

Bachelorarbeit

Aufnahme und Analyse der thermischen Energiesysteme eines Beispielgebäudes der RWTH Aachen

Aufnahme und Analyse der thermischen Energiesysteme eines Beispielgebäudes der
RWTH Aachen

Aachen, Januar 2050

Lena Maier

Matrikelnummer: 323269

betreut von:

Dipl.-Ing. Moritz Lauster

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller

Die Arbeit wurde vorgelegt am:

E.ON Energy Research Center | ERC

Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate | EBC

Mathieustraße 10, 52074 Aachen

Kurzfassung

Überall dieselbe alte Leier. Das Layout ist fertig, der Text lässt auf sich warten. Damit das Layout nun nicht nackt im Raume steht und sich klein und leer vorkommt, springe ich ein: der Blindtext. Genau zu diesem Zwecke erschaffen, immer im Schatten meines großen Bruders »Lorem Ipsum«, freue ich mich jedes Mal, wenn Sie ein paar Zeilen lesen. Denn esse est percipi - Sein ist wahrgenommen werden.

Und weil Sie nun schon die Güte haben, mich ein paar weitere Sätze lang zu begleiten, möchte ich diese Gelegenheit nutzen, Ihnen nicht nur als Lückenfüller zu dienen, sondern auf etwas hinzuweisen, das es ebenso verdient wahrgenommen zu werden: Webstandards nämlich. Sehen Sie, Webstandards sind das Regelwerk, auf dem Webseiten aufbauen. So gibt es Regeln für HTML, CSS, JavaScript oder auch XML; Worte, die Sie vielleicht schon einmal von Ihrem Entwickler gehört haben. Diese Standards sorgen dafür, dass alle Beteiligten aus einer Webseite den größten Nutzen ziehen. Testtest

Im Gegensatz zu früheren Webseiten müssen wir zum Beispiel nicht mehr zwei verschiedene Webseiten für den Internet Explorer und einen anderen Browser programmieren. Es reicht eine Seite, die - richtig angelegt - sowohl auf verschiedenen Browsern im Netz funktioniert, aber ebenso gut für den Ausdruck oder die Darstellung auf einem Handy geeignet ist. Wohlgemerkt: Eine Seite für alle Formate. Was für eine Erleichterung. Standards sparen Zeit bei den Entwicklungskosten und sorgen dafür, dass sich Webseiten später leichter pflegen lassen. Natürlich nur dann, wenn sich alle an diese Standards halten. Das gilt für Browser wie Firefox, Opera, Safari und den Internet Explorer ebenso wie für die Darstellung in Handys. Und was können Sie für Standards tun? Fordern Sie von Ihren Designern und Programmieren einfach standardkonforme Webseiten. Ihr Budget wird es Ihnen auf Dauer danken. Ebenso möchte ich Ihnen dafür danken, dass Sie mich bis zum Ende gelesen

Diese Kurzzusammenfassung hat 300 Wörter

Abstract

Er hörte leise Schritte hinter sich. Das bedeutete nichts Gutes. Wer würde ihm schon folgen, spät in der Nacht und dazu noch in dieser engen Gasse mitten im übel beleumundeten Hafenviertel? Gerade jetzt, wo er das Ding seines Lebens gedreht hatte und mit der Beute verschwinden wollte! Hatte einer seiner zahllosen Kollegen dieselbe Idee gehabt, ihn beobachtet und abgewartet, um ihn nun um die Früchte seiner Arbeit zu erleichtern? Oder gehörten die Schritte hinter ihm zu einem der unzähligen Gesetzeshüter dieser Stadt, und die stählerne Acht um seine Handgelenke würde gleich zuschnappen? Er konnte die Aufforderung stehen zu bleiben schon hören. Gehetzt sah er sich um. Plötzlich erblickte er den schmalen Durchgang. Blitzartig drehte er sich nach rechts und verschwand zwischen den beiden Gebäuden.

Beinahe wäre er dabei über den umgestürzten Mülleimer gefallen, der mitten im Weg lag. Er versuchte, sich in der Dunkelheit seinen Weg zu ertasten und erstarrte: Anscheinend gab es keinen anderen Ausweg aus diesem kleinen Hof als den Durchgang, durch den er gekommen war. Die Schritte wurden lauter und lauter, er sah eine dunkle Gestalt um die Ecke biegen. Fieberhaft irrten seine Augen durch die nächtliche Dunkelheit und suchten einen Ausweg. War jetzt wirklich alles vorbei, waren alle Mühe und alle Vorbereitungen umsonst? Er presste sich ganz eng an die Wand hinter ihm und hoffte, der Verfolger würde ihn übersehen, als plötzlich neben ihm mit kaum wahrnehmbarem Quietschen eine Tür im nächtlichen Wind hin und her schwang. Könnte dieses der flehentlich herbeigesehnte Ausweg aus seinem Dilemma sein?

Langsam bewegte er sich auf die offene Tür zu, immer dicht an die Mauer gepresst. Würde diese Tür seine Rettung werden? Er hörte leise Schritte hinter sich. Das bedeutete nichts Gutes. Wer würde ihm schon folgen, spät in der Nacht und dazu noch in dieser engen Gasse mitten im übel beleumundeten Hafenviertel? Gerade jetzt, wo er das Ding seines Lebens gedreht hatte und mit der Beute verschwinden wollte! Hatte einer seiner zahllosen Kollegen dieselbe Idee gehabt, ihn beobachtet und abgewartet, um ihn nun um die Früchte seiner Arbeit zu erleichtern? Oder gehörten die Schritte hinter ihm zu einem der unzähligen Gesetzeshüter dieser Stadt, und die stählerne Acht um seine Handgelenke würde gleich zuschnappen? Er konnte die Aufforderung stehen zu bleiben schon hören. Gehetzt sah er sich um. Plötzlich erblickte er den schmalen Durchgang. Blitzartig drehte er sich nach rechts und verschwand zwischen den beiden Gebäuden. Beinahe wäre er dabei über den umgestürzten Mülleimer gefallen, der mitten im Weg lag. Er versuchte, sich in der Dunkelheit seinen Weg zu ertasten und erstarrte: Anscheinend gab es keinen anderen Ausweg aus diesem kleinen Hof als den Durchgang, durch den er gekommen war. Die Schritte wurden lauter und lauter, er sah eine dunkle Gestalt um die Ecke biegen. Fieberhaft irrten seine Augen durch die nächtliche Dunkelheit

und suchten einen Ausweg. War jetzt wirklich alles vorbei, waren alle Mühe und alle Vorbereitungen umsonst? Er presste sich ganz eng an die Wand hinter ihm und hoffte, der Verfolger würde ihn übersehen, als plötzlich neben ihm

Dieser Abstract hat 500 Wörter

Inhaltsverzeichnis

Nomenklatur	v
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	ix
Vorwort	x
1 Einleitung	1
2 Rechtliche Grundlagen	2
3 Stand der Technik	6
4 Gebäudebestand	8
5 Gebäudeauswahl	9
5.1 Kriterien der Gebäudeauswahl	9
5.2 Gebäudesteckbrief	11
5.3 Anlagentechnik	13
6 Beschreibung des Gebäudemodells	17
Literaturverzeichnis	21
A Wichtiger Anhang 1	23
A.1 Die Versalien	23
B Ähnlich wichtiger Anhang	25

Nomenklatur

Formelzeichen und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Fläche	m^2
c_p	spezifische Wärmekapazität bei konstantem Druck	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
C	Wärmekapazität	W/kg
H	Enthalpie	J
\dot{H}	Enthalpiestrom	J/s
E	Exergie	J
e	spezifische Exergie	J/kg
\dot{m}	Massenstrom	kg/s
p	Druck	Pa
\dot{Q}	Wärmestrom	W
R	spezifische Gaskonstante	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
S	Entropie	J/K
\dot{S}	Entropiestrom	W/K
T	Temperatur	K
t	Zeit	s
U	innere Energie	J
U_T	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
h	Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
V	Volumen	m^3
\dot{V}	Volumenstrom	m^3/s
\dot{W}	Leistung	W
Y	Wasserbeladung der Luft	g/kg

griechische Formelzeichen

Symbol	Bedeutung	Einheit
η_C	Carnot-Wirkungsgrad	—
κ_E	exergetische Aufwandszahl der Wärmeerzeugung	—
κ_T	exergetische Aufwandszahl des Wärmetransfers	—
Φ	thermische Leistung	W
ρ	Massendichte	kg/m ³
σ	Temperaturspreizung	K
ϑ	Temperatur	°C
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	K

Indizes und Abkürzungen

Symbol	Bedeutung
0	Referenzzustand (<i>ambient dead state</i>)
A	Außen/Umgebung
CH	chemisch
CV	Kontrollvolumen (<i>control volume</i>)
DSC	Dynamische Differenzkalorimetrie (<i>differential scanning calorimetry</i>)
e	über die Systemgrenze (<i>external</i>)
F	Volumenstrom
FW	Fassadenwärmeübertrager
gen	erzeugt (<i>generated</i>)
In	Eingang (<i>input</i>)
KN	kinetisch
KRM	Kapillarrohrmatte
LabVIEW	Programmiersprache und Entwicklungsumgebung für die Messdatenerfassung der Firma National Instruments
L	Luft
LWS	Latentwärmespeicher
m	Mittelwert
Ob	Oberfläche

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Indizes und Abkürzungen

Symbol	Bedeutung
PCM	Latentwärmespeichermaterial (<i>phase change material</i>)
PH	physikalisch
PT	potentiell
Q	auf einen Wärmestrom bezogen
R	Rücklauf
Reg	Speicherregeneration
T	Temperatur
Δt	Zeitschritt der Länge Δt
t	technisch
V	Vorlauf
V	Verlust (Exergieanalyse)
W	Wärmeträgermedium

Abbildungsverzeichnis

5.1 Baujahre der Gebäude	11
------------------------------------	----

Tabellenverzeichnis

5.1 Einteilung in Baualtersklassen	10
--	----

Vorwort

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi (Tabelle 5.1). Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum.

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten ist der Energieverbrauch und die damit einhergehenden Folgen für die Umwelt zu einem viel diskutierten Thema geworden. Im Fokus dieser Diskussion liegt allerdings nicht nur der Verbrauch der Energie sondern auch die Steigerung der Energieeffizienz, durch die eine Reduktion des Energiebedarfs umgesetzt werden kann.

Fast 40 % des Primärenergieverbrauchs in Deutschland sind dem Gebäudesektor zuzuordnen. Hierbei ist nicht nur der prozentual größere Wohngebäudeanteil von Bedeutung, im Hinblick auf die Einsparung von Primärenergie spielen auch Nichtwohngebäude eine wesentliche Rolle. Nach Betrachtung der Anzahl von Wohngebäuden (18,2 Millionen) und Nichtwohngebäuden (1,7 Millionen) und dem jeweiligen Anteil des Energieverbrauchs von 65% bei Wohn- und 35% bei Nichtwohngebäuden wird deutlich, dass bei Nichtwohngebäuden ein großes Optimierungspotential vorhanden ist. Durch die Forderungen der Politik durch die Einführung der Novellen der Energieeinsparverordnung (EnEV 2014, EnEV 2016) soll die Effizienz des Gebäudesektors optimiert werden. Das ausgesprochene Ziel ist ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand im Jahr 2050. Folglich sind Auflagen für Neubauten, aber auch für bestehende Gebäude umzusetzen.

Im Rahmen des Projekts En-Eff-Campus: Roadmap der RWTH Aachen, welches der Reduktion von Primärenergie der Liegenschaften der RWTH dienen soll, wird der Gebäudebestand der Universität systematisch aufgenommen und bezüglich seiner Optimierungspotentiale untersucht. Zielsetzung ist die Reduzierung der Primärenergie um 50% bis zum Jahr 2025 bezogen auf die im Jahr 2013/2014 aufgenommenen Daten. Mithilfe der Datengrundlage des IST-Bestandes sowie dynamischen Quartiersimulationen sollen sowohl die ökonomischsten als auch die effizientesten Optimierungsmaßnahmen herausgearbeitet werden.

Auf Basis der erfassten Daten wird im Zuge dieser Bachelorarbeit der Ist-Zustand eines für die Campusse der RWTH repräsentativen Gebäudes abgebildet. Durch die Betrachtung eines Leuchtturm-Gebäudes soll nach Möglichkeit ein Optimierungspotential herausgearbeitet werden, das auf mehrere Gebäude der Liegenschaften der RWTH anwendbar ist. Hierbei liegt der Fokus auf der Optimierung der Anlagentechnik der Gebäude.

2 Rechtliche Grundlagen

Die Notwendigkeit des Handlungsbedarfs im Bezug auf die Einsparung von Energie im Bauwesen ist schon seit Jahrzehnten Thema in der Politik. Ein Resultat ist das Energieeinsparungsgesetz(EnEG) aus dem Jahr 1976, unmittelbar nach der ersten Ölkrise, das in den Folgejahren (1980,2005,2009 und 2013) weiter verschärft und spezifiziert wurde. Die Novellierungen basieren auf der EU-Richtlinie 2009/91/EG zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. Das Gesetz dient des Einbaus von Wärmeschutz bei neu zu errichtenden Gebäuden sowie eine energiesparende Anlagentechnik, um vermeidbaren Energieverlusten vorzubeugen. Bei bestehenden Gebäuden werden bei Einbau oder Umbau der Anlagentechnik ebenfalls Anforderungen an die Energieeffizienz gestellt. [EnEG, 2013]

Aus dem Energieeinsparungsgesetz geht die Wärmeschutzverordnung hervor, die gemeinsam mit der Verordnung für Heizungsanlagen die Grundlage für die Energieeinsparverordnung (EnEV) bildet. Die EnEV ist im Jahr 2002 das erste Mal in Kraft getreten und 2004 aufgrund von Änderungen in den vorliegenden DIN Vorschriften novelliert worden. Im Jahr 2007 wurde eine Neufassung erstellt, die eine Trennung zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäude beinhaltet. Seit 2007 wurden die Anforderungen der Verordnung im Jahr 2009 verschärft, eine weitere Novellierung erfolgte auf Basis der EnEG 2013 und hatte die EnEV 2014 zur Folge. Durch diese Neuerung ist die EU-Richtlinie 2010/31/EU in die nationale Gesetzgebung integriert worden. Die Richtlinie verfolgt eine europaweite Umsetzung von Mindeststandards für das gesamte Gebäude und schreibt zudem Energieausweise für Gebäude sowie regelmäßige Inspektionen der Anlagentechnik vor.

Zweck der EnEV ist die Einsparung von Energie im Gebäudesektor sowie die Umsetzung von energiesparenden Maßnahmen. Die Umsetzung erfolgt lediglich im Bereich der Wirtschaftlichkeit. Die Verordnung dient dem energiepolitischen Ziel im Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu erhalten.[EnEV,2014](vgl. enevonline)

2013 wird im §2a des EnEG der Niedrigstenergie-Standard eingeführt, welcher vorschreibt, dass jedes Gebäude, welches nach 2020 gebaut wird und beheizt oder gekühlt werden muss, ein Niedrigstenergiegebäude sein muss. Für Nichtwohngebäude im Besitz der Behörden trifft diese Anforderung schon ab 01.01.2019 zu. Definiert wird ein Niedrigstenergiegebäude als ein Gebäude mit einer sehr guten Gesamtenergieeffizienz. Laut Definition ist der Energiebedarf des Gebäudes fast null bis sehr gering und die verwendete Energie wird zu einem wesentlichen Teil von erneuerbaren Quellen bereitgestellt.[EURichtlinie, Artikel 9] Die Einführung des Standards bei Neubauten ist im Rahmen der EnEV 2017 geplant.

Der Anwendungsbereich der EnEV gilt für mit Energie beheizte oder gekühlte Gebäude, sowie Gebäude mit Heizungs-, Kühlungs und Beleuchtungstechnik und Raumluftechnischen Anlagen. Denkmalsgeschützte Gebäude und Gebäude, die besondere Anforderungen aufgrund ihrer Nutzung unterliegen, sind von der Verordnung ausgenommen. [EnEV 2014, §1]

Unterschieden wird im Wesentlichen zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden. Im Folgenden wird lediglich auf die Nichtwohngebäude eingegangen, da dies der für diese Bachelorarbeit relevanten Kategorie entspricht.

Die Anforderungen für Nichtwohngebäude (§4) beziehen sich jeweils auf ein Referenzgebäude, welches in Nutzung, Ausrichtung, Nettogrundfläche sowie Geometrie mit dem betrachteten Gebäude übereinstimmt. Der Jahres-Primärenergiebedarf für die Anlagentechnik darf den des Referenzgebäudes nicht überschreiten. Die Berechnung des jeweiligen Verbrauchs wird durch eines der im Gesetzestext festgelegten Verfahren durchgeführt. Außerdem werden Grenzwerte für Wärmedurchgangskoeffizienten eingeführt, die sich auf die Umfassungsfläche des Gebäudes beziehen. Die in der Verordnung geforderten Verfahren zur Berechnung werden in der Vornormenreihe DIN V 18599 beschrieben, auf die im Folgenden genauer eingegangen wird.

Zur Förderung des Einsatzes Erneuerbarer Energien wird der durch diese gewonnene Strom vom Jahres-Primärenergieverbrauch abgezogen. Im Fall der Änderung, Erweiterung oder des Ausbaus von Gebäuden ist eine Überschreitung der Grenzwerte von mehr als 40% unzulässig. Die Aufrechterhaltung der energetischen Qualität muss bei jeder Änderungsmaßnahme, die mehr als 10% des Gebäudes betrifft, gewährleistet sein.

Zur Effizienzsteigerung bei raumluftechnischen Anlagen sieht die Verordnung eine selbsttätige Regelung von Volumenströmen zum einen in Abhängigkeit der Zeit oder zum anderen abhängig von stofflichen und thermischen Lasten ab einer Größe von $9 \text{ m}^3/\text{h} / \text{m}^2 \text{NGF}$ vor. Bei einem Neubau von RLT-Anlagen ist der Einbau einer Wärmerückgewinnung verpflichtend.

Die Einführung der EnEV beinhaltet zudem die Ausstellungspflicht von Energieausweisen. Unterschieden wird zwischen dem Energiebedarfsausweis sowie dem Energieverbrauchsausweis. Bei Nichtwohngebäuden ist ein Energieverbrauchsausweis separat für Heizung und Strom auszustellen. Der Energieverbrauchsausweis gibt Auskunft über den Endenergieverbrauch für Heizung, Warmwasseraufbereitung, Kühlung, Lüftung und eingebaute Beleuchtung in kWh/m^2 Nettogrundfläche. Der Energieverbrauch der Heizung wird mithilfe von Angaben aus der EnEV bezüglich der Variabilität der Witterung bereinigt. Die Ermittlung des Primärenergieverbrauch erfolgt auf Basis des Endenergieverbrauchs und unter Einbeziehung von Primärenergiefaktoren. Laut EnEV sollen die Daten des Endenergieverbrauchs aus Abrechnungen von Heizkosten und andere Verbrauchsdaten aus Rechnungen stammen, die einen zusammenhängenden Zeitraum von 36 Monaten umfassen müssen.

Das Resultat stellt der durchschnittliche Energieverbrauch dieses Zeitraums dar.[EnEV,§18und 19]
Um festgeschriebene Ziel der Modernisierungsoffensive zu erfüllen, ist der Aussteller des Energieausweises ist laut §20 der EnEV zur Angabe von Modernisierungsempfehlungen verpflichtet, um über weitere Optimierungspotentiale bezüglich der Energieeffizienz aufzuklären.

Die genaue Vorgehensweise und die Berechnungsverfahren der verschiedenen Komponenten der Anlagentechnik werden in der DIN V 18599 zusammengefasst. Die Vornormenreihe mit dem Titel Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung umfasst insgesamt 11 Teile. Sie dient der Ermittlung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden unter Einbeziehung der Energie, die für die Versorgung der Bereiche Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung aufgewendet werden müssen. Die DIN V 18599 erfolgt einen integralen Ansatz, welcher die Berücksichtigung von Wechselwirkungen der verschiedenen Anlagen berücksichtigt. Auch in der DIN wird zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden unterschieden, ebenso wie zwischen Neu- und Bestandsbauten. Im Jahr 2005 wurde sie veröffentlicht und stellt somit ein weiteres Verfahren zur zuvor geltenden DIN 4701 aus dem Jahr 2002 dar. In der DIN V 4701 wird nicht zwischen Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden unterschieden. Die EnEV bezieht sich weiterhin auf die DIN 4108, die Anforderungen an den Wärmeschutz stellt. In der EnEV 2014 besteht die Möglichkeit zwischen der Verwendung der Berechnungsverfahren der verschiedenen DINs zu wählen.

Durch die Berechnungsverfahren werden alle Energiemengen ermittelt, die die Bereiche Beheizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Beleuchtung und Raumlufttechnischer Anlagen betreffen. Relevanz für diese Bachelorarbeit haben insbesondere Teil 1 der Vornormenreihe sowie Teil 10, die im Folgenden detaillierter vorgestellt werden.

Im ersten Teil sind die Definitionen und die zentralen Bilanzgleichungen für alle Normenteile festgelegt. Zudem wird die Vorgehensweise der energetischen Bilanzierung beschrieben. Zuvor erfolgt bei vorhandener Notwendigkeit eine Einteilung in verschiedenen Zonen. Dieser Fall liegt vor, wenn mehrere verschiedene Bereiche innerhalb des Gebäudes vorliegen, die sich in Bezug auf ihre Nutzung oder bezüglich ihrer Konditionierung unterscheiden.

Eine Zone ist laut DIN eine "grundlegende räumliche Berechnungseinheit für die Energiebilanzierung"(3.1.12). Die Erstellung der Zonierung kann in drei Schritten zusammengefasst werden. An erster Stelle werden die Bereiche in eine Zone eingeteilt, die die gleiche Nutzungsart aufweisen. Verschiedene Nutzungsprofile werden in Teil 10 der DIN V 18599 definiert und im weiteren Verlauf dieser Arbeit vorgestellt. Eine zweite Unterteilung erfolgt aufgrund der Art der Konditionierung. Die Konditionierung beschreibt das Vorhandensein bestimmter Anforderungen einer Gebäudezone in Bezug auf Raumklima, Beleuchtung oder Belüftung. Im Fall von unterschiedlicher Versorgungssysteme innerhalb einer Nutzungsart, die mit einer unterschiedlichen Luftkonditionierung einhergeht,

ist der betrachtete Bereich in zwei Zonen zu unterteilen. Wird eine Zone geheizt oder gekühlt, liegt eine "thermisch konditionierte Zone" vor. Im Falle der Abwesenheit jeglicher Anlagentechnik, wird die Zone als "nicht konditioniert" bezeichnet.

Den dritten Schritt der Zonierung stellt die Zusammenfassung von kleinen Gebäudeflächen dar. Bei einem prozentualen Anteil von weniger als 5% der Gebäudefläche, können kleine Zonen unabhängig von ihrer Nutzung einer Zone zugeteilt werden, die die gleiche Konditionierung aufweist. Bei einem prozentualen Anteil von weniger als 1% spielt auch die Konditionierung der Zone keine Rolle mehr und die Zone kann einer anderen zugeordnet werden. Ausgenommen von dieser Regelung sind Zonen mit erheblichen inneren Lasten oder Luftwechselzahlen.

Im Anschluss an die Zonierung und unabhängig von dieser erfolgt die Einteilung in unterschiedliche Versorgungsbereiche. Ein Versorgungsbereich entspricht dem Bereich eines Gebäudes, welcher durch die gleiche Anlagentechnik abgedeckt wird. Auf Grundlage der Einteilung in Versorgungsbereiche können Teilenergiekennwerte einzelner technischer Anlagen bestimmt werden. Deckt ein Versorgungsbereich mehrere Zonen ab, werden die Energiekennwerte auf die einzelnen Zonen aufgeteilt.

Die Bestimmung des Nutzenergiebedarfs erfolgt für jede Zone einzeln. Wärmesenken und Wärmequellen werden anschließend für jede Zone einzeln gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung dieser Daten für das gesamte Gebäude ist wenig aussagekräftig, da durch den räumlichen Aspekt Wärmesenken und Wärmequellen eine gegenseitige Beeinflussung nicht zwangsläufig sinnvoll ist.

In Teil 10 werden 43 Profile mit Nutzungsrandbedingungen von Nichtwohngebäuden vorgestellt. Diese sind als Richtwerte anzunehmen, wenn keine nach den Regeln der Technik ermittelten Werte über das Gebäude vorhanden sind. Als Nutzungsrandbedingungen gelten Angaben zu Nutzungs- und Betriebszeiten, Beleuchtung, Raumklima, Wärmequellen, Trinkwasser und Gebäudeautomation. In den Profilen sind diese Bereiche jeweils mit Richtwerten abgedeckt. Bei der Zusammenlegung von Zonen, die durch unterschiedliche Nutzungen geprägt sind, werden die Richtwerte gemittelt. Ausnahmen bilden in diesem Fall die Nutzungs- und Betriebszeit in Stunden pro Tag sowie in Tagen pro Jahr. Im Bezug auf Heizung und Kühlung werden jeweils die Extreme als Richtwert verwendet, im Fall der Heizung die Maximaltemperatur, im Fall der Kühlung die Minimaltemperatur.

Da das Klima Einfluss auf die Anlagentechnik nimmt, werden im Teil 10 Angaben zu Klimadaten gemacht, die sich aus Strahlungsintensität, Außenlufttemperatur und Windgeschwindigkeit zusammensetzen. Das Klima in Potsdam wird als Referenzklima für Deutschland festgelegt.

3 Stand der Technik

Die Entwicklung der Energieeffizienz wird im Bauwesen durch verschiedene Forschungsprogramme gefördert. Trotz der EnEV und den weiteren gesetzlichen Maßnahmen liegt die Sanierungsrate leidglich jährlich bei weniger als 1%. Um die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung, einen klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050, zu erreichen, ist eine Verdopplung dieser Rate erforderlich. [Energiekonzept,2010]

Im Bereich der Wohngebäude hat die Forschung in den letzten Jahren weitere Fortschritte gemacht. Während vor 20 Jahren Niedrigenergiehäuser der Forschungsstand waren, ist heutzutage der Bau von Häusern möglich, die einen negativen Jahres-Primärenergiebedarf sowie einen negativen Jahres-Endenergiebedarf aufweisen. Dieses Effizienzhaus Plus-Niveau basiert auf drei Säulen: Zum einen muss die Energieeffizienz des Gebäudes optimiert und gleichzeitig der Bedarf an Energie der Haushaltsprozesse minimiert werden. Der restliche Energiebedarf wird mithilfe erneuerbarer Energien gedeckt.

Der Energieverlust wird durch einen Gebäudeentwurf minimiert, der durch einen kompakten Gebäudekörper sowie eine optimale Ausrichtung des Gebäudes charakterisiert ist. Hierbei spielt auch die thermische Zonierung eine Rolle. Weitere Faktoren bilden ein effizienter Wärmeschutz bei Fenstern und der restlichen Umfassungsfläche sowie ein luftdichtes Gebäude. Unabhängig vom Aufbau des Gebäudes ist das Nutzerverhalten sowie die Ausstattung der Haushaltsgeräte.

Erneuerbare Energien können sowohl aktiv als auch passiv Einfluss auf die Energiebilanz eines Gebäudes nehmen. Eine passive Einflussnahme liegt beispielsweise vor, wenn aufgrund von Tageslicht keine zusätzliche Beleuchtung eingeschaltet werden muss. Ein weiteres Beispiel beschreibt die durch Sonneneinstrahlung erzeugte Wärmeenergie, die den Heizbedarf eines Gebäudes senken kann. Erneuerbare Energien werden im Fall von Umweltwärme, Geothermie und Biomasse aktiv miteinbezogen. Der Betrieb von Photovoltaik und Windenergie ermöglicht die Produktion von Strom, welcher anschließend in Speicher oder in das Netz von Energieanbietern gelangt. [Wege zum Effizienzhaus Plus, 2016]

Um die Errichtung von Nichtwohngebäuden mit Effizienzhaus Plus – Standard zu fördern, ist im Januar 2015 die Richtlinie „Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte hier Förderzweig: Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard“ eingeführt worden. Die Förderung fokussiert das

Ziel, Grundlagen für die Markteinführung des Effizienzhaus Plus zu schaffen sowie Marktdurchdringung von vorhandener und hocheffizienter Technologien voranzutreiben.

Das Forschungsprojekt Datenbasis Gebäudebestand aus dem Jahr 2010 dient der Ermittlung des Modernisierungstrends im Wohngebäudebestand. Betrachtet wurde lediglich die Sanierung des Wärmeschutzes. Der Studie zufolge beträgt die Modernisierungsrate bei Gebäuden, die vor der ersten Wärmeschutzverordnung erbaut wurden (bis 1978) 1,1%/a. Der Modernisierungsfortschritt bezogen auf den Wärmeschutz liegt laut Endbericht zwischen 25 und 30%. Unter Einbeziehung der Gebäude, die nach 1978 erbaut wurden, schrumpft die Modernisierungsrate auf einen Wert von 0,8%/a. Um einen klimaneutralen Gebäudebestand zu erreichen, muss die Modernisierungsrate wesentlich erhöht werden. Das Ziel des Energiekonzepts der Bundesregierung liegt bei einer Modernisierungsrate von 2%/a bezogen auf Wohn- sowie Nichtwohngebäude. Im Bereich der Nichtwohngebäude ist der Gebäudebestand nur unzureichend aufgenommen und die dort vorhandenen Einsparungspotentiale sind somit nicht bekannt.

4 Gebäudebestand

Wird der Bestand der Nichtwohngebäude betrachtet, zeigt sich, dass dieser nur unzureichend aufgezeichnet ist. Nach Betrachtung des Primärenergieverbrauchs bezüglich der jeweiligen Anwendung der Anlagentechnik (Beleuchtung, Kühlung, Heizung und Warmwasser) in Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden, ergibt sich Folgendes Bild. Nichtwohngebäude verwenden 41% des Primärenergieverbrauchs, während Wohngebäude die restlichen 59% für die Energieversorgung in Anspruch nehmen. Laut Gebäudereport (dena) liegt der Anteil der Raumwärme im Nichtwohngebäudebereich bei 57%, gefolgt von 35% für Beleuchtung und jeweils 4% für Kühlung und Warmwasser.

Der Energieverbrauch im Gebäudebereich setzt sich laut Gebäudereport der dena im Jahr 2010 wie folgt zusammen: 35% der Energie wird von Nichtwohngebäuden und 65% in Wohngebäuden genutzt. Mit einer Anzahl von 1,8 Millionen Nichtwohngebäuden und 18,2 Millionen Wohngebäuden, folgt, dass Nichtwohngebäude einen hohen Verbrauch aufweisen müssen. [dena, 2012]

Die unterschiedlichen anlagentechnischen Bereiche unterteilen sich bei Nichtwohngebäuden wie folgt: Mit einem prozentualen Wert von 71% deckt die Raumwärme den größten Anteil der Nichtwohngebäude ab. Mit 20% folgt die Beleuchtung als zweitgrößter Endenergieverbraucher. Warmwasser mit 7% und Klimakälte 2% vervollständigen den Endenergieverbrauch bei Nichtwohngebäuden. Die Datengrundlage ist in diesem Fall das Jahr 2010.

5 Gebäudeauswahl

5.1 Kriterien der Gebäudeauswahl

Das ausgewählte Gebäude wird in dem Simulationsprogramm Dymola abgebildet, um Optimierungspotentiale bezüglich der Energieeffizienz herauszufiltern. Gesucht ist daher ein Gebäude mit einem hohem Energieverbrauch pro Nutzungsessamtläche. Zudem soll das gewählte Gebäude repräsentativ für andere Gebäude der Rheinisch Westfälischen Hochschule Aachen (RWTH) sein.

Die Auswahl des repräsentativen Gebäudes ist auf Basis der vorliegenden Daten getroffen worden. Aufgrund der Betrachtung der Energieeffizienz sind lediglich Gebäude in die Auswahl mit eingeflossen, deren Heizenergieverbrauchskennwert für das Jahr 2013 bzw. 2014 vorliegt. Durch diese Einschränkung reduziert sich der Gebäudebestand auf ca. 200 Objekte. Die Heizenergiekennwerte entstammen den Energieberichten der Jahre 2013 und 2014.

Um eine Übertragung auf andere Gebäude gewährleisten zu können, ist die Auswahl des Gebäudes im Rahmen dieser Bachelorarbeit an vier unterschiedliche Anforderungen geknüpft.

Eine Kriterium stellt das Baujahr dar, welches repräsentativ für eine große Gebäudegruppe der Universität stehen und keinen Ausreißer bilden soll. Die Einteilung der Nichtwohngebäude in Gebäudealtersklassen ist durch baukonstruktive Merkmale geprägt. Hierbei spielen auch die rechtlichen Grundlagen eine Rolle, da diese die Einteilung beeinflussen. Die Einführung der Wärmeschutzverordnung, die 1977 in Kraft trat und deren Anforderungen in den Jahren 1982 und 1995 verschärft wurden, spiegelt sich in der Einteilung der Baualtersklassen wieder.

Von dem betrachteten Gebäudebestand der RWTH wurden ca. 55% noch vor der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung gebaut. 5.1.

Da diese Bachelorarbeit im Rahmen eines Projektes der RWTH erstellt wird, das der flächendeckenden Energieeinsparung dienen soll, wird ein dem Campus der RWTH zugehöriges Gebäude betrachtet. Ein Großteil der Gebäude, die von der Universität genutzt werden, gehört allerdings nicht zum Besitz der Hochschule sondern unterliegt dem Verwaltungsbestand des Bau- und Liegenschaftsbetrieb Nordrhein-Westfalen.

Ein weiteres Kriterium bezieht sich auf die Art der Nutzung des Gebäudes. Ziel ist es ein Gebäude zu untersuchen, welches sowohl Labor- als auch Büroflächen aufweist. Durch den Bauwerkzuordnungskatalog sind Nichtwohngebäude unterschiedlichen Kategorien zugeordnet. Dies soll der Vereinfachung des Vergleichs dienen. Die Unterteilung beinhaltet neun Hauptgruppen, welche in

Tabelle 5.1: Einteilung in Baualtersklassen

Baualterklasse	Baujahr
I	<1918
II	1919 - 1948
III	1949 - 1957
III	1958 - 1968
IV	1969 - 1978
V	1979 - 1983
VI	1984 - 1994
VII	1994 - 2001
VIII	2002 - 2006
IX	2007

der untenstehenden Tabelle aufgeführt sind. Aufgrund des Fehlens von Büro- und Laborflächen in Sportbauten, sowie reinen Lagerstätten, Werkstätten und Beherbergungsstätten wurden diese von der Gebäudeauswahl ausgeschlossen. Teil der Untersuchung waren Gebäude der Kategorie 2 „Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung“, die ihrerseits in verschiedene Institutsgebäude, in Gebäude zur Forschung und Untersuchung sowie reine Hörsaalgebäude eingeteilt werden. Eine Vergleichbarkeit mit anderen Gebäuden ist nur im Rahmen einer gleichen Nutzung gewährleistet. Die Betrachtung der Heizenergiekennwerte dient dem Herausfiltern eines Gebäudes mit hohem Heizenergieverbrauch. Bei einem geringen Energieverbrauch ist die Möglichkeit Einsparpotentiale aufzudecken weitaus geringer als bei einem Gebäude, welches einen für die Größe des Gebäudes hohen Energieverbrauch aufweist. Daher wird der Heizenergieverbrauchskennwert kWh/m²NGF zur Auswahl des Gebäudes herangezogen.

Nach Anwendung der Kriterien auf die in der Datenbank vorliegenden erfassten Gebäude der RWTH Aachen kann folgende Analyse durchgeführt werden. Durch Ausschluss aller Gebäudekategorien des Bauwerkzuordnungskatalogs mit Ausnahme der Kategorie „Gebäude für wissenschaftliche Lehre und Forschung“ wird die Basis für die Vergleichbarkeit der restlichen Gebäude geschaffen. Durch den Gebrauch der Anforderung wird die Liste der zu betrachtenden Gebäude um ca. 40% verringert. Ein großer Teil der Gebäude, die keine Büroflächen und Laborflächen aufweisen, sind somit bereits aussortiert.

Mithilfe einer prozentualen Angabe über den Anteil von Büro- und Laborfläche, werden die bezüglich dieser Flächen durch das Raster gefallenen Gebäude ebenfalls ausgeschlossen. Gebäude, die als Institutsbauten aufgeführt sind, aber eine kaum nennenswerte Fläche von weniger als 5% der Nettogesamtfläche mit sowohl Büros und als auch Laboren auffüllen, werden im Rahmen dieser Arbeit ausgeschlossen. Somit reduziert sich die Auswahl auf unter 25%.

Der gesamte Gebäudebestand der Hochschule ist im Zeitraum von 1660 bis zum heutigen Jahr er-

baut worden. Durch die Eingrenzung der Baualtersklassen auf einen Zeitraum von 1950 bis 1978 (entsprechend Klasse III – V), wird ein für die RWTH repräsentatives Gebäude ausgewählt. Die Beschränkung auf diesen Zeitraum dient der Repräsentativität der Auswahl. Der Median der Baujahre liegt im Jahr 1965. Der Mittelwert der Baujahre für den vorliegenden Bestand der RWTH liegt bei 1965 und somit zwischen der Eingrenzung durch die Baualtersklassen. Durch die Eingrenzung der Baualtersklassen verbleiben lediglich 15,7% des ursprünglich zugrunde gelegten Bestandes. Durch den Ausschluss von Bauten, die in den nächsten Jahren abgerissen werden sollen, wird die Liste weiterhin um ein Gebäude verkleinert auf 15,1%.

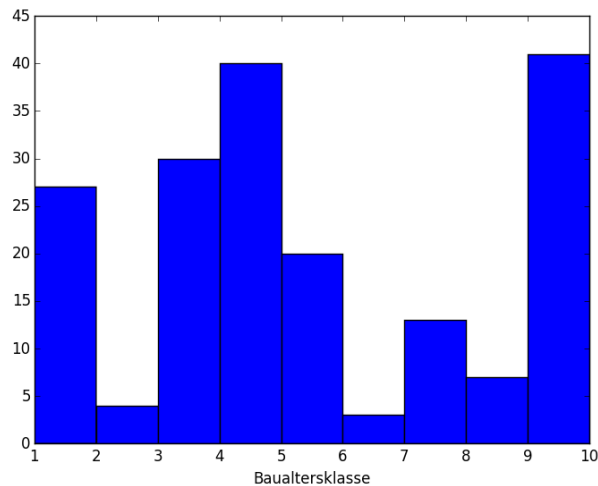


Abbildung 5.1: Baujahre der Gebäude

Wird nun der Heizenergieverbrauchskennwert absteigend sortiert, ergibt sich eine Übersicht auf die größten Verbraucher von Heizenergie, die in Anbetracht von Baujahr und unter Einbeziehung des Vorhandenseins von Büro- und Laborflächen repräsentativ für den Gebäudebestand der RWTH stehen.

5.2 Gebäudesteckbrief

Nach der Anwendung der Kriterien auf den vorliegenden Gebäudebestand der Hochschule ergibt sich eine Vorauswahl von Gebäuden.

Weitere Gebäude mit einer Nettogrundfläche kleiner als 200m² werden aufgrund ihrer verhältnismäßig geringen Fläche aus der Betrachtung entfernt. Auffällig erscheint die Präsenz von Gebäuden der Kategorie Institutsgebäude V, welche in der gefilterten Verteilung drei der ersten fünf Gebäuden ausmacht.

Einen Aspekt zur Entscheidungsfindung stellt die Bereitschaft des ansässigen Institutes der Organischen Chemie dar. Die Projektleiter des Gesamtprojekts sind nach dessen Bekanntmachung kontaktiert worden, um das Interesse des Instituts Teil dieses Projektes zu werden zu bekunden. Da das Institut in zwei aneinander angrenzenden Bauten untergebracht ist, werden im Folgenden beide Gebäude betrachtet. Der sogenannte OC Turm befindet sich nach Anwendung der Kriterien der Gebäudeauswahl lediglich aufgrund einer Bürofläche von 4,86% nicht in der zuvor betrachteten engeren Auswahl. Der Vollständigkeit halber wird das Gebäude 2031 als Anbau des Gebäudes 2030 mit einbezogen.

Aufgrund der Nutzung des Gebäudes durch ein Institut aus dem Fachbereich Chemie, ist mit einer vergleichsweise umfangreichen Anlagentechnik zu rechnen. Durch die Nutzung von Chemikalien sind in den Laborbereichen Lüftungsanlagen notwendig, wohingegen in Büroräumen häufig manuell gelüftet wird. Unter Einbeziehung der Flächendaten der vorliegenden Gebäude ist die getroffene Gebäudeauswahl sehr vorteilhaft, da die Größe beider Gebäude den Aufwand rechtfertigt.

Das Gebäude 2030 wurde im Jahr 1954 gebaut und ist somit der Baualtersklasse III zuzuordnen. Es wird vom Institut Organische Chemie genutzt und weist dadurch eine Vielzahl verschiedener Nutzungsflächen auf. Durch die Nutzung durch ein Institut aus dem Fachbereich Chemie ist das Gebäude den Institutsbauten V zuzuordnen. Die Nutzungsgesamtfläche beträgt 3960 m² und verteilt sich auf insgesamt 4 Stockwerke, welche Bibliotheks-, Büro-, Labor-, Lager- und Werkstattflächen beinhalten. Der jährliche Verbrauch in MWh liegt in den Jahren 2011 bis 2014 zwischen 1019 und 765, bezogen auf Fläche ergeben sich Werte zwischen 340 und 268 kWh/m²NGF. Obwohl die Heizenergieverbrauchswerte innerhalb des letzten Jahres erheblich reduziert wurden, liegt der flächenspezifische Verbrauchskennwert im Jahr 2014 (268kWh/m²NGF) bei einem hohen Wert. Legt man der Analyse die Daten aus dem Jahr 2013 zugrunde, ist das betrachtete Gebäude bezüglich des Heizenergieverbrauchskennwerts auf Rang 4, in den Daten aus den Energieberichten von 2012 und 2013 sogar auf Rang 3.

Das Gebäude 2031 ist ein Anbau an das zuvor beschriebene Gebäudes 2030 und dient dem Institut der Organischen Chemie als Erweiterung. Es wurde im Jahr 1969 an den Mitteltrakt angebaut und entspricht der Baualtersklasse V. Ebenso wie im Mitteltrakt sind verschiedene Nutzungsflächen vorhanden. Diese Flächenarten erstrecken sich über eine Fläche von 4079 m². Der Verbrauch in MWh liegt für den Zeitraum 2009 bis 2014 vor und unterliegt Schwankungen zwischen 745 und 1246. Auch bei diesem Gebäude ist für den letzten Datenwert aus dem Jahr 2014 der geringste Heizenergiever-

brauch zuzuordnen. Der flächenspezifische Kennwert des Jahres 2014 liegt bei 254 kWh/m²NGF. Die Bauten liegen am Landoltweg 1 in Aachen und gehören zum Campus Hörn der RWTH. Beide Gebäude sind auf Grundlage des Bauwerkzuordnungskatalogs der Gruppe Institutsgebäude V zugeteilt. Diese entspricht dem Fachbereich Biologie und Chemie. Die Unterschiede der Heizenergiekennwerte bezogen auf den Jahresenergieverbrauch in MWh/a kommen durch die Witterungsberreinigung der Kennwerte zustande.

5.3 Anlagentechnik

Hauptaugenmerk bei der Betrachtung der Energieeffizienz der ausgewählten Gebäude liegt auf der Anlagentechnik, die in diesem Abschnitt detailliert beschrieben wird. Die Betrachtung der Bauphysik geschah bereits im Rahmen eines Projektes des Instituts E3d der RWTH anhand der Erstellung eines Energieausweises. Entgegen dieser statischen Betrachtung der Gebäude beschäftigt sich diese Arbeit mit der dynamischen Abbildung der Anlagentechnik.

Pro Forma werden zwei unterschiedliche Gebäude betrachtet, allerdings erfolgt die Trennung zwischen Gebäude 2030 und 2031 lediglich durch Türen in jedem Geschoss. Beide Gebäude sind mit einem Technikraum im Dachgeschoss ausgestattet. Die Heizungsanlage des Gebäudes 2030 befindet sich im Kellergeschoss des ebenfalls direkt angrenzenden Gebäudes 2020. Die Heizung des Gebäudes 2031 befindet sich im Untergeschoss desselben Gebäudes.

Heizung 2030

Die Gebäude sind an das Fernwärmenetz der STAWAG Aachen angeschlossen. Die Fernwärme tritt in Form von heißen Wasser im Untergeschoss des Nachbargebäudes 2020 mit einer Temperatur von 100°C ein. Die Versorgung des Gebäudes wird durch eine Ersatzleitung gewährleistet, die im Fall des Ausfalls der eigentlichen Leitung die Versorgung übernimmt. Im Heizungskeller wird die Wärmeenergie der Fernwärmeleitung durch einen Wärmetauscher in das Heizsystems des Gebäudes 2030 übertragen. Durch diesen Wärmetauscher tritt ein erster Temperaturverlust auf. Im Kellerbereich wird dann das im Wärmetauscher erhitze Wasser durch Heizkreispumpen der Statischen Heizung der Nord- sowie der Südseite des Gebäudes zugeführt, sowie der Statischen Heizung in der Bibliothek. Eine weitere Leitung wird den Lüftungsanlagen im Dachgeschoss zugeführt. Auch die Warmwasserbereitung wird durch die Fernwärme energetisch versorgt und auf die Nutzungsbereiche verteilt.

Lüftungsanlagen 2030

Das Gebäude 2030 verfügt über zwei zentrale Lüftungsanlagen, die im 3. Obergeschoss des Gebäudes angesiedelt sind. Diese Anlagen übernehmen die Belüftung durch Zuluft sowie die Abführung

der gebrauchten Abluft im Laborbereich. Die Versorgung der Bibliothek sowie des Seminarraum erfolgt durch die Zusammenführung von zwei Teilsträngen der Anlagen. Die beiden Hauptanlagen, im weiteren als Anlage 1 und Anlage 2 bezeichnet, sind wie folgt aufgebaut.

Die Außenluft wird mit der entsprechenden Außenlufttemperatur angesaugt. Zunächst wird sie mithilfe eines auf Druck basierenden Filters gereinigt. Abhängig von der Temperatur wird diese nach einer Volumenregelung entweder durch ein Wärmerückgewinnungsaggregat geleitet oder an diesem vorbeigeführt. Mithilfe von Glasröhren findet ein Austausch von Energie statt, der die Rückgewinnung der Wärme aus einem anderen Volumenstrom beinhaltet. Diesen zweiten Volumenstrom bildet die Abluft, die im Fall von Anlage 1 und 2 aus den Laboren des Gebäudes herausgeführt wird, und die Wärmeenergie aufgrund des Temperaturunterschiedes an die Außenluft abgibt. Daraufhin wird die Abluft aus dem Gebäude geleitet.

Nachdem die Außenluft wie beschrieben behandelt und erwärmt wurde, folgt die Abtrennung eines Luftstroms, der der Bibliothek und dem Seminarraum zugeführt wird und im nächsten Absatz genauer beschrieben wird. Die übrige Zuluft wird durch die Fernwärme, die im Untergeschoss des Gebäudes in das Netz eingespeist wird, erneut erwärmt. Es folgt ein weiterer Filter. Die Zuluft gelangt gemeinsam mit der Zuluft aus Anlage 2 in eine Zuluftkammer. Von dort aus wird diese in die verschiedenen Geschosse des Gebäudes weitergeleitet. Anlage 1 und 2 sind jeweils für einen Zuluftstrom von $64.000\text{m}^3/\text{h}$ und einen Abluftvolumenstrom von $51.000\text{m}^3/\text{h}$ ausgelegt.

Die Lüftungsanlage, die der Belüftung des Seminarraums sowie der Bibliothek dient, teilt sich in zwei separate Stränge. Die für die Bibliothek abgezweigte Luft, die sich wie zuvor beschrieben aus dem abgeführten Luftstrom von Anlage 1 und Anlage 2 zusammensetzt, wird nochmals durch einen Filter geleitet. Es folgt ein Lufterwärmer, der die aus der Fernwärme übertragene Wärmeenergie für die Konditionierung der Lufttemperatur bereitstellt. Um die für Bibliotheken angemessenen Luftbedingungen zu erreichen, ist für den Bedarf ein Luftkühler sowie ein Entfeuchter nachgeschaltet. Die auf diese Art konditionierte Zuluft wird in die Bibliothek geleitet. Der Abluftvolumenstrom wird wie die Abluftströme aus Anlage 1 und 2 der Abluftsammelkammer im Technikraum zugeführt. Die Zuluft des Seminarraums durchströmt einen Filter sowie einen Lufterwärmer, der mit Energie aus dem Fernwärmenetz versorgt ist. Die so konditionierte Zuluft wird in den Seminarraum geleitet. Wie auch die Abluft der Bibliothek wird die des Seminarraums der Abluftsammelkammer im Technikraum des 3. Obergeschosses zugeführt.

Heizung 2031

Der Aufbau der Heizungsanlage des OC Turms entspricht dem Aufbau der Heizung im OC Mitteltrakt. Die Fernwärmeenergie wird mithilfe eines Wärmetauschers in das System eingebracht. Die statische Heizung der Bibliothek ist im Gebäude 2031 nicht vorhanden, ebenso wenig wie eine Warmwasseraufbereitung. Die statischen Heizungen auf der Nord- sowie der Südseite werden

durch eine Heizkreispumpe versorgt. Ein weiterer Wärmestrom wird analog zu Gebäude 2030 den Lüftungsanlagen im Technikraum zugeführt.

Lüftungsanlage 2031

Die Lüftungstechnik des Gebäudes 2031 wird durch einen Technikraum im 7. Obergeschoss gesteuert. Es existieren zwei Lüftungsanlagen, Lüftungsanlage Nord und Lüftungsanlage Süd, die jeweils das gleiche Fließschema aufweisen. Die Außenluft wird angesaugt, durchläuft einen Filter sowie einen Luftkühler, der durch Freie Kühlung betrieben wird. Daraufhin wird die Außenluft in einen Plattenwärmerückgewinner geführt. Die im Kreuzstrom zur Außenluft eintretende Abluft, erwärmt die kältere Außenluft. Zudem ist eine Spüleinrichtung unmittelbar nach dem Wärmerückgewinnungsaggregat installiert. Durch den Einsatz von zwei weiteren Lufterwärmern, in Form von einem Warmwasservolumenstrom der Kompressionskältemaschine und der durch Fernwärme gespeisten Heizung, wird der Luft weitere Wärmeenergie zugeführt. Mithilfe eines Filters wird die Zuluft erneut gereinigt, bevor sie in die von der Lüftungsanlage versorgten Räume im Untergeschoss bis zum 6. Obergeschoss strömt.

Durch die außergewöhnliche Abluftzusammensetzung, die durch die Verwendung verschiedener Chemikalien und deren Reaktionen zustande kommen, sind verschiedene Schächte zum Abführen der Laborluft notwendig. Hierbei sind die drei Kategorien Brennbare Chemikalien, Entsorgungslager und Abfüllraum von Bedeutung. Die unterschiedlichen Fraktionen müssen speziell gereinigt oder anderweitig entsorgt werden, da die Schadstoffe nicht als reine Abluft aus dem Gebäude geleitet werden können.

Kälteerzeugung 2031

Kälte entsteht im Fall einer Kompressionskältemaschine durch die Umwandlung von bestehender Wärme in negative Wärme. Die Kälteerzeugung im Gebäude 2031 basiert auf zwei separaten Kreisläufen mit einer Leistung von jeweils 90kW. Die Kreisläufe bestehen aus 2 Kondensatoren sowie einem Verdampfer. Für den Betrieb der Kompressionskältemaschine ist das Ansaugen von Außenluft erforderlich. Diese durchströmt zunächst einen Filter, bevor sie der Kühlung von jeweils einem Kondensatoren der Kreisläufe im Kälteerzeugungsprozess dient. Im Folgenden wird die nun erwärmte Außenluft als Abluft aus dem Gebäude geleitet.

Die beiden anderen Kondensatoren sind mittels einer Wasserleitung an die Lüftungsanlagen 1 und 2 angeschlossen. Hierbei wird durch die Kondensatoren der Kältemaschine der Vorlauf erwärmt, welcher die Wärmeenergie dem Luftvolumenstrom zuführt, der zuvor die Wärmerückgewinnungsanlage durchlaufen ist. Das Wasser, welches nach der Erwärmung des Luftvolumenstroms zurück zur Kältemaschine geführt wird, wird wiederum zum Kondensator zurückgeführt. Hier wird die Wärmeenergie, die dem Medium der Kompressionskältemaschine entnommen wird, erneut dem Vorlauf

zugeführt.

Durch die sogenannte Freie Kühlung wird mithilfe der Temperatur der Außenluft ein Wasservolumenstrom gekühlt. Die Kältemaschine, die Freie Kühlung und der Kühlwasserkreislauf sind durch zwei Wärmetauscher miteinander verbunden. Der eine Wärmetauscher verbindet die Freie Kühlung mit dem Kühlwasserrücklauf aus dem Verteilernetz, der zweite Wärmetauscher übergibt die Wärme der Kältemaschine an den Kühlwasservorlauf. Eine Wasserleitung verbindet zudem beide Wärmetauscher miteinander.

Das über die Freie Kühlung gekühlte Wasser übergibt die Kälte durch beide Wärmetauscher an einen Volumenstrom, der zunächst einem Kaltwasserspeicher zugeführt wird. Vom Kaltwasserspeicher wird das Wasser durch die Verdampfer der Kompressionskältemaschine gekühlt. Dies geschieht durch das Verdampfen des Mediums der Kompressionskältemaschine, wodurch dem Kaltwasserstrom Wärmeenergie entzogen wird. Das durch die Aufwendung der Verdampfungswärme gekühlte Wasser wird bei mangelndem Bedarf unmittelbar einem Kaltwasserspeicher zugeführt, der wiederum den Rücklauf zur Kältemaschine darstellt. Danach übergibt das Wasser die negative Wärmeenergie in einem Wärmeübertrager an das Wasser, welches das Verteilernetz durchfließt. Über das Verteilernetz werden insgesamt drei Deckenumluftkühler sowie zwei Kühldecken mit Kälte versorgt. Das aus diesen Räumen zurückgeführte Wasser wird mittels zwei Dosieranlagen konditioniert und danach einem Kühlwassersammelbehälter zugeführt. Aus diesem Behälter gelangt es wieder zurück zum Wärmetauscher, der das Wasser mit negativer Wärmeenergie aus der freien Kühlung versorgt.

$$\dot{Q} = \dot{p} \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta \quad (5.1)$$

6 Beschreibung des Gebäudemodells

Die Abbildung sowie die Simulation der vorgestellten Objekts erfolgt mit dem Simulationsprogramm Dymola. Das für die Simulation verwendete Modell trägt den Namen „Multizone Equipped“ und entstammt der institutseigenen Modelica-Bibliothek AixLib. Es wurde im Rahmen des EnEff:CampusRoadmap entwickelt. Das Modell stellt ein Nichtwohngebäude dar, welches auf einer thermischen Zonierung basiert. Komponenten der Anlagentechnik wie Heizung und Kühlung sind im Modell integriert, ebenfalls wie eine Raumluftheizungsanlage. Die Eigenschaften der Gebäudehülle fließen ebenfalls in das Modell mit ein. Es existieren bereits vorgefertigte Zonen, deren Parameter lediglich angepasst werden müssen. Aufgrund der Komplexität der Erfassung eines bestehenden Gebäudes und der meist spärlichen Datenlage, kommt es in einigen Bereichen zur Vereinfachungen der Abbildung. Das Gebäude wird beispielsweise nicht Raum für Raum in das Modell eingefügt, sondern die Abbildung wird durch die Einteilung der Grundfläche in verschiedene Bereiche unterteilt. Diese Bereiche entsprechen den vordefinierten Zonen des Modells. Diese wurden in Anlehnung an DIN V 18599 und Merkblatt SIA 2024 erstellt. Die Gebäudephysik wird mithilfe einer Ersatzinnenwand sowie mit einer Ersatzaußenwand dargestellt. Diese werden in Anlehnung an die Geometrie der einzelnen Zonen erstellt. Das thermische Verhalten der realen Bauteile fließt somit durch die Ersatzwände in das Modell ein. Die Abbildung der Gebäudephysik erfolgt über standardisierte Werte aus einer Datenbank, die durch das Baujahr charakterisiert werden. So werden repräsentative Werte für den Wärmedurchgangskoeffizient der Wände und der dadurch resultierende Wärmeverlust nach Außen ermittelt.

Eine weitere Vereinfachung wird im Bereich der Fenster angenommen. Aufgrund der nicht Grundriss getreuen Aufteilung der Räume, wird die Sonneneinstrahlung auf Fenster und Außenwandflächen mithilfe von Gewichtungsfaktoren ermittelt, die auf dem relativen Anteil der Flächen basieren. Die vorhandene Fensterfläche wird also auch aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt.

Der Einfluss von Gebäudenutzern und Außenfaktoren wie Wetter können separat an das Modell angepasst werden. Die Nutzung durch Personen fließt als Wärmeabgabe von Personen, Maschinen und der Beleuchtung in das Modell mit ein. Durch das Einbinden von Wetterdaten können lokale Sonneneinstrahlung sowie der Außentemperatureinfluss an verschiedene Orte angepasst werden.

(Fuchs,Marcus)

Zunächst werden die Gebäude im Hinblick auf die Existenz verschiedener Zonen untersucht. Die im betrachteten Gebäude vorhandenen Zonen Sanitary, Storage, Laboratory, Office, Meeting und

Lecture bzw. Cooling Zone werden mit der von ihnen eingenommenen Fläche nach der obigen Beschreibung in das Gebäudemodell eingefügt. Parameter wie die Intensität der Beleuchtung sowie die Anzahl an Personen und Maschinen sind ebenfalls von der Nutzungsart der Zone abhängig.

Da beide Gebäude demselben Institut angehören und laut dem Bauwerkzuordnungskatalog derselben Kategorie entsprechen, sind die Nutzungsbereiche ähnlich aufgebaut. Die vorhandenen Nutzungsarten, die in beiden Gebäuden vorkommen, sind Labore, Büros, Verkehrsflächen, Meetings, Lager und sanitäre Bereiche. Zusätzlich zu diesen Nutzungsarten enthält Gebäude 2030 einen Hörsaal und eine Bibliothek, Gebäude 2031 verfügt über eine gekühlte Laborzone.

Im Rahmen der Zonierung ist die Flächengröße der einzelnen Zonen von großer Bedeutung. Im Fall des Hauptgebäudes werden die Daten mithilfe der Grundrisse und der Angabe der Nettogrundfläche ermittelt. Anfragen nach genaueren Daten beim BLB NRW blieben ohne Ergebnis. Für den Erweiterungsbau 2031 liegt ein Grundriss mit Flächenangaben vor, auf dessen Basis die Zonierung erstellt wurde.

Um eine möglichst genaue Abbildung der Gebäude zu gewährleisten, sind mehrfach Ortsbegehungen durchgeführt worden. Im Zuge dieser Begehungen wurden die relevante Anlagentechnik für das thermische Energiesystem unter die Lupe genommen. Somit wurden jeweils des Heizungskeller und die Technikräume beider Gebäude besichtigt.

In einer weiteren Begehungen sind die Raumtemperaturen der einzelnen Zonen gemessen worden. Da die Messung der Temperaturen lediglich an zwei Tagen im März dieses Jahres vorgenommen wurden, sind die Werte nicht repräsentativ. Für ein repräsentatives Ergebnis der Raumtemperaturen wäre die Messung über einen längeren Zeitraum erforderlich gewesen. Dies ist aufgrund des zeitlichen Rahmens und des großen Aufwands nicht zu leisten. Bei der Messung steht viel mehr eine realistische Einstellung der Raumtemperaturen für die Simulation im Fokus. Die Messungen verdeutlichen zudem den großen Einfluss der nutzenden Personen.

Diese Ortsbegehung war zudem sinnvoll, da ein Kontakt zu den Nutzern des Gebäudes hergestellt werden konnte. Vermehrt wurde über die Funktionalität der Heizung geklagt.

Alle Zonen sind thermisch konditioniert und werden über eine statische Heizung mit Wärme versorgt. Die Lüftungsanlage in beiden Gebäuden dient nur der Versorgung des Laborbereichs, des Hörsaals und der Bibliothek (LAUT UIWBERICHT AUCH DEN FLUR). Die Lüftungsanlage dient neben dem Austauschen der Raumluft lediglich der Erwärmung der Luft. Außer in der Bibliothek ist keine Kühlung der Luft vorgesehen. Die Bibliothek, die in Gebäude 2030 in Form eines Lesesaals in Erscheinung tritt, wird in diesem Modell nicht in die Betrachtung miteinbezogen. Zwar weist sie mit einem Aggregat für die Enfeuchtung der Luft eine andere Konditionierung als die restlichen Zonen auf, allerdings nimmt sie mit einem Flächenwert von ca. 36 m² lediglich einen prozentualen Wert von 0,46% der Nettogesamtfläche (inklusive Kellergeschosse) ein. Damit liegt der Wert noch unter

1%, sodass die Zone laut DIN V 18599 10 trotz der Unterscheidung in der Konditionierung einer anderen Zone zugeordnet werden kann.

Da die Laborzone die einzige Zone ist, in der eine Konditionierung der Luft durch eine Raumluft-technische Anlage vorliegt, wird die Bibliothek diesem Bereich zugeteilt.

Die gekühlte Laborzone des Gebäudes 2031 umfasst eine Fläche von 150 m² und setzt sich aus fünf Laborräumen zusammen. Diese Zone wird nicht nur beheizt und belüftet, sondern auch mittels der Kälteanlage im Obergeschoss des Gebäudes gekühlt. Trotz der gleichen Nutzung wird die Zone gesondert betrachtet, da sich die Konditionierung von der anderen Laborzone unterscheidet.

Zur Vereinfachung des Gebäudemodells werden die Untergeschosse beider Gebäude vernachlässigt. Diese Annahme kann getroffen werden, da die Untergeschosse nicht thermisch konditioniert sind. Die jeweiligen Nettogrundflächen sind für die Vereinfachung des Modells angepasst worden. Die Technikräume, die nicht dem Versorgungsbereich angehören, sind ebenfalls von der NGF der Gebäude subtrahiert worden. Somit wird lediglich die Energiebezugsfläche betrachtet.

Die in das Modell eingebundenen Wetterdaten stammen aus dem Jahr 2013 und wurden von der Wetterstation in Melaten aufgezeichnet. Durch Daten aus dem Raum Aachen wird die Diskrepanz der Unterschiede auf Grundlage der Wetterdaten minimiert.

Die Lüftungsanlage läuft laut DIN V 18599 Teil 10 in den Laboren 24 Stunden pro Tag. (Die Volumenströme der Anlage in beiden Gebäuden weichen stark von den vordefinierten Standardprofilen der Zone ab und wurden an das Gebäude angepasst.) Aufgrund der Nutzung als Chemiegebäude und dem Umgang mit Chemikalien, ist der Austausch der Laborluft von besonderer Bedeutung. Während der Betriebszeiten läuft die Lüftungsanlage mit ihrem maximalen Volumenstrom. Außerhalb der festgelegten Betriebszeit kann die Lüftungsanlage in jedem Labor einzeln weiterhin mit ihrem maximalen Volumenstrom betrieben werden. Dazu ist jedes Labor mit einem Schalter ausgestattet, welcher der Regelung der Anlage im Raum dient. Dadurch kann auch außerhalb der vordefinierten Arbeitszeiten das Labor genutzt werden. Außerhalb der Betriebszeiten wird die Anlage mit einem Mindestvolumenstrom betrieben, wie es in der DIN 18599 V 10 für Labore vorgeschrieben ist. Durch diese manuelle Einflussmöglichkeit wird das Abschätzen des Einflusses der Lüftungsanlage in der Simulation erschwert.

Bei der Durchführung der Simulation wurde die Annahme getroffen, dass die Lüftungsanlage kontinuierlich mit dem maximalen Volumenstrom betrieben wird. Dies wird dadurch begründet, dass die Schalter aus Erfahrungsberichten einiger Nutzer regelmäßig nicht ausgeschaltet werden, sondern der manuelle Schalter sich dauerhaft in der Einstellung des vollen Betriebes befindet.

Die gekühlte Zone resultiert aus der Zusammenfassung von fünf Räumen, die sich in der Realität

auf 3 verschiedene Etagen aufgeteilt sind. Die Kühlung erfolgt in drei dieser Räumen über einen Umluftkühler, in den zwei verbleibenden Laboren sind Kühldecken installiert. Die Leistung umfasst insgesamt 17,8kW, wobei die Umluftkühler mit je 5kW und die Kühldecken 1,4kW pro Aggregat beanspruchen. Die Zusammenfassung der einzelnen Räume zu einer Zone erfolgt ebenfalls auf Grundlage der DIN V 18599. Zwar unterscheidet sich die Umsetzung der Konditionierung aufgrund der Nutzung von Umluftkühlern und Kühldecken, jedoch dienen beide Aggregate der Kühlung. Eine weitere Unterteilung in zwei verschiedene Kühlzonen aufgrund der unterschiedlichen Umsetzung der Konditionierung erscheint in Anbetracht der Flächengröße nicht als sinnvoll.

Die erste Durchführung der Simulation dient eines Abgleichs zwischen dem Verbrauch von Heizenergie und dem berechneten Bedarf. Die Analyse erfolgt unter Berücksichtigung von verschiedenen Vereinfachungen. Zum einen wird das Gebäude nicht Zentimetergenau in das Simulationsmodell übertragen. Durch die Einteilung in Zonen und die vereinfachte Ermittlung der Gebäudephysik ist mit einer Abweichung zwischen Verbrauch und Bedarf zu rechnen. Zudem kommt der Nutzereinfluss hinzu, der im Modell bis zu einem bestimmten Grad zwar miteinbezogen werden kann, in der Realität allerdings schwer einzuschätzen ist. Aufgrund mangelnder Informationen bezüglich der Gebäudephysik sind Durchlässigkeit von Fenstern und Außenwänden nur bedingt abschätzbar. Die Dichtheit der Gebäudehülle kann daher nicht zuverlässig eingeschätzt werden.

Zudem ist die Warmwasserbereitung im Hauptgebäude, die ebenfalls durch Fernwärme versorgt wird, nicht im Gebäudemodell enthalten.

Literaturverzeichnis

[Streblow 2010] STREBLOW, Dr.-Ing. R.: *Thermal Sensation and Comfort Model for Inhomogeneous Indoor Environments*, RWTH Aachen University, Diss., 2010

Anhang

A Wichtiger Anhang 1

Weit hinten, hinter den Wortbergen, fern der Länder Vokalien und Konsonantien leben die Blindtexte. Abgeschieden wohnen Sie in Buchstabhausen an der Küste des Semantik, eines großen Sprachozeans. Ein kleines Bächlein namens Duden fließt durch ihren Ort und versorgt sie mit den nötigen Regelialien. Es ist ein paradiesmatisches Land, in dem einem gebratene Satzteile in den Mund fliegen. Nicht einmal von der allmächtigen Interpunktion werden die Blindtexte beherrscht – ein geradezu unorthographisches Leben. Eines Tages aber beschloß eine kleine Zeile Blindtext, ihr Name war Lorem Ipsum, hinaus zu gehen in die weite Grammatik. Der große Oxmox riet ihr davon ab, da es dort wimmele von bösen Kommata, wilden Fragezeichen und hinterhältigen Semikoli, doch das Blindtextchen ließ sich nicht beirren.

A.1 Die Versalien

Es packte seine sieben Versalien, schob sich sein Initial in den Gürtel und machte sich auf den Weg. Als es die ersten Hügel des Kursivgebirges erklommen hatte, warf es einen letzten Blick zurück auf die Skyline seiner Heimatstadt Buchstabhausen, die Headline von Alphabetdorf und die Subline seiner eigenen Straße, der Zeilengasse. Wehmütig lief ihm eine rhetorische Frage über die Wange, dann setzte es seinen Weg fort. Unterwegs traf es eine Copy. Die Copy warnte das Blindtextchen, da, wo sie herkäme wäre sie zigital umgeschrieben worden und alles, was von ihrem Ursprung noch übrig wäre, sei das Wort ündünd das Blindtextchen solle umkehren und wieder in sein eigenes, sicheres Land zurückkehren. Doch alles Gutzureden konnte es nicht überzeugen und so dauerte es nicht lange, bis ihm ein paar heimtückische Werbetexter auflauerten, es mit Longe und Parole betrunken machten und es dann in ihre Agentur schleppten, wo sie es für ihre Projekte wieder und wieder mißbrauchten.

Und wenn es nicht umgeschrieben wurde, dann benutzen Sie es immernoch. Weit hinten, hinter den Wortbergen, fern der Länder Vokalien und Konsonantien leben die Blindtexte. Abgeschieden wohnen Sie in Buchstabhausen an der Küste des Semantik, eines großen Sprachozeans. Ein kleines Bächlein namens Duden fließt durch ihren Ort und versorgt sie mit den nötigen Regelialien. Es ist ein paradiesmatisches Land, in dem einem gebratene Satzteile in den Mund fliegen. Nicht einmal von der allmächtigen Interpunktion werden die Blindtexte beherrscht – ein geradezu unorthographisches Leben. Eines Tages aber beschloß eine kleine Zeile Blindtext, ihr Name war Lorem Ipsum,

hinaus zu gehen in die weite Grammatik. Der große Oxmox riet ihr davon ab, da es dort wimmele von bösen Kommata, wilden Fragezeichen und hinterhältigen Semikoli, doch das Blindtextchen ließ sich nicht beirren. Es packte seine sieben Versalien, schob sich sein Initial in den Gürtel und machte sich auf den Weg. Als es die ersten Hügel des Kursivgebirges erklommen hatte, warf es einen letzten Blick zurück auf die Skyline seiner Heimatstadt Buchstabhausen, die Headline von Alphabetdorf und die Subline seiner eigenen Straße, der Zeilengasse. Wehmütig lief ihm eine rhetorische Frage über die Wange, dann setzte es seinen Weg fort. Unterwegs traf es eine Copy. Die Copy warnte das Blindtextchen, da, wo sie herkäme wäre sie zimal umgeschrieben worden und alles, was von ihrem Ursprung noch übrig wäre, sei das Wort ünd"

B Ähnlich wichtiger Anhang

Es gibt im Moment in diese Mannschaft, oh, einige Spieler vergessen ihnen Profi was sie sind. Ich lese nicht sehr viele Zeitungen, aber ich habe gehört viele Situationen. Erstens: wir haben nicht offensiv gespielt. Es gibt keine deutsche Mannschaft spielt offensiv und die Name offensiv wie Bayern. Letzte Spiel hatten wir in Platz drei Spitzen: Elber, Janca und dann Zickler. Wir müssen nicht vergessen Zickler. Zickler ist eine Spitzen mehr, Mehmet eh mehr Basler. Ist klar diese Wörter, ist möglich verstehen, was ich hab gesagt? Danke. Offensiv, offensiv ist wie machen wir in Platz. Zweitens: ich habe erklärt mit diese zwei Spieler: nach Dortmund brauchen vielleicht Halbzeit Pause. Ich habe auch andere Mannschaften gesehen in Europa nach diese Mittwoch. Ich habe gesehen auch zwei Tage die Training. Ein Trainer ist nicht ein Idiot! Ein Trainer sei sehen was passieren in Platz. In diese Spiel es waren zwei, drei diese Spieler waren schwach wie eine Flasche leer! Haben Sie gesehen Mittwoch, welche Mannschaft hat gespielt Mittwoch? Hat gespielt Mehmet oder gespielt Basler oder hat gespielt Trapattoni? Diese Spieler beklagen mehr als sie spielen! Wissen Sie, warum die Italienmannschaften kaufen nicht diese Spieler? Weil wir haben gesehen viele Male solche Spiel! Haben

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß übernommen sind, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsarbeit eingereicht worden. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die vorliegende Arbeit in der Lehrstuhlbibliothek und Datenbank aufbewahrt und für den internen Gebrauch kopiert werden darf.

Aachen, den 5. März 2016

Lena Maier