

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	3
3 Gebäudebestand	7
4 Gebäudeauswahl	8
4.1 Vorstellung des Gebäudebestands	8
4.2 Kriterien der Gebäudeauswahl	9
4.3 Gebäudesteckbrief	12
4.4 Bauphysik	13
4.5 Anlagentechnik	14
5 Beschreibung des Gebäudemodells	18
5.1 Vorbereitung der Simulation	19
5.2 Bedarfs-Verbrauchsanalyse	23
Literaturverzeichnis	25
A Wichtiger Anhang 1	27
A.1 Die Versalien	27
B Ähnlich wichtiger Anhang	29

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

4.1 Baujahre der Gebäude	11
------------------------------------	----

Tabellenverzeichnis

4.1 Einteilung in Baualtersklassen	10
4.2 Heizenergiekennwerte 2030/2031	13

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 4.2). 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 Quartersimulationen 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.

Zunächst wird eine Analyse der vorliegenden Daten des Gebäudebestands der Universität durchgeführt. Anhand der Festlegung verschiedener Kriterien wird dieser eingegrenzt und es folgt die

Auswahl eines repräsentativen Gebäudes.

Im Folgenden wird das Gebäude im Rahmen von Gebäudebegehungen und der Sichtung von vorliegenden Daten genauer betrachtet und beschrieben. Hierbei wird vermehrt auf die Anlagentechnik des Gebäudes eingegangen.

Daraufhin wird das Gebäude im Simulationsprogramm Dymola abgebildet. Es folgt eine thermische Verbrauchs-Bedarfsanalyse. Im Rahmen dieser Analyse wird auf getroffene Annahmen und eventuelle Differenzen zwischen dem simulierten Bedarf und dem vorliegenden Verbrauch eingegangen.

Als Hauptteil dieser Arbeit werden verschiedene Optimierungspotentiale, hauptsächlich für eine höhere Effizienz der Anlagentechnik, herausgearbeitet und bezüglich ihrer Reduktion der Heizenergie bewertet. Abschließend folgt die Zusammenfassung der ermittelten Ergebnisse und ein Ausblick für das Projekt der RWTH.

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. 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]

Im Jahr 2007 wurde eine Neufassung der auf dem EnEG basierenden Energieeinsparverordnung erstellt. 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)

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 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, §18 und 19]

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.

Durch die Berechnungsverfahren werden alle Energiemengen ermittelt, die die Bereiche Beheizung, Kühlung, Warmwasseraufbereitung, Beleuchtung und Raumluftechnischer 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.

Die Entwicklung der Energieeffizienz wird im Bauwesen durch verschiedene Forschungsprogramme gefördert. Trotz der EnEV und den weiteren gesetzlichen Maßnahmen liegt die Sanierungsrate lediglich 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]

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.

3 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]

Der Bestand der RWTH Aachen ist im Rahmen des Energieberichts der Universität genauer in Augenschein genommen worden. Grundlage der energetischen Bewertung sind die Monats- und Jahresrechnungen für rechnungsrelevante Abnahmestellen sowie eine monatliche Ablesung der vorhandenen Zähler. In den folgenden Jahren ist ein moderater Anstieg des Heizenergiebedarfs festzustellen. Dies ist auf die Errichtung von besser gedämmten Gebäuden zurückzuführen. Mithilfe des Heizenergieverbrauchswert der einzelnen Gebäude, welcher auf die Fläche bezogen und witterungsbereinigt ist, wird eine Basis zum Vergleich der Effizienz verschiedener Gebäude geschaffen. Es besteht die Möglichkeit des Vergleichs des Verbrauchs verschiedener Gebäude an verschiedenen Standorten. Im Rahmen dieser Betrachtung sollte die Nutzungsart des Gebäudes nicht außer Acht gelassen werden. Eine Schwimmhalle wird somit einen wesentlich höheren Heizenergieverbrauch aufweisen als ein klassisches Bürogebäude.

4 Gebäudeauswahl

Das Ziel einer Einsparung von 50% des Primärenergieverbrauchs bezogen auf die Daten der Jahre 2013/2014 bis zum Jahr 2025 zu erreichen birgt eine große Herausforderung. Einen wesentlichen Faktor stellt hierbei die energetische Sanierung von Bestandsbauten dar. Die Auswahl des Beispielgebäudes spielt daher eine wesentliche Rolle. Das Ziel besteht darin, ein Gebäude zu betrachten, welches repräsentativ für den Gebäudebestand der RWTH steht und bei dem das Potential für Optimierungsmaßnahmen bezüglich der Heizenergie besteht. Im Optimalfall ist eine Übertragung der ermittelten Einsparpotentiale auf weitere Gebäude möglich. Im folgenden Abschnitt wird die Herangehensweise der Auswahl beschrieben und das ausgewählte Gebäude vorgestellt.

4.1 Vorstellung des Gebäudebestands

Die Auswahl des Gebäudes basiert auf dem Gebäudebestand der RWTH. Der Heizenergieverbrauch der einzelnen Gebäude ist im Energiebericht dargestellt. Die aktuellsten Daten liegen im Energiebericht des Jahres 2014 vor. Die Grundlage der Daten beruht auf Monats- und Jahresabrechnungen des betrachteten Jahres sowie auf einer monatlichen Ablesung an den Zählern des RWTH-Versorgungsnetzes. Aufgrund von fehlenden oder defekten Zählern liegen Daten einzelner Gebäude noch nicht vor. Zudem können die Energiekennwerte von Neubauten aus demselben Jahr nicht miteinbezogen werden. Bezüglich der Heizenergie werden insgesamt 191 Gebäude betrachtet. Dies entspricht einem Wert von 87% der energierelevanten Nettogrundfläche der Universität. In den kommenden Jahren soll die Aufnahme des gesamten Gebäudebestands erfolgen.

Für die kommenden Jahre wird ein moderater Anstieg des gesamten Heizenergiebedarfs prognostiziert. Dies ist auf die Errichtung von besser gedämmten Gebäuden zurückzuführen. Mithilfe des Heizenergieverbrauchskennwerts der einzelnen Gebäude, welcher auf die Nettogesamtfläche bezogen und witterungsbereinigt ist, wird eine Basis zum Vergleich der Effizienz der verschiedenen Gebäude geschaffen. Die unterschiedlichen Rahmenbedingungen, die auf verschiedene Standorte zurückzuführen sind, werden somit eliminiert. Im Rahmen dieser Betrachtung sollte die Nutzungsart der Gebäudes nicht außer Acht gelassen werden. Die Betrachtung der verschiedenen Nutzungsarten erfolgt im Energiebericht durch eine Einteilung der Gebäude gemäß des Bauwerkszuordnungskatalog.

Der auf alle Gebäude der RWTH gemittelte Heizenergieverbrauchskennwert liegt im Jahr 2014 bei $236 \text{ kWh/m}^2 \text{ NGE}$. Werden die Gebäude bezüglich des Bauwerkszuordnungskatalogs eingeteilt, sind

die Gebäude der Kategorie Institutsgebäude V die größten Heizenergieverbraucher. Auch im Verhältnis zu dem in der EnEV festgelegten Vergleichswert ist der relative Unterschied dieser Kategorie am größten. [Energiebericht 2014]

4.2 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 Nettogrundfläche. Zudem soll das gewählte Gebäude repräsentativ für andere Gebäude der Rheinisch Westfälischen Hochschule Aachen (RWTH) sein, damit die Übertragung von Optimierungspotentialen gewährleistet ist.

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. Dies sind zum Zeitpunkt der Anfertigung der Arbeit die aktuellsten Daten und zeitgleich die Basis des Bezugs für die im Projekt geforderte Energieeinsparungen.

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

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 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 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 Vergleich-

barkeit mit anderen Gebäuden ist nur im Rahmen einer gleichen Nutzung gewährleistet.

Eine weiteres 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. In Tabelle 4.1 sind die Baualtersklassen mit den zugehörigen Jahresabschnitten abgebildet. Die Einteilung anhand gesetzlicher Rahmenbedingungen wird insbesondere bei den Klassen V, VI und VII ersichtlich.

Von dem betrachteten Gebäudebestand der RWTH wurden ca. 55% noch vor der Einführung der ersten Wärmeschutzverordnung gebaut. 4.2.

Tabelle 4.1: 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

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

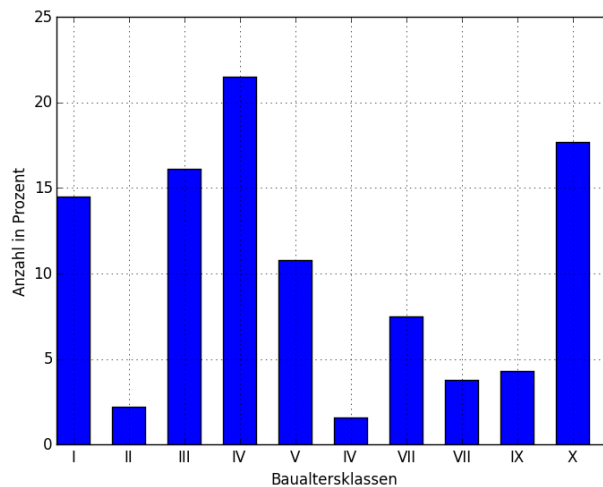


Abbildung 4.1: Baujahre der Gebäude

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 der Gebäude auf unter 25%.

Der gesamte Gebäudebestand der Hochschule ist im Zeitraum von 1660 bis zum heutigen Jahr erbaut 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%.

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. Diese Beobachtung bestätigt das Ergebnis der Energieberichts bezüglich des Energieverbrauchs.

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.

4.3 Gebäudesteckbrief

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

Die Präsenz der Gruppe Institutsgebäude V und der von den Gebäuden ausgehende überdurchschnittliche Heizenergieverbrauch legt die Betrachtung eines Chemiegebäudes als Beispielgebäude nahe. Einen weiteren 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. Das Gebäude 2031 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.

Im Folgenden werden beide Gebäude detailliert vorgestellt.

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 größte Teil der Nutzungsfläche wird durch Labore eingenommen. Die einzelnen Etagen sind jeweils 5,1 m hoch. Dies ist auch auf die Anlagentechnik zurückzuführen, die vor allem in den Laboren einen Großteil der Decke schmückt.

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 Heizenergieverbrauchs-kennwerts 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 Heizenergieverbrauch 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 Witterungsbereinigung der Kennwerte zustande.

Tabelle 4.2: Heizenergiekennwerte 2030/2031

Gebäude		2011	2012	2013	2014
2030	MWh	1019	1151	1187	765
2031		1036	985	1034	745
2030	kWh/m ² a	1019	1151	1187	765
2031		1036	985	1034	745

4.4 Bauphysik

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird der Aspekt der Bauphysik lediglich angerissen. Hierbei wird hauptsächlich auf die Daten des Projektes Anwendungswerkstatt des Instituts E3D eingegangen. Die in dieser Arbeit behandelten Gebäude sind im Rahmen dieses Projektes bereits Betrachtungsobjekt einer statischen Analyse geworden. Im Rahmen der Erstellung eines Energieausweises sind einzelne Aspekte der Bauphysik bereits genauer untersucht worden. Aufgrund einer spärlichen Datenlage ist die Analyse von Annahmen und Vereinfachungen geprägt. Die Betrachtung des Gebäudes erfolgt mithilfe der Software der Firma SolarComputer. Diese ermittelt aus einem Schichtaufbau verschiedener Bauteile die Wärmedurchgangskoeffizienten. So wurde beispielsweise für die Fenster ein Wärmedurchgangskoeffizient von 2,9 W/m²K ermittelt. Auf diese Werte wird zu einem späteren Zeitpunkt nochmals eingegangen.

4.5 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 Gebäude 2030 übertragen. Durch diesen Wärmetauscher tritt ein erster Temperaturverlust auf. Im Kellerbereich wird dann das im Wärmetauscher erhitzte Wasser durch Heizkreispumpen der Statischen Heizung der Nord- sowie der Südseite des Gebäudes zugeführt, sowie der Statischen Heizung in der Bibliothek. Die Übertragung innerhalb der Räume erfolgt über Heizungskörper, die unmittelbar an der Außenwand angebracht sind. Es ist eine dezentrale Regelung möglich, da die Heizkörper in den meisten Fällen mit Thermostatventilen ausgestattet sind. 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 eine 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 gesteu-

ert. 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 Küh-

lung 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.

$$\dot{Q} = \dot{p} \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta \quad (4.1)$$

5 Beschreibung des Gebäudemodells

Die Abbildung sowie die Simulation der vorgestellten Objekts erfolgt mit dem Simulationsprogramm Dymola. Im Folgenden Kapitel wird das verwendete Gebäudemodell vorgestellt und beschrieben.

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. Im Bereich der Nichtwohngebäude stehen jeweils noch verschiedene Gebäudetypen zur Auswahl. Aufgrund des sehr hohen Anteils an Laborfläche werden beide Gebäude dem Gebäudetyp Institut 8 zugeteilt. Komponenten der Anlagentechnik wie Heizung und Kühlung sind im Modell integriert, eine Raumluftheizungsanlage ist ebenfalls vorhanden. Die Eigenschaften der Gebäudehülle fließen in das Modell mit ein. Es existieren bereits vorgefertigte Zonen, deren Parameter lediglich angepasst werden müssen. Die Erstellung dieser Zonen erfolgt in Anlehnung an DIN V 18599 und Merkblatt SIA 2024. Die Eingabe erfolgt über ein Eingabewerkzeug mit Namen Teaser. Mithilfe dieses Werkzeuges werden die Größen der Ersatzwände abgeschätzt mit den zugehörigen Faktoren wie Wärmedurchgang der Wände. Parameter wie die Intensität der Beleuchtung sowie die Anzahl an Personen und Maschinen sind ebenfalls von der Nutzungsart der Zone abhängig und werden über Teaser an die jeweilige Zone angepasst. Das thermische Verhalten der realen Bauteile fließt somit durch die Ersatzwände in das Modell ein. Aufgrund der Komplexität der Erfassung eines bestehenden Gebäudes und der meist spärlichen Datenlage, müssen teilweise Vereinfachungen in Kauf genommen werden.

Das Gebäude wird nicht Raum für Raum in das Modell eingefügt, sondern die Abbildung wird durch die Einteilung der Grundfläche in verschiedene Bereiche unterteilt. Diese Bereiche entsprechen schlussendlich den vordefinierten Zonen des Modells. Die Eingabe mit Teaser erfolgt über den auf eine ganze Zahl gerundeten prozentualen Anteil an der im Modell betrachteten Gesamtfläche. Aufgrund der nicht maßstabsgetreuen Abbildung der Geometrie kann beispielsweise durch die äußeren Abmessungen ein abweichendes Oberflächen-Volumen-Verhältnis auftreten. Dies beeinflusst sowohl den Wärmeverlust über Flächen mit Kontakt zur Außentemperatur, als auch ein verändertes Einwirken von Strahlung.

Eine weitere Abweichung stellt die Zonierung dar. Bei der Errichtung neuer Gebäude wird Wert auf eine Zonierung gelegt, sodass Bereiche mit selber Nutzung und Konditionierung sich in unmittelba-

rer Nähe befinden. Dadurch wird beim Vorhandensein eine Kühlzone lediglich dieser abgesteckte Bereich gekühlt und nicht mehrere einzelne Räume.

Die Gebäudephysik wird mithilfe einer Ersatzinnenwand sowie mit einer Ersatzaußenwand dargestellt. Diese werden in Anlehnung an die Geometrie der einzelnen Zonen erstellt. 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 weiteren Faktoren wie das 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)

5.1 Vorbereitung der Simulation

Im Rahmen dieses Unterkapitels wird der Aufbau des Gebäudes in der Simulation thematisiert. Desweiteren wird auf die Einstellung der Anlagentechnik eingegangen.

Zunächst werden die Gebäude im Hinblick auf die Existenz verschiedener Zonen untersucht. Im Rahmen der Zonierung ist die Flächengröße der einzelnen Zonen von großer Bedeutung. Mithilfe des Grundrisses konnten die unterschiedlichen Nutzungsarten der Räume ermittelt werden. Anfragen nach genauen Flächendaten beim BLB NRW blieben ohne Ergebnis. Da im Fall des Hauptgebäudes keine Flächenangaben im Grundriss vermerkt waren, werden die Daten mithilfe der Grundrisses und der Angabe der Nettogrundfläche ermittelt. Mithilfe eines an den Grundriss angepassten Maßstabs konnten die prozentualen Flächenanteile der einzelnen Zonen eingeschätzt werden. Aufgrund der vereinfachten Ermittlung mithilfe des Grundrisses muss von kleineren Abweichungen der ermittelten Flächendaten im Bezug auf die realen Daten ausgegangen werden. Durch den Bezug auf die Nettogrundfläche liegt schlussendlich die Grundfläche der einzelnen Zonen vor. 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 für das thermische Energiesystem relevante Anlagentechnik unter die Lupe genommen. Somit wurden jeweils der Heizungskeller und die Technikräume beider Gebäude besichtigt. Wie bereits im Kapitel Anlagentechnik beschrieben wird die statische Heizung sowie die Lüftungsanlage mit Heizenergie versorgt. Die Berücksichtigung von der Warmwasserbereitung ist nur im Hauptgebäude erforderlich. Im Turm wird das Wasser dezentral mithilfe von Strom erwärmt.

Im Rahmen einer weiteren Begehungen sind die Raumtemperaturen der einzelnen Zonen gemessen worden. Da die Messung der Temperaturen lediglich an zwei Tagen im März dieses Jahres (2016) 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 grobe Einschätzung der Raumtemperaturen für die Simulation im Fokus. Die Messungen verdeutlichen zudem den großen Einfluss der nutzenden Personen.

Mit der Messung der Temperaturen einhergehend, wurde Kontakt zu den Nutzern des Gebäudes hergestellt. Diese zeigten sich interessiert und hatten ihrerseits Anmerkungen bezüglich der Effizienz der Heizungsanlage. Vermehrt wurde über die Funktionalität der Heizung, genauer über die fehlerhafte Regulierung, geklagt.

Da beide Gebäude demselben Institut angehören und laut dem Bauwerkzuordnungskatalog derselben Kategorie entsprechen, sind die Nutzungsbereiche ähnlich aufgebaut. Die übereinstimmenden Nutzungsarten 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.

Wie bereits im Teil der Grundlagen beschrieben wurde, erfolgt die Zonierung auf Basis der Nutzung und der vorhandenen Konditionierung der vorliegenden Bereiche. Aus den Nutzungsbereichen werden folgende Zonen gebildet: Sanitary, Storage, Laboratory, Office, Meeting und Lecture bzw. Cooling Zone werden mit der von ihnen eingenommenen Fläche in das Gebäudemodell eingefügt. Die Größe der jeweiligen Zone wird in der folgenden Abbildung verdeutlicht.

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 Form eines Lesesaals in Erscheinung tritt, wird in diesem Modell nicht als eigene Zone in die Betrachtung mit-

einbezogen. Zwar weist sie mit einem Aggregat für die Entfeuchtung 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. Im Folgenden wird die Bibliothek als Teil der Laborzone betrachtet.

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

Die 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.

Als weitere Vereinfachung des Gebäudemodells werden die Räume, die die Lüftungsanlage sowie die Heizung beherbergen nicht im Modell mit eingefügt. In diesen Bereichen des Gebäudes liegt keine thermische Konditionierung vor. Daher ist die Betrachtung im Modell nicht von Relevanz und wird bei beiden Gebäuden vernachlässigt. Der Versorgungsbereich der Heizung umfasst somit die gesamte in das Modell übertragene Fläche. Die jeweiligen Nettogrundflächen sind daher auf 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.

Mit einer Geschosshöhe von 5,1 m weisen die Räumen ein großes Volumen auf. Zwar sind die Decken in manchen Teilen des Gebäudes abgehängt, die gesamte Laborzone sowie ein Großteil des Flurs sind allerdings nicht mit abgehängten Decken versehen. Für die Durchführung der Simulation ist eine Geschosshöhe von 5,1 m angenommen worden.

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. Durch diese Vorkehrung kann das Labor auch außerhalb der vordefinierten Arbeitszeiten genutzt werden. Außerhalb der Betriebszeiten wird die Anlage mit einem Mindestvolumenstrom betrieben, wie es in der DIN 18599 V 10 für Labore vorgeschrieben ist. Aufgrund der manuellen 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.

In der Laborzone wird zudem ein Unterdruck erzeugt, um die Kontamination der benachbarten Räume durch stoffliche Lasten zu verhindern. Dies hat zur Folge, dass der abführende Volumenstrom mehr Luft aus dem Raum entnimmt. So kommt es bei einer fehlerhaften Abdichtung zwischen zwei Räumen zu einem Einströmen der Luft in das Labor anstatt andersherum.

Die Temperatur der Zonen wird auf 22°C eingestellt. Dies stellt laut DIN 18599 V die empfohlene Solltemperatur der Heizung für Labore dar. Die Temperaturmessungen im Rahmen der Gebäudebegehung weisen mit einem Schnitt im Hauptgebäude von 21,6°C und im Turm von 22,2°C ähnliche Werte auf. Während die Festschreibung der Solltemperaturen der Heizung in den weiteren Zonen laut DIN 18599 bei 21°C liegt, schwankt dieser Wert bezogen auf die in der Praxis eigenen ermittelten, aber nicht repräsentativen Messungen. Im Hauptgebäude liegen verglichen mit der Solltemperatur geringfügig höhere Temperaturen vor. So wurden in den Zonen Storage und Meeting Werte von 21,5°C gemessen, in den Zonen Office und Sanitary lagen die auf die Fläche gemittelten Werte bei 21,4°C. Lediglich die Zonen Lecture, die ausschließlich aus dem Hörsaal besteht, und die Zone Floor sind mit Werten von 20,6°C und 20,7°C unter dem Sollwert der DIN. Die Temperaturverteilung im Turm zeigte eine ähnliche Temperaturverteilung. Die Zone Floor kennzeichnete ebenfalls eine relativ geringe Temperatur von 20,7°C. In den Zonen Office und Storage liegen die Temperaturen mit 22,3°C und 22°C mit 1 °C über dem Richtwert. Die Zone Meeting wies am Tag der Messung einen Wert von 21,2°C auf.

Anhand der standardisierten Werte für die Bauteile, die durch Teaser in das Gebäudemodell mit einfließen, wird ein Wärmedurchgangskoeffizient der Fenster von $3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ erreicht. Ein vergleichbarer Wert von $2,9\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ war das Ergebnis der Gruppe, welche die Gebäudephysik mithilfe der Software der Firma SolarComputer untersucht hat.

Der Jahresheizwärmebedarf setzt sich aus Wärmesenken und Wärmequellen zusammen. Wärmesenken stellen hier die Transmissionswärme und die Lüftungswärme dar. Interne Wärmequellen und den Einfluss von solarer Strahlung wirkt den Energieverlusten durch die Wärmesenken entgegen. Durch den Jahresheizenergiebedarf wird neben dem Jahresheizwärmebedarf auch die Erwärmung von Wasser und Q_t und Q_r berücksichtigt.

5.2 Bedarfs-Verbrauchsanalyse

Die Ergebnisse der Simulation und die Messdaten werden im Folgenden verglichen. Es wird der Heizenergieverbrauch pro Jahr betrachtet. Dieser Wert bezieht sich auf die Heizenergie, angegeben in kWh, die pro Jahr und Quadratmeter Nettogrundfläche verbraucht wird. Um eine Vergleichbarkeit des Kennwertes über mehrere Jahre zu schaffen, geht die Witterung in die Berechnung mit ein. Der Vergleich von gleichartigen Gebäuden an verschiedenen Standorten ist durch die Bereinigung der Witterung ebenfalls möglich. Aufgrund einer sehr milden Witterung im Jahr 2014 liegt der Heizenergieverbrauchskennwerte um 14% niedriger als im Jahr 2013. Die große Differenz der Daten für das Jahr 2013 und 2014 im Energiebericht lässt sich zum Teil durch die klimatischen Verhältnisse erklären.

Die erste Durchführung der Simulation dient eines Abgleichs zwischen dem Verbrauch von Heizenergie und dem berechneten Bedarf. Das Ergebnis der Simulation verdeutlicht den Bedarf an Energie, der anhand von technischen Daten der Anlage und Daten über die Bauphysik des Gebäudes berechnet werden kann. Der Verbrauch bezieht die nutzerspezifische Komponente und weitere Einflussfaktoren wie das Klima und das reale Verhalten der Regelungs- und Anlagentechnik mit ein. Die Simulationszeit beträgt 1 Jahr.

Die Analyse erfolgt unter Berücksichtigung der verschiedenen Vereinfachungen, die im vorherigen Kapitel bereits angesprochen wurden. 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 ist der über die Bauteile zustande kommende Wärmeverlust nur bedingt abschätzbar. Die Dichtheit der Gebäudehülle kann ebenfalls nicht zuverlässig eingeschätzt

werden.

Zudem ist die Warmwasserbereitung im Hauptgebäude, die ebenfalls durch Fernwärme versorgt wird, nicht im Gebäudemodell enthalten. Dadurch wird eine Korrektur des Heizenergieverbrauchs werts notwendig. Die Einbeziehung der Warmwasserbereitung erfolgt anhand der Technischen Daten des verwendeten Warmwasserspeichers. Der Speicher mit einem Volumen von 200 l benötigt zu Aufrechterhaltung der Temperatur laut Hersteller 1,46kWh/d. Dies entspricht einem Wert von 532,9 kWh/a.

Verwendet man den Richtwert der DIN 18599 ($3\text{Wh/m}^2\text{d} \cdot 365$) für den Warmwasserbedarf eines Laborgebäudes ergibt sich ein Heizenergiebedarf von $10,95\text{ kWh/m}^2\text{a}$, der zusätzlich zu dem in der Simulation ermittelten Wert anfällt. Die Energie, die für das Halten der Temperatur im Speicher aufgewendet wird, macht mit einem Wert von $0,15\text{kWh/m}^2\text{a}$ nur einen geringen Anteil bezogen auf den Heizenergiebedarf aus.

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 zigmal 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 17. März 2016

Lena Maier