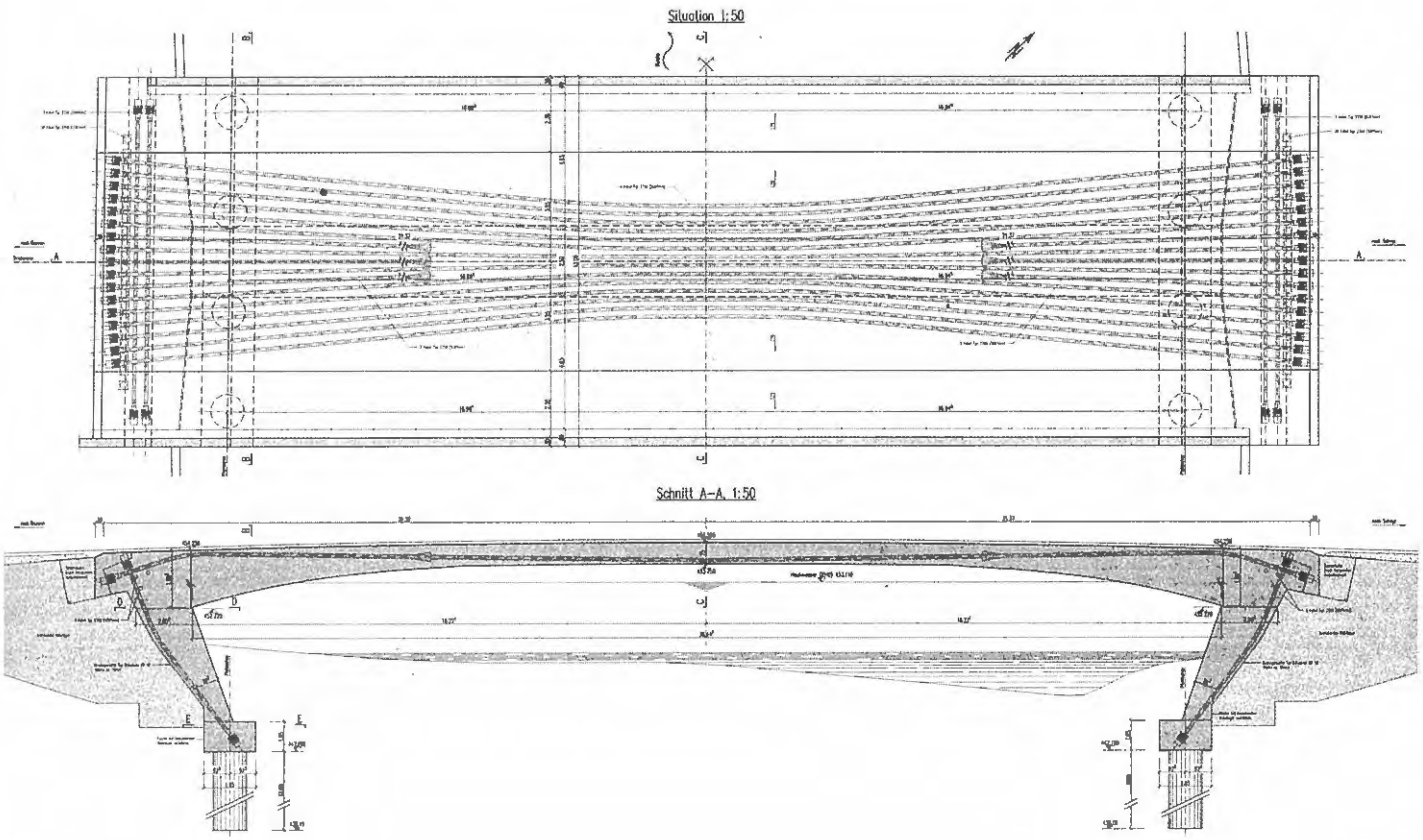


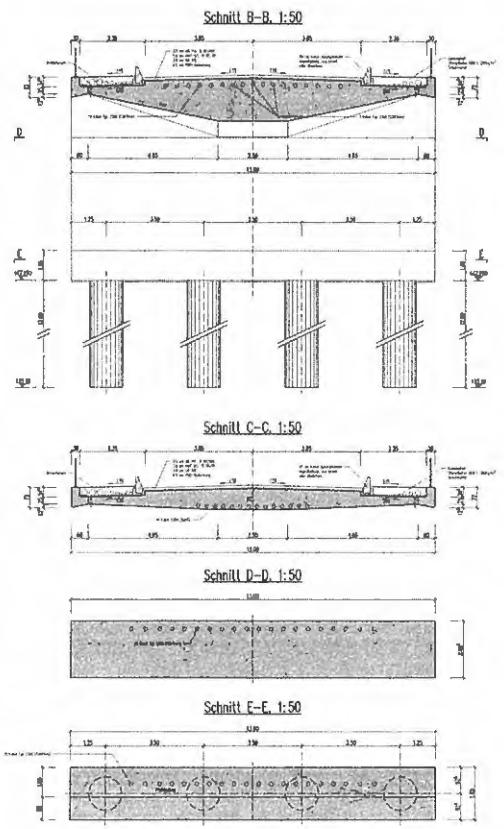
Detail Absatz 1:5



From top:
Overall plan: the cables had to be set as deep as possible in the centre of the field, which explains their concentration in the plan.
The longitudinal section shows the new frame legs leaning against the abutments of the old bridge.

Facing page:
Formwork plan and details

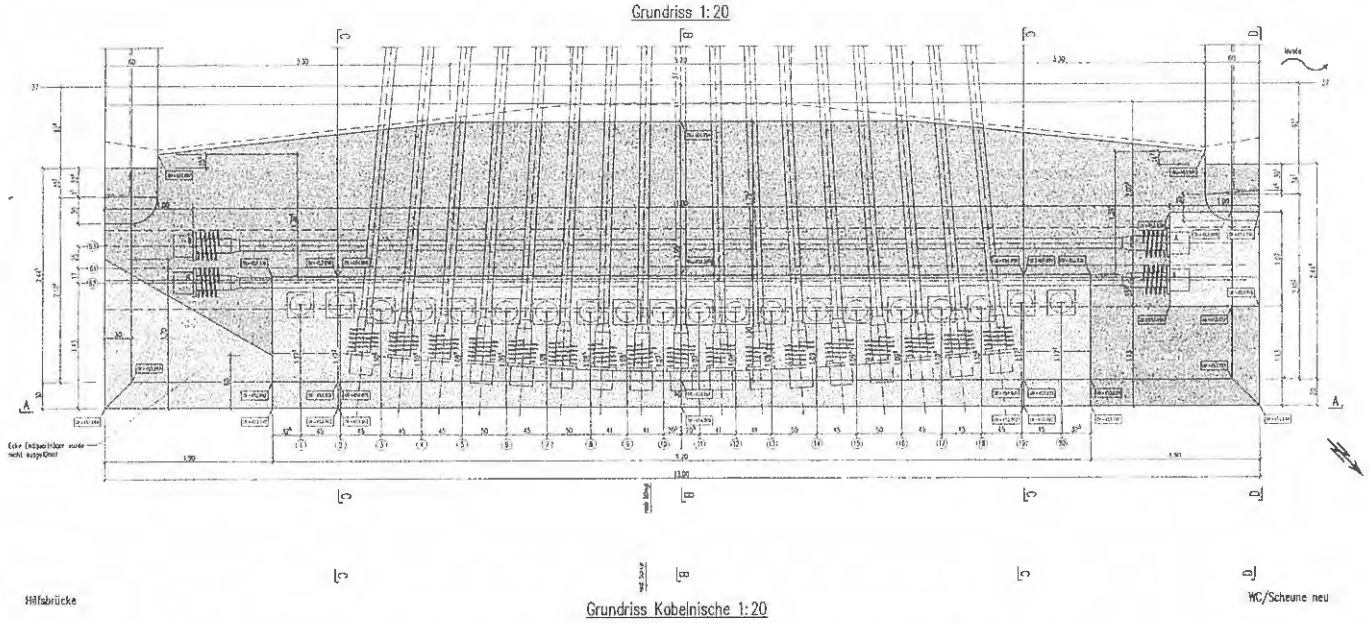




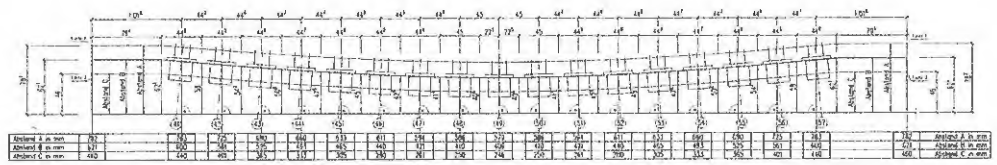
The carriageway is a solid slab with a trapezoidal section. In the area around the supports the bridge girder can tolerate occasional immersion in water: its underside has no points of adhesion for flotsam, keeping the flood discharge section intact. But bearing in mind the risk of flooding, it seemed advisable to assemble the bridge on a scaffold in an elevated position above the highwater mark and then to lower it into place. This meant that the highly loaded nodes of the frame ends could only be reinforced and poured after the carriageway had been concreted and lowered into position. In order not to complicate these operations further, most of the post-tensioning was done in two stages: first the empty conduits were embedded in concrete, and then the cables and anchors were inserted and fixed after the bridge was lowered. These cables had correspondingly to run the entire length of the bridge. At the nodes of the frame the cables are widely spaced to accommodate the anchors, whereas the cables that run below the central part of the girder are concentrated in the middle of the slab, which explains their strongly curved form in plan. The legs of the frame are fixed with large-diameter piles bored through the soft layers of clay. Interestingly, Maillart's counterweights also serve to resist the horizontal thrust of the new bridge. This was possible because the old bridge – as surveys in the 1970s confirmed – had in fact mutated over time into an arch bridge. The tips of the two cantilevers had not only moved vertically, but rotation of the abutments had brought them so close together that the suspended slab between them began to act as a compression beam, producing the static action of an arch bridge.[1] That is why the foundations of the Maillart bridge were preloaded with a horizontal thrust. Since the new bridge exerts a similar amount of horizontal force, it was appropriate to resist it with the existing counterweights. The base of the new bridge's foundations are therefore concreted directly against those of the old bridge, allowing the new structure to make the best possible use of the remains of its predecessor.

1 In a review published in December 1913 in the *Schweizerische Bauzeitung*, Jegher criticized the architectonic form of the bridge, with its massive parapet, as dishonest, because it falsely gave the impression of a shallow arch bridge. The bridge, in settling, evidently took the matter to heart.

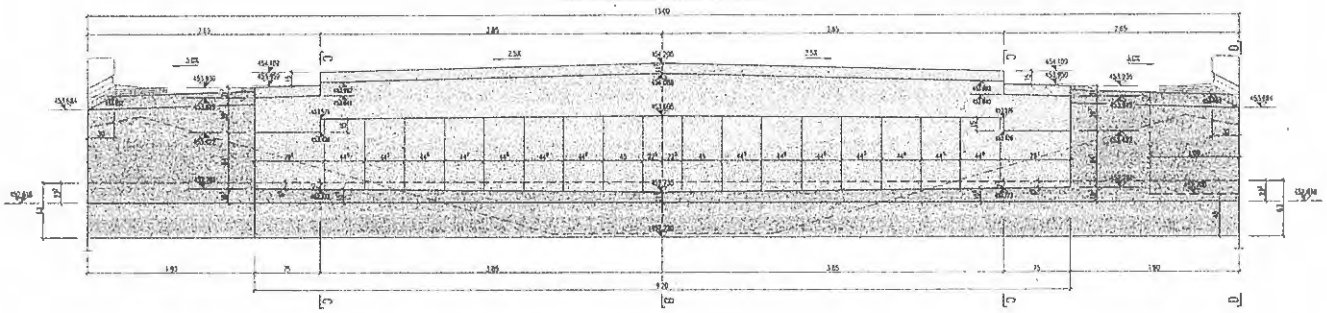
Grundriss 1:20



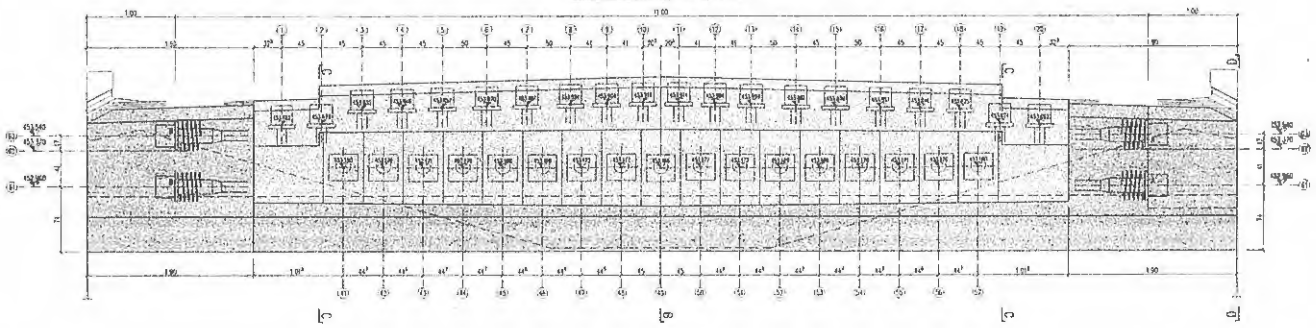
Grundriss Kabelnische 1:20



Ansicht A–A (Schalung) 1:20

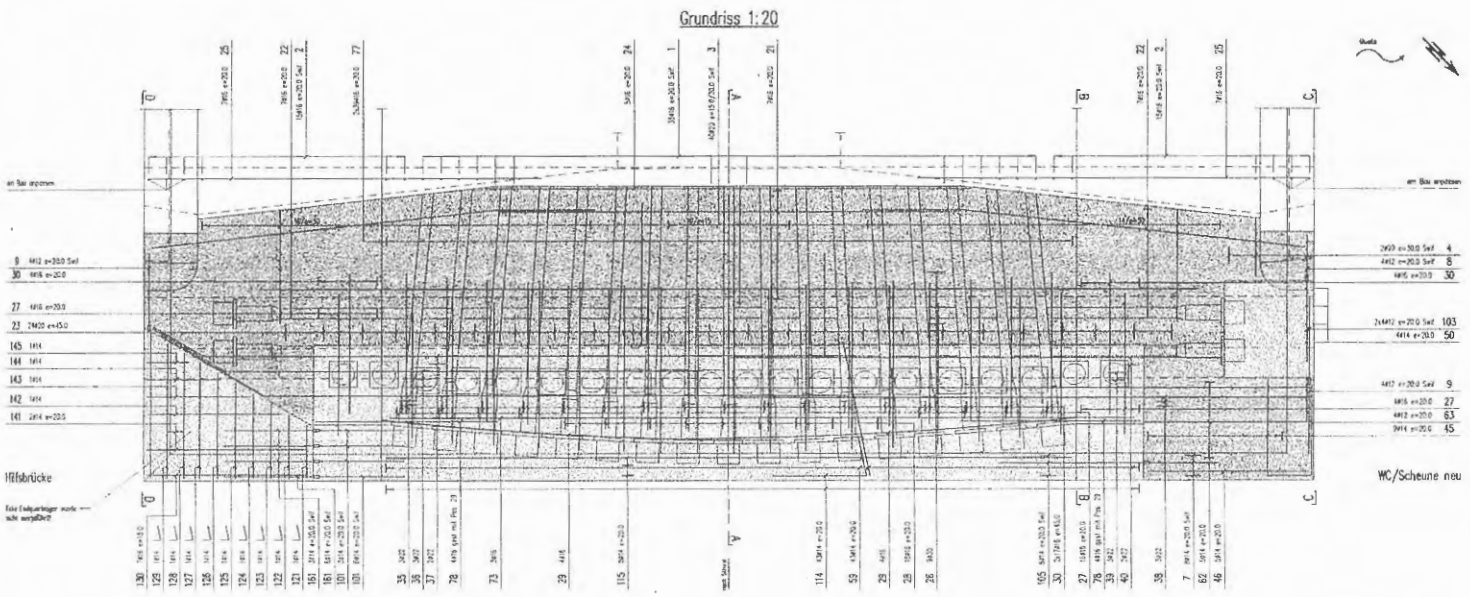


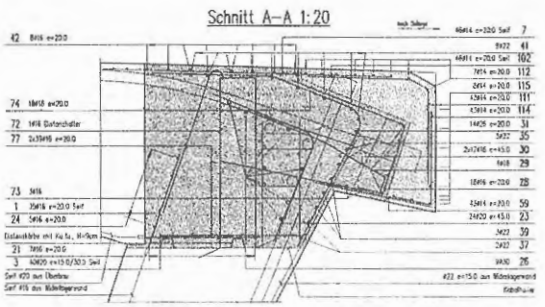
Ansicht A–A (Kabel) 1:20

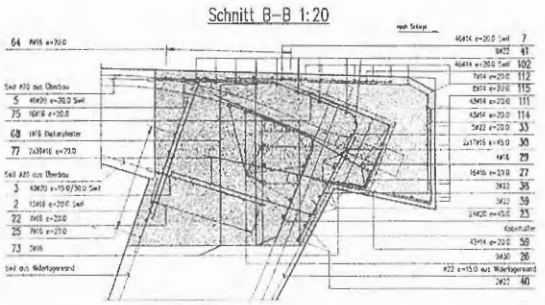


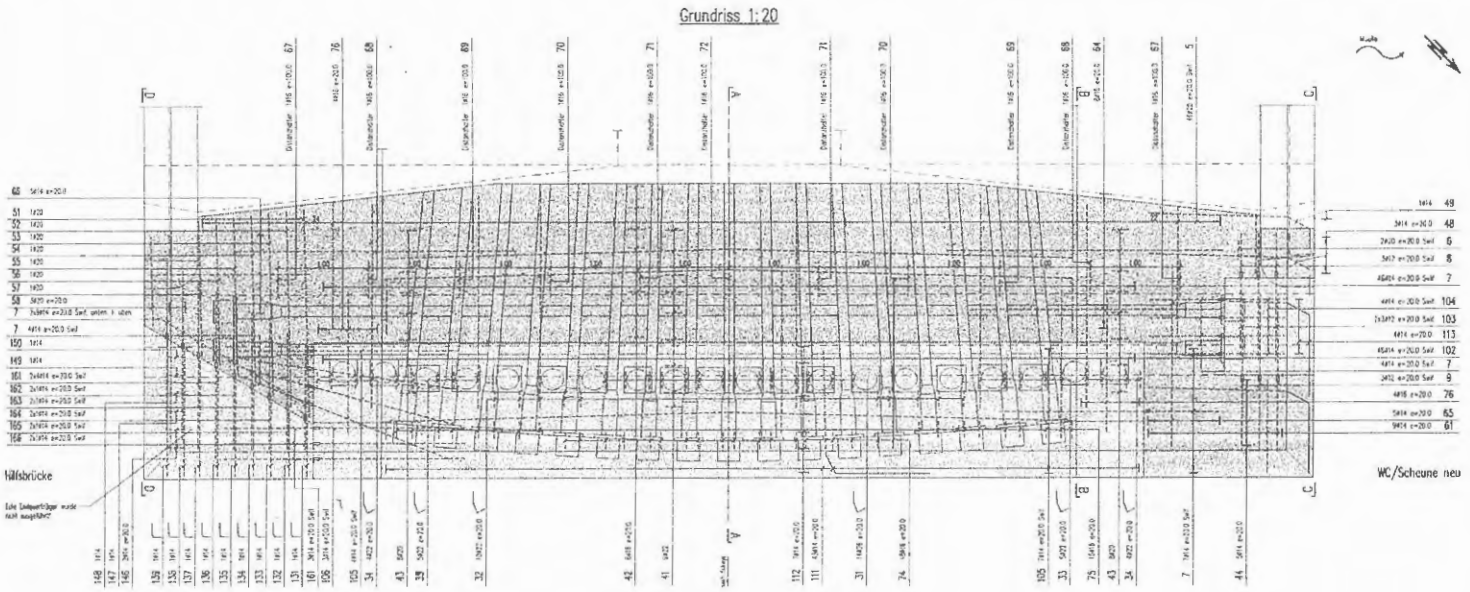
Left:
Formwork, cable and anchor plan for abutments and frame legs

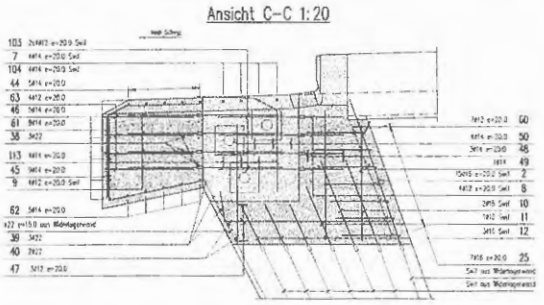
Below:
Reinforcement of abutments and frame legs

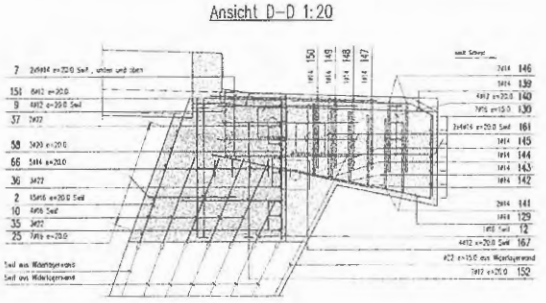




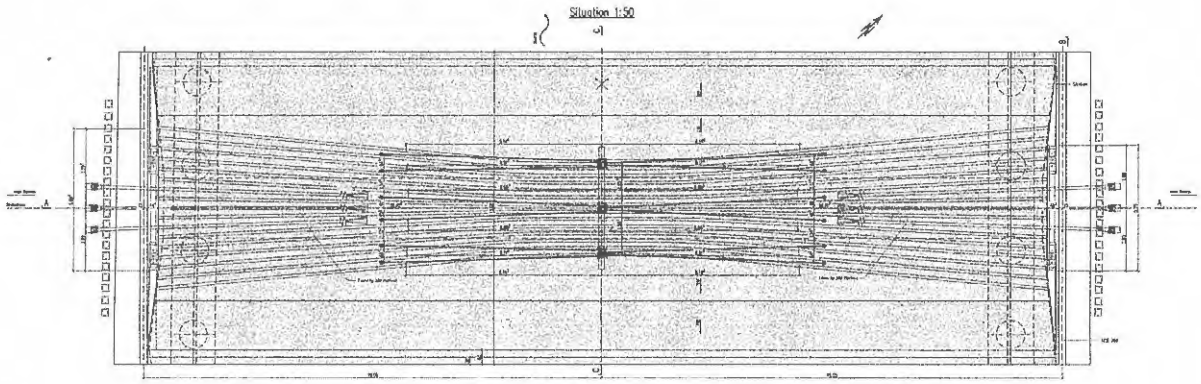


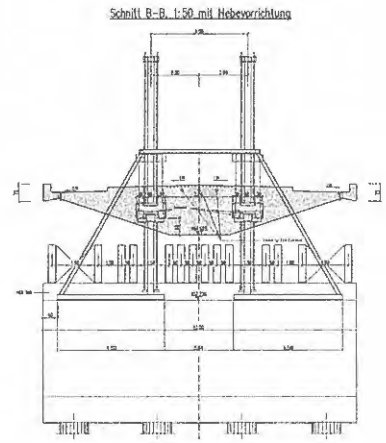


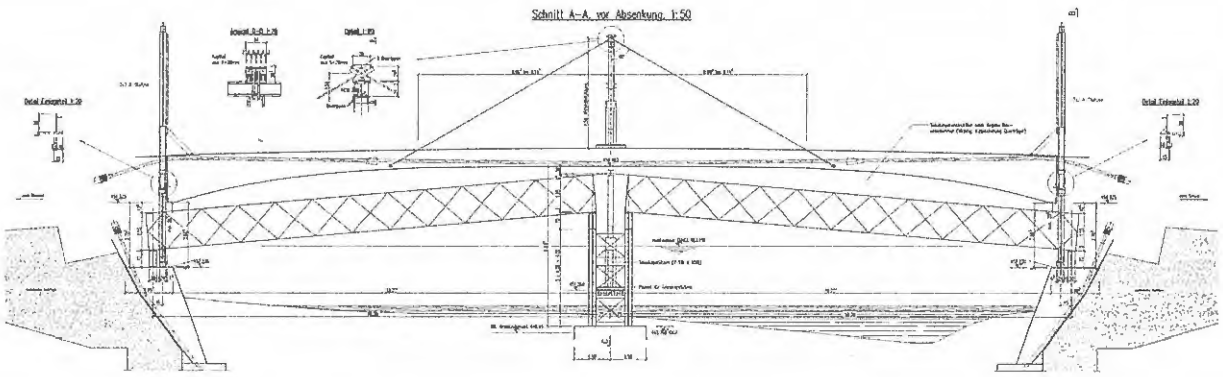


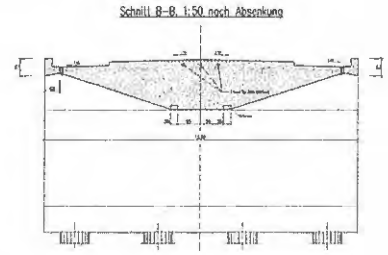


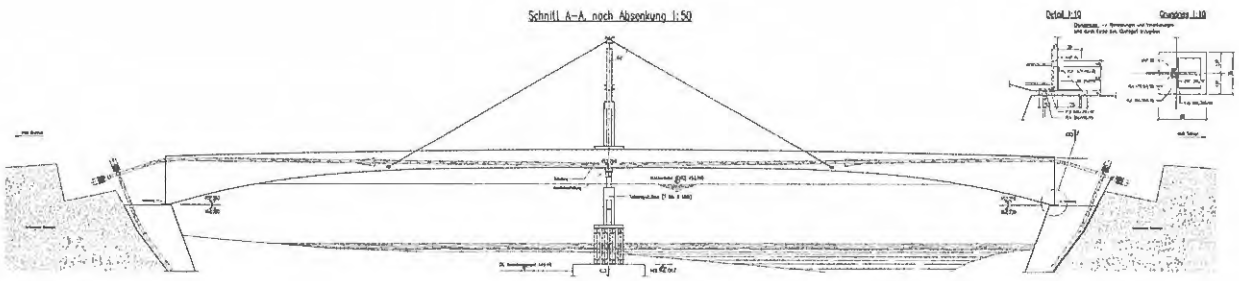
Below:
Temporary measures for lowering the bridge girder into its final position

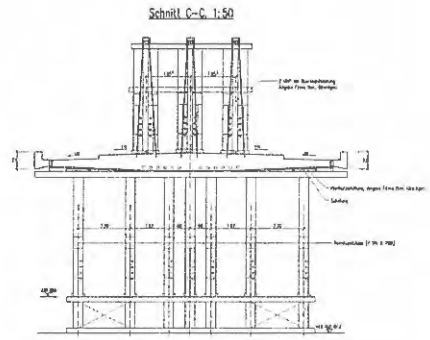






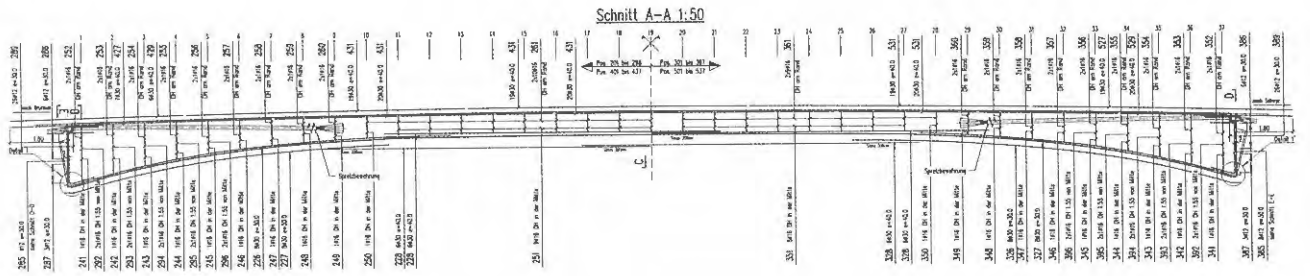


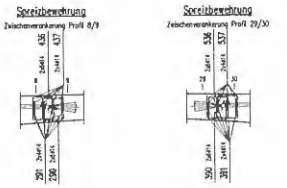


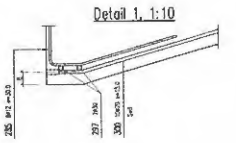


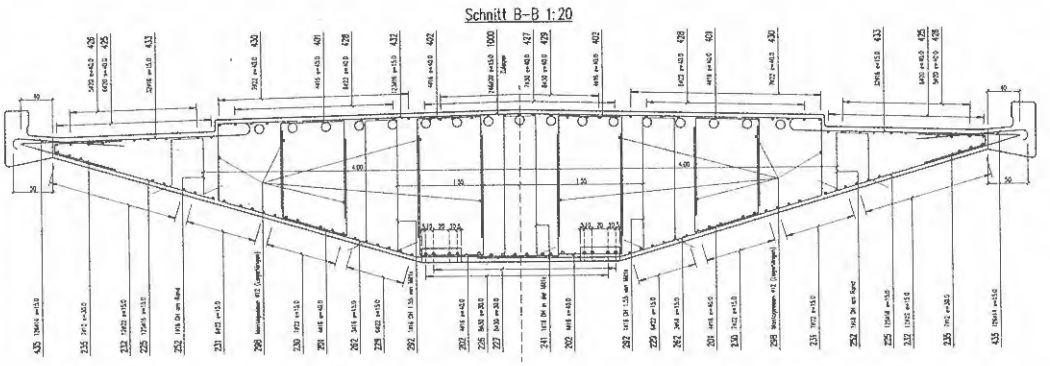
Below:
Reinforcement of bridge girder

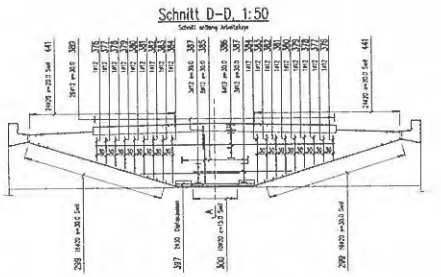
Overleaf:
View from west

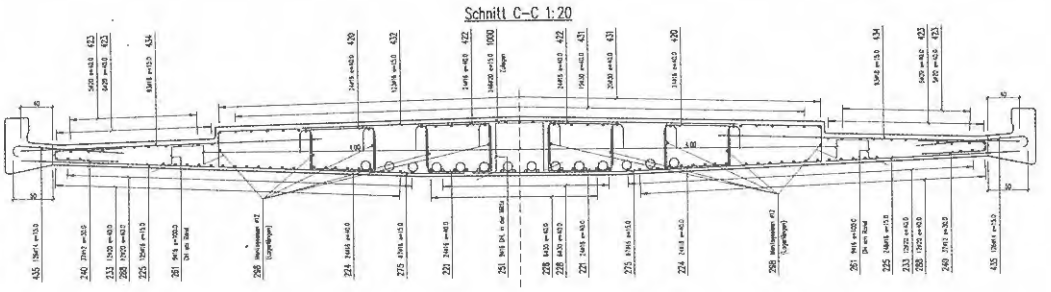


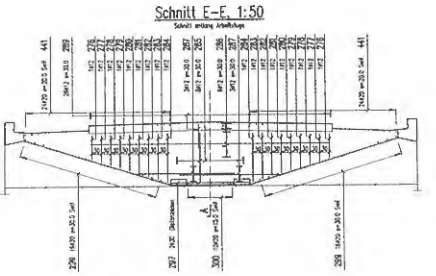




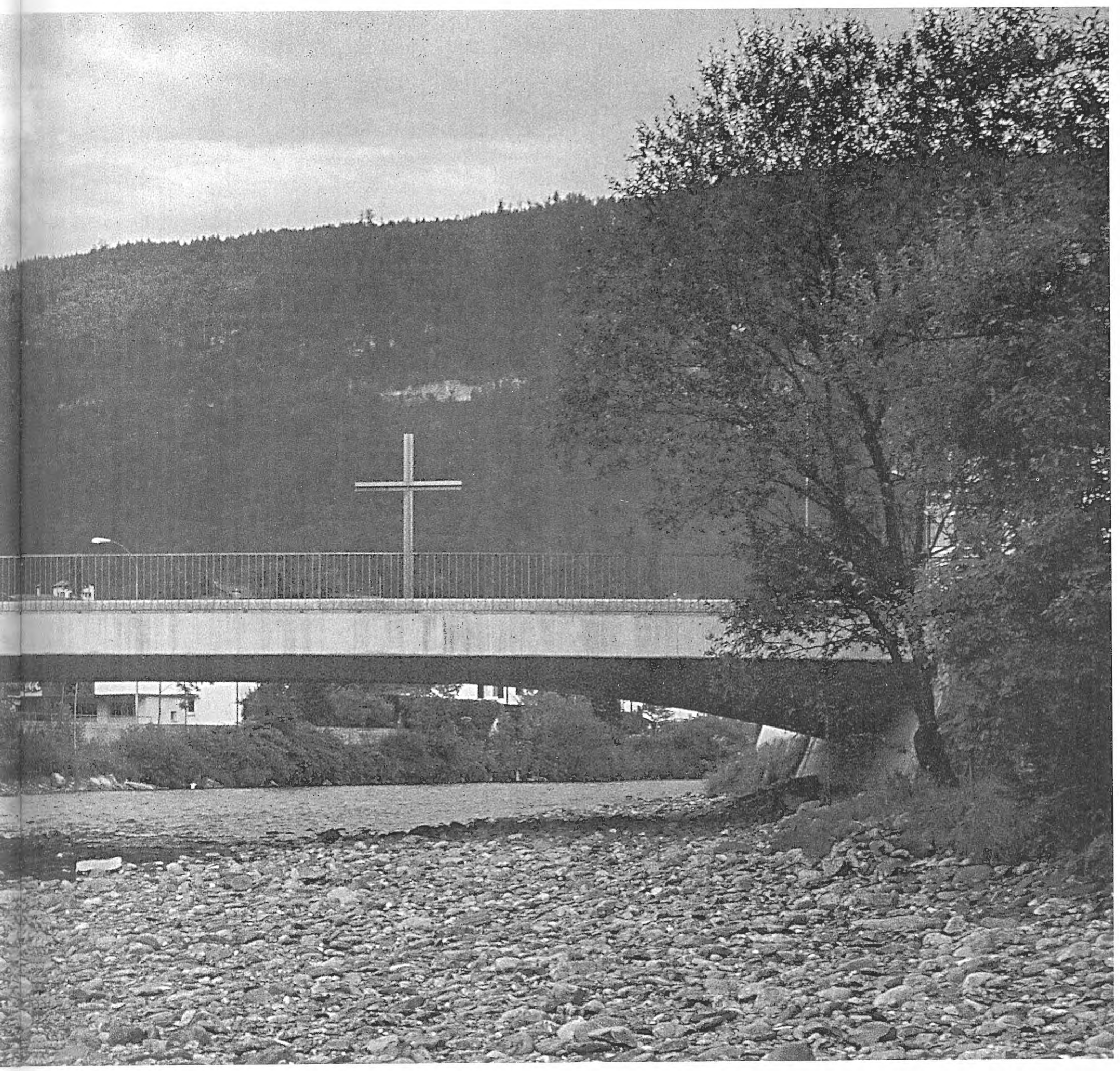


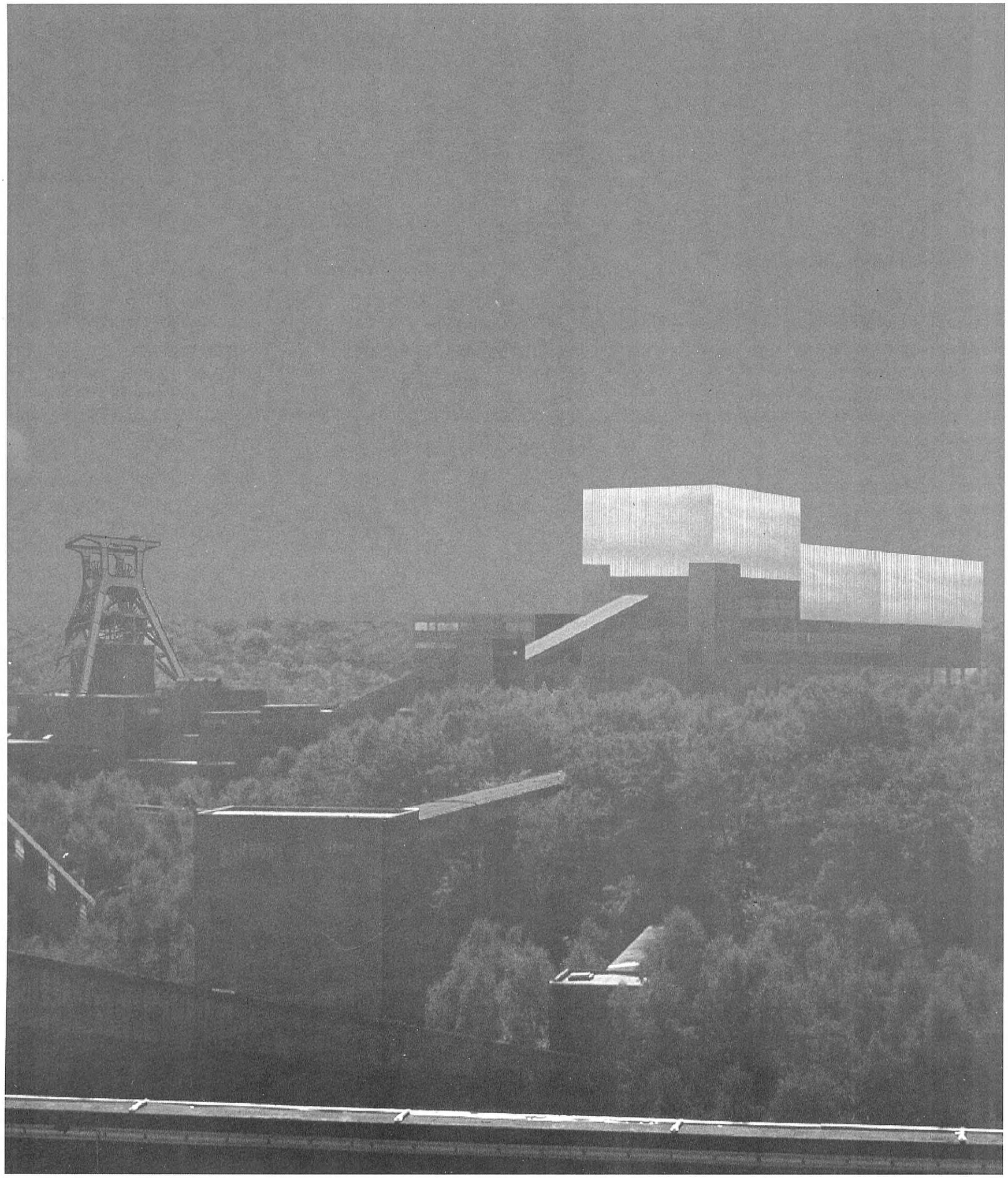




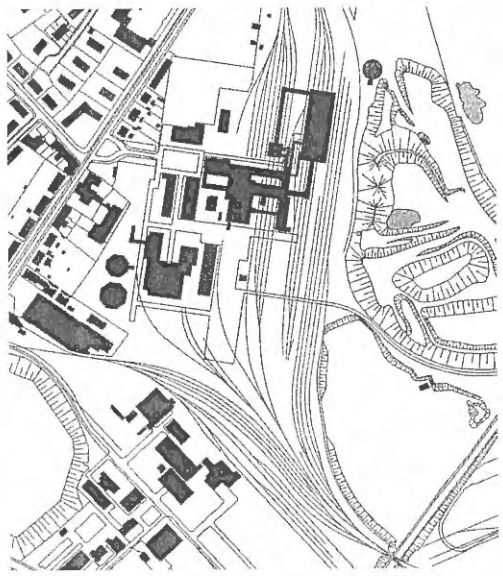


nossenschaft





Zeche Zollverein
Essen
1999



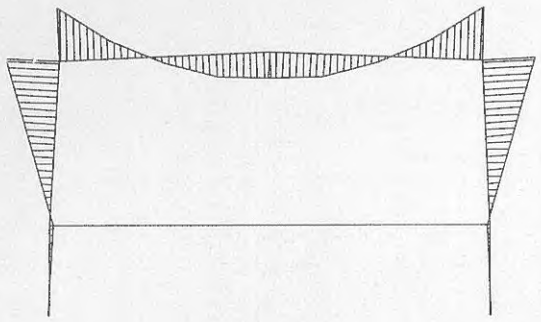
Within the framework of IBA Emscher Park, a competition was held to rehouse the Ruhrland Museum in the Zeche Zollverein, a showpiece of German industrial architecture. Our proposal preserves the integrity of the complex and creates the required new museum spaces by adding another storey to the former coal-washing plant.

The existing plant is faced in concrete up to a height of 17 metres. Above the concrete rises a steel frame. The hall-like topmost storey is spanned by two-hinged metal beams made of a special copper-iron alloy that has resisted corrosion but turned brittle with age, and is now unsuitable for welding connections. Our solution was to add a second frame structure on top of the existing beams, but place it 'upside down', so that the existing horizontal element becomes a mirror axis. Since the new structure is now supporting a floor rather than a saddle roof, triangular spandrels are inserted in the upper corners to carry the flooring. The additional available height is used to reinforce the horizontal element. The new floor is then post-tensioned so that it exerts outward-directed forces on the new vertical frame elements, causing bending moments to arise at the points where it joins the existing horizontal frame. The post-tensioning forces are calculated so that the new frame corner moments coming from above neutralize the existing ones below. This means that the bending moments in the existing parts of the frame are practically eliminated, freeing its cross section to take up the axial forces. The frame elements are thus strong enough to support the weight of the additional storey without reinforcement. Despite the upwards extension of the portal beams, the existing concrete roof is retained and the interior space is preserved in its original condition. The only incision is in the concrete slab in the axis of the roof frame, to allow the new stays to be connected with the existing structure.

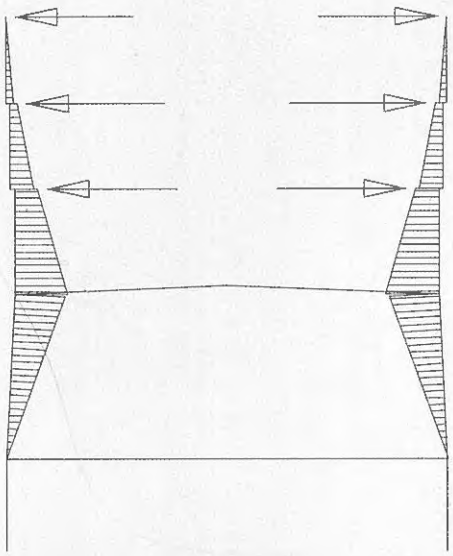
Architect:
Diener & Diener, Basel
Collaborator:
Marcus Schmid

Left:
Night view

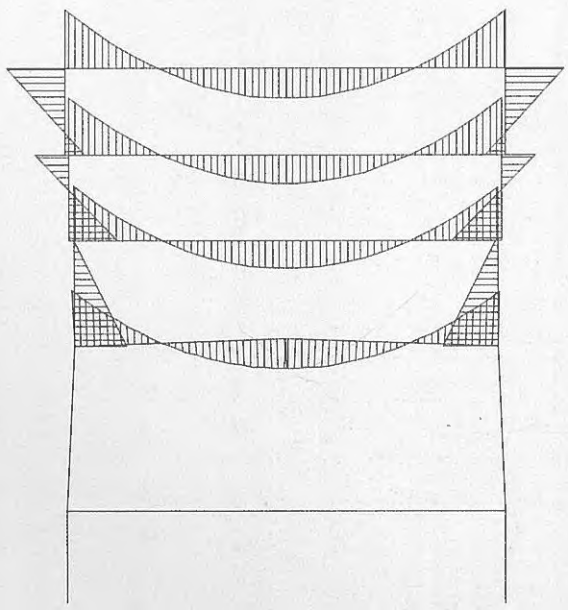
Right:
Site plan



Existing structure



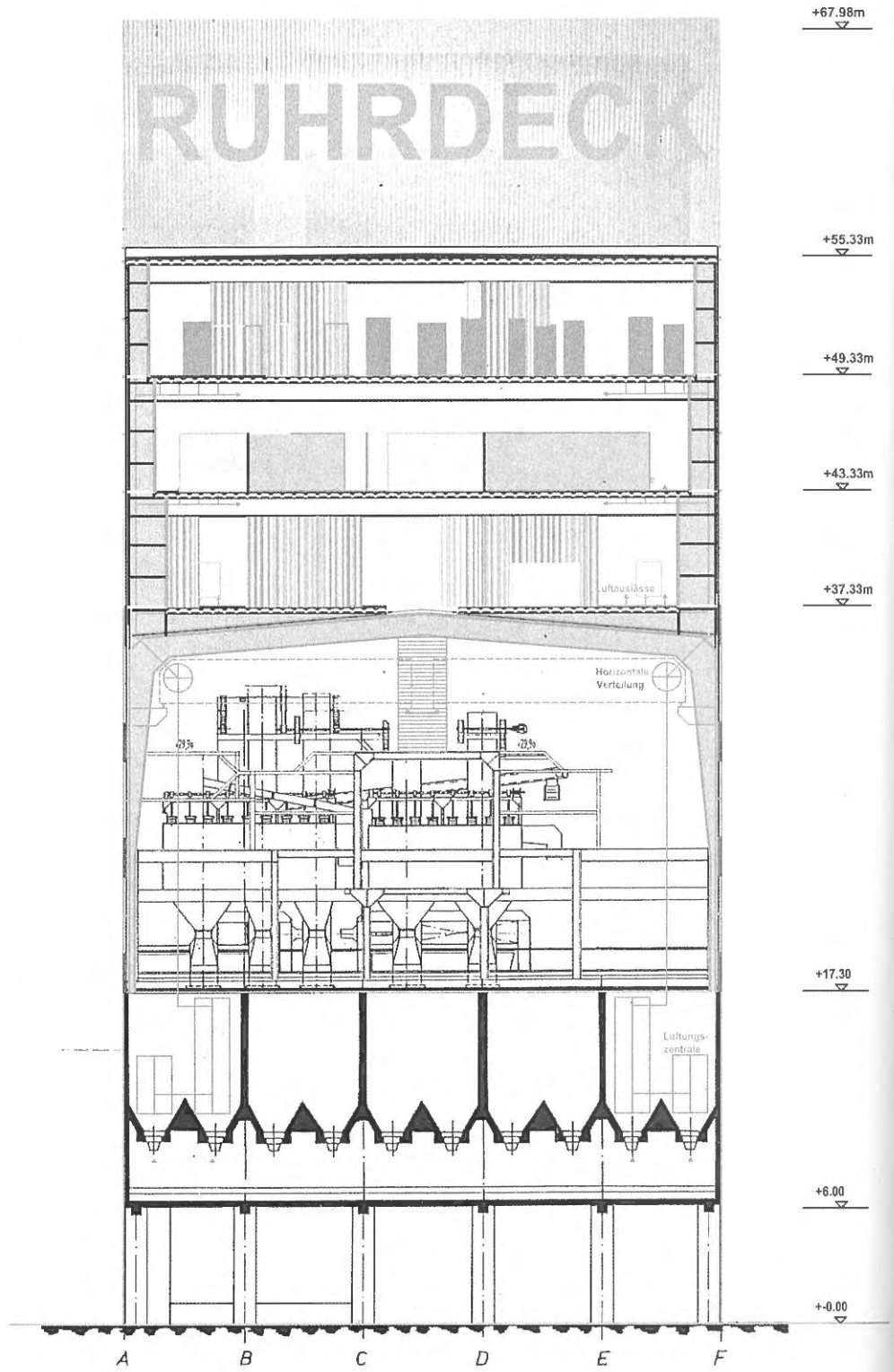
The addition of a new frame structure creates an effect of post-tensioning



And eliminates the bending moments in the frame elements

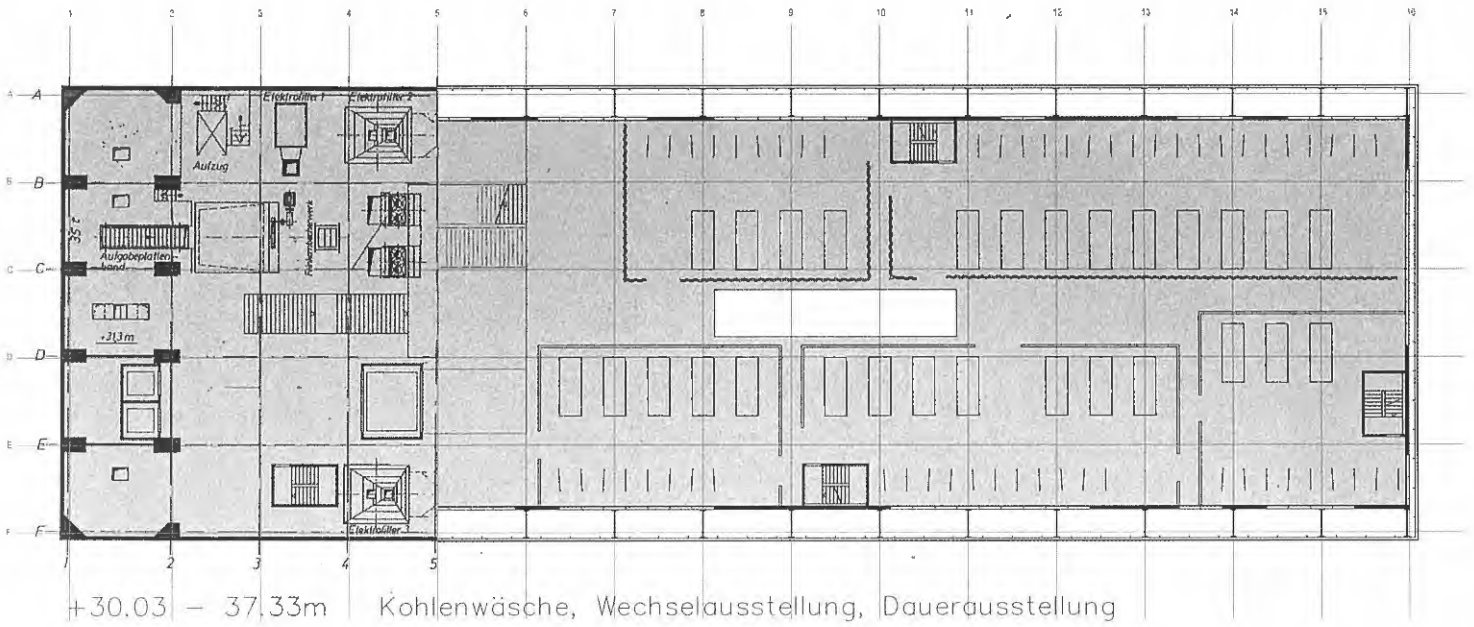
Left:
Adding a storey to the existing structure changes the bending moments of the frame elements

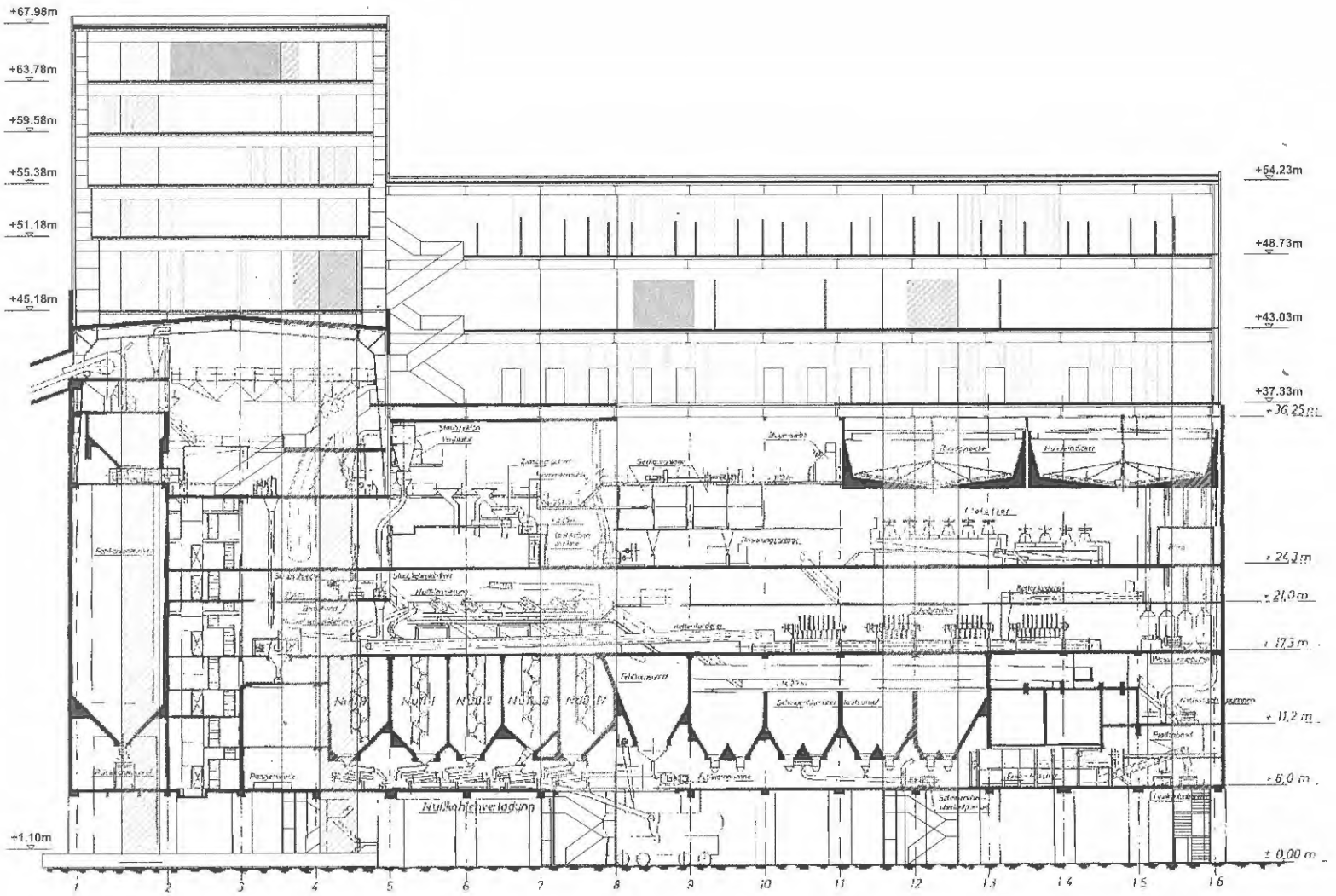
Below:
Cross section showing the museum spaces accommodated within the new frame structure



Top:
Plan at level 30.03–37.33 m,
showing coal-washing plant,
temporary exhibition space,
permanent collection

Bottom:
Longitudinal section





Engineering and Architecture

With the projects described in the first section, structural rules were applied like tools at the beginning of the architectural design, so influencing its development. By contrast the following buildings all started out with strong architectural concepts that demanded a response from the engineer. How can you stabilize parallel rows of stack walls without lateral bracing? How can you make a woven facade work structurally? What is an economical way of building a concrete structure with a wide cantilever? In this context the construction has a double task: to fulfil the external demands while also remaining true to its internal principles, to a structural ethics which dictates that a work should meet all static requirements practically and 'correctly' without necessarily making a big show of it. Thus, for example, the application of the post-tensioning technique is not visible on the exterior of either the St Luzisteig Canteen or the Zurich Stadium, but can only be perceived indirectly – a fact that in no way undermines the value of these structures, of course. At the Expo Pavilion and at Worb Station, on the other hand, the mechanism is already visible, and can be felt by plucking at the tension elements.

With the stadium in Zurich, the financial concerns of the constellation of clients has left no scope for any form of extravagance. The external demand is to define the lowest-cost solution for a large-perimeter building that will fulfil the architectural aims recognized by all parties (five-sided plinth, five-sided wreath, cantilevered roof). It is of some consolation to see the ideal of a synthesis of disciplines prove its worth even within these restrictions.

In the case of St Luzisteig the external demand was to achieve a wide cantilever with the minimum of deformation, taking account of the brittle glass facade. The easiest thing would have been to integrate steel supports into the facade – but that would have been cheating. Instead a practical solution was found in the form of a differentiated use of materials.

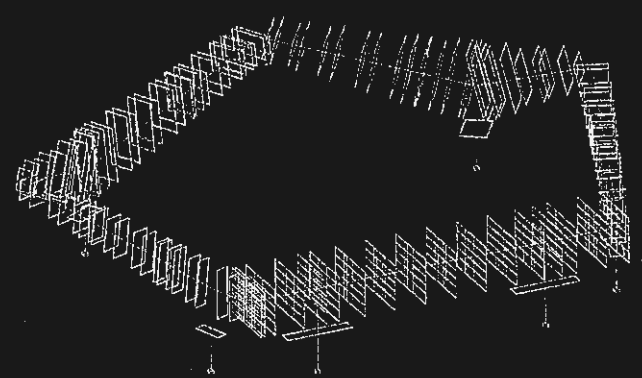
Post-tensioning and friction were the themes that determined the structure of the Swiss Pavilion at the Hanover Expo, in tandem with the demand that the parts of the building should remain intact and reusable once the Expo was over. The constructional aim was clear from the beginning, and the task was to take the initially vague ideas for a solution and give them greater architectural and technical precision. Ultimately, the protracted design process produced a structure whose architecture and construction were consistent in every detail.

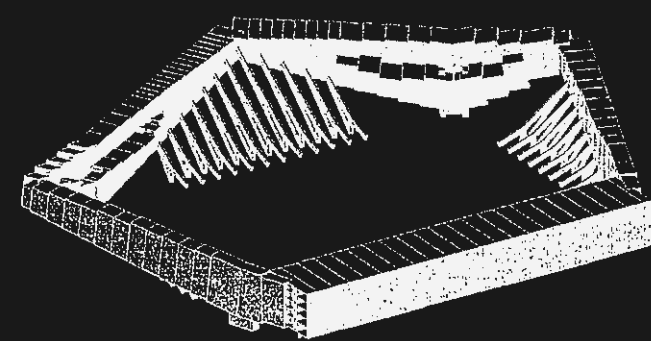
The dual nature of the engineer's role became particularly clear in the development of Worb Station. Designing a facade that is transparent but at the same time enclosing is a task that can only be solved with architectonic means. But on another level the principle of post-tensioning, combined with the exploitation of the friction of the woven facade, provided a constructive logic that gave precision to the design. The joint operation of architectonic and structural considerations created a system free of arbitrariness. JC

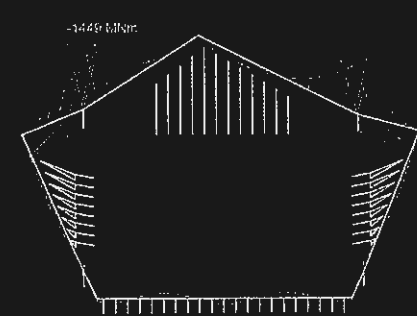
Facing page:
Development of structural system for Zurich Stadium

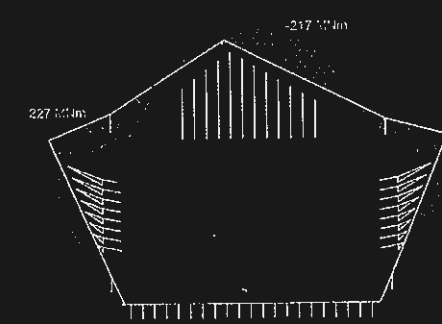
Left, from top:
Preliminary structural system – a hollow box girder resting only on its main piers
Corresponding vertical bending moments
Grandstand trusses as a passive element

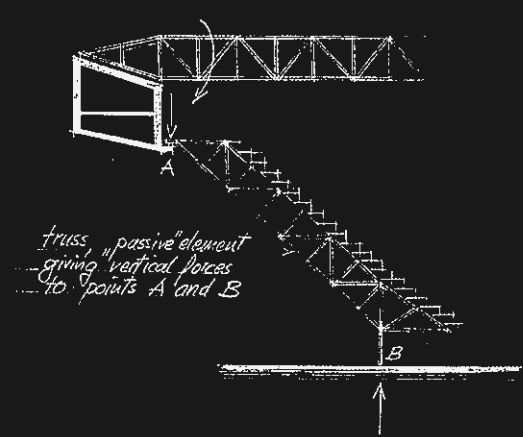
Right, from top:
Final structural system – a hollow box girder with openings, resting on piers and inclined struts
Corresponding vertical and horizontal bending moments
Grandstand trusses as an integrated structural element

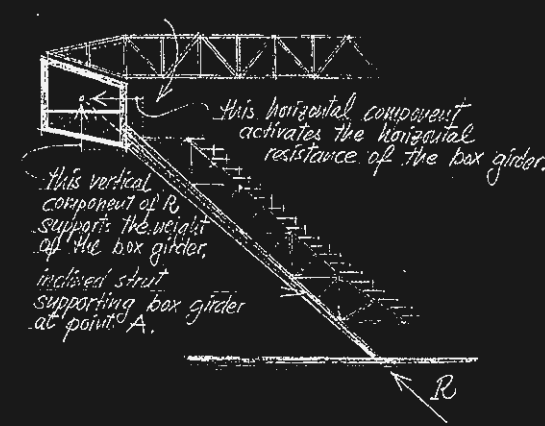


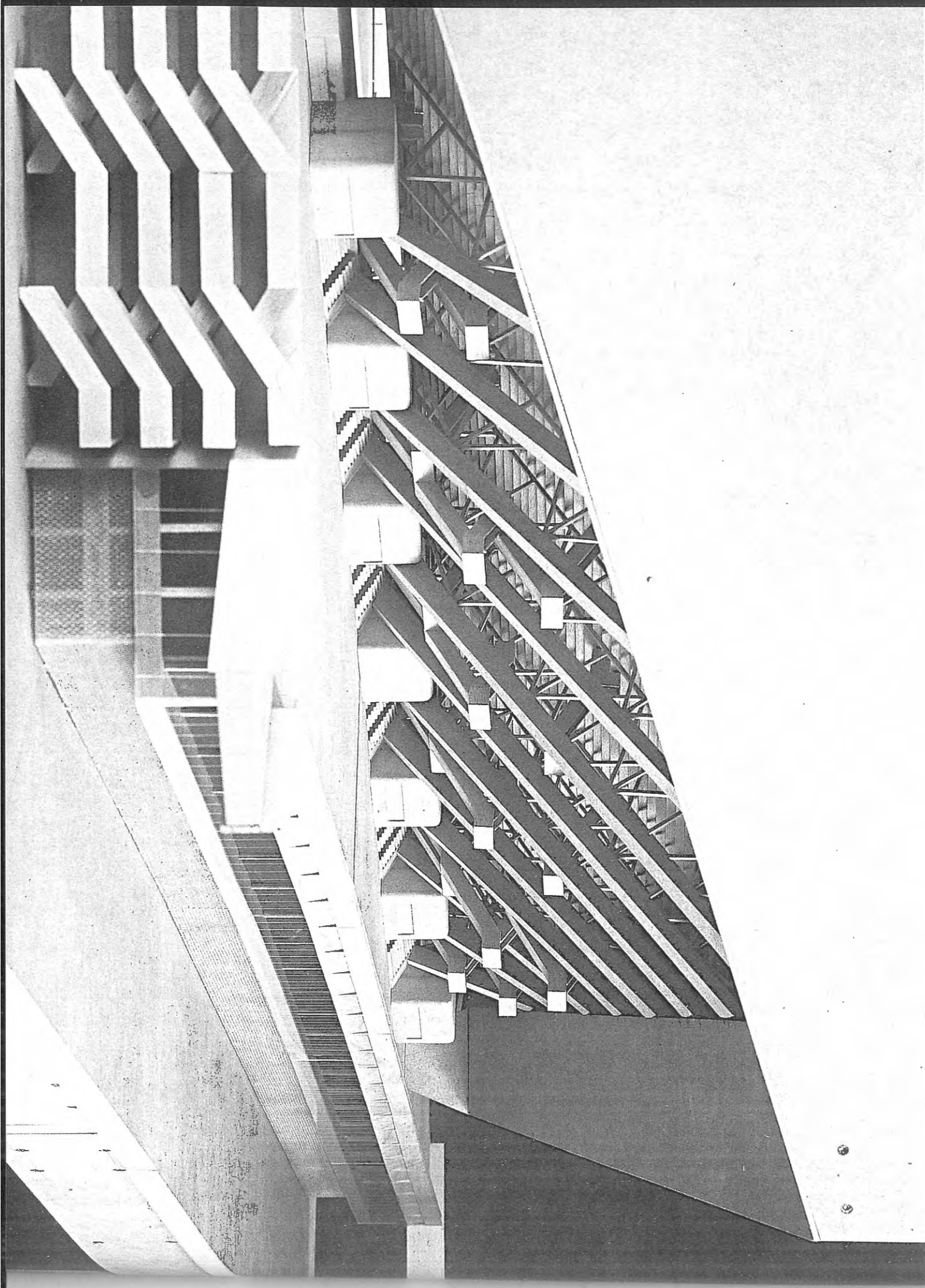



-1449 MNm

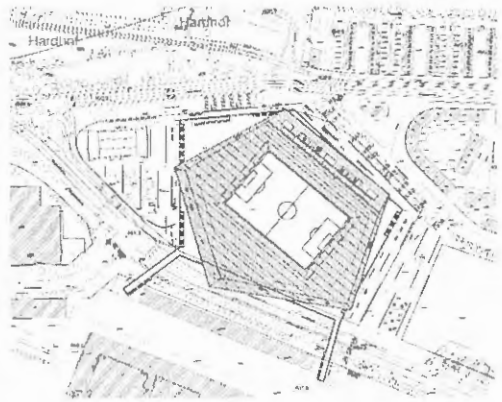

-217 MNm
227 MNm


A
B
truss, „passive" element giving vertical forces to points A and B


this horizontal component activates the horizontal resistance of the box girder.
this vertical component of R supports the weight of the box girder,
inclined strut supporting box girder at point A.
R



Hardturm Stadium
Zurich
2000-

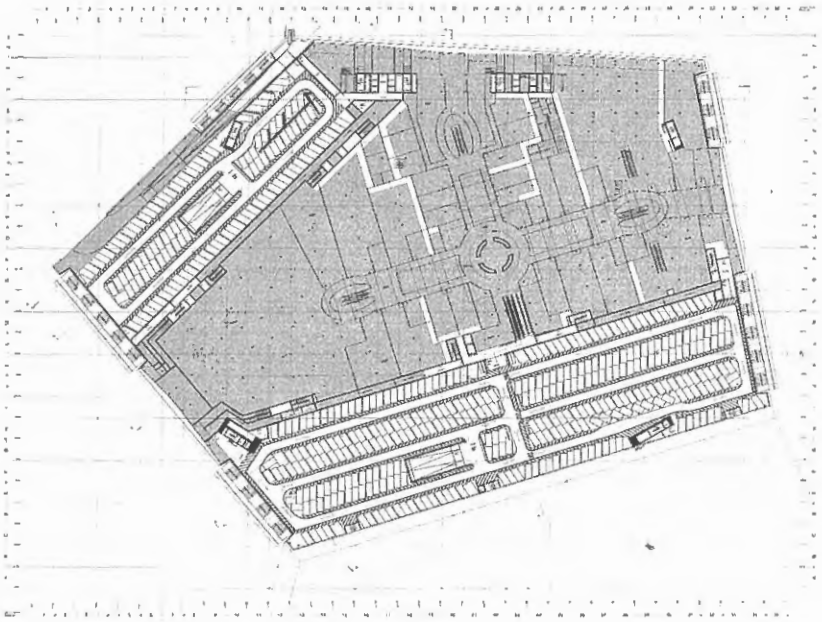


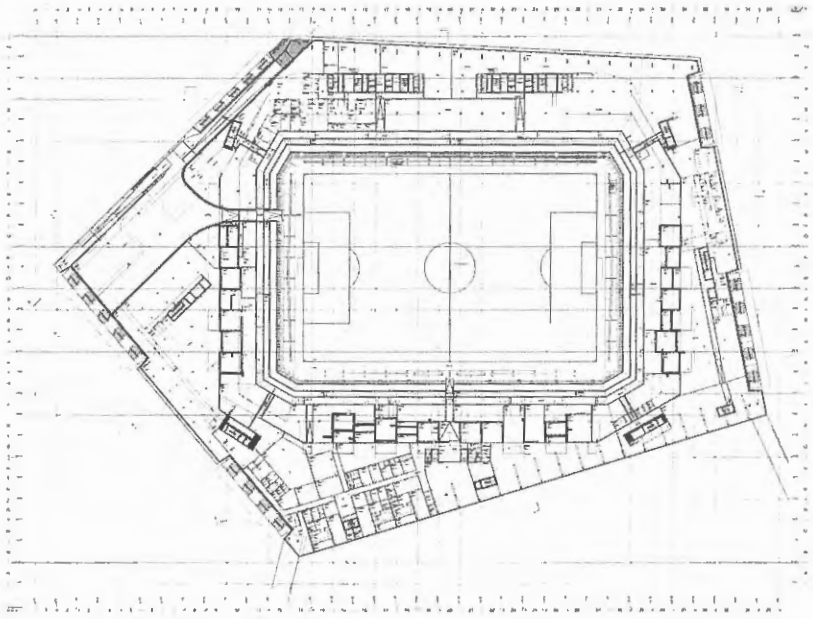
The stadium is located at the western entrance to the city of Zurich. It is not a stand-alone sports facility but, as is usual nowadays, for financial reasons, a complex encompassing a wide range of blanket uses. These facilities, including a shopping mall and parking, are contained in a multi-storey plinth building. In plan, responding to neighbouring building lines, this substructure describes an irregular pentagon. Above it rises the sports stadium itself, which is also pentagonal, though slightly rotated in relation to the plinth. The northeast side of this upper pentagon, opposite the 'Bernouilli' housing estate, is occupied by a four-star congress hotel, while the remaining sides (formed of a box girder with long clear spans) contain sky boxes and VIP lounges. Akin to a bridge girder, this wreath rests on four substantial pillars that travêl through the plinth building down to the foundations. These pillars are located under the sides of the pentagon, creating two unequal cantilevers per side. The height of the wreath girders is minimal at the corners of the pentagon (the connecting points of the cantilevers). But from there it increases linearly towards the pillars, where it reaches a mass of more than 20 metres in parts. The unusual dimensions of the structure, combined with the extremely tight planning deadline set by the competition (which required the submission of a binding tender), called for a very simple static concept that could be reviewed at any time. In the first stage of development this resulted in a 'monofunctional' hierarchical disposition of the individual building elements: the grandstand, a light steel construction, rests on the wreath by means of horizontally mobile bearings at its upper end; the wreath spans from pillar to pillar in a similar manner to a Gerber beam (with hinges at the corner points), and the torsional stiffness of the girder allows it to take up the restraint moments of the cantilevering steel roof structure. This arrangement was 'statically determined', with its parts largely independent of each other. The dimensioning was based on comparable large-scale bridge structures.

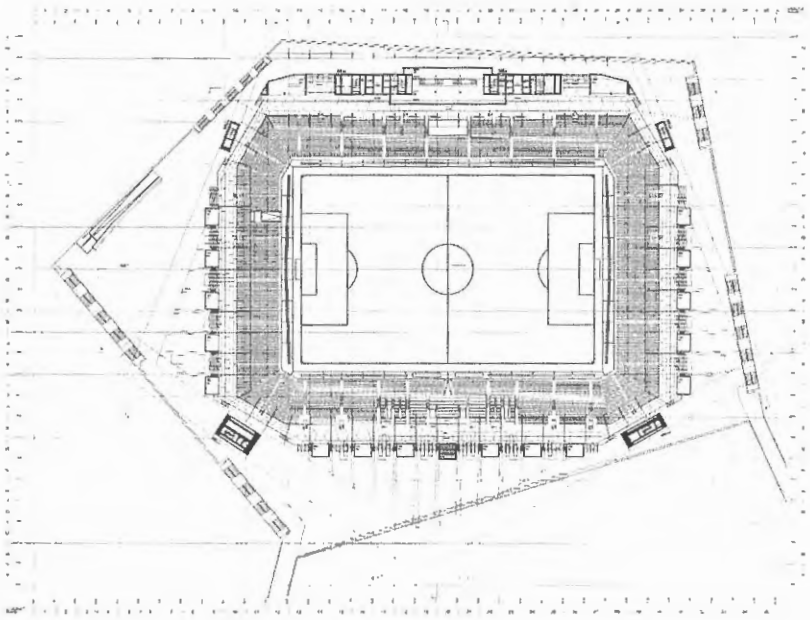
Architects:
Meili & Peter, Zurich
Engineering partners:
Basler & Hofmann, Zurich
and Ove Arup, Manchester
Collaborators:
Gianfranco Bronzini, Josef Dora,
Rafael Wyrsch, Dominik Weiss
and Martin Valier

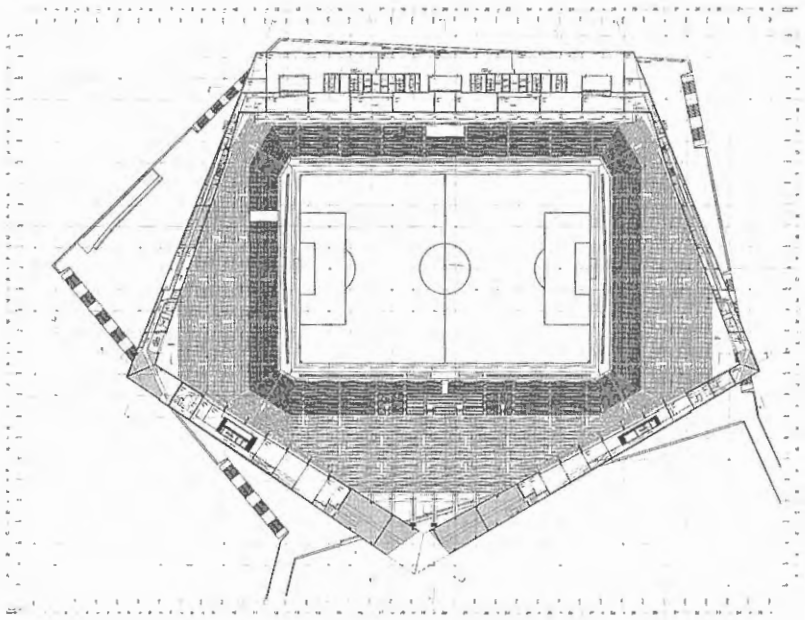
Left:
Model photo showing
plinth and wreath with its
'shark's tooth' supports

Right:
Site plan







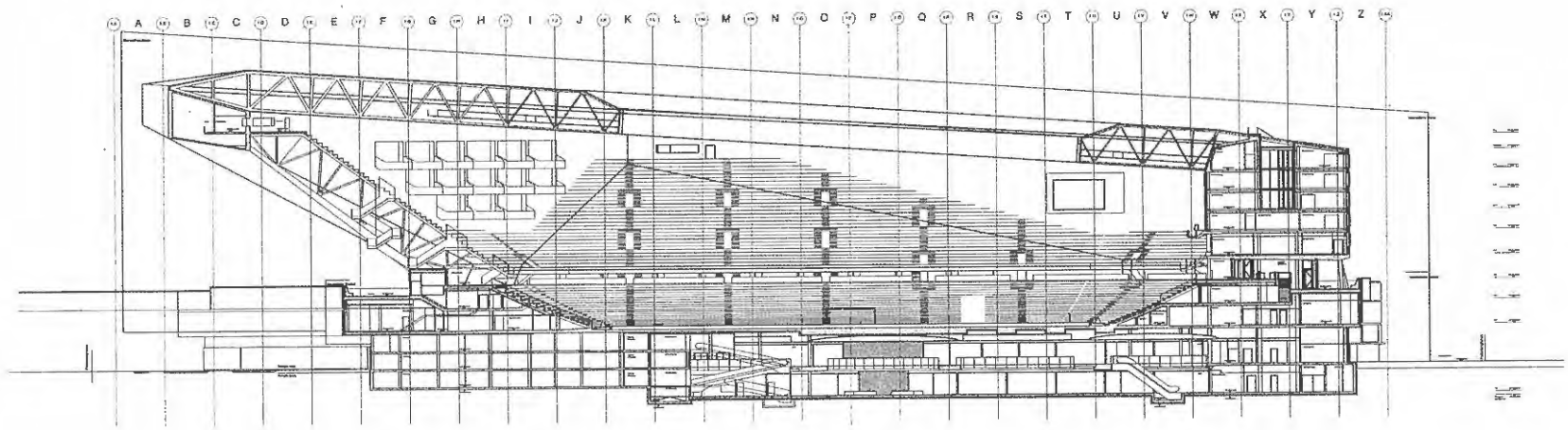


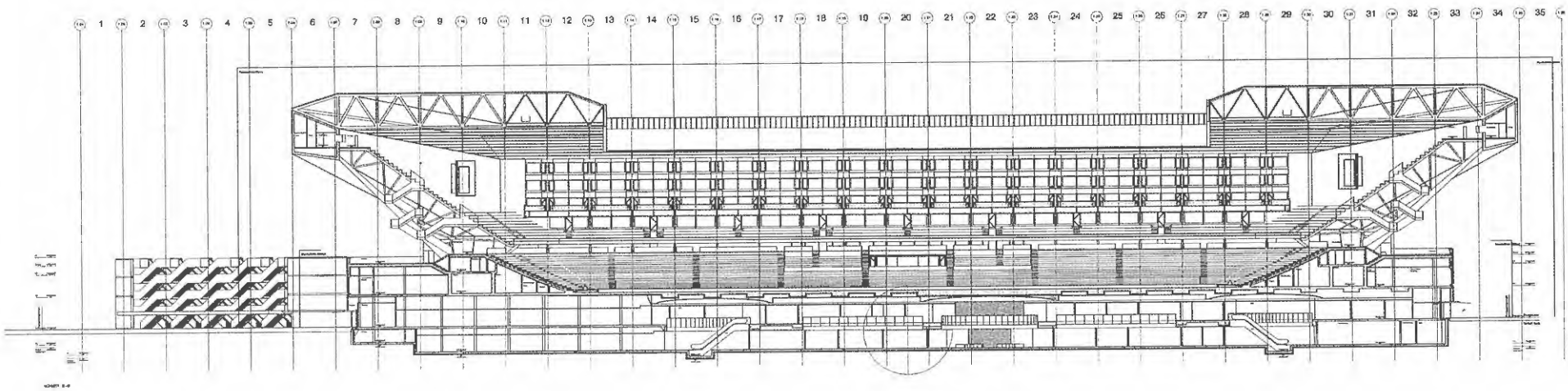
To resolve the static problems relating to the perforations of the web of the inner wall for the VIP balconies, we proposed to use a closed box girder as a static model and concentrate the stress fields locally into truss-like diagonal rods. This dream of a 'clean' solution came to an end during the second stage of the competition. The relations between loads, sectional forces and dimensions proved to be remorselessly direct, and the consequences of our chosen concept quite incontrovertible: the metre-thick diagonal rods at the balconies would block out too much light. The only way around it would be a mass of tension cables above and below the perforated area of the box girder. Of course these measures set in train a running escalation of costs, which ultimately called the whole structural concept into question.

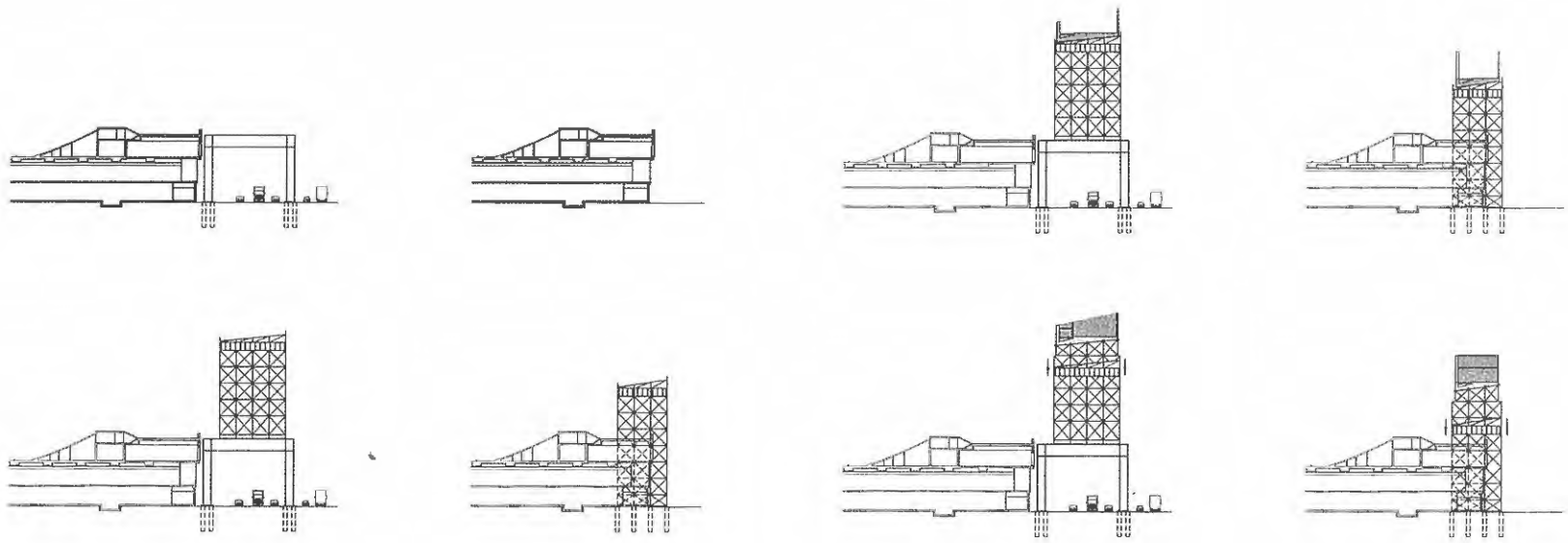
And so we were forced to take a step back and reflect on the basic principle that had guided many of our previous projects: namely, that the most efficient solution may often be a statically indeterminate, complex system, achieved by exploiting the constructional qualities of all of the building elements that are present in any case. In the context of the stadium this meant incorporating into the structural system of the wreath an element that up to then had only been a passive loading element – the grandstand. The bottom chords of the truss girders, which carried the grandstand terraces, were now also made to form oblique supports for the wreath. These supports (which the architects soon dubbed 'shark's teeth') took up a substantial portion of the vertical loads of the wreath girder, but the obliqueness produced new horizontal and torsional forces on the wreath. These different forces resulted in a better overall use of the static potential of the wreath; for example, whereas in the initial project the (programmatically determined) increase in the width of the girder at the most cantilevered points had been nothing more than an irritant (because it produced ballast in the wrong places), we now found that the large volumes of these parts could be used to increase the horizontal flexural and torsional resistance. The forces are now much more widely distributed on the upper levels of the plinth; on level 5, just below its surface, they are discharged through a 'waffle structure' of wall slabs into the rigid column grid of the parking and shopping areas below. The change in the concept opened the way for a more encompassing use of static possibilities that allowed us to achieve the necessary cost savings, and could therefore be justified on economic grounds alone. One member of the jury expressed regret at the loss of structural clarity in the final stage of the competition, but I would counter this by saying that the project as it stands today demonstrates a more synthetic and therefore more intelligent approach to the constructional possibilities inherent in the architectonic concept, which more than outweighs the sacrifice of the ideal of the clear (and also somewhat banal) structure. Ultimately the Zurich Stadium project can be understood as an attempt to interpret architectural preconditions in constructional terms, that also calls into question and influences those preconditions. A complex and demanding design process was resolved without conflict because both the architect and the engineer were willing to consider the problems and arguments that arose as an opportunity to give more precision to the basic concepts underlying the project, and both recognized the decisive value of their own contribution as part of a framework of references that connects their two disciplines.

Facing page, clockwise from top left:
Ground floor/elevated floor inside plinth: shopping mall, parking
Level 5: technical services and waffle structure
Horizontal section through wreath, entire grandstand
Plinth surface, lower part of grandstand

From top:
Cross section
Longitudinal section
The high water-table means that the substructure travels only one storey below ground.

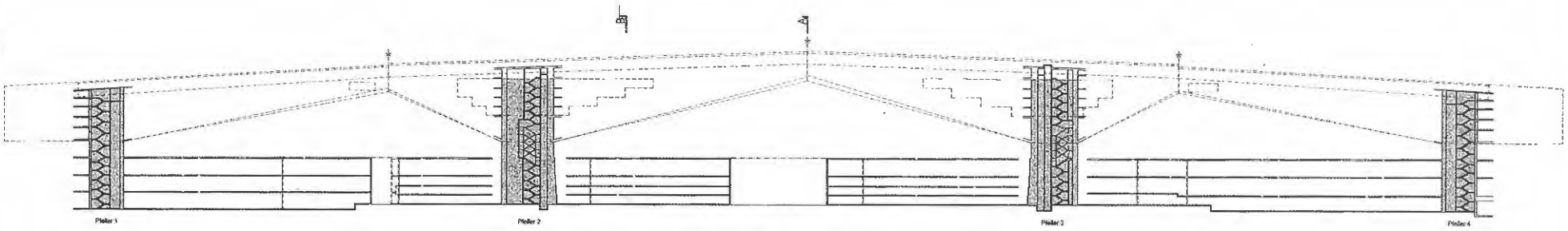






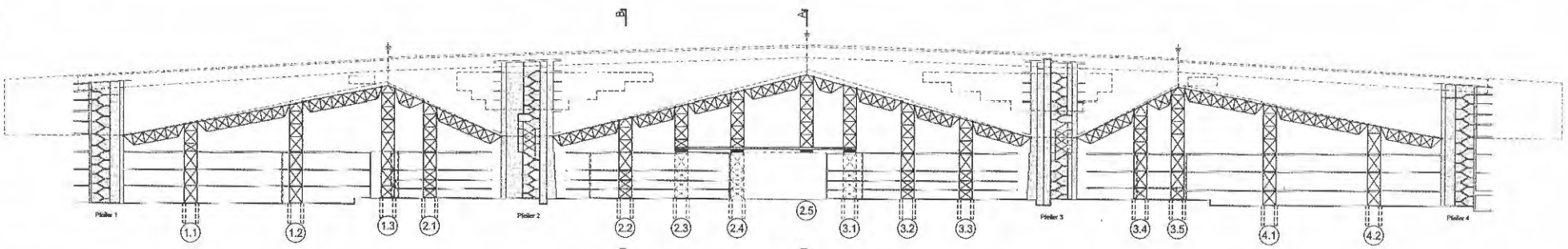
Phase I

- Kranpfeiler



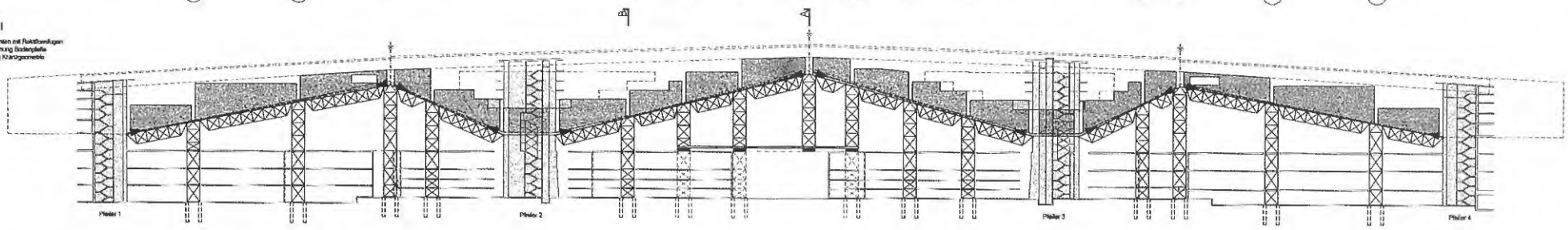
Phase II

- Lehrgerüst



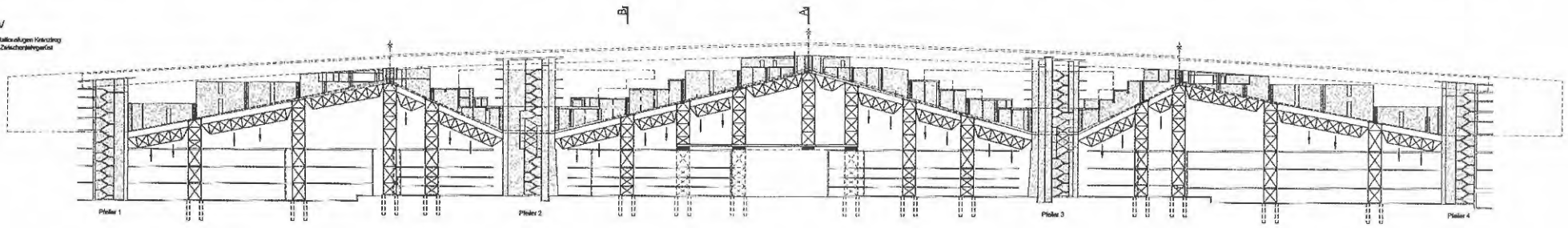
Phase III

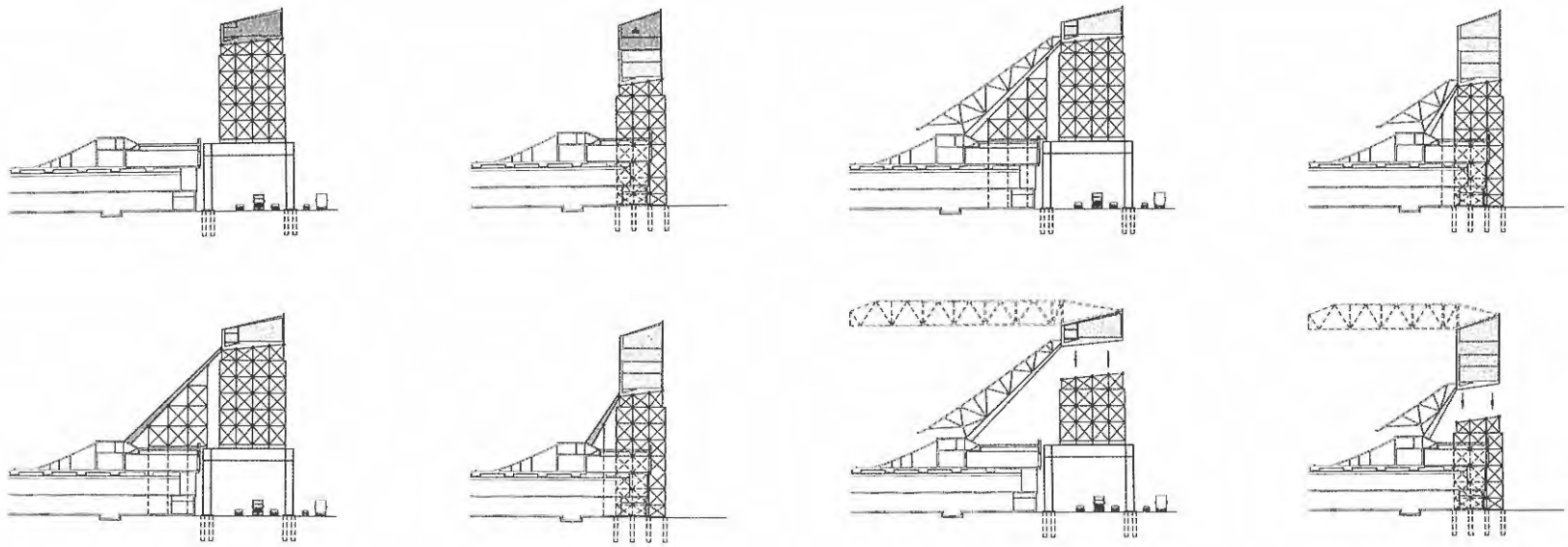
- Kranzweg unten mit Rektifizierfugen
- Teilvorspannung Bodenplatte
- Regulierung Kranzgeometrie



Phase IV

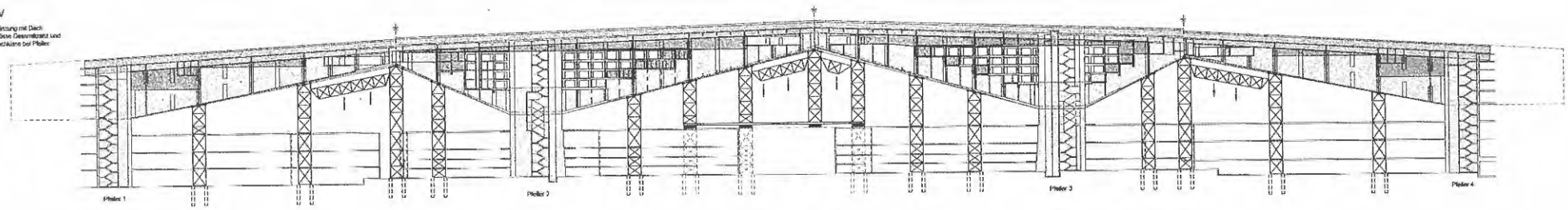
- Vergussfestigkeitsfugen Kranzweg
- Absenkung Zwischenlehrgerüst





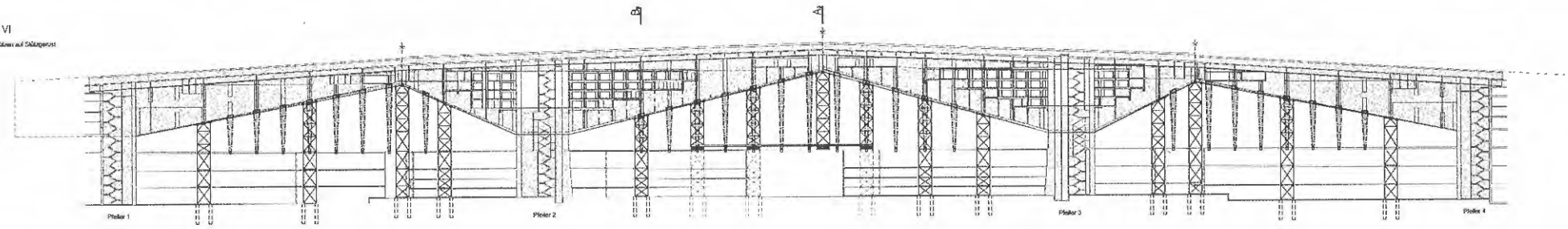
Phase V

- Kranz Ergänzung mit Dach
- Fugenseitliche Gesamtplatte und Deckunterschicht bei Pfeiler



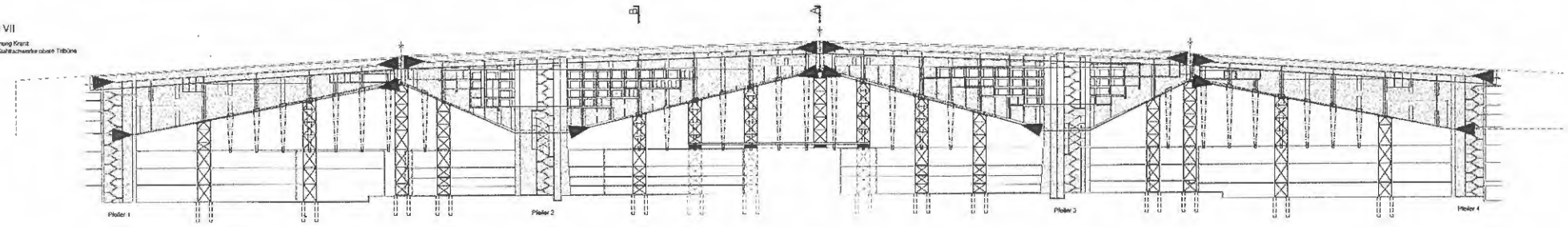
Phase VI

Schrägstützen auf Stützgerüst



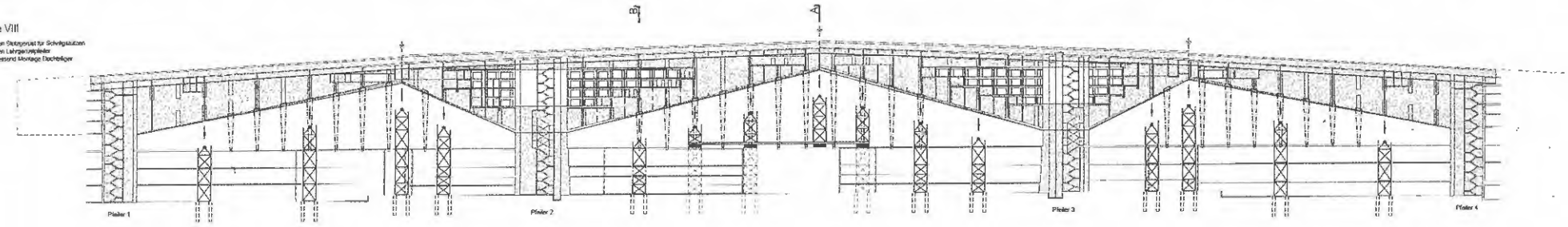
Phase VII

- Vorspannung Kranz
- Einbau Stahlschwerlinie obere Tribüne

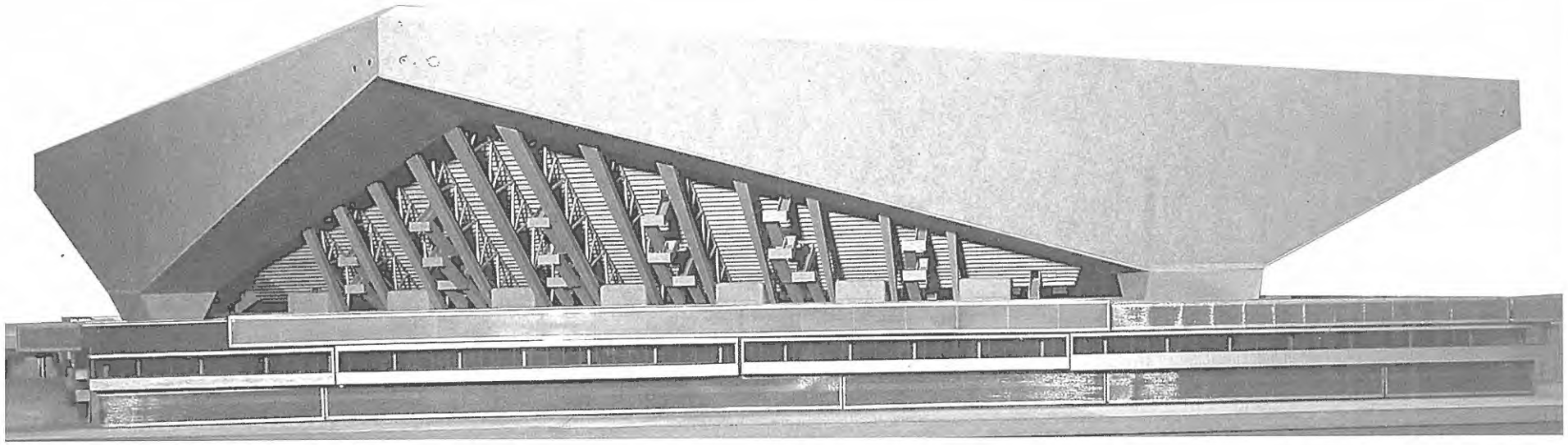


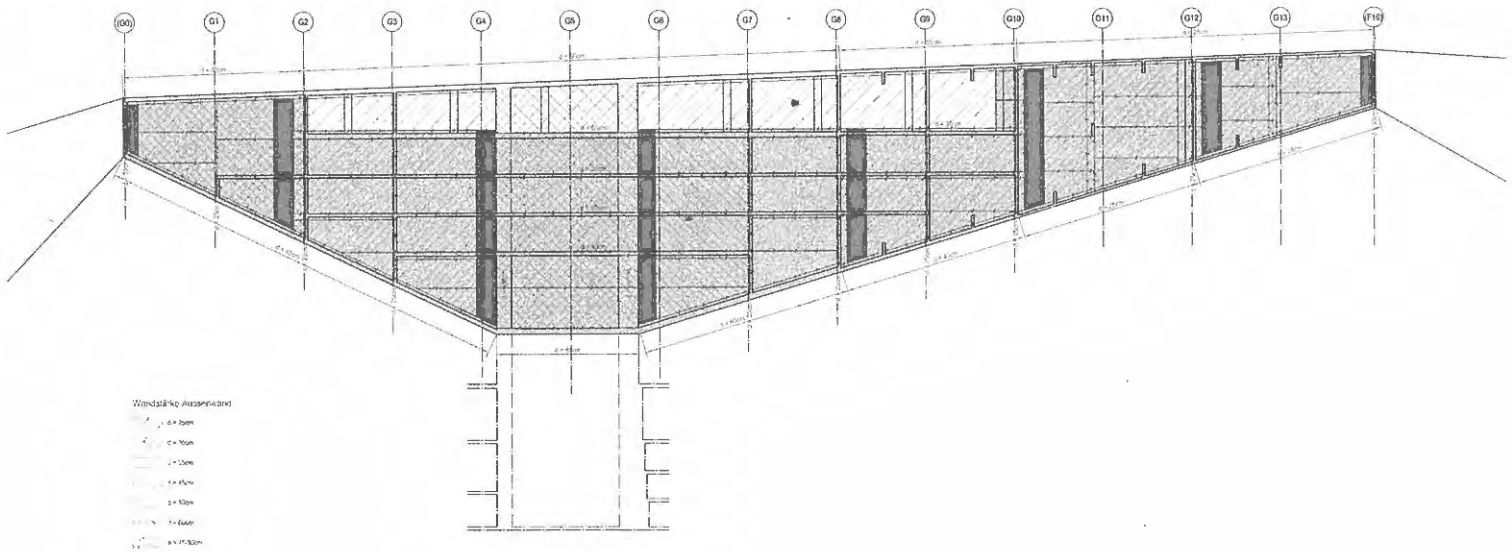
Phase VIII

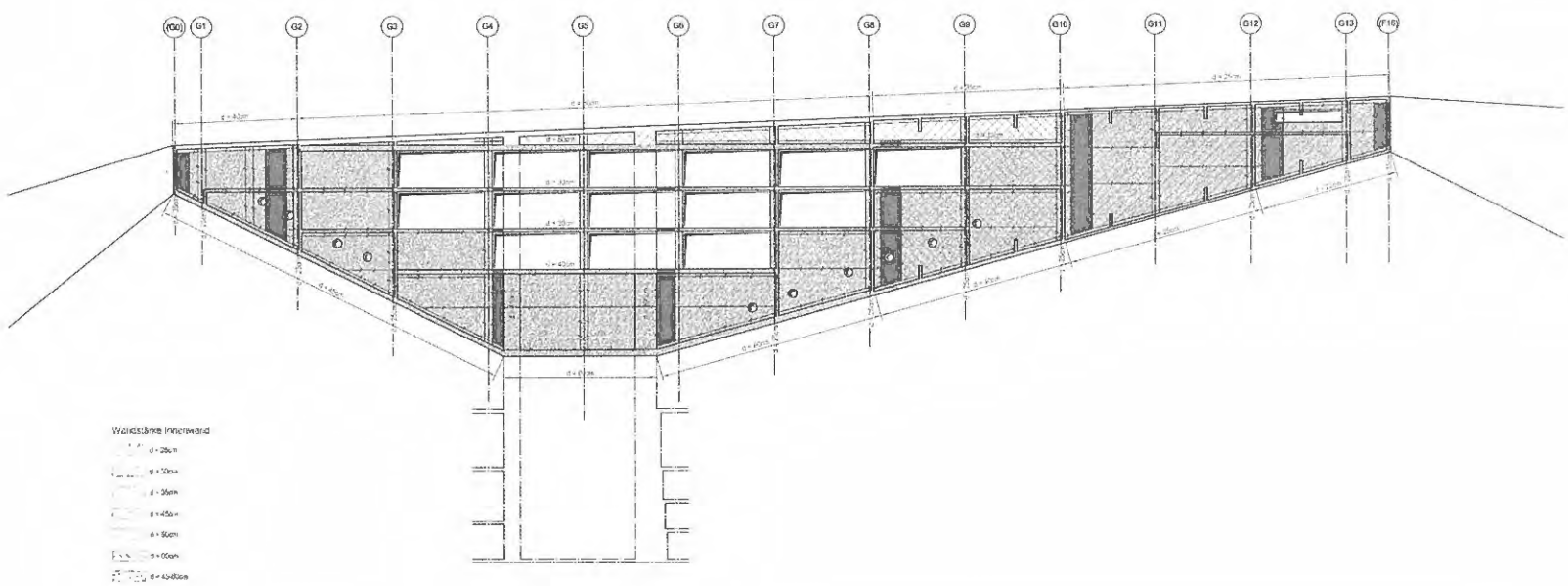
- Abbrechen Stützgerüst für Schrägstützen
- Abbrechen Lehrgerüst/Mittelpfeiler
- Anschliessend Montage Dachträger



Eight stages of wreath assembly



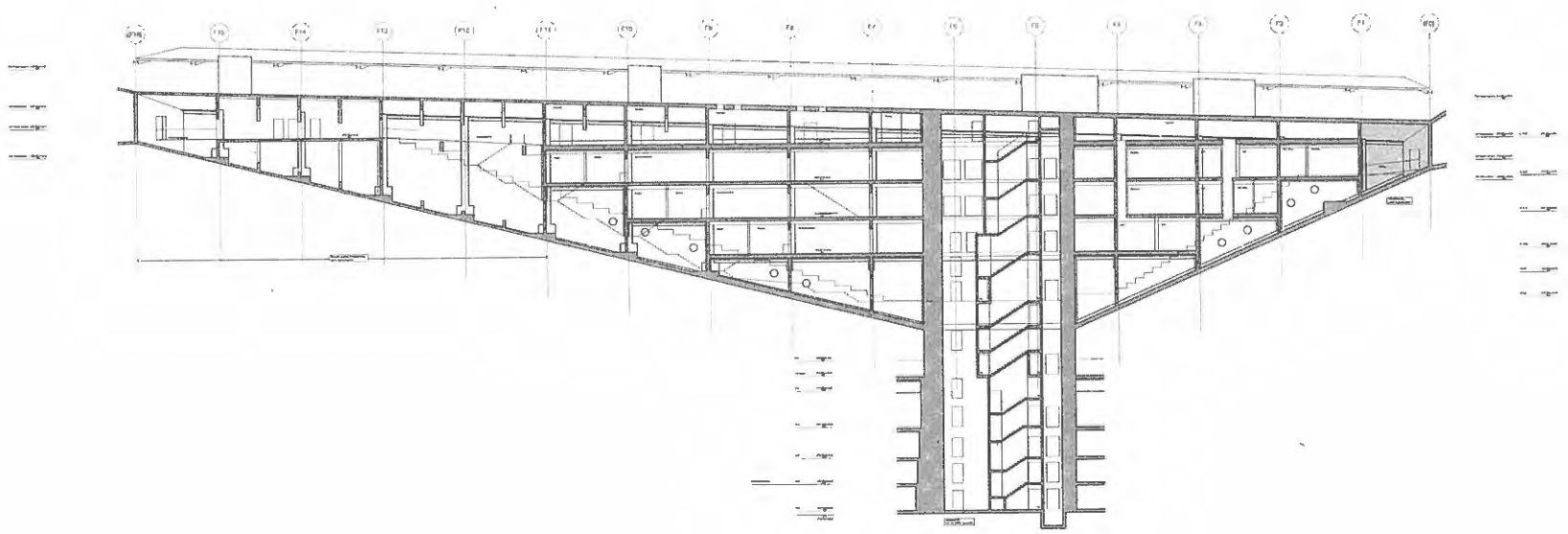

(G0)
G1
G2
G3
G4
G5
G6
G7
G8
G9
G10
G11
G12
G13
(F16)
Wandstärke Aussenwand

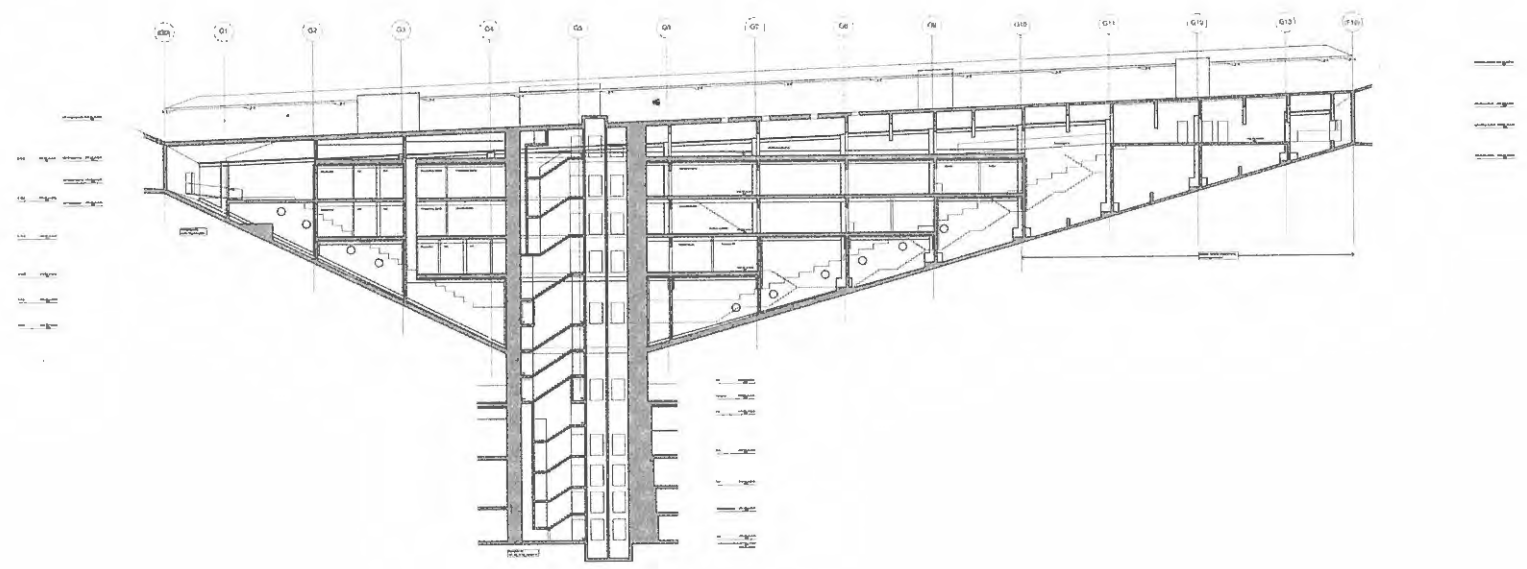

(G0)
G1
G2
G3
G4
G5
G6
G7
G8
G9
G10
G11
G12
G13
(F16)
Wandstärke Innenwand

Facing page, from top:
Model showing Wreath 3 (left) and Wreath 2 (right)
Concreting sequence of external walls of Wreath 3
Concreting sequence of internal walls of same part

Top:
Longitudinal section through Wreath 2, seen from the outside

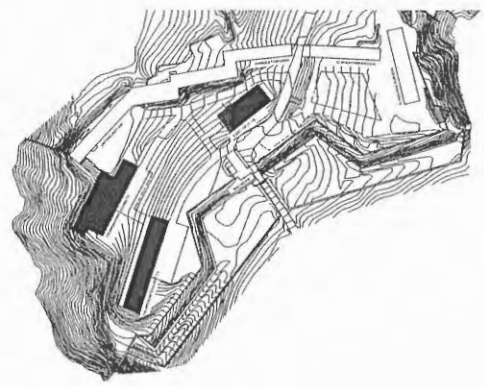
Bottom:
Longitudinal section through Wreath 3, seen from the outside





PANORAMA
STEIG
SV
CALANDA
BIERAU

Army Canteen
St Luzisteig, Graubünden
1998–99



The fort of St Luzisteig has been described as 'the most spatially comprehensive architectural complex built in Graubünden in the nineteenth century'.[1] Built to protect the 'German Road', it was expanded in phases, between 1831 and 1863, under the direction of the canton's Chief Engineer Richard La Nicca. Following the decline in the road's strategic importance, the fort was adapted to serve as an army barracks and training centre. This change in use required the construction of new buildings. In view of the fort's architectural and historical significance, Peter Zumthor was commissioned to devise a master plan for the complex, while the design of the individual buildings was assigned to the Chur-based architects Jüngling and Hagmann.

The new canteen stands in the centre of the fort, a public building encircled by a military complex. Its open character is graphically indicated by its wrap-around fenestration. The glazing is partially double-layered, creating views of varying transparency both into and from the building. Above this glass facade, a heavy concreted post-tensioned roof slab projects over the solid building core on all sides, like a mushroom cap. Different kinds of concrete are used for the individual parts of the building, depending on their static function. The vertical compression forces of the core have a 'primitive' materiality, executed in exposed coarse aggregate concrete (maximum grain 63 mm). By contrast the vertical ribs of the roof structure embrace modern concrete technology. Since they are subject to highly concentrated compression forces, they are made of high-strength concrete with precise, smooth formwork. The roof slab, which is subject to smaller forces, is made of lightweight concrete.

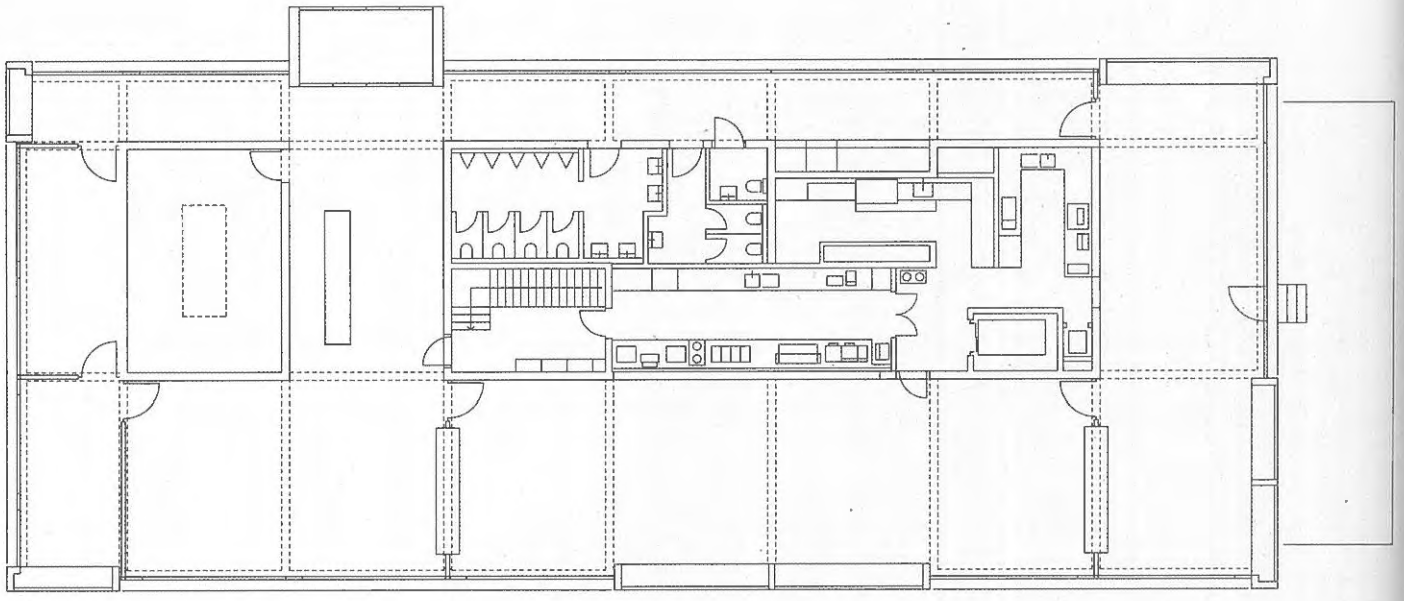
Architects:
Jüngling & Hagmann, Chur
Collaborator:
Gianfranco Bronzini

Left:
View from east

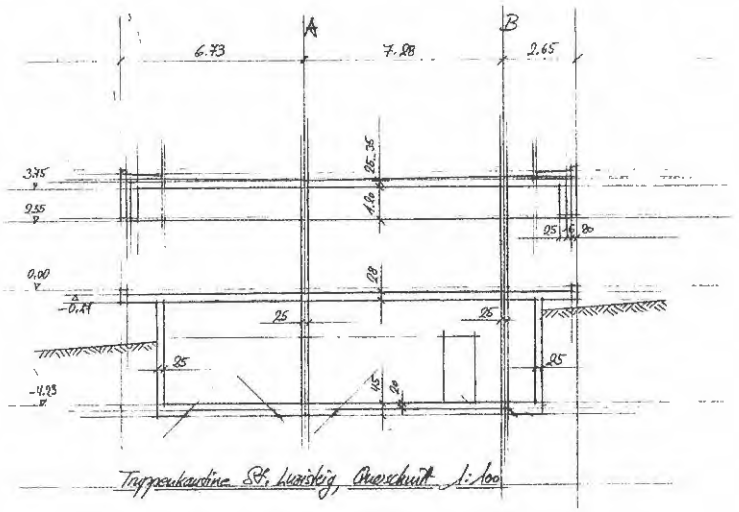
Right:
Site plan

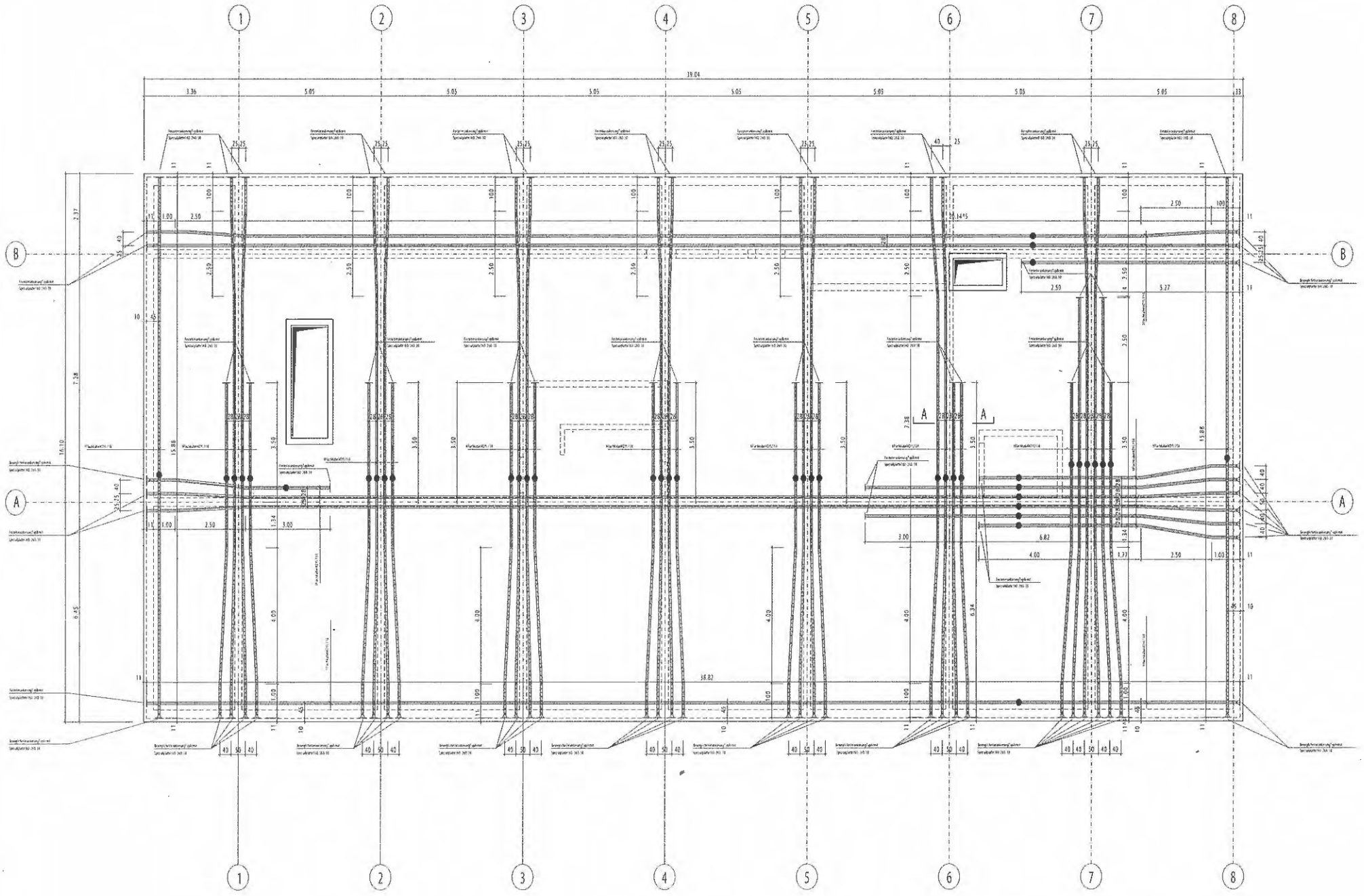
Army Canteen
St Luzisteig, Graubünden
1998–99

The slab acts in conjunction with the vertical ribs. Since lightweight concrete creeps more than high-strength ribbed concrete, the ends of the cantilevers will tend to camber upwards over time, elegantly compensating for the loss of post-tensioning force caused by the shrinkage and creeping of the ribs' concrete.
The structural system essentially accords with the architectural gesture of an extrovert space set under a protective covering. But this is not immediately obvious from the exterior of the building. The thick outer edge of the roof slab can be read in different ways. It may be seen as startlingly weighty, requiring immediate support in the form of the super-thick, box-framed windows, heavily stressed in their eccentric position. Alternatively, the static strength of the cantilevered girders may be gauged by their height, as indicated by the thickness of the outer edge, without stressing the precarious stability of the thin copper sheet metal of the window frames. Thus, the facades create an architectural tension by keeping their actual static function 'in suspense'.[2]



1 Leza Dosch, *Kunst und Landschaft in Graubünden, Bilder und Bauten seit 1780* (Scheidegger & Spiess: Zurich 2001), pp. 83-5.
2 See for example Walter Zschokke in Heinz Wirz (ed.) *Dieter Jüngling und Andreas Hagmann, Bauwerke*, De aedibus vol. 5 (Quart: Lucerne 2002), p. 34.

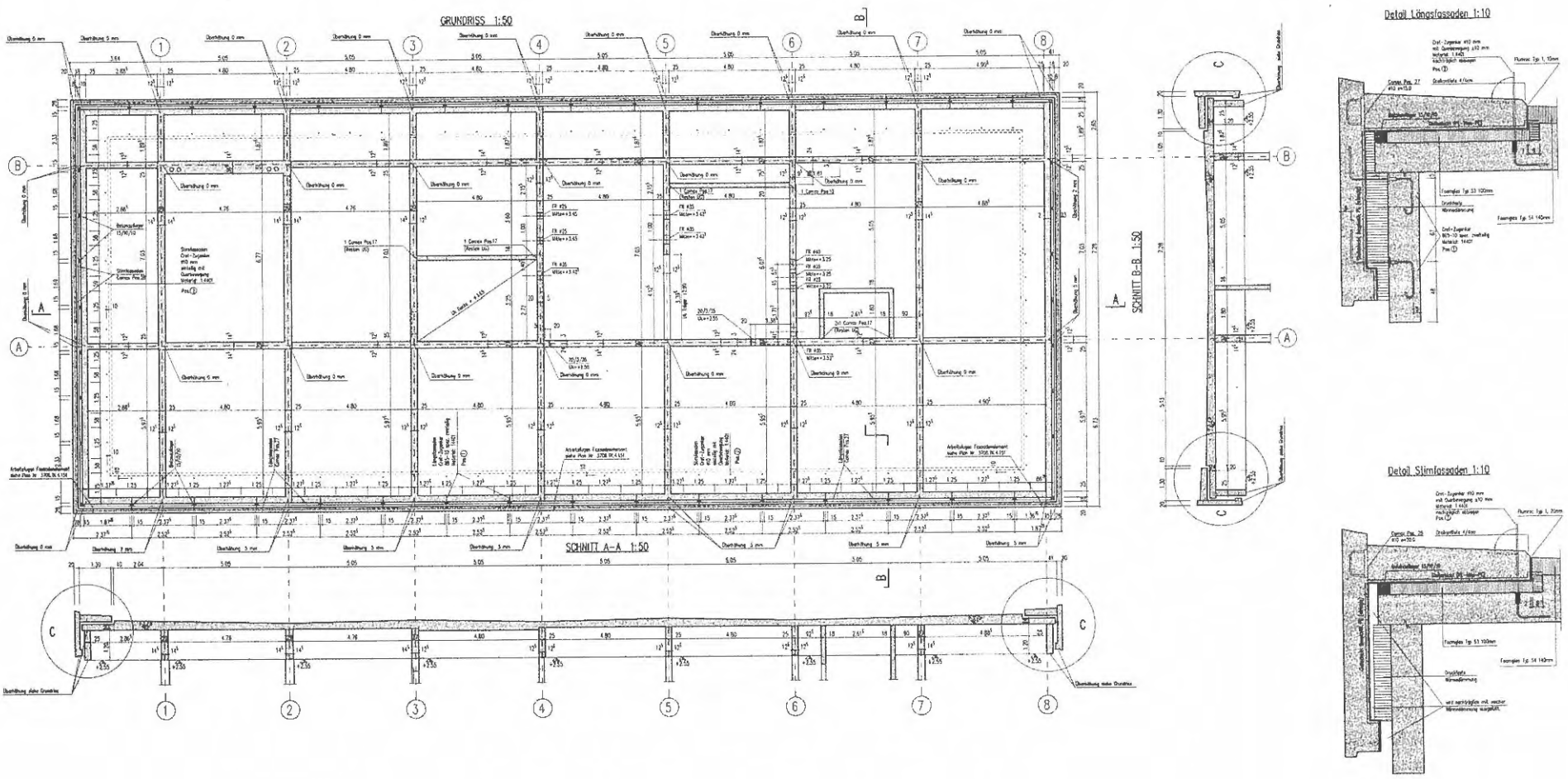


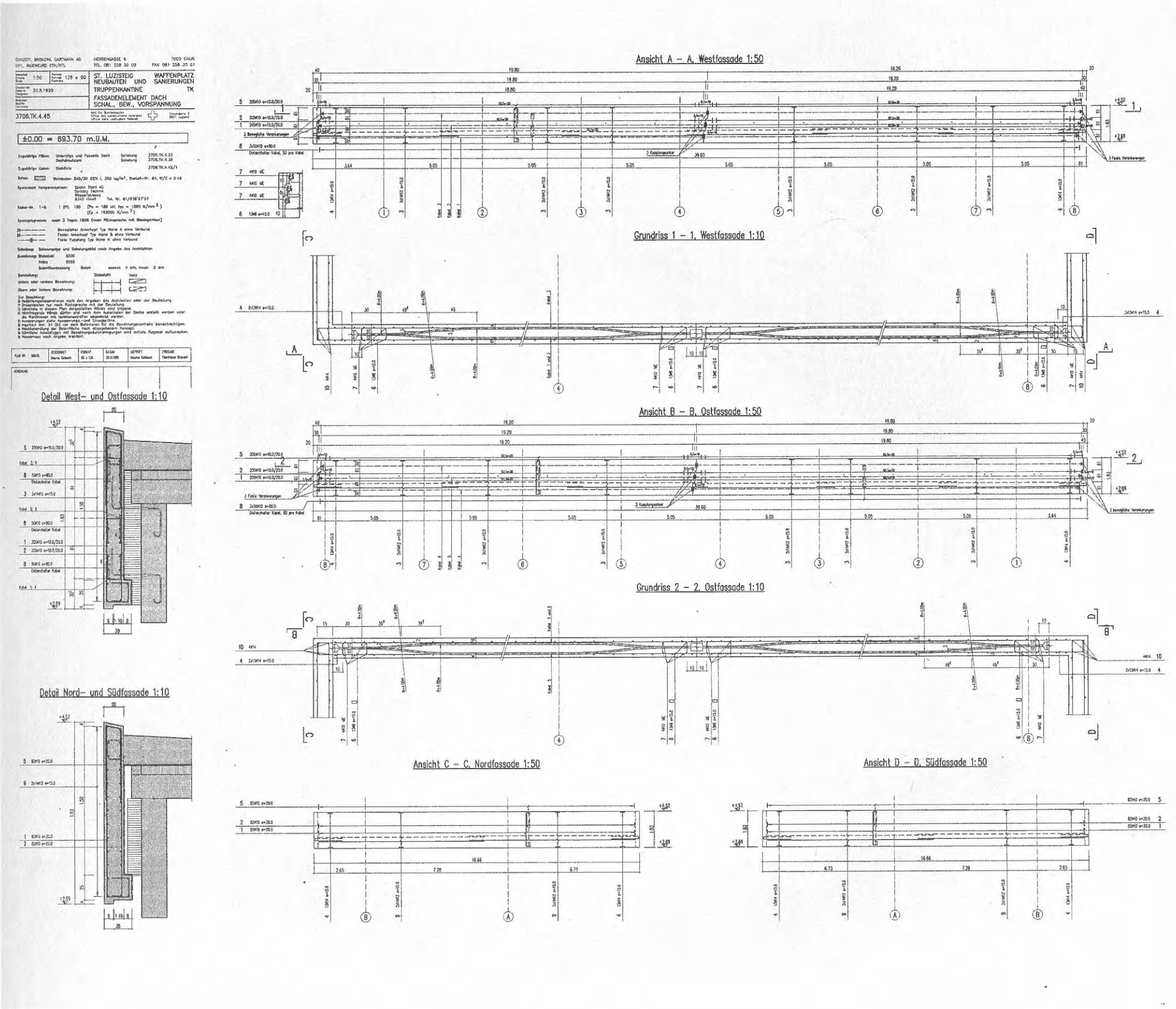


Facing page:
Ground-floor plan

From top:
Schematic section
Roof cable plan

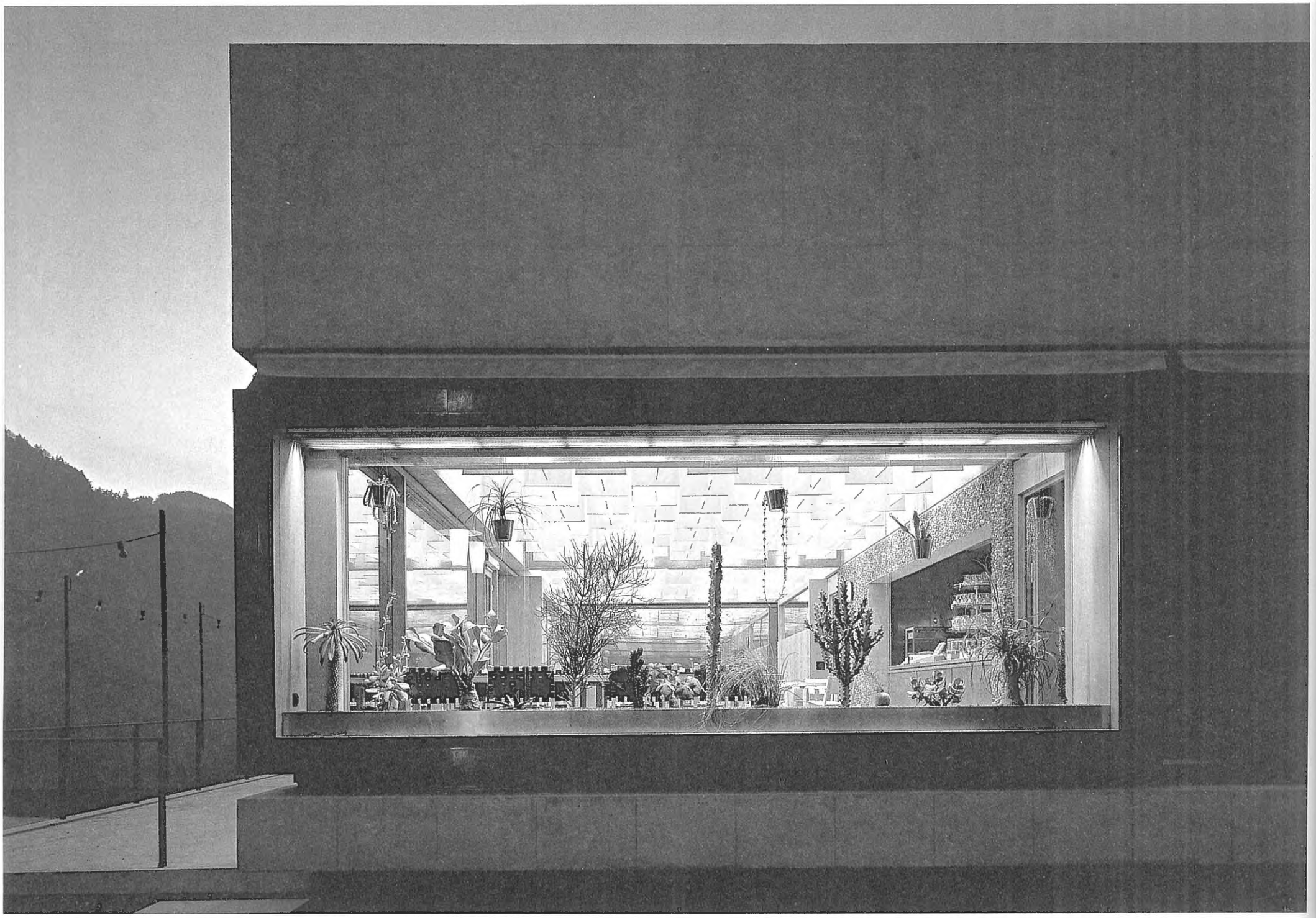
Below:
Roof formwork plan



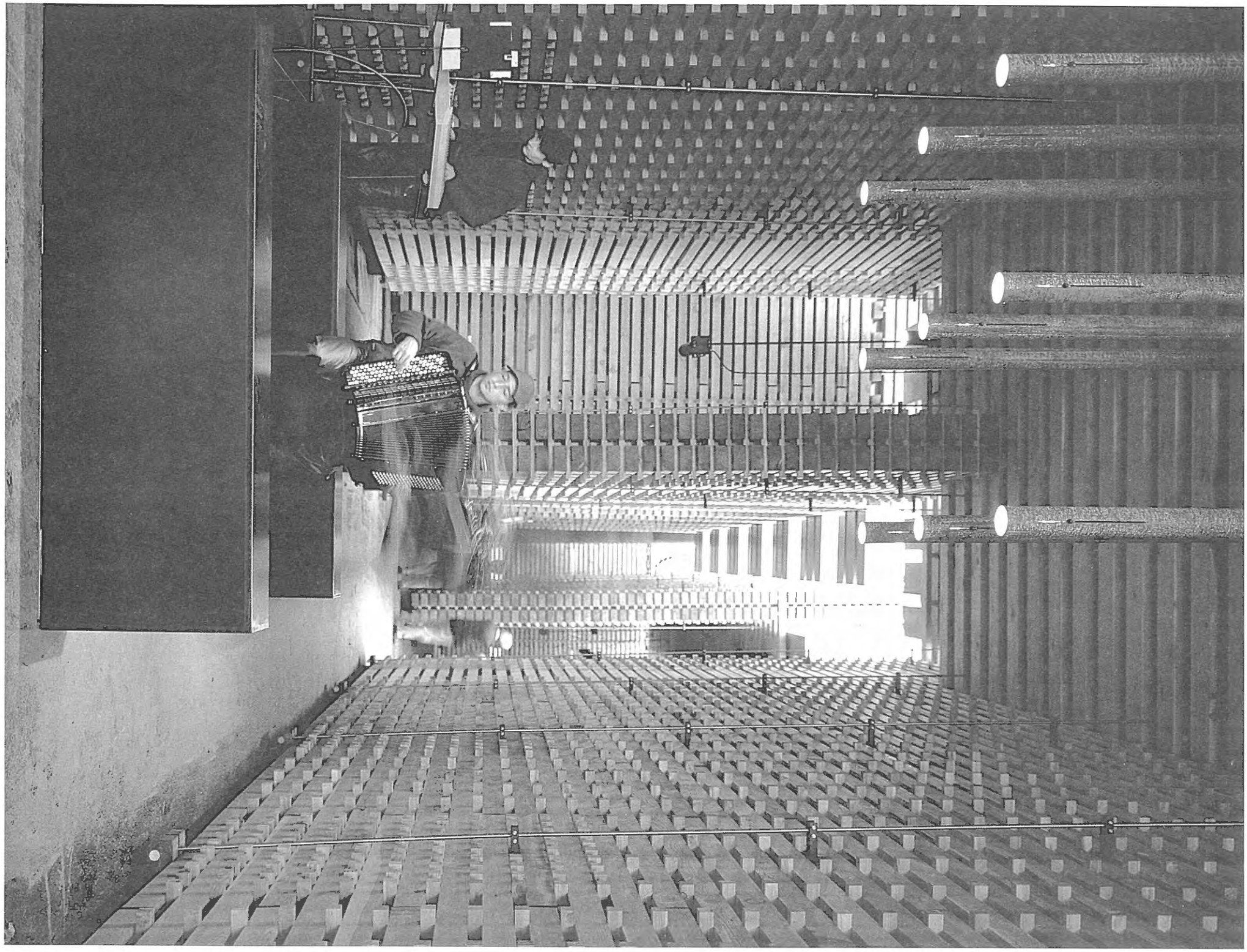


Above:
Roof girder reinforcement

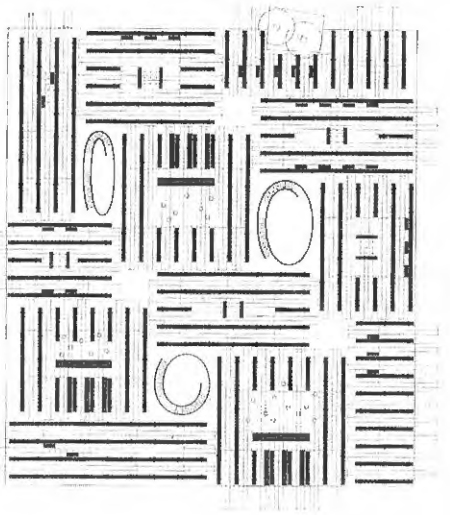
Below:
View into canteen



Left:
Officers' mess



Swiss Pavilion Hanover Expo 2000



In 1997 a team led by Peter Zumthor won a national competition to design the Swiss Pavilion for Hanover Expo 2000. Responding to the Expo's theme of sustainable construction, the 'Sonorous Form' pavilion consists of freshly milled planks that are stacked on top of each other like wood stacks in a timber yard, and held together without the use of nails, screws or glue.

Dry masonry walls are heavy enough to be self-stabilizing even when slender. Timber structures, such as the Swiss Pavilion, are comparatively light and their dimensions are frequently determined by lateral wind forces. One traditional method of stabilizing against wind is weighting: in the absence of metal ties, large boulders were traditionally used to secure the roofs of alpine buildings. A less top-heavy but technically more demanding method is post-tensioning. The fundamental difference between the two approaches becomes apparent when the substructure is subject to large horizontal deformations. Beyond a certain point the weights of the traditional structure will themselves begin to produce a lateral thrust: the now eccentric vertical load generates additional lateral bending forces, producing a feedback that eventually topples the entire supporting structure. In a post-tensioned structure, however, large deformations produce additional forces in the tension members that exert a restraining, stabilizing force.

The use of damp timber was one of the central ideas of this project: the pavilion was to act as a temporary 'drying-yard'. The design had therefore to take into account substantial unpredictable movements within the structure. Shrinkage and swelling, usually deemed undesirable properties of timber, became the focus of our investigations.

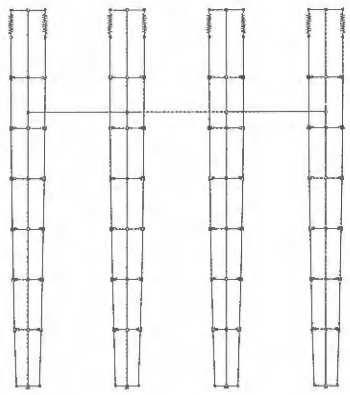
Architect:
Peter Zumthor, Haldenstein
Collaborator: Patrick Gartmann

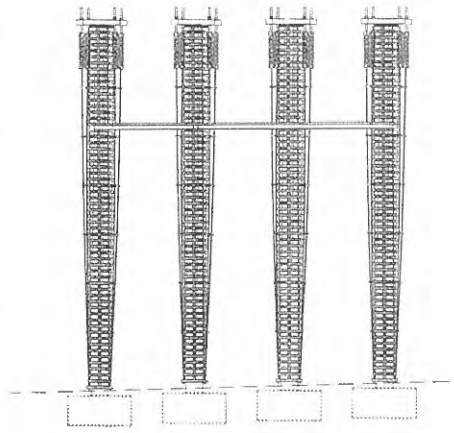
Left:
The pavilion provided a setting for the performance of music.

Right:
Plan of twelve stacks with three oval service units between them. Stack 9 is top left.

Top row, from left to right:
Structural model of Stack 9
Cross section through Stack 9
with maximum lateral deflection
(in true scale)
Roof structure spanning five bays
Longitudinal section through Stack 9

Facing page:
View of an internal courtyard





The pavilion consists of twelve structurally independent stacks, each made up of at least four parallel 8.68-metre-high walls. At a height of 6.25 metres, the stacks are connected by means of horizontal timbers. Together with the stack walls, these cross members – the 'roof' – form stiff frames that are extremely stable in their longitudinal direction. As a consequence, wind forces acting parallel to the walls do not produce large stresses. Likewise, the slope of the longitudinal direction (up to 2.5 per cent, in line with the slope of the terrain) has practically no bearing on the loading of the stack walls. Transversely, however, the frames are open, there is no wind bracing, and stability depends entirely on the flexurally stiff combination of the stack walls and the cross members. The crucial flexural stiffness in the connection between the loosely stacked planks and the cross members is achieved by means of vertical post-tensioning. Dimensioning this post-tensioning and predicting the deformation of the structure were the greatest challenges we faced in planning the project.

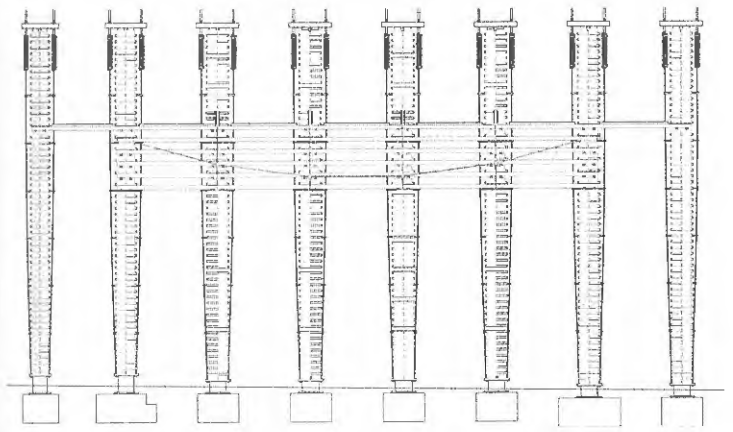
Our task was doubly difficult. On the one hand we had to work with a multiple component structure with many points of contact between different elements; on the other, the geometry of the stacks was very sensitive to differential swelling or warping. For the sake of clarity, we tackled these issues independently, using theoretical models and a 1:1 prototype stack that was constructed on an industrial site in Chur at an early stage of the project. This prototype proved extremely useful, providing a gauge of the effects of deformation over a prolonged period, a testbed for architectural ideas, a model for means of assembly and operation, and a setting for music rehearsals and functions.

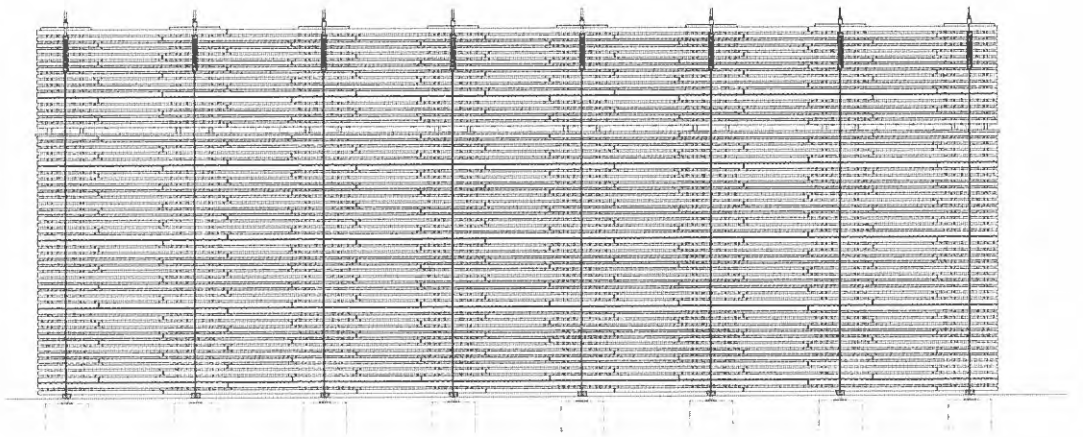
The structural conditions can be illustrated by looking at a section through stack 9. The four stack walls rest on unreinforced in-situ concrete foundations, set at 3-metre intervals. The outer foundations are wider than the standard 1 x 1 metre, having a footprint of 1.5 x 1 metre. They are strengthened to resist the wind forces that are greatest on the exposed outer walls, producing the largest bending moments at their base. The north–south walls of Stack 9 (like those of all the other stacks) are of Douglas fir, while the walls perpendicular to them are of larch. Between the individual 100 x 200 mm planks are 45 x 45 mm stacking timbers. For each tensioning position, these are ranged in four vertical rows, with six additional rows in the bottom eleven layers to accommodate the increased loading by wind and weight. Our approach to the structural calculations was to consider the timber stack walls as homogeneous individual bars. The structural properties of these bars (mean surface, mean stiffness) were selected so as to approximate as closely as possible the actual behaviour of the stacks of planks and cross members. The ties and their fixings were treated as individual bars in the structural model, which allowed us to take account of their stabilizing effect under substantial deformations. The lower ends of the frame struts were modelled as built-in at their foundations and, depending on their real function, the connections between the ties were assumed to be either flexurally stiff or articulated or sliding. The next task was to determine the mean cross sectional values of the stack wall. For the purposes of comparison, we initially investigated a 'ladder model' with a vertical length of 1.1 metres, which behaved structurally like a Vierendeel girder. The 'rungs' (i.e. the stacking timbers) and the 'uprights' (the planks and the portion of the stacking timbers in between them) were entered into the computer model as an orthotropic slab of variable stiffness, depending on the direction of the grain of the wood. With this model, it was not immediately clear what cross section to enter for the part of the plank that carried load perpendicular to the grain. To clarify this question, we considered an even smaller element consisting of three planks and two stacking timbers. An initial rough calculation by hand assumed that the tension field would spread at an angle of 45 degrees, and then a computer calculation was made, treating the planks as vertical orthotropic slabs. The results concurred to a satisfactory degree. At this point it became possible to determine how the ladder model would deform, first under a bending moment applied at the top (top left), and then under a lateral single load, also at the top (top right). The mean values for the flexural and shear stiffness of the single-bar model were then calibrated in such a way that they corresponded with the ladder model for both types of loading.

The cross members at 6.25 metres are set on the same stacking timbers as the other planks, except that in this instance the underlying timbers are turned through 90 degrees in plan (for the pavilion as a whole, the stacking timbers are as a rule set perpendicular to the rod-axis of the planks above them). The stiffness of the horizontal members of the frame is ensured by the cross sectional values of the 'roof' nearest to the vertical axis of the tension rods. The auxiliary action of the remaining cross members (further away from the tensioning points) was omitted from the calculations. After clarifying these preliminary issues, we were able to use the single-bar model to calculate the deformations and shear forces under different types of loading. The unusual local conditions, combined with the multiple tensile forces acting at right angles to the wood grain, made us doubt whether we could accurately predict the true behaviour of the stack from the normalized characteristic values of the material and the simplified structural model. For greater clarity, we carried out a loading test of lateral forces on the prototype stack, at the level of the cross members, using two horizontal ties. Pallets were suspended from the upper ends of the oblique supports, and then loaded with sand-lime bricks. The strain measurements revealed that the modulus of elasticity of the timber was around 400 MPa at the onset of the loading, while under a greater deformation of 120 mm it corresponded precisely to the standard value of 300 MPa, and in tests under 150 mm still reached 240 MPa. Given all the uncertainties associated with timber construction, this seemed a satisfactory result, demonstrating that even with unconventional structures it is possible to predict structural behaviour quite accurately on the basis of current characteristic values of the material.

Next we had to determine the upper and lower critical values for the post-tensioning. Insufficient post-tensioning would have caused the structure to topple over: the lower limit of the post-tensioning force of the individual stacks had therefore to be between 40 and 50 kN, depending on exposure to wind. We also had to factor in the variable warping of the stack walls resulting from the differential shrinkage and creeping of the timbers on either side. At the time of its delivery to Hanover the timber had an average 22 per cent moisture content. The statistics on average monthly temperatures and relative air humidity supplied to us by Hanover airport suggested a final moisture content of 14 per cent. Our readings from the prototype revealed a differential of up to 1.2 per cent in the moisture of adjacent timbers, resulting in a warping. Based on this, we investigated the effects of even and S-shaped warping (radius 155 metres) of the stack walls. Because of the large displacements involved, it was desirable to use a very soft spring with a large extension path. But at the same time, the axial tensioning forces of more than 50 kN per spring were quite substantial, so finding the right kind of spring wasn't easy. After experimenting with a number of different types, we settled on hot-formed coil tension springs, 870 mm long, brought up to a tension force of 60 kN. Over time this dropped to the minimum value of 40 kN with a shortening of 90 mm in the timber stack, which made it necessary to retension the springs at least twice during the course of the expo.

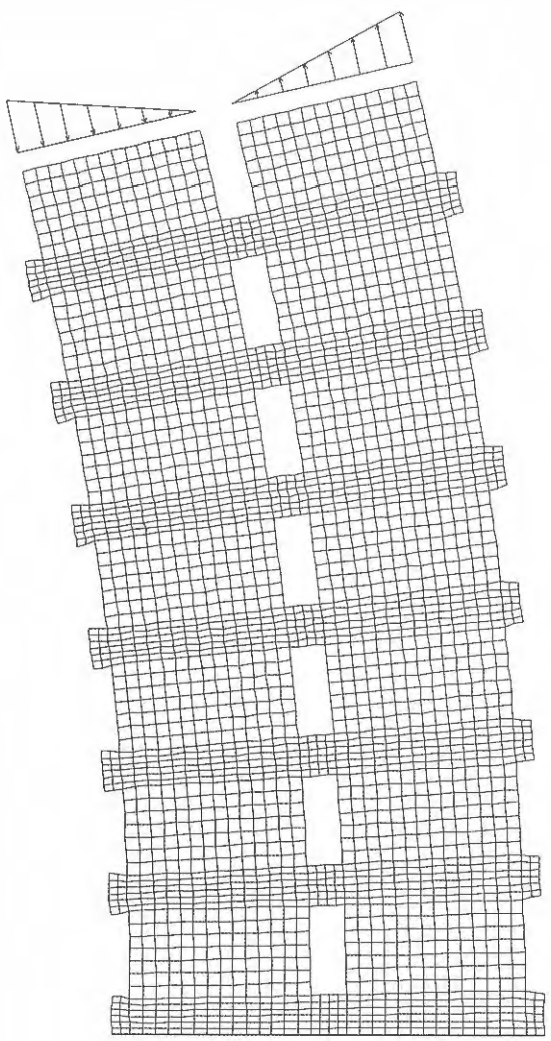
1 Project group: architecture and overall concept – Peter Zumthor; staging – Karoline Gruber; project management, deadlines, costs – Franz Bärtsch; structural testing – Martin Kessel, collaborator – Carsten Seifart, Hanover. Further collaborators during the competition phase included the publisher Lars Müller, the filmmaker Christoph Schaub and the timber engineer Hermann Blumer.

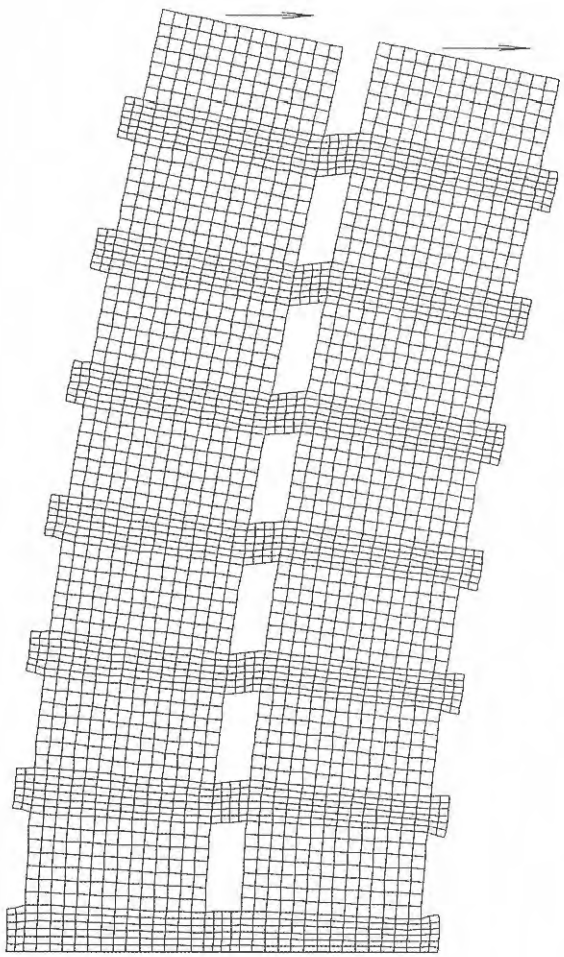


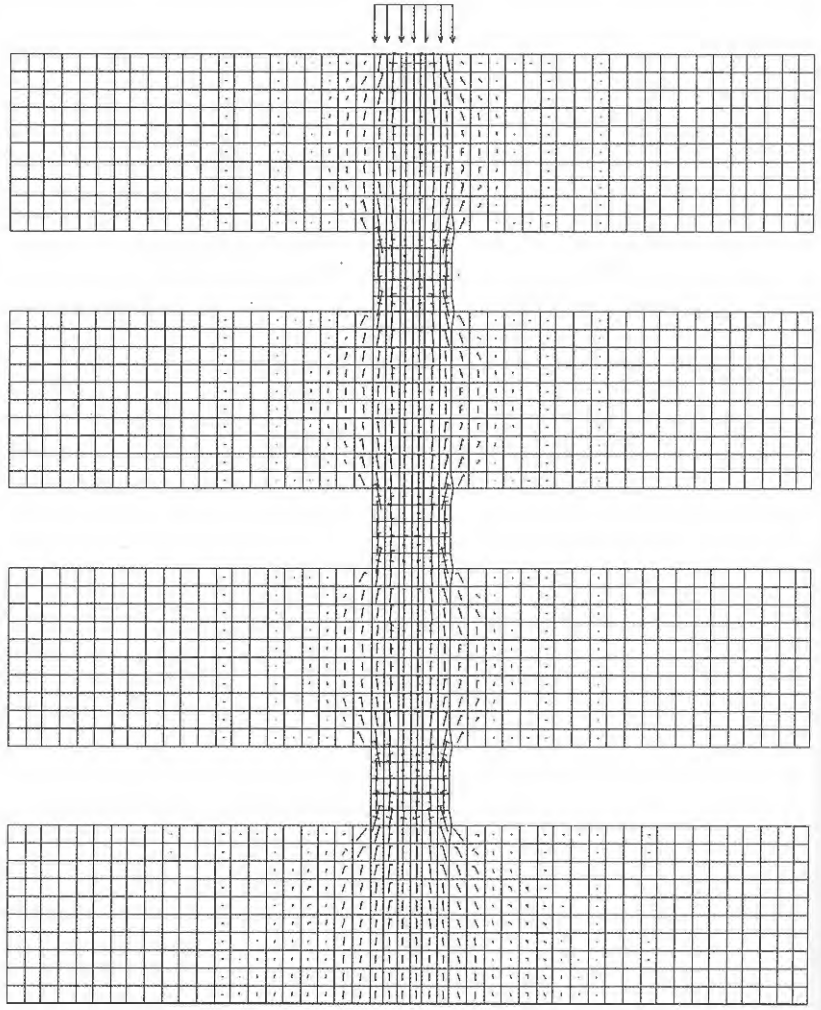


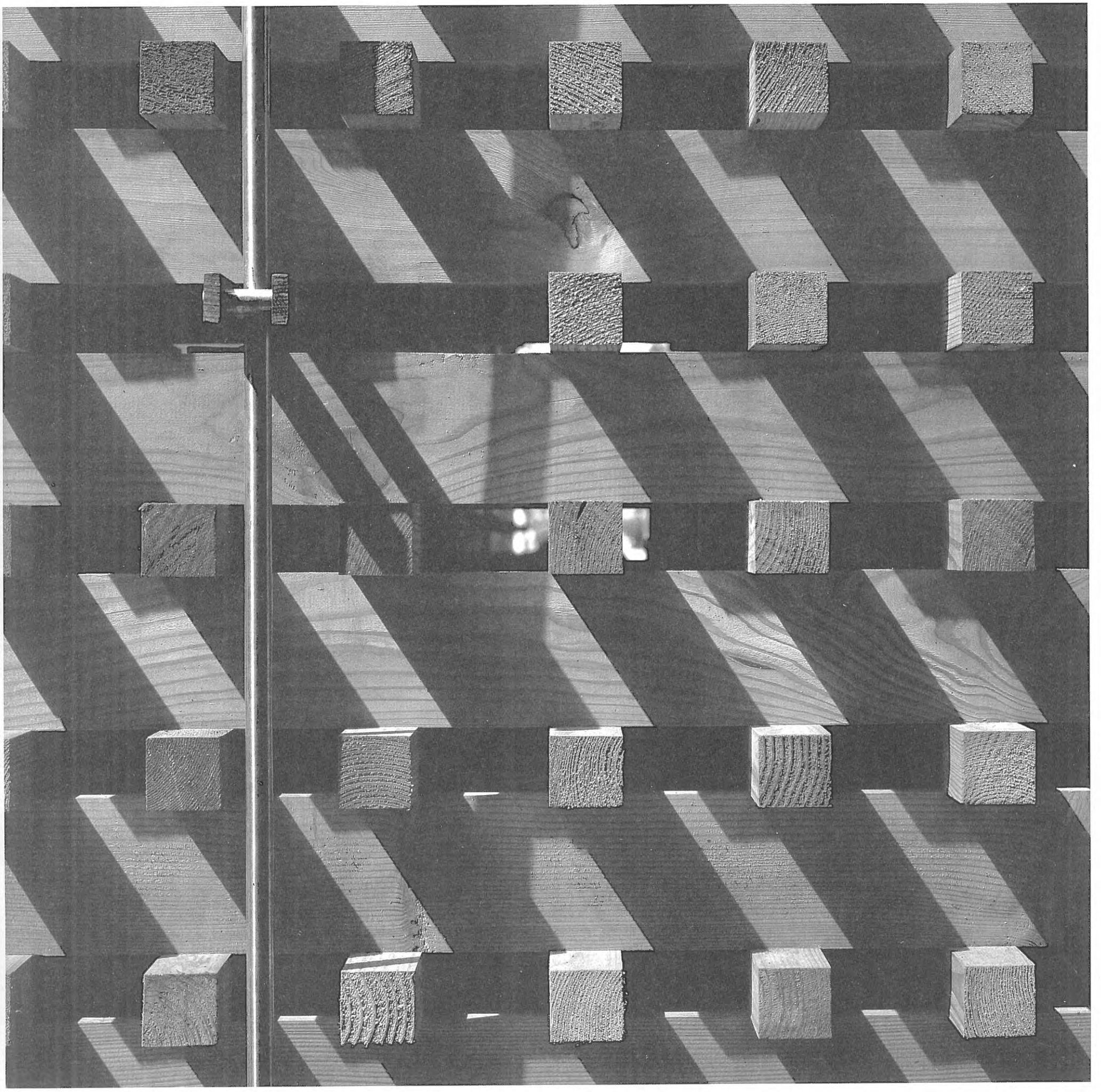
Below from left to right:
'Ladder' model under a bending moment
'Ladder' model under a lateral single load
Small element to investigate the spread of the tension field into the stacking timbers

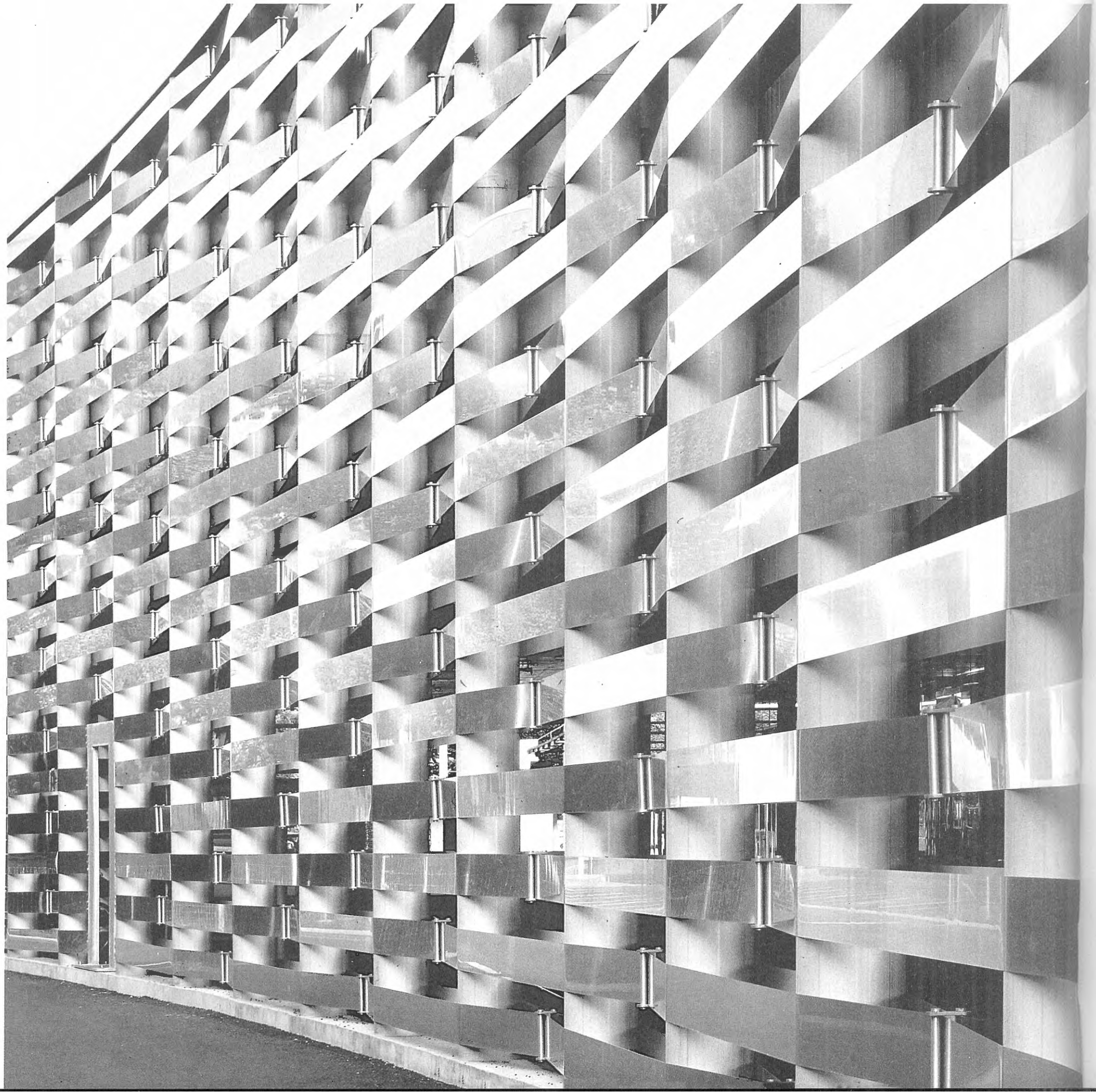
Facing page:
The stacks are stabilized with tension rods.



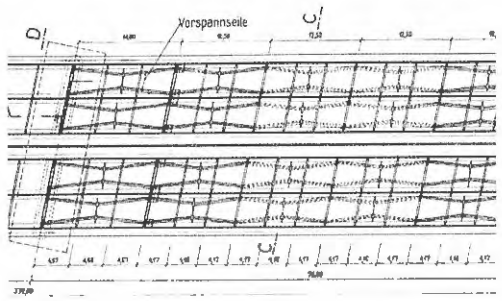








RBS Station Hall
Worb
1999–2003



Worb station is the originating point for two railway lines to the Swiss capital, Berne. One carries the trams of the Berne Transport system, the other is part of the Regional Berne–Solothurn (RBS) network, which runs direct commuter trains to Berne central station. The new RBS station hall handles large numbers of rush-hour passengers, and has additional facilities for park-and-ride. At night, after the trains stop running, it doubles as a vandal-proof train shed. In parallel with the design of the hall, the plaza in front of the station has been re-modelled to strengthen its relation to the city.

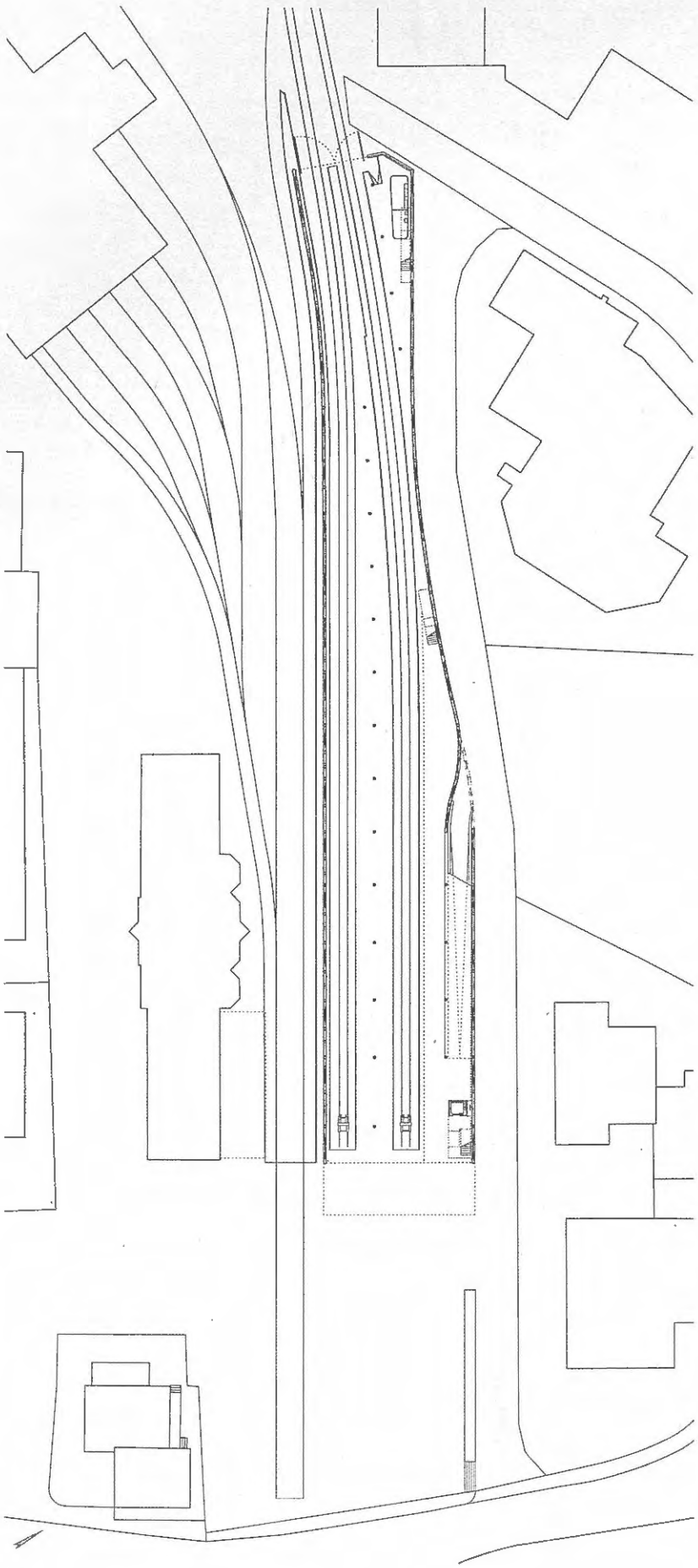
These different functions consume a considerable amount of space. To maximize its footprint, the station hall follows existing building lines (just as early English train stations did in densely populated areas). This gives the surburban station a snaking form and an almost metropolitan character. The structure is two storeys high. At ground level there are two railway tracks with a platform in between. Service areas and storage rooms are adjacent to the second track. The upper level contains parking.

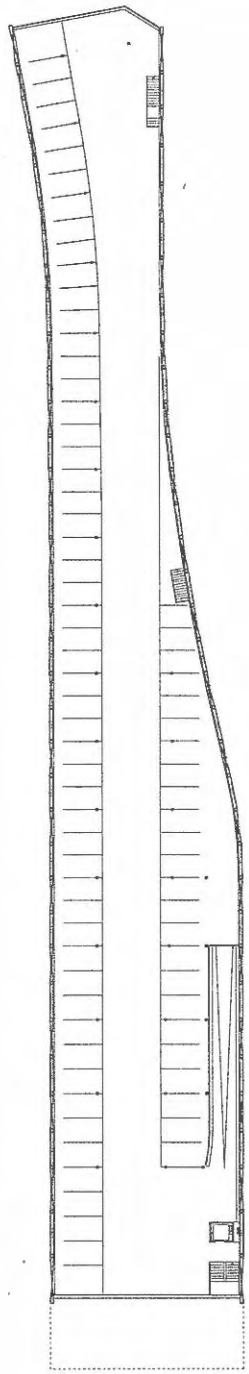
With this type of project, construction costs depend to a large extent on the spans of the load-bearing structure. The most effective positioning for the columns is on the platform at ground level and at the boundaries of the parking at the upper level. The positioning is largely determined by the use of the space, and the grid of columns that defines the railway is different from the grid for parking. For this reason the floor between the two different levels has to act as a load-distributing structure between the two grids. Normally one would accomplish this with a network of beams or a ribbed floor, but both of these require a certain geometrical order. A cheaper and quicker alternative in this instance was a two-dimensional, relatively thin structural concrete slab. The slab can easily take up the small loads of the roof, a lightweight construction of steel and timber.

Architects:
SMARCH (Stücheli, Mathys Architekten), Berne
Collaborator: Patrick Gartmann

Left:
The chrome steel post-tensioning bands of the facade

Right:
Detail of Mirko Robin Ros's proposal for Monbijou bridge, Berne, 1943. The arrangement of the cables enables a small force to produce a sizeable tension.

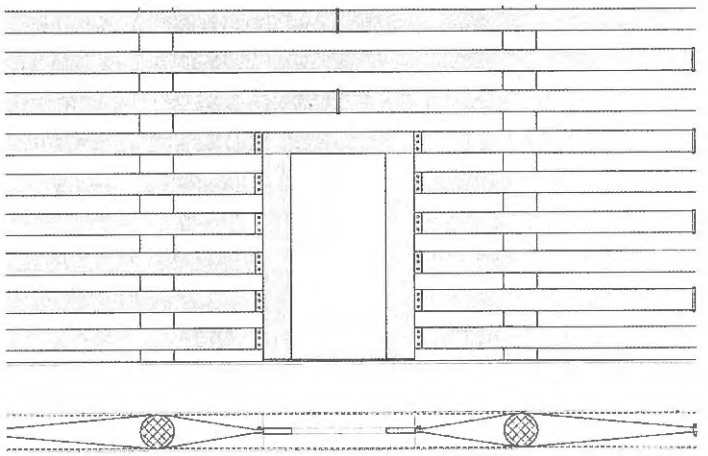




From top:
Upper floor (parking deck)
Site plan and ground floor

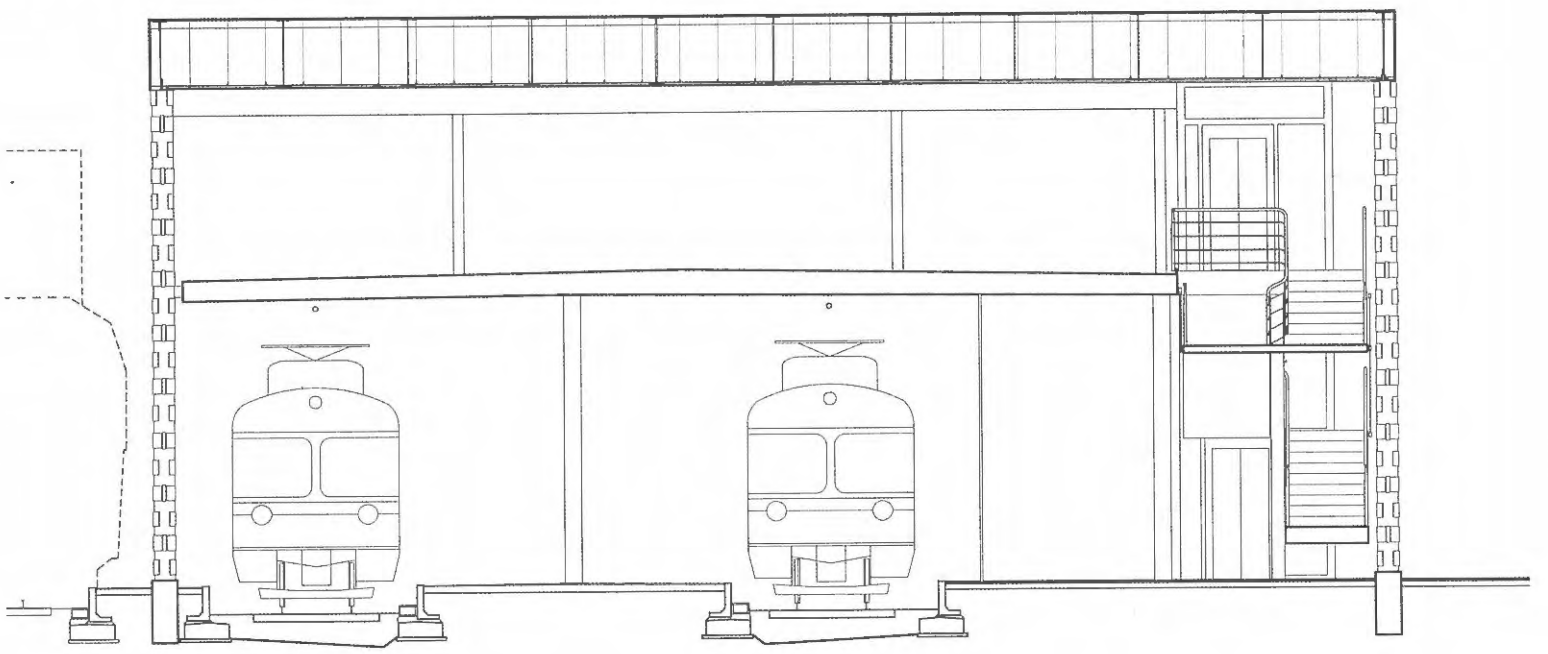
Right:
View and horizontal section through service doors

Below:
Cross section



In the heat of the initial competition we drew the facade as a skin of perforated plates suspended from rhomboid metal supports, fully aware that this could only be a provisional solution. It took some time (and a great deal of discussion) to find a system that could provide shelter without creating a sense of enclosure, and fulfil the railway company's needs for representation while being relatively inexpensive to construct. In close collaboration with the architects, we tested lattices between narrowly spaced columns, looking for spatial effects in the style of Dan Flavin's neon works.
Structurally the facade was studied as a mesh of post-tensioned cables. But the length of the facade and the friction losses at the support points meant it was not feasible to tension the cables only at their ends: the post-tensioning seemed to work better if the cables were 'spread', as they were in Mirko Robin Ros's project for Monbijou bridge in Berne.[1] There, the cables are run in parallel between fixed points and then intertwined perpendicularly. A small initial force ultimately generates a sizeable tension. Applying this principle to our work, we noted that if the tensioning could be achieved by 'spreading', then metal strips would do the job just as well as cables. Powerful round columns take up the vertical loads. The metal strips are arranged horizontally either side of the columns and when they are drawn together they push against the columns, becoming tensioned. At the same time the friction forces arising between the strips and the columns fix the lattice in place, avoiding the need for screws or welding.
The long lattice facades are terminated by corner columns with a drop-shaped section (to accommodate the tensile forces that subject them to an asymmetrical horizontal bending moment). The corner columns distribute the tensile forces to the foundations, to the floor between the two levels of the hall, and to the roof-edge purlins, which absorb the corresponding compression forces.
From an architectural viewpoint, it appeared straightforward to simply cut off the bottom of exceptional elements such as the pillars by the entrance to the ramp and let them 'hang' freely in the tensioned bands.
In the bands that are 'fixed' to the posts solely by friction, we can find a reference to one of the major problems faced in the early days of the railway: adhesion between wheel and track. A fear of slipping wheels was the main reason why, for many decades, railways were practically confined to level ground (Brunel's 'billiard table').
Eugène Freyssinet's words seem to encapsulate the principle behind this project:
'The system of post-stressing is a state of mind, an affirmation of the engineer's determination to no longer submit to the consequences of the initial elastic states.'

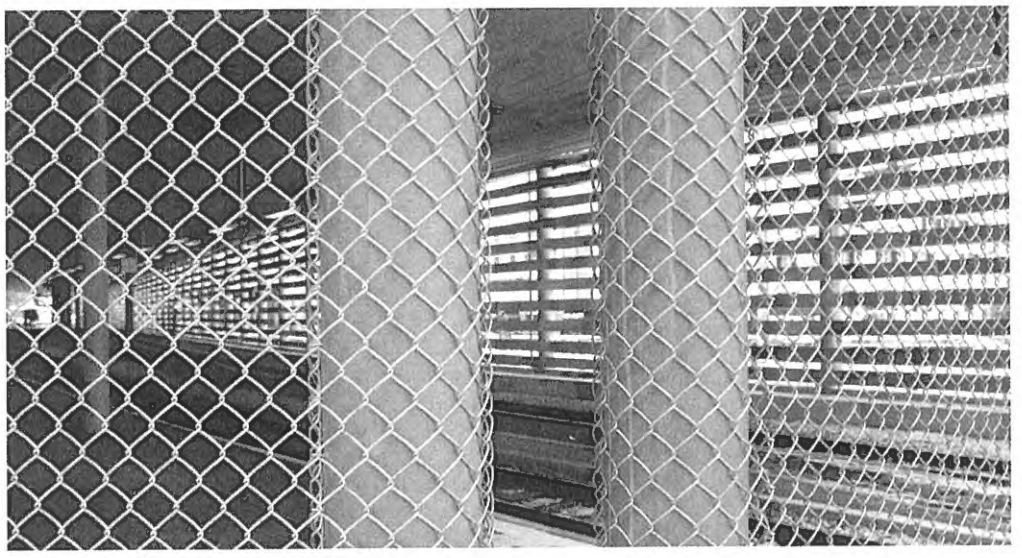
1 Mirko Robin Ros, 'Die Anwendung der Vorspannung im Eisenbetonbrückenbau anhand des Beispieles der Aarebrücke Sulgenbach-Kirchenfeld', *Schweizerische Bauzeitung*, 21 August 1943, p. 85. Cf. Fritz Leonhardt, *Spannbeton für die Praxis*, Berlin 1955, p. 135.

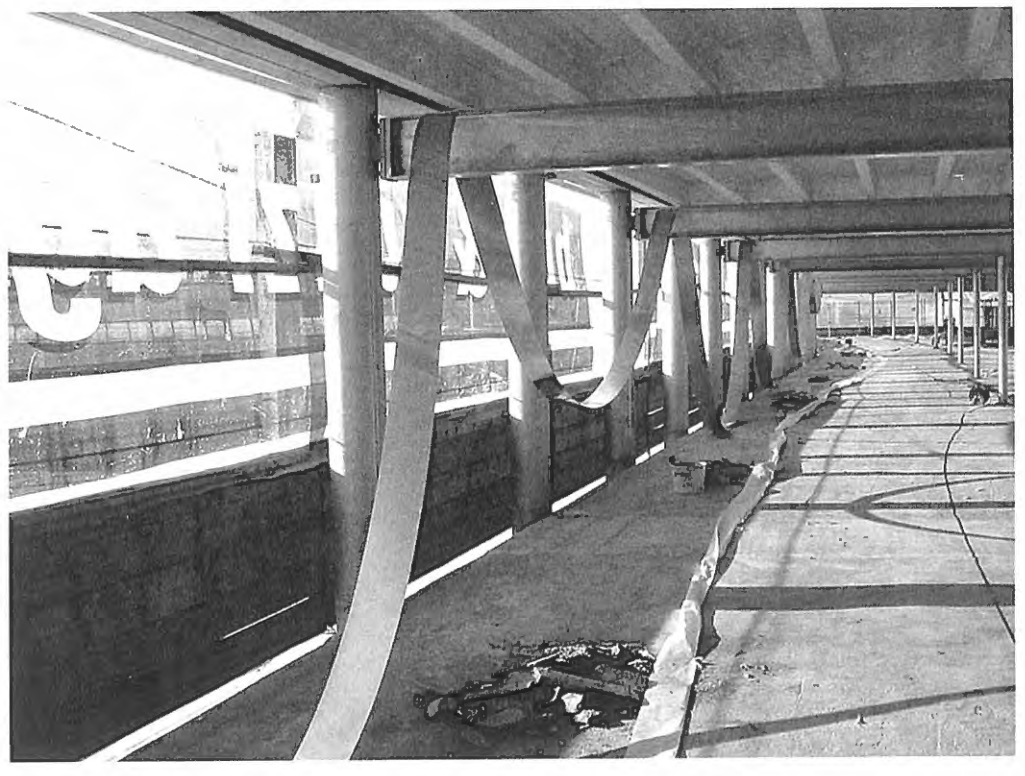


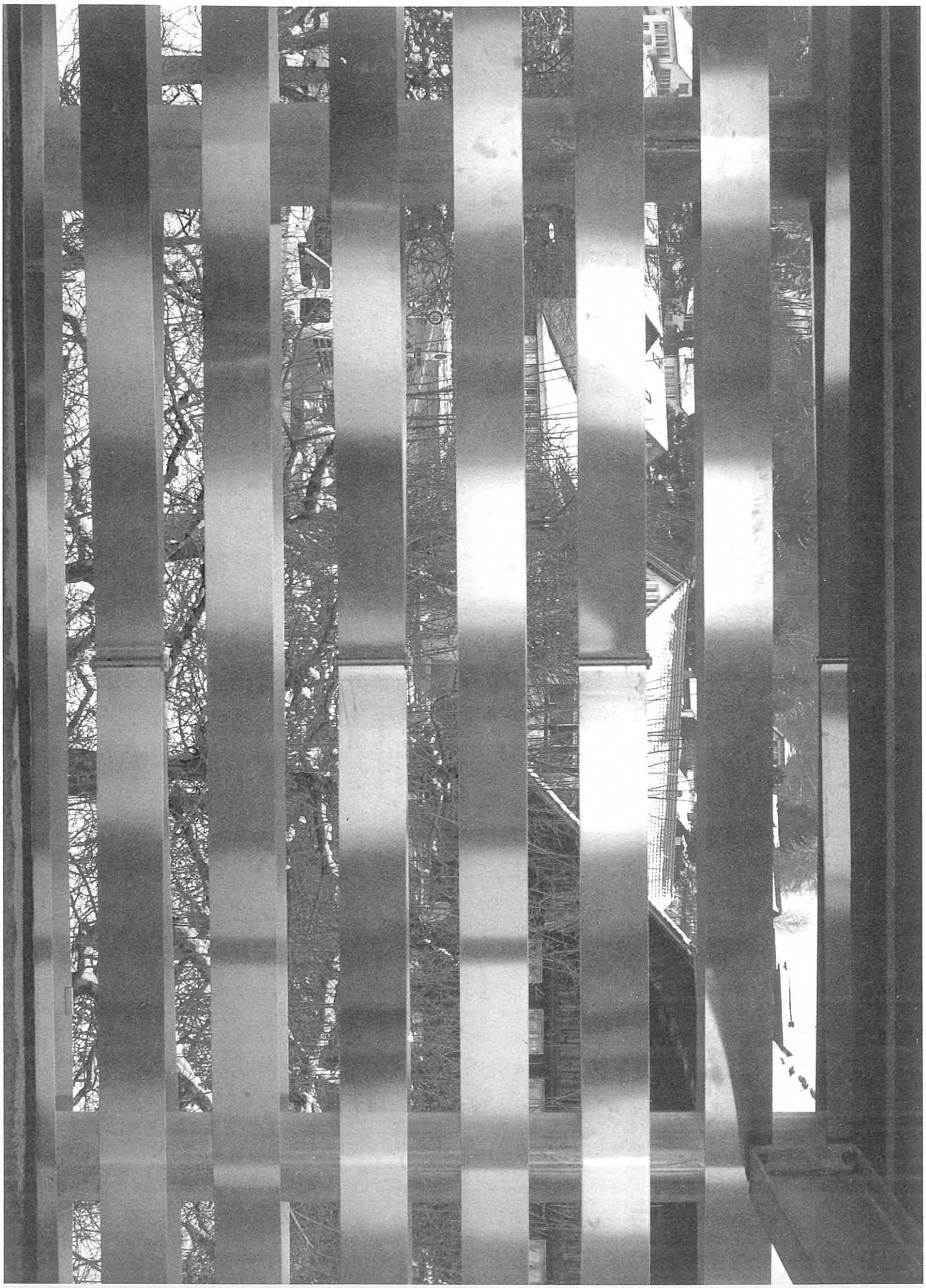
Left:
East facade

Top:
Detail of north facade. This facade is short, kinked, and perforated by the large entrance gates to the station. It is enclosed by wire mesh.

Bottom:
Parking deck during installation of the metal strips







Facing page:
The scene glimpsed through the metal strips is surprisingly rural.

Left:
Worb is served by two independent railway companies: between the existing station building and the new RBS hall are the tram tracks of the Berner Verkehrsbetriebe (BVB).

Below:
Interior of new hall, looking towards the entrance

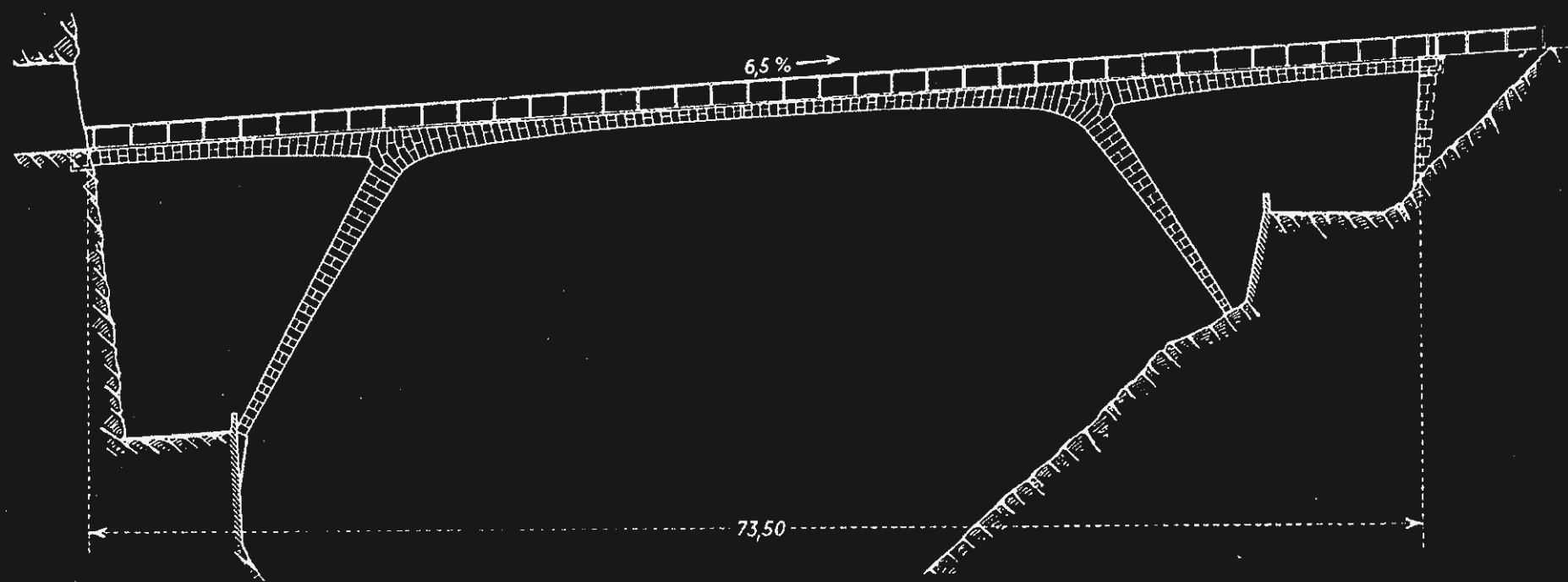
The Cultural Landscape

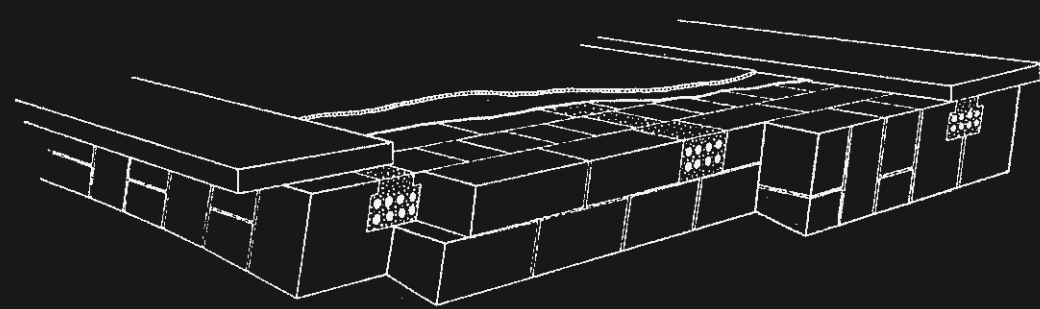
This last section encompasses four bridge projects which are all concerned with the 'landscape' in more than a strictly topographical sense. By landscape I mean not only nature modified by man but also – to adopt Walter Zschokke's definition – a 'conception of the inner eye, shaped by the movements and events of human civilization'.[1] Although these projects are strongly defined by economic and functional considerations, there are other themes at work too. Landquart and Bennau, for example, can be seen as variations on the traditional typology of the tripartite bridge, which is often seen in the Rhaetian railway as a three-arched crossing, and which in turn refers to precedents in French landscape design, the works of Palladio and the like. Delving deeper, and in contrast to these precedents, the motif of the flared beam combined with small abutments plays an important role at both Landquart and Bennau. The idea that the structure should have a minimal impact on the ground, not interrupting the flow of the slopes on either side, reflects a concern for the environment, of course. But it also draws on specific references: 'The bridge hardly disturbs the ground, a characteristic of modern engineering technology as well as of modern plasticity', Max Bill wrote with regard to Maillart's Thur bridge near Felsegg;[2] and Christian Menn used pointed beams at the ends of the Rhine bridge at Maienfeld and the Stenna bridge at Flims, among others.

With the Pùnt da Suransuns the use of local stone was intended to integrate the work physically into the surroundings of the gorge and culturally into a landscape defined by a yearning for the south. This Viamala landscape was as well known as the Schöllenen Gorge at Gotthard Pass at the time of the Grand Tour, and landscape painting of the eighteenth century attests to the long-standing connection between the two regions.[3] More recently, in the 1950s, a proposal to replace the Teufelsbrücke (Devil's Bridge) over Schöllenen Gorge drew Hans Hilfiker and Heinz Hossdorf into what was perhaps the most fierce debate about bridge-building ever held in Switzerland.[4] The ideas arising from that debate, which had no chance of being realized at the time, informed the design of the Pùnt da Suransuns.

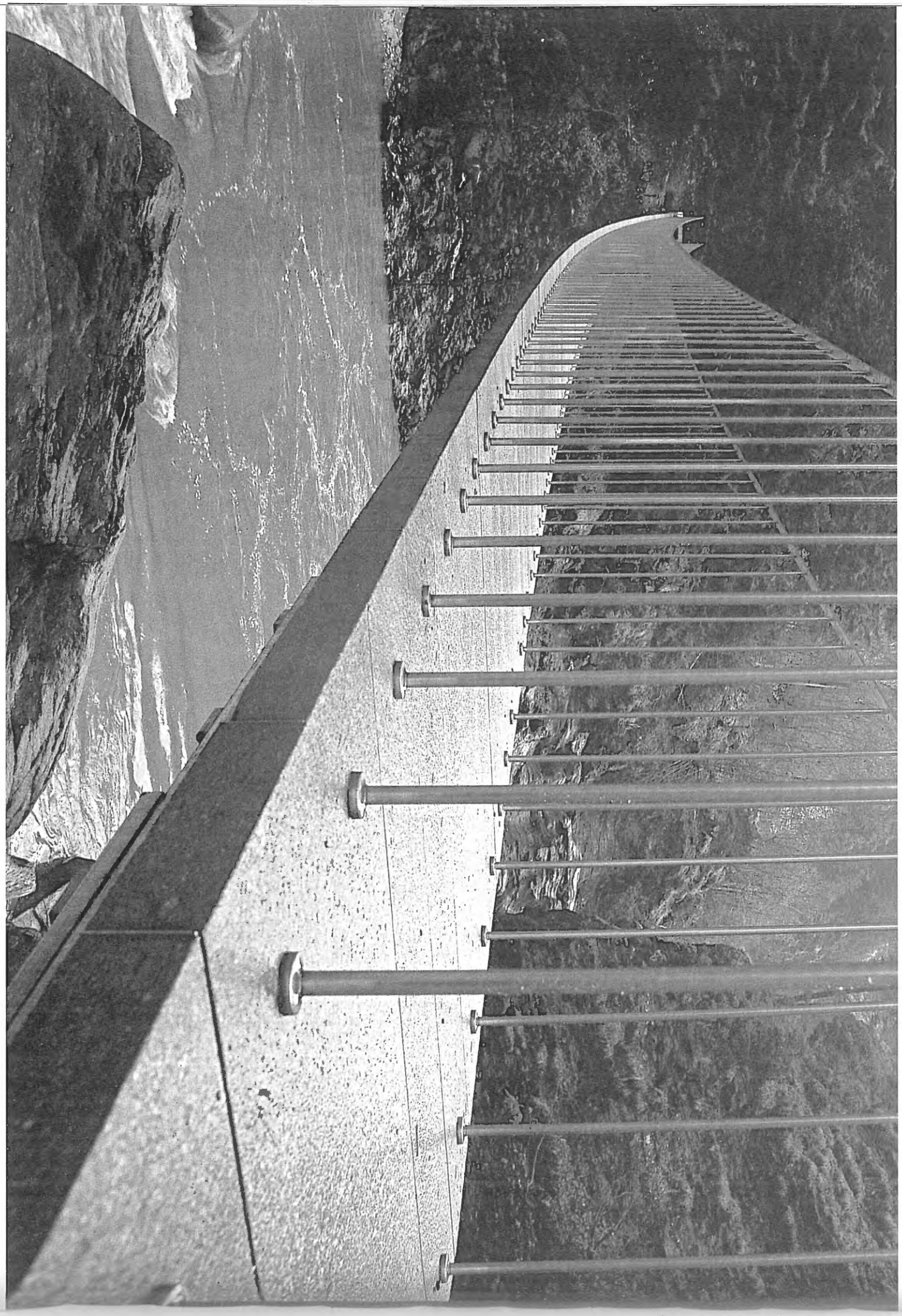
The considered use of materials also played an important role in the Coupurebrug. The spatial conditions of the immediate environment were another decisive factor. As at Suransuns, there was a distinct reference to the *genius loci*, expressed not in stylistic borrowings from the medieval (and neo-Gothic) image of the town of Bruges, but in a discreet metaphorical manner: the 'primitive' mechanism of the bridge recalls the winding mechanism of an old military machine or portcullis. Technology as a formative influence on style is an interesting theme, and if the entablature and capitals of Bennau Bridge are reminiscent of classicist borrowings, this was a by-product of the design rather than an express intention. JC

1 Walter Zschokke, ETH Dissertation No. 7974, Zurich 1986 'Die Strasse in der vergessenen Landschaft, Untersuchung von Einflüssen auf die Gestaltung von Ingenieurbauwerken der dreissiger Jahre ausgeführt am Beispiel der Sustenstrasse', published as *Die Strasse in der vergessenen Landschaft. Der Sustenpass*, Zurich 1997.
2 Max Bill, *Robert Maillart*, Erlenbach-Zurich 1949.
3 Leza Dosch, *Kunst und Landschaft in Graubünden, Bilder und Bauten seit 1780*, Zurich 2001, pp. 57–8: 'Viamala und Teufelsbrücke'.
4 *Schweizerische Bauzeitung* (SBZ) 1953, pp. 57 ff., 97, 259 ff., especially Hans Hilfiker, 'Zum Gespräch um die Schöllenen', p. 399 ff.; and Heinz Hossdorf in SBZ 1954, p. 676; other contributions: SBZ 1955, pp. 453, 529, 554, and Mirko Ros, 'Zum Bau der neuen Teufelsbrücke', p. 568 ff.

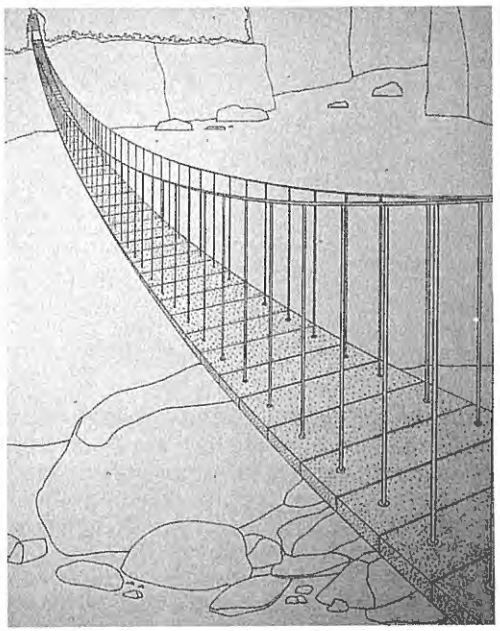




The inspiration behind the stone stress ribbon at Suransuns was Heinz Hossdorf's proposal for a prestressed granite structure for the new Teufelsbrücke in the 1950s.



Pùnt da Suransuns
Viamala
1997–99

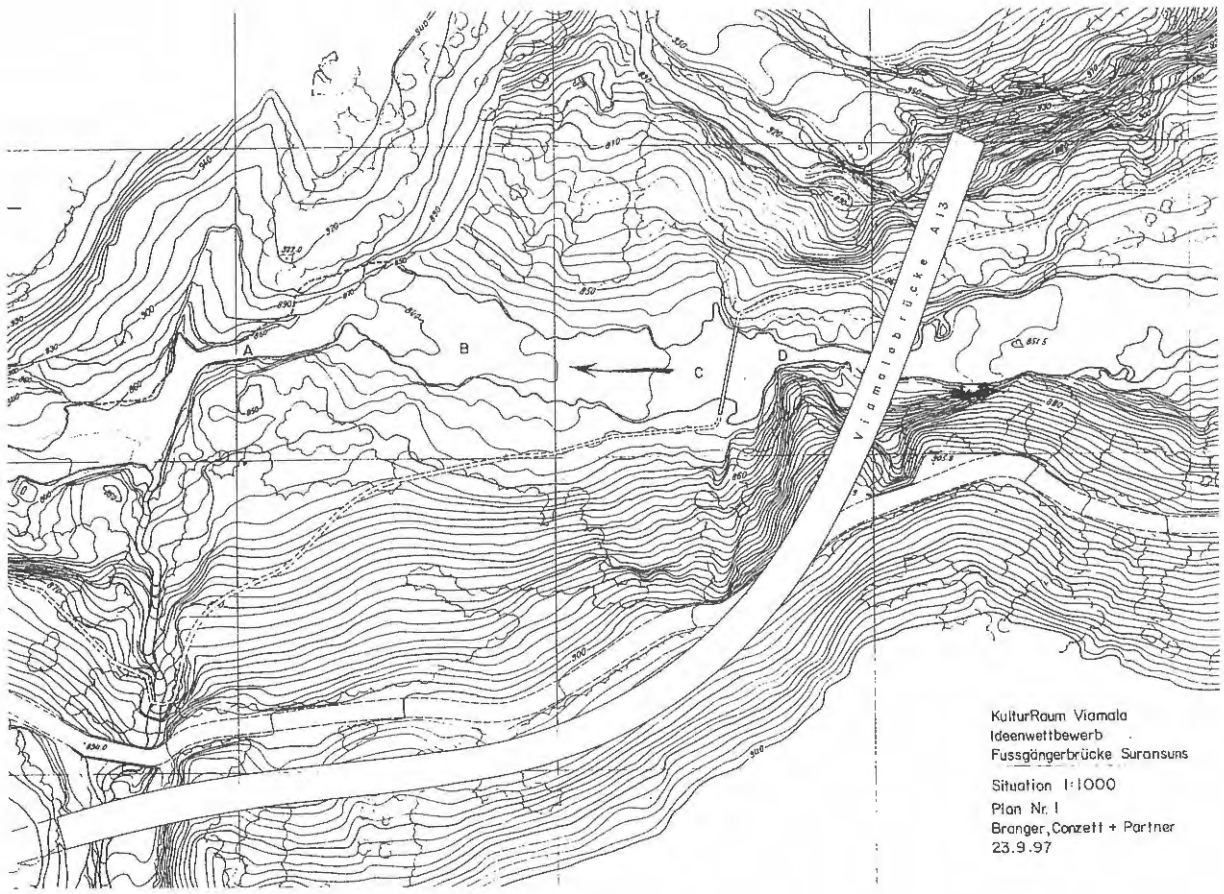


The design of the Pùnt da Suransuns was guided by the double choice of stone and a stress-ribbon system. The bridge was to be made from stone as a contrast to the timber structures of the Veia Traversina in the northern part of the Viamala Gorge. It was to be a material manifestation of the cultural divide between north and south, as well as a foretaste of the stone paths south of the Viamala trail. Locally quarried Andeer gneiss (a type of granite) was selected for its outstanding physical properties. In terms of the structure, a stress-ribbon system was persuasive on both an aesthetic and a technical level; it allowed for flooding and accommodated the differing heights of the river banks. The apparent contradiction between the heavy material and the requirement for a lightweight structure (with regard to the anchoring) was resolved by the fact that a heavy stress-ribbon bridge becomes stiffer than a lightweight one. In addition, a thin prestressed stone deck behaves as if it were a single large monolithic slab.[1] V4A stainless steel or duplex steel was used for all steel parts, as the bridge is exposed to salt-spray from the road above. The butt joints of the stone slabs were filled with 60 x 3 mm aluminium strips. Because of its creep properties, aluminium has long been used to fasten glass, and here it was used as a substitute for mortar and as a levelling layer. The static behaviour of the stress-ribbon is similar to that of a suspension bridge – if one imagines the walkway as a combination of supporting cable and stiffening girder. In this case, since the girder is very slender, the entire bridge can be considered as a flexible rope upon which forces and deflection can then be calculated. The stiffening girder acts only locally, smoothing the angle in the deflection curve caused by a point load. If these angles are considered in a first approximation as fixed values, the bending moment in the stiffening girder transforms these angles into a continuous curvature of a certain length (depending on the flexural stiffness of the girder). A rod of infinite length, with tensile force H and bending stiffness EI, subjected to a single point load, is used as a static model for this second approximation.

Collaborators:
Fredric Benesch, Guido Lauber

Left:
The deck of the stress-ribbon bridge is constructed with slabs of Andeer granite that are prestressed over rectangular steel bars. Compared to a conventional deck, this prestressing increases the stability considerably.

Right:
Drawing by Fredric Benesch

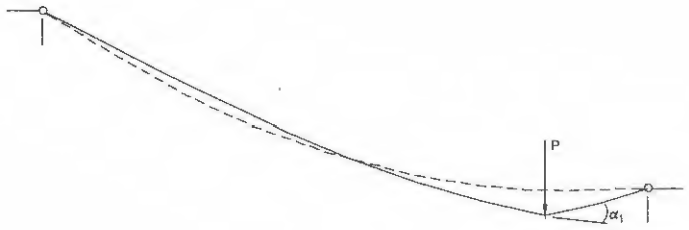


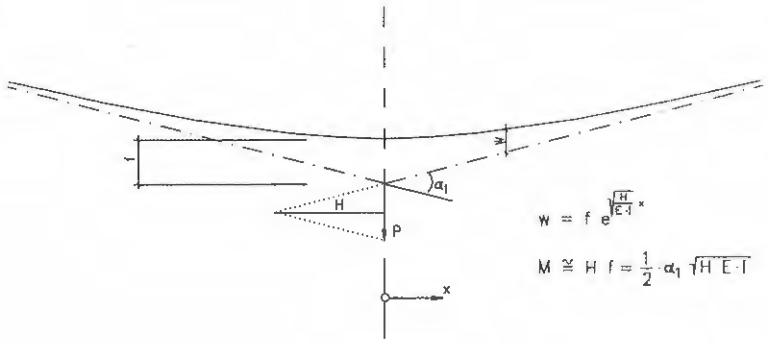
If the tangents of this deformed rod intersect at the same angle as the tangents of the flexible rope, the bending moment corresponds to an upper boundary limit of the actual beam. The moments of fixity at the anchoring points are calculated in the same way (diagram right). In view of the prestressing of the deck, the longitudinal and flexural stiffness of the stress ribbon can be determined by the application of idealized cross section values that take into account the load-carrying behaviour of the stone slabs. The actual flexural stiffness of the slabs pressed together was measured in a test rig with five slabs. Depending on the accuracy of the joint, the measured flexural stiffness was less than half of the theoretical value. The prestress also increases the stiffness of the bridge with respect to lateral and rotational forces. The frequency of the vertical oscillation is considerably lower than that of the first torsional mode, ruling out dangerous fluttering.

From the simple geometry, the horizontal tensile force for the continuous permanent load of 2 kN/m can be calculated as 400 kN. To define the prestress, an imposed load of 2 kN/m is again considered, which is sufficient to ensure that, at an average temperature, a total force of 800 kN would be transferred through the tie-bars. The fatigue in the fixing point at the supports determined the dimensioning of the steel cross section. The corresponding stresses could be considerably reduced by leaf springs in the support area. For the stress analyses, the limit cases 'homogenous cross section' and 'frictionless cross section' were investigated and compared. The bridge follows the principle of dry construction: once the abutments are in place there is only stacking, tensioning and bolting to do. This means that the abutments had to be poured with the utmost precision. The vertical gusset plates (to which the tie-bars are fastened) were cast directly into the concrete. A helicopter ferried the materials the short distance between the nearby road and the site. The relatively light tie-bars were flown in as complete pieces. Once the steel ropes were fixed, the granite slabs were placed manually piece by piece, starting at the lower abutment. The slabs were attached to the steel ropes via railing posts. The nuts securing the posts were then partially tightened, leaving enough leeway for the slabs to be moved along the ropes. The finished deck was packed against the gusset plates with steel inserts, so that when the ropes were tightened, the slabs wedged against each other in such a way as to form the equivalent of an upside-down arched bridge. Only then were the posts tightened and the railing welded to them.

The visual aspect was tested during the planning stage using a 1:20 scale model. The deck was modelled with 3-mm-thick granite pieces. Even the results of the static calculations could then be tested qualitatively, and the torsional stiffness value was found to be very high. Prediction of the oscillation behaviour was difficult, because no empirical values were available for structural damping of this kind. Appropriate care was taken when considering the maximum oscillation amplitude for the fatigue safety verification. Whilst the vertical oscillations can clearly be felt when crossing the bridge, walkers have commented that the bridge is 'user-friendly': it does not yield as much as one might expect.

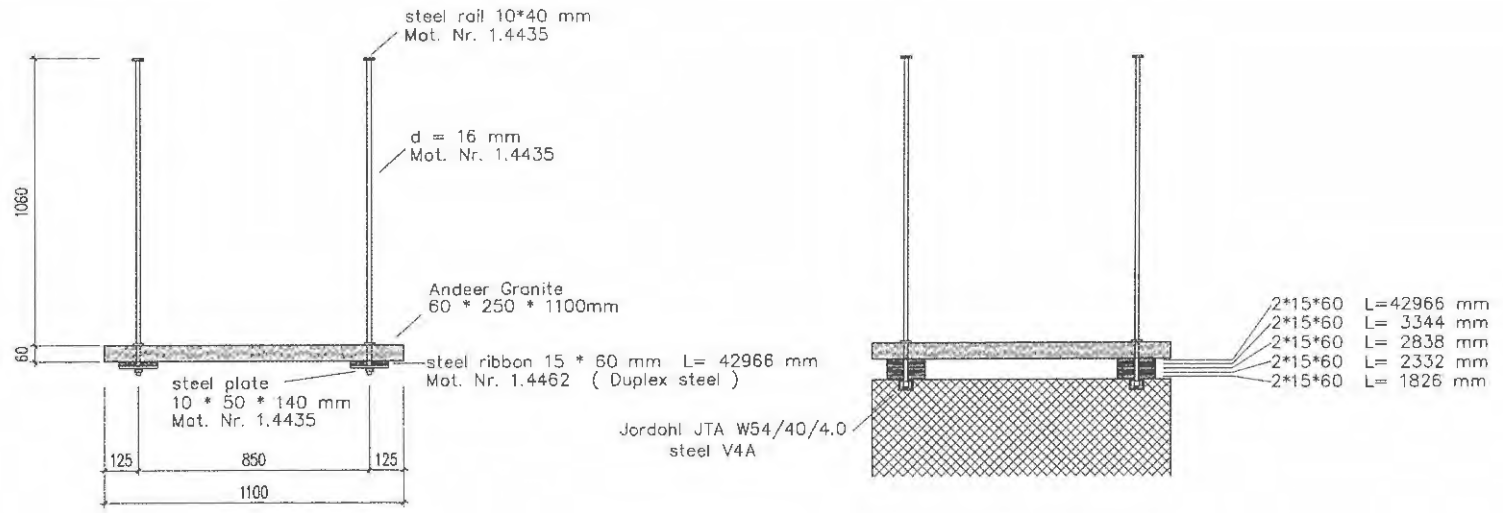
1 This principle pays homage to Heinz Hossdorf who, in the 1950s, proposed a prestressed granite structure for the new Teufelsbrücke near the Gotthard Pass.



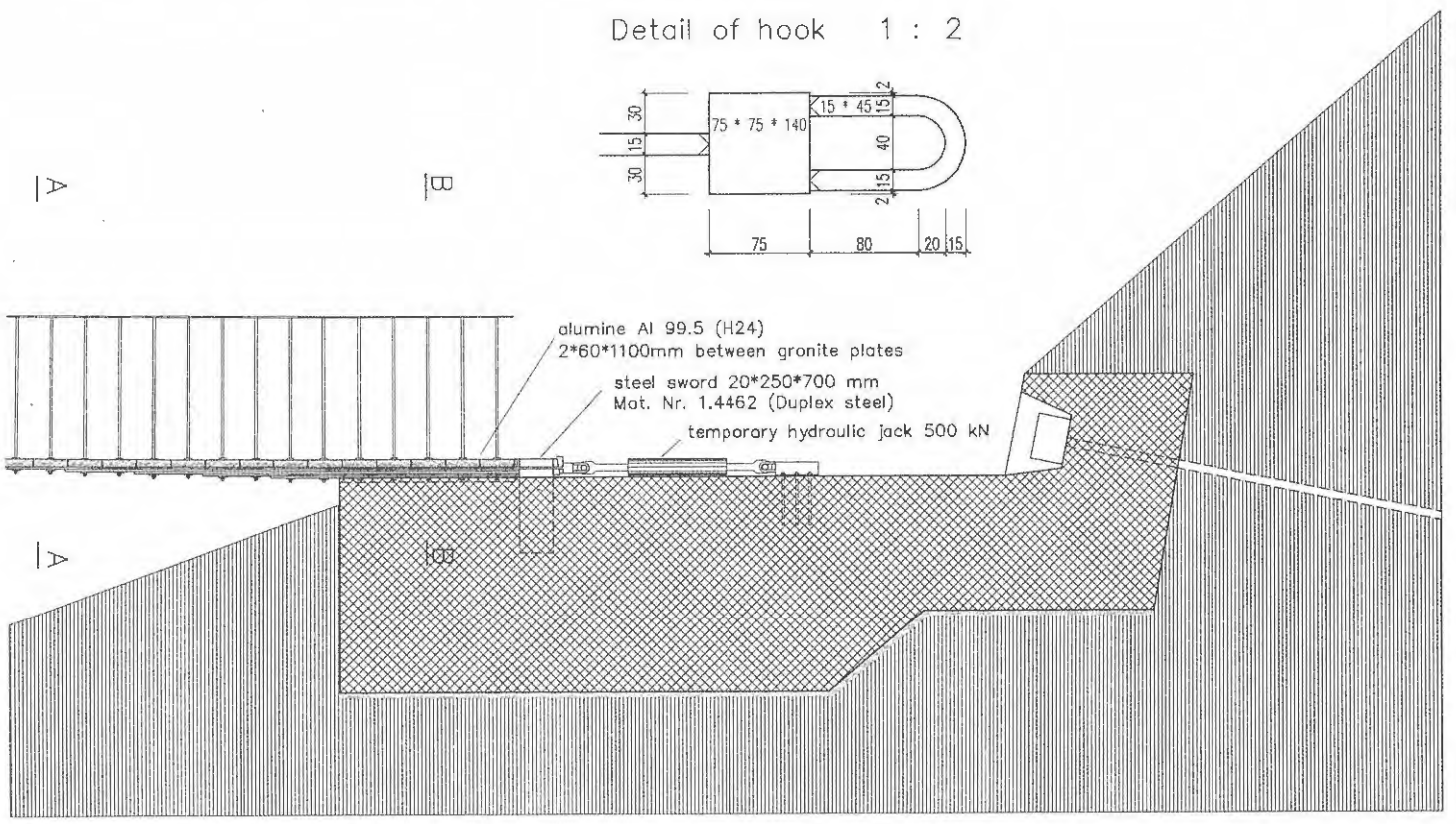


Facing page, top:
Site plan. Choosing the right location for the bridge – a vital link in the Viamala trail – proved to be more difficult than we had anticipated. A crossing at the narrowest point of the Hinterrhein river (point d) would have required walkers approaching from the west to negotiate a steep rockface and a field of scree. A crossing to the north (points a and b) would have presented similar problems. Therefore, the best location was across the widening river below Suransuns (point c). The disadvantage of the longer span was offset by the ease of access from both sides of the river and the greater remove from the road bridge above.

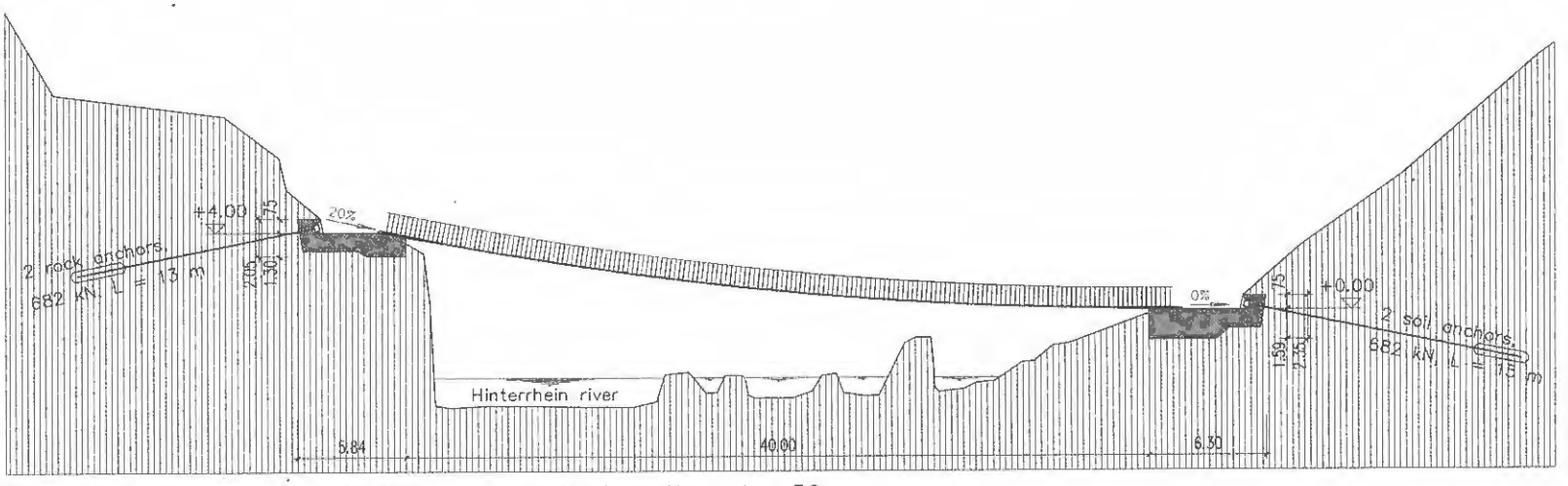
Facing page, bottom:
Calculation of the moments of fixity at the anchoring points



Detail of hook 1 : 2

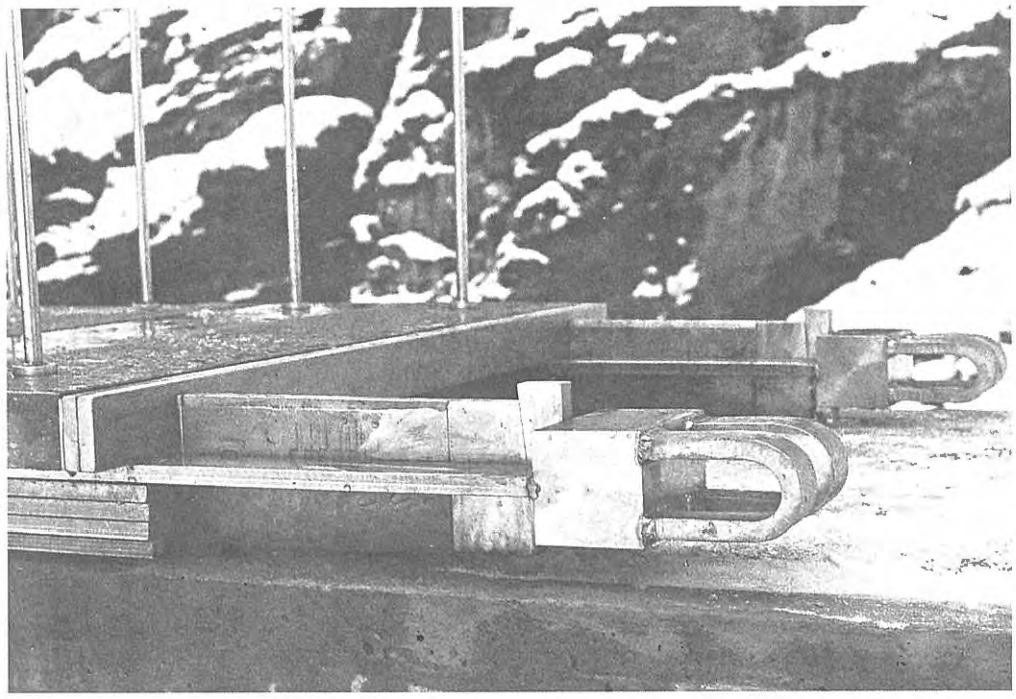


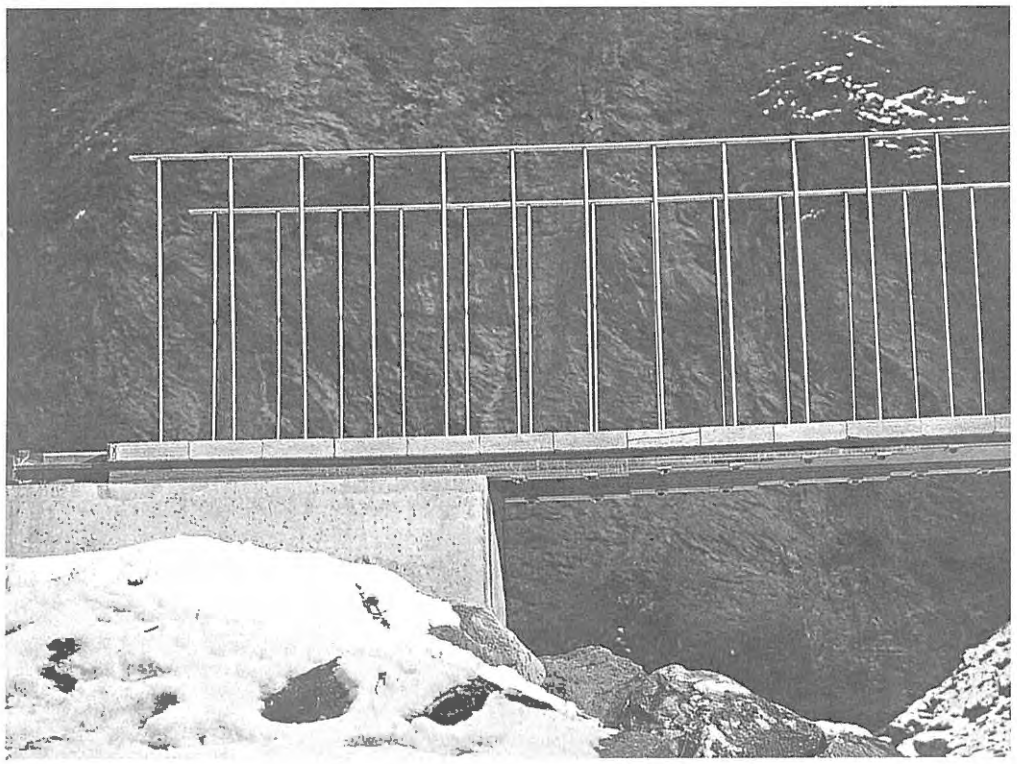
Pùnt da Suransuns Detail of western abutment 1 : 20

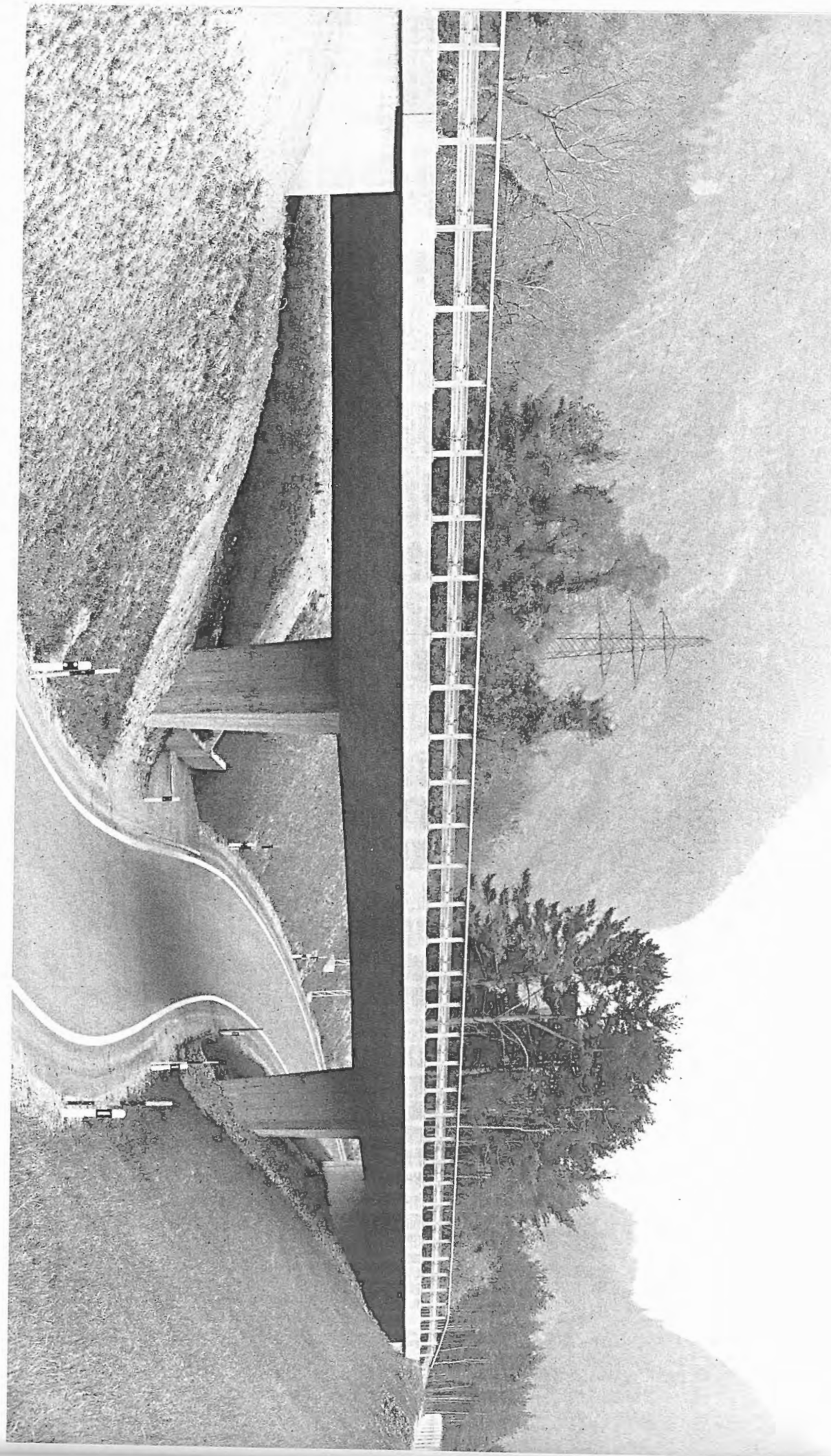


Pùnt da Suransuns Viamala 1999, longitudinal section 1 : 50

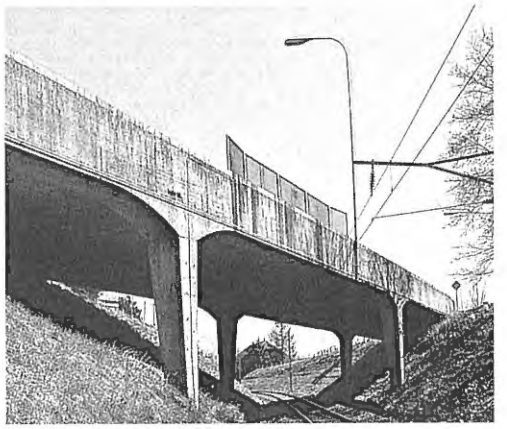
From top:
Detail of end anchoring
The hooks were used to fix
hydraulic jacks for the prestressing.
Detail of leaf spring







Landquartlöser Overpass
Graubünden
1993–94

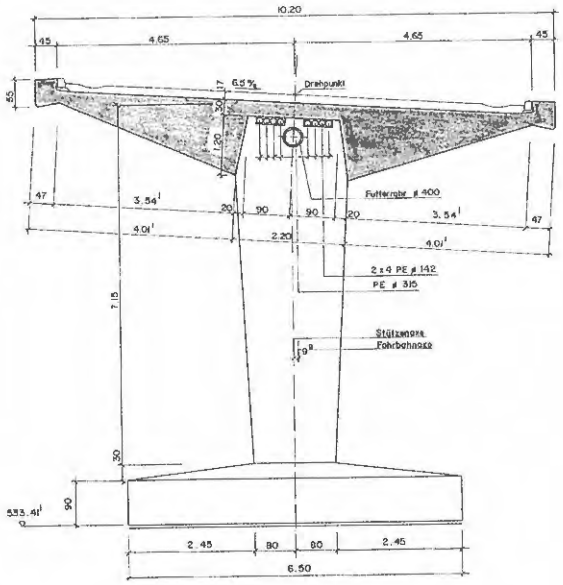


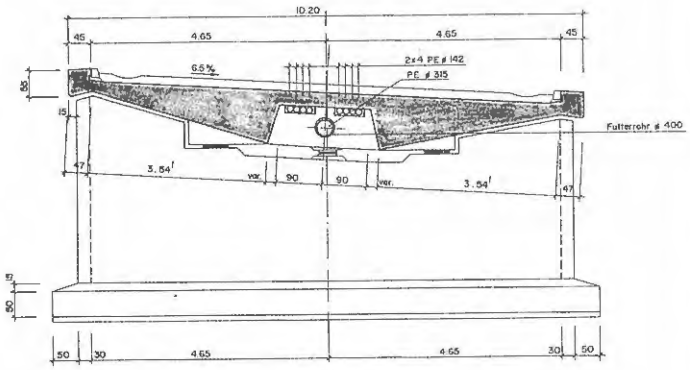
Taking highways over exit spurs is supposedly a down-to-earth task, but it can be handled in a dozen different ways. With this project, we worked closely with Heinrich Figi of the Graubünden Department of Civil Engineering to develop an approach that was both practical and applicable on a general level. A particular concern was to find a formally satisfactory means of integrating services into the structure. (Most highway bridges were not originally designed to carry services, so they tend to be harmed aesthetically by their addition.)

At Landquart the road divides at a sharp angle, and bends both horizontally and vertically. Driving on the single-lane exit spur, which runs along an S-shaped cut underneath the bridge, requires a certain level of concentration, so for safety reasons it was important to avoid any further distractions for the driver, such as contrasts between light and dark or blindspots. This determined the choice of a tripartite beam bridge with wide openings, slender pillars, and abutments set inconspicuously into the slopes of the exit road. Visibility conditions were tested at an early stage with a 1:100 model. Our success in minimizing the visual impact of the bridge is demonstrated by the fact that even 'bridge-spotters' will often drive by it unawares. The spans are 19 + 28 + 18 metres and the abutments are skewed in plan 45 degrees from the long axis. The bridge is stabilized by intermediate pillars that are fixed monolithically to the girder, while the end supports can move in a longitudinal direction – a 'swimming' system. The only elements subject to wear are four elastomere bearings, which are located at accessible points above the abutments and so are easy to replace as required. In addition, the superstructure at the abutments is secured against lateral earthquake forces by two steel guide bearings. The form of the girder was determined by the conduits for the supply services. In addition to the usual drainage channel there are also electrical power lines. It is now standard practice (as well as common sense) to carry these infrastructural services along the route of highways and through road structures.

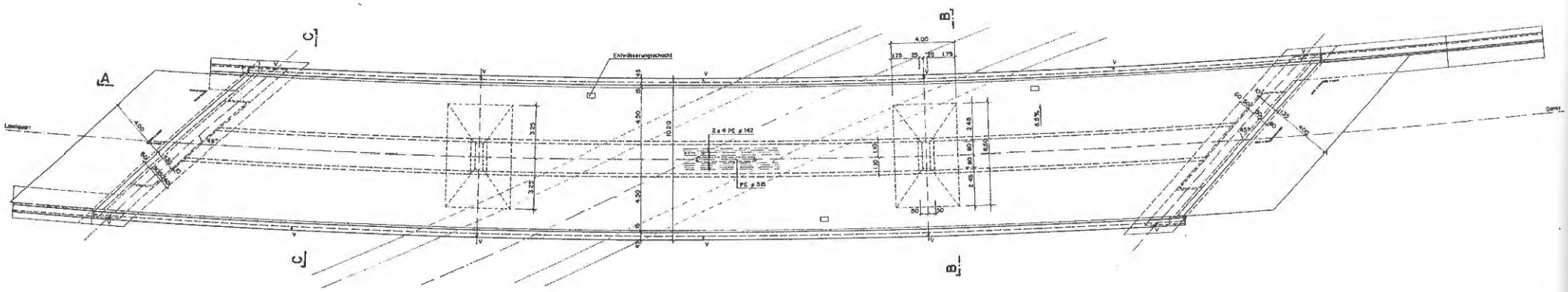
Left:
View from west

Right:
Robert Maillart's bridge in Huttwil (1935) is also tripartite with skewed supports

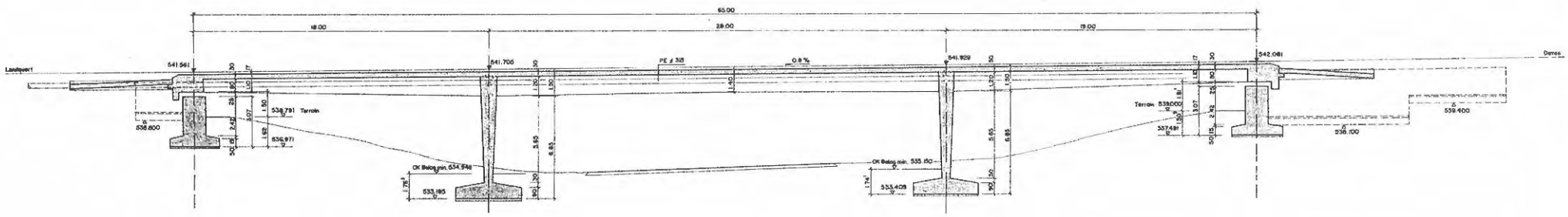




GRUNDRISS 1 : 100

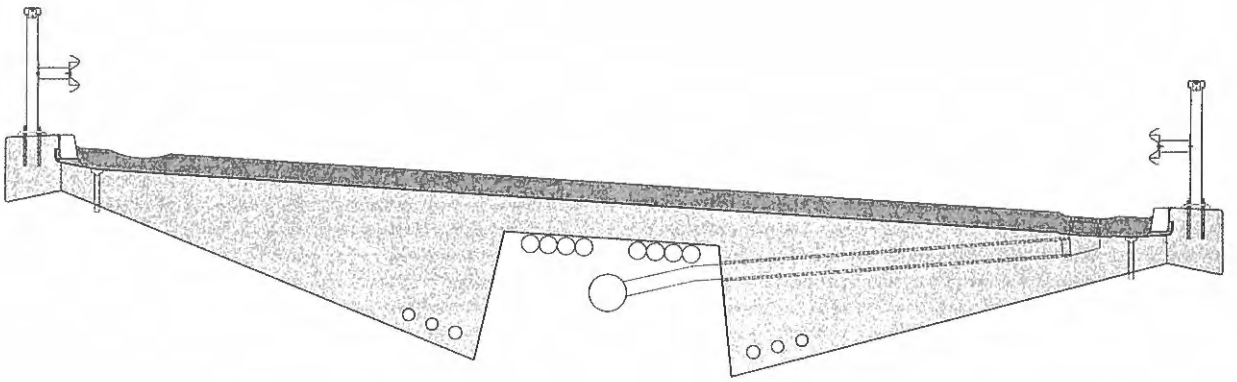


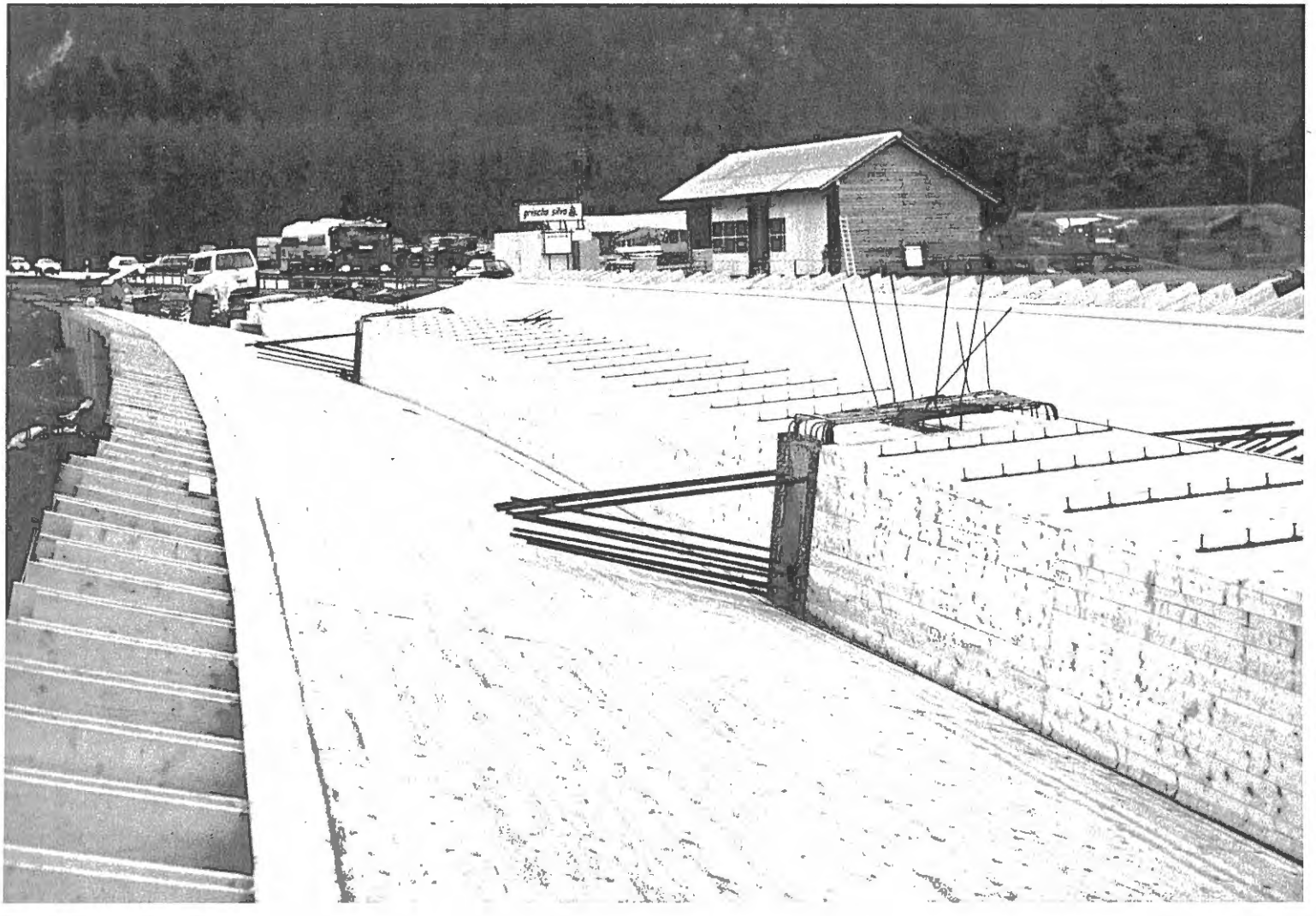
LÄNGSSCHNITT A-A 1:100



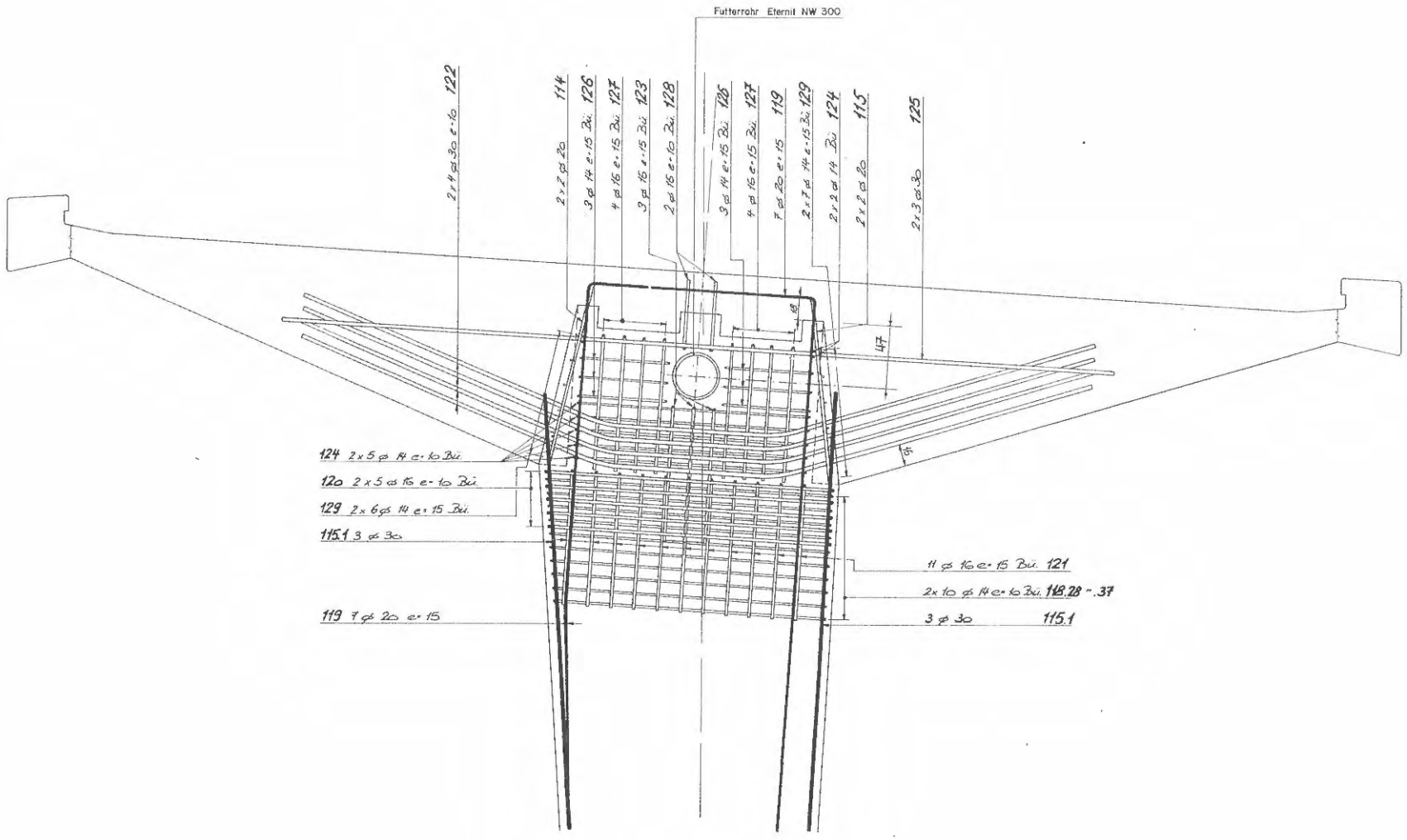
Clockwise from top left:
Section through pillar
Section through abutment
Plan
Longitudinal section

From top:
Girder form (section with services)
Formwork for girder





Below:
Reinforcement of pillar head

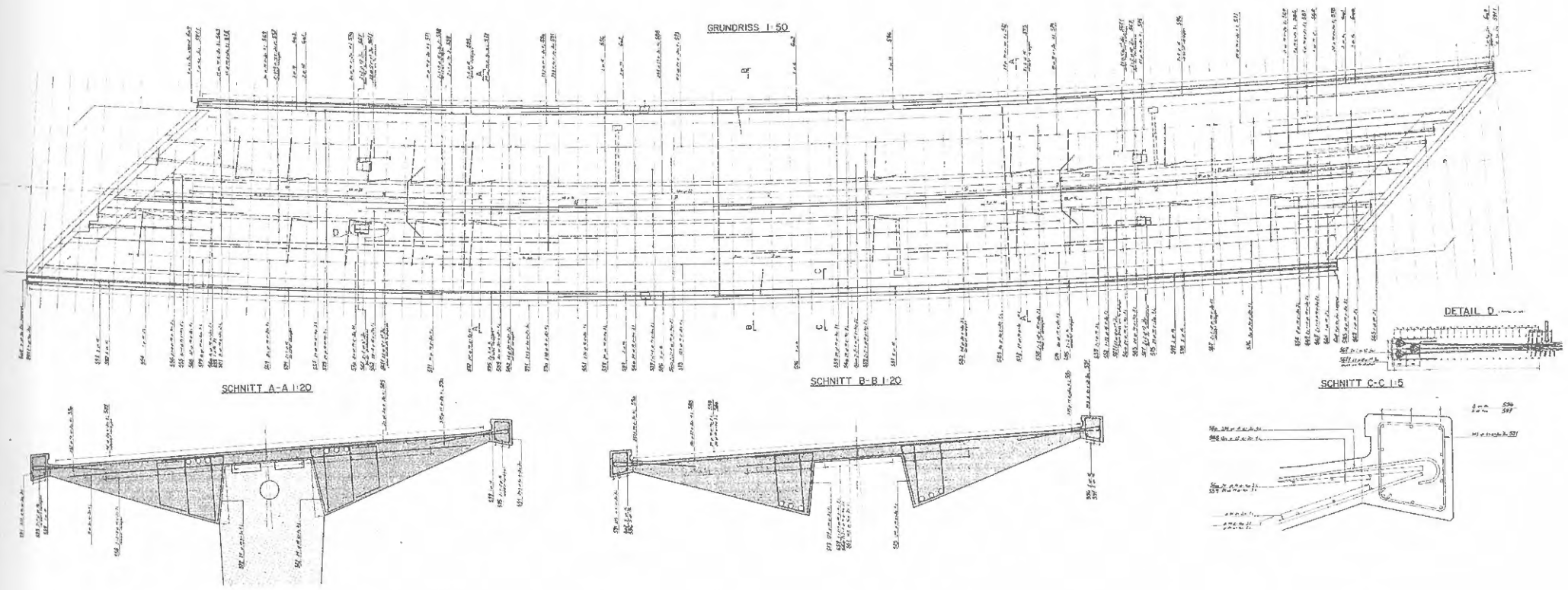


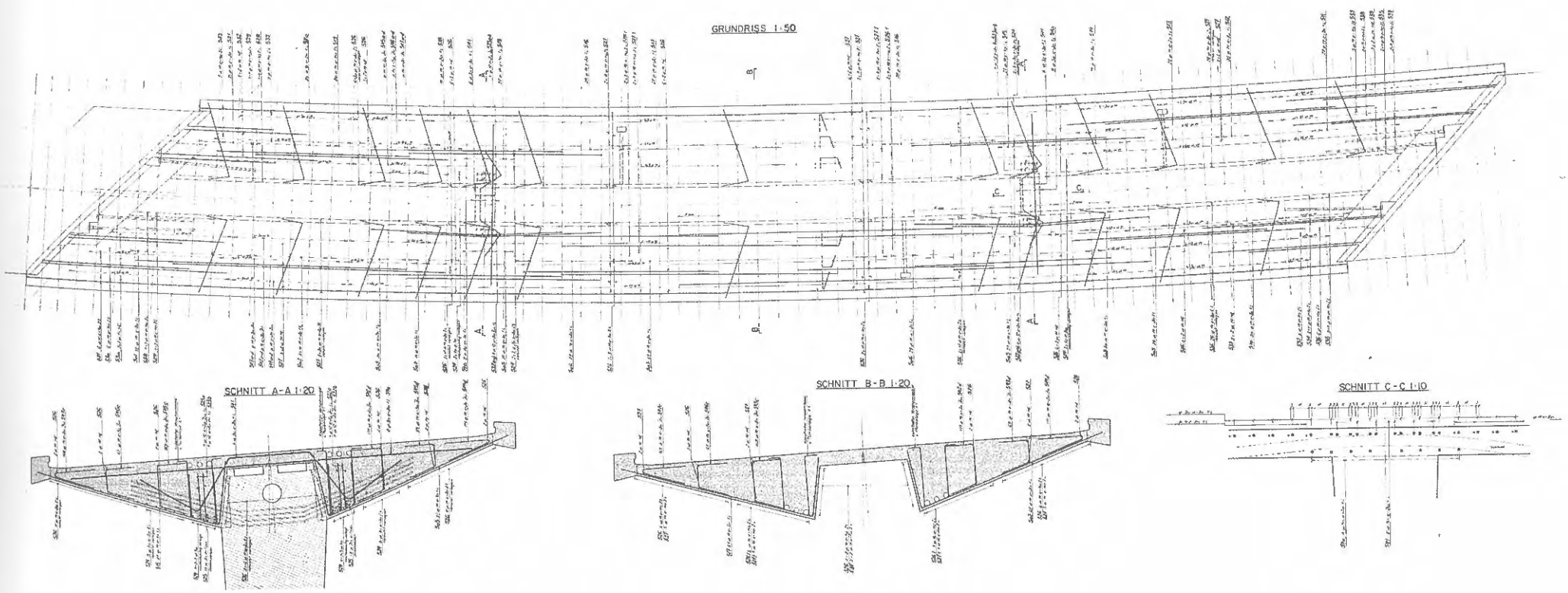
The desire to define a solution that was functional in the widest possible sense gave rise to the unusual form of the superstructure: a solid slab of variable thickness with a central groove running along its length. With this solution the services are easy to access from below, and they can be monitored and controlled at any time. But their protected position makes them as good as invisible to users of the exit road.
This fairly basic design concept then underwent formal refinement within the limits of the budget. The girder is deepest over the pillars, and then its depth diminishes in line with the diminishing bending moments towards the ends of the bridge. In the central field the underside of the girder cambers by 100 mm. The interplay between the horizontal curve of the road and the variable depth of the girder creates spatial curves and skewed surfaces on the underside of the bridge – architectural devices that accentuate the massive, poured nature of the superstructure. Moreover the smoothly skewed underside makes it impossible to gauge the true depth of the bridge, which gives it an unexpected elegance.
The slender pillars are stuck like wedges into the longitudinal groove. It may seem odd to run the services over the tops of the pillars, where one would expect the stresses to be greatest, but in fact the vertical loads result in forces acting laterally to the pillar. The post-tensioning cables, carrying most of the vertical loads, are located near the centroid of each half of the bridge. In this way the two halves, which tend to rotate outwards laterally, are held together with a strong horizontal reinforcement *above* the pillars. This creates a clamping effect that presses together the faces of the pillars along the inner edges of the longitudinal groove, taking the loads of the girder over these lateral contact surfaces and into the pillars.
Construction of the concrete girder was quite straightforward, thanks to its robust dimensions (up to 1.5 metres thick). The formwork of longitudinally directed boards adapted easily to the required curvature. The boards were fixed every 660 mm to prefabricated, truss-like timber cleats corresponding to the variable dimensions of the cross section. While the tabulation of the cleats required extensive calculations, this demanding work was confined to the office, and we encountered no difficulties in applying it on site. The rationalization of the construction process was also helped by the fact that with a slab bridge the reinforcing and concreting of the girder are each one-off steps that can be carried out consecutively.

The principles of the Landquartlöser Overpass proved so effective that they formed the basis for three further bridges, namely the overpasses at Sufers and at Glaetti, between Sufers and Splügen, and the Totengut Bridge in Chur. It is an example of how external demands can be usefully incorporated into the work of the engineer, with seemingly peripheral considerations becoming sources of inspiration.

Top:
Upper reinforcement of bridge girder

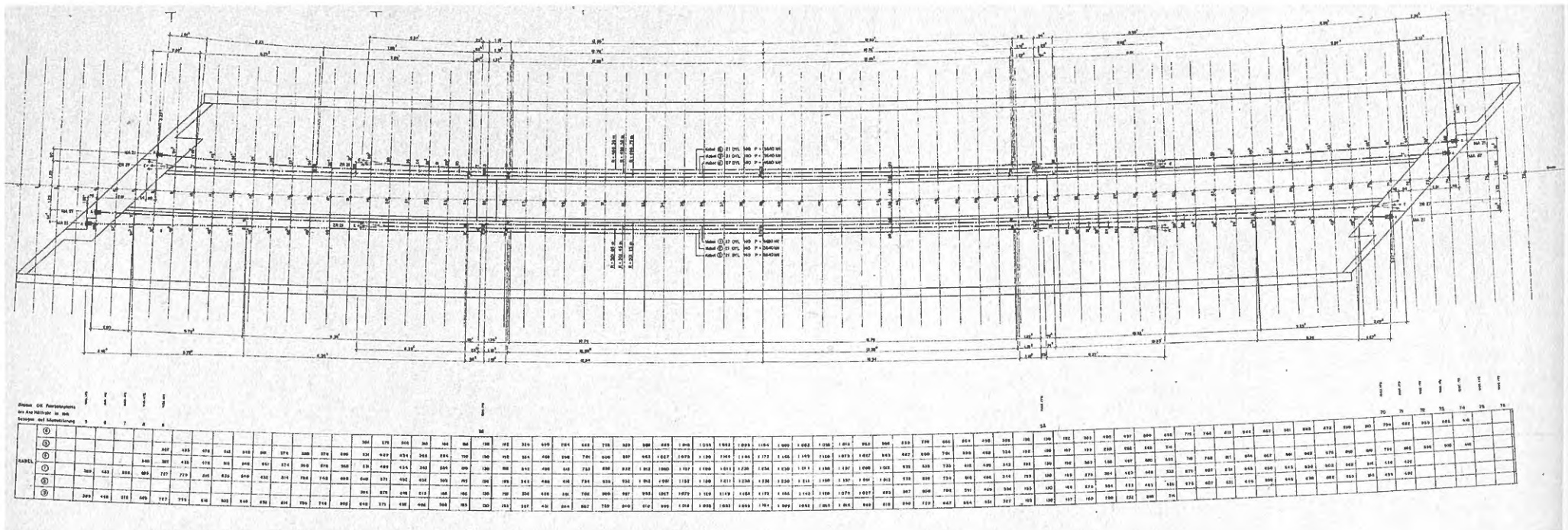
Bottom:
Lower reinforcement of bridge girder



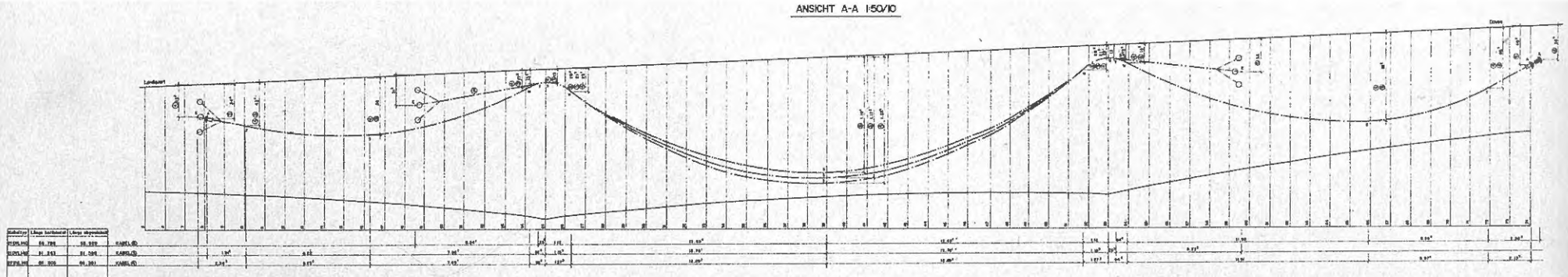


From top:
Tension cables in plan
Tension cables in elevation

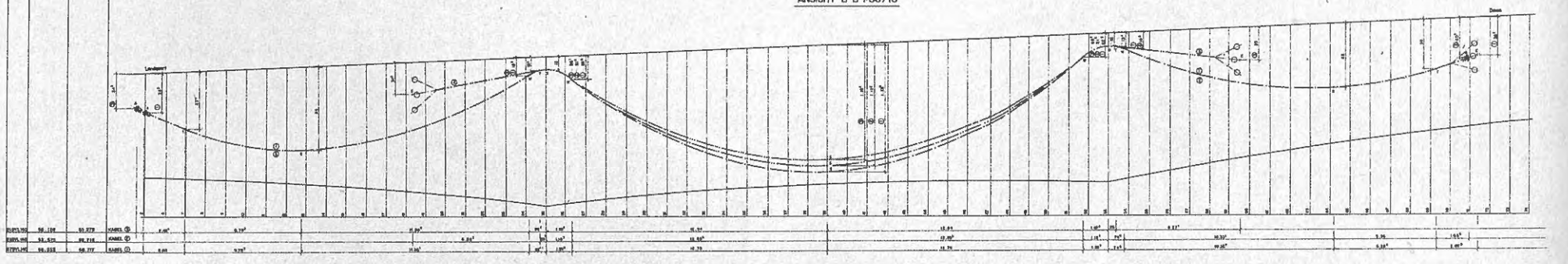
Facing page:
View of service conduits on
underside of bridge

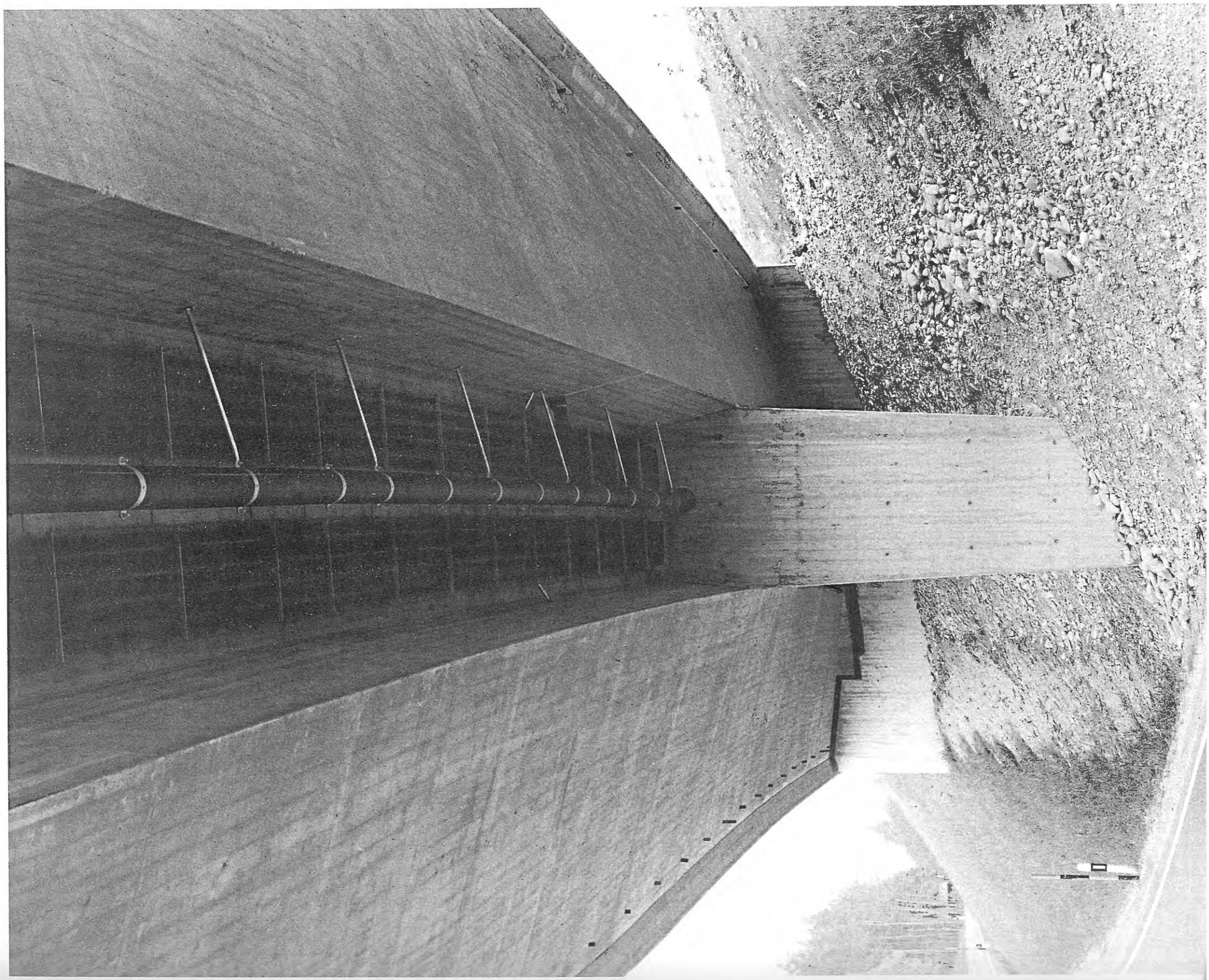


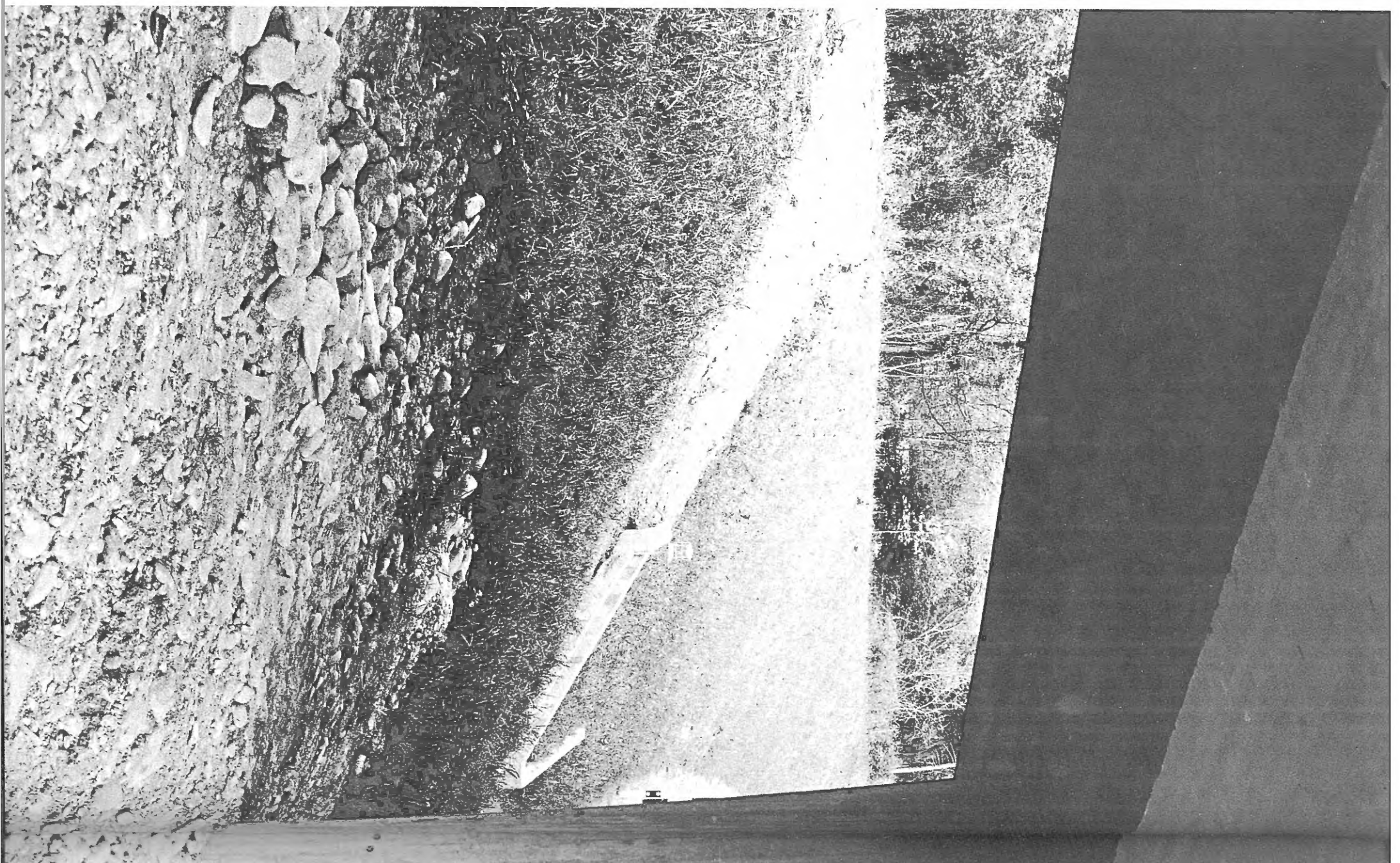
ANSICHT A-A 1:50/10

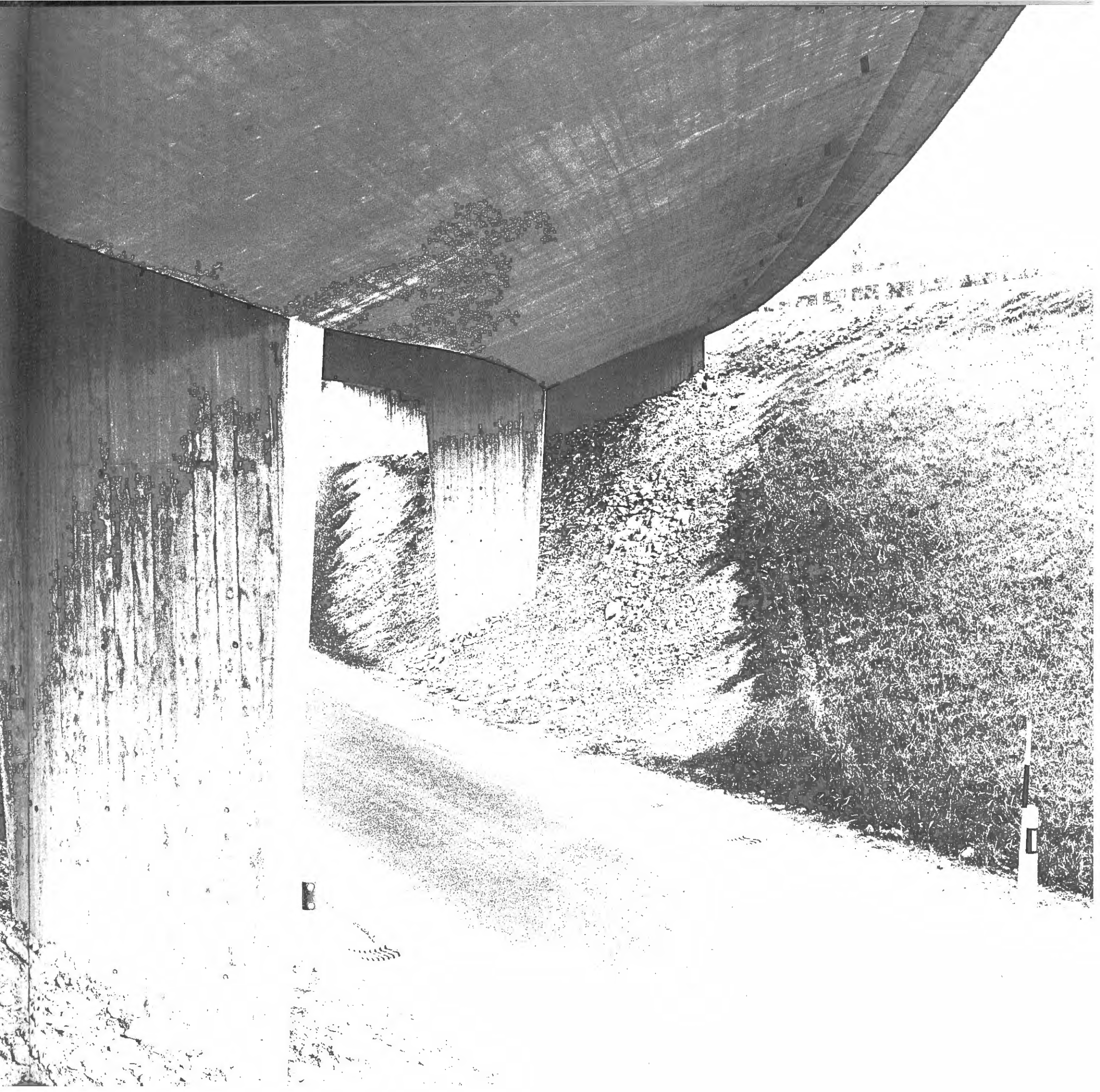


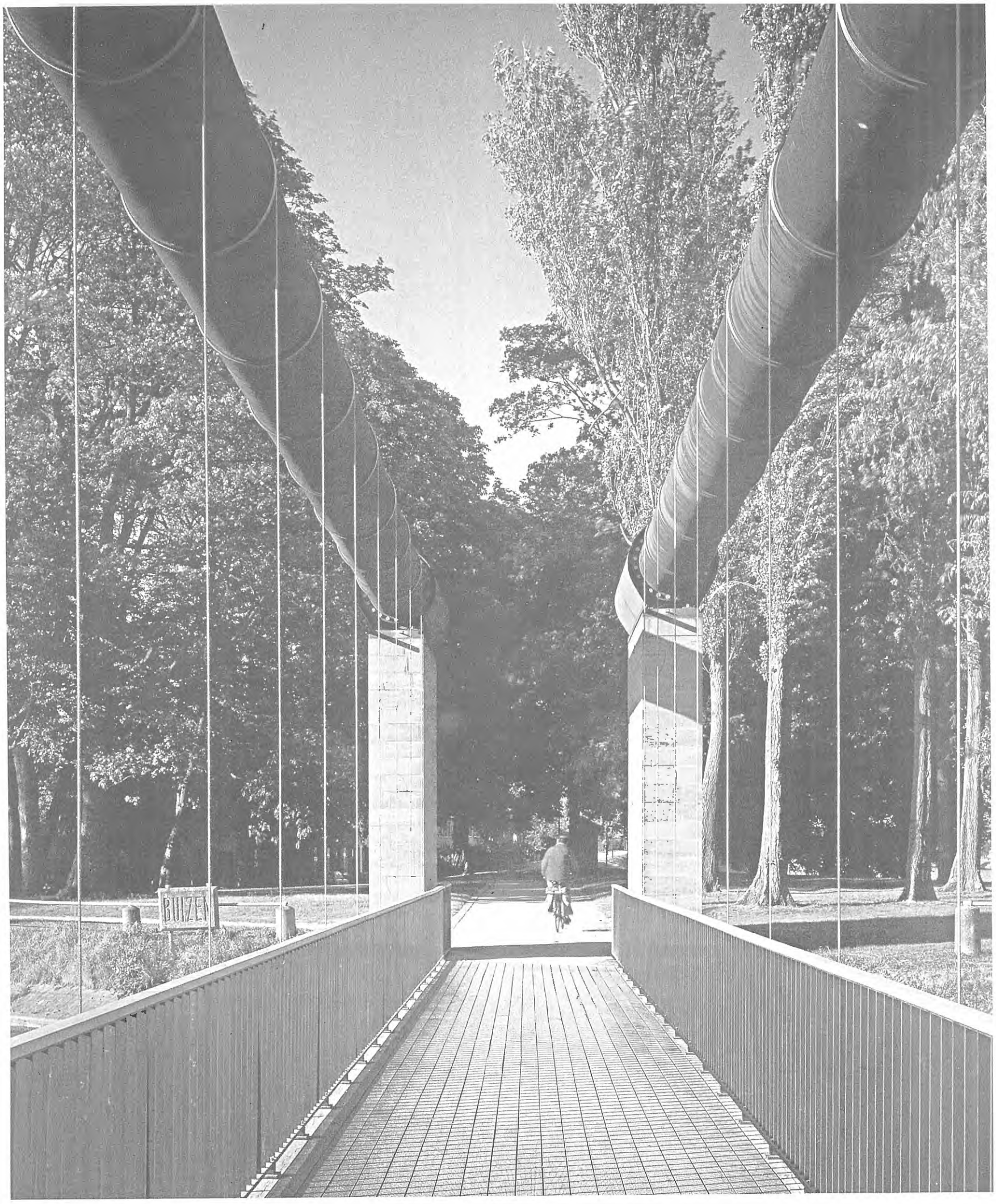
ANSICHT B-B 1:50/10



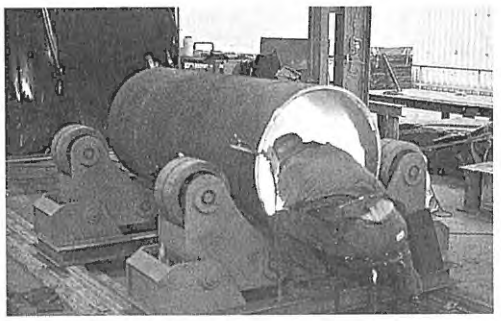







BUIZEN

Coupurebrug
Bruges
2000–02

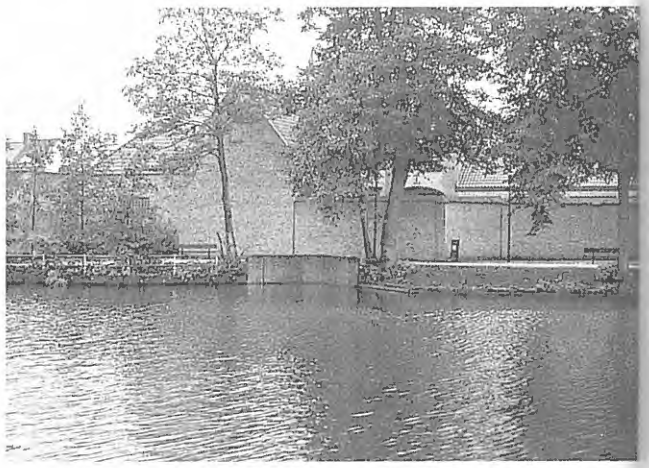


The Coupure footbridge was one of a number of new structures commissioned to mark the reign of Bruges as the 2002 European Capital of Culture. It allows pedestrians to complete a circuit of the city's inner ring canal for the first time in 250 years. At the same time it is also moveable, to make way for the sightseeing boats that throng the canal in the summer. We initially sketched a symmetrical counterpoise bridge, the most obvious choice for such a situation. But the disadvantages soon became obvious: the bulky drive mechanism and counterweight left little room for manoeuvre by the existing wall on the south side, and some fine mature trees would have had to be felled to create space for raising the bridge girder. So we applied ourselves to finding another type of moveable structure with bearing pads that were compact in both plan and section, enabling the walkway to 'slip under' the existing trees. Ultimately the concept of a rolling curtain bridge proved the most convincing. Two parallel 864-mm-thick steel tubes span the canal at a height of 6 metres, resting at both ends on a pair of sandstone pillars. Fastened to the inner side of each tube are 17 cables. The cables carry the walkway, which consists of massive 80-mm-thick oak planks set on steel cross beams. When the steel tubes are rotated about their axis, the hanging cables wind around them, raising the walkway. But while the comparatively light walkway moves up and down, the main load-bearing structure remains at a constant level. In this way opening and closing the bridge consumes a minimum of energy.

Collaborators:
Marcus Schmid,
Prof. Jürg Meier (mechanics)

Left:
4.75-metre-high pillars frame the entry to the bridge.

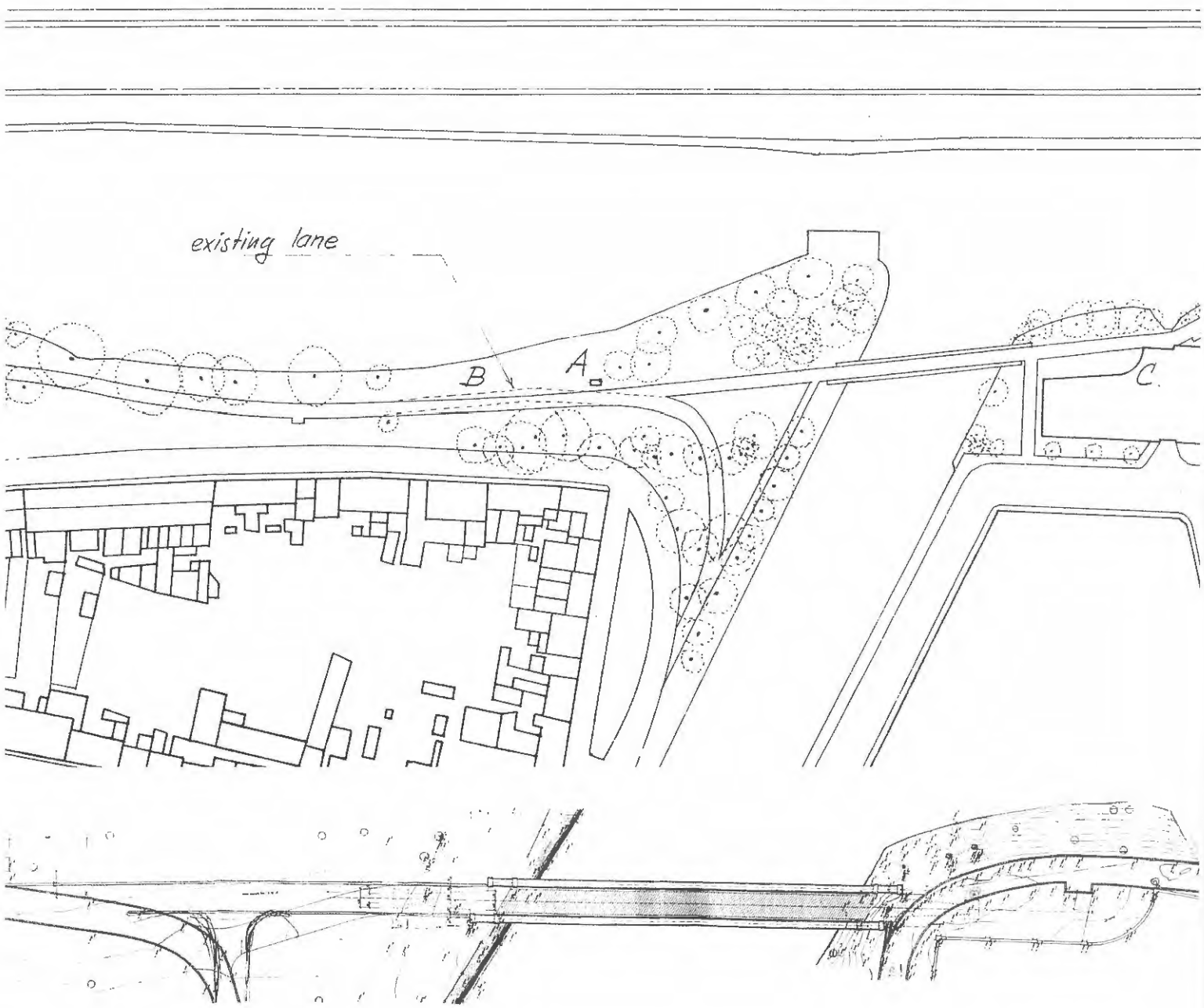
Right:
Welding the tubes. The tubes were formed by bending corten steel plates into a circle.

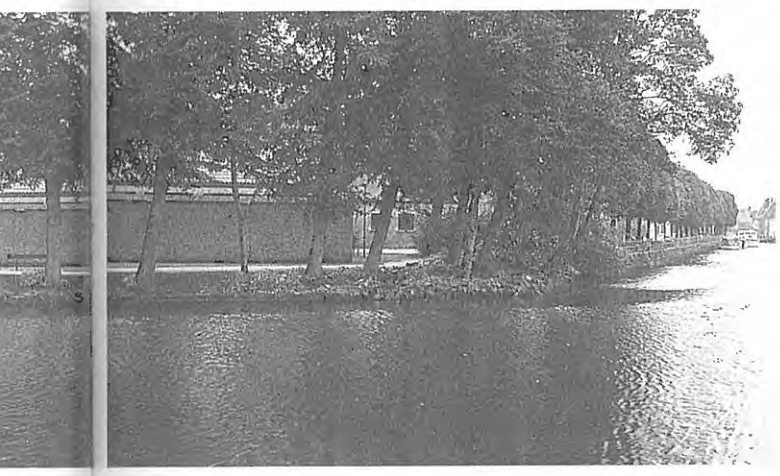


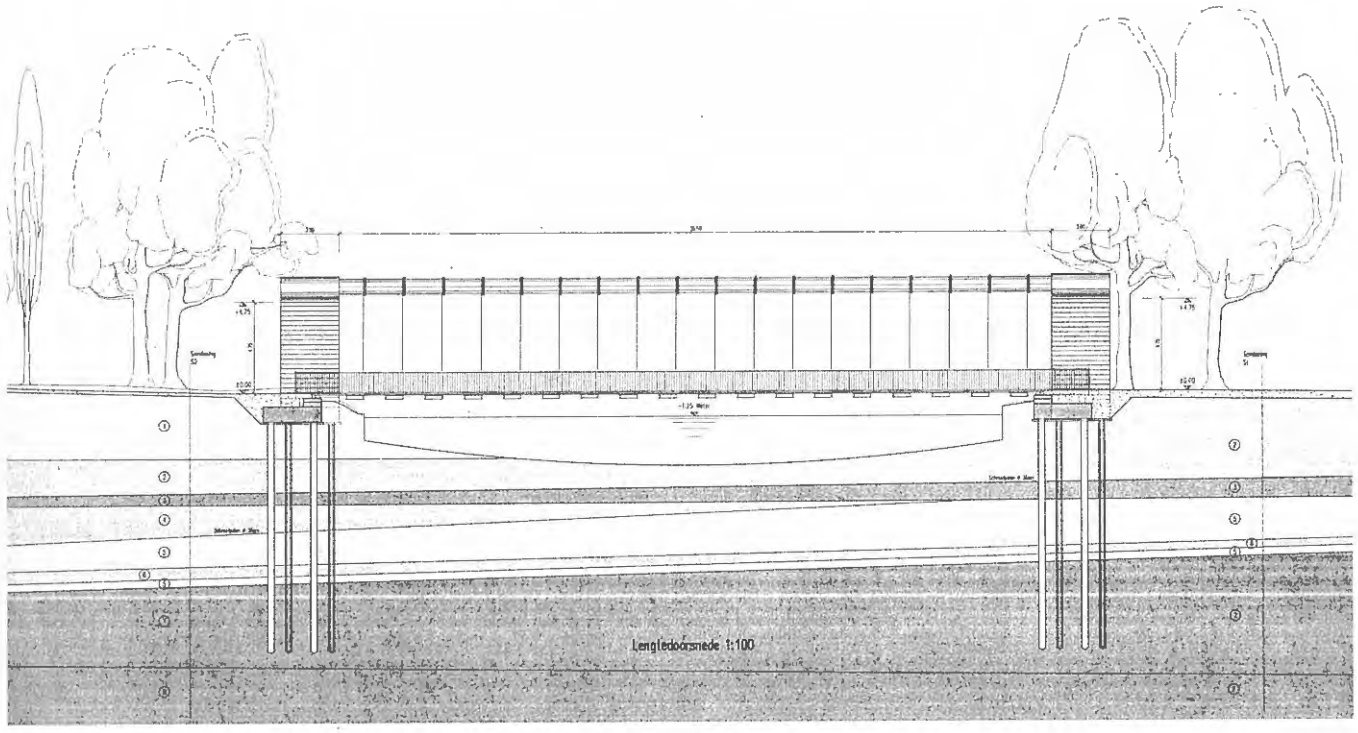
A rotating tube must be straight, for obvious resons. But a simple beam tends to dip in the centre: even a large tube with extremely thick walls would still produce a slight 'sagging' visible to the naked eye. To avoid this each of the supporting columns has *two* bearings that pull the tubes downwards at either end, giving them a flexible upwards post-tensioning. This means their rotation does not affect their upwards curving form and they can be manufactured as straight elements.

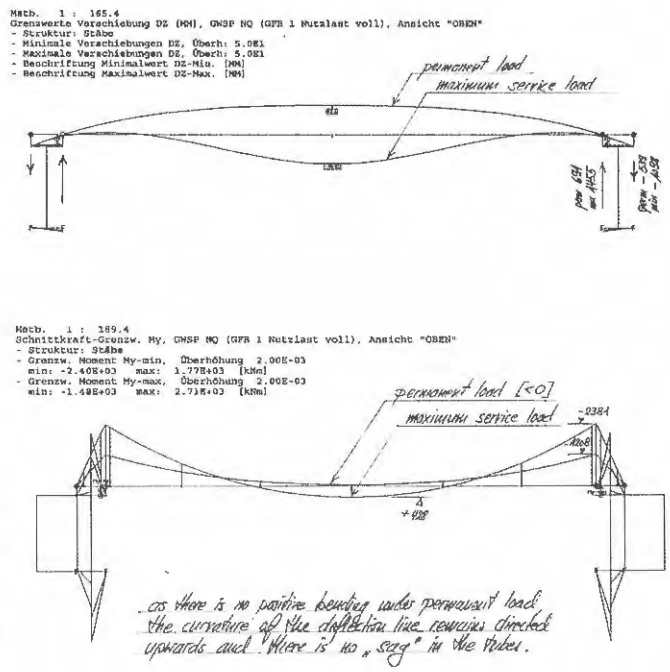
The entry to the bridge is framed by 4.75-metre-high pillars. The two tube supports rest on top of the pillars, one at the front, the other at the back, far enough apart to post-tension the tubes with reasonable force. The stone pillars are post-stressed with vertical steel rods that allow them to take up the tensile forces of the outer, upwards-drawn bearing. The pillars sit on piles driven 15 metres into the compact Flemish sand; depending on the load, they can take up tensile or compression forces.

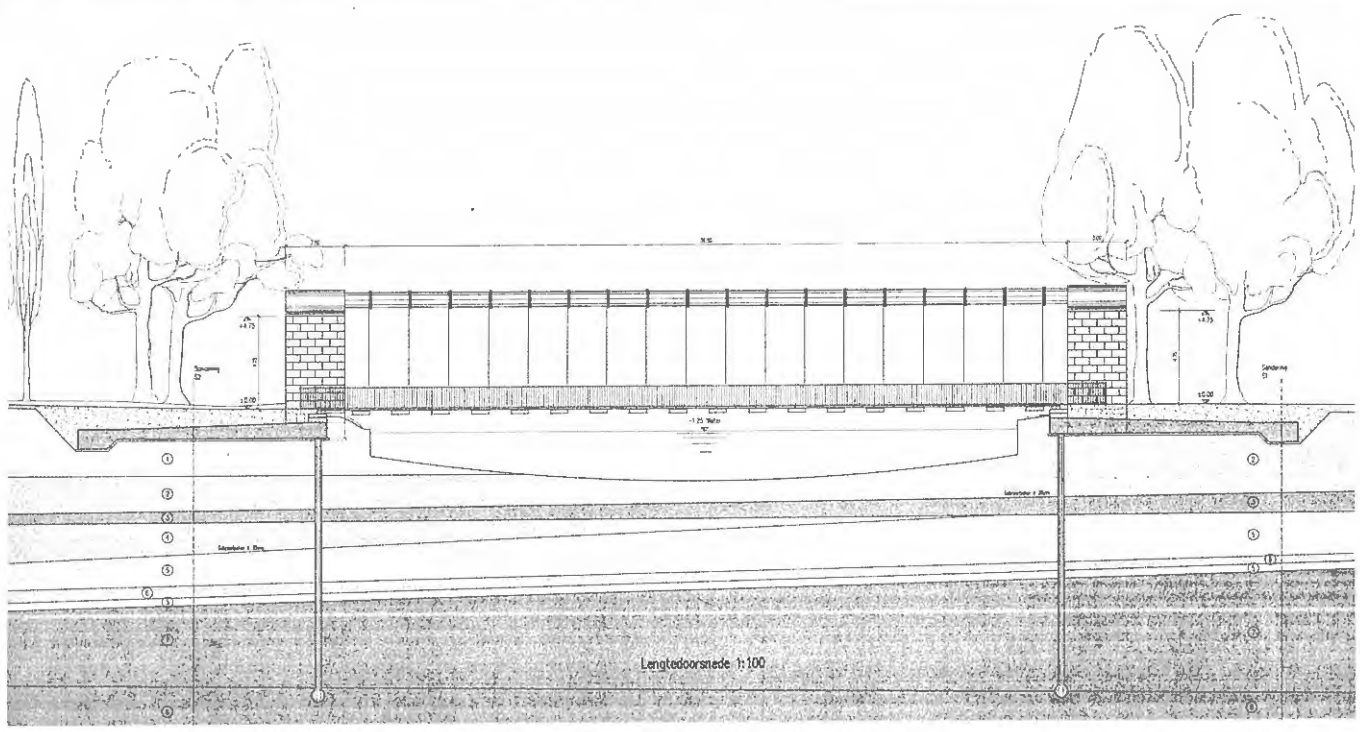
Architecturally the structure takes its bearings from the three different planes that run along the canals of Bruges: the planes of the water, the footpath and the roof-like tree crowns. While its materials – steel, stone and wood – can also be found in nearby bridges, they are combined here in an unusual way. The site of the bridge draws together disparate worlds: the tree-covered park, the houses of Bruges, the canals, and the highway opposite. The presence of the old town is palpable, but so too is the modern industrial world. Accordingly, the bridge reacts in a variety of ways to its environment. The steel tubes are reminiscent of the origins of modern bridge-building in the Industrial Revolution. By contrast, the sandstone pillars and the wooden walkway are elements you might find in a classical garden, while the portals that flank the bridge are evocative of the entrance to a stately park.











Top:
180-degree panorama from south taken on the first site visit

Facing page, centre:
Final situation of the bridge. At point B the existing lane was rebuilt with a lateral shift to provide for a smooth approach to the site.

Facing page, below:
Initial positioning of the bridge. At this stage the bridge still had counterweights for the foundation; to keep these clear of the trees on the south bank the bridge was placed tangentially to the existing wall.

Centre left:
Longitudinal section of the final project showing vertical piling

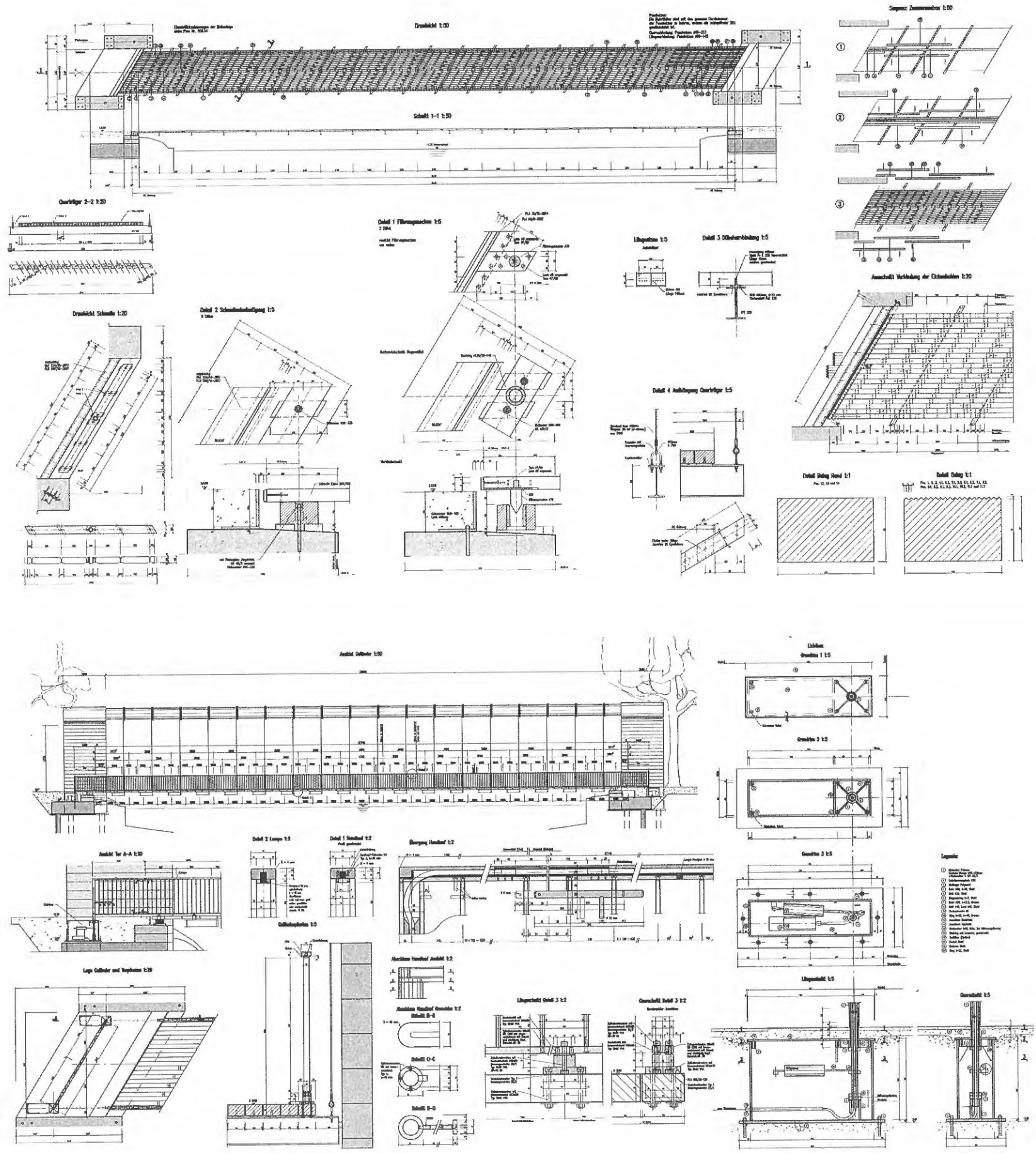
Below left:
Longitudinal section of preliminary scheme showing counterweights

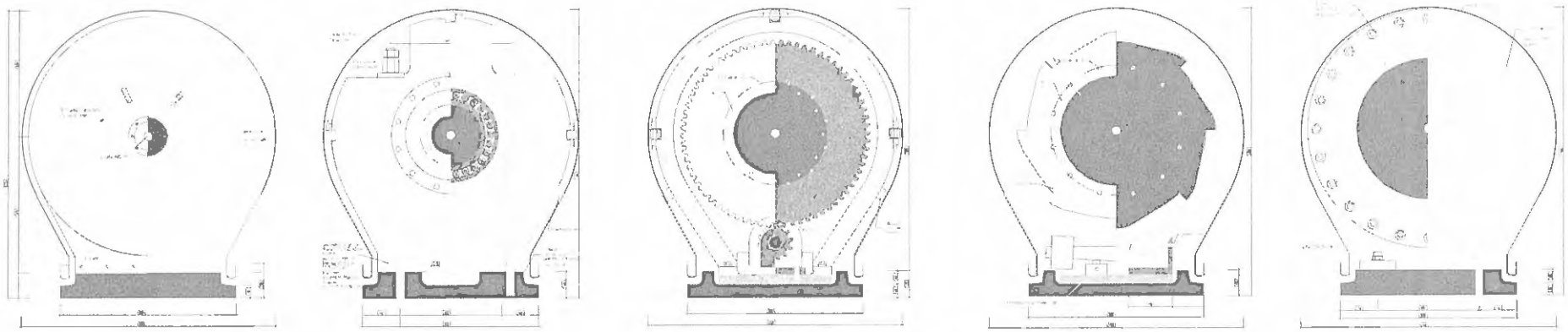
Above:
Deformations for permanent load and maximum service load and respective bending moments. The diagrams demonstrate the importance of restraining the ends of the tubes.

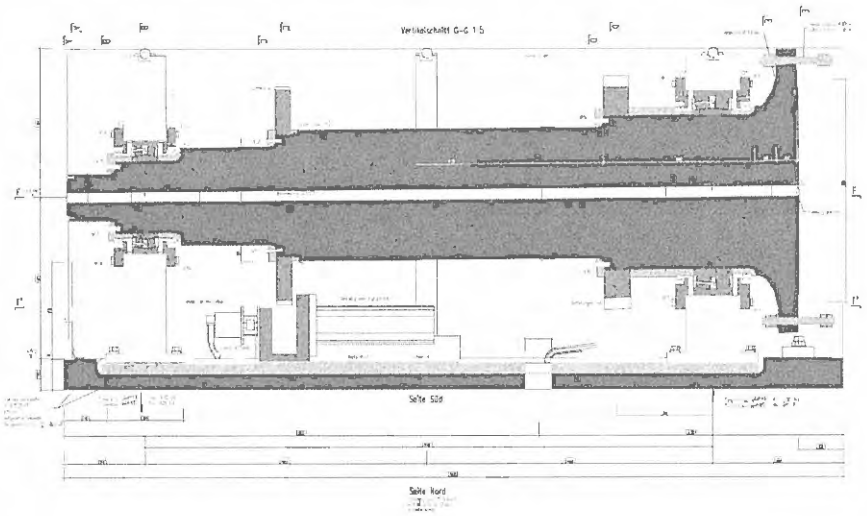
Right:
View from northwest

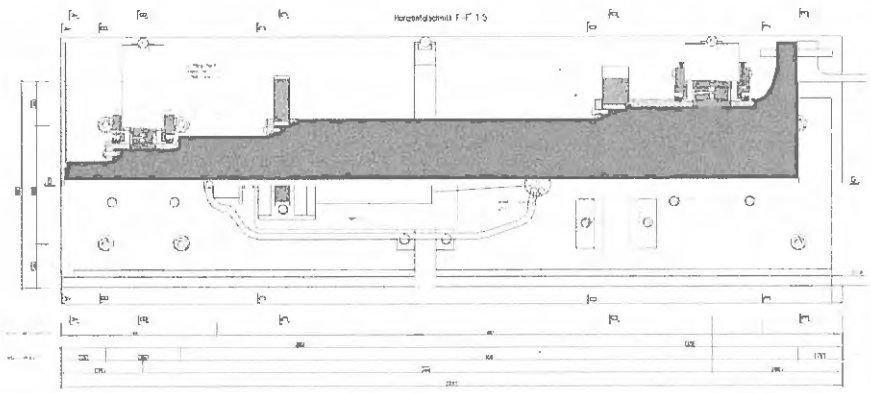
Below:
View from south

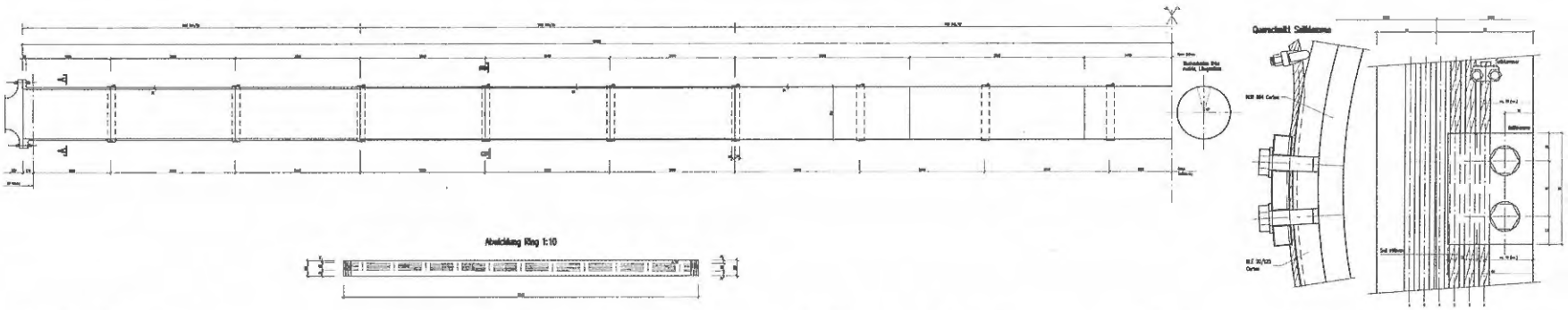
Facing page, from top:
Details of rotating mechanism
Longitudinal section through end bearings of tube
Details of suspenders and tube connections


Draufsicht 1:50
Schnitt 1-1 1:50
Querträger 2-2 1:20
Detail 1 Führungsschien 1:5
Detail 2 Schienenbefestigung 1:5
Detail 3 Ölbehälterbindung 1:5
Detail 4 Aufhängung Querträger 1:5
Draufsicht Schwelle 1:20
Ansicht Verbindung der Eisenbahnen 1:20
Ansicht Geländer 1:20
Ansicht Tor A-A 1:20
Detail 2 Lampe 1:2
Detail 1 Handlauf 1:2
Übergang Handlauf 1:2
Grundriss 1 1:5
Grundriss 2 1:5
Grundriss 3 1:5
Legende
Lageplan Geländer und Treppenstufen 1:20
Schema Stufen
Geländerpfosten 1:5
Längsschnitt Detail 3 1:2
Querschnitt Detail 3 1:2
Längsschnitt 1:5
Querschnitt 1:5



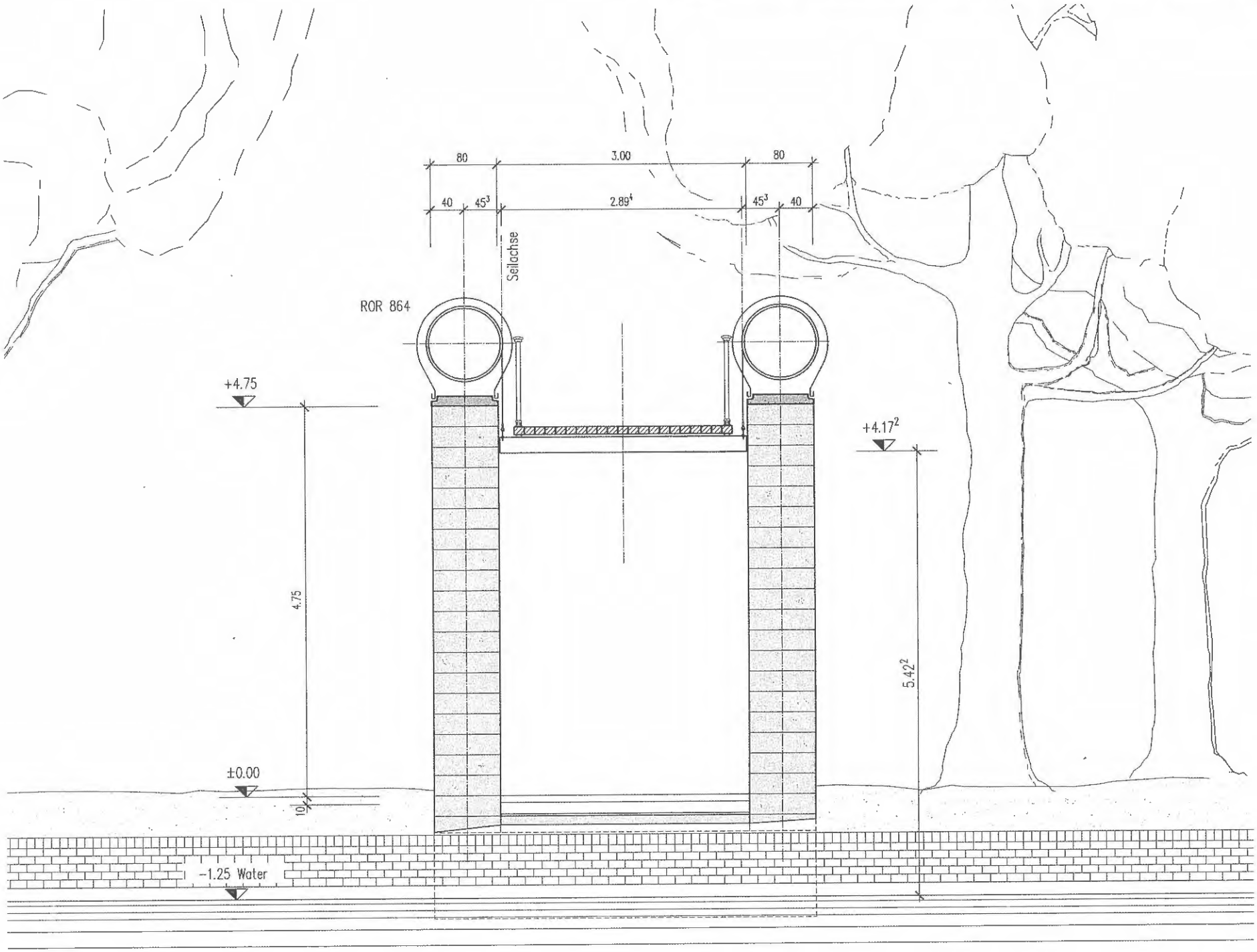

Seite Süd
Seite Nord

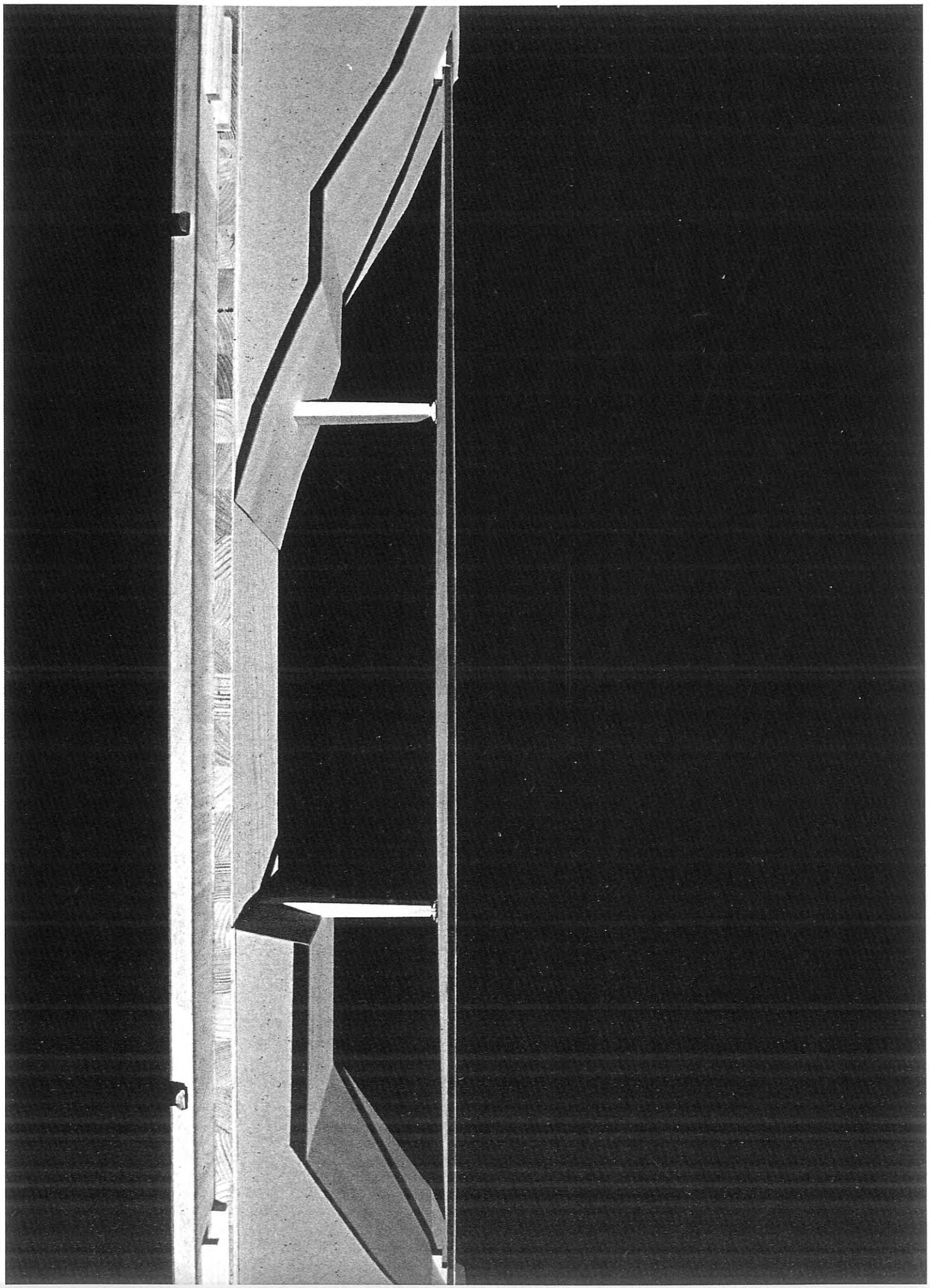



Querschnitt Seilklemme
Abwicklung Ring 1:10
Schema Überhöhung 1:200/50
A–A 1:5
Detail Schweißnaht 1:5
gekröpfte Brücke 1:5
gerade Brücke 1:5
B–B 1:5
Seilklemme Nr.1 bis .3 1:1

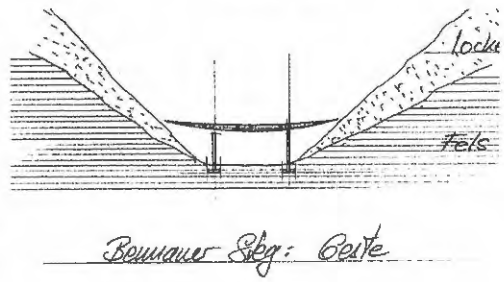
Facing page, from top:
Details of the rotating mechanism, as drawn by the structural engineer. (The final detailing was made by the contractor for the mechanical parts.)
Details of the suspenders and tube connections
Longitudinal section through end bearings of the tube

This page:
Bridge in raised position





Bennau Footbridge
Schwyz
2002



Bennau lies in the Canton of Schwyz, between Biberbrugg and Einsiedeln, in a prealpine moraine landscape turned over to agricultural use. Along the floor of this valley runs a river, with a road and a railway packed tightly against it. At present schoolchildren, hikers and mountain bikers have to cross to Bennau from Altberg via a ramshackle footbridge with dangerously busy level-crossings at either end. However the road is to be widened and the river 'returned to nature'. Road, river and railway will be simultaneously bridged by a new structure. The competition for its design stipulated a short construction period with minimum disruption to the traffic flow. It also called for a considered architectonic form: this was to be a so-called 'Gateway to Einsiedeln'.

Our (unsuccessful) proposal consists of a tripartite continuous girder with spans of 25 + 36 + 25 metres. A particularly important consideration in evaluating bridges is the cost of foundations. Here, two central piers are set into moraine, which has a good load-bearing capacity; because the road and railway are so close, we envisaged shaft foundations that would be dug and concreted in several stages. Along the hillsides the moraine lies deeper, under a layer of loose material. To minimize soil stresses at these points, the abutments are lightly concreted forms that 'swim' in the gravel. The minimal formation of the abutments has the further advantage of reducing the cost of transporting material to a construction site that is accessible only by steep and narrow paths. The piers are concreted. A timber hollow box girder rests on top of them, attached to each pier by two yokes. The 2-metre-wide walkway consists of transverse 40-mm-thick larch planks, lying on top of 50-mm-thick longitudinal beams, also of larch.

Left:
View of model showing the 'belly' girder

Right:
The form of the bridge also results from an architectural decision: to make a 'gesture' towards the landscape.

Facing page, top:
Comparison of bending moments, Eigenfrequencies and supporting reactions for parallel, haunched and belly girder forms, showing preponderance of the belly form in terms of vibrational behaviour.

Facing page, bottom:
Site plan

The outer sides of the long beams are edged with solid steel sections, to which the railings are welded. These sections are linked every 500 mm by a steel transverse beam which lies on watertight decking. In this way the timber elements are raised from the waterproofing and never stand in water; a good aeration is guaranteed. Because of the clear constructional separation between superstructure and substructure, the waterproofing is not penetrated by the railing fixture at any point.

The waterproofing lies on a plate that runs the entire length of the bridge and consists of two layers of spruce/fir three-ply panels with staggered joints. The sides of the plate are protected by drainage edges. The plate effectively forms the 'roof' of the bridge structure. Underneath is a layer of 140 x 140 mm transverse joists, attached at the top to the 1.2-metre-wide hollow box girder. Their position corresponds to that of the railing beams. The hollow box girder is aerated on all sides: any visible flecks of water on the plate above provide an early warning of damage to the waterproofing before it endangers the girder. The hollow box itself consists of 80-mm-wide chords in glulam timber (spruce/fir) with lateral webs formed of plywood panels. The choice of this material was determined by structural requirements: compression and tension are taken up by the relatively inexpensive glulam timber, while the high shear stresses in the webs are directed into plywood panels, which are constructed with staggered joints, like the horizontal plate of the superstructure. At the corner areas, where the webs have to take up the stresses from the chords and there is a danger of 'rolling shear', additional timbers provide reinforcement. To allow the glulam timbers of the hollow box girder to shrink and swell transversely to their fibres, the cross beams are screwed to the upper chord only in the middle. Similarly the small beams inside the box, which prevent the lower chord from bowing under permanent load, are connected to the chord only in the middle. The plywood panels of the webs have a core of spruce/fir sandwiched between three-ply panels of weather-resistant Douglas fir for improved durability.

The construction work is undertaken from the river. Because the attempt to renaturalize the river requires reshaping the embankments in any case, a temporary access to the north pier foundation can safely be constructed in the river bed, while the south pier can be reached by means of a temporary bridge. After construction of the piers and abutments, the bridge girder can be delivered in three parts and assembled over the course of a single night using two mobile cranes. This requires two assembly joints, which must be flexurally stiff. In order to achieve this, the inside of the hollow box girder contains five monostrand post-tension cables that are linked near the joints during assembly. The joints of the chord and webs are fixed with epoxy resin and additional timbers where necessary. After the epoxy resin has hardened, the cables are tensioned to produce a longitudinal compression in the beams that is sufficient to cover the relatively small flexural tension stresses that will later arise in the assembly joints.

There is a flexurally stiff connection between the bridge girder and the piers. The stiff connection – robust because of its lack of moving parts – improves the vibration performance of the bridge. It also permits a shrinking and swelling of the girder in a transverse direction, since it consists of steel sheet metal that is elastic in a horizontal direction.

The technical basis for the form of the girder is strongly tied to the special circumstances of this bridge and in my view is not self-evident. I presume that some explanation will be necessary, even for experts.

In investigating the static strength we looked first at a tripartite continuous girder of constant height. The extreme values of the bending moments under constant load and randomly distributed live load are illustrated in the diagrams at the top of the facing page.

Adapting the height of the girder to these different requirements led to a so-called 'haunched girder'. In contrast to a parallel-chord girder, the flexural stiffness of this girder varies over its length, which means that the critical values of the bending moments are distributed differently. The field moments are smaller, so the bending moments are bigger at the intermediate supports, but only in a short, defined zone. Hence the haunched girder is more economical in its use of material – although this saving is offset by the higher costs involved in constructing its more complicated form. The decision as to which form is ultimately more economical depends on the conditions of its use, so both forms are valid possibilities in contemporary bridge construction.

I recall one of my teachers, Professor Pierre Dubas, saying that a parallel-chord girder was aesthetically best for high bridges, but when it came to low bridges he preferred the appearance of the swung haunched form. I think that this preference is tied to a particular way of reading the form, whereby the haunched girder is taken for an arch bridge. In engineering terms this is incorrect, but it happens nonetheless as the result of transmitted modes of perception. To condemn such involuntary modes of perception would be both short-sighted and insensitive. For my part, I think it is interesting and productive to define such manifestations (such alleged 'misconceptions') and incorporate them into the design process.

Returning to the investigation of the static strength of the bridge, we can now consider a third option: the belly girder form. The indications initially seem unfavourable. The bending moments at the supports are practically the same as those achieved in the first example with a constant girder height, but the field moments are considerably larger.

But let us now bring into play a constructional argument. The timber girder would be problematic to build as a haunched girder, with kinks or strong curvatures arising in the chords. In this respect the belly girder appears to have the advantage, although it is not quite as simple to construct as the girder of constant height. Does that mean that the constructor, in striving to achieve an 'interesting form', would betray the principle of static efficiency?

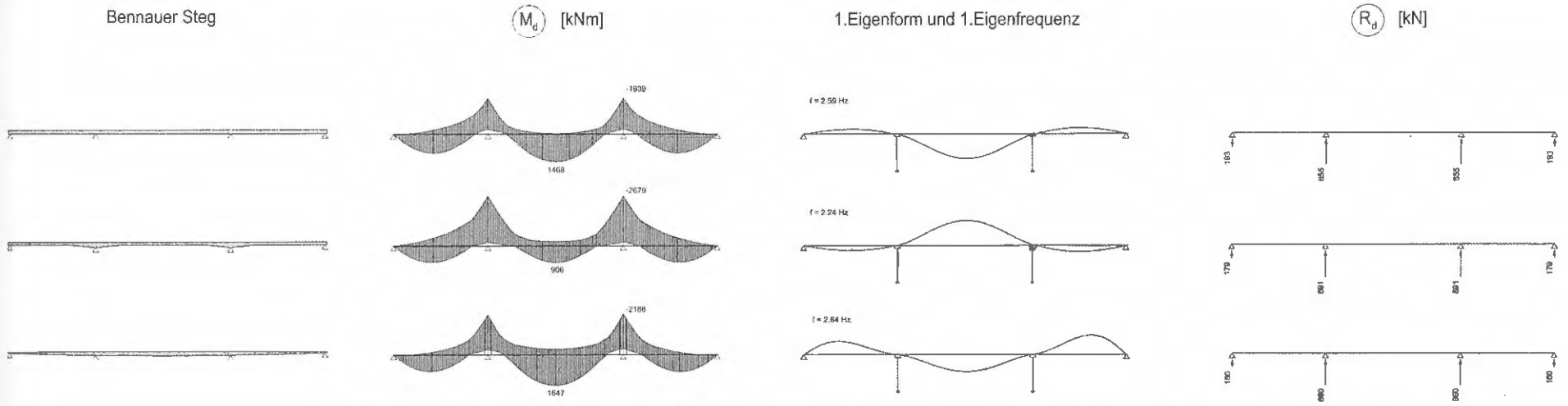
To allay this suspicion, we must now step into the field of structural dynamics. Let us take as an example a simple beam with a constant section. Each load-bearing structure has various Eigenforms with corresponding natural frequencies (also called Eigenfrequencies). We are primarily concerned with the first Eigenform which has the lowest natural frequency, the 'base note'. As an example a simple beam with a constant section vibrates in a sinusoidal Eigenform with a first natural frequency of $f = \pi/(2L^2) * \mathrm{sqrt}\ (EI/m)$ (unit Hertz). The natural frequency is therefore determined by flexural stiffness (EI) and mass per length (m). It is known that a bridge with a natural frequency of between 1.6 and 2.4 Hertz can produce an uncomfortable level of vibration for pedestrians, and often the natural frequency of bridges with spans of 30 to 50 metres lies precisely within this critical zone.

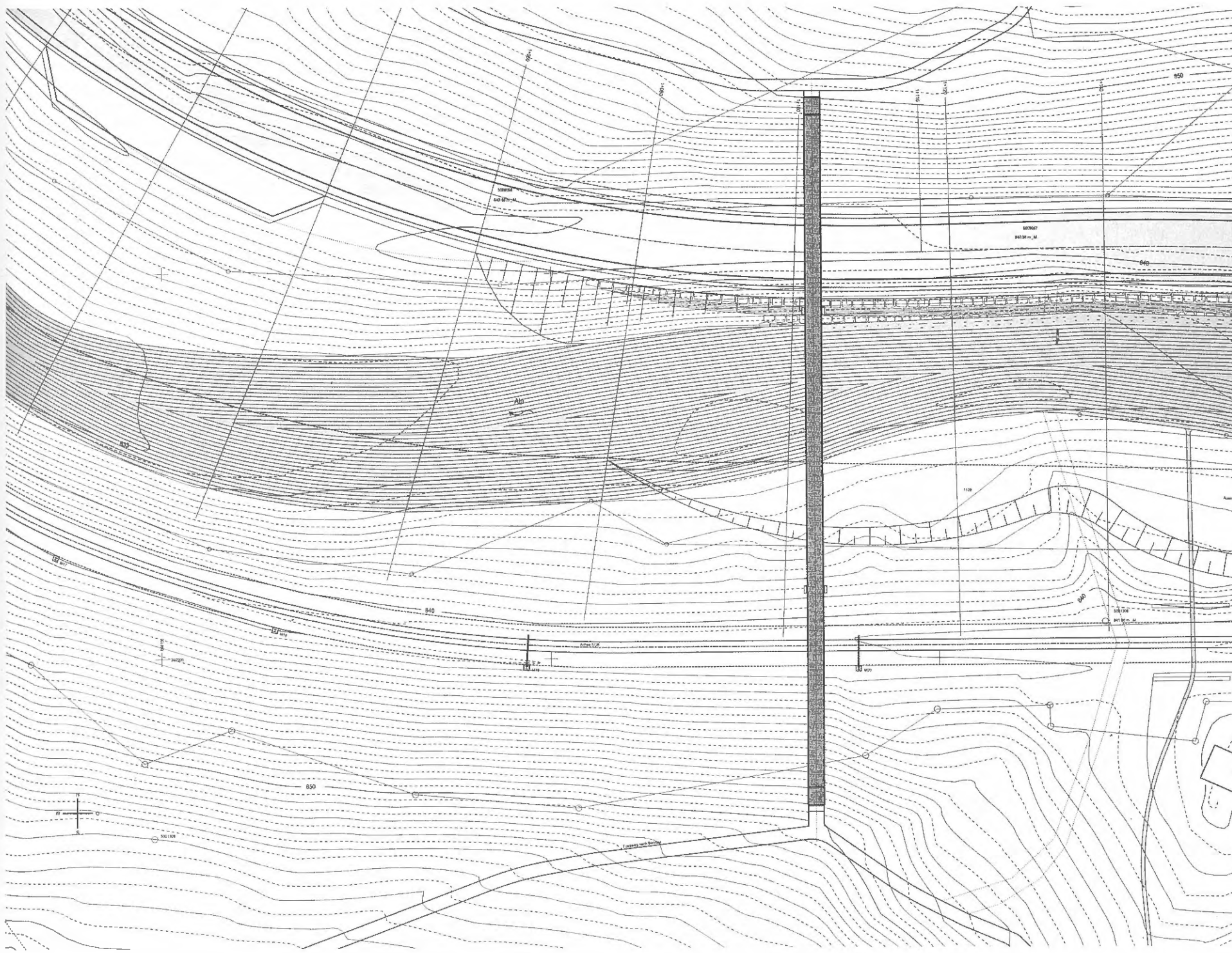
If we compare the simple beam to the articulated tripartite beam with constant span widths, there is no observable difference in vibration performance. The Eigenform of the tripartite beam presents a sinusoidal curve, running alternately upwards and downwards. Near the supports the curve runs practically straight: this means that reinforcing the girder with haunches in this area would have no impact on the vibration conditions. True, the disposition of the haunches could reduce the mass of the beam (for the previously mentioned static reasons) and consequently increase the natural frequency, but in the case of the Bennau Footbridge the mass of the webs is insignificant compared to other parts of the girder. This is a quality specific to this girder. It has the consequence that the natural frequency can only be influenced by altering the stiffness i.e. the height of the girder, ideally at the point where the vibrating girder is subject to most flexion, i.e. in the middle of the field.

Taking this principle as a starting point, if we now investigate the concrete case with varying field widths, taking into account the elastic restraint of the girder by the piers, we find that the belly girder delivers the best results of all three variants under consideration.

In my description of the first Traversina Bridge I formulated the thesis that sooner or later in the process of designing a structure one reaches the point where technical arguments lose their precision. This is the point we have now reached with the Bennau Footbridge: the belly girder form remains, but technically it could have either a straight lower chord and curved upper chord, or straight upper chord and curved lower chord; equally, it could be symmetrically formed around a straight girder axis. Why, then, is the top edge of the girder now shown with a shallow upwards curve, while the lower edge has a stronger downwards curve?

This is an architectural decision. It is a gesture towards the landscape. In the same way that people generally read Waterloo Bridge in London as an arch bridge, the impression here (in my opinion) is that the girder is heavy in the middle – that it hangs, causing this upwards deformation at its ends.


Bennauer Steg
M_d [kNm]
1.Eigenform und 1.Eigenfrequenz
R_d [kN]
-1939
1468
-2679
906
-2188
1647
f = 2.59 Hz
f = 2.24 Hz
f = 2.84 Hz
183
655
655
183
179
881
881
179
180
880
880
180

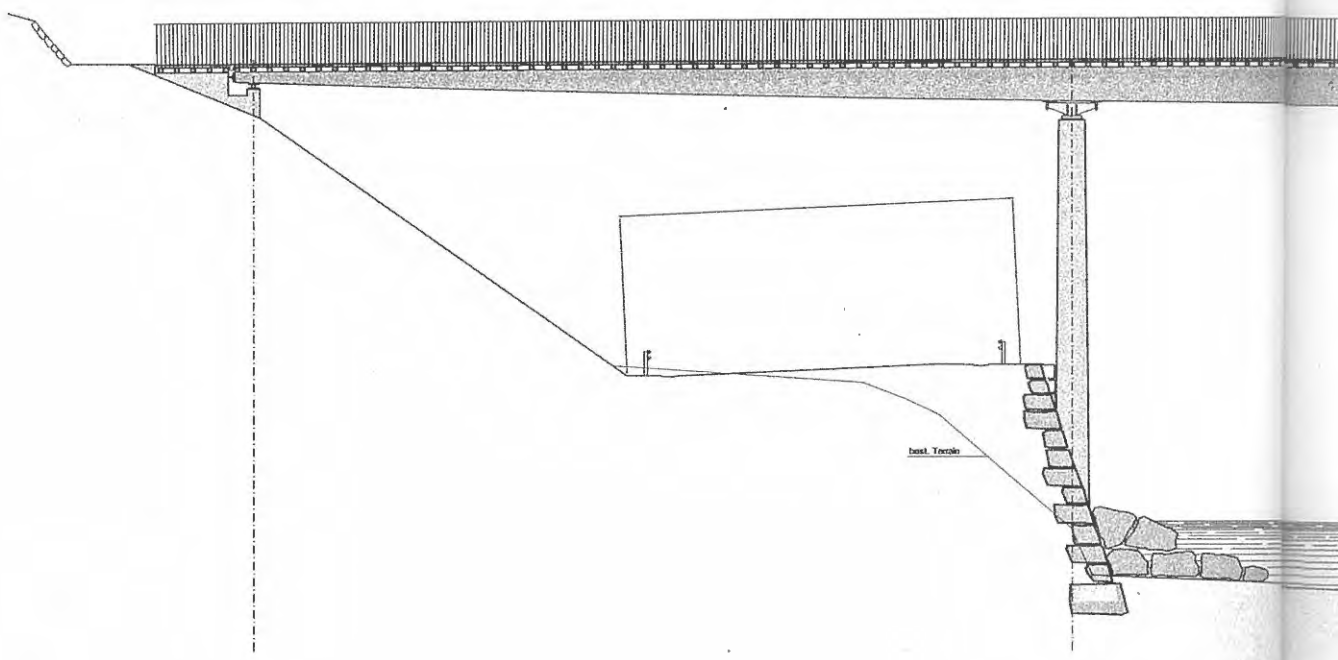

850
840
Alm
835
840
850
840
Auenbereich abtragen
Fußweg nach Bernau
N
W
O
S

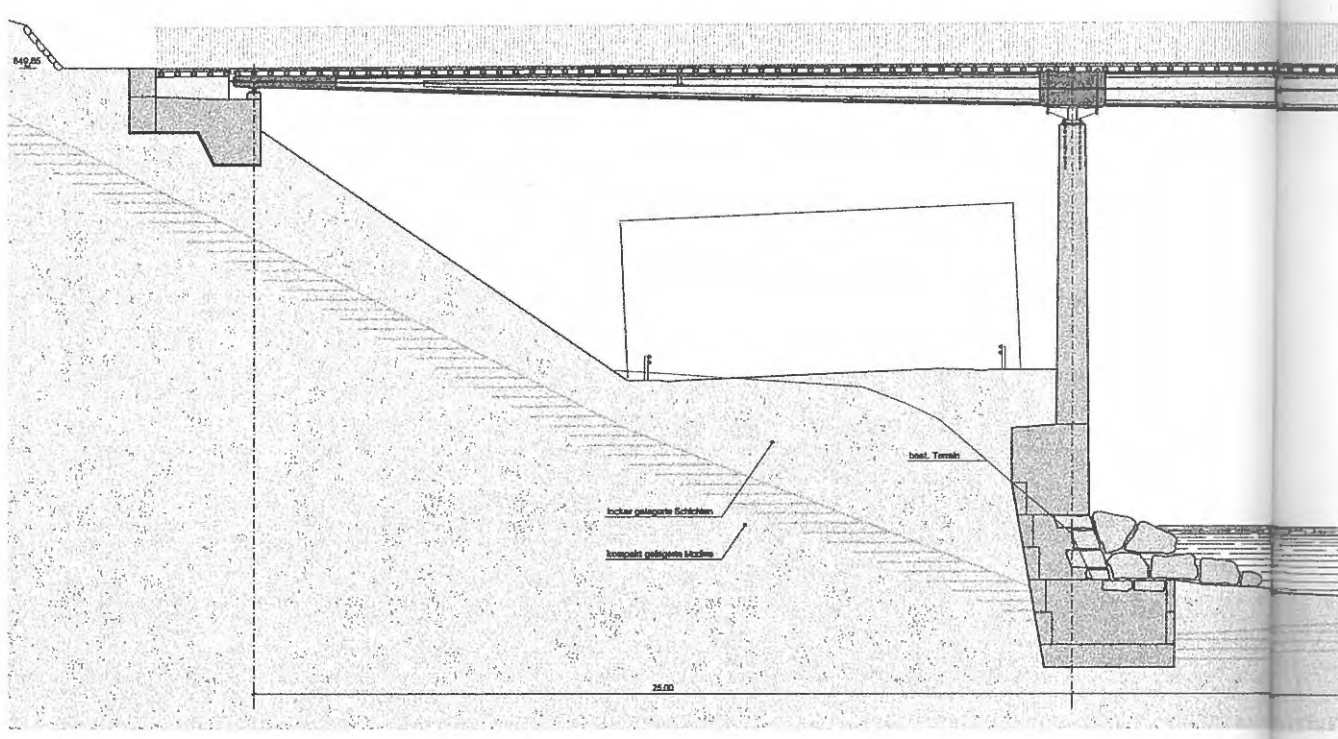
The basically disquieting element of this gesture is tempered by the fact that the walkway remains visibly cambered upwards: the constructor therefore appears to have the deformation under control. However the gesture clearly reacts to a geological characteristic of the terrain. It says: I am standing firmly on two piers on the valley floor and my arms do not disturb the sides of the valley.

At this point I would like to refer to Bruno Reichlin's text 'When Modernists Built in the Mountains',[1] in which he compares the works of two architects, Schmitthenner and Welzenbacher. The approach of the former is described as 'culturalistic': essentially pictorial, it presupposes some background knowledge on the part of the observer. By contrast, Welzenbacher's buildings are seen to bracket the landscape: they create a corporeal effect that can be directly perceived by anyone. This 'gestural' expression, this architectonic connection with modernism, is important with respect to the Bennau project.

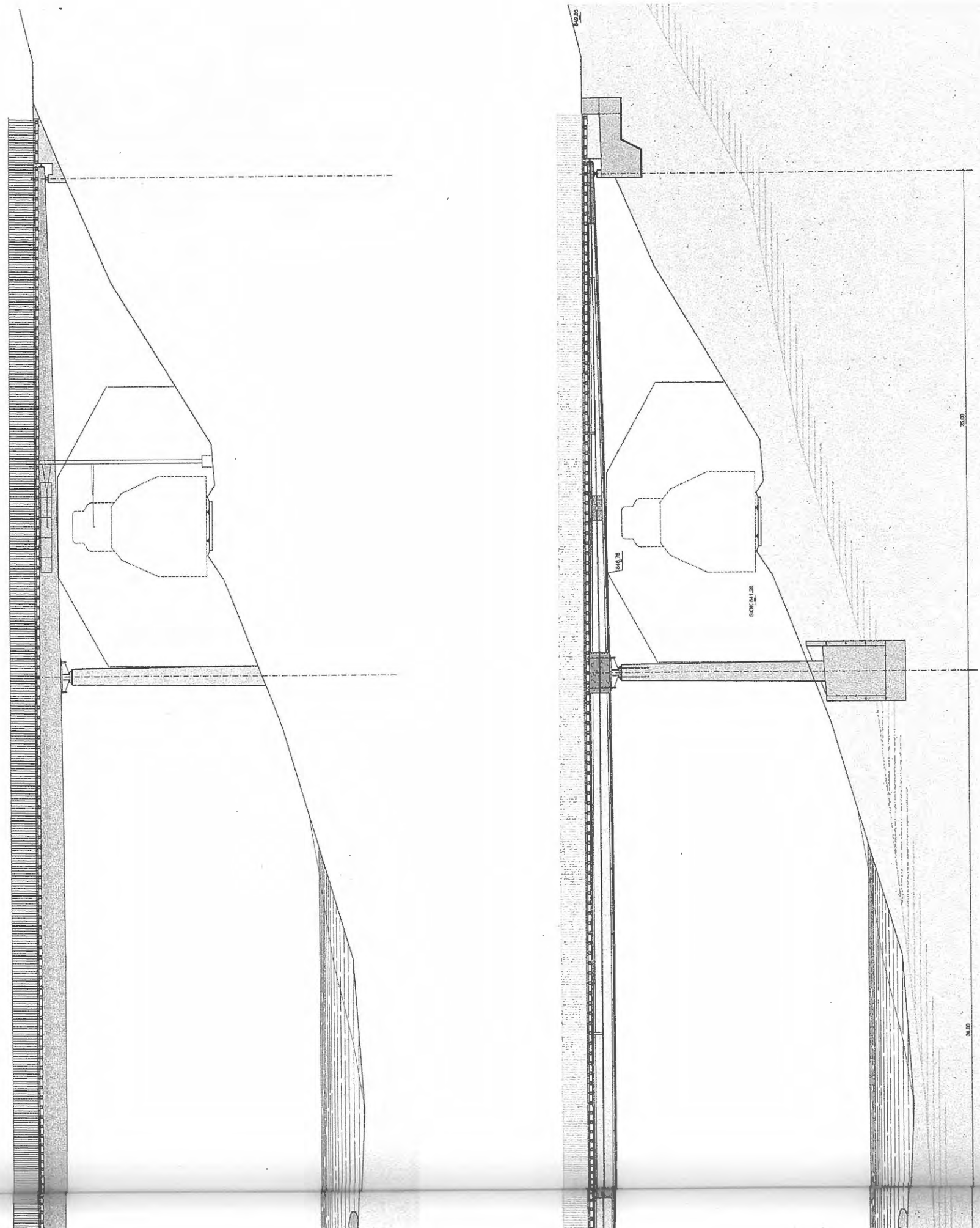
As a gesture the belly form of the girder suggests the minimal impact of the end abutments on the river banks. This powerful visual effect mirrors only faintly the static efficiency, in that the belly form has little to do with the *actual* reduction of the bearing forces, which depends much more on the division of span widths and the choice of materials. Conversely, the actual achievement of the form, namely the improvement of the vibration performance, is presumably not obvious without explanation. I find this ambiguity highly attractive: it shows that the relation between 'actual stability' and 'represented stability' remains an eternally fascinating theme.

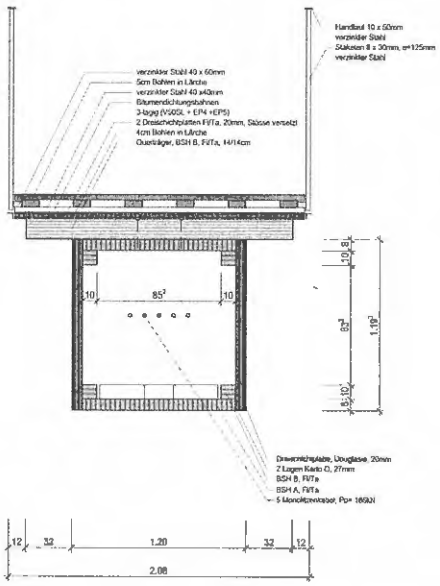
1 'Die Moderne bauten in den Bergen / Quando gli architetti moderni costruiscono in montagna', in *Architettura contemporanea alpina*, C. Mayr Fingerle (ed.), Birkhäuser 1995.

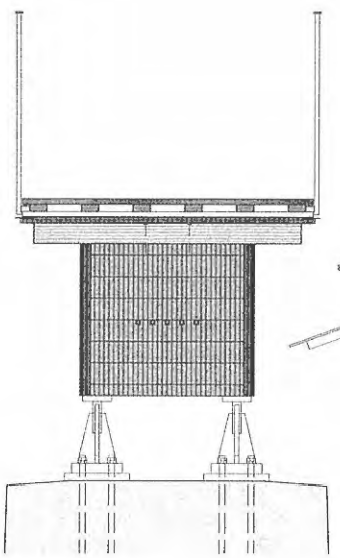


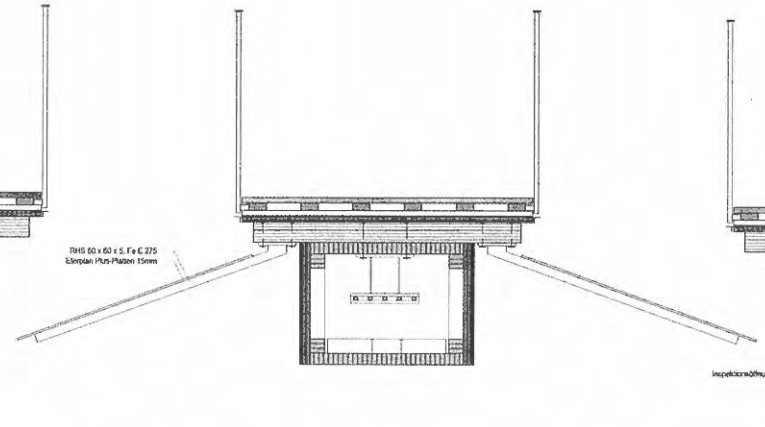


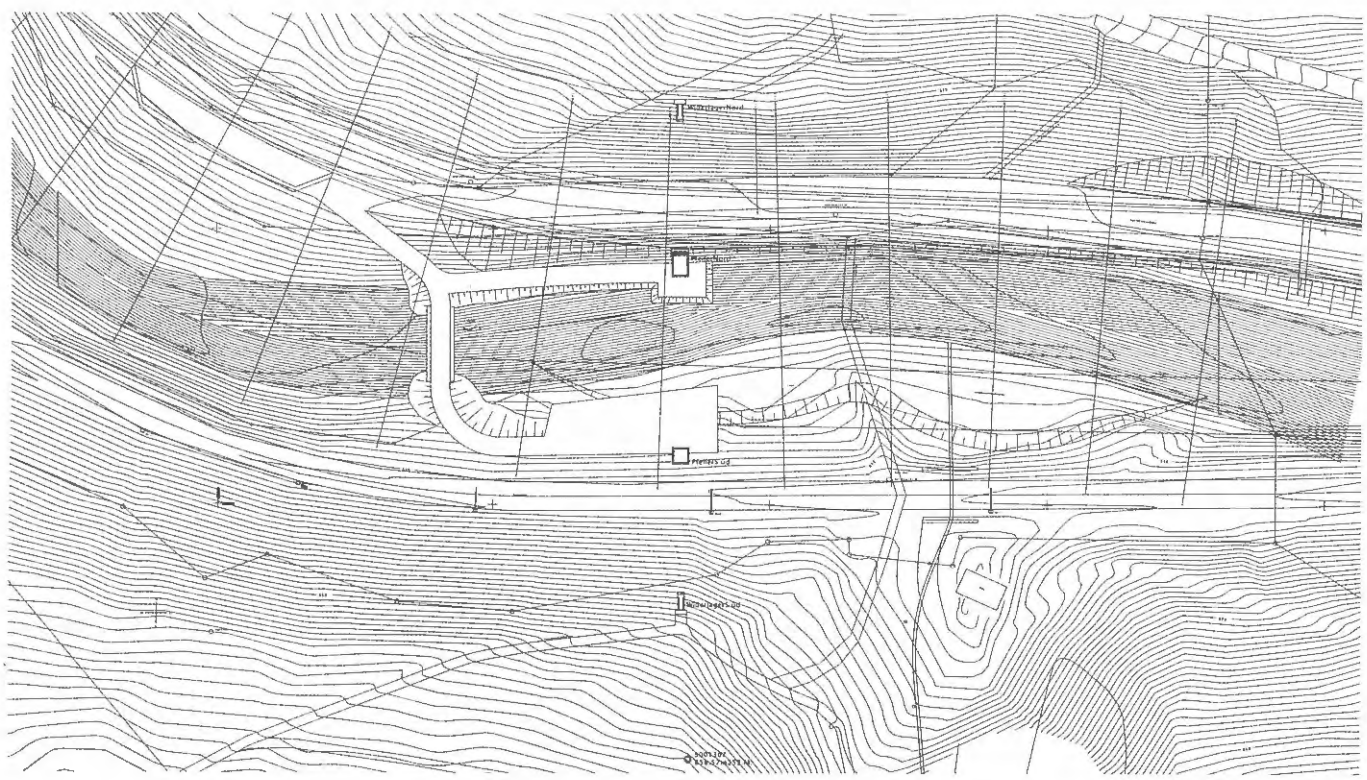
Right:
Side view (above) and longitudinal section (below) with post-tensioning cables. The jury rightly criticized the abrupt transition between the hollow and plain sections of the girder near the pillars as a cause of stress concentrations near the re-entrant angles.

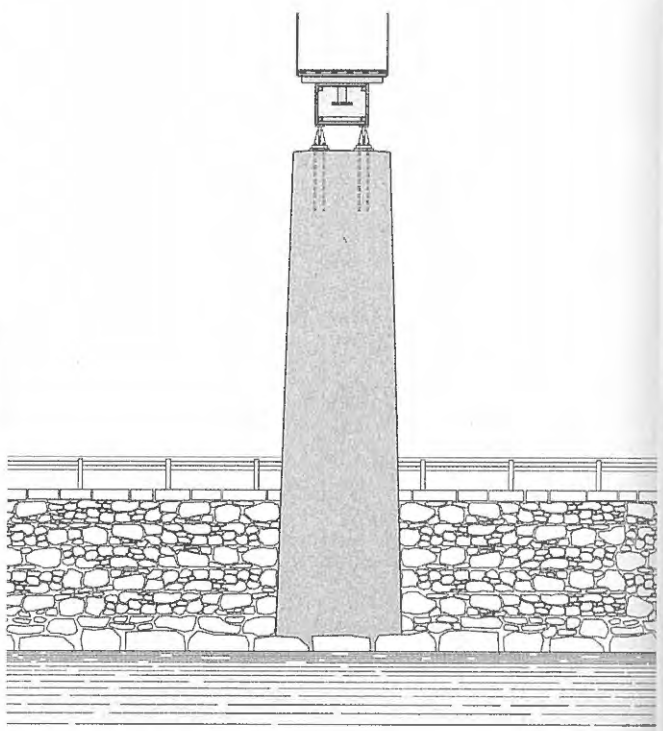

SIONK 841.28
25.00
36.00

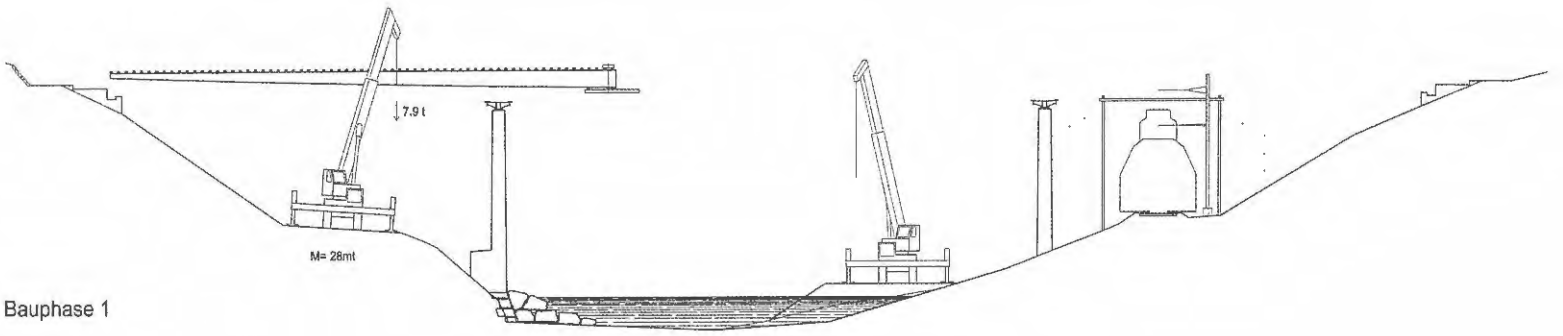

Handlauf 10 x 50mm
verzinkter Stahl
Stäbchen 8 x 30mm, a=125mm
verzinkter Stahl
verzinkter Stahl 40 x 60mm
5cm Bohlen in Lärche
verzinkter Stahl 40 x40mm
Bitumendichtungsbahnen
3-lagig (V500L + EP4 +EP5)
2 Dreischichtplatten FiTa, 20mm, Stösse versetzt
4cm Bohlen in Lärche
Querträger, BSH B, FiTa, 14/14cm
10
85
10
19
83
1.19
5.10
Dreischichtplatte, Douglasie, 20mm
2 Lagen Karto O, 27mm
BSH B, FiTa
BSH A, FiTa
5 Monolitpenetrator, Pp= 169kN
12
32
1.20
32
12
2.08



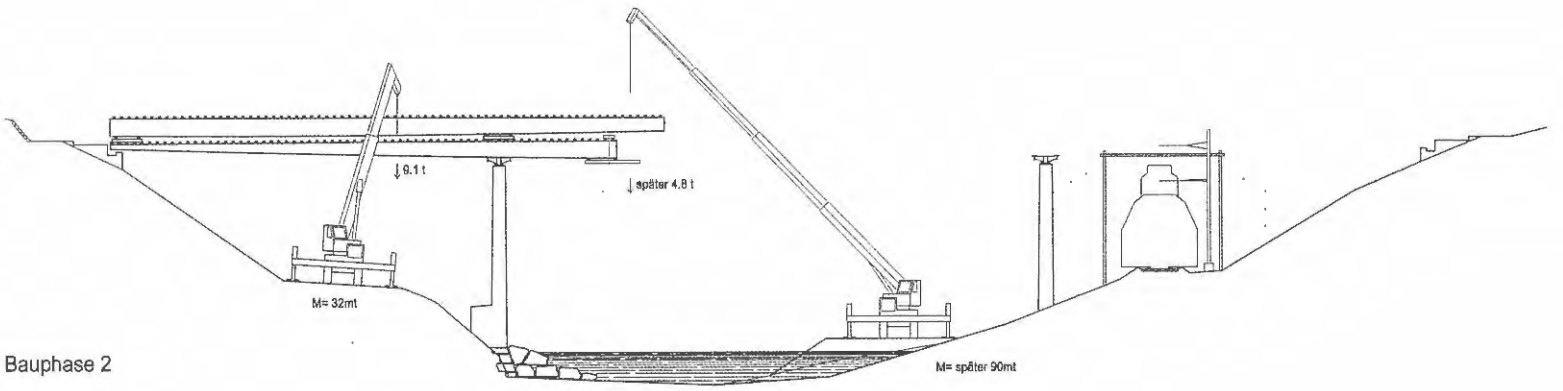

RHS 60 x 60 x 5, Fe E 275
Elenplan Plus-Platten 15mm
Inspektionsöffnung



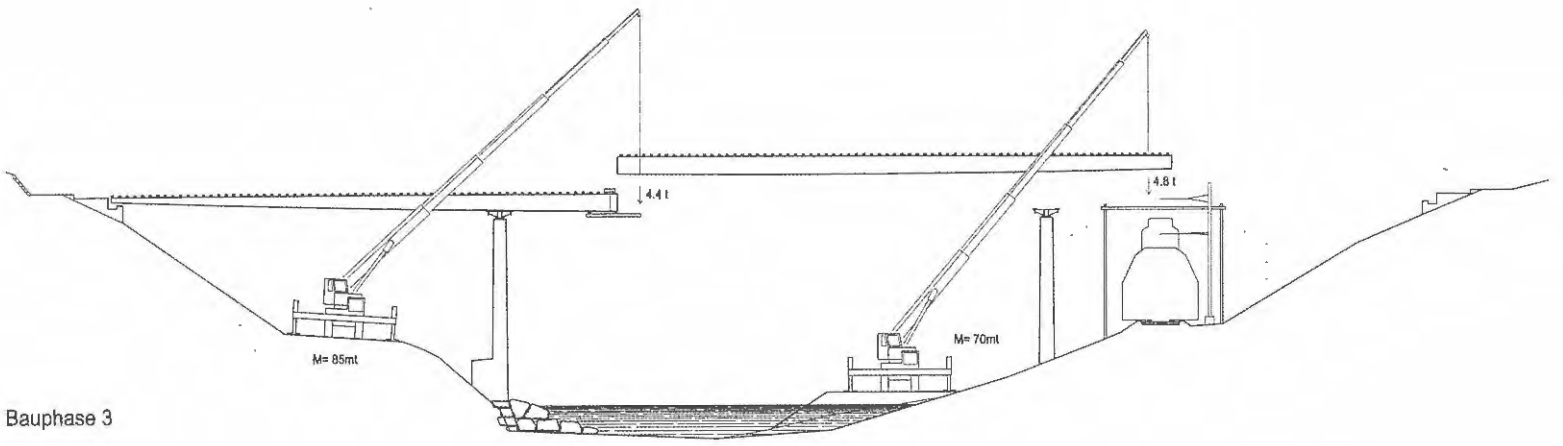




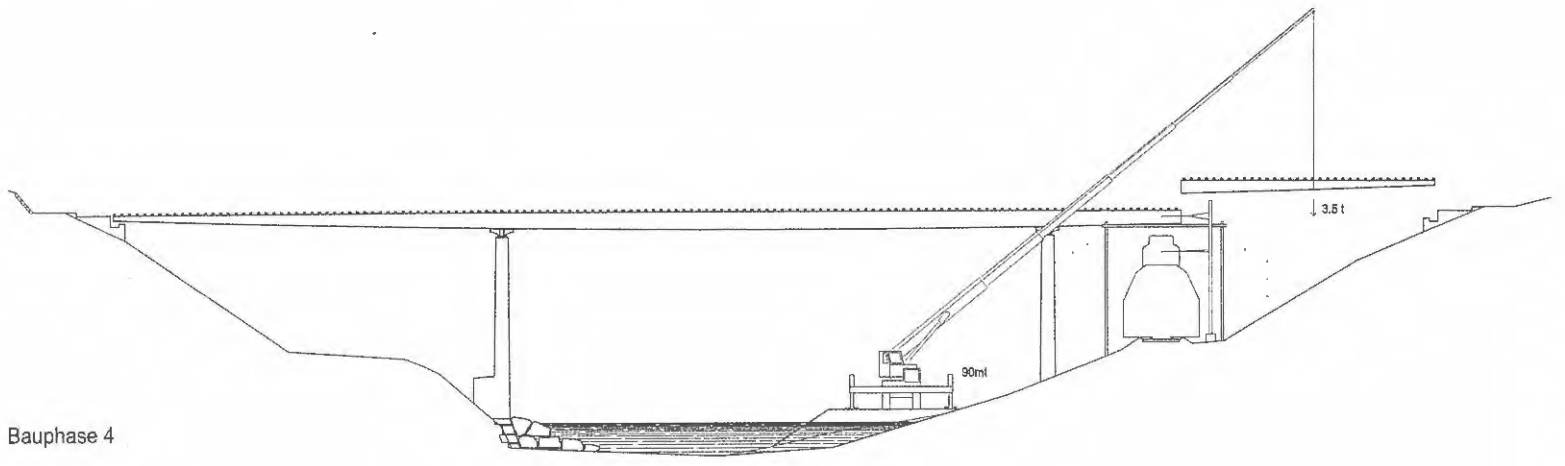
Bauphase 1



Bauphase 2



Bauphase 3



Bauphase 4

Facing page, from top left to right:
Sections through box girder
Situation with building-site equipment
Transversal section through girder with view of a pillar

This page:
Sequence of assembly. The three girder elements are delivered on the road and placed on the left-hand span by the left mobile crane (figs. 1 and 2). The heavy middle girder is lifted into its final position by the two cranes working together (fig. 3). The side span over the railway, being short and lightweight, can be placed by a single mobile crane (fig. 4).

On Perception
The Cartography of Eduard Imhof
Jürg Conzett

Facing page:
Two views of the Churfirsten mountains from *Gelände und Karte* – a photogram by Robert Helbling (top) and photographic panorama by Arnold Heim (below)

Maps are among my earliest childhood memories. My father was a surveyor, and he had drawers full of maps. I learned to read using maps: Disentis, Sardona, Karwendelgebirge, I would spell out these mysterious names, uncertain how to pronounce them. I was fascinated by lines of transport, especially when they passed through mountains: the tight loop of the Gotthard Road as it squeezed through the Tremola Gorge; the more open, elegant, serpentine Susten Pass Road punctuated by short tunnels; or the railway tunnels at Lötschberg or in the Albula Valley, circling one way then the other, as if they'd been drawn with a compass. You could say, then, that the maps of Switzerland were where I first encountered the twinning of technology and landscape. As I imagined travelling along the roads on the map, I would picture the landscape in my mind. When I got a little older, these primal pictures were gradually overlaid with real experiences of travel. Yet I can still vividly recall these fictive landscapes. I remember how I constructed a towering mountain range between Flawil and Gossau, only to discover, when I finally saw the landscape from a train on the way to St Gallen, that it was merely hilly. (I had miscalculated the distance between the contour lines.) A little later in the same journey, my first view of the Sitter Viaduct made up for the disappointment. Later still, at lunch after we'd arrived, a remark by my uncle Paul (an accountant with a construction company) made a lasting impression. St Gallen Station, he said, stood on piles, as it had been built on the site of a drained marsh. The idea that this extremely heavy building was prevented from sinking into the ground only by rows of invisible piles remained, for a long time, a source of wonder to me.

The man who defined modern mapmaking in Switzerland was Eduard Imhof (1895–1986).[1] Imhof was a man of many talents: engineer, draughtsman, researcher, mountaineer, painter, landscape modeller. But he was, above all, a teacher and cartographer. Imhof said that cartography draws 'its deep inner sense, its true soul, from a knowledge of the geographical sciences combined with a certain measure of artistic sensibility, which balances the various graphic elements against each other'. He insisted that the making of maps was a comprehensive activity, embracing everything from research into place-names to printing techniques. Imhof taught at the ETH in Zurich from 1919 to 1969, and his lectures were attended not only by cartographers but by every surveying and building engineer who trained at the school over this period. As a consequence, his ideas had an extraordinarily wide impact.

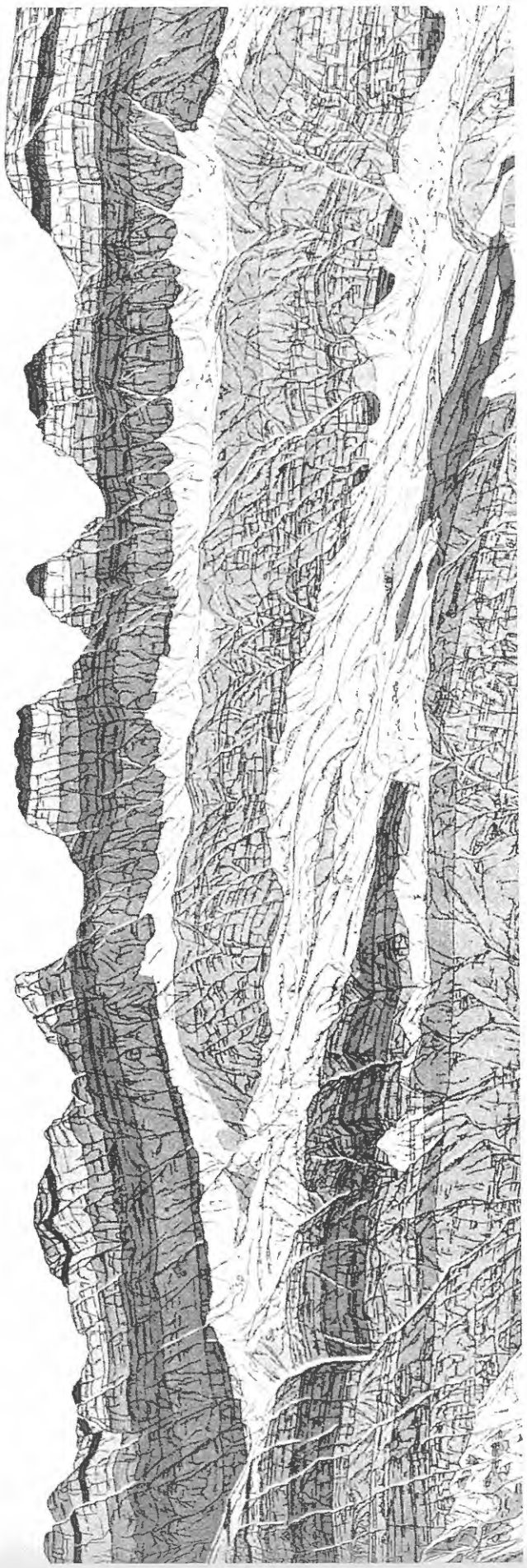
Imhof's book *Gelände und Karte* was particularly important to me as a child.[2] And not just because it came with a pair of red-and-blue plastic glasses that allowed you to see the anaglyph picture of Mount Uetli in 3D. Last winter I reread the book for the first time in years and was surprised to find how enduring an impression it had made on me. Imhof's book was published by the Swiss Ministry of Defence and was intended primarily as a technical manual on the use of maps. But from the very first pages he addresses crucial issues of human perception:

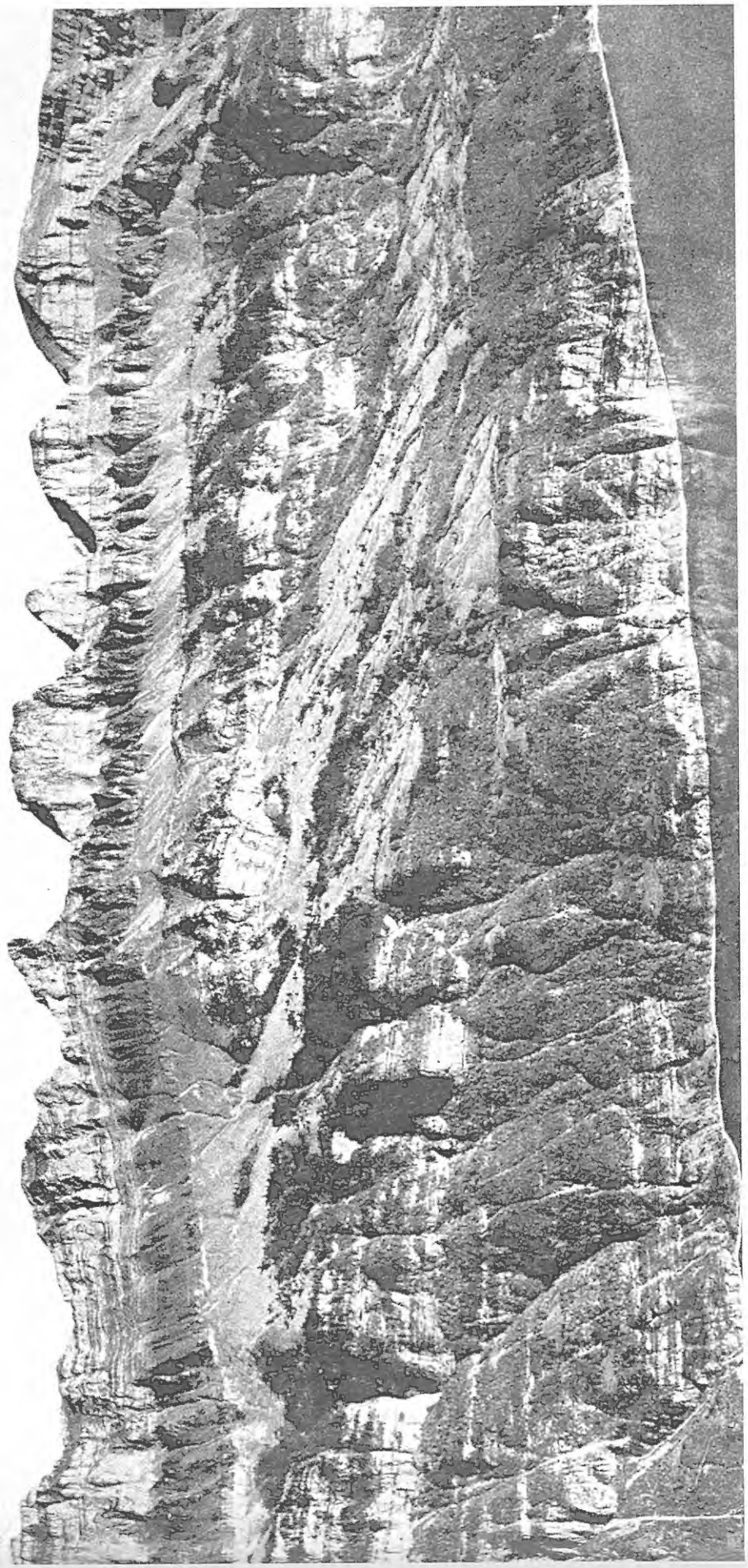
> *The art of perceiving landscape* does not reside in seeing each and every single thing and attempting to commit it to memory. Rather, from the full range of impressions one should retain only that which adds significantly to one's knowledge of the land. Perception should be guided by a consideration of quite specific things. It is important that seeing is a *conscious* process. *Perception is conscious seeing.*[3]

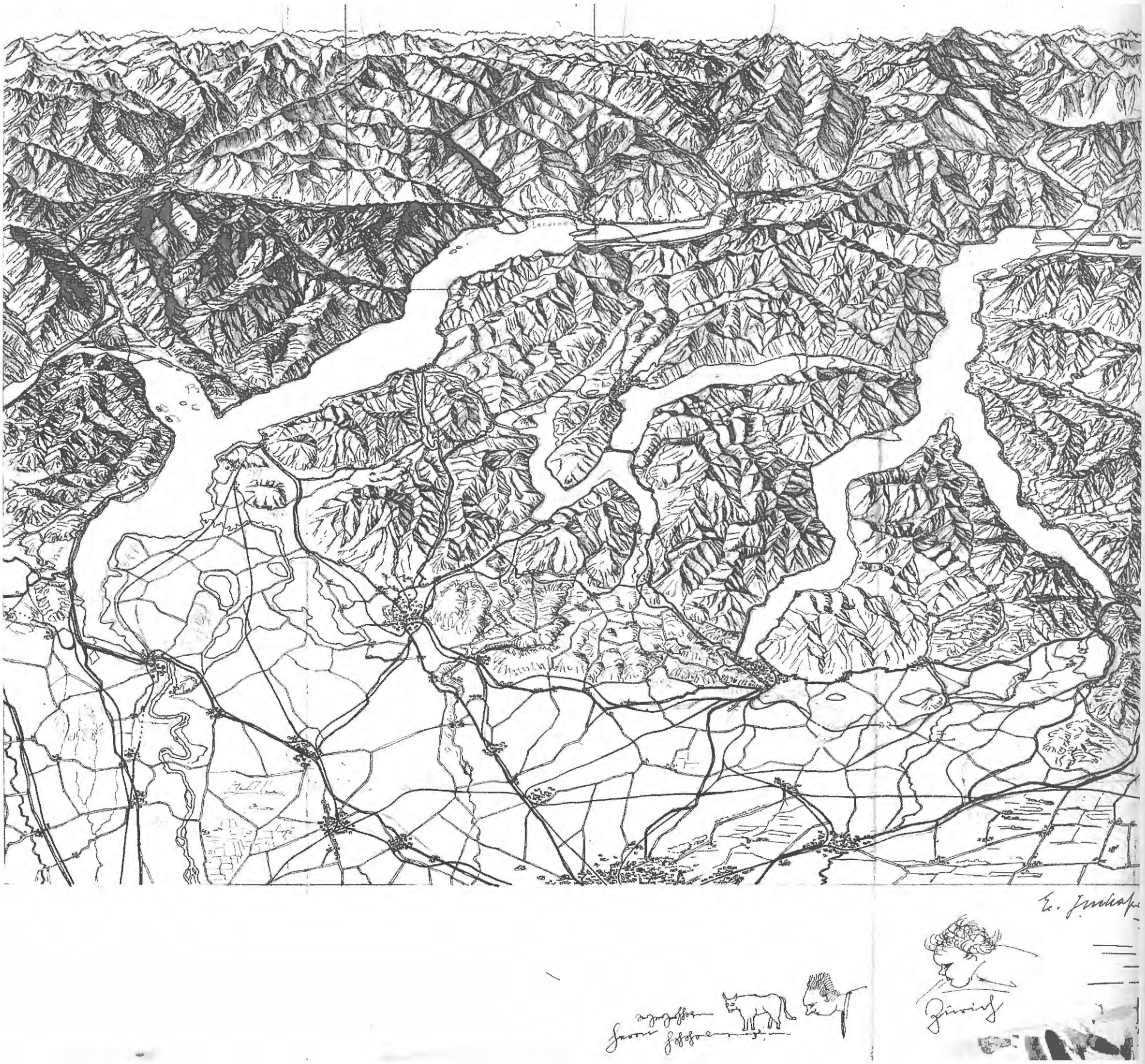
And a few paragraphs further on, he adds:

> The innate capacity for spatial perception (tricks of perspective, shadow effects, tiny optical shifts and the wealth of our experience in relation to form) brings about an *automatic*, fully *unconscious* reinterpretation of views in presentations of forms and situations.... That which one does not see cannot be made visible by any amount of experience or reflection. Rather, the essential point here is to be aware of the *possibilities* of being deceived.[4]

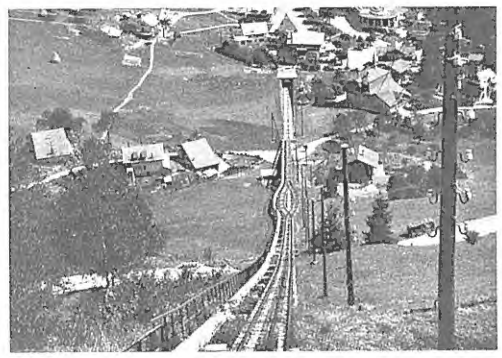
The discussion extends beyond cartography, touching on landscape painting, garden design and architecture. Imhof suggests you can look at mountain forms in much the same way as you look at houses. A photogram of the Churfirsten mountains seen from the south reveals that mountains also have facades (conversely, photogrammetry is used today for taking pictures of complex building facades). Imhof's references to the finely registered differences in the perception of the landscape at different times of the day and year have parallels in the classic textbooks of English landscape design; and the false perspective is a standard from the repertoire of the curved axial perspective. Walkers are familiar with the apparent layering of distant mountain peaks – the constantly changing views are one of the joys of any alpine trip; however, it is ultimately these same phenomena







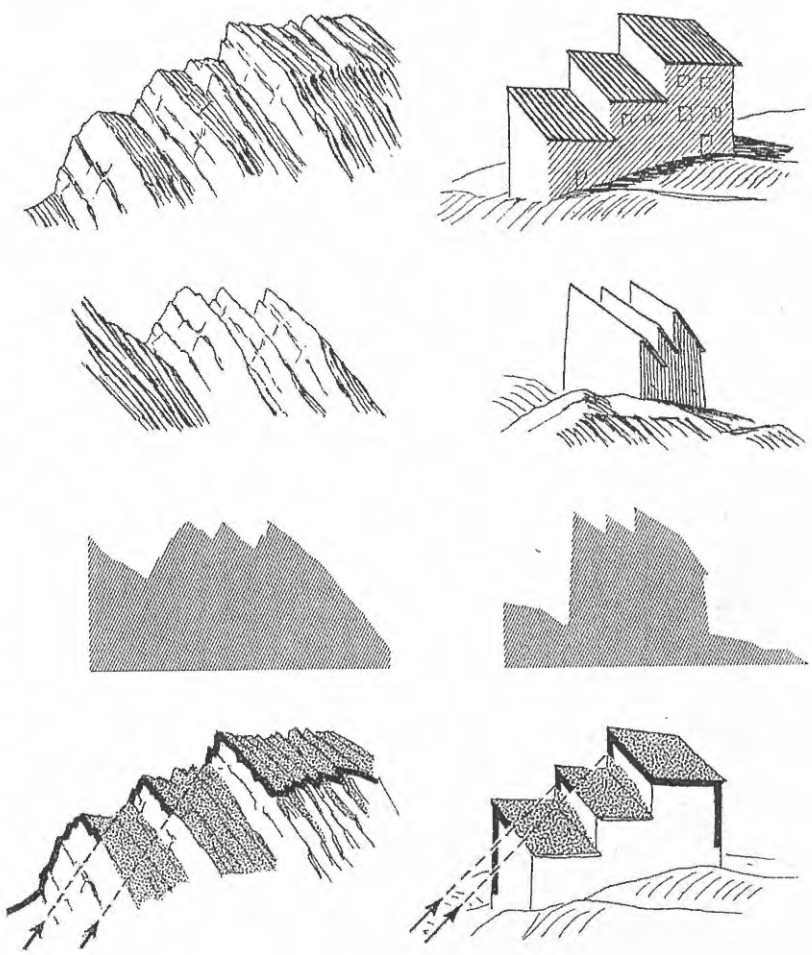
On Perception
The Cartography of Eduard Imhof
Jürg Conzett



that Rowe, Slutzky and Hoesli all describe as *transparency*. I didn't consciously refer to Imhof's book while I was working on the project for the second Traversina Bridge, but in hindsight it is clear that the design was influenced by Imhof's interpretation of the view from Les Avants-Sonloup mountain cable car station. He points out that 'above' in the picture does not necessarily mean 'above' in real life (and may indeed mean 'below'), which helps to soften the downward view. This is in contrast to the view of the north face of the Marwiès, the archetypal picture of vertigo: a downward sloping meadow disappears at an angle and resurfaces far below at a completely different angle, giving one a very clear idea of the vertical distance involved. A more breathtaking effect can scarcely be imagined.

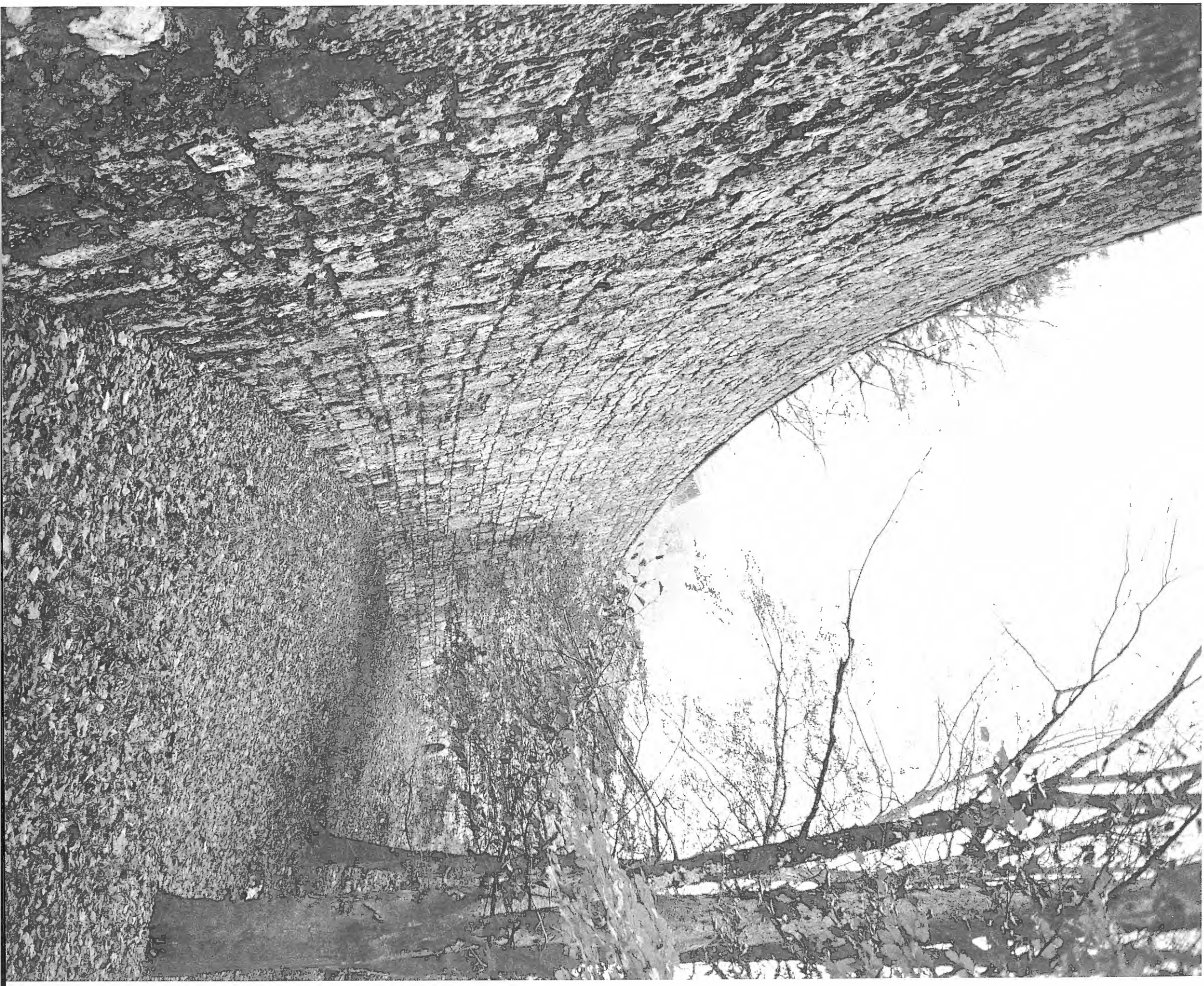
To pick up, to *absorb*, is one of the most important activities for the engineer and the architect. You arrive in a strange city and start taking measurements, and by the evening you are familiar with the construction site in all its details – you know the smallest irregularities in the terrain, the position of the trees, the format of the kerbs. At the college where I teach, students devote their first semester's work to the description of a built work, dealing not only with what they see, but also with what is hidden from view. I consider this exercise to be absolutely essential. An interest in the built work and an enjoyment in dealing with given conditions are the most important prerequisites for studying engineering or architecture. As with Imhof's *Gelände und Karte*, this has both physical and intellectual dimensions. No photograph or virtual simulation can substitute for the physical lure of the built work, experienced in person, on site. I crossed the George Washington Bridge on foot in order to know what the span of a kilometre entailed; I climbed the pylon of Pont Gisclard with pounding heart; and I had an unforgettable tour through the pipes of the Royal Albert Bridge with Bridge Inspector Gordon Mead. Provided one is capable of *absorbing*, everything else follows naturally: a curiosity about why, for example, the curve of the Wiesen Viaduct is more pronounced at the apex than at the quarter, or about the centre of gravity of elastic weights. Mathematical instruments acquire their lustre when one knows what they are used for. But seeing, absorbing, making an inventory, is the very first step.

1 Viola Imhof, *Eduard Imhof, Ein Leben mit Landkarten*, Meilen 1990.
2 Eduard Imhof, *Gelände und Karte*, Erlenbach 1950.
3 ibid. p. 13.
4 ibid.

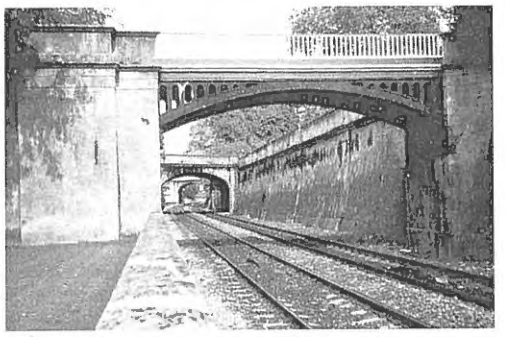


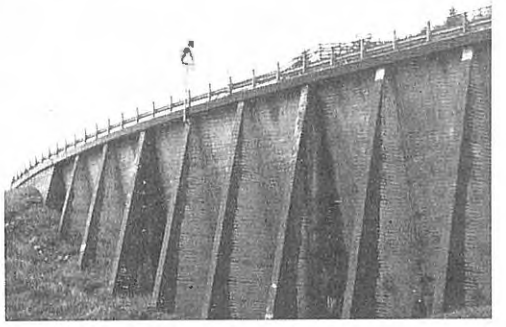
From top:
View from Les Avants-Sonloup mountain cable car station
Looking at mountain forms in the same way as you look at buildings
From Imhof's *Gelände und Karte*

Facing page:
Eduard Imhof, Swiss Alps from the south, bird's-eye view map, pen and ink, c. 1927



Retaining Walls
Jürg Conzett





For Jürg Conzett, an interest in retaining walls is part of a larger concern with the impact of technical structures on the landscape. In the following text, based on a lecture given to the Bündner Heimatschutz Society, he describes how the appearance of retaining walls has traditionally been defined by the prevailing aesthetic culture and calls for a more considered approach to their design today.

Retaining walls tend to be the poor relations of structural engineering, overshadowed by bridges and tunnels. Largely anonymous, they nonetheless have an indelible presence in the landscape, and speak clearly of the architectural culture of their time. The walls built by Karl Emanuel Müller along the Gotthard Pass and the Axen road display the classical ideals of the Age of Enlightenment around the beginning of the nineteenth century, with their precise contours, smooth surfaces, narrow cover plates and crescent-shaped drainage holes. The National Romanticism of the turn of the twentieth century, with its delight in robust rural structures, is reflected in the protruding bosses of the crude rubble masonry walls of the Rhaetian Railway. The walls of the 1930s express that era's interest in the artificially created landscape (an interest shared by architects and road-builders alike). The powerful ribs and overhanging plates of the retaining walls at Malabarba, on the southern spur of the San Bernardino road, exemplify the structural expressionism of the 1960s.

Nowadays road-builders, like architects, have a wealth of construction methods and aesthetic traditions to choose from. Their decisions are complicated further by the need to respond to an ever more critical public who want to be closer to nature, as in a bygone era, without having to give up the benefits of modern technology. This conflict can be seen, for example, in the modern roads of Graubünden, which have stacked blocks of dressed stone along the mountain, and massive concrete walls down the valley side. Tradition and protest have had an impact on the design of technical structures in many different eras, but I would like to focus here on three particular times and places: England in the 1840s, the Austrian and Bavarian Alps in the 1930s, and Ticino circa 1960.

England in the 1840s From the outset steam railways were controversial: people living near them complained about noise and air pollution, landowners refused to give up their land, and conservation societies rallied to protect important historical and archaeological monuments. While the first industrial transportation networks, the canals, had been built without significant opposition, the construction of the railways brought home to everyone the irreversible changes of the Industrial Revolution.

John Ruskin, one of the most influential critics of nineteenth-century English culture and society, was a vehement opponent of the railway. He warned of the 'deterioration of moral character in the inhabitants of every district' it penetrated, and denounced the geometricization – or 'violation' – of the landscape by the straight, horizontal railway lines and their embankments. The young engineer Isambard Kingdom Brunel was concerned to avoid any such charges of desecration when he came to construct his Great Western Railway line through the city of Bath. An important Roman settlement, known since ancient times for its healing waters, Bath remains one of the most beautiful cities in England. Extensive parks adorn its centre, and one of these, Sydney Gardens, had to be crossed by the railway: a difficult undertaking at a time of dawning awareness of the destructive effects of railway engineering.

Brunel's railway line is placed in a gully at the foot of a natural slope. It is flanked on one side – the uphill side – by a long retaining wall, on the other by a gentle slope. Because it is low-lying, the railway is at first hidden from view; only when one stands right in front of it does the line become visible, running behind a masonry breastwork with balustrades. The effect is reminiscent of English and French landscape gardens. The caesura created by the railway was softened with a number of crossings – roads alternating with footbridges – that did away with a tedious descent and climb through the valley. What had initially seemed an obstacle to movement now represented an improvement on the original situation.

The long retaining wall, typical of Brunel, combined the latest methods of structural engineering with historical architectural forms. The visible face of the wall is curved, with the curve strongest at the base. (This shape, by the way, is the result of stability calculations set out by the eighteenth-century French scientist Charles Augustin Coulomb, to whom we owe the first theoretical treatise on the internal pressures of earthworks.) In order to minimize the environmental impact of the intervention, Brunel employed materials and ornamentation commonly found in the area: the original wall was built entirely of local sandstone, while the cornices and pilasters on the structures drew their inspiration from the city's Georgian villas.

The grandeur of the Sydney Gardens scheme derives not only from these carefully elaborated details, but from a combination of factors including the layout of the lines, the contour of the terrain and the design of the individual structures. The retaining walls are an important part of the overall concept.

Facing page:
Retaining wall on the Deutsche Alpenstrasse near Ramsau

Above, from left to right:
I. K. Brunel, Sydney Gardens, Bath
Malabarba, San Bernardino road

Austrian and Bavarian Alps, 1930s In Germany the Industrial Revolution began relatively late, after the founding of the Second Reich in 1871. As a consequence, its progress was all the more rapid and disruptive. In Germany, as in England, various societies were formed in an attempt to counteract its negative impact. Two such movements were the Deutscher Werkbund, which focused on industrial design, and the Bund Heimatschutz, which promoted the design of buildings in keeping with the local style. However, in contrast to their English counterparts, who 50 years previously had looked upon industrialization and capitalism as forms of temporary madness, German critics essentially welcomed the achievements of science, understanding their importance for the development of the economy.

The term Heimatschutz, meaning 'protection of the home environment', was coined by the Berlin music teacher Ernst Rudorff. The Bund Heimatschutz was founded in 1904, with the painter-architect Paul Schultze-Naumburg as its first president, and the engineer Werner Lindner as its secretary. Right from the start, the movement was highly effective in arousing an interest in vernacular, craft-based architecture among a broad spectrum of society. The Bund produced many popular publications, including Schultze-Naumburg's nine-volume *Cultural Works*, which found its way into the library of almost every middle-class German home. The large illustrated volumes contained photographs by the author that polemically juxtaposed 'good' and 'bad' examples of architecture, a method also employed to some effect in Ruskin's day. The experienced eye of the landscape painter is evident in the careful staging of the photographs, designed to put across a specific point. Volume VII, *The Shaping of the Environment* by Man, contains photographs of rustic scenes with winding tree-lined roads or flights of stone steps and walls dressed with greenery. This series of illustrations set a standard, creating an image of the ideal landscape for a whole generation of architects and road-builders.

The Society's secretary Werner Lindner was also a prolific writer. His books included *Well-Designed Engineering Structures*, *Engineering Structures and the Protection of the Environment* and *Technical Cultural Monuments in the Home Environment*. Lindner attempted to blur the distinctions between high and low culture. His descriptions of functional structures – ranging from warehouses to lighthouses, from cooling towers to blast furnaces – were juxtaposed with illustrations of monumental and traditional buildings. Pictures of European industrial landscapes were paired with, say, an Indian temple complex or the bell-towers of San Gimignano. Far from demanding that overhead power lines be replaced with underground cables, Lindner praised the improved appearance of the pylons. He was a true advocate of the possibilities of technology, speaking of the 'beauty and solid simplicity' of machinery, and of 'fabulous cranes'. At the same time, he was one of the first environmentalists: disturbing the natural equilibrium would be tantamount, he said, to destroying the heritage of present and future generations. For him it was paramount that planning on a national basis override short-term private interests.

The principles of the Heimatschutz movement were channelled directly into road construction through the work of Munich architect Alwin Seifert, 'Counsel for the Countryside' in the 1930s. The first hairpin bends on the west side of the Arlberg road, above the village of Langen, exemplify Seifert's approach. The road follows the contours of the landscape, protruding from the mountain with a low wall on the uphill side and a high retaining wall on the valley side. A balance is sought in the longitudinal profile of the road, with the material for the supports being excavated from the horizontal cut into the mountain slope. The ornamental structures are made from the same material: rubble masonry, beautifully crafted into walls. The contours of the walls are kept as simple as possible: the upper wall remains parallel to the road, while the parapet below is low (600 mm) but substantial, at 450 mm wide. Typically, an uphill retaining wall starts out as a wing wall, with right-angled returns. It has a solid, block-like appearance, which makes it almost seem to have been there forever. The principles promoted by Seifert spread rapidly.

While Seifert's remit in the case of the Arlberg road was to improve an existing route, he was given the opportunity to create a new stretch of road across the Sudelfeld, on the route through the Bavarian Alps. Great importance was attached, in this tourist region, to the preservation of existing plant life. Mature trees lined the road, giving it the air of an ancient pathway. Retaining walls were arched to avoid damaging the roots of fir trees. Branches were stretched across the road, creating a green canopy that made driving more pleasurable. Frequent scenic outlooks encouraged the traveller to stop and admire the view. Here we find the familiar devices of rubble masonry, thick parapet and integrated stepped slope. The viaducts form a seamless continuation of the retaining walls, their rendered surface running uninterrupted up to the arch of the bridge, with the bridge itself forming part of a bend. If it weren't for the material, you could almost be looking at the work of Robert Maillart. For long retaining walls, Seifert developed the principle of

Above left:
Alwin Seifert, Deutsche Alpenstrasse
near Ramsau

Above right:
Hairpin bend on the Arlberg road
near Langen

keeping lines in parallel: the upper edge of the wall runs in parallel with the side of the road, and changes in height are produced by oblique lines of equal gradient. At first, some of these were quite steep, but in the end an angle of about 30 degrees was adopted. The walls quietly follow the course of the road. This principle was soon adopted in Switzerland for the improvement of the Julier road, and can also be seen at Praden.

Seifert was also involved in the construction of the first German autobahn. The stretch from Munich to Salzburg is a perfect example of the new design philosophy: the two carriageways of this so-called 'swinging' road look like concrete ribbons laid directly onto the landscape, with neither drainage trenches nor side rails to separate them from their surroundings. Wide rounded bands of soil, newly spread on both sides of the road, provide a gentle transition from the geometry of the autobahn to the original terrain. The trees in the central reservation were preserved, reinforcing the impression of driving in a grand park: the point is not to get from A to B in the shortest possible time, but to enjoy touring by car, with scenic views integrated into the landscape. Seifert's approach to road-building had an almost mystical quality, which is expressed in this quotation from 'Nature and Technology in the Construction of Roads in Germany' (*Schweizerische Bauzeitung*, 18 December 1937):

> There is no clearer indication, no more obvious token of the structure of a region – of its vibrancy, its fertility or conversely its sterility, of the soul and kinship of its inhabitants – than its ancient roads. Feudal power, the proud peasants who work the land, a sense of community, of dogged perseverance, of making the most of what is available... worldliness and religious faith – all these things are most faithfully mirrored in ancient roads, and this is the reason for their beauty, which moves us even today. These roads are beautiful not because they are ornamented – their builders did not think about adornment – and what appears to us as romantic is something that we read into it, according to our own taste. All that was built and planted in connection with an ancient road was done out of necessity and for a purpose. The roads are beautiful because they were technically perfect at their time; they are beautiful because technical necessity, technical know-how and artistic feelings are combined in perfect harmony, a harmony such as is inherent in a bird or a tree.

Alwin Seifert was, in his own words, repelled by 'soulless, life-destroying materialism, whether western or Bolshevik', a sentiment expressed in a collection of his essays titled *In the Age of Living*. In the introduction, he refers to the great reassessment of values then taking place in Germany, which he hoped would create a society 'in which matters of the heart and values of the soul would take their proper place beside the avenging spirit'. Perhaps unsurprisingly, Seifert became an idealistic follower – and proponent – of National Socialism, and he failed to recognize that this 'age of living' was a terrible illusion. He was not alone: in 1933 the Bund Heimatschutz was incorporated into the official Reichsbund Volkstum und Heimat (Union of the Reich for Ethnicity and Home Environment). Schultze-Naumburg went so far as to demand special protection for what he called 'the home-oriented man' and became a promoter of racist ideas.

This point is significant, as the association with National Socialism would later taint the whole of German engineering culture. Any attempt to incorporate regional motifs into engineering structures became suspect. In the 1950s, for example, when the walls and tunnel mouths for the new Viamala road were under construction, observers noted their resemblance to the disgraced 'home environment' style and raised a stink. Concrete quickly replaced rubble masonry, and a modern look was born. What very few people realized at the time, however, was that a whole structural philosophy was being thrown out along with the construction material. Professor Edwin Thomann from the ETH in Zurich expressed the new official line:

> I think all road engineering experts would agree with me when I express the opinion that we must consider a traffic route... first and foremost as fulfilling a purpose, i.e., it is a structure which has to satisfy a specific practical need. The traffic route should therefore be designed and constructed in such a manner as to satisfy this need in the optimal way. As this requirement involves very specific... construction and technical demands, it can be extremely hard to adapt it perfectly to the natural landscape. The more important the road construction project, the more difficult it will be to harmonize its requirements with other kinds of requirements.

These sentences have a tone of resignation, particularly when read alongside Seifert's euphoric words. Adapting a roadway to the landscape was considered to be a lost cause. In its place came new ideas: increased capacity and speed, shorter distances and journey times. A break with a tradition of many decades had been accomplished.

Above:
Parallel lines in a wall near Praden

Ticino in the 1960s In February 1961 the Italian architect and historian Bruno Zevi published a sharp critique of the construction of the autostrada from Bologna to Florence:

> One need only look at a dozen bridges along this road to notice that they were designed individually, with misshapen and contradictory results. Nobody has taken the trouble to create a minimum of artistic or technical cohesion between the individual structures. The tunnel entrances are, without exception, badly designed – indeed, they are devoid of design. The carriageway, the bridges, the walls and the tunnels follow each other without any conceptual relationship. All this reveals a method of proceeding that is both architecturally reprehensible and economically wasteful.

One positive outcome of this was the decision by Franco Zorzi, president of the Ticino Department of Public Works, to hire the architect Rino Tami as 'artistic adviser' for the construction of motorways in his canton. Tami devised a design concept based on seven points, the first three of which are relevant to our discussion. (The other points go on to address consistency in the abutments of the bridges, the tunnel entrances and the service stations.)

1. The motorway should be considered as a whole, not as the sum of its parts, and it should display a formal unity in all its elements.
2. This principle is strengthened by the use of only one material – reinforced concrete – for all structures.
3. All retaining walls are to be characterized by the principle of parallel lines.

The use of fair-faced concrete and the rejection of all ornament indicate Tami's modernist approach. But the formal concept of laying out the retaining walls in parallel demonstrates that he was also familiar with traditional methods of construction. Tami's solution elegantly adapts an earlier technique to a new material: concrete.

Road Alignment Every retaining wall is a component in an overall reference system: a road alignment. This geometry often decides whether it is reasonable to build a wall at all. As an example, we will consider the intruding hairpin bend on a local road above Passugg (shown on the facing page, left). The road alignment is extremely poor here, as it opens up a precipice near an existing house – something that even a better designed retaining wall could not have avoided.

Material The first thing one expects from an engineer is the ability to think systematically. Systematic thinking implies using as few materials as possible. When we look at the concrete arcade at Crap Ses and the adjoining tunnel entrance, also concrete, it is difficult to understand why a different material (dressed stone) was chosen for the returns in the retaining wall. It almost seems as if the design engineer had begun to have qualms about using so much concrete. The fact that the concrete is well finished and of a high grade makes this inconsistency all the more regrettable.

Below the railway station of Tiefencastel, one can see a masterful drystone wall intended to reflect traditional building methods. But on the west side of the station, below a new flyover, and below this edifice, the retaining wall changes from coarse blocks to ashlar made from a large number of small stones, some of them laid edgeways, some flat. The flyover itself is made from fair-faced concrete, and has winged abutments that are crowned with a high concrete fascia and fitted with a galvanized guide board. The resulting impression is of a muddle of different shapes and materials. This is particularly painful because Tiefencastel is an important station on an important railway line and when it was originally built great care would have been taken to ensure the uniformity of materials.

It is part of the attraction of the Albula Railway that its retaining walls reflect the geological variations of the landscape it crosses through. The hard limestone of the Schinschlucht Gorge, which splits neatly into straight-edged pieces, was used to construct smooth, regular walls. The stone from the Dolomites at Landwasser or from the Verrucano in the Stulsertobel is similar. The Triassic limestone found above Bergün, on the other hand, is a stubborn material, tending to break into round pieces. Accordingly, the retaining walls here are strongly embossed and have a rough appearance that reinforces the wildness of the mountainous landscape. And in the depths of Schanfigg, a region once famous for its pioneering achievements in concrete structures, there is, quite whimsically, a beautiful green granite.

Form In the brochure 'Landscape, Housing and the Building of Roads', published by the Swiss Institute for the Care of the Environment, I read that a retaining wall made of 'bare, smooth concrete' will always have an alien presence in nature. The volume *Roads as Structural Monuments* makes a similar complaint. Neither publication seems to concern itself with the problem of form. But I consider the outline of the shape of a wall – whether it appears flat or three-dimensional, how it begins and how it ends – to be just as important as the choice of material.

The concrete wall in Poschiavo (facing page, right) is a good example of the use of parallel lines: the steps are in proportion to the dimensions of the formwork, and a matrix determines these dimensions, giving the wall a rational and purposeful character. The quiet outline creates a better impression than a widely undulating upper boundary. But while I hold this principle to be generally true, it is the exception that proves the rule – in this case the

Above:
Rino Tami, retaining walls on the A2 highway near Maroggia, Lake of Lugano

Facing page:
Bad and good examples of road alignment in Passugg and Poschiavo

curved upper contour of a wall in Peist, which projects a bend in the road onto the surface of the slope. The curve is gentle and continuous; one would suspect it to be the graph of a mathematical function. In both examples, the shape of the wall does not appear accidental – on the contrary, the design is quite deliberate.

Surface Finishes and Workmanship Traditional drystone walls are built closely jointed and with a smooth surface. The stones may be jointed in beds, or cyclopean. The size of the stones is not especially relevant. In a modern drystone wall near Calfreisen, the joints are wide open, creating, at first sight, a disturbing impression that may cause one to question its safety. Despite this, this way of stacking blocks of stone, one atop the other, has become a widespread fashion of late.

The traditional mortar walling along the German Alpine Road looks no different from a drystone wall (after all, mortar was originally an expensive material and had to be used sparingly – it is only in recent times that the situation has been reversed). The horizontal banding is produced by level courses made from smaller stones. If the wall is smoothly pointed, one speaks of a *rasa-pietra* finish. Obviously a rubble masonry wall must be built using a line, otherwise it could end up looking like the wall near the Solis Bridge. I should mention here that I consider dilation joints in walls of natural stone a mistake; the Romans did not use them, nor did the builders of the Rhaetian Railway, and I myself have avoided them so far, with no ill effects.

A passing motorist will hardly register the lumps of rock wiped with cement milk or the black polyurethane drainage pipes in the walls on the Clasaur Tobel. A walker, on the other hand, cannot help but notice the decline of traditional masonry values, and will perhaps mourn the passing of an art form.

Concrete's poor reputation is largely due to ugly surface finishes, but haphazard formwork structure, with randomly placed cast-in fixings and black-painted foot, cannot help matters. However, the formwork of the retaining wall at the entrance to the tunnel at Calfreisen has clean, simple lines and – in contrast to the blockwork walls above – leaves nothing to be desired.

The range of surface treatments for concrete has by no means been exhausted. For instance, concrete can be granulated for about the same cost as an exposed concrete formwork. Or a wall can be given a roughcast finish using local aggregates. Alternatively, the surface can be made extremely smooth, as with the roof supports for the new HTL School building in Chur. Perhaps, by applying more imagination in this way, it will be possible to overcome the more or less automatic condemnation of the material.

Transitions I would like to finish with a few comments about 'transitions'. With the old stone walls, it was customary to allow the crest of the wall to become overgrown, so the masonry blended into its surroundings. On the valley side, the wall was raised to form a parapet, avoiding the problems associated with reinforcing a railing on a masonry structure. The parapet employed a range of materials: humus blocks along the Alpine road, fend stones along the Susten Pass – this innovation became the model for Swiss mountain roads for many years to come. On the Alpine road Seifert devised a kind of Ur-crash barrier, using socles of masonry or concrete and timber planking. Unfortunately these have been pulled down and replaced with siderails that are visually much more intrusive, with clumsy socles containing a series of cover plates. This is another example of the devil hiding in the detail, and of how a relatively minor change can alter the character of a road for the worse. Nowadays, a concrete fascia is the usual solution for a parapet, but in my opinion it's not always the best solution. The examples quoted here prove that it is possible to create a sense of safety without the parapet being overly high. What would you say to getting rid of the side rail? The wall would sit more naturally in the landscape for it.

Bibliography
Norbert Borrmann, *Paul Schultze-Naumburg*, Essen 1989
Tita Carloni et. al., *Rino Tami, 50 anni di architettura*, Lugano/Milan 1984
Peter Hartmann, *Landschaft, Siedlung + Strassenbau, Schweiz*, Chur n.d.
Arne Hegland and Jürg Simonett, *Strassen als Baudenkmäler. Kommerzialstrassen des 19. Jahrhunderts in Graubünden. Inventar historischer Verkehrswege der Schweiz*, Berne 1989
Wolfgang Kemp, *John Ruskin, Leben und Werk*, Munich/Vienna 1983
Werner Lindner and Conrad Matschoss, *Technische Kulturdenkmale*, Munich 1923
Werner Lindner and Georg Steinmetz, *Die Ingenieurbauten in ihrer guten Gestaltung*, Berlin 1927
Lionel T. C. Rolt, *Isambard Kingdom Brunel*, Harmondsworth 1986
Paul Schultze-Naumburg, *Kulturarbeiten*, nine volumes, Munich 1903
Alwin Seifert, *Ein Leben für die Landschaft*, Düsseldorf/Cologne 1971
Alwin Seifert, *Im Zeitalter des Lebendigen*, Dresden/Planegg 1941
Jack Simmons, *The Victorian Railway*, London 1991
Rainer Stommer and Gabriele Philipp, *Reichsautobahnen, Pyramiden des dritten Reiches*, Marburg 1982
Walter Zschokke, 'Die Strasse in der vergessenen Landschaft, Untersuchung von Einflüssen auf die Gestaltung von Ingenieurbauwerken der dreissiger Jahre, aus-geführt am Beispiel der Sustenstrasse', ETH Dissertation no. 7974, Zurich 1986

Jürg Conzetts alternative Strategien zwischen Architektur und Ingenieurbau

Die rationale, objektive und pragmatische Welt, die viele der heutigen Bauingenieurwerke umgibt und prägt, ist auch die Kraft, die ihre ästhetische und visuelle Anonymität legitimiert. Diese Haltung ist eine Quelle der Stärke, wie auch der Schwäche: man denke nur, wie Strassenbau-Infrastrukturen Jahr für Jahr um tausende Kilometer wachsen, ohne dass ihre Entwürfe hinsichtlich jener Ansprüche hinterfragt würden, die sonst an einfachste architektonische Aufgaben gestellt werden. Wenn es Ingenieurwerke betrifft, scheint es weitgehend üblich, Aspekte der bildlichen Erscheinung zu unterdrücken, selbst wenn das Produkt einen hohen Grad an visueller Präsenz besitzt.

Besonders offenkundig ist dieses Verdrängen auch dann, wenn Ingenieure an Werken der Architektur mitarbeiten. Die übliche Rolle des Bauingenieurs besteht in diesen Fällen darin, auf den Entwurf des Architekten zu reagieren und, im besten Fall, eine passende und konsistente Lösung zu unterbreiten. In der Praxis führt die Betonung des funktionalen Anteils der Ingenieurarbeit zu eher begrenzten und rein pragmatischen Antworten auf die vielfältigen und sich mit den jeweiligen Umständen auseinandersetzenden Forderungen architektonischer Projekte. Dennoch sichert die scheinbare Objektivität der Methoden des Ingenieurs seinen Erfolg und wappnet die Ergebnisse seiner deduktiven Lösungen gegen Kritik. Und hier liegt die Ironie dieser Position: die grossen Ingenieurwerke, die uns umgeben, besitzen unzweifelhaft formale und ästhetische Werte; dennoch haben wir uns damit abgefunden, ihren Ursprung aus Wissenschaft und Rechnung als ausreichende Rechtfertigung ihrer Erscheinung zu akzeptieren.

Im Verlauf der Geschichte des Ingenieurwesens gab es viele Ausnahmen von dieser Regel. Eine der wichtigsten ist Isambard Kingdom Brunel (1806–1859), der britische Ingenieur, der ein Vermächtnis erfinderischer Projekte hinterliess, das Generationen von Nachfolgern inspirierte. Brunels Rolle bei der Entstehung der Great Western Railway wie seine Entwürfe zahlreicher Brücken, Gebäude, Dampfschiffe und Dockanlagen geben seinem Werk auf vielen Ebenen eine breite und trotzdem disziplinäre Dimension. Er verfügte über die Fähigkeit, Techniken von einem Feld zum anderen zu übertragen. Er bewertete die Leistungen der Vergangenheit und modifzierte oder verwertete deren Prinzipien in neuartiger Weise. Und er brachte es fertig, gleichzeitig mit Architekten und Unternehmern zusammenzuarbeiten zu einer Zeit, als solche Kooperationen noch ungewöhnlich waren. Während heute Sicherheitsbestimmungen und Risikominimierung einen grossen Teil der Ingenieurarbeit absorbieren, war Brunel in einem Umfeld tätig, das vom Ingenieur erwartete, sich in dem riskanteren Bereich von Erfindung und Innovation zu beweisen: im Realisieren des Ungeahnten.

Die schiere Breite von Brunels Arbeit und die methodische Art seines Vorgehens haben sich wiederholt als Inspirationsquelle für den zeitgenössischen Schweizer Ingenieur Jürg Conzett erwiesen. Dies soll nicht suggerieren, dass Conzetts Arbeiten optische Kopien der Ingenieursbauwerke des 19. Jahrhunderts sind. Es ist eher so, dass er, wie Brunel, nicht davor zurückscheut, die Errungenschaften der Vergangenheit für die Gegenwart als eine Quelle innovativen Denkens zu erschliessen. In gleicher Weise sind viele seiner Projekte, und die seines Büros Conzett Bronzini Gartmann, den fortschrittlichsten und radikalsten Ansätzen im Bereich des Bauingenieurwesens gewidmet. Von seiner Heimat in der Kleinstadt Chur im Schweizer Kanton Graubünden aus besetzt Conzett deshalb eine Sonderstellung unter den weltweit führenden Ingenieuren. Wenn er mit Architekten zusammenarbeitet, was er häufig tut, sind die Ergebnisse in ihrer Erscheinung niemals konventionell oder vorhersehbar. Wenn er als Ingenieur allein arbeitet, dann widersetzt er sich der übermässig expressiven Dimension des Ingenieurbaus, und konzentriert sich stattdessen auf einen Ansatz, der sich als innovative Zurückhaltung charakterisieren liesse.

Der Bezug auf das Werk von Brunel und anderer Ingenieure verleiht den Arbeiten von Conzett eine stilistische Qualität, die eher auslegend als einzigartig ist. Der Ansatz gleicht dabei in verschiedener Hinsicht dem, was der italienische Philosoph Gianni Vattimo als „schwaches Denken", als *pensiero debole* bezeichnet hat. Selbstverständlich ist „schwaches Denken" nicht eine Schwäche des Denkens als solche. Gemeint ist vielmehr einen Ansatz, bei dem das Denken nicht länger demonstrativ ist – wo also die Rolle des Philosophen nicht mehr darin liegt, der „Führer der Menschheit zum Ewigen hin" zu sein –, sondern wo es „erhellt", und zwar in dem Sinne, dass es „die Menschheit zur Geschichte lenkt". Durch einen Prozess der Schwächung wird das „Gewicht von objektiven Strukturen reduziert[1]". Diese Position, selbst eine Kritik von purem Rationalismus und Ideologie, baut auf Nietzsches Kritik der Vorstellung von den „Dingen wie sie sind", um auf diese Weise neu zu erwägen, wie die Dinge waren und was sie werden könnten. Als ein Denkmodus braucht das zumindest eine vorübergehende Aufhebung des Glaubens – oder das, was Vattimo eine „fiktionalisierte Erfahrung der Realität nennt" –, um sich unvorhergesehene Möglichkeiten vorzustellen oder, in philosphischen Begriffen, ein Mass an Freiheit zu erreichen. In dem Grad, in dem sich Conzetts Arbeit auf ein auslegendes Modell als Prozess der Schwächung stützt, nähert sie sich Vattimos Denken an. Sie verwendet bautechnische Prinzipien mit einer viel grösseren Menge von programmatischen und pragmatischen Überlegungen, und antwortet darauf in neuen und aussergewöhnlichen Wegen.

Zum ersten Mal traf ich Jürg Conzett, als ich während der zweiten Hälfte der neunziger Jahre eine Ausstellung in der Architectural Association in London zu organisieren half, die der Planung und dem Bau des Murstegs in Österreich gewidmet war, einem Projekt, das Conzett kurz zuvor in Zusammenarbeit mit dem in Zürich ansässigen Architekturbüro Meili & Peter fertiggestellt hatte. Der Mursteg ist ein Bauwerk, das unseren vertrauten Vorstellungen von Holzbrücken nicht entspricht. Wenn überhaupt vergleichbar, wirkt es wegen seinem eher flächigen statt stabförmigen Charakter auf den ersten Blick fast wie eine Brücke, die aus Beton und nicht aus Holz gefertigt ist.

Nach Conzett resultiert die Gestalt dieser Brücke aus der Verbindung architektonischer und ingenieurmässiger Kriterien. Das konstruktive Konzept eines Zentralträgers gibt der Brücke die notwendige Dauerhaftigkeit, um der Witterung zu widerstehen. Die Rolle der Architektur beschränkt sich dabei nicht nur auf die räumlichen Eigenschaften der Brücke selbst: eine Reihe von Wänden und Platten ermöglichen dem Benutzer, den Zusammenhang der Brücke mit ihrer umgebenden Landschaft auf verschiedenartige Weise zu erfahren. Neben anderen Schlüsseleigenschaften sind die raffinierten Verschiebungen, die sich beim Betreten und Verlassen der Brücke ereignen, ein Hauptmerkmal des Entwurfs. Diese Verrückungen oder Verlagerungen werden buchstäblich dazu benutzt, dem Technischen das Räumliche und umgekehrt einzuverleiben. Die Schubscheiben sind zum Beispiel nicht auf der Längsachse plaziert, sondern an den Seiten der Gurte befestigt, was eine direkte Ver-

bindung dieser Bauteile mit Gewindestangen und duktilen Dübeln ermöglicht. Die Kooperation von Architekt und Ingenieur hat zu einem Entwurf geführt, der in vielerlei Hinsicht die alltägliche konzeptuelle Logik beider Disziplinen überschreitet: es ist die Asymmetrie der räumlichen Organisation, die hilft, die Stabilität des Zentralträgers zu verstärken. Eine andere Variante dieses Projektes – eine nur auf technischen Überlegungen basierende – hätte vielleicht solche Deplazierungen eliminert, und damit die optische Gestalt der Arbeit der technischen Logik untergeordnet. In Murau sind stattdessen die räumlichen, visuellen und technischen Erfordernisse verschmolzen, nicht um die Idealität ihrer unabhängigen Gebiete zu behaupten, sondern um Notwendigkeit und Anliegen der anderen zu bekräftigen und auf diese Weise an Stärke zu gewinnen, wie Drähte in einem Seil.

Die Arbeit des Büros Conzett Bronzini Gartmann (oder seines Vorgängers Branger und Conzett) lässt sich, wie bereits erwähnt, grob in zwei Kategorien teilen: in Projekte, die zusammen mit Architekten entwickelt werden und in unabhängige Projekte, die allein ausgeführt werden. Die erste Kategorie umfasst Schulgebäude, Mehrzweckhallen, Sporthallen, Flughafen-, Bahn- und Bürogebäude, und, vor kurzem, das Projekt des neuen Zürcher Fussballstadions. Die zweite Kategorie besteht hauptsächlich aus Brücken und anderen infrastrukturellen Projekten. Conzett begann seine Berufskarriere nicht in einem Ingenieurbüro, wie es der Regel entspräche, sondern im Studio des heute gefeierten Schweizer Architekten Peter Zumthor. Während dieser Zeit scheint er in erster Linie als Vermittler zwischen Architekt, Ingenieur und Bauherr agiert zu haben. Zu seinen täglichen Aufgaben gehörte es, die Absichten des Architekten zu artikulieren und zu übersetzen, und zwar so, dass die ursprüngliche Integrität des Entwurfs gewahrt oder sogar präzisiert wurde. Durch ein solches Arbeitsumfeld war Conzett zudem visuellem und räumlichem Denken ausgesetzt, und dadurch muss ihm besonders die Bedeutung des nicht trennbaren Dialogs von Bauwerk und Bautechnik, Entwurfsprozess und technischen Erfordernissen bewusst geworden sein. Allmählich begann er ebenso als Architekt wie als Ingenieur zu arbeiten, ein Umstand, der seine aussergewöhnlichen Fähigkeiten belegt.

Trotz seiner vergleichsweise einzigartigen Position unter den zeitgenössischen Ingenieuren steht Conzetts Arbeitsweise und Forschung in vielerlei Hinsicht im Einklang mit der Tradition der Schweizer Ingenieursausbildung, wie sie 1855 an der ETH Zürich eingeführt wurde. Der amerikanische Forscher David P. Billington hat eine spezielle Studie zur „Kunst" der Baukonstruktion (structural art) und der technischen Gestaltung in der Schweiz verfasst. Nach Billington folgte der Ansatz von Carl Culmann (1821–1881) und Karl Wilhelm Ritter (1847–1906), zwei der ersten Professoren für Baustatik und Konstruktion:

> lokalen Beobachtungen an ausgeführten Bauten, international orientierten Untersuchungen und Studienreisen, und eigener Forschung mit Schwergewicht auf den Methoden der grafischen Statik[2]

und unterschied sich damit entscheidend vom stärker mathematischen Ansatz deutscher Ingenieuere der damaligen Zeit. Culmann und Ritter entwickelten vor allem die Prinzipien der grafischen Statik zu einem Mittel, mit dem visualisiert werden konnte, wie verschiedene Formen den Kräftefluss innerhalb einer Struktur verändern. Diese Arbeitsweise verbindet Mechanik und Ästhetik; es kommen nicht nur Berechnungen, sondern vor allem Grafiken ins Spiel. Billington hat über den Einfluss geschrieben, den die grafische Statik auf die ersten Ingenieure ausübte, die der Tradition der ETH entstammten – unter ihnen Robert Maillart und Othmar Ammann. Für Jürg Conzett bleiben die Methoden der grafischen Statik ein bedeutendes Werkzeug bei der Entwicklung eines Bauwerks, besonders während der konzeptionellen Phase, denn Grafiken und Bleistiftskizzen sind, erklärt er, eine „unmittelbarere" Methode, eine Konstruktion zu entwickeln als ein Computerausdruck.

Doch Conzetts Arbeit überschreitet auch diese akademische Tradition, indem sie beständig unerwartete Lösungen sucht. Eine der inspirierendsten Quellen ist das Schaffen von Richard Coray (1869–1946). Coray war verantwortlich für die Konstruktion der Lehrgerüste zahlreicher Betonbrücken, darunter auch Robert Maillarts eleganter Salginatobel-Brücke. Die Kunstfertigkeit, Präzision und Ökonomie von Maillarts Brücke war in hohem Masse von einem gewagten Holzgerüst abhängig, das zum Giessen des Betons benötigt wurde. Es wurde von Coray entwickelt und im Sommer des Jahres 1929 von sechs Mitarbeitern in der Schlucht aufgebaut. Obgleich feingliedrig und kurzlebig, war es Corays Lehrgerüst, das die Schönheit der Brücke auf die Dauer bestimmte. Auch die Vorstellungskraft Conzetts scheint ebensosehr von den Strukturen ephemerer Holzgerüste beeinflusst, wie von den Arbeiten Maillarts.

Als verwandte Verfahrensweise ist darauf hinzuweisen, dass viele der Entwürfe Conzetts und seiner Partner, sei es von Brücken oder anderen Konstruktionen, auch die Herstellung äusserst genauer Modelle umfassen, die von seiner ursprünglich als Möbelschreinerin ausgebildeten Frau Lydia angefertigt werden. Diese exakten Werkstücke ermöglichen es Conzett und seinen Kollegen nicht nur, die optischen Eigenschaften des Entwurfs zu bewerten, sondern ab und zu auch bis zu einem bestimmten Grad ihr statisches Verhalten abzuschätzen.

Ein Projekt, das offensichtlich von einer genauen Untersuchung der Beziehungen all seiner Elemente profitiert hat, ist der Entwurf des ersten Traversiner Stegs (der unglücklicherweise durch einen Felssturz nur wenige Jahre nach seiner Fertigstellung zerstört wurde). Im Vergleich zu den Brückenentwürfen eines anderen grossen zeitgenössischen Ingenieurs, Christian Menn, demonstrieren Conzetts Brücken oft eine unglaubliche Bescheidenheit des Massstabs und der eingesetzten Mittel. Dieser Unterschied kann teilweise durch den Umfang und die Parameter eines bestimmten Projekts erklärt werden, aber im Grunde steckt mehr dahinter. Menns Schaffen führt oft die Methoden und Traditionen von Maillarts Betonbrücken fort. Er baut grossartige und zugleich elegante Strukturen, die in Verbindung und Kontrast zur Erhabenheit der Landschaft gelesen werden können. Ihr Schauspiel ist überwältigend. Im Gegensatz dazu richtet Conzett grössere Aufmerksamkeit auf die wahrnehmungsbezogenen und haptischen Qualitäten seiner Bauwerke, die üblicherweise von bescheidenerer Grösse sind. Im Übrigen scheinen seine Brücken von einem Technologietransfer zu profitieren, der sie in ihrem Erscheinungsbild weniger konventionell wirken lässt. Conzetts Schaffen unterläuft unsere Vorstellung von Brücken, woraus sie gemacht sind und was sie leisten können, in technischer wie optischer Hinsicht – und besonders hinsichtlich ihrer Funktion als Katalysatoren für die gesteuerte Wahrnehmung der sie umgebenden Landschaft.

Der erste Traversiner Steg ist ein gutes Beispiel für eine Konstruktion, die nicht nur filigran erschien, sondern tatsächlich so leichtgewichtig wie möglich war, gefertigt aus Stahlverstrebungen und der kleinstmöglichen Anzahl schwererer Druckhölzer. Die Kombination von Dreigurt-Fachwerk, Bodenbalken und stabiler Brüstung gewährleistete die notwendige Festigkeit und Steifigkeit der Brücke. Trotzdem blieb dem Benutzer die Elastizität der Struktur, und, folgerichtig, die aussergewöhnliche und fast prekäre Art einer derartigen Talüberquerung immer bewusst. Der abfallende Winkel der Brücke bedeutete, dass der Talabstieg ein anderes Erlebnis bewirkte als der Aufstieg in die entgegengesetzte Richtung. Die Leichtigkeit war auch ein Faktor, der vom Bauprozess beinflusst war. Der Unterbau der Brücke war auf die Maximallast bemessen, die der Helikopter tragen konnte, der ihn an seinen definitiven Standort flog.

Während der Holz- und Seilbau des Traversiner Stegs auf Leichtigkeit zielte, wurde Conzetts nächste Fussgängerbrücke, die Pùnt da Suransuns, aus schwerem Granit gefertigt. Diese Brücke, eine Hommage an einen Entwurf von Heinz Hossdorf aus den fünfziger Jahren, basiert auf der Überlegung, dass sich eine Serie dünner vorgespannter Steinplatten in Wirklichkeit wie ein einziger Monolith verhält. Auch ermöglicht das Spannbandsystem eine

elegante Überwindung des Höhenunterschieds zwischen den Widerlagern. Eine besondere Qualität von Conzetts Brücken ist die Art und Weise, wie sie sich, sowohl physisch wie in ihrem Erscheinungsbild, in das übergeordnete Wanderwegnetz einfügen, und sich manchmal sogar mit alten römischen Saumpfaden verbinden. In dieser Hinsicht sind sie wichtige Faktoren bei der Bildung einer spezifisch schweizerischen Landschaft, Teil einer geographisch gebundenen und konstruierten Nationalidentität.

In seinem Buch *Masse und Macht* beschreibt Elias Canetti die hervorragende Bedeutung der von ihm so benannten Massensymbole der Nationen, um die sich Gefühle nationaler Identität formieren können. Canetti zufolge hat in England das Meer diese Funktion, in Deutschland der Wald und in Frankreich die Revolution. Für die Schweizer sind es die Berge. Die Bilderwelt der Berglandschaft durchdringt in der Schweiz einfach alles, von der Schokoladenschachtel bis zum Touristenprospekt. Die Vorherrschaft alpiner Symbolik ist nicht zu leugnen, allerdings unternimmt der zeitgenössische Historiker Oliver Zimmer eine äusserst interessante Unterscheidung zwischen der „Nationalisierung der Natur" und der „Naturalisierung der Nation". Im ersten Fall (wie die Schokoladenschachtel zeigt) dienen die Alpen, die als „authentisch" schweizerisch gelten, als Mittel der „Vereinigung von Landschaft und Nation"[3]. Das zweite, aus historischer Sicht neuere Phänomen, hat seinen Ursprung im späten 19. Jahrhundert: den Alpen wird die deterministische Qualität zu geschrieben, einen „Nationalcharakter" zu formen. Diese Umbestimmung einer passiven und gegenständlichen Landschaft in eine aktive und charakterformende Kraft, die in der Lage ist, eine Nation zu einigen, ähnelt der populären Auffassung von Geographie und Umwelt der amerikanischen Frontier. Im Falle der Schweiz sollte anfangs des 20. Jahrhunderts mit diesem Verständnis von Natur unter anderem den deutschen Nachbarn entgegengewirkt werden, die „rassische", wie ethnische Identität und Homogenität zunehmend betonten.

> Wohl gibt es auch ausserhalb der Schweiz Alpen, Berge, Seen und Flüsse; aber das Schweizerland bildet doch ein so abgerundetes und reich gegliedertes Naturganzes, dass auf diesem Boden wohl ein eigenartiges Gefühl gemeinsamer Heimat aufwachsen kann, welches die Bewohner, wenngleich sie in verschiedenen Tälern hausen und verschiedene Sprachen reden, doch gleichsam als Söhne desselben Vaterlandes verbindet[4].

Welche Bedeutung man immer den Alpen an der Konstruktion der Schweizerischen Identität auch zusprechen mag, bedenke man, dass sich nur 12 Prozent der Alpenkette durch die Schweiz ziehen, während die Anteile Frankreichs, Italiens und Österreichs bedeutend grösser sind. Jedoch machen die Berge in der Schweiz mehr als 60 Prozent der Gesamtfläche des Landes aus. Der Glaube an eine innige Verbindung der Bevölkerung mit der Topographie hat bis heute überlebt: die Nationalisierung der Nation und ihre Naturalisierung scheinen ineinander geflossen zu sein. Durch den Bau von Eisenbahnen, Strassen, Tunnel, Brücken und das dadurch erleichterte Reisen haben Ingenieure ihren eigenen Beitrag dazu geleistet, die Landschaft ihren Bewohnern noch näher zu bringen und diese Beziehung zu verfestigen.

Diese Landschaftserfahrung war nun keineswegs immer gleichartig und konstant. Die Intensität der kleinräumigen Wahrnehmung der Landschaft im Reisen in der Kutsche wird durch die Geschwindigkeit der Eisenbahn zerstört und der Landschaftsraum wird, nach Erwin Straus, zum geografischen Raum.

> In der Landschaft gelangen wir stets nur von einem Ort zum andern Ort; jeder ist allein bestimmt durch sein Verhältnis zu den benachbarten Orten im Umkreis der Sichtbarkeit. Wir gelangen nur von einem Teilraum zum andern Teilraum, unser Ort ist nie in überschaubarer Beziehung zum Ganzen. Der geografische Raum ist [hingegen] ein geschlossener und insofern ein in seiner ganzen Struktur durchsichtiger Raum. Jeder Ort in diesem Raum ist bestimmt durch seine Lage im Ganzen, zuletzt durch seine Beziehung zum Nullpunkt des diesen Raum ordnenden Koordinatensystems. Der geografische Raum ist systematisiert.[5]

Schon bald wurden den negativen Seiten des Eisenbahnreisens (wie der Ermüdung durch die Reizzunahme der sich unablässig folgenden Eindrücke) Zeugnisse von Reisenden gegenübergestellt, die der neuen Technik bejahende und bereichernde Empfindungen abzugewinnen vermochten:

> Die Geschwindigkeit und Geradlinigkeit, mit der der Zug die Landschaft durchquert, vernichtet diese nicht, sondern bringt sie erst richtig zur Entfaltung.[6]

Die Kunst der Kartografie bringt Landschaft und Ingenieurwesen zusammen. Conzett ist seit langem von Eduard Imhofs kartografischen Erfindungen fasziniert. Imhof lehrte 45 Jahre lang an der ETH und wurde in erster Linie durch seine schattierten Reliefkarten der Schweiz bekannt[7]. Er steuerte mehr als jeder andere zum Verständnis und zur Modellierung der alpinen Topographie bei. Grundlegend für seine Arbeit waren seine geographischen Kenntnisse wie seine künstlerischen Fertigkeiten, die Grenzen unseres Wahrnehmungsvermögens werden bei ihm nicht nur mitbedacht, sondern sie sind der wesentliche Teil der Kartenverfertigung. Anstatt akribisch jede Kleinigkeit des Gebiets wiederzugeben, konzentriert sich Imhof auf die aussagekräftigen Merkmale, die für den Betrachter erfassbar sind. Aus diesem Grund umfasst seine Arbeit sowohl den wissenschaftlich-rechnerischen Bereich von Kartografie und Landesvermessung als auch die künstlerische Art ihrer Darstellung. Für Imhof ist die Entscheidung, was in einer Darstellung *unberücksichtigt* bleibt, genauso wichtig, wie zu entscheiden, was übertragen wird.

> Was man nicht sieht, kann durch keine Erfahrung oder Überlegung sichtbar gemacht werden. Es geht hier vielmehr nur darum, sich der *Möglichkeiten* von Täuschungen bewusst zu werden.[8]

Imhof weist darauf hin, dass, um dem Betrachter den richtigen Eindruck zu vermitteln, das Licht auf einer Karte so erscheinen müsse, als würde es von Norden einfallen, selbst wenn das in Wirklichkeit nie der Fall sein kann. In Conzetts Augen steht dieses Verfahren in starkem Kontrast zur „konstruktiven Ehrlichkeit", die derzeit im Bauwesen erwartet wird. Der vielleicht bedeutendste Einfluss von Imhofs Arbeiten auf Conzett ist jedoch die gezielte Aufmerksamkeit gegenüber Einzelheiten: was sie sind und wie sie erscheinen, das Wechselspiel zwischen Fragment und Ganzem. Dies wird von Conzett auf seiner Ebene so umgesetzt, dass die Aufnahme aller Details und Eigenschaften eines Ortes als notwendige Voraussetzung für den Arbeitsprozess dient.

Conzetts Auseinandersetzung mit der kartografischen Fantasie von Eduard Imhof zeigt, dass seine Arbeit als Ingenieur nicht auf die rein technische Umsetzung einer funktionellen Forderung reduziert werden kann. Stattdessen befassen sich seine Projekte mit mehreren Interessens- und Einflussebenen. Wie legt man die Lage einer Brücke fest? Wie werden die Fussgänger das Gelände erfahren? Wie wird sich diese Wahrnehmung in eine umfassendere Erfahrung der Landschaft fügen? Welche Technologien und Techniken sollen in der Ausführung des Projekts zur Anwendung kommen? Diese und viele andere Fragen bilden die Grundlage für ein jenes Segment der Ingenieurarbeit, dessen Endprodukt einfach Brücke genannt wird.

Der zweite Traversiner Steg ist ein Modellfall des artifiziellen Zusammenspiels all dieser Elemente. Entgegen dem anfänglichen Plan, die Brücke am gleichen Ort wiederaufzubauen, an dem das durch einen Felssturz zerstörte Original stand, wurde schnell klar, dass eine sicherere Alternative gefunden werden musste. Nach gründlichen Geländeaufnahmen wurde die endgültige Stelle mit einer horizontalen Spannweite von 57 m ausgewählt. Ausserdem schien dieser Standort auch deshalb geeignet, weil hier die Moränenrippen auf beiden Seiten des Tals als natürliche Pylone für die neue Hängebrücke dienen konnten. Ein Schlüsselelement des Entwurfs ist der dramatische Höhenunterschied von 22 m zwischen den beiden Widerlagern, der über eine in den Brückenverlauf eingefügte Treppe überwunden wird. Die

Brückenkonstruktion muss gleichzeitig den physischen und psychischen Bedürfnissen der Touristen, die sie benutzen, gerecht werden.
Der zweite Traversiner Steg ist in mancherlei Hinsicht das Beispiel, das die konzeptuelle Vereinigung von Lehrgerüst und Brücke oder vielmehr von Lehrgerüst als Brücke, am besten veranschaulicht. Dies wird erreicht durch das Abwägen von „Möglichkeiten und Bedingungen der Konstruktion". Während der Montage der Elemente wurden von den zehn längslaufenden Balken zunächst nur sechs angebracht. Diese dienten daraufhin als „Lehrgerüst" für den späteren Einbau der restlichen Brückenteile und der vier übrigen Längsbalken.
Vorsichtiges Abwägen und Einbeziehen der örtlichen Konditionen und Materialien, etwa von lokalem Bauholz, sowie die raffinierte Schlichtheit der Konstruktion machen diese Brücke zu einer der ausgereiftesten Arbeiten Conzetts. Zugleich würdigt diese Arbeit die baustatischen Probleme, die Ingenieure des 19. und 20. Jahrhunderts beschäftigten, darunter die Beziehung von Kräfteplan und Lageplan, die Carl Culmann; Maxwell und Cremona in ihren Untersuchungen grafischer Statik erforscht haben.

Es gibt genügend Bespiele die zeigen, dass auch heute noch an Le Corbusiers Grundsatz einer disziplinären Trennung von Architekt und Ingenieur, insbesondere an der dienenden Rolle des letzteren festgehalten wird. Dennoch haben sich in dieser Hinsicht zwei wichtige Veränderungen vollzogen. Die erste bezieht sich auf die zunehmende Wahrnehmung und Anerkennung vieler Ingenieurwerke, die anscheinend ohne Beachtung ästhetischer Kriterien gebaut wurden und die dennoch eine starke gestalterische Ausstrahlung aufweisen. Unter diese Kategorie fallen zahlreiche Beispiele von Industrieanlagen und ähnliche Projekte, die in der Lage sind, unsere Konventionen von Baukonstruktion in Frage zu stellen. Sie bilden einen reichhaltigen Erfahrungsschatz, der bislang weitgehend unentdeckt blieb, mit Ausnahme der Fotografien von Künstlern wie Bernd und Hilla Becher, einiger früher Forschungen der Archigram Gruppe oder neueren Projekten der britischen High Tech Architekten. Die zweite, in diesem Kontext wichtigere, Veränderung betrifft die Art und Weise, wie die intensive Zusammenarbeit zwischen den beiden Disziplinen die Produktion beider gewandelt hat[9]. Eine wachsende Anzahl von zeitgenössischen Architekten und Ingenieuren beginnen schon bei der Konzeption von Gebäuden miteinander zu arbeiten und schaffen dabei Entwürfe, die ohne gleichgewichtigen Anteil beider Parteien unvorstellbar wären. Conzetts Zusammenarbeit mit Architekten fällt in diese Kategorie.
Eines der eher frühen Projekte, das die Möglichkeiten eines Zusammengehens von Architektur und Ingenieurbau veranschaulicht, ist das gemeinsam mit den Architekten Jüngling und Hagmann konstruierte Ottoplatz-Gebäude in Chur (1995–98). Eine Scheiben-Platten-Konstruktion fordert die enge Zusammenarbeit zwischen Architekt und Ingenieur – im Gegensatz zu einer Skelettkonstruktion, bei der die Verantwortungsbereiche klar getrennt sind. Der Ottoplatz verfügt über manche der Vorteile einer Skelettkonstruktion, während wesentliche Nachteile vermieden werden, insbesondere die unzureichende Anpassungsfähigkeit des Stützenrasters (in diesem Fall eines der Hauptprobleme, da der Bauherr sich offen halten wollte, wie das Gebäude später genutzt werden sollte). Das Gebäude ist vertikal in drei Sektoren geteilt: durchgehende Parkgeschosse im Kellerbereich, stützenfreie Ausstellungsräume, Büros und Ladenlokale im Erdgeschoss, und darüber drei Stockwerke mit Büroräumen. Weil die oberen Stockwerke wie eine Brücke über den unteren Stockwerken schweben, spielt die Gesamtkonstruktion des Gebäudes unmittelbar in die Gestaltung seiner Raumeigenschaften hinein – Struktur als Raum und Raum als Struktur. Anstelle einer Skelettkonstruktion mit Verkleidung werden tragende vorgefertigte Betonplatten an der Fassade des Gebäudes zum unverzichtbaren Teil der konstruktiven Lösung. Die Bedingungen bestimmter Konstruktionstechniken haben in diesem Fall zu subtilen Variationen im Erscheinungsbild des Gebäudes geführt, wie etwa zu den Überlappungen der Betonplatten in den oberen Stockwerken, durch die jene Vorspannkabel führen, die die gesamte Fassade zusammenhalten. Ausgangspunkt zur spezifischen Anordnung der Tragwände ist aber immer die Analyse der räumlichen Ansprüche des Programms und besonders der Bedürfnisse nach einer mehr oder weniger flexiblen Unterteilung der Bürogeschosse.
Nicht im gleichen Sinne, aber ebenso relevant, was die Vorzüge der Zusammenarbeit zwischen Architekt und Ingenieur betrifft, ist das Beispiel der Ziegenalp in Parvalsauns (1992–93), das zusammen mit Gion Caminada ausgeführt wurde. Der in dem kleinen Dorf Vrin ansässige Caminada zeichnet verantwortlich für viele der neuen Gebäude im Dorf, von der Telefonzelle bis zum Schulgebäude und zur Leichenhalle. Es fällt schwer, sich einen Ort ausserhalb der Schweiz vorzustellen, in dem sich ein so bedeutender wie talentierter Architekt derart ortsgebunden engagieren würde. Caminadas Arbeiten erinnern an frühe Traditionen bescheidener Dorfbauten und zollen ihnen Respekt. Allerdings ist er kein Architekt, der lediglich den volkstümlichen Konstruktionsverfahren folgt. Seine Bauten sind, obwohl sie den Charme lokaler Bauweisen besitzen, hoch entwickelte Artefakte, und sie sind meist in Zusammenarbeit mit Conzett entworfen. Anders als beim Ottoplatz, wo die unsichtbare Präzision der statischen Kräfte die Logik des Erscheinungsbildes des Gebäudes mitgestaltet, bilden hier die uneinheitlichen Dimensionen roh bearbeiteter Holzbalken und der Gebrauch archaischer Baumethoden die konzeptuelle Stärke des Projekts.
In diesen wie in vielen anderen Beispielen von Jürg Conzetts Arbeiten ist es der dialogische Charakter des Raums zwischen dem Konstruktiven und dem Architektonischen, der die charakteristischen Merkmale des Entwurfs festlegt. In dieser Hinsicht befindet sich Conzett unter einer kleinen Gruppe zeitgenössischer Ingenieure, die es geschafft haben, im kritischen Bereich zwischen den zwei Rollen der Technik, nämlich der unterwürfig dienenden und der ausschliessend herrschenden, zu handeln. Sie haben keine Angst, die Prinzipien technischen Denkens mit anderen Belangen und Kriterien zu verbinden, wodurch sie sich von der potentiellen Tyrannei eines puren und unverfälschten Rationalismus befreien. Der pragmatische Optimismus der Arbeit von Jürg Conzett öffnet einen neuen Horizont sowohl für Innovationen in der Architektur wie im Ingenieurwesen, denn er beruht eher auf der Grundlage einer Logik von Entscheidungen und Möglichkeiten als auf Forderungen und Zwängen. Die Projekte von Conzett und seinen Partnern arbeiten bewusst mit den unterschiedlichen, aber parallelen Domänen des konstruktiven und des Formalen. Die Werke – die Resultate eines Prozesses der Trennung und Vereinigung dieser beiden Gebiete – entstehen aus der schöpferischen Vermittlung von rechnerischer Präzision und räumlicher Erfindung.

1 Siehe auch „'Weak Thought' and the Reduction of Violence: A Dialogue with Gianno Vattimo" in: *Common Knowledge* 8.3 (2002), S. 452–63
2 Billington, David P.: *The Art of the Structural Design: A Swiss Legacy*, Princeton 2003, S. 23
3 Zimmer, Oliver: „In Search of Natural Identity: Alpine Landscape and the Reconstruction of the Swiss Nation", in: *Comparative Studies in Society and History*, 40, 1998, S. 637–65
4 Bluntschli, Johann-Caspar: *Die schweizerische Nationalität*, Zurich [1875] 1915, S. 11, zitiert in Zimmer, S. 651
5 Erwin Straus, zitiert in Schivelbusch, Wolfgang: *Die Geschichte der Eisenbahnreise, zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert*, Frankfurt [1977] 2004, S. 52
6 Schivelbusch, a.a.O., S. 58
7 1927 wurde Eduard Imhof gebeten, den *Schweizer Mittelschulatlas* neu zu bearbeiten. Neben zahlreichen kartografischen Studien verschiedener Regionen beauftragte man ihn 1961 damit, den *Atlas der Schweiz* anzufertigen. Der Atlas sollte die Vielfältigkeit der schweizerischen Natur, Besiedlung, Kultur und Wirtschaft in Form von Karten wiedergeben. Die erste Ausgabe, die die Arbeit vieler Schweizer Wissenschaftler beinhaltet, wurde 1978 vom Bundesamt für Landestopografie herausgegeben.
8 Imhof, Eduard: *Gelände und Karte*, Erlenbach-Zürich 1950
9 Hier denke ich, z.B., an Zusammenarbeiten zwischen dem Ingenieur Cecil Balmond (von Arup) und Architekten wie Rem Koolhaas, Alvaro Siza und Daniel Libeskind, oder zwischen Hanif Kara aus der Ingenieurfirma Adams Kara Taylor und der Architektin Zaha Hadid.

Es gibt historische Ereignisse, Taten, Fälle, die scheinen eine ganze Epoche zusammenzufassen und zu verdichten. Sie beleuchten und klären (oder erläutern zumindest), was eine gemeinsame Übereinkunft erkenntnismässig, philosophisch oder ethisch als „Grosse Frage" betrachtet.
Ein gutes Beispiel, reich an Antworten und Fragen für das, was in der Architektur als gültig oder falsch betrachtet werden kann, sei es als künstlerische Leistung, als Umgang mit technischem Wissen oder als Spiel mit verschiedenen Formen ästhetischer Wahrnehmung, ist nach wie vor die berühmte Turbinenhalle der AEG in Berlin; erbaut 1909 von Peter Behrens auf dem Höhepunkt seines kreativen Schaffens. In verschiedensten Beziehungen ist die Turbinenhalle höchst interessant: zunächst einmal wegen der Qualität, die ihr von Anfang an fast unbestritten zuerkannt wurde, dann für den Gehalt der zustimmenden wie kritischen Debatten, die sie über Jahre weg auslöste und schliesslich für die weiteren Bauwerke, die unter ihrem Einfluss entstanden und die sie mit den Mitteln der Architektur kommentierten und kritisierten.
Weil dieser „Fall" in seinen Grundzügen allgemein bekannt ist, beschränke ich mich darauf, diejenigen Aspekte zu behandeln, die mich hier vor allen anderen interessieren. Es sind dies die Schwierigkeiten, mit denen sich Ingenieure und Architekten, Architekturhistoriker und Dilettanten herumschlagen, wenn sie die besonderen Erwartungen an die wissenschaftlichen, intellektuellen und künstlerischen Beiträge des sogenannten „Zivilingenieurs" zu fassen und zu benennen versuchen, und wenn sie nach dem Selbstverständnis jenes obligatorischen Komplizen oder Spielverderbers suchen, der jeden Bauprozess vom Projekt bis zur Baustelle begleitet.
Wie man weiss, versah Peter Behrens die Stirnseite der Turbinenhalle mit zwei mächtigen Eckpylonen, die aus grossformatigen abgerundeten Massivquadern aufgeschichtet zu sein scheinen. Sie sind merklich nach innen geneigt, in der Art der archaischsten Architekturen, die damals die tektonischen Fantasien von Gelehrten und Laien beherrschten. Wie die Eingeweihten wissen, tragen diese betonierten Pylonen nichts; die statische Funktion ist vorgetäuscht, genauso wie die scheinbare Masse des hervortretenden grossen polygonalen Giebels, der ohnehin nicht die Pylone mit seinem tatsächlich geringen Gewicht belastet, sondern auf den Fensterrahmen der riesigen vertikalen Verglasung ruht, die im Zentrum der Fassade vom Giebel bis fast zum Boden reicht. Wäre also diese kaiserliche, moderne *Kathedrale der Arbeit* – wie sie Karl Scheffler bezeichnet hat, ein Autor, dem die politischen und propagandistischen Bestrebungen des *wilhelminischen Industrieapparats* nicht entgingen – somit nichts als eine widersprüchliche tektonische Inszenierung?
Für den „common sense" jener Zeit prägt tatsächlich *Widersprüchlichkeit* die Wahrnehmung und das Verständnis von Architektur. Vereinfacht gesagt, überlagert sich für Behrens und viele seiner Zeitgenossen ein *gefühlsbetonter Ansatz* – unmittelbar, unreflektiert, emotiv und sinnlich – mit einem zweiten – intellektuell und kulturell reflektiert – den ich *semiotisch* nennen möchte. Diesen zwei Ebenen der „tektonischen" Wahrnehmung entspricht in unserem Fall die Unterscheidung zwischen *rechnerischer* Stabilität und *dargestellter* Stabilität, die von Behrens bis zu Gropius so oft betont wurde. Demnach sollen die Eckpylone mit ihren scheinbar grossen Blöcken zunächst die Wirkung von Stabilität hervorrufen, eine massive Körperlichkeit suggerieren, denn in seiner grundlegenden Schrift „Kunst und Technik" betont Behrens im Hinblick auf die Turbinenhalle:

> Architektur ist Körpergestaltung, und ihre Aufgabe ist nicht, zu enthüllen, sondern ihr ursprüngliches Wesen ist, Raum einzuschliessen. Wenn nun gesagt wird, die Schönheit der puren Eisenkonstruktion liegt in der Linie, so wiederhole ich, die Linie ist wesenslos, die Architektur liegt in der Körperlichkeit.

In diesem Sinn kritisiert Behrens – wie auch Gropius – den Eiffelturm als „Vogelkäfig" (dieser Ausdruck stammt vom Dichter Joris-Karl Huysmans), der aus formalen Gründen Fleisch ansetzen musste, wo sich der reine Kalkül doch am liebsten mit noch weniger Materie begnügt hätte.
Naiv-positivistisch wird Gropius später den handgreiflichen Beweis antreten, dass die gerechnete Stabilität den Kanon der dargestellten Solidität nicht immer erfüllen kann und er wird zu diesem Zweck das Bild einer grossen Rautenfachwerk-Eisenbahnbrücke mit Feder und schwarzem Farbstift zu einem Vollwandträger umwandeln

> Wieviel stärker wäre die architektonische Wirkung [argumentiert Gropius], wenn der Erbauer eine einfache Verkleidung der Gitterträger vorgenommen hätte. Statt des Netzwerks von zahllosen Drahtstäben, durch die das Auge hindurchsieht, wäre, ästhetisch genommen, der Eindruck eines einfachen körperlichen Balkens entstanden, und ebenso würde dem Auge eines Passanten räumlicher Halt gewährt werden.

Es stört also wenig, wenn in diesem oder jenem Fall Ausdrucksmittel im Hinblick auf eine bestimmte Empfindung – und auch eine bestimmte Ästhetik, präzisiert Gropius – täuschend oder zumindest effektvoll eingesetzt werden und damit dem Resultat der reinen Berechnung widersprechen. Ganz im Gegenteil! An diesem Punkt nimmt Behrens Bezug auf einen der wichtigsten damaligen Grundsätze, die das Thema unserer Untersuchung betreffen, wenn er, warnend vor den Dogmen der „materialistischen Metaphysik" Sempers sagt, dass man nicht die *Arbeitsresultate des Ingenieurs* bereits für die *Einheiten eines Kunststiles* nehmen könne. Behrens hält dies für derart wichtig, dass er nicht zögert, sich der Autorität des „Wiener Forschers Riegl" zu versichern, indem er sich einen dessen Texte zu eigen macht, wo dieser listig die Semper'sche Theorie entstellt:

> In Gegensatz zu der Semperischen mechanischen Auffassung vom Wesen des Kunstwerks muss eine teleologische treten, indem im Kunstwerk das Resultat eines bestimmten *zweckbewussten Kunstwollens* erblickt wird, das sich im Kampf mit Gebrauchszweck, Rohstoff und Technik durchsetzt.

Das heisst, das Kunstwerk, auch in der Architektur, entwikkelt sich nicht mit den Dingen, sondern entgegen der guten Gründe des Programms, des Materials, der Mittel und Abläufe. Das (architektonische) Kunstwerk, entstünde also aus einer Widerhandlung und Übertretung von Normen und Regeln, aus der Überwindung von erklärten oder stillschweigend verfolgten Praktiken einer Normallösung, eines „degré zéro" (Roland Barthes). Doch was bedeutet die Bezeichnung *zweckbewusstes* Kunstwollen? Besteht demnach auch ein Ziel, diesen Kampf des formalen Willens gegen einen Kompromiss mit Materialien, Berechnungen, Konstruktion und Programm, diesen *Gegensatz selbst* in dramatischer Zuspitzung deutlich zu machen?
Selbstverständlich ist sich Behrens *auch* der Dimension der rechnerischen Stabilität bewusst und teilt uns für die Turbinenhalle, etwa bei den Eckpylonen, eine Botschaft mit, die genau dem entspricht, was wir gewöhnlich als ein System von Zeichen, eine *Semiotik* bezeichnen. Behrens erklärt, die Pylone aus Beton „sind horizontal durch Eisenbänder unterteilt, um dadurch als Füllungen zu erscheinen", und, von Kritikern angegriffen, deklariert er 1917 abschlies-

send das, was wir eine semiotische Dekodierung nennen könnten, derart deutlich ist der Bezug zu einem von vornherein festgelegten Formsystem. Behrens:

> Die beiden Eckpfeiler haben nur verbindende und schliessende Funktion. Gerade darum sind sie aus einem anderen Material, nämlich Beton, und stehen durch ihre horizontal gegliederte Struktur im Gegensatz zum Vertikalismus der Konstruktion, und, da sie nicht Stabilität vermitteln, ist ihnen auch die schräge Lage, die die Fenster zeigen, gegeben.

Die Neigung der Eckpylone, die auf ihrer einen Seite die schiefe Ebene der Fenster der Längsseite verlängern, verstärkt einerseits wirkungsvoll den Eindruck der Körperlichkeit, darüber hinaus wirkt diese Neigung in semiotischer Hinsicht als Zeichen für ein nichttragendes Element. Der *Eindruck des Tragens*, die Repräsentation der statischen Funktion, sollte „ganz der Eisenkonstruktion überlassen" bleiben. Und Behrens präzisiert:

> Zugunsten dieses Prinzips sind auch die Fenster an der Berlichingenstrasse [der Längsseite] den Innenwandungen der schweren, vertikalen Eisenstützen parallel schräg geneigt, sodass über den Fenstern die Horizontalverbindung in der Längsrichtung darauf einen tiefen Schatten wirft. Diese als eisernes Gesims wirkende Verbindung vermittelt zusammen mit dem Giebel der Front den Eindruck der Körperlichkeit des auf den Stützen und dem Rahmen der Vorderfront ruhenden Daches.

Die charakteristischen Zeichen der nichttragenden Elemente, der Materialien Glas und Beton also, sind daher die Neigung und die horizontale Unterteilung, während die Vertikalität den tragenden Elementen in Stahl zukommt. Doch was ist mit dem grossen Fenster, bündig mit dem polygonalen Giebel der Fassade zur Huttenstrasse? Die Behrens'sche Semiotik überlässt nichts dem Zufall; der Autor, spitzfindiger als ein Jesuit, nimmt eine mögliche Kritik vorweg, indem er erklärt, eben genau:

> an der Vorderfront findet das statische Moment ästhetischen Ausdruck durch das grosse Fenster, das aus diesem Grunde aus einem Rahmenwerk mit überall gleich breiten Eisenteilen besteht. Es ist, um in seiner Gesamtheit Ausdruck des tragenden Teiles zu sein, bündig mit der Fläche des Giebels gelegt, und auch die Scheiben liegen, um den Eindruck zu erhöhen, mit dem Eisen in einer bündigen Ebene.

Daher: weil der Fensterrahmen aus Metall und vertikal ist, und „vertikal" gleich tragendes Teil bedeutet, liest sich dieses grossmassstäbliche Fenster stimmig als tragendes Teil.

Diese Botschaft steht in (gewolltem) Gegensatz zur Gewohnheit, schräge Flächen an Mauern oder Viaduktpfeilern als Zeichen besonderer Stärke wahrzunehmen. Es gelang deshalb nicht allen, diese Botschaft in ihrem zweideutigen Zusammenhang richtig zu entschlüsseln, und den flagranten Beweis hierfür liefert just der Ingenieur der Turbinenhalle, Karl Bernhard, angesehener Experte auf dem Gebiet der Metallbaukonstruktion. An sich mit der Behrens'schen Architektursprache bestens vertraut, schreibt er in einem Artikel, wo er diese in groben Zügen zusammengefasst hat:

> trotz dieser Anordnung muss zugestanden werden, dass bei aller Grosszügigkeit der architektonischen Wirkung des Giebels im Ganzen der beabsichtigte Eindruck, die Eckausbildung nur als Verkleidung hervortreten zu lassen, nicht geglückt ist. Jedermann sieht den Giebel, der aus dünner Eisenbetonhaut vor der Eisenkonstruktion ausgebildet ist, als einen wuchtigen Betonbau an: zwei Eckpfeiler mit hohem Giebelfelde.

Und hier der Beweis:

> Diese von Prof. Behrens nicht beabsichtigte Wirkung geht soweit, dass Oberbaurat Erhard in Wien in einer Veröffentlichung *Die neuzeitige Tektonik* die Turbinenhalle der AEG als „Eisenbetonbau" bezeichnet und damit den hierdurch gekennzeichneten „Materialstil" belegen will.

Zweifellos bleibt die Bedeutung der synergetischen Kombination der beiden Register des architektonischen Ausdrucks nach wie vor zu ermessen und rechtfertigt das vorläufig abschliessende Urteil über die Turbinenhalle, wie es Karin Wilhelm formuliert, die zusammen mit Tilman Buddensieg, Julius Posener und anderen Historikern eine umfassende Bilanz der Meinungen und Kontroversen über und um dieses Hauptwerk der Architektur des 20. Jahrhunderts verfasst hat: „Es ging Behrens also eindeutig um die ästhetische Wirkung, wobei er über die wirklichen konstruktiven Verhältnisse keineswegs hinwegtäuschen wollte", resümiert Wilhelm und stellt fest: „An diesem Widerspruch, den der Bau trotz aller Bemühungen nicht leugnen kann, liegt – wie ich meine – ein Grund seiner besonderen Faszination". Gemäss Wilhelm bestünde die ästhetische Absicht Behrens' im Wesentlichen darin, einen Effekt von Massivität hervorzurufen, den wir in erster Näherung mit der „dargestellten Stabilität" identifizieren können; während die aufwendige Signalisierung der „wirklichen konstruktiven Beziehungen" auch auf eine ethische Forderung anspielt, gleichsam als Ankündigung des später von den Modernen formulierten übermächtigen Anspruchs auf *konstruktive Wahrheit*.

Wenn wir darin übereinstimmen, dass die Faszination der Turbinenhalle in der offensichtlichen, und, ich würde sagen, „sprengkräftigen" ausdrucksstarken Zweideutigkeit liegt, bestätigt diese Interpretation noch einmal die übliche Auffassung eines *Kunstwollens in ewigem Gegensatz* zum Verstandesmässigen, zur Macht der Technik und des Programms, zum methodischen Vorgehen, zur erzieherischen Wirkung, zur spürbaren „Diskursivität" des Werks. Nun, für viele Architekten an der Schwelle zur Moderne gerät dieser Glaube an den Vorrang des sinnlichen Ergriffenseins (der „sinnfälligen Wirkung"), an ein nicht-erklärbares Wirken des Gegenstands allmählich ins Wanken, auch wenn sie sich dazu überwinden, ihm weiterhin in Worten die Treue zu halten. Es ist die Ahnung eines drohenden Paradigmenwechsels, die die feinen Vorbehalte, Zögerlichkeiten und laufenden Kompromisse in Peter Behrens' anspruchsvollem Aufsatz „Kunst und Technik" erklärt. Weshalb sonst soll Behrens einem Argument soviel Platz einräumen, das er bei einer grossen Zahl seiner Leser als längst bekannt voraussetzen könnte, nämlich dass die objektiven Bedingungen statisch-konstruktiver Art, vom Ingenieur berechnet, nicht automatisch und von selbst einen ästhetischen Effekt produzierten? Behrens durch seine Mäander zu folgen, seine Aporien und das Nicht-Gesagte seiner Thesen zu erkennen, öffnet dem hermeneutischen Maulwurf einige Kanäle:

> Der Erfolg der Statik ist zweifellos, das Minimum an Material für eine Konstruktion ermitteln zu können, und die Schönheit des Eisenmaterials liegt zum Teil in der Festigkeit ohne Massenwirkung. Es hat gewissermassen eine entmaterialisierende Eigenschaft.

Folglich anerkennt Behrens, dass die architektonische Entmaterialisierung, durch das Eisen möglich gemacht, und die Fortschritte in der statischen Berechnung auch ein Gefühl von Schönheit erzeugen können. Aber von welcher Art Schönheit spricht Behrens? Schönheit eines intellektuellen Konstrukts? Oder Schönheit des Effekts der Entmaterialisierung, eines Effekts für das Auge also? (Das Auge gilt an der Schwelle des 20. Jahrhunderts als „Fenster unseres Geistes".) Wie auch immer, für Behrens darf sich eine derartige Entmaterialisierung also durchaus zeigen, aber nur solange sie nicht das Wesentliche der Architektur, die Körpergestaltung und damit die Begrenzung des Raums stört: denn nicht einmal das moderne Bedürfnis nach Luft und Licht rechtfertigt eine Architektur, die den Eindruck „eines dünnen drahtartigen Stabgerüsts oder fadenscheinigen Rahmenwerks" macht. Nun, für Behrens können Glas und Metall „naturgemäss" keinen Effekt des Voluminösen erzeugen, weil dies das Vorrecht des Mauerwerks (der geschichteten Steine) bleibt. Es braucht deshalb eine Korrektur, und Behrens hält ohne mit der Wimper zu zucken fest, dass das, was die rechnerische Stabilität der darzustellenden Stabilität nicht liefern könne, durch eine weise Regie hauchdünner oder virtueller Materialien durchaus zu schaffen sei, wenn man Licht, Schatten und formale Komposition richtig

einsetze. Behrens:

> Aber durch eine wohlüberlegte Verteilung von Licht- und Schattenflächen in der Fassade, indem grosse Glasflächen mit eisernen Stützen zu einer Ebene zusammengezogen werden und andererseits Horizontalverbindungen kräftig hervortreten, kann dem Gebäude zur Körperlichkeit verholfen werden und dadurch auch ästhetisch das Gefühl von Stabilität zum Ausdruck gebracht werden, das ohne diesen Ausdruck trotz der rechnerisch beweisbaren Festigkeit im Eisen dem an Sinnfälligkeit gebundenen Auge verborgen bleibt.

Und er fährt fort:

> Die Konstruktionen des Ingenieurs sind das Ergebnis mathematisch gerichteten Denkens. Niemand wird rechnerisch ihre Festigkeit anzweifeln, aber es ist ein Anderes, ob für das Auge ein dynamischer Ausdruck sichtbar wird, und somit eine ästhetische Forderung erfüllt wird, wie sie zum Beispiel restlos beim dorischen Tempel erfüllt ist.

Wenn die Schönheit der Rechnung das Auge nicht befriedigt – gemeint ist ein Auge, das an die Stabilität, oder genauer, an das Bild der Stabilität steinerner Architekturen gewohnt ist, dann wird diese rechnerische Schönheit nicht beachtet, bekräftigt Behrens – oder gibt es zu. Aber dann entwaffnet Behrens sich selbst, indem er einmal mehr auf das Argument zu sprechen kommt, dass die neuen Konstruktionen, die modernen, bereits schon unsere Aufnahmefähigkeit beeinflussten, indem sie „Stabilität" mit ganz anderen Formen und ganz anderen Wirkungen identifizierten als die bekannten und abgehandelten. „Wir haben uns freilich schon an manche moderne Konstruktionsform gewöhnt", hört man Peter Behrens sagen; und an diesem Punkt muss er erkannt oder zumindest gefühlt haben, dass er einer Ästhetik den Weg öffnete, die den im wesentlichen kulturell und historisch bedingten Charakter der Wahrnehmungen bestätigt; sogar jener, die man bis dahin für äusserst spontan, äusserst intuitiv und naturbedingt gehalten hat. Umso mehr muss er sich im Klaren sein, dass die von ihm selbst gelieferten „Lesehilfen" zur Turbinenhalle eine erstmalige und eigene Schöpfung darstellen, nämlich eine Semiotik des Architekturbilds, die es in der vorangegangenen Architektur kaum gegeben hat – eine Semiotik der architektonischen Darstellung, die im Jahr 1909 gewiss stärker von der zeitgenössischen Malerei und Grafik geprägt ist, als von der architektonischen Tradition. Eine Semiotik, die im übrigen dahin tendiert, eine Poetik zu werden, weil sie als Code oft einem Einzelwerk verhaftet bleibt – und genau das ist später mit manchen Kunstwerken der sogenannten modernen Avantgarde geschehen.

Behrens spricht von den Wirkungen auf das Auge, als wäre es ein unerschütterlicher Seismograph, doch welch gebildetes und gewitztes Auge braucht es 1909, dass es „ganz selbstverständlich" im Spiel von Licht und Schatten auf einem dichten Gewebe von durchsichtigem Glas, geneigt und mit Vollwandträgern gefasst, eine Darstellung von Stabilität erkennt?

Ein weiteres Mal dient die Besonderheit des Beitrags, der „Leistung" des Ingenieurs im Rahmen des architektonischen Werks dazu, die Unterscheidung zwischen dem, was einer ästhetischen Erfahrung zugänglich ist, es sein kann und muss, und dem, was – nur? – eine technische Fähigkeit und ein wissenschaftlich begründetes Wissen bezeugt, zu bestätigen. Fähigkeit und Wissen sind zwar untrennbar mit dem Werk verkuppelt, doch getrennt von der Aura, der Unberechenbarkeit und der Augenfälligkeit, ohne die es kein ästhetisches Erlebnis geben könne. Hier liegt der Grund, weshalb Behrens, trotz seiner Konzessionen an die Wandelbarkeit des Geschmacks, sich nicht davon überzeugen lässt:

> dass die auf mathematischem Wege berechnete Stabilität für das Auge sinnfällige Wirkung bekommen wird ... Das hiesse soviel als eine Kunst auf intellektueller Basis, was einen Widerspruch in sich bedeutete.

Wie vielleicht nie zuvor, entdecken Behrens und die junge Gruppe von Künstlern, Architekten, Ingenieuren und Kritikern, die die Turbinenhalle bewundern, kommentieren, kritisieren oder verwerten (z.B. Walter Gropius im Faguswerk, oder Mies van der Rohe in der niedrigen Fassade der Turbinenhalle zum Hof), dass die Rezeption eines Architekturwerks die Empfindsamkeit und die Kompetenzen verschiedenster, und, so scheint es, widersprüchlichster Art ansprechen kann. So sehr Behrens das Auge als Zeuge nimmt und die „Wirkung" verteidigt, öffnet er doch mit seinen Lesehilfen ein Fenster zu einer vielfältigeren Welt voller hoch vergeistigter und rationalisierter Beziehungen kultureller und technischer, kompositorischer und poetischer Art, ohne die der Bau als Kunstwerk gewissermassen gar nicht existieren könnte, so dass man sich wirklich fragen darf, ob hier überhaupt ein „Widerspruch" vorliege.

Der Fall der Turbinenhalle hat die Geister von Architekten, Ingenieuren, Kritikern und Historikern in jenen Jahren bewegt, die wir rückblickend gewöhnlich der „Inkubationszeit" der Modernen Bewegung zuschreiben, und die wir, nicht ohne begründete Zweifel, bis in die Anfänge der zwanziger Jahre dauern lassen. Die Fragen, die sie aufgeworfen hat, was das Verständnis des spezifisch Künstlerischen der Architektur, der Arbeit, des Wissens betrifft, auch bezüglich der verschiedenen Formen des Wahrnehmungsvermögens, die in die ästhetische Rezeption eines Werkes verwickelt sind – oder auch, inwieweit der Rezipient an der ästhetischen Nachschöpfung (oder einfach am Verständnis) des Werks mitwirkt – diese Fragen, im Lauf der Zeit bis zur Unkenntlichkeit wiederholt und neuformuliert, sind von grundlegender Art geblieben, als ob von ihrem „Recycling", als ob durch die ihr zugestandene Mehrdeutigkeit das Funktionieren der Architektur als *Kunst* abhinge, zumindest so wie wir sie heute – wie lange noch? – verstehen.

Bezogen auf diese Probleme, auf diese immer wiederkehrenden Mehrdeutigkeiten, hat der Ingenieur (als wirkliche Person, aber mehr noch als Idol oder als Projektion) jedesmal das erhoffte oder erfürchtete Schicksal der architektonischen Disziplin verkörpert, entweder als ethisches Korsett, das die Wirklichkeit der künstlerischen Freiheit des Architekten überstülpt oder aber als Träger einer fachbezogenen Bestimmtheit, die die Architektur als *mechanische* Kunst von den anderen rein kontemplativen Künsten positiv absetzt.

So hätte für die „radikalen" Funktionalisten des „ABC", wie Hannes Meyer, Mart Stam oder auch Karel Teige, der Architekt wie ein Ingenieur eine Art „Wissenschafter" werden sollen, um die Architektur endgültig aus den Sümpfen der Kunst zu heben. Im Gegensatz dazu griff Le Corbusier in seiner eloquenten und ironischen „Défense de l'architecture" diejenigen an, die er als „les avant-gardes de la 'Neue Sachlichkeit'" bezeichnete, weil sie die Schönheit auf ein Epiphänomen, auf eine Begleiterscheinung des Nützlichen reduzieren wollten. Er bedient sich in *Précisions* des Gegensatzes Ingenieur – Konstrukteur, um seine weit gehenden Überlegungen zur ästhetischen Vision an der Schwelle zu den dreissiger Jahren auszulegen und zuzuspitzen. Ich werde später darauf zurückkommen, wie hier der Ingenieur als „blinder" Agent des wissenschaftlich-technischen Fortschritts erscheint.

> „Ingénieur": das bedeutet Analyse und Berechnung; „Constructeur": das bedeutet Synthese und schöpferische Tat. Habt acht auf dies: der Ingenieur, so bewundernswert er, über seinen Rechenschieber gebeugt, in der Erfüllung seiner peinlich genauen Aufgaben auch ist, arbeitet doch meistens selbst gegen die Kinder, die er hervorbringt. Er sieht in ihnen nur einen gut funktionierenden Mechanismus und keinen geistigen Organismus. Er erfährt sein Werk nicht – er erduldet es.

Le Corbusier scheint vorzuschlagen, dass die Voraussetzung einer schöpferischen Leistung die Reflexion über das eigene Tun sei, und eben das sei das Eigene der schöpferischen Arbeit des Architekten. Dann kann aber auch Le Corbusier die statisch-konstruktive Kreativität des Ingenieurs nicht leugnen – selbst wenn er ihn einen „révolté" gegen die eigenen Kinder nennt, – seine Kritik, nicht ganz explizit in

seinem Text, zielt jedoch auf das Fehlen eines Ausdrucks-Konzepts, das fähig wäre, der statisch-konstruktiven Kreation seiner Berechnungen jene Formen zu verleihen, die gleichzeitig „semiotisch" ihr Funktionieren darstellen könnten. Denn für Le Corbusier der „puristischen" Periode ist die *solution élégante* – unter anderem – *selbstreflexiv*. Die solution élégante ist nämlich diejenige, die unter den möglichen und denkbaren Lösungen zu einem gegebenen Problem die Teile wie das Ganze erkennen lässt, sowohl die Natur des zu lösenden Problems wie auch die möglichen Verallgemeinerungen, die dadurch überraschen, dass sie der Forschung und der schöpferischen Produktion neue Wege öffnen. Diese Definition stimmt weitgehend mit der solution élégante der Mathematiker überein, wie sie Henri Poincaré in *Science et Méthode* formulierte, und die die rationalistische Front der künstlerischen Avantgarde in Frankreich derart faszinierte. Sie klingt wieder an, sicher nicht zufällig, in einer prächtigen Passage von *Urbanisme* (1926), dort, wo die erkenntnismässige Annäherung ans Werk behandelt wird. Le Corbusier schreibt:

> Hinter dem Auge ist diese bewegliche und schöpferische Einrichtung am Werk, fruchtbar, fantasievoll, logisch und erhaben: der Geist... eine wunderbare Maschine läuft hier: die Kenntnis und die Schöpfung. Sinfonien. Berührt werden von Formen, wissen, wie sie erzeugt werden, in welchem Verhältnis sie sich miteinander verbinden und allmählich eine Absicht offenbaren, wie sie sich in einen bestimmten Rahmen auserwählter Bilder einfügen. Messen, Vergleichen, an des Schöpfers Lust und Qual teilhaben....

Aber dann sieht sich Le Corbusier selbst dem Vorwurf des wissenschaftlichen Determinismus angeklagt, just dessen, was ihm als unüberbrückbare Begrenzung der ingenieurmässigen Denkweise erscheint. Er wird vorsichtig, taktierend, oder schlicht verunsichert, wie so manche seiner Zeitgenossen. Dieser rational fundierten Ästhetik, beinahe semiotisch oder strukturalistisch *avant la lettre*, so nahe seiner eigenen Arbeit, fügt er – ohne sich um den Widerspruch zu kümmern – eine neue hinzu, die ganz andere Töne anschlägt:

> Bezeichnen, ausbreiten, ordnen und erklären, was uns berührt? Illusion! Die Worte erreichen nie die Subtilität der Empfindung. Sie wird nie zu fassen sein, sie ist das Mysterium.

Dieser rhapsodische Gang durch eine komplexe Geschichte ist bestimmt nicht eine abschliessende Einführung in jene Voraussetzungen, die die Rolle und die Leistungen des Ingenieurs aus der Sicht des Architekten und der breiten Öffentlichkeit bestimmen und mit denen, umgekehrt, die Ingenieure selbst sich ihren Habitus nach und nach geschaffen haben – mit den entsprechenden Folgen auf die Einschätzung und Anerkennung seiner Arbeit und seiner Werke. Aber das Gesagte kann helfen, die Ausführungen Antoine Picon's in einen grösseren Zusammenhang zu stellen: „Die Ingenieure tragen dazu bei, diesen merkwürdigen Status einer Tätigkeit, die ungewollt künstlerisch ist, zu unterstützen", schreibt er in der Einführung zum monumentalen Katalog *L'art de l'ingénieur*, einer Art Enzyklopädie zur gleichzeitigen Ausstellung im Centre Pompidou in Paris, und fährt fort, indem er den Begriff einer „art limite" einführt:

> Alles verhält sich so, als suchten die Ingenieure in Wirklichkeit nach einem Kompromiss zwischen der Ablehnung konventioneller künstlerischer Praktiken und dem Wunsch, dennoch Kunstwerke zu schaffen. Die daraus resultierende Spannung könnte als konstitutiv für eine zeitgenössische Ingenieurkunst betrachtet werden, eine Kunst, deren Vielschichtigkeit ihren Gegenpart in der Deutlichkeit des Gegenstands, des Systems und der realisierten technischen Leistung fände, eine „art limite" deswegen, weil sich ihre besten Werke am Grat zwischen den zwei Welten plazierten, die uns die Denkmuster des Industriezeitalters als getrennt zu betrachten gelehrt haben.

Im über 100 Jahre langen Miterleben des Machtanspruchs, der Selbstherrlichkeit, der „tabule rase" und Neuanfänge des Architekten hat sich beim Ingenieur allmählich ein Selbstverständnis und eine Arbeitshaltung entwikkelt, die in manchen Aspekten dem Habitus und den damit eingeforderten Vorrechten des Architekten entgegengesetzt sind. Es ist hier nicht der Ort, eine historisch aufgearbeitete Bilanz dieser „Differenz" vorzustellen, doch lässt sich immerhin eine Art Übersichtskarte erstellen, in der das Beispiel einiger der anregendsten zeitgenössischen Ingenieure wie Santiago Calatrava oder eben Jürg Conzett unseren Untersuchungen dienen kann.

Wenn man das berufliche und institutionelle Selbstverständnis des Ingenieurs in Ausbildung, Berufspraxis und Forschung verfolgt, dann ist er jemand, der Erkenntnisse sammelt und die Resultate der wissenschaftlichen Arbeitsteilung genau in dem Masse integriert, wie sie dieses Sammeln verlangt: dem einen das Eisen, dem andern den Beton, Holz oder Glas; hier Tiefbau, Kunstbauten und Instandsetzungen; dort die Schale oder das Raumfachwerk; da der Materialtechnologe; Gutachter oder Manager, jenem die Baustelle, diesem die Berechnung. Auch in den Fällen, wo der Ingenieur als Generalist arbeitet, bezieht er sich ständig auf Spezialwissen, enthalten in einem Regel- oder Normenwerk, das einen „Stand der Technik" repräsentiert. In der Zusammenarbeit mit dem Architekten – dem „Generalisten" – beschränkt sich der Ingenieur in der Regel gerne auf eine Arbeitsteilung und eine Ablaufplanung, in der der erste Schachzug, der Sprung ins Ungewisse auch auf statisch-konstruktivem Gebiet dem Architekten überlassen bleibt: denn schliesslich ist dieser der Meister des Ungefähren, des analogen Denkens, der Metapher, des heuristischen Ansatzes, der Methode „trial and error", der Vermutungen und Widerlegungen, kurz: der *Abduktion*. Dem Ingenieur bleibt darauf die Rolle des „Tüchtigen", der das Ungefähre auf eine bekannte Typologie, durch Experiment und Erfahrung erhärtet, zurückführt und präzisiert.

Auf das Stichwort „Erfindung", gibt der erwähnte enzyklopädische Ausstellungskatalog im Zeichen der *art de l'ingénieur* folgende Umschreibung: „Man glaubt oft, erfinden hiesse, plötzlich die Idee von etwas Neuem zu haben, etwa eines Fahrrades" (das glauben zumindest auch die Architekten, ergänze ich), und fährt fort:

> Im Bereich der Konzeption von Baukonstruktionen gibt es sehr wenige Erfindungen dieser Art ... auch Patente sind selten ... hier bedeutet in den meisten Fällen „erfinden", bestehende Kenntnisse oder Forschungen anzuwenden, anzupassen: neue Verknüpfungen aus bekannten Konstruktionselementen oder vertrauten Materialien aufzubauen; etwa auch ein Material oder ein Konstruktionselement durch ein anderes auszutauschen, zu adaptieren...

Der Ingenieur, verstehen wir, leitet ab und wendet an. Ist deshalb im Ingenieurgebiet die Lust am Erfinden häufig der Ahnungslosigkeit in statisch-konstruktiven Dingen des von aussen kommenden Bittstellers proportional? Ist sie hingegen dem zünftig ausgebildeten Ingenieur versperrt, weil für ihn, sofern kein neuer Konstruktionstyp vorgegeben wird, kein Grund zu einer „neuen" Form besteht? Wenn dem so ist, sucht der Ingenieur folgerichtig seine Selbstachtung auf benachbarten Gebieten: Baustellenführung, Sicherheit, Rationalisierung der Handarbeit und des Unterhalts, Qualitätssicherung der Materialien, Verfeinerung der statischen Modelle...

Vor etwa 30 Jahren antwortete Christian Menn auf die Frage, weshalb die neuesten Autobahnbrücken für den Laien an Kühnheit verloren hätten, dass die Entwicklung nicht mehr unbedingt nach Materialersparnis und damit nach schlanken, ausgereizten Tragsystemen strebe; vielmehr suche man die Eleganz einer Lösung im Bauvorgang, in der Abfolge und Art der Handlungen auf der Baustelle, mit dem Ziel, Aufwand und Zeit zu sparen. So sei zum Beispiel in seinen Augen das Konzept, eine Brücke, die ein leichtes Längsgefälle aufweise, aus vorfabrizierten Betonelementen zu erstellen, die mit geringstem Kraftaufwand über eine mit Graphit geschmierte Gleitbahn in ihre endgültige Lage geschoben würden, wertvoller als der Entwurf einer „schönen" Konstruktion, die höchstens die Konstruktionsromantik einiger rückständiger Architekten noch zu berühren vermöge.

Eine Lektion, die nahe legt, diese eigentliche „Ingenieursästhetik", die sich

vorbehaltlos dem Prozess, der Entstehung, dem Ereignis verschreibt, der Konzeptkunst oder den Praktiken des *Happenings* oder des Ephemeren gegenüberzustellen, – kaum allerdings aus Lust an der Provokation oder der Grenzübertretung, schliesslich wird „der Gott a+b nie mit der Göttin Fantasie verwechselt werden" (wie César Daly einst anlässlich eines Toasts das Verhältnis Ingenieur–Architekt charakterisierte). Wir werden weiter unten auf die „Schönheit" zu sprechen kommen, die der Montage des Traversiner Stegs eigen ist, und wie das vollendete Bauwerk in seinem Aufbau sozusagen die Erinnerung an dieses Ereignis bewahrt. Hier möchte ich nur noch auf den besonderen Fall einer Ingenieurarbeit verweisen, die diese neue konzeptbezogene Dimension gut beleuchtet: Die Rhonebrücke in Dorénaz (Wallis), eine 1933 durch Alexandre Sarrasin erbaute Pionierleistung in bewehrtem Beton, ist in schlechtem Zustand, zeigt beunruhigende Zeichen fortgeschrittener Karbonatisierung, und, schlimmer noch, erfüllt nicht mehr die heutigen Anforderungen an die Sicherheit unter gestiegenen Lasten. Ingenieur Eugen Brühwiler, Professor am Lehrstuhl für Bauwerkserhaltung der ETH Lausanne, wird mit der Zustandsanalyse und der Projektierung der Instandsetzungsarbeiten beauftragt. Er ist sich des historisch-dokumentarischen Werts des Bauwerks wie auch seiner formalen Qualität bewusst und lehnt Massnahmen ab, die die Wahrnehmung verändern und damit dem Verständnis für die Brücke schaden könnten. Daher entscheidet er sich, das Tragwerk mit den höchstentwickelten statischen Methoden zu untersuchen, die die Disziplin momentan anbietet. Das Resultat: einige punktuelle Eingriffe, praktisch unsichtbar, und weitgehend normale Unterhaltsarbeiten gewährleisten das Weiterleben einer Brücke, an der man bereits tiefgreifende Erneuerungsmassnahmen vornehmen zu müssen glaubte. In diesem Beispiel der Erhaltung eines Ingenieurbauwerks besteht die „Schönheit", die ästhetische Befriedigung, in der Qualität der Untersuchung, in der immateriellen Form einer projektbezogenen Strategie, die alles auf die Raffinesse der Berechnungsweise setzt. Also ein Projekt aus Software statt Hardware; eher Denken denn Handeln.

Es stimmt, wenn Picon im bereits zitierten Vorwort behauptet, der Ingenieur vermöge:

> in seiner ihm gerne zugeschriebenen Haltung äusserster Gleichgültigkeit der Kreation von Werken oder dem Begriff der Schönheit gegenüber durchaus auch zeitgenössische Künstler zu fesseln, die sich mit Thesen wie dem Ende der Kunst oder ihrem Aufgehen in einem breiteren Bereich des Experimentierens befassten.

Dazu zitiert Picon als Beispiel „das Vorgehen Andy Warhols, der eine 'Fabrik' zur Produktion von Kunst eröffnet, als handle es sich um Automobile." Dem möchte ich beifügen, dass es eine „Faszination Ingenieur" gibt, die ab und zu die Architekten befällt, und die aus der Sehnsucht nach einer Schönheit besteht, die sich gleichsam „naturhaft" einstellt, ohne „gewollt" zu sein, eine Schönheit, die einfach als Zugabe, als Belohnung eines Akts „reinen Kalküls" geschenkt wird. Man kann darin einen Traum (oder Alptraum) palingenetischer Art erkennen: die Auflösung der Architektur in der Wissenschaft oder das Ende der Architektur als Kunst. *Ingenieur, Hoffnung der Architekten*, um den Titel eines bekannten Dramas von Oskar Kokoschka abzuwandeln? Wir haben bereits die Voten des radikalsten Flügels der „Neuen Sachlichkeit" erwähnt, aber warum nicht auch heute von einer Architektur träumen, die von bewussten und rationalen Gedanken geleitet wird, von systematisierten kontrollierten Prozeduren, in denen es weder Meister noch Märtyrer gibt, sondern nur treue Bürger von Bachelard's *cité scientifique*, jetzt, wo das Peter Pan-Syndrom so viele Architekten getroffen zu haben scheint und sie dazu verdammt, das Gestikulieren der ehemaligen Avantgarde bis ans Ende der Zeiten zu wiederholen, am Rande des Kitschs. Charles S. Peirce hätte unserem leicht karikierten Ingenieur Positivismus vorgeworfen, weil er sich auf eine reduzierte und ausschliessende Version geistiger Tätigkeit beschränke, die induktive Tätigkeit überbewerte und den Wert hypothetischer Konstrukte verkenne. Denn, sagt Peirce, „die Induktion kann nie eine neue Idee entwickeln. Auch nicht die Deduktion. Alle neuen Ideen der Wissenschaft stammen aus der *Abduktion*".

Vermutungen formulieren, erst raten und dann verifizieren, Indizien verfolgen, Intuitionen... – die Abduktion besteht unter anderem darin,

> aus der Beobachtung starke Schlüsse über die Tatsachen zu ziehen, ohne in der Lage zu sein, genau zu sagen, welche Umstände des Versuchs gerade zu diesen Schlüssen geführt hätten...
> [und er nutzt das Prinzip] dasjenige zusammenzufügen, was wir zunächst nie zusammenzufügen gedacht hätten, und das vor unserem Suchen plötzlich eine neue Idee aufleuchten lässt.

Ohne mich auf weitere erkenntnistheoretische Risiken einzulassen, erwähne ich zur Abduktion noch das von Peirce selbst „erarbeitete" Beispiel, in dem er, wie er erzählt, den Dieb seiner Tiffany-Uhr und seines Überziehers identifiziert und, noch raffinierter, die Beute in der Schiffskabine des Diebes selber sicherstellt...

Auf gut Glück hin Lösungen skizzieren und danach prüfen, was gültig sein könnte; suchen und wiedersuchen, vor dem Hintergrund persönlicher Erfahrungen und Erkenntnisse, unter Einbezug dessen, was andere gemacht haben, sei es in veränderter oder analoger Form – das sind die Abduktionen des Architekten, durchaus leistungsfähig, auch wenn ihre Art und Weise Charles S. Peirce und Sherlock Holmes erbleichen liessen. Wie dem auch sei, diese Art des Vorgehens hat all jene Ingenieure angelockt, die in neuester Zeit nicht gezögert haben, sich eine geduldige und vielschichtige Zusammenarbeit mit Architekten zu eigen zu machen. Über Peter Rice gibt es bewegende Zeugnisse von Architekten-Komplizen. Was Jürg Conzett betrifft, ist in ihm gegen Ende seines Ingenieurstudiums der Wunsch entstanden, sich auf etwas mehr als die orthodoxe Ingenieurshaltung einzulassen; und dies führte ihn anfangs der achtziger Jahre für einige Jahre ins Atelier von Peter Zumthor, der damals gerade seine fulminante Laufbahn begonnen hatte. Seine starke Verbindung mit den Werken manch weiterer bedeutender schweizerischer Architekten erklärt sich aus dem gleichen Grund.

Der Fall Santiago Calatrava ist scheinbar umgekehrt, denn hier handelt es sich um einen „übergelaufenen" Architekten, zum Ingenieur mutiert; doch seine bildliche Produktion, so anders und unvergleichlich mit der üblichen Ingenieurproduktion, sei sie noch so legitim und polytechnisch, verdankt fast alles dem Umstand, dass er auch als Ingenieur ingenieurtechnische Themen mit Methoden und Instrumenten versehen hat, die eigentlich dem Architekten zugeordnet werden – und, in seinem Fall, einem besonders begabten Architekten. Ein aussergewöhnliches Beherrschen des architektonischen Skizzierens, das in wenigen schnellen Zügen unzählige Möglichkeiten richtiger Formen und Dimensionen entrollt, erlaubt es Calatrava, sich bekannter, unbekannter und vergessener Konstruktionstypen und -elemente anzunehmen, sie sich vorzustellen, ihnen auf den Grund zu gehen und sie frei zu kombinieren; sich all der Register der mechanischen, pflanzlichen und zoomorphen Analogien zu bedienen, sie umzuwandeln, bis zur Unkenntlichkeit zu transformieren, oder, im Gegenteil, die blühende Prägnanz ihrer Grundidee herauszuarbeiten.

Wie der heutige Architekt, interessieren sich Calatrava, Conzett und andere zeitgenössische Ingenieure für die Geschichte der eigenen Disziplin und die ihrer Protagonisten. Dies jedoch nicht nur mit der beherrschten Neugier dessen, der eine Evolution abmessen will, sondern in der festen Absicht, ihre Fantasie mit Fallbeispielen zu nähren, so wie jeder seine eigene Arbeit in Vorstellungen begreift, als zu lösende Fälle, als mögliche Erfindungen. Man hat gesagt, Sherlock Holmes habe die später definierte Peirce'sche Abduktion sozusagen in Person vorweggenommen. Holmes, Geschöpf des Sir Arthur Conan Doyle,

> war ein systematischer Sammler historischer Fallstudien, vor allem auch solcher, die sich durch besondere List oder Erfindungsgabe auszeichneten

denn, erklärt der Mathematiker Wulf Rehder

> diese Sammlung wurde von ihm auf wiederkehrende

Grundmuster durchsucht, die er durch Analogie oder auch Gegensatz auf den jeweils ihm vorliegenden Fall beziehen konnte und ihm so dessen Lösung ermöglichten.

Holmes als Modell des Architekten oder Ingenieurs nach der *condition postmoderne*? Man wird einwenden, dass die geschichtsplündernde Neugier des Architekten, oder, allgemeiner, der Einbezug des Umfelds und der besonderen Umstände einer Aufgabe, zum Kern dieses Berufes gehöre, auch wenn diese Komponenten als Ganzes, formbar, unvollständig und deshalb offen gegenüber verschiedenen Lösungen seien – dass hingegen die wissenschaftlich sich gebärdende Denkgewohnheit des Ingenieurs sich einem entsprechenden Verhalten verschliesse. Auch deshalb sind die Wege, die Calatrava oder Conzett eingeschlagen haben, derart belebend; umso mehr, da sie in ihren Absichten und Resultaten unterschiedlich sind; nicht nur dem Schein nach, sondern bedeutungsvoll im Hinblick auf ihre jeweiligen Prägungen durch ihre Berufstätigkeit.

Wer sich als Architekt für die frühen Projekte von Calatrava interessierte oder mit ihm zusammenarbeitete, erinnert sich mit dankbaren Gefühlen an etwas, das alle wie einen lang ersehnten Befreiungsakt empfanden. Wenn wir jene Zeichnungen betrachteten, die nach und nach unter seinem Bleistift entstanden, hatten wir den Eindruck, dass jene Formen sich gern in ihre statische Aufgabe fügten; als ob sie, in ihrem jeweiligen Material, eine gefühlsbetonte Beziehung zum Tragen, Stossen, Ziehen und Widerstehen eingehen könnten. Die Kräfte, die bisher in den statischen Munitionskammern lagerten, um dann drohend im Hinterhalt der Berechnungen der Ingenieure aufzutauchen, erschienen nun plötzlich als helfende Kobolde, die das Schauspiel der Kräfte und ihrer Beziehungen eröffneten.

In vielen Lobreden neuester Zeit liest man von kühnsten und ungewöhnlichsten Konstruktionen. Nun, ich glaube kaum, dass diese Strukturen kühner sind, als was die bürokratischen Normen der Standesorganisationen erlauben. Ich habe nicht den Eindruck, dass hinter einem solchen Entwurf derart viel ingenieurtechnisch Unerhörtes liegt – liegen kann. Unerhört hingegen erscheint mir die figürliche Theatralik, die Santiago Calatrava seinen statischen Gestalten hat verleihen können, vor dem Hintergrund bekannter Konstruktionsprinzipien; unerhört auch die pädagogische Brillanz seiner Passerellen, Brücken, Dächer. Genau dies könnte die böswillige Eifersucht einiger stiller Ingenieur-Verleumder geweckt haben: alles wäre da gelegen, im Einzugsbereich des Zeichenstifts, hätte man bloss daran gedacht! Hier die Blindheit des Ingenieurs, der, wie Le Corbusier schrieb, „sein Werk nicht erfährt". Dort Calatrava, unter Ingenieuren einer der wenigen Poeten der autoreflexiven Konstruktion.

Das Repertoire seiner statisch-konstruktiven Erzählungen ist vielfältig und hier gebe ich nur einige Beispiele an, um mich verständlich zu machen. Ein erstes Mittel besteht darin, die Kräfte in Elemente zu zerlegen, die nur Druck- oder Zugkräften unterworfen sind. Eine Zerlegung, die sich manchmal auch in einen Gegensatz von Materialien erweitert: etwa Beton für Druck und Stahl für Zug. Oft setzt die Zerlegung solche achsial beanspruchte Teile (Zug oder Druck) anderen gegenüber, die auf Biegung arbeiten: Konsolen oder „Arme", die dann den Ausdruck eines „gespannten Muskels" annehmen. Calatrava, der gerne die einzelnen Teile des Mechanismus individualisiert und erkennbar macht, pflegt demzufolge auch besonders die Gestaltung des Knotens, sei es ein Gelenk, Scharnier oder eine Einspannung. Ein oft wiederkehrendes Teil der frühen Projekte ist die signalhafte Spindelstütze, die ihre achsiale Druckkraft „erklärt", ihre Knickfestigkeit und ihre gelenkige Lagerung an beiden Enden. Die Form der biegebeanspruchten Elemente folgt häufig der Momentenlinie und scheut sich auch nicht, allfällige Versteifungselemente bei Krafteinleitungen und ähnliches vorzuzeigen. Calatrava verfügt auch über die altbekannte Kunst, sein Publikum zu verblüffen, indem er unerwartet Materialien mit statischen Aufgaben belastet, die in unserer alltäglichen Erfahrung zerbrechlich und weich erscheinen: so in den Trägern aus gefaltetem Blech der Werkstätte Jakem in Münchwilen (Schweiz, 1983–84), wo der Trägersteg lediglich aus gefaltetem Blech besteht, trotz der Spannweite von 26 m. Und ein schönes Beispiel für *statique parlante* sind für mich die Nottreppen der Ernsting-Werke in Coesfeld (Westfalen, 1983–85): zwei straffe Ketten, die auch als Handläufe dienen, halten die vertikalen Pfosten, die am oberen Ende der Treppe mit ihren Wangen biegesteif verbunden sind. Unten stützen sich die Wangen auf dasselbe Podest, an dem die Zugketten verankert sind. Oben werden die Ketten über das anschliessende Podest weitergeführt, hängen hier aber, von ihrer statischen Funktion befreit, nach unten durch und zeichnen wörtlich die mathematische „Kettenlinie" nach.

Die grosse „Hartenbrücke" über den Guadalquivir, die anlässlich der 1992 Weltausstellung von Sevilla erbaut wurde, ist ein weiteres Muster einer „statisch-konstruktiven Erzählung", die das erzeugt, was man vor Zeiten sehr präzis als Effekt der *Einfühlung* definiert hätte: einen starken, unmittelbar körperlichen Eindruck. Träger und Pylon erscheinen als gebogener Arm, versteift durch seine Muskelspannung, die sich dem Zug der Schrägseile widersetzt. Die für eine Brücke unübliche Asymmetrie des statischen Systems ist eine Figur, die die Aufmerksamkeit des Publikums einfängt und sich auch als Geste verstehen lässt, die den Weg zur Ausstellung weist, und deshalb wird die Brücke von manchen Kritikern im Jargon der Einfühlung als *dynamische Form* beschrieben. Diese wurde mit Mehraufwand erzeugt, nicht nur finanziell, sondern auch mengenmässig, technisch, intellektuell. Man hätte ihn mit einer „normalen" Lösung einsparen können, mit einer Nullösung, mit dem Hinweis auf die „Realität". Calatrava hätte sich dagegen mit denselben Argumenten rechtfertigen können, wie dies Jahre früher der von ihm bewunderte Architekt Carlo Mollino getan hat: dieser erklärte nämlich, vom Standpunkt des Ausdrucks her sei genau diejenige Lösung die wirksamste, die rein funktionell nicht ganz korrekt sei, sondern auf die Spitze getrieben, auch wenn sie den gesunden Menschenverstand des Ingenieurs überfordere.

Es gibt dann auch die Projekte, die für den Laien auf rätselhafte Weise zu halten scheinen, sei es, dass vermeintlich zentrale Elemente des statischen Systems – des Kräfteparallelogramms? – geschickt verborgen bleiben, sei es, dass sie durch Ablenkungsmanöver unserer Aufmerksamkeit entgehen. Der häufige Gebrauch von Zugkabeln ermöglicht diese vermeintlich labilen Konfigurationen, die wiederum als „dynamisch" bezeichnet werden, weil sie wie wundersam zum Stillstand gekommene Fallbewegungen anmuten. In der Skulptur „Toros" gibt es ein endloses Kabel, das jeweils drei Seiten der Würfel umfasst. Die Reibung zwischen Kabel und Würfel hindert diese daran, sich zu drehen. Zwischen den Würfeln verläuft das Kabel gekreuzt, was in den Augen des Betrachters eine beunruhigend instabile Wirkung hervorruft, würde er doch oben ein horizontales Zugseil zwischen den Würfeln erwarten. Verstärkt wird dieser Effekt durch die an den unteren Kanten der Würfel angesetzten spindelförmigen Spriesse, die durch ihre Lage und Form die dünnen Kabel noch schmächtiger erscheinen lassen.

Sehr weit getrieben wird diese Taktik des „Verbergens" im Projekt der Brücke Uribitarte über den Nervion in Bilbao. Der Brückenträger hängt an einem einzigen Bogen, der unglaublich schräg und einseitig über dem Gehweg verläuft. Diese asymmetrische Konstruktion, die von fern etwas an die exzentrisch befestigte Kelheimer Paserelle über den Rhein-Main-Donaukanal erinnert, die 1987 von den Ingenieuren Schlaich, Bergermann zusammen mit Ackermann Architekten realisiert wurde, hält den exzentrischen Lasten deshalb stand, weil die Grundrisskrümmung zusammen mit den biegesteifen Hängern in diesem speziellen Fall die Torsionsmomente begrenzt. Calatrava benutzt die Steifigkeit des Gehwegs, des Hohlprofils. Torsionssteifigkeit, die sozusagen „gratis" durch diese Form geliefert wird und die in üblichen derartigen aufgehängten Brücken nicht ausgenutzt, hier jedoch bewusst aktiviert wird.

Zusammengefasst verdanken wir Calatrava eine Konstruktionskunst des Sehens, Spürens und Spannens, sportlich, ohne Ruhepunkte, in der nichts

an die Uniformen der tausend Brücken und Bedachungen aller fünf Erdteile erinnert. Er zeigt auf, dass die formale Gleichschaltung nicht notwendige Folge objektiver, unveränderlicher Gesetze ist, sondern über eine weltweite Normierungskraft einer Berufsgruppe gesteuert wird, die sich wissenschaftlich gebärdet. Es kann kein Zufall sein, dass diese gleiche Berufsgruppe sich dann bewegt, wenn die übrige universitäre und polytechnische Welt sie an den Rand zu drängen beginnt, wie bereits früher die verschwägerten Architekten. Landen Ingenieure und Architekten schliesslich im gleichen Schiff, dem der Corbusianischen „Gaukler"?

Es ist symptomatisch für diese Entwicklung in der Auffassung und Selbstdarstellung der Leistungen der Ingenieure, dass es nicht unterschiedliche Auffassung hinsichtlich der baustatischen Methodik, sondern der konstruktiven und ästhetischen Kultur sind, die die Haltungen von Conzett und Calatrava trennen, auch wenn es gar nicht so einfach ist, darzulegen, worin sie sich in der Sache unterscheiden. Um zu erklären, was mir im Ansatz von Conzett gegenüber der statisch-konstruktiven Inszenierung Calatravas eigenständig erscheint, nehme ich das Wohn- und Geschäftshaus am Ottoplatz in Chur zum Ausgangspunkt, das er zusammen mit den Architekten Dieter Jüngling und Andreas Hagmann erstellt hat, seinen Partnern auch in verschiedenen anderen interessanten Unternehmungen.

Das Gebäude bildet einen freistehenden Block auf einem trapezoidalen Grundstück. Es ist im Umriss unterschiedlich abgetreppt und leicht aus dem rechten Winkel verschoben. Rundum weist es über dem Erdgeschoss die prinzipiell gleiche dreistöckige Fassadenstruktur auf. Die Fassade ist schachbrettförmig, mit geschlossenen Feldern aus Sichtbeton und offenen Feldern mit Fenstern, die innenseitig am Beton angeschlagen sind. Die Betonelemente erscheinen auf den ersten Blick etwa gleich gross wie die Fenster, bei genauerer Betrachtung zeigen sich aber feine Unterschiede, die wir erst später begründen können. Die Deckenstirnen laufen über die Fassaden durch und bilden visuell leicht abgesetzte Bänder. Über dem vierten Geschoss verläuft eine massive Brüstung.

Die breite Fassade zur Hartbertstrasse besitzt eine 30 m lange verglaste Front im Erdgeschoss, seitlich gehalten von zwei grossen Betonplatten, ab deren Kanten das Muster bis zum vierten Stock wieder dem Schachbrett entspricht. Soweit alles in der Ordnung, möchte man sagen; ein Werk, das sich in die Poetik der aktuellen neo-minimalistischen Schweizer Architektur fügt. Die Überraschung wird für diejenigen aufgespart, die es genau wissen wollen; die zum Beispiel hinter den Reflexen der Gläser im Erdgeschoss, den vertikalen Fensterprofilen und den gefalteten Vorhängen die Stützen suchen, die, so dünn wie möglich, das offensichtlich massige Gebäude tragen müssten. Überraschend ist, dass diese Stützen fehlen: kein einziges Auflager über ganze 30 m, und die Müssiggänger an den Tischen der Bar bleiben dabei ruhig, zufrieden und unbesorgt. – Es gibt den Trick, den man erklären muss, derart stark ist er der Anschauung und dem Gefühl entzogen. Die ganze Fassade ist ein einziger Träger, drei Geschosse hoch und 30 m weit frei tragend. Sie ist von einer Schar Vorspannkabel durchzogen, die sie diagonal durchqueren, über die ganze Höhe durch die massiven Partien verlaufend – und jetzt versteht man auch, warum sich die Wandelemente mit den vertikalen Kanten leicht überlappen, so dass sie zusammen mit den Deckenstirnen gerade genug Beton enthalten, um hier die Kabel durchzuführen.

Conzett und seine zwei Mittäter sind sicher nicht die ersten oder einzigen, die eine Fassade als Träger benutzen. Ein Meisterstück einer Trägerfassade wurde in der ersten Stufe des Wettbewerbs für den Palazzo Littorio in Rom 1934 vorgeschlagen. Verfasser waren eine Gruppe von Architekten aus Mailand und Como: A. Carminati, P. Lingeri, E. Saliva, G. Terragni und L. Vietti; als Ingenieur wirkte I. Bertolini mit. Die sogenannte „Lösung A", entstanden unter der Leitung von Luigi Vietti, sah als Fassade gegen die neue Via dell' Impero eine grosse im Grundriss leicht gebogene Scheibe vor, stark und mehrere Geschosse hoch, in der Mitte eingeschnitten, um dem Podium des Duce Raum zu geben, oben aufgehängt an zwei auskragenden Trägern, die im Innern auf vier Pfeilern aus Granit ruhten. Die Fassadenverkleidung aus roten Porphyrplatten, durchzogen mit gekrümmten Edelstahlbändern, „hätte an der Oberfläche der aufgehängten Wand Linien in Richtung der grössten Zug- und Druckspannungen erhalten". Es handelt sich also um die Spannungstrajektorien, nach der Methode von Nicols ermittelt, indem ein Modell aus Phenolite mit polarisiertem Licht bestrahlt worden war.

Dieser Vorschlag ist ganz anders als der aus Chur, doch interessieren hier zwei Aspekte: der erste, dass sich die Architekten der Verkleidung bedienen – der Dekoration also – um das statische Verhalten des Fassadenträgers aufzuzeigen, es *auszudrücken*; der zweite, dass die Visualisierung eines ingenieurtechnischen Sachverhalts dafür gewählt wurde, die Botschaft eines Monumentalbaus zu übermitteln, dazu ausersehen, die faschistische Revolution zu feiern, im Umfeld der kostbarsten Monumente der römischen Zivilisation! Eine der progressiven Gruppen der italienischen Architektur bedient sich demnach des Bildes, der ikonischen und analogen Übersetzung einer neuen Errungenschaft der Ingenieurforschung (die Bestimmung der Spannungstrajektorien einer Scheibe aufgrund einer bestimmten Belastung und die daraus folgende optimale Disposition und Bemessung der Bewehrung des Betons) um ausdrücklich politisch-technischen und politisch-sozialen Fortschritt mit moderner Architektur und der faschistischen Bewegung zu verknüpfen. Nie zuvor in der Geschichte des Ingenieurbaus wurde die Ingenieurwissenschaft als Bannerträger einer derart politisierten und kompromittierten Botschaft benutzt. Welch ein Gegensatz zum *beredten Schweigen* am Ottoplatz.

Weitere Beispiele von Trägerfassaden sind leicht zu finden: Mies van der Rohe's Skizze eines Glashaus in Hanglage von 1934 suggerierte Philip Johnson die Wohnzimmerbrücke des Leonhardt House in Lloyd's Neck, Long Island. Dann die verschiedenen Brückenhäuser von Craig Ellwood (das Wochenendhaus von 1964 und das Haus Goldman). In diesen Beispielen „reduziert" sich die Fassade zu einem verglasten Fachwerk: *the structure is the message*. Semiotisch mehrdeutiger ist hingegen die Fassade des langen und niedrigen Gebäudes der Universität von Costantina, entworfen von Oscar Niemeyer. Sie besteht aus einem langen Betonträger, der auf weit auseinander stehenden Auflagern ruht. Er ist von einer ununterbrochenen Folge kleiner kreisförmiger Öffnungen durchbrochen. Diese Beispiele sollten genügen, das Besondere der Fassade am Ottoplatz zu fokussieren, denn diese Fassade gibt kein Zeichen dafür, wie sie trägt! Im Gegenteil, es ist noch schlimmer: Die skelettierte Rastertassade, die die italienischen Razionalisti ab der zweiten Hälfte der dreissiger Jahre brauchten und missbrauchten (zunächst die Casa del Fascio in Como von Terragni, das Monumento alla Vittoria an der Piazza Fiume in Mailand von BBPR, dann aber auch unzählige Wettbewerbsbeiträge für die EUR im 1942), liess sich noch als Sinnbild eines modernen Trilithen in bewehrtem Beton lesen. So versteht – und kritisiert – sie Cattaneo in *Giovanni e Giuseppe – Dialoghi di Architettura*, das 1941 in Mailand erscheint:

> Viele moderne Bauten, fast alle, die auf den ersten Blick Ausdruck einer rigorosen Funktionalität zu sein scheinen, sind tatsächlich durch ornamentale Lügen verdorben: ich habe dies bereits als „funktionalen Symbolismus" bezeichnet. Das häufigste Beispiel dafür findest du immer dann, wenn Dir die Architekten erklären, sie liessen von aussen die Tragkonstruktion erkennen.

Die Schachbrettfassade hingegen wurde dann zum Bedeutungsträger jener Architektur stilisiert, die in den fünfziger und sechziger Jahren bis zum Überdruss die endlich erlangte Freiheit von statisch-konstruktiven Zwängen verkörperte. Die Autoren des Ottoplatz benutzen deshalb die Erwartungen, die in einem gebildeten Publikum reflexartig ausgelöst werden, um sie mit einer Lösung zu verblüffen, die eine tiefsitzende zeichenhafte Konvention spätmoderner Architektur auf den Kopf stellt.

In den Arbeiten von Jürg Conzett ist das Verschwinden oder Verschwimmen der statisch-konstruktiven Figürlich-

keit kein Einzelfall, sondern Programm. Ein Vorgänger des Ottoplatz ist die hölzerne Fuss- und Radwegbrücke von Murau in der Obersteiermark, Österreich, konstruiert zusammen mit den Architekten Marcel Meili und Markus Peter. Nun sind Passerellen und Brücken zumindest in der Regel einfache, lineare Objekte, deren Grenzen klar definiert sind und oft liegt ihr Wert eben darin, dass sie einen statisch-konstruktiven Eingriff in das Terrain verkörpern und diesen auch sichtbar machen. Dieses Prinzip ist in Murau durchbrochen, denn die gedeckte Brücke besitzt gleichsam Tentakel und mündet auf beiden Seiten in kleinere Stege und Treppen. Doch dies ist nicht der einzige Regelverstoss: zwar entspricht die Brücke dem Typ „gedeckte Hausbrücke", jedoch wird hier der Wanderer nicht durch den üblichen kräftigen fachwerkartigen Kasten geführt. Vielmehr erscheint die Murbrücke auf eine Wandelebene mit Brüstungen und einen horizontalen Flügel als Dach reduziert, mit einer grossen Öffnung in der Mitte, gerade dort, wo wir die grössten Beanspruchungen erwarten. Ich sage „die grössten Beanspruchungen", doch tatsächlich stellt sich für die, die auf der Brücke stehen oder auf ihr an einem Fest tanzen, die Frage, wie sie trägt, gar nicht – so diskret und sozusagen unsichtbar wird diese Funktion erfüllt. Das Publikum, das Angstlust liebt, braucht Konstruktionen, die gestikulieren und zeigen. In Murau dient die konstruktive Leistung – und man darf sie als das bezeichnen – ihrem Verschwinden. Meili, Peter und Conzett haben dank ihrer Kunst etwas realisiert, dass den avantgardistischen Forderungen der De Stjil-Bewegung nahekommt, die im Streit mit den Vertretern einer modernen Haut und Knochen-Architektur den erdgebundenen, *tragischen* Aspekt der Konstruktion aufheben wollten.

Ein rein gedanklicher Schauer ergreift hingegen den Eingeweihten, wenn er darauf beharrt, auf oder unter die Brücke zu sehen. Mit mehr oder weniger statischen Kenntnissen versehen, wird ihm jetzt klar, dass die Gebrauchsteile der Brücke, nämlich Gehweg, Brüstungen, Dach, Tentakel, die ungewöhnliche Transparenz des zentralen Raumes, eine Art Schild bilden – so wie Zylinder, Pailletten und die wunderbaren Soubretten das Publikum von den Zauberertricks ablenken – vor einer speziellen Version des Vierendeelträgers, einem etwa 47 m langer Rahmen, bestehend aus einer einzigen grossen rechteckigen Masche, in die Länge gezogen, mit den zwei „Schubscheiben", verschoben auf die eine oder andere Seite der oberen und unteren Gurtungen. Die „Schönheit" dieser Verschiebung besteht darin, dass sie zwar auf bildhafter Ebene die Entdeckung des Tragwerksprinzips erschwert, umgekehrt aber durchaus einen konstruktiven Sinn ergibt, sei es als Stabilisierung der Brücke gegen Umkippen durch grössere Auflagerflächen, sei es, weil sie eine einfache „Vernagelung" erlaubt, die die Gurte mit den Schubscheiben verbindet. Der Mursteg ein statisch-konstruktives *trompe-l'oeil* also?

Fasziniert von diesem Vexierspiel, lässt es Conzett mit der statischen Lösung des Voltaschulhauses in Basel wieder aufleben. Es wird zusammen mit den Architekten Quintus Miller und Paola Maranta projektiert und ausgeführt (Wettbewerb 1996, Ausführung 1998–2000): eine Konstruktion mit Raumzellen, in denen betonierte Wände und Decken ein zusammenhängendes Tragwerk bilden, eine viergeschossige Konstruktion, die ohne weitere Elemente das unterirdische Loch von 28 m, das die Turnhalle bildet, überspannt. Auch hier scheint der Ingenieur tückisch zu rufen, „kommt her, es gibt nichts zu sehen", und die fragmentarische und labyrinthische Räumlichkeit des Voltaschulhauses, so reich an Anspielungen und so genau auf die Anforderungen der Situation zugeschnitten, ist geeignet, den Ermittler tatsächlich endgültig zu verunsichern, der immer noch glaubt, dass Einfachheit und Selbstverständlichkeit die Fixpunkte einer „ehrlichen" Konstruktion seien.

Es gibt Vergleiche, die scheinbar auf der Hand liegen, sich bei genauerem Hinsehen jedoch als abwegig erweisen. Dennoch: im heutigen Panorama „tektonischer" Suche scheinen Santiago Calatrava und Jürg Conzett zwei gegensätzliche Pole der konstruktiven Poetik zu besetzen. Calatrava ist der Erfinder von Bildern, in denen statische Systeme als Akteure auftreten, mit den Finten, Schlägen und Streichen einer Catchpartie; die Statik Calatravas ist katholisch und barock, verblüffend und verführerisch. Conzett, zumindest in den bisher erwähnten Werken, scheint demgegenüber die „protestantische" Seite zu verkörpern, ikonoklastisch in dem Sinn, dass er auf Bilder verzichtet und höchstens Ellipsen und Retizenzen verwendet. Fontanier, vollendeter Meister der Kunst, junge Damen in den Formen der Konversation zu unterrichten, definiert:

> Die *Retizenz* [wörtlich: Zurückhaltung] besteht darin, sich im Verlauf eines Satzes plötzlich zu unterbrechen und stillzuhalten, um aus dem wenigen, was man gesagt hat, im Zusammenhang dasjenige hörbar zu machen, was man zu unterdrücken vorgibt, und oft sogar noch mehr als das.

Wenn ich bis jetzt in meinen Untersuchungen diesen Aspekt hervorgehoben habe, möchte ich sie keineswegs darauf begrenzen. Es gibt weitere Werke, die sich ganz anderer Ausdrucksmittel bedienen, etwa den luftigen Traversinersteg, 1994 projektiert, 1996 realisiert und leider 1999 bereits durch einen Felssturz zerstört. Hier offenbart sich das heimliche Vergnügen, die eigene Arbeit in einer eher wissenschaftlich als künstlerisch bestimmten Grundhaltung als Teil einer bestimmten beruflichen Tradition zu sehen, durch die Probleme und Lösungen Teile einer *boîte à outils* geworden sind, die man in- und auswendig kennt und deren Lieferanten man sich vertraut und nahe fühlt. Um sich davon zu überzeugen, genügt es, die anschauliche Erläuterung von Conzett zu lesen, in der er die Idee des Dreigurtträgers mit aussteifenden Brüstungen mit dem Konstruktionsverständnis des 18. Jahrhunderts erklärt.

Dieser Steg der „Veia Traversina" gibt uns damit Gelegenheit, diesen Essay mit einem Thema seines Werks abzuschliessen, das ich nun verschiedene Male bereits gestreift habe und das mir für ihn nicht nur im engen ingenieurmässigen Sinn massgebend und unabdingbar zu sein scheint, sondern das auch in seinen ästhetischen Vorlieben zum Ausdruck kommt. Es handelt sich um die Zeitlichkeit auch in der Form des Bauprozesses, des Ablaufs und der Art der Bauausführung mit allen daraus folgenden Auswirkungen. Der Standort quer über zwei abschüssige Hänge der Viamalaschlucht, die Möglichkeit, die Konstruktion an einem zugänglicheren Ort vorzumontieren und sie dann mit einem Helikopter einzufliegen, das Minimieren und Vereinfachen aller Arbeiten am Einbauort, um Kosten zu sparen und Risiken zu vermeiden, sind alles Faktoren, die mit zum komplexen und hybriden Erscheinungsbild der Brücke beigetragen haben. Eine Brücke, die aus der ingeniösen Überlagerung zweier Konstruktionen besteht, die getrennt zum Standort transportiert wurden, weil es die Gewichtslimiten so erforderten; zuerst ein leichtes Dreigurtfachwerk als tragender Unterbau, dann, hinterher, ein Überbau, ein „Laufgraben", der in Synergie den Unterbau versteift, stabilisiert und dessen empfindlichsten Teil, den Druckgurt aus Lärchenbrettschichtholz, vor der Witterung schützt. „Der Traversiner Steg", schreibt Jürg Conzett, „wird dadurch zu einem überlagerten System von hoher Redundanz". Diese statische Redundanz, dazu ausersehen, im Lauf der Zeit Stück für Stück der bewitterten (und damit möglichen Schäden ausgesetzten) Teile auswechseln zu können, findet sich wieder im komplexen, dichten, fast verwirrenden Erscheinungsbild der Passerelle. Eine Redundanz, deren Schönheit wir erst dann richtig ermessen, wenn wir die „geistige" Dimension der Zeitlichkeit aufsummieren: Zeitlichkeit der Baustelle und Zeitlichkeit der Lebensdauer. *Abgemessene Zeitlichkeit*, was auch bedeutet: Widerstand gegen die Zeitlichkeit des Wetters, gegen die Abnutzung der Zeit, im Takt mit den Schritten der Wanderer.

Die Zeitlichkeit als Thema, als Gegenstand eines Werks hat ihren tiefsten Ausdruck im Schweizer Pavillon der EXPO 2000 in Hannover gefunden, wo die einzigartige und ungewöhnliche Grundidee des Architekten Peter Zumthor dem Ingenieur Anlass bot, diese Idee kongenial mit der konstruktiven Durcharbeitung zu verweben. Weil eine Ausstellung per Definition eine zeitlich begrenzte Angelegenheit ist und deshalb die Zeitdauer zu einem

bestimmenden Element wird, hatte Zumthor einen Pavillon erdacht, dessen Struktur einen unmissverständlich „temporären" Charakter aufweisen sollte: er wählte dazu Holzstapel, wie sie uns vom vertrauten Bild dörflicher Sägereien her vertraut sind: gewaltige Beigen von Kanthölzern, präzis aufeinandergeschichtet und nach Sägemehl riechend. Sie machen den Eindruck, als sei eben die Tätigkeit des Aufbauens unterbrochen worden und das Holz nehme gerade jetzt seine eigentliche Arbeit auf, nämlich die, gut abzutrocknen, kurz bevor es zu Werkstätten und Baustellen abtransportiert wird.
Die Stapel weisen weder Nägel noch Schrauben auf, denn nach dem Ende der Ausstellung sollen die Hölzer und die anderen Hilfsmittel in verschiedenster Art weiter verwendet werden. Nur durch vorgespannte vertikale Zugstangen gehalten, bildet dieses Bauwerk in konstruktiver Hinsicht wirklich einen „lebenden Organismus", wie es der Ingenieur formuliert, denn während der Ausstellung nimmt die mittlere Holzfeuchte von 22 Prozent auf 14 Prozent ab. Dadurch verringern sich Gewicht und Höhe der Stapel spürbar und es braucht eine laufende Kontrolle und Nachjustierung. „Betrieb und Unterhalt eines derart lebendigen Bauwerks verlangen ebenso grosse Aufmerksamkeit wie der Bau. Wöchentlich werden Kontrollen des Spannungszustands durchgeführt. Dazu besitzt jede Feder zwei Schwindpegel, an denen die Dehnung leicht abgelesen werden kann. Wenn sich die Feder um 90 mm verkürzt hat, muss nachgespannt werden". Messen und justieren der Spannung der Federn, das Lot der Stapelwände überprüfen, die Vorspanneinrichtungen vor Korrosion schützen – all diese Verrichtungen erfordern einen eigentlichen Unterhaltstrupp, wie Jürg Conzett erklärt hat.
Würden wir uns auf das Bild der Holzstapel beschränken, ohne uns über den experimentellen und prozessualen Aspekt dieses Ereignisses – des *Happening* – Rechenschaft zu geben, das dieses Bauwerk, diese Baustelle geprägt hat, so hiesse dies, eine tiefe und hintergründige Botschaft über die begrenzte Zeit jedes Werks zu überhören, eine Botschaft, ersonnen vom Architekten in starker Komplizenschaft mit seinem Ingenieur.

Ausführliche Verweise zu den Zitaten befinden sich auf den Seiten 30-31 im englischen Text

Die Wahrnehmung der Landschaft
Notizen zu Eduard Imhof

Landkarten gehören zu meinen frühesten Kindheitserinnerungen. Mein Vater, Rudolf Conzett, war Vermessungsingenieur und besass Schränke, die mit Landkarten gefüllt waren. Ich habe mit Landkarten lesen gelernt; buchstabierte geheimnisvolle Namen, unsicher, wie sie zu betonen seien: DISENTIS, SARDONA oder KARWENDELGEBIRGE. Besonders interessant waren Verkehrswege, besonders im Gebirge: die gepressten Darmschlingen der Gotthardstrasse in der Tremolaschlucht, die offeneren, eleganten, durch kurze Tunnel unterbrochenen Serpentinen der Sustenpassstrasse. In starkem Gegensatz dazu standen die wie mit dem Zirkel gezogenen Wende- und Kehrtunnel der Eisenbahnlinien am Lötschberg, am Gotthard und im Albulatal. Meine ersten Erfahrungen zum Thema Technik und Landschaft erfolgten also auf den Blättern der Eidgenössischen Landestopographie und die imaginären Reisen auf den Landkarten erweckten intensive Vorstellungen der auf der Karte durchquerten Landschaft. Selbstverständlich waren diese Urbilder nie zutreffend und wurden im Primarschulalter allmählich von tatsächlichen Reiseerfahrungen überlagert. Doch erinnere ich mich heute noch gut und gerne an diese künstlich erzeugten Landschaftsbilder, etwa an das Gebirge, das ich in Überschätzung der tatsächlichen Äquidistanz der Höhenkurven zwischen Flawil und Gossau phantasiert hatte. Gespannt erwartete ich den Familienausflug zu meinem Taufpaten nach St. Gallen, und leise enttäuscht erkannte ich dann meinen Irrtum während der Eisenbahnfahrt durch die mir damals etwas zu liebliche reale Hügellandschaft. Immerhin, der erstmalige Blick auf die Sitterviadukte war in der Tat dramatisch und bleibenden Eindruck hinterliess die beim Mittagessen nebenbei gemachte Bemerkung Onkel Paul's, Buchhalter einer Bauunternehmung, der Bahnhof St. Gallen befinde sich in einem ehemaligen Sumpf und stehe deshalb auf Pfählen und die Vorstellung, das äusserst schwere Bahnhofsgebäude und die anschliessende Bahnsteighalle würden nur durch Reihen unsichtbarer Pfähle vor dem Versinken im Erdboden bewahrt, blieb mir lange zutiefst unheimlich und unfassbar.
Eduard Imhof (1895-1986) war eine schillernde Persönlichkeit im besten Sinne[1]. Er betätigte sich als Ingenieur, Zeichner, Maler und Forscher, unterrichtete von 1919 bis 1965 Kartographie an der ETH Zürich, unternahm unter anderem Expeditionen zum Berg Ararat und ins Minya-Konka-Gebirge in West-Sichuan, war ein unermüdlicher Zeichner, Maler und Landschaftsmodellbauer und fertigte verschiedenste Schulwandkarten, den Schweizerischen Mittelschulatlas und den Atlas der Schweiz, um nur einige seiner Arbeiten zu nennen. Imhof sagte über die Kartographie:

> den tiefen inneren Sinn, ihre eigentliche Seele, erhält sie durch die Erkenntnisse geographischer Wissenschaft und durch ein gewisses Mass von Kunstempfinden, das die verschiedenen zeichnerischen Elemente gegeneinander abzuwägen hat[2].

Seine Lehre verstand die Herstellung von Karten als umfassende Tätigkeit bis hin zu Ortsnamenforschung und Drucktechnik, und jeder während seiner 45-jährigen Lehrtätigkeit an der ETH ausgebildete Vermessungs- und Bauingenieur hatte seine Vorlesungen besucht. Dadurch erhielten seine Ideen eine ausserordentlich breite Wirkung, und Imhof beeinflusste insbesondere die Herstellung der schweizerischen Landeskarten, die in den Massstäben 1:25000, 1:50000 und 1:100000 für das ganze Land ab 1935 neu erstellt wurden.
Imhofs Buch *Gelände und Karte* war mir wichtig. Dies lag nicht nur an der Karnevalsbrille mit einem roten und einem blauen Augenglas im hinteren Buchdeckel, durch welche

Die Wahrnehmung der Landschaft
Notizen zu Eduard Imhof
Jürg Conzett

das Anaglyphenbild des Uetlibergs dreidimensional wahrnehmbar wurde. Letzten Winter habe ich dieses Buch nach mehr als 30 Jahren wiedergelesen und war überrascht, wie gegenwärtig mir Imhofs Strichzeichnungen und Photographien über die ganze Zeit hinweg geblieben sind und wie stark sie mich geprägt haben. – Imhofs Buch erscheint vordergründig als rein technische Gebrauchsanleitung für Karten. Eigentlich ist es ja ein Buch für Soldaten, denn es wurde 1950 vom schweizerischen Militärdepartement herausgegeben. Doch die ernsthafte Auseinandersetzung mit der menschlichen Wahrnehmung führt bereits in den ersten Kapiteln zu allgemeinen Feststellungen, die aufhorchen lassen:

> Die Kunst der *Geländebeobachtung* liegt nicht darin, alles und jedes zu sehen und in sich aufzunehmen. Vielmehr soll aus der reichen Fülle von Eindrücken nur festgehalten werden, was für die Geländekenntnis wichtig oder bemerkenswert erscheint. Das Sehen soll durch Überlegung auf ganz bestimmte Dinge gelenkt werden. Es ist wichtig, dass das Sehen *bewusst* erfolge. Beobachten ist *bewusstes Sehen.*[1]

Und einige Absätze weiter:

> Die angeborene Fähigkeit des räumlichen Sehens, die perspektivischen Erscheinungen, Schatteneffekte, kleinste Verschiebungen unserer Augen und eine Fülle von Erfahrungen über die Formen bewirken ein automatisches, völlig unbewusstes Umdeuten der Ansichten in Form- und Lagevorstellungen. ... Was man nicht sieht, kann durch keine Erfahrung oder Überlegung sichtbar gemacht werden. Es geht hier vielmehr nur darum, sich der *Möglichkeiten* von Täuschungen bewusst zu werden.[4]

Imhofs Untersuchungen rücken sein Buch in die Nähe von Landschaftsmalerei, Gartenkunst und Architekturbetrachtung. Kaum zufällig wird die Wahrnehmung von Bergformen mit derjenigen von Häusern verglichen. Die photogrammetrische Aufnahme der Churfirsten von Süden enthüllt, dass auch Berge über Fassaden verfügen (umgekehrt wird heute die Photogrammetrie auch für Aufnahmen komplexer Gebäudefassaden eingesetzt). Die feinfühlig registrierten Unterschiede der Geländewahrnehmung zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten finden ihre Parallelen in Lehrbüchern englischer Gartenkunst. Und die falsch angenommene Blickneigung ist aus dem Repertoire der geknickten perspektivischen Achsen bestens bekannt. Die scheinbaren Beziehungen in die Tiefe gestaffelter Berge sind dem Wanderer vertraut und die mit der Bewegung stets wechselnden Blickfelder machen den Reiz jeder Bergtour aus – mein Verhältnis zu Bergen ist eher räumlich denn sportlich – es sind letztlich aber auch dieselben Phänomene, die Rowe, Slutzky und Hoesli mit *Transparenz* beschreiben.

Während der Arbeit am Projekt des zweiten Traversinerstegs habe ich nicht an Imhofs Buch zurückgedacht, doch einmal mehr wurde mir der Einfluss nachträglich bewusst, denn natürlich hat die Abbildung des Blicks aus der Bergstation der Seilbahn Les Avants-Sonloup diesen Entwurf stark geprägt. Dass „oben" im Bild nicht zwangsläufig „oben" in der Realität bedeutet, hilft mit, den Tiefblick zu entschärfen – im Gegensatz zum Tiefblick über die Marwies-Nordwand, wo gleichsam das Urbild von Schwindel vermittelt wird; eine abfallende Wiese verschwindet an einer Kante, weit darunter erscheint sie wieder in gänzlich anderem Sichtwinkel, was die vertikale Distanz erahnen lässt – ein spannungsvollerer Effekt lässt sich kaum denken. Ähnliche Wirkungen – die Strasse verschwindet, und taucht in grösserer Distanz wieder auf – wurden bei der Trassierung der deutschen Reichsautobahnen einkalkuliert.

Aufnehmen – im wörtlichen wie im übertragenen Sinn – gehört zu den wichtigsten Tätigkeiten des Ingenieurs und des Architekten. Man kommt in eine fremde Stadt, beginnt zu vermessen und am Abend ist einem der Bauplatz in allen Einzelheiten bekannt, man kennt die kleinsten Unebenheiten des Terrains, die Stellung der Bäume, das Format der Randsteine. Thema der ersten Semesterarbeit in meinem Unterricht an der Fachhochschule ist die Beschreibung eines Bauwerks. Die Studierenden setzen sich damit auseinander, was man sieht, aber auch, was man nicht sieht. Diese Arbeit betrachte ich als grundlegend. Das Interesse an Bauwerken, die Lust an der Auseinandersetzung mit Bestehendem ist die wichtigste Voraussetzung für ein Ingenieur- oder Architekturstudium. Analog zu *Gelände und Karte* gibt es auch hier den materiellen und den geistigen Bereich. Die materielle Wirkung eines Bauwerks erlebt man nur am Ort; ich bin zu Fuss über die George Washington Brücke gegangen, um zu wissen, was die Spannweite von einem Kilometer bedeutet, habe mit Herzklopfen die Pylone des Pont Gisclard erklettert und unvergesslich ist, wie mich Bridge Inspector Gordon Mead durch die Rohre der Royal Albert Bridge geführt hat. Keine Photographie, keine virtuelle Simulation ist fähig, die unmittelbare Ausstrahlung des wirklichen Bauwerks zu ersetzen, vorausgesetzt man ist *aufnahmefähig*. Der Rest ergibt sich gleichsam von selbst: man will einfach wissen, weshalb der Bogen des Wiesener Viadukts im Scheitel stärker gekrümmt ist als im Viertel, und schon brütet man über dem Schwerpunkt der elastischen Gewichte und zieht Antipolare an Elastizitätsellipsen und natürlich erwacht aus dieser Beschäftigung der Drang des Nachahmens. Die mathematischen Instrumente erhalten ihren Glanz, wenn man weiss, wozu sie dienen. Aber das Sehen, Aufnehmen, Inventarisieren steht am Anfang.

1 Imhof, Viola: *Eduard Imhof, ein Leben mit Landkarten*, Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik, Verein für wirtschaftshistorische Studien, Meilen 1990
2 Imhof, Eduard: *Gelände und Karte*, Erlenbach-Zürich 1950
3 idem, S. 13
4 idem

Überbauung Ottoplatz, Chur

Structure as Space

Den in diesem Abschnitt vorgestellten Konstruktionen ist gemeinsam, dass sie Innovation auf dem Gebiet des Ingenieurbaus nicht durch den Einsatz neuer Materialien oder spektakulärer statischer Systeme suchen, sondern dass ihre Gestalt vielmehr durch den Einbezug äusserer, nicht-statischer Gegebenheiten bestimmt wird. Die Bereitschaft, irgendwelche disziplinfremde Ansprüche zu treibenden Kräften der eigenen Arbeit zu machen, sich also „dreinreden" zu lassen, entspricht dem Wunsch nach einer Synthese von Ingenieurbau, Architektur, aber auch weiterer Disziplinen wie dem Unternehmertum, in der Hoffnung, dass daraus ein wohlabgestimmte Übereinstimmung der gegenseitigen Ansprüche entstehe. Unterstützt wird diese Suche von der Überzeugung, dass ein solches Vorgehen neben intellektueller Befriedigung auch ganz profane funktionelle und ökonomische Vorteile erzielt und sich somit in mancher Beziehung als sinnvoll erweist.

Ich habe in verschiedenen Diskussionen erlebt, dass diese Zielsetzung gängigen Mustern ingenieurmässigen Verhaltens widerspricht. Es geht bei den hier dargestellten Bauten also nie darum, einen isolierten „Beitrag" des Ingenieurs durch „Ausdruck des Kräftespiels" oder „Ablesbarkeit des Tragverhaltens" sichtbar zu machen. So ist das Tragsystem des Voltaschulhauses durch die ihm zugewiesenen Sichtbetonflächen zwar unverhüllt erkennbar, seine eigentliche Wirkung kann aber erst durch das Erkennen der räumlichen Zusammenhänge durch alle Stockwerke hindurch verstanden werden. Ähnlich bleibt beim Gebäude am Ottoplatz der eigentliche Ursprung des Schachbrettsystems, die sich selbsttragenden Korridorwände, dem unbefangenen Benutzer verborgen – er kann schliesslich ohne Schnittplan nicht mehr als ein Geschoss aufs Mal wahrnehemen – dafür wird das Tragsystem dann in der repräsentativen Fassade zum Manifest der Zusammenarbeit von Architekt und Ingenieur, hier durchaus nicht mehr nur sachlich begründet, sondern auch in dem Sinn provozierend, wie Colin Rowe die Fassade der Maison du Peuple in Brüssel beschreibt: „...Hortas Werk ist zuallererst Polemik...[es] fordert zu einer Reaktion auf; und demgemäss zeigt die Maison du Peuple auch eine Menschlichkeit, die das McGlurg Building nicht an den Tag legt"[1].

Beim Bauen mit Holz ist die Frage des Zeigens und Verhüllens schon aus Gründen des konstruktiven Holzschutzes ein zentrales Thema; die in geduldiger Arbeit um die Anforderungen der Fensteröffnungen herum konstruierte Fassadenstruktur der Holzfachschule Biel wird durch die davor gehängte Fassade gleichzeitig verhüllt wie auch erklärt. Bei diesem Bau haben wichtige ausführungstechnische und unternehmnerische Belange den Entwurf stark beeinflusst. In härtester Form stellen sich diese Fragen beim Brückenbau und die Nagelpressleimung des Holzbauwerkes Kaufmann, die überhaupt torsionssteife Gurtungen erst realisierbar machte, bildete eine der Grundlagen der konstruktiven und räumlichen Überlegungen des Entwurfs des Murstegs in Murau. Dass schliesslich auch ein ordinäres Rautenfachwerk eine psychologische Wirkung auf wartende Flugpassagiere ausüben könnte, war das überraschende und schöne Resultat der Arbeit am Wettbewerb für das Busgate des Flughafens in Zürich.

1 Rowe, Colin: „Chicago Frame", in: *The Mathematics of the Ideal Villa and Other Essays*, Cambridge, Mass. 1976

Überbauung Ottoplatz, Chur
Architekten: Jüngling & Hagmann

Die Überbauung Ottoplatz zeigt in manchen Aspekten die typischen Probleme eines städtischen Baus: ein komplexes Raumprogramm mit teilweise zum Zeitpunkt des Baubeginns noch nicht feststehenden Nutzern, unterschiedlichste Anforderungen an Raumgrössen und Belichtung, Wunsch nach Flexibilität, aber auch nach Repräsentation einer wichtigen öffentlichen Institution. Die daraus entstehende Verschachtelung verschiedener Raumtypen führt zu statisch-konstruktiven Problemen, die beim vorliegenden Bau auf ungewöhnliche Art gelöst werden. Die Geschossdecken, Korridorwände und Fassaden der Obergeschosse bilden nämlich zusammenhängende, steife Kästen, die grössere Öffnungen von 20 bis 30 m überspannen und sich nur auf die Trennwände der einzelnen Gebäudetrakte abstützen. Zu diesem Zweck sind sämtliche Öffnungen für Korridortüren und Fenster in einem schachbrettartigen Muster angeordnet. Die Tragwirkung dieser vertikalen Elemente kann man sich ähnlich wie die eines mehrgeschossigen, in den geschlossenen Wandteilen enthaltenen Rautenfachwerks vorstellen.

Dieses statische Konzept verleiht dem Gebäude einige charakteristische Merkmale. Die Obergeschosse sind zweibündig organisiert, mit festen, unverrückbaren Korridorwänden, quer dazu jedoch frei einteilbaren Büroräumen. Die Geschossdecken wirken als liniengestützte Platten, sind gleichzeitig aber auch „Flanschen" des Haupttragsystems. Das Erdgeschoss ist stützenfrei. Seine grossen, hallenartigen Räume können ohne Einschränkung für Versammlungssäle, Konferenzräume, Verkaufslokale und ähnliches genutzt werden. Der horizontale Unterbruch der Tragstruktur auf Höhe des Erdgeschosses erlaubt darüberhinaus, die oberirdischen Büro- und Wohngeschosse unabhängig vom Stützenraster der unterirdischen Parkflächen einzuteilen. Interessant ist dabei, dass dieser statische Kraftakt ohne spektakuläre Abfangkonstruktionen auskommt, sondern gleichsam „von selbst" ertolgt, indem für die Tragfunktion einzig ohnehin vorhandene Bauteile wie Decken und Wandscheiben benutzt werden. Es gibt also ab Erdgeschossniveau keine einzige Stütze und keinen Unterzug. Der Mehraufwand gegenüber konventionellen Bauweisen beschränkt sich darauf, Wände in Beton statt in Gips auszuführen und zur Überdrückung der Zugkräfte Vorspannkabel einzulegen.

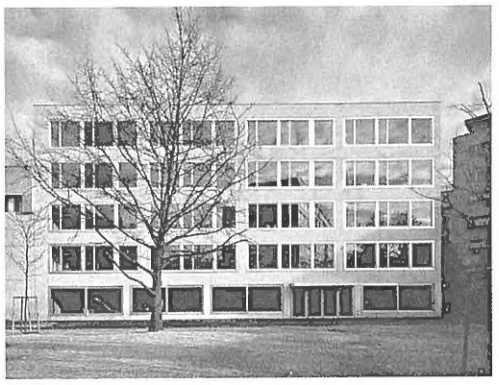
Während im innern Korridor-System die Wandscheiben aus Ortbeton in Sichtqualität bestehen, gelangen für die Fassade vorfabrizierte Betonelemente mit geschliffener und sandgestrahlter äusserer Oberfläche zum Einsatz. An den Fassaden liegt die Tragkonstruktion also aussen. Zunächst ungewohnt, ist diese Anordnung jedoch durchaus plausibel: die robustesten Teil der Aussenwand werden dem Wetter ausgesetzt und schützen die empfindlicheren Fenster und Verschattungen, die von innen her an den Rohbau angeschlagen sind. Auch die Wärmedämmung befindet sich innen, in der Ebene der Fenster. Im Hohlboden und über den abgehängten Decken wird sie ins Gebäudeinnere weitergeführt, sodass Wärmebrücken vermieden sind.

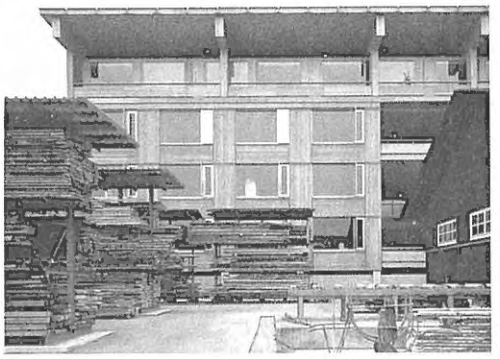
Die horizontale Aussteifung der Obergeschosse erfolgt über die verschiedenen Gebäudekerne, die Treppen und Lifte umfassen. Das ganze Gebäude ist fugenlos, nur während der Bauausführung wurden temporäre Schwindgassen angeordnet. Weil sich der grösste Teil der Konstruktion im Gebäudeinnern befindet, bleibt seine Temperatur praktisch konstant. Die Fassadenteile werden – ähnlich wie lückenlos verschweisste Eisenbahnschienen durch ihre Unterlage – vom inneren Gebäudeteil festgehalten und reagieren auf Wärme und Kälte durch wechselnde Spannungen. Der hohe Vorspanngrad dieser Partien verhindert, dass dabei Risse auftreten.

Das Ottoplatz-Gebäude ist eine Antithese zum traditionellen Skelettbau. Je komplexer die Anforderungen an die Raumaufteilung (vor allem an die stützenfreie Raumgrösse) sind, desto eher stösst dieser an seine Grenzen. Dies zeigte sich bereits bei den frühen Sanatorien und Hotelbauten in Beton-Skelettbauweise. So musste beim Sanatorium Schatzalp in Davos über dem Konversationssaal das Skelett abgefangen werden und dies geschah über ein betoniertes zweigeschossiges Hängewerk. Einzig sichtbares Merkmal dieser Massnahme ist die Versetzung der Achsen der Türöffnungen zwischen dem ersten und zweiten Obergeschoss. Beim Ottoplatz wurde einfach dieser Grundgedanke *systematisiert*. Auch beim Dorchester-Hotel in London (1928), von Owen Williams[1] in Personalunion von Ingenieur-Architekt erbaut, wird die Idee des reinen Skelettbaus in einzelnen Teilen unterlaufen, die innere Tragstruktur besteht nicht aus Stützen, sondern aus Scheiben, die entlang der Korridorwände angeordnet sind.

Ein wesentlicher Grund für den Erfolg der Skelettbauweise ist aber seine organisatorische Simplizität: der Architekt wählt den Raster und der Ingenieur setzt alles daran, die Stützenmasse zu minimieren. Dies bedeutet Kooperation auf dem kleinsten gemeinsamen Nenner und die sogenannten „Schnittstellen" sind klar definiert. Dagegen erzeugt der Scheiben-Platten-Bau laufend neue Konfliktmöglichkeiten, der Rohbau des Hauses muss über alle Geschosse von Architekt und Bauingenieur gemeinsam entworfen werden und jede Entscheidung des einen Partners hat Auswirkungen auf die Arbeit des anderen. Hier, und weniger in den anspruchsvollen technischen

Von links:
Voltaschulhaus, Basel
Schweizerische Ingenieur- und Fachschule für Holzwirtschaft, Biel





Problemen, dürfte das Haupthindernis für eine weite Verbreitung dieser funktionell und wirtschaftlich vorteilhaften Bauart liegen. Auch die in weiterem Sinn vergleichbaren Bauten zeugen von einer besonderen Anstrengung, so etwa das Edificio Giunta e Consiglio des Palazzo della Regione in Trento (1962) von Architekt Adalberto Libera und Ingenieur Sergio Musmeci[2].

1 Cottam, David: *Sir Owen Williams 1890–1969*, London 1986
2 Musmeci, Sergio: „Rapporto tra struttura e architettura nell'ultima esperienza dell'Architetto Libera: il palazzo della Regione a Trento", in: *L'Industria Italiana del Cemento*, April 1976

Voltaschulhaus, Basel
Architekten: Miller & Maranta

Während sich die Tragwerke des Gebäudes am Ottoplatz letztlich auf *einfache Balken* unterschiedlicher Spannweite zurückführen lassen, spielt beim Voltaschulhaus *die gegenseitige Verbindung einzelner Wandscheiben über die horizontale Steifigkeit der Decken* eine entscheidende Rolle. Auch bei diesem Bauwerk gilt das Prinzip des Anstosses von aussen: gegeben war ein riesiger Trog, 6 m tief in den Boden eingelassen, zur Verfügung gestellt von einem nicht mehr gebrauchten Öltanklager. Es lag nahe, auf dem ohnehin engen Grundstück diesen Trog für die sportlichen Aktivitäten zu nutzen, da sich in ihm bequem eine Doppelturnhalle mit sämtlichen Nebenräumen unterbringen liessen. Als Folge daraus mussten die Unterrichtsräume über die Turnhalle frei gespannt werden. Nach einigen vergleichenden Studien erwies es sich als sinnvoll, eine innere längslaufende Tragwand in die Wanne zu stellen, die das Gebäude in zwei Felder von 28 m und 12 m aufteilt. Wie auch beim Ottoplatz bildet das Erdgeschoss eine statische und räumliche Zäsur. Der darüberliegende Gebäudeteil liegt derart auf der längslaufenden Tragwand auf, dass er im Quersinn statisch einen einfachen Balken mit Kragarm bildet. Diese statische Funktion zeigt sich in der Westfassade, indem dort die Fensterteilung des Erdgeschosses gegenüber derjenigen der darüberliegenden Stockwerke verschoben ist.

Die Abmessungen des Troges bestimmten im Grundriss die Umrisse des neuen Hauses. Die mit 40 m recht grosse Gebäudetiefe verlangte nach Innenhöfen zur guten Belichtung der Erschliessungszonen. Diese verlaufen mäanderförmig und führen zu einer im Grundriss annähernd symmetrischen Verteilung der querlaufenden Tragwände, die aber im Erdgeschoss auf eine betont asymmetrischen Auflagerstruktur trifft. Diese asymmetrische Lagerung führt in einzelnen Wandscheiben zu stark drehenden Momenten, die über die horizontale Scheibentragwirkung der Decken aufgenommen werden. Dies ist deshalb möglich, weil die Decken von den wenig perforierten Stirnfassaden (im Süden und Norden) horizontal unverschieblich gehalten werden. Die beträchtlichen Kraftwirkungen in den Deckenscheiben werden durch die im Grundriss gekrümmten Spannkabel (die „Scheibenvorspannung") anschaulich gemacht, während die im Grundriss gerade laufenden Kabel die üblichen Biegebeanspruchungen aus der Ebene (die „Plattenwirkung" über die 8.26 m betragenden Spannweiten zwischen den tragenden Wandscheiben) abdecken. Diese „Plattenvorspannung" ist deshalb ungewöhnlich stark, weil wegen der räumlichen Tragwirkung über die grossen Spannweiten ein starkes wirtschaftliches Interesse bestand, die Eigenlast der tragenden Teile so weit wie möglich zu verkleinern. Die Decken besitzen deshalb nur 25 cm Stärke und erreichen damit die Grenze der möglichen Schlankheit. Im Gebäudeinnern sind die tragenden Bauteile durch Sichtbetonoberflächen ausgezeichnet und unterscheiden sich dadurch von den verputzten nichttragenden Trennwänden. Da die Tragwände ausschliesslich quer zum Gebäude verlaufen, übernehmen die längslaufenden Fassaden die Aufgabe der Aussteifung gegen horizontale Einwirkungen aus Wind und Erdbeben.

Die Durcharbeitung der Einzelheiten der Konstruktion – in Zusammenarbeit mit dem Büro Affentranger & Partner aus Birsfelden – gab Anlass zur Entwicklung einiger Besonderheiten. Aus dem Brückenbau bekannt ist das Problem, in Stegen oder Wänden genügend Platz zu haben, um neben den Spannkabeln den Beton einwandfrei einbringen und verdichten zu können. Hier wurde durch den Einsatz hochkant gestellter „Flachkabel" Platz gespart; da Flachkabel üblicherweise zur besseren Ausnützung der Exzentrizitäten in Decken eingesetzt werden, könnte dieses Detail schon fast als Symbol für die statische Verwandtschaft von Decken und Wänden an diesem Bau gelten – im weiteren sind die Kabelführung und die Verankerungsstellen mit Rücksicht auf die etappierte Ausführung der Wände angeordnet worden. Im Erdgeschossbereich werden grosse Kräfte über die Kontaktstellen rechtwinklig übereinanderstehender Wandscheiben durchgeleitet. Da es nicht sinnvoll gewesen wäre, die Wandstärken wegen einiger weniger Ausnahmepunkte generell zu erhöhen, erfolgt die Kraftübertragung über zwei aufeinandergelegte massive einbetonierte Stahlklötze, von denen aus besenförmige Fächer aus Bewehrungsstählen die Kräfte in die Wände verteilen.

Schweizerische Ingenieur- und Fachschule für die Holzwirtschaft, Biel
Architekten: Meili, Peter

Das Projekt für das neue Lehrgebäude entstand anfangs der neunziger Jahre in einem Projektwettbewerb für Architekten- und Ingenieurgemeinschaften. Die Holzfachschule Biel, auf die Ausbildung von Holzfachleuten und auf Holzforschung spezialisiert, wollte damit ein für den Stand des Holzbaus repräsentatives Gebäude erhalten. Die dabei vorliegenden Grössenverhältnisse waren für schweizerische Verhältnisse neu und ungewohnt, handelte es sich doch um ein viergeschossiges Gebäude von 90 m Länge und 22 m Breite. Ganz zentral waren Fragen der Feuersicherheit, aber auch der Wirtschaftlichkeit, würde man doch die Bauweise stets mit der herkömmlichen und angeblich billigeren Massivbauweise vergleichen.

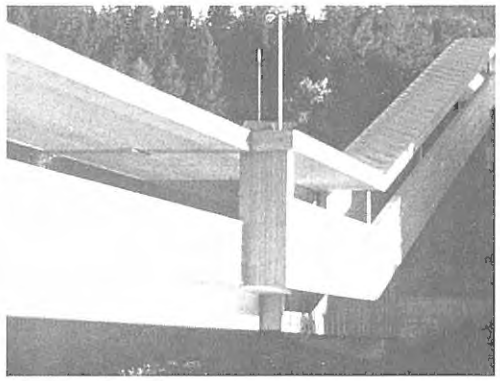
Der Entwurf bezog diese besonderen Umstände von Anfang an mit ein: das Konzept, verschiedene in sich selbständige hölzerne Einheiten um einen zentralen feuersicheren Kern anzuordnen, führt zu vielfältigen räumlichen und organisatorischen Möglichkeiten und löst gleichzeitig Probleme der Machbarkeit: die in der Mitte des Gebäudes angeordnete Betonstruktur enthält die Erschliessungseinrichtungen für Personen und Medien und umfasst die nichtbrennbaren Fluchtwege. Die räumliche Unterbrechung der einzelnen Holzzellen entspricht bereits in der Anlage dem Grundsatz, einen allfälligen Brand lokal begrenzt zu halten. Unabhängig davon verhindert eine Sprinkleranlage die Ausbreitung eines Feuers und das Holztragwerk ist auf mindestens 30 Minuten Abbrandzeit dimensioniert.

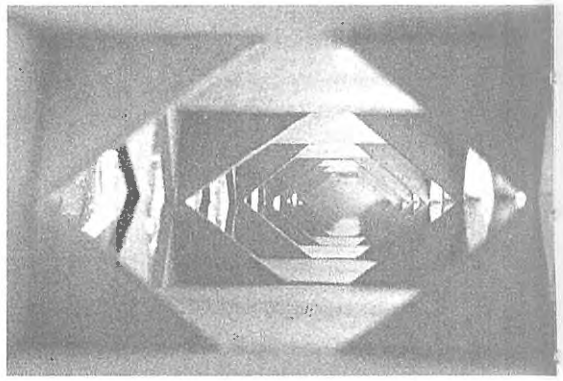
Diese Disposition bestimmt den Bau bis in alle Einzelheiten: der schwere Mittelteil dringt um ein Kellergeschoss inen ehemaligen Seegrund ein, als wolle er sich dadurch einen Auftrieb zunutze machen, während die umliegenden Holzzellen über Rammpfähle sozusagen in den Boden genagelt sind. Die relative Nachgiebigkeit der Pfähle in horizontaler Richtung erlaubte es, den ganzen Bau fugenlos auszubilden; durch eine geringe horizontale Vorspannung des Kellergeschosses, die während des Bauvorgangs laufend erhöht wurde, konnten Risse aus dem Schwinden und Kriechen (wegen der Längsvorspannung der freitragenden oberen Decken) des Betons vermieden werden – ein Beispiel dafür, dass ein sogenannter „schlechter Baugrund" nicht existiert; es gibt nur Baugründe mit speziellen Eigenschaften, die man sich zunutze machen soll.

Die Holzzellen, die die Schulräume umfassen, tragen sich selbst, belasten also den Betonkern nicht mit vertikalen Kräften, benutzen ihn aber als horizontalen Stabilisator in Querrichtung. Die Geschossdecken, als nebeneinanderliegende Hohlkastenelemente ausgebildet, spannen von der Fassade zur inneren Holztragwand, die vor dem Betonkern parallel zu diesem verläuft. Die querlaufenden Abschlusswände haben bezüglich der Zellen keine Funktion, tragen jedoch die „Balkone", die, zwischen die Zellen gespannt, rechtwinklig zur Richtung der Geschossdecken spannen.

Für die Wahl des Systems der Geschossdecken als eines der wesentlichsten Konstruktionselemente, wurde bereits während des Vorprojekts ein Systemwettbewerb unter Holzbauunternehmern durchgeführt, in dessen Folge zehn verschiedene Vorschläge detailliert auf ihre architektonischen, konstruktiven und wirtschaftlichen Eigenschaften hin untersucht werden konnten[1]. Die schliesslich gewählten hölzernen Hohlkastenelemente zeichnen sich durch hohe Steifigkeit bei geringem Gewicht aus. In der weiteren Bearbeitung wurden die unteren Bretter der Hohlkastenelemente in den schwach beanspruchten Zonen nahe ihrer Auflager weggelassen, sie wirken an diesen Stellen „aufgeschnitten" und geben so Einblick in ihren Aufbau, erfüllen dank einer hier in

Von links:
Mursteg, Murau
Busgate, Flughafen Zürich-Kloten



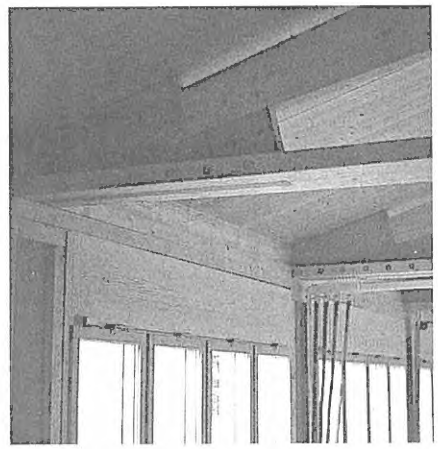


ihrem Innern angebrachten Dämmplatte aber auch eine raumakustische Funktion. Der Nachweis der F30-Brandwiderstandsanforderung war nur durch einen eigens zu diesem Zweck durchgeführten Abbrandversuch möglich.
An die hölzerne Dachkonstruktion werden statisch wesentlich geringere Anforderungen als an die Decken gestellt, da die Schneelasten viel geringer als die Nutzlasten der Geschosse sind. Davon profitiert das Attikageschoss, das konstruktiv im Gegensatz zu den unteren Geschossen als „Halle mit Stützen" ausgebildet ist und eine freie Nutzung mit nichttragenden Trennwänden ermöglicht. Im doppelten Achsabstand der Fundation spannen sich quer zum Gebäude hohlkastenförmige Binder, die mit starken Auskragungen das Vordach bilden. Über ihre biegesteife Verbindung mit den äusseren Pfosten bilden sie Halbrahmen, die die Stabilität des Daches in Querrichtung gewährleisten. Über diese Binder spannt sich in Längsrichtung eine längslaufende Schicht schlanker Hohlkastenelemente, die als Gerberträger wechselseitig versetzte Stösse aufweisen.
Interessant ist die Übereinstimmung von Erscheinung und Konstruktion am Beispiel der Längsfassade. Die Schulzimmer sind jeweils 9.50 m lang. Daraus ergibt sich ein sinnvolles Achsmass für die Pfahlfundation von 4.75 m. Grundelement der weiteren Entscheidungen ist das Fenster. Aus baurechtlichen Gründen ist die Gesamthöhe des Baus beschränkt. Deshalb wird Wert auf schlanke, raumsparende Deckenkonstruktionen gelegt. Dennoch ist die Raumhöhe im Verhältnis zur Raumtiefe eher gering. Umso wichtiger ist die möglichst hohe Situierung der Fenster, um eine gute Belichtung des Raumes sicherzustellen. Für den Entwurf der Konstruktion bedeutet dies, dass kräftige Fenstersturzbalken auf alle Fälle vermieden werden müssen. Dies ist nur dann möglich, wenn die Deckenkonstruktion an der jeweils darüberliegenden Fensterbrüstung aufgehängt wird. Zu diesem Zweck liegen die Deckenelemente auf einem dünnen, 15 cm hohen Holzbalken (die Abmessungen entsprechen den minimalen Forderungen nach Feuersicherheit), der alle 70 cm mit einer Gewindestange an den obenliegenden Brüstungsträger gehängt ist. Der Brüstungsträger misst 12 x 80 cm und ist mit diesen Massen gerade in der Lage, die Deckenlast über eine Fensteröffnung von 3.50 m zu tragen. Seitlich der Fenster stützt er sich auf vertikale Pfosten (und nicht etwa auf die Hauptpfosten im 4.75 m Abstand, dafür wäre die Spannweite zu gross). Diese seitlichen Fensterpfosten sind ihrerseits über schubsteife Furnierschichtplatten mit den Hauptpfosten verbunden. Die Scheibenwirkung der Furnierschichtplatten sorgt gleichzeitig für die Längsaussteifung der Fassade. Kleine Ausnahmen entstehen an den Rändern, so ist der unterste Brüstungsträger an den Fensterpfosten und an den Furnierplatten aufgehängt und über dem dritten Geschoss ersetzt ein breiter liegender Balken den fehlenden Brüstungsträger. Die statischen Verhältnisse der Fassade können als flächig wirkend charakterisiert werden, sie bestimmen die Aufteilung der vollen und leeren Fassadenteile und die Hauptrichtung der Kräfte wird durch die Richtung der Bretter der Fassadenverkleidung diskret angedeutet.
Solche *synthetische Beziehungen* zwischen architektonischem Konzept und Konstruktion bestimmen den ganzen Bau. Bezeichnend dafür ist, dass auch die Frage der relativen Wirtschaftlichkeit zu einem Massivbau nie exakt beantwortet werden konnte. Eine Studentenarbeit der Fachhochschule Chur, die einen alternativen Entwurf in Massivbauweise untersuchte, entdeckte verschiedene Schwierigkeiten, die mit der Thematik innen-aussen zu tun hatten. So wären die Balkone zwischen den Zellen in Beton viel schwieriger als in Holz zu lösen gewesen, hätten sie doch entweder auf eine autonome Tragstruktur abgestellt, oder dann mit aufwendigen und hinsichtlich Dauerhaftigkeit fragwürdigen wärmedämmenden Anschlüssen an die innere Tragstruktur verankert werden müssen. Diese Probleme machten einmal mehr deutlich, wie stark der ausgeführte Entwurf mit den Charakteristiken seines Materials verknüpft ist und innerhalb eines Netzwerks von Bezügen jede Beliebigkeit vermeidet.

1 Hochbauamt des Kantons Bern: Deckensystemwettbewerb für die Holzfachschule Biel, Bern 1992. Dieser Wettbewerb löste fruchtbare Diskussionen aus, die auch die später erstellten Deckensysteme der Schulgebäude in Duvin und St. Peter beeinflussten.

Mursteg, Murau
Architekten: Meili, Peter
1993 veranstaltete das Kulturministerium des Landes Steiermark im Rahmen der steirischen Landesausstellung „Holzzeit" einen Projektwettbewerb für eine gedeckte Holzbrücke über die Mur. Die Brücke befindet sich in einer städtischen Situation mit verschiedenen Verkehrsbeziehungen in unterschiedlichen Höhenlagen. Ein horizontaler Fuss- und Radweg führt in mittlerer Höhe über den Fluss. Auf der Südseite schliesst sich ein schmaler gedeckter Aufgang an die Hauptbrücke und verbindet sie direkt mit dem höher gelegenen Bahnhof, während am gegenüberliegenden Ufer in ähnlicher Art eine schmale Treppe zur Uferpromenade hinunterführt.
Die Konstruktion des Murstegs beruht auf zwei Grundgedanken, der eine ist *konstruktiver*, der andere *räumlicher* Natur. *Konstruktiv* ist die Idee des Zentralträgers, der der Konstruktion den bestmöglichen Witterungsschutz bietet. Räumlich bedingt ist die Entscheidung, die Brücke aus Scheiben und Platten aufzubauen und dadurch für die Benutzer unterschiedlichste Situationen zu schaffen, die über die Gegensatzpaare steile Treppe–flacher Weg, enge Gasse–breiter Platz oder gelenkter Blick –weite Aussicht charakterisiert werden können. Auch wenn der Ursprung der meisten Entwurfsentscheidungen dieser Brücke unschwer zuzuordnen ist – man wird zu Recht hinter dem Prinzip des zentralen Rahmens den Ingenieur und als Urheber der im Grundriss exzentrisch angeordneten Schubscheiben den Architekten vermuten – wurden doch die aus diesen Ausgangspunkten abgeleiteten „Motive" im Lauf der Projektierung derart stark aufeinander bezogen, dass das fertige Produkt sowohl als Raumabfolge wie auch als technische Konstruktion jeweils als in sich stimmig betrachtet werden kann. So ergab sich aus der *räumlichen* Entscheidung, die Schubscheiben zur Längsachse zu versetzen, die technische Möglichkeit, diese seitlich an die Gurte anzuschlagen, woraus eine sehr simple Verbindung mit Gewindestangen und duktilen Dübeln möglich wurde. Gleichzeitig und wie von selbst ergab sich daraus eine grosse Auflagerfläche über den Widerlagern, was sich zur Stabilisierung des zentralen Rahmens gegen Umkippen als äusserst hilfreich erwies. Beides sind konstruktive Lösungen, die bei einem „normalen", ebenen Rahmenträger nicht in dieser simplen Form hätten gelöst werden können. Andererseits verlangte der konstruktive Entscheid für einen einzigen Zentralträger torsionssteife Gurtungen, die dementsprechend voluminös ausfallen mussten. Die kräftigen Dimensionen der Gurte ergaben sich demnach zunächst aus der Form des Brückenquerschnitts; sie waren nun aber auch ohne weiteres in der Lage, beträchtliche Biegebeanspruchungen in Längsrichtung aufzunehmen und dies liess sich nun insofern nutzbringend verwenden, indem dadurch die zentrale Öffnung, das „Fenster" von 23.8 m Länge ermöglicht wurde.

Busgate, Flughafen Zürich-Kloten
Architekten: Giuliani & Hönger
Wolfgang Schivelbusch hat die Funktion der Bahnhöfe des 19. Jahrhunderts als Filter beschreibt: Schritt für Schritt wird der Reisende auf die unerhörten Eindrücke des „panoramatischen Reisens" vorbereitet, das ihn im rasenden Eisenbahnzug erwartet[1]. Während heute kaum jemand mehr sein Gemüt auf den Eintritt in einen Bahnwagen vorbereiten muss, entsprechen dagegen die Abläufe, ein Flugzeug zu besteigen, genau diesen früheren Prozeduren. In diesem Sinn stellt unser Entwurf eine Art Mittelding zwischen Gebäude und Flugzeug dar (eine Kategorie, zu der man auch Brücken zählen könnte). Es ist ein temporäres Gebilde, dazu bestimmt, bis zur Fertigstellung weiterer Fingerdocks als Warteraum zu dienen. Man betritt es im Obergeschoss, gelangt nach Öffnung des Gate über Rolltreppen auf das tiefere Niveau des Flugfelds, von wo aus Busse zu den Flugzeugen fahren.
Die Busspuren brauchen Platz und bedingen einen fast quadratischen Stützenraster von ca. 11 m. Das obere Geschoss wird als begehbarer Träger ausgebildet. In Decke und Dach befinden sich die Gurte eines stählernen Rautenfachwerks. Dieses ist jedoch nirgends sichtbar, sondern auf einfachste Weise mit Gipskartonplatten verkleidet. Damit wird auch die erforderliche Brandsicherheit gewährleistet. Die Installations-Hohlräume unter dem Fussboden und über der abgehängten Decke sind so hoch, dass zwischen den Fachwerkstreben liegende Sechsecke entstehen, die als



Schulanlage, Flerden

Durchgänge benutzt werden können. Nun entsteht folgender eigenartiger räumlicher Effekt: die Augenhöhe eines aufrecht stehenden oder sich bewegenden Menschen liegt gerade etwa im Bereich der mittleren Knoten der Rautenfachwerkstreben, das heisst, da, wo sich die Konstruktion am stärksten „zusammenzieht", mit anderen Worten, in derjenigen horizontalen Schicht, wo sie am wenigsten Material aufweist. Aufrecht nimmt man deshalb den Raum als Ganzes wahr, der Blick kann sowohl die zentrale Halle wie die seitlichen Kojen gleichzeitig umfassen – die Aussicht reicht bis an die Fassaden und weiter.
Setzt man sich hingegen auf eine Bank im seitlichen Warteraum, entsteht ein ganz anderer Raumeindruck. In tieferer Position wird der Blick durch die dreieckförmigen Wandscheiben aufgefangen, der Eindruck eines Zimmers entsteht und die vorher weitläufige Raumempfindung wird intimer.
Mit einfachsten Mitteln wird hier *structure as space* erzeugt. Leider beurteilte die Jury das Projekt als allzu ungewohnt.

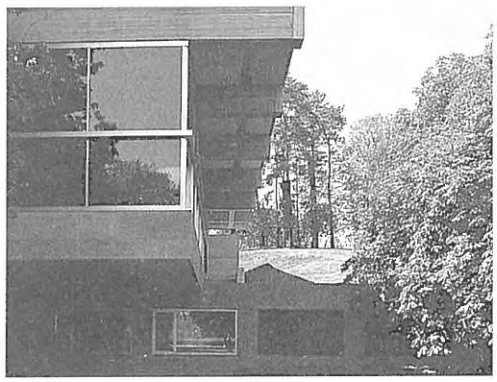
1 Schivelbusch, Wolfgang: *Die Geschichte der Eisenbahnreise, zur Industrialisierung von Raum und Zeit im 19. Jahrhundert*, München 1977

Abstract Principles

Nach abstrakten Prinzipien zu arbeiten, heisst, am Anfang eines Entwurfs einen allgemein formulierten Grundsatz festzulegen, der dann erst im weiteren Verlauf der Tätigkeit zu einem bestimmten, zunächst aber noch völlig offenen und unbekannten Ergebnis führen wird. Damit steht dieses Vorgehen im Gegensatz etwa zum Arbeiten mit Skizzen, bei dem Bilder des vollendeten Werks intuitiv vorweggenommen werden, in der Art von „so etwa müsste es funktionieren".
Abstrakte Prinzipien rufen vielmehr nach einem strengen, fast formelmässigen Ablauf, stärker an einem mathematischen Algorithmus orientiert, der dann zuletzt ein ganz überraschendes Resultat liefert. Das Arbeiten nach abstrakten Prinzipien entspricht stark dem volkstümlichen Bild des Ingenieurs, der ohne Voreingenommenheit Konstruktionen aus Formeln „berechnet". In der Tat sind abstrakte Prinzipien ein starkes Mittel, neue, ungesehene Formen zu finden. Diese sind, eben weil sie einem abstrakten Prinzip entsprechen, schlüssig und unangreifbar, solange das Prinzip selbst nicht in Frage gestellt wird. Beispiele solcher Neuschöpfungen sind der Pauli- oder Schwedlerträger aus dem 19. Jahrhundert, oder, aus neuerer Zeit, Musmecis log-cos-Bogen. Die derart entstandenen Konzepte sind Idealformen, die sich nur dann mit einem hohen Grad an Prinzipientreue verwirklichen lassen, wenn das Problem genügend eng gefasst wird. Auch bei nur schon leicht komplexeren Anforderungen ergeben sich „Störungen" aus den nicht berücksichtigten Nebenumständen. Der Umgang mit derartigen Störungen ist nun wieder eine eigenständige und für die Arbeit des Ingenieurs typische Folgeleistung, die untrennbar mit der Methode der abstrakten Prinzipien verbunden ist. Während der erste, „abstrakte" Teil der Arbeit objektiven Grundsätzen folgt, unterliegt die Nachjustierung der Störungen viel stärker subjektiven Einschätzungen[1].
In dieser Gruppe werden drei Projekte vorgestellt, die aufgrund abstrakter Prinzipien konzipiert worden sind. Das war deshalb sinnvoll, weil hier die Aufgaben in den ersten zwei Fällen in ihrer ingenieurmässigen Zielsetzung von Anfang an eingegrenzt und fassbar waren. Schliesslich wurden wir bei diesen Projekten als Spezialisten beigezogen, zu einem Zeitpunkt, da in Flerden die Satteldachform und ihr Neigungswinkel und bei der Swiss Re die geometrische Disposition und die Materialwahl bereits getroffen worden waren.
Nur dank abstraktem Denken konnte für die zunächst unlösbar scheinende Problematik der Dachträger des Swiss Re-Foyers überhaupt eine Lösung gefunden werden. Die Aufgabe war etwa ähnlich klar wie die, einen schmalen Grat zu überqueren, und entsprechend unzweideutig ist das Ergebnis. Das abstrakte Prinzip bestand darin, durch das Mittel der Vorspannung die Druckkraft der Stütze in eine Zugkraft umzuwandeln. Die Störung entstand aus der Eigenschaft des Holzes, zu kriechen. Zusätzlich war es aus Gründen der Ankerausbildung und der Minimalradien der Spannkabel nicht möglich, mit den Kabeln genau der geometrisch-statischen Ideallinie zu folgen. Das Festsetzen von Kraft und Geometrie der Spannkabel war demnach der subjektive Teil der Arbeit. Die Dachkonstruktion der Turnhalle Flerden ergab sich zunächst aus der Anwendung eines abstrakten Scheibenprinzips, angewandt auf eine Brettschichtholzkonstruktion. Die Störung wurde manifest, als ich erkannte, dass das statische Konzept der Turnhalle Flerden mit nur einer Mittelpfette eindeutig unwirtschaftlich war. Es brauchte Überwindung, zuzugeben, dass das übliche Zwei-Pfetten-System sich besser eignete. Rückblickend empfinde ich die schliesslich mit Rücksicht auf diese ökonomischen Störung weiterentwickelte Konstruktion gerade deshalb als „richtig", weil sie nicht geradeheraus gefunden wurde. Im aus der Sicht des Sparrens etwas zu kurzen mittleren Druckriegel, in den etwas zu stark zusammengerückten Pfetten ist ein Einfluss der ursprünglichen Idee erhalten geblieben, gerade so dosiert, dass die dadurch erzielte Verkleinerung der Binderbelastung den Mehraufwand bei den Sparren wettmacht. Im zweiten Traversiner Steg schliesslich wurde die Geometrie des Fachwerks nach einem abstrakten Prinzip bestimmt. Unter der massgebenden Einwirkung, der Schneelast, ist die maximale Zugkraft im Hauptkabel konstant. Zu diesem Zweck leistete die nach wie vor faszinierende Technik der „reziproken Figuren" des Luigi Cremona gute Dienste.

1 Die Faszination des Werks von Heinz Hossdorf liegt in diesem Zusammenklang zwischen starken abstrakten Prinzipien und dem subjektiven Umgang mit Störungen, siehe: *Heinz Hossdorf: Das Erlebnis Ingenieur zu sein*, Basel 2003

Schulanlage, Flerden
Architekt: Hans Marugg
Ein Beispiel für einen Entwurf aus einem abstrakten Prinzip. Die Regel, dass man in Beton mit Scheiben und Platten konstruieren solle, wird hier auf Brettschichtholz übertragen. Alle Bauteile sind zweidimensionale Körper, einheitlich 10 cm stark, in ihrer Breite stark linear variierend. Es handelt sich also um Scheiben und Platten mit einem jeweils flachrechteckigen Querschnitt. Je nach ihrer statischen Funktion werden sie stehend oder liegend eingesetzt. Die Pfette steht entsprechend ihrer Biegebeanspruchung aufrecht, die von unten nach oben höher werdenden schrägen Streben reagieren auf die Ausbildung der Holzverbindungen an ihren Enden: geringer Querdruck oben, starker Längsdruck unten. Hingegen ist das untere Zugelement des Binders flach gelegt, damit es den horizontalen Kräften aus den Turngeräten besser widersteht. Anfänglich war eine einzige zentrale Firstpfette vorgesehen, weil die Querschnittsfigur dem elementaren geometrischen Bildungsprinzip gut entsprach; dies führte aber zu recht dicken Dachsparren. Die Variante mit zwei mittleren Pfetten war viel wirtschaftlicher. Die beiden Pfetten sind zwischen die Schrägstreben und den kurzen Druckriegel eingeklemmt und, um die Scherkräfte auf beiden Seiten gleich gross zu halten, sind die Pfetten in die Winkelhalbierende der anschliessenden Hölzer gedreht. Für die Konstruktion des Fusspunkts wurde ein hochfestes Birkensperrholzelement in eine Aussparung des Zugelements verleimt. Die seitlich sichtbaren Bauschrauben dienten dazu, den Pressdruck für die Verleimung aufzubringen.



Von links:
Swiss Re, Rüschlikon
Zweiter Traversiner Steg, Graubünden

Swiss Re, Rüschlikon
Architekten: Meili, Peter
Das Foyer der Swiss Re ist ein Gartensaal mit einer hohen Glasfassade zur umliegenden Parkanlage. Um den Blick nach draussen auch nicht im geringsten zu behindern, durfte diese Fassade keine Pfeiler oder Stützen aufweisen und die Dachkonstruktion sollte deshalb nicht auf dieser Fassade aufliegen, sondern von der massiven Rückwand aus mehr als 13 m weit stützenfrei auskragen. Schon wegen des Wechsels vom Innen- zum Aussenklima erschienen Holzträger geeignet, die, aus Edelholz gefertigt, auch zur noblen Ambiance des Raumes beitragen würden. Doch eine kurze überschlagsmässige Berechnung zeigte, dass diese Holzträger schon unter einer geringen Schneelast bereits zentimetergrosse Verformungen aufwiesen und die Befestigung und Dichtung der Fassade gegen derart weiche Bauteile erschien äusserst schwierig.
In den fünfziger Jahren hatte Ingenieur Emil Schubiger in einer Beschreibung seiner Val Nalps-Brücke bei Sedrun auf die „Magie" der Vorspannung aufmerksam gemacht. Die unsichtbar verlaufenden Spannkabel verliehen dem Ingenieur die Fähigkeit, Plus in Minus (Zug in Druck) und umgekehrt zu verwandeln. Es lag nahe, Schubigers Zaubermittel auf die Foyerfassade anzuwenden: dank Vorspannung also druckbeanspruchte Säulen durch gezogene dünne Stäbe zu ersetzen. Die Dachträger mussten deshalb so vorgespannt werden, dass sie sich auch unter der grössten denkbaren Schneelast immer noch nach oben bewegten, würde die Fassade sie nicht daran hindern. Die Fassade steht also permanent unter einer Zugspannung, die die Träger daran hindert, nach oben zu schnellen. Solange das Dach durch Schnee belastet wird, nehmen diese Zugspannungen ab, ist das Dach unbelastet, sind sie am grössten. Die Veränderungen dieser Spannungen bewirken in den Zugelementen nur ganz kleine Verformungen, sodass die Träger über der Fassade praktisch unbeweglich bleiben.
Die Vorspannkabel wurden nach dem Prinzip der formtreuen Vorspannung dimensioniert, das heisst, unter ständigen Lasten erhält der Holzträger eine annähernd konstante zentrische Druckbeanspruchung und wird praktisch nicht verbogen. Der Holzträger übernimmt als horizontaler Stempel die Druckkraft, die vom äusseren Anker des Spannkabels auf ihn abgegeben wird, seine Eigenlast und die verteilte Last des Daches hingegen werden direkt von den nach oben gekrümmten Spannkabeln aufgenommen, die ähnlich wie die Kabel einer Hängebrücke wirken. Die Wand zwischen Foyer und Saal übernimmt die Rolle des Pylons und tatsächlich werden die Kabel hier über einen Umlenksattel gelegt, bevor sie über dem Saal wieder nach unten ins Innere der Träger abtauchen. Über dem Saal besteht die Dachkonstruktion aus einer Betonplatte, die auf den Holzträgern aufliegt und als Gegengewicht die nach unten wirkende Fassadenkraft des Foyers kompensiert. Am jenseitigen Ende liegen die Träger auf einer üblichen druckbeanspruchten Stahlrohrstütze auf. Die Brettschichtholzträger sind ähnlich wie die Gurte der Murauer Brücke mit Nagelpressleimung zu einem massiven Querschnitt von 80 x 120 cm Querschnitt zusammengesetzt. Die äusseren Schichten bestehen aus Rot-Zeder, einem Edelholz, das problemlos mit Fichten- oder Tannenholz verleimt werden kann. Obwohl aus zwei verschiedenen Holzarten zusammengesetzt, wirkt der Querschnitt statisch als Einheit. Für die Kabel wurden vorgängig halbkreisförmige Kanäle ausgefräst, in die die Kabel vor dem Zusammenleimen eingelegt wurden. An Stellen höherer Querzugspannungen wurde das Holz mit eingeleimten Gewindestangen bewehrt. Das Spannen der Kabel erfolgte nach dem Versetzen in mehreren Spannstufen, abgestimmt auf die mit dem Baufortschritt zunehmende Last. Grundsätzlich wäre ein Nachspannen der Kabel jederzeit möglich, nach den guten Erfahrungen mit längs vorgespanntem Holz in Murau dürfte dies jedoch nicht nötig werden. Die Verformungen der Träger werden periodisch vermessen und überwacht.
Die Konstruktion mag auf den ersten Blick kühn und ungewöhnlich scheinen. Sie setzt sich letztlich aber aus Systemen und Techniken zusammen, die jede für sich wohl bekannt sind und mit denen Erfahrungen bestehen. Ein derartiges Puzzlespiel darf auch als Forschung bezeichnet werden und gerade diese Art von Forschung ist in einem privaten Ingenieurbüro gut möglich, weil sie vor allem im Kopf stattfindet.

Zweiter Traversiner Steg, Graubünden
Im März 1999 zerstörte ein Felssturz den ersten Traversiner Steg. Schockiert durch dieses Ereignis, entfalteten Projektverfasser wie Eigentümer in den ersten Wochen danach fieberhafte Anstrengungen, die Brücke nach den bestehenden Plänen wieder zu errichten. Der Verlauf der fallenden Steine wurde minutiös rekonstruiert, Steinschlagverbauungen projektiert, Unterstützungskomitees gegründet und Geld gesammelt – es brauchte längere Zeit und Diskussionen mit besonnenen Personen (so verwies beispielsweise Christian Menn auf Maillarts Tavanasa-Brücke, dessen „in gewissem Sinne bedeutendstes Werk" nach dem Murgang von 1927 auch nicht wiederaufgebaut wurde), um einzusehen, dass eine Rekonstruktion der Brücke an der gleichen Stelle nicht zu verantworten war; ein wirklich sicherer Schutz gegen ähnliche Ereignisse war nicht zu erzielen und die Beteiligten lernten, die Zerstörung der Brücke, die glücklicherweise im Frühjahr, als der Fussweg noch gesperrt war, erfolgte und somit keine Menschen verletzte, als Hinweis darauf zu sehen, dass der Standort der Brücke und die dazugehörige Wegführung für einen touristisch benutzten Weg grundsätzlich zu gefährlich waren.
Die einzig mögliche Antwort schien ein Verschieben des Brückenstandorts talabwärts in Richtung Hinterrhein zu sein, weg von den verderbenbringenden Felswänden des inneren Tobels. Aber talabwärts der alten Brücke besteht die nördliche Talflanke aus einer langen, hohen senkrechten Felswand, über die eine neue Brücke in jedem Fall hinwegführen musste. Bedeutete dies, eine Hängebrücke von gegen 100 m Spannweite zu bauen? War diese Idee vernünftig und finanzbar, oder musste die Durchquerung des Traversiner Tobels aufgrund der gemachten schmerzlichen Erfahrung als unmöglich angesehen werden? Dies hätte aber die Aufgabe des ganzen historischen Wegstücks Veia Traversina entlang der Ostseite des Hinterrheins von Sils bis zur Mitte der Viamalaschlucht bedeutet und damit einen wesentlichen Bestandteil des Ecomuseums Viamala, die Nutzung des historischen Saumpfads, grundsätzlich in Frage gestellt.
Erst allmählich reifte die Idee, die Spannweite der Brücke durch einen geneigten Gehweg in Form einer langen Treppe wesentlich zu verkürzen. Diese Disposition ermöglichte es, die Moränenrippen beidseits des Tales als natürliche Pylone einer Hängebrücke zu verwenden. Nachdem eine geeignete, von oben her nicht durch Steinschlag gefährdete Stelle gefunden und vermessen worden war, zeigte sich, dass sich hier die Spannweite des Gehwegs mit etwa 57 m gegenüber der alten Brücke nur um rund 10 m verlängerte. Die immerhin fast 100 m weit gespannten Tragkabel konnten mit Rücksicht auf die Topografie an niedrigen Pfeilern befestigt und mit einem Gegengewicht aus Erdüberschüttung (Südseite) oder einer betonierten Schlinge um einen grossen Findling (Nordseite) auf einfache Weise verankert werden. Der Gehweg, der 22 m Höhendifferenz überwindet, fügt sich glücklich in die übergeordnete Wegführung ein, indem der Weg südlich der Brücke tiefer als auf der Nordseite weiterläuft.
Der zweite Traversiner Steg ist Teil der touristischen Erschliessung einer Landschaft und, wie schon beim Bau der Bergbahnen 100 Jahre früher, spielt die Frage nach der Wahrnehmung und dem Empfinden der Benutzer eine zentrale Rolle. Die Einschätzung, welcher Komfort für die Wanderer angemessen sei, gehörte bei dieser Brücke zu den anspruchsvollsten Aufgaben der Projektarbeit. Aus Kostengründen – die finanziellen Mittel für Bau und Unterhalt stammen wieder aus privaten Spenden – dachte man am Anfang an einen minimal ausgerüsteten Steg in der Art, wie man ihn sich im Himalaya oder dem Andengebirge vorstellt, der leicht und schwankend über die Schlucht geführt hätte. Bei der weiteren Präzisierung des Entwurfs wurde es aber je länger je klarer, dass angesichts der grossen Höhe der Brücke und der ungewohnt langen und steilen Treppe ein etwas höherer, auf das Sicherheitsbedürfnis der Viamala-Touristen abgestimmter Standard nötig war. So kam man etwa zum Schluss, dass der Gehweg der Brücke richtige Treppentritte und nicht bloss katzenstegartige Querhölzer aufweisen musste. Die ursprünglich wie bei einer klassischen Hängebrücke parallelen vertikalen Hängeseile wurden durch zweifach geführte, gekreuzte Diagonalseile ersetzt, die die vertikale Steifigkeit der Brücke entscheidend verbessern, das statische System wurde dadurch zu einem Fachwerk (der zweifache

Strebenzug leitet die Lasten auf kurzem Zickzackweg zu den Auflagern und ist dadurch steifer als ein einfacher Dreiecksstabzug, ausserdem könnten die Diagonalen dank der Redundanz des zweifachen Systems leicht ausgewechselt werden). Auch in der Anordnung der Tragseile wurde das Vorbild der klassischen Hängebrücke den örtlichen Verhältnissen angepasst: statt die Seile über Sättel auf den Pfeilern zu bodennahen rückwärtigen Verankerungen hinunterzuführen, beschloss man, sie direkt an ihren Hochpunkten enden zu lassen und Pfeiler und Anker monolithisch in Beton auszuführen. Dadurch wird das Nachspannen der Tragseile vereinfacht (der Seilreck, eine unter Dauerlast im Lauf der Zeit entstehende leichte Vergrösserung der Seildehnung, ähnlich dem Kriechen des Betons, kann ein Nachspannen der vorgespannten Tragseile erfordern) und es gibt keine Rückhalteseile in der Nähe des Erdbodens, wo sie Einwirkungen von liegendem Schnee und fallenden Bäumen ausgesetzt wären[1].

Die horizontalen Windeinwirkungen werden durch die recht breite Unterkonstruktion des Gehwegs mit Windverbandkreuzen aufgenommen, wobei der eigentliche Gehweg schmal bleibt (konzeptionell ähnlich der alten Brücke). Für die Benutzer wirkt die Unterkonstruktion wie Scheuklappen, die einen direkten Tiefblick in die Schlucht verhindern (obwohl die Fugen zwischen den Hölzern die Tiefe durchaus erahnen lassen). Der starke Durchhang des Treppen-Gehwegs dient einerseits statischen Gründen, lässt andererseits den absteigenden Wanderern die Brücke flacher erscheinen als sie tatsächlich ist; Eduard Imhof hat in *Gelände und Karte* darauf hingewiesen, dass beim abwärtsgerichteten Blick zwei entgegengesetzte Richtungen „oben–unten" entstehen. Statisch gesehen, ähnelt die Brücke einem Jawerth-Seilfachwerk, bei dem gegensinnig gekrümmte ober- und untenliegende Tragseile durch Vorspannung die dazwischenliegenden Diagonalseile unter ständigem Zug halten. Beim Traversiner Steg ist jedoch das untenliegende Jawerth-Seil durch einen umgekehrt gekrümmten Bogen ersetzt. Dank dieser Krümmung wird der Gehweg durch Anspannen des Tragseils unter Druck gesetzt und er verkeilt sich zwischen seinen Auflagern; er wirkt dadurch ähnlich wie ein beidseits verankertes Spannband. Eine Zugverankerung dieses fiktiven Spannbandes an seinen Enden ist aber nicht nötig, denn bei einer Belastung der Brücke reduziert sich lediglich der andauernde Druck zwischen Gehweg und Widerlager.

Eine Eigenheit des Brückenquerschnitts – breite Gehweg-Unterkonstruktion bei schmalem Gehweg – führt dazu, dass die grössten Kräfte in den Seilen durch die Schneelast hervorgerufen werden. Die Vorspannung des Systems erfordert keine spezifisch stärkere Bemessung einzelner Bauteile, indem sie so dosiert ist, dass die Tragseilkraft unter Vorspannung derjenigen unter grösster Schneelast entspricht. Bei grösster Schneelast verschwindet also der Effekt der Vorspannung und die Brücke wird in diesem Zustand weicher, was jedoch deshalb keine Rolle spielt, da sie dann nicht von Wanderern benutzt wird. Für die Formgebung des Seilfachwerks bedeutete dies, dass direkt auf den Lastfall der grössten Schneelast bemessen werden konnte, in der berechtigten Annahme, dass die daraus resultierende Fachwerkform und die Dimensionierung der Seile dann auch den Anforderungen der Vorspannung und des Schwingverhaltens entsprechen würde. Einzig die Wahl der Anzahl Fachwerkfelder wurde aufgrund vergleichender Untersuchungen des Schwingverhaltens getroffen.

Die Gehweg-Unterkonstruktion besteht für die statisch wirkenden Teile aus splintfreier Lärche, während Treppentritte und Geländer aus dem ebenfalls witterungsbeständigen Kernholz von Föhre gefertigt sind. Das Rohholz wurde an Ort und Stelle gefällt und nach Errichten des Seilkrans zur weiteren Verarbeitung abtransportiert. Drahtseile, Seilklemmen, Querträger und Geländerpfosten bestehen aus verzinktem Stahl (im Gegensatz zur Pùnt da Suransuns, wo wegen der Nähe der Nationalstrasse mit salzhaltigen Sprühnebeln gerechnet werden musste und deshalb mit Edelstahl gearbeitet wurde). Ungewöhnlich ist der Einsatz veleimten Brettschichtholzes an der freien Witterung – die gekrümmten Lärchenhölzer des Gehwegs mussten aber auf jeden Fall verleimt werden, und die moderne Leimtechnik gewährleistet heute auch für derartige Anwendungen eine lange Lebensdauer (eine wasserdichte Abdeckung dieser Teile hätte die Baukosten unverhältnismässig erhöht). Auf eine gute Durchlüftung der Holzkonstruktion auch an den Stirnseiten dieser Balken wurde streng geachtet; überdies lassen sich sämtliche Holzteile einzeln auswechseln; aus diesem Grund sind die Gehwegbalken von oben mit radial verlaufenden Bauschrauben in geschnittene Gewinde der Distanzklötze über den Querträgern verschraubt.

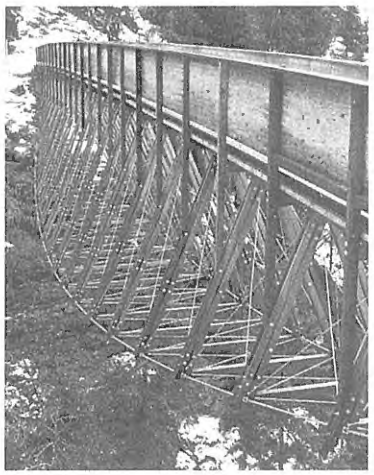
Auch bei diesem Bauwerk beeinflussten die Möglichkeiten und Bedingungen der Montage den Entwurf weitgehend. Der Entscheid, einen Seilkran einzusetzen (statt Helikoptertransporte) erlaubte es, den Gehweg aus einzelnen vorgefertigten Holzelementen zusammenzusetzen. Da die Elemente breiter als der Abstand der Tragseilebenen sind, hing man sie für den Transport am Kran nur an einer Seite auf, sodass sie wie schmale vertikale Scheiben zwischen den Tragseilen auf den Boden der Schlucht hinuntergelassen werden konnten. Dort drehte man sie in ihre endgültige Lage, zog sie wieder hoch und befestigte sie von unten her an die Diagonalseile; eine Prozedur, die bei Einsatz eines Helikopters völlig anders hätte konzipiert werden müssen. Auch wenn sich die Längshölzer bei den Elementstössen übergreifen, bilden sie doch eine Art Gelenk und schwächen damit die Gesamtsteifigkeit des Gehwegs. Aus diesem Grund wurden die Stösse der vier inneren Längshölzer gegenüber den äusseren versetzt, sodass im Endzustand die Stösse etwa gleichmässig über die Brückenlänge verteilt sind. Diese Hölzer wurden deshalb erst nach der Elementmontage einzeln von oben her eingefahren und befestigt. Im weiteren erforderte der Bauablauf die vertikale Anordnung der Seilebenen und den Verzicht auf obere Querverbindungen bei den Tragseilen.

Besonders interessant war, wie bei diesem Entwurf grundlegende statische Fragestellungen, wie sie von Ingenieuren des 19. und frühen 20. Jahrhunderts untersucht worden waren, eine wichtige Rolle spielten. Die soeben erwähnte Wahl vertikaler Tragebenen für die Seile ist denn auch statisch begründet, denn geneigte Seilebenen würden unter exzentrisch angreifenden vertikalen Lasten bedeutende horizontale Zusatzkräfte im Gehweg hervorrufen, wie dies seinerzeit O. Domke aus Aachen in einem umfassenden Essay nachgewiesen hat[2]. Das Fachwerknetz und die Tragseilform wurden mit den Methoden der grafischen Statik ermittelt. Die Dualität zwischen Kräfte- und Lageplan, die Cremona, Culmann und Maxwell vor längerer Zeit ausgiebig beschäftigte[3], leistete nützliche Dienste. Die Frage, ob die Polygonseiten des Tragseils nun tatsächlich eine mathematisch definierte Kurve höherer Ordnung umschreiben, konnte allerdings noch nicht beantwortet werden. Doch schliesslich steht für praktisch tätige projektierende Ingenieure auch die Aufgabe im Vordergrund, anstehende Probleme in nützlicher Frist zufriedenstellend zu lösen.

1 Die Entscheidung, die Kabel auf den „Pylonen" zu verankern, hatte interessante Konsequenzen, denn die Pfeiler mussten vergleichsweise breit dimensioniert werden, um für die seitlich der Kabelverankerungen angeordneten Spannpressen genügend Platz zu bieten. Dadurch erhalten sie eine gewisse Monumentalität, die in ihrer psychologischen Funktion durchaus mit alten Brückenportalen (etwa an der Hohenzollernbrücke in Köln) verglichen werden kann. Monumentalität einerseits als Ausdruck einer Vertrauen stiftender Widerstandskraft und Dauerhaftigkeit (angesichts der Zerstörung des ersten Stegs im Traversiner Tobel wichtig), andererseits als „Filter" (Schivelbusch) zum Unbekannten. Dies gilt für die Nordseite der Brücke, wo dem Wanderer das Unheimliche – die Brücke über den Abgrund – bis zu dem Augenblick verborgen bleibt, da er zwischen den Pylonen steht und erkennt, dass der Abstieg doch nicht so „schlimm" ist. Dieses Hinauszögerns des Erkennens ist hier sinnvoll, denn jeder Berggänger kennt die Situation, wo eine Route, die aus grösserer Distanz gesehen zu passieren unmöglich erscheint, von nahe gesehen viel von ihrem Schrecken verliert – und Abstiege sind schwieriger als Aufstiege, womit die Asymmetrie der Brückeneingänge (Tor oben – Sitzbank unten) auch mit Rücksicht auf die Befindlichkeit der Benutzer gerechtfertigt ist.

2 Domke, O.: „Über den Windverband versteifter Hängebrücken", in: Boost, Hermann (ed.): *Festschrift für Heinrich Müller-Breslau*, Leipzig 1912

3 Culmann, Carl: *Die Grafische Statik*, 2. Auflage, Zürich 1875, S. 280 ff. und Scholz, Erhard: *Symmetrie, Gruppe, Dualität. Zur Beziehung zwischen theoretischer Mathematik und Anwendung in Kristallographie und Baustatik des 19. Jahrhunderts*, Basel 1989



Von links:
Mehrzweckhalle, Alvaschagn
Erster Traversiner Steg, Graubünden

Structural Overlay

In seinem Buch *Transitions in Engineering* erklärt Tom Peters das 1762 erschienene Teatrum Pontificale von Jacob Leupold[1]. Der Schlüssel zum Verständnis dieser Konstruktion ist im heute verlassenen Prinzip der Überlagerung von Systemen zu finden, das für Konstruktionen der vorindustriellen Zeit immer dann angewendet wurde, wenn Grenzen der Machbarkeit erreicht wurden, wenn man seiner Erfahrung nicht mehr trauen konnte und sich unsicher fühlte. Die Idee der Überlagerung verschiedener Systeme gründet auf dem Prinzip der Solidarität: funktioniert das eine System nicht mehr richtig, hilft das andere.
Ein berühmtes Beispiel einer solchen Überlagerung stellt Ulrich Grubenmanns Rheinbrücke von Schaffhausen (1758) dar. Und bis weit ins 19. Jahrhundert hinein finden sich weitere Beispiele für diese Art des Denkens, selbst als es seine Begründung in der technischen Unsicherheit überwunden hat und genauere Analysen der Tragfähigkeit möglich sind. So beruht das Konzept von Isambard Kingdom Brunels Royal Albert Bridge (1859) immer noch auf der Überlagerung einer Hänge- mit einer Bogenbrücke. Weil Brunel aber die Wirkung der einzelnen Teile seiner Brücke genau einschätzen kann, werden die beiden Systeme nicht einfach übereinandergelegt, sondern in Fragmenten verwendet, sie wirken symbiotisch. Diese vergleichsweise moderne Wirkungsweise ist folglich mit einem Entwurfsdenken verknüpft, dass noch weit in der vorindustriellen Zeit wurzelt.
Die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts immer stärker entwickelten baustatischen Theorien lassen sich nur auf geringfügig statisch unbestimmte Systeme anwenden. So entsteht allmählich das Ideal der klaren, berechenbaren Konstruktion und die eher intuitiv entstandenen, komplexeren Systeme werden als unberechenbar, vorwissenschaftlich und anachronistisch abklassiert (1920 schreibt Arthur Vierendeel in seinen Vorlesungen über die Brooklyn Bridge, die gleichzeitig Hänge- wie Schrägseilbrücke ist: „ce pont n'est pas seulement hardi, il est téméraire parce que en fait il est incalculable", was ihn glücklicherweise nicht davon abhält, dieser Brücke eine detaillierte Beschreibung zu widmen[2]).

Heute haben wir die „sauberen" Konstruktionen soweit verinnerlicht, dass wir kaum mehr fähig sind, an überlagerte Systeme überhaupt zu denken. Dabei können komplexere Systeme gegenüber den gängigen Mustern durchaus Vorteile bieten. Dabei geht es nicht allein, wie im 18. Jahrhundert, um die erhöhte Tragsicherheit redundanter Konstruktionen, sondern auch um spezielle Materialeigenschaften oder Montage- und Unterhaltsbedingungen. Im Holzbau beispielsweise sind die lieferbaren Halbfabrikate häufig nur für eine einzelne Art der Beanspruchung geeignet. Weshalb also nicht einmal Schub- und Druckbeanspruchungen verschiedenen Bauteilen zuweisen? Oder ein Tragwerk mit einem schwierigen Bauvorgang aus unterschiedlichen selbsttragenden Teilsystemen zusammensetzen? Und insbesondere bei Bauwerken, die auswechselbare Teile aufweisen müssen, drängt sich eine überlagerte, statisch hoch unbestimmte Bauweise geradezu auf.
In den Dachbindern der Mehrzweckhalle von Alvaschagn werden die beiden Systeme des versteiften Stabbogens und des Hohlkastenträgers ineinandergeschachtelt und beim Traversiner Steg ergibt sich die Zweiteilung des statischen Systems aus den Bedingungen des Bauvorgangs. In beiden Fällen erweist sich das Ergebnis der Überlagerung als leistungsfähig und sinnvoll; um jedoch zu diesen Konzepten zu gelangen, war es aber, wie gesagt, nötig, überhaupt an solche mehrdeutige überlagerte Tragwerke denken zu können – ein Vorgang, der durch den Rückgriff auf vorindustrielle Konstruktionsweisen immerhin auch eine Kritik des Glaubens an den zeitlich linearen Fortschritt der Ingenieurkunst in sich trägt.

1 Peters, Tom Frank: *Transitions in Engineering, Guillaume Henri Dufour and the Early 19th Century Cable Suspension Bridges*, Basel 1980, S. 10
2 Vierendeel, Arthur: *Cours de Stabilité des Constructions*, Louvain 1920, S. 90

Mehrzweckhalle, Alvaschagn
Architekten: Bearth & Deplazes
Die Halle dient gleichzeitig sportlichen wie festlichen Anlässen. Aus diesem Grund wählten wir eine ebenfalls multifunktionale Konstruktion, in die die Sportgeräte möglichst gut integriert sind und so während Gemeindeversammlungen, Konzerten und Theateraufführungen wenig auffallen. Die hölzernen Zweigelenkrahmen besitzen dreiwandige Stützen, in die die Sportgeräte wie in einen Wandschrank versorgt werden können. Unter hohen Schneelasten treten die grössten Schubspannungen im Rahmenriegel vor den seitlichen Auflagerpunkten auf – wo die Trägerhöhe am kleinsten ist, braucht es die grössten Stegflächen. Eine Ausführung mit variablen, der Beanspruchung angepassten Stegstärken ist in einer Holzkonstruktion schwierig, deshalb wählten wir einen versteiften Stabbogen als Rahmenriegel. Der dünne Brettschichtholz-Bogen ist von einem Hohlkastenträger umschlossen, dessen Wände aus Furnierschichtholz und dessen Gurte aus Brettschichtholz bestehen. Der Stabbogen übernimmt den Grossteil der symmetrisch verteilten Last und die Sperrholzstege werden hauptsächlich nur noch durch einseitig verteilten Schnee beansprucht. Die Kombination von Bogen und Kastenträger ist ein Beispiel für eine Überlagerung, bei der jedes System seine besten Fähigkeiten beisteuert, der Stabbogen seine grosse Steifigkeit unter symmetrischer Last, der dünnwandige Kastenträger seine lastverteilende Wirkung. Diese Disposition lässt sich auch aus den versteiften Stabbogen Maillart's herleiten, die ihrerseits moderne Anwendung des Überlagerungsprinzips sind.
Die Rahmenriegel sind viel höher als die Rahmenstiele und durch dieses Steifigkeitsverhältnis sind die Rahmeneckmomente unter vertikalen Lasten recht gering – der Riegel wirkt praktisch als einfacher Balken und die Rahmenstiele erhalten vor allem dann Biegemomente, wenn seitliche Windkräfte auftreten. Deshalb waren auch die Rahmenecken recht einfach auszuführen und konnten lediglich mit einigen auf Montage eingetriebenen Passbolzen versteift werden.
Der Stabbogen ist im Kasten verborgen und kann lediglich an den Schraubenköpfen auf den Versteifungsrippen erkannt werden.

Traversiner Steg, Graubünden
Der Traversiner Steg führte die „Veia Traversina" – einen Wanderweg auf den Spuren eines ursprünglich römischen Saumpfads – über ein Seitental des Hinterrheins in der Viamalaschlucht. Ungewöhnlich war die Montage des Tragwerks, das in einem Stück mit einem Helikopter an die abgelegene Brückenbaustelle eingeflogen wurde. Für den 47 m weit gespannten Steg war das Gewicht während des Einflugs auf 4.3 t beschränkt – eine strenge Anforderung, die von Anfang an für die Projektierung massgebend war und zu einem ungewöhnlich leichten Dreigut-Fachwerk aus Holz und Stahl führte.
Bauherr des Traversiner Stegs ist der Verein „KulturRaum Viamala", der sich zum Ziel gesetzt hat, die Kulturlandschaft der Viamalaschlucht und der umliegenden Regionen im Sinne eines „Ecomuseums" touristisch zu erschliessen. Als Rückgrat des Ecomuseums soll die Veia Traversina künftig die Fussgängerverbindung zwischen Domleschg und Schams herstellen. Der Wanderweg folgt zumeist den Spuren eines römischen Saumpfads, der auf weite Strecken noch recht gut erhalten geblieben war und daher mit verhältnismässig kleinem Aufwand wieder gangbar gemacht werden konnte. Einzig im Traversiner Tobel waren die Wegspuren im teils nassen und rutschigen Gelände völlig zerstört, und eine Rekonstruktion des mutmasslichen früheren Wegverlaufs wäre aufwendig und unterhaltsintensiv geworden. So enstand die Idee, die beiden Wegfragmente direkt mit einem neuen Fussgängersteg zu verbinden. Die Tatsache, dass der alte Weg im Widerlagerbereich immer noch erhalten ist, liess damals auf lokal sichere geologische Verhältnisse schliessen, und überdies entspricht es durchaus dem Konzept des Ecomuseums, das Alte dort, wo es noch brauchbar ist zu nutzen, verlorene Teile jedoch durch Neues zu ergänzen.
Die Brücke besteht aus zwei voneinander getrennten Strukturen: dem leichten Unterbau als Dreigurt-Fachwerkträger und dem schwereren Überbau aus Gehweg und vollwandigen Brüstungen. Grundidee war, den leichten, in sich steifen Unterbau als Ganzes mit dem Helikopter einzufliegen und den später montierten Überbau zum Schutz und zur Aussteifung des Unterbaus zu benutzen.

Besonders aufmerksam mussten die seitlichen Einwirkungen untersucht werden. Seilkonstruktionen verhalten sich bei verschwindend kleinen Normalkräften gleich wie spröde Konstruktionen – ein schlaff werdendes Seil besitzt keine Tragreserve. In diesem Sinn wird sich bei immer stärker zunehmender Seitenwindeinwirkung ein Versagen durch Erschlaffen des luvseitigen Seils einstellen; die Konstruktion hebt an und kippt über das leseitige Tragseil. Die Sicherheit gegen diese Versagensart ist ausschliesslich durch die Geometrie und das Verhältnis von Brückengewicht zu Windlast bestimmt. Daher die starke Spreizung der Untergurtseile und das durchaus erwünschte, vergleichsweise höhere Gewicht des Überbaus. Um für die Kippsicherheit nicht allein auf das Brückengewicht angewiesen zu sein, ist über dem Druckgurt zusätzlich eine 1.20 m Windscheibe aus Brettschichtholz angeordnet, deren Stösse biegesteif ausgebildet sind und die einen in den Widerlagern elastisch eingespannten horizontalen Träger bildet. Der Druckgurt des Unterbaus besteht aus einem 44.5 cm breiten und 8 cm hohen Lärchen-Brettschichtträger der Klasse A. Durch die darüberliegende Windscheibe ist er witterungsgeschützt und gleichzeitig gut belüftet. Dieser Druckgurt und die beiden V4A-Untergurtseile bilden zusammen die eigentlichen *pièces de résistance* des Tragwerks. Diese Teile sind nicht auswechselbar, sie wurden deshalb aus den dauerhaftesten erhältlichen Materialien hergestellt. Alle übrigen Brückenteile sind ohne Hilfsabstützungen auswechselbar: die vierteiligen Streben aus Lärchenholz können unter Last Stück für Stück einzeln ersetzt werden, die Diagonalen (aus Kostengründen nur verzinkt) sind unter ständigen Lasten praktisch spannungslos, ebenso die unteren Querträger und die Füllungsglieder des unteren Windverbands. Sämtliche Bauteile mit Ausnahme der Brüstungen bestehen aus unbehandeltem Lärchenholz, Schnitthölzer sind sägeroh belassen. Die bewitterten Teile sind mit möglichst dünnen Dimensionen konstruiert, um die Austrocknungszeit nach einer Benetzung zu verkürzen, entsprechend der Erfahrung, dass Federschindeln dauerhafter sind als Brettschindeln. Die Brüstungen bestehen aus verleimten Dreischichtplatten in Douglasie.

Der Unterbau bildet zwar ein in sich steifes Gerippe, ist an den Auflagern jedoch nur punktgestützt. Er kann demnach keine Torsionskräfte in die Auflager leiten, sondern pendelt beim kleinsten Windhauch hin und her. Er ist daher auf die Verstärkung durch den Überbau angewiesen, dessen biegesteife Brüstungen die Torsionseinwirkungen als Kräftepaar in die Widerlager abgeben. Vor allem in den Auflagerbereichen werden die Brüstungen auf Biegung beansprucht. Deshalb sind sie in den drei äussersten Feldern an ihrer Unterkante mit aufgeleimten Gurthölzern verstärkt. Wenn ein Füllungsstab entfernt wird, ist die biegesteife Brüstung ohne weiteres in der Lage, die Funktion des fehlenden Stabes zu übernehmen. Der Traversiner Steg wird damit statisch zu einem überlagerten, komplexen System von hoher Redundanz. Dies wirkt sich insbesonders auf die Auswechselbarkeit der Einzelteile günstig aus.

In den ersten Skizzen bestand der Querschnitt des Unterbaus noch aus vier Ebenen, die durch Kreuze in Querrichtung gegeneinander verstrebt wurden (a). Um die Geländer besser mit dem Unterbau zu verbinden, verlängerten wir in einem zweiten Entwurfsschritt die Geländerpfosten nach unten und schlossen sie direkt an die Hauptstreben an (b). Weil jetzt ein Verdrehen oder Kippen des Gehwegs dank dieser Verbindung ausgeschlossen war, konnte der Obergurt neu viel schmaler ausgebildet werden, und so enstand der prägnante Dreiecksquerschnitt, bei dem die wenig wirksamen Querverbände allesamt weggelassen werden konnten (c). Gleichzeitig trennten wir Druckgurt und Windscheibe, wodurch der konstruktive Holzschutz des Druckgurts verbessert und das Gewicht des Unterbaus wesentlich verkleinert wurde. Wegen der oben erwähnten torsionsweichen Lagerung des Unterbaus führten wir dann die biegesteifen Brüstungen ein (d).

Auch für die Wahl des statischen Systems in Längsrichtung stellten wir eingehende Varianten studien an. Der Unterbau durfte wegen der höchsten zulässigen Anhängelast des Helikopters nicht mehr als 4300 kg wiegen. Wir suchten deshalb nach einem Fachwerkträger mit möglichst vielen leichten stählernen Zuständen und wenigen schweren hölzernen Druckgliedern (das Raumgewicht der Lärche wurde mit 700 kg/m³ in Rechnung gestellt). Als beste Lösung erwies sich schliesslich ein Parabelträger mit 24 Feldern und einer Pfeilhöhe von 5 m. Ein flacherer Träger wäre zwar noch leichter geworden (bei 4 m Pfeilhöhe hätten wir 350 kg gespart), wies aber zu grosse Verformungen auf. Anderseits hätte ein höherer Träger das zulässige Gewicht nur mit einem schmaleren Druckgurt eingehalten, was wegen der Anschlüsse der Streben nicht möglich war. Das Gewicht des Druckgurts entspricht trotz seiner minimalen Abmessungen von 8 x 44.5 cm einem Viertel des Unterbaugewichts; zwei Viertel steuern die Streben mit den unteren Querträgern bei, und das letzte Viertel entfällt auf die Stahlteile.

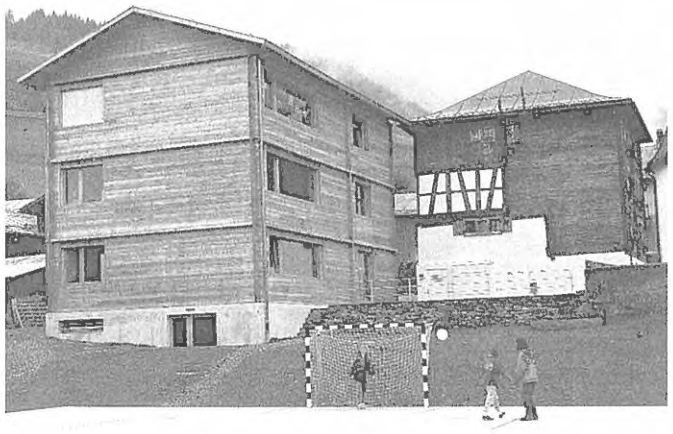
Die Anzahl Felder zeigt geringen Einfluss auf das Konstruktionsgewicht; bei grösserer Feldweite gibt es zwar weniger Streben, doch der auf Knicken bemessene Druckgurt wird fast ebensoviel schwerer. So erweisen sich Varianten mit statt 24 nur 20 oder 16 Feldern als bloss 100 bzw. 50 kg leichter. Auch hier wählten wir die 24 Felder aus letzlich konstruktiven Gründen mit Rücksicht auf die Kippsicherheit der Brüstungsplatten und deren Stossausbildung.

Die optimale Gurtform von Fachwerken war eines der Lieblingsthemen deutscher Ingenieure um die Mitte des 19. Jahrhunderts. Dadurch angeregt, untersuchten wir auch Varianten wie den Schwedler- und den Pauliträger. Beide erwiesen sich verglichen mit dem Parabelträger als schwerer. Diese Formen besitzen zudem im vorliegenden Fall den Nachteil, dass sie unter ständigen Lasten grössere Zugkräfte in den Diagonalen aufweisen, was deren Auswechselbarket behindert.

Am schwierigsten zu konstruieren waren die Untergurtknoten. Sie folgen dem Prinzip, Stahl direkt mit Stahl zu verbinden und damit den Einfluss des Schwindens und Quellens des Holzes gering zu halten. Auf die zweiteiligen Seilklemmen sind „Schaufeln" geschweisst, an denen wiederum „Ohren" angebracht sind, die die Ausfachungen der schrägen Tragebenen aufnehmen. Gegen das Brückeninnere stehen horizontale „Flügel" vor, in die Querträger eingeschlitzt und an deren Ohren die liegenden Kreuze des unteren Windverbandes befestigt sind.

Nach Entfernen eines inneren Strebenholzes und einer unteren Windverbandsstange kann der Querträger über den Flügel seitlich aus dem Knoten herausgeschoben werden, er ist somit auch ersetzbar. Der grösste Teil der Umlenkkraft des Hauptseils wird über schräg geschnittene Ausblattungen direkt von den Seilklemmen in die Streben übertragen, der Rest entfällt auf die Passschraubenverbindungen, mit denen die Schaufeln über zwei Futterhölzer zwischen die Streben geklemmt sind. Die Ohren sind bei jedem Knoten so plaziert, dass sich die Stabachsen genau zentrisch schneiden. Auch die Anschlusswinkel von Schaufel und Flügel sind bei jedem Knoten verschieden. Die geometrischen Grössen wurden unabhängig voneinander mit einem CAD-Programm und mit Vektorrechnung bestimmt, da die räumlich starren Knotenpunkte keine nachträgliche Korrektur erlaubt hätten. Die Untergurtknoten bestehen aus V4A-Stahl, die Übergänge zu den verzinkten Ausfachungskreuzen befinden sich ausserhalb der Hölzer an sichtbaren und zugänglichen Stellen. Die Obergurtknoten wurden sinngemäss, jedoch ohne Flügel ausgebildet. Sie bestehen aus verzinktem Stahl. Die Endverankerungen der Hauptseile bestehen aus kräftigen Verteilplatten, die ihre Kraft direkt auf das Stirnholz des Druckgurts abgeben. Diese V4A-Teile sind durch eine kräftige Holzschwelle von den darunterliegenden verzinkten Lagerplatten getrennt. Beide Auflager sind mit Rundstahlbolzen als Kipplager ausgebildet, auf Seite Zillis kann das Lager auch Längsbewegungen ausführen. Die Verankerung der Brüstungsscheiben erfolgt über vertikale Stahlplatten mit Langloch, die in die Auflagerbank gedübelt, in die äussersten Geländerpfosten eingeschlitzt und mit den Endpflosten fest verschraubt sind; letztere nehmen wegen ihrer Biegeweichheit geringe horizontale Bewegungen elastisch auf. Bei Bedarf können die Schrauben gelöst und im Langloch nachgestellt werden.

Nach dem Versetzen des Unterbaus wurden die weiteren Brückenteile mit einem leichteren Helikopter paketweise zur Baustelle geflogen und dort auf den Unterbau abgesetzt. Dies erforderte die Ausbildung von je drei biegesteifen Stössen in der Windscheibe und den seitlichen Brüstungen. Bei der Windscheibe bestehen diese Verbindungen aus einge-



Schulhaus, Duvin

schlitzten Blechen und Passbolzen. Bei den dünnen Brüstungselementen wurden die Stösse jeweils in die Mitte zwischen zwei Geländerpfosten gelegt und anschliessend mit aussen angebrachten Stosslaschen verschraubt und verleimt. Die Stosslaschen sind exakt zwischen die Geländerpfosten eingepasst, so dass sie nicht auffallen und die Brüstung als eine einzige durchgehende Platte wahrgenommen wird.
Im April 1996 begannen die Arbeiten an den Widerlagern. Gleichzeitig wurde der Brückenunterbau in Rongellen neben der alten Kantonsstrasse aufgerichtet, etwa 500 m von der Einbaustelle entfernt. Besonders zu erwähnen bleibt die millimetergenaue Abbundarbeit der ausführenden Holzbaufirma – die Toleranz der Endgewinde der Ausfachungsstangen von +/-5mm brauchte nirgends voll ausgenützt zu werden. Schon während des Abbunds wurden die Gewichte der Konstruktionsteile stichprobenweise überprüft. Nach Beendigung des Aufrichtens wurde der ganze Unterbau an jedem Auflager mir einer Federwaage angehoben. Die gemessenen Werte stimmten innerhalb der Messtoleranz mit den berechneten überein. Während des Aufrichtens wurden sämtliche Holzteile mit Plastikfolien abgedeckt, um eine Feuchtezunahme möglichst zu vermeiden.
Der Einflug erfolgte am 18. Juni 1996 mit dem derzeit stärksten in der Schweiz verfügbaren Helikopter, dem Kamov K36 russicher Bauart. Die Brücke hing in 60 m Abhängedistanz vom Helikopter, wodurch die Abtriebskräfte des downwash gering blieben. Die zwei konzentrisch drehenden Rotoren des Kamov erzeugen praktisch keine drehende Windströmung, so dass der Flug bemerkenswert ruhig erfolgte. Bei der Einbaustelle wurde die Brücke mit Seilzügen gefasst und nach unten in ihre definitive Lage gezogen – ein angesichts der sperrigen Anhängelast und der wenig Platz bietenden Widerlager heikles Unterfangen, das jedoch glücklich bewältigt wurde. Querträger und Geländerpfosten wurden anschliessend von zwei paarweise über den Unterbau gehängten Leitern aus montiert, wobei die Zimmerleute an einem über die Brücke gespannten Fangseil gesichert wurden. Mitte Juli 1996 konnte der Steg für die Wanderer freigegeben werden.

Tradition and Precedents

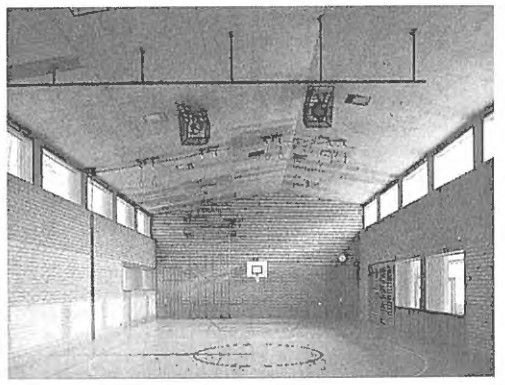
Die nachfolgenden Projekte beziehen sich entweder direkt auf gebaute Vorläufer oder arbeiten mit alten Techniken. Der nach wie vor stark verbreitete Fortschrittsglaube unter Bauingenieuren hat in Ausbildung und Praxis zu einer Vernachlässigung der traditionellen Aspekte dieses Berufs geführt, ganz im Gegensatz zu den Architekten, für die die Beschäftigung mit der Geschichte des eigenen Fachs ganz selbstverständlich ist (die Geschichte des Architektenberufes ist natürlich auch viel älter, wenn man den Ingenieurbau eng gefasst etwa mit Perronet beginnen lässt, die Geschichte des Konstruierens an sich ist jedoch naturgemäss gleich alt wie die Architekturgeschichte). Die Ansicht, dass das Studium älterer Techniken unzeitgemäss und unnötig sei, hat das Gesichtsfeld des Ingenieurberufes stark eingeschränkt und es ist interessant, dass heute eine „historisierende" Haltung gleichzeitig sehr progressiv sein kann, aus dem einfachen Grund, weil sich für verschiedene alte Bauweisen noch keine Interessenten gefunden haben und es demzufolge auf diesem Gebiet noch viel zu entdecken gibt.
Die Faszination alter Bauten hängt mit dem Urbedürfnis zusammen, aus direkter Anschauung zu erkennen und zu lernen. Bei der Untersuchung bestehender Bauwerke stösst man immer sehr bald auf offene Fragen technischer, aber auch mit ihrer Nutzung verbundener Art, die meist längerdauernde Auseinandersetzungen nach sich ziehen. Das Studium alpiner Strickbauten wirft beispielsweise die Frage auf, wie weit wir darauf vorbereitet sind, dass sich Bauwerke bewegen – ein Thema, dass aber auch in Zusammenhang mit der Bauforschung an mittelalterlichen Kathedralen und ihren nach heutiger Praxis zu knapp bemessenen Fundamenten in Verbindung steht[1]. In diesem Sinn bildet die gebaute Umwelt mit der in ihren Bauten gespeicherten Erfahrung ein unerschöpfliches Reservoir an Anregungen hinsichtlich ganz grundlegender Fragestellungen, aber auch direkter Umsetzungen; indem Denkweisen, Technologien oder Systeme, die vorübergehend nicht gerade der Tagesaktualität entsprechen, unter veränderten Umständen ganz neue Aspekte aufweisen können. Dies etwa dann, wenn das Prinzip einer barocken Holzkonstruktion auf einmal in ein Betontragwerk transformiert wird. Das Interesse an historischen Bauten hat in dem Sinn weniger mit einem nostalgischen Bewahren zu tun, als damit, weitere, alternative Erkenntnisse und Methoden für mögliche Lösungen zu finden.
Ein Beispiel dafür ist der „Strickbau"[2]. Beim Schulhaus Duvin war es Architekt und Ingenieur rasch klar, dass an diesem besonderen Ort und unter den gegebenen ökonomischen Voraussetzungen ein Strickbau richtig war. Nur waren uns keine Beispiele grösserer Strickbauten bekannt und es schien auch, dass bisher niemand theoretische Untersuchungen bezüglich des Beulens von Strickbauwänden vorgenommen hatte. Indem wir die jahrhundertealte Bauweise fortführten, betraten wir gleichzeitig faszinierendes Neuland. Die dabei gemachten Erfahrungen konnten bei der Schulanlage von St. Peter in einen zweiten grösseren Strickbau einfliessen. Hier konnten wir bereits freier agieren, den Strickbau mit dem Prinzip der Vorspannung verbinden und im Fassadenaufbau einen unkonventionellen Umgang mit den Auswirkungen der Setzungen des Holzes pflegen. In dieser Hinsicht reiht sich auch der Schweizer Pavillon der Expo Hannover in diese „Forschungsreihe" ein.
Das im vorangegangenen Abschnitt erwähnte Interesse an den Werken der Brüder Grubenmann beschränkt sich nicht auf prinzipielle Überlegungen. In ihren Kirchendächern[3] finden sich Stabbogen-Strukturen in den geneigten Satteldachflächen, die eine versteifende Scheibenwirkung erzielen. Dieses Prinzip konnte praktisch wörtlich zur Versteifung der Dachkonstruktion der Turnhalle Mastrils verwendet werden; die hölzernen Druckbogen wurden lediglich in zugbeanspruchte Vorspannkabel „übersetzt". Das Tragwerk der Mehrzweckhalle Vrin benutzt ausschliesslich unverleimtes Vollholz, das an Ort und Stelle gewonnen werden konnte, das Verbiegen des Holzes zur Gewinnung eines grösseren Widerstands ist auch eine sehr alte Technik, die sich im Schiffsbau findet.
Leider hat Hans Hilfiker nicht die Beachtung gefunden, die er verdient hätte, seine wenigen Bauten sind hochinteressante Prototypen geblieben, die auf umfassenden Problemanalysen beruhen. Als Hommage an Hilfiker bei einer analogen Aufgabe ist das Schutzdach für Infanterie-Anhänger in der Kaserne Chur entstanden. Der Ziegenstall auf Parvansauls schliesslich war ein erster Versuch, am Rand der Zivilisation wieder einmal die Tauglichkeit einer Rundholzkonstruktion zu testen, was dank der vielseitigen Kenntnisse des ausführenden Unternehmers erfolgreich gelang.

1 Heyman, Jacques: *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*, Cambridge, Mass. 1997
2 Schweizerdeutscher Ausdruck für Hochdeutsch: „Blockbau"
3 Nämlich in Stein (Appenzell) 1749, Schwanden 1753, Oberrieden 1761 und Ebnat 1761, wie auch in der ausserordentlichen Emporenkonstruktion der reformierten Kirche von Wädenswil 1764. Siehe Killer, J.: *Die Werke der Baumeister Grubenmann*, 1985

Schulhaus, Duvin
Architekt: Gion Caminada

Duvin ist ein abgelegenes Bergbauerndorf, in landschaftlich hervorragender Lage nahe der Vereinigung von Valsertal und Val Lumnezia. Die Häuser und Ställe sind in traditioneller Manier in Blockbauten und Rundholz-„Auftrölungen" ausgebildet, einzig das alte Schulhaus erscheint mit seinem Pyramidendach als klassizistisches öffentliches Gebäude, es behält aber die ortsübliche Konstruktionsweise bei.
Ein Projektwettbewerb umfasste ein neues Schulhaus und eine Mehrzweckanlage; im bestehenden Schulhaus waren Gemeindekanzlei, Post und Kindergarten einzurichten. In unserem Vorschlag wurden die beiden neuen Gebäudekörper untereinander und zum bestehenden Schulhaus übereck plaziert[1]; die drei Gebäude reihen sich zwischen zwei Linien und wachsen proportional, sie illustrieren sozusagen den Strahlensatz und treten allein durch diese geometrischen Mittel in eine starke Beziehung untereinander und zur benachbarten Kirche. Gleichsam von selbst entsteht auch eine spannungsvolle Abfolge von Plätzen unterschiedlichsten Charakters: öffentlich wirkt der Platz zwischen Dorfstrasse, altem und neuem Schulhaus, ein mehr privater Pausenplatz liegt zwischen der Kirche und den beiden Schulgebäuden; das neue Schulhaus und die Mehrzweckhalle bilden aber auch den Rücken eines grossen, gegen das Tal hin offenen Sportplatzes. Der Gegensatz zwischen eng und weit könnte kaum stärker sein: mit wenigen Schrit-

Von links:
Schulanlage, St Peter
Schulanlage, Mastrils

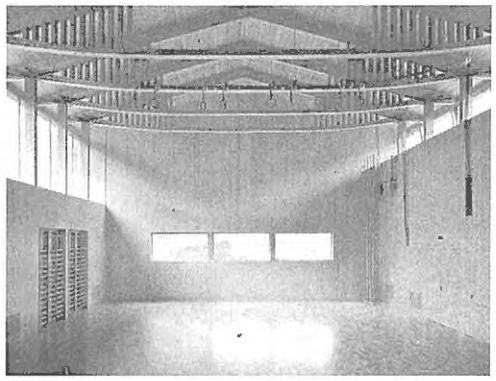


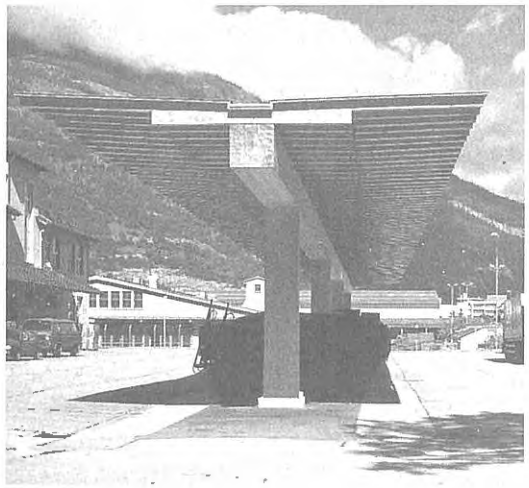
ten bewegt man sich von nahezu städtisch gefassten hin zu offenen Räumen, die erst in den gegenüberliegenden Bergen wieder eine Begrenzung finden.
Als erste Etappe der geplanten Gebäudegruppe wurde im Jahr 1994 das Schulhaus erstellt. Für uns bot sich die Gelegenheit, die zwar ortsübliche, aber heute wenig praktizierte und ingenieurmässig weitgehend unerforschte Blockbauweise im grösseren Massstab anzuwenden. Geeignetes Lärchenholz war in der Gemeinde selbst genügend vorhanden und die handwerkliche Fertigkeit, Strickbauten zu erstellen, hat sich in verschiedenen Zimmereien der Region erhalten. Für einen Blockbau eher ungewöhnlich sind die Spannweiten von 8 bis 9 m und die grossen, nicht ausgesteiften Wandflächen.
Die Frage der Beulsicherheit der Wände war schwierig zu beantworten. Wir mussten nach einer konzeptionellen Lösung suchen, die wie folgt lautete: pro Wandfeld wird nur eine einzige grosse Öffnung angeordnet. Damit ist jeder Wandteil zumindest dreiseitig über Decken und Eckverblattung gehalten und ausgesteift. Die überblatteten Wand- und Fassadenverbindungen sind dank ihrer L- oder T-Form gut in der Lage, auch grössere Lasten aufzunehmen. Für die Decken wählten wir ein Holz-Beton-Verbundsystem, das sich aus statisch-konstruktiven wie auch aus Schallschutzgründen als vorteilhaft erwies. Die untere, zugbeanspruchte Partie der Decke besteht aus einer „Dielendecke" – 14 cm hohe und 20 cm breite „Dielen" sind mit Nut und Kamm aneinandergestossen und bilden das entsprechende liegende Gegenstück zur Blockbauwand. Auf diese Dielen wurde eine ebenfalls 14 cm starke Betonschicht gegossen. Für den Verbund wurden in jedem Dielenbalken vier Löcher gestemmt – zwei tiefe am Rand, zwei flachere in der Mitte – und der einfliessende Beton bildet an diesen Stellen Schubnocken, die für eine direkte Kraftübertragung zwischen den beiden Materialien sorgen. Über den grossen Fenstern sind die Decken mit Zugstangen an die darüberliegenden Brüstungen aufgehängt.
Die Betondecke wurde kreuzweise bewehrt und insbesondere die Schubnocken wurden mit Bügeln versehen. Dadurch ist die Decke statisch ein zweiachsig wirkendes Element, wenn auch nur „orthotrop". Parallel zu den Dielen arbeitet die Decke im Verbund, quer dazu spielt das Holz praktisch keine Rolle und für Beanspruchungen in dieser Richtung verbleibt der reine Betonquerschnitt. Dieser ist jedoch durchaus in der Lage, die hauptsächlich in Längsrichtung wirkenden Biegemomente in gewissem Masse quer zu verteilen. Damit ist die Decke in der Lage schwächere Wandpartien zu entlasten und die Kräfte auf die widerstandsfähigeren Zonen nahe der Ecken zu konzentrieren. Für den Ingenieur steht in solchen Fällen die Betrachtung von Grenzzuständen im Vordergrund, das heisst, es geht nicht darum, „wirkliche" Spannungs- und Kräfteverhältnisse zu untersuchen (dies wäre in unserem Falle illusorisch), sondern „mögliche" Wege der Lastableitung zu finden[2]. Dies entspricht den Grundgedanken der Plastizitätstheorie. Eine vorindustrielle Technik – der Blockbau – zeigt unter der Anwendung moderner Ingenieurmethodik neue Qualitäten.

1 Die Übereckstellung hat auch den Vorteil, dass die von der Feuerpolizei geforderten Gebäudeabstände stark reduziert werden können. Hingegen musste im Innern des Schulhauses ein Brandabschnitt zwischen Treppenhaus und Schulzimmern erstellt werden. Im Holzbau war dies nur durch eine Wandverkleidung mit furnierten zementgebundenen Holzspanplatten möglich.

2 Diese Unsicherheit in der Vorhersage der realen Spannungsverhältnisse bezieht sich auch auf die Voraussage der Verformungen. In der Tat entstanden in den ersten drei Jahren nach Fertigstellung grössere Kriechverformungen in den Fensterstürzen der 5 m langen Fenster und den darüberliegenden Brüstungen. Auch wenn die Fensterrahmen gegenüber der Rohbaukonstruktion beweglich eingebaut worden waren, war das Fugenspiel nahezu ausgeschöpft. Es wurde nötig, die Brüstungspartien zu versteifen. Dazu wurden die Fensterstürze mit hydraulischen Pressen nach oben in ihre ursprüngliche Lage gedrückt. Anschliessend bohrte man vertikale Löcher in die Brüstungen und versah diese mit am Bau eingeleimten Gewindestangen. Diese eher widerwillig ergriffene und aus der Not geborene Massnahme erwies sich als leistungsfähig und zufriedenstellend. Sie wurde in St. Peter für die Schubversteifung der Dachbinder von Anfang an einprojektiert.

Schulanlage, St. Peter
Architekt: Conradin Clavuot
Es war anfänglich der Wunsch des Architekten, die Ausdruckskraft des Blockbaus im Innern des Gebäudes zu nutzen, die tragenden Wände also unverkleidet auf der warmen Seite der Wände anzuordnen, sie mit Wärmedämmung zu umhüllen und aussen mit einer kräftigen Schalung zu schützen. Dieses ungewöhnliche Konzept verlangte besondere konstruktive Vorkehrungen, umso mehr auch, weil in den grossen, stark von Fenstern durchbrochenen Schulzimmerwänden und in der 12 x 24 m messenden Turn- und Mehrzweckhalle keine Aussteifung der Wände mit sich gegenseitig durchdringenden Wänden möglich war.
Ein weiteres Problem sind die langfristigen Setzungen des Blockbaus, die pro Stockwerk gut mehrere Zentimeter betragen können. Wenn zur Aussteifung der Wände nun kräftige vertikale Pfosten eingeführt werden, ist peinlich darauf zu achten, dass diese selbst nie irgendwelche Dach- oder Deckenlasten aufnehmen, sondern in der Art von Gleitschienen die Wände zwar seitlich halten, ihr Setzen aber ungehindert ermöglichen. Zu diesem Zweck erhielten die Pfosten schwalbenschwanzförmige Rillen, in die während des Aufrichtens des Blockbaus fortlaufend passende Führungsbrettchen eingefügt werden konnten. Die Versteifungspfosten im Innern des Wandaufbaus boten sich an, daran die Fenster und die äussere Fassadenverkleidung zu befestigen: doch bedeutete dies, dass bei sämtlichen Simsen und Stürzen im Inneren mit grossen Bewegungen gerechnet werden musste.
Deshalb sind die inneren Fensterverkleidungen überall gleitend an den Blockbau angeschlossen. Über und unter den Fenstern wurden reichlich bemessene Gleitnuten vorgesehen und zwar derart, dass die untenliegenden Nuten bei der Montage zuerst ganz geschlossen wurden, während die oberen Nuten eine maximale Öffnung erhielten. Mit einsetzendem Setzen der Blockwände bewegen sich nun die Fenster im Innern scheinbar nach oben und die Zeit-Setzungskurve ist stets ablesbar.
Erste Abklärungen zeigten, dass die Konstruktion mit durchaus ortsüblichen Kosten erstellt werden konnte. Dieses erfreuliche Ergebnis spornte nun Architekt wie Ingenieur an, die Konstruktion bis in alle ihre Einzelheiten aus den Bedingungen und Möglichkeiten der Blockbauweise zu entwickeln. Die Decken sind abgewandelte Dielenkonstruktionen mit abwechselnd hohen und niederen Balken, bei denen nur jeder zweite trägt – gegenüber einer vollflächig gleich starken Dielenlage bedeutet dies eine wesentliche Holzersparnis. Ähnlich ist das Dach der Mehrzweckhalle aufgebaut, die hohen Querschnitte überlappen sich gegenseitig über den Bindern und tragen ähnlich wie dicht an dicht verlegte Koppelpfetten. Die Binder selbst sind fünfeckige Scheiben aus Massivholz; die oberen Hölzer folgen der Schräge des Daches und wirken als sich gegenseitig stützende Druckstreben, unten liegen horizontale Hölzer, alle zusammen werden von beidseitigen Stahlplatten erfasst, die über eingefräste Stahlstangen gegeneinandergespannt werden. Die dreieckförmige mittlere Partie des Binders wird mit kürzeren Hölzern gefüllt, deren Enden mit simplen Schrägschnitten in einem Zopfmuster ineinandergepasst sind. Die gegenseitige Lage der Hölzer wird über eingeleimte Gewindestangen sichergestellt – die Verwertung der Erfahrungen beim Schulhaus Duvin. Die Funktion der unteren horizontalen Hölzern spiegelt einmal mehr die Vorteile der Vorspannung: als konventionelle Streckbalken wäre ein seitlicher Zuganschluss notwendig geworden, der schwierig und aufwendig herzustellen gewesen wäre. Hätte man die Zugkräfte allein mit Stahlstangen aufgenommen, wäre eine sehr weiche Konstruktion entstanden. Die Vorspannung erlaubt es, dünne und elastische Stahlzugstangen einzusetzen, die ihre Ankerplatten beim unbelasteten Binder gegen die horizontalen Hölzer pressen; wenn der Binder belastet wird, nimmt lediglich die künstliche, von den Stahlstangen erzeugte Druckspannung in diesen Hölzern ab, während die Zugkraft in den federnden Zugstangen annähernd konstant bleibt. Für die Steifigkeit des Binders wird dadurch der massige Querschnitt der unteren Hölzer weit stärker massgebend als derjenige der nachgiebigen Stahlstäbe.
Die Stellung am Hang führt dazu, dass die talseitige Hälfte des Schulgebäudes ein zusätzliches Geschoss aufweist. Im üblichen Blockbau hätte diese Anordnung bald zu Drehungen und Schiefstellungen Anlass gegeben. Um





Von links:
Mehrzweckhalle, Vrin
Schutzdach, Chur
Ziegenstall, Alp Parvalsauns

dies zu vermeiden, wurde im zusätzlichen Untergeschoss der Blockbau um 90 Grad gekippt: er wird zum Bohlenbau, der vertikal kaum noch Setzungen aufweist. Rein formal entspricht diese Massnahme dem Wechsel der Tragrichtungen, der in den Deckenabschnitten des Treppenhauses ganz nach den jeweiligen Auflagerbedingungen erfolgt.
Die Schulanlage von St. Peter zeigt die mannigfaltigen Möglichkeiten der Blockbau und Massivholzbauweise. Ungewohnt und reizvoll ist, dass ein solches Gebäude nicht starr und unbeweglich sein muss. Dieses Thema verlierf jedoch seinen Schrecken, wenn man daran denkt, wie selbstverständlich die Auseinandersetzung mit Bewegungen im Brückenbau ist.

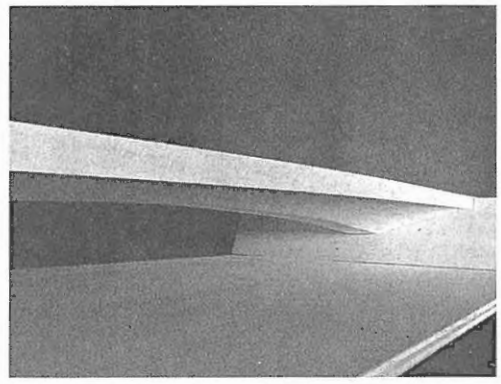
Schulanlage, Mastrils
Architekten: Jüngling & Hagmann
Bei der gestuften Anordnung des Gebäudes am Hang gehen in talseitiger Richtung die Decken in Dächer über und es erscheint deshalb naheliegend, sie aus ein und demselben Material herzustellen. Die Dächer bestehen deshalb überall aus flach geneigten Betonplatten. Das asymmetrische Satteldach der Turn- und Mehrzweckhalle ergibt sich einerseits aus der gemeinsamen Firstlinie der Gesamtanlage, die ungleiche Form führt aber auch zu einer günstigen Ausleuchtung der Halle, indem das von Süden einfallende Licht an der längeren nördlichen Dachscheibe reflektiert wird. Die Asymmetrie machte eine konventionelle Konstruktion mit untenliegenden Zugstangen praktisch unmöglich und es zeigte sich, dass die Ausbildung des Daches als vorgespanntes Faltwerk trotz der flachen Neigung zu einem erstaunlich leistungsfähigen und kostengünstigen Tragwerk führte.
Jede Dachhälfte weist parabelförmig geführte Spannkabel auf, die beim Anspannen schräg nach oben gerichtete Umlenkkräfte erzeugen. Diese Kräfte verhindern eine Verschiebung der Dachflächen in ihrer Ebene und stützen damit den First, sodass das Dach hier nur 20 cm stark zu sein braucht. Ein wesentlicher Vorteil der Vorspanntechnik ist, dass diese Kräfte aufgebracht werden können, dass sich der Beton deformiert, sodass keine Rissbildung auftritt und auch keine langfristige Einsenkung durch Kriechverformungen zu befürchten ist. Dies ist bei einer derart flachen Faltung ganz besonders wichtig. Das Prinzip der ausgesteiften schiefen Ebenen findet sich bereits bei den späteren Grubenmann-Kirchen, etwa in Ebnat-Kappel oder in der Empore der Wädenswiler Kirche. Auch der Traversiner Steg lässt sich in die Mastrilser Konstruktion überführen, wenn man sich seine unteren Querträger wegdenkt und dafür die Schrägstreben an ihren tieferen Enden auf Stützen stellt, um so ein Zusammenklappen der Tragebenen zu verhindern.

Mehrzweckhalle, Vrin
Architekt: Gion Caminada
Die Mehrzweckhalle Vrin ist ein Anbau an eine bestehende Schulanlage aus den fünfziger Jahren. Die Gemeinde wünschte, möglichst viel eigenes Holz für den Bau verwenden zu können. Dies brachte den Vorteil, in Zusammenarbeit mit der lokalen Sägerei auch Hölzer von aussergewöhnlich grossen Querschnitten und Überlängen erhalten zu können. Während die Umfassungswände in konventioneller Ständerbauweise errichtet wurden, entwickelten wir für die Dachbinder eine ungewöhnliche, auf die Vriner Holzliefermöglichkeiten abgestimmte Konstruktion.
Die moderne Holztechnologie arbeitet häufig mit *zerlegen* und zusammensetzen, etwa wenn Brettschichtholz aus keilgezinkten Lamellen verleimt wird. Die Verwendung von Massivholz muss, wenn sie sinnvoll sein soll, gegenteilig operieren, also lange, zusammenhängende Stücke einsetzen. Und Holz ist schliesslich ein faseriges Material, ähnlich wie Lianen im Urwald. Die Binder sind unterspannte Träger mit geknicktem Obergurt. Weil die Knickstelle unter dem Dachfirst wegen der Druckkraft im Obergurt nach oben ausweichen will, braucht sie nicht zusätzlich unterstützt zu werden und man kann im mittleren Teil des Binders auf Pfosten verzichten. Dafür treten diese in den seitlichen Vierteln des Trägers umso dichter auf und sorgen dadurch für eine fast stetige Kurve des Untergurts, sodass für dieses Zugelement flexible durchlaufende Holzbretter eingesetzt werden können. Die ausschliesslich auf Druck beanspruchten Verbindungen zwischen Untergurt, Pfosten und Obergurt sind simple Zapfenverbindungen. Der biegesteife Obergurt besteht aus paarweise zusammengeschraubten Hölzern mit massivem Querschnitt 16/36 cm.
Konstruktive Knackpunkte waren die seitlichen Verbindungen zwischen Zugbändern und Obergurten. Die nur 2.5 cm starken Holzbretter mussten einzeln mit dünnen Schrauben gefasst werden, die die Kräfte auf je eine oben- und untenliegende Stahlplatte verteilen; an diesen Stahlplatten sind „Hosenträger" angeschweisst, die um horizontal durch die Obergurte gesteckte Passbolzen von 24 mm Durchmesser geschlungen sind. Zur Verminderung des Lochleibungsdrucks auf die Obergurte werden diese Passbolzen mit Unterlagsscheiben verstärkt, die 40 mm tief in die Gurthölzer eingelassen sind. Um die Mindestabstände zwischen den Passbolzen einzuhalten, werden die einzelnen Untergurt-Bretter gegen die Auflager hin gespreizt. Gleichzeitig macht diese Spreizung das Konstruktionsprinzip der aufeinandergelegten einzelnen Bretter für den Betrachter überhaupt erst erkennbar.

Schutzdach für Infanterieanhänger in der Kaserne, Chur
Diese Konstruktion ist eine auf den Holzbau übertragene Adaption von Hans Hilfikers Perrondach im Bahnhof Winterthur-Grüze, das leider Prototyp geblieben ist[1]. Für den torsions- und biegesteifen Längsträger verwendten wir nagelpressverleimtes Brettschichtholz – eine Frucht der Erfahrungen der Brücke in Murau – und die Dachsparren sind aus je drei Balken zusammengesetzt, die das Problem des Übergangs der verschiedenen Dachneigungen und der längslaufenden Sammelrinne elegant lösen.
Aus Montagegründen waren Stösse des Längsträgers über den beiden Innenstützen sehr erwünscht und die Anzahl komplizierter Knotenverbindungen wurde so auf je vier Stützenkopf- und Stützenfussanschlüsse beschränkt. Zwar sind in einfachen Balken die Biegemomente höher als in Gerberträgern, da aber für die Dimensionierung des Längsträgers die Torsionssteifigkeit massgebend wurde, stand für die Biegebeanspruchung ohnehin eine gewisse Tragreserve zur Verfügung. Die Dachkonstruktion wurde in drei grossen Elementen am Boden vormontiert und diese Elemente anschliessend in einem Stück auf die Stützen gehoben. Sämtliche Installationsleitungen verlaufen in einem Hohlraum im Innern der Stützen.
Auf die Stirnfläche der Stützenfüsse wurde eine starke Stahlplatte mit eingeleimten Gewindestangen befestigt. Diese wurde mit oben- und untenliegenden Muttern an Gewindestangen fixiert, die vorgängig im Fundament eingedübelt worden waren. Ähnlich wie bei Eisenbahn-Fahrleitungsmasten konnten nun die Stützen in die genau richtige Position justiert werden. Anschliessend wurde der Zwischenraum von Fundament zu Stahlplatte mit einem Giessmörtel verschlossen.

1 Brühlmann, Jürg: „Die Utopie industriell hergestellter Perrondächer", in *archithese* 3/1986, Zeitschrift und Schriftenreihe für Architektur und Kunst, Niederteufen, S. 7
2 *Hans Hilfiker*, Schriftenreihe 4/1986, Höhere Schule für Gestaltung, Zürich

Ziegenstall, Alp Parvalsauns
Architekt: Gion Caminada
Die Anlage liegt einige Kilometer bergseits des Dorfes Vrin, am Weg zum Greinapass. Sie besteht aus zwei Gebäuden, der Sennerei und dem Ziegenstall. Die Sennerei umfasst eine Unterkunft für die Sennen und Räume zur Herstellung und Lagerung von Käse. Der danebenstehende Stall enstpricht dem traditionellen Typ des „gestaffelten Längsstalls". Um lange Transporte zur abgelegenen Lage der Baustelle zu vermeiden, war es sinnvoll, Baumaterialien am Ort zu gewinnen. Die Gebäudesockel bestehen deshalb aus einem dünnen Betonskelett, das mit Mauerwerk aus örtlichen Bruchsteinen ausgefacht wurde (einzig die Jauchegrube, die wasserdicht sein muss, ist eine Betonwanne). Die Mauersteine wurden auf einfache Weise durch das Antippen von Findlingen mit einem schweren Abbauhammer gewonnen; sie brachen in handliche und parallelflächige Stücke. Das ausgefachte Betonskelett besitzt den weiteren Vorteil, dass die erdberührenden Mauern der Sennerei permanent leicht feucht sind, was gute Bedingungen für die Lagerung der Käse schafft. Bei der Sennerei stellte man eine hölzerne Ständerkonstruktion auf den Beton-Stein-Sockel, die mit Blockbau ausgefacht wurde; der Stall hingegen wurde auf Vorschlag des Holzbauers Simeon Alig weitgehend als Rundholzkonstruktion errichtet. Sie ist im bergseitigen Teil zweigeschossig und trägt über dem Stall einen Heuraum, der von der oberen



Von links:
Hohe Brücke, Vals
Muota Brücke, Ibach-Schwyz

Gebäudeseite her erschlossen ist. Wie aus dem Schnitt ersichtlich, entspricht das Pultdach den räumlichen und topografischen Bedingungen. Die Sparren bestehen aus Schnittholz, die eine ebenflächige Unterlage für die Blecheindeckung bilden, darunter finden sich Konstruktionsteile aus Rundholz. Drei Pfettenstränge tragen das Pultdach, sie sind in regelmässigen Abständen auf Rundholzpfosten abgestützt, und jeweils bei den Auflagern unten abgeflacht. Die Querausstei-fung erfolgt über Zangenpaare aus halbierten Rundhölzern, die bei jeder Stützenreihe vom unteren Traufpunkt zur bergseitigen Mauerkrone führen. Dank dem Betonskelett ist die Mauerkrone horizontal fixiert; die Dachsparren bilden mit den Zangen und bergseitigen Pfosten ein unverschiebliches Dreieck. Die Längsaussteifung erfolgt bei den Aussenwänden durch aufgenagelte diagonale Bohlen, die mittlere Ebene ist über die Scheibenwirkung des Dachs stabilisiert. Das Arbeiten mit Rundholz ist für die Zimmerleute anspruchsvoll, da die Querschnittsabmessungen über die Länge der Hölzer ständig variieren und die deutlich sichtbaren Spuren des Ringens um Präzision verleihen dem Stall seine ureigene Prägung.

Transforming Existing Structures

Es mag mit der oben erwähnten Unlust zusammenhängen, sich mit der Tradition des Ingenieurbaus zu befassen, dass die populären Helden dieses Fachs sich immer dadurch auszeichnen, dass sie neue und freistehende Werke geschaffen haben. Eine breite Kategorie schöpferischer Persönlichkeiten, die sich mit Restaurierungen, Umnutzungen oder Erweiterungen bestehender Bauten befassen, in der Architektur repräsentiert etwa durch Plecnik, Scarpa, Döllgast, Schattner, fehlt im Bauingenieurbereich[1]. Entsprechend selten sind Diskussionen über die Art, wie man mit dem baulichen Erbe der Ingenieure umgehen soll. Zeugnis dieser kulturellen Unbedarftheit sind die zahllosen Beispiele paralleler Brücken, bei denen ein Neubau nach rein pragmatischen Überlegungen neben ein älteres Bauwerk gestellt wird. Es handelt sich hier um Fälle, in denen das rein ingenieurmässige Rüstzeug versagt, weil ohne gleichzeitige architektonische Überlegungen das Problem der Ensemblewirkung schon gar nicht wahrgenommen wird.

Beim Entwurf der Verbreiterung der „Hohen Brücke" wurden solche Aspekte mitberücksichtigt. Die Auseinandersetzung um die Neugestaltung erfolgte einmal mehr unter starken wirtschaftlichen Einschränkungen, die akzeptiert werden mussten und die zusammen mit anderen Gegebenheiten den Entwurf bestimmten. Das Ergebnis soll als Prototyp verstanden und benutzt werden. Auf eine versteckte und wortwörtlich unterirdische Art hat auch die neue Muotabrücke mit dem Verlangen nach Kontinuität zu tun – während hier Maillarts Brücke vorwiegend im konzeptionellen Entscheid – also geistig – weiterlebt, fiel der Entscheid, die Zeche Zollverein aufzustocken aus der Einsicht, dass dieses einmalige Industriedenkmal nur integral in Form der gigantischen Maschine, als die es einmal funktionierte, erhalten werden durfte. Die konstruktive Arbeit bestand deshalb darin, das bestehende Tragwerk wie ein Glied einer Kette aufzufassen, das durchaus in der Lage ist, in einem veränderten Umfeld seine Aufgabe wahrzunehmen, ohne dabei seinen Charakter aufgeben zu müssen.

1 In jüngster Zeit ist ein allmähliches Umdenken festzustellen. Ich denke an die Werke von Eugen Brühwiler, Giorgio Croci, Jacques Heyman und Robert Mark.

Hohe Brücke, Vals

Auf den ersten Blick eine übliche Angelegenheit: die Strasse aus dem 19. Jahrhundert ist für heutige Ansprüche zu eng und muss verbreitert werden. Viel Spielraum besteht nicht, denn die ältere Steinschlaggalerie vor dem nördlichen Widerlager legt die Strassengeometrie im Grundriss fest, die bestehende Brücke muss einseitig ergänzt werden.

In einer ersten Abklärung untersuchen wir eine Verbreiterung als hohle Gewölbebrücke in Stein. Der Unternehmer Truffer aus Vals wäre in der Lage, Steine des gleichen Formats wie diejenigen des Thermalbads günstig zu liefern. Dennoch sind die Kosten etwa 30 Prozent höher als die einer betonierten Rahmenbrücke. Also konzentrieren wir uns auf die Betonlösung: mit Modelluntersuchungen entwickeln wir ein Tragwerk, das von den sonst üblichen in drei Massnahmen abweicht:

Der alte Brückenbogen wird von der neuen Struktur eingerahmt – die neuen Pfeiler stehen symmetrisch zur bestehenden Öffnung und die Nivellette der Strasse wird soweit angehoben, dass die Gewölbestirn nirgends vom Neubau abgedeckt wird.

Die neuen Brückenpfeiler sind in Querrichtung so schmal wie möglich ausgebildet und stehen damit deutlich vor der alten Konstruktion. Der Brückenkordon deckt die volle Höhe der Fahrbahnplatte ab, ist also überhoch. Damit wird die bei kleineren Brücken oft störende ästhetische Zweideutigkeit zwischen Randabschluss und Träger vermieden und der Träger erhält einen starken, ruhigen und archaischen Charakter, der sich gut mit der schroffen Umgebung und der alten Brücke verträgt.

Dem Einwand, das Erscheinungsbild der Brücke richte sich vor allem an die Fische und Füchse, kann nur entgegnet werden, dass wir die Brücke als Prototyp betrachten und dass Erfahrungen immer wertvoll sind, einerlei wo auch immer sie gemacht werden.

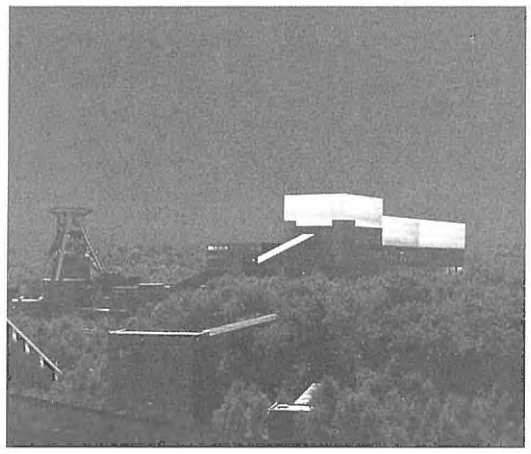
Muota Brücke, Ibach-Schwyz

Die bestehende Auslegerbrücke von Robert Maillart (1913) musste wegen schwerer Korrosionsschäden und ungenügender Tragfähigkeit durch einen Neubau ersetzt werden. Die neue Brücke sollte ein verbessertes Durchflussprofil für die häufig und unvermittelt auftretenden Hochwasser des Flusses Muota aufweisen und die Bauarbeiten durften den starken Verkehr auf der Gotthardstrasse zu keiner Zeit unterbrechen.

Der Baugrund weist in wenigen Metern Tiefe weiche Tonschichten auf und aus diesem Grund hatte Maillart seinerzeit das statisch bestimmte System zweier Auslegerträger mit einem kurzen, gelenkig aufgelagerten Einhängestück in Brückenmitte gewählt. Diese Konstruktion konnte sich späteren Setzungen des Baugrunds zwängungsfrei anpassen und sie erzielte durch die bogenartig geschwungene Träger-Unterkante das grösstmögliche Durchflussprofil. Die Auslegerträger waren beidseits der Muota in grossen Betonblöcken verankert, die als Gegengewichte dienten.

Heute ist die Umgebung der Brücke dicht bebaut. Die provisorische Führung des Strassenverkehrs während der Bauarbeiten wurde deshalb zu einer wesentlichen Randbedingung für die Projektierung des Neubaus. Nach verschiedenen vergleichenden Studien stellte sich der Bau einer temporären Brücke parallel zur Baustelle als einzig machbare Lösung heraus. Die Zu- und Wegfahrten über diese Hilfsbrücke führten direkt über die seitlich des Flusses liegenden Kreuzungen und liessen somit sehr wenig Platz für Arbeiten an und hinter den Widerlagern. Dadurch blieben auch die alten Gegengewichte unter dem Verkehr unzugänglich und allein schon diese Tatsache machte eine ohnehin schwierige Instandsetzung und Verbreiterung der Maillartbrücke unmöglich. Das Dorf Ibach wird am Ort der Brücke durch den starken Verkehr und die Muota sozusagen kreuzförmig in vier Quadrante geteilt. Die neue Brücke sollte im Gegensatz dazu ein verbindendes Element werden und wir strebten nach einer „städtischen" Brücke ohne aufragende Konstruktionsteile, die als weite, offene Plattform zumindest ungehinderte Sichtverbindungen nach allen Seiten ermöglichen sollte. Es zeigte sich, dass eine schlanke Rahmenkonstruktion in vorgespanntem Beton diesen Anforderungen gerecht werden konnte; umso mehr, als mit einer im Längenprofil gestreckten Linienführung der alte „Buckel" vermieden werden konnte, was wiederum die Idee der verbindenden Plattform unterstützte.

Der Fahrbahnträger ist als volle Platte mit trapezförmigem Querschnitt variabler Höhe ausgebildet. Gegen die Auflager hin kann bei einemn Hochwasser ein gelegentliches Eintauchen des Brückenträgers toleriert werden, da dessen Untersicht keinerlei Angriffspunkte für mitgeführtes Geschwemmsel bietet und somit eine Verengung des Durchflussprofils und ein damit verbundener Aufstau der Muota ausgeschlossen werden kann. Wegen der Hochwassergefahr erschien es jedoch ratsam, den Brückenträger in überhöhter Lage auf einem über dem Hochwasserprofil liegenden Gerüst herzustellen und ihn anschliessend abzusenken. Dies bedeutete, dass die hoch beanspruchten Rahmenecken erst nach dem Betonieren und Absenken des Trägers fertig bewehrt und vergossen werden konnten. Um diese Arbeiten nicht noch komplizierter zu machen, als sie es ohnehin schon waren, wurden für den grössten Teil der Vorspannkabel des Trägers zunächst nur die Hüllrohre einbetoniert und Kabel und Anker erst nach dem



Zeche Zollverein, Essen

Absenken eingestossen und verlegt. Diese Kabel mussten demnach über die ganze Brückenlänge durchlaufen. An den Rahmenecken weisen sie wegen des Platzbedarfs der Anker grosse Abstände auf, im mittleren Teil des Trägers hingegen, wo sie unten liegen müssen, sind sie auf die mittlere Partie der Platte konzentriert, was die im Grundriss stark geschwungene Kabelführung erklärt.
Die Rahmenstiele sind mit grosskalibrigen Bohrpfählen unter die weichen Tonschichten fundiert. Interessant ist, dass Maillarts Gegengewichte auch der neuen Brücke zur Aufnahme des Horizontalschubs dienen. Dies wurde deshalb möglich, weil die alte Brücke, wie Messungen aus den siebziger Jahren belegen, im Lauf der Zeit tatsächlich zu einer Bogenbrücke mutiert hatte. Die Spitzen der beiden Ausleger hatten sich nämlich nicht nur, wie vorgesehen, vertikal bewegt, sondern sich infolge Drehungen der Widerlager auch einander soweit angenähert, bis schliesslich der zwischen ihnen liegende Einhängeträger als Druckriegel zu wirken begann, woraus dann die Bogentragwirkung resultierte[1]. Die Fundamente der Maillartbrücke waren daher mit einem Horizontalschub vorbelastet worden. Da die neue Brücke eine Horizontalkraft ähnlicher Grösse ausübt, lag es nahe, zu dessen Aufnahme die bestehenden Gegengewichte mitzubenutzen. Die neuen Fundamente sind deshalb an ihrem Fuss direkt gegen die der alten Brücke betoniert und die neue Muotabrücke macht damit den noch grösstmöglichen Gebrauch von den Überresten ihrer Vorgängerin.

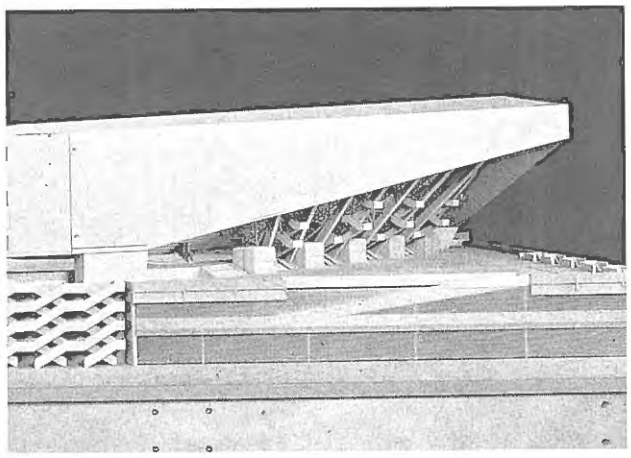
1 Es macht den Anschein, als hätte sich die Maillartbrücke die 1913 publizierte Kritik in der *Schweizerischen Bauzeitung*, zu Herzen genommen. Der Redakor hatte in einem Kommentar die architektonische Gestaltung der Brücke mit der massiven Brüstung als unehrlich und irreführend kritisiert, da dadurch der täuschende Eindruck einer flachen Bogenbrücke entstehe (*SBZ* Band 62, 27. Dezember 1913, S. 361) und Bill, Max: *Robert Maillart*, Erlenbach-Zürich 1949, S. 44–5

Zeche Zollverein, Essen
Architekten: Diener & Diener
Die Zeche Zollverein wurde anfangs der dreissiger Jahre von den Architekten Fritz Schupp und Martin Kremmer zusammen mit Ingenieur Fr. Zoepke als Vorzeigestück deutscher Industriearchitektur erstellt[1]. Noch heute, nach ihrer Stillegung, beeindruckt die Anlage durch die Gruppierung der Baumassen ebenso wie durch die sorgfältige Materialisierung und Detaillierung ihrer Einzelteile. Zu erwähnen ist beispielsweise die architektonische Behandlung der Förderbrücken, deren Tragkonstruktionen aus Stahlfachwerken bestehen und die trotz grösserer Spannweiten in der gleichen Art wie die Gebäudefassaden mit gemauerten Wänden verkleidet sind, um ihre Zugehörigkeit zur Gesamtanlage zu unterstreichen.
Zentraler und höchster Bau der Zeche ist die „Kohlenwäsche", in die die Kohle über ein Förderband am höchsten Punkt anlangte. Von da aus wurde sie – mit Hilfe der Schwerkraft – auf verschiedene Bahnen geleitet, sortiert, gereinigt und gespeichert. Das ganze Gebäude steht auf Pfeilern über fünf Eisenbahngeleisen, sodass die Kohle direkt in Eisenbahnwaggons gekippt werden konnte.
In ihren besten Zeiten verarbeitete man in der Kohlenwäscherei 10000 Tonnen Kohle pro Tag. Es erstaunt daher nicht, dass schliesslich die Kohlenvorräte erschöpft wurden und vor etwa zehn Jahren die Anlage wegen Mangel an Vorräten schliessen musste. Seither wachsen Birken zwischen den Schienen, die Bauten selber sind jedoch immer noch erhalten und dokumentieren den seinerzeitigen Betrieb in unvergleichlicher Weise.
Im Rahmen der IBA Emscher Park soll nun das ungünstig gelegene Ruhrland-Museum neu in die Kohlenwäscherei integriert werden. Das Wettbewerbsprojekt sieht vor, die bestehende Anlage mit Ausnahme einiger punktförmiger Eingriffe für Erschliessungen unverändert zu belassen und neue Räume für das Ruhrland-Museum in einer Aufstockung der Kohlenwäscherei zu platzieren.
Die unteren Teile der bestehenden Anlage sind bis zu einer Höhe von 17 m massiv betoniert. Auf diesem Sockel stehen die oberen Geschosse als Stahlskelett. Die hallenartigen obersten Geschosse sind mit stählernen Zweigelenkträgern überspannt. Ein spezieller, mit 0.35 Prozent Kupfer versehener Patinastahl sollte die Korrosion verhindern und befindet sich in weiten Teilen immer noch in einem guten Zustand. Der Kupferzusatz führt jedoch zu einer gewissen Versprödung im Alter und der Stahl ist deshalb heute nicht mehr schweissgeeignet.
Das statische Konzept der Aufstockung funktioniert wie folgt: Die bestehenden Zweigelenkrahmen werden mit einer zweiten, auf dem Kopf stehenden Rahmenkonstruktion aufgestockt. Der bestehende Rahmenriegel ist dabei sozusagen die Achse der Spiegelung. Da dieser Riegel jetzt eine Geschossdecke statt ein Satteldach trägt, wird er gegen die Ecken hin oben mit dreieckförmigen Zwickeln versehen, damit eine horizontale Bodenfläche entsteht. Diese zusätzliche Höhe dient als statische Verstärkung des Rahmenriegels. Wenn nun die neuen, obenliegenden Decken so vorgespannt werden, dass sie auf die vertikalen neuen Rahmenteile nach aussen gerichtete Kräfte ausüben, entstehen Biegemomente in den Anschlusspunkten zum bestehenden Rahmenriegel. Die Grösse der Vorspannungskräfte wird nun so eingestellt, dass die neuen, von oben kommenden Rahmeneckmomente die bestehenden unteren gerade neutralisieren. Damit werden die Biegemomente in den bestehenden Rahmenstielen praktisch eliminiert. Deren Querschnitt steht somit ganz für die Aufnahme der Normalkräfte zur Verfügung. Die Rahmenstiele sind damit stark genug, das Gewicht der zusätzlichen Geschosse ohne Verstärkung aufzunehmen.
Trotz der Erweiterung der Portalträger nach oben kann das bestehende Betondach beibehalten werden. So bleibt der Innenraum in seinem originalen Bestand bewahrt. Lediglich in den Binderachsen wird die Betondecke aufgeschnitten, um die neuen Stehbleche mit der alten Konstruktion verbinden zu können.

1 Zoepke, Fr.: „Geschweisste Konstruktionen bei den Übertagebauten einer Grossschachtanlage", *Der Bauingenieur*, Heft 21/22, Berlin 1932, S. 297 ff.

Engineering & Architecture

Bei den in der ersten Gruppe beschriebenen Projekten sind allgemein formulierte konstruktive Überlegungen am Anfang des architektonischen Entwurfs eingesetzt worden, konstruktive Regeln also in der Rolle universell verwendbarer Werkzeuge (z.B. die Scheiben/Platten). Im Gegensatz dazu liegen den nachfolgenden Bauten starke architektonische Setzungen a priori zugrunde, die nach einer ingenieurmässigen Antwort verlangten. Wie stabilisiert man Reihen parallellaufender Stapelwände ohne Windverband? Wie macht eine geflochtene Fassade konstruktiven Sinn? Wie lassen sich weit auskragende Betonkonstruktionen zu akzeptablen Kosten realisieren? Diesen soweit scheinbar klar geregelten äusseren Anforderungen steht die doppelte Aufgabe der Konstruktion gegenüber, einerseits diese äusseren Ansprüche zu erfüllen, andererseits aber auch ihren inneren, eigenen Gesetzmässigkeiten gerecht zu werden. Diese inneren Gesetzmässigkeiten sind Teil einer strukturellen Ethik, die von der Ingenieurarbeit erwartet, ihre eigenen Ansprüche sinnvoll und „richtig" zu erfüllen, ohne dies aber zwanghaft nach aussen deklarieren zu müssen. So ist etwa der Einsatz der Vorspanntechnik bei der Kantine St. Luzisteig oder beim Stadion Zürich nicht sichtbar, sondern kann nur indirekt erahnt werden, was den Wert dieser Konstruktionen selbstverständlich in keiner Weise schmälert. Beim Expo-Pavillon und beim Bahnhof Worb hingegen erkennt man sie schon durch den sichtbaren Spannmechanismus und kann sich ihrer durch Anzupfen der gespannten Elemente vergewissern.
Im Fall der Kantine auf der St. Luzisteig besteht die äussere Anforderung in der statischen Bewältigung einer beträchtlichen Auskragung, die sich nur gering verformen darf, weil sich unter ihr eine spröde Glasfassade befindet. Die innere Anforderung verlangt zunächst, die äussere zu akzeptieren und auf die naheliegende Mogelpackung mit fassadenintegrierten Stahlstützen zu verzichten. Im nächsten Schritt wird über einen differenzierten Materialeinsatz eine sinnvolle Antwort auf das gestellte Problem gefunden.
Das Stadion Zürich ist ein Bauwerk von grossem Umfang in einer Konstellation von



Hardturm-Stadion, Zürich

Bauträgern, bei der die Forderung nach Wirtschaftlichkeit jede Extravaganz zum vornherein verbietet. Die äussere Anforderung besteht hier in der Suche nach der ökonomischsten Lösung innerhalb eines als Ziel von allen Parteien anerkannten architektonischen Konzepts (fünfeckiger Sockel, fünfeckiger Kranz, auskragendes Dach). Innerhalb dieser strengen Vorgaben ist es eine tröstliche Erfahrung, zu sehen, wie sich die bisher immer auch aus ideellen Gründen vertretenen Grundsätze synthetischer Arbeit bewähren.

Besonders deutlich wurde die Doppelfunktion der Ingenieuraufgabe in der Entstehung der Fassade beim Bahnhof Worb. Einerseits ist die Aufgabe, eine transparente und gleichzeitig abschliessende Fassade zu entwerfen, nur mit architektonischen Mitteln zu lösen. Andererseits gab erst das Prinzip der Vorspannung und die damit verbundene Ausnutzung der Reibung der geflochtenen Fassade auch einen konstruktiven Sinn, der daraufhin den Entwurf bis in die Dimensionierung der Stützen präzisierte. Das Zusammenwirken architektonischer und konstruktiver Überlegungen machte aus der Fassade ein System, das jede Willkür ausschloss.

Vorspannung und Reibung sind auch die konstruktiv bestimmenden Themen des Schweizer Pavillons der Expo Hannover, hier im Dienst der Idee, nach einer bestimmten Dauer die Teile eines Bauwerk unbeschädigt wiederzugewinnen. Hier war die konstruktive Zielsetzung von Anfang an klar, und die Arbeit bestand darin, die noch vagen ersten Ideen Schritt für Schritt architektonisch und technisch zu präzisieren, in der Überzeugung, für die laufend neu auftauchenden Probleme lasse sich immer eine Lösung finden. Der lange dauernde Entwurfsprozess führte zu einem bis in alle Einzelheiten architektonisch und konstruktiv übereinstimmenden Gebilde.

Hardturm-Stadion, Zürich
Architekten: Meili, Peter

Das Stadion befindet sich an der westlichen Einfahrt zur Stadt Zürich. Wie heute üblich, umfasst das Gebäude neben der eigentlichen Stadionanlage weitreichende „Mantelnutzungen", die die Finanzierung der Sportstätte überhaupt erst ermöglichen. Die Shopping Mall und das Parking, wesentliche Teile dieser Mantelnutzung, liegen unter dem Spielfeld in einem mehrgeschossigen Sockelbau, der wegen des hohen Grundwasserspiegels nur ein Geschoss tief in den Untergrund reicht und dessen Umriss, den Baulinien folgend, ein unregelmässiges Fünfeck beschreibt. Über diesen Sockel erhebt sich nun das eigentliche Sportstadion, wiederum fünfeckig, aber gegenüber dem Unterbau leicht abgedreht und ihn teilweise überragend. Die nordöstliche Seite des Fünfecks, gegenüber den „Bernoulli" Häusern, wird von einem Vierstern-Kongresshotel eingenommen, während die übrigen Fünfeckseiten von einem auf weite Strecken frei schwebenden Hohlkastenträger gebildet werden, der Skyboxen und VIP-Lounges enthält.

Wie ein Brückenträger ruht der freitragende Teil des Kastenträgers, der Kranz, auf vier mächtigen Pfeilern, die die Sockelgeschosse bis in die Fundamente durchdringen. Zwischen den Pfeilern ist der Kranz jeweils einmal im Grundriss abgeknickt. An den Knickstellen ist die Höhe des Kranzträgers jeweils minimal; sie wächst von da aus linear gegen die Pfeiler hin an und erreicht bei diesen Auflagern ein Mass von teilweise mehr als 20 m.

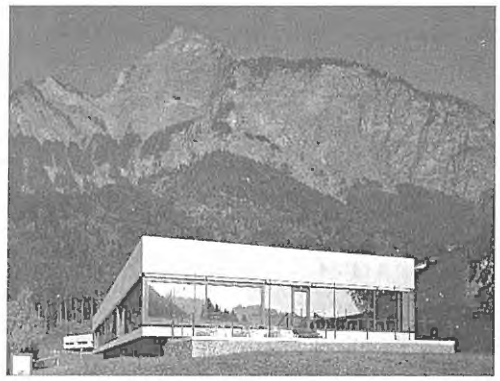
Die ungewöhnlichen Dimensionen des Bauwerks und die diesbezüglich extrem kurze Planungszeit des Wettbewerbs, in dem eine verbindliche Kostenangabe verlangt wurde, liessen ein möglichst einfaches, jederzeit überschaubares statisches Konzept als ratsam erscheinen. Dies führte in einer ersten Arbeitsphase zu einer „monofunktionalen", hierarchischen Anordnung der einzelnen Bauteile: die Tribüne, eine leichte Stahlkonstruktion, ruhte an ihrem oberen Ende mit horizontal beweglichen Gleitlagern auf dem Kranz; dieser spannte sich ähnlich wie ein Gerberträger (mit Gelenken an den Knickstellen) von Pfeiler zu Pfeiler und war dank seiner Torsionssteifigkeit auch in der Lage, die Einspannmomente der nach innen über das Spielfeld auskragenden stählernen Dachkonstruktion aufzunehmen. Diese Disposition war annähernd „statisch bestimmt" und bestand aus weitgehend voneinander unabhängigen Teilen. Die Dimensionierung konnte auf vergleichbare Objekte des Grossbrückenbaus abgestützt werden und die statischen Probleme der Stegdurchbrüche der innenseitigen Wand für die Balkone der VIP-Lounges gedachten wir mit fachwerkartigen Diagonalstreben zu lösen.

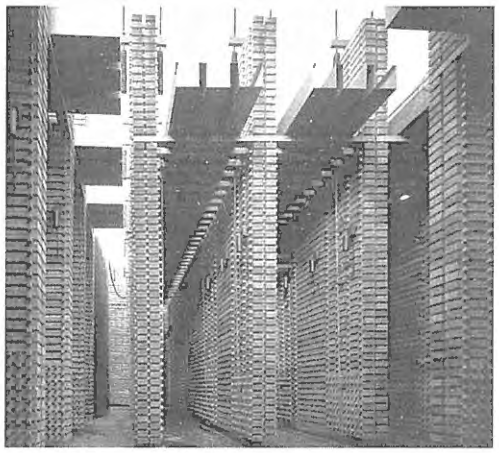
Der Traum der sauberen Lösung dauerte nur kurz. Als unbarmherzig geradlinig erwiesen sich die Beziehungen zwischen Lasten, Schnittkräften und Dimensionen; unbestechlich eindeutig waren die Abhängigkeiten zwischen dem einmal gewählten Konzept und den sich daraus ergebenden Konsequenzen, allzu viel Licht ging durch die meterstarken Diagonalen bei den Balkonen verloren und Abhilfe schaffte nur ein überaus massierter Einsatz von Spannkabeln unter und über dem perforierten Bereich des Kastenträgers. Selbstverständlich äusserten sich diese Massnahmen auch direkt in einer laufenden Kostensteigerung gegenüber den ersten groben Schätzungen und dies stellte schliesslich das konstruktive Konzept als Ganzes in Frage.

So mussten wir uns unter äusserem Druck auf den alten Grundsatz besinnen, den wir in den vorangehenden Jahren bei verschiedenen Gebäuden praktiziert hatten, nämlich, dass statisch unbestimmte, komplexe Systeme in vielen Fällen am leistungsfähigsten sind und dass man dadurch zu einem solchen System gelangt, indem man ohnehin vorhandene Bauteile konstruktiv ausnutzt.

Auf das Stadion bezogen bedeutete dies, die bisher nur passiv, als Belastung des Kranzes funktionierenden Tribünen in das Tragsystem des Kranzes einzubeziehen. Die Untergurte der Fachwerkträger, die die Tribünenstufen tragen, erhalten nun eine zusätzliche Aufgabe als schräge Stützen des Kranzes. Ein beträchtlicher Teil der vertikalen Lasten des Kranzträgers wird jetzt von diesen Schrägstützen (den „Haifischzähnen") übernommen, doch entstehen neu wegen deren Schräglage horizontale und stärker als bisher tordierende Einwirkungen auf den Kranz. Diese vielfältigen Beanspruchungen führen zu einer insgesamt besseren Ausnutzung der statischen Möglichkeiten des Kranzes; war etwa die durch die Raumfunktionen bedingte Zunahme der Trägerbreite zu den am weitest auskragenden Stellen hin im ersten Konzept nur eine ärgerliche, weil am falschen Ort Ballast erzeugende Randbedingung, liefert jetzt das bisher ungenutzte grosse Volumen dieser Partien einen willkommenen Beitrag zum horizontalen Biege- und zum Torsionswiderstand. Auf der oberen Ebene des Sockels treffen die Kräfte stärker verteilt als bisher auf; sie werden in Ebene 5 über eine „Waffelstruktur" aus Wandscheiben in die darunterliegenden, einem rigiden Raster unterworfenen Parkhaus- und Shopping-Stützen eingeleitet.

Die mit der Konzeptänderung verbundene umfassendere Nutzung statischer Möglichkeiten hat in der Tat zur erhofften Kostenersparnis geführt und rechtfertigt sich damit also schon allein aus wirtschaftlichen Gründen; der etwas resignierten Aussage eines Jurymitglieds, der Verlust an konstruktiver Klarheit in der Schlussphase des Wettbewerbs sei zwar verständlich, aber dennoch bedauerlich, ist zu entgegnen, dass der heutige Stand des Projekts einen gegenüber dem ersten Konzept intelligenteren, weil synthetischeren Umgang mit den im architektonischen Konzept schlummernden konstruktiven Möglichkeiten aufzeigt, der die Opferung des Ideals der klaren (und auch etwas banalen) Struktur mehr als aufwiegt. Letztlich kann die Arbeit am Stadion Zürich als Versuch einer konstruktiven Interpretation architektonischer Vorgaben verstanden werden, der diese Vorgaben aber auch in Frage stellt und sie beeinflusst. Diesen Entwurfsprozess mit all seinen Irrungen und Wirrungen, der von Architekt wie Ingenieur einiges an geistiger Flexibilität und angestrengter Arbeit abverlangt, konfliktfrei zu bewältigen, ist dann möglich, wenn beide Parteien gewillt sind, neu auftauchende Probleme und Argumente als Präzisierung der dem Projekt zugrundeliegenden Gedanken zu betrachten und beide in einem die einzelnen Disziplinen durchdringenden, vielfältig verästelten Bezugssystem einen entscheidenden Wert ihrer Arbeit erkennen.

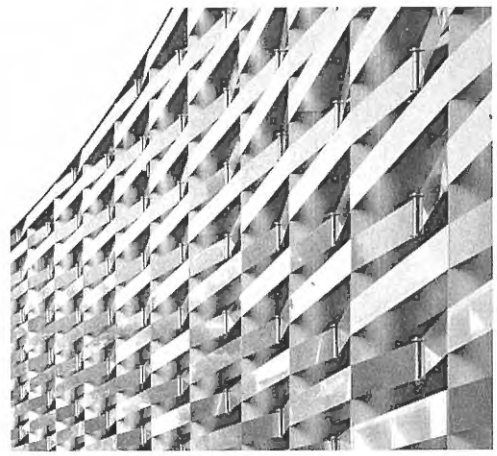




Von links:
Truppenkantine, St. Luzisteig
Expo 2000, Hannover

Truppenkantine, St. Luzisteig
Architekten: Jüngling & Hagmann
Die ehemalige Festung St. Luzisteig bildet ein einmaliges Ensemble von alten und neuen Militärbauten. Die ältesten Teile stammen aus dem Barock. In der Zeit von 1831 bis 1863 verwaltete der kantonale Oberingenieur Richard La Nicca die Befestigung und baute sie in unterschiedlichen Etappen zur heutigen Grösse aus. Die „räumlich wohl am weitesten ausgreifende architektonische Anlage im Graubünden des 19. Jahrhunderts" liegt abgeschieden an der Nordgrenze des Kantons Graubünden und wird von der früher wichtigen „Deutschen Strasse" durchquert, deren Schutz die Festung begründete. Heute hat die Strasse nur noch lokale Bedeutung und die St. Luzisteig dient nun als Truppenunterkunft und Ausbildungs- und Übungsanlage.
Diese Umnutzung verlangte nach neuen Gebäuden. La Nicca begründete die Reihe architektonisch hochstehender militärischer Bauten und ganz in dieser Tradition beauftragte das Amt für Bundesbauten Peter Zumthor mit einem generellen Erneuerungskonzept der Gesamtanlage. Die Projektierung der einzelnen Gebäude wurde den Architekten Jüngling und Hagmann übertragen.
Die neue Kantine steht im Zentrum der Befestigung nahe der Durchgangsstrasse. Ihr Charakter als öffentliches Gebäude im Kreis der sonst der Armee vorbehaltenen Bauten (sie enthält auch ein allgemein zugängliches Restaurant) zeigt sich bildhaft in der umlaufenden grossflächigen Verglasung. Diese ist zum Teil zweischichtig und schafft dadurch Aus- und Einblicke unterschiedlicher Transparenz. Über dieser Glasfassade schwebt eine starke betonierte und vorgespannte Dachplatte, die wie der Schirm eines Pilzes allseitig aus dem massiven Gebäudekern auskragt. Je nach der statischen Funktion der Einzelteile werden verschiedene Betonsorten eingesetzt. Dies wird in den unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen deutlich. Die vertikale Druckbeanspruchung des Kerns ist eine vergleichsweise „primitive" Art der Materialnutzung, in einem grobkörnigen Waschbeton ausgeführt (Grösstkorn 63 mm). Demgegenüber verkörpern die vertikalen Rippen der Dachkonstruktion die moderne Betontechnologie; sie sind hohen konzentrierten Druckspannungen unterworfen und deshalb wird für sie ein hochfester Beton in präziser, glatter Schalung verwendet. Die wiederum geringeren Spannungen unterworfene obenliegende Dachplatte besteht zur Gewichtsersparnis aus Leichtbeton. Die Dachplatte wirkt als Plattenbalken im Verbund mit den vertikalen Rippen. Da nun der Leichtbeton stärker kriecht als der hochfeste Rippenbeton, besitzt der T-förmige Verbundquerschnitt die Tendenz, sich am Kragarmende langfristig nach oben zu verbiegen, was die Spannkraftverluste aus Schwinden und Stahlrelaxation elegant kompensiert.
Die Konstruktion entspricht somit exakt der architektonischen Gebärde der sich nach aussen öffnenden Räume unter einem schützenden Deckel. Gerade die grosse Höhe der umlaufenden Plattenstirn, die der Konstruktionsstärke entspricht, macht deutlich, dass die Dachkonstruktion ohne Schwierigkeiten sich selbst zu tragen imstande ist. Dieser soweit selbstverständliche Sachverhalt wird indessen nicht noch ausdrücklich akzentuiert und deshalb erzeugen die möglicherweise tragenden starken Rahmen der Kastenfenster vor dieser Fassade eine „nicht aufgelöste Spannung". Nun ist die Architekturgeschichte voll von prominenten Beispielen, bei denen sich Konstruktion und Erscheinung nicht decken, aus dem einfachen Grund, weil die Bautechnik die architektonisch gewünschte und also den Betrachtern zu vermittelnde Funktionsweise nicht zu liefern imstande war. Dies zu kritisieren hiesse, einen wesentlichen Ansporn an Ingenieure zu verleugnen. Die gelungene Übereinstimmung von Sein und Schein ist in diesem Sinn eine anzustrebende Errungen-schaft, die im Fall der St. Luzisteig-Kantine eingelöst werden konnte.

EXPO 2000 Hannover
Architekt: Peter Zumthor
Im Jahr 1998 gewann Architekt Peter Zumthor mit einer Projektgruppe den landesweit ausgeschriebenen Wettbewerb für den schweizerischen Pavillon der Expo in Hannover. Der gewünschten „nachhaltigen Bauweise" entsprechend, sollte der „Klangkörper Schweiz" aus aufeinandergestapelten sägefrischen Hölzern bestehen, die wie in einem provisorischen Holzlager ohne Nägel und Schrauben zu einer stabilen Konstruktion gefügt wurden. Im Gegensatz etwa zu Trockenmauern, die sich durch ihr Gewicht auch bei schlanken Dimensionen selbst stabilisieren, sind Holzkonstruktionen immer vergleichsweise leicht, und häufig werden deshalb die seitlich angreifenden Windkräfte für deren Dimensionierung massgebend – so auch beim Klangkörper Schweiz. Eine traditionelle Stabilisierung gegen diese Windkräfte wäre beispielsweise die Beschwerung – so verwendete man mangels eiserner Verbindungsmittel bei alpinen Ställen grosse Feldsteine für die „Schwärdächer". Weniger kopflastig, dafür technisch aufwendiger ist dagegen das Prinzip der Vorspannung. Der entscheidende Unterschied der beiden Stabilisierungskonzepte zeigt sich bei grossen horizontalen Ausbiegungen des Unterbaus: Ab einem bestimmten horizontalen Verschiebungsmass beginnen die Gewichte einer beschwerten Konstruktion einen treibenden Effekt auszuüben; die nunmehr exzentrische vertikale Last erzeugt zusätzliche seitliche Verbiegungen, und es bildet sich eine Rückkopplung, die das ganze Tragwerk zum Kippen bringt. In einer vorgespannten Konstruktion jedoch entstehen bei grossen Verschiebungen zusätzliche Kräfte in den Spanngliedern, die rückhaltend wirken: die Vorspannung stabilisiert. Nun war die Verwendung feuchten Holzes – das Bauwerk als zeitweilige „Trockenbatterie" der Balken – eine der zentralen Ideen für den Schweizer Pavillon, und deshalb waren grössere, schwierig vorherzusagende Bewegungen der Konstruktion sozusagen Teil des Entwurfs. Das Schwinden und Quellen, üblicherweise als ärgerliche Eigenschaft des Holzes eingeschätzt, wurde zum besonderen Gegenstand unserer Neugierde und war Hauptpunkt der statischen Untersuchungen. Wegen der zu erwartenden grossen Verformungen arbeiteten wir von Anfang an mit der Idee der vertikalen Vorspannung.
Der Pavillon besteht aus zwölf konstruktiv voneinander unabhängigen Stapeln, die jeweils aus mindestens vier parallel laufenden, 8.68 m hohen Stapelwänden bestehen. In 6.25 m Höhe sind diese Stapel durch liegende Hölzer untereinander verbunden. Diese Querbalken – das „Dach" – bilden mit den Stapelwänden steife Rahmen. Es leuchtet ein, dass diese Rahmen in ihrer Längsrichtung sehr stabil sind, dass also Windkräfte, die parallel zur Richtung der Wände angreifen, keine grossen Beanspruchungen erzeugen. Auch die Schieflage in Längsrichtung, die sich aus der Neigung des Terrains ergibt und die bis 2.5 Prozent erreicht, spielt für die Beanspruchung der Stapelwände praktisch keine Rolle. In Querrichtung dagegen sind die Rahmen offen, Windverbände fehlen, und die Stabilität ist allein durch das biegesteife Zusammenwirken der Stapelwände mit den Querbalken gewährleistet. Die Biegesteifigkeit der lose aufeinandergelegten Balken und der Rahmenecken wird durch die vertikale Vorspannung erzeugt. Die Dimensionierung dieser Vorspannung und die Voraussage des Verformungsverhaltens der Konstruktion waren die anspruchsvollsten Ingenieuraufgaben während der Projektierung des Klangkörpers.
Anspruchsvoll war die Aufgabe deshalb, weil einerseits ein vielfach zusammengesetztes Gefüge zu beurteilen war, das fast nur aus einer Abfolge von Krafteinleitungszonen bestand und weil andererseits die Geometrie der Stapel sehr empfindlich auf unterschiedliche Schwind-, Quell- und Kriechverformungen reagiert. Deswegen wollten wir diese Fragen unabhängig voneinander an theoretischen Modellen und an einem Musterstapel im Massstab 1:1 untersuchen. Dieser Musterstapel wurde bald nach Beginn der Projektierungsphase auf einem Werkhofgelände in Chur erstellt. Er erlaubte nicht nur, längerfristig die Auswirkung der Formänderung des Holzes zu studieren, sondern diente auch als architektonisches Testobjekt. Zudem liessen sich Fragen der Montage und des Betriebs daran studieren, zugleich diente der Musterstapel auch für Musikproben und Präsentationen.
Die statischen Verhältnisse können an einem Schnitt durch den Stapel 9 erläutert werden. Die vier Stapelwände stehen auf unbewehrten, an Ort gegossenen Betonfundamenten, die in Längsrichtung einen Abstand von 3.00 m aufweisen. Die aussenliegenden Fundamente sind mit 1.50 m x 1.00 m Sohlfläche breiter als das Normalmass von 1.00 x 1.00 m. Diese Verstärkung rührt daher, dass die grössten Windkräfte auf die nicht abgeschirmte äusserste Stapelwand wirken und diese Lasten daher auch die grössten Einspannmomente am Fuss dieser Stapelwand erzeugen. Wie alle



in Nord–Süd-Richtung verlaufenden Stapelwände bestehen auch die des Stapels 9 aus Douglas-Föhre, die rechtwinklig dazu verlaufenden Stapelwände aus Lärchenholz. Zwischen den einzelnen Balken des Querschnitts 100 x 200 mm liegen 45 x 45 mm starke Stapelhölzer. Sie verlaufen pro Spannstelle in vier vertikalen Reihen, wegen der stärkeren Beanspruchung durch Wind- und Gewichtskräfte verdichtet sich diese Anordnung in den untersten 11 Lagen zu 10 Reihen. Um die statischen Berechnungen übersichtlich zu behalten, betrachteten wir die hölzernen Stapelwände wie homogene einzelne Stäbe. Die statischen Eigenschaften dieser Stäbe (ideelle Fläche, ideelle Steifigkeiten) mussten so gewählt werden, dass das tatsächliche Verhalten des aus Balken und Stapelhölzern zusammengestzten Stapels möglichst wirklichkeitsnah erfasst wurde. Die Spannstangen und ihre Halterungen sind im statischen Modell ebenfalls als Stäbe eingegeben. Damit kann deren günstige Wirkung bei grösseren Verformungen mit berücksichtigt werden. Unten sind die Rahmenstiele in den Fundamenten eingespannt, die Verbindungen zwischen den Stäben sind entsprechend ihrer tatsächlichen Wirkung biegesteif, gelenkig oder gleitend angenommen. Nun galt es, die ideellen Querschnittswerte der Stapelwand zu bestimmen. Als Vergleichsmodell untersuchten wir deshalb zunächst ein „Leitermodell" von 1.10 m vertikaler Länge, das sich statisch wie ein Vierendeelträger verhielt. Die Sprossen (entsprechend den Stapelhölzern) und die Holme (entsprechend den Balken mit dem dazwischenliegenden Anteil der Stapelhölzer) wurden für die Computereingabe als orthotrope Scheibe mit unterschiedlichen Steifigkeiten je nach Faserrichtung des Holzes modelliert. Bei dieser Eingabe war nicht sofort klar, welcher Querschnitt für den quer zur Faser tragenden Teil der Balken eingegeben werden sollte. Zur Klärung dieser Frage wurde ein noch kleineres Element, bestehend aus drei Balken und zwei Stapelhölzern betrachtet; zuerst mit einer groben Handrechnung unter der Annahme einer Spannungsausbreitung unter 45-Grad-Winkeln und dann mit einer Computerberechnung mit den Balken als vertikale orthotrope Scheiben. Die Resultate stimmten befriedigend überein. Nun konnten die Verformungen des Leitermodells einmal unter einem oben angreifenden Biegemoment und dann unter einer oben angreifenden horizontalen Einzellast bestimmt werden. Die ideellen Werte für die Biege- und Schubsteifigkeit des Einstabmodells wurden anschliessend so kalibriert, dass sie für beide Belastungsfälle mit dem Leitermodell übereinstimmten.

Die Querbalken auf 6.25 m Höhe liegen auf den gleichen Stapelhölzern wie die übrigen Balken, nur sind diese hier im Grundriss um 90 Grad gedreht (für den ganzen Pavillon gilt die Regel, dass die Richtung eines Stapelholzes immer rechtwinklig zur Stabachse des darüberliegenden Balkens verläuft). Für die Steifigkeit des horizontalen Rahmenriegels wurden die Querschnittswerte der vier über den Stapelholzreihen liegenden Querbalken eingesetzt. Die Mitwirkung der übrigen Querbalken, die zwischen den Spannstellen liegen, wurde rechnerisch vernachlässigt. Nach diesen Vorabklärungen war das Einstabmodell für die Berechnung der Verformungen und Schnittkräfte aus verschiedenen Belastungsfällen bereit. Die ungewöhnlichen lokalen Verhältnisse und die mehrheitlich quer zur Faser wirkenden Spannungen liessen erhebliche Zweifel darüber aufkommen, ob das wirkliche Verhalten des Stapels mit den normierten Materialkennwerten und dem vereinfachten statischen Modell genügend genau vorausgesagt werden könne. Ein Belastungsversuch mit horizontalen Kräften am Musterstapel sollte darüber Aufschluss geben. Zwei schräge hölzerne Hilsstützen wurden mit zwei Zugstangen auf der Höhe der Querbalken am Musterstapel befestigt. An die oberen Enden der Schrägstützen hängte man Paletten, die anschliessend mit Kalksandsteinen beschwert wurden. Die Verformungsmessungen zeigten, dass der Elastizitätsmodul des Holzes am Anfang der Belastung etwa 400 MPa erreichte, bei einer grösseren Ausbiegung von 12 cm genau dem Normwert von 300 MPa entsprach und bei Versuchsedne mit 15 cm noch 240 MPa betrug. Dies ist angesichts der vielen Unsicherheiten und Streuungen ein befriedigendes Ergebnis, das zeigt, dass das Verhalten auch unkonventioneller Konstruktionen mit den gängigen Materialkennwerten für Holz recht genaue vorausgesagt werden kann.

Nun galt es, die oberen und unteren Grenzwerte der Vorspannung festzulegen. Eine wichtige Rolle spielte dabei der Wind. Nach DIN-Norm ist beim Pavillon mit einer Windgeschwindigkeit von 182 km/h und einem Staudruck von1.60 kN/m² zu rechnen. Wenn die Vorspannung zu gering ist, kippt die Konstruktion. Je nach Windexponiertheit der einzelnen Stapel kann aus dieser Bedingung eine untere Grenze der Vorspannkraft von 40 bis 50 kN berechnet werden. Dabei waren verschiedene Krümmungszustände der Stapelwände aus unterschiedlichem Schwinden und Kriechen der beidseitigen Hölzer zu berücksichtigen. Die Hölzer kommen mit einer mittleren Holzfeuchte von 22 Prozent in Hannover an. Der Flughafen Hannover lieferte die monatlich mittleren Messwerte für Temperaturen und relative Luftfeuchtigkeiten und daraus liess sich ein Endwert der Holzfeuchte von 14 Prozent ableiten. Die Holzfeuchtemessungen am Musterstapel zeigten unterschiedliche Holzfeuchten nebeneinanderliegender Hölzer von bis zu 1.2 Prozent. Daraus ergab sich ein Krümmungsradius von 155 m. Mit diesem Wert untersuchten wir gleichmässige und s-förmige Krümmungen der Stapelwände auf ihre Auswirkungen.

Für den Maximalwert der Vorspannung wurde die Geometrie der Federn massgebend. Theoretisch rechneten wir mit einer „Setzung" der oberen Spannstelle von 17 cm infolge Schwindens; dazu kommen weitere 6 cm wegen des langfristigen Kriechens unter der Dauerlast. Wegen dieser grossen Höhenänderung ist eine möglichst weiche Feder mit einem grossen Dehnweg erwünscht. Andererseits sind die Vorspannkräfte von über 50 kN pro Feder recht gross, und es war nicht einfach, solche Federn überhaupt zu finden. Nach Versuchen mit unterschiedlichen Federtypen verwendeten wir schliesslich warmverformte Schraubenzugfedern von 870 mm Länge, die dabei mit 60 kN angespannt wurden. Eine Verkürzung von 90 mm liess diese Kraft auf den Minimalwert von 40 kN abfallen, sodass die Federn während der Expo durchschnittlich zweimal nachgespannt werden mussten.

RBS Bahnhofshalle, Worb
Architekten: smarch – Stücheli, Mathis

Der Bahnhof Worb ist Ausgangspunkt zweier Bahnlinien zur Hauptstadt Bern. Eine davon gehört zum Netz der privaten Regionalbahn Bern-Solothurn (RBS), führt direkte Züge zum Hauptbahnhof Bern und bewältigt in den Stosszeiten einen grossen Pendlerverkehr; die andere ist die Tramlinie der Berner Verkehrsbetriebe, die auf dem Bahnhofareal eine Wendeschleife durchfährt. Mit der neuen Bahnhofshalle will die RBS ihren Zugspassagieren ein geschütztes Ein- und Aussteigen ermöglichen, gleichzeitig einen Park-and-Ride-Service anbieten und abends nach Betriebsschluss die Züge vandalensicher abstellen. Zusammen mit der Halle soll auch der Bahnhofsplatz neu und attraktiver gestaltet und die Anbindung an die Stadt verbessert werden.

Das Umfeld ist von Geleisen und Strassen begrenzt. Die Funktionen verlangen viel Platz und das Gebäude soll eine möglichst grosse Grundfläche erhalten. Deshalb folgt es den gegebenen Baulinien und erhält dadurch seine reptilienartige Form. In ähnlicher Weise reagierten schon die frühen englischen Bahnhöfe auf die dichtbesiedelten Zentren und die Vorstadt Worb erhält somit einen Bahnhof mit schon fast grossstädtischem Charakter.

Das Gebäude ist zweigeschossig. Im Erdgeschoss liegen zwei Bahngeleise, dazwischen ein Mittelperron. Seitlich des zweiten Geleises befinden sich Diensträume und Magazine. Das obere Geschoss dient als Parkplatz. Wegen der unregelmässigen Grundrissform entstehen neben den normgemässen Parkfeldern grössere Restflächen, die für die Parkierung von Kleinwagen genutzt werden können.

Bei diesem Gebäudetyp sind die Baukosten stark von den Spannweiten der Tragkonstruktion abhängig. Es ist sinnvoll, den Mittelperron im Erdgeschoss und die Grenzlinien der Parkfelder im Obergeschoss mit Stützen zu versehen. Nun ist die Lage dieser Stützen durch die jeweilige Nutzung weitgehend festgelegt und es ist nicht möglich, die Stützengeometrie von Geleise- und Parkgeschoss zu koordinieren. Aus diesem Grund muss die Zwischendecke als Abfangkonstruktion wirken. Normalerweise benutzt man dafür Träger oder Rippendecken; da diese aber immer noch eine gewisse geometrische Ordnung benötigen,

wenn sie effizient und wirtschaftlich sein sollen, kommen sie hier nicht in Betracht und die zweidimensional tragende, relativ dünne betonierte Flachdecke erweist sich klar als beste Lösung. Folgerichtig ist das Dach eine Leichtkonstruktion aus Stahl und Holz, dessen geringe Stützenlasten durch die Flachdecke gut aufgenommen werden können.
Der schwierigste Teil war die seitliche Fassade. Funktionell ein blosser Abschluss, ein Sicherheitszaun ohne Anforderungen an Luftdichtigkeit und Ausblick. Die Haut aus Lochblechen, zwischen rautenförmige Metallstützen gespannt, entstand in der Eile des Projektwettbewerbs im Wissen, dass dies nur eine vorläufige Lösung sein konnte. Es brauchte viel Zeit und lange Diskussionen, ein Fassadensystem zu finden, das seine Schutzfunktion ausüben kann, ohne einschliessend zu wirken und das den Repräsentationsanspruch der Bahngesellschaft ebensogut erfüllt wie es konstruktiv vernünftig aufgebaut werden kann. smarch testete Gatter aus enggestellten Stützen, suchten Raumstimmungen in der Art von Dan Flavins Neonarbeiten... – konstruktiv handelt es sich im Grunde genommen um einen Zaun mit gespannten Drähten. Bei der grossen Länge der Fassade wäre es aber schon wegen der Reibungsverluste an den Stützstellen kaum möglich gewesen, die Zaundrähte nur an den Enden anzuspannen. Erfolgreicher schien das Prinzip der Vorspannung durch „Spreizen", wie es Mirko Robin Ros in einem Entwurf der Berner Monbijoubrücke vorgeschlagen hatte[1]. Dort wurde nämlich die Vorspannung so erzeugt, dass parallel laufende Kabel zwischen Fixpunkten quer zu ihrer Richtung gegeneinandergezogen wurden. Eine kleine Kraft bewirkt dabei eine grosse Spannung in den Kabeln. In unserem Fall bedeutete dies: wenn die Vorspannung durch Spreizen aufgebracht wird, können statt Kabel ebensogut auch Stahlbänder verwendet werden. Kräftige runde Säulen nehmen die vertikalen Lasten auf. Die horizontal verlaufenden Stahlbänder sind beidseits dieser Säulen angeordnet und beim Spreizen werden diese Bänder gegen die Rundstützen gedrückt. Es liegt nun nahe, die dabei entstehenden Reibungskräfte zwischen Bändern und Säulen gleich auch zur Befestigung der Bänder zu verwenden. Auf Schrauben oder Schweissungen kann man demnach weitgehend verzichten. Die Längsfassaden aus gespannten Bändern sind von Ecksäulen begrenzt, die durch die Spannkräfte einseitig auf Biegung beansprucht werden und deshalb einen von den normalen Säulen abweichenden, tropfenförmigen Querschnitt erhalten. Sie übertragen die Vorspannkräfte auf Fundamente, Zwischendecke und Dachrandpfetten, die entsprechende Druckkräfte erhalten.
Es erscheint auch architektonisch ohne weiteres möglich, Ausnahmen wie die Stützen über dem Eingang zur Rampe einfach unten abzuschneiden und sie sozusagen in den gespannten Bändern frei hängen zu lassen. Die nur über Reibung an den Pfosten „befestigten" Bänder verweisen auf ein grundlegendes Problem der Eisenbahn in ihren Anfangszeiten: das Vertrauen in die Adhäsion zwischen Rad und Schiene. Die Furcht vor dem Gleiten der Räder war dafür verantwortlich, dass Eisenbahnen jahrzehntelang praktisch horizontal geführt wurden (Brunels „billard table") und sich erst um die Mitte des 19. Jahrhunderts allmählich in die Alpen vorwagten.
Und schliesslich sagt Freyssinet: „Le système des précontraintes est un état d'esprit, une affirmation de la volonté de l'ingénieur, de ne plus subir les conséquences des états élastiques initiaux..."[2].

1 Ros, Mirko Robin: „Die Anwendung der Vorspannung im Eisenbetonbrückenbau anhand des Beispieles der Aarebrücke Sulgenbach-Kirchenfeld", *Schweizerische Bauzeitung*, 21. August 1943, S. 85. Vgl. auch: Leonhardt, Fritz: *Spannbeton für die Praxis*, Berlin 1955, S. 135
2 Freyssinet, Eugène: *Une révolution dans l'art de bâtir: Les constructions précontraintes*, Paris 1936

The Cultural Landscape

Die letzte Gruppe umfasst vier Brückenprojekte, die sich alle in mehr als nur einem topografischen Sinn mit „Landschaft" befassen. *Landschaft* wird dabei – nach Walter Zschokke – im Gegensatz zu *Gegend* nicht nur vom Menschen bebaute Natur, sondern auch als eine „Vorstellung vor unserem inneren Auge, geprägt durch kulturgeschichtliche Ereignisse und Strömungen"[1] verstanden. So streng sich diese Projekte einerseits mit funktionellen und ökonomischen Bedingungen auseinandersetzen, spielen in ihnen auch hintergründigere Themen mit. So variieren die Landquartlöserbrücke wie auch der Bennauer Steg den uralten Brückentyp des Übergangs mit drei Öffnungen, der beispielsweise auf dem Netz der Rhätischen Bahn als dreibogige Überführung sehr gerne verwendet wurde, und der wiederum auf ältere Muster aus französischen Gartenanlagen, palladianische Entwürfe und ähnliches verweist. Eine Gestaltungsebene tiefer, und im Gegensatz zu diesen Vorbildern, spielt das Motiv der verjüngten Trägerenden in Landquart wie in Bennau eine wichtige Rolle. Das Bestreben, so wenig wie möglich in den Boden einzugreifen, die seitlichen Böschungen, respektive Talflanken weitgehend unbehelligt unter der Brücke durchlaufen zu lassen, mag zum einen eine grundsätzlich behutsame Haltung gegenüber der Umgebung widerspiegeln, hat aber ihrerseits ihre Referenzen: „die Brücke berührt kaum den Boden, ein Charakteristikum moderner Ingenieurtechnik und desgleichen der modernen Plastik", schreibt Max Bill angesichts der Thurbrücke Felsegg[2], und Christian Menn verwendete gegen die Enden zugespitzte Träger unter anderem bei der Rheinbrücke Maienfeld und der Stennabrücke in Flims.
Bei der Pùnt da Suransuns soll die Verwendung des lokalen Gesteinmaterials nicht einfach nur eine „Einpassung" in die umgebende Schluchtenszene bewirken, sondern in einer Landschaft, die zu einem grossen Teil von der Sehnsucht nach dem Süden kulturalisiert wurde, *italianisierend* wirken. Die Landschaft der Viamala war Teil des Programms jeder Grand Tour, an Bekanntheit höchstens noch vergleichbar mit der Schöllenenschlucht am Gotthardpass, über deren Teufelsbrücke in den fünfziger Jahren die vielleicht heftigste Diskussion stattfand, die je in der Schweiz über einen Brückenbau geführt wurde[3]. Ideen, die in diesem Disput von Hans Hilfiker und Heinz Hossdorf entwickelt wurden, damals aber keine Chance zur Realisierung hatten, konnten in der Pùnt da Suransuns verwertet werden. Damit wird der Beziehung Viamala-Schöllenen, die seit der Landschaftsmalerei des 18. Jahrhunderts besteht, eine kleine Note hinzugefügt[4].
Der Einsatz bedeutungsvoller Materialien spielt auch bei der Coupurebrug eine wichtige Rolle. Darüberhinaus waren die räumlichen Gegebenheiten der unmittelbaren Umgebung entwurfsbestimmend. Ähnlich wie in der Pùnt da Suransuns besteht auch hier ein umfassenderer Ortsbezug, der sich nicht in stilistischen Anleihen am „mittelalterlichen" (und erheblichem Anteil interessanter Neugotik durchsetzten) Stadtbild von Brugge äussert, sondern diskret metaphorischer Art ist, indem der „primitive" Mechanismus der Brücke durchaus auch an die Winden alter Militärmaschinen oder Fallagtter erinnern kann. Die Technik als stilbildende Kraft ist ein interessantes Thema, und wenn der Bennauer Steg in Gebälk und Kapitellen an klassizistische Anleihen denken lässt, war dies eher Ergebnis statt Absicht. Diese Elemente sind somit ein Verweis auf die *Ursprünge* klassizistischer Formen.

1 Zschokke, Walter: *Die Strasse in der vergessenen Landschaft. Der Sustenpass*, Zürich 1997
2 Bill, Max: *Robert Maillart*, Erlenbach-Zürich 1949
3 *Schweizerische Bauzeitung* 1953, S. 57 ff., 97, 259 ff., insbesondere Hilfiker, Hans: „Zum Gespräch um die Schöllenen" S. 399 ff.; und Hossdorf, Heinz, in *SBZ* 1954, S. 676; weitere Beiträge: *SBZ* 1955, S. 453, 529, 554, und Ros, Mirko: „Zum Bau der neuen Teufelsbrücke" S. 568 ff
4 Dosch, Leza: *Kunst und Landschaft in Graubünden, Bilder und Bauten seit 1780*, Zürich 2001, S. 57/58 „Viamala und Teufelsbrücke"

Pùnt da Suransuns, Graubünden

Pùnt da Suransuns, Graubünden

Die Pùnt da Suransuns ist eine Spannbandbrücke von 40 m Öffnung, die den Fussweg durch die Viamala über den Hinterrhein führt. Als Teil des steinernen „Viamala Wegs" besteht ihr Gehweg aus Andeerer Granit-Platten, die über untenliegende Stahlbänder vorgespannt sind. Diese Vorspannung erhöht die Steifigkeit gegenüber einer konventionellen Konstruktion beträchtlich.

Im Jahr 1996 wurde die Veia Traversina mit dem Traversiner Steg als erste Etappe des Wanderwegs durch die Viamala eröffnet. Für ihre Fortsetzung durch den südlichen Teil der Schlucht musste zwischen der Wildener Brücke und Rania ein neuer Weg angelegt werden, der nördlich der Viamalabrücke der Nationalstrasse A13 den Hinterrhein überquert. Für die Projektierung dieses Flussübergangs veranstaltete der Verein KulturRaum Viamala im Herbst 1997 einen Ideenwettbewerb unter regionalen Ingenieurbüros.

Die Wahl des richtigen Standorts der Brücke erwies sich schwieriger, als man auf den ersten Blick vermutet hätte. Eine Brücke an der engsten Stelle des Flusslaufs (Punkt d auf dem Lageplan) hätte zwar eine kurze Konstruktion erlaubt, der westliche Zugang hätte aber durch eine steil abfallende Felswand und eine daran anschliessende Rüfe geführt werden müssen. Zudem hätte die Wegführung von der darüberliegenden Aussichtskanzel der alten Viamalastrasse nicht eingesehen werden können und wäre deshalb durch heruntergeworfene Gegenstände gefährdet gewesen. Eine Querung des Flusses im Norden (Punkte a und b) hätte ähnliche Probleme auf der gegenüberliegenden rechten Flussseite aufgeworfen; auch hier verhindern steile Felswände und rutschige Talflanken eine dauerhafte Weganlage. Somit erwies sich die Flussverbreiterung unterhalb Suransuns (c) als bester Standort. Mit 40 m Öffnung ist die Brücke zwar vergleichsweise lang, die Zugänge müssen dafür aber weder von Norden noch von Süden schwieriges Terrain durchqueren und der Respektabstand zu den obenliegenden Strassenbauten ist gewährleistet.

Das Tragwerk selbst entstand aus zwei Grundideen. Zum einen überzeugte das Spannbandsystem sowohl technisch als auch ästhetisch wegen der unterschiedlichen Höhen der beiden Ufer und der Forderung nach einem genügenden Durchflussprofil. Die zweite Idee war die, den südlichen Abschnitt des Viamalawegs als steinernen Weg zu bauen. Der Gegensatz zur Veia Traversina mit ihren Holzbauten markiert damit die Kulturscheide zwischen Nord und Süd auch materiell, und die Wandernden erhalten einen Vorgeschmack auf die Plattenwege in Avers, im Bergell und Veltlin.[1] Der scheinbare Gegensatz zwischen der Forderung nach einer leichten Konstruktion (wegen der Verankerung des Spannbands) und dem schweren Steinmaterial konnte durch die Vorstellung überwunden werden, ein dünner vorgespannter Steinbelag verhalte sich so, als wäre er eine einzige grosse monolithische Felsplatte. Dieses Prinzip ist eine Hommage an Heinz Hossdorf, hatte er doch in den fünfziger Jahren für den Neubau der Teufelsbrücke eine vorgespannte Granitkonstruktion vorgeschlagen.[2]

Als Stein wurde der in der Nähe gewonnene Andeerer Granit (korrekt: Gneis) gewählt, weil er hervorragende physikalische Eigenschaften aufweist. Da die Brückenstelle von Salzsprühnebeln der obenliegenden Nationalstrasse erreicht werden kann, wählte man für sämtliche Stahlteile V4A-Chromnickelstahl oder Duplexstahl. Weil eine Vermörtelung der Steinfugen ausführungstechnisch nicht möglich war, sind die Stossfugen der Steinplatten mit drei Millimeter starken Aluminiumbändern gefüllt. Das kriechfähige Aluminium wird seit langem in der Glasbefestigung verwendet und dient nun hier als Mörtelersatz und Ausgleichsschicht.

Das Spannband wirkt statisch ähnlich wie eine Hängebrücke, wenn man sich den Gehbelag gleichzeitig als Tragkabel und als Versteifungsträger vorstellt. Da der Versteifungsträger sehr schlank ist, kann die Berechnung in zwei Stufen durchgeführt werden. Zunächst, als Ganzes, betrachten wir die Brücke wie ein biegeweiches Seil. Die Kräfte und Verformungen können am Seilpolygon bestimmt werden. Dabei muss der Horizontalzug (H) jeweils so angepasst werden, dass das elastisch verlängerte Polygon zwischen die festen Verankerungspunkte passt. Mit diesem Vorgehen ist der Einfluss zweiter Ordnung automatisch mit berücksichtigt und die iterative Bestimmung von H kann über ein Tabellenkalkulationsprogramm weitgehend vereinfacht werden. Das Verfahren ist im Gegensatz zur klassischen Formänderungstheorie der Hängebrücken anschaulich und übersichtlich.

Der „Versteifungsträger" wirkt nur lokal, er glättet die Knicke der Biegelinie. Wenn diese Knickwinkel – vereinfachend – als gegebene, unveränderliche Werte betrachtet werden, bewirkt das Biegemoment im Versteifungsträger die Umwandlung dieser Knickwinkel in eine stetige Krümmung von einer gewissen Länge. Diese Länge ist von der Biegesteifigkeit des Trägers abhängig. Als statisches Modell dient ein unendlich langer Stab mit der Zugkraft H, auf den eine Einzellast wirkt. Wenn sich die Tangenten an die Biegelinien unter dem Knickwinkel des biegeweichen Seils schneiden, entspricht das Biegemoment einem oberen Grenzwert des wirklichen Trägers. In gleicher Weise können auch die Einspannmomente an der Verankerungsstellen berechnet werden.

Dank der Vorspannung des Gehbelags dürfen für die Dehn- und Biegesteifigkeit des Spannbands ideelle Querschnittswerte eingesetzt werden, bei denen die Mitwirkung des Steins berücksichtigt ist. Die effektive Biegesteifigkeit der aneinander gepressten Steinplatten wurde in einem Versuch mit fünf Steinplatten gemessen. Je nach Genauigkeit des Fugenschnitts ergaben sich daraus Abminderungen der Biegesteifigkeit auf weniger als die Hälfte des theoretischen Werts. Die Vorspannung erhöht auch die Steifigkeit gegen seitliche und drehende Einwirkungen. Die Frequenz der vertikalen Eigenschwingung ist deutlich niedriger als diejenige der ersten Torsionseigenform, so dass eine gefährliche Flatterschwingung ausgeschlossen werden kann.

Aufgrund der einfachen Geometrie lässt sich der Horizontalzug bei 2 kN/m ständiger Last sofort zu 400 kN berechnen. Für die Bestimmung der Vorspannung betrachteten wir eine Nutzlast von ebenfalls 2 kN/m als ausreichend, so dass bei mittlerer Temperatur eine totale Kraft von 800 kN in die Zugbänder eingeleitet wurde. Für die Dimensionierung des Stahlquerschnitts ist die Ermüdung in den Einspannstellen bei den Auflagern massgebend. Die entsprechenden Spannungen konnten durch „Blattfedern" im Auflagerbereich stark reduziert werden. Für die Spannungsberechnung wurde der Grenzfall „homogener Querschnitt" untersucht und verglichen. Günstig ist dabei, dass der stählerne Hauptstrang mit seiner grossen Zugkraft zwischen den ob liegenden Steinplatten und den zusätzlic Stahllamellen gleichsam eingepackt ist daher ziemlich genau in die neutrale Ac des Gesamtquerschnitts zu liegen kommt.

Die Brücke ist in Trockenbauweise hergest das heisst, nach dem Giessen der Widerla wird nur noch gestapelt, gespannt und schraubt. Deshalb mussten die Widerlager hoher Präzision ausgeführt werden. Ein G meter kontrollierte die Schalungen. Die tikalen Schwerter, an denen die Zugbär befestigt sind, wurden direkt in den Konst tionsbeton eingegossen. Die Versorgung Baustelle erfolgte per Helikopter, was we der kurzen Transportwege zur nahegelege Kantonsstrasse finanziell verantwortet wer konnte. Der Helikopter transportierte die r tiv leichten Zugbänder als ganze Stück zwei Flügen an den Einbauort. Die Aufhäng bestand aus einer Seilharfe und einer c liegenden provisorischen Verspannung. N dem Versetzen der Stahlbänder wurden Granitplatten Stück für Stück vom unt Widerlager her verlegt. Die Platten sind mit Geländerpfosten an den Stahlbändern be tigt. Die untenliegenden Muttern zog man erst aber nur soweit an, dass sich die St platten auf den Stahlbändern noch verschie liessen. Der fertige Steinbelag wurde mit St zwischenlagen gegen die Schwerter ges tet, so dass sich die Platten beim Anspar der Stahlbänder untereinander verkeilten sich jetzt wie eine auf den Kopf gest Bogenbrücke verhalten. Nach dem Verk der Stahl-Endblöcke wurden dann die Mu der Geländerpfosten endgültig angezogen. Unternehmer schweisste darauf den Han an Ort und Stelle auf die Geländerpfosten Während der Projektierung überprüften wi Konstruktion an einem Modell im Mass 1:20. Der Gehbelag wurde mit drei Millin starken Granitplättchen nachgebildet. Di gebnisse der statischen Berechnungen lie sich dabei zumindest qualitativ überpr insbesondere fiel auch im Modell die gr Torsionssteifigkeit auf. Die grösste Unbeka bildete die Voraussage des Schwingungs haltens, da für die Strukturdämpfung k Erfahrungswerte vorlagen. Entsprechend sichtig wurden die maximalen Schwingu amplituden für die Ermüdungsberechnung

Überführung Landquartlöser

gesetzt. Beim Überqueren der Brücke ist die vertikale Schwingung deutlich zu spüren, sie wird aber von den Passanten so kommentiert, dass die Brücke doch nicht so weich sei, wie sie aussehe. Damit betrachten wir die Anforderung an die Gebrauchstauglichkeit als erfüllt.

1 Die Übernahme regionaler Bauweisen und Baumaterialien wurde früher häufig als Gestaltungsmittel von Verkehrswegen eingesetzt. Vgl. dazu Dosch, Leza: *Die Bauten der Rhätischen Bahn*, Chur 1983

2 Hossdorf, Heinz: Zum Gespräch um die neue Teufelsbrücke, *Schweizerische Bauzeitung* Nr. 46/1954; S. 676. Ebenfalls für die Teufelsbrücke gibt es ein höchst interessanter Projekt von Hans Hilfiker, bei dem er auch auf das ästhetische Zusammenspiel von Chromstahl und Granit verweist, weit der Glanz des Chromstahls dem Glanz des Glimmers im Granit verwandt sei, *SBZ* 1953, S. 413ff

Überführung Landquartlöser

Hauptstrassen über Ausfahrspuren zu führen, ist eine dutzendfach abgehandelte, vermeintlich „alltägliche" Aufgabe. Dennoch versuchten wir, zusammen mit dem Leiter der Abteilung Kunstbauten des Graubündner Tiefbauamts, Ing. Heinrich Figi, beim vorliegenden Projekt sämtliche Probleme eines derartigen Bauwerks zu erfassen und eine allgemeingültige Antwort dafür zu finden. Sie sollte im Sinne Hermann Czech's gegenüber üblichen Lösungen noch sachlicher sein.

Die beiden Verkehrsträger schneiden sich unter einem sehr spitzen Winkel. Darüberhinaus weisen sie horizontale und vertikale Krümmungen auf. Das Befahren der einspurigen Ausfahrt, die in einer Wanne mit gleichzeitig S-förmiger Kurve unter der Brücke hindurchführt, erfordert vom Autolenker eine gewisse Konzentration. Zusätzliche ablenkende Sinnesreize wie starke Hell-Dunkel-Kontraste oder optische Engnisse sollten zugunsten der Verkehrssicherheit vermieden werden. Diese Gründe führten zur Wahl einer dreifeldrigen Balkenbrücke mit relativ grossen Öffnungen, schmalen Pfeilern und möglichst unauffällig in die Böschungen der Ausfahrspur eingelassenen Widerlagern. Die Qualität der Sichtverhältnisse wurden in einem frühen Projektstudium an einem Modell 1:100 überprüft und es spricht zugunsten dieser Disposition, dass die Überführung Landquartlöser auch von am Brückenbau interessierten Personen häufig gar nicht wahrgenommmen wird.

Die Spannweiten betragen 19 + 28 + 18 m und die Widerlager sind im Grundriss um 45 Grad schief zur Brückenachse angeordnet. Der Brückenträger ist „schwimmend" gelagert; das heisst, seine beiden Enden sind in Längsrichtung beweglich und er wird einzig über die mit ihm monolithisch verbundenen Zwischenpfeiler stabilisiert. Es gibt daher nur vier dem Verschleiss unterworfene und gelegentlich auszuwechselnde Elastomerelager, die sich zudem über den Widerlagern an gut zugänglichen Stellen befinden. Zusätzlich wird der Überbau an den Widerlagern noch durch zwei stählerne Führungslager gegen seitliche Erdbebenkräfte gesichert.

Die Form des Brückenträgers wird durch die Führung der zahlreichen Werkleitungen bestimmt. Neben der üblichen Brückenentwässerung sind dies auch verschiedene Elektroleitungen, die der Versorgung der Region dienen. Es ist üblich und sinnvoll, diese Infrastrukturleitungen entlang von Strassen zu führen und deren Kunstbauten auch als Leitungsträger zu benutzen. Da aber Brücken in der Regel ursprünglich nicht für diese Funktion ausgelegt worden sind, werden diese durch die nachträglich angebrachten Leitungen je nach Konstruktionstyp mehr oder weniger stark verschandelt. Der Wunsch, dieses Problem formal befriedigend zu lösen, oder, allgemeiner, die Suche nach einer im weitesten Sinn funktionalen Lösung, erzeugte schliesslich die ungewöhnliche Form des Brücken-Überbaus als volle Platte variabler Stärke mit durchlaufender zentraler Längsnut. Die Leitungen sind dabei von unten her gut zugänglich und jederzeit einseh- und kontrollierbar. Dank ihrer geschützten Position sind sie dabei für die Benutzer der Ausfahrtsstrasse so gut wie unsichtbar.

Der massive, bis 1.50 m starke Brückenträger in vorgespanntem Beton war wegen seiner robusten Abmessungen einfach herzustellen. Die Schalung bestand aus längslaufenden Brettern, die sich leicht der räumlichen Krümmung anpassten. Sie waren alle 66 cm auf vorfabrizierte, fachwerkartige hölzerne Knaggen genagelt, die den unterschiedlichen Querschnittsabmessungen entsprachen. Die Tabellierung dieser Knaggen erforderte zwar umfangreiche geometrische Berechnungen, doch blieb diese anspruchsvolle Arbeit auf das Büro beschränkt und die Umsetzung auf der Baustelle war sehr einfach. Zum rationellen Herstellungsprozess trug ebenfalls bei, dass das Bewehren und Betonieren des Trägers einer Plattenbrücke jeweils einmalige Arbeitsschritte sind, die nacheinander ausgeführt werden können.

Das an sich recht brachiale Entwurfskonzept wurde im Rahmen der wirtschaftlichen Möglichkeiten formal verfeinert. Die Trägerhöhe ist über den Pfeilern am grössten und nimmt entsprechend der Biegemomente gegen die Brückenenden hin ab. Im Mittelfeld ist die Unterkante des Trägers um 10 cm überhöht. Das Zusammenspiel von horizontaler Strassenkrümmung und variabler Trägerhöhe schafft in der Untersicht der Brücke Raumkurven und windschiefe Flächen – architektonische Massnahmen, die den massiven und gegossenen Charakter des Überbaus unterstreichen. Zudem machen es die recht flach verlaufenden schrägen Untersichten unmöglich, die wahre Trägerhöhe zu erkennen, was der Brücke eine unerwartete Eleganz verleiht.

Die schmalen Pfeiler stecken wie Keile in der Längsnut. Paradox mag erscheinen, dass die Leitungen über den Pfeilerköpfen verlaufen, dort wo man die grössten Kräfte vermutete. Tatsächlich fallen die vertikal gerichteten Kräfte jedoch in den Ebenen der Spannkabel an, also seitlich der Pfeiler. Die beiden auswärts drehenden Brückenhälften werden über den Pfeilern durch eine starke Horizontalbewehrung zusammengehalten. Daraus entsteht eine Klemmwirkung, die die Pfeiler über die Innenseiten der Längsnut zusammenpresst und die Lasten des Trägers über diese seitlichen Kontaktflächen in die Pfeiler einleitet.

Das Konzept der Landquartlöserbrücke überzeugte derart, dass es in der Folge für drei weitere Brücken – nämlich für die Überführung Sufers, die Überführung Glätti zwischen Sufers und Splügen und die Totengutbrücke der Stadt Chur – verwendet werden konnte. Es zeigt, wie Einflüsse von aussen, die mit Statik zunächst nichts zu tun haben, nutzbringend in die Arbeit des Ingenieurs einfliessen können und wie dann scheinbar marginale Gesichtspunkte zu inspirierenden Faktoren werden.

Coupurebrug, Brugge

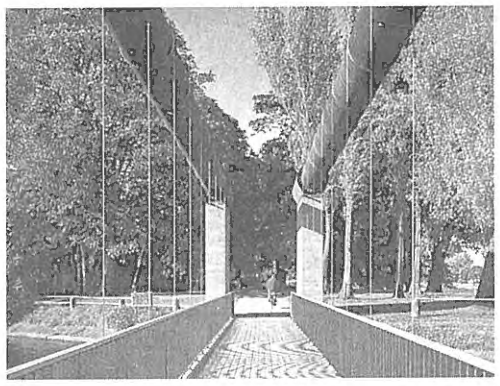
Der Stadtkern von Brugge wird von einem ringförmigen Kanal umschlossen. Entlang der städtischen Seite dieses Kanals verläuft ein Fussweg, weitgehend auf den Ruinen der dritten Stadtmauer von 1297. Mitte des 18. Jahrhunderts wurde der Kanal „Coupure" als radiale Verbindung zwischen dem Stadtzentrum und dem ringförmigen Kanal gegraben. Seither ist der Fussweg zwischen Gentpoort und Kruispoort unterbrochen.

Im Jahr 2002 war Brugge kulturelle Hauptstadt Europas. Für diesen Anlass wurden verschiedene Neubauten realisiert, unter anderem auch die Coupurebrug, die den Ringweg um die Altstadt nach 250 Jahren wieder schliesst. Der bestehende Weg liegt beidseits der Coupure in 1.25 m Höhe über dem Wasserspiegel und da die Brücke ihre Benutzer auf möglichst direktem Weg über den Kanal führen soll und die Coupure im Sommer häufig von touristischen Schiffen befahren wird, muss die Brücke als bewegliche Konstruktion ausgebildet werden.

Wie in solchen Fällen naheliegend, skizzierten wir zunächst eine symmetrische Klappbrücke. Doch deren Nachteile waren offensichtlich: hinter den Widerlagern benötigten Antrieb und Gegengewicht soviel Platz, dass es auf der Südseite zu den bestehenden Mauern sehr eng geworden wäre, und darüber hinaus hätten beidseits hässliche Schneisen in die Baumbestände geschniften werden müssen, um für die Brückenträger im aufgeklappten Zustand genügend Platz zu schaffen. Es galt also, eine andere bewegliche Konstruktion zu finden, die in der Grundfläche wie in der Höhe kompakte Widerlager aufweisen sollte und sozusagen unter die bestehenden Bäume zu schlüpfen vermochte.

Schliesslich überzeugte das Konzept einer „Rollgardinebrug". Zwei nebeneinanderliegende Stahlrohre von 86.4 cm Durchmesser spannen sich in 6 m Höhe über den Kanal. An beiden Ufern liegen sie auf Pfeilern aus Sandstein. An den Innenseiten der Stahlrohre sind je 17 Hängeseile befestigt, die den darunterliegenden Gehweg tragen. Dieser besteht aus massiven, 8 cm starken Eichenbohlen, die auf stählernen Querträgern ruhen.

Zum Anheben des Gehwegs können die hochliegenden Stahlrohre um ihre Achsen gedreht werden. Die Hängeseile wickeln sich um die

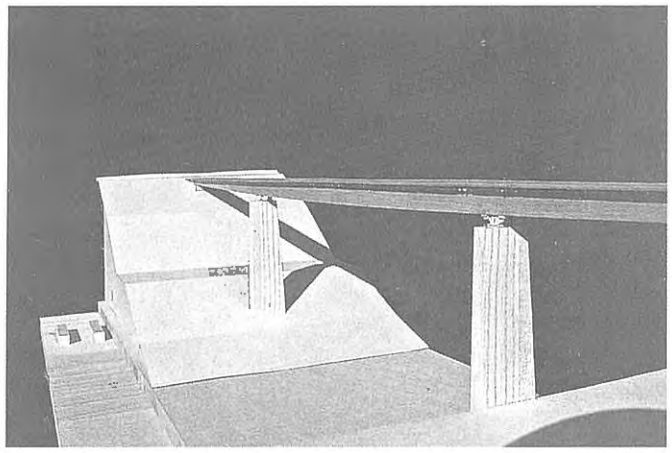


Coupurebrug, Brugge

Rohre und ziehen den Gehweg empor. Während die Haupttragkonstruktion in ihrer Höhenlage bleibt, sich lediglich dreht, wird nur der verhältnismässig leichte Gehweg auf- und abbewegt. Das Öffnen und Schliessen der Brücke geschieht daher mit geringen Kräften und wenig Antriebsenergie.
Aus naheliegenden Gründen kann ein sich drehendes Rohr nicht überhöht werden. Als einfacher Balken würde es also stets in der Mitte etwas durchhängen. Selbst mit grossen Durchmessern und gewaltigen Wandstärken bliebe immer ein kleiner „Sack" bestehen, der unweigerlich von blossem Auge wahrgenommen würde. Um dies zu vermeiden, erhalten die Rohre auf jeweils beiden Pfeilern zwei Lager, deren äusseres das Rohr nach unten zieht. Damit erhalten die Rohre eine elastische Vorspannung nach oben, das heisst, sie können zwar geradlinig hergestellt werden, behalten jedoch während der Rotation unverändert ihre nach oben gekrümmte Form.
Die Pfeiler sind in Brückenlängsrichtung 3 m lang. Die beiden Rohrauflager sitzen vorne und hinten auf dem Pfeilerkopf und ihr Abstand ist genügend gross, das Rohr mit vernünftigen Kräften vorzuspannen. Die gemauerten Pfeiler sind mit vertikalen Stahlstangen soweit vorgespannt, dass sie auch die Zugkräfte der äusseren, abhebend belasteten Lager aufnehmen können. Die Pfeilerfundamente stehen auf Rammpfählen, die bis 20 m tief in den kompakten Sand reichen und die je nach Lastfall auf Druck oder Zug beansprucht werden.
Architektonisch nimmt die Konstruktion Bezug auf die drei Ebenen, die die Kanäle in Brügge überall begleiten, nämlich das Wasser, die Wege und die Baumkronen. Die Materialien Stahl, Stein und Holz sind auch für die umliegenden Brücken typisch, werden jedoch in einer ungewöhnlichen Art kombiniert. Am Ort der Brücke sind verschiedene Welten spürbar: der baumbestandene Park, die Häuser von Brügge, die Kanäle und die gegenüberliegende Schnellstrasse. Einerseits Spuren des Mittelalters, aber auch die moderne industrielle Welt. Entsprechend vielfältig reagiert die Brücke auf ihre Umgebung. Die Stahlrohre lassen an die Ursprünge der modernen Brückenbautechnik aus der industriellen Revolution denken. Dagegen gehören die Sandsteinpfeiler und der hölzerne Gehweg eher zur traditionellen Ausstattung einer Gartenanlage und die beidseitigen Brückenportale erinnern auch an herrschaftliche Parktore.

Bennauer Steg

Bennau liegt im Kanton Schwyz, zwischen Biberbrugg und Einsiedeln, in einer voralpinen Moränenlandschaft, die von ihrer landwirtschaftlichen Nutzung geprägt wird. Im Talboden des Alptals drängen sich Fluss, Hauptstrasse und Eisenbahn dicht aneinander. Schulkinder, Wanderer und Mountainbiker, die vom Altberg nach Bennau gelangen wollen, überqueren heute den Fluss auf einem baufälligen Steg, an den sich beidseits gefährliche Niveauübergänge über die intensiv genutzten Verkehrswege anschliessen. Nun soll die Strasse verbreitert und der Fluss „renaturiert" werden. Die neue Brücke wird gleichzeitig Strasse, Fluss und Bahn überqueren. In den Wettbewerbsunterlagen wurde eine kurze Bauzeit mit geringer Störung des Verkehrs verlangt. Ebenso legte man Wert auf eine sorgfältige architektonische Gestaltung, die Brücke soll sozusagen „ein Tor zu Einsiedeln" werden.
Unser Vorschlag besteht aus einem Dreifeldträger mit Spannweiten von 25 + 36 + 25 m. Die meist aufwendigen Fundationen sind zur Beurteilung von Brücken besonders wichtig, deshalb zuerst einige Bemerkungen hierzu. Die beiden Mittelpfeiler sind in die gut tragfähige Moräne fundiert; wegen der Nähe zu Strasse und Bahn sind Schachtfundationen vorgesehen, die in Etappen nach unten ausgehoben und betoniert werden. Entlang der seitlichen Hänge liegt die Moräne tiefer und ist von wenig tragfähigem Lockergestein überdeckt. Die Brücke ist deshalb so konstruiert, dass sie die Endwiderlager nur mit kleinen Kräften belastet, sodass diese als leichte betonierte Körper ausgebildet werden können, die gleichsam im Lockergestein schwimmen. Die sparsame Ausbildung der Widerlager ist auch deshalb vorteilhaft, weil sie nur über schmale steile Wege zugänglich sind und umfangreiche Materialtransporte teuer zu stehen kämen. Die Pfeiler sind betoniert. Darauf liegt ein hölzerner Hohlkastenträger, der über alle drei Felder durchläuft und mit je zwei Jochen an den Pfeilern befestigt ist.
Der Querschnitt im Detail. Der 2 m breite Gehweg besteht aus querlaufenden, 4 cm starken Lärchenbohlen. Diese liegen auf 5 cm starken Längsträgern, ebenfalls in Lärche. Seitlich werden diese Längsträger durch Vollstahlprofile eingefasst, an denen das Staketengeländer angeschweisst ist. Alle 50 cm werden diese Vollstahlprofile durch einen stählernen Querträger verbunden. Dieser liegt auf der wasserdichten Abdeckung. Die Holzteile sind dadurch von der Abdichtung abgehoben, sie liegen nie in stehendem Wasser, eine gute Durchlüftung ist gewährleistet und wegen der klaren konstruktiven Trennung in Ober- und Unterbau wird die Abdichtung an keiner Stelle verletzt.
Die Abdichtung liegt auf einer über die ganze Brückenlänge durchgehenden Platte, die aus zwei Lagen Fichte/Tanne – Dreischichtplatten besteht, deren Stösse gegenseitig versetzt sind. Die Stirnseiten sind durch Abtropfkanten geschützt. Diese Platte bildet das eigentliche „Dach" der Brücke. Darunter folgt eine Balkenlage aus 14 x 14 cm starken Querträgern, die oben auf dem 1.20 m breiten Hohlkasten befestigt sind. Ihre Lage entspricht derjenigen der Geländerquerträger. Der Hohlkastenträger ist allseitig umlüftet und allfällige Beschädigungen der Abdichtung wären durch Wasserflecken an der obenliegenden Platte erkennbar, bevor sie den Kastenträger gefährdeten. Der Kasten selbst besteht aus 8 cm starken Gurtungen in Brettschichtholz (Fichte/ Tanne) und seitlichen Stegen in Furnierschichtholz. Diese Materialwahl entspricht der statischen Beanspruchung: Druck und Zug werden vom relativ billigen Brettschichtholz aufgenommen, während die hohen Schubspannungen in den Stegen hochwertigen Furnierplatten zugewiesen werden, die wie die erwähnte Abdeckplatte mehrlagig mit versetzten Stössen aufgebaut sind. Heikel sind die Eckpartien, wo die Spannungen von den Gurten in die Stege eingeleitet werden müssen (hier besteht die Gefahr des „rolling shear"); sie sind deshalb mit Beilagehölzern verstärkt. Damit die Brettschichthölzer des Hohlkastens quer zu ihren Fasern schwinden und quellen können, sind die Querträger nur in ihrer Mitte mit dem Obergurt verschraubt. Ebenso sind die kleinen Träger, die im Innern des Hohlkastens den Untergurt am Schüsseln unter Eigenlast hindern, nur in ihrer Mitte mit ihm verbunden. Die Furnierplatten der Stege bestehen in ihrem Innern aus Fichte/Tanne, ihre Dauerhaftigkeit wird aber durch aussen aufgeleimte Dreischichtplatten in wetterresistenter Douglasie wesentlich verbessert.
Die Bauausführung erfolgt vom Fluss her. Weil wegen der Renaturierungsmassnahmen ohnehin neue Uferböschungen erstellt werden, ist es ohne Schaden möglich, im Flussbett eine provisorische Zufahrt zum nördlichen Pfeilerfundament zu erstellen und den südlichen Pfeiler über eine temporäre Brücke zu erschliessen. Nach dem Erstellen der Pfeiler und Widerlager wird der Brückenträger in drei Teilen angeliefert und während einer einzigen Nacht mit zwei Autokranen montiert. Dies bedingt zwei Montagetösse, die biegesteif ausgeführt werden müssen. Um dies zu erreichen, sind im Innern des Kastens fünf Monolitzen-Spannkabel angeordnet, die bei der Montage in den Stössen gekoppelt werden. Die Fugen der Gurte und Stege werden mit Epoxidharz vergossen und wo nötig mit Beilagehölzern versehen. Nach dem Erhärten des Harzes werden die Kabel gespannt. Sie erzeugen im Träger einen Längsdruck, der gross genug ist, die später auftretenden, relativ geringen Biegezugspannungen in den Montagestössen zu überdrücken.
Der Brückenträger ist mit den Pfeilern biegesteif verbunden. Die steife Verbindung verbessert das Schwingverhalten der Brücke, ist wegen des Fehlens beweglicher Teile robust und erlaubt wiederum ein Schwinden des Brückenträgers in Querrichtung, da sie aus Flachblechen besteht, die in horizontaler Richtung elastisch nachgeben können.
Ich komme jetzt zu den technischen Bedingungen, die zur vorliegenden Trägerform geführt haben. Die technische Begründung der Form ist sehr stark von den spezieller Verhältnissen dieser Brücke abhängig und in meinen Augen nicht offensichtlich; ich vermute, sie ist deshalb auch für Experten nicht ohne Erklärung zu erkennen.
Wenn wir nun zunächst die statische Tragfähigkeit untersuchen, können wir als erstes einen Dreifeldträger konstanter Höhe betrachten. Wir können nun die Trägerhöhe dieser unterschiedlichen Beanspruchung anpassen und erhalten damit den sogenannten „Voutenträger". Im Gegensatz zum parallelgurtigen Träger variiert nun die Biegesteifigkeit des Trägers über dessen Länge und aus diesem



Bennauer Steg

Grund sind auch die Grenzwerte der Biegemomente anders verteilt. Die Feldmomente sind geringer, dafür werden die Stützenmomente grösser, dies aber nur auf einem kurzen, begrenzten Bereich. Daraus ergibt sich ein insgesamt kleinerer Materialverbrauch für den Voutenträger, dieser Ersparnis steht jedoch ein grösserer Bearbeitungsaufwand für die kompliziertere Form entgegen. Welche Form wirtschaftlicher ist, lässt sich nur im Einzelfall bestimmen, und so bestehen im heutigen Brückenbau beide Formen als gültige Möglichkeiten nebeneinander.

Ich erinnere mich, wie zu meiner Studienzeit Professor Pierre Dubas gesagt hat, er würde für hohe Brücken die parallelgurtige Form vorziehen, während er bei niedrigen Brücken die geschwungene Voutenform als schön empfände. Dieses ästhetische Statement ist für die nachfolgenden Erklärungen wichtig und ich möchte für einen Augenblick dabei verweilen: ich meine, das ästhetische Akzeptieren des niedrigen Voutenträgers habe mit einer besonderen Leseart der Form zu tun – man hält den Voutenträger für eine Bogenbrücke. Das ist ingenieurmässig zwar falsch, geschieht aber, ob wir das wollen oder nicht, es hat mit Sehgewohnheiten und überlieferten Bildern zu tun, und selbstverständlich wäre es kurzsichtig und wenig einfühlsam, eine solche, unwillkürliche Leseart zu verurteilen. Im Gegenteil, ich halte es für interessant und produktiv, solchen Erscheinungen (solchen angeblichen „Missverständnissen") nachzuspüren und sie in Entwurfsentscheidungen miteinzubeziehen. Bei hohen Pfeilern glaubt man – zu Recht – nicht mehr an die Bogentragwirkung und darin liegt der Grund für die entsprechende Kritik.

Wenn wir nun zu unserer Untersuchung der Tragfähigkeit zurückkehren und als drittes die gebauchte Trägerform des Bennauer Stegs untersuchen, erhalten wir ein ungünstiges Ergebnis. Die Stützenmomente entsprechen praktisch denjenigen des ersten Beispiels mit konstanter Trägerhöhe, die Feldmomente sind jedoch erheblich grösser.

Ich kann jetzt ein konstruktives Argument anführen. Als Voutenträger wäre der Holzträger schwierig herzustellen. Knicke oder starke Krümmungen in den Gurten stellen Probleme. In dieser Beziehung erweist sich der gebauchte Träger offensichtlich als günstiger, aber doch nicht ganz so simpel wie der Träger konstanter Höhe. Hat also der Konstrukteur im Bestreben, eine „interessante Form" zu schaffen, einen Verrat am Prinzip der statischen Effizienz begangen?

Um diesen Verdacht zu widerlegen, müssen wir jetzt in das weite und komplexe Feld der Tragwerksdynamik einsteigen. Nehmen wir als Beispiel den einfachen Balken mit konstantem Querschnitt. Jedes Tragwerk besitzt verschiedene Eigenschwingungsformen mit dazugehörigen Eigenfrequenzen. Uns interessiert vorwiegend die erste Eigenform mit der niedrigsten Eigenfrequenz, der „Grundton". Wenn entsprechend angeregt, schwingt der erwähnte einfache Balken in einer sinusförmigen Eigenform mit einer ersten Eigenfrequenz von $pi/(2L)^2 * sqrt(EI/m)$ (Einheit „Hertz" (Hz)). Die Eigenfrequenz hängt also ab von Biegesteifigkeit und Masse. Man weiss, dass eine Brücke mit einer Eigenfrequenz zwischen 1.6 und 2.4 Hz von Fussgängern zu unangenehmen Vibrationen angeregt werden kann. Häufig liegt nun die Eigenfrequenz von Brücken mit 30 bis 50 m Spannweite genau in diesem kritischen Bereich. Vergleichen wir den einfachen Balken mit einem gelenkig gelagerten Dreifeldträger konstanter Spannweiten, erkennen wir bezüglich Schwingverhalten keinen Unterschied. Die Eigenform des Dreifeldträgers zeigt eine Sinuskurve, die abwechselnd nach unten wie nach oben verläuft. Über den Auflagern verläuft die Kurve praktisch gerade; das heisst, eine Verstärkung des Trägers mit Vouten in diesem Bereich ändert nichts an den Schwingverhältnissen, für das Schwingverhalten sind die Vouten bedeutungslos. Ihre Anordnung könnte zwar aus den oben erwähnten statischen Gründen im Feld die Masse des Trägers verringern und dadurch die Eigenfrequenz erhöhen, doch im hier vorliegenden Fall des Bennauer Stegs ist die Trägermasse praktisch unabhängig von der Trägerhöhe. Dies ist eine spezifische Eigenschaft dieses Trägers. Sie bewirkt, dass ich die Eigenfrequenz nur über die Veränderung der Steifigkeit, sprich Trägerhöhe, beeinflussen kann, und selbstverständlich verändere ich die Steifigkeit am besten dort, wo der Träger schwingend am stärksten gebogen wird, also in den Feldmitten.

Von diesem Prinzip ausgehend untersuche ich jetzt den konkreten Fall mit unterschiedlichen Feldweiten und berücksichtige dabei auch die elastische Einspannung des Trägers in den Pfeilern. Es zeigt sich, dass der gebauchte Träger von den drei untersuchten Varianten das beste Ergebnis liefert.

Ich habe einmal bei einer Beschreibung des Traversiner Stegs die These formuliert, dass jeder Entwurfsprozess einer Konstruktion früher oder später an den Punkt gelange, wo technische Argumente ihre Schärfe verlören. An diesen Punkt sind wir jetzt mit dem Bennauer Steg gelangt: die gebauchte Trägerform steht fest, doch könnte sie technisch gesehen mit gerader Unterkante und gekrümmtem Obergurt ebenso gut wie mit geradem Obergurt und gekrümmter Unterkante oder auch symmetrisch bezogen auf eine gerade Trägerachse ausgebildet werden. Weshalb weist jetzt die Trägeroberkante eine schwache Krümmung nach oben und die Unterkante eine stärkere Krümmung nach unten auf?

Es ist ein architektonischer Entscheid. Es ist eine Geste zur Landschaft. Ähnlich wie das Publikum die Quaibrücke in Zürich oder die Waterloobrücke in London als Bogenbrücke lesen wird, entsteht hier der Eindruck, meine ich, der Träger sei in der Mitte schwer, hänge durch, und hebe durch diese Verformung die Trägerenden nach oben. Das grundsätzlich Beunruhigende dieser Geste wird durch die Tatsache gemildert, dass der Gehweg immer noch deutlich nach oben überhöht bleibt; der Konstrukteur scheint also die Verformungen noch unter Kontrolle zu haben. Dennoch reagiert die Geste klar auf eine geologische Eigenart des Terrains, sie sagt: ich stehe auf zwei Pfeilern fest auf dem Talboden und meine Arme belasten die Talflanken nicht.

An dieser Stelle möchte ich auf Bruno Reichlins Text: „Die Moderne baut in den Bergen" verweisen. Der bildhaften Entwurfsmethode von Schmitthenner wird darin die gestische Verklammerung mit der Landschaft der Bauten von Welzenbacher gegenübergestellt. Im Gegensatz zur, wie er sagt, „kulturalistischen" Haltung Schmitthenners, die stets in den Betrachtenden ein entsprechendes Hintergrundwissen voraussetzt, sind Welzenbachers Entwürfe auf eine sozusagen körperliche Wirkung hin angelegt, die von jedem Menschen unmittelbar wahrgenommen werden könnte. Dieser gestische Ausdruck, dieser architektonische Bezug zur Moderne ist mir beim Bennauer Projekt wichtig. Die gebauchte Trägerform als Geste weist auf die geringe Belastung der Talflanken durch die Widerlager hin. Diese starke gestalterische Wirkung entspricht nur in geringem Mass der statischen Effizienz, indem die tatsächliche Reduktion der Auflagerkräfte aus der gebauchten Form, verglichen mit den Übrigen, recht gering ist (die geringen Auflagerkräfte haben vielmehr mit der Einteilung der Spannweiten und der Materialwahl zu tun). Umgekehrt ist die wirklich vorhandene Leistung der Form, nämlich die Verbesserung des Schwingverhaltens, wie erwähnt, vermutlich für die Wenigsten ohne Erklärung erkennbar. Diese Doppeldeutigkeit empfinde ich durchaus als reizvoll und sie zeigt, dass das Verhältnis von „tatsächlicher Stabilität" zu „dargestellter Stabilität" nach wie vor ein unerschöpflich faszinierendes Thema ist.

Ottoplatz Building/Überbauung Ottoplatz, Chur
Client/Bauherr: Baugesellschaft Ottoplatz Chur,
represented by/vertreten durch die
Gebäudeversicherungsanstalt Graubünden, Chur
Architects/Architekten:
Dieter Jüngling & Andreas Hagmann, Chur
Engineering partners/Arbeitsgemeinschaft mit:
Colenco-Straub AG, Chur
In collaboration with/Mitarbeit: Reto Tobler, Manuel Salvator
Building physics/Bauphysik: Kuster & Partner AG, Chur
Contractor/Bauunternehmer: Lazzarini & Co., Chur,
Mettler AG, Chur & Zindel AG, Chur
Completion/Fertigstellung 1998

Volta School/Voltaschulhaus, Basel
Client/Bauherr: Baudepartement des Kantons Basel-Stadt
Architects/Architekten: Quintus Miller & Paola Maranta, Basel
Engineering partners/Arbeitsgemeinschaft mit:
Affentranger & Partner AG, Birsfelden
In collaboration with/Mitarbeit: Guido Lauber,
Beat Joss (Affentranger)
Contractor/Bauunternehmer: Glanzmann AG, Basel
Completion/Fertigstellung 2000

Swiss School of Timber Technology/Schweizerische Ingenieur- und Fachschule für die Holzwirtschaft, Biel
Client/Bauherrschaft: Kanton Bern
Architects/Architekten: Marcel Meili, Markus Peter,
with Zeno Vogel, Zürich
In collaboration with/Mitarbeit: Rolf Bachofner, Reto Tobler
Timber construction/Holzbauunternehmer:
Arbeitsgemeinschaft SISH Biel – Schertenleib & Lüdi, Orpund;
Habegger, Biel; Hässig, Ipsach; Marti, Lyss; Ritter, Biel;
Zaugg, Rohrbach
Floor systems/Deckensysteme: Hermann Blumer, Waldstatt
Concrete construction/Betonunternehmer: Wirz AG, Bern
Competition/Projektwettbewerb 1990
Completion/Fertigstellung 1999

Mur Footbridge/Mursteg, Murau
Client/Bauherrschaft: Land Steiermark, Österreich
Architects/Architekten: Marcel Meili, Markus Peter, Zürich
In collaboration with/Mitarbeit: Jeannette Tschudy
Contractor/Unternehmer: Holzbauwerk Kaufmann,
Reuthe, Vorarlberg
Competition/Projektwettbewerb 1993
Completion/Fertigstellung 1995

Zurich Airport Busgate/Flughafen, Zürich-Kloten
Client/Bauherr: Swissair Immobilien
Architects/Architekten: Lorenzo Giuliani &
Christian Hönger, Zürich
In collaboration with/Mitarbeit: Martin Valier
Competition/Projektwettbewerb 1999 (nicht prämiert)

School Extension/Erweiterung Schulanlage, Flerden
Client/Bauherr: Gemeinde Flerden
Architect/Architekt; Hans Marugg, Thusis
Contractor/Unternehmer: Flütsch Holzbau, Thusis
Completion/Fertigstellung 1993

Swiss Re, Rüschlikon
Client/Bauherr: Schweizer Rückversicherungs-
Gesellschaft, Zürich
Architects/Architekten: Marcel Meili, Markus Peter, Zürich
Engineering partners/Arbeitsgemeinschaft mit:
Ernst Basler & Partner, Zürich
In collaboration with/Mitarbeit: Reto Tobler, Rolf Bachofner
Timber construction/Holzbauunternehmer:
Holzbauwerk Kaufmann, Reuthe, Vorarlberg
Completion/Fertigstellung 2000

Second Traversina Bridge/
Zweiter Traversiner Steg, Graubünden
Client/Bauherr: KulturRaum Viamala Society, Chur
In collaboration with/Mitarbeit: Rolf Bachofner
Model/Modell: Lydia Conzett
Aerial crane/Seilkran: E. Nigg, Untervaz
Timber construction/Montagebau in Holz:
A. Freund, Holzbau GmbH, Samedan & Boner,
Holzbau AG, Serneus
Steel ropes/Stahlseile: Seilfabrik Ullmann, Abtwil
Glulam timber production/Brettschichtholzproduktion:
J. Berger, Seewis
Contractor/Baumeisterarbeiten: Luzi Bau AG, Zillis
Completion/Fertigstellung 2005

Multipurpose Hall/Mehrzweckhalle, Alvaschagn
Architects/Architekten: Bearth & Deplazes, Chur
Timber construction/Montagebau in Holz:
Projer SA, Alvaschagn
Completion/Fertigstellung 1992

Traversina Footbridge/Traversiner Steg, Graubünden
Client/Bauherr: KulturRaum Viamala Society, Chur
In collaboration with/Mitarbeit: Maurus Cadosch, René Fanchini
Model/Modell: Lydia Conzett
Timber construction/Montagebau in Holz: Flütsch AG, Thusis
Steel ropes/Stahlseile: Riss AG, Dällikon
Steel junctions/Stahlknoten: Romei AG, Rothenbrunnen
Contractor/Baumeisterarbeiten: Luzi Bau AG, Zillis
Transport flights/Einflug: Heliswiss, Domat/Ems
Completion/Fertigstellung 1996

School/Schulhaus, Duvin
Client/Bauherr: Gemeinde Duvin
Architect/Architekt: Gion Caminada, Vrin
In collaboration with/Mitarbeit: Rolf Bachofner
Joinery/Holzbau: Alig SA, Vrin
Completion/Fertigstellung 1995

School Complex/Schulanlage, St Peter
Client/Bauherr: Gemeinde St Peter
Architect/Architekt: Conradin Clavuot, Chur
In collaboration with/Mitarbeit: Josef Dora
Timber construction/Holzbauunternehmer:
Projer SA, Aivaschagn & Maissen, Trun
Completion/Fertigstellung 1999

School Complex/Schulanlage, Mastrils
Client/Bauherr: Gemeinde Mastrils
Architects/Architekten:
Dieter Jüngling & Andreas Hagmann, Chur
In collaboration with/Mitarbeit: Plácido Pérez, Maurus Cadosch
Contractor/Bauunternehmer: Zschokke AG, Chur
& Lurati AG, Chur
Completion/Fertigstellung 1995

Multipurpose Hall/Mehrzweckhalle, Vrin
Client/Bauherr: Gemeinde Vrin
Architect/Architekt: Gion Caminada, Vrin
In collaboration with/Mitarbeit: René Fanchini
Joinery/Holzbau: Alig SA, Vrin
Completion/Fertigstellung 1995

Canopy/Schutzdach, Chur
Client/Bauherr: Amt für Bundesbauten, Dienststelle Chur
In collaboration with/Mitarbeit: Guido Lauber
Joinery/Holzbau: Schürch Holzbau, Chur
& Samuel Singer AG, Chur
Completion/Fertigstellung 1998

Goat Dairy/Ziegenstall, Alp Parvalsauns, Vrin-Puzzatsch
Client/Bauherr: Genossenschaft Alp Vrin
Architect/Architekt: Gion Caminada, Vrin
Joinery/Holzbau: Alig SA, Vrin
Completion/Fertigstellung 1993

Hohe Brücke, Vals
Client/Bauherr: Tiefbauamt Graubünden
In collaboration with/Mitarbeit: Patrick Gartmann
Contractor/Bauunternehmer: Erni AG, Trin & Berni AG, Vals
Completion/Fertigstellung 1999

Muota Bridge/Muotabrücke, Ibach-Schwyz
Client/Bauherr: Tiefbauamt Schwyz
Engineering partners/Arbeitsgemeinschaft mit: Birchler, Pfyl
und Partner, Schwyz; BSS Architekten Schwyz
In collaboration with/Mitarbeit:
Gianfranco Bronzini, Maurus Cadosch
Contractor/Bauunternehmer: C. Vanoli AG, Immensee
& Aufdermaur's Söhne AG, Ibach
Lifting and shifting/Hebe- und Verschiebetechnik:
Iten, Oberägeri
Competition/Projektwettbewerb 1999
Completion/Fertigstellung 2001

Zeche Zollverein, Essen
Client/Bauherr: IBA Emscher Park
Architect/Architekt: Diener & Diener, Basel
Partner office/Partnerbüro: Kempen Ingenieure, Aachen
In collaboration with/Mitarbeit: Marcus Schmid
Competition/Projektwettbewerb 1999

Stadium/Stadion, Zürich (Hardturm-Stadion)
Client/Bauherr: Stadion Zurich AG
c/o Credit Suisse Financial Services
Architects/Architekten: Marcel Meili, Markus Peter, Zürich
Engineering partners/Ingenieurgemeinschaft mit:
Basler & Hofmann, Zürich
In collaboration with/Mitarbeiter: Gianfranco Bronzini,
Josef Dora, Dominik Weiss, Rafael Wyrsch, Martin Valier
General contractor/Generalunternehmer: Batigroup AG,
Zürich, Zschokke AG, Zürich
Competition/Projektwettbewerb: 2000–2002
Project development/In Projektierung 2002–

Army Canteen/Kantine der Truppenunterkunft, St Luzisteig
Client/Bauherrschaft: Amt für Bundesbauten, Dienststelle Chur
Architects/Architekten:
Dieter Jüngling & Andreas Hagmann, Chur
In collaboration with/Mitarbeit:
Gianfranco Bronzini, Maurus Cadosch
Contractor/Bauunternehmer: Oberer AG, Glarus
Completion/Fertigstellung 2001

RBS Station Hall/Bahnhofshalle RBS, Worb
Client/Bauherr: Regionalbahn Bern-Solothurn RBS
Architects/Architekten: SMARCH -
Stücheli, Mathys Architekten, Bern
In collaboration with/Mitarbeit: Patrick Gartmann
Contractor/Bauunternehmer: Burn & Künzi, Adelboden
Metal structures/Metallbau: Prometall, Laupen
Competition/Wettbewerb 1999
Completion/Fertigstellung 2003

Swiss Pavilion/Klangkörper Schweiz, Expo 2000
Client/Bauherrschaft: Swiss Confederation/
Schweizerische Eidgenossenschaft
Architect/Architekt: Peter Zumthor, Haldenstein
Production director/Inszenierung: Karoline Gruber
Project management/Bauleitung: Franz Bärtsch
Structural planning/Tragwerksplaner:
Conzett Bronzini Gartmann
(Projektleiter: Patrick Gartmann)
Structural testing/Prüfstatik: Martin Kessel
Collaborator/Mitarbeit: Carsten Seifart
Contractor/Unternehmer: Nüssli events, Schweiz
Competition/Projektwettbewerb 1997
Expo May to October/Mai bis Oktober 2000

Pùnt da Suransuns, Viamala, Graubünden
Client/Bauherr: KulturRaum Viamala Society, Chur
In collaboration with/Mitarbeit: Fredric Benesch, Guido Lauber
Model/Modell: Lydia Conzett, Thomas Rüedi
Geology/Geologie: Baugeologie Chur
Surveying/Landvermessung: Hasler & Müggler, Thusis
Contractor/Bauunternehmer: Luzi Bau AG, Zillis
Anchoring/Anker: Otto Bohr AG, Thusis
Stainless steel/Edelstahl: Romei AG, Rothenbrunnen
Granite/Granit: Granitwerk Andeer, A. Conrad AG
Transport flights/Einflug: Air Grischa/
Heliswiss Graubünden, Untervaz
Completion/Fertigstellung 1999

Landquartlöser Overpass, Graubünden
Client/Bauherr: Kanton Graubünden
In collaboration with/Mitarbeit: Andrea Branger
Contractor/Bauunternehmer: Schmalz AG, Bonaduz & Zogg,
Schneller AG, Chur & Morell AG, Trimmis
Completion/Fertigstellung 1994

Coupure Bridge/Coupurebrug, Brügge
Client/Bauherr: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap,
Afdeling Waterwegen Kust
In collaboration with/Mitarbeit: Marcus Schmid,
Prof. Jürg Meier, Hochschule Rapperswil
(mechanical engineering/Maschinentechnik)
General contractor/Generalunternehmer: Depret NV, Zeebrugge
Steel structures/Stahlbau: Metaalconstructie Aelterman, Gent
Mechanics/Mechanik: Demako NV, Zwjindrecht & Boekholt
Transmissions, Wommelgem & Loosbergh, Middelkerke
Stainless steel/Edelstahl: Martens Constructions, Oostende
Completion/Fertigstellung 2002

Bennau Footbridge/Bennauer Steg, Schwyz
Client/Bauherr: Tiefbauamt Schwyz
Model/Modell: Lydia Conzett
Competition/Projektwettbewerb 2002
(unpremiated/nicht prämiert)

Title Page
Pùnt da Suransuns, photo by Urs Forster

Half-title
RBS Worb Station Hall, photo by Claudio Moser

Structure as Space
Courtesy Andreas Kessler 8, Royal Cornwall Museum 9, Urs Forster 13, ETH/Eduard Imhof Archive 14, Wilfried Dechau 15

Beauty of Calculation
Siemens AG Archive 19, 20, courtesy Santiago Calatrava 24, 25, Heinrich Helfenstein 26 left, 28, Markus Weidmann 26 right, Jeannette Tschudy 29, Franz Bärtsch 31

On Perception
ETH/Eduard Imhof Archive 257, 258, 259

Retaining Walls
Jürg Conzett 260–263, 265

Section Introductions
Sammlung-Grubenmann, Teufen 110, 127; Jürg Conzett 111

Projects
Jürg Conzett took the photographs on the following pages:
41, 49, 62, 65, 71, 78 left, 83, 88, 89, 91, 98–99, 113, 115, 117, 118, 119, 124 centre and right, 125, 128, 131, 133, 134–135, 140, 141, 146, 147, 157, 162, 163, 167 right, 169, 172, 176, 184–185, 219 right, 224, 228 left, 230, 231, 233, 237, 238–239, 241, 242–243, 247, 248, 283, 284 left, 288, 290 right, 297, 298, 300

Other project photos are by
Ottoplatz Ralph Feiner 36, 44, 45 bottom, 47, Markus Weidmann, 42–43, 45 top, 280, Andreas Hagmann 46; **Volta** Ruedi Walti 48, 51, 56, 57, 281 left; **Biel** Georg Aerni 58; **Murau** Margherita Spiluttini 70, Heinrich Helfenstein 72, 76, 77, 79; **Swiss Re** Margherita Spiluttini 92; **New Traversina** Wilfried Dechau 100, 108, 109, 284 right; **Old Traversina** Jeannette Tschudy 122–123, 124 left, 286; **St Peter** Ralph Feiner 136, 289 left; **Mastrils** Christian Kerez 142, 144, Schenk & Campell 150–151, 289 right; **Vrin** Anna Lenz 152; **Canopy** Ralph Feiner 158, 290 centre, SBZ 159; **Goat Dairy** Gert v. Bassewitz 165, 166; **Zurich Stadium** Annette Kisling 192, 198, 293; **St Luzisteig** Ralph Feiner 200, 206, 207, 294 left; **Expo Pavilion** Roland Halbe 208, 211, 213; **RBS Worb** Thomas Jantscher 214, 214, 221 bottom, Beat Mathys 219 right top, 220, Dominique Uldry 221 top; **Suransuns** Urs Forster 229; **Coupurebrug** Roland Halbe 240, 244, 299

Please note that the drawings for the projects are not reproduced to the scales indicated in the German captions that accompany them. Working drawings are by Conzett Bronzini Gartmann unless indicated otherwise. Site plans, ground plans, sections and facades are by the respective architects. The isometric and ground plan of the Murau Footbridge (73, 74–75) are by Meili & Peter.

Acknowledgements

I would like to thank those who have been involved in the making of *Structure as Space*. Jürg Conzett and I are indebted above all to the Editor of AA Publications, Pamela Johnston; without her judicious guidance and unwavering dedication this book would not have been possible. Nadine Rinderer refined and enhanced the layouts, while vital input was provided during the early stages of the project by Zoe Bather, Sonya Dyakova and Vince Frost at Frost Design, and by Nicola Bailey and Allon Kaye at the AA. Many thanks also to Simon Allford, former honorary treasurer of the Architectural Association, for his support of this and other publication projects. At Conzett Bronzini Gartmann, the necessary documentation was prepared by Jeannette Tschudy, Rolf Bachofner, Prisca Schoenahl, Maurus Cadosch, Faton Sadiku, Michael Bebi and Lydia Conzett. And finally, at Cornell, thanks to Werner Goehner and Leslie Burke for their contribution to the German translation of my text. Mohsen Mostafavi

Current Practices 3
Structure as Space: Engineering and Architecture in the Work of Jürg Conzett and His Partners
Editor: Mohsen Mostafavi
Authors: Jürg Conzett, Mohsen Mostafavi, Bruno Reichlin
AA Publications Editor: Pamela Johnston
Design: Nadine Rinderer, based on a concept by Frost Design
Editorial and Production Assistants: Clare Barrett, Marilyn Sparrow

Translations from the German are by Pamela Johnston, except for the texts on Retaining Walls and the Expo Pavilion, which are by Vidar L'Estrange. The engineers Phil Cooper, Anderson Inge, Rory MacGowan and Liam Dewar provided invaluable advice on technical terminology. Bruno Reichlin's essay was translated from Italian into English by Jonathan Keates, and into German by Jürg Conzett. Jens Stephen Schellhammer translated Mohsen Mostafavi's essay into German.

No part of this book may be reproduced in any manner whatsoever without written permission from the publisher, except in the context of reviews.

1-902902-01-7
978-1-902902-01-2

Contents © 2006
Architectural Association and the authors
AA Publications
36 Bedford Square
London WC1B 3ES
aaschool.ac.uk/publications
publications@aaschool.ac.uk

This book is set in Helvetica and printed on Munken Print Extra 18 115 gsm
Colour separation and printing by SC (Sang Choy) International Pte Ltd

Publication of *Structure as Space* has been generously supported by

KULTURFÖRDERUNG KANTON GRAUBÜNDEN
PRO HELVETIA
Schweizer Kulturstiftung

Editor Mohsen Mostafavi

Structure as Space

Engineering and Architecture in the Works of Jürg Conzett and His Partners

Jürg Conzett is not afraid to use the achievements of the past as a source of innovative thinking for the present; his sources of inspiration range from the Grubenmann brothers to Isambard Kingdom Brunel, among others. Equally, many of his projects are dedicated to the most advanced and radical approaches in the field of structural engineering. When Conzett works with architects, as he often does, the results are unconventional and unexpected in appearance. When he works alone as an engineer, he resists the overtly expressive dimension of structural engineering, focusing instead on an approach that might be characterized as innovative reticence. *Structure as Space* includes both categories of work, collaborative and independent, in a survey of an outstanding engineer who is helping to redefine the role of structural engineering and its relation to architecture.

Jürg Conzett is a principal in the engineering practice of Conzett Bronzini Gartmann, based in Chur in the Canton of Graubünden. He studied at the EPF Lausanne and ETH Zurich, and after graduating worked for six years in the office of Peter Zumthor. His works include many collaborations with significant Swiss architects. Conzett currently teaches at the ETW Chur.

Mohsen Mostafavi is Dean of the College of Architecture, Art, and Planning and the Arthur L. and Isabel B. Weisenberger Professor in Architecture at Cornell University. From 1995 to 2004 he was Chairman of the Architectural Association School of Architecture, and before that Director of the Master of Architecture 1 Program at the GSD, Harvard University. His publications include the companion to this volume, *Approximations: The Architecture of Peter Märkli* (2002), and *Surface Architecture* (co-author David Leatherbarrow), which won the 2004 Bruno Zevi CICA Book Award.

Bruno Reichlin, Professor at the Institute of Architecture at the University of Geneva, is a practitioner and theoretician of architecture. He is the author of numerous works on individual architects, including Le Corbusier, Ludwig Mies van der Rohe, Max Bill, Frederick Kiesler, Carlo Mollino, Jean Prouvé and Alberto Sartoris, as well as on topics such as functionalism in the 1920s and 1930s, Italian neo-realism and modernism in the mountains.

School of Architecture
36 Bedford Square
London WC1B 3ES
aaschool.ac.uk/publications

1-902902-01-7
978-1-902902-01-2