

# **HANDBUCH**

## **INTRALOGISTISCHE SYSTEME FÜR STÜCKGUT**

### **Teil IV:** **Gebäude für intralogistische Systeme**

Untertitel Teil IV.2:  
Realisierungsmöglichkeiten der Anforderung an die Logistikimmobilie

<b>Gesamtübersicht</b>	
Teil I	Gestaltungsmöglichkeiten zur Optimierung des Aufbaus und der Abläufe innerhalb des Systems
Teil II	Lagertechnische Einrichtungen Untertitel II.1: Ladeinheit, Ladehilfsmittel, Untertitel II.2: Lagerarten, Lagertechniken Untertitel II.3: Fördertechnik Untertitel II.4: Technische Einrichtungen für Kommissioniersysteme sowie WE / WA, Versand
Teil III	Lagerverwaltung, Datenerfassung, Datenverarbeitung
Teil IV	Gebäude und Infrastruktur für intralogistische Systeme Untertitel IV.1: Anforderungen an die Gebäude Untertitel IV.2: Realisierungsmöglichkeiten der Anforderung an die Gebäude
Teil V	Technische Gebäudeausrüstung

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>Abgrenzungen</b>	<b>4</b>
1.1	Hallenbau	4
<b>2</b>	<b>Fertigteilbau</b>	<b>5</b>
2.1	Rastermaße für Gebäudeachsen	6
2.1.1	Einflüsse des Gebäuderasters auf die Nutzbarkeit der Logistikhalle	7
2.1.2	Rasterauswahl ohne Berücksichtigung von Drittverwendung	7
2.1.3	Studien zur Rasterauswahl unter Berücksichtigung von Drittverwendung	8
2.1.3.1	Ergebnis der Studie 1:	10
2.1.3.2	Ergebnis der Studie 2:	10
2.1.4	Rastermaße in Abhängigkeit von Arbeitsgangbreiten und Regalanordnungen	11
2.1.4.1	Hauptträger parallel zur Längsseite der Halle angeordnet	12
2.1.4.2	Hauptträger rechtwinklig zur Hallen-Längsseite angeordnet	13
<b>3</b>	<b>Baukonstruktion „Logistikhalle“</b>	<b>15</b>
3.1	Industrieboden	15
3.1.1	Tragschicht und Untergrund	16
3.1.2	Bodenplatte	16
3.1.2.1	Beton	16
3.1.2.2	Bemessung der Beton-Bodenplatte	19
3.1.3	Anforderungen an den flächenfertigen Boden	21
3.1.3.1	Allgemeine Anforderungen an die Oberfläche	21
3.1.3.2	Anforderungen an die Ebenheit und Kurzwelligkeit	22
3.2	Tragkonstruktion	24
3.2.1	Fundamente	24
3.2.2	Hauptmaterialien für die Tragwerkkonstruktion	25
3.2.2.1	Betonbau (Stahlbetonbau und Spannbetonbau)	25
3.2.2.2	Stahlbau	25
3.2.2.3	Holzbau	26
3.2.3	Systemunterschiede innerhalb der Tragwerkkonstruktionen	26
3.2.3.1	Einachsig wirkende Tragwerke	27
3.2.3.2	Zweiachsig wirkende Tragwerke	28
3.2.4	Stützen und Stiele	29
3.2.5	Binder	30
3.2.5.1	Binder in Betonausführung	31
3.2.5.2	Binder in Stahl- bzw. Holzausführung	31
3.2.6	Richtwerte zur Grobdimensionierung von Stützen und Bindern	32
3.2.6.1	Querschnitte / Profile der Stützen	33
3.2.6.2	Höhen der Binder / Riegel	34
3.2.7	Pfetten / Nebenbinder	36
3.2.7.1	Pfetten in Stahlbeton- bzw. Spannbeton-Ausführung	37
3.2.7.2	Pfetten in Stahlausführung	37

3.2.7.3	Pfetten in Holzausführung	37
3.2.8	Wand-, Trauf- und Ortgangriegel, Rand- und Giebelträger	38
3.2.8.1	Traufriegel / Randträger	38
3.2.8.2	Ortgangriegel / Giebelträger	38
3.2.8.3	Wandriegel	38
3.2.9	Aussteifungselemente	39
3.2.9.1	Eingespannte Stützen als Aussteifungselement	39
3.2.9.2	Verbände	40
3.2.9.3	Scheiben	40
3.2.9.4	Rahmen	40
3.2.9.5	Kerne	40
3.3	Gebäudehülle	41
3.3.1	Anforderung an die Gebäudehülle	41
3.3.1.1	Energetische Anforderungen an Außenbauteile	41
3.3.1.2	Anforderungen gegen Durchfeuchtung der Gebäudehülle	41
3.3.2	Funktionen der Gebäudehülle	42
3.3.2.1	Wärmeschutz / Witterungsschutz	42
3.3.2.2	Schallschutz	42
3.3.2.3	Baulicher Brandschutz	42
3.3.3	Außenwände	43
3.3.3.1	Metall-Trapezprofil-Wände	43
3.3.3.2	Metall-Kassettenprofil-Wände	43
3.3.3.3	Metall-Sandwichelement-Wände	43
3.3.3.4	Beton-Sandwichelement-Wände	44
3.3.3.5	Porenbeton-Wände	44
3.3.3.6	Wände in Holztafelbauweise	44
3.3.4	Dach	45
3.3.4.1	Dachaufbau	45
3.3.4.2	Dachentwässerung	46
3.3.4.3	Oberlichter	47
<b>4</b>	<b>QUELLENNACHWEIS zu Teil IV.2</b>	<b>48</b>
4.1	Tabellenverzeichnis	48
4.2	Abbildungsverzeichnis	48
4.3	Literaturverzeichnis	49
4.3.1	Gesetze, Normen, Richtlinien, Empfehlungen usw.	49
4.3.2	Literatur, Firmenbroschüren, Internetveröffentlichungen	49

## 1 ABGRENZUNGEN

Bevor die Planung und Realisierung der eigentlichen Logistikimmobilie beginnen kann, müssen mehrere Planungs- und Überprüfungsprozesse durchgeführt werden:

- Zunächst muss ein geeigneter Standort ermittelt werden. Kriterien sind u.a. die entfernungs-mäßige und verkehrstechnische Anbindung an ein Logistiknetz.
- Bei potentiellen Baugrundstücken im Bereich dieses Standortes zählt nicht nur der Preis je Quadratmeter bei der Grundstücksbeschaffung; auch die kommunal unterschiedlichen Folgekosten sind zu berücksichtigen.
- Die bauliche Nutzung eines Grundstücks kann auf Grund öffentlicher Vorgaben (Bebauungsplan) eingeschränkt sein. Für Logistikhallen sind besonders zu beachten:
  - die zulässige Höhe der baulichen Anlage;
  - die Baumassenzahl (BMZ)  
sie gibt an, wie viel Kubikmeter „Baumasse“ (Kubatur ab unterhalb der Unterkannte Hallenboden bis Oberkante Dach) je Quadratmeter Fläche eines Baugrundstücks zulässig sind.
  - die Grundflächenzahl (GRZ)  
(Flächenanteil eines Baugrundstücks, der überbaut werden darf)
  - die Geschossflächenzahl (GFZ)  
(Flächenanteil aller Vollgeschossflächen im Verhältnis zum Baugrundstück)

Im Baugenehmigungsverfahren können allerdings Ausnahmen oder Befreiungen von den festgesetzten Maßen beantragt werden.

Vor der Realisierung einer Logistikimmobilie stehen auch diverse Erschließungsmaßnahmen im Zusammenhang mit dem jeweiligen Grundstück. Dies betrifft

- die äußere Erschließung; d. h. die Anbindung der inneren Netze an die öffentlichen Netze, wie z.B. an
  - das öffentliche Verkehrsnetz
  - die öffentlichen Ver- und Entsorgungssysteme
- die innere Erschließung; d. h. die Gestaltung der inneren Netze (Straßen, Wege sowie Ver- und Entsorgungssysteme).

Die Standortsbestimmungs- sowie die Erschließungsmaßnahmen werden im Folgenden nicht behandelt. Es werden nur bauliche Themen betrachtet im Zusammenhang mit der Realisierung der reinen Logistikhalle. Auf die Anforderungen an den Betriebshof wird in Teil IV.1 eingegangen.

### 1.1 Hallenbau

Eine Logistikimmobilie als Ganzes muss die Anforderungen verschiedener Funktionsbereiche erfüllen (siehe Teil IV.1 „Anforderungen an Logistikimmobilien“). Die Immobilie kann im Wesentlichen untergliedert werden in:

- „Logistikhalle“, d. h. das Gebäude, in dem alle lagertechnischen Abläufe sowie eventuelle Zusatzfunktionen (z.B. Montage) stattfinden, ausgenommen Hochregallager in Silobauweise.
- Büroräume / Lagerverwaltung, einschließlich Empfang, Besprechungsräume sowie der Sozial- und Sanitärräume
- Räumlichkeiten für Nebenfunktionen, wie z.B. für Energieversorgung, Lüftung / Klima, Brandschutz, aber auch ggf. für Hausmeister / Betriebswerkstatt usw..
- Ggf. Hochregallager in Silobauweise

Die Räumlichkeiten für Büros etc. sowie Räume für Nebenfunktionen können prinzipiell in eine „Lagerhalle“ integriert werden. Bei hohen Lagergebäuden bietet es sich sogar an, über Bereichen, die

nur eine geringe Nutzhöhe erfordern, anstelle des reinen Luftraumes Zwischengeschosse (Mezzaningeschosse) einzuplanen. Typische Bereiche, die sich für eine Überbauung eignen, sind z.B. die Bereitstellungsflächen für Wareneingang und Warenausgang. Daraus können sich aber zusätzliche Anforderungen an Brandschutz, Wärmeschutz und Schallschutz ergeben (siehe auch Teil IV.1, Anforderungen an Gebäude, unter Kapitel „Baulicher Brandschutz“, Einteilung in Gebäudeklassen).

Die Büro- und Sozialräume sowie die Räume für die Nebenfunktionen werden aber häufig in separaten Gebäuden eingerichtet, die vor oder neben der Logistikhalle angeordnet werden. Vorteile sind:

- Diese separaten Gebäude können nutzungsspezifisch dimensioniert und ausgestattet, sowie in Bezug auf die Logistikhalle wegminimierend angeordnet werden.
- Durch diese „Auslagerung“ ist die Halle in der gesamten Fläche frei nutzbar. Dies erhöht die Flexibilität bezüglich Skalierbarkeit / Drittverwendung.

Die folgenden Ausführungen beschränken sich primär auf den reinen Hallenbau (eingeschossige Gebäude) ohne lagertechnische und betriebstechnische Einbauten.

- |                                  |                       |   |
|----------------------------------|-----------------------|---|
| ▪ Lichte Höhe der Halle minimal: | 5 m                   |   |
| ▪ Lichte Höhe der Halle maximal: | 15 m                  | (in speziellen Fällen mehr als 25 m)  |
| ▪ Maximale Geschossfläche        | 10.000 m <sup>2</sup> | (max. Größe eines Brandabschnitts nach Sicherheitskategorie K4 gemäß IndBauRI; d. h. mit selbsttätiger Feuerlöschanlage). Größere Hallen müssen durch Brandwände in einzelne Brandabschnitte unterteilt werden. |

Die Hallenbauten können sich aus mehreren parallel zueinander angeordneten Hallenschiffen zusammensetzen. Die Hallenschiffe können je nach Nutzung in gleicher oder mit unterschiedlichen Höhen ausgeführt werden.

Die Bauarten der Hallen beschränken sich überwiegend auf Skelett- und Rahmenbauweisen. Mehrdimensionale Tragwerke und Hallen in Massivbauweise sind unüblich. Hallen für Hochregallager in Silobauweise sind ein gesondertes Thema. Bei Silolagern ist die Regalkonstruktion gleichzeitig die Tragkonstruktion für die Gebäudehülle, d. h. für die Fassade und für das Dach. Alle vertikalen Lasten der Dachkonstruktion werden von der Regalanlage abgestützt.

## 2 FERTIGTEILBAU

Neben den funktionalen Anforderungen an eine Logistikhalle besteht die Forderung nach Wirtschaftlichkeit bei der Bauausführung unter Berücksichtigung von Nutzbarkeitskriterien. Die i. d. R. großen Bauhöhen und Spannweiten, sowie die Forderung nach kurzen Montagezeiten führen zum Einsatz von Fertigteilen. Standard- Konstruktionselemente hierfür gibt es von den verschiedensten Werkstofflieferanten. Weit verbreitet im Fertigteilbau sind Betonbau und Stahlbau sowie in letzter Zeit auch der Holzbau.

Eine wirtschaftliche Bauausführung kann am besten erreicht werden durch:

- Modularen Aufbau auf Basis eines einheitlichen Planungsrasters des Tragwerks (siehe unten)
- Verwendung standardisierter, vorgefertigter Konstruktionselemente
- Geeignete Transportabmessungen und Montagegewichte der Fertigteil-Konstruktionselemente
- Standardquerschnitte und Standardknotenpunkte
- Große Anzahl gleicher Elemente

Diese Kriterien für eine wirtschaftliche Bauweise können am besten bei der Trag- und bei der Hüllkonstruktion umgesetzt werden.

## 2.1 Rastermaße für Gebäudeachsen

Eine Logistikhalle ist prinzipiell rechteckig, ggf. quadratisch aufgebaut. Für das Abfangen der vertikalen Lasten (d. h. der Dachkonstruktion, Schneelasten, ggf. sonstige Lasten) müssen Stützen vorgesehen werden. Bei relativ kleinen Hallen werden die Stützen im Fassadenbereich angeordnet. Bei entsprechender Größe einer Halle müssen die vertikalen Lasten auch durch Stützen innerhalb der Halle abgefangen werden. Dadurch werden Hallen in Hallenschiffe unterteilt. Die Stützen werden auf Basis eines rechtwinkligen Rasters wie in einem Koordinatensystem auf den Knotenpunkten dieser Gebäudeachsen angeordnet. Die Rastermaße bestimmen somit den Abstand der tragenden Stützen zueinander sowohl in Längs- als auch in Querrichtung.

Wesentliche Einflussgrößen auf das Stützenraster sind:

- Die Soll-Abmessungen der Halle:  
Länge und Breite der Halle sollen ein ganzzahliges Vielfaches des jeweils dazugehörigen Rastermaßes sein.
- Die wirtschaftliche Konstruktion des Tragwerks:  
Bei den üblichen einachsigen Tragwerken (siehe Kapitel 3.2) ist die Auswahl der geeigneten Rastermaße abhängig von
  - den Spannweiten der Binder (Hauptträger für die Dachkonstruktion).
  - den Achsabständen der Hauptbinder zueinander; sowie der gewählten Dachdeckung, ggf. den erforderlichen Nebenbindern / Pfetten.
  - der Anzahl Stützen, die ggf. rasterbedingt im Inneren der Halle stehen.

Mit der Spannweite wird die Breite des Hallenschiffs festgelegt und je nach Ausrichtung der Binder (parallel zur Hallenlängsseite, oder rechtwinklig dazu) auch die Breite bzw. die Tiefe der Halle.

Das bzw. die Planungsraster für den Hallenbau sind i. d. R. modular aufgebaut. Dabei ist das Modul die Größeneinheit, die als Ausgangsgröße und als Maßsprung verwendet wird. Die Modulgrößen sind prinzipiell frei wählbar; auch müssen die gewählten Raster in Längs- und Querrichtung nicht identisch sein. Es gibt jedoch bewährte Standardraster.

- Nach DIN 4127 „Maßordnung im Hochbau“ [DIN 17] ist das sogenannte Baurichtmaß immer das Vielfache von 12,5 cm. Es hat auch die Bezeichnung „Achtelmeter“ und wird insbesondere im Massivbau angewendet, z.B. Mauerstein 11,5 cm + 1 cm Fuge = 12,5 cm.
- Im Fertigteilbau, insbesondere im Stahlbau wird die Modulordnung nach DIN 18000 [DIN 18] bevorzugt. Mit dem Ziel des wirtschaftlichen Bauens gibt es im Stahlbau Empfehlungen für die Module (siehe Tab. 2.1/01). Empfohlene Vorgehensweise bei der Auswahl der Modulreihe im Stahlbau:

	Modul (mm)	Vorzugsmaße (m) der Reihen:
▪ Grundmodul als kleinste Einheit	M = 100	
▪ Multimodul als genormtes Vielfaches des Grundmoduls	3 M = 300	0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5 m usw.
	6 M = 600	0,6; 1,2; 1,8; 2,4; 3,0 m usw.
	12 M = 1.200	1,2; 2,4; 3,6; 4,8; 6,0 m usw.
Tab.: 2.1 / 01 Modulreihen für Vorzugsmaße im Stahlbau		

- Nach Möglichkeit sollen die Vorzugsmaße der Reihe 12M verwendet werden.
- Sind diese Maßsprünge zu groß, nimmt man die Vorzugsmaße der Reihe 6M.
- Sind auch diese zu groß, verwendet man die Vorzugsmaße der Reihe 3M, oder als letzte Möglichkeit die der Reihe M.

- Für den Hallenbau mit Beton-Fertigteilen werden Maßreihen für die Achsabstände auf Basis des Moduls 2,5 m empfohlen [FDB 1]. Mit  $n \times 2,50$  m können folgende Achsabstände realisiert werden: 5,0; 7,5; 10,0; ..... 30,0 m

Bei Verwendung von Porenbetonplatten ist jedoch der Abstand in Spannrichtung der Platten auf max. 7,50 m begrenzt.

- Andere bewährte Raster basieren auf dem Vielfachen der kleinsten Einheit von 0,5 m.

Die realisierbaren Rastermaße sind durch die technisch möglichen Spannweiten der Dachkonstruktion begrenzt. Diese sind in Abhängigkeit von den verwendeten Werkstoffen sehr unterschiedlich. Aufgrund des geringen spezifischen Gewichtes ermöglicht die Verwendung von Holz für die Dachkonstruktion die größten Spannweiten (es wurden im Holzbau Spannweiten von über 100 m realisiert).

### 2.1.1 Einflüsse des Gebäuderasters auf die Nutzbarkeit der Logistikhalle

Die Stützen (insbesondere die Innenstützen, die im Innenraum der Halle stehen) beeinträchtigen die Nutzbarkeit der Hallenfläche. Jede Stütze

- beansprucht Hallenfläche und verringert damit die Nutzfläche
- schränkt die Möglichkeit bei der Aufstellung von Regalen und sonstiger Einbauten ein. Grundsätzlich müssen die Raster der Stützen und / oder der Einbauten so dimensioniert sein, dass Fahrbereiche von Regalgassen und sonstigen Gängen frei von Stützen sind.

Bei der Wahl der geeigneten Stützenabstände sind die jeweiligen Vor- und Nachteile zu berücksichtigen:

- Je größer die Stützenabstände sind, desto größer sind die Freiheitsgrade bei der technologischen Auslegung der Halle; z.B. bei der Aufstellung der Regalanlagen (s. o.).
- Je größer die Stützenabstände sind, desto höher sind die Kosten der Baukonstruktion;
  - wegen der statisch bedingten größeren Dimensionierung der Konstruktionselemente (insbesondere der Dachkonstruktion).
  - wegen der höheren Transport- und / oder Montagekosten, insbesondere aufgrund der Länge der Konstruktionselemente.
- Auch bei Abweichungen von Standardmaßen der Konstruktionselemente können die Baukosten steigen.

Auswahlkriterien sind:

- Einfluss des Rasters auf die logistische Aufbau- und Ablauforganisation und auf die daraus resultierenden Betriebskosten
- Einfluss auf die Investitionskosten für Bau und Einrichtungen, wie z.B. Regalanlagen.
- Einfluss auf die Drittverwendungsmöglichkeit, möglichst in Verbindung mit Skalierbarkeit.

### 2.1.2 Rasterauswahl ohne Berücksichtigung von Drittverwendung

Bei langfristiger Nutzung der Logistikimmobilie sind unter gegebenen Rahmenbedingungen i. d. R. die wirtschaftlichen Nutzungsbedingungen vorrangig vor den Baukosten und den Drittverwendungsmöglichkeiten. Die wirtschaftliche Nutzung von Logistikhallen hängt besonders von den Möglichkeiten ab, Regalanlagen der unterschiedlichsten Art so aufstellen zu können, dass dadurch jeweils

- ein Maximum an Lagerkapazität erzielt werden kann
- die Wege vom Wareneingang, durch die diversen Lagerbereiche bis zum Warenausgang minimal sind.

Die Ausführungen / Dimensionierungen der Regalanlagen sind abhängig von:

- der Art der Ladeeinheiten und deren Abmessungen (z.B. Euro-Paletten, Gitterbox-Paletten, Industriepaletten, Tablare, Behälter usw.) unter Berücksichtigung eventueller Warenüberstände;
- der Einlagerungsrichtung (längs / quer);
- der Art der Lagerbediengeräte (Gabelstapler, Schubmaststapler, Schmalgangstapler, Regalbediengeräte usw.);
- der Nutzung der Regalgassen und davon abhängig von deren erforderlicher Breite, (siehe „Verkehrswege“ in Teil IV.1 Kap. 3.1 und „Arbeitsgangbreite“ in Teil II.3, Kap. 2.1.3)
  - kein Fußgängerverkehr (Gangsicherung durch Personenschutz Einrichtung), Fahrzeug ohne Gegenverkehr
  - mit Fußgängerverkehr, Fahrzeug aber ohne Gegenverkehr
  - mit Fußgängerverkehr und Fahrzeuge mit Gegenverkehr
- von sonstigen Anforderungen, wie z.B. Einbau von Regalsprinkler.

Damit im Rahmen der Bauausführung auch das Konzept umgesetzt werden kann, das geplant war, oder um zusätzliche Anpassungskosten zu vermeiden, sind bei der Rasterauswahl nicht nur die Nennmaße der einzelnen Komponenten heranzuziehen. Zu beachten sind auch die Toleranzen, die für die verschiedenen Gewerke gelten. Diese können sich so summieren, dass in der Ausführung viele geplante Lagerplätze wegfallen müssen.

Im Hochbau gelten die Toleranzen nach DIN 18202 [DIN 4].

Bauwerk, Bauwerksteile	Grenzmaße bei Nennmaß bis:				
	3 m	6m	15m	30m	>30m
Längen, Breiten, Achsen und Raster im Grundriss	+/- 12 mm	+/- 16 mm	+/- 20 mm	+/- 24 mm	+/- 30 mm
Lichte Maße im Grundriss zwischen Bauteilen	+/- 16 mm	+/- 20 mm	+/- 24 mm	+/- 30 mm	
Tab.: 2.1.2 / 01 Toleranzen am Bauwerk; Grenzmaße nach „Toleranzen im Hochbau“ gem. DIN 18202					

Für vorgefertigte Teile aus Stahl (z.B. Stützen, Träger, Binder, Tafeln für Wände, Decken und Dächer) gelten die Normen nach DIN 18203-2.

Nennmaße (mm)	von	0	2000	4000	8000	12000	>16000
	bis	2000	4000	8000	12000	16000	
Grenzabmaße (mm)		+/- 1	+/- 2	+/- 3	+/- 4	+/- 5	+/- 6
Tab.: 2.1.2 / 02 Toleranzen für vorgefertigte Teile aus Stahl nach DIN 18203-2							

Neben diesen Bauwerkstoleranzen ist selbstverständlich auch die Ausführung der Regalanlagen mit Toleranzen behaftet. Die zulässigen Längentoleranzen einer Regalzeile sind u. a. nach DIN EN 15620 geregelt. Sie sind für die Regalklassen 300 A, 300 B und 400 einheitlich (siehe hierzu Teil II.2 „Lagerarten, Lagertechniken“, Kap. 3.2 ff). Bezogen auf die lichte Feldweite beträgt die zulässige Abweichung vom Nennmaß +/- 3 mm je Feld.

Je Regalzeile dürfen sich die Abweichungen summieren. Bei n Feldern je Zeile darf die zulässige Abweichung n(+/- 3 mm) betragen.

### 2.1.3 Studien zur Rasterauswahl unter Berücksichtigung von Drittverwendung

Im Folgenden werden auszugsweise zwei voneinander unabhängige Studien vorgestellt [GRO 2] und [SAL 1], die mit dem Ziel erarbeitet wurden, eine Logistikimmobilie zu entwickeln, die den vielfältigen Anforderungen unterschiedlicher Nutzer gerecht wird.



Darauf aufbauend werden im nächsten Kapitel weitere Kriterien zur Rasterauswahl betrachtet.

In beiden Studien wurden (jeweils auf Basis zugrunde gelegter Prämissen) die geeignetsten Stützenraster für eine „Standard-Logistikimmobilie“ ermittelt. Diese Standard-Logistikimmobilie soll eine Drittverwendung ohne großen Umbau ermöglichen. Gegenstand beider Studien waren u. a. auch Kosten-/Nutzen-Aspekte.

- Studie von [GRO 2] wird im Folgenden als „Studie 1“ bezeichnet
- Studie von [SAL 1] wird im Folgenden als „Studie 2“ bezeichnet

Basis beider Studien war ein Gebäudekonzept mit folgenden Anforderungen:

- Nutzbare Hallenfläche ca. 10.000 m<sup>2</sup> als ein Brandabschnitt ohne Zwischenwände;
- Lichte Höhe (bis UK-Binder) 10,00 m über Hallenboden über die gesamte Grundfläche;
- Flexible Aufstellung gängiger Paletten-Regaltypen (Euro-Paletten) bei einer Lagerhöhe von 9,00 m OK Lagergut gem. IndBauRL [IND 1].

Unterschiede gab es aber in mehreren Punkten aufgrund der Aufgabenstellung, der Herangehensweise und der angenommenen Parameter. Außerdem wurden in Studie 1 einige potentielle Lösungsalternativen sehr zeitig (z. T. anhand nur eines einzigen sehr eng gefassten Kriteriums) von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale waren z.B.:

- Das zugrunde gelegte Längen-/Breiten-Verhältnis der Hallenfläche:
  - Studie 1 basiert zunächst auf alternativen Längen-/Breiten-Verhältnissen von 1:1, 3:2 und 2:1
  - Studie 2 basiert auf einem Längen-/Breiten-Verhältnis von 2:1 (als Prämisse vorgegeben).

In Studie 1 wird das Längen- Breiten-Verhältnis 2:1 verworfen, wegen

- der Mehrkosten für die Fassade (eine quadratische Grundfläche bewirkt bei gleicher Fläche und Gebäudehöhe eine minimale Gebäudehülle);
- der ungünstigen Grundform zur Bebauung von Grundstücken;
- der ungünstigen Form zu Erweiterung bei Hallen mit einer Fläche > 10.000 m<sup>2</sup>.

In Studie 2 wird das Längen- Breiten-Verhältnis 2:1 bevorzugt. Genannte Vorteile sind

- Skalierbarkeit bei Drittverwertung.
- Bei Drittverwertung ggf. für Cross-Docking verwendbar.
- Die den Untersuchungen zugrunde gelegten Rastermodule:
  - In Studie 1 beschränken sich die zulässigen Rastermaße vorrangig auf ein Vielfaches von 12 m. Ergänzend wurden Raster auf Basis des Vielfachen von 6 m untersucht.
  - In Studie 2 wurden für die Hauptbinder Spannweiten von 24 m und 36 m untersucht in Verbindung mit Achsabständen von 12 m, 15 m und 22,5 m.
- Die den Untersuchungen zugrunde gelegten Ausrichtungen der Hauptträger (Binder), die große Spannweiten ermöglichen.

Mit der Ausrichtung der Binder (siehe Kap. 3.2.5) parallel zur Hallen-Längsseite (Tor-Seite), oder rechtwinklig dazu, kann in Verbindung mit dem Längen-/ Seitenverhältnis der Halle die Nutzbarkeit der Halle wesentlich beeinflusst werden.

  - In Studie 1 sind die Binder parallel zur Längsfront angeordnet.
  - In Studie 2 sind die Binder rechtwinklig zur Längsfront angeordnet, was in Verbindung mit dem vorgegebenen Seitenverhältnis von 2:1 von Vorteil war.
- Die im Vergleich gegenübergestellten Materialien für die Dach-Tragwerkskonstruktion, d. h. Materialien für Haupt- und Nebenbinder (siehe auch Kapitel 3.2 ff „Tragwerkkonstruktion“):
  - In Studie 1 werden Holzkonstruktionen für das Dachtragwerk sehr zeitig verworfen (Holz kann z.B. quellen oder schwinden). Verglichen wurden Konstruktionen mit Stahlbetonbindern und Stahl-Fachwerkbindern.

Stahl-Fachwerkbinder wurden im Ergebnis favorisiert.

- In Studie 2 wurden nur Holzkonstruktionen mit Stahlbeton-Konstruktionen verglichen. Hier wurden im Ergebnis Holzkonstruktionen favorisiert.  
Anmerkung:  
Der Studie 2 lag eine Forderung zu Grunde, für eine Ausführung der Logistikimmobilie mindestens 80% der Tragkonstruktion und Gebäudehülle aus nachwachsenden Rohstoffen zu berücksichtigen.
- Die zugrunde gelegten Regaltypen / Lagerarten sowie deren Dimensionierung bei der Untersuchung der Auswirkungen des Stützenrasters auf den Lagernutzungsgrad:
  - Studie 1 hat die Auswirkungen auf ein Breitganglager untersucht bei einer angenommen Gangbreite von 6,00m (Basis: Still-Vierwegeschubmaststapler, Gegenverkehr inkl. Personen).
  - Studie 2 hat sowohl die Auswirkungen auf die alternative Verwendung für ein Breitganglager als auch für ein Schmalganglager untersucht bei folgenden Gangbreiten:
    - Breitganglager            3,00 m
    - Schmalganglager        1,90 m

#### 2.1.3.1 Ergebnis der Studie 1:

Basierend auf einer Grobkalkulation und einer Nutzenbetrachtung ergaben sich folgende Aussagen zu den Rastermaßen:

- Die Kosten für das Tragwerk (Kosten für Stützen und Binder) sind am günstigsten bei einem Raster von 12 x 24 m.
- Die Kosten für das Tragwerk beim Raster 24 x 36 m sind auch relativ niedrig. Dieses Raster bietet aber wesentlich höheren Nutzen durch die größere Stützenfreiheit.

In Studie 1 wurde damit das Raster 24 x 36 m als das geeignetste Raster ermittelt.

#### 2.1.3.2 Ergebnis der Studie 2:

- Aus einem Strukturbaum unterschiedlicher Rastermaße (Spannweiten von 24m und 36m und Achsabständen von 12m, 15m und 22,5m) wurden Achsabstände von 12 m als unwirtschaftlich und unflexibel ausgefiltert.
- Die anderen Lösungen der Studie 2 sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst:

Spannweite	Achsabstand	Vor- und Nachteile
24 m	15 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Das Raster 24 x 15 m führt zur kostengünstigsten Lösung bezogen auf den Quadratmeterpreis der Halle.</li> <li>○ Der Achsabstand der Stützen von 15m ist bei den o. g. Regalrastern für Breitgang- und Schmalgangregal nicht ideal. Damit die Stützen im Regalschatten verschwinden, müssen die Gassenbreiten etwas auseinandergezogen werden.</li> </ul>
24 m	22,5 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Der Achsabstand kann besser mit dem Regalraster in Deckung gebracht werden als z.B. 15m.</li> <li>○ Die Vergrößerung des Achsabstands führt kaum zu einer Kostenerhöhung</li> </ul>
36 m	22,5 m	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Die Vor- und Nachteile des Achsabstandes sind wie oben.</li> <li>○ Durch die große Spannweite ist nur eine Stützenreihe in der Hallenmitte.</li> <li>○ Die Konstruktion ist etwas teurer verglichen mit der Spannweite von 24 m.</li> </ul>
Tab.: 2.1.3 / 01      Einfluss des Rastermaßes auf Kosten und Nutzbarkeit der Halle nach [SAL 1].		

### 2.1.4 Rastermaße in Abhängigkeit von Arbeitsgangbreiten und Regalanordnungen

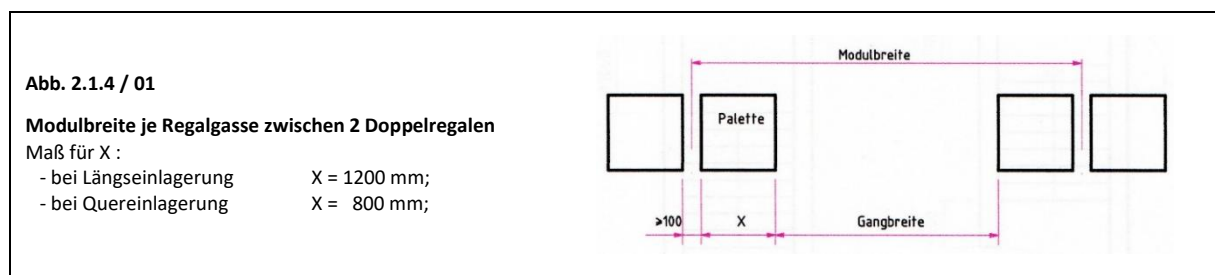
Die beiden oben genannten Studien hatten prinzipiell folgende Vorgehensweise:

- Im ersten Schritt wurden Rastermaße ausgewählt, welche die Prämisse „Brutto-Nutzfläche von 10.000 m<sup>2</sup>“ möglichst gut erreichen ließen.
- Im zweiten Schritt wurden die vom Rastermaß abhängigen Baukosten ermittelt.
- Im dritten Schritt wurde der Nutzen des jeweiligen Rasters in Bezug auf realisierbare Regalanordnungen und Arbeitsgangbreiten ermittelt.

Als Ergebnis der einzelnen Schritte wurden potentielle Lösungen ausgefiltert und nicht weiter betrachtet.

Im Folgenden soll die Vorgehensweise genau umgekehrt sein, wobei aber die Erkenntnisse, u.a. auch die Kosten-Nutzenbetrachtungen, aus den beiden Studien berücksichtigt werden.

- Im ersten Schritt werden praxisnahe Verkehrswege-Breiten und Regalmaße festgelegt. Dabei werden die Regalmaße mit den Breiten der Verkehrswege zu Modulbreiten zusammengefasst (siehe Abb. 2.1.4 / 01).
- Im zweiten Schritt werden die Module den möglichen Rastermaßen zugeordnet und zwar bei unterschiedlichen Anordnungen der Hauptachsen in Bezug auf die Hallen-Längsseite.
- Im dritten Schritt wird untersucht, wie die Gangbreiten in Abhängigkeit vom jeweiligen Rastermaß erweitert werden müssten, damit die Gänge stützenfrei sind (siehe Abb. 2.1.3 / 02).



#### Prämissen:

- Die Brutto-Nutzfläche von 10.000 m<sup>2</sup> ist wie in den beiden Studien die maximal zulässige Fläche, für die Auswahl des Rasters ist dies ansonsten aber kein weiteres Kriterium; die Halle soll aber mindestens 2-schiffig sein.
- Für die Spannweite der Hauptträger (Binder) soll gelten  $24 \text{ m} \leq L_s \leq 36 \text{ m}$ .
- Für den Achsabstand (Abstand der Binder zueinander) soll gelten  $15 \text{ m} \leq L_A \leq 24 \text{ m}$ .
- Regalanlage für Euro-Paletten
  - Vorratslager längs eingelagert
  - Kommissionierlager quer eingelagert
- Breite der Verkehrswege gemäß der Richtwerte in Teil IV.1, Tabelle 3.1.2 / 03. In Breitgängen sollen sich auch Fußgänger bewegen dürfen, da ansonsten besondere Personenschutzmaßnahmen erforderlich wären.
- Die Verkehrswege dürfen nicht durch Stützen eingengt werden. Wo Stützen erforderlich sind, müssen diese im Schatten der Regale angeordnet werden.
- Die Stützen sollen nach [GRO 2] und [SAL 1] als Stahlbetonstützen ausgeführt sein.

#### Angenommene Parameter:

- Es werden folgende Spannweiten überprüft: 24 m, 27 m, 28 m, 36 m
- Basierend auf den Rasterreihen gemäß Kap. 2.1 mit  $n \times 2,5 \text{ m}$  und  $n \times 6 \text{ m}$  und in Anlehnung an [GRO 2] und [SAL 1] werden folgende Achsabstände überprüft: 15,0 m, 17,5 m, 18,0 m, 20,0 m, 22,5 m, 24,0 m.
- Der Querschnitt der Innenstützen wird pauschal mit 600 mm x 800 mm angenommen bei entsprechender Bewehrung (vgl. die Richtwerte nach Tabelle 3.2.6 / 01).

### 2.1.4.1 Hauptträger parallel zur Längsseite der Halle angeordnet

Bei dieser Ausrichtung sind die Regalgassen rechtwinklig zu den Bindern angeordnet. Aufgrund der Bedingung „Stützenfreiheit in den Gängen“ hat die Spannweite wesentlichen Einfluss auf die Nutzbarkeit der Fläche.

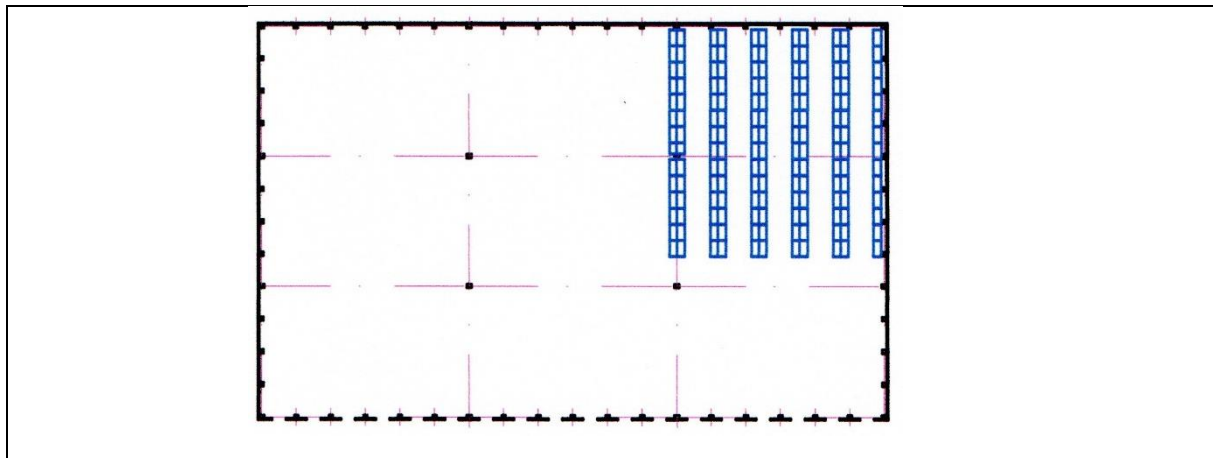


Abb. 2.1.4 / 02 Hallenraster, Hauptträger parallel zur Hallenlängsseite mit möglicher Regalanordnung

#### a) Paletten längs eingelagert

Palettenregal-Anlage, Paletten längs eingelagert  Nutzung der Regalgassen:	min. Gang- breite [mm]	min. Modul- breite [mm]	Gewählte Modul- breite [mm]	mögliche Modul- anzahl	Nutzbarkeit der Fläche [%] bei Spannweite [m]			
					24,0	27,0	28,0	36,0
Schubmaststapler, mit Gegenverkehr und Fußgänger	≥4.450	≥ 6.950	8.000	3	87 %			
			9.000	3		77 %		
			7.000	4			99 %	
			7.200	5				97 %
Schubmaststapler, kein Gegenverkehr mit Fußgänger,	≥2.850	≥ 5.350	6.000	4	89 %			
			5.400	5		99 %		
			5.600	5			96%	
			6.000	6				89 %
Schmalgang-Kombistapler (schienengeführt) mit Schwenkschubgabel	≥1.900	≥ 4.400	4.800	5	92 %			
			4.500	6		98 %		
			4.600	6			96 %	
			4.500	8				98 %
Tab.: 2.1.4 / 01	Flächennutzung in Abhängigkeit von der möglichen Gangbreite bei Hauptträger in x-Richtung Die in Klammern gesetzten Lösungsalternativen führen zu erheblichen Flächenverlusten							

#### b) Paletten quer eingelagert (z.B. kombiniertes Kommissionier- und Vorratslager)

Palettenregal-Anlage, Paletten quer eingelagert  Nutzung der Regalgassen:		min. Gang- breite [mm]	min. Modul- breite [mm]	Gewählte Modul- breite [mm]	Mögliche Modul- anzahl	Nutzbarkeit der Fläche [%] bei Spannweite [m]			
						24,0	27,0	28,0	36,0
Schubmaststapler, mit Gegenverkehr und Fußgänger	≥4.450	≥ 6.150	8.000	3	77 %				
			6.750	4		91 %			
			7.000	4			88 %		
			7.200	5				85 %	
Schubmaststapler, kein Gegenverkehr mit Fußgänger,	≥2.800	≥ 4.500	4.800	5	94 %				
			4.500	6		100%			
			4.670	6			96 %		
			4.500	8				100%	
Schmalgang-Kombistapler (schienengeführt) mit Schwenkschubgabel	≥1.900	≥ 3.600	4.000	6	90 %				
			3.860	7		93 %			
			4.000	7			90 %		
			3.600	10				100%	
Tab.: 2.1.4 / 02		Flächennutzung in Abhängigkeit von der möglichen Gangbreite bei Hauptträger in x-Richtung							

Die Anordnung der Hauptträger parallel zur Hallen-Längsseite führt unter Berücksichtigung der Prämisse „keine Einengung der Verkehrswege durch Stützen“ zu folgendem Ergebnis:

- Spannweiten
  - Die Spannweiten 24 m und 27 m führen insbesondere bei Längseinlagerung zu keinem „sinnvollen“ Ergebnis. Die Gangbreiten (bzw. Module) müssten sehr weit auseinander gezogen werden. Die daraus resultierenden Flächenverluste machen diese Lösungsalternativen unwirtschaftlich.
  - Bei Quereinlagerung sind wegen der schmalen Modulbreiten mehr Lösungsalternativen möglich als bei der Längseinlagerung. Da die Quereinlagerung im Verhältnis zur Längseinlagerung aber relativ selten ist, werden auch diese zusätzlichen Lösungsalternativen verworfen.
- Die Achsabstände sollen möglichst groß sein, mit dem Ziel die Anzahl der Stützen im Regalschatten zu minimieren.

#### 2.1.4.2 Hauptträger rechtwinklig zur Hallen-Längsseite angeordnet

Bei dieser Ausrichtung sind die Regalgassen in der gleichen Richtung wie die Binder angeordnet. Aufgrund der Bedingung „Stützenfreiheit in den Gängen“ haben die Achsabstände wesentlichen Einfluss auf die Nutzbarkeit der Fläche.

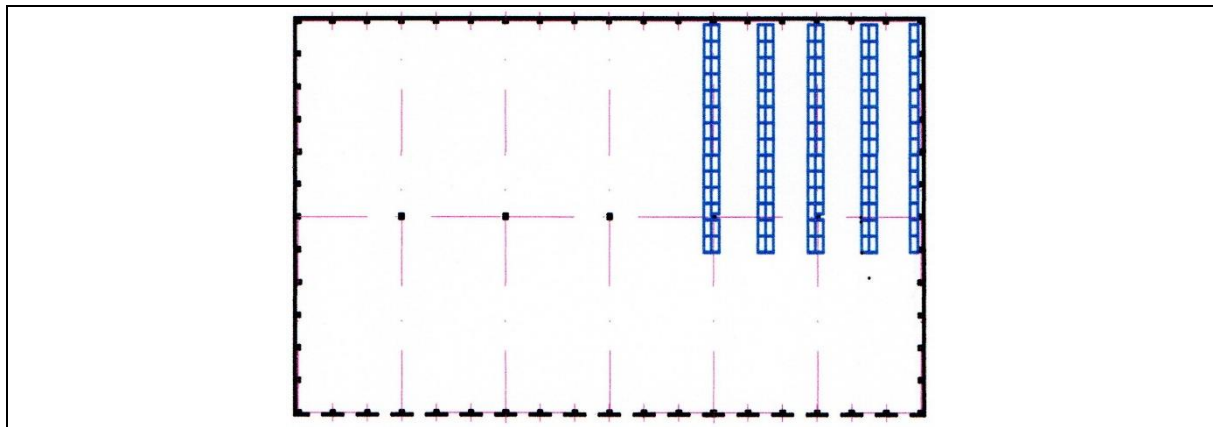


Abb. 2.1.4 / 03 Hallenraster, Hauptträger rechtwinklig zur Hallenlängsseite mit möglicher Regalanordnung

#### a) Paletten längs eingelagert

Palettenregal-Anlage, Paletten längs eingelagert  Nutzung der Regalgassen:	min. Gang- breite [mm]	min. Modul- breite [mm]	Gewählte Modul- breite [mm]	Mögliche Modul- anzahl	Nutzbarkeit der Fläche [%] bei Achsabständen [m]					
					15,0	17,5	18,0	20,0	22,5	24,0
Schubmaststapler, mit Gegenverkehr und Fußgänger	≥4.450	≥ 6.950	7.500	2	93 %					
			8.750	2		79 %				
			9.000	2			77 %			
			10.000	2				70 %		
			7.500	3					93 %	
			8.000	3						87 %
Schubmaststapler, kein Gegenverkehr mit Fußgänger,	≥2.850	≥ 5.350	7.500	2	71 %					
			5.833	3		92 %				
			6.000	3			89 %			
			6.667	3				80 %		
			5.625	4					95 %	
			6.000	4						89 %
Schmalgang-Kombistapler (schienengeführt) mit Schwenkschubgabel	≥1.900	≥ 4.400	5.000	3	88 %					
			5.833	3		75 %				
			4.500	4			98 %			
			5.000	4				88 %		
			4.500	5					98 %	
			4.800	5						92 %
Tab.: 2.1.4 / 03		Flächennutzung in Abhängigkeit von der möglichen Gangbreite bei Hauptträger in v-Richtung								

**b) Paletten quer eingelagert**

Palettenregal-Anlage, Paletten quer eingelagert	min. Gang- breite [mm]	min. Modul- breite [mm]	Gewählte Modul- breite [mm]	Mögliche Modul- anzahl	Nutzbarkeit der Fläche [%] bei Achsabständen [m]					
					15,0	17,5	18,0	20,0	22,5	24,0
Nutzung der Regalgassen:	[mm]	[mm]								
Schubmaststapler, mit Gegenverkehr und Fußgänger	≥4.450	≥ 6.150	7.500	2	82 %					
			8.750	2		70 %				
			9.000	2			68 %			
			6.667	3				92 %		
			7.500	3					82 %	
			8.000	3						77 %
Schubmaststapler, kein Gegenverkehr mit Fußgänger,	≥2.800	≥ 4.500	5.000	3	90 %					
			5.833	3		77 %				
			4.500	4			100 %			
			5.000	4				90 %		
			4.500	5					100 %	
			4.800	5						94 %
Schmalgang-Kombistapler (schienengeführt) mit Schwenkschubgabel	≥1.900	≥ 3.600	3.750	4	96 %					
			4.375	4		82 %				
			3.600	5			100 %			
			4.000	5				90 %		
			3.750	6					96 %	
			4.000	6						90 %
Tab.: 2.1.4 / 04		Flächennutzung in Abhängigkeit von der möglichen Gangbreite bei Hauptträger in y-Richtung								

Die Anordnung der Hauptträger rechtwinklig zur Hallen-Längsseite führt unter Berücksichtigung der Prämisse „keine Einengung der Verkehrswege durch Stützen“ zu folgendem Ergebnis:

Die Anordnung der Hauptträger rechtwinklig zur Hallenlängsseite erlaubt nicht die Flexibilität in der Nutzung wie bei der Anordnung parallel zur Hallenlängsseite.

- Bei den meisten Achsabständen müssen die Regale, insbesondere für die Nutzung mit Schubmaststapler bei Gegenverkehr und Fußgängerbetrieb, sehr weit auseinander gezogen werden, was für die Flächennutzung sehr ungünstig ist.  
Nur der Achsabstand von 22,5 m erlaubt eine vielseitige Nutzung bei guter Ausnutzung der Fläche.
- Die Spannweiten sind so groß, dass nur wenige Stützen im Regalschatten untergebracht werden müssen.

### 3 BAUKONSTRUKTION „LOGISTIKHALLE“

Grob gegliedert setzt sich die Baukonstruktion einer Halle in Fertigteil-Skelettkonstruktion zusammen aus

- Industrieboden  
(hierfür gibt es mehrere Bezeichnungen, wie z.B. Bodenplatte, Hallensohle usw.)
- Tragwerkskonstruktion
- Hüllkonstruktion

#### 3.1 Industrieboden

Die Anforderungen an einen Industrieboden sind sehr nutzerabhängig. Wesentliche Kriterien sind:

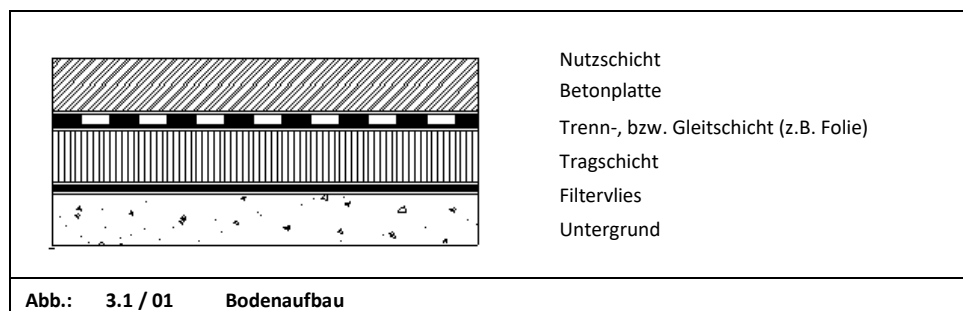
- Anforderungen an lastabhängige Beanspruchbarkeit, d. h. statische und dynamische Belastbarkeit (jeweils Punkt und Flächenlast):
  - Statische Belastungen des Industriebodens sind primär gegeben durch die Belastungen aus den eingelagerten Gütern. Insbesondere die Punktbelastungen durch Regalstiele sind bei Betonböden eine entscheidende Belastung.
  - Die Anforderungen an die dynamische Belastbarkeit gehen von den Verkehrslasten aus, wie z.B. durch Gabelstapler.
- Anforderungen an den flächenfertigen Boden, d. h. an die Bodenoberfläche, die durch Flurförderzeuge genutzt wird.
  - Ebenheit und horizontale Lage
  - Abriebfestigkeit
  - chemische Beständigkeit
- Anforderungen durch erforderliche Befestigungen der Einrichtungen am Boden, insbesondere der Regale (Art der Verdübelung, Länge der Dübel)
- Anforderungen durch geplante Einbauten in den Boden (z.B. Kerntemperierung), Lastabhängige Beanspruchung des Industriebodens.

Der Industrieboden setzt sich im Wesentlichen (von unten nach oben) zusammen aus:

- Untergrund
- Tragschicht
- Bodenplatte

#### Anmerkung:

Die Gebäudelasten wirken i. d. R. nicht auf den Industrieboden ein. Die Gebäudelasten werden über die Stützen direkt auf Einzel- oder Streifenfundamente übertragen und von dort in den Boden abgeleitet. Der Industrieboden ist durch Fugen von den Fundamenten getrennt.





Die Bodenplatte ist i. d. R. eine Betonplatte. Zusätzlich können weitere Schichten erforderlich werden, wie z.B. ein Estrichbelag auf der Bodenplatte, eine Folie oder ein Vlies zwischen Bodenplatte und Tragschicht und / oder eine Wärmedämmschicht (Perimeterdämmung) unterhalb der Bodenplatte. In den Industrieboden kann auch eine Heizungsschicht (Kerntemperierung / Betonkernaktivierung, siehe Teil V, Kap. 2.4.4 ff) eingebaut werden.

Die Anforderungen an die statische und dynamische Belastbarkeit bestimmen die Anforderungen an den gesamten Bodenaufbau; angefangen von den Anforderungen an die Bodenplatte, über die Tragschicht bis hin zum Untergrund.

### 3.1.1 Tragschicht und Untergrund

Die auftretenden Kräfte durch Flurförderzeuge wie z.B. Gabelstapler oder ggf. Lastkraftwagen sowie die statischen Kräfte durch Regale und Stützen ohne Eigenfundamente werden über die Bodenplatte in die Tragschicht und in den Untergrund eingeleitet. Abhängig von der geplanten Beanspruchung kann es erforderlich werden, den Baugrund und die Tragschicht durch ein Erd- und Grundbauinstitut genauer überprüfen zu lassen. Neben den Belastungen, die über die Bodenplatte auf den Untergrund wirken, werden über Köcher- und / oder Streifenfundamente die Gebäudelasten direkt in den Untergrund eingeleitet.

Vor einer Baumaßnahme muss daher der Untergrund (das vorhandene Erdreich) hinsichtlich seiner Tragfähigkeit bewertet und aufbereitet werden.

- Ungeeignete Bodenarten, wie z.B. Mutterboden, Torf usw. müssen entfernt werden.
- Bei ungeeignetem Grundwasserspiegel sind Entwässerungsarbeiten erforderlich.
- Füllboden muss ggf. eingebracht und verdichtet werden.

Abhängig von der Bodenqualität, insbesondere aber wenn Hochregallager eingebaut werden sollen, können weiterreichende Bodenverbesserungsmaßnahmen erforderlich werden.

Auf der Basis des aufbereitenden Untergrunds, der nun eine ausreichende Tragfähigkeit hat, ist die Tragschicht zu bemessen. Die Tragschicht besteht i. d. R. aus einer Schicht Schotter, Kies, oder Recyclingmaterial mit oder ohne Zementbeimischung. Die Dicke der Tragschicht und deren Materialzusammensetzung ist so zu wählen, dass die technischen Anforderungen wirtschaftlich optimal erfüllt werden.

### 3.1.2 Bodenplatte

Die Bodenplatte des Industriebodens ist eine Betonplatte. Sie liegt vollflächig auf einer ausreichend tragfähigen und ebenen Unterkonstruktion aus Tragschicht und Untergrund auf. Sie ist nach DIN 18202 auszuführen. Bei der Bodenplatte handelt es sich in der Regel um eine einschichtige Betonplatte, die direkt befahren werden wird [BET 1], wobei die oben genannten Anforderungen, wie z.B. an die Ebenheit und die Resistenz erfüllt sein müssen.

Abhängig von der Ausführung der Bodenplatte und den nutzungsbedingten Anforderungen kann aber ein zusätzlicher Estrichbelag oder eine Hartstoffschicht auf der Bodenplatte erforderlich werden. Entsprechend den nutzungsabhängigen Anforderungen wurden vielfältige Techniken und Rezepturen zur Herstellung von Bodenplatten entwickelt.

#### *3.1.2.1 Beton*

Die Ausführung der Bodenplatte in Betonbauweise führt zu betonspezifischen Problemen. Beton wird aus einem flüssig-plastischem Gemisch aus Zement, Wasser, Zuschlagstoffen (z.B. Sand, Splitt, Kies usw.) hergestellt sowie evtl. mit Zusatzstoffen der Betonchemie. Bei der Verfestigung des Betons wird der größte Teil des Wassers als Kristallwasser gebunden. Der Zementleim (Zement-Wasser-Gemisch) erhärtet, d. h. der Beton trocknet nicht, sondern bindet ab.



- Die „Trocknung“ des Betons führt zu einer Volumenabnahme bzw. Verkürzung. Diese wird als „Schwinden“ bezeichnet. Bei Hallenflächen muss der Einfluss des langfristigen Trocknungsschwindens (1 – 2 Jahre) berücksichtigt werden [BET 1].
- Beton verformt sich bei gleich bleibender Last. Dies wird als das „Kriechen“ bezeichnet.
- Beton hat eine sehr hohe Druckfestigkeit (40 N/mm<sup>2</sup> und mehr), jedoch nur eine geringe Zugfestigkeit (4 N/mm<sup>2</sup> und weniger).

Eine gleichzeitig fugenlose und rissfreie Bauweise der Betonplatte ist technisch nicht möglich [BET 1]. Aufgabe der Fugen ist, die Schwindverkürzungen aufzunehmen und damit Risse im Beton zu vermeiden. Andererseits werden die Fugen durch Gabelstapler sehr stark belastet (hohe Radlasten bei kleinen Raddurchmessern). In den befahrenen Bereichen muss daher angestrebt werden, den Hallenboden mit möglichst wenigen und möglichst schmalen Fugen auszuführen [WIE 1]. Zur Reduzierung des Schwindmaßes sollte die Betonzusammensetzung nur einen geringen Wassergehalt und einen niedrigen W/Z-Wert (Wasser / Zement) haben.

Beton wird nach seiner Druckfestigkeit in Güteklassen eingeteilt. Je höher die Druckfestigkeitsklasse, desto höher sind die technischen Anforderungen und auch die Anforderungen an die Güteüberwachung bei der Herstellung (DIN 1045 / DIN 1084).

Druckfestigkeitsklasse		Zylinder N / mm <sup>2</sup>	Würfel N / mm <sup>2</sup>
Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung 2005		
B 10	C 8 / 10	8	10
B 15	C 12 / 15	12	15
	C 16 / 20	16	20
B 25	C 20 / 25	20	25
	C 25 / 30	25	30
B 35	C 30 / 37	30	37
B 45	C 35 / 45	35	45
	C 40 / 50	40	50
B 55	C 45 / 55	45	55
	C 50 / 60	50	60
B 65	C 55 / 67	55	67
B 75	C 60 / 75	60	75
B 85	C 70 / 85	70	85
B 95	C 80 / 95	80	95
B 105	C 90 / 105	90	105
B 115	C100 / 115	100	115
Tab. 3.1.2 / 01 Beton- Druckfestigkeitsklassen			

Betonböden werden in Verschleißwiderstandsklassen nach DIN EN 13813 eingeteilt.

Klasse	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Abriebmenge [cm <sup>3</sup> / 50 m <sup>2</sup> ]	22	15	12	9	6	3	1,5
Tab. 3.1.2 / 02 Verschleißwiderstandsklassen [BET 1].)							

Beton ist Umwelteinflüssen ausgesetzt, welche die Dauerhaftigkeit des Betons, des Betonstahls und metallischer Einbauten beeinträchtigen können. Diese Einwirkungen werden durch Expositionsklassen festgelegt (DIN 1045). Für Betonböden in Hallen können die Expositionsklassen XO (kein Angriffsrisiko) und XM (Mechanical Abrasion) zutreffend sein.

- Die Expositionsklasse XO gilt für unbewehrte Betonböden, wenn kein Korrosions- oder Angriffsrisiko besteht.
- Die Expositionsklasse XM regelt die Verschleißbeanspruchung bei tragenden oder aussteifenden Betonböden  
(Anmerkung: I. d. R. haben Industrieböden tragende oder aussteifende Funktion für das Bauwerk).

Die Qualität der Bodenplatte ist nicht nur abhängig von der Betonqualität, sondern auch von der Art der Einbauweise. Nachfolgend werden die bekanntesten Betonbauweisen kurz beschrieben. Daneben gibt es noch mehrere herstellereigenspezifische Sonderlösungen mit besonderen Rezepturen und Zusatzmitteln. Im Folgenden wird unterschieden in unbewehrte und bewehrte Betonplatten.

Zu den unbewehrten Betonarten zählen Stampfbeton und Walzbeton.

- Als Stampfbeton bezeichnet man unbewehrten Beton, der durch die Druckstöße beim Stampfen verdichtet wird.
- Walzbeton oder HGT-Beton (Hydraulisch gebundene Tragschichten) wird erdfeucht eingebaut. Zur Verdichtung wird er z.B. mittels Radlader vorverdichtet und mit Gummiradwalzen, Vibrationswalzen oder Rüttelplatte nachverdichtet.
  - Vorteil:  
Walzbeton hat üblicherweise nur eine geringe Zementmenge von  $180 - 200 \text{ kg/m}^3$  (selten  $250 \text{ kg/m}^3$ ). Durch das geringe Zementleimvolumen hat der Beton ein geringeres Schwindverhalten. Dadurch kann die Anzahl Fugen verringert werden.
  - Nachteil:
    - Die übliche Festigkeit beträgt nur ca.  $15 - 25 \text{ N/mm}^2$ ;
    - die Oberflächenqualität ist aufgrund der geringen Zementgehalte zum Teil grob, daher nicht direkt nutzbar;
    - für die Nutzung als Industrieboden ist die Betonschicht mit einem zusätzlichen Belag (Estrich) zu versehen.

Zu den bewehrten Betonarten zählen die nachfolgend aufgelisteten Verbundwerkstoffe. Die Bewehrung erfolgt i. d. R. mit Stahlmatten oder Stabstahl. Diese Bewehrung ist aber nicht geeignet, um Risse im Beton zu verhindern.

- Bei Stahlbeton ist die Betonplatte mit Baustahlmatten bewehrt. Dadurch werden die guten Druckfestigkeiten des Betons mit den guten Zugfestigkeiten des Stahls kombiniert.
- Der Spannbeton hat ebenfalls Stahleinlagen. Diese Stahleinlagen werden aber beim Einbau vorgespannt, d. h. unter Zug belastet. An den Enden werden die Stahleinlagen mit Ankern versehen. Nach dem Einbau ziehen sich die Stahleinlagen wie Federn wieder zusammen und üben auf den Beton einen Pressdruck aus. Die geringe Zugfestigkeit des Betons kann dadurch nennenswert verbessert werden.
- Vakuumbeton ist eine Bezeichnung, die sich auf die Art des Einbaus bezieht. Bei Vakuumboden wird dem Frischbeton nach dem Einbau das Wasser über Vakuum entzogen. Ziel des Verfahrens ist es, die Bildung von Schwindrissen zu reduzieren. Vakuumbeton wird üblicherweise mit einer Baustahlarmierung hergestellt.
- Faserbeton ist ein Verbundwerkstoff, bei dem der Beton nicht mit Baustahlmatten bewehrt wird, sondern mit Fasern. Als Fasern können Kunststofffasern, Glasfasern, Kohlenstofffasern eingesetzt werden. Für Industrieböden werden aber üblicherweise Stahlfasern eingesetzt.

Stahlfaserbeton ist ein homogener Baustoff. Er kann sowohl durch Druck, Zug und Biegung belastet werden.

### 3.1.2.2 Bemessung der Beton-Bodenplatte

Eine genaue Bemessung der Betonplatte erfordert die Berücksichtigung zahlreicher Einwirkungen. Nach DIN EN 1991-1-1 [DIN 35] wird unterschieden zwischen Eigengewicht und Nutzlast.

Nach dieser Norm sind „Nutzlasten als veränderliche freie Einwirkungen anzusehen“. Nutzlasten im Hochbau werden „als gleichmäßig verteilte Flächenlasten, als Streckenlasten, als Einzellasten oder als Kombination dieser Lasten dargestellt“. „Lagerflächen und Flächen für industrielle Nutzung“ sind in 2 Kategorien unterteilt:

- Kategorie E1 sind Lagerflächen;  
Flächen mit möglicher Stapelung von Gütern einschließlich Zugangsflächen;  
z.B. Lagerflächen einschließlich Lagerung von Büchern oder Akten
- Kategorie E2 sind Flächen für industrielle Nutzung.

In dieser Norm sowie in weiteren Normen und Schriften gibt es Empfehlungen und Richtwerte zur Annahme von Lasten sowie deren Einwirkungen auf die Bodenplatte. Einige dieser Richtwerte sind in den nachfolgenden Tabellen aufgelistet. Dabei gelten folgende Kurz- oder Formelzeichen:

$Q_k$	kN	Charakteristischer Wert einer veränderlichen statischen Einzellast
$q_k$	kN/mm <sup>2</sup> bzw. kN/m <sup>2</sup>	Charakteristischer Wert einer gleichförmig verteilten statischen Belastung (Flächenlast)
$\phi$		Dynamischer Vergrößerungsfaktor
$Q_d$	kN	Dynamischer charakteristischer Wert der Einwirkung $Q_d = \phi Q_k$

Als „charakteristische Werte“ für Nutzlasten auf Lagerflächen (Kategorie E1) empfiehlt die Norm DIN EN 1991-1-1 folgende Richtwerte zu verwenden (die Zahlenwerte dürfen entsprechend der Nutzung verändert werden):

$Q_k$  7 kN

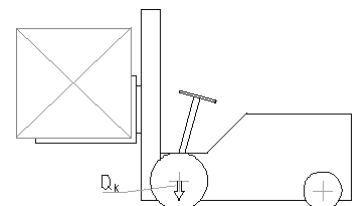
$q_k$  7,5 kN / m

Mit Bezug auf eine niederländische Empfehlung (CUR 36) werden in einer Internetveröffentlichung für Flächenlasten folgende Richtwerte genannt:

Lagerhalle / Speditionslager	2,5 kN/m <sup>2</sup> für jeden Meter Lagerhöhe; mindestens 15 kN/m <sup>2</sup>
Papierlager	4,5 kN/m <sup>2</sup> für jeden Meter Lagerhöhe; mindestens 15 kN/m <sup>2</sup>
Tab. 3.1.2/03 Minimale Flächenlasten nach CUR 36 (NL)	

Neben den o. g. Richtwerten für ruhende Nutzlasten sind weitere Einflüsse zu berücksichtigen. Die Norm DIN EN 1991-1-1 (in Verbindung mit dem Nationalen Anhang NA) nennt u. a. die Einwirkungen von Gabelstaplern.

- Gegengewicht-Gabelstapler werden in Abhängigkeit von ihrem Eigengewicht, ihrer Nenntragfähigkeit und ihren Abmessungen in 6 Klassen unterteilt.
- Es werden jeweils charakteristische statische Werte für die vertikale Achslast  $Q_k$  zugeordnet.
- Zur Berücksichtigung der dynamischen Einwirkungen sind die statischen Werte mit dem dynamischen Vergrößerungsfaktor  $\phi$  zu multiplizieren. Dieser berücksichtigt die Trägheitswirkungen infolge Beschleunigen und Abbremsen der Stapellasten.



Für den dynamischen Vergrößerungsfaktor sind anzusetzen:

- $\phi = 1,40$  für Luftbereifung
- $\phi = 2,00$  für Vollgummiräder

Die dynamische vertikale Achslast ist somit

- $Q_d = Q_k \times \phi$

Die statischen und dynamischen vertikalen Radlasten sind  $Q_k / 2$ , bzw.  $Q_d / 2$

Ein weiteres Kriterium ist die Kontaktpressung.

Die Kontaktpressung ist z.B. abhängig von der Art der Bereifung von Gabelstaplern. Bei gleicher Radlast haben luftbereifte Stapler eine größere Aufstandsfläche als Stapler mit harten Rädern (z.B. Polyurethan-Bereifung). Je geringer die Aufstandsfläche bei gleicher Radlast, desto höher ist die Kontaktpressung. Mit steigender Kontaktpressung erhöht sich die Verschleißbeanspruchung des Bodens.

Für die statische Flächenlast  $q_k$ , bzw. die dynamische Flächenlast  $q_d$  wird eine Radaufstandsfläche von  $20 \times 20$  cm angesetzt.

Gabelstapler Klasse	Nenntragfähigkeit kN	Eigen-gewicht kN	Gesamt-gewicht kN	Achslast $Q_k$ kN	Flächenlast $q_k$ kN / mm <sup>2</sup>
FL1	10	21	31	26	12,5
FL2	15	31	46	40	15,0
FL3	25	44	69	63	17,5
FL4	40	60	100	90	20,0
FL5	60	90	150	140	20,0
FL6	80	110	190	170	20,0
<b>Tab. 3.1.2/04 Gabelstaplerklassen und die charakteristischen Achslasten <math>Q_k</math> in Anlehnung an DIN EN 1991-1-1</b>					

Expositions- klasse	Max. Radlast $Q_d/2$ (kN)	Max. Regallast am Fahrbereich $G_d$ (kN)	Beton- druckfestigkeitsklass $e$	Dicke der Bodenplatte (cm) bezogen auf Nutzungsbereich A, B, C nach Tab. 3.1.2/06 bzw. Lastwechsel pro Tag durch Flurförderzeuge (n/d))		
				Nutzungsbereich		
				A $n/d \leq 10$	B $n/d \leq 50$	C $n/d \leq 100$
XM 1	20	15	C25 / 30	$\geq 16$	$\geq 18$	$\geq 20$
	30	25	C30 / 37	$\geq 16$	$\geq 18$	$\geq 20$
	40			$\geq 18$	$\geq 20$	$\geq 22$
XM 2	50	35	C30 / 37	$\geq 18$	$\geq 20$	$\geq 22$
	60			$\geq 20$	$\geq 22$	$\geq 24$
	80			$\geq 22$	$\geq 24$	$\geq 26$
XM 3	100	50	C35 / 45	$\geq 24$	$\geq 26$	$\geq 28$
	120			$\geq 26$	$\geq 28$	$\geq 30$
	140			$\geq 28$	$\geq 30$	$\geq 32$
Die maximale Regallast am Fahrbereich $G_d$ ist das Produkt aus der charakteristischen Regallast $G_k$ mit dem Teilsicherheitsbeiwert $G_d = 1,2 G_k$ . Regallasten von Mittelstützen (nicht am Fahrbereich) dürfen doppelt so hoch sein.						
Tab.: 3.1.2 / 05	Mindestdicke für <u>unbewehrte</u> Betonbodenplatten in Industrie- und Produktionshallen in Anlehnung an [LOH 1] und diversen Internetveröffentlichungen					

Nutzungs- bereich	Anforderungen an Rissbildung	Beispiele
A	Gering	Lagerhallen für empfindliche Schüttgüter grobe Metall- und Holzverarbeitung, Stahlbaubetriebe landwirtschaftliche Gerätehallen
B	Mittel	Feine Metall- und Holzverarbeitung, Kunststoff- und Gummiindustrie, Lagerhallen, Logistikzentren, Kfz-Reparaturbetriebe
C	hoch	Ausstellungs- und Verkaufsräume, Papier- und Textilverarbeitung, feinmechanische Betriebe, Lebensmittelbereiche, Hochregallager
Tab.: 3.1.2 / 06 Nutzungsbereiche der Bodenplatte, nach [LOH 1]		

#### Anmerkung 1 zu „Bodenplatte für Hochregallager“:

Die in den Tabellen aufgeführten Richtwerte sind nicht auf die Hallenböden von Hochregallagern in Silobauweise übertragbar.

Gegenüber dem Hallenbau erfolgt bei der Silobauweise die Gründung nicht über Einzelfundamente für Stützen (sowie ggf. über Streifenfundamente), sondern durch einfache Flachgründung. Bei Hallen in Silobauweise werden die Gebäudelasten über die Regale auf die Bodenplatte übertragen. Die vielen Regalstützen bieten eine gute Lastverteilung.

In Verbindung mit den Lasten der Regalkonstruktion und des übereinander getürmten Lagergutes (Hochregallager können derzeit eine Höhe bis zu fast 50 m erreichen), wirken auf die Bodenplatte enorme Kräfte. Gemäß diverser Veröffentlichungen kann bei Hochregallagern eine Dicke der Bodenplatte von ca. 1,2 m erforderlich werden.

Bei dem Lehrmittelverlag Arnulf Betzold in Ellwangen wurde z.B. ein Hochregallager mit einer Länge von 100 m, einer Breite von 23 m und einer Höhe von 30 m realisiert [VER 1]. Die Dicke der fugenlosen Bodenplatte betrug 0,8 m. Bei dem Lehrmittelverlag in Ellwangen war die maximale Abweichung in der Ebenheit des Bodens: 0,5 cm auf 10 m Länge.

#### Anmerkung 2: zu „Bodenplatte mit Betonkerntemperierung“

Wird in die Bodenplatte eine Betonkerntemperierung (eine Art Fußbodenheizung) integriert (siehe hierzu Teil V „Technische Gebäudeausrüstung“), kann dies auch eine dickere Bodenplatte erforderlich machen.

### 3.1.3 Anforderungen an den flächenfertigen Boden

Der „flächenfertige Boden“ ist die Oberfläche des Bodens, die direkt durch Flurförderzeuge befahren wird. Dies kann die Oberfläche der Betonbodenplatte selbst sein, es kann aber auch die Oberfläche einer zusätzlich aufgetragenen Estrichschicht sein.

#### 3.1.3.1 Allgemeine Anforderungen an die Oberfläche

Die Oberfläche des Industriebodens muss folgende grundsätzliche Anforderungen erfüllen:

- Sie darf sich unter Belastung nicht plastisch verformen.
- Sie muss rutschfest sein, so dass Bremswege gemäß DIN EN 1726 erreicht werden.
- Sie muss horizontal und eben verlegt sein.
- Der maximale Erdableitungswiderstand nach DIN 51953 darf nicht überschritten werden, d. h. maximal 106  $\Omega$ .

Nutzungsabhängig kann die Bodenoberfläche chemischen Angriffen ausgesetzt sein, z.B. durch Säuren oder Laugen. Dies trifft auch zu für den Bereich der Batterieladestationen. In DIN 18560 sind

die Beanspruchungsgruppen geregelt. Ein geeigneter Oberflächenbelag kann den Widerstand des Bodens verbessern.

Bei den Verkehrslasten ist neben den Rad- und Achslasten der Einfluss der Bereifung zu beachten. Bei gleicher Radlast führen harte Radsysteme an Fahrzeugen / Gabelstaplern gegenüber luftbereiften Rädern zu höheren Beanspruchungen [BET 1]. Ursache sind die unterschiedlichen Aufstandsflächen über die die Lasten in den Boden abgetragen werden (Kontaktpressung).

Bereifung	Kontaktpressung p (N/mm <sup>2</sup> )
Luftbereifte Fahrzeuge	1,0
Vollgummibereifte Fahrzeuge	1,5
Polyurethan- / Kunststoffbereifung	≥ 4,0
Tab. 3.1.3 / 01 Annahmen für Kontaktpressung in Abhängigkeit von der Bereifung (in Anlehnung an [BET 1].)	

Mit zunehmender Kontaktpressung steigt die Verschleißbeanspruchung des Bodens.

### 3.1.3.2 Anforderungen an die Ebenheit und Kurzwelligkeit

Die horizontale Lage, die Ebenheit und die Kurzwelligkeit des flächenfertigen Bodens sind wichtige Parameter, die bei der Planung und Herstellung der Bodenoberfläche zu beachten sind. Sie wirken sich aus auf:

- Die Aufstellung der Regalanlage in Längs-und Querrichtung
- Die Verfahrbarkeit der Flurförderzeuge auf dem Hallenboden, wie z.B.
  - Laufruhe,
  - zulässige Fahrgeschwindigkeiten,
  - eventuelle Diagonalfahrten
  - Positioniergenauigkeiten

Es gibt mehrere Regelwerke, die Anforderungen an die Ebenheit von flächenfertigen Böden vorgeben. Diese Regelwerke sind aber mit ihren Anforderungen an die Toleranzen und mit ihren Prüfvorgaben teilweise widersprüchlich. Besonders aufwendig zu realisierende Anforderungen stellt die DIN EN 15620 [BÖH 1].

DIN 18202: 2005	Toleranzen im Hochbau - Bauwerke
DIN 15185-1: 1991	Lagersysteme mit leitliniengeführten Flurförderzeugen; Anforderungen an Boden, Regal und sonstige Anforderungen
DIN EN 15620: 2010	Ortsfeste Regalsysteme aus Stahl – verstellbare Palettenregale – Grenzabweichungen, Verformungen und Freiräume
VDMA-Richtlinie: 2010	Böden für den Einsatz von Schmalgang-Flurförderzeugen;
FEM 9.381: 1995	Berechnungsgrundlagen für Regalbediengeräte – Toleranzen, Verformungen und Freimaße im Hochregallager.

Im Einzelfall ist zwischen den Beteiligten (Planer, Lieferanten von Regalsystemen und Flurförderzeugen sowie ggf. der zuständigen Bauaufsichtsbehörde) zu klären, welche der Normen zu Grunde gelegt werden sollen. Dies kann zu erheblichen Kosteneinsparungen bei der Herstellung und der Überprüfung führen.

In Anlehnung an DIN EN 15620 wird im Folgenden nach den Regalklassen 100 bis 400 unterschieden (siehe auch Teil II.2, Kap.3.2):

Klasse 100	Regale mit oben und unten schienengeführten Regalförderzeugen (RFZ), automatisch gesteuert, ohne Feinpositionierung
Klasse 200	Regale mit oben und unten schienengeführten Regalförderzeugen, automatisch gesteuert mit Feinpositionierung
Klasse 300 A	Schmalgangsysteme, Flurförderzeuge mit hebbarem Fahrerstand
Klasse 300 B	Schmalgangsysteme, Flurförderzeuge mit nicht hebbarem Fahrerstand
Klasse 400	Palettenregale, deren Gänge so breit sind, dass: <ul style="list-style-type: none"><li>▪ normale Gegengewichtsstapler frontal zum Ein- und Auslagern einschwanken können (breite Gänge).</li><li>▪ Schubmaststapler frontal einschwanken können, (schmale Gänge)</li></ul>

#### Klasse 100 und 200

Diese Arten der RFZ haben bei den Klassen 100 und 200 wegen der Schienenführung keinen relevanten Einfluss auf den Boden.

Regale, die mit schienenengebundenen RFZ bedient werden, können sehr große Höhen erreichen. Insofern sind die Anforderungen an die Ebenheit des Bodens mit den Regallieferanten abzustimmen (siehe auch Anforderungen gem. FEM 9.831). Da hohe Regale i. d. R. aber ohnehin ausgerichtet und mit schwundfreiem Mörtel unterfüttert werden, dürften sich die Anforderungen der Regalhersteller in Bezug auf die Ebenheit des Bodens im Rahmen der normalen Hochbautoleranzen bewegen.

#### Klasse 400

- Regalanlagen mit breiten Gängen  
Bei Regalanlagen gemäß Klasse 400, die mit Gegengewichts-Frontstaplern in breiten Gängen bedient werden, sollten die Anforderungen an die Ebenheit mit dem Regal- und dem Flurförderzeug-Lieferanten abgestimmt werden. Die Toleranzen und Prüfvorgaben gemäß DIN 18202 sind i. d. R. ausreichend.
- Regalanlagen mit schmaleren Gängen  
Schubmaststapler, die in etwas schmaleren Gängen von Regalanlagen gemäß Klasse 400 verfahren werden, haben einen kürzeren Radstand als Gegengewichtsstapler und können größere Hubhöhen erreichen. Hier können sich höhere Anforderungen an die Ebenheit ergeben.
- Klasse 300 (300 A und 300 B)  
Für Lagersysteme, in denen Schmalgangstapler verfahren werden sollen (Regalklasse 300A und 300 B), sind in jedem Fall erhöhte Anforderungen an die Qualität der Bodenoberfläche zu stellen. Die Anforderungen gemäß DIN 15185-1 an die Ebenheit wurden durch die oben genannte VDMA-Richtlinie überarbeitet und präzisiert. In dieser Richtlinie wurden auch Anforderungen an die Kurzwelligkeit geregelt, sowie Anforderungen bei Hubhöhen bis 15 m.

## 3.2 Tragkonstruktion

Die Tragkonstruktion muss die am Hallenbauwerk auftretenden horizontalen und vertikalen Lasten aufnehmen und letztendlich in den Baugrund ableiten. Wichtigstes Regelwerk für Lastannahmen auf Tragwerke ist die DIN 1055 „Einwirkungen auf Tragwerke [DIN 16], ersetzt durch DIN EN 1991 [DIN 19].

- Horizontale Lasten auf die Hallenkonstruktion ergeben sich insbesondere durch Windlasten, die auf die Fassade einwirken. Zusätzliche Lasten können sich aus Kranbetrieb sowie bei Gabelstaplerverkehr (z.B. durch das Anfahren von Stützen) ergeben.

Die Horizontallasten werden an horizontal wirkende Aussteifungselemente und von diesen an vertikal wirkende Aussteifungselemente weitergeleitet. Aussteifungselemente sind z.B. eingespannte Stützen, Verbände, Dach- und Wandscheiben, Rahmen.

- Vertikale Lasten ergeben sich aus dem Eigengewicht der Dachkonstruktion, aus Schneelasten, aus sonstigen Lasten (Technik auf dem Dach, abgehängte Versorgungsleitungen, Installationen, Heizkörper usw.) sowie indirekt aus den o. g. Horizontallasten.

### Anmerkung:

Bei Hallen mit Attikaausbildung können zusätzliche Lasten aufgrund der klimatischen Veränderungen der letzten Zeit auftreten. Dazu gehören Regenfälle mit Wassermassen, denen konventionell geplante Regenfallrohre nicht gewachsen sind und das Wasser nicht über die Traufe abfließen kann.

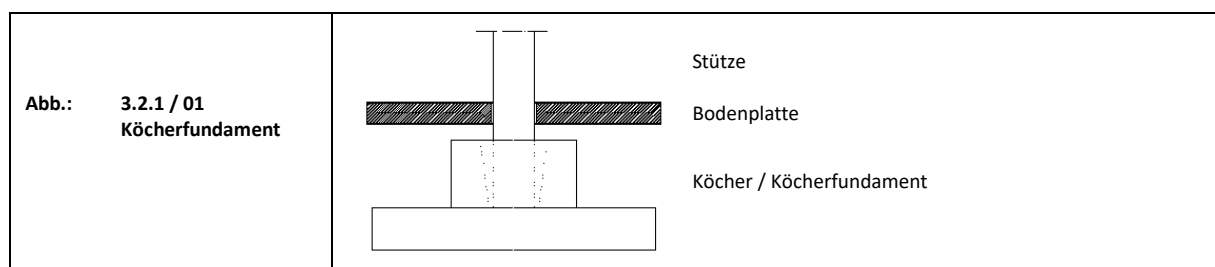
Zur Tragkonstruktion gehören:

- Fundamente
- Stützen
- Dachtragwerk (umfasst die Gesamtheit aller Bauteile des Daches, welche Lasten tragen)
- Aussteifungselemente

### 3.2.1 Fundamente

Die aus dem Bauwerk resultierenden Kräfte müssen über Fundamente aus Stahlbeton in den Baugrund abgeleitet werden. Die Fundamente im Hallenbau bestehen in der Regel aus Einzelfundamenten, welche die Stützen aufnehmen. Im Fassadenbereich werden die Einzelfundamente durch eine Frostschräge ergänzt. Bei Stahl- und Holzbau-Konstruktionen kann im Fassadenbereich anstelle der Einzelfundamente mit Frostschräge ein Streifenfundament erstellt werden.

Einzelfundamente haben meist ein hohes Eigengewicht. Sie werden daher i. d. R. auf der Baustelle in Ort beton gefertigt. Fundamente mit Abmessungen in begrenztem Rahmen können auch als Fertigteile angeliefert werden.



Einzelfundamente können als Köcher- oder als Blockfundamente ausgeführt werden, wobei die Blockfundamente eine Weiterentwicklung der Köcherfundamente darstellen.

- Köcherfundamente bestehen aus einem Fundamentquader mit einem aufgesetzten Köcher zur Aufnahme des Stützenfußes.
- Beim Blockfundament ist dieser Köcher in den Fundamentquader eingelassen. Dies ermöglicht eine einfachere Herstellung des Fundaments sowie geringere Gründungstiefen.



### 3.2.2 Hauptmaterialien für die Tragwerkkonstruktion

Für die Fertigteilelemente der Tragkonstruktion sind Betonbau, Stahlbau und Holzbau weit verbreitet. Die dabei verwendeten Hauptmaterialien haben für die unterschiedlichen Einsatzbereiche innerhalb der Tragwerkkonstruktion ihre Stärken und Schwächen. Die speziellen Eigenschaften der Baustoffe sind daher schon beim Entwurf der Hallenkonstruktion zu berücksichtigen. Im Hallenbau besteht daher die Tragwerkskonstruktion oberhalb der Fundamente häufig aus einem Materialmix.

#### 3.2.2.1 *Betonbau (Stahlbetonbau und Spannbetonbau)*

- Vorteile von Stützen aus Beton:
  - Beton ist sehr gut geeignet für das Abtragen der vertikalen Lasten;
  - Beton hat Vorteile beim Brandschutz
  - Beton hat Vorteile bei der Aufnahme von Horizontallasten, z.B. beim Aufprall durch Gabelstaplerbetrieb.
- Mit Beton-Fertigteilelementen können zwar weitgespannte Dachtragwerke (12-24 m und mehr) realisiert werden, bei größeren Spannweiten hat Beton jedoch Nachteile:
  - Das Eigengewicht nimmt überproportional zu und damit auch die Herstellungskosten.
  - Die überproportionale Erhöhung des Eigengewichts wirkt sich auch auf den Rest der Statik kostenerhöhend aus.
  - Die Transport- und Montagekosten steigen infolge des Gewichtes, insbesondere aber wegen der Länge der Elemente stark an.

#### 3.2.2.2 *Stahlbau*

Stahl hat als Baumaterial für Fertigteile viele Vorteile:

- Fertigteilelemente aus Stahl können millimetergenau vorgefertigt werden.
- Am Bauplatz können die Elemente durch Schraub- oder Schweißverbindungen zusammengefügt werden. Die Zahl der auf der Baustelle auszuführenden Verbindungen wird durch Transportmaße, Krangewichte und durch die Bewegungsfreiheit auf der Baustelle bestimmt [BAU 3]. Stahl-Fertigteile ermöglichen damit
  - eine optimale Vorfertigung für Transport und Montage;
  - und dadurch kurze Bauzeiten
- Stahl hat eine hohe Tragfähigkeit bezogen auf das Verhältnis Festigkeit zu seinem Raumgewicht. Bei materialgerechter Konstruktion ermöglicht dies ein günstiges Gewicht des Tragwerks, was sich wiederum positiv auf die Dimensionierung der Fundamente auswirkt. Stahlkonstruktionen ermöglichen
  - große Stützenweiten
  - bei kleinen Stützenquerschnitten.
- Stahlkonstruktionen sind umweltfreundlich:
  - Stahlkonstruktionen mit Schraubverbindungen sind nach der Nutzung demontier- und wiederverwendbar.
  - Stahl hat eine hohe Recyclingrate.

Nachteilig ist das Brandverhalten stählerner Stützen und Träger

- Bei Erwärmung auf mehr als 500°C verlieren voll beanspruchte Bauteile ihre Funktionsfähigkeit [BAU 4]. Entspricht der Zeitraum bis zum Erreichen der kritischen Temperatur nicht der geforderten Feuerwiderstandsdauer, muss der Zeitraum durch zusätzliche kostenerhöhende Brandschutz-Maßnahmen verlängert werden.

Abgesehen von Verbundkonstruktionen und sehr massiven Trägern (massive Stahlprofile erwärmen sich langsamer als dünnwandige Profile) werden Brandschutzmaßnahmen erforderlich, wenn eine Feuerwiderstandsklasse F 30 und darüber erreicht werden muss.

Häufig angewandte Brandschutzmaßnahmen sind das Ummanteln bzw. Beschichten der tragenden Stahlkonstruktionen.

- Mit Plattenummantelungen werden die Träger kastenförmig eingehaust. Die Platten (z.B. Silikatplatten) werden trocken und zimmermannsmäßig verarbeitet. Die glatten und ebenen Oberflächen sind fertig zur weiteren Verarbeitung.  
Plattenummantelungen werden vorzugsweise für Stützen eingesetzt, für Träger nur bei kleineren Objekten.
- Spritzputz-Ummantelungen sind besonders wirtschaftlich für den Schutz vollwandiger Träger und Fachwerkbinder. Für Stützen sind sie ebenfalls geeignet, sofern die Oberfläche vor mechanischen Beschädigungen im Verkehrsbereich geschützt wird.
- Dämmschichtbildenden Beschichtungen werden wie Farbanstriche auf das Stahlprofil aufgebracht und erlauben vielfältige Farbgebung. Ihre brandschützende Schicht bilden sie erst unter Feuereinwirkung.

### 3.2.2.3 Holzbau

Für weitgespannte Tragwerke wird üblicherweise nicht Vollholz verwendet, sondern es kommen Holzwerkstoffe zum Einsatz. Dies sind Materialien, die aus mehr oder weniger zerkleinertem Holz bestehen, deren Holzanteile üblicherweise mit Bindemitteln zusammengefügt werden.

Im Holzbau wird für Tragwerke i. d. R. Brettschichtholz verwendet. Brettschichtholz (besser als Leimholz bekannt) besteht aus einzelnen Holzlagen, die in einer Presse miteinander verleimt werden. Der Faserverlauf der Holzlagen ist gleichgerichtet, so dass die guten Eigenschaften von Vollholz (z.B. Biege- und Druckfestigkeit) erhalten bleiben. Durch die Verleimung werden diese Eigenschaften noch verbessert.

Andere Holzwerkstoffe, die aber üblicherweise als Plattenmaterial verarbeitet werden (z.B. für Beplankungen beim Errichten von Wänden und für Dachschalungen) sind:

- OSB-Platten
- Holzspanplatten (kunstharzgebunden oder zementgebunden)

Holz kommt für weitgespannte Tragwerke erst in letzter Zeit vermehrt zum Einsatz und auch da vorwiegend für den Bau repräsentativer Gebäude wie Sportanlagen und Messehallen. Aber auch beim Bau von Logistikhallen kann Holz (insbesondere für Dachtragwerke) vorteilhaft eingesetzt werden [SAL 1]. Tragwerke aus Holz

- können werkstattmäßig passgenau, transport- und montagegerecht vorgefertigt werden und ermöglichen eine schnelle Bauzeit.
- Haben ein geringes Eigengewicht bei hoher Tragfähigkeit (günstige Transport- und Gründungskosten)
- haben günstige Brandschutzeigenschaften  
(Holz ist zwar brennbar, hat jedoch u. U. ein wesentlich günstigeres Brandverhalten als andere Baustoffe. Mit Holz können Feuerwiderstandsdauern von 30, 60, oder 90 Minuten erreicht werden).
- sind resistent gegen chemische und aggressive Klimata
- Holz ist umweltfreundlich; es ist ein nachwachsender Rohstoff.

Nachteilig ist das Schwind- und Quellverhalten von Holz.

### 3.2.3 Systemunterschiede innerhalb der Tragwerkkonstruktionen

Im Hallenbau wurde eine Vielzahl unterschiedlicher Tragwerkkonstruktionen entwickelt. Dabei gibt es sehr imposante Konstruktionen mit zum Teil mehrachsigen Tragsystemen. Beim Hallenbau für Logistikimmobilien stehen aber primär funktionale und wirtschaftliche Aspekte im Vordergrund. Die Hallen von Logistikimmobilien haben daher i. d. R. eine quaderförmige Kontur. Vom Dachgefälle für die Dachentwässerung abgesehen ist die Dachkonstruktion meistens überwiegend eben.

Auch die Begrenzung auf quaderförmige Hallen bietet noch in Bezug auf das Tragwerk eine Vielfalt an Realisationsmöglichkeiten. Das erste Kriterium hierfür ist die Wahl des Baustoffs; d. h. ob primär Betonbau, Stahlbau, oder Holzbau zur Ausführung kommen soll. Je nach Hallenfläche, Höhe, Nutzung und ggf. sonstiger Kriterien haben alle Hauptmaterialien ihre Vor- und Nachteile sowie ihre spezifischen Anforderungen an die Tragwerkgestaltung (siehe oben).

Tragwerke von Logistikhallen werden i. A. als einachsige oder als zweiachsige Tragsysteme ausgeführt. Diese Tragwerke können vollwandig oder als Fachwerk ausgeführt werden.

### 3.2.3.1 Einachsig wirkende Tragwerke

Bei einachsig wirkenden Tragwerken liegen die Haupttragelemente in einer Ebene. Diese Haupttragelemente dienen überwiegend dem Abtragen der vertikalen Lasten. Einachsige Systeme sind das Binder-Stützen-System und das Rahmentragwerk.

- „Binder-Stützen-System“ ist die Bezeichnung für ein Tragwerk, dessen Haupttragelemente jeweils aus einem horizontalen Balken (Binder) besteht, der gelenkig auf vertikalen Stützen gelagert ist. Die Haupttragelemente sind parallel zueinander (i. d. R. senkrecht zur Gebäude-Längsachse) angeordnet (siehe auch Kap. 2.1.3 und 2.1.4 ff). Die Aussteifung gegen Horizontallasten erfolgt über Nebentragelemente. Diese können z.B. von Pfetten (Nebenträger) oder aussteifenden Elementen (z.B. Profilbleche) oder Verbänden in Dach und Wänden gebildet werden.
- Ein Rahmentragwerk hat einen vergleichbaren Aufbau wie ein Binder-Stützen-System. Häufig sind bei Rahmentragwerken die vertikalen und horizontalen Tragwerkselemente biegesteif miteinander verbunden [NOV 1]. Es gibt aber noch weitere Arten der Rahmenausbildung (siehe unter Aussteifung). Die Haupttragelemente sind hierbei die Rahmen.

Bei Rahmenkonstruktionen wird das horizontale Element auch als „Riegel“ bezeichnet und die vertikalen Tragglieder als „Stiele“.

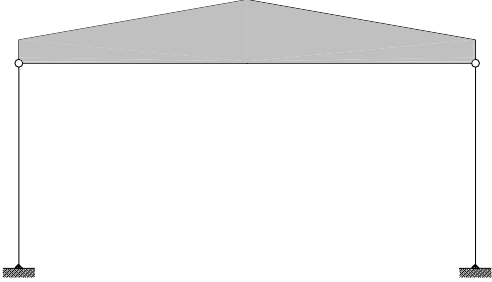
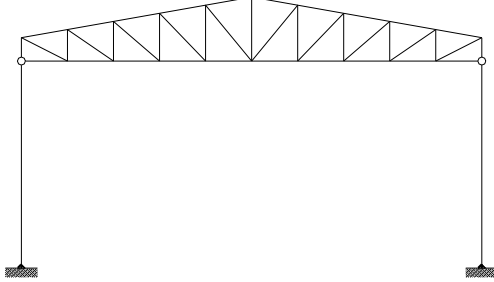
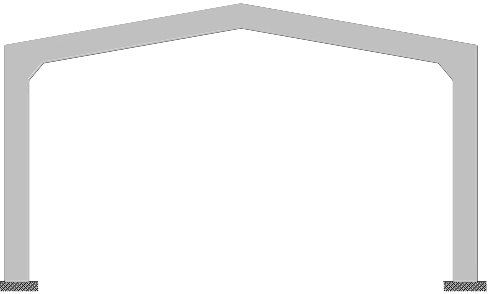
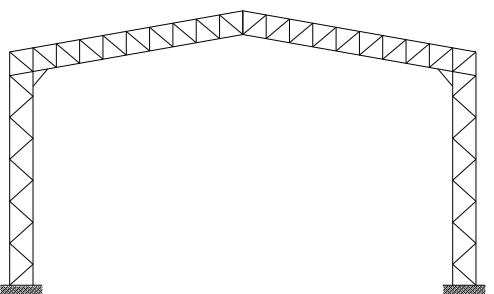
	Vollwand-Tragwerke	Fachwerk-Tragwerke
Binder-Stützen-Systeme		
Rahmentragwerke		

Abb.:3.2.3 / 01

Beispiele für Binder-Stützen-Systeme und Rahmentragwerke (Prinzipdarstellungen)

### 3.2.3.2 Zweiachsig wirkende Tragwerke

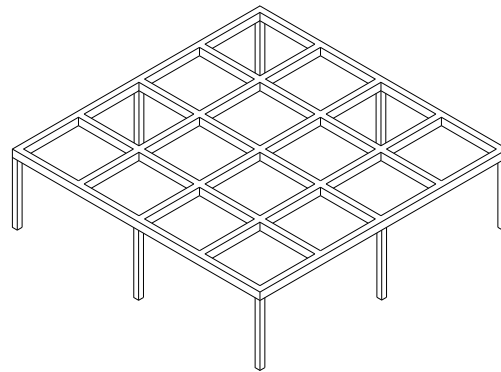
Zweiachsig wirkende Tragwerke zählen zu den räumlichen Tragwerken. Neben den vertikalen Lasten können sie Längs- und Querkräfte aufnehmen.

Ein zweiachsig wirkendes Tragelement ist z.B. der Trägerrost. Dieses flächige Tragelement entspricht in seinem Tragverhalten einer Platte. Der Trägerrost besteht aus mehreren biegesteif miteinander verbundenen Trägern, die in einer Ebene liegen. Der Trägerrost wird von mehreren räumlichen Auflagern (Stützen) gehalten. Die Lasten werden dadurch auf mehrere Stützen verteilt.

Der Trägerrost kann auch als Fachkonstruktion ausgeführt werden. Dann sind die einzelnen Träger jeweils als Fachwerkträger ausgeführt.

Die statische Leistungsfähigkeit von räumlichen Systemen ist im Allgemeinen größer, dafür bezüglich Ausführung auch komplexer.

Abb. 3.2.3 / 02  
Beispiel für ein räumliches Tragwerk  
mit Trägerrost



### 3.2.3.3 Dachtragwerke in Vollwand- und in Fachwerk-Ausführung

Im Bereich des Dachtragwerkes müssen vielfältige Installationen anderer Gewerke ausgeführt werden, wie z.B. Installation von Rohrleitungen, Kabeltrassen, Belüftungssystemen. Diese können am Dachtragwerk abgehängt, oder durch das Dachtragwerk durchgeführt werden. Diese Installationen sollten bereits in der Vorplanung berücksichtigt werden. In späteren Planungsphasen oder erst nach der Realisierung hinzukommende Einbauten können zu erheblichen Kostensteigerungen führen.

Unabhängig von der Bauweise gilt:

- Alle Installationen haben ein Eigengewicht. Diese Lasten wirken auf die Statik des Dachtragwerks ein und sind in der Planung zu berücksichtigen.
- Abgehängte Installationen verringern den Nutzungsraum.

#### 3.2.3.3.1 Vollwandige Dachtragwerke

Vollwandige Dachtragwerke können in Beton- Stahl- oder Holzbauweise ausgeführt werden.

- Sie sind in der Herstellung relativ preisgünstig. Bei Stahlkonstruktionen kann auf Standardprofile zurückgegriffen werden.
- Vollwandige Tragelemente kommen insbesondere bei geringen bis mittleren Spannweiten zum Einsatz.
- Installationen, die oberhalb der Unterkante des Dachtragwerks verlaufen sollen, müssen durch das vollwandige Tragwerk durchgeführt werden. Hierfür sind entsprechende Durchbrüche / Aussparungen in den betroffenen Trägerelementen erforderlich. Nicht nur die Größe der Aussparungen, sondern auch deren Lage kann im Tragelement kritisch werden. Vor einem nachträglichen Anbringen von Durchbrüchen muss die Statik überprüft werden.

### 3.2.3.3.2 Dachtragwerke in Fachwerkausführung

Fachwerke bestehen aus stabförmigen Gliedern, die Dreiecke bilden.

Tragelemente in Fachwerkausführung sind bei Logistikhallen i. d. R. Konstruktionen aus Stahl. In letzter Zeit etablieren sich auch Konstruktionen aus Holz.

- Bei Fachwerkkonstruktionen können die Zug- und Druckstäbe optimal an den Kräfteverlauf angepasst werden. Diese Tragstruktur ermöglicht Tragelemente mit hoher Tragfähigkeit bei relativ geringem Eigengewicht.
- Fachwerkkonstruktionen wirken optisch leichter als Vollwandkonstruktionen. Dachtragwerke in Fachwerkbauweise ermöglichen eine bessere Lichtdurchflutung.
- Zwischen den Zug- und Druckstäben gibt es in den Tragelementen große Öffnungen, die für die Durchführung von Installationen genutzt werden können. Auch nachträgliche Änderungen der Installationsführung sind i. d. R. möglich.
- Fachwerkkonstruktionen sind i. d. R. teurer als Vollwandkonstruktionen. Mit zunehmender Spannweite werden diese Kostenunterschiede geringer.  
Bei sehr großen Spannweiten sind Fachwerkkonstruktionen die wirtschaftlichere Lösung.

### 3.2.4 Stützen und Stiele

Die Bezeichnungen Stützen und Stiele beziehen sich weitgehend auf dieselben Tragelemente. Der Begriff „Stiel“ kommt aus dem Stahlbau und ist in [BAU 3] definiert:

„Ein Stiel ist ein vertikales Tragglied im Wandbereich zur Aufnahme der Fassade sowie zur Aufnahme der vertikalen Fassadenlasten und horizontalen Windlasten.“

Der Begriff ist „Stützen“ i. d. R. der Überbegriff und wird im Folgenden hauptsächlich verwendet.

Die Vertikalkräfte aus dem Dach und die Horizontalkräfte, die insbesondere infolge von Windkräften über die Wände wirken, werden über die Stützen und das Fundament in den Baugrund abgeleitet. Die Stützen können aus Stahlbeton, Stahl oder Holz hergestellt werden. Für Logistikhallen kommen aber fast nur Stützen aus Stahlbeton oder Stahl zur Ausführung. Stützen aus Stahlbeton oder Stahl können mit Dachtragwerken aus Stahl oder Holz kombiniert werden.

- Stahlbetonstützen
  - Stahlbetonstützen haben ein günstiges Brandverhalten. Feuerwiderstandszeiten von F 90B können problemlos realisiert werden.
  - Für die Vertikale Lastabtragung haben Stahlbetonstützen statische Vorteile gegenüber Stützen aus Holz.
  - Stahlbetonstützen sind kostengünstiger als Stahlstützen.
- Stahlstützen
  - Stahlstützen haben ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen keinen Brandschutz, da bei Hitzeeinwirkung die Tragfähigkeit nachlässt (siehe oben).
  - Stahlstützen können Lasten mit schlanken Elementen aufnehmen und haben daher einen vergleichsweise geringen Platzbedarf.

Stützensysteme werden grundsätzlich unterschieden in „eingespannte“ und „gependelte“ Systeme.

- **Eingespannte Stützen**  
Eingespannte Stützen werden einseitig, d. h. am Stützenfuß mit dem Fundament starr verankert. Am Kopf werden sie mit dem Dachtragwerk verbunden. Die Verankerung kann auf unterschiedliche Arten erfolgen, z.B. in Köcherfundamenten durch Vergießen mit Beton (siehe oben). An Stahlbetonstützen kann bei kleineren Fundamenten das Fundament bereits im Werk an die Stütze angeformt werden. Bei Stahlstützen kann die Befestigung auch mit Ankerschrauben erfolgen.  
Durch die Einspannung können die Stützen sowohl vertikale und horizontale Kräfte als auch Biegemomente in das Fundament einleiten. Eingespannte Stützen dienen auch der Aussteifung von Gebäuden.

### ▪ Pendelstützen

Pendelstützen sind unten und oben gelenkig gelagert. Dadurch können sie den natürlichen Formänderungen des Tragwerks pendelnd, d. h. ohne Zwängung nachgeben. Pendelstützen können auf Einzelfundamente, oder auf Streifenfundamente (soweit die Querschnitte ausreichend sind) aufgesetzt werden.

Dadurch dass Pendelstützen oben und unten gelenkig gelagert werden, können sie nur in Längsrichtung, d. h. vertikal beansprucht werden. Für die Abtragung horizontaler Lasten sind Aussteifungen erforderlich. Pendelstützen werden insbesondere im Fassadenbereich eingesetzt um die vertikalen Lasten der Außenwände aufzunehmen.

Bei Hallen mit Kranbahn sind die Stützen mit zusätzlichen Konsolen zur Auflagerung der Kranbahnträger erforderlich. Konsolen sind auch bei abgestuften Hallenhöhen erforderlich, oder wenn ein Zwischengeschoss eingezogen werden soll.

### 3.2.5 Binder

Dachbinder / Riegel sind Biegeträger, die mit Stützen gelenkig oder biegesteif verbunden sind (siehe oben). Die Binder müssen die Dacheindeckung tragen. Aufgrund ihres Eigengewichts und der Dachlasten müssen sie Querkkräfte und Momente aufnehmen.

Der Bereich zwischen den Stützen (Auflagern) wird als Feld bezeichnet. Träger, die an den Auflagern enden, werden daher auch Einfeldträger genannt. Geht der Träger über ein Auflager hinaus, so wird der Bereich außerhalb der Auflager Kragarm genannt. Träger auf zwei Stützen haben den ungünstigsten Momentenverlauf. In der Feldmitte kommt es zu einem maximalen Moment und damit zu großen Schnittkräften und Verformungen. Diese müssen durch entsprechenden Materialeinsatz kompensiert werden [BAU 3]. Träger mit Kragarmen und Mehrfeldträger (Durchlaufträger) haben einen günstigeren Momentenverlauf.

Binder gibt es in Beton-, Stahl- und in Holzausführung. Sie bestehen i. d. R. aus einem Obergurt, einem Untergurt und der dazwischen befindlichen Aussteifung. Die Aussteifung kann vollwandig oder in Fachwerkbauweise ausgeführt werden. Materialabhängig gibt es weitere Aussteifungsarten, auf die wegen der geringen Relevanz nicht weiter eingegangen wird.

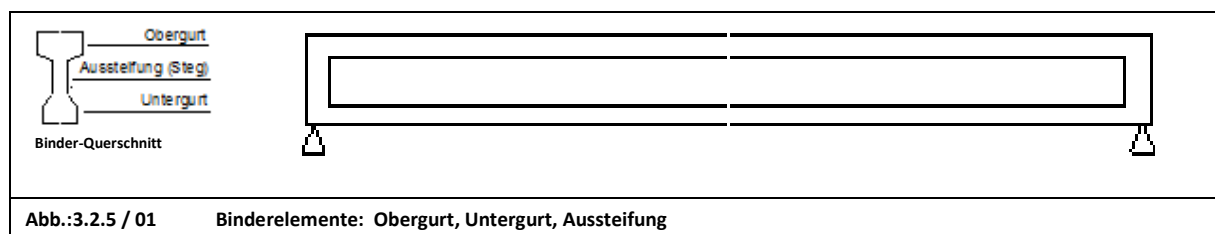


Abb.:3.2.5 / 01 Binder Elemente: Obergurt, Untergurt, Aussteifung


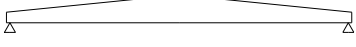
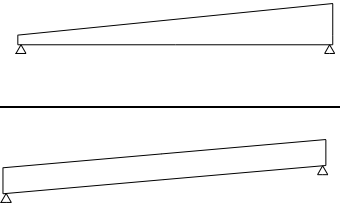
Aufgrund der Gestaltungsvielfalt bei Hallen mit weitgespannten Trägern gibt es Binder in vielfältigen Formen und Ausführungen. Bei Logistikhallen ist nur eine begrenzte Zahl an Dachformen üblich. Dadurch reduziert sich auch die Zahl der relevanten Binderformen. Die übliche Dachform bei Logistikhallen ist das Flachdach. Unabhängig von der Bezeichnung hat auch das Flachdach ein Dachgefälle. Dieses Gefälle ist notwendig, damit Wasser vom Dach in Richtung Dachentwässerung ablaufen kann.

- Ein Flachdach hat ein Dachgefälle von mindesten 2 % bis maximal 7% (Empfohlene Dachneigung ca. 5%).
- Bei größerem Dachgefälle spricht man von
  - Satteldach (zweiseitiges Gefälle) oder
  - Pultdach (einseitiges Gefälle).

Die relevanten Binderformen für Logistikhallen (bezogen auf die äußeren Konturen) sind:

- Parallelbinder
  - Geneigt eingebaut
  - Horizontal eingebaut, Dachgefälle durch unterschiedlich hohe Pfetten-Oberkanten
- Satteldachartige Binder (Dreieckförmige / trapezförmige Binder mit zweiseitigem Gefälle)
- Pultdachartige Binder (Binder mit geneigtem Obergurt)

Auch bei dieser begrenzten Zahl an relevanten Binderformen für Logistikhallen können in Fachwerkkonstruktion (bei entsprechender Anordnung und Auslegung der Zug- Druckstäbe) sehr vielfältige statische Eigenschaften erzielt werden.

		
Parallelbinder	Satteldachartige Binder	Pultdachartige Binder
Abb. 3.2.5 / 02      Gängige Binderformen		

Der Binderabstand in Querrichtung ist von der gewählten Dachdeckung abhängig. Bei Dachtragwerken ohne Pfetten (Nebenbinder, siehe Kap. 3.2.7) liegt der Binderabstand wegen der begrenzten Formatgrößen der Dachelemente i. d. R. im Bereich von 5,00 und 7,50 m.

#### 3.2.5.1 Binder in Betonausführung

Binder können in Stahlbeton- und in Spannbetonbauweise ausgeführt werden. Mit einer Vorspannung können schlanke Dachbinder mit Spannweiten von 40 - 50 m hergestellt werden. Die wirtschaftlichen Spannweiten liegen zwischen 12 und 24 m. Bei größeren Stützenabständen (über 30 m) steigen die Herstellungs- und Transportkosten überproportional [IMB 1].

In Abhängigkeit von der Spannweite werden Träger mit unterschiedlichen Profilen eingesetzt.

- Trapez- oder Rechteckprofile werden bei kleineren und mittleren Spannweiten bevorzugt. Aus Gründen der Gewichtsersparnis werden bei größeren Spannweiten die Träger mit T- oder I-Profil ausgebildet.
- T-Profile aus Stahlbeton werden aufgrund der wirtschaftlicheren Fertigung i. A. für Spannweiten bis 20 m, in Sonderlängen oder Stabstößen bis 25 m bevorzugt.
- I-Profile haben ein niedrigeres Eigengewicht, sind jedoch aufwendiger in der Herstellung. Ihr wirtschaftlicher Einsatz beginnt bei Spannweiten über 25 m.

#### 3.2.5.2 Binder in Stahl- bzw. Holzausführung

Binder aus Stahl bzw. Holz können vollwandig und in Fachwerkkonstruktion hergestellt werden. Im Vergleich zu Betonkonstruktionen haben Stahl- und Holzkonstruktionen Vorteile:

- Bezogen auf die Spannweite haben sie ein relativ geringes Eigengewicht.
- Bei großen Spannweiten können sie werkseitig vorteilhaft in Teilelementen vorgefertigt werden und vor Ort zu weitspannenden Bindern zusammengefügt werden.
  - Bei Stahlkonstruktionen können die Elemente durch Verschweißen oder Verschrauben vor Ort verbunden werden.
  - Auch für Holzkonstruktionen gibt es vielfältige Verbindungsarten, wie z.B. Nagelverbindungen.

Stahl- oder Holzkonstruktionen sind insbesondere bei sehr weitgespannten Hallen empfehlenswert.



### 3.2.6 Richtwerte zur Grobdimensionierung von Stützen und Bindern

Die nachfolgenden Tabellen beschränken sich im Wesentlichen auf die Abmessungen der Tragelemente, welche zur Abschätzung des Nutzraumes innerhalb der Halle erforderlich sind. Dies sind insbesondere die Querschnitte der Stützen und die Höhen der Binder. Bei Dachtragwerken mit Pfetten müssen diese gesondert berücksichtigt werden.

Die Tabellenwerte beziehen sich überwiegend auf vertikale Lasten. Windlasten sind in der Tabelle enthalten. Sonstige Horizontale Lasten müssen durch Nebentragwerke abgefangen werden. Parameter zur Abschätzung der erforderlichen Abmessungen der Tragelemente sind:

- Hallenhöhe / Stützenhöhe
- Spannweite (Stützenabstand in Binder-Längsrichtung)
- Achsabstand (Stützenabstand quer zur Binderrichtung, auch Binderabstand bezeichnet)
- Dachlast

Hallenhöhe, Spannweite und Achsabstand sind konstruktive Vorgaben, d. h. es sind bedingt variable Größen. Die Dachlast ist von vielen Faktoren abhängig:

- Dem Eigengewicht des horizontalen Haupttragelements (z.B. Binder). Dieses Eigengewicht ist in den Tabellenwerten berücksichtigt.
- Der Dacheindeckung
  - Leichte Dacheindeckung ca. 0,5 kN/m<sup>2</sup>,  
z.B. 3 Lagen Bitumenbahnen + Wärmedämmung + Stahltrapezblech
  - Schwere Dacheindeckung ca. 1,5 kN/m<sup>2</sup>  
z.B. 3 Lagen Bitumenbahnen + Wärmedämmung + Stahltrapezblech + 50 mm Kiesschüttung
- Schneelasten (siehe unten)
- Abgehängte Installationen
- Besondere Dachnutzungen,
  - z.B. Photovoltaik- und solarthermischen Anlagen ca. 0,5 kN/m<sup>2</sup>
  - z.B. Gründächer, Dachaufbauten (z.B. Solar), usw.

Die für die Tragwerksicherheit anzusetzenden Schneelasten sind für Deutschland mit der DIN EN 1991-1-3 [DIN 19] geregelt. Diese Norm ersetzt die frühere DIN 1055 Teil 5. Die Schneelasten sind abhängig von der geographischen Lage des Bauwerks (Geländehöhe über Meeresniveau) und der Schneelastzone.

Deutschland ist in 5 Schneelastzonen unterteilt. Diese Schneelastzonen können grob folgenden Regionen zugeordnet werden:

- Zone 1 u. a. Rheintal und Niederrheinische Tiefebene
- Zone 2 und 3 Alpen, Bayrischer Wald, Thüringer Wald, Erzgebirge, Harz, Vorpommern
- Zone 1a und 2a Hochschwarzwald, Rhön, Sauerland

Richtwerte für die Schneelasten in den einzelnen Zonen sind:

Zone	Schneelast
1	$\geq 0,65 \text{ kN / m}^2$
1a	$\geq 0,81 \text{ kN / m}^2$
2	$\geq 0,85 \text{ kN / m}^2$
2a	$\geq 1,06 \text{ kN / m}^2$
3	$\geq 1,10 \text{ kN / m}^2$



Für die Gesamtlasten (Eigenlast + Schneelast + Wind) gelten folgende grobe Richtwerte:

- Leicht: z.B. Kiespressdach 1,5 kN/m<sup>2</sup>
- Mittel: z.B. Kiesschüttung 2,5 kN/m<sup>2</sup>
- Schwer: z.B. extensive Begrünung 4,0 kN/m<sup>2</sup>

### 3.2.6.1 Querschnitte / Profile der Stützen

#### 3.2.6.1.1 Stahlbetonstützen

In Logistikhallen haben Stahlbetonstützen i. d. R. einen rechteckigen Querschnitt. Die Kantenlängen werden im Folgenden mit **b** und **h** bezeichnet; bei ungleichen Kantenlängen ist h die längere Kante. Die Stütze ist mit der längeren Kante immer in Richtung des Haupttragelements, i. d. R. des Binders auszurichten.

Bei den Stahlbetonstützen wird zwischen Innenstützen und Rand- / Fassadenstützen unterschieden.

Die Tabellenwerte in Tab. 3.2.6 / 01 beziehen sich auf eine angenommene Dachlast von 2,5 kN/m<sup>2</sup>. Bei größerer Dachlast müssen entweder der Bewehrungsgehalt erhöht, oder die Stützenabmessungen vergrößert werden (z.B. Vergrößerung von b und h um jeweils 100 mm bei einer Erhöhung der Dachlast auf 5,0 kN / m<sup>2</sup>).

Spannweite Binder [m]	Achs- abstand [m]	Dachlast ( $g_{ki} + q_{ki}$ ) = 2,5 kN / m <sup>2</sup>			
		H = 4,0 m	H = 7,0 m	H = 10,0 m	
bis 25,0 m	5,0	400, 400	400, 500	400, 600	Stützenquerschnitte b, h [mm] für Randstützen
	6,0				
	7,5				
	10,0				
über 25,0 m bis 40,0 m	5,0	400, 500	400, 600	500, 600	
	6,0				
	7,5	400, 600	500, 600	600, 600	
	10,0				
bis 25,0 m	5,0	400, 500	400, 600	400, 700	Stützenquerschnitte b, h [mm] für Innenstützen
	6,0				
	7,5				
	10,0				
über 25,0 m bis 40,0 m	5,0	400, 600	500, 600	600, 600	
	6,0				
	7,5	500, 600	600, 700	600, 800	
	10,0				
Tab. : 3.2.6 / 01 Querschnitte von Stahlbetonstützen bei einer Dachlast von 2,5 kN/ m <sup>2</sup> [nach FDB 1]					

#### 3.2.6.1.2 Stützen / Stiele aus Stahl

Die nachfolgenden Tabellen 3.2.6 / 02 und 03 zeigen Beispiele zur überschlägigen Bestimmung von Profilen für Stützen in vollwandiger Stahlbauweise. In den beiden Tabellen wird unterschieden zwischen Rahmenkonstruktion und Stützen-Binder-Konstruktion. Die dazugehörigen Werte für die Binderprofile aus Stahl sind in den Tab. 3.2.6 / 06 und 07 enthalten.

In Tab. 3.2.6 / 04 sind Höhen von Parallelbindern aus Stahlbeton aufgelistet.

#### Anmerkung zu Tab. 3.2.6 / 02 und 03:

Im Vergleich Rahmenkonstruktion zu Stützen-Binder-Konstruktion hat die Stützen-Binder - Konstruktion Vor- und Nachteile [BAU 5] (siehe auch Kap. 3.2.3.1):

- Bei gleichem Stahlgewicht ist die Stützen-Binder-Konstruktion wegen niedrigerer Lohnkosten meist preiswerter.
- Wegen geringer Stützenabmessungen bietet sie mehr Nutzraum.
- Die Stützen-Binder-Konstruktion erfordert jedoch aussteifende Elemente in Dach und Wänden. Bei der Rahmenkonstruktion erfolgt die Längsaussteifung in der Dachebene.

Spannweite L (m)	Achsabstand (m)	Kran-Tragkraft (kN)	Gewählte Stützenprofile
15,00	5,00	- 50	HEA 260 HEA 300
20,00	6,00	- 50 100	HEA 360 HEA 400 HEA 450
25,00		- 100	HEA 450 HEA 550
30,00		- 100	HEA 600 HEA 650
Tab.: 3.2.6 / 02      Stützenprofile für Rahmenkonstruktionen im Stahlbau für Hallenhöhe H= 5,50 m; Dachlast 1,25 kN / m² [nach BAU 5]			

Spannweite L (m)	Achsabstand (m)	Kran-Tragkraft (kN)	Gewählte Stützenprofile	
15,00	6,00	- 50	HEA 120 HEA 240	
20,00		- 50 100	HEA 140 HEB 200 HEB 240	
		25,00	- 100	HEA 140 HEB 280
			30,00	- 100
Tab.: 3.2.6 / 03				
Stützenprofile für Stützen-Binder-Konstruktionen im Stahlbau für Hallenhöhe H= 5,50 m; Dachlast 1,25 kN / m² [nach BAU 5]				

### 3.2.6.2 Höhen der Binder / Riegel

Die nachfolgenden Richtwerte beziehen sich auf Einfeldbinder. Die Gesamthöhe der Binder (Unterkante Binder bis Oberkante Binder am First) ist abhängig von den oben genannten Parametern:

- Spannweite
- Achsabstand
- Dachlast

sowie

- der Form des Binders (siehe oben)
- von dem Gefälle, das für die Dachentwässerung vorgesehen ist.

#### 3.2.6.2.1 Binder in Stahlbeton-Ausführung

Entsprechend der typischen Spannweiten für Stahlbeton-Binder enthält die Tabelle 3.2.6/04 Werte für Parallelbinder mit T-Profil und mit I-Profil.

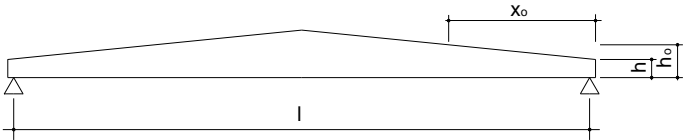
Überschlägig liegt die Binderhöhe bei T- und bei I-Trägern im Bereich  $L/20 \leq h \leq L/16$ .

Die Tabellenwerte berücksichtigen noch kein Dachgefälle. Die Höhendifferenz zwischen Binderoberkante am Auflager und am First muss in Abhängigkeit von der Spannweite und dem Gefälle rechnerisch ermittelt und aufaddiert werden.

	Spannweite L (m)	Achs- abstand (m)	Dachlast (kN / m <sup>2</sup> )				Binderhöhe h (mm)
			1,5	2,5	3,5	4,5	
T-Profil	15,0	5,0	600	600	800	800	
		7,5	800	800	1000	1200	
	20,0	5,0	800	1000	1000	1200	
		7,5	1000	1200	1400	1600	
I-Profil	25,0	5,0	1000	1000	1200	1400	
		7,5	1000	1200	1400	1600	
	30,0	5,0	1200	1200	1400	1600	
		7,5	1200	1400	1600	1800	
	35,0	5,0	1400	1400	1600	1800	
		7,5	1400	1600	1800	2000	
	40,0	5,0	1600	1800	1800	2000	
		7,5	1800	1800	2000	2400	

Tab.: 3.2.6 / 04 Binderhöhen h für Parallelbinder aus Stahlbeton ohne Berücksichtigung der Dachneigung

Die Tabellenwerte, die für Parallelbinder gelten, können auch auf Satteldachbinder angewandt werden. Die Tabellenwerte beziehen sich dann nicht auf die Oberkante Binder am Auflager, sondern auf die Oberkante an einer Bemessungsschnittstelle  $x_0$ . Die Lage der Bemessungsschnittstelle ist von der Dachneigung und der Binderlänge abhängig.

	Dachneigung (%)	Bemessungsschnittstelle ( $x_0$ )
	5,0	0,40 L
	5,0 – 10,0	0,33 L
	10,0 – 15,0	0,25 L

Tab. 3.2.6 / 05 Bemessungsschnittstelle für Binderhöhe von Satteldachbindern

### 3.2.6.2.2 Binder in Stahlausführung

#### Vollwandige Binder aus Stahlprofilen:

Wie bei den Stützen / Stielen in Stahlbauweise wird auch bei den Bindern unterschieden zwischen Rahmenkonstruktion und Stützen-Binder-Konstruktion. Die Parameter sind ebenfalls identisch.

Spannweite L (m)	Achsabstand (m)	Kran-Tragkraft (kN)	Gewählte Binderprofile
10,00	5,00	-	IPE 300
15,00		-	IPE 360
		50	IPE 450
20,00	6,00	-	IPE 500
		50	IPE 550
		100	IPE 600
25,00	6,00	-	IPE 600
100		HEA 550	
30,00		-	HEA 600
	100	HEA 650	
Tab.: 3.2.6 / 06	Binderprofile für Rahmenkonstruktionen im Stahlbau für Hallenhöhe H= 5,50 m; Dachlast 1,25 kN / m² [nach BAU 5]		

Spannweite L (m)	Achsabstand (m)	Kran-Tragkraft (kN)	Gewählte Binderprofile
10,00	6,00	-	IPE 330
15,00		-	IPE 450
		50	IPE 450
20,00		-	IPE 600
		50	IPE 600
		100	IPE 600
25,00		-	HEA 600
		100	HEA 600
30,00		-	HEA 800
		100	HEA 800
Tab.: 3.2.6 / 07	Binderprofile für Stützen-Binder-Konstruktionen im Stahlbau für Hallenhöhe H= 5,50 m; Dachlast 1,25 kN / m <sup>2</sup> [nach BAU 5]		

### Stahl-Fachwerkbinder:

Bei Parallelbindern und pultdachartige Bindern in Fachwerkkonstruktion liegt die Binderhöhe bei einer Spannweite von ca. 40 m überschlägig im Bereich  $L/12 \leq h \leq L/8$ .

#### 3.2.6.2.3 Binder in Holzausführung

Ausführung	Bindertyp	Spannweite (m)	Achsabstand (m)	Binderhöhe
Vollwandig / Brettschicht	Parallelbinder	10,0 – 35,0	5,0 – 7,50	$h \geq L/17$
	Satteldachartig	10,0 – 35,0	5,0 – 7,50	$L/30 \leq h \leq L/16$
Fachwerk	Parallelbinder	7,50 – 60,0	4,0 – 10,0	$L/15 \leq h \leq L/12$
	Satteldachartig	7,50 – 30,0	4,0 – 10,0	$h \geq L/12$
Tab. 3.2.6 / 08 Binderhöhen bei Holzkonstruktionen, in Anlehnung an [ HOL 1]				

### 3.2.7 Pfetten / Nebenbinder

Das Pfettensystem ist ein Sekundärtragwerk. Pfetten sind schlanke Träger, die rechtwinklig zu den Bindern angeordnet und auf diesen aufgelegt oder seitlich daran befestigt sind. Werden Pfetten in der Dachkonstruktion eingesetzt, dann liegt die Dachdeckung nicht auf den Bindern sondern auf den Pfetten auf. Diese übertragen die Dachlast über die Binder auf die Stützen.

Kriterien für den Einsatz von Pfetten sind z.B.:

- Sie können erforderlich sein, wenn die Abstände zwischen den Bindern größer sind als die Elementlängen der Dachdeckung.
- Sie ermöglichen größere Achsabstände zwischen den Bindern. Dadurch wird die Anzahl an Haupttragelementen und Stützen reduziert.
- Sie können als Einfeldträger zwischen Bindern eine aussteifende Funktion haben.

Die Pfettensysteme können wie Binder als Einfeldträger oder als Mehrfeldträger ausgeführt werden. Vorteil der Mehrfeldträger ist der günstigere Momentenverlauf; Mehrfeldträger sind dadurch grundsätzlich wirtschaftlicher (siehe oben unter „Binder“). Gegenüber Einfeldträgern, die zwischen den Bindern angeordnet werden können, haben Mehrfeldträger den Nachteil, dass sie oberhalb der Binderebene verlegt werden und dadurch die Hallenkonstruktion erhöhen.

Pfetten sind meist vollwandige Träger; als Aussteifungselement zwischen den Bindern angeordnet werden sie bei Stahl- und Holzkonstruktionen auch als Fachwerk ausgeführt.

### 3.2.7.1 Pfetten in Stahlbeton- bzw. Spannbeton-Ausführung

Pfetten in Betonausführung sind i. d. R. Einfeldträger mit Trapezquerschnitt (V-Pfette) oder mit T-Querschnitt (T-Pfette). Der T-Querschnitt wird bei Achsabständen (Spannweiten der Pfetten) über 17,5 m erforderlich.

Bei Pfetten-Spannweiten bis 15 m können die Pfetten aus Stahlbeton hergestellt werden. Bis zu einer Spannweite von 20 m können Spannbeton-Pfetten kostengünstiger hergestellt werden.

Die Bauhöhen der Pfetten sind analog zu Bindern abhängig von

- der Pfetten-Spannweite,
- dem Abstand der Pfetten zueinander und
- der Dachlast.

Bei Pfetten-Spannweite von 7,50 m bis 20,0 m liegen die Bauhöhen der Pfetten im Bereich von 400 mm bis 950 mm. Die Pfetten können im Auflagerbereich ausgeklinkt werden, so dass dadurch die Gesamtbauhöhe reduziert wird.

### 3.2.7.2 Pfetten in Stahlausführung

Stahlpfetten gibt es aus warmgewalzten Profilen sowie aus dünnwandigen kaltgeformten Profilen. Typische Profilquerschnitte sind:

- C-Profil
- Z-Profil
- Zeta-Profil
- $\Sigma$ -Profil

Stahlpfetten haben ein relativ geringes Eigengewicht je Quadratmeter Hallenfläche und eine relativ geringe Bauhöhe im Vergleich zu Betonpfetten. Stahlpfetten können als Einfeldträger und als Mehrfeldträger ausgeführt werden.

- Stahl-Pfettensysteme als Einfeldträger sind die einfachste Ausführung mit dem geringsten Montageaufwand. An den Auflagerpunkten werden die Pfetten auf Stoß verlegt und an den Pfettenschuh geschraubt.  
Einfeldträger werden vorzugsweise bei kleineren Gebäuden und geringer Belastung bzw. ungleicher Stützweite eingesetzt.
- Stahlpfetten können als Mehrfeldpfetten ausgeführt werden. Die aus Transportgründen begrenzten Profillängen müssen dazu bei der Montage zusammengefügt werden. Hierfür gibt verschiedene Möglichkeiten, wie z.B.:
  - Die Pfettenprofile (Einfeld- oder Zweifeldprofile) werden an den Stoßstellen über den Auflagerpunkten mittels Stoßlaschen miteinander verschraubt.
  - Die Mehrfeldpfetten werden als Koppelträgersystem ausgeführt. Dazu werden die Profile überlappend miteinander verbunden.

### 3.2.7.3 Pfetten in Holzausführung

Wie bei den Stahlpfetten können Pfetten in Holzausführung als Einfeld- oder als Mehrfeldpfetten hergestellt werden. Bei weitspannenden Hallen wird i. d. R. Brettschichtholz verwendet.

Für die Ausführung von Mehrfeldträgern gibt es verschiedene Möglichkeiten:

- Als Durchlaufpfette können die Einzelelemente durch biegesteife Laschenverbindungen miteinander verbunden werden.
- Als Gelenkpfette werden die Einzelelemente über Gelenke (Gerbergelenk) miteinander verbunden. Die Anordnung der Gelenke wird entsprechend dem Momentenverlauf im jeweiligen Momenten-Nullpunkt eingeplant.

- Als Koppelfette werden die Einzelprofile überlappend miteinander verbunden. Koppelfetten sind für geringe Pfettenabstände zwar sehr wirtschaftlich, aufgrund des äußeren Erscheinungsbildes sind sie aber architektonisch nicht ansprechend.

### 3.2.8 Wand-, Trauf- und Ortgangriegel, Rand- und Giebelträger

Für gleichartige Bauelemente gibt es oft mehrere Bezeichnungen, z.B. je nachdem, ob das jeweilige Bauelement von einem Beton-, einem Stahl- oder einem Holzverarbeiter benannt wird.

Die Bezeichnung „Riegel“ kommt aus dem Fachwerkbau (z.B. Pfosten-Riegel-Konstruktion). Dort ist der Riegel ein waagrechter Balken (alias Träger), der den Abstand zwischen zwei Ständern (alias Stützen, Stielen, Pfosten) sichert und ggf. das Fachwerk versteift. Je nach Lage und Hauptzweck eines Riegels gibt es vielfältige Namensergänzungen (z.B. Fußriegel, Brüstungsriegel, Sturzriegel usw.).

- Bei Tragwerken in Rahmenkonstruktion ist Riegel quasi ein Synonym für Binder (siehe oben).
- Die Bezeichnungen Traufriegel (alias Randträger) und Ortgangriegel (alias Giebelträger) beziehen sich auf Tragelemente im Bereich des obersten Abschlusses der Fassade mit Übergang zur Dachkonstruktion.

Sowohl Trauf- als auch Ortgangriegel befinden sich somit im Fassadenbereich. Im Fassadenbereich können zwischen den Stützen im Hauptgebäuderaster weitere „Fassadenstützen“ angeordnet werden, ohne die Hallennutzfläche nennenswert zu beeinträchtigen. Aufgrund der daraus resultierenden kürzeren Stützenabstände können sich auch kürzere Binder- und Pfettenabstände ergeben.

#### 3.2.8.1 *Traufriegel / Randträger*

Die Traufe ist die Tropfkante am Dach, d. h. bei einschiffigen Hallen fließt das Regenwasser über das Dachgefälle in Richtung Traufe ab (satteldachartige Dächer haben zwei Traufen, pulldachartige haben eine Traufe). Die Traufseite von Logistikhallen ist i. d. R. rechtwinklig zur Giebelseite der Halle angeordnet.

Traufriegel bzw. Randträger sind horizontal verlaufende Träger längs der Traufe.

- Bei Hallendächern mit Pfetten übernehmen die Traufriegel meist auch die Funktion der letzten unteren Pfette, d. h. sie sind Auflager / Unterkonstruktion für die Dachelemente. Der Obergurt des Trägers wird dann i.d.R. mit dem Gefälle des Daches ausgeführt.
- Die Traufriegel können gleichzeitig als Wandriegel eingesetzt werden (siehe unten), d. h. sie sind der letzte obere Wandriegel zur Befestigung der Fassadenelemente.
- Die Riegel können auch zur Koppelung der Stützen bei der Aussteifung in Hallenlängsrichtung dienen.
- Die Randträger können als Attika ausgebildet werden, so dass die Fassade über den Traufbereich erhöht wird.

#### Anmerkung:

Im Hallenbau steht die Bezeichnung „Attika“ für eine Erhöhung der Fassade, die über die Dachfläche hinausgeht. Die Attika bildet dadurch einen horizontalen Fassadenabschluss, obwohl das dahinter liegende Dach zwecks Dachentwässerung immer ein Mindestgefälle aufweisen muss.

#### 3.2.8.2 *Ortgangriegel / Giebelträger*

Der Ortgang ist der Abschluss der Dachfläche an der Giebelseite. Giebelträger können anstelle der Binder angeordnet werden und nehmen hier die Dachlasten auf.

#### 3.2.8.3 *Wandriegel*

Wandriegel sind primär horizontal verlaufende Träger im Fassadenbereich zur Aufnahme unterschiedlicher Lasten, z.B. als Aussteifungselement oder als Sturzriegel.

Wandriegel dienen auch als Unterkonstruktion für die Fassadenelemente. Diese Unterkonstruktion wird i. d. R. an den Stützen befestigt. Die Wandriegel als Fassadenunterkonstruktion haben die Windlasten abzutragen, die gegen die Fassade wirken.

Im Hallenbau bestehen die Fassadenelemente i. d. R. aus großflächigen langen Wandelementen (siehe unten „Gebäudehülle“). Sie werden meist vertikal auf die horizontal verlaufende Unterkonstruktion montiert. Es gibt aber auch horizontal verlaufende Wandelemente (z.B. Kassetten-elemente), die von Stütze zu Stütze montiert werden. Bei sehr großen Stützenabständen kann eine zusätzliche vertikal verlaufende Unterkonstruktion erforderlich werden. Trotz vertikaler Einbaulage werden die Elemente auch dieser Unterkonstruktion häufig als Wandriegel bezeichnet.

### 3.2.9 Aussteifungselemente

Bauwerke müssen ausgesteift werden, unabhängig von der Art des Materials aus dem sie hergestellt sind. Aussteifungen in einem Gebäudetragwerk sind Konstruktionen, die erforderlich sind, um Verformungen unter horizontalen Lasten zu verhindern.

- Die von Tragelementen aufzunehmenden Kräfte sind insbesondere die vertikalen Lasten. Diese werden über die Haupttragelemente aufgenommen und als Druckkräfte in den Boden abgeführt (siehe oben).
- Schwieriger ist es, die horizontalen Kräfte infolge von Windlasten, Lasten aus Imperfektionen und Lasten in Erdbebengebieten in das Erdreich abzuführen.

#### Anmerkung:

Lasten aus Imperfektionen ergeben sich infolge ungewollter Abweichungen des Tragwerks von der Soll-Geometrie, wie z.B. Schiefstellung von Stützen und aus Verformungen von Bauteilen, z.B. Krümmung von Druckstäben.

Die horizontalen Kräfte, die tendenziell das Bauwerk umkippen wollen, können nicht nur in x- und y-Richtung auftreten, sondern auch als rotierende Kräfte, wodurch ein zusätzliches Moment entsteht.

Die zweidimensionalen Haupttragelemente, wie z.B. Binder und Stützen, aber auch dreidimensionale Haupttragwerke, wie z.B. Trägerroste in Verbindung mit Stützen (siehe oben) können allein nicht alle am Gebäude auftretenden Kräfte aufnehmen. Es ist daher ein ergänzendes Aussteifungssystem erforderlich. Das Aussteifungssystem muss immer aus vertikalen und horizontalen Aussteifungselementen bestehen, wobei Elemente des Haupttragsystems in das Aussteifungssystem integriert werden können.

Das Aussteifungssystem muss zug- und druckfest mit den Bauteilen verbunden werden, welche die Last weiterleiten. Die Aussteifung in x- und y-Richtung kann erfolgen durch:

- Eingespannte Stützen
- Verbände
- Scheiben
- Rahmen
- Kerne

Die Elemente für horizontale und vertikale Aussteifung sind oft prinzipiell identisch. Alle Aussteifungssysteme haben ihre Vor- und Nachteile. In der Praxis werden sie daher oft kombiniert.

#### 3.2.9.1 Eingespannte Stützen als Aussteifungselement

In Fertigteilhallen bis zu 10m Höhe werden zur Abtragung der horizontal wirkenden Lasten i. d. R. eingespannte Stützen herangezogen [IMB 1]. Bei höheren Hallen stellen sich große Verformungen der Stützenköpfe ein. Abhilfe kann mit einer Aussteifung geschaffen werden, z.B. durch Verbände oder eine Dachscheibe in Verbindung mit Wänden.

### 3.2.9.2 Verbände

Ein Verband ist eine Fachwerkkonstruktion, die zur Aussteifung verwendet wird. Je nach Ebene, in der der Verband angeordnet ist, kann zwischen Dach- und Wandverband unterschieden werden.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, Fachwerke zur Aussteifung heranzuziehen. Dabei können auch Bauelemente in die Aussteifung mit einbezogen werden, die z.B. für den vertikalen Lastabtrag schon vorhanden sind. Eine Aussteifung in Fachwerkkonstruktion ist z.B., wenn in einer Ebene angeordnete Stützen und Riegel über diagonal verlaufende Stäbe miteinander verbunden sind. Die Stäbe können je nach Konstruktion zug- und drucksteif sein, oder druckschlaff (z.B. Seile).

- Ein Verband kann aus einer Zug- / Druckdiagonalen bestehen. Das Aussteifungselement muss für beide Beanspruchungsarten (Zug und Druck) ausreichend dimensioniert werden. Durch die Druckbelastung kann die Diagonale knicken. Wegen ihrer günstigen Querschnittsformen gegen Knicken werden gern Kreis- oder Rechteckrohre aus Stahl für die Zug-/Druckdiagonalen verwendet.
- Werden druckschlaffe Elemente eingesetzt, sind zwei diagonal angeordnete Zugglieder erforderlich (Auskreuzung).

Fachwerkkonstruktionen zur Aussteifung werden vor allem in Bauwerken aus Stahl oder Holz eingesetzt; selten sind sie in Bauwerken aus Stahlbeton zu finden.

### 3.2.9.3 Scheiben

Scheiben sind druckfeste Elemente, die eben / flächig sind. Sie können im Dach- und im Wandbereich als Aussteifungselemente eingesetzt werden. Druckfeste Scheiben sind z.B.:

- Massivbauteile, z.B. aus Porenbeton
- Fachwerkkonstruktionen aus Stahl oder Holz
- Stahl-Trapezblech-Konstruktionen
- Holzkonstruktionen (Holzrippen mit Beplankung aus Werkstoffplatten)

### 3.2.9.4 Rahmen

Ein Rahmen (siehe auch oben) kann auch als Aussteifungselement wirken, wobei es unterschiedliche Rahmenausbildungen gibt:

- Die Füße der Stützen / Stiele sind eingespannt, die Rahmenecken sind gelenkig.
- Die Rahmenecken sind biegesteif.
- Der Rahmen hat sowohl eingespannte Stützenfüße als auch biegesteife Rahmenecken.

Der Aufwand „eingespannte Stützen und biegesteife Rahmenecken“ ermöglicht geringere Querschnittsabmessungen für Stützen und Riegel. Rahmen werden sowohl im Stahlbetonbau, Stahlbau als auch im Holzbau verwendet. Bei der Wahl des statischen Systems sind materialabhängige Vor- und Nachteile abzuwägen; dies betrifft sowohl fertigungstechnische als auch wirtschaftliche Faktoren.

Nachteilig an Rahmen als Aussteifungselement ist, dass sie selten so steif wie Verbände oder Wandscheiben sind, d. h. es muss mit gewissen seitlichen Verschiebungen gerechnet werden.

### 3.2.9.5 Kerne

Werden mehrere Wandscheiben zu einem geschlossenen Kasten schubfest miteinander verbunden, bezeichnet man dies als Aussteifungskern. Wenn als Bestandteil oder in Ergänzung des Hallenbaus Treppenhäuser, Aufzugsschächte, Versorgungsschächte o. ä. in Stahlbeton- oder Stahlfachwerkkonstruktion vorhanden sind, können diese schubfesten Bauteile als Kern zur Aussteifung herangezogen werden.

Aussteifungskerne sollten möglichst zentrisch in der Halle angeordnet werden, da ansonsten sehr große Drehmomente auftreten können. Diese ergeben sich aus den Windlasten und der Exzentrizität.



### 3.3 Gebäudehülle

Die Gebäudehülle umfasst alle Bauteile eines Gebäudes, die dieses nach außen abschließen. Die Hauptelemente sind

- das Dach
- die Außenwände / Fassade.
- dazu gehören aber auch Elemente wie z.B. Fenster / Tageslichtöffnungen, Tore usw.

#### 3.3.1 Anforderung an die Gebäudehülle

##### 3.3.1.1 *Energetische Anforderungen an Außenbauteile*

Ein energiepolitisches Ziel der Bundesregierung von Deutschland ist, bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen (siehe Teil IV.1, Kapitel 5).

##### 3.3.1.2 *Anforderungen gegen Durchfeuchtung der Gebäudehülle*

Die Gebäudehülle ist eine Grenzschrift zwischen den klimatischen Bedingungen im Innenraum und den klimatischen Bedingungen im Außenbereich. Die Gebäudehülle dient i. d. R. auch der Wärmedämmung (siehe unten), so dass es im Bereich der Gebäudehülle zwischen Innen und Außen zu einem Temperaturgefälle kommt.

Mit dem Temperaturgefälle ist ein Gefälle im Wasserdampfdruck der Luft verbunden, da warme Luft mehr Feuchtigkeit aufnehmen kann als kalte Luft. Dadurch kommt es zu einer Wanderung des Wasserdampfes durch die Gebäudehülle (Diffusion) von der warmen Seite mit dem höheren Wasserdampfdruck zur kalten Seite mit dem niedrigeren Wasserdampfdruck (ausgenommen die Schale der Gebäudehülle ist auf der warmen Seite wasserdampfdicht).

Wird an einer Grenzfläche oder innerhalb der Dämmschicht die warme Luft soweit abgekühlt, dass der Taupunkt erreicht wird, dann kondensiert der Wassergehalt der warmen Luft als Tau aus. Die Kondensatbildung / Nässe führt zu negativen Eigenschaften:

- Sie kann innerhalb der Dämmung zu einer Minderung der Dämmwirkung führen.
- Sie kann an Stahlteilen zur Korrosion und an Holzelementen zu Schädlingsbefall führen. An Tragkonstruktionen aus Holz kann auch die Standsicherheit gefährdet werden.

Die Anforderungen an den Aufbau der Gebäudehülle sind daher

- Sie muss so aufgebaut sein, dass möglichst genauso viel Wasserdampf auf der kalten Seite entweichen kann, wie von der warmen Seite eindringt. Dies ist prinzipiell durch geeigneten Wandaufbau unter Verwendung von Materialien mit unterschiedlichen Diffusionswiderständen machbar.
- Ist dies nicht möglich, so muss auf der warmen Seite die Diffusion des Wasserdampfes durch eine Dampfbremse oder Dampfsperre vermindert oder verhindert werden (als Dampfsperre eignen sich z.B. Aluminiumkaschierungen auf dem Dämmmaterial oder PE-Kunststofffolien).

Die Art des Schutzes gegen Kondensatbildung in oder an der Gebäudehülle ist abhängig von den Materialien und dem Aufbau der Elemente der Gebäudehülle:

- Dampfdiffusionsoffene, monolithische Konstruktionen ermöglichen das Ausdiffundieren des Wasserdampfes. Sie sind daher vergleichsweise unproblematisch.
- Mehrschalige Konstruktionen ohne Hinterlüftung erfordern eine Dampfsperre. Mit der Dampfsperre wird aber auch der Luftaustausch verhindert, was problematisch sein kann.
- Mehrschalige Konstruktionen mit Hinterlüftung erfordern nur eine Dampfbremse.
- Beidseitig dampfdichte Konstruktionen unterbinden die Dampfdiffusion. Hierzu gehören z.B. Sandwichelemente mit PU-Kern.

### 3.3.2 Funktionen der Gebäudehülle

Die wesentlichen Funktionen der Gebäudehülle sind die raumabschließende Funktion und der Witterungsschutz. Neben diesen übergeordneten Funktionen können der Gebäudehülle noch weitere wichtige Funktionen zugeordnet werden. Dies sind insbesondere:

- Wärmeschutz / Witterungsschutz
- Schallschutz
- Brandschutz

#### 3.3.2.1 *Wärmeschutz / Witterungsschutz*

Das Thema „Heizung, Klima, Lüftung“ wird im nachfolgenden Teil V „Technische Gebäudeausrüstung“ behandelt. Das Thema „Heizung, Klima, Lüftung“ fängt aber schon bei der Dämmung und Dichtigkeit der Gebäudehülle an:

- Wird ein schlecht gedämmter Raum beheizt, steigt die Luft über die Heizflächen nach oben, staut sich unter der Decke und fällt an den kalten Wänden wieder nach unten. Durch diese Luftzirkulation entsteht ein Reizklima aus staubiger, trockener Luft.
- Je größer in einem Raum der Unterschied zwischen der Körpertemperatur der sich darin befindenden Menschen und der Temperatur der umgebenden Wände ist, desto mehr Wärme verlieren die menschlichen Organismen. Selbst wenn in einem Raum die Lufttemperatur angenehme 20°C beträgt, lassen die kalten Wände den Menschen frieren.
- Ist dagegen der Mensch von warmen Wänden umgeben, fühlt sich der Mensch schon bei niedrigeren Lufttemperaturen wohl. Damit können auch die Heizkosten gesenkt werden; als Richtwert gilt, dass mit jedem Grad weniger, die Heizkosten um 6 % gesenkt werden.

#### 3.3.2.2 *Schallschutz*

Schallschutz bezieht sich sowohl auf Maßnahmen, um Lärm von außen abzuhalten, als auch auf Maßnahmen gegen die Auswirkungen von selbst erzeugtem Schall, um damit die eigenen Mitarbeiter und / oder nahe gelegene Anwohner zu schützen.

Schall breitet sich als Luftschallwelle aus. Trifft die Schallwelle auf die Gebäudehülle, kann diese je nach verwendeten Materialien und Aufbau der Gebäudehülle den Schall reflektieren, absorbieren oder übertragen. Schallschutz kann auf Basis von drei physikalischen Prinzipien realisiert werden:

- Schalldämmung:  
Diese ist umso größer und damit die Schallübertragung umso geringer, je größer die Masse der Gebäudehülle ist.
- Schallabsorption:  
Diese ist gleichbedeutend mit dem „Schlucken“ des Schalls. Schallabsorption bezieht sich auf die Verminderung der Schallenergie, indem diese z.B. in eine andere Energieform, z.B. Wärme umgewandelt wird.
- Schalltrennung:  
Diese kann durch mehrschalige Konstruktionen erreicht werden, deren Schalen möglichst nicht, oder nur über federnde Elemente miteinander verbunden sind.

#### 3.3.2.3 *Baulicher Brandschutz*

Die Anforderungen an den baulichen Brandschutz sind in Teil IV.1, Kapitel 4.4 beschrieben. Aus diesen Anforderungen können Maßnahmen bei der Gestaltung der Gebäudehülle abgeleitet werden. Dies betrifft insbesondere die Auswahl der Baustoffe. Baulicher Brandschutz ist z.B. die Verwendung von

- Bauteilen mit hoher Feuerwiderstandsdauer
- Nichtbrennbaren Baustoffen

Besonders relevant ist diese Auswahl für Wände der Gebäudehülle, die gleichzeitig Brandschutzwände sind.

### 3.3.3 Außenwände

Im Hallenbau sind die Außenwände der äußere sichtbare Teil der Gebäudehülle. Hallen in Skelettbauweise haben typischerweise nichttragende Außenwände. Diese werden in vertikaler Richtung fast nur durch ihr Eigengewicht beansprucht. Sie müssen die auf ihre Fläche wirkenden Windlasten sicher in horizontale Richtung auf die angrenzende tragende Skelettkonstruktion abtragen. Bei Industriehallen werden meist Wandsysteme aus großformatigen Tafeln verwendet. Typische Außenwände von Logistikhallen sind:

- Hallenwände aus Metall-Trapezprofilen
- Hallenwände aus Metall-Kassettenprofilen
- Hallenwände aus Metall-Sandwich-Elementen
- Hallenwände aus Beton-Sandwich-Elementen
- Hallenwände aus Porenbeton
- Hallenwände in Holztafelbauweise

Im Vergleich zu Außenwänden aus Mauersteinen, die bei Logistikhallen eher untypisch sind, ist bei den großformatigen Bauteilen die Stoßfestigkeit weniger gut (ausgenommen Beton-Sandwichfassaden). Bei Gabelstaplerbetrieb wird empfohlen, im Anfahrbereich einen Rammschutz anzubringen. Dieser kann z.B. als Mauerwerksockel ausgeführt werden.

#### 3.3.3.1 *Metall-Trapezprofil-Wände*

Trapezprofilwände können zwar einschalig ausgeführt werden, sind aber für Logistikhallen eher untypisch. Sie werden i. d. R. als zweischalige wärmegeämmte Wände ausgeführt. Zwischen einem inneren und einem äußeren Wandprofil aus Stahl- oder Aluminium-Trapezprofilen wird eine Dämmung montiert. Die Art der Dämmung ist abhängig von den Anforderungen an Wärme-Schall- und Brandschutz.

#### 3.3.3.2 *Metall-Kassettenprofil-Wände*

Kassettenprofile werden meist aus Stahlband profiliert. Sie werden als Innenschale eines mehrschichtigen Wandaufbaus eingesetzt und sind ein statisch tragendes Bauelement. Die Kassetten werden vorwiegend waagrecht montiert, d. h. sie werden von Stütze zu Stütze gespannt. Damit ergeben sie eine fast ebene Innenfläche. Horizontal verlaufende Wandriegel werden i. d. R. nicht benötigt.

Die Kassettenprofile haben tendenziell einen U-förmigen Querschnitt. Die Nutzbreite dieser Profile beträgt üblicherweise 400 – 600 mm, die Nutztiefe ca. 40 – 160 mm, die Länge dieser Profile kann über 20 m betragen. Der Wandaufbau besteht meist aus:

- Innenschale (horizontal montierte Kassettenprofile)
- Wärme- bzw. Schalldämmung
- Außenschale (vertikal montierte Trapezbleche)

Die Dämmung wird meist in die Kassetten eingebaut. Die Trennung von Innen- und Außenschale ermöglicht sehr gute Luftschall-Dämmwerte. Die Kassettenprofile gibt es auch in gelochter Ausführung. Dies kann zu guten Schallabsorptionswerten führen.

Durch die Trapezprofilierung der Außenschale ist eine gute Hinterlüftung gewährleistet.

#### 3.3.3.3 *Metall-Sandwichelement-Wände*

Metall-Sandwichelemente sind (industriell) vorgefertigte Fassadenelemente. Jedes Element besteht aus einer schubfest miteinander verbundene Einheit aus zwei metallischen Deckschichten mit einem

Kern aus PU-Hartschaum. Die metallischen Deckschichten können sowohl aus Stahl als auch aus Aluminium sein. Vorteile von Sandwichelementen sind:

- Hohe Steifigkeit bei geringem Raumgewicht (geeignet für größere Spannweiten)
- Hohe Wärmedämmung
- Keine Durchfeuchtungsgefahr
- Schnelle und einfache Montage, da sowohl Innen- und Außenschale als auch Dämmung eine Einheit sind.

#### 3.3.3.4 Beton-Sandwichelement-Wände

Beton-Sandwichelemente sind vorgefertigte, mehrschichtige, großformatige Fassadenplatten. Sie vereinen in der Regel die konstruktive Tragschicht, die Wärmedämmschicht und die Vorsatzschicht. Gelegentlich wird auch zwischen der Vorsatzschicht und der Wärmedämmung noch eine Luftschicht vorgesehen.

Vorteile von Beton-Sandwichelementen sind:

- Die integrierte Wärmedämmung,
- Der gute Schallschutz
- Die hohe Feuerwiderstandsklasse F 90
- Der gute mechanische Schutz, sie sind stoßfest

Nachteilig sind die vergleichsweise hohen Kosten.

#### 3.3.3.5 Porenbeton-Wände

Elemente aus Porenbeton für Hallenwände werden plattenweise gefertigt. Die Breite dieser Platten beträgt üblicherweise 50 – 750 mm, die Länge kann 6 – 8 m betragen.

Die Platten können an der Fassade vertikal oder horizontal montiert werden und zwar vor oder hinter einer tragenden Skelettkonstruktion.

- Bei horizontaler Anordnung beträgt die zugelassene Wandhöhe 20 m (ohne Zwischenabfangung).
- Bei vertikaler Anordnung können bis zu 3 Platten übereinander gestellt werden. Dabei beträgt die maximale Wandhöhe 12 m.

Bei erhöhten Anforderungen an Brandschutz oder an Schallschutz bieten sich Wandelemente aus Beton an.

Porenbeton-Wandplatten sind grundsätzlich zu beschichten.

#### 3.3.3.6 Wände in Holztafelbauweise

Für Außenwände in Holzkonstruktion gibt es verschiedene Bauarten. Die Errichtung der Außenfassade aus Holztafeln ist im Hallenbau eine gängige Bauweise.

Holztafeln sind großflächige, werkstattmäßig vorgefertigte Verbundkonstruktionen, die auf der Baustelle nur noch zur Außenfassade zusammengefügt werden. Eine Holztafel besteht im Wesentlichen aus:

- Einer Rippenkonstruktion mit der statisch erforderlichen Bauhöhe
- Einer beidseitigen Beplankung dieser Rippen mit Vollholz, Holzwerkstoffen, oder ggf. anderen Baustoffen.
- Je nach Anforderung kann eine entsprechende Dämmung und Dampfsperre in die Holztafel integriert werden.
- Eventuell notwendige Einbauten können bereits in der Vorfertigung integriert werden.

Die Fassadenelemente müssen folgende Voraussetzungen erfüllen:

- Witterungsbeständigkeit
- Langlebigkeit
- Lichtechtheit
- Wirtschaftlichkeit
- Architektonische Gestaltungsmöglichkeit

Für die Beplankung der Holztafeln steht ein breites Spektrum an Werkstoffen zur Verfügung, welche diese Anforderungen erfüllen. Für die äußere architektonische Gestaltung können die Fassadenelemente zusätzlich farblich beschichtet oder verputzt werden. Es kann auch eine zusätzliche äußere Sichtebeine vorgehängt werden. Diese kann wiederum aus dekorativen Holzelementen bestehen, oder aus ganz anderen Materialien (z.B. Trapezblech).

### 3.3.4 Dach

Das Dach einer Logistikhalle ist Teil der äußeren Gebäudehülle. Die wesentlichen Funktionen der Gebäudehülle sind oben beschrieben. Zusätzlich werden an das Dach, insbesondere das Flachdach, besondere Anforderungen bezüglich Dachentwässerung gestellt. Darüber hinaus wird auch häufig die große Dachfläche für die Installation von Solaranlagen genutzt sowie für die Installation von Lüftungs- und Klimaanlage.

Das Hallendach ist i. d. R. nur für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten begehbar.

#### 3.3.4.1 *Dachaufbau*

Es gibt vielfältige Arten des Dachaufbaus. Der Dachaufbau entspricht in weiten Bereichen denen des Wandaufbaus (siehe oben). Der Dachaufbau ist auch von den verwendeten Hauptmaterialien abhängig. Bei der Planung müssen Dachtragwerk und Dachaufbau als Einheit betrachtet werden.

Alle Arten des Dachaufbaus bestehen grundsätzlich aus mehreren Schichten. Diese beinhalten die Funktionen

- Tragende Dachschaale (ggf. innere und äußere)
- Dampfsperre oder Dampfbremse
- Dämmung,
- Dachabdichtung,
- Ggf. kann die wetterseitige Schicht zusätzlich mit einer aufliegenden Schutzschicht als Wärme- und Feuchtepuffer ausgeführt werden (z.B. Kiesschicht, Begrünung).

Grundsätzlich können aber zwei Arten des Dachaufbaus unterschieden werden. Dies sind die belüftete Konstruktion (sogenanntes Kaltdach) und die nicht belüftete Konstruktion (sogenanntes Warmdach):

- Belüftete Dachkonstruktion

Belüftete Dachkonstruktionen werden auch Kaltdach bezeichnet. Das Kaltdach ist mehrschalig aufgebaut. Typisch ist, dass die wetterseitige Schicht durch einen Luftraum von der Dämmschicht getrennt ist. Dies ermöglicht einen Luftaustausch mit dem Außenbereich, wodurch der Abtransport der Innenraumfeuchtigkeit gewährleistet wird.

- Nicht belüftete Dachkonstruktion

Bei nicht belüfteten Dachkonstruktionen gibt es keine Hinterlüftung der wetterseitigen Schicht. Die Dachkonstruktionen sind einschalig aufgebaut, d. h. Dachhaut und Dämmschicht sind ohne Luftspalt direkt miteinander verbunden.

Die bekannteste nicht belüftete Dachkonstruktion ist das Warmdach. Eine Abwandlung davon ist das Umkehrdach, bei dem die Reihenfolge von Wärmedämmung und Dachabdichtung getauscht wurde.

Die tragende Dachschaale bildet als Hallendecke den Raumabschluss nach innen. Auf ihr liegen die anderen Dachschichten auf, bzw. sind als Einheit mit ihr verbunden. Diese tragende Dachschaale leitet

die Dachlasten in das Dachtragwerk (die Binder) ab. Ist der Binderabstand größer als die Stützweite der Dachschalenelemente, werden Pfetten auf die Binder montiert, so dass dann die Dachschalenelemente auf den Pfetten aufliegen (siehe Kap. 3.2. ff.). Durch die Form der Binder, bzw. die Gestaltung der Pfetten wird das Gefälle der Dachschale und damit der restlichen Dachkonstruktion vorgegeben.

Unabhängig von den ansonsten verwendeten Hauptmaterialien ist die tragende Dachschale häufig als metallisches Trapezprofil ausgebildet (meist aus Stahl, ggf. aus Aluminium). Trapezprofilbleche werden bis zu Stützweiten von 7,5 m verwendet (in Ausnahmefällen bis 8 m)

In Betonbauweise kommen als tragende Dachschale bewehrte Porenbetonplatten zum Einsatz, sowie Spannbetonhohlplatten und TT-Dachplatten aus Stahl- oder Spannbeton. Betonbauweise hat Vorteile, wenn erhöhte Anforderungen an den Brandschutz gestellt werden.

- Bewehrte Porenbetonplatten werden i. d. R. bis zu einer Stützweite von 6 m eingesetzt.
- Weitgespannte Spannbeton-Hohlplatten und TT-Dachplatten werden bei großen Binderabständen (bis zu 15 m) verwendet.

Der mehrschichtige Dachaufbau kann in einzelnen Lagen vor Ort aufgebaut werden, oder in Form von kompakten Sandwichelementen werkstatmäßig / industriell vorgefertigt werden.

Sandwichelemente für den Dachaufbau sind meist mit metallischen Deckschichten versehen, bei reiner Holzbauweise ist aber auch der Dachaufbau in Holztafelbauweise üblich.

#### 3.3.4.2 Dachentwässerung

Mit dem Klimawandel ist eine Zunahme von Starkregen-Ereignissen zu erwarten. Damit das Regenwasser ungehindert vom Dachfirst aus nach außen abfließen kann, ohne dabei zwischendurch Wassersäcke zu bilden, sollte das Dachgefälle mindestens 3 % betragen (siehe auch Kap. 3.2.5).

Bei einer einschiffigen Halle läuft das Wasser in Richtung Außenfassade. Diese kann mit oder ohne Attika ausgebildet sein. Bei mehrschiffigen Hallen läuft ein Teil des Wassers in Richtung Außenfassade, der andere Teil in Richtung einer Dachentwässerung zwischen den Hallenschiffen.

Ist die Halle mehrschiffig oder mit einer Attika versehen, kann das Regenwasser nicht über die Traufkante abfließen. Das Wasser wird daher über eine innenliegende Flachdachentwässerung abgeführt, d. h. es wird über Flachdachgullys oder Dachabläufe in Fallrohre geleitet, die im Inneren des Gebäudes verlegt sind. Dieses Entwässerungssystem ist problembehaftet und wartungsintensiv.

- Bei verschmutzten Fallrohreinläufen, bei Frost, oder bei so starken Regenfällen, dass die Einläufe die Wassermassen nicht fassen können, kann es zu einem Rückstau führen. Dies kann neben Undichtigkeiten zu einer gefährlichen statischen Überbelastung des Daches führen.
- Die innenliegende Entwässerung erfordert Dachdurchbrüche mit aufwändigen Abdichtungen.
- Die Fallrohre befinden sich in der Halle; das Regenwasser muss unter der Bodenplatte nach außen abgeführt werden.

Bei einer einschiffigen Halle ohne Attika könnten (wie beim konventionellen Hausbau) an der Außenfassade vorgehängte Rinnen und außenliegende Fallrohre angebracht werden, über die das Regenwasser abgeführt wird. Diese Bauweise ist aber für Logistikhallen eher untypisch, obwohl dadurch oben genannte Nachteile vermieden würden.

Die Anforderungen an die Dachentwässerung sind in DIN EN 12056-3 [DIN 20] geregelt. Für Flachdächer ist eine Notentwässerung in Form eines Notüberlaufs vorgeschrieben, der frei auf das Grundstück führen muss (das Regenwasser aus Notüberläufen darf nicht in die öffentliche Kanalisation abgeleitet werden). Das Abführen des Regenwassers kann über die Fassade (z.B. über Speier, die durch die Attika geführt werden) oder über zusätzliche Leitungssysteme erfolgen.

### 3.3.4.3 Oberlichter

Hallenbauten haben eine sehr große Raumtiefe. Ein ausreichender Tageslichtquotient ist über Seitenfenster kaum zu erreichen, selbst wenn die Fassade möglichst transparent ausgeführt werden sollte. Bei Logistikhallen kommt dazu, dass die Außenwände meist mit Regalanlagen zugestellt werden. Eine sinnvolle und ausreichende Anordnung von seitlichen Tageslichtöffnungen ist daher kaum machbar. Die eigentliche Zufuhr an Tageslicht muss somit durch Oberlichter gewährleistet werden.

Bei Logistikhallen werden Oberlichter meist in Form von Lichtkuppeln oder Lichtbändern ausgeführt, oder Kombinationen unterschiedlicher Oberlichter.

- Lichtkuppeln gibt es in verschiedenen Formen und Größen. Der Grundriss einer Lichtkuppel kann quadratisch, rechteckig oder rund sein, bei Abmessungen von 0,3 x 0,3 m bis 2,5 x 2,5 m. Im Hallenbau bestehen die Lichtkuppeln i. d. R. aus gewölbten transparenten Kunststoffelementen.

Lichtkuppeln können mehrere Funktionen in sich vereinen. Zu unterscheiden sind:

- Starre Oberlichter, die nur der Tageslichtzufuhr dienen.
  - Oberlichter, die ganz oder teilweise zur täglichen Raumlüftung geöffnet werden können; dies kann per Knopfdruck oder automatisch erfolgen.
  - Oberlichter, die als Bestandteil einer Rauch-Wärmeabzugsanlage ausgelegt sind und sich im Brandfall automatisch öffnen (als Bestandteil von RWA-Anlagen siehe auch Teil V, Kapitel 4.2.4 „Technischer Brandschutz“).
- Lichtbänder sind aus mehreren Modulen bestehende langgestreckte Oberlichter. Die Form der Lichtbänder ist meist gewölbt oder satteldachartig.

## 4 QUELLENNACHWEIS ZU TEIL IV.2

### 4.1 Tabellenverzeichnis

Kapitel / Tab.	Titel der Tabelle	Quelle
2.1 / 01	Modulreihen für Vorzugsmaße im Stahlbau	Nach DIN 18000
2.1.2 / 01	Toleranzen am Bauwerk; Grenzmaße nach Toleranzen im Hochbau	Nach DIN 18202
2.1.2 / 02	Toleranzen für vorgefertigte Teile aus Stahl	Nach DIN 18203-2
2.1.3 / 01	Einfluss des Rastermaßes auf Kosten und Nutzbarkeit der Halle	Nach [SAL 1]
2.1.4 / 01	Flächennutzung in Abhängigkeit von der möglichen Gangbreite bei Hauptträger in X-Richtung (Längseinlagerung)	Verfasser
2.1.4 / 02	Flächennutzung in Abhängigkeit von der möglichen Gangbreite bei Hauptträger in X-Richtung (Quereinlagerung)	Verfasser
2.1.4 / 03	Flächennutzung in Abhängigkeit von der möglichen Gangbreite bei Hauptträger in Y-Richtung (Längseinlagerung)	Verfasser
2.1.4 / 04	Flächennutzung in Abhängigkeit von der möglichen Gangbreite bei Hauptträger in Y-Richtung (Quereinlagerung)	Verfasser
3.1.2 / 01	Beton- und Druckfestigkeitsklassen	Nach DIN 1045, DIN 1084
3.1.2 / 02	Verschleißwiderstandsklassen	Nach [BET 1]
3.1.2 / 03	Minimale Flächenlasten	Nach CUR 36 (NL)
3.1.2 / 04	Gabelstaplerklassen und die charakteristischen Achslasten $Q_k$	In Anlehnung an DIN EN 1991-1-1
3.1.2 / 05	Mindestdicke der Bodenplatte in Industrie- und Produktionshallen	Nach [LOH 1]
3.1.2 / 06	Nutzungsbereiche der Bodenplatte	Nach [LOH 1]
3.1.3 / 01	Annahmen für Kontaktpressung in Abhängigkeit von der Bereifung	In Anlehnung an [BET 1]
3.2.6 / 01	Querschnitte von Stahlbetonstützen bei einer Dachlast von 2,5 kN/m <sup>2</sup>	Nach [FDB 1]
3.2.6 / 02	Stützenprofile für Rahmenkonstruktionen im Stahlbau	Nach [BAU 5]
3.2.6 / 03	Stützenprofile für Stützen-Binder-Konstruktionen im Stahlbau	Nach [BAU 5]
3.2.6 / 04	Binderhöhen (h) für Parallelbinder aus Stahlbeton, ohne Berücksichtigung der Dachneigung	Nach [FDB 1]
3.2.6 / 05	Bemessungsschnittstelle für Binderhöhen von Satteldachbindern	Nach [FDB 1]
3.2.6 / 06	Binderprofile für Rahmenkonstruktionen im Stahlbau	Nach [BAU 5]
3.2.6 / 07	Binderprofile für Stützen-Binder-Konstruktionen im Stahlbau	Nach [BAU 5]
3.2.6 / 08	Binderhöhen bei Holzkonstruktionen	In Anlehnung an [HOL 1]

### 4.2 Abbildungsverzeichnis

Kapitel / Abb.	Titel der Abbildung	Quelle
2.1.4 / 01	Modulbreite je Regalgasse zwischen zwei Doppelregalen	Verfasser
2.1.4 / 02	Hallenraster, Hauptträger parallel zur Hallenlängsseite mit möglicher Regalanordnung	Verfasser
2.1.4 / 03	Hallenraster, Hauptträger rechtwinklig zur Hallenlängsseite mit möglicher Regalanordnung	Verfasser
3.1 / 01	Bodenaufbau	Verfasser
3.2.1 / 01	Köcherfundament	Verfasser
3.2.3 / 01	Beispiele für Binder-Stützen-Systeme und Rahmentragwerke (Prinzipdarstellung)	Verfasser
3.2.3 / 02	Beispiel für ein räumliches Tragwerk mit Trägerrost	Verfasser
3.2.5 / 01	Binderelemente: Obergurt, Untergurt, Aussteifung	Verfasser



3.2.5 / 02	Gängige Binderformen	Verfasser
------------	----------------------	-----------

## 4.3 Literaturverzeichnis

### 4.3.1 Gesetze, Normen, Richtlinien, Empfehlungen usw.

DIN 3	DIN 15185 -1	Lagersysteme mit leitliniengeführten Flurförderzeugen; Anforderungen an Boden, Regal und sonstige Anforderungen (August 1991)
DIN 4	DIN 18202	Toleranzen im Hochbau- Bauwerke (Oktober 2005)
DIN 16	DIN 1055	Einwirkungen auf Tragwerke; bestehend aus den Teilen 1-10 und Teil 100
DIN 17	DIN 4127	Maßordnung im Hochbau
DIN 18	DIN 18000	Modulordnung im Bauwesen; Mai 1984
DIN 19	DIN EN 1991	Einwirkungen auf Tragwerke; bestehend aus mehreren Teilen
DIN 20	DIN EN 12056-3	Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden - Teil 3: Dachentwässerung, Planung und Bemessung
DIN 35	DIN EN 1991-1-1	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1:Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke; Dezember 2010
IND 1	IndBauRL	Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Industriebaurichtlinie) Fassung März 2000

### 4.3.2 Literatur, Firmenbroschüren, Internetveröffentlichungen

BAU 3	Bauforumstahl; Bauen mit Stahl; Nachhaltig gut beraten: Hallen aus Stahl; Planungsleitfaden Nr. B 401; Herausgeber: bauforumstahl e. V., Jan. 2011
BAU 4	Bauen mit Stahl; Stahlbau Arbeitshilfe; 2.1 Brandschutz für Stützen und Träger; 7. Überarbeitete Auflage 04/99
BAU 5	Bauen mit Stahl; Stahlbau Arbeitshilfe; 40.1 Stützen und Binder bei Hallen
BET 1	Beton, Zementmerkleblatt Tiefbau, T1 1.2006
BÖH 1	Böhl, W.: Estrich kurz und bündig;
FDB 1	FDB-Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilebau e. V.; Betonfertigteile im Geschoss- und Hallenbau; Grundlagen für die Planung; Ausgabe 2009
GRO 2	Groenmeyer, Thomas; Logistikimmobilien vom Band; Standardisierung im gewerblichen Hochbau am Beispiel von Warehouse-Logistikimmobilien. 05.03.2012
HOL 1	Hochschule Ostwestfalen-Lippe; Jens-Uwe- Schulz; Tragwerkslehre, Vordimensionierung
LOH 1	Lohmeyer, Ebeling: Betonböden für Produktions- und Lagerhallen; Verlag Bau + Technik, 2008
NOV 1	Novak, Balthasar; Kuhlmann, Ulrike: Werkstoffübergreifendes Entwerfen und Konstruieren.
SAL 1	Salzer & Koch Consultants GmbH in Kooperation mit Dömges Architekten AG: „Logistikhalle aus nachwachsenden Rohstoffen“; Abschlussbericht 30. April 2010
WIE 1	Wiegink, K.-H.; Baustofftechnologie Industrieböden: Skriptum zur Vertiefungsvorlesung, Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung, TU München.