

# **Neuentwicklung eines Lehrangebots auf Basis modularer Lernelemente zur vertieften Auseinandersetzung mit dem sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden**

**SommerWende**

**Abschlussbericht**

Förderkennzeichen:

67DAS193

Projektlaufzeit:

01.01.2020 – 31.12.2021

Förderschwerpunkt:

Entwicklung von Bildungsmodulen zu Klimawandel und Klimaanpassung (Förderschwerpunkt 2)

Gefördert durch:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

# Abschlussbericht

## SommerWende

Im Auftrag von:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und nukleare Sicherheit

**Bundesministerium für  
Umwelt, Naturschutz und  
nukleare Sicherheit**

Vertreten durch:



ZUKUNFT  
UMWELT  
GESELLSCHAFT

**Projektträger Zukunft -  
Umwelt - Gesellschaft  
(ZUG) gGmbH**

Köthener Str. 4  
10963 Berlin

Bearbeitet von:



**Universität Kassel**  
Mönchebergstr. 19  
34109 Kassel

*Fachgebiet Bauphysik*  
Prof. Dr.-Ing. Anton Maas  
Dipl.-Ing. Martin Rösler  
Dipl.-Ing. Jutta Steinbrecher  
Mario Vukadinovic, M.Sc.

*Fachgebiet Entwerfen im  
Bestand*

Prof. Dipl.-Ing. Claus  
Anderhalten  
Dipl.-Ing. Anna Baltschun

*Fachgebiet Technische  
Gebäudeausrüstung*

Prof. Dr.-Ing. Jens Knissel  
Henrik Neusüß, M.Sc.

Kassel, den 17.12.2021

*Eine Vorbemerkung zum Sprachgebrauch:*

Mit Rücksicht auf die gute Lesbarkeit des Berichtes wird teilweise auf die gleichberechtigte Nennung der männlichen und weiblichen Form verzichtet. In der Regel wird das männliche Genus verwendet, gemeint sind beide Geschlechter.

## Gliederung

Kurzfassung .....	8
Zielsetzung.....	9
1 Integration technischer Maßnahmen in Architekturentwürfe (AP1).....	10
1.1 Themenbezogene Auswahl und Beschreibung von praxisbezogenen Entwurfsaufgaben .....	10
1.1.1 Berufsaufgabe von Architekten und Architektinnen.....	10
1.1.2 Ziel praxisbezogener Entwurfsaufgaben und Einbindung in das Projektstudium.....	11
1.1.3 Inhaltliche Ausrichtung .....	11
1.1.4 Anforderungen an die Studierenden bei der Ausarbeitung .....	12
1.1.5 Merkmale für geeignete Entwurfsaufgaben in der Lehre .....	12
1.2 Entwicklung oder Identifikation von Entwurfsaufgaben mit deutlicher Gewichtung der technischen Aspekte bei gleichzeitig hohem Anspruch an Architektur und Praxistauglichkeit .....	12
1.2.1 Entwurfsaufgaben mit deutlicher Gewichtung des technischen Aspektes sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden.....	13
1.2.2 Exemplarische Entwurfsaufgabe Bürogebäude Emscher Essen .....	14
1.3 Abstimmung von architektonischen Ansprüchen und technisch-bauphysikalischen Aspekten zur Vermittlung des Themas sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden.....	14
1.4 Identifikation relevanter Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes bei Architekturentwürfen .....	16
1.4.1 Wärmeeinträge reduzieren .....	18
1.4.2 Passive Kühlung über Nachtlüftung .....	21
1.4.3 Effiziente Kühlsysteme .....	22
1.4.4 Mikroklima.....	23
1.4.5 Anforderungen aus rechtlicher Sicht .....	24
2 Evaluation und Überarbeitung vorhandener Lernelemente (AP2).....	25
2.1 Bauphysikalische Grundlagen – sommerliches Wärmeverhalten .....	25
2.2 Thermische Behaglichkeit und Komfort .....	26
2.3 Umweltmeteorologie – Klimatologie.....	27
2.4 Sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden .....	27
2.5 Nachhaltigkeitsanforderungen an Gebäude – Aspekte Klimaanpassung .....	28
2.6 Berechnungsverfahren zum sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden .....	29
2.6.1 Einleitung in Berechnungsverfahren und rechtliche Aspekte .....	29
2.6.2 Berechnungsverfahren Sonneneintragskennwerte .....	30

2.6.3	Berechnungsverfahren dynamisch-thermische Gebäudesimulation I.....	30
2.6.4	Berechnungsverfahren dynamisch-thermische Gebäudesimulation II.....	31
2.7	Tageslichtversorgung von Gebäuden.....	31
2.8	Gebäudekühlung .....	32
2.9	Messverfahren – Messgeräte .....	33
2.10	Laborversuche und Messungen.....	34
2.11	Rechtliche Aspekte .....	35
2.12	Gestalterische Aspekte .....	35
3	Entwicklung von Lerntools zum sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden (AP 3) .....	36
3.1	Entwicklung einer Fragensammlung.....	36
3.1.1	Moodle.....	37
3.1.2	Fragenformate .....	38
3.1.3	Einsatzmöglichkeiten .....	40
3.2	Vorlesungen / Seminare / Übungen .....	41
3.2.1	Lehrunterlage zum Thema Nachhaltigkeitsanforderungen Aspekte Klimaanpassung ..	41
3.2.2	Lehrunterlage zum Thema Einstieg in thermisch-dynamische Berechnungsverfahren.	41
3.2.3	Lehrunterlage zum Thema freie Kühlung.....	41
3.2.4	Lehrunterlagen des Seminars Campusanalysen .....	42
3.2.5	Aufgabenstellungen zum sommerlichen Wärmeschutz.....	42
3.3	Entwicklung eines Excel-Tools zur vereinfachten Einschätzung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden.....	44
3.3.1	Prinzipieller Ansatz EnKol .....	45
3.3.2	Plausibilisierung EnKol .....	46
3.3.3	Einsatz und Nutzung von EnKol in der Lehre .....	47
4	Prüfung und Einbindung externer Berechnungswerkzeuge (AP 4) .....	48
4.1	Analyse der zu vergleichenden Berechnungswerkzeuge .....	48
4.1.1	Analyse von IDA ICE .....	48
4.1.2	Analyse von SimRoom 4 .....	49
4.1.3	Analyse von Thesim 3D .....	50
4.1.4	Analyse von ZUB Helena Sommer.....	50
4.2	Bewertungssystem für den Vergleich der Berechnungstools.....	51
4.3	Berechnungs- und Bearbeitungsqualität .....	52
4.3.1	Validierung.....	52
4.3.2	Ergebnisdarstellung und Ausgabemöglichkeiten.....	53

4.3.3	Nutzeroberfläche, Eingabeoptionen und Schnittstellen zu weiteren Programmen .....	54
4.4	Technische Anforderungen und Nutzerfreundlichkeit .....	55
4.4.1	Systemanforderungen .....	55
4.4.2	Verfügbarkeit und Studentenversion .....	55
4.4.3	Support.....	56
4.5	Adaption an die universitäre Lehre .....	56
4.5.1	Tutorials und weitere Hilfestellungen .....	56
4.5.2	Zielgruppe der Programme .....	57
4.5.3	Standardannahmen und Variabilität der Eingabegrößen.....	57
4.6	Eignung der Programme .....	58
4.6.1	Bewertung von IDA ICE .....	58
4.6.2	Bewertung von SimRoom 4 .....	59
4.6.3	Bewertung von Thesim 3D .....	60
4.6.4	Bewertung von ZUB Helena Sommer.....	61
4.7	Fazit.....	63
5	Entwicklung themenbezogener Laborversuche (AP 5) .....	64
5.1	Bauphysikalisches Modellhaus.....	64
5.1.1	Baukonstruktion.....	65
5.1.2	Gebäudetechnik.....	67
5.1.3	Messtechnische Untersuchungen.....	69
5.1.4	Versuchsbeschreibung .....	70
5.1.5	Auswertung der Versuche .....	72
5.1.6	Ergebnisse der Versuche .....	73
5.2	Messung von Luftvolumenströmen mittels Tracergas-Methode .....	78
5.2.1	Messprinzip .....	78
5.2.2	Messverfahren „Konzentrationsabfall-Methode“ .....	80
5.2.3	Messaufbau .....	81
5.2.4	Aufgabenstellung .....	83
6	Analyse von Problemen an Hochschulgebäuden sowie in-situ-Untersuchungen (AP 6) .....	85
6.1	Vorstellung Seminarkonzept.....	85
6.2	Lernziele und didaktisches Konzept.....	86
6.2.1	Lernziele .....	86
6.2.2	Didaktische Konzeption.....	86

6.3	Implementierung des Seminars in die Lehre des Fachbereichs 06.....	87
6.4	Campusanalysen: Sommerlicher Wärmeschutz von Gebäuden .....	87
6.4.1	Vorbereitende Arbeiten .....	88
6.4.2	Ablaufplan und Veranstaltungsübersicht .....	92
6.4.3	Vorlesungsunterlagen .....	94
6.4.4	Grundlagen der Simulationstools: .....	96
6.4.5	Aufgabenstellungen Präsentationen & Hausarbeit.....	96
6.4.6	Bewertungsmatrix.....	100
6.4.7	Problemanalysen im Rahmen des Seminars .....	101
6.5	Reflexion des Seminars .....	102
6.5.1	Anmerkungen zum Veranstaltungskonzept:.....	103
6.5.2	Digitales Veranstaltungsformat .....	105
6.5.3	Feedback & Evaluation Campusanalysen.....	105
6.6	Ausblick – Campusanalysen .....	107
7	Vorbereitung und Durchführung eines Pilotprojekts (Masterprojekt / Profilprojekt mit Begleitseminar) inkl. Evaluation (AP 7) .....	109
7.1	Beschreibung des Gesamtkonzepts für Masterprojekt / Profilprojekt mit Begleitseminar .	109
7.2	Beschreibung Profilprojekt.....	110
7.2.1	Modulbeschreibung .....	110
7.2.2	Aufgabe .....	110
7.2.3	Ablauf und Anforderungen.....	111
7.2.4	Abgabeleistungen .....	111
7.3	Beschreibung Begleitseminar Recherchestudio UPB während des Entwurfes (1.Semester)....	111
7.3.1	Beschreibung .....	111
7.3.2	Aufgabe .....	111
7.3.3	Durchführung der Lehrveranstaltungen.....	113
7.3.4	Abgabeleistungen .....	114
7.4	Beschreibung Begleitseminar Recherchestudio UPB im Anschluss an den Entwurf (2. Semester).....	115
7.4.1	Durchführung der Lehrveranstaltungen.....	115
7.4.2	Nutzung von Tools und Durchführung von Laborversuchen im Rahmen der Lehrveranstaltungen .....	118
7.4.3	Individuelle Projektbetreuung.....	119

7.4.4	Abgabeleistung .....	119
7.5	Evaluation.....	120
7.5.1	Feedback der Studierenden zum Begleitseminar Umweltbewusstes Planen und Bauen. .....	120
7.5.2	Reflexion der Lehrenden .....	122
8	Auswertung der Evaluation und Umsetzung ggf. notwendiger Anpassungen (AP 8) .....	124
8.1	Auswertung der Evaluationsergebnisse mit Blick auf die Zielsetzung .....	124
8.2	Umsetzung identifizierter Anpassungsnotwendigkeiten .....	124
8.2.1	Anpassungen beim Profilprojekt .....	124
8.2.2	Anpassungen beim Begleitseminar während des Entwurfs (1. Semester).....	124
8.2.3	Anpassungen beim Begleitseminar nach dem Entwurf (2. Semester).....	125
8.3	Verstetigung des entwickelten Lehrangebots .....	126
	Literaturverzeichnis.....	127
	Tabellen- und Abbildungsverzeichnis.....	129
	Anhänge .....	131

## Kurzfassung

Im Rahmen des Abschlussberichts zum Projekt „Neuentwicklung eines Lehrangebot auf Basis modularer Lernelemente zur vertieften Auseinandersetzung mit dem sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden – SommerWende“ werden die erarbeiteten Inhalte zusammenfassend dargestellt.

Im Kapitel 1 Integration technischer Maßnahmen in Architekturentwürfe (AP1) werden für die Architekturausbildung relevante Themenschwerpunkte aus Sicht der Planung in der Architektur zusammengefasst, dargestellt und hinsichtlich der Verwendbarkeit in der Lehre diskutiert. Es wird der didaktische Grundstein für ein Beispielprojekt beschrieben, welches die vorgestellten Schwerpunkte zielgerichtet innerhalb der Lehre thematisiert.

Kapitel 2 Evaluation und Überarbeitung vorhandener Lernelemente (AP2) beschreibt vorhandene und bisher nicht vorhandene Themen hinsichtlich didaktischer Aspekte und stellt Inhalte vor diesem Hintergrund themenbezogen zusammen. Es werden Begriffe und Schwerpunkte, welche in der Lehre Verwendung finden bzw. finden sollten dargestellt.

Im Kapitel 3 Entwicklung von Lerntools zum sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden (AP 3) wird eine Fragensammlung mit Lösungen zum Thema sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden entwickelt und auf der Lernplattform Moodle im Rahmen von Test als Lerntool zusammengestellt. Zusätzlich werden erarbeitete Lerninhalte und ein selbst entwickeltes Excel-Lernwerkzeug vorgestellt.

Kapitel 4 Prüfung und Einbindung externer Berechnungswerkzeuge (AP 4) stellt gängige Berechnungswerkzeuge zur Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden dar. Die Auswahl beschränkt sich auf Werkzeuge, welche vor einem didaktisch sinnvollen Hintergrund bei der Planung von Gebäuden eine Hilfestellung geben können. In diesem Zusammenhang erfolgt eine vergleichende Bewertung der Werkzeuge.

Mit Kapitel 5 Entwicklung themenbezogener Laborversuche (AP 5) wird der Bau eines Modellhauses beschrieben, welches in Form von Laborpraktika Lehr- und Lernversuche aufzeigen kann. Es werden relevante Versuche entwickelt, um das Thema des sommerlichen Wärmeverhaltens sinnvoll darzustellen.

Mit Kapitel 6 Analyse von Problemen an Hochschulgebäuden sowie in-situ-Untersuchungen (AP 6) wird ein Lehrkonzept für Studierende zum Thema sommerliches Wärmeverhalten von Nicht-Wohngebäuden am Campus Kassel erarbeitet.

In Kapitel 7 Vorbereitung und Durchführung eines Pilotprojekts (Masterprojekt / Profilprojekt mit Begleitseminar) inkl. Evaluation (AP 7) wird die Durchführung eines Entwurfsprojekts mit Vertiefung des Aspektes sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden in einem Begleitseminar beschrieben und die Evaluation erläutert.

In Kapitel 8 Auswertung der Evaluation und Umsetzung ggf. notwendiger Anpassungen (AP 8) werden die Ergebnisse der Evaluation ausgewertet und die sich daraus ergebenden Anpassungen bei der Verstetigung des Lehrangebots beschrieben.

Die Gliederung orientiert sich an den Arbeitspaketen.



## Zielsetzung

Der Fachbereich Architektur der Universität Kassel beschäftigt sich im Bachelor- sowie im Masterstudium intensiv mit Fragestellungen des energieeinsparenden, energieeffizienten und nachhaltigen Bauens. Dementsprechend liegt der Fokus von Lehr- und Lerninhalten in vielen Fällen auf Fragestellungen zur Energieeinsparung für den winterlichen Heizfall.

Durch den Klimawandel entsteht eine Verschiebung der jahreszeitlichen Rhythmen, sodass in gegenwärtigen und zukünftigen Lehranpassungen ein stärkerer Fokus auf dem sommerlichen Wärmeschutz liegen sollte.

Besonders in der Baubranche wird der Klimawandel immer stärker thematisiert. Nachhaltigkeit und Energieeffizienz stellen mittlerweile ein primäres Themenfeld der Bauprozesse dar. Allerdings entstehen oft Gebäude, bei denen kein ausreichender sommerlicher Wärmeschutz gewährleistet ist. Dies wird unter anderem auch an Neubauten auf dem Campus der Universität Kassel deutlich.

Das Bewusstsein für die Erfordernisse des sommerlichen Wärmeschutzes sowie die Notwendigkeit, diesen bereits sehr früh, von Beginn der Planung an zu berücksichtigen, gewinnt dabei aufgrund der Klimaerwärmung zunehmend an Bedeutung. Dieses Bewusstsein ist bei Planern von Gebäuden oft nicht, bzw. nicht ausreichend vorhanden.

Aktuelle Klimaszenarien sagen für die nächsten Jahre – insbesondere für den urbanen Raum – deutlich mehr Sommertage mit gesteigerten Hochteneraturlagen voraus. In Deutschland sind Gebäude in vielen Fällen nicht auf derartige Hitzewellen vorbereitet. Eine wesentliche Anforderung an Gebäude, Schutz vor der Witterung zu bieten, ist damit nicht erfüllt. Hitzewellen wirken sich auf die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen aus und beeinflussen maßgeblich die Gebäudeplanung und Technik.

Gebäude werden häufig an eine bestimmte Nutzung und an das Stadtbild angepasst und seltener an die mikroklimatischen Gegebenheiten, die vor Ort herrschen. Das Fachgebiet Architektur möchte ein neues Lehrangebot erarbeiten, um zukünftigen Planern und Planerinnen die Fragen des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden schwerpunktmäßig zu vermitteln.

# 1 Integration technischer Maßnahmen in Architekturentwürfe (AP1)

## 1.1 Themenbezogene Auswahl und Beschreibung von praxisbezogenen Entwurfsaufgaben

Ziel von Entwurfsaufgaben ist es, die Studierenden zu befähigen, nach Abschluss des Studiums als Architektin oder Architekt für Aufgabenstellungen im Rahmen der Berufsaufgabe gute Lösungen zu entwickeln und umzusetzen.

### 1.1.1 Berufsaufgabe von Architekten und Architektinnen

Die Bundesarchitektenkammer beschreibt auf Ihrer Internetseite die Berufsaufgabe von Architekten und Architektinnen mit Bezugnahme auf die Architektengesetze der Länder und die Richtlinie über die Anerkennung von Berufsqualifikationen der Europäischen Union vom 7.11.2005:

*Die Architektengesetze der Länder definieren - mit kleinen Abweichungen - die Berufsaufgabe des Architekten wie folgt:*

*„Berufsaufgabe des Architekten und der Architektin ist die gestaltende, technische und wirtschaftliche Planung von Bauwerken. [...]“*

*In der Richtlinie über die Anerkennung von Berufsqualifikationen der Europäischen Union vom 7. September 2005, die die Architekten-Richtlinie vom 10. Juni 1985 ersetzt, heißt es nach wie vor:*

*„Die architektonische Gestaltung, die Qualität der Bauwerke, ihre harmonische Einpassung in die Umgebung, der Respekt vor der natürlichen und städtischen Landschaft sowie vor dem kollektiven und dem privaten Erbe sind von öffentlichem Interesse. Daher sollte sich die gegenseitige Anerkennung ..., auf qualitative und quantitative Kriterien stützen, die gewährleisten, dass die Inhaber (Architekten) .... in der Lage sind, die Bedürfnisse der Einzelpersonen, der sozialen Gruppen und Gemeinwesen im Bereich der Raumordnung, der Konzeption, der Vorbereitung und Errichtung von Bauwerken, der Erhaltung und zur Geltung Bringung des architektonischen Erbes sowie des Schutzes der natürlichen Gleichgewichte zu verstehen und ihnen Ausdruck zu verleihen.“*

Der Architekt ist also nicht nur Entwerfender oder gar Künstler, er ist als Treuhänder des Bauherrn zugleich für die Betreuung und Beratung des Auftraggebers bzw. Bauherrn in allen mit der Planung und Ausführung eines Bauvorhabens zusammenhängenden Fragen zuständig.

*„[...] Aber auch in Bereichen wie Denkmalpflege, Projektsteuerung oder im Facility Management sind Architektinnen und Architekten ebenso tätig, wie bei Betreuung eines Gebäudes während dessen gesamten Lebens- und Nutzungszyklus sowie bei der Erstellung von Schadens- und Wertgutachten. Dabei arbeiten sie häufig mit Fachkollegen wie Innenarchitekten, Garten- und Landschaftsarchitekten oder Stadtplanern zusammen.“* Vgl. [1].

Aus dieser Beschreibung geht sehr gut die Komplexität der Berufsaufgabe hervor, welche die Grundlage für die Lehre an der Universität Kassel und im Allgemeinen darstellt.

### **1.1.2 Ziel praxisbezogener Entwurfsaufgaben und Einbindung in das Projektstudium**

Neben der theoretischen Vermittlung der vielfältigen Fachkenntnisse, die für eine im Anschluss an das Studium erfolgreiche Ausübung des Berufes „Architekt / Architektin“ erforderlich sind, werden die entscheidenden Fähigkeiten anhand von praxisbezogenen Entwurfsaufgaben vermittelt.

Dabei werden anhand einer konkreten, berufsbezogenen Aufgabenstellung im Studium bisher erworbene Fachkenntnisse zur Anwendung gebracht und gleichzeitig wird die Aufgabe genutzt, sich weitere erforderliche Fachkenntnisse anzueignen.

Neben der räumlichen und ästhetischen Gestaltung des Bauwerkes beinhaltet dies auch die Integration vielfältiger technischer und sozialer Aspekte zu einem in sich stimmigen Gesamtkonzept.

Der Praxisbezug kommt besonders zum Tragen, wenn die Entwurfsaufgabe einen realen Bezug hat. Dieser ist beispielsweise bei einer Teilnahme an einem ausgeschriebenen Wettbewerb oder durch eine Aufgabenstellung gegeben, die zeitgleich als konkrete Planungsaufgabe umgesetzt wird.

An der Universität Kassel erfolgen im Fachbereich Architektur praxisbezogene Entwurfsaufgaben im Rahmen von Projekten (Projektmodulen), welche ca. 40 % des Curriculums ausmachen (Projektstudium). Dabei werden real vorhandene Planungsaufgaben oder forschungsorientierte Fragestellungen aufgegriffen und je nach Thematik auch fachübergreifend bearbeitet. Im Bachelorstudium sind Projekte vom ersten bis zum sechsten Semester vorgesehen. Sie gliedern sich im Studienverlauf in eine Einführung in den ersten beiden Semestern in Form eines Einführungsstudios und eines Einführungsprojekts und gehen ab dem dritten Semester in die wesentlich eigenständiger zu bearbeitenden Entwurfsprojekte über. Im Masterstudium findet in jedem Semester ein Projekt statt. Die Projekte haben jeweils einen Umfang von 12 CP pro Semester. Die Mastertiefung sieht eines der Projektmodule als „Profilprojekt“ vor. Hier werden insbesondere die Inhalte der gewählten Vertiefungsrichtung behandelt und durch ein Begleitseminar als projektbegleitendes Seminar mit 6 CP ergänzt.

### **1.1.3 Inhaltliche Ausrichtung**

Inhaltlich unterscheiden sich Entwurfsaufgaben insbesondere in Bezug auf folgende Aspekte:

- Nutzung (Wohnnutzung, Nichtwohnnutzungen wie z. B. Büro, Kultureinrichtungen, Schulen, Sondernutzungen, ...)
- Standort (Baulücke, freistehend, Umgebung, ...)
- Größe und Komplexität
- Einbeziehung von Freiraumgestaltung und Städtebau
- Sonderaspekte (Wirtschaftlichkeit wie z. B. bezahlbarer Wohnraum, modulares Bauen, Einbeziehung von Nutzern, digitales Entwerfen, inklusiv Gestalten/barrierefrei Bauen, energie- und ressourceneffizientes Bauen, klimaangepasstes Bauen/sommerlicher Wärmeschutz, ...)

### **1.1.4 Anforderungen an die Studierenden bei der Ausarbeitung**

Werden im Rahmen des Studiums praxisbezogene Entwurfsaufgaben bearbeitet, sind die geforderten Resultate und Prüfungsleistungen abhängig vom Lernstand der Studierenden und von der thematischen Ausrichtung unterschiedlich definiert. Folgende Arbeitsergebnisse sind denkbar:

- Skizzen und Zeichnungen (perspektivisch, Innenräume, Gebäude, ...)
- Pläne (Grundrisse, Ansichten, Schnitte) in entsprechenden Maßstäben
- Modelle (städtebaulich, Gebäude oder Detail in entsprechenden Maßstäben)
- Ausarbeitung von Details in entsprechenden Maßstäben
- Digitale Renderings von Innenräumen und Gebäude
- Sonstige künstlerische Ausarbeitungen wie Filme etc.
- Schriftliche Abgabeleistungen
- Präsentationen der Ergebnisse

### **1.1.5 Merkmale für geeignete Entwurfsaufgaben in der Lehre**

Wesentlich für die Eignung einer Entwurfsaufgabe für die Lehre ist, dass die Aufgabe eine für die Studierenden angemessene Komplexität besitzt.

Darüber hinaus kann die Motivation der Studierenden gesteigert werden, wenn ein möglichst hoher Praxisbezug hergestellt ist. Dieser lässt sich, wie oben bereits kurz beschrieben, zum Beispiel durch die Teilnahme an einem Wettbewerb umsetzen oder durch die Bearbeitung einer Planungsaufgabe, die zeitgleich real bearbeitet wird. Auch Gebäude vor Ort auf dem Campus der Universität oder aus dem Umfeld der Studierenden können einen besonderen Bezug zu Planungsaufgabe herstellen.

Soll im Rahmen der Entwurfsaufgabe ein inhaltlicher Schwerpunkt gesetzt werden, führt dies abhängig vom jeweiligen Thema zu weiteren Anforderungen an die Aufgabenstellung.

## **1.2 Entwicklung oder Identifikation von Entwurfsaufgaben mit deutlicher Gewichtung der technischen Aspekte bei gleichzeitig hohem Anspruch an Architektur und Praxistauglichkeit**

Wie in Abschnitt 1.1 erläutert, beinhalten Entwurfsaufgaben immer auch technische Aspekte, die in unterschiedlicher Tiefe einbezogen werden können.

Werden die technischen Aspekte stark mit einbezogen, erhöht sich die Komplexität der Aufgabenstellung. Soll der Anspruch an die Architektur und die Praxistauglichkeit in vollem Umfang erhalten bleiben, ist für die Bearbeitung ein Mehraufwand erforderlich. Darüber hinaus sind für die technischen Aspekte zusätzliche Fachkenntnisse erforderlich.

In der Lehre gilt es, diese zusätzlich erforderlichen Fachkenntnisse zu identifizieren und im Rahmen zusätzlicher Veranstaltungen zu vermitteln.

Darüber hinaus muss die Entwurfsaufgabe sowohl inhaltlich als auch von den Rahmenbedingungen (insbesondere die zur Verfügung stehende Bearbeitungszeit) geeignet sein, um die technischen Aspekte zu vertiefen.

Dies kann in der Lehre durch folgende Maßnahmen erfolgreich umgesetzt werden:

- Begleitende Lehrveranstaltungen im Rahmen von beispielsweise zwei SWS
- Erweiterung des Bearbeitungszeitraums im Rahmen eines Projekts auf zwei Semester
- Auswahl geeigneter Aufgabenstellungen

Im Rahmen des Projektes SommerWende soll der technische Aspekt „sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden“ vertieft werden. Die hierzu evaluierten Lehr- und Lerninhalte werden im Kapitel 2 Evaluation und Überarbeitung vorhandener Lernelemente (AP2) dargestellt und erläutert.

Im Folgenden wird erläutert, welche Anforderungen Entwurfsaufgaben zusätzlich über die bereits dargestellten, allgemeinen Anforderungen hinausgehend erfüllen müssen, damit das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden vertieft behandelt werden kann.

Zudem wird eine praxisbezogene Entwurfsaufgabe aufgezeigt, die diese Anforderungen erfüllt und im Wintersemester 2020/21 und im Sommersemester 2021 von Studierenden an der Universität Kassel bearbeitet wird.

### **1.2.1 Entwurfsaufgaben mit deutlicher Gewichtung des technischen Aspektes sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden**

Entwurfsaufgaben, die für die Vertiefung der technischen Aspekte „sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden“ geeignet sind, sollten zusätzlich zu den in Abschnitt 1.1 genannten allgemeinen Merkmalen für Entwurfsaufgaben insbesondere folgende Kriterien erfüllen (siehe auch Abschnitt 1.3 und 1.4):

- Keine zu großen internen Wärmeeinträge (z. B. keine Serverräume, ...)
- Gestaltungsfreiheit in Bezug auf Kubatur, Ausrichtung und Fenstergrößen (z. B. kein Kino, ...)

Idealerweise ergibt sich ein Handlungsspielraum, um das sommerliche Wärmeverhalten unter Berücksichtigung aller relevanten Aspekte zu optimieren.

Anhand der in Abschnitt 1.1.4 beschriebenen Arbeitsergebnisse wird der ausgearbeitete Entwurf von den Studierenden dargestellt. Die technischen Aspekte können insbesondere in den Details, in ergänzenden Skizzen und Zeichnungen sowie in schriftlichen Erläuterungen dargestellt werden. Sie fließen aber auch in die anderen genannten Arbeitsergebnisse ein und ermöglichen dadurch eine Beurteilung, ob eine Integration in den Gesamtentwurf gelungen ist.

### **1.2.2 Exemplarische Entwurfsaufgabe Bürogebäude Emscher Essen**

Das ausgewählte Pilotprojekt basiert auf dem Wettbewerb „Transformation“ des Kulturkreises der deutschen Wirtschaft. Ziel ist es, eine Baulücke in der Essener Innenstadt mit einem innovativen und nachhaltigen Bürogebäude zu schließen. Die Herausforderung liegt dabei auf der städtebaulichen Integration, die eine Verbindung der heterogenen Umgebungsgebäude schafft und der Entwicklung eines zukunftsfähigen und repräsentativen Bürohauses. Die Gestaltung des Innenhofes des Gebäudeensembles ist dabei ebenfalls Teil der Aufgabe. Die Vertiefung des Projektes richtet den Fokus auf den sommerlichen Wärmeschutz. Besonders zu berücksichtigen sind dabei das umgebende Mikroklima durch den benachbarten Park und das Element Wasser als Sinnbild der Firmenidentität.

### **1.3 Abstimmung von architektonischen Ansprüchen und technisch-bauphysikalischen Aspekten zur Vermittlung des Themas sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden**

Diverse Erkenntnisse zeigen, dass trotz der Sensibilisierung für die Fragestellungen des sommerlichen Wärmeschutzes durch Platzierung entsprechender Inhalte in den bereits angebotenen Lehrveranstaltungen und durch normative Anforderungen sowie gesetzliche Nachweispflichten, das Verständnis für die planerischen Erfordernisse oft nicht in der Praxis ankommt. Weder thematisch vertiefende studentische Entwürfe noch umgesetzte Gebäude spiegeln die gestiegenen Anforderungen durch die klimatischen Veränderungen im Sommer wider. Selbst neue Gebäude auf dem Universitätsgelände, wie beispielsweise der Neubau für den Fachbereich Architektur, Stadtplanung, Landschaftsplanung der Universität Kassel oder das Studentenwohnheim des Studentenwerks Kassel zeigen in der Nutzung, dass weder behagliche noch produktive Arbeits- und Nutzungsbedingungen geschaffen werden konnten.

Im Rahmen des Projektstudiums können die Studierenden, die in Vorlesungen und Seminaren vermittelten Inhalte im eigenen Entwurf bzw. Projekt anwenden und damit verinnerlichen sowie sich zu eigen machen. So kann didaktisch ein besonderer Erfolg erzielt werden. Das Thema des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden liegt dabei an der Schnittstelle von Architektur, Bauphysik und Technischer Gebäudeausrüstung.

Während im Regelfall beim Entwurf die Themen Ästhetik, Materialität, Design und Formsprache im Vordergrund stehen und der sommerliche Wärmeschutz erst zu einem späteren Zeitpunkt im Rahmen einer externen Fachplanung nachgewiesen wird, soll im Rahmen des studentischen Projektes das Thema von Beginn an mit einbezogen werden. Dies ist insofern wichtig, da Entscheidungen hinsichtlich der architektonischen Gestaltung und der Umsetzung bauphysikalischer Anforderungen sich gegenseitig beeinflussen und nur durch eine Einbeziehung aller Aspekte von Anbeginn des Entwurfs- und Planungsprozesses eine gelungene Integration der unterschiedlichen Erfordernisse ermöglicht werden kann.

So kann zum Beispiel eine Formsprache entstehen, die sich durch eine in Hinsicht auf das sommerliche Wärmeverhalten optimierte Farbigkeit und Wärmedurchlässigkeit von Baustoffen und Konstruktionen ergibt. Oder Sonnenschutzvorrichtungen werden bewusst als Gestaltungselement eingesetzt, anstatt dass diese im Nachhinein noch notdürftig hinzugefügt werden.

Auch baurechtliche Zusammenhänge haben immer Auswirkungen auf den allgemeinen Planungsprozess. Im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes und der Landesbauordnungen werden Anforderungen beschrieben, die gravierende Auswirkungen auf die Architektur und Gestaltung von Gebäuden haben. In Bezug auf das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden sind neben weiteren Regelungen die Anforderungen aus dem Nachweisverfahren gemäß DIN 4108-2 von Bedeutung. Insbesondere dort werden die im folgenden Kapitel beschriebenen Einflussgrößen in konkrete Berechnungsformeln und Zahlenwerte überführt.

Im Planungsprozess, der sich aus den bauordnungsrechtlichen Bestimmungen der Bundesländer ergibt, müssen die bautechnischen Nachweise wie die Einhaltung des Gebäudeenergiegesetzes einschließlich des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes in der Regel im Rahmen der Baugenehmigung eingereicht werden. Stellt sich zu diesem Zeitpunkt dann heraus, dass das geplante Gebäude die Anforderungen nicht erfüllt, muss umgeplant werden. Im einigen Fällen ergibt sich daraus dann kein stimmiges Gesamtkonzept mehr, da hierfür eine integrative Planung erforderlich ist, bei der von Beginn an die relevanten Aspekte in Bezug auf das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden mitgedacht werden. Abbildung 1 zeigt ein entsprechendes Planungsschema in Anlehnung an [2] auf.

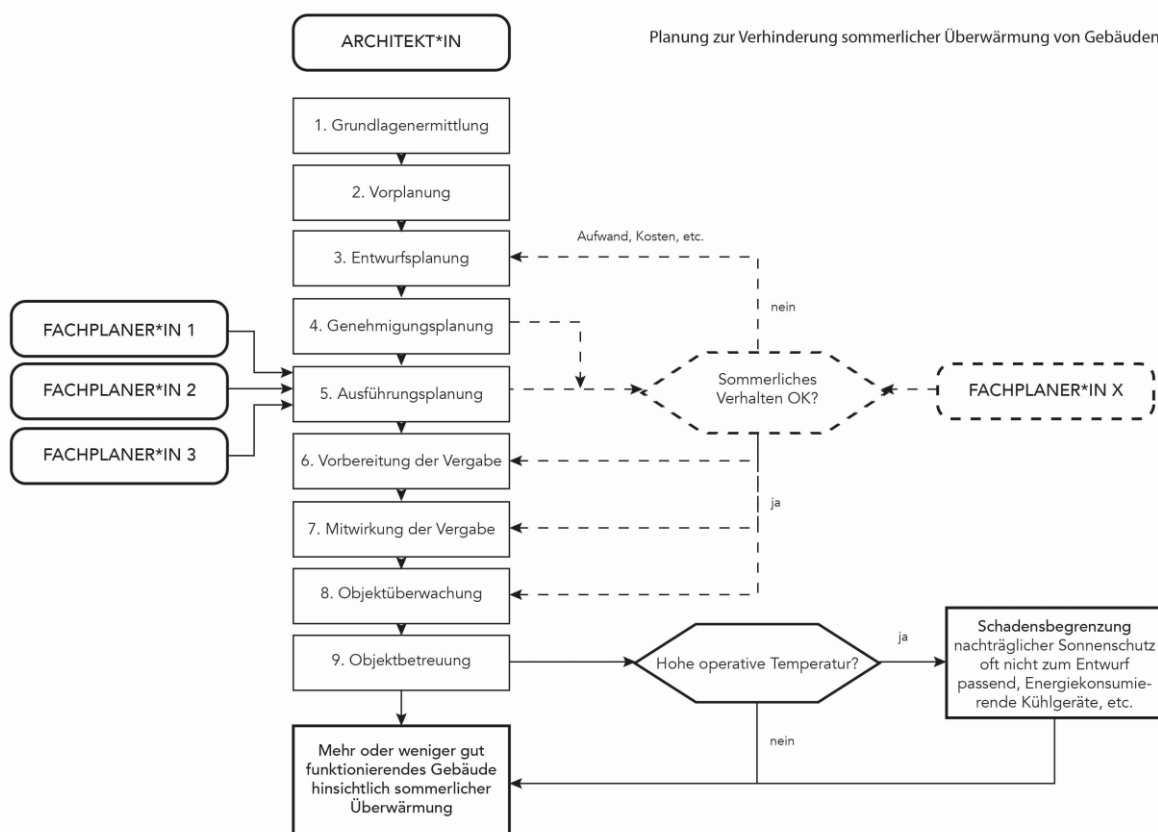


Abbildung 1: Planungsschema sommerliche Überwärmung; in Anlehnung an [2]

Die Planung zur Verhinderung sommerlicher Überwärmung von Gebäuden entwickelt sich entlang der neun Leistungsphasen der HOAI (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure), im Idealfall von der Leistungsphase 1. *Grundlagenermittlung* bis zur Leistungsphase 9. *Objektbetreuung*. Erst in

Leistungsphase 5. *Ausführungsplanung* treten im regulären Planungsverlauf Fachplaner hinzu, die das sommerliche Verhalten der Gebäudeplanung überprüfen. Diese wirken sich auf 6. *Vorbereitung der Vergabe*, 7. *Mitwirkung der Vergabe* und 8. *Objektüberwachung* aus. Wurden die Kriterien nicht erreicht, müssen gegebenenfalls Angleichungen in Leistungsphase 3. *Entwurfsplanung* vorgenommen werden. Dies gilt es zu vermeiden, indem Architekten den sommerlichen Wärmeschutz während der ersten beiden Leistungsphasen 1. *Grundlagenermittlung* und 2. *Vorplanung* in vollem Umfang in den architektonischen Entwurf integrieren. Schlagen all diese Schritte dennoch fehl, wird eine Schadensbegrenzung in Leistungsphase 9. *Objektbetreuung* unabdingbar. Sie erfolgt i. d. R. durch nachträglichen Sonnenschutz, der oftmals nicht zum Entwurf passt. Oder durch die Nachrüstung von technischen Geräten zur Kühlung, die häufig übermäßig viel Energie benötigen. Dies gilt es durch Berücksichtigung der Thematik des sommerlichen Wärmeschutzes ab Leistungsphase 1. *Grundlagenermittlung* zu vermeiden.

#### **1.4 Identifikation relevanter Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes bei Architekturentwürfen**

Klimaangepasstes Bauen hat eine lange Tradition. Im westlichen Kulturkreis ist eines der ersten dokumentierten Beispiele das „Solarhaus“ des Sokrates, bei dem durch eine trapezförmige Öffnung nach Süden, ein ausgeprägtes Vordach und eine schwere Bauweise das Raumklima im Sommer und im Winter optimiert wird. Abhängig von den jeweiligen klimatischen Gegebenheiten lassen sich zu allen Zeiten und in allen Kulturen gute Beispiele finden, wie Städte und Bauwerke an das Klima angepasst sind. Geprägt wird dieser Prozess auch durch wirtschaftliche Faktoren, Nutzeransprüche und Innovationen im Bereich der Baustoffe und der Bautechnik.

Aktuell ist in Deutschland und auch in anderen Ländern die Klimaanpassung von Gebäuden ein wesentlicher Aspekt der Nachhaltigkeitsanforderungen an Gebäude.

Im Forschungsprojekt „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben (SNAP)“ [3] wurden Empfehlungen erarbeitet, wie Anforderungen an Nachhaltigkeit in Planungswettbewerben berücksichtigt werden können. Geprüft wurden in diesem Zusammenhang insgesamt 46 Nachhaltigkeitskriterien unter dem Gesichtspunkt, inwieweit die dazugehörigen Kriterien und Indikatoren im Wettbewerb beeinflussbar und bewertbar sind. Das sommerliche Wärmeverhalten ist hierbei ein Aspekt in Bezug auf die Nachhaltigkeit eines Gebäudes, der sich insbesondere im Kriterium 08 „Raumklima“ und im Kriterium 12 „Flächenversiegelung“ wiederfindet. Erfolgt eine aktive Kühlung, ist zudem ein starker Bezug zum Kriterium 15 „Energiebedarfsdeckung“ gegeben.

Maßnahmen in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz und die Kühlung haben darüber hinaus Auswirkungen auf die Kriterien:

- Kommunikationsförderung von Flächen und Räumen (SNAP Kriterium 04)
- Tageslicht (SNAP Kriterium 07)
- Lebenszykluskosten (SNAP Kriterium 11)
- Endenergiebedarf (SNAP Kriterium 14)



Zudem gibt es eine direkte Rückkopplung zur architektonischen Gestaltung, welche an dieser Stelle jedoch nicht explizit als Nachhaltigkeitskriterium definiert wird (Kapitel 1.3).

Als für den Planungswettbewerb exemplarische nachhaltigkeitsrelevante Wettbewerbsleistungen werden in [3] genannt:

- *„Lageplan z. B. M1:500, mit Darstellung der Baukörper (Dachaufsichten), der Verkehrserschließung, der PKW- und Fahrradstellplätze, der Freiflächen sowie des Erschließungskonzeptes (ggf. inkl. Ver- und Entsorgung).*
- *Dachaufsicht z. B. M1:200, mit Darstellung der opaken und transparenten Dachflächen bzw. Dachoberlichtern, ggf. Gründächern sowie ggf. dachintegrierten Solartechnikflächen.*
- *Ansichten von allen 4 Gebäudeseiten z. B. M1:200, mit eindeutiger Kennzeichnung der opaken und transparenten Fassadenflächen sowie Darstellung der energetisch relevanten Fassadenelemente (z. B. Sonnenschutz, fassadenintegrierte Solartechnikflächen).*
- *Fassadenschnitt z. B. M1:50, mit mindestens einem funktionalen Ausschnitt eines typischen Raumes (Hauptnutzung) in Ansicht, Grundriss und Schnitt an einer sonnenexponierten Fassade (Ost- bzw. West-Lage). Jeweils mit folgenden Aussagen: Konstruktion, Materialarten und –dicken (inkl. Dämm- und Speichermassenkonzept), opake und transparente Flächen, Belichtungs- (Tages- und Kunstlicht) und Belüftungskonzept, Blend- und Sonnenschutz, ggf. Maßnahmen zur Optimierung der Raumakustik, ggf. Gebäudetechnik (z. B. Wärmeübertragungssysteme). Der Fassadenschnitt soll ein Gesamtgeschoss und den Anschluss der Fassade an den Dachaufbau bis in ca. 1m Raumtiefe darstellen. Die Darstellung des Ausschnitts ist in Ansicht, Schnitt und Grundriss so zu wählen, dass daraus eine Beurteilung bzgl. Bauweise und (ggf.) Energiekonzept geführt werden kann.*
- *Energiekonzept ohne Maßstab (sofern erforderlich), anhand schematischer Piktogramme (z. B. Schnitte) sind die wesentlichen Elemente und Prinzipien des Energiekonzeptes (Warme, Kalte, Licht, Luft, Strom) während der Heiz- und Kühlperiode zu veranschaulichen (Winter- und Sommerkonzept).*
- *Berechnungen [...]*
- *Erläuterungsbericht“*

Die aufgeführten Wettbewerbsleistungen korrelieren mit den in Kapitel 1.1.4 beschriebenen Ausarbeitungen und Prüfungsleistungen der Studierenden im Rahmen von Entwurfsaufgaben. Auch hier wird ersichtlich, dass sich der Einfluss und die Integration der technischen Aspekte an vielen Stellen im Entwurfsergebnis widerspiegelt.

Erweitert man den Betrachtungszeitraum über die Planungsphase hinaus, hat beispielsweise auch das Nutzerverhalten großen Einfluss. Dies würde z. B. nach Abschluss einer Baumaßnahme in Leistungsphase 9 zum Tragen kommen, wenn die Übergabe an die Nutzer erfolgt. Einzelne Aspekte zum Nutzerverhalten finden allerdings auch bereits beim Entwurf im Rahmen der Steuerungs- und Regelungstechnik Berücksichtigung.

Im Folgenden sind die für eine Optimierung des sommerlichen Wärmeverhaltens entwurfsrelevanten Aspekte und ihr Einfluss auf den architektonischen Entwurf beschrieben (dargestellt in den Wettbewerbsleistungen). Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass jede Festlegung und Optimierung in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz Auswirkungen auf die Gestaltung und andere Nachhaltigkeitsaspekte mit sich bringt. Die Herausforderung besteht darin, eine gestalterische und bauliche Lösung zu finden, die allen Anforderungen ausgewogen gerecht wird. Die entwurfsrelevanten Aspekte sind im Folgenden beschrieben.

### **1.4.1 Wärmeeinträge reduzieren**

Wärmeeinträge ergeben sich infolge von Sonneneinstrahlung, hohen Außentemperaturen und internen Wärmequellen von Personen und Arbeitsmitteln.

Um das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden zu optimieren, ist es erforderlich diese Wärmeeinträge im Sommer bestmöglich zu reduzieren. Im Folgenden sind die relevanten Einflussgrößen und die daraus resultierenden Auswirkungen für den architektonischen Entwurf beschrieben.

#### **1.4.1.1 Größe, Ausrichtung und Anordnung der Fenster und Räume**

Je höher der Fensterflächenanteil desto höher ist die Sonneneinstrahlung in den Raum.

Die höchsten Strahlungseinträge gibt es hierbei, wenn die Sonneneinstrahlung mit einem Winkel von 90° auf die Glasfläche auftrifft. Hierdurch bedingt, ist im Sommer die Strahlungsbelastung im Osten und Westen am größten. Die Nordfassade ist ganzjährig der geringsten Belastung ausgesetzt. Zudem sind die Einträge höher, je mehr die Fenster (gegenüber der Vertikalen) geneigt sind. Bei Dachfenstern fällt die Sonneneinstrahlung teilweise senkrecht zur Verglasungsfläche in den Raum, was sich ungünstiger auswirkt.

Unter dem ausschließlichen Aspekt des sommerlichen Wärmeverhaltens wären von daher möglichst kleine, nach Norden ausgerichtete Fenster optimal.

Die Fenster erfüllen jedoch weitere Funktionen, die berücksichtigt werden müssen:

- Tageslichtversorgung und damit einhergehender visueller Komfort
- Herstellung von Sichtbezügen und damit einhergehende Kommunikationsförderung

In „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben“ [3] wird als Auslobungsanforderung für das „Kriterium 08 Raumklima“ empfohlen, dass der Gesamt-Glasflächenanteil der Außenwände 50 bis 60% nicht überschreiten sollte. Maßgeblich für die Beurteilung im Vorprüfbericht ist der Ost/West-Fensterflächenanteil, wobei im Beispiel unterschieden wird zwischen überwiegend N/S-Orientierung und geringem O/W-Fensterflächenanteil, einer überwiegend ungerichteten Orientierung mit einem mittleren O/W-Fensterflächenanteil und einer überwiegend O/W-Orientierung mit einem hohen O/W-Fensterflächenanteil.

Vorteilhaft bezüglich der Anordnung der Fenster ist in der Regel ein opaker Brüstungsbereich sowie eine möglichst gleichmäßige Verteilung der Fensterflächen im Raum, da hierdurch eine gute

Tageslichtversorgung und Sichtbezüge ermöglicht werden. Aufgrund der vielfältigen Funktionen der Fenster ist die Gestaltungsfreiheit und das Optimierungspotential durch Größe, Ausrichtung und Anordnung der Fenster im Allgemeinen und insbesondere im Bestand allerdings nur eingeschränkt vorhanden und sollte immer im Kontext der jeweiligen Entwurfsaufgabe und weiterer Aspekte betrachtet werden. In den Ansichten des Gebäudes z. B. im M1:200 werden der Anteil und die Anordnung der Fensterflächen ersichtlich und können im Zusammenhang mit dem Grundriss und der Nutzung der Räume bewertet werden.

#### **1.4.1.2 Transparente Bauteile (Fenstergläser und Sonnenschutz)**

Der Gesamtenergiedurchlassgrad einer Verglasung einschließlich des Sonnenschutzes beschreibt den Anteil der außen auf die Scheibe auftreffenden Solarstrahlung, der den Raum „wärmewirksam“ erreicht.

Je niedriger der Gesamtenergiedurchlassgrad ist, umso geringer ist der Wärmeeintrag in den Raum. Ein g-Wert von 0,60 bedeutet, dass 60 % der solaren Einstrahlung in den Raum gelangt. Der g-Wert eines Zwei-Scheiben-Wärmeschutzglases liegt üblicherweise bei ca. 0,60 und eines Drei-Scheiben-Wärmeschutzglases bei ca. 0,50. Sonnenschutzverglasungen können g-Werte unter 0,20 erreichen. In Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz ist ein niedriger g-Wert von Vorteil. Im Winter wirkt sich dagegen ein hoher g-Wert günstiger aus, da ein höherer Wärmeeintrag den Heizwärmebedarf reduziert. Von zentraler Bedeutung für die Raumlufttemperatur ist das Vorhandensein eines Sonnenschutzes. Abhängig von der Art und der Lage des Sonnenschutzes kann der Sonneneintrag hierdurch noch einmal um bis zu 75 % reduziert werden.

In „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben“ [3] wird als Auslobungsanforderung für das „Kriterium 08 Raumklima“ ein hocheffektiver Sonnenschutz genannt. Für die Beurteilung im Vorprüfbericht wird ein außenliegender Raffstore, eine außenliegende Fallarm-Markise und eine innenliegende Jalousie genannt. Hierbei wird berücksichtigt, dass ein außenliegender Sonnenschutz deutlich wirksamer ist als ein innenliegender. Maßgeblich für die Effizienz des Sonnenschutzes ist die Strahlungsdurchlässigkeit bzw. die Reflexionseigenschaften des Materials sowie die physikalische Anordnung. Zudem ist es von Vorteil, wenn ein Sonnenschutz flexibel ist und die Tageslichtversorgung sowie die Wärmeeinträge im Winter möglichst wenig einschränkt.

Die Wirksamkeit des Sonnenschutzes kann über den Abminderungsfaktor  $F_c$  gekennzeichnet werden. Durch die vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten des Sonnenschutzes ist er ein zentrales Element, um eine Überwärmung von Räumen und Gebäuden entgegenzuwirken. Der Einfluss auf die Tageslichtversorgung und die Sichtverbindungen lässt sich optimieren durch eine geeignete Regelungstechnik, Elemente zur Lichtlenkung sowie durch die Anordnung und Transparenz der einzelnen Elemente. Die Ausführung des Sonnenschutzes ist dabei immer auch ein gestalterisches Element, welches eine wichtige Rolle bei der Gestaltung von Fassaden spielt. Des Weiteren sollte während der Planung ggf. auch auf den Blendschutz geachtet werden. In den Ansichten z. B. im M1:200 wird die Ausführung des Sonnenschutzes für das gesamte Gebäude bereits zu einem großen Teil ersichtlich. In einem funktionalen Fassadenschnitt z. B. im M1:50 kann die Ausführung im Detail dargestellt werden. Grafisch nicht sichtbare Merkmale wie beispielsweise schaltbare Gläser oder die Regelungstechnik können ergänzend erläutert werden.

#### **1.4.1.3 Bauart / Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile**

Unter Wärmespeicherfähigkeit versteht man die Fähigkeit von Bauteilen oder Gebäuden, die Wärme der umliegenden Umgebung oder des Raumes aufzunehmen, zu speichern und bei Abkühlung der Umgebungsluft wieder abgeben zu können. In Abhängigkeit von der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit unterscheidet man beim sommerlichen Wärmeschutz drei Bauarten: leichte, mittlere und schwere Bauart. Eine schwere Bauart erzeugt gegenüber einer leichteren Bauart im Tagesverlauf geringere Schwankungen der Raumlufttemperatur. Zudem dauert es länger, bis sich das Gebäude bei einer Hitzewelle auf ein höheres Temperaturniveau eingeschwungen hat.

Für den sommerlichen Wärmeschutz ist die wirksame Wärmespeicherfähigkeit aller raumumschließenden Flächen relevant. Zu den wirksamen Schichten zählen in den Nachweisverfahren die von innen thermisch berührten Schichten der umgebenden Bauteile. Im vereinfachten Verfahren bis zu einer Gesamtdicke von 10 cm und bei innenliegenden Bauteilen max. die Hälfte der Bauteildicke. Dort dürfen Wärmedämmschichten nicht berücksichtigt werden, nur die raumseitig vor der Dämmung liegenden Schichten. Für eine effektivere Wirksamkeit einer Nachtlüftung ist eine hohe wirksame Wärmespeicherfähigkeit entscheidend.

In „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben“ [3] wird als Auslobungsanforderung für das „Kriterium 08 Raumklima“ sinnfällige Maßnahme zur Optimierung des Raumklimas in Bezug auf die Speicherfähigkeit der Bauteile genannt, ohne diesen Aspekt weiter auszuführen.

Im Zusammenhang mit einem funktionalen Fassadenschnitt z. B. im M1:50 können Konstruktion, Materialarten und -dicken von Fassade, Fußböden, Decken und Dach dargestellt werden und das Speichermassenkonzept (unter Einbeziehung weiterer raumabschließender Bauteile) erläutert werden. Aufgrund der vielfältigen Möglichkeiten bei der konstruktiven Ausbildung gibt es in der Regel gute Lösungen, die auch die Anforderungen in Bezug auf z. B. Wärmeschutz, Brandschutz, Schallschutz und Raumakustik mitberücksichtigen. Zu beachten ist hierbei auch das Zusammenspiel mit der Gebäudetechnik, wenn beispielsweise die Wärme- und Kälteübergabe in Form von Flächenheiz- und Kühlsystemen erfolgt oder für die Verlegung der Gebäudetechnik eine abgehängte Decke vorgesehen ist.

#### **1.4.1.4 Wärmeschutzniveau**

Ein guter Wärmeschutz kann im Sommer den Wärmeeintrag durch Transmission von außen ins Innere des Gebäudes reduzieren. Da damit einhergehend auch die nächtliche Auskühlung bei niedrigen Außentemperaturen durch Transmission von innen nach außen reduziert wird, gewinnt hierbei die Möglichkeit der Lüftung zu Zeiten mit niedrigeren Außentemperaturen an zusätzlicher Bedeutung.

Gegenüber den zuvor genannten Kriterien ist das Wärmeschutzniveau bei heutigem Dämmstandard jedoch von nachrangiger Bedeutung, da es bereits über die energetischen Anforderungen in für den sommerlichen Wärmeschutz ausreichendem Maße gewährleistet ist. Allerdings wirkt sich die gewählte Konstruktion zur Erfüllung der Anforderungen an den Wärmeschutz auf die zuvor beschriebene wirksame Wärmespeicherfähigkeit aus.

#### **1.4.1.5 Interne Wärmeeinträge reduzieren**

Neben den Einträgen aufgrund von solarer Einstrahlung und Transmission führen darüber hinaus noch die internen Wärmelasten zu einer Erhöhung der Raumtemperatur. Interne Wärmelasten ergeben sich abhängig von der jeweiligen Nutzung aufgrund von Personen und Arbeitsmitteln. Positiv beeinflussen lassen sich diese Wärmeeinträge durch die Verwendung moderner und energiesparender Geräte im Gebäude. Dabei ist die Auswahl der Geräte von Bedeutung, was allerdings beim architektonischen Entwurf eines Gebäudes noch kaum zum Tragen kommt und von daher an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt wird.

#### **1.4.2 Passive Kühlung über Nachtlüftung**

Durch optimiertes Lüftungsverhalten kann man einer Überhitzung der Räume im Sommer entgegenwirken. Während bei hohen Außenlufttemperaturen ein möglichst geringer Luftwechsel erfolgen sollte, kann ein hoher Luftwechsel zur Nachtzeit (niedrige Außenlufttemperaturen) eine nächtliche Abkühlung des Gebäudes bewirken, welches sich dann tagsüber langsam wieder erhitzt. Insbesondere eine hohe wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile kombiniert mit einem ausreichend hohen Luftwechsel während der kalten Nachtstunden wirkt sich positiv auf die Nachauskühlung aus. Tagsüber können die abgekühlten Speichermassen dann Wärme aus dem Raum aufnehmen, sodass der Temperaturanstieg begrenzt wird (vgl. auch Kriterium Bauart / Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile).

Im einfachsten Fall wird der Luftwechsel zum Beispiel über gekippte Oberlichter oder Fenster sichergestellt, wobei für eine natürliche Konvektion in der Regel ein Temperaturunterschied von ca. 7 K zwischen Raum- und Außenluft erreicht werden sollte. Alternativ kann die Nachtlüftung über eine mechanische Lüftungsanlage realisiert werden, wobei jedoch ein Temperaturunterschied von 5 K zwischen Raum- und Außenlufttemperatur nicht unterschritten werden sollte. Andernfalls steht dem aufgewendeten Ventilatorstrom ein zu geringer Kühleffekt gegenüber. Vgl. [4]

In „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben“ [3] werden als Auslobungsanforderung für das „Kriterium 08 Raumklima“ offenbare Fenster und die Möglichkeit zur Nachtauskühlung aufgeführt.

Etwas genauer betrachtet, ist im Stadium des architektonischen Entwurfs zu berücksichtigen, dass die Möglichkeit zur Nachtauskühlung durch ausreichend offenbare Fenster oder Außenluftdurchlässe (auch in der Nacht und unter Berücksichtigung des Einbruchschutzes) und Überströmöffnungen im Inneren des Gebäudes gegeben ist und/oder dass die baulichen Gegebenheiten den Einbau einer effizienten Lüftungsanlage ermöglichen. In Gebäudeansichten und Fassadenschnitt ist dies nur bedingt ersichtlich, weshalb eine Beschreibung des Lüftungskonzeptes erforderlich ist. Die Steuerung und Regelung sollte bereits mitgedacht und ebenfalls beschrieben werden, auch wenn die finalen Festlegungen diesbezüglich noch in einer späteren Leistungsphase möglich sind. Die Entscheidung für eine Lüftungsanlage ist hierbei nicht nur in Bezug auf das sommerliche Wärmeverhalten relevant, sondern auch in Hinblick auf die Luftqualität und die Energieeinsparung von Relevanz.

### 1.4.3 Effiziente Kühlsysteme

Effiziente Kühlsysteme kommen dann zum Tragen, wenn durch bauliche, passive Maßnahmen des sommerlichen Wärmeschutzes die thermische Behaglichkeit in Räumen nicht mehr sichergestellt werden kann.

Unterschiedliche Arten der Kühlung:

**Klimaanlagen:** Klimaanlagen können die vier Luftbehandlungsfunktionen Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten erfüllen. Werden nicht alle Funktionen abgedeckt, bezeichnet man diese auch als Teilklimaanlagen. Lüftungsanlagen sorgen üblicherweise nur für die erforderliche Lüfterneuerung, wobei auch eine Erwärmung der Außenluft integriert sein kann.

**Statische Kühlung:** Statische Kühlsysteme sind Wärmetauscher im Raum. Sie kühlen die Raumluft ab und nehmen die Wärmelasten des Raumes auf. Zur statischen Kühlung zählen beispielsweise Kühldecken oder auch die Bauteiltemperierung.

**VRF-Technologie (Variable Refrigerant Flow):** Die VRF-Technologie beschreibt ein System, bei dem das Kältemittel direkt in dünnen Rohren durch das Gebäude fließt und damit eine Direktverdampfung (kühlen) oder Direktkondensation (heizen) in den Räumen möglich ist. Der Kältemittelstrom ist dabei je nach Lastanforderung des Raumes variabel. Das System bietet sich insbesondere in Gebäuden an, in denen Räume sowohl geheizt als auch gekühlt werden müssen und somit ein Austausch der Wärmelasten zwischen diesen variabel stattfinden kann.

Bei der Wahl des Kühlsystems muss auch immer die Auswirkung auf den architektonischen Entwurf berücksichtigt werden, da die Systeme einen großen Einfluss auf das gestalterische Gesamtbild eines Gebäudes haben können. Sowohl das Bauvolumen und somit der Baukörper als auch die Innenräume werden von der Art der Kühlung beeinflusst. So benötigen Klimaanlagen mit Luftkühlung ausreichenden Platz für die technische Umsetzung und sind daher frühzeitig im Entwurf mit ihren hohen Flächenbedarfen zu berücksichtigen. Hierzu zählt auch die Integration der vertikalen und horizontalen Luftverteilsysteme. Ebenso wirken sich wasserbasierte Kühlsysteme im Innenraum auf das gestalterische Bild aus. So können statische Übergabesysteme wie z. B. Kühldecken, den oberen Abschluss eines Raumes dominant prägen und sind häufig auch im Zusammenhang mit dem geplanten Tragwerk oder der Beleuchtung zu denken. Gleichzeitig müssen die technischen Randbedingungen für den Einbau der Komponenten beachtet werden, damit für diese ein effizienter Betrieb gewährleistet ist. Es erfordert also ein hohes Maß an interdisziplinärem Verständnis zwischen verschiedensten TGA-Gewerken, dem Hochbauentwurf und dem Tragwerk, um Kühlsysteme mit guten gestalterischen Lösungen zu integrieren.

Die Wahl des Kühlsystems hat ebenfalls Auswirkungen auf den Energiebedarf eines Gebäudes, der sich wiederum auf die Gestaltung auswirken kann. Der benötigte Strom des Systems kann z. B. durch den Einsatz von regenerativen Energien wie Photovoltaik zum Teil selbst erzeugt werden. Diese hätten Einfluss auf die Dach- und Fassadengestaltung des Entwurfs. Die technische Gebäudeausrüstung sollte also immer auch als bewusstes Gestaltungspotenzial verstanden werden, um die Selbstverständlichkeit des architektonischen Gesamtbilds zu unterstützen und nicht zu stören.

Das Vorhandensein und die Art der Ausführung der technischen Komponenten sollten sich also im Entwurfsprozess bewusstgemacht werden und die sich daraus ergebenden gestaltungsprägenden Aspekte benannt werden. Durch Darstellung von Außen- und Innenansichten, aber auch durch technische Details und Fassaden-/ Raumschnitte kann dies verdeutlicht werden.

#### **1.4.4 Mikroklima**

Wesentlich für das Raumklima im Gebäude ist der Standort und die damit verbundenen mikroklimatischen Gegebenheiten. In der Planungspraxis gilt das Augenmerk häufig der Anpassung an eine bestimmte Nutzung und an das Stadtbild und seltener das Mikroklima. Diese sollte jedoch auch in der Planung mit einbezogen werden. Neben den klimatisch relevanten Faktoren kann das Mikroklima (insbesondere das Stadtklima) durch die Ausgestaltung des Gebäudes sowie der unmittelbaren Umgebung selbst positiv beeinflusst werden.

In diesem Zusammenhang können insbesondere folgende Aspekte innerhalb der Planung angesetzt werden:

- Begrünung von Dach und Fassade
- Verschattung durch Bäume
- Bauliche Verschattung
- Wasserflächen
- Änderungen der Albedo

Die Verwendung von reflektierenden Materialien ist eine Möglichkeit, um die Lufttemperatur in und um ein Gebäude herum zu reduzieren. Sowohl die Erhöhung der Albedo der Dachflächen als auch die Begrünung der Dächer kann zu einer Reduktion der in das Gebäude eindringenden Wärme führen. Bei einer dichten Bebauungsweise sind diese Maßnahmen besonders effektiv, denn somit ist der Flächenanteil der Dächer besonders groß. Je größer die flächenmäßige Nutzung dieser beiden Möglichkeiten angewendet wird, desto höher ist die Reduktion. Bauliche Verschattungen können z. B. mittels angelegter Innenhöfe realisiert werden. Der Innenhof ist der exponierte Innenraum, um den die Innenräume des Gebäudes allseitig umgeben sind.

In „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben“ [3] wird als Auslobungsanforderung für das „Kriterium 12 Flächenversiegelung“ als Auslobungsanforderung die Berücksichtigung von Dachbegrünung unter Beachtung der „Flächenkonkurrenz“ mit der erforderlichen Solartechnik (Kriterium 15) genannt sowie die Verwendung von Materialien für Dach und Fassade sowie Bodenbelägen im Außenbereich mit geringer solarer Absorption). Auch der geforderte möglichst geringe Flächenaufwand und Versiegelungsgrad durch bauliche Verdichtung, kompakte Erschließungs- und Parkflächen sowie geeignete Ausgleichsmaßnahmen bei der Freiflächengestaltung wirken sich positiv auf das Mikroklima aus.

Maßgeblich für die Beurteilung im Vorprüfbericht ist der Anteil der versiegelten Flächen in %, ob und welche Ausgleichsmaßnahmen vorgesehen sind und wie hoch die solare Absorption ist. Mit Bezug auf das Mikroklima ist die Verschattung durch Bepflanzung und bauliche Maßnahmen relevant. Darüber

hinaus ist sollte die Begrünung der Fassade noch Berücksichtigung finden als eine Möglichkeit, die zwar nicht oft ausgeführt wird, aber sehr gestaltprägend ist. Dach- und Fassadenbegrünung werden bei den Gebäudeansichten, in der Dachaufsicht und im Schnitt dargestellt. Maßnahmen im Außenbereich können anhand des Lageplans erläutert werden.

### 1.4.5 Anforderungen aus rechtlicher Sicht

Planungs- und baurechtliche Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden können fallspezifisch verschiedenen Regelwerken entspringen. Dabei ist insbesondere zu beachten, dass über die baurechtlichen Mindestanforderungen der DIN 4108-2 [5] hinausgehende Anforderungen ein höheres Schutzniveau fordern können. Dies kann beispielsweise in speziellen Bauwerken oder sensiblen Bauwerksabschnitten wie OP-Bereichen zum Tragen kommen. In Abbildung 2 werden die verschiedenen Ursprünge für Rechtsgrundlagen und sich daraus ggf. ergebende Anforderungsquellen exemplarisch gegenübergestellt.

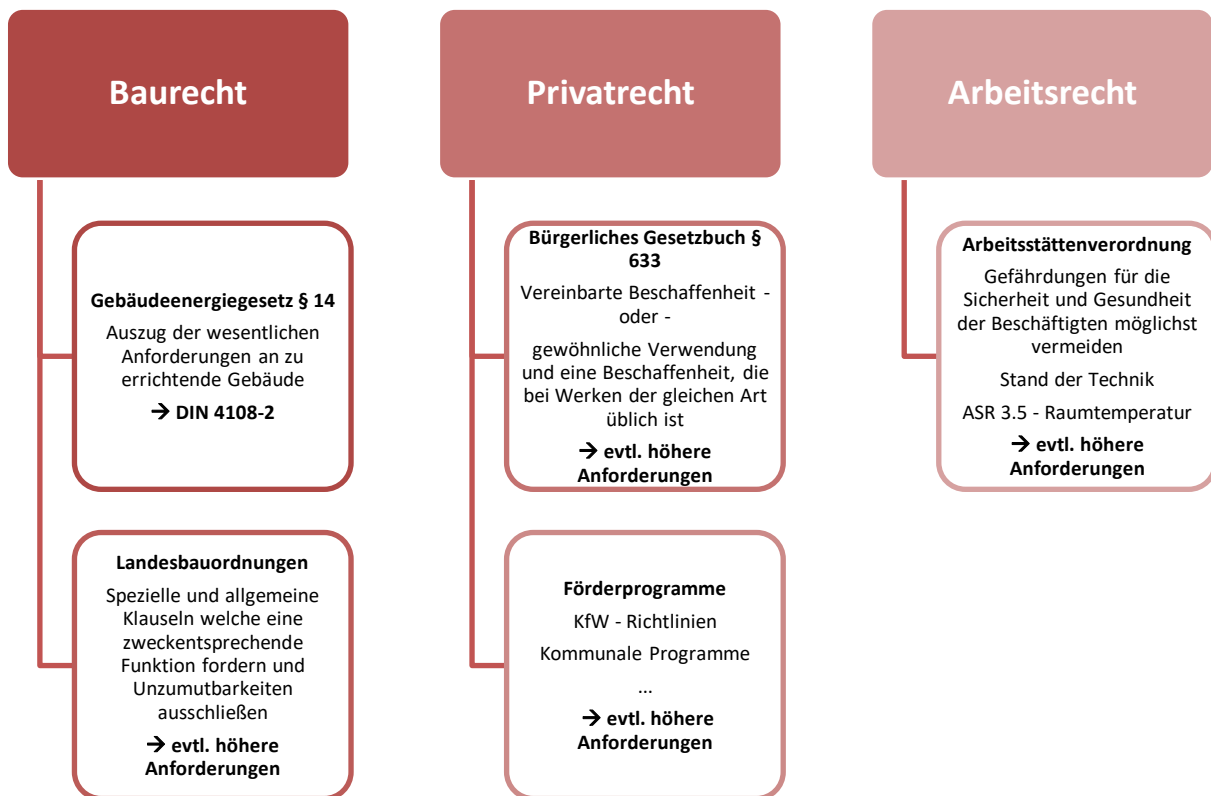


Abbildung 2: Rechtliche Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden; Universität Kassel, FG Bauphysik

Für die fachgerechte Planung und Ausführung der Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz tragen Architekten, Planer und Handwerker als interdisziplinäres Team gemeinsam die Verantwortung. Aufgrund der Komplexität des Themas werden über die Mindestanforderungen hinausgehende rechtliche Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz an dieser Stelle nicht vertieft. Es ist dennoch der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen, dass aus den genannten Regelwerken Auswirkungen auf die gestalterische Art und Weise von Gebäuden oder Gebäudeteilen entspringen können.



## 2 Evaluation und Überarbeitung vorhandener Lernelemente (AP2)

Die vorliegende Evaluation und Überarbeitung enthält eine themenspezifische Beschreibung der Lehr- und Lerninhalte zum Thema sommerlicher Wärmeschutz. Vor dem Hintergrund der Beeinflussbarkeit des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden aus Sicht des Architektur- und Ingenieurwesens wird die wissenschaftliche Expertise dargestellt. Neben Grundlagenkenntnissen sind moderne Forschungsansätze technischer-, rechtlicher-, gestalterischer- wie auch klimatologischer Art, insbesondere im Hinblick auf den Klimawandel enthalten. Vor diesem Hintergrund kann die dargestellte Expertise als interdisziplinärer Wissenschaftszweig verstanden werden, welcher anstrebt, gestalterische Aspekte der Baukunst mit planerisch funktionellen, innerhalb des sich wandelnden Klimas zu vereinen.

Die Gliederungsform orientiert sich nicht an bestehenden einschlägigen Lehrplänen, sondern entsprechend einer modularen Betrachtungsweise an der jeweiligen – teilweise auch interdisziplinären – Wissenschaft. Im Rahmen der Themenblöcke werden Elemente zusammengefasst, welche für das bauphysikalische und anlagentechnische Verständnis im Hinblick auf das sommerliche Wärmeverhalten von Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang sind einige Themen als im Allgemeinen verfügbar gekennzeichnet, dementsprechend wird ein vorhandenes Wissen vorausgesetzt.

Die jeweiligen Themenblöcke enthalten grundlegende Elemente in Form von Frontalunterricht. Innerhalb der jeweiligen Themenblöcke können Elemente in Form eines exemplarischen Unterrichts zur Steigerung des Erkenntnisgewinns enthalten sein (beispielsweise das Herumreichen von Baustoffproben). Ebenso können Elemente in Form des Projektunterrichts bzw. Freiarbeit behandelt werden. Desgleichen sind Experimente möglich. In diesem Zusammenhang erfolgt allerdings keine Aufteilung im Sinne einer Lehrplanung, die Darstellung soll vielmehr die individuelle Offenheit dieser kennzeichnen.

Kausale physikalisch-naturwissenschaftliche Beziehungen werden soweit möglich anhand einfach zu verstehender, praxisrelevanter Beispiele erklärt. Einheiten sind soweit möglich im internationalen Einheitensystem dargestellt.

### 2.1 Bauphysikalische Grundlagen – sommerliches Wärmeverhalten

Im Rahmen des Themenblocks bauphysikalische Grundlagen werden im Wesentlichen Definitionen zusammengefasst. Diese können als im Allgemeinen verfügbar vorausgesetzt werden. Einleitend wird eine Begriffserklärung des sommerlichen Wärmeschutzes (Hitzeschutzes) gegeben. Es sind Kenntnisse zu den Wärmetransportmechanismen, insbesondere der Wärmestrahlung (kurz- und langwellig) und deren strahlungsphysikalische Wirkungsweisen (Reflexion, Transmission und Absorption) enthalten. Die Definitionen enthalten außerdem Erklärungen zu den Begriffen:

- Kennwerte von Gläsern und Fenstern (U-Wert, g-Wert,  $\tau_{D65}$ , ...)
- Kennwerte von Verschattungs- und Sonnenschutzsystemen ( $g_{\text{tot}}$ -Wert,  $F_C$ -Wert, ...)
- Wärmespeicherkapazität und speicherwirksame Bauwerksmasse (Bauweise)

- Kennwerte von Wärmedämmungen und Bauteilkonstruktionen ( $\lambda$ -Wert, R-Wert, U-Wert)
- Luftwechselrate
- Lufttemperatur / operative Temperatur
- Rechtliche Grundlagen

Es werden die physikalischen Wirkprinzipien der einzelnen Kennwerte aufgezeigt und anhand von einfach zu verstehenden Beispielen erklärt. Darin ist auch die Berechnung von g-Werten für Verglasungen nach DIN EN 410 enthalten. Darüber hinaus sind Verweise zu anderen Fachgebieten und Wissenschaften enthalten, welche auch den Weg für eine autodidaktische, vertiefte Auseinandersetzung ebnen.

Die Studierenden werden insoweit mit der Thematik der dazugehörigen Hintergründe vertraut gemacht, wie es für Problemlösungen im Bereich des sommerlichen Wärmeschutzes nötig werden kann. Sie erlangen ein allgemeines Begriffs- und Themenverständnis, welches für die vertiefte Auseinandersetzung erforderlich ist.

## 2.2 Thermische Behaglichkeit und Komfort

Im Rahmen der Themenblöcke thermische Behaglichkeit und Komfort werden Grundlagen und Ansätze diskutiert, welche für die Bewertung des thermischen Komforts innerhalb von Gebäuden (insbesondere im Sommerfall) von Bedeutung sind. Die Themen können als im Allgemeinen verfügbar vorausgesetzt werden. Dabei werden raumklimatische Anforderungen im Sommer (Behaglichkeit, Erträglichkeit) aus den Blickwinkeln der Regelwerke ASR 3.5, DIN EN ISO 7730 und DIN EN 15251 betrachtet. Es werden das Erwartungsmodell und das Wärmebilanzmodell erläutert.

Die Erklärungen enthalten außerdem Definitionen der Begriffe:

- Bewertungen mittels PMV und PPD
- relative Luftfeuchte
- Luftbewegung / Turbulenzgrad
- Lufttemperatur / operative Temperatur (Wiederholung / andere Perspektive)

Neben den Definitionen umfassen die Lehrinhalte praxisrelevante Beispiele der Bewertung des thermischen Komforts unter Berücksichtigung des Klimawandels für verschiedene Nutzungsarten. Darüber hinaus werden organisatorische Maßnahmen, Verhaltensanpassung und Akzeptanz zum Schutz vor Hitze diskutiert.

Die Studierenden werden mit der Thematik insoweit vertraut gemacht, wie es die eigenständige Ermittlung des Komforts erfordert. Darüber hinaus wird ihnen ein Gefühl dafür vermittelt, etwaige Abweichungen in einem Soll-Ist-Vergleich eigenständig einschätzen zu können.

## 2.3 Umweltmeteorologie – Klimatologie

Unter diesem Themenblock werden umweltmeteorologische und klimatologische Grundlagen im Hinblick auf die Verwendung im Bereich bauphysikalischer Anwendungen dargestellt. Diese Definitionen können als im Allgemeinen verfügbar vorausgesetzt werden. Die Kenntnisse aus den interdisziplinären Wissenschaften Umweltmeteorologie und Klimatologie umfassen wesentliche Grundlagen des Strahlungs- und Temperaturhaushalts im Klimasystem der Erde (natürlicher Treibhauseffekt und anthropogener Treibhauseffekt und Klimawandel), welche für das Themenverständnis im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz von Bedeutung sind. Sie enthalten außerdem Erklärungen zu den Begriffen:

- Meteorologische Kenntage
- Klima
- Mikroklima
- Stadtklima (sommerliche Hauptwindrichtung)
- Testreferenzjahr (TRY)
- Sommerklimaregion

Die Definitionen der Begriffe orientieren sich soweit möglich an der Weltorganisation für Meteorologie und dem Deutschen Wetterdienst. Neben den Definitionen sind Beispiele ausgeführt, welche es den Studierenden ermöglichen, eigenständig einfache klimatologische Einschätzungen vornehmen zu können. Es wird die zeitliche Entwicklung der TRY und deren grundlegender Aufbau dargestellt. Die Betrachtung des Stadtklimaeffekts wird in diesem Zusammenhang intensiver behandelt. Es werden Messreihen, Klimaprognosemodelle, extreme Jahre und die Höhenabhängigkeit diskutiert und an Beispielen dargestellt. Es wird ein Ausblick hinsichtlich der Klimaerwärmung gegeben und die sich daraus ergebenden Schwierigkeiten bezüglich anzuwendender Klimadaten in der Neubaubewertung erörtert. Auswirkungen des Klimawandels werden teilweise plakativ dargestellt, um diese einem Lernpublikum, welches aus verschiedenen Fachrichtungen bestehen kann, näher bringen zu können. Dabei liegt der Fokus auf der Gebäudeüberhitzung und den sich daraus ergebenden Auswirkungen für Mensch und Umwelt. Vor diesem Hintergrund wird auch die Notwendigkeit zur Vermeidung von Kühlenergie thematisiert.

Die Studierenden werden insoweit mit der Thematik vertraut gemacht, wie es Anwendungen von einfachen (klimatischen) Bewertungen bis hin zu komplexen Simulationsrechnungen erforderlich machen können. Sie erlangen ein vertieftes Begriffs- und Themenverständnis, welches für spezielle Auseinandersetzungen mit darauf aufbauenden Thematiken erforderlich ist.

## 2.4 Sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden

Dieses Themengebiet umfasst die Beschreibung von Einflussgrößen auf das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden und Räumen. Die Themen können als im Allgemeinen verfügbar vorausgesetzt werden. Es werden die folgenden Einflussgrößen näher diskutiert:

- Fensterflächenanteil und Glasart
- Sonnenschutz und (bauliche-) Verschattungen
- Luftwechselrate, Lüftung, Nachtlüftung
- Nutzereinfluss
- Orientierung
- Bauart
- Instationäres Verhalten, Phasenverschiebung
- Wärmeschutzniveau
- Interne Wärmequellen
- PCM
- Gebäudebegrünungen
- Cool Colors

Unter Berücksichtigung der genannten Einflussgrößen wird das instationäre Wärmespeicherverhalten der Bauteile und Raumlufttemperaturen betrachtet und das Einschwingverhalten dargestellt. Die Darstellung des Einschwingverhaltens dient auch als eine erste Vorstellung des Themas dynamisch-thermische Gebäudesimulation. Außerdem umfasst das Themengebiet eine Beschreibung der Einflussgrößen unter dem Aspekt der Gebäudenutzung mit Unterscheidung zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden.

Den Studierenden wird die Simulation als Werkzeug nähergebracht, um verschiedene Einflüsse beurteilen zu können. Die Studierenden werden in die Lage versetzt, Einflüsse mit technischen Maßnahmen und Strategien manipulieren zu können. Die Erwartungen der Studierenden bezüglich der Rechenergebnisse werden mit den tatsächlichen Rechenergebnissen verglichen.

## **2.5 Nachhaltigkeitsanforderungen an Gebäude – Aspekte Klimaanpassung**

In diesem Themenblock werden vorentwurfsrelevante Nachhaltigkeitskriterien und damit verbundene Indikatoren behandelt sowie Möglichkeiten der Bewertung dargestellt. Die Klimaanpassung von Gebäuden ist hierbei ein Aspekt, der in verschiedenen Kriterien mit einfließt. Grundlage hierfür sind im Forschungsprojekt „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben“ [3] erarbeitete Empfehlungen. Folgende Themen spannen den Bogen der Nachhaltigkeitsbewertung auf und ermöglichen die Zuordnung der Aspekte der Klimaanpassung:

- Grundlagen der Bewertungssysteme Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude (BNB) und Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen (DGNB)
- Gestalterische Kriterien und vorentwurfsrelevante Nachhaltigkeitskriterien und Indikatoren

- Beispielhafte Wettbewerbsleistungen und Bewertung
- Betrachtung der Aspekte zur Optimierung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden und Identifikation des Einflusses bei der Nachhaltigkeitsbewertung

Die Studierenden erhalten hierdurch einen Überblick über die Nachhaltigkeitsanforderungen und deren Bewertung im Allgemeinen und die Relevanz des Aspektes der Klimaanpassung. Die darauf aufbauende inhaltliche Reflexion der einzelnen Aspekte versetzt sie in die Lage, diese bei den Architekturentwürfen entsprechend zu berücksichtigen und bei der gestalterischen Umsetzung einzubeziehen. Die einzelnen Aspekte der Klimaanpassung werden in unterschiedlichen Themenblöcken bereits thematisiert. Die übersichtliche Strukturierung und Zuordnung der wesentlichen Aspekte und Indikatoren zu vorentwurfsrelevanten Nachhaltigkeitskriterien wurde im Rahmen des Forschungsprojekts als Lehrunterlage ausgearbeitet (siehe auch 3.2.1).

## **2.6 Berechnungsverfahren zum sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden**

Das Themengebiet Berechnungsverfahren zum sommerlichen Wärmeschutz gliedert sich in vier aufeinander aufbauende Teile. Die ersten beiden Themenblöcke können als im Allgemeinen verfügbar vorausgesetzt werden. Die zwei letzten Themenblöcke sind bisher nicht bzw. nicht vollständig vorhanden.

### **2.6.1 Einleitung in Berechnungsverfahren und rechtliche Aspekte**

Mit dem einleitenden Themenblock werden die bauphysikalischen Methoden zur Berechnung und Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens vorgestellt. Ziel ist es, den sommerlichen Wärmeschutz aus planerischer Sicht mit Zahlenwerten zu quantifizieren. Zunächst wird ein Überblick über die einschlägigen Regelwerke gegeben. Dieser umfasst die Betrachtung der folgenden Regelwerke:

- Gebäudeenergiegesetz
- DIN 4108-2 (Übertemperaturgradstunden, ...)

Es werden die öffentlich-rechtlichen Anforderungen des sommerlichen Wärmeschutzes dargestellt. Im Weiteren werden die beiden Nachweisverfahren gemäß DIN 4108-2 (Verfahren Sonneneintragskennwerte und thermische Gebäudesimulation) beschrieben und hinsichtlich deren Anwendungsgebieten miteinander verglichen.

Die Studierenden bekommen einen Überblick über die öffentlich-rechtlichen Anforderungen und können die Anwendung des sinnvollerweise anzuwendenden Nachweisverfahrens gemäß DIN 4108-2 für die jeweilige Planungs- bzw. Nachweisaufgabe eigenständig einschätzen. Sie erlernen die Anwendung des Sonneneintragskennwerteverfahrens in diesem Zusammenhang als frühes Planungstool zur Abschätzung, ob Gebäude funktionieren können.

Ein weiterer Fokus liegt in diesem Zusammenhang auf einem Vergleich nachweisrelevanter, den kritischen Raum betreffender Parameter und deren praktischer Beeinflussbarkeit aus Sicht des

Nachweisführenden, um insbesondere im Bereich der Architekturplanung ein Gefühl für die Planungspraxis zu erhalten und das Erfordernis einer kommunikativen Fachplanung erkennbar zu machen.

### **2.6.2 Berechnungsverfahren Sonneneintragskennwerte**

Im Rahmen des Themenblocks Sonneneintragskennwerte wird das Rechenverfahren detailliert dargestellt und die einzelnen Kennwerte näher erläutert. Es wird auf die Einschränkungen hinsichtlich der Raumtiefe eingegangen. Dargestellte Erklärungen umfassen in diesem Zusammenhang die folgenden Begriffe und Kennwerte:

- Sonneneintragskennwerte (vorhandener-, zulässiger-,  $S_x$ )
- Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil
- Kennwerte von Gläsern und Fenstern (U-Wert, g-Wert,  $\tau_{D65}$ , ...) (Wiederholung / andere Perspektive)
- Kennwerte von Verschattungs- und Sonnenschutzsystemen ( $g_{tot}$ -Wert,  $F_C$ -Wert, ...) (Wiederholung / andere Perspektive)
- Wärmespeicherkapazität und speicherwirksame Bauwerksmasse (Bauweise) (Wiederholung / andere Perspektive)

Die Anwendung des Rechenverfahrens wird den Studierenden anhand von Beispielen aus der Praxis nähergebracht. Dabei werden verschiedene Nutzungs- und Anwendungsfälle betrachtet und hinsichtlich deren Beeinflussbarkeit mit den verschiedenen Sonneneintragskennwerten  $S_x$  miteinander verglichen.

Die Studierenden sind in der Lage, einfache Abschätzungsaufgaben und Nachweise innerhalb der Grenzen des Berechnungsverfahrens Sonneneintragskennwerte eigenständig durchführen zu können.

### **2.6.3 Berechnungsverfahren dynamisch-thermische Gebäudesimulation I**

Im Rahmen des Themenblocks Berechnungsverfahren dynamisch-thermische Gebäudesimulation I wird das Rechenverfahren detailliert dargestellt. Dargestellte Erklärungen umfassen in diesem Zusammenhang die folgenden Begriffe:

- Dynamisch-thermisch
- Stationär, quasistationär, instationär
- Rechenmodell
- Validierung
- Modellierung (Raum- bzw. Gebäudemodelle)
- Automatische Sonnenschutzsteuerung

Es wird den Studierenden anhand einfach zu verstehender Raum- bzw. Gebäudemodelle die Simulation zur Einschätzung sommerlicher Übertemperaturen nähergebracht. Dabei werden die Simulationsrandbedingungen der DIN 4108-2 angewendet und hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Rechenergebnisse miteinander verglichen.

Die Studierenden sind mit über die Grundlagen hinausgehenden theoretischen Hintergründen vertraut und darauf aufbauend in der Lage, einfache Raummodelle innerhalb der Nachweisgrenzen der DIN 4108-2 eigenständig berechnen zu können.

#### **2.6.4 Berechnungsverfahren dynamisch-thermische Gebäudesimulation II**

Im Rahmen des Themenblocks Berechnungsverfahren dynamisch-thermische Gebäudesimulation II wird das Rechenverfahren anhand eines ausgewählten Softwareprogramms praktisch angewendet. Die Rechenbeispiele umfassen neben normativen Mindestanforderungen auch darüberhinausgehende Komfortansprüche. Es werden über die Mindestanforderung hinausgehende ortsabhängige Klimarandbedingungen behandelt.

Die Durchführung des Themenblocks Berechnungsverfahren dynamisch-thermische Gebäudesimulation II erfordert den praktischen Einsatz von Computern.

Die Studierenden sind mit vertieften Hintergründen vertraut und erlangen praktische Kenntnisse. Sie sind in der Lage, komplexere Fragestellungen an den thermischen Komfort mittels selbst erstellter Raummodelle eigenständig zu beantworten.

### **2.7 Tageslichtversorgung von Gebäuden**

Der Themenblock Tageslichtversorgung von Gebäuden umfasst die Beschreibung tageslichttechnischer Kenngrößen insbesondere im Kontext mit dem sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden und Räumen und der bio-, psycho- und physiologischen Wirkungen von Tageslicht auf den Menschen. Die Inhalte der Thematik können als teilweise verfügbar angesehen werden.

Zunächst werden die einzelnen Kennwerte, welche zur Charakterisierung der Tageslichtversorgung herangezogen werden, näher beschrieben. Dazugehörige Definitionen umfassen Erklärungen zu den folgenden Begriffen:

- Lichtstrom
- Lichtstärke
- Leuchtdichte
- Beleuchtungsstärke (draußen, drinnen)
- Tageslichtquotient (ggf. auch Anwendung von Software)
- Sichtverbindung
- Tageslichtversorgte Bereiche (30 °-Regel)

Es werden Anforderungswerte dargestellt und Verfahren gezeigt, welche die Bewertung von Tageslicht in Gebäuden ermöglichen. Weiter werden Aspekte aufgezeigt, welche eine komfortable Tageslichtversorgung innerhalb von Räumen kennzeichnen. In diesem Zusammenhang wird der Sonnenlauf durch die Uhr- und Jahreszeiten näher erläutert und sich daraus ergebende Verschattungen diskutiert. Außerdem werden Möglichkeiten zur Beeinflussung der Tageslichtversorgung mittels Tageslichtstreuung, -lenkung und -transport dargestellt.

Die Studierenden sind in der Lage, einfache Tageslichtbewertungen innerhalb von Räumen selbst vornehmen zu können. Darüber hinaus wird den Studierenden ein Gefühl dafür vermittelt, welchen Stellenwert eine ausreichende Tageslichtversorgung hat und welche Probleme sich in der Planungspraxis bezüglich sommerlicher Übertemperaturen ergeben können, wenn die Fachplanung hinsichtlich der Antikorrelation zwischen Tageslicht und Sonnenschutz fehlerhaft ist.

## 2.8 Gebäudekühlung

Das Themengebiet Gebäudekühlung umfasst die Beschreibung von Methoden zur aktiven und passiven Kühlung von Gebäuden und Räumen. Die Themen können als im Allgemeinen verfügbar vorausgesetzt werden. Es werden die folgenden Themen näher behandelt:

- Überblick Einflussfaktoren Energiebedarf Kälte
- Komfort – normative Anforderungen Raumklima
- Reduktion des Nutzkältebedarfs
- Freie Kühlung (direkt und indirekt)
- Passive Kühlung
- Aktive Kühlung
- Solare Kühlung
- Mechanische Kühlung (Übergabesysteme und Kälteerzeuger)
- Konventionelle, adiabate und sorptionsgestützte Kühlung
- DIN V 18599 Wärmequellen und Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs Kühlung
- Regelungsstrategien bei variablem Volumenstrom
- Anforderungen an Raumtemperaturen nach DIN EN 16798
- Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen nach VDI 2078

Besonders im Bereich der Kühlung existieren verschiedene Methoden, um die Raumtemperatur zu senken. Es werden Anforderungswerte dargestellt und bauliche und anlagentechnische Konzepte gezeigt, welche die Bewertung des sommerlichen Wärmeverhaltens eines Gebäudes ermöglichen.



Normen und themenspezifische Einflussfaktoren auf die Gebäudekühlung werden schematisch dargestellt. In diesem Zusammenhang werden sowohl konventionelle als auch innovative Konzepte der Gebäudekühlung diskutiert.

Die Studierenden sind in der Lage, einfache bauliche und anlagentechnische Konzepte von Gebäuden und Räumen zu verstehen und werden mit den Grundlagen insoweit vertraut gemacht, wie es für Problemlösungen im Bereich des sommerlichen Wärmeverhaltens nötig werden kann. Darüber hinaus wird den Studierenden ein Gefühl dafür vermittelt, welchen Stellenwert die Gebäudekühlung in Bezug auf ihre Entwurfsstrategien hat und welche Probleme sich in der Planungspraxis bezüglich sommerlicher Übertemperaturen ergeben können. Sie erlangen ein allgemeines Begriffs- und Themenverständnis, welches für eine vertiefende Auseinandersetzung erforderlich ist.

## 2.9 Messverfahren – Messgeräte

Das Themengebiet Messverfahren und Messgeräte umfasst die Beschreibung von Messverfahren und Messgärten zur Analyse von Gebäuden, Räumen und deren bauphysikalischen und klimatischen Eigenschaften. Ebenso beschreibt es die Untersuchung und Interpretation von Messdaten aus gebäudetechnischen Anlagen. Die Themen können als im Allgemeinen verfügbar vorausgesetzt werden, erfordern jedoch einen hohen Grad an eigenständiger studentischer Interpretation und Bewertung von Datensätzen. Es werden die folgenden Themen vorgestellt.

- Erstellen von Messkonzepten bestehend aus Messziel, benötigter Messtechnik und -daten sowie der geplanten Auswertemethodik
- Messung von Größen wie Luft-, Oberflächen- und Globaltemperatur, Raumfeuchte, Solarstrahlung, Strömungsgeschwindigkeit, Luftvolumenstrom, Wärmemengen, elektrische Leistung, Behaglichkeitsmessungen, ...
- Auswerten von Messdaten
- Interpretation von Messdaten und des Messfehlers
- Diskussion der Differenzen zwischen messtechnischen und rechnerischen Analysen
- Erarbeitung von Optimierungsstrategien aus den Messdaten
- Variantenanalysen

Die Studierenden erwerben Kenntnisse und Kompetenzen in den Bereichen der interdisziplinären Beurteilung von Gebäuden aus der Sicht verschiedener Gewerke und lernen die wesentlichen Einflussfaktoren anhand von Messdaten und Messungen kennen. Sie können grundlegende Messdaten in einfache Berechnungsprogramme zur Simulation einpflegen und Bilanzierung und mit diesen punktuell den Einfluss unterschiedlicher Parameter auf das sommerliche Wärmeverhalten quantitativ bewerten. Die Studierenden sind in der Lage, Konzepte und individuelle Optimierungsvorschläge anhand der genutzten Messverfahren und der betrachteten Messungen zu erarbeiten.

Sie erlangen ein allgemeines Begriffs- und Themenverständnis, welches für eine vertiefende Auseinandersetzung erforderlich ist.

## 2.10 Laborversuche und Messungen

Neben den Themenblöcken, die Elemente in Form von Frontalunterricht enthalten, werden hier Inhalte vermittelt, indem Studierende nach Anleitung eigenständig Laborversuche und Messungen durchführen sowie die gewonnenen Messdaten bearbeiten, dokumentieren und interpretieren.

In diesem Zusammenhang werden folgende Begriffe und Themen erörtert und Kenntnisse vermittelt:

- Behaglichkeit und Raumluftqualität
- Feuchte- und Wärmetransport
- Luftvolumenstrom und Luftwechselrate
- Einflussgrößen der Fensterlüftung
- Temperatur- und Tracergas-Messverfahren
- Raumluftströmungen
- Analyse von Messreihen
- Auswertung von Messdaten mit Tabellenkalkulations-Software
- Aufbereitung von Messergebnissen zur Visualisierung in Diagrammen

Um eine Abkühlung des Gebäudes bei hochsommerlichen Tagestemperaturen zu erreichen, hat sich die Nachtlüftung bisher gut bewährt. Da in Mitteleuropa die Nachttemperaturen überwiegend unter der oberen Behaglichkeitsgrenze liegen, kann die Nachtluft als Wärmesenke über manuell bediente oder motorisch betriebene Fenster genutzt werden. Diese Art der natürlichen Lüftung über Öffnungen in der Gebäudefassade wird von den Studierenden näher untersucht. Hierbei werden Einflussgrößen der natürlichen Lüftung angesprochen und Zusammenhänge anhand von Messungen erarbeitet.

Eine messtechnische Erfassung der zu- und abgeführten Luft eines Raumes ist bei natürlicher Lüftung wegen der komplexen Geometrie der Öffnungen sehr aufwendig. Daher bedient man sich einer indirekten Messmethodik, indem eine messtechnisch gut erfassbare Größe - ein Spurengas - in den zu betrachtenden Raum eingebracht wird. Der Zusammenhang zwischen der Konzentration des Spurengases und dem Luftwechsel mit der Umgebung ist mathematisch beschreibbar. Mit der aufgezeichneten Änderung der Spurengaskonzentration im Messraum können Zuluftvolumenstrom und somit Luftwechsel berechnet werden. Mit dieser Messmethode (Tracergas-Methode) lässt sich der natürliche Luftwechsel eines Gebäudes einfach bestimmen.

Bei den praktischen Spurengasmessungen unter Laborbedingungen wird der Luftaustausch eines Modellraumes mit seiner Umgebung quantifiziert. Der Einfluss folgender Parameter wird anhand mehrerer Messungen untersucht:

- Öffnungsgröße
- Geometrie der Öffnung
- Temperaturdifferenz

## 2.11 Rechtliche Aspekte

Im Rahmen des Themenblocks rechtliche Aspekte werden verschiedene baurechtliche Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden dargestellt und diskutiert. Dabei wird zwischen Mindestanforderungen und Planungsanforderungen unterschieden. Im Zuge der Bearbeitung rechtlicher Aspekte werden die folgenden Begriffe näher diskutiert:

- Baurecht und Gebäudeenergiegesetz
- Privatrecht und Bürgerliches Gesetzbuch
- Arbeitsrecht und Arbeitsstättenverordnung

Die Studierenden bekommen einen Überblick über gängige und wichtige Regelwerke zum sommerlichen Wärmeschutz. Sie können zwischen rechtlichen Mindest- und Planungsanforderungen unterscheiden. Darüber hinaus wird den Studierenden ein Gefühl dafür vermittelt, welchen Stellenwert eine frühzeitige, über Mindestanforderungen hinausgehende Planung des sommerlichen Wärmeschutzes hat bzw. fallspezifisch haben kann.

## 2.12 Gestalterische Aspekte

Im Themenblock gestalterische Aspekte geht es um die gestalterische Auseinandersetzung mit Energiedesign im Allgemeinen und um den sommerlichen Wärmeschutz im Besonderen. Dabei ist es das Ziel, die bauphysikalisch-technischen Notwendigkeiten mit einem gestalterischen Mehrwert zu einem schlüssigen Gesamtkonzept zu verbinden. Dies beinhaltet neben einer effektiven Planung des Sonnenschutzes und einer ausreichenden Dimensionierung der Lüftungsanlage auch einen Blick für das „höhere Ziel“, nämlich den Herausforderungen im Zusammenhang mit dem globalen Klimawandel zu begegnen und gleichsam wirksame wie gestalterisch anspruchsvolle architektonische Antworten zu formulieren. Daraus resultieren mitunter simple, teils auch komplexe Entwurfskonzepte, wie solche, die urbane Mikroklima, Niedrigenergiekonzepte oder Haus-im-Haus Prinzipien integrieren. Ziel ist die Vertiefung von Entwurfskompetenz, d. h. der Fähigkeit, räumlich-gestalterische Entwürfe wissenschaftlich und künstlerisch weitgehend selbstständig zu entwickeln und dabei den Fokus auf die verstärkte Integration von Parametern der Nachhaltigkeit in den Entwurfsprozess zu richten.

### **3 Entwicklung von Lerntools zum sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden (AP 3)**

Die Lehre an der Universität Kassel hat neben einer Wissensvermittlung das Ziel einer Studierendenorientierung. Dies bedeutet, dass auch das selbstständige Lernen der Studierenden ermöglicht und unterstützt werden soll. Erreicht wird dies durch die folgenden didaktischen Elemente, die im Rahmen von Projektstudien und Lehrveranstaltungen eingesetzt werden:

- Lernanlässe und Lernanreize schaffen
- Dialoge führen und Neugelerntes erproben
- Rückmeldungen zu Lernfortschritten geben
- Betreuung bei der Aufgabenerfüllung anbieten

Die Entwicklung von Lerntools unterstützt dieses Ziel, indem damit ein Instrumentarium entsteht, welches wiederkehrend in der Lehre eingesetzt werden kann.

#### **3.1 Entwicklung einer Fragensammlung**

Um die Vermittlung und das Aneignen erforderlicher Fachkenntnisse zu unterstützen, wird eine Fragensammlung einschließlich zugehöriger Lösungen entwickelt.

Inhaltlich beziehen sich die Fragen auf die in Kapitel 1.4 beschriebenen Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes bei Architekturentwürfen und sind folgenden Themenbereichen zugeordnet:

- Grundlagen
- Transparente Bauteile
- Wärmespeicherung, Phasenwechsel
- Lüftung, Nachtlüftung, passive Kühlung
- Kältetechnik
- Tageslichtnutzung
- Nachweisverfahren

Die Umsetzung erfolgt mithilfe der Lernplattform Moodle, über die die Studierenden auf die Fragensammlung in Form von zusammengestellten Tests zugreifen können. Dabei kommen unterschiedliche Fragenformate zum Einsatz.

Die Fragensammlung kann als Übung zur Vertiefung der Lehrinhalte genutzt werden, mit der das Neugelernte erprobt wird und das Verständnis der Thematik überprüft werden kann. Bauen Veranstaltungen auf zuvor erworbene Grundkenntnisse auf, kann die Fragensammlung genutzt werden, diese Grundkenntnisse individuell und bedarfsgerecht für die Auffrischung der Grundkenntnisse zu nutzen. Möglich wäre auch der Einsatz im Rahmen der Prüfungsvorbereitung oder im Rahmen von Prüfungen.

Im Anhang sind die Fragen sowie die zugehörigen Lösungen zusammengestellt. In einer Word-Datei können zudem die Auswahloptionen dargestellt werden. Der volle Funktionsumfang des Lerntools kommt jedoch nur beim Einsatz auf der Lernplattform Moodle zum Tragen.

### 3.1.1 Moodle

Modulare objektorientierte dynamische Lernumgebung (Moodle) ist eine Lernplattform. Sie ist frei zugänglich, weist einen hohen Verbreitungsgrad bei Unternehmen, öffentlichen Bildungseinrichtungen sowie privaten Bildungsträgern auf und wird auch an der Universität Kassel in der Lehre genutzt. In virtuellen Kursräumen können Arbeitsmaterialien und Lernaktivitäten zusammengestellt und geteilt werden. Eine bestimmte Form der Lernaktivität bilden die sogenannten Tests ab, innerhalb derer das Wissen der Teilnehmenden abgefragt bzw. überprüft werden kann.

Zum Generieren dieser Tests werden alle Fragen in die Software eingegeben. Moodle bietet hierfür die Möglichkeit, unterschiedliche Fragetypen zu erstellen, sodass in Bezug auf das Fragenformat keine Einschränkungen existieren. Die Fragen werden in der Fragensammlung eines Kurses gespeichert und können in entsprechende Tests geladen werden.

Für die Tests existieren unterschiedliche Einstellungsmöglichkeiten. Werden diese als begleitende Übungen zur Lehrveranstaltung und zur Entwurfsaufgabe genutzt, sollte jeder maximal 20 Aufgaben enthalten, um die Motivation bei der Bearbeitung nicht zu reduzieren. Nach Beantwortung aller Fragen und dem Abschluss (Abgabe) des Tests erhalten die Studierenden ein Feedback zur Richtigkeit ihrer Antworten. Anschließend ist eine erneute Bearbeitung möglich. Die Studierenden haben hierfür eine unbegrenzte Anzahl an Versuchen. Für die Tests wurden weiterhin folgende Merkmale festgelegt:

- Es existiert keine zeitliche Begrenzung für die Bearbeitung.
- Das Navigieren zwischen den Fragen ist möglich, sodass die Studierenden die Möglichkeit haben, Fragen zu überspringen.
- Nach Abgabe des Tests sind Fragen und Antworten in einer Zusammenfassung mit der richtigen Lösung einsehbar.
- Die Reihenfolge der Antwortmöglichkeiten innerhalb einer Frage ist in der Regel zufällig und variiert bei jedem Testversuch.

Durch die Nutzung der Software Moodle ergeben sich zudem folgende Vorteile:

- Die Abbildung des Fragenpools kann auch bei einer hohen Anzahl an Fragen übersichtlich gestaltet sein, die Möglichkeit der inhaltlichen Strukturierung besteht.
- Die Fragen können den Studierenden inhaltlich und zeitlich passgenau z. B. in Form von Übungen flexibel zur Verfügung gestellt werden können.
- Die Studierenden können ein Feedback in Bezug auf die korrekte Beantwortung der Übungsfragen erhalten.
- Zum Zwecke der Qualitätssicherung kann die Auswertung der Beantwortung der Fragen automatisiert erfolgen.

### 3.1.2 Fragenformate

#### 3.1.2.1 Antwort-Wahl-Format

Zum Antwort-Wahl-Format zählen eine Vielzahl von unterschiedlichen Aufgabentypen, die je nach Fragestellung Anwendung finden können. Im Fragenpool wurden überwiegend folgende Aufgabentypen verwendet:

- **Single-Choice-Fragen:** Es ist die eine richtige Antwort aus einer vordefinierten Liste auszuwählen.
- **Multiple-Choice-Fragen:** Es sind mehrere richtige Antworten aus einer vordefinierten Liste auszuwählen.
- **Zuordnungsfragen:** Die Antwort auf jede Fragestellung muss aus einer Liste von Möglichkeiten ausgewählt werden.
- **Lückentextfragen:** Fehlende Wörter im Fragetext werden aus einer Liste von Möglichkeiten ausgewählt.

Die folgende Abbildung 3 zeigt eine Frage im Antwort-Wahl-Format.

***Sommerlicher Wärmeschutz - Nachweis durch Simulationsrechnung***

*Welche Größe ist beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes durch Simulationsrechnung die Anforderungsgröße?*

*Wählen Sie eine Antwort:*

- Innenraumtemperatur*
- Zulässiger Sonneneintragskennwert*
- Übertemperaturgradstunden*
- Überschreitungshäufigkeit*

Abbildung 3: Beispiel für Aufgabe im Antwort-Wahl-Format (Single-Choice)

Während die Frage in Abbildung 3 insbesondere dazu dient, das Fachwissen zu prüfen und damit zu festigen, wurden darüber hinaus auch Aufgaben entwickelt, die das Bewusstsein für Sachverhalte und Zusammenhänge schärfen (vgl. Abbildung 4). Aufgrund des sehr leichten Schwierigkeitsgrades eignet sich diese Frage allerdings nicht so gut für die Verwendung in einer Prüfung.

### **Sommerlicher Wärmeschutz – Einflussgrößen**

Welche der unten aufgeführten Einflussgrößen auf das sommerliche Wärmeverhalten von Wohngebäuden können durch den Planer maßgeblich beeinflusst werden?

- Dämmniveau
- Interne Wärmequellen
- Klimaregion
- Lüftung
- Nutzung
- Fensterflächenanteil
- Bauart

Abbildung 4: Beispiel für eine Übungsfrage mit didaktischem Schwerpunkt

Werden die Fragen im Rahmen von Prüfungen genutzt, kommen beim Antwort-Wahl-Format folgende Vorteile zum Tragen:

- Es existiert bei der Bewertung kein Interpretationsspielraum, der von verschiedenen Prüfern unterschiedlich ausgelegt werden kann.
- Der Korrekturaufwand wird reduziert.
- Die Qualitätssicherung der Klausuren/Prüfungsfragen kann durch statistische Auswertungsmethoden (automatisiert) durchgeführt werden.
- Langfristig besteht die Möglichkeit, die Prüfung auch online (in Form von E-Klausuren) durchzuführen, geschlossene Frageformate begünstigen dabei die automatisierte Auswertung der Klausuren.

Demgegenüber steht allerdings zusätzlich zur Ratewahrscheinlichkeit der Nachteil, dass durch die vorgegebenen Antwort-Optionen über reines Fachwissen hinausgehende Fähigkeiten, wie z. B. komplexe Zusammenhänge fachlich richtig und gut nachvollziehbar zu erläutern, nicht angemessen geprüft werden können.

#### **3.1.2.2 Rechenaufgaben**

Neben den Fragen im Antwort-Wahl-Format (geschlossenes Format) beinhaltet der Fragenpool auch **Rechenaufgaben**. Diese stellen in Bezug auf das Fragenformat eine Besonderheit dar, da es sich dabei um sogenannte „offene Aufgaben“ handelt, d. h. es werden keine vordefinierten Antwortoptionen zur Auswahl gestellt, wodurch die Ratewahrscheinlichkeit bei diesen Fragen auf 0 % sinkt (siehe Abbildung 5). Zudem bieten Rechenaufgaben ein hohes Maß an Flexibilität, da sie durch Variation der Ausgangsparameter / Randbedingungen ohne großen Aufwand angepasst werden können. Für die Verwendung als Prüfungsfragen ist dies von Vorteil. Der Korrekturaufwand bei der Verwendung als Prüfungsaufgaben ist gegenüber den Fragen im Antwort-Wahl-Format nicht wesentlich erhöht, da das Aufzeigen des Rechenwegs mit Lösung nur einen begrenzten Interpretationsspielraum zulässt und somit auch die Objektivität / Transparenz der Bewertung gewährleistet ist.

### **Berechnung Wärmeeintrag Solarstrahlung**

*Auf der Außenseite einer 1-Scheiben-Verglasung trifft Solarstrahlung mit einer Intensität von 680 W/m<sup>2</sup> auf. Der Absorptionsgrad der Verglasung beträgt 25 % und der Reflexionsgrad 10 %. Wie groß ist die Intensität der im Innenraum ankommenden Strahlung infolge Transmission, wenn die sekundäre Wärmeabgabe aufgrund einer Erwärmung der Scheibe vernachlässigt wird?*

Abbildung 5: Beispiel für Aufgabe im offenen Format (Rechenaufgabe)

### **3.1.3 Einsatzmöglichkeiten**

Wie bei der Erläuterung der Fragenformate bereits beschrieben, kann die Fragensammlung sowohl als Übung zur Vertiefung von Lehrinhalten oder für die gezielte Prüfungsvorbereitung genutzt werden als auch für die Prüfungen. Abhängig von der vorgesehenen Nutzung können die im Rahmen des Projektes SommerWende entwickelten Fragen und Übungen entsprechend angepasst oder auch erweitert bzw. weiterentwickelt werden.

#### **3.1.3.1 Einsatz als Übung zur Vertiefung von Lern- und Lehrinhalten**

Sollen die Fragen zur Vertiefung von Lern- und Lehrinhalten genutzt werden, sind die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- Die **Zusammenstellung von Aufgaben in Tests** sollte inhaltlich gut strukturiert und in angemessenem Umfang erfolgen. Wir haben uns für eine Anzahl von maximal 20 Fragen pro Test entschieden.
- Folgende **Einstellungen** ermöglichen ein selbstbestimmtes Üben der Studierenden: Keine zeitliche Begrenzung der Tests, Feedback nach jeder Antwort oder nach Abgabe des gesamten Tests, beliebige Wiederholungsmöglichkeit des Tests bei variierender Reihenfolge der Antwortoptionen.

#### **3.1.3.2 Einsatz ausgewählter Fragen im Rahmen von Prüfungen**

Sollen die Fragen im Rahmen von Prüfungen genutzt werden, sind die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

- **Aufgabenschwierigkeit:** Die Aufgabenschwierigkeit ist ein Kriterium zur Qualitätssicherung einer Aufgabe und kann erst nach der Evaluation der Prüfungsergebnisse (mehrerer Prüfungen) durch statistische Erhebungen bestimmt werden. Innerhalb einer Klausur sollte nur ein geringer Anteil der Aufgaben „sehr leichte“ oder „sehr schwere“ Fragestellungen beinhalten.
- **Ratewahrscheinlichkeit:** Für Aufgabenstellungen im Antwort-Wahl-Format ist eine möglichst geringe Ratewahrscheinlichkeit anzustreben. Allerdings sind Fragestellungen mit wenigen aber plausiblen Antwortoptionen sinnvoller als Fragen mit Antwortoptionen, bei denen durch das Ausschlussverfahren die richtige Antwort „erraten“ werden kann. Eine Fragestellung mit einer statistischen Ratewahrscheinlichkeit von 33 % (drei Antwortoptionen) kann eine höhere Qualität aufweisen als eine Frage mit zehn Antwortoptionen, von denen ohne Kenntnisse der abzurufenden Inhalte durch Ausschluss neun falsche Antworten identifiziert werden können.



- **Bearbeitung der Aufgabe:** Die Aufgabenstellung muss klare Formulierungen beinhalten und darf in sich nicht zu lang sein.

## **3.2 Vorlesungen / Seminare / Übungen**

### **3.2.1 Lehrunterlage zum Thema Nachhaltigkeitsanforderungen Aspekte Klimaanpassung**

Für die strukturierte und übersichtliche Darstellung vorentwurfsrelevanter Aspekte im Rahmen von Nachhaltigkeitsanforderungen an Gebäude wurde eine Präsentation mit Erläuterungstexten erstellt. Diese kann in Lehrveranstaltungen eingesetzt werden, um darauf aufbauend Entwürfe der Studierenden zu reflektieren und hinsichtlich des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden zu optimieren.

Die Präsentation kann als Impulsvortrag genutzt werden oder als Grundlage für die Diskussion der Umsetzung der jeweiligen einzelnen Aspekte in den unterschiedlichen Entwürfen. Eine gezielte Vertiefung einzelner Aspekte beispielsweise im Rahmen von Referaten kann für die weitere Ausarbeitung sinnvoll sein, ebenso die Anwendung von Berechnungstools oder die Durchführung von Laborversuchen. Die Lehrunterlage wurde auch im Rahmen des unter Kapitel 7 und 8 beschriebenen Pilotprojekts eingesetzt.

Der vollständige Foliensatz mit Erläuterungen befindet sich im Anhang.

### **3.2.2 Lehrunterlage zum Thema Einstieg in thermisch-dynamische Berechnungsverfahren**

Zum Einstieg in die Thematik thermisch-dynamischer Berechnungsverfahren wurde eine Präsentation mit grundlegenden Definitionen und Anwendungsfällen erstellt. Damit wird ein Überblick über die vertieften Verfahren zur Berechnung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden gegeben. Studierende ohne Vorkenntnisse können darauf aufbauend Seminare belegen und die Thematik weiter vertiefen. Studierende mit Vorkenntnissen können autodidaktisch einen guten Einstieg in die Thematik finden. Die vorgestellten Aufgabenstellungen (3.2.5) können dazu eine Hilfestellung geben.

Der vollständige Foliensatz mit Erläuterungen befindet sich im Anhang.

### **3.2.3 Lehrunterlage zum Thema freie Kühlung**

Im Rahmen der Lehrveranstaltung „Rationelle Energienutzung“ wurde eine neue Vorlesung zum Thema freie Kühlung ergänzt. Die Vorlesung wurde in die im Sommersemester 2021 laufende Veranstaltung integriert und soll auch in Zukunft in der Lehrveranstaltung verstetigt werden. Die Präsentation kann als Grundwissen Vermittlung für die Themen Kühlung von Gebäuden, Techniken zur passiven Kühlung, adiabate Kühlung und zur solaren Kühlung genutzt werden.

Die Foliensätze mit Erläuterungen werden im Anhang zur Verfügung gestellt.

### **3.2.4 Lehrunterlagen des Seminars Campusanalysen**

Am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung wurde ein Seminar erarbeitet. Dieses setzt sich inhaltlich mit den Themen des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden auf dem Campus der Universität Kassel auseinander und überführt die Themen des AP 6 in-Situ-Analysen in die Lehre. Es soll den Studierenden anhand von realen Gebäuden auf dem Campus konkrete praxisbezogene Einblicke verschafft werden. Das Seminar wird im Kapitel 6 näher beschrieben. Die Foliensätze mit Erläuterungen werden im Anhang zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen des Seminars Campusanalysen wurden Aufgabenstellungen für Zwischenpräsentationen und eine Hausarbeit erarbeitet. Die Aufgabenstellungen des Seminars Campusanalysen werden im Kapitel 6.4.5 dargestellt.

### **3.2.5 Aufgabenstellungen zum sommerlichen Wärmeschutz**

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden zwei Aufgabenstellungen erarbeitet, die es den Studierenden ermöglichen, einen vertieften Bezug zu Berechnungen des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden zu erhalten. Dabei kommt jeweils das Berechnungswerkzeug IDA ICE zum Einsatz.

#### **Aufgabenstellung IDA ICE Wohngebäude**

Mit dieser Aufgabenstellung soll anhand eines einfachen praxisnahen Beispiels die Thematik des sommerlichen Wärmeschutzes behandelt werden. Dabei wird eine Simulationsrechnung gemäß Gebäudeenergiegesetz 2020 i. V m. mit der DIN 4108-2:2013-2 mit dem Berechnungswerkzeug IDA ICE durchgeführt. Ziel ist es einen öffentlich-rechtlichen Nachweis zu führen.

Mit dem Nachweis nach dem Sonneneintragskennwertverfahren kann der kritische Raum des Einfamilienhauses nicht nachgewiesen werden. Daher soll der Nachweis mithilfe einer Simulationsrechnung in IDA ICE geführt werden. Neben der technischen Qualität des Bauwerks soll auf die architektonische Gestaltung im Planungsentwurf Einfluss genommen werden, indem vor dem Hintergrund einer harmonischen Gestaltung die Größen und Anordnungen der Verglasungen selbst festgelegt werden.

#### **Aufgabenstellung IDA ICE Nichtwohngebäude**

Anhand eines Flughafentowers werden wichtige Zusammenhänge zwischen Solarstrahlung und Himmelsrichtung dargestellt. Dazu sollen die Studierenden die zusammenhängende Fläche des nachfolgend dargestellten Großraumbüros eines Flughafentowers in Frankfurt segmentweise betrachten. Die Segmente sind im Simulationsmodell thermisch voneinander entkoppelt und erlauben eine himmelsrichtungsabhängige Betrachtung.

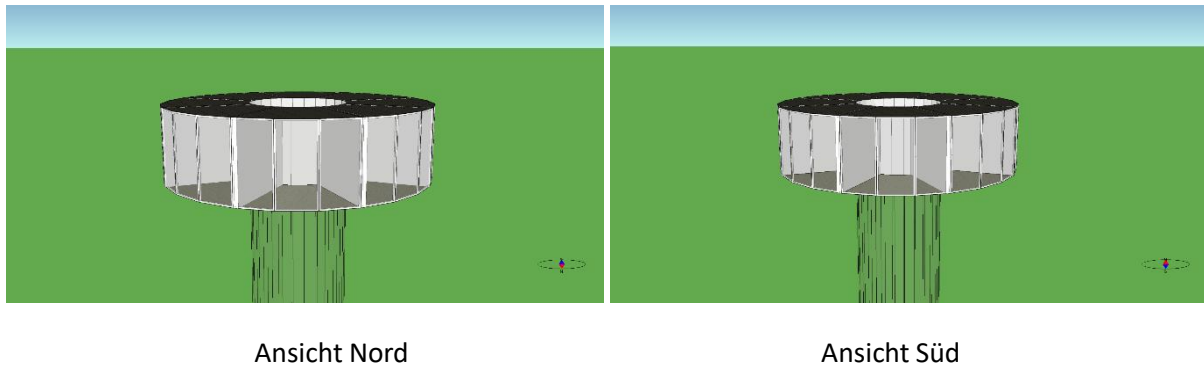


Abbildung 6: Vollverglaste Segmente des Towers in der Ansicht Nord und Süd; Universität Kassel FG Bauphysik

Die Notwendigkeit einer ständigen Sichtbeziehung auf das Flugfeld und den umgebenden Flugraum schließt den Einsatz von Sonnenschutzvorrichtungen aus (Abbildung 6). Zur Sicherung von Überhitzungen ist der Einsatz einer Sonnenschutzverglasung vorgesehen. Zunächst werden für den Zustand einer vollverglasten Fassade Übertemperaturgradstunden über 27 °C ermittelt (Abbildung 7).

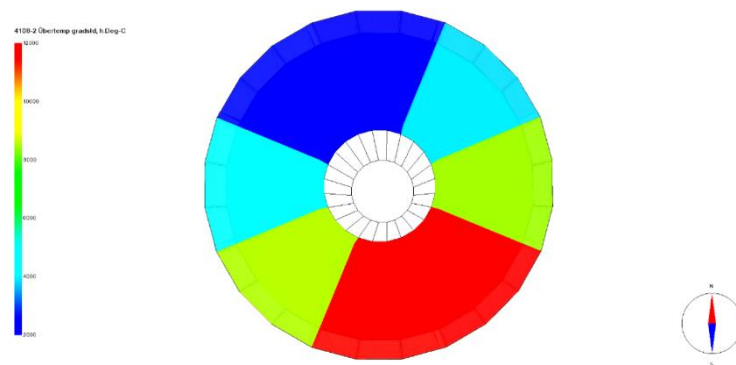


Abbildung 7: Berechnungsergebnisse Übertemperaturgradstunden über 27 °C – vollverglaste Segmente des Towers; Universität Kassel FG Bauphysik

Im Weiteren sollen die Fensterflächen so angepasst werden, dass der normative Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für alle Segmente erbracht werden kann. Eine mögliche Lösung ist mit Abbildung 8 dargestellt. Die Fenster sind himmelsrichtungsabhängig, den Solarstrahlungssummen entsprechend reduziert.

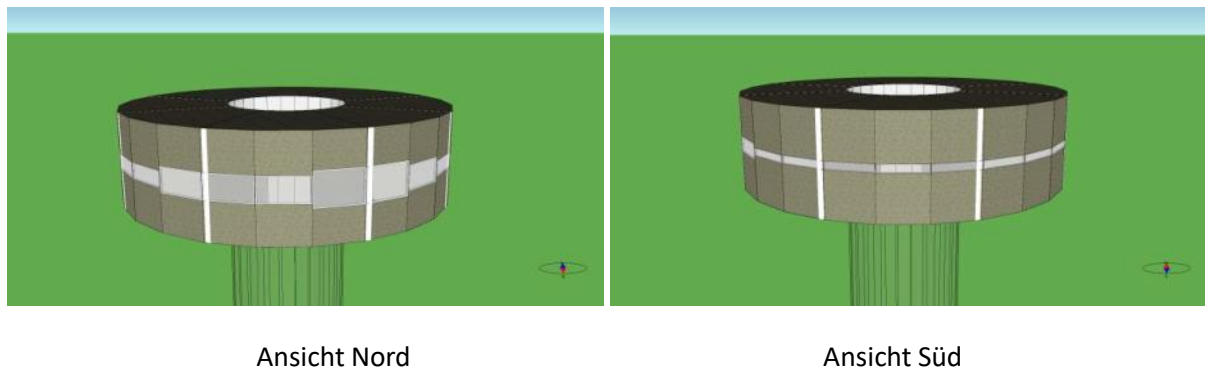


Abbildung 8: Teilverglaste Segmente des Towers in der Ansicht Nord und Süd; Universität Kassel FG Bauphysik

Es wird eine normative Begrenzung der Übertemperaturgradstunden auf 500 Kh/a eingehalten (Abbildung 9). Anhand dieses Beispiels wird den Studierenden ein Gefühl für erste Zusammenhänge im Bereich des sommerlichen Wärmeschutzes und des Softwareprogramms IDA ICE gegeben. Dabei ist sowohl eine gestalterische als auch ingenieurmäßige Fragestellung enthalten.

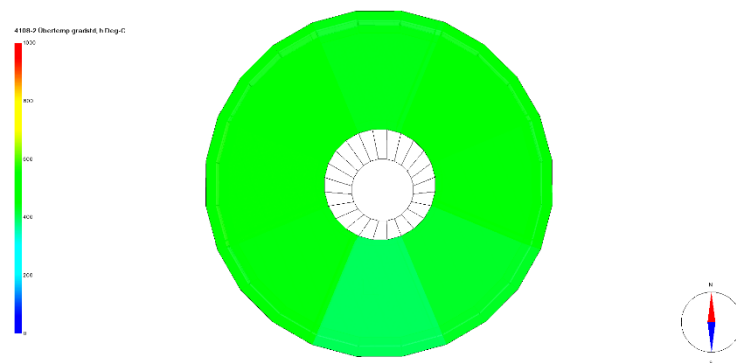


Abbildung 9: Berechnungsergebnisse Übertemperaturgradstunden über 27 °C – teilverglaste Segmente des Towers; Universität Kassel FG Bauphysik

Darüber hinaus kann eine praxisorientiertere Betrachtung des Gebäudes durchgeführt werden. Zum Beispiel kann durch die Berücksichtigung raumluftechnischer Anlagen innerhalb der Simulation eine gestalterisch und ingenieurmäßig-technisch anspruchsvollere Lösung präferiert werden.

### 3.3 Entwicklung eines Excel-Tools zur vereinfachten Einschätzung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden

Am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung werden zur vereinfachten Veranschaulichung von verschiedenen gebäudebezogenen Zusammenhängen selbst entwickelte Excel-Tools verwendet. Diese Lerntools dienen den Studierenden als Einstieg in Berechnungs- und Bilanzierungsverfahren mit einer möglichst geringen Hürde. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde ein weiteres Excel-Tool entwickelt, das im Folgenden mit EnKol-Tool bezeichnet wird. Das Tool wurde im Rahmen des

Seminars Campusanalysen bereits angewendet und soll auch weiterhin in der Lehre des Fachgebiets zum Einsatz kommen.

Das EnKol-Tool ermöglicht eine erste vereinfachte Einschätzung des sommerlichen Wärmeverhaltens eines Gebäudes. Das Lernwerkzeug EnKol wird im Anhang des Endberichts zur Verfügung gestellt.

### 3.3.1 Prinzipieller Ansatz EnKol

EnKol ist ein Excel-basiertes entwickeltes Lernwerkzeug, mit welchem für ein Gebäude oder einen Raum die Nutzenergiebilanz Kühlung und die Nutzenergiebilanz Heizung berechnet werden kann. Die monatlichen Verläufe der Heiz-Kühlbedarfe lassen sich grafisch darstellen und verschiedene Varianten und deren Überhitzungssituation können bewertet werden. Ziel ist es, den Studierenden mit geringem Input an Gebäudeinformationen eine erste Einschätzung zum sommerlichen Wärmeverhalten des Gebäudes oder Entwurfes zu ermöglichen.

EnKol stellt die beiden Bilanzierungen der Heizperiode und der Kühlperiode gegenüber. Anhand der Einflussfaktoren Transmissionswärmeverluste, Lüftungswärmeverluste, der Nutzungszeiten, den solaren Wärmegewinnen mit und ohne Sonnenschutz, den internen Wärmequellen und nutzbaren Wärmegewinnen werden die Nutzenergiebedarfe für Heizen und Kühlen berechnet. Für die Eingabe werden die Gebäudeinformationen zu den oben genannten Punkten benötigt.

#### Berechnungsansatz

Grundlage des Berechnungsansatzes des EnKol-Tools ist ein von Sven Kolmetz entwickeltes Verfahren zur Bestimmung der Übertemperaturstunden aus den Informationen einer quasistationären Energiebilanz nach dem Verfahren der DIN EN 832 im Rahmen seiner Dissertation [6].

In der Bilanz nach DIN EN 832 werden aus der Summe der solaren und internen Wärmeeinträge  $Q_F$  ergänzend zu den nutzbaren Wärmegewinnen  $Q_G$  zusätzlich die Nicht-Nutzbaren Wärmegewinne  $Q_{NN}$  ermittelt über den Ansatz:

$$Q_{NN} = (1 - \eta)Q_F$$

Mit:

$Q_{NN}$  Nicht für die Beheizung nutzbare Wärmeeinträge durch solare und interne Wärmegewinne

$\eta$  Ausnutzungsfaktor

$Q_F$  Summe aus solaren und internen Wärmegewinnen

Die nicht-nutzbaren Wärmegewinne werden in dem Verfahren als Nutzkältebedarf  $Q_C$  definiert:

$$Q_{NN} = Q_C$$

Mit:

$Q_C$  Nutzkältebedarf

Kolmetz stellt fest, dass die relative Häufigkeit der Überschreitung definierter Grenztemperaturen  $T_G$  im Raum/Gebäude stark mit den nicht-nutzbaren Wärmegewinnen  $Q_{NN}$  korreliert. Auf der Grundlage umfangreicher dynamischer Gebäudesimulationen stellt er Regressionsfunktionen für die relative Häufigkeit der Überschreitung der Grenztemperaturen 22 °C; 24 °C, 25 °C, 26 °C und 27 °C auf. Als Bezugszeiträume werden das gesamte Jahr (12 Monate) und die Monate Mai bis September (5 Monate)

gewählt. Für beide Zeiträume wird zwischen einer Nutzungszeit von 24 h/d und 8 h/d unterschieden. Sofern erforderlich werden die Regressionsgleichungen orientierungsabhängig angegeben. Über diesen Ansatz können die jährlichen Überhitzungsstunden in der Nutzungszeit angegeben werden.

Die maximale Raumtemperatur  $T_{max}$  ermittelt Kolmetz, indem er auf Grundlage der Bilanzgrößen und den Häufigkeiten der Temperaturüberschreitung die Form der Summenhäufigkeitskurve nachbildet und hieraus die maximale Raumtemperatur ableitet.

Die Simulationsberechnungen, anhand derer die Regressionsfunktionen ermittelt wurden, basieren auf dem Wetterdatensatz TRY 5 Würzburg, der in den 90er Jahren als Standardklima für Deutschland galt.

Da die Monatsbilanz nach DIN EN 832 mit Monatsmittelwerten arbeitet, bei Nicht-Wohngebäuden aber insbesondere bei Lüftung und internen Wärmegewinnen ein deutlicher Unterschied zwischen Nutzungs- und Nicht-Nutzungszeit besteht, leitet er entsprechende Anpassungen in der Bilanz ab. Diese Anpassungen sind in dem Berechnungstool übernommen, jedoch auf die Kenngrößen der aktuellen DIN V 18599 umgearbeitet. Zu den Differenzen und Anpassungen werden in der EnKol-Dokumentation im Anhang Hinweise gegeben.

### **Gültigkeitsgrenzen**

Die in Kolmetz 1996 definierten Ansätze gelten nicht für sehr leichte Gebäude mit einer thermischen wirksamen Wärmespeicherkapazität unter  $C_{wirk} < 300 \text{ kJ} / (A_{Außenfläche} \text{ K})$  und nicht für sehr hohe Werte der nicht nutzbaren Wärmeeinträge von  $Q_{NN} > 40.000 \text{ Kh}$ .

### **3.3.2 Plausibilisierung EnKol**

Um die Plausibilität der Rechenergebnisse des Berechnungstools zu prüfen, wurden die Berechnungen in EnKol mit Berechnungen aus SimRoom 4 verglichen. Die Software SimRoom 4 wird im Kapitel 4 näher beschrieben. Der Vergleich fand in Form einer Parameterstudie statt. SimRoom 4 ist wie EnKol ein Programm für eine Einzonenberechnung, dies ist in der Regel ein Raum im Gebäude. Die Bilanz von SimRoom 4 umfasst primär den Baukörper, so dass ein Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen ermittelt wird. Während die EN 832 eine quasistationäre Monatsbilanz durchführt, führt SimRoom 4 eine dynamische Simulation in Stundenschritten durch. In SimRoom 4 wird bei der Standardberechnung (Einstellung: DGL) nicht zwischen Luft- und Oberflächentemperatur unterschieden, sondern es wird eine mittlere Temperatur angenommen, die auch der Speichermasse zugewiesen wird (Einknotenmodell). Dies kann durch die Auswahl des Berechnungsverfahrens R5C1 bei Bedarf auf ein Zweiknotenmodell umgestellt werden. In SimRoom 4 sind viele Berechnungsparametern mit Standardwerten belegt, sodass der Eingabedatensatz in etwa vergleichbar mit der Bilanz nach EN 832 ist. SimRoom 4 wurde mit den professionellen Simulationsprogrammen TAS und IDA-ICE verglichen.

Die Parameterstudie ist in der EnKol-Dokumentation im Anhang nachvollziehbar dargestellt.

### **Bewertung des Vergleichs**

Die Veränderung des Heizwärmebedarfs wird in beiden Programmen vergleichbar berechnet. Lediglich beim mittleren U-Wert und den internen Wärmelasten zeigt SimRoom 4 eine etwas größere Sensitivität.

Auch die Veränderung des Kühllältebedarfs bewerten beide Programme vergleichbar. Eine etwas höhere Sensitivität bei SimRoom 4 ergibt sich bei ansteigenden Wärmeeinträgen durch einen anderen Sonnenschutz und die internen Wärmelasten. Der Verlauf beim mittleren U-Wert zeigt bei SimRoom 4 ein Anstieg des Kühllältebedarfs bei hohen U-Werten. Wird der Berechnungsmodus in SimRoom 4 auf R5C1 umgestellt, tritt dieser Anstieg nicht mehr auf und die Ergebnisse passen besser mit EnKol zusammen. Die maximale Raumtemperatur ist über alle Variationen konstant. Die Änderungen werden in beiden Programmen vergleichbar bewertet.

Die deutlichsten Unterschiede zeigen sich bei der relativen Häufigkeit von Temperaturen über 26 °C. Auch hier ist die Sensitivität in Bezug auf die Wärmeeinträge (Sonnenschutz und interne Lasten) bei SimRoom 4 etwas größer. Bei der Variation der Verluste durch die Veränderung des mittleren U-Werts und die Lüftung außerhalb der Nutzungszeit steigen die Häufigkeiten bei SimRoom 4 für geringe Verluste deutlicher an.

Insgesamt zeigt sich eine ähnliche Bewertung der untersuchten Einflussparameter in EnKol und SimRoom 4. Der einfache Ansatz von EnKol kann also für eine erste Einschätzung des sommerlichen Wärmeverhaltens verwendet werden.

### **3.3.3 Einsatz und Nutzung von EnKol in der Lehre**

EnKol wird im Rahmen der Veranstaltung Campusanalysen vom Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung genutzt, um den Studierenden zu Beginn der Veranstaltung ein möglichst einfaches Werkzeug zur Einschätzung des sommerlichen Wärmeverhaltens und der Kühlbedarfe eines Gebäudes an die Hand zu geben. Ziel ist es, sich über die quasistationären Nutzenergie Kälte den wesentlich komplexeren Gebäudesimulationen mit ihren umfangreicheren Auswertemöglichkeiten zu nähern. Hierzu zählt auch, dass die Möglichkeit der Auswertung bei EnKol bewusst eingeschränkter ist. So ist der Einblick in die Bilanzierung für die Studierenden wesentlich fokussierter, als wenn Sie direkt mit einem komplexeren Tool wie SimRoom 4 oder IDA-ICE arbeiten. Die Studierenden werden somit Schritt für Schritt an das Thema Bilanzierung und Simulation herangeführt.

EnKol wird im Anhang für die Nutzung durch andere interessierte Hochschulen oder weitere Bildungseinrichtungen zur Verfügung gestellt. EnKol darf nur nicht-kommerziell genutzt werden. Eine kommerzielle Nutzung des Tools ist ausgeschlossen. EnKol ist nicht geeignet, um normative Nachweise durchzuführen.

Das Programm eignet sich je nach Lehrform und Seminarinhalt für Studierende der Fachrichtung Architektur oder Ingenieurwesen.

Da es sich bei dem EnKol-Tool um ein am Fachbereich 06 intern entwickeltes Berechnungswerkzeug handelt und EnKol eine quasistationäre Bilanz auf Monatsbasis erzeugt und keine dynamische Gebäudesimulation durchführt, wird es im folgenden Kapitel der externen Berechnungswerkzeuge nicht in die Bewertungsmatrix eingeordnet.

## 4 Prüfung und Einbindung externer Berechnungswerkzeuge (AP 4)

Das Ziel dieser Prüfung besteht darin, einen Überblick über existierende Berechnungswerkzeuge zu erhalten, welche bei der Planung von Gebäuden hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes eine Hilfestellung geben können. Dabei soll ihre Eignung sowie ihre Entwicklungsfähigkeit in der Lehre zum sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden festgestellt werden.

Gegenwärtig entstehen häufig Gebäude, bei denen die Planung des sommerlichen Wärmeschutzes nicht vollumfänglich behandelt wird. Das kann auf einen Mangel an Bewusstsein der Planungsbeteiligten von Gebäuden zurückgeführt werden. Steigende Anforderungen bedingt durch klimatische Veränderungen und moderne, teils noch in den Kinderschuhen steckende Ansätze, welche bis dato noch keinen vollumfänglichen Einzug in die Lehre und Planung erhalten, bedingen eine erweiterte Betrachtung dieser Thematik.

Das Fachgebiet Architektur der Universität Kassel möchte demgemäß ein neues Lehrangebot erarbeiten, um zukünftigen Planungsbeteiligten die Fragen des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden schwerpunktmäßig zu vermitteln.

Im Zuge dieser Erarbeitung werden Berechnungswerkzeuge i. d. R. thermisch-dynamische Simulationsprogramme untersucht, welche für die Verwendung in Lehre und Planung in diesem Zusammenhang dringend infrage kommen.

### 4.1 Analyse der zu vergleichenden Berechnungswerkzeuge

Die Analyse bezieht sich auf Berechnungswerkzeuge, welche speziell für den Einsatz in der universitären Lehre zur Auswahl stehen. Dabei befindet sich das Ziel im Vordergrund, den Studierenden einen leichten Einstieg in das Thema des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden zu ermöglichen und physikalische und mathematische Vorgänge einfach und korrekt zu beschreiben.

Die Anzahl der auf dem Markt erhältlichen Berechnungswerkzeuge zum sommerlichen Wärmeverhalten ist sehr groß. Die in einer Vorauswahl getroffenen Werkzeuge sind „IDA ICE“, „SimRoom 4“, „Thesim 3D“ und „ZUB Helena Sommer“. Zunächst werden die einzelnen Programme analysiert und daraufhin mithilfe eines Bewertungssystems verglichen und bewertet. In der Bewertung werden die Vor- und Nachteile der einzelnen Programme gegenübergestellt und jeweils eine Aussage zur Anpassungsfähigkeit des Berechnungstools an die universitäre Lehre getroffen.

#### 4.1.1 Analyse von IDA ICE

IDA ICE ist eine Softwareanwendung, welche eine ganzjährige, dynamische Gebäudesimulation ermöglicht. Der Name IDA ICE leitet sich von „Implicit Differential Algebraic-Solver Indoor Climate and Energy“ ab. IDA kennzeichnet dabei den verwendeten universellen Programmcode zur Lösung der Anfangswertprobleme von differenzial-algebraischen Gleichungen [7]. Mit dieser Software ist es möglich, Gebäudemodelle zu erstellen und thermische Bedingungen einzelner Räume sowie thermische Energiebedarfe ganzer Gebäude über einen bestimmten Zeitraum zu simulieren. Bei der Simulationssoftware IDA ICE handelt es sich um ein sogenanntes Universalsimulationsprogramm. Dieser Programmtyp ist generell durch den Vorteil gekennzeichnet, dass den Bestandteilen von den Gebäudemodellen standardisierte Parameter zugeordnet werden können. Diese Parameter sind häufig



in programminternen Datenbanken gespeichert und reduzieren so den Aufwand bei der Erstellung der Gebäudemodelle [8]. Grundsätzlich wird in IDA ICE zwischen den drei Dateneingabemethoden „Assistentenebene“, „Formularebene“ und „Advanced Level“ unterschieden. Diese sind aufsteigend nach einem höheren Kenntnisstand des Benutzers gegliedert. Die Assistentenebene ermöglicht die einfachste Art der Dateneingabe. Sie ist durch Limitierungen der möglichen Studien und durch Einschränkungen in der Erstellung der Gebäudemodelle gekennzeichnet. Die Formularebene ist umfangreicher und auf Formularen aufgebaut, sie bietet dem Anwender bereits viel mehr Variablen bei der Dateneingabe. Das Erstellen und Simulieren komplexerer Gebäudemodelle ist mit der Formularebene möglich. Bei Dateneingaben im Advanced Level wird das Gebäudemodell nicht mehr mit physischen Bestandteilen beschrieben. Es werden durch den Anwender Anpassungen innerhalb der Programmierung und der mathematischen Gleichungen durchgeführt. Das Advanced Level ermöglicht das Lösen spezieller Probleme. IDA ICE ist darauf ausgelegt, Verschattungen des Gebäudes durch umgebende Objekte zu berücksichtigen. Klimadaten können entweder für einen Entwurfstag synthetisch generiert (periodische Simulation) oder über das ganze Jahr aus Klimadateien (dynamische Simulation), welche das reale Klima beinhalten, entnommen werden [9]. Synthetische generierte Entwurfstage werden für eine Periode von 24 Stunden auf Grundlage von tagesextremen Lufttemperaturen errechnet. Klimadaten können für weltweit beliebige Standorte z. B. mit der Softwarelösung Meteororm von Meteotest generiert werden. IDA ICE basiert auf dem Neutral Model Format (NMF). Das NMF ist eine mathematische, gleichungsbasierte und unabhängige Modellierungssprache, deren Modelle nicht mit den eigentlichen Gebäudemodellen zu verwechseln sind [8]. Sie beschreiben die physikalischen Abläufe der Gebäudemodelle. Innerhalb der NMF-Modelle sind die verwendeten Gleichungen einfach verarbeitet. Dies ermöglicht es dem Nutzer, die NMF-Modelle lesen und nachvollziehen zu können. In der Expertenausgabe von IDA ICE können im Advanced Level NMF-Modelle verändert werden, dies setzt jedoch genaueste Kenntnis der Modelle voraus [9].

#### **4.1.2 Analyse von SimRoom 4**

SimRoom 4 ist ein Excel-basiertes Lernwerkzeug, mit welchem für eine Zone, einen Raum oder ein Gebäude als 1-Zonen-Modell, eine zeitlich in Stundenschritten aufgelöste Raumtemperatur, Raumfeuchte, CO<sub>2</sub>-Konzentration sowie eine Leistungs- und Energiebilanz berechnet werden kann. Mit geringem Eingabeaufwand wird der Zugang zur energetischen Bilanzierung erleichtert. Das Werkzeug ist vom Entwickler Markus Lichtmeß als Lehr- und Lernwerkzeug konzipiert. Dabei sind Erfahrungen aus dem Lehrbetrieb, insbesondere an der Universität Wuppertal, in die Weiterentwicklung eingeflossen. Zur Berechnung der Energie- und Leistungsbilanz verwendet SimRoom 4 ein Gebäude-Raummodell und ein Gebäude-Anlagenmodell. Das Gebäude-Raummodell lässt sich dabei entweder mithilfe einer analytischen Lösung der Raumbilanz oder nach dem Widerstands-Kapazitäten-Modell (R5C1-Modell) bestimmen. Das Gebäude-Raummodell berechnet die Raumlufttemperatur, CO<sub>2</sub>-Konzentration, die Raumluftfeuchte, den Komfort sowie Heiz- und Kühlleistung und den Nutzenergiebedarf. Aufbauend auf diesen Werten können mit dem Gebäude-Anlagenmodell Aussagen zum End- und Primärenergiebedarf technischer Systeme getroffen werden. Durch eine Kopplung der Modelle werden Änderungen im Gebäude-Raummodell direkt ins Gebäude-Anlagenmodell übertragen. Die Simulation berücksichtigt alle erforderlichen Parameter der DIN 4108-2:2013-02, den Wärmeschutz, die Bauschwere, die inneren Lasten, die Verglasung, den Sonnenschutz und die Lüftung. Die Berechnung wird auf Grundlage stündlich aufgelöster Klimadaten ausgeführt. Zudem können beliebige Klimadaten

mit dem Wetterdatengenerator hinzugefügt werden und das Zusatzmodul „Variantas“ ermöglicht, Parameterstudien an den Ergebnissen durchzuführen. Das Programm befindet sich in ständiger Weiterentwicklung. Vgl. [10].

#### **4.1.3 Analyse von Thesim 3D**

Thesim 3D ist ein frei verfügbares 3D-Online-Simulationstool für die Prognose des sommerlichen Wärmeverhaltens von Räumen in hochsommerlichen Hitzeperioden. Dieses wurde im Zuge von Joachim Nackers Dissertation zum sommerlichen Verhalten von Gebäuden mithilfe von Klaus Krec entwickelt. Voraussetzung für die Anwendung ist lediglich ein WebGL-fähiger Browser. Das Programm wurde entwickelt, um bereits in der Entwurfsphase eine zielgerichtete Planung bezüglich des sommerlichen Gebäudeverhaltens zu gewährleisten. Dabei wird der kritische Raum eines Gebäudes betrachtet und das thermische Verhalten eines Raumes im periodischen eingeschwungenen Zustand mit der Periodenlänge von einem Tag simuliert. Die Berechnung funktioniert mit einem geringen Eingabeaufwand, wobei der Rechenkern GEBA im Hintergrund bauphysikalisch fundierte Ergebnisse erzeugt. Die Angaben sind nach der normgemäßen Sommertauglichkeitsuntersuchung der ÖNorm B 8110-3 in Österreich voreingestellt, jedoch lassen sich beliebige internationale Orte als Geoposition mit eigenen Klimadaten angeben. Eine Adaption an die deutsche DIN 4108-2:2013-02 ist nur teilweise möglich, da das Programm keine Übertemperaturgradstunden als Ergebnis berechnet. Dadurch lässt sich der Nachweis nach deutscher Norm nicht führen. Eine Parameteränderung wird bei der Auswertung unmittelbar als Veränderung am Modell ersichtlich. Der stündliche Verlauf der operativen Raumtemperatur wird über den periodisch eingeschwungenen Zustand eines Tages anhand einer Grafik dargestellt. Im Zuge dessen wird der 15. Juli zur Simulation verwendet. Das periodische Ansetzen eines heißen Sommertages kommt dem Ende einer Hitzeperiode nahe. Zur weiteren Auswertung stehen zusätzliche Detailinformationen, wie der Bauteiltemperaturen und der Wärmestromdichte zur Verfügung. Außerdem lassen sich unterschiedliche Varianten eines Raumes erzeugen und deren Ergebnisse miteinander vergleichen. Vgl. auch [2].

#### **4.1.4 Analyse von ZUB Helena Sommer**

ZUB Helena Sommer ist ein Programm zur dynamischen Simulation des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß der DIN 4108-2:2013-02. Dieses besteht aus einem Modul innerhalb des GEG-Programms ZUB Helena, welches von der ZUB Systems GmbH zum kommerziellen Zweck entwickelt wurde. Studierende können sich mit Ihrem Anliegen an den Support wenden, um eine zeitlich begrenzte Studentenversion/Vollversion von 180 Tagen zu erwerben. Durch die Integration in das Programm ZUB Helena, welches ein Programm zur Bilanzierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach GEG oder freien Randbedingungen ist, können bereits mit der Gebäudehülle erfasste Daten für die Betrachtung des sommerlichen Wärmeschutzes übernommen werden. Bei einer ausschließlichen Nutzung von Helena Sommer lassen sich jedoch auch separat Angaben zur Gebäudehülle eingeben. Das Programm bietet einen detaillierten Nachweis gemäß der DIN 4108-2:2013-02 mit einer raumweisen dynamischen Simulation. Dabei werden die Übertemperaturgradstunden im Jahresverlauf, eine stündliche Ermittlung der Raumtemperatur in den Sommermonaten und eine Komfortbewertung des Sommerfalls auf Basis der DIN EN 15251:2012-12 dargestellt. Vgl. auch [11].

## 4.2 Bewertungssystem für den Vergleich der Berechnungstools

Das Bewertungssystem untersucht speziell für die Lehre geeignete Berechnungswerkzeuge. Aus diesem Grund stellt das Leitbild des Bewertungssystems die Anforderungen an ein geeignetes Berechnungstool zum sommerlichen Wärmeverhalten in der Lehre dar.

Das Bewertungssystem teilt sich in drei Kategorien, denen jeweils drei Bewertungskriterien zugeordnet sind. Die erste Kategorie dient der Gewährleistung einer guten Berechnungs- und Bearbeitungsqualität. Dazu zählt unter anderem die Validierung des Programms nach entsprechender Norm. Außerdem wird auf eine normgemäße Berechnung der Ergebnisse geprüft und nachvollzogen, ob weitere Bewertungen vorgenommen werden, wie eine Komfortbewertung nach DIN EN 15251:2012-12 oder eine Energie- und Leistungsbilanz. Ein weiteres Kriterium beurteilt, ob die grafische Nutzeroberfläche zum schnelleren Verständnis des Programms und einer leichten Eingabe der Parameter geeignet ist. Zuletzt werden Schnittstellen zu weiteren Programmen verglichen.

Die nächste Kategorie bewertet die technischen Anforderungen des Programmes und die Nutzerfreundlichkeit für Studierende. Dazu werden die Systemanforderungen an die Berechnungswerkzeuge verglichen. Des Weiteren wird die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit geprüft, ob eine kostenlose Studentenversion angeboten wird. Zuletzt werden die Supportservices gegenübergestellt. Dabei ist zu beachten, dass zum kommerziellen Zweck entwickelte Programme im Vergleich zu privat programmierten stehen.

Mit der letzten Kategorie wird die Adaption der Programme an die universitäre Lehre beurteilt. Das Vorhandensein guter und selbsterklärender Tutorials ist für Studierenden von großer Bedeutung, um ein Selbststudium neben der Präsenzlehre zu ermöglichen. Außerdem werden die Zielgruppen der Programme hinsichtlich einer tendenziell wissenschaftlichen oder praxisorientierten Ausrichtung verglichen, um dementsprechende Vorteile in der Lehre zu erkennen. Schließlich werden in einem letzten Kriterium die Annahme von Standardannahmen und die Möglichkeiten einer individuellen Parametereingabe überprüft. Nachfolgend sind die untersuchten Kriterien in Abbildung 10 systematisch dargestellt.

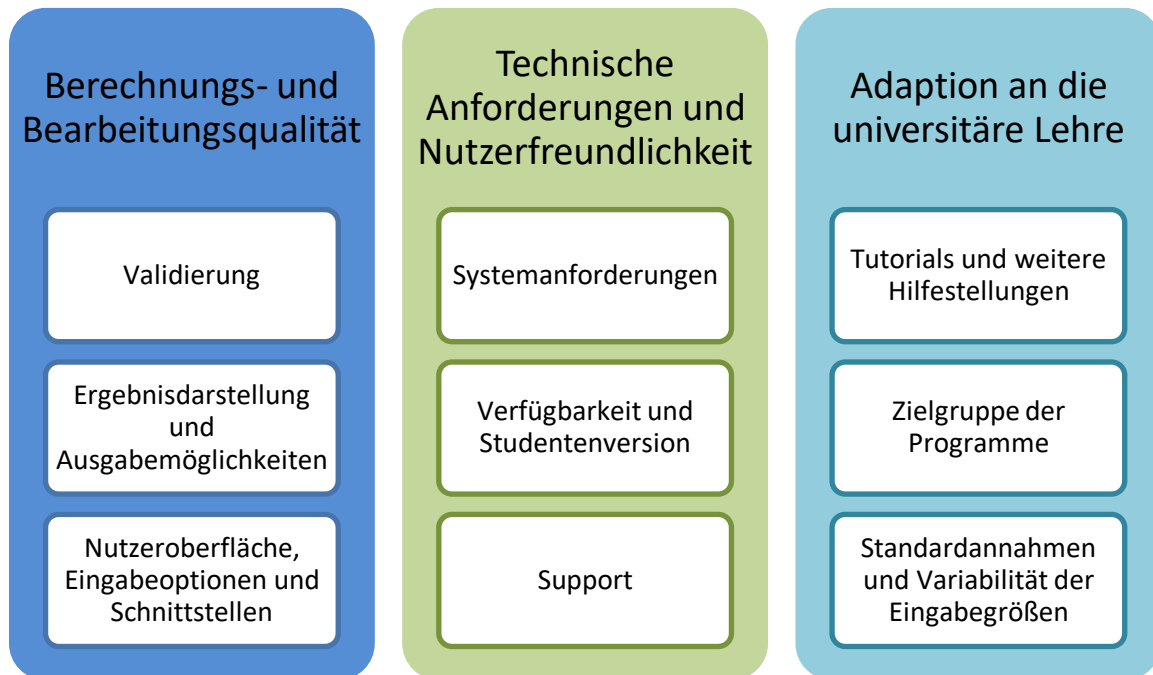


Abbildung 10: Bewertungssystem der Analysen der zu vergleichenden Berechnungswerkzeuge; Universität Kassel, FG TGA und FG Bauphysik

## 4.3 Berechnungs- und Bearbeitungsqualität

### 4.3.1 Validierung

**IDA ICE** ist nach ANSI / ASHRAE 140-2004 [12] und nach EN 15255-2007 und EN 15265-2007 [13] validiert. Die Qualität des Programms kann als sehr gut erachtet werden, da insbesondere die vorliegenden Validationsfälle mit weiteren gängigen Normen korrelieren. Die Verwendung in der Lehre ist vor diesem Hintergrund empfehlenswert.

**SimRoom 4** ist nach EN ISO 13792:2012-08 nicht validiert. Für alle Berechnungsfälle ist eine maximale Abweichung  $\pm 0,5$  K erlaubt. Die Prüffälle von SimRoom 4 halten bis auf einen Fall die Grenzwerte der Klasse III ein. Das heißt, dass der berechnete Wert um +3 K bis -1 K vom Prüfergebnis abweicht. Das SimRoom-Verfahren kann demnach zur Anwendung in der Lehre, und dort zur Aufzeigung der wesentlichen energetischen Zusammenhänge, als hinreichend aussagekräftig angesehen werden. Vgl. [10].

**Thesim 3D** greift auf den Simulationskern GEBA V.10.0 zu. Eine Validierung des Programms ergab folgendes Validierungsergebnis: 10 der 18 Varianten weichen um weniger als  $\pm 0,5$  K vom Validierungsergebnis ab. Die restlichen 8 Varianten zeigen Abweichungen, deren Betrag kleiner als  $\pm 1,0$  K ist. GEBA ist somit nach EN ISO 13791:2012-08 nicht validiert. Nach der Klasseneinteilung der EN ISO 13792:2012-08 fällt GEBA in die Klasse I und kann somit als Näherungsverfahren angesehen werden, welches zur Anwendung in der Lehre und dort zur Aufzeigung der wesentlichen energetischen Zusammenhänge als hinreichend aussagekräftig angesehen werden kann. Vgl. [2].

**ZUB Helena Sommer** verwendet den Rechenkern des Ingenieurbüros Prof. Dr. Hauser GmbH. Grundlage bildet die Software HAUSer. Der Rechenkern wurde nach DIN EN ISO 13791:2012-08 validiert. Zusätzlich ist die Software ZUB Helena mit dem Gütesiegel 18599 validiert. Dies stellt sicher, dass das Programm eine korrekte KfW-Effizienzhausberechnung nach DIN V 18599-1:2018-09 durchführt. Vgl. [11].

#### 4.3.2 Ergebnisdarstellung und Ausgabemöglichkeiten

**IDA ICE** ermöglicht Darstellungen der Ergebnisse anhand grafischer Ausgaben sowie farblich unterlegten 3D Ansichten. Die Ergebnisdarstellung ist je nach verwendeter Nutzerebene von einfach zu sehr komplex skaliert. Insbesondere ermöglicht das Programmaddin 4108-2 einen leichten Zugriff auf Übertemperaturgradstunden entsprechend der Norm. Durch die Skalierbarkeit abhängig von der verwendeten Nutzerebene können unzählige bauphysikalische Ergebnisse ausgegeben werden. Komplexe Fragestellungen erfordern jedoch in einigen Fällen ein fundiertes Wissen zur Erzeugung der gewünschten Ausgaben. Die tabellarischen Ergebniswerte lassen sich in Excel ausgeben. Außerdem können Varianten erzeugt werden, indem der Ausgangsfall kopiert wird und einzelne Parameter variiert werden.

**SimRoom 4** ermöglicht eine Berechnung der Übertemperaturgradstunden, angelehnt an die DIN 4108-2:2013-02 zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes, bis hin zu einer Leistungs- und Energiebilanzierung des Gebäudes. Des Weiteren kann eine Komfortbewertung gemäß dem adaptiven Gebäudemodell angelehnt an die DIN EN 15251:2012-12 durchgeführt werden. Dargestellt werden die Ergebnisse mit Ergebnisgrafiken, welche sich in ein Worddokument zur individuellen Weiterverarbeitung exportieren lassen. Zudem lässt sich eine frei schwingende Variante mit einer konditionierten Variante vergleichen. Das heißt, bei der frei schwingenden Variante wird der Temperaturverlauf ohne aktives Heizen und Kühlen, nur unter Berücksichtigung der bauphysikalischen Eigenschaften, des Lüftungskonzeptes und der Nutzung bestimmt. Im Gegensatz dazu wird bei der konditionierten Variante die Raumtemperatur durch aktives Heizen oder Kühlen innerhalb einer bestimmten Raumsolltemperatur gehalten.

**Thesim 3D** ermöglicht eine Darstellung der Ergebnisse anhand einer Grafik. Diese vergleicht die operative Raumtemperatur über den Zeitraum eines Tages mit der Außentemperatur. Mit dem Berechnungsansatz eines periodisch eingeschwungenen Zustandes wird der letzte Tag als eine Hitzeperiode widergespiegelt. Dabei wird nur ein Tag betrachtet und keine Berechnung der Übertemperaturgradstunden über ein Jahr durchgeführt, wie die DIN 4108-2:2013-02 fordert. Dies liegt daran, dass das Programm nach der Leitlinie der ÖNorm B 8110-3 entwickelt wurde. Die thermische Behaglichkeit in Innenräumen ist in Österreich durch ein fixes Maximum mit 27 °C im Tagesverlauf, sowie 25 °C in Schlaf-/Ruheräumen während des Nachtzeitraumes festgelegt. Die Obergrenze der operativen Raumtemperatur kann allerdings variabel begrenzt werden, ist jedoch gemäß der ÖNorm auf 27 °C voreingestellt. Die weiteren Werte des gesamten Programms sind nach der ÖNorm B 8110-3 voreingestellt, lassen sich aber individuell anpassen [2].

**ZUB Helena Sommer** bietet einen detaillierten Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz gemäß der DIN 4108-2:2013-02 mit einer raumweisen dynamischen Simulation. Dabei werden die Übertemperaturgradstunden im Jahresverlauf, eine stündliche Ermittlung der Raumtemperatur und eine Komfortbewertung des Sommerfalls auf Basis der DIN EN 15251:2012-12 dargestellt. Die

tabellarischen Ergebniswerte lassen sich in Excel ausgeben, jedoch ist keine Ausgabe der grafischen Ergebnisdarstellungen möglich. Außerdem können Varianten erzeugt werden, indem der Ausgangsfall kopiert wird und einzelne Parameter verändert werden. Die Ergebnisse jeder Variante werden in getrennten Sofortberichten dargestellt.

### **4.3.3 Nutzeroberfläche, Eingabeoptionen und Schnittstellen zu weiteren Programmen**

**IDA ICE** verwendet eine grafische Benutzeroberfläche, worin Formulare bearbeitet werden. Die Eingabe ist intuitiv gehalten. Innerhalb der Programmoberfläche können verschiedene Formulare aufgerufen werden, welche eine vertiefte Dateneingabe ermöglichen und je nach Kenntnisstand des Anwenders eine sehr flexible Modellierung erlaubt. Innerhalb der dreidimensionalen Darstellung des Gebäudemodelles können einzelne Parameter durch Anklicken direkt aufgerufen werden.

Es existiert die Möglichkeit, CAD-Zeichnungen im IFC-Format zu importieren, was eine beschleunigte Modellierung ermöglicht – Kompatibilität der Daten vorausgesetzt. Außerdem ist eine Schnittstelle zum Programm ZUB Helena vorhanden, was weiterführende energetische Betrachtungen erlaubt [11].

**SimRoom 4** verwendet die gleiche Nutzeroberfläche wie Microsoft Excel. In einer zentralen Dateneingabe werden alle möglichen Eingabeparameter als gelbeingefärbte Kästchen auf dem Bildschirm angezeigt. Die Ergebnisse lassen sich einzeln durch Ein- oder Ausklappen des jeweiligen Reiters darstellen. Die Eingabefelder werden ergänzt durch rote Dreiecke in den Kastenecken, wodurch beim Überfahren dieser mit dem Mauszeiger Tooltips mit Kommentaren zu den Eingabeoptionen angezeigt werden. Der Anspruch des Programms lautet, mit möglichst geringem Eingabeaufwand eine thermische Gebäudesimulation durchführen zu können.

Eine Anbindung zu dem CAD-Programm Rhinoceros von McNeel, sowie zu Autodesk Revit ist für zukünftige Versionen durch ein an der Universität Wuppertal entwickeltes Werkzeug vorgesehen [10].

**Thesim 3D** verlangt zunächst die Angabe der Bauweise, bevor ein 3D Modell eines Raumes erstellt wird. Dieser Raum lässt sich grafisch durch Verschiebe- oder Extrusionswerkzeuge modellieren. Einzelne Raumelemente, zum Beispiel interne Lasten, lassen sich grafisch hinzufügen. Durch Anklicken der Bauteile in der Grafik erscheinen Sub-Menüs, in denen sich die Bauteileigenschaften anpassen lassen. Das Ziel des Programms ist, eine einfache und intuitive Benutzung durch grafische Darstellungen zu gewährleisten.

In der Entwicklung von Thesim 3D wurde ein Revit Add-On getestet. Die Einschränkungen in der Benutzerfreundlichkeit durch das Vorhandensein einer kostenpflichtigen Revit Version sowie die Betriebsunabhängigkeit wiegten schwerer als der Vorteil des BIM-Konzepts, weshalb von der Integration in Revit abgesehen und keine Schnittstellen entwickelt wurden. Vgl. [2].

**ZUB Helena Sommer** ist in das Programm ZUB Helena integriert. Die Benutzeroberfläche ist im gesamten Programm ZUB Helena identisch. Ein wichtiges Modul für ZUB Helena Sommer ist die Bautechnik, indem die Angaben zu den Bauteilen für den zu untersuchenden Raum eingegeben werden können. Der Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz in Helena Sommer erfordert eine detailgenaue Eingabe gemäß der DIN 4108-2:2013-02. Durch einen Projektbaum werden die einzelnen Eingabeschritte strukturiert angezeigt. Das Programm leitet einen Schritt für Schritt durch die Eingabe.

Zur Erläuterung der einzelnen Eingabeparameter und -schritte ist ein Fenster mit einer Infobox vorhanden. Eine Parameteränderung ist durch die Einbindung der unterschiedlichen Teilmodule aufwendig.

Die firmeninternen Softwareprogramme sind miteinander kompatibel. So lassen sich CAD-Daten aus ZUB E-CAD als Gebäudedaten in das Modul Bautechnik einlesen. Neu ist eine Schnittstelle zu IDA ICE. Gebäudedaten aus IDA ICE können somit in ZUB Helena übertragen werden [11].

## 4.4 Technische Anforderungen und Nutzerfreundlichkeit

### 4.4.1 Systemanforderungen

**IDA ICE** läuft ausschließlich über das Betriebssystem Microsoft Windows. Es wird ein moderat modernes System benötigt.

**SimRoom 4** läuft ausschließlich über das Betriebssystem Microsoft Windows. Es wird außerdem Microsoft Office Excel benötigt.

**Thesim 3D** ist ein online basiertes Programm. Deshalb läuft dieses auf jedem Betriebssystem, solange ein WebGL-fähiger Browser verwendet wird, wie zum Beispiel Chrome. Für Tablets oder Mobiltelefone ist das Programm allerdings nicht geeignet.

**ZUB Helena Sommers** läuft ausschließlich über das Betriebssystem Microsoft Windows. Zudem wird ein Dual Core Prozessor ab 2 GHz vorausgesetzt mit einem MindestArbeitsspeicher von 4 GB.

### 4.4.2 Verfügbarkeit und Studentenversion

**IDA ICE** ist eine kommerzielle Software. Es gibt Angebote für Hochschulen, welche im Preis reduziert sind. Außerdem kann eine Hochschule, welche nicht über eine IDA ICE Lizenz verfügt, für die Dauer einer Abschlussarbeit eine kostenlose Lizenz ausleihen. Dieses Angebot gilt einmalig pro Lehrstuhl oder Institut [14].

**SimRoom 4** kann kostenlos als nicht kommerzielle Version über einen Download- und Lizenzlink per E-Mail angefordert werden. Entsprechendes wird über die Website [www.ingefo.de](http://www.ingefo.de) erfolgen [10].

**Thesim 3D** steht online und kostenlos auf der Website <http://www.thesim.at/> für jedermann zur Verfügung [15].

**ZUB Helena Sommer** ist ein kommerzielles Programm, welches jedoch eine kostenlose Studentensoftware anbietet. Diese ist auf eine Dauer von 180 Tagen beschränkt. Dazu ist eine Registrierung auf der Website [www.zub-systems.de](http://www.zub-systems.de) nötig. Zudem muss ein Grund für die Verwendung des Programmes angegeben werden. Falls mehrere Teilnehmer einer Veranstaltung (z. B. einer Vorlesung oder eines Seminars) die Software von ZUB Systems nutzen möchten wird darum gebeten, dass sich die Dozierenden an den Support wenden. Diese erstellen Gutscheine, die an die Studierenden kostenlos weitergegeben werden können. Die Dauer ist trotzdem auf 180 Tage beschränkt. Eine Option zu Verlängerung besteht. Vgl. [11].

### 4.4.3 Support

**IDA ICE** bietet einen telefonischen Support mit Bildschirmunterstützung und ist zu gängigen Zeiten sehr gut zu erreichen. Außerdem besteht ein Support per Mail. Zur Klärung fachlicher Fragestellungen ist der Abschluss eines Wartungsvertrags erforderlich [14].

**SimRoom 4** wird von Herrn Lichtmeß als private Person und in seiner Freizeit betrieben. Ein regulärer Anwender-Support ist aus Ressourcengründen nicht möglich. Hinweise auf Probleme oder Anregungen und Feedback können an seine E-Mail gesendet werden. Diese werden soweit möglich mit Tipps oder Hilfestellungen beantwortet. Außerdem wird ein Dokument mit Frequently Asked Questions (FAQ) angeboten [10].

**Thesim 3D** stellt Anwendern ein Forum zur Verfügung, sodass der erste Umgang mit Thesim 3D durch die Beantwortung von typischen Fragen erleichtert wird. Des Weiteren kann das Forum für detailliertere Fragen oder Anregungen für Erweiterungen und andere Kritik genutzt werden. Bei Fragen, welche nicht für das Forum bestimmt sind, kann eine persönliche E-Mail an die Betreiber geschrieben werden. Jedoch wird, wie bei Thesim 3D, kein regulärer Anwender-Support angeboten. Vgl. [15].

**ZUB Helena Sommer** bietet für die kommerzielle Nutzung einen regulären Anwender-Support an. Allerdings wird der Support bei der Studentenlizenz ausgeschlossen. Lediglich bei Installation und Aktivierung wird dem Anwender eine Hilfestellung angeboten. Außerdem bietet die Website einen Reiter mit FAQ zu den Programmen an. Vgl. [11].

## 4.5 Adaption an die universitäre Lehre

### 4.5.1 Tutorials und weitere Hilfestellungen

**IDA ICE** verfügt über einen eigenen YouTube-Kanal. Dieser ist unter <https://www.youtube.com/user/EQUAsimulation> erreichbar und bietet ein sehr ausführliches Angebot an themenbezogenen Tutorials an. Darüber hinaus bietet IDA ICE ein umfangreiches Portal, welche interaktiv die verschiedenen Themen rund um das Programm behandelt. Vgl. [14], [16].

**SimRoom 4** verfügt ebenfalls über einen eigenen YouTube-Kanal. Dieser ist unter <https://www.youtube.com/channel/UCcBAIswjyEIKtaYifmbInWA> erreichbar und bietet Tutorials zur Eingabemaske des Programms sowie den ausgegebenen Werten an. Des Weiteren gibt es ein zusätzliches Tutorial zum Import weltweiter Klimadaten in das Programm. Außerdem ist auf der Website ein Benutzerhandbuch vorhanden. Darin werden zunächst allgemeine Informationen zu SimRoom 4 erläutert, bevor eine detaillierte Anleitung zur Benutzung des Programms mit Erläuterungen zu den einzelnen Schaltflächen beschrieben wird [10].

**Thesim 3D** bietet auf der Website eine Anleitung zur Bedienung des Programms. Zudem gibt es ein dreiminütiges Tutorial, in dem die Werkzeuge des Programms erläutert werden [15].

**ZUB Helena Sommers** Support stellt einige Tutorials kostenlos zur Verfügung. Anhand einer Beispielrechnung wird die Eingabe der Parameter in ZUB Helena Sommer Schritt für Schritt erläutert. Gleichermaßen wird die Eingabe der Bautechnik über ein zusätzliches Tutorial erklärt. Des Weiteren



gibt es für das Hauptprogramm ZUB Helena ein Benutzerhandbuch, in dem die Berechnungstools des Programms beschrieben werden. Vgl. [11].

#### 4.5.2 Zielgruppe der Programme

**IDA ICE** ist ein kommerzielles Programm, welches entwickelt wurde, um Fragestellungen sowohl in der Forschung als auch in der freien Wirtschaft zu bearbeiten. Es wird ein sehr breites Spektrum zu untersuchenden Szenarien angeboten, welches analog zur Expertise der Anwender skalierbar ist. Insbesondere die Möglichkeit eines normgerechten Nachweises gemäß DIN 4108-2:2013-02 bietet sich sowohl für Forschung als auch Anwendungen von Planungs- und Ingenieurbüros an [14].

**SimRoom 4** ist als Lehr- und Lernwerkzeug konzipiert. Der Aufbau richtet sich besonders nach fachdidaktischen Aspekten der Hochschullehre an Architekten und Ingenieure. Erfahrungen aus dem Lehrbetrieb, insbesondere an der Universität Wuppertal, sind in die Weiterentwicklung eingeflossen. Das Programm eignet sich in Verbindung mit Übungsaufgaben zur Entwurfsbearbeitung und -vertiefung, wobei ein leichter Zugang in das komplexe Thema geboten wird. Vgl. [10].

**Thesim 3D** bildet auf selbsterklärender und spielerischer Art und Weise physikalische Ansätze realitätsnah ab, sodass bereits Planungssicherheit in der Entwurfsphase geschaffen wird. Dabei soll planungsbeteiligten im Entwurfsprozess mit simpler Handhabung eine zielgerichtetere Planung bezüglich des sommerlichen Gebäudeverhaltens ermöglicht werden.

**ZUB Helena Sommer** ist ein kommerzielles Programm, welches entwickelt wurde, um einen normgerechten Nachweis gemäß der DIN 4108-2:2013-02 zu führen. Somit spricht dies vor allem Planungs- und Ingenieurbüros aus der freien Wirtschaft an.

#### 4.5.3 Standardannahmen und Variabilität der Eingabegrößen

In **IDA ICE** ist eine umfangreiche Datenbank zu Bauteilen aus voreingestellten Katalogen vorhanden. Außerdem steht ein Katalog mit gängigen, teilweise herstellereigenen Baustoffen zur Verfügung. Dieser kann durch eigene Angaben ergänzt werden. Somit lassen sich beliebige Bauteilaufbauten definieren. Wärmeübergangskoeffizienten werden in IDA ICE nicht normgemäß erfasst, sondern berechnet. Werte für Sonnenschutzvorrichtungen und Verglasungen können frei definiert werden. Annahmen zur Steuerung von Sonnenschutzvorrichtungen und weitere Parameter können gemäß der DIN 4108-2:2013-02 voreingestellt werden.

In **SimRoom 4** werden bis auf die Annahme eines Fensterrahmenanteils von 20 % keine Standardannahmen getroffen. Zwar werden Hinweise und Optionen zur Eingabe angeboten, wie zum Beispiel Vorgaben zum Wärmeschutzniveau. Diese lassen sich jedoch über eine Schaltfläche ausschalten, sodass individuelle Werte verwendet werden können. Angaben zum Sonnenschutz gelten für alle Orientierungen, dabei wird der jeweilige Einstrahlungsschwellwert berücksichtigt. Es ist nur eine direkte Eingabe des Wärmedurchgangskoeffizienten des entsprechenden Bauteils möglich. Es kann auf eine Vielzahl an Klimadaten zugegriffen werden, welche in das Programm eingelesen werden können. Vgl. [10].

In **Thesim 3D** sind für eine schnelle Berechnung im Programm, bis auf die Bauweise, Standardvorgaben für alle notwendigen Parameter zur Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes voreingestellt.

Diese können für eigene Berechnungen individuell angepasst werden. Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile werden über Eingaben der Dicke und der Wärmeleitfähigkeit berechnet. Die individuelle Eingabe ist durch die Auswahl einer einzigen Sonnenschutzvorrichtung, sowie eine aus einem Katalog vorgegebene Verglasung eingeschränkt. Bei der Eingabe der Klimadaten sind nur Daten für Orte in Österreich voreingestellt, allerdings können diese individuell für Orte außerhalb Österreichs mit eigenen Daten angepasst werden. Vgl. [2].

In **ZUB Helena Sommer** ist eine umfangreiche Datenbank zu Bauteilen aus voreingestellten Katalogen vorhanden. Durch das Einlesen eigener Kataloge, der Angabe individueller Bauteildicken und Wärmeleitfähigkeiten der Bauteile oder der direkten Eingabe der Wärmedurchgangskoeffizienten lassen sich eigene Bauteile erstellen. Außerdem erfolgt eine detaillierte Eingabe der Randbedingungen gemäß der DIN 4108-2:2013-02. Zwar können abweichende Klimadaten verwendet werden, mit der Einschränkung, dass diese nicht mehr den Anforderungen der DIN 4108-2:2013-02 entsprechen.

## 4.6 Eignung der Programme

Die Eignung der Programme wird vor dem Hintergrund der Anwendbarkeit in der Lehre durchgeführt. Es werden den Kriterien entsprechend Sterne vergeben, welche die Eignung kategorisch beschreiben. Die Bewertungsskala teilt sich wie folgt auf:

- ★ nicht geeignet
- ★ geeignet
- ★★ gut geeignet
- ★★★ sehr gut geeignet

In Anschluss werden die Einzelbewertungen der jeweiligen Kriterien innerhalb der Bewertungsmatrix gewichtet und in Summe prozentual die Gesamteignung dargestellt.

### 4.6.1 Bewertung von IDA ICE

IDA ICE ist ein Universalsimulationsprogramm, welches vielfältige Möglichkeiten zur Erstellung von Gebäudemodellen ermöglicht. Das Programm verfügt in der Formularebene über eine intuitive Bedienung. Es ermöglicht eine separate Modellierung von Gebäude und Anlagentechnik, welche auf eine einfache Art miteinander verknüpft werden können. Studierende erhalten i. d. R. eine Lizenz über die Hochschule, welche von dieser zu beziehen ist. Es besteht in einigen Fällen die Möglichkeit, kostenlose Testlizenzen zu bekommen. Die Einarbeitungszeit ist trotz der einfachen Bedienbarkeit hoch. Die nicht klare Lizenzvergabe kann die Verwendung in der Lehre oder für kurzzeitige Untersuchungen (Abschlussarbeiten) erschweren. Im Folgenden wird die Eignung in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Eignung von IDA ICE für den Gebrauch in der Lehre

Kriterium	Eignung	Eigenschaften
Validierung	★★★	EN ISO 13791:2012-08, ASHRAE 140:2004, EN ISO 15251, ...
Ergebnisdarstellung und Ausgabemöglichkeiten	★★★	NW-SWS DIN 4108-2:2013-02; Komfortbewertung detailliert, Ergebnisauswertungen; Grafische Auswertung; Excel- und Word-Export; Parameterstudien
Nutzeroberfläche, Eingabeoptionen und Schnittstellen	★★★	Formular-basiert; Übersichtlichkeit der Dateneingabe; Portal, Schnittstellen zu anderen Programmen
Systemanforderungen	★	Nur auf Windows anwendbar
Verfügbarkeit und Studentenversionen	★	Testversion erstmalig pro Hochschule kostenlos
Support	★★	Support nur in Kaufversion
Tutorials und weitere Hilfestellungen	★★★	Tutorials + Benutzerhandbuch
Zielgruppe der Programme	★★★	Konzipiert als Universalsimulationsprogramm
Standardannahmen und Variabilität der Eingangsgrößen	★★★	Individuelle Modelle; Berechnung U-Werte; Import Klimadaten; Annahme des Fensterrahmenanteils und der Sonnenschutzangaben variabel
<b>Gesamtwertung = 22/27 Punkten → 81 %</b>		

#### 4.6.2 Bewertung von SimRoom 4

SimRoom 4 eignet sich besonders für den Einsatz in der Lehre als kostenlose und Excel-basierte Anwendung. Diese überzeugt mit einem detaillierten Benutzerhandbuch zum Selbststudium. Zudem hilft die zentrale Dateneingabe dabei, die Parameter einfach und schnell zu ändern. Die Auswertungen werden grafisch ansprechend dargestellt. Mit der Möglichkeit eines Variantenvergleiches und Parameterstudien wird den Studierenden ein Bewusstsein für das sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden beigebracht.

Da das Programm allerdings von einer Privatperson entwickelt wird, ist eine parallele Entwicklung für den Mac sowie ein regulärer Anwender-Support nicht möglich. Des Weiteren kann die zentrale Dateneingabe zunächst überladen wirken, da bauphysikalische und anlagentechnische Parameter auf einer Seite eingetragen werden müssen. Um daher eine Übersichtlichkeit zu gewährleisten, wird auf eine einzelne Eingabe der Sonnenschutzvorrichtung für jede Orientierung verzichtet und die

Wärmedurchgangskoeffizienten müssen direkt eingegeben werden. Im Folgenden wird die Eignung in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Eignung von SimRoom 4 für den Gebrauch in der Lehre

Kriterium	Eignung	Eigenschaften
<b>Validierung</b>	★★	EN ISO 13792:2012-08: Klasse III
<b>Ergebnisdarstellung und Ausgabemöglichkeiten</b>	★★	NW-SWS <i>angelehnt</i> an DIN 4108-2:2013-02; Komfortbewertung <i>angelehnt</i> an DIN EN 15251:2012-12; Energie- und Leistungsbilanz etc.; Grafische Auswertung; Word-Export; Parameterstudien
<b>Nutzeroberfläche, Eingabeoptionen und Schnittstellen</b>	★★	Excel-basiert; Zentrale Dateneingabe; Tooltips mit Kommentaren zu den Eingabeoptionen; Schnittstellen geplant
<b>Systemanforderungen</b>	★	Aufgrund der VBA-Makros nur auf Windows anwendbar
<b>Verfügbarkeit und Studentenversionen</b>	★★★	Kostenlos
<b>Support</b>	★	Kein Anwender-Support, da privater Betreiber, aber FAQ
<b>Tutorials und weitere Hilfestellungen</b>	★★	Tutorials + Benutzerhandbuch
<b>Zielgruppe der Programme</b>	★★★	Konzipiert als Lehr- und Lernwerkzeug
<b>Standardannahmen und Variabilität der Eingangsgrößen</b>	★★	individuelle Werteingabe; keine Berechnung der U-Werte; Import Klimadaten; 20 % des Fensterrahmenanteils wird angenommen; Sonnenschutzangaben gelten für alle Orientierungen
<b>Gesamtwertung = 18/27 Punkten → 67 %</b>		

#### 4.6.3 Bewertung von Thesim 3D

Als online basiertes Programm bietet Thesim 3D jedem Studierenden einen Zugang. Des Weiteren ist die 3D Modellierung des zu untersuchenden Raums und eine grafische Eingabe der Parameter sehr gut geeignet für eine schnelle Einarbeitung der Studierenden. Das Programm verfügt über eine selbsterklärende und intuitive Bedienung. Dies erlaubt den Studierenden, den Fokus auf die Aufgaben und deren Verständnis zu legen, anstatt sich mit der Bedienung des Programms auseinandersetzen zu müssen. Aus diesem Grund und der Möglichkeit eines anschaulichen Variantenvergleichs mit einer gemeinsamen Grafik ist Thesim 3D ebenfalls gut geeignet für die Lehre. Ein Nachteil für die Lehre an deutschen Universitäten ist, dass das Programm für den Nachweis gemäß der deutschen Norm keine Berechnung von Übertemperaturgradstunden liefert, da das Programm an die ÖNorm angepasst ist.

Außerdem ist die Auswertung der Ergebnisse bei Thesim 3D im Vergleich zu SimRoom 4 weniger umfangreich, da unter anderem keine detaillierte Leistungs- und Energiebilanz und Komfortbewertung stattfindet. Zuletzt schränken die begrenzten Möglichkeiten bei der Wahl des Jalousietyps sowie der Verglasungen die individuellen Parametereingaben ein. Im Folgenden wird die Eignung in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Eignung von Thesim 3D für den Gebrauch in der Lehre

Kriterium	Eignung	Eigenschaften
<b>Validierung</b>	★★	EN ISO 13792:2012-08: Klasse I
<b>Ergebnisdarstellung und Ausgabemöglichkeiten</b>	★	NW-SWS nach der ÖNorm B 8110; keine Berechnung von Übertemperaturgradstunden; Keine Komfortbewertung nach DIN EN 15251:2012-12; Berechnung sensibler Kühlleistung; keine detaillierte Leistungs- und Energiebilanz; Grafische Auswertung; kein Ergebnisexport; Variantenvergleich
<b>Nutzeroberfläche, Eingabeoptionen und Schnittstellen</b>	★★	3D Darstellung; Grafische Modelleingabe; Selbsterklärend / intuitive Benutzung; keine Schnittstellen
<b>Systemanforderungen</b>	★★★	Online basiert, WebGL-fähiger Browser
<b>Verfügbarkeit und Studentenversionen</b>	★★★	Kostenlos
<b>Support</b>	★	Kein Anwender-Support, nur Forum zum Fragenstellen
<b>Tutorials und weitere Hilfestellungen</b>	★	Dreiminütiges Tutorial
<b>Zielgruppe der Programme</b>	★★	Unterstützung von Planenden während des Entwurfsprozesses
<b>Standardannahmen und Variabilität der Eingangsgrößen</b>	★★	Standardvorgaben, mit Möglichkeit zur individuellen Anpassung; U-Wert Berechnung; Klimadaten für Österreich voreingestellt, außerhalb eigene Werte notwendig; Auswahl eines einzigen Jalousietyps sowie vorgegebene Verglasungstypen
<b>Gesamtwertung = 17/27 Punkten → 63 %</b>		

#### 4.6.4 Bewertung von ZUB Helena Sommer

ZUB Helena Sommer ist sehr gut geeignet für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß der DIN 4108-2:2013-02. Das Programm bietet mit einer schrittweisen Eingabe und einem Projektbaum eine gute Struktur. Die Einarbeitung in das Programm wird durch lehrreiche Tutorials mit Beispielrechnungen erleichtert. Ungeeignet für die Lehre ist die alleinige Windows-Kompatibilität und

dass trotz vorhandenem Anwender-Support, dieser für die Anwender der kostenlosen Studentenversion ausgeschlossen ist. Zudem wird durch die detaillierte und aufwendige Eingabe die Änderung der Parameter in den Varianten erschwert. Die Ergebnisse des Variantenvergleichs können außerdem nicht in einer gemeinsamen Grafik dargestellt werden. Insgesamt ist das Programm mit seinen mehreren Teilmodulen sehr komplex, sodass das Verständnis des Programms einiges an Zeit bedarf. Für die detailgenauen Eingabeaufforderungen ist es von Vorteil, wenn der Anwender bereits gute Vorkenntnisse im Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß der DIN 4108-2:2013-02 hat. Im Folgenden wird die Eignung in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Eignung von ZUB Helena Sommer für den Gebrauch in der Lehre

Kriterium	Eignung	Eigenschaften
<b>Validierung</b>	★★★	Nach DIN EN ISO 13791:2012-08 validiert
<b>Ergebnisdarstellung und Ausgabemöglichkeiten</b>	★★	NW-SWS nach DIN 4108-2:2013-02; Komfortbewertung auf Basis der DIN EN 15251:2012-12; Energie- und Leistungsbilanz in Verbindung mit ZUB Helena; Excelexport der Werte ohne Grafiken; Variantenvergleich
<b>Nutzeroberfläche, Eingabeoptionen und Schnittstellen</b>	★★	Strukturierung durch Projektbaum; Infobox zu Eingabeparametern; Kompatibel mit ZUB Software; Schnittstelle zu IDA ICE
<b>Systemanforderungen</b>	★	Nur auf Windows anwendbar
<b>Verfügbarkeit und Studentenversionen</b>	★★★	Kostenlose Studentensoftware (Dauer 180 Tage mit der Option zur Verlängerung)
<b>Support</b>	★	Anwender-Support nur für kommerzielle Nutzung
<b>Tutorials und weitere Hilfestellungen</b>	★★	Tutorials mit Beispielrechnungen + Benutzerhandbuch, Beschreibung des Variantenvergleichs fehlt
<b>Zielgruppe der Programme</b>	★★	Anwendung in der freien Wirtschaft für normgerechte Nachweise
<b>Standardannahmen und Variabilität der Eingangsgrößen</b>	★★	Normgerechte Eingabe; Bautechnik nach Katalogen auswählbar oder individuell einstellbar; U-Wert-Berechnung; Abweichende Klimadatensätze möglich; Aufwändige Parameteränderung für Variantenvergleich
<b>Gesamtwertung = 18/27 Punkten → 67 %</b>		

## 4.7 Fazit

Durch die in Deutschland und Österreich unterschiedlichen Normen zum sommerlichen Wärmeschutz ist Thesim 3D für die Lehre in Deutschland ungeeignet und lässt sich damit für tiefergehende Untersuchungen trotz der intuitiven Benutzeroberfläche nicht nutzen.

Die Anwendung von ZUB Helena ist durch ihre komplexe Struktur und die reduzierten grafischen Ausgabemöglichkeiten der Ergebnisse nur eingeschränkt für die universitäre Lehre zu empfehlen.

Weiterhin ist IDA ICE als Universalsimulationsprogramm durch die vielfältigen Aus- und Eingabemöglichkeiten für studentische Arbeiten empfehlenswert, jedoch ist durch die unklare Lizenzvergabe der Zugang für Studierende erschwert.

SimRoom 4 ist als kostenloses Lehrprogramm auf Excel-Basis gut geeignet, um Studierende in Themen des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden zu sensibilisieren.

## 5 Entwicklung themenbezogener Laborversuche (AP 5)

### 5.1 Bauphysikalisches Modellhaus

Mit dem thermischen Modellhaus (Abbildung 11) sollen bauphysikalische Phänomene veranschaulicht werden und wesentliche Aspekte der Gebäudeklimatisierung im Experiment nachvollzogen werden. Neben den Grundprinzipien der Raumenergiebilanz (z. B. thermische Verluste und Gewinne, solare Einstrahlung durch Fenster oder Wechselwirkungen zwischen zwei benachbarten Räumen) können Wärme- und Lufttransportvorgänge (z. B. thermische Trägheit, Wärmetransmission) sowie die Grundfunktionen der energetischen Gebäudetechnik (Heizen, Kühlen, Lüften, Verschattung) im Experiment nachgebildet werden.



*Abbildung 11: Skizzenhafte Darstellung des bauphysikalischen Modellhauses; UdK Berlin, Institut für Architektur und Städtebau Versorgungsplanung und Versorgungstechnik, Prof. Dr.-Ing. Nytsch-Geusen*

Das thermische Modellhaus ist mit einer Reihe von gebäudetechnischen Elementen ausgestattet, die zukünftig noch erweitert werden können. Sie beinhalten die grundlegenden Funktionen der Klimatisierung von Räumen (Heizen, Kühlen, Lüften), werden jedoch technisch nicht mit den üblichen Aggregaten für Heizung und Kühlung ausgeführt. Beheizt wird das Modell mit einer Flächenheizung aus Heizfolien anstatt einer Warmwasser-Zirkulationsheizung und Peltier-Elemente in Verbindung mit einer Decken-Kühlplatte werden anstatt einer Kompressionskältemaschine verwendet.



Zur Aufnahme von Messwerten ist das Modellhaus mit Messfühlern für Temperatur, Luftfeuchte und Wärmestromdichte ausgestattet, sowie einer Messwerterfassungsanlage, die eine automatische Aufzeichnung aller Messwerte ermöglicht. Für weitergehende Messungen und Untersuchungen ist das System mit weiteren Messfühlern erweiterbar.

### 5.1.1 Baukonstruktion

Um das Modellhaus leicht transportieren zu können, wurde es mit sehr kompakten Abmessungen konzipiert. Die Innenmaße betragen 1 m x 0,5 m x 0,5 m. Die Geometrie des Gebäudes ist symmetrisch gehalten; der Wandaufbau ist mehrschichtig, bei allen Bauteilen gleich und besteht aus einer 40 mm dicken Dämmschicht aus extrudiertem Polystyrol-Hartschaum, außen umgeben von einer stabilen Multiplex-Holzplatte der Stärke 9 mm und innen von einer Holzplatte der Stärke 6,5 mm. Die Holzplatten sind flächig mit dem Polystyrolkern verklebt. Um die Stabilität zu erhöhen, sind zusätzliche Holzleisten als Abschluss der Dämmschicht zwischen den Holzplatten eingefügt. Die Fenster sind mit Einfachverglasung realisiert; die 5 mm starken, quadratischen Glasscheiben (Maße: 36,5 cm x 36,5 cm) sind fest eingebaut. Einen Längsschnitt durch das Modellhaus zeigt Abbildung 12.

Das Haus ist flexibel aufgebaut. Das Dach- und das Frontelement können durch andere Bauteile mit gleichen Abmessungen ersetzt werden. So kann beispielsweise die Kühldecke durch eine normale Decke ersetzt werden oder bei Austausch der Front können Versuche mit anderen Fenstergrößen durchgeführt werden. Optional lässt sich eine Innenwand ergänzen, welche das Gebäudeinnere in zwei getrennte thermische Zonen aufteilt. Jede dieser Zonen kann dann getrennt beheizt oder gekühlt werden.

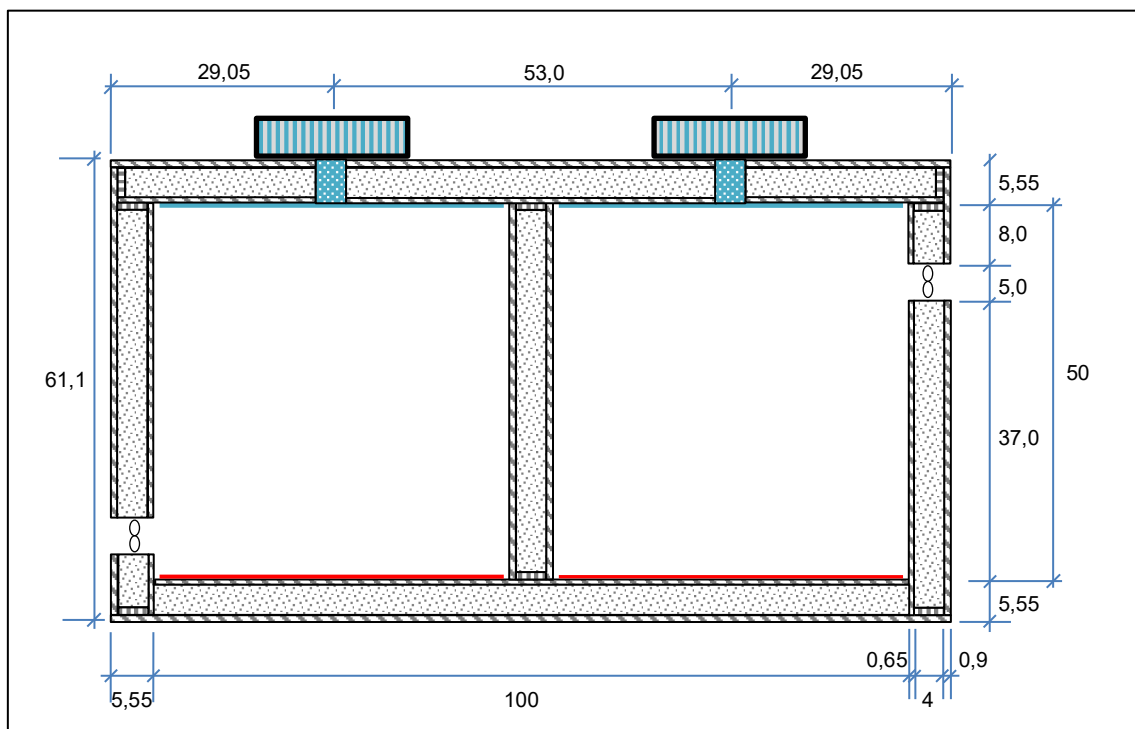


Abbildung 12: Das thermische Modellhaus im Längsschnitt mit eingesetzter gedämmter Zwischenwand

Die Schichtaufbauten der thermischen Hülle sind nachfolgend in Tabellen 5 und Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 5: Schichtaufbauten der opaken thermischen Hülle des bauphysikalischen Modellhauses

Bauteilschicht	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Schichtdicke [m]	Wärmedurchlass- widerstand [m <sup>2</sup> *K/W]
Multiplexplatte innen	650	0,140	0,0065	0,046
Ursa XPS D N-III-L Dämmplatte	035	0,033	0,0400	1,212
Multiplexplatte außen	650	0,140	0,0090	0,064

Tabelle 6: Schichtaufbauten der transparenten thermischen Hülle des bauphysikalischen Modellhauses

Bauteilschicht	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m*K)]	Schichtdicke [m]	Wärmedurchlass- widerstand [m <sup>2</sup> *K/W]
Floatglas 0,25 m <sup>2</sup>	2500	1	0,005	0,005

Mit den aufgeführten Schichtaufbauten ergeben sich unter Laborbedingungen rechnerisch die in Tabelle 7 aufgeführten U-Werte.

Tabelle 7: U-Werte der opaken- und transparenten thermischen Hülle des bauphysikalischen Modellhauses

Bauteil und Lage	R <sub>si</sub> [m <sup>2</sup> *K/W]	R <sub>se</sub> [m <sup>2</sup> *K/W]	U-Wert [W/(m <sup>2</sup> *K)]
Wand – Wärmeübergänge horizontal	0,17	0,17	0,60
Decke, Boden – Wärmeübergänge vertikal	0,13	0,13	0,63
Glas - Wärmeübergänge vertikal	0,13	0,13	3,77

Die Heizwärmeübergabe wird über bodenseitig installierte Aluminiumplatten mit einer Stärke von 1 mm sichergestellt. Analog dazu ist die Kühldecke mit Aluminiumplatten mit einer Stärke von 2 mm ausgeführt. Mit Abbildung 13 wird das Modellhaus im fortgeschrittenen Bauzustand dargestellt.

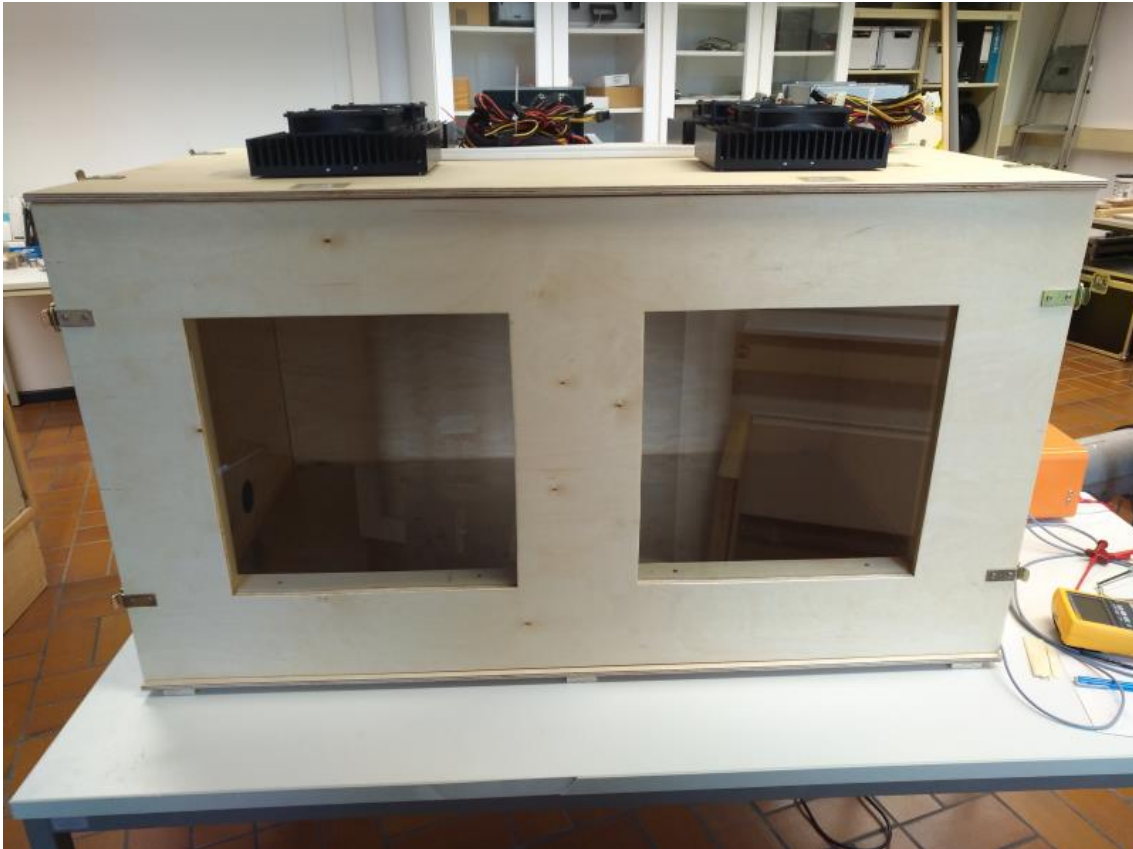


Abbildung 13: Darstellung des bauphysikalischen Modellhauses; Universität Kassel, FG Bauphysik

## 5.1.2 Gebäudetechnik

### 5.1.2.1 Heizung

Die Heizung ist als flächige Fußbodenheizung ausgeführt und bedeckt nahezu die gesamte Bodenfläche. Selbstklebende Heizfolien sind unter zwei identischen, 1 mm dicken Aluminiumplatten angebracht (Fläche  $2 \times 0,216 \text{ m}^2$ ). Die Heizfolien sind elektrisch so verschaltet, dass pro Raum zwei Heizelemente mit einer Leistung von je 72 W betrieben werden können. Die maximale Heizleistung für beide Räume beträgt also 288 W.

Die Stromversorgung erfolgt durch ein regelbares Doppelnetzteil (2 x 0 bis 32V DC, 2 x 0 bis 2,5 A) mit einer maximalen Leistungsabgabe von 2 x 80 W. Dies ist zwar deutlich weniger als die mögliche Heizleistung der Folien, reicht für Standard-Untersuchungen jedoch aus.

### 5.1.2.2 Kühlung

Für die Kühlung der beiden Modellräume werden Peltier-Elemente verwendet. Diese Bauteile sind elektrothermische Wandler, die auf den nach Jean Peltier benannten Effekt beruhen. Ein elektrischer Stromfluss durch Halbleiterelemente bewirkt eine Änderung des Wärmetransports und somit eine Temperaturdifferenz zwischen den Außenplatten. Peltier-Elemente können sowohl zur Kühlung als auch - bei Stromrichtungsumkehr - zum Heizen verwendet werden.

Pro Raum sind zwei Elemente thermisch über Aluminiumblöcke mit deckenfüllenden Alu-Platten (Stärke 2 mm) gekoppelt und führen die Wärme nach außen ab. Die Wärmeübergabe an die Umgebungsluft ist durch Kühlkörper und Ventilatoren realisiert. Dieser Aufbau hat zwar keinen sehr hohen Wirkungsgrad, ist jedoch im Gegensatz zu Kompressionskältemaschinen nahezu geräuschlos und technisch einfach zu realisieren.

### 5.1.2.3 Lüftung

Eine erzwungene Lüftung kann über seitlich eingebaute Lüfter (Zuluft im linken unteren Bereich der Stirnwand, Abluft im rechten oberen Bereich) erfolgen. Der Luftvolumenstrom ist über ein Netzteil regelbar. Der Öffnungsdurchmesser für den Luftstrom beträgt 50 mm. Der maximale Luftvolumenstrom beträgt ca. 10 m<sup>3</sup>/h. Dies entspricht einer Luftwechselrate von ca. 4 h<sup>-1</sup>.

### 5.1.2.4 Messtechnik

Die im Modellhaus verwendeten Aggregate sowie die Messtechnik zur Messdatenerfassung werden in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 8: Verwendete Geräte und Messtechnik für das Modellhaus

Bauteilschicht	Anzahl	Hersteller	Bezeichnung
Heizfolie	8	thermo Flächenheizungs GmbH	Polyester Heizfolie selbstklebend 12 V/DC/AC, 36 W, (L x B) 320 mm x 137 mm
Netzteil für Heizung	1	EA Elektro-Automatik GmbH & Co. KG	EA-PS 2332-025 2 x 80 W
Peltier-Elemente	4	P&N Technolog Co.	TEC1-127080-40X40 W150mm, I <sub>max</sub> 8,5 A, P <sub>max</sub> 72 W
Kühlkörper	4	Fischer Elektronik GmbH & Co. KG	SK 47 150SA, 200 x 150 x 40, 1,05 .. 0,45 K/W
Lüfter für Kühlkörper	4	RND components	RND 460-00033, 120 mm x 120 mm x 25 mm, 12 V 0,28 A
Netzteil für Kühlung	2	Eigenbau	Modifizierte Computer Netzteile mit Festspannung 12 V
Netzteil für Lüfter	1	Voltcraft	PS-2403-D, 2 x 0 .. 40 V DC, 0 .. 3 A
Lüfter für Abluft / Zuluft	2	Sunon	EE60251B3-000U-A99, 12 V, 50 mA
Laminar Flow Element	1	Special Instruments	Typ 4, 40 m <sup>3</sup> /h
Lampe für Bestrahlung	1	Baumarkt	Baustrahler, 480 W, Leuchtmitteltemperatur 310 °C
Temperaturfühler	10	Sensotherm	PT1000
Konstantstromquelle	1	Knechtges	U/I-Referenz, 0,01 %
Messdatenerfassung	1	Keithley	Modell 2700

### 5.1.3 Messtechnische Untersuchungen

Der Fokus der entwickelten Laborversuche für das bauphysikalische Modellhaus liegt auf dem sommerlichen Wärmeverhalten eines Raumes. Dabei wird die Abhängigkeit der Raumtemperatur von unterschiedlichen Luftwechsell und der Bauweise der umgebenden Wände untersucht und aufgezeigt. Kernelement in der Entwicklung ist die Nachbildung realer Gegebenheiten eines Tages, sodass zum einen die Möglichkeit besteht, die Versuche durch die Softwareanwendung SimRoom 4 nachzubilden und zum anderen, um die Anwendung der Versuche in der universitären Lehre zu ermöglichen. Angelpunkt dafür ist die zeitliche Anpassungsfähigkeit der Versuche an die Dauer einer Unterrichtseinheit und gleichlaufend die Nachbildung der Realität. Demnach muss ein Tag mit 24 Stunden auf die begrenzte Vorlesungszeit verkürzt werden. Dies wird durch den Einsatz von zwei Halogenstrahlern sowie einer mechanischen Lüftungsanlage im Modellhaus erreicht. Aufgrund des höheren Strahlungseintrages der Halogenstrahler zur Sonne lässt sich der gesamte Energieeintrag eines Sommertages innerhalb von 80 Minuten simulieren. Des Weiteren werden die Luftwechselraten gemäß der DIN 4108-2:2013-02 als Referenzwert für den erhöhten und hohen Nachtluftwechsel angesetzt. Diese werden um den Faktor zehn erhöht, sodass das ausgetauschte Luftvolumen in einer realen Nacht durch den höheren Luftwechsel innerhalb von 42 Minuten realisiert wird. Dadurch verkürzt sich die Periode eines Tages in den Versuchen auf ca. zwei Stunden.

Die den Luftvolumenströmen und Luftwechselraten äquivalenten Werte für den Grund- und Nachtluftwechsel sind in Tabelle 9 wiedergegeben.

Tabelle 9: Äquivalente Volumenströme und Luftwechselraten bei Grund- und Nachtluftwechsel

	Grundluftwechsel	Erhöhter Nachtluftwechsel	Hoher Nachtluftwechsel
Luftwechselrate [ $\text{h}^{-1}$ ]	0,5	2	5
Volumenstrom [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	0,125	0,5	1,25
Reale Lüftungszeit [h]	17	7	7
Äquivalente Luftwechselrate [ $\text{h}^{-1}$ ]	6,4	20	50
Äquivalenter Volumenstrom [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]	1,6	5	12,5
Verkürzte Lüftungszeit [min]	80	42	42

Neben dem Strahlungseintrag und dem Luftwechsel wird darüber hinaus eine unterschiedliche Bauweise untersucht. Die leichte Bauweise des Modellhauses wird durch Einbringung von Kalksandsteinplatten mit hoher Wärmekapazität modifiziert, sodass nahezu eine Verdoppelung der thermischen Masse des Modellhauses erreicht wird.

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit des Modellhauses im Normalzustand ist durch die Wärmekapazitäten der Holz-Innenwand und der Aluminiumplatten des Fußbodens und der Decke gegeben. Sie beträgt 5,07 Wh/K bzw. auf die Nettogrundfläche von 0,5  $\text{m}^2$  bezogen 10,1 Wh/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ). Mit Zugabe der Kalksandsteinplatten vergrößert sich die wirksame Wärmespeicherfähigkeit auf 9,52 Wh/K bzw. flächenbezogen auf 19,0 Wh/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ).

Im Rahmen dieser Versuchsrandbedingungen werden Messungen an vier verschiedenen Versuchsaufbauten durchgeführt und bezüglich des Temperaturverhaltens verglichen. Dabei zeigt der unveränderte bzw. „leichte“ Modellhaus-Aufbau unter dem Einfluss von einem variablen Luftwechsel ein charakteristisches Verhalten durch einen großen Schwankungsbereich der Temperaturen. Im Vergleich dazu weist das mit Kalksandstein modifizierte Modellhaus einen trägen Temperaturverlauf mit geringeren Höchst- und Tiefsttemperaturen auf, welcher typisch für eine schwere Bauweise ist. Die Erhöhung des Luftwechsels führt unabhängig von der Bauweise zu einem niedrigeren Temperaturniveau und bestätigt somit die Effektivität einer Nachtlüftung.

Die Versuchsergebnisse spiegeln daher den aktuellen Stand der Forschung zum sommerlichen Wärmeverhalten eines Gebäudes wider und eignen sich deshalb zur Nachbildung eines realistischen Gebäudeverhaltens im kleinen Maßstab. Gleichzeitig kann durch Vergleiche der Einfluss unterschiedlicher Gebäudeparameter auf das sommerliche Wärmeverhalten hervorgehoben werden. Dies bedeutet, dass sich einerseits die inhaltlichen Aussagen zur Darstellung in der Lehre eignen und dass andererseits die Rahmenbedingungen für die praktische Integration der Versuche in die universitäre Lehre durch die kurze Versuchsdauer und dem Standort des Modellhauses in einem Laborraum erfüllt werden.

### 5.1.4 Versuchsbeschreibung

In Tabelle 10 werden die vier Varianten der Untersuchung aufgeführt. Die allgemeinen Versuchsrandbedingungen sind im Zuge der Vergleichbarkeit annähernd gleichbleibend. Variiert wird bei den Versuchen der Volumenstrom während der Nachtlüftung bei leichter und schwerer Bauweise. Somit kann sowohl der Einfluss der Nachtlüftung als auch der Einfluss der Speicherfähigkeit der Bauteile untersucht und verglichen werden.

Tabelle 10: Messtechnische Untersuchungen am bauphysikalischen Modellhaus

Versuchsbeschreibung		Brenndauer der Lampen	Dauer der Abkühlphase	Volumenstrom während der Aufheizphase	Volumenstrom während der Abkühlphase
		[min]	[min]	[m³/h]	[m³/h]
Versuch I	leichte Bauweise mit erhöhtem Nachtluftwechsel	80	42	1,6	5
Versuch II	leichte Bauweise mit hohem Nachtluftwechsel	80	42	1,6	12,5
Versuch III	Schwere Bauweise mit erhöhtem Nachtluftwechsel	80	42	1,6	5
Versuch IV	schwere Bauweise mit hohem Nachtluftwechsel	80	42	1,6	12,5

#### Versuch I: leichte Bauweise mit erhöhtem Nachtluftwechsel

Um das Aufheizverhalten des thermischen Modellhauses unter dem Einfluss einer leichten Bauweise sowie einem nach der DIN 4108-2:2013-02 erhöhten Nachtluftwechsel zu untersuchen, wird das

Modellhaus von zwei 480 Watt Halogenstrahlern aus einer Distanz von 50 cm für 80 Minuten bestrahlt. Die Halogenstrahler werden jeweils in Fenstermitte vor dem entsprechenden Fenster des Modellhauses positioniert und simulieren den solaren Eintrag, welcher äquivalent zum Sonneneintrag des 11. Julis des Testreferenzjahres 2010 am Standort Kassel ist. Der gewählte Abstand wird von der Fensterfläche bis zur Gehäusemitte des Halogenstrahlers gemessen. Abbildung 14 zeigt skizzenhaft den Versuchsaufbau.

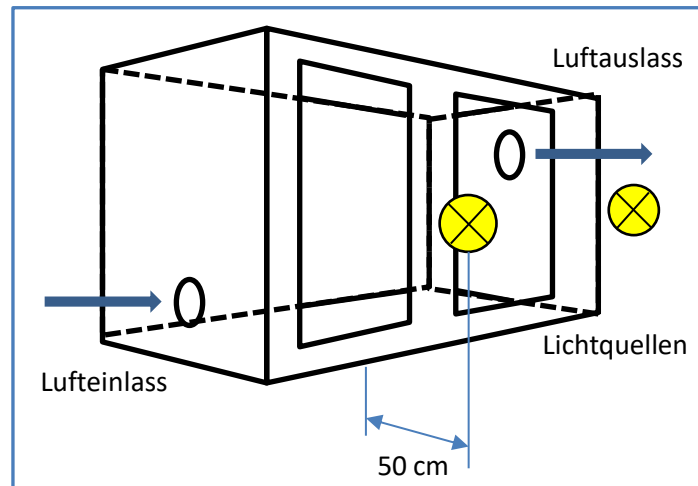


Abbildung 14: Skizze Versuchsaufbau I und II

Während der Bestrahlungsdauer findet ein äquivalenter Grundluftwechsel gemäß der DIN 4108-2:2013-02 statt ( $n = 6,4 \text{ h}^{-1}$ ). Anschließend wird der Luftwechsel entsprechend dem erhöhten Nachtluftwechsel gesteigert ( $n = 20 \text{ h}^{-1}$ ). Die Dauer der äquivalenten Nachtlüftung beträgt 42 Minuten.

Während der gesamten Versuchsdauer werden die Innen- und Außentemperatur sowie der Luftvolumenstrom mit einer automatischen Messdatenerfassung mit einem Messintervall von 60 Sekunden aufgezeichnet.

#### **Versuch II: leichte Bauweise mit hohem Nachtluftwechsel**

Die Aufheizphase bei Versuch II ist identisch zu Versuch I. Die Lichtquellen werden an den gleichen Stellen im Abstand von 50 cm positioniert. Nach 80 Minuten Bestrahlung und einem Grundluftwechsel nach Tabelle 10 wird abweichend zu Versuch I mit hohem Nachtluftwechsel gelüftet. Die Messwerte - Außenluft- und Innenlufttemperatur und der Luftvolumenstrom - werden wie bei Versuch I jede Minute aufgezeichnet.

#### **Versuch III: schwere Bauweise mit erhöhtem Nachtluftwechsel**

Bei Versuch III wird die Wärmespeicherfähigkeit erhöht. Dazu werden zwei Kalksandsteinplatten (Abmessungen  $B \times H \times L = 17,5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 50\text{cm}$ ) in das Versuchshaus eingebracht (Abbildung 15 und Abbildung 16). Der Versuchsablauf entspricht Versuch I.



Abbildung 15: Speichermasse im Modellhaus bei Versuch III und IV

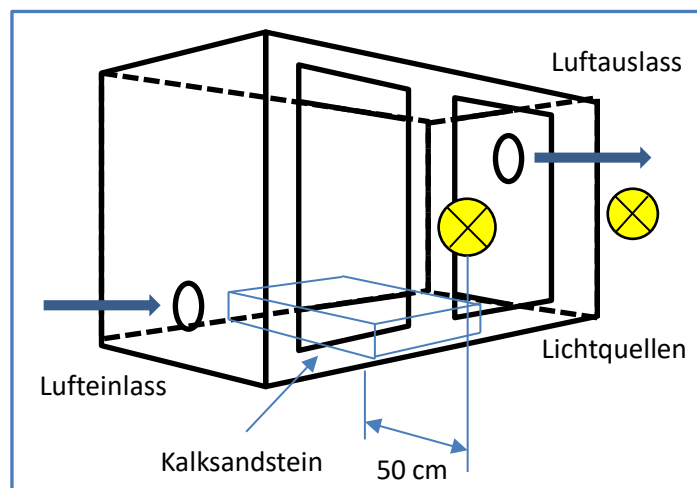


Abbildung 16: Skizze Versuchsaufbau III und IV

#### Versuch IV: schwere Bauweise mit hohem Nachtluftwechsel

Bei Versuch IV wird die erhöhte Speichermasse im Modellhaus belassen und wie bei Versuch III zunächst mit erhöhtem Luftwechsel die Aufheizung initialisiert und danach bei hohem Luftwechsel die Nachtlüftung durchgeführt. Messdaten werden wie vorher alle 60 Sekunden aufgezeichnet.

#### 5.1.5 Auswertung der Versuche

- Bei allen vier Versuchen werden die Lufttemperatur im Innenraum, die Lufttemperatur außerhalb des Modellhauses sowie die Oberflächentemperatur am Fußboden des Hauses und der Volumenstrom der Belüftung in einem Zeitdiagramm über den Messzeitraum von 122 Minuten dargestellt.



- Um die Versuchsvarianten vergleichen zu können wird das Aufheizverhalten aller vier Versuche in einem Zeitdiagramm über den Aufheizzeitraum dargestellt.
- Um Unterschiede bei ungleicher Ausgangslage zu beseitigen, können die gemessenen Temperaturwerte auf den Ausgangswert bezogen werden. Es wird dabei ein Temperaturfaktor über die Zeit dargestellt, dessen Wert „1“, der Ausgangstemperatur entspricht. Annähernd können so Unterschiede im Zeitverhalten deutlich gemacht werden.
- Unterschiede im Aufheizverhalten werden diskutiert.
- Zeitdiagramme des Abkühlverhaltens sowohl der Luft- als auch der Oberflächentemperatur ermöglichen den Vergleich der Varianten. Leichte und schwere Bauweise zum einen und die verschiedenen Nachtluftwechsel zum anderen werden einander gegenübergestellt. Da bei der Betrachtung der Abkühlung die Ausgangswerte in der Regel nicht die gleichen sind, kann hier die Temperatur ebenfalls als Temperaturfaktor dargestellt werden. Der Bezugswert ist in diesem Fall die Temperatur zu Beginn des Abkühlprozesses.
- Unterschiede im Abkühlverhalten bei den Variationen werden diskutiert.

### **5.1.6 Ergebnisse der Versuche**

Im Falle von einer Nachstellung der Versuche sind in Verbindung mit einer zu erwartenden Variabilität der Versuchsrandbedingungen ggf. Abweichung zu den gezeigten Ergebnissen zu erwarten.

Mit Abbildung 17 bis Abbildung 20 werden die Zeitverläufe der Luft- und Oberflächentemperaturen und des Volumenstroms während des Messzeitraums für die Versuche I bis IV dargestellt. Der Messzeitraum von 122 Minuten entspricht dem Zeitverlauf eines Tages. Innerhalb der ersten 80 Minuten erfolgt eine äquivalente Bestrahlung, die der eines Sommertages (11.07.2010; Testreferenzjahr Kassel) entspricht. Die restlichen 42 Minuten entsprechen der Zeit, in der die Nachtlüftung mit erhöhtem bzw. hohem Luftvolumenstrom erfolgt.

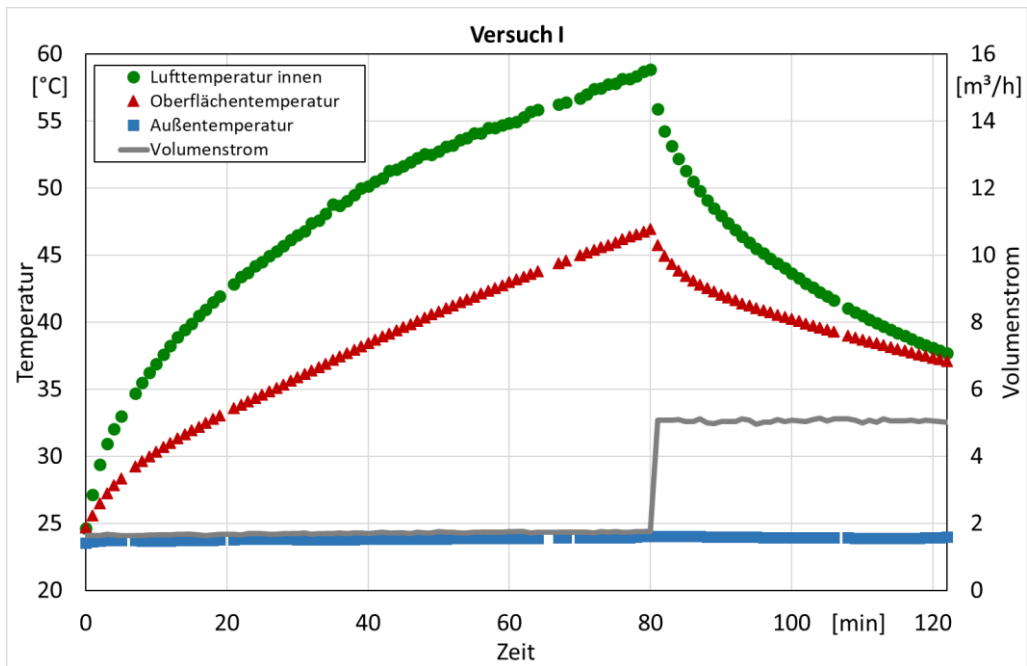


Abbildung 17: Versuch I - leichte Bauweise mit erhöhtem Nachtluftwechsel

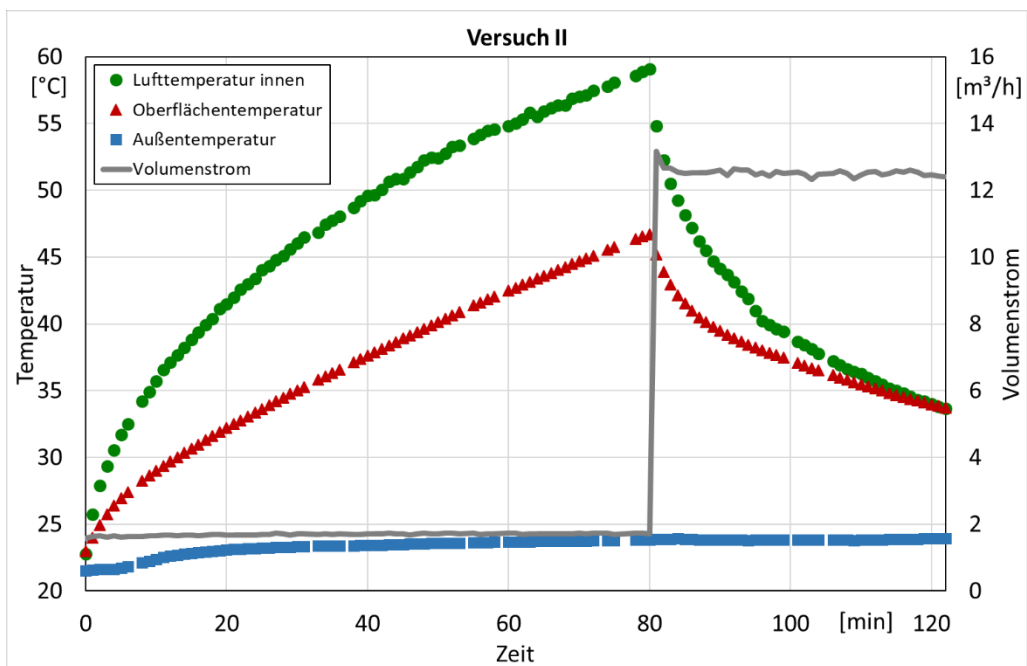


Abbildung 18: Versuch II - leichte Bauweise mit hohem Nachtluftwechsel

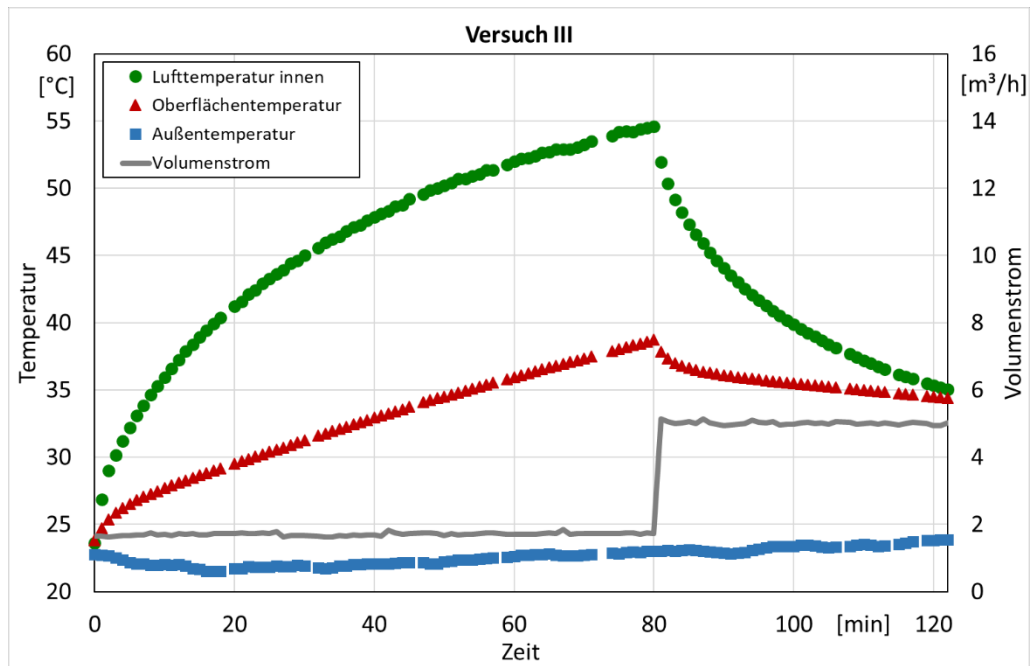


Abbildung 19: Versuch III - schwere Bauweise mit erhöhtem Nachtluftwechsel

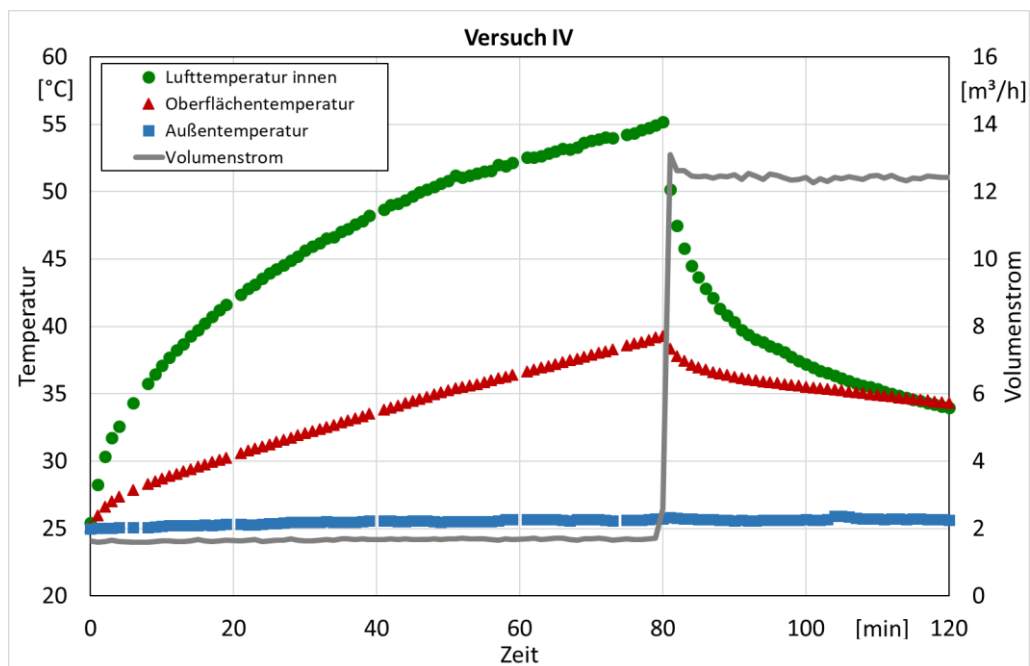


Abbildung 20: Versuch IV - schwere Bauweise mit hohem Nachtluftwechsel

### Vergleich des Aufheizverhaltens

In Abbildung 21 wird das Aufheizverhalten des Modellhauses bei unterschiedlicher Bauweise dargestellt. Bei nahezu gleicher Ausgangstemperatur ergeben sich bei den Bauweisen nach 80 Minuten Bestrahlungsdauer ausgeprägte Unterschiede sowohl bei den Luft- als auch bei den

Oberflächentemperaturen. Bei der leichten Bauweise, also geringerer Speicherfähigkeit, erwärmt sich die Luft stärker; ebenso verhalten sich die Oberflächentemperaturen. Der Versuch zeigt, dass eine hohe Wärmespeicherfähigkeit in der Lage ist, Temperaturspitzen abzufangen.

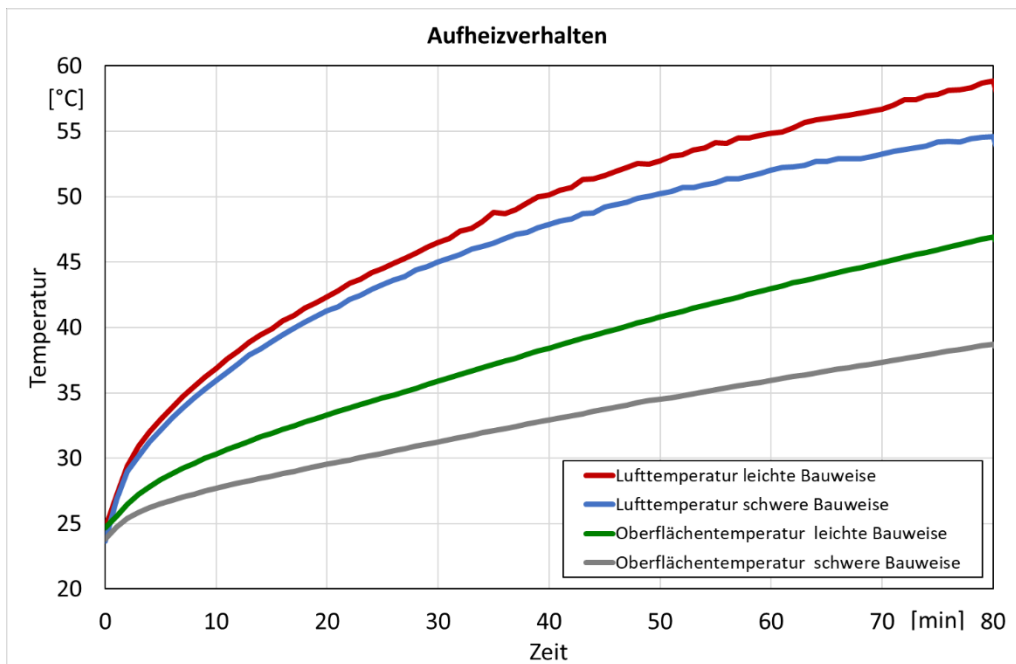


Abbildung 21: Vergleich des Aufheizverhaltens bei unterschiedlichen Bauweisen

### Vergleich des Abkühlverhaltens

Auch beim Abkühlverhalten ergeben sich aufgrund unterschiedlicher Bauweise Abweichungen im Temperaturverhalten. Wie exemplarisch in Abbildung 22 dargestellt, sinkt die Raumlufthtemperatur bei der schweren Bauweise aufgrund der höheren Wärmespeicherkapazität langsamer. Die Temperaturwerte sind auf den jeweiligen Ausgangswert zu Beginn des Abkühlprozesses bezogen.

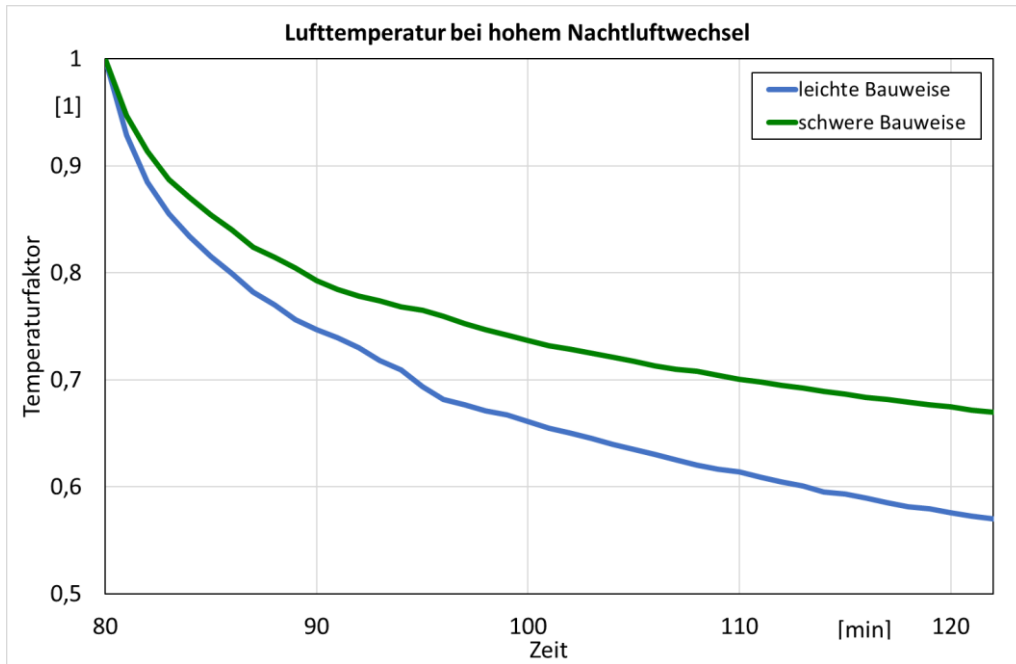


Abbildung 22: Abkühlverhalten bei hohem Nachtluftwechsel und unterschiedlichen Bauweisen

Hoher Nachtluftwechsel führt beim Abkühlvorgang wie zu erwarten zu einer schnelleren Abkühlung der Innenraumtemperaturen. Dies zeigt beispielhaft Abbildung 23, bei der ebenfalls die Temperaturwerte auf den Ausgangswert bezogen sind.

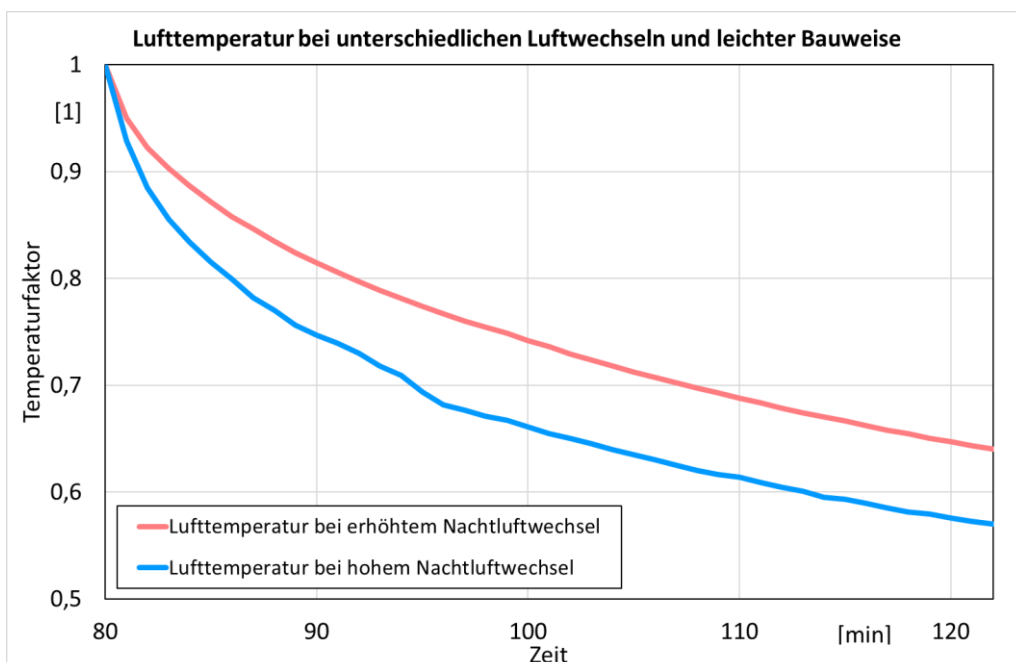


Abbildung 23: Abkühlverhalten bei unterschiedlichen Luftwechseln und leichter Bauweise

Diese Ergebnisse zeigen, dass eine Übertragung sommerlichen Wärmeverhaltens von realen Gebäuden auf einen kleinen Maßstab – einem Modellhaus – möglich ist und ein realistisches Gebäudeverhalten unter Laborbedingungen nachgestellt werden kann.

## 5.2 Messung von Luftvolumenströmen mittels Tracergas-Methode

Ziele des Versuchs sind das Kennenlernen und die Anwendung der Methode „Tracergasmessung“. Die Messungen sollen weiterhin ein Verständnis für die Wirkung des thermisch induzierten Luftaustauschs durch Fassadenöffnungen vermitteln.

### 5.2.1 Messprinzip

Während man bei Gebäuden mit mechanischen Lüftungsanlagen den Luftwechsel durch die messbaren Zu- und Abluftvolumenströme leicht bestimmen kann, ist die messtechnische Erfassung der zu- und abgeführten Luft bei natürlicher Lüftung wegen der komplexen Geometrie der Öffnungen wesentlich aufwendiger.

Daher bedient man sich einer indirekten Messmethodik, indem eine messtechnisch gut erfassbare Größe – ein Spurengas – in den zu betrachtenden Raum eingebracht wird. Der Zusammenhang zwischen der Konzentration des Tracergases und dem Luftwechsel mit der Umgebung ist mathematisch beschreibbar. Mit der aufgezeichneten Änderung der Spurengaskonzentration im Messraum kann der Zuluftvolumenstrom und dadurch der Luftwechsel berechnet werden.

Weiterhin sind Spurengasmessverfahren zur Ermittlung von Luftwechseln bei Gebäuden gut geeignet, da die Messungen unter atmosphärischen Druckverhältnissen und bei veränderlichen Randbedingungen durchgeführt werden können. Wettereinflüsse, wie z. B. wechselnde Windverhältnisse, die ebenso den Luftwechsel beeinflussen wie Benutzergewohnheiten, können dabei durch geeignete Messtechnik miterfasst werden und Aufschluss über die Beziehungen zwischen meteorologischen Randbedingungen und dem Luftwechsel geben. Voraussetzung dafür ist jedoch eine weitestgehend automatisierte Aufzeichnung von Messdaten über längere Zeitperioden.

Für die Tracergas-Messmethoden bei der Bestimmung von Luftwechseln eignen sich inerte Gase, die weder mit Bestandteilen der Luft noch mit Oberflächen des Messraumes chemisch reagieren. Sie sollten auch nicht von Gebäudeteilen absorbiert werden oder durch Wände diffundieren. Die Gase sollten nicht in der Raum- oder Außenluft vorkommen. Sie dürfen nicht brennbar sein und sie sollten nicht toxisch und auch in niedrigen Konzentrationen gesundheitlich unbedenklich sein. Die Dichte der Tracergase sollte annähernd der Dichte der Luft entsprechen. Die Indikatorgase sollten natürliche Luftströmungen in der Messzone nicht beeinflussen. Ferner sollten die Gase bei hoher Genauigkeit in geringen Konzentrationen schnell und kontinuierlich messbar sein. Häufig verwendete Spurengase sind Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) und Distickstoffmonoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ), auch Lachgas genannt. Lachgas ist ein farbloses Gas, das im medizinischen Bereich als Narkotikum angewandt wird. Bei niedrigen Konzentrationen kann es als gesundheitlich unbedenklich eingestuft werden.

Die Resultate der Tracergasmessung sind ein direktes Maß für den momentanen Luftwechsel. Quantifiziert wird der Luftwechsel  $n$  durch das Verhältnis des Zuluftvolumenstroms  $\dot{V}_{zu}$  zu dem effektiven Raumvolumen  $V$ :

$$n = \frac{\dot{V}_{zu}}{V}$$

Mit:

- n Luftwechsel
- $\dot{V}_{zu}$  Zuluftvolumenstrom
- V effektives Raumvolumen der Messzone

Ein mathematisch-physikalisches Modell der auftretenden Massenströme wird durch die Kontinuitätsgleichung beschrieben: [17].

$$V \rho_i \frac{dC_m(t)}{dt} = \dot{V}_{zu} \rho_{zu} C_{a,m} - \dot{V}_{ab} \rho_{ab} C_m(t) + F \rho_F$$

Mit:

- $\dot{V}_{zu}$  Zuluftvolumenstrom
- $\rho_{zu}$  Luftdichte der Zuluftströme
- $C_{a,m}$  Tracergaskonzentration der Außenluft
- $\dot{V}_{ab}$  Abluftvolumenstrom
- $\rho_{ab}$  Dichte der abströmenden Luft
- $C_m(t)$  Tracergaskonzentration im Messraum zum Zeitpunkt t
- F Tracergas-Massenstrom
- $\rho_F$  Dichte des Tracergases

Mit folgenden Annahmen und Vereinfachungen erhält man mit den auf das Volumen bezogenen Konzentrationen die nachfolgende Gleichung:

- Alle in die Messzone eintretenden Luftströme haben die gleiche Dichte und besitzen die gleiche Konzentration an Tracergas  $C_{a,m}$ , so dass sie zu dem Volumenstrom  $\dot{V}_{zu}$  zusammengefasst werden können; ebenso haben alle austretenden Luftströme die gleiche Dichte und Konzentration  $C_m(t)$  und werden zum Volumenstrom  $\dot{V}_{ab}$  zusammengefasst.
- Die zur Messung entnommenen und wieder zugeführten Massenströme sind gegenüber den anderen Massenströmen sehr klein und damit vernachlässigbar.
- Die Dichte  $\rho$  der ein- und austretenden Volumenströme, die Tracergaskonzentration der Umgebung  $C_{a,m}$  und das Volumen V der Messzone sind während der Messung konstant.
- Es liegt zu jeder Zeit t eine homogene Verteilung des Spurengases innerhalb der Messzone vor.
- Das Verhältnis  $\rho_{zu}$  zu  $\rho_i$  ist ungefähr  $T_i$  zu  $T_{zu}$ , mit der absoluten Temperatur T in Kelvin.

$$\frac{\rho_{zu}}{\rho_i} = \frac{\rho_{zu} R_i T_i}{\rho_i R_{zu} T_{zu}} \approx \frac{T_i}{T_{zu}}$$

Mit:

- $\rho_i$  Dichte der Luft in der Messzone
- Die Summe aller Massenströme ist Null.

$$\sum \dot{m}_{zu} + \sum \dot{m}_{ab} = 0$$

Somit erhält man die Differentialgleichung:

$$V \frac{dC(t)}{dt} = F + \dot{V}_{zu} \frac{T_i}{T_{zu}} (C_a - C(t))$$

Bzw.:

$$\frac{V}{\dot{V}_{zu}} \frac{T_{zu}}{T_i} \frac{dC(t)}{dt} + C(t) = \frac{1}{\dot{V}_{zu}} \frac{T_{zu}}{T_i} F + C_a$$

Mit dem in [17] beschriebenen Integralverfahren kann die Differentialgleichung ausgewertet werden. Setzt man voraus, dass in der Außenluft kein Tracergas vorhanden ist ( $C_a = 0$ ) und die Anfangskonzentration  $C(t = 0) = C_0$  ist, erhält man:

$$C(t) = \frac{T_{zu}}{T_i} \left( \frac{F}{nV} + \left( C_0 - \frac{F}{nV} \right) e^{-nt} \right)$$

## 5.2.2 Messverfahren „Konzentrationsabfall-Methode“

Bei diesem Verfahren wird das Spurengas vor Beginn der Messung in den Versuchsraum eingebracht. Es wird sofort mit Hilfe von Lüftern verwirbelt, damit zu Beginn der Messung eine weitgehend homogene Tracergaskonzentration vorherrscht. Durch den Luftaustausch, d. h. den Abtransport des Gas-Luft-Gemisches und der Zufuhr von Außenluft nimmt die Gaskonzentration ab. Der zeitliche Konzentrationsverlauf wird gemessen.

Da während der Messung kein Indikatorgas zugeführt wird ( $F = 0$ ) und in der Regel der Anteil von Spurengasen in der Außenluft null ist ( $C_a = 0$ ), vereinfacht sich die Gleichung. Die Außenlufttemperatur  $T_a$  entspricht ungefähr der Zulufttemperatur  $T_{zu}$ .

$$C(t) = \frac{T_a}{T_i} C_0 e^{-nt}$$

Für den mittleren Luftwechsel ergibt sich:

$$n_m = \frac{T_a}{T_i} \frac{1}{t} \ln \frac{C_0}{C(t)}$$

Bzw.:

$$n_m = \frac{T_a}{T_i} \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{C(t)}{C(t + \Delta t)}$$

Zur Bestimmung des mittleren Zuluftvolumenstroms ist die Kenntnis des Raumvolumens notwendig.

$$\dot{V}_{zu,m} = V \frac{T_a}{T_i} \frac{1}{\Delta t} \ln \frac{C(t)}{C(t + \Delta t)}$$

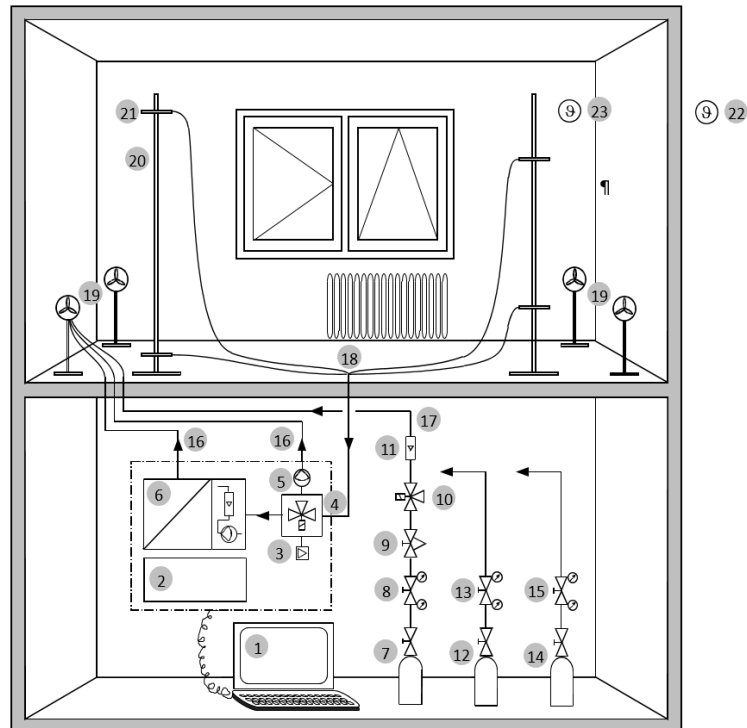


### 5.2.3 Messaufbau

Die Luftwechselfmessungen werden in einem speziellen Messraum im Labor des FG-Bauphysik durchgeführt. Der Haus-im-Haus Prüfstand hat ein kleines Volumen und ist somit für kurzzeitige Luftwechselfmessungen gut geeignet. An einer Seite des „Hauses“ ist eine auswechselbare Platte angebracht, die Untersuchungen unterschiedlicher Öffnungen und Spalte ermöglicht. Ermittelt werden sollen temperaturinduzierte Luftvolumenströme bei unterschiedlichen Öffnungsgeometrien und verschiedenen Temperaturdifferenzen. Dabei findet die Konzentrations-Abfall-Methode Anwendung. Der schematische Aufbau des Messsystems ist nachfolgend dargestellt.

Für Kalibrierprozesse der Gasanalytoren werden weitere Gase eingesetzt. Zur Nullpunkt-Justierung wird ein Gas herangezogen, welches in der Messkomponente nicht enthalten ist (Stickstoff mit einer Reinheit von 99,999 %). Mit einem Prüfgas, das aus einem Gemisch aus Stickstoff und einer bekannten Konzentration der Messkomponente (Lachgas) besteht, wird die Empfindlichkeitseinstellung in der Nähe des Messbereichs-Endwertes durchgeführt (80 % bis 100 %).

Zur Bestimmung der Gaskonzentration wird ein Infrarot Photometer eingesetzt. Als Messeffekt wird dabei die Absorption infraroter Strahlung durch molekulare Gase in charakteristischen Wellenlängenbereichen genutzt. Das N<sub>2</sub>O-Analysengerät misst Konzentrationen bis 100 ppm (Messbereich I) bzw. 500 ppm (Messbereich II).



- 1 Rechner für Messwerterfassung und Regelung
- 2 Schnittstelle PC-Messfassung
- 3 Messstellenumschalter
- 4 Magnetventile
- 5 Messgas-Vorabsaugpumpe
- 6 Gasanalysator für Distickstoffmonoxid ( $N_2O$ ) mit interner Messgaspumpe
- 7  $N_2O$ -Druckgasflasche mit Absperrventil (Tracergas)
- 8 Zweistufiger Flaschendruckminderer
- 9 Feindosierventil
- 10 Absperrventil
- 11 Massenstromregler für  $N_2O$
- 12 Druckgasflasche mit Absperrventil, Prüfgasgemisch Stickstoff 5.6 und  $N_2O$  2.5 zur Empfindlichkeits-Kalibrierung
- 13 Flaschendruckminderer, zweistufig
- 14 Druckgasflasche mit Absperrventil; Prüfgas Stickstoff 5.0 zur Nullpunkt-Kalibrierung
- 15 Flaschendruckminderer, zweistufig
- 16 Gas-Rückführung in den Messraum
- 17  $N_2O$ -Einleitung in den Messraum
- 18 Messgas-Ansaugleitungen
- 19 Tischventilatoren zur Verwirbelung des Tracergases mit der Raumluft
- 20 Stative zur Positionierung der Messstellen im Raum
- 21 Messgas-Ansaugtrichter
- 22 Außenluft-Temperaturfühler (PT100)
- 23 Innenraum-Temperaturfühler (PT100)

Abbildung 24: Schematische Darstellung der Messeinrichtung

Das Messsystem beinhaltet neben dem Analysegerät Vorrichtungen zur Einbringung der Spurengase in die Messzone, zur Messgasentnahme und Rückführung sowie Komponenten zur Steuerung bzw. Regelung der Gas-Massenströme. Die Lufttemperaturen werden mittels Metallwiderstandsthermometer (PT100) in 4-Leitertechnik gemessen. Die gemessenen Größen werden über Analog-Digital-Wandler einer PC-Steckkarte aufgenommen und mit einer speziellen Software, die auch die Steuer- und Regelvorgänge ausführt, weiterverarbeitet, analysiert, grafisch dargestellt und gespeichert.

Die Tracergaszufuhr in den Messraum erfolgt über flexible PVC-Schläuche. Gesteuert wird sie von einem Dosierventil und einem Massenstromregler. Im Messraum wird das zugeführte Gas mit Hilfe eines Ventilators verwirbelt, um eine gleichmäßige Verteilung zu erreichen. Durch die Messgaspumpe des Analysegerätes wird dem Messraum kontinuierlich Luft-Messgasgemisch entnommen und dem Analysengerät zugeführt. Zur Kompensation des Messgasverlustes wird das entnommene Gas in dem Raum zurückgeleitet. Die Beheizung des Messraums geschieht durch die Wärmebildung von mehreren elektrischen Glühbirnen (insgesamt ca. 700 W).

## 5.2.4 Aufgabenstellung

### 5.2.4.1 Versuchsdurchführung

Die Versuchsdurchführung besteht aus den folgenden Schritten:

- Bestimmung des effektiven Raumvolumens des Prüfraumes. Die Bestimmung erfolgt im Rahmen des Versuchs nach der Durchführung der Messung.
- Kalibrierung des Tracergas-Messsystems: Nullpunkt- und Empfindlichkeitskalibrierung.
- (Durchführung einer Offsetmessung bei verschlossener Messöffnung zur Ermittlung des Leckagevolumenstroms). Der Offsetwert wird für den Laborversuch zur Verfügung gestellt, da diese Messung den Zeitrahmen des Laborversuchs überschreiten würde.
- Messung des Luftwechsels bzw. Zuluftvolumenstroms bei waagrechtem Spalt. Der „Spalt“ stellt eine Fassadenöffnung mit einer Höhe von 10 cm und einer Breite von 49 cm dar.
- Messung des Luftwechsels bzw. Zuluftvolumenstroms bei senkrechtem Spalt.
- Messung des Luftwechsels bzw. Zuluftvolumenstroms bei unterschiedlichen Temperaturdifferenzen.

### 5.2.4.2 Versuchsauswertung

- Darstellung der Messergebnisse: Erstellen Sie Diagramme für den zeitlichen Verlauf der Gaskonzentration, für den zeitlichen Verlauf des Volumenstroms bzw. des Luftwechsels und für den zeitlichen Verlauf der Temperaturen im Messraum und im Labor sowie der Temperaturdifferenz. Ermitteln Sie die mittleren Volumenströme und Luftwechselraten für alle Versuchsvarianten, sowie die Mittelwerte von Innen-, Außenlufttemperaturen und der Temperaturdifferenzen. Excel-Berechnungen bitte beifügen.

- Vergleich der ermittelten mittleren Volumenströme mit den errechneten Volumenströmen aus den folgenden Rechenmodellen [18] und [19]:

Nach [18] wird der Luftvolumenstrom aufgrund einer Temperaturdifferenz wie folgt bestimmt:

$$\dot{V} = 3600 \cdot 0,5 A_{eff} (0,0039 h \Delta\vartheta)^{0,5}$$

Mit:

$A_{eff}$  Öffnungsfläche in  $m^2$

$h$  Höhe der Öffnung in  $m$

$\Delta\vartheta$  Temperaturdifferenz zwischen Messraum und Labor

Der temperaturinduzierte Luftvolumenstrom wird gemäß [19] wie folgt ermittelt:

$$\dot{V} = \frac{1}{3} C_D A_{eff} \sqrt{\frac{g h \Delta\vartheta}{T_m}} 3600 \frac{s}{h}$$

Mit:

$C_D$  Durchflusszahl (Standardwert:  $C_D = 0,6$ )

$g$  Erdbeschleunigung ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ )

$h$  Höhe der Öffnung in  $m$

$\Delta\vartheta$  Temperaturdifferenz zwischen Messraum und Labor

$T_m$  mittlere Temperatur in Kelvin

$A_{eff}$  Öffnungsfläche in  $m^2$

- Diskussion der Ergebnisse und Fehlerdiskussion.

## 6 Analyse von Problemen an Hochschulgebäuden sowie in-situ-Untersuchungen (AP 6)

Im Rahmen des Arbeitspakets sollten vertiefende Untersuchungen an Hochschulgebäuden durchgeführt werden und weitere Gebäude mit Problemen im sommerlichen Wärmeverhalten identifiziert werden. Anschließend sollten Problemanalysen durchgeführt, Messkonzepte entwickelt und ein Messdesign zur Durchführung der Untersuchungen mit Messdatenerfassung und Auswertung erstellt werden. Die grundlegende Idee des Arbeitspakets ist es, diese Themen mit einer neuen Lehrveranstaltung mit dem Schwerpunkt sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden zu kombinieren und in die Lehre des Fachbereichs 06 einzubinden. Es wurde ein Seminar entwickelt, das Studierende anhand von realen Hochschulgebäuden für das Thema des sommerlichen Wärmeschutzes sensibilisiert und anhand eines Beispielgebäudes die Kenntnisse der Studierenden vertieft und neue Softwaretools lehrt. Die folgenden Kapitel behandeln den Aufbau einer solchen Lehrveranstaltung und zeigen anhand des Beispiels „Campusanalysen - Sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden“ exemplarisch die zur Seminare Durchführung benötigten Grundlagen und Unterlagen. Dies wird sowohl von Studierendenseite als auch aus Sicht der Lehrenden beleuchtet. Auf das für die Seminarveranstaltung benötigte Messkonzept und Messdesign wird gesondert im Kapitel 6.4.1.4 Messkonzept & Messdesign im Rahmen der Seminarveranstaltung eingegangen.

Die Veranstaltung „Campusanalysen-Sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden“ wurde im Wintersemester 2020/21 entwickelt und im Sommersemester 2021 als Pilot-Seminar vom Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung durchgeführt. In Zukunft soll das Seminar fest in die Lehre des Fachgebiets integriert werden und im kommenden Sommersemester 2022 erneut stattfinden.

### 6.1 Vorstellung Seminarkonzept

Das Seminar verknüpft die Forschungsinhalte der in-Situ-Analyse mit der Lehre und den vorgestellten Lerntools. Behandelt wird die Untersuchung des sommerlichen Wärmeverhaltens anhand eines konkreten Gebäudes der Universität Kassel. Nach einer allgemeinen Einführung zur Thematik wird der Einfluss unterschiedlicher Ausprägungen von Kubatur, Fassade, technischen Raum- und Gebäudesystemen erarbeitet. Es erfolgt eine Erläuterung von einfachen Gebäudesimulationsprogrammen. Diese werden von den Studierenden am Beispiel des konkreten Gebäudes angewendet und mit zur Verfügung gestellten Messdaten verglichen. Im Anschluss bearbeiten die Studierenden selbstständig in Kleingruppen Optimierungsstrategien und Variantenanalysen, um das sommerliche Wärmeverhalten des Gebäudes zu optimieren.

Inhalte der Veranstaltungen sind:

- Interdisziplinäres Grundlagenwissen zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden.
- Rechnerische Analyse des sommerlichen Wärmeverhaltens durch Gebäudesimulation und Interpretation und Bewertung von Messdaten.
- Erarbeitung von Optimierungsstrategien, Variantenanalysen, Beurteilung von Wirtschaftlichkeit und Realisierbarkeit von baulichen und anlagentechnischen Lösungen für den sommerlichen Wärmefall.

Die Veranstaltung ist als interdisziplinäres Modul ausgelegt und wird sowohl für Studierende des Fachbereichs 06 Architektur, Stadtplanung und Landschaftsplanung als auch für Studierende des Fachbereichs 15 Maschinenbau mit der Vertiefung Regenerative Energie und Energieeffizienz (RE<sup>2</sup>) angeboten. Durch die Mischung der unterschiedlichen Fachdisziplinen schaffen es die Studierenden, sich auf den jeweiligen Themenfeldern von Hochbau und Technischer Gebäudeausrüstung ausführlicher zu vertiefen und gleichzeitig in bestimmten Wissensbereichen zu ergänzen.

## **6.2 Lernziele und didaktisches Konzept**

### **6.2.1 Lernziele**

- Die Studierenden sind in der Lage, das sommerliche Wärmeverhalten eines Gebäudes zu analysieren. Die Analyse erfolgt mit Hilfe der durch die Bauabteilung der Universität Kassel zur Verfügung gestellten Planunterlagen. Diese beinhalten Ausführungspläne des Hochbaus, Schemata und Grundrisse der technischen Gewerke Heizung, Kälte, Lüftung, Sanitär, Elektro und eine „Vor-Ort“ Begehung.
- Die Studierenden sind in der Lage die Ursachen sommerlicher Überhitzung zu identifizieren.
- Die Studierenden sind in der Lage die gesammelten Gebäudeinformationen zu dokumentieren.
- Die Studierenden sind in der Lage eigenständig mit den Informationen zu arbeiten und diese für die Simulationstools zu nutzen.
- Die Studierenden können das Bestandsverhalten bewerten.
- Sie erwerben Grundlagen in der Auswertung von zur Verfügung gestellten Messdaten.
- Die Studierenden erwerben Kompetenzen in der Erarbeitung von Konzeptvarianten und Optimierungsvorschlägen.

### **6.2.2 Didaktische Konzeption**

#### **Kommunikation (Corona-Online-Semester)**

- Digitale regelmäßige wöchentliche Seminartreffen - Dauer: 90 min
- Digitale Kommunikationsplattform während des Seminars: Zoom
- Digitale Kommunikationsplattform außerhalb der Seminarzeit: Moodle
- Digitale Vermittlung von Grundlagen durch Vorlesungen und Präsentationen
- Digitale Vorstellung des Gebäudes online durch Pläne, Fotos und Videomaterial
- Digitale Präsentationen von Zwischen- und Endergebnissen durch die Studierenden mit anschließender Diskussion und Gastkritik
- Persönliche Betreuungstermine im Rahmen des wöchentlichen Seminartreffens – Dauer: circa 20min je Gruppe

## **Inhalt**

- Sommerliches Wärmeverhalten: allgemeine Grundlagen
- Rechtliche Rahmenbedingungen: Fokus Arbeitsstättenrichtlinien
- Gebäudesimulation: allgemeine Grundlagen
- Analyse von Ausführungsplänen Hochbau und TGA
- Analyse von weiteren Unterlagen z. B. GEG Nachweisen
- Auswertung von Messdaten z. B. Raumtemperaturen, Lüftungstechnik, Außentemperaturen, Globalstrahlung
- Bestimmung von kritischen Räumen.

## **Lernaktivitäten**

- Eigenständige Bearbeitung in maximal 4er Gruppen
- Zur Verfügungstellung von Daten über Moodle
- Vorstellung der Messdaten durch die Studierenden
- Vorstellung der simulierten Räume durch die Studierenden
- Eigenständige Entwicklung von Konzepten und Optimierungsstrategien mit Betreuung in Sprechstunden via Zoom
- Einarbeitung in die Simulationstools durch die Studierenden
- Zusammenfassung des Arbeitsstandes im Präsentationsformat
- Zusammenfassung der Ergebnisse in einer Hausarbeit

## **6.3 Implementierung des Seminars in die Lehre des Fachbereichs 06**

Zur Implementierung des Seminars in die Lehre des Fachbereichs 06 Architektur, Stadtplanung und Landschaftsplanung wurde im Wintersemester 2021 eine Lehranmeldung durchgeführt. Die Lehranmeldung umfasst die dem Lehrangebot zugrundeliegenden Prüfungsordnungen, Modulnummern, die Lehrform, die Anzahl der Semesterwochenstunden in Präsenz (2 SWS), die Anzahl der durch das Modul erreichten Credits (3 CP), Titel und Beschreibung der Lehrveranstaltung, Zeit- und Raumwünsche und die Namen der Lehrenden für das Modul. Zusätzlich zur Lehranmeldung wurde eine Modulbeschreibung erstellt, die in Zukunft in die Prüfungsordnungen des FB06 übernommen werden soll. Als Beispiel für die Erstellung eines ähnlichen Seminars steht die Lehranmeldung und die Modulbeschreibung im Anhang zur Verfügung.

## **6.4 Campusanalysen: Sommerlicher Wärmeschutz von Gebäuden**

In diesem Kapitel wird der konkrete Seminarablauf detailliert beschrieben und auf die erarbeiteten Inhalte der Vorlesungen, die benötigten Hochbau-, TGA- und Messdatenunterlagen, die Gebäudesimulation und die Aufgabenstellung näher eingegangen.

Das Seminar dient hierbei als Beispiel zur Anwendung der Lehrinhalte. Diese lassen sich auch auf andere Gebäude der Universität Kassel, aber auch allgemeiner gehalten, an anderen Hochschulen mit Problemen im sommerlichen Wärmeschutz übertragen. Die folgenden Kapitel dienen der exemplarischen Darstellung eines Seminars mit Fokus auf das sommerliche Wärmeverhalten. Das Seminar wurde vom Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung durchgeführt.

Die Inhalte wurden mit Hilfe der Lernplattform Moodle sowohl mit den Studierenden kommuniziert als auch dokumentiert. Der Kurs kann somit für die kommenden Veranstaltungen als Grundlage dienen und wird weiter angepasst.

### **6.4.1 Vorbereitende Arbeiten**

Zur Durchführung des Seminars stehen vorbereitende Arbeiten an. Hierzu gehört vor allem die Identifikation von Gebäuden mit kritischem sommerlichen Wärmeverhalten auf dem Campus. Die Identifikation kann durch Beschwerden der Nutzer, durch ein laufendes Monitoring der Raumtemperaturen oder durch die Sichtung von Messdaten der Gebäudeleittechnik geschehen. Im Beispiel des Seminars „Campusanalysen“ wurde aufgrund der Beschwerden von Nutzern an die Abteilung Arbeitssicherheit ein Handlungsbedarf im sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden identifiziert. Kritische Gebäude und Räume wurden daraufhin durch das Fachgebiet Bauphysik mit Messtechnik versehen, um die Raumtemperaturen aufzunehmen. Für das Seminar lagen so bereits Messdaten von kritischen Räumen vor. Sollen weitere kritische Gebäude in Zukunft untersucht werden, müssen diese für das Seminar mindestens mit einem Jahr Vorlauf gemonitort werden. Alternativ wäre ein Monitoring zusammen mit den Studierenden im laufenden Sommersemester möglich.

Das Seminar soll je Sommersemester ein anderes Gebäude behandeln. Ist also mit Hilfe der zur Verfügung stehenden Messdaten oder Nutzerbeschwerden ein Gebäude identifiziert, müssen weitere Unterlagen durch die Lehrenden angefragt werden. Diese wurden im Falle Campusanalysen durch die Abteilung Bau, Technik und Liegenschaft nach Anfrage zur Verfügung gestellt. Sie beinhalten Informationen zum Hochbau, der Technischen Gebäudeausrüstung, der Nutzung und weiteren mit Hilfe der Betriebstechnik und Gebäudeleittechnik zur Verfügung gestellten Messdaten.

Die Materialien werden zwingend vor Seminarbeginn benötigt, um die Vollständigkeit der Unterlagen zu prüfen und weitere noch fehlende Informationen anzufragen. Vollständigkeit im Sinne, dass alle Informationen vorliegen, die die Studierenden für ihre Gebäudesimulationen und Untersuchungen benötigen.

#### **6.4.1.1 Fokus Hochbau**

Für die Bearbeitung durch die Studierenden werden Hochbauunterlagen benötigt. Hierzu zählen insbesondere Schnitte, Grundrisse und Ansichten des Gebäudes im M1:50 mit Informationen gemäß einer Leistungsphase 5 bzw. Ausführungsplanung. Zusätzlich hilfreich sind ein detaillierterer Fassadenschnitt und Hochbau Details im M1:5 von relevanten Gebäudesituationen. Dies könnten beispielhaft ein Fensterdetail, Brüstungsdetail, Außentüren, Fassadendetails oder Außenwände sein.

Zusätzlich sollte ein Energieausweis vorliegen. Dieser beinhaltet übersichtlich alle benötigten Daten der beschriebenen Bauteile. Dazu zählen U-Werte,  $g_{\text{tot}}$ -Werte,  $F_C$ -Werte, Fensterflächen, etc.



Mit Hilfe dieser Unterlagen können die Studierenden ein Gebäude oder einen Raum umfänglich in Bezug auf den Hochbau betrachten. Als Orientierung der relevanten Faktoren dient eine von den Lehrenden erstellte Checkliste zum Hochbau. Die Checkliste Hochbau und eine Planliste der zur Verfügung gestellten Pläne des behandelten Gebäudes während des Seminars Campusanalysen werden im Anhang zur Verfügung gestellt.

#### **6.4.1.2 Fokus Technische Gebäudeausrüstung und Nutzung**

Für die Bearbeitung durch die Studierenden werden Unterlagen zur technischen Gebäudeausrüstung benötigt. Hierzu zählen insbesondere Schemata und Grundrisse der jeweiligen Gewerke im M1:50 mit Informationen gemäß einer Leistungsphase 5 bzw. Ausführungsplanung. Die Schemata sollten zu allen relevanten Gewerken vorliegen. Dazu zählen Heizung, Kühlung, Lüftung, Elektro (HKLE). Zusätzlich können weitere Informationen, wie eine bereits durch ein Ingenieurbüro durchgeführte Raum-/Gebäudesimulation oder Angaben der Betriebstechnik durch die entsprechenden Immobilienverantwortlichen, hilfreich sein. So können Themen wie Nutzungsprofile, Lüftungsprofile, Betriebszeiten, Nachtabsenkungen, Nachtauskühlungen, Steuerungsverhalten des Sonnenschutzes etc. besser abgebildet werden.

Mit Hilfe dieser Unterlagen können die Studierenden ein Gebäude oder einen Raum umfänglich in Bezug auf die technische Gebäudeausrüstung betrachten. Als Orientierung der relevanten Faktoren dient eine von den Lehrenden erstellte Checkliste TGA & Nutzung. Die Checkliste TGA und Nutzung und eine Planliste der zur Verfügung gestellten Pläne und Schemata des behandelten Gebäudes während des Seminars Campusanalysen befindet sich im Anhang.

#### **6.4.1.3 Fokus Messdaten**

Für die Bearbeitung durch die Studierenden werden Messdaten des Gebäudes benötigt. Auf das Messkonzept und Messdesign der benötigten Unterlagen wird im Kapitel 6.4.1.4 Messkonzept & Messdesign im Rahmen der Seminarveranstaltung näher eingegangen. Die Beschaffung der Messdaten ist dabei von Gebäude zu Gebäude oder Hochschule zu Hochschule unterschiedlich. Im Rahmen der Universität Kassel wurden zum einen aus der allgemeinen Monitoring Datenbank der Betriebstechnik Daten ausgelesen, zum anderen spezifisch in Räumen, die als problematisch gemeldet wurden, Messtechnik durch das Fachgebiet Bauphysik installiert und zur Verfügung gestellt.

Mit Hilfe dieser Messdaten können die Studierenden das Gebäude oder den Raum auf Temperaturebene umfänglich betrachten. Die Messdaten dienen als Grundlage der Definition kritischer Gebäude oder Räume im tatsächlichen Betrieb / IST-Zustand. Die Studierenden können somit ihre fiktiven Simulationen und Analysen mit Hilfe von realen Messdaten plausibilisieren und ihre Argumentation stützen.

#### **6.4.1.4 Messkonzept & Messdesign im Rahmen der Seminarveranstaltung**

Die Messdaten dienen den Studierenden als Orientierung und zur Abschätzung der Probleme des Gebäudes. Anhand der realen Messdaten können die Studierenden die unterschiedlichen Räume identifizieren, die Probleme mit dem sommerlichen Wärmeschutz aufweisen. Um das Seminar durchführen zu können, wurden im Vorfeld Messungen durchgeführt. Eine Übersicht der übergebenen Messdaten für das betrachtete Gebäude steht im Anhang zur Verfügung. Basierend auf dem Seminar lassen sich zwei unterschiedliche Messkonzepte verfolgen. Eine Beschaffung der Messdaten durch die

Lehrenden und die Gebäudeleittechnik der Betriebstechnik im Voraus, oder eine Aufnahme von Messdaten durch die Studierenden. Die Messkonzepte und deren zeitlichen Abläufe (Abbildung 25 und Abbildung 26) lassen sich wie folgt stichpunktartig beschreiben:

**Messkonzept A:**

- Identifikation von Problemen:
  - Die Mitarbeiter und Studierenden der Universität Kassel werden aufgefordert Probleme im sommerlichen Wärmeschutz an die Abteilung Arbeitssicherheit der Universität zu melden.
  - Die Abteilung Arbeitssicherheit filtert die eingegangenen Beschwerden und leitet diese an die Fachgebieten Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung weiter.
- Aufnahme von Messdaten:
  - Die Mitarbeiter des Fachgebiets TGA und BPY sichten die Beschwerden und identifizieren mögliche relevante Gebäude und Räume
  - In einem relevanten Zeitraum (Sommermonate Mai bis September) wird Messtechnik in den entsprechenden Gebäuden und Räumen installiert.
  - Die Messungen umfassen die Raumtemperatur und die Raumluftfeuchte. Zusätzlich wird entweder zentral auf dem Campus, oder gebäudespezifisch die Außenlufttemperatur, die Globalstrahlung und die Windstärke erfasst.
- Aufbereitung der Messdaten
  - Die Messdaten werden durch den Lehrenden des Moduls „Campusanalysen“ für die Lehre aufbereitet
- Nutzung der Messdaten:
  - Die Studierenden nutzen die Messdaten im Rahmen des Seminars zur Identifikation von kritischen Situationen und Räumen. Sie integrieren die Messdaten in die Argumentation ihrer Analysen und Optimierungsvarianten.

2020												2021											
Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Identifikation von Problemen																							
				Aufnahme von Messdaten																			
								Aufbereitung der Messdaten															
														Nutzung der Messdaten durch die Studierenden									

Abbildung 25: Zeitplan Messkonzept A; FG Technische Gebäudeausrüstung, Universität Kassel

**Messkonzept B:**

- Identifikation von Problemen:
  - Die Studierenden analysieren vorgegebene Räume oder Gebäude
  - Die Studierenden schätzen ab, welche Bereiche eines Gebäudes kritisch sein könnten
  - Die Studierenden simulieren die Räume und Gebäudeteile und stellen Potenzial zu Überhitzungen fest.
- Aufnahme von Messdaten:
  - In einem relevanten Zeitraum (ca. 1-2 Wochen in einem der Sommermonate Mai bis September) werden die vermuteten kritischen Räume gemessen.
  - Die Messungen werden durch Studierende aufgebaut, durchgeführt und ausgewertet
  - Die Lehrenden des Fachgebiets TGA unterstützen bei den Messungen.
- Aufbereitung der Messdaten
  - Die Messdaten werden durch die Studierenden aufbereitet
- Nutzung der Messdaten:
  - Die Studierenden können die Messdaten mit ihren simulierten Räumen abgleichen und die kritischen Situationen identifizieren. Im Anschluss können die Messdaten im Rahmen der Analysen und Optimierungsvarianten genutzt werden.

2021											
Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
			Identifikation von Problemen								
					Aufnahme von Messdaten						
						Aufbereitung der Messdaten					
							Nutzung der Messdaten				

Abbildung 26: Zeitablauf Messkonzept B; FG Technischen Gebäudeausrüstung, Universität Kassel

Im Seminar „Campusanalysen“ wurde das Messkonzept A verfolgt. Zum einen lagen bereits Messdaten vor, sodass die Erstellung der Daten nicht mit einjährigem Vorlauf geplant werden musste, zum anderen gab es pandemiebedingt nicht die Möglichkeit, die Studierenden selbst in den Gebäuden messen zu lassen. Des Weiteren birgt das Messkonzept B die Gefahr, dass im angedachten relevanten Messzeitraum aufgrund der Wetterbedingungen keine Überhitzung stattfindet. Die meisten Überhitzungen treten im Juli oder August auf. Der Veranstaltungszeitraum beläuft sich jedoch auf April bis Mitte Juli. Es könnte also durchaus passieren, dass während Messungen im Juni keine oder nur eine geringfügige Überhitzung festzustellen ist. Das Messkonzept B hätte jedoch den Vorteil, dass die Studierenden das sehr theoretische Thema der Messwerte praktisch erarbeiten könnten und somit mehr Verständnis hierfür entwickeln können. Im Rahmen weiterer Veranstaltungen ist zu überlegen,

ob Messungen zu einem anderen Zeitpunkt im Sinne eines Blockseminars im Sommer stattfinden könnten oder die Messungen weiterlaufen und erst Ende des Sommers von den Studierenden ausgewertet werden.

## **6.4.2 Ablaufplan und Veranstaltungsübersicht**

Für die Zeitplanung und für die Kommunikation mit den Studierenden ist es wichtig, eine klare Struktur für das Seminar vorzugeben. Der Ablauf des Seminars sollte von vornherein rechtzeitig vermittelt werden. Die Gewichtung der jeweiligen Themenfelder kann gebäude-, hochschul-, oder fachgebietspezifisch unterschiedlich gewählt werden. Empfohlen wird eine Kombination aus kurzen Input-Veranstaltungen zum sommerlichen Wärmeschutz, einer Vorstellung der Gebäudegrundlagen mit betreuten Übungen und einer anschließenden selbstständigen Bearbeitung durch die Studierenden.

Im Falle des durchgeführten Seminars ließ sich dieses grob in drei Blöcke unterteilen.

### **Block A: Grundlagenvermittlung**

In zwei Auftaktveranstaltungen wurde das Seminarkonzept erläutert sowie Grundlagen zum sommerlichen Wärmeverhalten und der Gebäudesimulation vermittelt. Diese sind in Form von frontalen Vorlesungen á 90 Minuten durchgeführt worden.

### **Block B: Gebäudegrundlagen**

In einem zweiten Block wurden die Gebäudegrundlagen vorgestellt. Anhand von Plänen, Schemata, Fotos und Videos wurde zum einen der Hochbau, zum anderen die TGA Gewerke HKLSE des Gebäudes vorgestellt. Ursprünglich war dieser Teil als eigenständige Begehung durch die Studierenden angedacht. Diese konnte pandemiebedingt nicht stattfinden. Als Alternative arbeiteten die Studierenden sich nach der kurzen Vorstellung der Unterlagen eigenständig anhand einer Checkliste ein. Die Checklisten Hochbau und TGA finden sich zur Übersicht im Anhang. In diesem Block wurden ebenfalls die Simulationstools, die Messdaten und erste kurze Hinweise zu Auswertungsmethoden und Erzeugung von Grafiken gegeben und im Anschluss von den Studierenden selbstständig weiterbearbeitet.

### **Block C: Sprechstunden & Präsentationen**

Im dritten Block gab es keine frontalen Unterrichtseinheiten mehr für die Studierenden. Es wurden durch den Lehrenden Sprechstunden angeboten, die die eigenständige Gruppenarbeit der Studierenden nur didaktisch lenkt und bei Bedarf Input gibt. Um die Ergebnisse der Arbeiten fokussiert vorzustellen, werden neben den freiwilligen Sprechstunden zwei Präsentationen verlangt. Diese stellen einmal eine Simulation der Grundvariante des Gebäudes dar und einmal die Ideen zu den Optimierungsvarianten.

Tabelle 11: SS 2021 Seminarablauf "Campusanalysen"

KW	Datum	Art	Block	Thema der Veranstaltung
15	14.04.2021	VL 1	A	Auftaktveranstaltung: allgemeine Einführung, Organisatorisches, Wärmequellen und Rechtliche Rahmenbedingungen
16	21.04.2021	VL 2	A	Grundlagen sommerliches Wärmeverhalten und Gebäudesimulation
17	28.04.2021	Üb 1	B	ASL Neubau, Schwerpunkt Hochbau
18	05.05.2021	Üb 2	B	ASL Neubau, Schwerpunkt TGA und Nutzung
19	12.05.2021	Üb 3	B	Einführung in die Simulationstools
20	19.05.2021			keine Veranstaltung - Exkursionswoche
21	26.05.2021	Üb 4	B	Einführung in Messdaten
22	02.06.2021	SS 1	C	Sprechstunde Simulation / Messdaten
23	09.06.2021	P1	C	1. Vorstellung Zwischenstand
24	16.06.2021	SS 2	C	Sprechstunde
25	23.06.2021	SS 3	C	Sprechstunde
26	30.06.2021	P2	C	2. Vorstellung Konzeptstände
27	07.07.2021	SS 4	C	Sprechstunde Konzeptstände
28	14.07.2021			keine Veranstaltung - Rundgang

Neben dem allgemeinen Seminarablauf (Tabelle 11) wurde eine vertiefende Übersicht der Seminarveranstaltungen erstellt (Tabelle 12), in der die Inhalte der einzelnen Veranstaltungen genauer aufgegliedert sind. Der Seminarablauf kann als exemplarische Reihenfolge genutzt werden, um ähnliche Veranstaltungsformate zu generieren. Der Ablauf wurde im Nachgang der Lehrveranstaltung durch die gewonnenen Erfahrungen der Lehrenden und die Evaluationsauswertungen der Studierenden noch einmal optimiert und ist im Kapitel 6.5.1 Anmerkungen zum Veranstaltungskonzept: vertiefend in Form von Kommentaren zum Ablauf überarbeitet.

Tabelle 12: Vertiefende Veranstaltungsübersicht Campusanalysen

KW	Datum	Inhalt Vorlesung
15	14.04.2021	Einführungsveranstaltung + Grundlagenvermittlung: Vorstellung des Seminars/Projektbezug SommerWende Zeitablauf Vorstellung Abgabeleistung des Seminars Warum wird das Thema sommerlicher Wärmeschutz immer wichtiger? Äußere Einflüsse: Innere Einflüsse: Richtlinien zur Planung Beispiel ASL Neubau Exemplarische Darstellung der Messdaten / Überhitzungen im Sommer
16	21.04.2021	Simulation/Bilanzierung: Übersicht Enkol-Tool und SimRoom 4 Grundlagenvermittlung Simulationen: Welche Informationen über ein Gebäude benötigen wir? Allgemeine Themenfolie HB, z. B. Ausrichtung, Verglasungsanteil, Ausrichtung und Anordnung der Räume im GR, A/V, Fassadenart, Fensterflächen/-Anteil, Fenster, Öffnungsflügel, Sonnenschutz, Steuerung Sonnenschutz, Blendschutz, Aufbau der Wände, Decken, Dächer, Abschätzung Speichermasse Bereitstellung Unterlagen ASL Neubau

17	28.04.2021	Erarbeitung der Themen der Checkliste Teil 1: Hochbau Vorstellung Ausführungspläne & Fotos ASL Neubau Hochbau
18	05.05.2021	Erarbeitung der Themen der Checkliste Teil 2: TGA+Nutzung Vorstellung Ausführungspläne ASL Neubau TGA: Lüftung, Beleuchtung, Heizung, Kühlung Allgemein Themenfolie Nutzung
19	12.05.2021	Nachbesprechung Checklisten Themen Einführungsveranstaltung EnKol-Tool und SimRoom Einführung in die Nutzung der Tools, kurze Vorstellung der Funktionen und Eingabeparameter ca. 30min Anschließende Übung: Vereinfachtes Beispielgebäude NWG Durcharbeitung Beispielgebäude EnKol-Tool und SimRoom 4 in Gruppenarbeit/Break-Out-Rooms ca. 60min - 1x NWG Gebäude in EnKol und SimRoom 4 - 1x Raum in SimRoom 4 Aufgabe: Simuliert den ASL Neubau Gesamthaft mit EnKol, und in Teilen mit SimRoom 4 (Raumebene)
20	19.05.2021	Exkursionswoche
21	26.05.2021	Einführungsveranstaltung und Überblick über die Messdaten 30 min 0. Wetterdatensatz 1. Teil: Messdaten Bauabteilung 2. Teil: Messdaten BPY/TGA Aufgabe: Parallele Auseinandersetzung mit den Messdaten und Aufbereitung der Daten. Interpretation der Daten! Sprechstunde Simulation / Messdaten 60min
22	02.06.2021	Sprechstunde Simulation / Messdaten
23	09.06.2021	Zwischen Besprechung der bisherigen Ergebnisse aus den Simulationen und Messdaten
24	16.06.2021	Sprechstunde Optimierungsvorschläge
25	23.06.2021	Sprechstunde Optimierungsvorschläge
26	30.06.2021	Diskussion der aktuellen Konzeptstände Vorstellung erster Konzepte zu Baulichen & Anlagentechnischen Lösungsvorschläge, Erste Einschätzung der Investitionskosten, Beurteilung der Realisierbarkeit
27	07.07.2021	Sprechstunde Konzeptstände
28	14.07.2021	keine Veranstaltung (Rundgangswochen)
35	25.08.2021	Abgabe der Hausarbeit in 4er Gruppen (2x Ing 2x A) Umfang ca. 40-60 Seiten Erwartung: Erarbeitung der Simulationsgrundlagen, Aufbereitung der Simulation/Messdaten, Thematische Auseinandersetzung mit Optimierungsstrategien, Variantenanalyse/Parameterstudie mittels SimRoom, Einschätzung der Investitionskosten, Beurteilung der Realisierbarkeit; Bauliche & Anlagentechnische Lösungen

### 6.4.3 Vorlesungsunterlagen

Wie bereits in der Veranstaltungsübersicht ersichtlich, wurden Grundlagen zum sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden über Vorlesungsinhalte vermittelt. Die Themen der beiden Veranstaltungen dienten zum einen der Auffrischung von Lehrinhalten für die Studierenden in kompakter Form, zum anderen der Sensibilisierung für das sommerliche Wärmeverhalten und der Aufbereitung der Grundlagen mit dem Ziel, diese für die Simulationen zu nutzen. Gleichzeitig sollten die Studierenden der verschiedenen Fachbereiche 06 und 15 auf einen gemeinsamen Stand gebracht werden. Zur Übersicht der angesprochenen Inhalte dient die stichpunktartige Auflistung der Vorlesungsinhalte. Die dazugehörigen Vorlesungsfolien werden im Anhang bereitgestellt.

**6.4.3.1 Inhalte 1. Vorlesungen: allgemeine Einführung, Organisatorisches, Wärmequellen und rechtliche Rahmenbedingungen:**

- Einführung in den Forschungskontext SommerWende
- Einführung in das zu untersuchende Gebäude
- Seminarablauf, Abgabeleistungen und Inhalte, Erläuterungen Gruppenarbeit
- Äußere Wärmeeinflüsse Klima und Außentemperatur
- Globalstrahlung
- Äußere Wärmelasten
- Lokaler Bezug: Kassel
- Interne Wärmelasten
- Nutzungsspezifische Lasten i. V. m. DIN 18599 Teil 10
- Rechtliche Rahmenbedingungen, DIN 4108, EnEG, GEG
- Arbeitsschutz: Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR A3.5 Raumtemperatur und ASR 4.2 Lufttemperaturen in Räumen
- DGUV: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung – „Klima im Büro“
- Ausblick: Herstellung Bezug zum zu untersuchenden Gebäude

**6.4.3.2 Inhalte 2. Vorlesung: Grundlagen sommerliches Wärmeverhalten und Gebäudesimulationen**

- Grundlagen der thermischen Gebäudesimulation
- Einbindung in Planungsprozesse
- Generierte Informationen mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulation
- Grundlagen Wärmeschutz und DIN 4108-2
- Bauliche Maßnahmen
- Sonnenschutzarten
- Nachtlüftung und Speichermasse
- U-Wert / Wärmedurchlasskoeffizient
- Übersicht der Nachweisführungen
- Gesamtenergiedurchlass
- Berechnungsrandbedingungen
- Ziele des Nachweisverfahrens
- Übersicht über die im Seminar genutzten Simulationstools
- Fragestellung: Welche Informationen benötigt man von einem Gebäude?

#### 6.4.4 Grundlagen der Simulationstools:

Die Simulationstools EnKol und SimRoom 4 sind den Studierenden im Rahmen der Lehrveranstaltung in 45-minütigen Inputblöcken kurz vorgestellt worden. Die Studierenden sollten nach dieser kurzen Einführung eigenständig und nur mit gezielter Unterstützung mit den Tools arbeiten, um ihre eigenen Optimierungsvarianten und Lösungsvorschläge zu generieren.

Mit Hilfe der Tools wird den Studierenden eine einfache Grundlage mit übersichtlicher Eingabeoberfläche zur Verfügung gestellt, die keine komplexe 3D-Gebäudesimulation benötigt und mit den 2D CAD-Unterlagen der Bauabteilung ausfüllbar sind. Die Studierenden können mit Hilfe ihrer studentischen CAD-Software alle relevanten Größen digital messen, ohne ein Gebäudemodell zu erzeugen. Ziel ist es, dass die Studierenden die Tools auch in Zukunft für eigene Entwürfe im Rahmen des Projektstudiums anwenden können, um schnelle Aussagen zum sommerlichen Wärmeschutz ihrer Entwürfe treffen zu können.

Gleichzeitig dienen die Tools der allgemeinen Sensibilisierung der Studierenden für die verschiedensten relevanten Parameter einer Gebäudesimulation und der Auswirkung dieser Parameter auf das sommerliche Wärmeverhalten. Dies sind unter anderem Parameter wie Speichermasse,  $g_{tot}$ -Wert, U-Werte, Fensterfläche,  $F_c$ -Werte, Lüftungseigenschaften, Kühlbedarfe bei Konditionierung etc.

Das entwickelte EnKol Tool ist im Kapitel 3.2.4 und in der Dokumentation des Tools im Anhang näher beschrieben. Das Lerntool SimRoom 4 ist im Kapitel 4.1.2 Analyse von SimRoom 4 in den Kontext der Lehre eingeordnet. Für SimRoom 4 kann ein umfangreiches Handbuch auf der Seite des Instituts für Gebäude-Energieforschung heruntergeladen werden.

#### 6.4.5 Aufgabenstellungen Präsentationen & Hausarbeit

Im Rahmen der Veranstaltung wurden von den Studierenden als Abgabeleistungen zwei Zwischenpräsentationen und eine Hausarbeit verlangt.

Die Zwischenpräsentationen dienen der gezielten Aufbereitung eines Arbeitsstandes und zur Kommunikationsübung der Studierenden an außenstehende Dritte (Gastkritiker). Ziel der Präsentationen ist es, dass die Studierenden sicherer im Umgang mit ihrer wissenschaftlichen Argumentation werden und lernen, ihre Inhalte entsprechend qualitativ aufzubereiten und zu präsentieren.

Die Aufgabenstellung für die Zwischenpräsentationen setzte sich wie folgt zusammen:

##### 6.4.5.1 Aufgabenstellung Zwischenstand

**Format:**

- Kurz-Präsentationen in Gruppenarbeit (3er & 4er Gruppen)
- Maximal 10 Minuten je Gruppe
- Vorstellung des aktuellen Arbeitsstandes als Präsentation
- Im Anschluss an die Präsentationen → Diskussionsrunde über die Arbeitsstände



### **Inhalte 1. Zwischenpräsentation:**

- Stichpunktartige Darstellung der Randbedingungen für die Simulation. (z. B. welcher Wetterdatensatz wurde verwendet? Wie wurden die Außenwand-/ Fensterflächen ermittelt? Wie wurde der Sonnenschutz eingestellt? Woher stammen die Eingabeparameter? Etc.)
- Vorstellung der aktuellen Simulationsergebnisse für das Gebäude. Mindestens:
  - 1x Bestandsvariante ASL als Gesamtgebäude im Exceltool
  - 1x Bestandsvariante ASL als Gesamtgebäude in SimRoom 4
  - 1x Simulation eines Bestandsraumes des ASL Neubaus in SimRoom 4 – Raum frei wählbar. Es muss sich jedoch um einen Raum handeln, zu dem Messdaten vorliegen
  - Aufbereitung, Interpretation und Vorstellung der Messdaten des simulierten Raumes
  - Vergleich der Messdaten mit den Simulationsergebnissen

### **Inhalte 2. Zwischenpräsentation:**

- Vorstellung der betrachteten Räume / Gebäudeteile
- Vorstellung der angedachten Optimierungsvarianten
- Diskussion der Varianten

#### **6.4.5.2 Aufgabenstellung Hausarbeit**

Die Abgabeleistung und Bewertungskriterium für das Seminar sind die in Gruppen abgegebenen Hausarbeiten. Ziel der Hausarbeiten ist es, die Lernziele des Seminars umfänglich abzubilden. Hierzu wurde im Rahmen des Seminars eine Aufgabenstellung entwickelt, die sich an den oben beschriebenen Themenblöcken und Inhalten orientiert. Die so ausformulierte Aufgabenstellung kann als Orientierung für ähnliche Seminaransätze dienen. Ziel war es, aufgrund der Komplexität des fachlichen Inhalts einen klaren Rahmen für die Hausarbeit aufzuzeigen. Die übergeordneten Punkte sollten hierbei den Studierenden als Gliederung dienen. Innerhalb dieses Rahmens waren die Studierenden in ihrer Bearbeitung frei.

Die Aufgabenstellung kann als Beispiel für ein ähnlich gegliedertes Seminar genutzt werden. Die Inhalte müssen je nach Aufgabe seminarspezifisch angepasst werden. Die Aufgabenstellung Campusanalysen dient lediglich als Leitfaden.

#### **Aufgabenstellung Campusanalysen:**

Im Rahmen des Seminars Campusanalysen sollen

#### **Optimierungsstrategien für das sommerliche Wärmeverhalten des ASL Neubau auf dem Campus der Universität Kassel**

erstellt und dokumentiert werden. Ziel ist es, das bestehende sommerliche Wärmeverhalten des ASL Neubaus und seiner Räume mit Hilfe der zur Verfügung gestellten Simulationstools zu simulieren und anhand von zur Verfügung gestellten Messdaten die Bestandsituation zu analysieren und zu

interpretieren. Auf Raumebene sollen bauliche oder anlagentechnische Szenarien vorgeschlagen und erarbeitet werden, die Lösungen aufzeigen, die das sommerliche Wärmeverhalten des Gebäudes/Raumes verbessern. Dabei sind im Rahmen der Abgabeleistung Aussagen zu den folgenden Teilbereichen zu treffen:

- Aufbereitung der selbst erarbeiteten Simulationsparameter aus den zur Verfügung gestellten
- Planunterlagen und Dokumenten für den ASL Neubau
- Beschreibung der Simulationstools
- thematische Auseinandersetzung mit Optimierungsstrategien
- Variantenanalyse/ Parameterstudie
- Vorschläge für Bauliche & Anlagentechnische Verbesserungen
- Grobe Beurteilung der Investitionskosten
- Grobe Beurteilung der Realisierbarkeit

Konkret sind Aussagen zu folgenden Punkten zu treffen:

### **Einleitung**

Darstellung des ASL Neubaus mit einer einleitenden Erläuterung, weshalb das Gebäude näher untersucht wird. Aufzeigen der allgemeinen für das Gebäude relevanten Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes aufgrund seiner diversen Nutzung.

### **Aufbereitung der Hochbau-Grundlagen - Kurzdokumentation:**

Die im Rahmen des Seminars zur Verfügung gestellten Hochbau-Unterlagen des Gebäudes sollen aufbereitet und die Grundlagen in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz aus den Unterlagen textlich dokumentiert werden. Die Aufbereitung soll durch Pläne und/oder Fotos unterstützt werden und soll vor allem die Ergebnisse der Checkliste-Hochbau und die individuelle Auseinandersetzung mit den Ausführungsplänen des Gebäudes darstellen.

### **Aufbereitung der TGA Grundlagen – Kurzdokumentation:**

Wie unter Punkt 2 genannt, sollen ebenfalls die zur Verfügung gestellten HLSE-Unterlagen des Gebäudes dokumentiert werden. Die Aufbereitung kann durch Texte, Fotos und Pläne erfolgen und soll vor allem die Ergebnisse der Checkliste-TGA und die individuelle Auseinandersetzung mit den Ausführungsplänen der Gewerke HLSE Gebäudes darstellen.

### **Zusammenfassung der Grundlagen:**

Fasst eure Erkenntnisse aus den Plangrundlagen, Fotos und weiteren Unterlagen in den Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz kurz zusammen. Welche Aspekte waren bereits bei der Bearbeitung auffällig, welche Punkte sind für eure späteren Simulationsansätze relevant?

### **Beschreibung der Simulationstools:**

Beschreibt in euren eigenen Worten das Excel-Tool nach Kolmetz. Welche grundlegenden Unterschiede bestehen zur Simulation mit SimRoom 4? Wie ist eure persönliche Einschätzung des Tools? Wie würdet ihr den Umgang mit der Anwendung bewerten?

Beschreibt in euren eigenen Worten kurz das Simulationstool SimRoom 4. Gebt eine kurze persönliche Einschätzung. In welchen Momenten seid ihr an die Grenzen des Tools gestoßen? Welche Vor-/ und Nachteile habt ihr bei der Anwendung für euch festgestellt?

### **Simulationen I – Grundvariante Gesamtgebäude:**

Simuliert das Gebäude gesamthaft mit dem Excel-Tool und SimRoom 4. Stellt eure Simulationsrandbedingungen dar und erläutert diese kurz. Vergleicht, kommentiert und interpretiert die Simulationsergebnisse miteinander. Wo gibt es Abweichungen und was können Ursachen sein?

### **Simulationen II – Grundvarianten Räume:**

Beschreibt und begründet auf welche Räume ihr euch warum festgelegt habt. Simuliert die ausgewählten Räume mit SimRoom 4. Stellt eure Simulationsrandbedingungen dar und erläutert diese kurz schriftlich. Kommentiert und interpretiert die Simulationsergebnisse für eure Räume. Welche Fragestellungen und Ansätze beschäftigen euch?

### **Messdaten:**

Stellt eure raumweisen Simulationen jeweils in den Kontext der Messdaten aus dem Jahr 2019. Bereitet die Messdaten für eure untersuchten Räume auf. Beschreibt, analysiert und interpretiert die Messdaten für euren Raum. Welche Erkenntnisse könnt ihr aus den realen Messdaten gewinnen? Welche Abweichungen stellt ihr zur Simulation fest und was können Ursachen sein? Inwieweit haben die Messdaten Einfluss auf eure Fragestellung und die folgende Szenarienbetrachtung?

### **Simulationen III - Szenarien:**

Setzt euch thematisch mit Optimierungsstrategien für eure betrachteten Räume auseinander und entwickelt für diese Räume Szenarien. Stellt in verschiedenen Variantenanalysen/ Parameterstudien dar, welche baulichen oder anlagentechnischen Möglichkeiten es aus eurer Sicht gibt, eure simulierten Räume in Bezug auf das sommerliche Wärmeverhalten zu optimieren. Beachtet hierbei für jedes Szenario die folgenden Punkte:

Erläuterung der Idee der Optimierungsstrategie

Auswirkung des Szenarios auf den Raum

Potenzielle Auswirkungen auf das Gebäude/ den Entwurf

Grobe Einschätzung der Realisierbarkeit des Szenarios (denkt gerne auch in Extremen!)

Grobe Beurteilung der Investitionskosten (keine konkreten Zahlen! Sind diese eher niedrig/ mittel/ hoch?)

### **Gegenüberstellung der Szenarien und Fazit:**

Stellt eure Szenarien gegenüber und beurteilt diese objektiv. Formuliert ein Fazit und schließt somit eure Untersuchungen und Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln für die Hausarbeit dienlich ab.

### **Ergebnispapier:**

Reduziert eure aussagekräftigsten Argumente auf einer DIN A4 Seite. Erstellt ein einseitiges Ergebnispapier zu euren Untersuchungen. Es ist angedacht, dass ihr eure Ergebnisse der Bauabteilung präsentieren könnt. Ein möglicher Präsentationstermin mit der Bauabteilung wird noch abgestimmt, erfolgt jedoch frühestens Anfang nächsten WS 21/22.

### **Anhang:**

z. B. Pläne, Grafiken, Übersichtstabellen, die zur Nachvollziehbarkeit eurer Hausarbeit dienen, jedoch im Hauptteil nicht genutzt, bzw. auf die nur verwiesen werden soll.

### **Quellenangaben:**

Listet eure genutzten Quellen wie z. B. DIN-Normen, Bücher und Onlinequellen, aus denen Ihr zitiert oder auf die ihr während der Bearbeitung zurückgegriffen habt umfänglich auf beachtet stets die Grundlagen für wissenschaftliches Arbeiten.

## **6.4.6 Bewertungsmatrix**

Um die studentischen Arbeiten wertungsneutral zu beurteilen, wurde eine Bewertungsmatrix erzeugt, die die unterschiedlichen Aufgabenstellungen der Hausarbeit gewichten. Der Fokus der Bewertung lag dabei auf der eigenständigen Arbeit der Studierenden, ihren Optimierungsvarianten und Erläuterungen. Die Matrix kann je nach Bedarf und eigener Aufgabenstellung angepasst werden. Die Gewichtung dient hierbei nur als Orientierung für den spezifischen Fall des Seminars „Campusanalysen“.

Tabelle 13: Beispiel Bewertungsmatrix Campusanalysen

Merkmal	Note	Gewicht	Bewertung
	$n_i=1...5$	$g_i$	$n_i \times g_i$
Einleitung / Ansatz	1,3	5	6,5
Aufbereitung der Hochbau-Grundlagen	1,7	5	8,5
Aufbereitung der TGA Grundlagen	1,7	5	8,5
Zusammenfassung der Grundlagen	1,7	5	8,5
Beschreibung der Simulationstools	1,7	5	8,5
Simulationen I – Kolmetz	1,3	10	13
Simulationen II – SimRoom 4	1,3	10	13
Messdaten	1,0	5	5
Simulationen III – Optimierungsvarianten	1,0	20	20
Gegenüberstellung und Fazit	1,3	10	13
Ergebnispapier	2,0	10	20
Aufbereitung & Layout	1,7	10	17
Bewertung			100
			1,42
<b>Gesamtnote</b>			<b>1,3</b>

Zusätzlich zu der reinen notenbasierten Bewertungsmatrix für die jeweiligen Aufgabenteile wurde für jede Gruppe eine Kurzzusammenfassung der Bewertung in schriftlicher Form erzeugt. Diese Kurzzusammenfassung kann stichpunktartig erfolgen und beschreibt knapp die Stärken und Schwächen der Arbeit, ihren Fokus und die Kontinuität in ihrem wissenschaftlichen Ansatz. Die Matrix und die Kurzzusammenfassung dienen nur der Notenfindung durch die Lehrenden und nicht der Verteilung an die Studierenden. In Ausnahmefällen und für didaktische Zwecke könnte die Kurzzusammenfassung der Bewertung an einzelne Studierende verteilt werden, um Lerneffekte zu erzeugen.

#### 6.4.7 Problemanalysen im Rahmen des Seminars

Im Rahmen der Seminarveranstaltung wurden durch die Studierenden Problemanalysen am Gebäude Neubau ASL durchgeführt. Hierbei ist sowohl das Gesamtgebäude analysiert worden als auch einzelne Räume. Es wurden verschiedene Raumsituationen wie Seminarräume, Hörsäle, Büroräume und Computerlabore des Fachbereichs 06 untersucht. Die Räume unterscheiden sich in ihrer Nutzung, der Lage innerhalb des Gebäudes, der Orientierung und der Ausstattung der Technischen Gebäudeausrüstung. Somit konnte ein differenzierter Gesamteindruck des Gebäudes entstehen. Die Analysen erfolgten durch Gebäudesimulationen mit Hilfe des EnKol-Tools und der Software SimRoom 4 und der Eingabe der ermittelten Gebäudeinformationen.

Die jeweiligen Studierenden-Gruppen hatten dabei unterschiedliche Räume als Bearbeitungsfokus. Es wurde zuerst die Bestandssituation dargestellt und die möglichen Defizite analysiert und simuliert. Im Anschluss folgten die Auswertungen der Analysen und der Optimierungsvarianten.

##### 6.4.7.1 Studentische Arbeiten

Die Studierenden haben ihre Ergebnisse, Problemanalysen und -lösungen in umfangreichen Hausarbeiten (ca. 40-50 Seiten je Gruppe) dokumentiert und interpretiert. Zur Übung einer prägnanten

Darstellung ihrer Ergebnisse waren die Studierenden innerhalb ihrer Hausarbeit zusätzlich dazu aufgefordert, ihre Ergebnisse kurz und prägnant auf Ergebnispapieren zu präsentieren. Diese sollten ca. den Umfang einer DIN A4 Seite haben.

## 6.5 Reflexion des Seminars

Das Seminar wurde von den Studierenden mit großem Interesse wahrgenommen. Insgesamt interessierten sich ca. 25 Studierende für das Seminar. Die finale Größe belief sich auf 14 Studierende. Die Reduktion der Studierendenzahl erfolgte bereits nach der ersten Einführungsveranstaltung. Dies kann unterschiedliche Gründe haben. Zum einen die freie Gestaltung des Seminars trotz des komplexen Themas der Simulationen, der starke Praxisbezug, aber auch die hohen Anforderungen und der Umfang der Veranstaltung. Insbesondere letzteres zeigte auch die Evaluation des Seminars. Die verbleibenden Studierenden waren jedoch höchst motiviert und zeigten großes Interesse an dem Thema sommerliches Wärmeverhalten und dem Seminar. Besonders hervorzuheben ist, dass die Grundidee des Seminars, interdisziplinäre Gruppen zu bilden, sehr gut funktioniert hat. Die 14 Studierenden setzen sich aus insgesamt 9 Studierenden des Studiengangs Architektur, 4 Studierenden des Studiengangs Regenerative Energien und Energieeffizienz, und einem Studierenden des Studiengangs Stadtplanung zusammen. Die Gruppen waren entsprechend gut durchmischt, sodass die Studierenden von den jeweiligen Expertisen der anderen Studiengänge profitieren konnten.

Die Freiheiten lieferten den Studierenden die Möglichkeit, sich in ihrem Interessensgebiet, egal ob im Bereich der Ingenieurwissenschaft oder der Architektur zu vertiefen. Dies führte erheblich zur Motivation der Studierenden bei. Die Mischung der Gruppen konnte dabei Defizite der einen oder anderen Ausbildungsrichtung sehr gut ausgleichen und ergänzen. Die Veranstaltung soll weiterhin interdisziplinär gestaltet werden.

Die Strukturierung in die unterschiedlichen Blöcke war ebenfalls hilfreich. Sowohl zur Strukturierung der Veranstaltung als auch als Orientierung für die Studierenden. Innerhalb der Blöcke besteht noch Entwicklungsbedarf.

Der Allgemeine und einführende Teil des Seminars sollte fokussierter auf das Ziel der Simulationen ausgerichtet werden. Die Vorlesungsinhalte waren im Nachhinein betrachtet nicht komplett zielführend. Wobei lokale Bezüge zum Klimawandel, wie z. B. die Kasseler Klimafunktionskarte, das Klimadouble und die Testreferenzjahr-Klimadatensätze 2010 und 2035 den Studierenden in Entwicklungen am Standort Kassel sehr gut verdeutlicht haben.

Für die Simulationen sollte neben den TRY Jahren jedoch zusätzlich ein Wetterdatensatz des betrachteten Messdaten Jahres aufbereitet werden. Die Messdaten stammten aus dem Jahr 2018, der Wetterdatensatz aus dem Jahr 2019. Dieser müsste außerdem noch für SimRoom 4 aufbereitet werden.

Allgemein sollten Unterlagen und Tools den Studierenden in Zukunft früher zur Verfügung gestellt werden. Im aktuellen Konzept wurden die Daten und Tools ca. einen Tag vor der Veranstaltung den Studierenden auf Moodle hochgeladen. Zur besseren Vorbereitung durch die Studierenden und deren interne Absprache in Gruppen wäre ein Upload mit ca. 1-wöchigem Vorlauf wesentlich zielführender.

Diese können die Unterlagen somit rechtzeitig sichten und innerhalb der Veranstaltung wird keine Zeit für die Sichtung der Unterlagen verbraucht. Insbesondere die Bearbeitung der Checklisten erfolgte so nicht innerhalb der Seminarzeit, sondern außerhalb.

Auf die Erarbeitung und Simulation eines Beispielgebäudes wurde verzichtet. Das Seminar behandelt den ASL Neubau und sollte möglichst schnell mit den Studierenden in die tatsächliche Bearbeitung mit Praxisbezug einsteigen. Diese Herangehensweise sparte Zeit, sodass die Studierenden sich 1-2 Veranstaltungstermine länger bereits mit dem Gebäude beschäftigen konnten.

In den folgenden Unterkapiteln finden sich detaillierte Informationen zu Anmerkungen zum Veranstaltungskonzept, zur Reflexion des digitalen Formates und die durchgeführte Lehrevaluation.

### 6.5.1 Anmerkungen zum Veranstaltungskonzept:

Das ursprüngliche Veranstaltungskonzept wurde vor Beginn der Lehrveranstaltung erzeugt. Sowohl im Laufe der Veranstaltung als auch im Nachgang wurden Defizite in der ursprünglichen Konzeption festgestellt. Die Veranstaltung sollte daher im kommenden Sommersemester in einer überarbeiteten Fassung durchgeführt werden. Die in Tabelle 14 genannten Punkte sind als Anmerkungen zum Veranstaltungskonzept im Kapitel 6.4.2 Ablaufplan und Veranstaltungsübersicht zu verstehen.

Tabelle 14: Anmerkungen zum Ursprünglichen Veranstaltungskonzept aus Kapitel 6.4.2

KW	Termin	Inhalt Vorlesung
15	14.04.2021	<p>Einführungsveranstaltung + Grundlagenvermittlung:                      Die Folien sind in Teilbereichen zu allgemein gehalten                      Die Folien sind somit nicht zielführend im Sinne der kommenden Simulationen                      Die inneren Einflüsse und äußeren Einflüsse sind gut und verständlich                      Höhere Energiebedarfe zur Kühlung könnten weiter herausgearbeitet werden                      Der rechtliche Teil könnte vertiefender auf die DIN und das GEG eingehen. Mit Fokus auf Simulationen – weniger Historie des GEG/WschVo zeigen                      Teile der ASR Inhalte können gekürzt werden                      Eine allgemeine Einführung wird weiterhin als sinnvoll erachtet, um die Studierenden für den sommerlichen Wärmeschutz zu sensibilisieren</p>
16	21.04.2021	<p>Simulationen/Bilanzierung:                      Das Sonneneintragskennwert-Verfahren kann gekürzt werden, da dieses nicht genutzt wird.                      Auf die Grundlagen wie <math>g_{tot}</math>, <math>F_C</math>, U-Werte etc. soll weiterhin eingegangen werden                      Die Veranstaltung wurde umstrukturiert im Gegensatz zum ursprünglichen Konzept. Die Einführung der Simulationstools erfolgt nur kurz und vertiefend in der 5. Veranstaltung.                      Es wurde dafür vermehrt auf allgemeine Parameter eingegangen, wie zu Bauteilen, Sonnenschutzsystemen etc. Dies soll weiter beibehalten werden.                      Die Parameter könnten jedoch strukturierter aufgebaut werden – Zielführend für später benötigte Eingabeparameter bei SimRoom 4 und EnKol.                      Das heißt z. B. Gliederung nach Bauteilen, Allgemein Strom, Technische Anlagen, Lüftung, Passive und aktive Kühlung, Konditionierung, Speichermasse, Befeuchtung.</p>
17	28.04.2021	<p>Erarbeitung der Themen der Checkliste Teil 1: Hochbau                      Die Checkliste hat gut funktioniert – sollte jedoch noch einmal konkretisiert werden in Bezug auf die Simulationen                      Die digitale Begehung sollte wenn möglich in den kommenden Semestern durch eine Präsenzbegehung ersetzt werden, sofern dies die Pandemie-Situation zulässt. Die Studierenden können so das Gebäude eigenständiger untersuchen und analysieren.</p>

18	05.05.2021	<p>Erarbeitung der Themen der Checkliste Teil 2: TGA+Nutzung Die Checkliste hat gut funktioniert – jedoch sind die Informationen in den Grundrissen und Schemata teilweise so konkret, dass Sie in den Simulationstools nur schwer bis gar nicht abgebildet werden können. Zum allgemeinen Verständnis des Gebäudes und der TGA waren die Pläne dennoch hilfreich und wurden von den Studierenden gut angenommen. Die allgemeineren Angaben zum Gebäude können eher über die Betriebstechnik angefragt werden.</p>
19	12.05.2021	<p>Einführungsveranstaltung EnKol-Tool und SimRoom Die Abgrenzung der Tools muss noch deutlicher gemacht werden. Welches Tool wird zu welchem Zweck verwendet? Warum nutzen wir zuerst EnKol und im Anschluss SimRoom 4 Differenzierung zwischen der Jahres-, Monats- und Stundenbilanzierung herausarbeiten. Es wurde kein Beispielgebäude simuliert, sondern direkt mit dem ASL Neubau gearbeitet. Das Beispiel ist entfallen. Die Studierenden hatten so einen schnelleren Einstieg in das Gebäude</p>
20	19.05.2021	Exkursionswoche
21	26.05.2021	<p>Einführungsveranstaltung und Überblick über die Messdaten 30 min In der Veranstaltung wurde eine grundlegende Excel-Einführung in einem ca. 20-minütigen Block ergänzt. Dies war insbesondere für die Architektur Studierenden hilfreich. Messdaten sollten in Zukunft umfänglicher gesichtet werden, um auffallende Messfehler in den Daten direkt mit der Betriebstechnik abstimmen zu können. Die Studierenden zeigten jedoch durch die Fehlerhaften Daten ein hohes Engagement und deuteten selbst auf die Fehler hin. Dies stellte einen Erkenntnisgewinn für Messdesign und Messdaten.</p>
22	02.06.2021	<p>Sprechstunde Simulation / Messdaten Die Studierenden haben während des Meetings weitergearbeitet in break-Out Sessions. Sollte es wieder zu einem digitalen Semester kommen, könnte die Veranstaltung in Zukunft in Zeitblöcke unterteilt werden, sodass keine Wartezeiten für die Studierenden entstehen.</p>
23	09.06.2021	<p>Zwischen Besprechung der bisherigen Ergebnisse aus den Simulationen und Messdaten Die Präsentationen der Zwischenstände verliefen gut. Es sollte mehr auf die Zeitblöcke der Studierenden geachtet werden. Es entstanden Diskussionen zu spezifischen Simulationsparametern, wie den Auswandflächen, Abschlüssen gegen Erdreich, Abschlüsse gegen Außenluft, begrünten Fassaden, Lüftungen etc.</p>
24	16.06.2021	<p>Sprechstunde Optimierungsvorschläge Wurde wahrgenommen von den Studierenden</p>
25	23.06.2021	<p>Sprechstunde Optimierungsvorschläge Wurde wahrgenommen von den Studierenden</p>
26	30.06.2021	<p>Diskussion der aktuellen Konzeptstände Die Studierenden haben weniger bereits laufende Simulationen vorgestellt, sondern vielmehr dargestellt, welche Konzepte Sie in der Hausarbeit verfolgen wollen. Die führte zu Schwierigkeiten in der Beurteilung der Möglichkeiten der Simulationen. In diesen Präsentationen sollten zumindest Auszüge von Simulationen verlangt werden.</p>
27	07.07.2021	<p>Sprechstunde Konzeptstände Wurde wahrgenommen von den Studierenden</p>
28	14.07.2021	keine Veranstaltung (Rundgangswoche)
35	25.08.2021	<p>Abgabe der Hausarbeit in 4er Gruppen Die Hausarbeiten wurden sehr sorgfältig und umfangreich durch die Studierenden bearbeitet. Da die Studierenden im Rahmen der Veranstaltung viele Freiheiten bezüglich ihres Simulationsfokus hatten, fielen auch die Hausarbeiten entsprechend differenziert aus. Dies erschwerte die Bewertung der Hausarbeiten untereinander. Der Umfang der Hausarbeit scheint je nach Bearbeitungsstand im laufenden Semester gerechtfertigt. Das Gesamtseminar könnte im Bearbeitungsaufwand jedoch reduziert werden oder auf ein 6 CP Modul erweitert werden.</p>



### **6.5.2 Digitales Veranstaltungsformat**

Das digitale Veranstaltungsformat hat mit den Studierenden sehr gut funktioniert. Die Studierenden sind durch die bereits vorangegangenen „Corona-Semester“ gut mit dem digitalen Format zurechtgekommen. Mit der Software Zoom gab es weder Einwahlschwierigkeiten noch andere unerwartete Probleme. Kritischer Faktor war höchstens eine stabile Internetverbindung auf Seiten der Studierenden. Das digitale Format hat die Flexibilität der Studierenden unterstützt. So wurde z. B. auch an Meetings teilgenommen, wenn man gerade aus privaten Gründen unterwegs war. Es konnten fast immer alle Gruppenmitglieder teilnehmen.

Nachteil der digitalen Veranstaltung: Die Nähe zu den Studierenden geht leicht verloren. Die Gruppenbildung gestaltet sich schwer, wenn sich die Studierenden nicht kennen. Insbesondere in der Zusammenstellung aus Architekten und Ingenieuren. Glücklicherweise waren die Studierenden sehr motiviert und haben sich gut gegenseitig unterstützt. Die „Vor-Ort-Begehung“ wäre in Präsenz wesentlich anschaulicher gewesen. Dasselbe zählt für die Sichtung der Ausführungspläne des Gebäudes etc. – Hier war ursprünglich eine Art „Ausstellung der Pläne“ im Foyer, mit zeitgleicher Begehung der Studierenden angedacht. Hier hätten sich die Studierenden noch mehr auf die Themen fokussieren können, für die Sie ein Interesse entwickelt haben. Leider war das Gebäude das gesamte Semester über für die Studierenden offiziell gesperrt.

Die Einzelsprechstunden für Gruppen in break-Out Sessions hatte den Nachteil, dass die Studierenden nicht vom Input an ihre Kommilitonen gelernt haben. Dieses gegenseitige voneinander Lernen hätte in Präsenz besser stattgefunden.

### **6.5.3 Feedback & Evaluation Campusanalysen**

Im Rahmen des Seminars wurde eine Evaluation durchgeführt. Die Evaluation unterteilt sich dabei in zwei Teile. Einen allgemeinen Evaluationsbogen, der die Themenfelder Seminarinhalt, Seminaredurchführung und Lehrende abdeckt und einen spezifischen Evaluationsbogen, der sich mit konkreten Seminarinhalten beschäftigt. Hierzu zählen unter anderem die Themen zum sommerlichen Wärmeschutz, die Simulationen und die Interdisziplinarität des Seminars. Die Evaluationsbögen wurden auf der Lernplattform Moodle mit Hilfe der Funktion Feedbackbogen zur Verfügung gestellt. Die Abstimmung durch die Studierenden erfolgte anonym. Die Bögen können exemplarisch genutzt und weiterverwendet werden. Dabei bedürfen die spezifischen Fragen einer Anpassung, je nach Seminarinhalt. Die beispielhafte Auswertung des Seminars „Campusanalysen“ unterstreicht auch die Reflexionen der Kapitel 6.5.1 und 6.5.2.

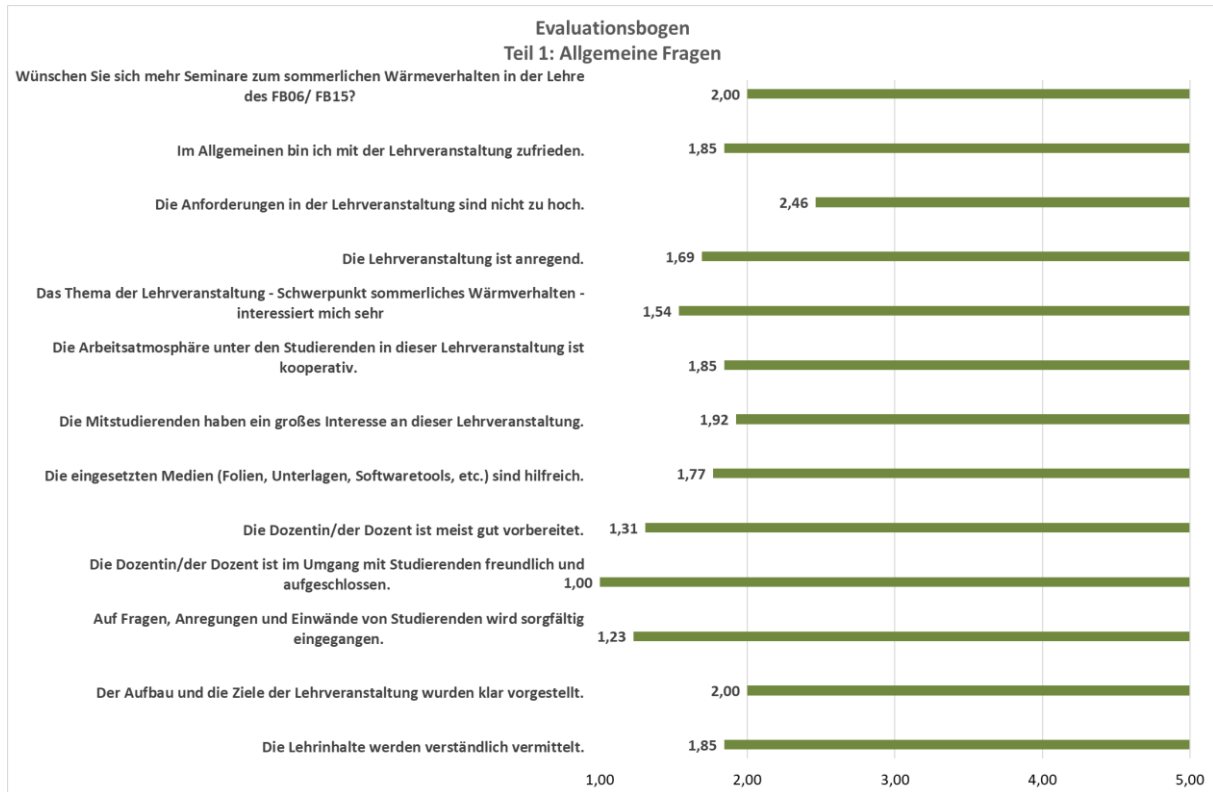


Abbildung 27: Lehrevaluation I - Allgemein, Seminar Campusanalysen

Im Allgemeinen wurde die Veranstaltung gut (1,7) bewertet. Insbesondere der Umgang des Lehrenden mit den Studierenden und deren Problemen und Fragestellungen wurde als sehr gut bewertet. Ebenso wie die Unterlagen und eingesetzten Medien, die mit gut bewertet wurden. Die Anforderungen der Lehrveranstaltung wurden jedoch als hoch eingestuft. Dies hängt auch mit dem Aufbau und der Vermittlung der Ziele der Lehrveranstaltung zusammen. Hier liegt in den kommenden Semestern noch Verbesserungspotential. So könnten unter anderem die Gebäudekenngrößen wie NF, BGF, Fassadenflächen etc. den Studierenden direkt zur Verfügung gestellt werden. Diese müssen dann nur für die raumspezifischen Simulationen und nicht für die Gebäudesimulationen von den Studierenden erarbeitet werden. Die Simulation des Gesamtgebäudes versteht sich dann eher als einleitende Übung in das Simulationstool.



Abbildung 28: Lehrevaluation II - spezifischer Teil, Seminar Campusanalysen

Die seminarspezifischen Fragen wurden mit gut (2,0) bewertet. Besonders gut wurden hier von den Studierenden der Praxisbezug zu einem realen Gebäude, die Interdisziplinarität mit unterschiedlichen Studierenden und die Gruppenbearbeitung bewertet. Verbesserungsbedarf besteht in der Beschaffung von noch spezifischeren Gebäudeinformationen. Bei den Studierenden kamen sehr viele Fragen in der Bearbeitung auf, die so spezifisch waren, dass Sie noch in Rücksprache mit der Bauabteilung und Betriebstechnik organisiert werden mussten. Die genutzten Evaluationsbögen werden im Anhang des Berichts zur Verfügung gestellt.

## 6.6 Ausblick – Campusanalysen

Das Seminar „Campusanalysen – sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden“ soll im Lehrangebot des Fachgebiets Technische Gebäudeausrüstung verstetigt werden. Die Veranstaltung wird in Zukunft jedes Sommersemester angeboten. Die Anpassungen des Umfangs und der zuvor beschriebenen inhaltlichen Aspekte finden zum kommenden Sommersemester 2022 statt.

Im kommenden Sommersemester wird die Veranstaltung noch einmal mit demselben Gebäude (ASL Neubau) durchgeführt. Grund hierfür ist die vorrangige Verbesserung der Veranstaltung selbst und des Seminarkonzepts. In Zukunft soll die Veranstaltung jedoch jedes Sommersemester ein unterschiedliches Gebäude des Universitäts-Campus betrachten. Ziel ist es, mit Hilfe des Seminars „Campusanalysen“ eine breit aufgefächerte Analyse des sommerlichen Wärmeverhaltens der Gebäude der Universität zu erhalten und diese Analysen in enger Abstimmung mit der Bauabteilung zu kommunizieren. So kann durch die Kombination von Lehre und Praxis ein Beitrag zur tatsächlichen

Planung der Universität geschaffen werden. Im zweiten Schritt sollen dann weitere Gebäude in der Veranstaltung untersucht werden. Für einige dieser Gebäude sind bereits Probleme bekannt und Messdaten vorhanden. So könnte in Zukunft zuerst das Selbstlernzentrum LEO oder das Campus Center untersucht werden. Das Veranstaltungskonzept ließe sich jedoch auch auf beliebig andere Gebäude übertragen. So könnten weitere Bestandsgebäude oder Gebäude der Stadt Kassel untersucht werden.

Die Veranstaltung ist somit auch für andere Universitäten übertragbar. Das Konzept kann als Grundlage für eine eigene Veranstaltung im Bereich Praxisbezug und Simulation von Gebäuden gesehen werden.

## **7 Vorbereitung und Durchführung eines Pilotprojekts (Masterprojekt / Profilprojekt mit Begleitseminar) inkl. Evaluation (AP 7)**

### **7.1 Beschreibung des Gesamtkonzepts für Masterprojekt / Profilprojekt mit Begleitseminar**

In den 4 Semestern des Masterstudiengangs wird eine an aktuelle Fragestellung aus Forschung und Praxis orientiertes Wissen und Können auf der Basis vertiefter Grundlagenkenntnisse vermittelt, das zur Berufsausübung in allen Arbeitsfeldern der Planung im baulich-räumlichen oder strategisch-konzeptionellen Kontext und zu eigener wissenschaftlicher Forschung befähigt und die Voraussetzung der "Kammerfähigkeit" bildet. Besonderes Ziel ist die Ausbildung eines individuellen Studienprofils mit Orientierung an den vielfältigen Anforderungen der methodisch und inhaltlich ausdifferenzierten Berufsfelder. Die Vertiefung von Planungs- und Entwurfskompetenz in komplexen und auch interdisziplinären Zusammenhängen bildet über den gesamten Studienverlauf hinweg den Kern des Curriculums. Lehrinhalte und -formen basieren auf der Einheit von Lehre und Forschung und vermitteln über das Fachwissen hinaus Methoden- und Systemkompetenz sowie Strategienkompetenz. [20]

Es werden am Fachbereich Architektur die Mastervertiefungen ST - Städtebau / Urban Design, DR - Design Research und UPB - Umweltbewusstes Planen und Bauen angeboten. Im Rahmen Letzterer wurde das Pilotprojekt durchgeführt. Die Vertiefung UPB (Umweltbewusstes Planen und Bauen) lässt sich wie folgt zusammenfassen:

**Im Fokus:** auf Nachhaltigkeit (Entwicklung und Innovation) ausgerichtete Planungs- und Entwurfsstrategien.

**Besonderes Lernziel:** ein profundes Verständnis für die funktionale und gestalterische Dimension des umweltbewussten Planens in allen Ebenen sowie der ästhetischen Dimensionen bauphysikalischer und klimatischer Anforderungen an Gebäude und ihr Umfeld. [20]

Die Vertiefungen setzen sich aus unterschiedlichen Modulen zusammen. Einen großen Teil der Vertiefung macht hierbei das Profilprojekt (12 CP) in Verbindung mit einem Begleitseminar (6 CP) aus. Die gesamte Vertiefung hat einen Umfang von 30 CP.

Das Begleitseminar zum Profilprojekt beinhaltet übergeordnete Themengebiete, die je nach angebotenem Profilprojekt noch vertieft werden. Im Recherchestudio UPB (Begleitseminar) werden die Studierenden bei der Umsetzung des integrierten Entwurfs unterstützt. Neben analytischen und theoretischen Betrachtungen zum Projektthema werden die notwendigen methodischen Grundlagen zur Erstellung von Energie- und Nachhaltigkeitskonzepten vertieft. Die Stärken und Schwächen unterschiedlicher Konzepte werden anhand der jeweiligen Entwürfe der Studierenden diskutiert und aufgezeigt.

Inhaltlich erstreckt sich das Begleitseminar über zwei Semester. Im Laufe des ersten Semesters steht zunächst der Entwurf im Fokus. Energie- und Nachhaltigkeitsaspekte werden entsprechend einem integralen Entwurfsansatz dabei bereits auf konzeptioneller Ebene mitberücksichtigt. Die Studierenden

verfügen nach dem ersten Semester somit über einen ausgereiften Entwurfsstand, bei dem Energie- und Nachhaltigkeitsgesichtspunkte grundlegend mitbedacht wurden.

Im zweiten Semester wird dieser Entwurf hinsichtlich der Aspekte des Energie- und Nachhaltigkeitskonzepts vertiefend untersucht und ausgearbeitet. Mögliche Modifikationen werden dabei stets unter gestalterischen Gesichtspunkten bewertet. Der integrale Entwurfsansatz spielt somit auch hier eine wichtige Rolle.

Formal ist das Begleitseminar dem zweiten Semester zugeordnet. Es kann nur von den Studierenden belegt werden, die das zugeordnete Entwurfsprojekt des ersten Semesters belegt und erfolgreich abgeschlossen haben.

Ergänzend zu den verpflichtenden Angeboten der Mastervertiefung UPB können die Studierenden weitere Wahlpflichtseminare belegen, die sich vertiefend mit dem Thema sommerliches Wärmeverhalten und unterschiedlichen Lerntools und Berechnungswerkzeugen beschäftigen. In diesem Rahmen kommen die weiteren, im Forschungsprojekts SommerWende entwickelten Lernelemente zur Anwendung. Hierunter fallen zum Beispiel das Seminar „Campusanalysen“ mit der vertiefenden Simulation eines Bestandsgebäudes der Universität mit der Software SimRoom 4, die Tracergasmessungen oder das Modellhaus zur Veranschaulichung von bauphysikalischen Phänomenen im Rahmen des Laborpraktikums. Darüber hinaus erfolgt im Seminar „Angewandte Bauphysik“ eine Vertiefung des Themas anhand von 3D Gebäudesimulationen mit der Software IDA-ICE auseinandersetzt.

## **7.2 Beschreibung Profilprojekt**

### **7.2.1 Modulbeschreibung**

Im Zentrum des Profilprojektes steht die Entwurfstätigkeit der Studierenden. Dies beinhaltet eine weitgehend selbstständige Entwurfsbearbeitung, begleitet von der regelmäßigen Beratung durch Lehrende in Einzelgesprächen, sowie Zwischen- und Endpräsentationen mit umfangreicher Kritik. Angeboten wird eine Entwurfsaufgabe auf Grundlage einer aktuellen architektonischen Themenstellung aus Forschung und Praxis. Neben der Entwicklung und Bearbeitung von neuen Gebäudekonzepten unterschiedlicher Nutzungen gehört die energieeffiziente Sanierung und strukturelle Wandlung bestehender Gebäude und Baukonstruktionen zum Aufgabenspektrum. Die fachliche Vertiefung beinhaltet Kenntnisse zur Bewertung bauphysikalischer Eigenschaften und deren Einbindung in den Entwurf. Besonderes Lernziel ist das Verständnis der ästhetischen Dimensionen energetischer, bauphysikalischer und anlagentechnischer Anforderungen an Gebäude und ihr Umfeld. Dafür werden exemplarische, praxisnahe Entwurfsaufgaben gestellt, anhand derer diese Fähigkeiten erlernt werden können. Vgl. [20].

### **7.2.2 Aufgabe**

Das Profilprojekt mit dem Titel „Transformation – LÜCKENFÜLLER“ basiert auf dem gleichnamigen Wettbewerb des Kulturkreises der deutschen Wirtschaft. Ziel ist es, eine Baulücke in der Essener Innenstadt mit einem innovativen, nachhaltigen Bürogebäude zu schließen. Die Herausforderung liegt dabei auf der städtebaulichen Integration, der beruhigenden Verbindung der vielfältigen

Umgebungsgebäude und der Entwicklung eines zukunftsfähigen Bürohauses. Die Gestaltung des Innenhofes des Gebäudeensembles ist dabei ebenfalls Teil der Aufgabe.

Die vollständige „Lückenfüller Aufgabenstellung“ befindet sich im Anhang.

### **7.2.3 Ablauf und Anforderungen**

Das Projekt startet mit einem vom Auslober organisierten gemeinsamen online Workshop, an dem auch Lehrende und Studierende anderer Hochschulen teilnehmen. Hier werden Ziele und Hintergründe der Aufgabenstellung beleuchtet. Die Bearbeitung des Profilprojektes ist als Einzelarbeit oder in Zweiergruppen möglich. Die Betreuung findet wöchentlich in individuellen Sitzungen mit dem Lehrpersonal statt. Bei zwei Zwischenkolloquien und einem Abschlusskolloquium präsentieren die Studierenden ihren Entwurf und erhalten ein differenziertes Feedback. Im begleitenden Recherchestudio wird der Vertiefungsschwerpunkt bearbeitet.

### **7.2.4 Abgabeleistungen**

Neben den gängigen Leistungen zur Entwurfsaufgabe, bestehend aus städtebaulichen und architektonischen Plänen (Lageplan M1:500; Schnitte, Grundrisse, Ansichten M1:100) sowie zwei Renderings wird für die Vertiefung ein in Bezug auf den sommerlichen Wärmeschutz aussagekräftiges Fassadendetail (mindestens M1:20) gefordert, sowie ein Energiedesigndiagramm (Isometrie), welches alle Parameter des sommerlichen Wärmeschutzes und nachhaltiger Aspekte beinhaltet.

## **7.3 Beschreibung Begleitseminar Recherchestudio UPB während des Entwurfes (1.Semester)**

Im Begleitseminar zum Profilprojekt, dem Recherchestudio UPB, wird zu Beginn des ersten Semesters sowohl der inhaltliche Schwerpunkt des Bürobaus als auch der Vertiefungsschwerpunkt des sommerlichen Wärmeschutzes thematisiert.

### **7.3.1 Beschreibung**

Die analytische Auseinandersetzung mit gebauten Beispielen bildet den Kern der Seminararbeit. Neben programmatischen Zusammenhängen können konzeptionelle Herangehensweisen des Entwerfens und deren gestalterische Umsetzung in konstruktiven und technischen Details erlernt werden. Eine thematische Vorauswahl und Hinweise zum Recherchieren gebauter Beispiele ermöglichen den zügigen Einstieg in die Analyse passender Beispiele. Ziel ist es, ein umfangreiches Spektrum von A wie Atriumhaus bis Z wie Zwiebelprinzip zu beleuchten, um den Studierenden verschiedene Möglichkeiten der Herangehensweise aufzufächern. Durch die eigenständige analytische Tätigkeit, das gegenseitige Referieren und Diskutieren, lernen die Studierenden mögliche Lösungsansätze kennen, die sie in ihrer eigenen Entwurfspraxis erproben und erweitern können.

### **7.3.2 Aufgabe**

Die Seminaraufgabe beinhaltet die Analyse und Dokumentation gebauter Projekte, die beispielhaft für den Entwurf und die Vertiefung sind. Diese „besten Beispiele“ werden von den Studierenden hinsichtlich A) der Entwurfsaufgabe (Innovativer Bürobau) und B) des Vertiefungsschwerpunktes

(sommerlicher Wärmeschutz) analysiert. In der Nachbereitung werden die Ergebnisse aus B) hinsichtlich ihres sommerlichen Wärmeverhaltens verglichen und C) in einem Reader dokumentiert. Lernziel ist es, den thematischen Wissensschatz zu erweitern und Ansätze zu formulieren, wie die Erkenntnisse aus der Analyse und Diskussion in die Bearbeitung der eigenen Entwurfsaufgabe im Profilprojekt übertragen werden können.

A) Analyse „Bester Beispiele“ im Zusammenhang mit der Entwurfsaufgabe (Innovativer Bürobau):

Zunächst geht es um die programmatische Vorbereitung der Entwurfsaufgabe (Innovativer Bürobau). Anhand der Analyse „bester Beispiele“ im Bereich des Bürobaus sollen Anforderungen und Entwurfskonzepte betrachtet und ihre Besonderheiten herausgearbeitet werden. Dazu wählen die Studierenden aus einem Ideenpool passende Projekte aus. Sie können entweder auf Vorschläge der Lehrenden zurückgreifen oder eigene Ideen einbringen (Recherche z. B. auf [baunetz-wissen.de](http://baunetz-wissen.de)). Die Projekte werden hinsichtlich ihrer programmatischen Merkmale untersucht und mit dem Thesenpapier „Die Zukunft des Büros - 10 Thesen zu einer neuen Arbeits- und Bürowelt - burondo.de“ [21] verglichen. Die Ergebnisse werden in Form eines Referats mit der Gruppe geteilt und im Seminar hinsichtlich ihrer Qualitäten diskutiert.

B) Analyse „Bester Beispiele“ im Zusammenhang mit dem Vertiefungsschwerpunkt (Sommerlicher Wärmeschutz):

Anschließend folgt die Analyse „bester Beispiele“ hinsichtlich des Vertiefungsschwerpunktes. Dafür werden erneut passende Projekte ausgewählt, nach der gleichen Vorgehensweise wie bei A). Hier geht es darum, Lösungsmöglichkeiten für den sommerlichen Wärmeschutz im Entwurf zu erkennen und zu benennen. Die Checkliste „Parameter des Wärmeschutzes“, die vom Fachgebiet Bauphysik im Recherchestudio eingeführt wurde, dient hier als Grundlage für die Untersuchung.

#### **7.3.2.1 Checkliste „Parameter des Wärmeschutzes“ (erstellt vom Fachgebiet Bauphysik):**

- Bedarfsreduktion
  - Kubatur des Baukörpers (z. B.: A/V Verhältnis)
  - Winterlicher Wärmeschutz (U-Werte, Darstellung und Erläuterung der Dimensionierung, Wärmebrücken z. B.: in Prinzipskizzen oder Piktogrammen)
- Effiziente Anlagentechnik
  - Anlagenkonzept
  - Heizung
  - Lüftung (wenn enthalten) d. Kühlung (wenn enthalten)
- Sommerlicher Wärmeschutz
  - Fensterflächenanteile
  - Sonnenschutz (Fassadenkonzepte, Gläser)



- Nachtlüftungskonzept
- Nutzung von Wärmesenken (z. B. Fluss, Bach, Grundwasser, Erdreich)
- Bauart (Wärmespeicherfähigkeit der Baukonstruktion)
- Bewertung der genannten Einflussgrößen über Sonneneintragskennwerte
- Aspekte des Mikroklimas (z. B. Farbgebung Gebäudehülle, Dach- und Fassadenbegrünung, Verschattungssysteme)
- Tageslicht und Kunstlicht
  - Blendschutz / Sonnenschutz
  - Abschätzungen, Zusammenhänge, Auswirkungen
  - Raumhöhe / Raumtiefe
- Gesamteindruck der Integration energetischer und bauphysikalischer Aspekte in den Entwurf

Im ersten Teil des Begleitseminars Recherchestudio UPB wird die Analyse der „besten Beispiele“ zum sommerlichen Wärmeschutz von den Studierenden vorgestellt, verglichen und diskutiert.

Die Seminararbeit (Einzelarbeit bei den Referaten und Teilnahme an den Gruppendiskussionen) wird durch eine abschließende Diskussion mit Analyse der Kernaussagen aus B) beendet. Diese fassen die Studierenden in einer „Matrix“ tabellarisch und grafisch zusammen und dokumentieren ihre Ergebnisse in einem gemeinsamen Reader.

### **7.3.2.2 Hinweise zur Auswahl „bester Beispiele“**

Ziel ist es, bei der online Recherche „bester Beispiele“, einen zügigen Zugang zu qualitativ hochwertiger Architektur zu erlangen. Die Plattform „Baunetz Wissen“ enthält einen enormen Fundus gut sortierter Fachinformationen und Beispielprojekte zu den diversen Themen unserer Recherche. Auf der Onlineplattform „Dezeen“ werden aktuelle Beispiele am Ende des Beitrags nach Stichworten (Tags) sortiert, auch dort finden sich viele geeignete Beispiele. Die Fachzeitschriften Detail, Arch+, Werk Bauen und Wohnen, etc. bieten ebenfalls gut aufbereitetes Material online, allerdings in Bezug auf das Thema weniger umfangreich und gut vorsortiert. Auch die großen Tageszeitungen (z. B.: FAZ, Süddeutsche, NZZ) diskutieren regelmäßig interessante Architektur auf hohem Niveau, doch hier wird man aufgrund geringer Dichte der Berichterstattung über Architektur Themen eher nur zufällig fündig, ein Versuch ist es jedoch wert. Die Studierenden werden gebeten, sich bei den genannten Plattformen zu bedienen, natürlich sind auch andere „Peer-reviewed“ Quellen legitim. Während der Präsenzlehre findet die Recherche überdies in der in der Bibliothek statt.

### **7.3.3 Durchführung der Lehrveranstaltungen**

Das Recherchestudio (Seminar) gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil wird von Entwerfen im Bestand (EiB) ausgerichtet, der zweite Teil wird von Bauphysik (BPY) bzw. Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

übernommen. Der erste Teil des Recherchestudios von EiB fängt zu Beginn des ersten Semesters, in dem das Profilprojekt bearbeitet wird, statt damit die Studierenden ihre Erkenntnisse in den Entwurf einfließen lassen können. Dafür werden drei bis vier Termine angesetzt plus einen Termin für die inhaltliche Einführung durch das Fachgebiet Bauphysik.

#### **Lehrveranstaltung 1 vom 29.10.2020**

Einführungsveranstaltung

Erörterung der Aufgabe und Besprechung des Ablaufs

Thematische Einführung in die „10 Thesen zum Bürobau“.

Hinweise und Erläuterung zur Auswahl „Bester Beispiele“ mit Recherchetipps.

Rückfragen Besprechung.

#### **Lehrveranstaltung 2 vom 05.11.2020**

Inhaltliche Einführung zum Thema „Sommerliches Wärmeverhalten“ von Gebäuden vom Fachgebiet Bauphysik

Neben anderen Inhalten auch Erörterung der Checkliste „Parameter des Wärmeschutzes“

#### **Lehrveranstaltung 3 vom 12.11.2021**

Studentische Referate „bester Beispiele“ und Diskussion zum Thema innovativer Bürobau.

Abschlussdiskussion zu den „10 Thesen zum Bürobau“: Wie lassen sich die Erkenntnisse auf den Entwurf übertragen?

#### **Lehrveranstaltung 4 vom 19.11.2020**

Studentische Referate „bester Beispiele“ und Diskussion zum Thema sommerlicher Wärmeschutz.

Teilweise Mangel an Klarheit bei den Referaten in Bezug auf das Vertiefungsthema sommerlicher Wärmeschutz. Wie lassen sich die Parameter des Wärmeschutzes noch deutlicher herausarbeiten?

Zusatzaufgabe: Erstellung einer gemeinsamen „Matrix“ der untersuchten Beispiele. Damit ist eine vergleichende Tabelle gemeint, in der die Beispiele anhand der Checkliste auf die einzelnen Punkte der „Parameter des Wärmeschutzes“ überprüft und die Ergebnisse mit Grafiken und Text übersichtlich dokumentiert werden.

#### **Lehrveranstaltung 5 vom 03.12.2020 (Zusatztermin)**

Schlussbesprechung der „Matrix“

### **7.3.4 Abgabeleistungen**

Die Folien zu den mündlichen Referaten „bester Beispiele“ (zwei pro Person) werden eingereicht, außerdem wird das Fazit zum sommerlichen Wärmeschutz aller Referatsbeiträge in einer

vergleichenden Matrix aller Studierenden zusammengefasst. Hierzu dient die Checkliste, die von EIB mit TGA/BPY erarbeitet wurde.

Erste Abgabeleistungen aus dem Recherchestudio werden hier bereits getätigt, auch wenn das Recherchestudio formal erst im zweiten Semester beginnt. Die Ergebnisse werden als Gesamtnote nach dem zweiten Semester bewertet.

## **7.4 Beschreibung Begleitseminar Recherchestudio UPB im Anschluss an den Entwurf (2. Semester)**

Aufbauend auf die Ergebnisse des Entwurfsprojekts erfolgte im Sommersemester 2021 mit Bezug zu den Entwürfen aus dem vorausgegangenen Semester eine weitere Vertiefung des Themengebiets „Sommerliches Wärmeverhalten“ im Rahmen des Begleitseminars.

Die zeitliche Umsetzung erfolgte hierbei in Form von zehn 90-minütigen Lehrveranstaltungen im Online-Format mit kursbegleitenden Ausarbeitungen und der anschließenden Ausarbeitung der Abschlussarbeit.

### **7.4.1 Durchführung der Lehrveranstaltungen**

Im Rahmen der wöchentlichen Lehrveranstaltungen wurden verschiedene inhaltliche Aspekte des Themas „Sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden“ behandelt und auf verschiedene Art und Weise zu den studentischen Entwürfen aus dem letzten Semester in Bezug gesetzt.

Im Folgenden werden die Inhalte und die eingesetzten Tools der Lehrveranstaltungen in chronologischer Reihenfolge beschrieben.

#### **Lehrveranstaltung 1 am 15.04.2021**

Einführung ins Thema und ins Seminar.

#### **Lehrveranstaltung 2 am 22.04.2021**

Vorstellung der eigenen Entwürfe zur Vorbereitung der Reflexion.

Die Studierenden präsentierten Ihre Entwürfe aus dem letzten Semester. Dabei wurden bereits einige Fragestellungen identifiziert, die sich bei den einzelnen Entwürfen hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes ergeben.

#### **Lehrveranstaltung 3 am 29.04.2021**

Impulsvortrag zum Thema „Vorentwurfsrelevante Nachhaltigkeitskriterien und daraus resultierende Aspekte bezüglich des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden“ mit anschließender Diskussion.

In einem Impulsvortrag wurden vorentwurfsrelevanten Nachhaltigkeitskriterien für Gebäude dargestellt und daraus resultierende Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes benannt. Die Studierenden reflektierten im Anschluss, ob die einzelnen Aspekte in ihren Entwürfen aus dem letzten Semester berücksichtigt sind und wie die Anforderungen in den Entwurf integriert wurden. Bis zur

nächsten Veranstaltung wurde die Umsetzung der einzelnen Aspekte für die jeweiligen Entwürfe noch einmal sorgfältiger geprüft und dargestellt.

#### **Lehrveranstaltung 4 vom 06.05.2021**

Impulsvortrag zu den Aspekten bei Architekturentwürfen zur Verdeutlichung der Klimafolgenidentifikation.

In einem Impulsreferat wurden die in der letzten Veranstaltung benannten und diskutierten Aspekte genauer beleuchtet. Welche Kenngrößen sind relevant? Inwieweit fließen die jeweiligen Aspekte in die Nachhaltigkeitsbewertung ein? Wo entstehen Wechselwirkungen? Im Anschluss wurden einzelne Aspekte inhaltlich diskutiert. Die bei der letzten Veranstaltung vereinbarte Darstellung der bisherigen Umsetzung der einzelnen Aspekte wurde nicht vorgestellt, sondern im Anschluss an die Veranstaltung eingereicht.

#### **Lehrveranstaltung 5 vom 27.05.2021**

Vortrag zu den Themen.

Durchführung des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes anhand des Sonneneintragskennwertverfahrens mit Hilfe eines Excel-Tools.

Vorstellung des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes anhand einer vereinfachten Simulation mit Hilfe der Software ZUB Helena.

Anhand eines Beispielraumes wurde der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach dem Sonneneintragskennwertverfahren erläutert und die Berechnung mithilfe eines Excel-Tools durchgeführt. Zudem wurde der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes anhand einer vereinfachten Simulation mit Hilfe der Software ZUB Helena kurz erläutert.

Bis zur übernächsten Veranstaltung erstellten die Studierenden einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes anhand des Sonneneintragskennwertverfahrens mit Hilfe des Excel-Tools für den kritischen Raum Ihres Gebäudeentwurfs aus dem letzten Semester. Durch die Anwendung des Excel-Tools für Räume der eigenen Entwürfe wurde noch einmal deutlich, inwiefern die in den vorherigen Veranstaltungen behandelten Einflussgrößen direkt in die Berechnung einfließen und welche Auswirkungen sie auf die Berechnung haben.

#### **Lehrveranstaltung 6 vom 10.06.2021**

Studentische Referate zu den Themen.

Sonnenschutz und Sonnenschutzsysteme.

Tageslichtnutzung.

Mikroklimatische Einflüsse.

Jede Projektgruppe hat für Ihre Vertiefung ein Schwerpunktthema gewählt. Dieses Thema wurde in einem Referat den anderen Studierenden erläutert und anschließend in Bezug auf den eigenen

Gebäudeentwurf vertieft. Damit war die Möglichkeit gegeben, die in Lehrveranstaltung 3 und 4 behandelten Aspekte gezielt zu vertiefen.

#### **Lehrveranstaltung 7 vom 17.06.2021**

Vorstellung und Reflexion der Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes für den kritischen Raum des eigenen Gebäudeentwurfs.

Die Studierenden stellten ihre Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes für den kritischen Raum des eigenen Gebäudeentwurfs vor. Hierbei wurden Fehler bei den Nachweisen besprochen, inhaltliche Unklarheiten geklärt und die Ergebnisse interpretiert.

Bis zur nächsten Veranstaltung erfolgte eine Überarbeitung der Nachweise.

#### **Lehrveranstaltung 8 vom 24.06.2021**

Impulsreferat / gemeinsame Erarbeitung zur Umsetzung der Aspekte zum sommerlichen Wärmeschutz im Entwurf.

Zu Beginn wurden prinzipielle Herangehensweisen zum Schutz vor Umwelteinwirkungen vorgestellt und diskutiert bzw. gemeinsam erarbeitet.

Darauf aufbauend wurden drei Beispiele vorgestellt, bei denen bekannte und als architektonisch hochwertig anerkannte Gebäude in Bezug auf das sommerliche Wärmeverhalten große Mängel aufweisen. Gemeinsam mit den Studierenden wurden diese Mängel identifiziert und Lösungsvorschläge diskutiert.

Durch die Reflexion dieser Gebäude wurden die einzelnen Aspekte des sommerlichen Wärmeschutzes im Zusammenhang architektonischer Gestaltungen von Gebäuden noch einmal vertieft. Das bessere Verständnis der Zusammenhänge ist eine gute Grundlage für die weitere Überarbeitung der studentischen Entwürfe.

#### **Lehrveranstaltung 9 vom 01.07.2021**

Besprechung der Nachbesserung der Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes im Detail.

Die im Anschluss an Lehrveranstaltung 7 erfolgte Nachbesserung der Nachweise des sommerlichen Wärmeschutzes wurden noch einmal vorgestellt, einzelne Parameter inhaltlich noch weiter vertieft und die neuen Ergebnisse interpretiert.

#### **Lehrveranstaltung 10 vom 08.07.2021**

Vorstellung der überarbeiteten Gebäudeentwürfe.

Auf Grundlage der im Rahmen der Auseinandersetzung mit dem Thema des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden gewonnenen Erkenntnisse wurden die Entwürfe aus dem Wintersemester noch einmal überarbeitet und in dieser Lehrveranstaltung vorgestellt und reflektiert. Die Anpassungen waren abhängig von den Projekten unterschiedlich ausgeprägt, ebenso die noch

verbleibenden Fragestellungen. Alle Projekte erhielten ein individuelles Feedback, welches die Grundlage für die finale Ausarbeitung für die Abgabeleistung darstellte.

## **7.4.2 Nutzung von Tools und Durchführung von Laborversuchen im Rahmen der Lehrveranstaltungen**

### **Lernplattform Moodle**

Für die Durchführung der Lehrveranstaltungen wurde ein Moodle-Kurs erstellt. Dieser wurde genutzt, um organisatorische Informationen zu kommunizieren, Unterlagen bereitzustellen sowie Ausarbeitungen und Abgabeleistungen der Studierenden hochzuladen.

### **Excel-Tools für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwerte-Verfahren**

Wie unter 7.4.1 beschrieben, wurde das Excel-Tool zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwerte-Verfahren genutzt, um Berechnungen für den kritischen Raum aus dem Entwurfsprojekt „Transformation – LÜCKENFÜLLER“ durchzuführen.

### **Thermisch-Dynamische Simulationsprogramme**

Beispielhaft wurde in einer Lehrveranstaltung das Programm ZUB Helena Sommer (siehe auch 4.1.4) vorgestellt. Aufgrund der Komplexität und der damit verbundenen längeren Einarbeitungszeit wurde dieses Programm sowie weitere Simulationsprogramme jedoch nicht als Berechnungswerkzeug eingesetzt. Es besteht allerdings die Möglichkeit, diese in anderen Lehrveranstaltungen kennenzulernen und anzuwenden.

### **Laborversuche**

Wie in Kapitel 5 beschrieben, wurden im Rahmen des Projekts „SommerWende“ themenbezogene Laborversuche entwickelt. In Bezug auf den Einsatz in den Lehrveranstaltungen der Vertiefung ergab sich diesbezüglich jedoch (wie bei den thermisch-dynamischen Simulationsprogrammen) das Problem, dass die Durchführung der Versuche mit einem großen Zeitaufwand verbunden ist – insbesondere wenn auch der Bezug zu den Entwurfsprojekten hergestellt werden soll. Auch hier besteht allerdings die Möglichkeit, diese in anderen Lehrveranstaltungen kennenzulernen und anzuwenden.

### **Campusanalysen**

In der Lehrveranstaltung „Campusanalysen: Sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden“ wurde zu einer vereinfachten Darstellung der Heiz- und Kältebedarfe, sowie der Übertemperaturen das selbst entwickelte Lernwerkzeug EnKol aus Kapitel 3.2.4 genutzt. Im Anschluss an die vereinfachte Berechnung haben die Studierenden mit Hilfe der im Kapitel 4.1.2 vorgestellten Software SimRoom 4 sowohl das untersuchte Gebäude als auch einzelne Räume vertiefend betrachtet und ausgewertet. Die Studierenden konnten so umfassende Auswertungen in stündlicher Auflösung für z. B. Energiebilanzen, Raumtemperaturen, Raumkomfort, CO<sub>2</sub>-Konzentration, etc. durchführen. Im Rahmen ihres weiteren Studienverlaufs sind die Studierenden somit auch in der Lage ihre eigenen Entwürfe, die zum Beispiel im Rahmen des Profilprojekts entstanden sind, mit Hilfe der Softwaretools auf das sommerliche Wärmeverhalten zu überprüfen.

### 7.4.3 Individuelle Projektbetreuung

Die individuelle Projektbetreuung fand im Rahmen der Lehrveranstaltungen statt. Sie erfolgte im Zusammenhang mit den einführenden Projektvorstellungen, den verschiedenen Impulsvorträgen und dem Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für den kritischen Raum der Entwurfsprojekte. Hierbei wurde von den Lehrenden Rückmeldungen zu den Ausarbeitungen gegeben und die jeweiligen Fragestellungen der Studierenden besprochen. Dies erfolgte jeweils in der gesamten Gruppe, so dass die Studierenden auch von der Besprechung von Problemen und Lösungsansätzen in den anderen Projekten profitierten. In der letzten Lehrveranstaltung erläuterten die Studierenden noch einmal Ihre Entwürfe unter Berücksichtigung der thematischen Vertiefung des sommerlichen Wärmeschutzes. Dabei erhielten Sie noch einmal ein letztes Feedback, welches dann auch für die Ausarbeitung der finalen Abgabeleistung berücksichtigt werden konnte. Ein Feedback zur finalen Abgabeleistung erfolgte nur im Rahmen der Leistungsbewertung.

### 7.4.4 Abgabeleistung

Die Abgabeleistung für die Vertiefung im Sommersemester im Rahmen des Begleitseminars baut auf dem Entwurf des Wintersemesters auf und integriert auch die Ausarbeitung eines Themenschwerpunkts in Form von Referaten sowie die Erstellung des Nachweises zum sommerlichen Wärmeschutz für den kritischen Raum des eigenen Entwurfs.

Hierbei war für den Entwurf des Profilprojekts „Transformation – LÜCKENFÜLLER“ ein Energie- und Nachhaltigkeitskonzept inklusive bauphysikalischer Aspekte wie sommerlicher Wärmeschutz und Tageslichtnutzung zu erstellen.

Dies beinhaltet Aussagen und Darstellung zu folgenden energetisch und bauphysikalisch relevanten Punkten:

- Gebäudeentwurf und Erläuterung, inwieweit energetische Aspekte unter besonderer Berücksichtigung des sommerlichen Wärmeschutzes den Entwurf beeinflusst haben
- Energiekonzepts und Erläuterung der einzelnen Bausteine in Bezug auf Baukörper sowie Anlagentechnik und erneuerbare Energien
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Tageslicht und Kunstlicht mit Wechselwirkungen zum Thema „sommerlicher Wärmeschutz“
- Selbstgewählter Schwerpunkt aus dem Themengebiet „Sommerliches Wärmeverhalten“

Des Weiteren waren in Bezug auf den Entwurf und damit verbundene Details Aussagen und Darstellungen zu folgenden Aspekten zu treffen:

- Überarbeitete Details im M1:20 nebst aussagekräftigen Ansichten und Beschriftungen
- Grafische Darstellung zum Nachhaltigkeitskonzept, gegliedert in einzelne Aspekte der Nachhaltigkeit mit jeweiligen Erläuterungen
- „Nachhaltigkeitsschnitt“ (schematischer Schnitt oder Axonometrie/Perspektive) mit Beschriftung

Ergänzend erfolgte zudem eine Zusammenfassung zu den beiden bereits im ersten Semester geleisteten Referaten „bester Beispiele“ und der gemeinschaftlichen Ausarbeitung der Matrix. (siehe 7.3.4)

Die vollständige Aufgabenstellung zur Abgabeleistung befindet sich im Anhang.

## **7.5 Evaluation**

Die Evaluation erfolgt für die Vertiefung des Themas „Sommerliches Wärmeverhalten von Gebäuden“ im Zusammenhang mit dem Begleitseminar Recherchestudio UPB zum Profilprojekt „Transformation – LÜCKENFÜLLER“.

Folgende Elemente bilden die Grundlage für die Evaluation:

- Persönliches Feedback der Studierenden am Ende der letzten Lehrveranstaltung
- Feedbackabfrage der Studierenden in Form eines anonymen Feedback-Bogens
- Kontinuierliche persönliche Reflexion der Lehrenden im Zuge der Durchführung
- Reflexion in Form einer Nachbesprechung mit den Professoren und Lehrenden, die im Rahmen des Profilprojekts und des Begleitseminars entweder an diesem Pilotprojekt beteiligt waren oder dieses Konzept im kommenden Semester umsetzen werden.

### **7.5.1 Feedback der Studierenden zum Begleitseminar Umweltbewusstes Planen und Bauen**

Neben der persönlichen Reflexion des Kurses mit den Studierenden in der letzten Lehrveranstaltung erfolgte eine anonyme Abfrage anhand eines Feedbackbogens (siehe Anhang).

Die eingegangenen Rückmeldungen ergaben für die vorgegebenen Fragestellungen gemittelt folgendes Bild (Abbildung 29):



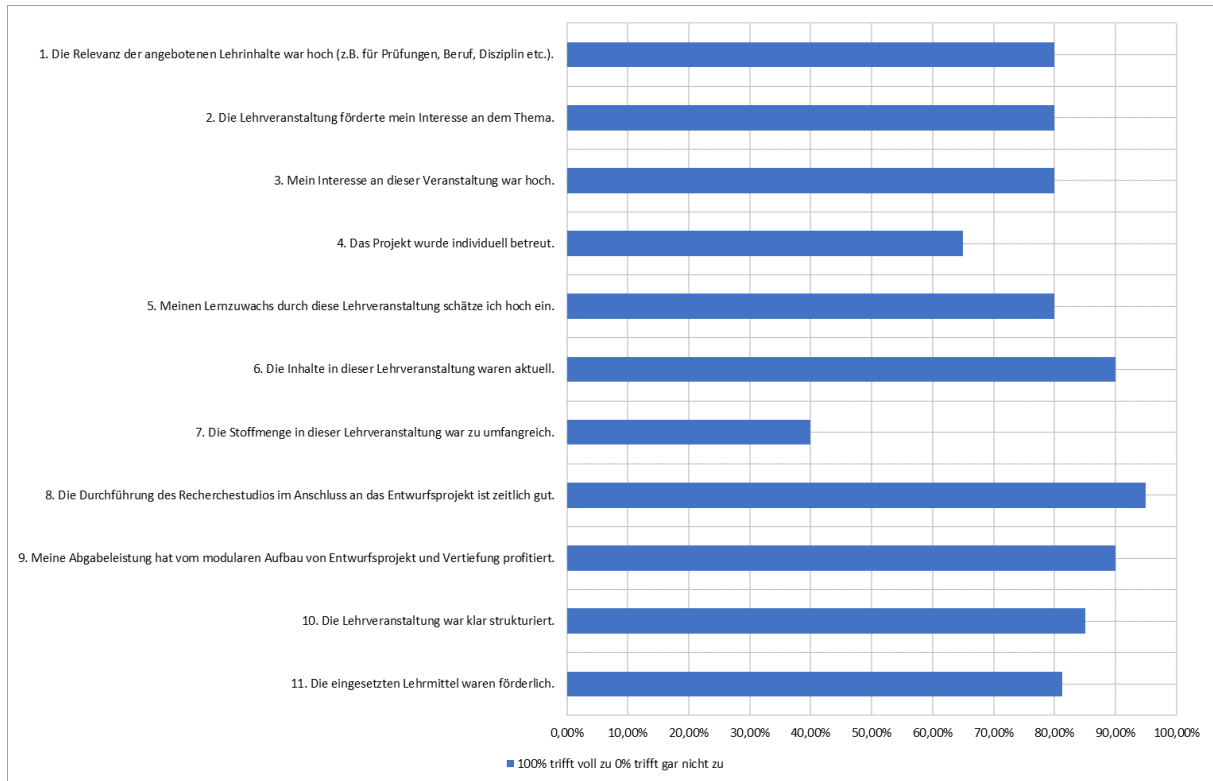


Abbildung 29: Lehrevaluation Rückmeldungen Studierende

Bei den textlich freien Antworten gaben alle Teilnehmenden an, dass Ihnen die inhaltliche Vertiefung zum sommerlichen Wärmeverhalten von Gebäuden im Zusammenhang mit ihrem eigenen Entwurfsprojekt gut gefallen hat. Dadurch fiel es leichter, den Lehrinhalt zu verstehen und die Aspekte direkt auf den Entwurf anzuwenden. Dabei wurde auch noch einmal die Reihenfolge (Vertiefung im Anschluss an das Entwurfsprojekt) positiv erwähnt (vgl. auch Ergebnis der vorgegebenen Fragestellung Nr. 8).

Auf die Frage, was ihnen weniger gut gefallen hat, wurde genannt, dass es schwierig war, die notwendigen Korrekturen am eigenen Entwurf durchzuführen und dass es schön gewesen wäre, wenn nach der Anpassung des Entwurfs noch einmal individuell auf die Umsetzung eingegangen worden wäre. Einer Person fehlte ein Stück weit ein genauer Plan, in welche Richtung sich das Seminar entwickelt (vgl. auch Ergebnis der vorgegebenen Fragestellung Nr. 10) und eine Person hätte sich mehr individuelle Betreuung und weniger (bereits bekannten) Input gewünscht (vgl. auch Ergebnis der vorgegebenen Fragestellung Nr. 4).

Daraus ergeben sich dann auch die genannten Verbesserungsvorschläge, die einzelnen bauphysikalischen Aspekte in den jeweiligen Entwürfen genauer zu beleuchten sowie der Wunsch nach mehr individuellen Diskussionen am Projekt. Zudem wurde als Verbesserungsvorschlag eine klare Formulierung / Veröffentlichung von Aufgabenstellungen genannt.

## 7.5.2 Reflexion der Lehrenden

Nach Einschätzung der Lehrenden profitierten die Entwürfe von der verstärkten Auseinandersetzung mit dem Thema und der Integration von Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz. Zudem verbesserte der unmittelbare Bezug zur eigenen Arbeit das Verständnis für die bauphysikalischen Grundlagen, die Einflussgrößen und deren Auswirkungen auf das sommerliche Wärmeverhalten von Gebäuden sowie die Wechselwirkungen.

### 7.5.2.1 Reflexion Profilprojekt

Das Profilprojekt wurde von zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern und dem Professor des Fachgebietes Entwerfen im Bestand betreut.

Bei der Bearbeitung des Profilprojektes hat sich besonders das „**Energiedesigndiagramm**“ bewährt.

Das im Profilprojekt geforderte Fassadendetail M1:20 wurde nach dem Recherchestudio UPB im 2. Semester nur geringfügig abgewandelt und hat den Entwurf nicht grundsätzlich verändert. Insofern waren die inhaltliche Vorbereitung und Bearbeitung erfolgreich. Die Studierenden hatten durch das Recherchestudio UPB im 1. Semester eine solide Grundlage, um ein technisch sinnvolles und gestalterisch stimmiges Detail zu entwickeln, das im zweiten Semester durch die Fachplanung rechnerisch überprüft und in Feinheiten justiert wurde.

Die erwünschte Übertragung der Erkenntnisse aus dem Recherchestudio UPB auf das Profilprojekt, insbesondere zum sommerlichen Wärmeschutz, hat zunächst nicht so gut funktioniert wie geplant. Offenbar war das Abstraktionsniveau von anderen Beispielen zur eigenen Aufgabe zunächst schwierig. Dies wandelte sich rapide, als die Lehrenden zum 2. Kolloquium eine grafische Darstellung aller Aspekte der Nachhaltigkeit und des sommerlichen Wärmeschutzes forderten. Nach der Präsentation der **Energiedesigndiagramme** beim zweiten Kolloquium brach ein regelrechter Wettstreit unter den Studierenden aus. Sie inspirierten sich gegenseitig mit ihren Ideen und Lösungsansätzen und rüsteten noch mal nach, was ging.

### 7.5.2.2 Reflexion Recherchestudio UPB 1. Semester

Das Recherchestudio UPB im 1. Semester wurde von zwei wissenschaftlichen Mitarbeitern des Fachgebietes Entwerfen im Bestand und während eines Termins von einem Mitarbeiter des Fachgebietes Bauphysik ausgerichtet.

In der Seminararbeit war die Vielfalt der betrachteten „besten Beispiele“ insofern beschränkt, als dass sie abhängig von der Teilnehmerzahl der Studierenden ist, die generell etwas schwankend ist und dieses Semester verhältnismäßig gering war. Das wirkte sich ungünstig aus, dennoch war die Auswahl der Beispiele hinsichtlich ihrer technischen und gestalterischen Qualitäten sehr gut geeignet. Es fiel den Studierenden sichtlich schwer, die Konzepte des sommerlichen Wärmeschutzes herauszuarbeiten. Nachdem die Referate eher allgemein gehalten waren, wurden die Studierenden erneut dazu aufgefordert, ihre Erkenntnisse aus den Referaten hinsichtlich der Parameter des sommerlichen Wärmeschutzes punktgenau mit Hilfe der Checkliste zu analysieren und in einem Fazit miteinander zu vergleichen. Daraus resultierte eine umfassendere Analyse, die nun wesentlich zufriedenstellender war. Was dennoch weiterhin fehlt, ist die Benennung der zugrundeliegenden Konzepte. Hier könnte die grafische Darstellung in einer schematischen Isometrie (schwarz-weiß plus eine Farbe), die das Konzept

darstellt, erprobt werden, die sich bei anderen Analyseaufgaben „bester Beispiele“ im Bachelorstudium wiederholt bewährt hat.

Zukünftig sollte die überarbeitete Checkliste „Sommerlicher Wärmeschutz“ den Studierenden zu Beginn des Begleitseminars ausgehändigt werden. So lässt sich der extra Termin für die Korrektur und Nachbesprechung verhindern und der Fokus von Beginn auf die wesentlichen Aspekte richten.

### **7.5.2.3 Reflexion Recherchestudio UPB 2. Semester**

Die Durchführung des Begleitseminars Recherchestudio UPB im 2. Semester wurde von einer Lehrkraft des Fachgebiets Bauphysik sowie einer Mitarbeiterin des Projekts „SommerWende“ betreut. Die Lehrveranstaltung 8 und 10, in denen es insbesondere um die Integration der Aspekte der Klimaanpassung in den Entwurf ging, wurde vorrangig von den Lehrkräften des Fachgebiets Entwerfen im Bestand gestaltet.

Nach dem Empfinden der Lehrenden zeigten die Studierenden im Projekt eine hohe Motivation und ein sehr großes Interesse am Thema, was sich auch mit dem Feedback der vorgegebenen Fragestellungen deckt. Überrascht hat, dass bei bauphysikalischen Grundlagen mehrfach Grundkenntnisse zu fehlen schienen, obwohl diese in vorangegangenen Lehrveranstaltungen behandelt wurden. Konträr dazu war eine Rückmeldung, dass in den Veranstaltungen zu viel Input mit bereits bekannten Inhalten gegeben wurde. Interessant war auch zu überprüfen, inwieweit allgemeine Aussagen richtig sind und bei detaillierter Betrachtung Bestand haben.

Die inhaltliche Reihenfolge, zuerst Grundlagen im Rahmen von Vorlesungen zu vermitteln und dann ein Entwurfsprojekt mit (schwerpunktmäßig) anschließender Vertiefung der Aspekte der Klimaanpassung anzubieten, wurde von allen Beteiligten als gut erachtet. Ebenso die organisatorisch aufwändig aber zielführende Verzahnung, dass beim Entwurfsprojekt bereits das sommerliche Wärmeverhalten betrachtet wurde und bei der Vertiefung eine Rückkopplung zum Entwurf erfolgte.

Die Abgabeleistungen im Rahmen des Begleitseminars im 2. Semester bezogen sich zum einen auf die Ausarbeitung und Darstellung energetisch und bauphysikalisch relevanter Punkte sowie die Vertiefung eines Themenschwerpunktes.

Darstellung Gebäudeentwurf, Energiekonzept (Baukörper und Anlagentechnik / erneuerbare Energien), Konzept zum sommerlichen Wärmeschutz sowie Wechselwirkung zu Tages- und Kunstlicht:

Die Ausarbeitungen der Studierenden erfüllten alle die gestellten Anforderungen. Es wird deutlich, dass im Rahmen des Begleitseminars die Fachkenntnisse vertieft wurden und die Kompetenzen zur Umsetzung im eigenen Entwurf einschließlich der Darstellung verbessert wurden.

Selbstgewählter Schwerpunkt aus dem Themengebiet „Sommerliches Wärmeverhalten“:

Die Ausarbeitung und Präsentation eines selbstgewählten Themenschwerpunkts im Rahmen der Referate ermöglichte eine tiefergehende Auseinandersetzung mit einem Themenkomplex. Das Lernziel, sich eigenständig Kenntnisse anzueignen, Zusammenhänge zu verstehen und dies wiedergeben zu können, wurde von allen Studierenden erreicht. Durch die Reflexion und Anpassung der eigenen Entwürfe konnte die Umsetzung und Integration der fachlichen Inhalte geübt werden. Zudem profitierten alle Mitstudierenden von den gut ausgearbeiteten Fachvorträgen.

## **8 Auswertung der Evaluation und Umsetzung ggf. notwendiger Anpassungen (AP 8)**

### **8.1 Auswertung der Evaluationsergebnisse mit Blick auf die Zielsetzung**

Prinzipiell wurde die Zielsetzung, über ein neues Lehrangebot Aspekte der Klimaanpassung stärker in die Lehre mit einzubeziehen, erreicht. Insbesondere durch die Verknüpfung von erstmal theoretischen Lehrinhalten mit der Umsetzung im Rahmen der studentischen Entwurfsprojekte wurde das Bewusstsein der Studierenden für die Bedeutung der Thematik geschärft. Diese Schlussfolgerung ergibt sich sowohl aus dem Feedback der Studierenden als auch aus der Reflexion der Lehrenden (vgl. Kapitel 7.5).

Um sowohl die Entwurfsaufgabe als auch die Vertiefung der Thematik des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden angemessen zu betreuen, ist die Zusammenarbeit der unterschiedlichen Fachgebiete eine wesentliche Voraussetzung. Notwendig ist hierbei eine gute Abstimmung der Verantwortlichkeiten und Verzahnung der inhaltlichen Schwerpunkte.

In einer gemeinsamen Reflexion der Lehrenden der Fachgebiete Entwerfen im Bestand, Entwerfen und Nachhaltiges Bauen, Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung wurde das erprobte Konzept als zukunftsfähig erachtet, wenngleich sich durch den zweisemestrigen Aufbau und die Verzahnung von je zwei Fachgebieten bei der Betreuung organisatorischer Mehraufwand ergibt und für einen reibungslosen Ablauf eine zusätzliche Abstimmung untereinander erforderlich ist.

Schon bei der Planung der vertiefenden Lehrveranstaltungen zeigte sich, dass die Integration von Laborversuchen oder thermisch-dynamischen Simulationswerkzeugen schwierig umzusetzen sind, da der zeitliche Aufwand hierfür zu groß ist. Diese Lehrmodule sollten daher auch künftig in Form zusätzlicher Angebote eingesetzt werden.

Inhaltlich sollte bei der zukünftigen Durchführung der Vertiefung das Augenmerk auf ein angemessenes Verhältnis von fachlichem Input und individueller Betreuung der Studierenden und Ihrer Umsetzung im Entwurf gerichtet werden.

### **8.2 Umsetzung identifizierter Anpassungsnotwendigkeiten**

Das Modell des zweisemestrigen Aufbaus von Entwurfsprojekt mit Vertiefung der Aspekte der Klimaanpassung im Rahmen eines Begleitseminars soll künftig beibehalten werden. Die im Folgenden beschriebenen Anpassungen beziehend sich von daher auf diesen vorgegebenen Rahmen.

#### **8.2.1 Anpassungen beim Profilprojekt**

Fazit der Evaluation: Das Energiedesigndiagramm sollte fortwährend bearbeitet, bei jedem Kolloquium gezeigt und standardmäßig in die Abgabeleistung mit aufgenommen werden.

#### **8.2.2 Anpassungen beim Begleitseminar während des Entwurfs (1. Semester)**

Fazit der Evaluation: Die Checkliste „Sommerliches Wärmeverhalten“ wurde hinsichtlich der Entwurfparameter überarbeitet und wird im Folgenden gleich zu Beginn des Researchstudios für die

Analyse „bester Beispiele“ bereitgestellt. Überdies wird die vergleichende „Matrix Bester Beispiele“ in die Abgabeleistungen mit aufgenommen. Das Konzept zum sommerlichen Wärmeschutz der analysierten Beispiele soll in Form eines „Energiedesigndiagramms“ grafisch dargestellt werden (z.B. als Isometrie) und wird als Teil des Referats in die Abgabeleistung mit aufgenommen. Ziel ist es, die kreative Transferleistung, also das kognitiv erlernte Wissen willentlich und/oder spontan auf den Entwurf zu übertragen, immer wieder zu reflektieren und zu üben. Vgl. [22].

Die Checkliste „Sommerliches Wärmeverhalten“ befindet sich im Anhang.

### **8.2.3 Anpassungen beim Begleitseminar nach dem Entwurf (2. Semester)**

Struktur und Umfang des Begleitseminars sollen im Wesentlichen beibehalten werden, wodurch sich die Anpassungen auf diesen vorgegebenen Rahmen beschränken. Eine Integration von Laborversuchen oder thermisch-dynamischen Simulationswerkzeugen scheint von daher nicht zielführend, allerdings werden diese Lehrbausteine künftig in Form von anderen Veranstaltungsformaten angeboten werden.

Die neu erarbeiteten Lehrunterlagen zum Thema „Vorentwurfsrelevante Nachhaltigkeitskriterien und daraus resultierende Aspekte bezüglich des sommerlichen Wärmeverhaltens von Gebäuden“ und „Aspekte bei Architekturentwürfen zur Verdeutlichung der Klimafolgenidentifikation“ werden prinzipiell als zielführend erachtet, allerdings könnte die Präsentation mehr als Diskussionsgrundlage genutzt werden als zur Auffrischung der Grundlagenkenntnisse. Durch die Erläuterungstexte und den direkten Bezug auf die allgemein zugängliche Veröffentlichung [3] kann die Lehrunterlage auch von anderen Lehrenden genutzt werden.

Das Impulsreferat zum Thema „Sommerlichen Wärmeschutz entwerfen“ in Lehrveranstaltung 8 erwies sich im Prinzip als guter Einstieg, um gemeinsam mit den Studierenden grundsätzliche Möglichkeiten der Integration bauphysikalisch-technischer Anforderungen in den Entwurf zu erarbeiten und dann anhand der Betrachtung bekannter und als erstklassig anerkannter Architektur eine mangelhafte Umsetzung des sommerlichen Wärmeschutzes zu identifizieren und damit das Bewusstsein für die Integration gestalterischer und eher technischer Aspekte zu schärfen. Allerdings erscheint die im ersten Semester erfolgte Analyse „bester Beispiele“ zielführender als die Auseinandersetzung mit Negativbeispielen, welche zudem auch noch in einer anderen Veranstaltung des Fachgebiets erfolgt. Von daher sollte diese Zeit in Zukunft eher noch der individuellen Projektbetreuung zugutekommen.

Da sich einerseits Mängel in Bezug auf vorauszusetzende Grundkenntnisse gezeigt haben und andererseits zumindest von einigen Studierenden keine Wiederholung eigentlich bekannter Inhalte gewünscht und in größerem Umfang auch nicht machbar ist, wurden kursbegleitend Übungen zu den einzelnen Themen entwickelt und in Form eines Kurses auf der Lernplattform OpenMoodle der Universität Kassel zusammengestellt. Diese Übungen beinhalten Fragen zu relevanten Themengebieten, die in OpenMoodle eigenständig bearbeitet werden können und automatisiert ausgewertet werden. Dadurch können sich die Studierenden eigenständig und je nach individuellem Bedarf noch einmal mit den vorausgesetzten Grundlagen beschäftigen. Der Moodle-Kurs kann zugleich auch für die Bereitstellung von Lehrunterlagen zum Beispiel in Form von Dokumenten, Filmen, Links genutzt werden. Der Moodle-Kurs sowie die Übungen bedürfen einer kontinuierlichen Aktualisierung. In diesem Zug können auch die Übungen weiter ausgebaut und bei Bedarf individuell angepasst werden.

Insgesamt soll die Umsetzung des Themas am eigenen Entwurf noch stärker in den Fokus genommen werden. Dabei ist besonders die Transferleistung, bei der das kognitiv erlernte Wissen auf die kreative Tätigkeit des Entwerfens übertragen wird, zu beachten.

### **8.3 Verstetigung des entwickelten Lehrangebots**

Das zweisemestrige Angebot eines Profilprojekts / Entwurfsprojekts mit vertiefendem Begleitseminar soll für die Studierenden im Masterstudium künftig in jedem Semester angeboten werden. Für die Betreuung des Entwurfsprojekts wird dafür noch ein weiteres Fachgebiet miteinbezogen.

Aufbauend auf die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt werden hierfür jeweils geeignete Entwurfsaufgaben identifiziert, welche dann die Grundlage für die Vertiefung bilden.

Das Folgeprojekt ist bereits mit dem Entwurf gestartet und wird im kommenden Semester vertieft. Die Umsetzung erfolgt hierbei mit zwei anderen Fachgebieten, wobei ein Fachgebiet auch am Projekt „SommerWende“ beteiligt war und beide in die Reflexion des Pilotprojekts mit eingebunden waren.

Die über den Einsatz im Begleitseminar hinausgehende Einbindung externer Berechnungswerkzeuge (vgl. Kapitel 4) kann ebenso wie die Durchführung der in Kapitel 5 beschriebenen Laborversuche in ergänzenden Lehrveranstaltungen erfolgen, an der Universität Kassel zum Beispiel in der Veranstaltung „Angewandte Bauphysik“. Darauf aufbauend kann sich zudem eine Vertiefung im Rahmen studentischer Studien-, Projekt- oder Abschlussarbeiten ergeben.

Das in Kapitel 6 beschriebene Seminar zur Analyse von Hochschulgebäuden wird künftig in jedem Sommersemester in der Lehrveranstaltung Campusanalysen angeboten werden. Ein Ausblick auf die kommenden Veranstaltungen und deren mögliche Inhalte wird im Kapitel 6.6 beschrieben.

## Literaturverzeichnis

- [1] Bundesarchitektenkammer (Hg.), „www.bak.de,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.bak.de/architekten/berufsbilder-der-fachrichtungen/>. [Zugriff am 01 2021].
- [2] J. Nackler, Vergleich von Berechnungsansätzen und Entwicklung eines Planungsinstrumentes für Entwurfsfindung und Nachweis, Wien: Technischen Universität Wien, 2017.
- [3] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (Hg.), „Systematik für Nachhaltigkeitsanforderungen in Planungswettbewerben - SNAP – Empfehlungen,“ Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin, 2013.
- [4] Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen (Hg.); V. Ritter, „Sommerlicher Wärmeschutz für Unternehmen,“ Hessische LandesEnergieAgentur (LEA), Wiesbaden, 2020.
- [5] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (H.g.), DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Berlin: Beuth Verlag, 2013.
- [6] S. Kolmetz, Thermische Bewertung von Gebäuden unter sommerlichen Randbedingungen ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Raumtemperaturen in Gebäuden im Sommer und deren Häufigkeit, Kassel: Hochschulschrift : Dissertation, 1995.
- [7] A. Hindmarsh und A. Taylor, „User Documentation for IDA. A Differential-Algebraic Equation Solver for Sequential and Parallel Computers,“ Lawrence Livermore National Laboratory, Livemore, 1999.
- [8] A. Bring, P. Sahlin und M. Vuolle, „Models for Building Indoor Climate and Energy Simulation,“ KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, 1999.
- [9] Equa Simulation AB (Hg.), „Handbuch IDA ICE Version 4.5,“ EQUA Simulation AB, Solna, 2013.
- [10] M. Lichtmeß, K. Voss und K. Walther, „Handbuch zu SimRoom,“ Markus Lichtmeß, Ayl, 2019.
- [11] ZUB Systems GmbH (Hg.), „ZUB Helena Sommer,“ ZUB Systems GmbH, 2019. [Online]. Available: <https://www.zub-systems.de/>. [Zugriff am 11 2020].
- [12] Equa Simulation AB (Hg.), „Validation of IDA Indoor Climate and Energy 4.0 build 4 with respect to ANSI/ASHRAE Standard 140-2004,“ Equa Simulation AB, Solna, 2010.
- [13] Equa Simulation AB (Hg.), „Validation of IDA Indoor Climate and Energy 4.0 with respect to CEN Standards EN 15255-2007 and EN 15265-2007,“ Equa Simulation AB, Solna, 2010.
- [14] EQUA Solutions AG (Hg.), „www.equa.se,“ EQUA Solutions AG, 2020. [Online]. Available: <https://www.equa.se/de/ida-ice/>. [Zugriff am 01 2021].
- [15] Architektur- und Bauforschung GesbR, „www.thesim.at,“ Nackler; Kreč, 2020. [Online]. Available: <http://www.thesim.at/>. [Zugriff am 01 2021].
- [16] EQUA Simulation AB, „www.youtube.com,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/user/EQUAsimulation/>. [Zugriff am 01 2021].
- [17] Roulet und V. (Hrsg.), „Airflow Patterns within Buildings - Measurement Techniques,“ Air Infiltration and Ventilation Center, Technical Note 34, Oscar Faber Partnership, 1991.
- [18] A. Maas, Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung, Kassel: Universität Gesamthochschule Kassel, 1995.

- [19] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (H.g.), „DIN Fachbericht 4108-8 Vermeidung von Schimmelwachstum Entwurfsfassung,“ 2016.
- [20] Universität Kassel, [Online]. Available: <https://www.uni-kassel.de/uni/studium/architektur-master>. [Zugriff am 08 10 2021].
- [21] burondo.de, „Die Zukunft des Büros - 10 Thesen zu einer neuen Arbeits- und Bürowelt,“ 7 5 2016. [Online]. Available: <https://burondo.de/10-thesen-zur-zukunft-des-bueros/>. [Zugriff am 7 5 2016].
- [22] A. Dietrich, „The Cognitive Neuroscience of Creativity,“ Psychonomic Bulletin & Review 11, Nr. 6, 2004.
- [23] KfW, „Förderkredite und Zuschüsse für Ihren Neubau,“ 13 09 2021. [Online]. Available: <https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Neubau/F%C3%B6rderprodukte/F%C3%B6rderprodukte-PB-Neubau.html>.
- [24] K. Höttges und A. Maas, „GEG Berechnungshilfen und Infos,“ 13 09 2021. [Online]. Available: <https://www.uni-kassel.de/fb06/institute/architektur/fachgebiete/bauphysik/downloads>.
- [25] A. Maas, Tracergasmesstechniken zur Ermittlung des Luftwechsels, Gesundheits-Ingenieur 118, H. 5, S. 256-267., 1997.



## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Eignung von IDA ICE für den Gebrauch in der Lehre .....	59
Tabelle 2: Eignung von SimRoom 4 für den Gebrauch in der Lehre.....	60
Tabelle 3: Eignung von Thesim 3D für den Gebrauch in der Lehre .....	61
Tabelle 4: Eignung von ZUB Helena Sommer für den Gebrauch in der Lehre .....	62
Tabelle 5: Schichtaufbauten der opaken thermischen Hülle des bauphysikalischen Modellhauses .....	66
Tabelle 6: Schichtaufbauten der transparenten thermischen Hülle des bauphysikalischen Modellhauses.....	66
Tabelle 7: U-Werte der opaken- und transparenten thermischen Hülle des bauphysikalischen Modellhauses.....	66
Tabelle 8: Verwendete Geräte und Messtechnik für das Modellhaus .....	68
Tabelle 9: Äquivalente Volumenströme und Luftwechselraten bei Grund- und Nachtluftwechsel .....	69
Tabelle 10: Messtechnische Untersuchungen am bauphysikalischen Modellhaus .....	70
Tabelle 11: SS 2021 Seminarablauf "Campusanalysen" .....	93
Tabelle 12: Vertiefende Veranstaltungsübersicht Campusanalysen .....	93
Tabelle 13: Beispiel Bewertungsmatrix Campusanalysen .....	101
Tabelle 14: Anmerkungen zum Ursprünglichen Veranstaltungskonzept aus Kapitel 6.4.2 .....	103
Abbildung 1: Planungsschema sommerliche Überwärmung; in Anlehnung an [2] .....	15
Abbildung 2: Rechtliche Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz von Gebäuden; Universität Kassel, FG Bauphysik.....	24
Abbildung 3: Beispiel für Aufgabe im Antwort-Wahl-Format (Single-Choice).....	38
Abbildung 4: Beispiel für eine Übungsfrage mit didaktischem Schwerpunkt .....	39
Abbildung 5: Beispiel für Aufgabe im offenen Format (Rechenaufgabe).....	40
Abbildung 6: Vollverglaste Segmente des Towers in der Ansicht Nord und Süd; Universität Kassel FG Bauphysik.....	43
Abbildung 7: Berechnungsergebnisse Übertemperaturgradstunden über 27 °C – vollverglaste Segmente des Towers; Universität Kassel FG Bauphysik .....	43
Abbildung 8: Teilverglaste Segmente des Towers in der Ansicht Nord und Süd; Universität Kassel FG Bauphysik.....	44
Abbildung 9: Berechnungsergebnisse Übertemperaturgradstunden über 27 °C – teilverglaste Segmente des Towers; Universität Kassel FG Bauphysik .....	44
Abbildung 10: Bewertungssystem der Analysen der zu vergleichenden Berechnungswerkzeuge; Universität Kassel, FG TGA und FG Bauphysik .....	52

Abbildung 11: Skizzenhafte Darstellung des bauphysikalischen Modellhauses; UdK Berlin, Institut für Architektur und Städtebau Versorgungsplanung und Versorgungstechnik, Prof. Dr.-Ing. Nytsch-Geusen.....	64
Abbildung 12: Das thermische Modellhaus im Längsschnitt mit eingesetzter gedämmter Zwischenwand .....	65
Abbildung 13: Darstellung des bauphysikalischen Modellhauses; Universität Kassel, FG Bauphysik....	67
Abbildung 14: Skizze Versuchsaufbau I und II .....	71
Abbildung 15: Speichermasse im Modellhaus bei Versuch III und IV .....	72
Abbildung 16: Skizze Versuchsaufbau III und IV .....	72
Abbildung 17: Versuch I - leichte Bauweise mit erhöhtem Nachtluftwechsel .....	74
Abbildung 18: Versuch II - leichte Bauweise mit hohem Nachtluftwechsel .....	74
Abbildung 19: Versuch III - schwere Bauweise mit erhöhtem Nachtluftwechsel .....	75
Abbildung 20: Versuch IV - schwere Bauweise mit hohem Nachtluftwechsel .....	75
Abbildung 21: Vergleich des Aufheizverhaltens bei unterschiedlichen Bauweisen.....	76
Abbildung 22: Abkühlverhalten bei hohem Nachtluftwechsel und unterschiedlichen Bauweisen.....	77
Abbildung 23: Abkühlverhalten bei unterschiedlichen Luftwechseln und leichter Bauweise .....	77
Abbildung 24: Schematische Darstellung der Messeinrichtung .....	82
Abbildung 25: Zeitplan Messkonzept A; FG Technische Gebäudeausrüstung, Universität Kassel.....	90
Abbildung 26: Zeitablauf Messkonzept B; FG Technischen Gebäudeausrüstung, Universität Kassel....	91
Abbildung 27: Lehrevaluation I - Allgemein, Seminar Campusanalysen .....	106
Abbildung 28: Lehrevaluation II - spezifischer Teil, Seminar Campusanalysen .....	107
Abbildung 29: Lehrevaluation Rückmeldungen Studierende .....	121

## Anhänge

- DATENTRÄGER -

### Kapitel 3

- 3.1 Fragenkatalog SommerWende.docx
- 3.1 Fragenkatalog SommerWende.pdf
- 3.1 Fragenkatalog SommerWende Moodlekurs.mbz
- 3.2.1 Nachhaltigkeitsanforderungen Aspekte Klimaanpassung.pdf
- 3.2.2 Einstieg in thermisch-dynamische Berechnungsverfahren.pdf
- 3.2.3 Freie Kühlung.pdf
- 3.2.5 Aufgabenstellung IDA ICE Nichtwohngebäude.pdf
- 3.2.5 Aufgabenstellung IDA ICE Wohngebäude.pdf
- 3.3 Dokumentation EnKol-Lernwerkzeug.pdf
- 3.3 EnKol-Lernwerkzeug.xls

### Kapitel 6

- 6.3 Modulbeschreibung.pdf
- 6.3 Lehrammeldung FB06 Uni Kassel.pdf
- 6.4.1.1 ASL Neubau Planliste Hochbau.pdf
- 6.4.1.1 Checkliste ASL Neubau Hochbau.pdf
- 6.4.1.2 ASL Neubau Planliste Technische Gewerke.pdf
- 6.4.1.2 Checkliste ASL Neubau TGA und Nutzung.pdf
- 6.4.1.3 Messdatenübersicht.pdf
- 6.4.3 Einführung-Organisation-Wärmequellen.pdf
- 6.4.3 Simulationen und Wärmeschutz.pdf
- 6.5.3 Evaluationsbögen blank.pdf

### Kapitel 7

- 7.2 Aufgabenstellung Lückenfüller Präsentation.pdf
- 7.2.2 Lückenfüller Wettbewerb Aufgabenstellung.pdf
- 7.4 Abgabeleistung Begleitseminar.pdf
- 7.4.1 Evaluation Begleitseminar Feedbackbogen.pdf

### Kapitel 8

- 8.2.2 Checkliste Entwurf Sommerlicher Wärmeschutz.pdf