Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist in der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt und zugänglich.
http://www.ub.tuwien.ac.at

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology.
http://www.ub.tuwien.ac.at/eng

MEng Programm
Nachhaltiges Bauen

Integrales Planen im Entwurfsprozess

Methodische Vorgangsweise zum Entwurf von Bürogebäuden ohne technische Klimatisierung unter energetischen, raumklimatischen und räumlichen Parametern

Master Thesis zur Erlangung des akademischen Grades
„Master of Engineering“

eingereicht bei
Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Gratzl-Michlmair
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karin Stieldorf

Dipl.-Ing. Michael Egger
9030758

Ing. Wieland Moser
9425499

Dipl.-Ing. Gerhild Stosch
8030804

Wien, 29.03.2015

Eidesstattliche Erklärung

Ich, **Dipl.-Ing. MICHAEL EGGER**, versichere hiermit

1. dass ich die Seiten 134 bis 190 der vorliegenden Master These, "INTEGRALES PLANEN IM ENTWURFSPROZESS. Methodische Vorgangsweise zum Entwurf von Bürogebäuden ohne technische Klimatisierung unter energetischen, raumklimatischen und räumlichen Parametern", 57 Seiten, gebunden, selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe, und
2. dass ich diese Master These bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 29.03.2015

Unterschrift

Ich, **Ing. WIELAND MOSER**, versichere hiermit

1. dass ich die Seiten 40 bis 86 der vorliegenden Master These, "INTEGRALES PLANEN IM ENTWURFSPROZESS. Methodische Vorgangsweise zum Entwurf von Bürogebäuden ohne technische Klimatisierung unter energetischen, raumklimatischen und räumlichen Parametern", 47 Seiten, gebunden, selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe, und
2. dass ich diese Master These bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 29.03.2015

Unterschrift

Eidesstattliche Erklärung

Ich, **Dipl.-Ing. GERHILD STOSCH**, versichere hiermit

1. dass ich die Seiten 87 bis 133 der vorliegenden Master These, "INTEGRALES PLANEN IM ENTWURFSPROZESS. Methodische Vorgangsweise zum Entwurf von Bürogebäuden ohne technische Klimatisierung unter energetischen, raumklimatischen und räumlichen Parametern", 47 Seiten, gebunden, selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe, und
2. dass ich diese Master These bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 29.03.2015

Unterschrift

Wir, **Dipl.-Ing. MICHAEL EGGER**, **Ing. WIELAND MOSER** und **Dipl.-Ing. GERHILD STOSCH** versichern hiermit

1. dass wir die Seiten 1 bis 39 und die Seiten 191 bis 211 der vorliegenden Master These, "INTEGRALES PLANEN IM ENTWURFSPROZESS. Methodische Vorgangsweise zum Entwurf von Bürogebäuden ohne technische Klimatisierung unter energetischen, raumklimatischen und räumlichen Parametern", 61 Seiten, gebunden, selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und uns auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient haben, und
2. dass wir diese Master These bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt haben.

Wien, 29.03.2015

Unterschrift

Wien, 29.03.2015

Unterschrift

Wien, 29.03.2015

Unterschrift

Danksagung

Mein Dank gilt an dieser Stelle meiner Familie, die mich während der Ausbildung und der Erstellung dieser Masterthese liebevolle unterstützt haben.

Danke Andreas, für deine Inspiration und deine fachlichen Unterstützung. Ohne die vielen „Arbeitsfrühstücke“ mit dir, wäre mir das Erstellen der Arbeit um Vieles schwerer gefallen. Danke Leon und Elia, ihr habt mich mit euren Kommentaren immer wieder zum Lachen gebracht.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Dr. Salbrechter, für seine Unterstützung bei der Eingabe in das statistische Programm und bei Helga Rally für die vielen Gespräche und die finalen Korrekturen.

Für die Betreuung dieser Arbeit danke ich Herrn Dr. Markus Gratzl-Michlmair. Die vielen fachlichen Diskussionen mit ihm waren immer eine Bereicherung.

Dank auch an all jene, die diesen Weg gemeinsam mit mir beschritten haben. Vor allem aber an meine Kollegen, Michael und Wieland, die sich auf das nachhaltige Unterfangen einer integralen Arbeit eingelassen haben.

Gerhild Stosch

Ich möchte an dieser Stelle die Gelegenheit wahrnehmen, um mich bei meiner Familie zu bedanken. Die Doppelbelastung aus Beruf und Studium, vor allem in der Zeit der Ausarbeitung der Masterthese, war groß. Dennoch bekam ich vollen Rückhalt und konnte deshalb diese Arbeit fertig stellen. Danke Lara, danke Charly für Eure Geduld.

Der Input von Freunden, mit denen ich über meine Arbeit sprach, war inspirierend und hilfreich. Deshalb auch ein besonderes großes Dankeschön an Michael Walleczek und Andreas Mayer, die mir ihre wertvolle Zeit geschenkt haben. Mein Dank gilt selbstverständlich auch Frau Prof.Dr. Stieldorf, die durch wertvollen Input die Arbeit unterstützt hat.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Kollegen bedanken, die diese Arbeit erst ermöglichten. Danke Gerhild und Wieland – es war eine schöne und konstruktive Zeit mit Euch.

Michael Egger

Mein Dank gebührt vor allem meiner Familie, Agnes und Leon, die mir den Freiraum, die Kraft und Zeit gegeben haben mein Studium zu absolvieren.

Großen Dank an meine lieben Kollegen und Freunde Gerhild und Michael, für diese „integrale Masterarbeit“. Es war und ist eine Bereicherung für mich, diesen Weg mit Euch gegangen zu sein.

Danke an Stefanie Huber, die mich bei der Simulationseingabe unterstützt hat.

Nicht zuletzt gebührt mein Danke Herrn Dr. Jochen Käferhaus, der mich nicht nur monetär unterstützt hat, sondern mir immer eine Stütze war und ist.

Für die Betreuung von universitärer Seite danke ich Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Gratzl-Michlmair und Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karin Stieldorf.

Wieland Moser

Für die Betreuung des gemeinsamen Arbeitsteils danken wir Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Karin Stieldorf.

Kurzfassung

Diese Masterarbeit ist in integraler Weise von Dipl. Ing. Gerhild Stosch, Ing. Wieland Moser und Dipl. Ing. Michael Egger entwickelt worden. Mit dieser Masterarbeit sollen Methoden gefunden werden, die es ermöglichen, nichtlineare, außerordentliche Ergebnisse in einem Entwurfsprozess zu erzielen. In sequenziellen Planungsprozessen, aber auch in der integralen Planung, werden optimierte Ergebnisse erzielt. Diese Planungsprozesse folgen jedoch einem stark strukturierten Ablauf, der den kreativen Prozess an sich, nur selten unterstützt. Die Unterscheidung „kreativer Prozess“ zu „Planungsprozess“ und in diesem Zusammenhang die Bedeutung des Wortes „integraler Entwurf“, stellt in dieser Masterarbeit ein zentrales Thema dar. Die gesuchten und gefundenen Methoden werden in drei Teilen (Arbeitspaketen) beschrieben und in einem gemeinsamen, somit vierten Teil, angewandt. Ziel der gefunden Methoden ist es, kreatives Arbeiten zu unterstützen und den Kontext integraler Zusammenarbeit zu erweitern.

Um die gefunden Methoden zu überprüfen, wurde folgende Hypothese aufgestellt:

> „Es ist möglich, durch ausgewählte Entwurfskriterien ein Bürogebäude zu errichten, welches hohen Behaglichkeitskriterien entspricht und ohne technische Klimatisierung betrieben werden kann.“

Die Büronutzung stellt, mit ihren vielschichtigen Bedürfnissen im Lebenszyklus, höchste Anforderung an das Gebäude. Flexible Strukturen sollen möglichst schnell auf die Unternehmensentwicklung und auf den „Lifestyle“ reagieren können. Durch die hohen, inneren Lasten und die leichten, flexiblen inneren Strukturen, reagieren Bürogebäude höchst sensibel auf innere Gewinne und äußere Lasten. Im herkömmlichen Nutzungsszenario gibt es häufig Situationen, in denen thermische Behaglichkeit im Sommer nur über eine technische Kühlung sichergestellt werden kann.

Diese Masterarbeit besteht aus zwei getrennt voneinander zu betrachtenden, übergeordneten Teilen:

Teil A

Ausarbeitung der Arbeitspakte in Einzelarbeit unter folgender Spezialisierung

A1) Arbeitspaket 01 (AP 01): Behaglichkeit und Technik / Moser

A2) Arbeitspaket 02 (AP 02): Energie und Bauphysik / Stosch

A3) Arbeitspaket 03 (AP 03): Raum / Egger

Teil B:

Ausarbeitung eines Integralen Entwurfes, mit Beschreibung der einzelnen Entwurfsschritte und einer dazu entwickelten Entscheidungsmethode als Gemeinschaftsarbeit / Moser / Stosch / Egger

Es ist gelungen, integrale Entwurfsmethoden zu finden und zu entwickeln, die den kreativen Prozess unterstützen und erweitern.

Es konnte ein Bürogebäude entworfen werden, dass der Hypothese entspricht.

Die gefundenen und entwickelten Methoden lassen sich gut anwenden und zeigen großes Entwicklungspotential. Es konnte im Kontext des nachhaltigen Bauens ein Beitrag für eine erweiterte Sichtweise auf integrale Zusammenarbeit gefunden werden.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Motivation 1

2 Forschungsfragen 3

3 Struktur der Arbeit 4

3.1 Inhalt 4

3.2 Ablauf und Organisation 4

4 State of the Art – Integrale Planung im konzeptuellen Entwurf 8

4.1 Geschichtliche Entwicklung 8

4.2 Integrale Planung / Planungsprozess 11

4.3 Kreativer Prozess 12

5 Darstellung unseres kreativen Entwurfsprozesses 14

5.1 Einleitung 14

5.2 Methodik und Ablauf des integralen Entwerfens 14

5.2.1 Problemstrukturierung und Erstellung der Entwurfsfragen 16

5.2.2 Der kreative(re) Prozess 17

5.2.3 Entscheidungsphase 18

5.3 Entscheidungsmethode 18

5.3.1 Ablauf der Entscheidungsfindung 19

6 Idealtypischer Baukörper (ITBK) 23

6.1 Randbedingungen des Idealtypischen Baukörpers 23

6.1.1 Standortbedingungen 23

6.1.2 Randbedingungen durch die Bedarfsanalyse 29

6.1.3 Technische Randbedingungen 29

6.2 Basisvariante 33

7 Vorwort zu den Arbeitspaketen 39

8 Behaglichkeitskriterien und technische Systeme für den Entwurf 40

8.1 Einleitung und Motivation 40

8.2 Beschreibung der Methodik 42

8.3 Anwendung der Methodik 43
8.3.1 Parameter der Behaglichkeit 43
8.3.2 Parameter der technischen Systeme 55
8.3.3 Bestimmung der Grenzwerte 68
8.3.4 Ergebnis und Parameterübergabe 81
8.3.5 „Entscheidungsbaum“ der technischen Systeme 83
8.4 Resümee 84
9 Methodische Untersuchung der energetischen und bauphysikalischen Einflussgrößen für den Entwurf 87
9.1 Einleitung und Motivation 88
9.2 Stand der Technik 89
9.2.1 Normung und gesetzliche Anforderungen 89
9.2.2 Einflussgrößen in der Forschung 93
9.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der untersuchten Studien 98
9.2.4 Optimierungsmethoden 98
9.3 Beschreibung der Forschungsfrage des Arbeitspaketes 99
9.3.1 Anforderungen an die Methodik 99
9.3.2 Beschreibung der ausgewählten Methode 100
9.3.3 Nachzuweisende Größen auf Basis des Baugesetzes 102
9.3.4 Gewählte relevante Bewertungsgrößen und Limits 103
9.4 Anwenden der Methode 106
9.4.1 Auswahl und Beschreibung der Parameter 106
9.4.2 Sensitivitätsanalyse und Festlegen des Versuchsraumes 107
9.4.3 Erstellen des Simulationsplanes auf Basis der DoE-Methode 116
9.4.4 Generieren des statistischen Modells 118
9.4.5 Darstellen der grundsätzlichen Abhängigkeiten 121
9.4.6 Einsatz der Methode im Entwurfsprozess 130
9.5 Resümee 132
10 Architektonische und räumliche Kriterien für den Entwurf 134

10.1 Motivation 136
10.2 Forschungsstand / Anpassungsfähigkeit 136
10.2.1 Stand der Normung 136
10.2.2 Stand der Forschung 137
10.2.3 Beschreibung der Forschungsfrage des Arbeitspaketes 140
10.3 Beschreibung der angewendeten Methode 140
10.3.1 Effektive Sprache als Werkzeug 141
10.3.2 Die Rolle der ArchitektIn im integralen Entwurfsteam 148
10.3.3 Hauptgruppen / Domänen 148
10.3.4 Entwurfsaspekte / Dimensionen 149
10.4 Die Systemkarten Methode 150
10.4.1 Systemkarten Kat I / Aufbau 152
10.4.2 Systemkarten Kat II / Aufbaues 153
10.4.3 Beispiel Systemkarten Kat II zu Anpassungsfähigkeit 154
10.5 Ergebnis 189
10.6 Ausblick 190
11 Zusammenstellung der für den Entwurf maßgeblichen Kriterien 191
11.1 Kriterien Arbeitspaket 01 Behaglichkeit 191
11.2 Kriterien Arbeitspaket 02 Energie 191
11.3 Kriterien Arbeitspaket 03 Raum 193
12 Entwurfsprozess 194
12.1 Atrien 194
12.1.1 Entwurfsaspekte aus den Kristallisationspunkten des kreativen Prozesses 194
12.1.2 Architektonische Handlung 195
12.1.3 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel: 196
12.1.4 Zusammenfassung: 198
12.1.5 Kompensationsmaßnahme Atrium mit Sonnensegel: 198
12.2 Kaktusfassade 200

12.2.1 Zusammenfassung des Entscheidungsprozesses 200
12.2.2 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel: 202
12.2.3 Kompensationsmaßnahme Kaktusfassade plus 202
12.2.4 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel 204
12.3 Passage 204
12.3.1 Zusammenfassung des Entscheidungsprozesses 204
12.3.2 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel 206
12.3.3 Kompensationsmaßnahme Passage geschlossen 206
12.3.4 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel 209
13 Ergebnis 209
14 Ausblick 211
15 Literaturverzeichnis 212
16 Abkürzungsverzeichnis 217
17 Abbildungsverzeichnis 220
18 Tabellenverzeichnis 225
19 Diagrammverzeichnis 226
20 Anhangverzeichnis 227

1 EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die Büronutzung stellt, mit ihren vielschichtigen Bedürfnissen im Lebenszyklus, höchste Anforderung an das Gebäude. Flexible Strukturen sollen möglichst schnell auf die Unternehmensentwicklung und auf den „Lifestyle“ reagieren können.

Durch die hohen inneren Lasten und die leichten, flexiblen inneren Strukturen, reagieren Bürogebäude höchst sensibel auf innere Gewinne und äußere Lasten. Im herkömmlichen Nutzungsszenario gibt es häufig Situationen, in denen thermische Behaglichkeit im Sommer nur über eine technische Kühlung sichergestellt werden kann. Der Energiebedarf zum Erhalt der Sommertauglichkeit kann den Heizenergiebedarf bei weitem übersteigen. Der elektrische Energiebedarf ist daher eine wesentliche Energiebedarfsgröße von Bürogebäuden. Wie die Studie „Wärme und Kälte aus Erneuerbaren 2030“, unter Mitwirkung der Energy Economics Group, Technische Universität Wien, 2007 zeigt, wird der Energiebedarf für technische Klimatisierung kontinuierlich ansteigen, wie Abbildung 1 zeigt.

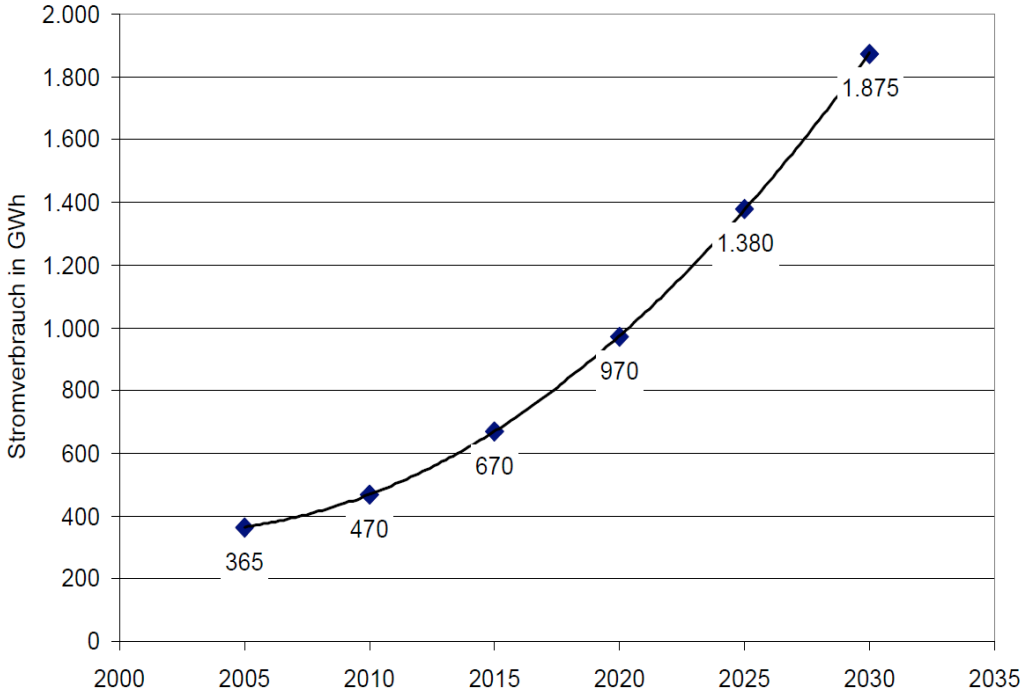


Abbildung 1: Szenario des Stromverbrauches für Klimatisierung in Österreich (R. Haas et al., 2007, p. 26)

Aus diesem Grund ist es wichtig, Gebäude so zu konzipieren, dass der Energiebedarf für technische Klimatisierung niedrig gehalten werden kann. Diese Fragestellung greift tief in den Gebäudeentwurf ein. Das bedeutet, dass die

Abhängigkeiten zwischen Gebäudeentwurf, Kühlbedarf und Behaglichkeit schon im konzeptuellen Entwurf geklärt werden müssen. Zur Klärung dieser fachübergreifenden Fragestellungen ist es unerlässlich, Gebäudekonzepte in Zusammenarbeit mit Spezialisten und Spezialistinnen zu konzipieren.

Derzeit findet dieser gemeinsame, integrale Prozess im Entwurf kaum statt. Grund dafür ist der schwer formalisierbare, kreative Prozess. Unsere Erfahrung aus Wettbewerbsbeteiligungen zeigt eher eine Methode, in der eine Reihe von Fachplanern und Fachplanerinnen, auf Grundlage einer architektonischen Vorgabe, ihr Wissen dem Entwurf hinzufügen. Der Eingriff in das architektonische Konzept ist hier nur mehr marginal möglich. Ein gemeinsames, gleichberechtigtes Entwerfen findet nur in Ausnahmefällen statt und beansprucht viel Zeit. Um ein gemeinsames Entwerfen zu ermöglichen, bedarf es einer intensiven Auseinandersetzung mit dem eigentlichen Entwurfsprozess und des Findens von Methoden, die den gemeinsamen, kreativen Prozess unterstützen.

Motivation und Ziel dieser Masterthese ist daher, in einem entwurfsmethodischen Teil, diese intensive Auseinandersetzung mit unserem Entwurfsprozess zu führen, um daraus allgemein anwendbare Entwurfsschritte und Entscheidungsmethoden abzuleiten.

Für die einzelnen Fachbereichsthemen suchen wir nach schnellen Methoden, die es uns erleichtern, wesentliche Entwurfsentscheidungen im kommunikativen Prozess zu treffen. Erst durch das Finden von schnellen Methoden kann, trotz komplexer Entwurfsaufgabe, ein kreativer Prozess im Team stattfinden.

2 FORSCHUNGSFRAGEN

Ist es möglich, für den kreativen Entwurf allgemein anwendbare, methodische Ansätze zu finden, die es ermöglichen, den kreativen Prozess zu erfassen und entwurfsrelevante Entscheidungen für die Wechselwirkung von Raum – Energie – Behaglichkeit schnell und nachvollziehbar im Team treffen zu können?

Forschungsfrage für die drei Spezialgebiete Raum – Energie – Behaglichkeit ist das Finden von Entwurfskriterien, welche ausschlaggebend für die Entwicklung eines anpassungsfähigen[1] Bürogebäudes, ohne technische Klimatisierung, unter Einhaltung definierter Behaglichkeitskriterien, sind.

Weiters soll untersucht werden, ob es für die unterschiedlichen Fachbereiche Abschätzmethoden gibt, die es ermöglichen, entwurfsrelevante Fragestellungen vor Ort und im Team zu lösen.

---

[1] Die Nutzungsdauer eines Gebäudes ist entscheidend für nachhaltiges Bauen. Je länger ein Gebäude mit effizienter Gebäudetechnik genutzt werden kann desto ressourcenschonender und in diesem Sinn wünschenswerter ist es. Um zukünftigen Entwicklungen und Veränderungen nicht im Wege zu stehen, muss ein Gebäude somit auch unterschiedlich genutzt werden können, deshalb müssen Gebäudekonzepte entwickelt werden, die eine Umnutzung leicht ermöglichen und ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit aufweisen.

3 STRUKTUR DER ARBEIT

3.1 Inhalt

Diese Masterthese setzt sich aus zwei getrennt zu betrachtenden Teilen zusammen:

A) Kriterienauswahl und Methodenfindung in den einzelnen Fachbereichen

Die Auswahl der Kriterien und die Methodenfindung erfolgt in drei voneinander getrennten Arbeitspaketen:

A1) Arbeitspaket 01: Behaglichkeit und Technik [Kapitel 8] erstellt von Ing. Wieland Moser

A2) Arbeitspaket 02: Energie und Bauphysik [Kapitel 9] erstellt von Dipl.-Ing. Gerhild Stosch

A3) Arbeitspaket 03: Raum [Kapitel 10] erstellt von Dipl.-Ing. Michael Egger

B) Integraler entwurfsmethodischer Teil

erstellt von Ing. Wieland Moser, Dipl. Ing. Gerhild Stosch, Dipl. Ing. Michael Egger [Kapitel 1 – 7 und 11 – 14]

Im integralen entwurfsmethodischen Teil werden die gefundenen Kriterien und Methoden an einem gemeinsam entwickelten Basiskörper angewandt. Der Basiskörper stellt einen idealtypischen Baukörper (ITBK) dar, der die technischen, typologischen und baulichen Rahmenbedingungen am Entwurfsstandort abdeckt. Für alle drei Fachgebiete ist der ITBK die Ausgangslage für die weitere Vorgangsweise.

3.2 Ablauf und Organisation

Die unterschiedlichen Kriterien, die für die Entwurfsfrage relevant sind, werden in den einzelnen Fachdisziplinen hergeleitet und untersucht.

Die Wirkung der sich gegenseitig beeinflussenden Kriterien und die Anwendung auf das zu entwerfende Objekt, werden in integralen Prozessen (Workshops und virtuelle Teamsitzungen) erarbeitet.

Dem integralen Prozess wird das Handbuch für Planungserfolg von Jürgen Wiegand (Wiegand, 2005) zu Grunde gelegt. Das Handbuch bietet für den Planungsprozess

eine Reihe von Methoden an, die die Zusammenarbeit unterschiedlicher Akteure und Akteurinnen unterstützen. Im Gegensatz zu anderer, deutschsprachiger Literatur, die sich zum großen Teil mit Prozessmanagement und Prozesssteuerung im integralen Planungsprozess beschäftigt, werden im oben genannten Handbuch sowohl Grundlagen der Kommunikation und der Gruppenarbeit als auch Problemlösungsszenarien im integralen Prozess behandelt.

Von den Architekturschaffenden sind vor Beginn der ersten Arbeiten einige Informationen einzuholen: Baurechte (Servitute, Wasserrechte), geologische Informationen zum Grundstück, überörtliche Raumplanung, Raumordnungskonzept, Flächenwidmung, Bebauungsplan, rechtlich gesicherte Grundgrenzen (Vermessungsplan), örtliche Bauvorschriften, evt. SOG Belange, Immissionsermittlung, Flächenbedarfsermittlung, geplante Nutzung und Fotodokumentation Grundstück.

Mit den gesammelten Informationen wird am gegebenen Standort ein typologischer Baukörper (idealtypischer Baukörper, ITBK) im Team entwickelt, der in einfachster Geometrie sowohl den vorherrschenden Bebauungsbestimmungen als auch dem Flächenanforderungsprofil des Bauherrn entspricht. Es werden grundlegende Belichtungsmöglichkeiten überprüft, das statische Raster so gewählt, dass eine Tiefgarage berücksichtigt werden kann und die Höhenlage am Grundstück eingepasst wird. Die bautechnischen Grundkomponenten beziehungsweise die energetischen Ausgangswerte, werden ebenfalls im Team entwickelt. Diese berücksichtigen die unterschiedlichen Bauvorschriften beziehungsweise den gewünschten Baustandard.

Dieser ITBK wird nun als Grundlage für energetische Untersuchungen, für Behaglichkeitsbetrachtungen und als architektonischer Anschauungskörper verwendet, um einerseits Berechnungen anstellen zu können und andererseits architektonische Potentiale (positive und negative) aufzuzeigen.

Die Ausarbeitung des ITBK ist somit der erste, unumgängliche Schritt beim Integralen Entwurf (IE). Das Darstellen des ITBK ist aufgrund seiner Einfachheit, mit relativ geringem Aufwand verbunden. Der ITBK ist, somit ein virtuelles Versuchsgebäude am konkreten Standort, welches allen Fachleuten zur Verfügung gestellt werden kann. Alle auf dem ITBK aufbauenden Entscheidungen werden somit automatisch, unter Berücksichtigung der am Standort geltenden, klimatischen Bedingungen, getroffen.

Organisations- und Prozessschema

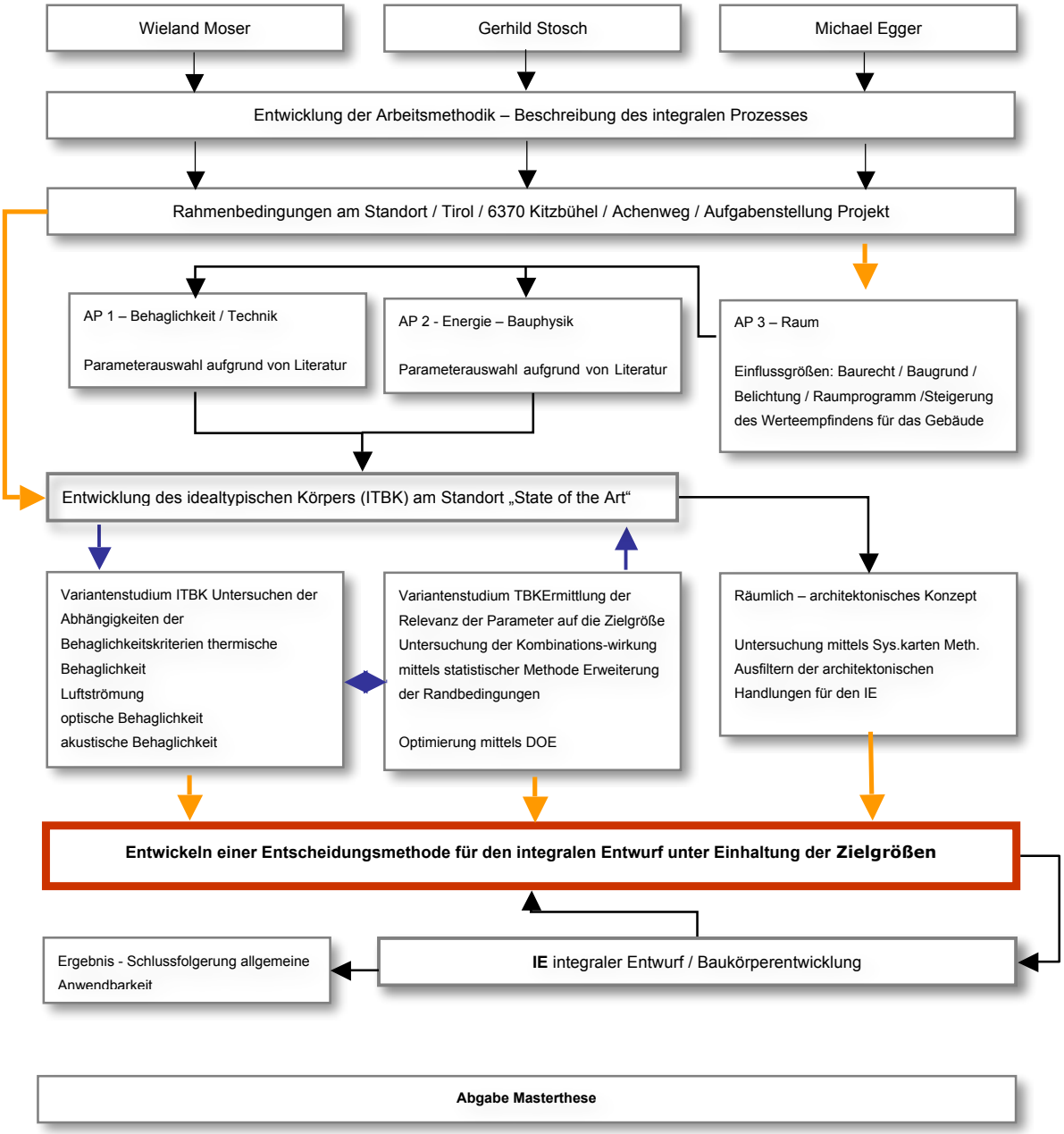


Abbildung 2: Organisatorischer Ablauf und Prozessdarstellung „integraler Entwurf“

Zeitlicher Ablauf

Der zeitliche Ablauf gliedert sich in Phasen der Einzelarbeit beziehungsweise in Zusammenkünfte im virtuellen Raum (Virtuelles Team) sowie in Workshopphasen.

Es hat sich herausgestellt, dass für ein erfolgreiches, integrales Entwerfen regelmäßige Workshopphasen essentiell erforderlich sind.

Abbildung 3: Zeitlicher Ablauf der Arbeit

4 STATE OF THE ART – INTEGRALE PLANUNG IM KONZEPTUELLEN ENTWURF

4.1 Geschichtliche Entwicklung

Nach Vitruv ist es Aufgabe des Architekten das Gebäude so zu gestalten, dass es drei Qualitäten erfüllt: Utilitas, Firmitas und Venustas.

> *„Das Wissen des Architekten“* so Vitruv, *„umfasst in vielerlei Hinsicht wissenschaftliche und mannigfaltige elementare Kenntnisse. Seiner Prüfung und Beurteilung unterliegen alle Werke, die von den übrigen Künsten geschaffen werden. Dieses Wissen erwächst aus fabrica (Handwerk) und ratiocinatio (geistiger Arbeit).“* (Virtuvius, 25BC, p. 23)

> Der Architekt, so Vitruv weiter, *„muss im schriftlichen Ausdruck gewandt, des Zeichenstiftes kundig, in der Geometrie ausgebildet sein, mancherlei geschichtliche Ereignisse kennen, fleißig Philosophen gehört haben, etwas von Musik verstehen, nicht unbewandert in der Heilkunde sein, juristische Entscheidungen kennen, Wissen über die Sterne und vom gesetzmäßigen Ablauf der Himmelserscheinungen besitzen.“ „Die Gründe hierfür sind folgende: Schreibgewandt muss der Architekt sein, damit dauerhafte schriftliche Erläuterungen zu seinem Werk geben und begründen kann. Zweitens muss er den Zeichenstift zu führn wissen, dass er durch perspektivische Zeichnungen das beabsichtigte Aussehen seines Werkes darstellen kann. Die Geometrie aber bietet der Architektur mehrere Hilfen: und zwar vermittelt sie zuerst nach dem Gebrauch des Lineals den Gebrauch des Zirkels, wodurch sie ganz besonders das Aufzeichnen von Gebäuden auf dem Zeichenbrett und das Ausrichten rechter Winkel, waagerechter Flächen und gerader Linien erleichtert. Ferner wird, wenn man die Optik beherrscht, von bestimmten Stellen des Himmels das Licht richtig in die Gebäude geleitet. Mit den Mitteln der Arithmetik aber werden die Gesamtkosten der Gebäude errechnet, die Maßeinteilungen entwickelt, und die schwierigen Fragen der symmetrischen Verhältnisse werden auf geometrische Weise und mit geometrischen Methoden gelöst.” „Mancherlei geschichtliche Ereignisse aber muss der Architekt kennen, weil die Architekten oft an ihren Bauten viel Schmuck anbringen, über dessen Bedeutung sie denen, die danach fragen, warum sie ihn angebracht haben, Rechenschaft ablegen müssen. Wenn zum Beispiel einer mit langen*

Obergewändern bekleidete weibliche Marmorstatuen, die Karyatiden heißen, an Stelle von Säulen an seinem Bau aufgestellt und darüber Kragsteine und Kranzgesimse gelegt hat, wird er denen, die danach fragen, folgendermaßen dafür Rechenschaft ablegen. Karya, eine peloponnesische Stadt, stand mit ihrer Gesinnung auf Seiten der persischen Feinde gegen Griechenland. Als die Griechen später den Krieg siegreich und ruhmvoll hinter sich gebracht hatten, erklärten sie auf gemeinsamen Beschluss den Karyaten den Krieg. Und so führten sie nach Einnahme der Stadt, nach Ermordung der Männer und völliger Zerstörung der Gemeinde deren Frauen in die Knechtschaft ab, gestatteten ihnen aber nicht, ihre langen Gewänder und Schmuckstücke, wie Frauen sie zu tragen pflegen, abzulegen: sie sollten nämlich nicht in einem einmaligen, sondern in einem immerwährenden Triumphzuge vorgeführt werden, in einem Musterbild der Knechtschaft, jedermann sichtbar mit schwerer Schande belastet zur Buße für ihre Bürgerschaft. Daher schufen die damaligen Architekten Nachbilder von ihnen, die an öffentlichen Gebäuden zum Tragen einer Last aufgestellt waren, damit auch der Nachwelt die Bestrafung des Vergehens der Karyaten bekannt gemacht und in Erinnerung gehalten werde (…). Es gibt zahlreiche geschichtliche Begebenheiten ähnlicher Art, die die Architekten im Kopfe haben müssen." (Virtuvius, 25BC, pp. 23–26)

So wie Vitruv die Rolle des Architekten vor über 2000 Jahren beschreibt, ist der Architekt der Generalist, der seine umfassenden Kenntnisse über die Welt in seinen Gebäudeentwürfen zum Ausdruck bringt. Aus heutiger Sicht wäre der Architekt oder die Architektin also durch das umfassende generelle Wissen fähig, sämtliche relevante Themen des Entwurfes im Konzept zu erfassen. Weiters sieht Vitruv die Arbeit des Architekten als Knotenpunkt für alle am Bau beteiligten Spezialisten, die er entsprechend leitet und vereinigt.

Mit der rasanten technischen Entwicklung (Eisenbeton, Stahl - Glasarchitektur) des frühen 20 Jahrhunderts spaltet sich die Architekturleistung in Spezialgebiete, die nacheinander abgehandelt werden. Kunst und Kulturschaffende Universalisten (Architekt oder Architektin) sind in zunehmendem Ausmaß nur noch für die Venustas zuständig. Der architektonische Entwurf wird zur ästhetischen Absichtserklärung, welche die Grundlage für eine sequenzielle Bearbeitung, durch unterschiedliche Fachleute, darstellt. Die Architekturleistung selbst ist keine

Generalleistung mehr, sondern ist abhängig von der Spezialisierung des Architekturschaffenden.

Über die Auseinandersetzung mit der Thematik des nachhaltigen Bauens wird zunehmend klar, dass schon im frühesten Gebäudekonzept möglichst viele Themen behandelt werden müssen, um möglichst kosteneffizient, nachhaltige Ziele umzusetzen. Untenstehende und oft zitierte Abbildung zeigt den Zusammenhang der Einflussmöglichkeiten in einen Planungsprozess einzugreifen und die damit verbundenen anfallenden Kosten.

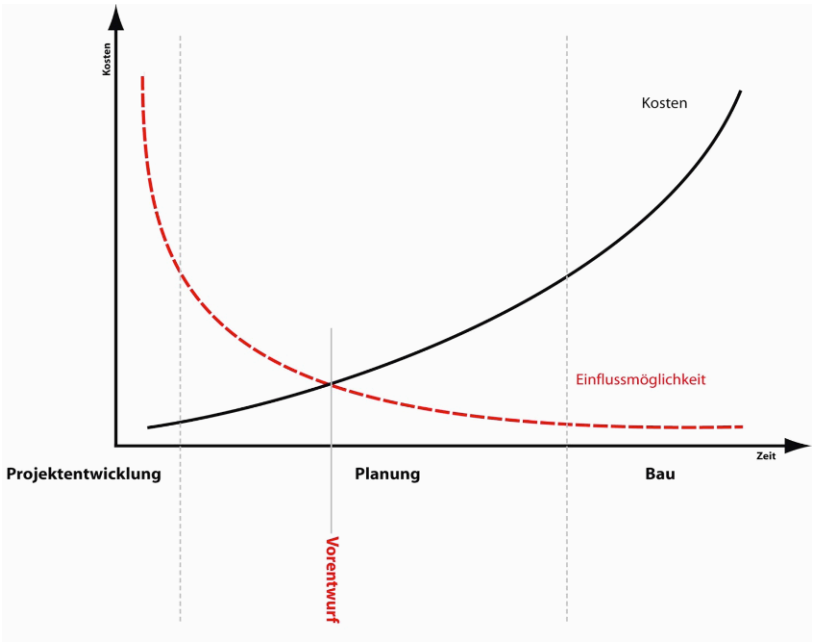


Abbildung 4: Kosten-Zeit (Achhammer, 2013, p. 2)

Die Darstellung zeigt ganz klar, dass die entscheidende Phase der Projektbeginn ist. Aber selbst der „vitruv´sche Generalist“ würde die Anforderungen unserer Zeit nicht mehr abdecken können. Aus diesem Grund sollte in integralen Planungsteams die Komplexität der Themen gemeinsam behandelt werden. Das Planungsteam soll nicht nacheinander, sondern verzahnt und übergreifend arbeiten.

Aus dem Projektmanagement heraus werden integrale Planungsmethoden entwickelt, die den Prozess des integralen Teams steuern. Diese Planungsmethoden werden mittlerweile erfolgreich in jenen Phasen von Bauprojekten angewandt, bei denen es gilt ein gemeinsames Ziel zu erreichen, oder ein Problem zu lösen. Integrale Planung ist mittlerweile vor allem im englischsprachigen Raum eine nicht wegzudenkende Methode des Planungsprozesses.

Im Gegensatz zur konsekutiven Planung, setzt die integrale Planung auf eine Parallelität des Planungsprozesses. Dieser setzt, nach der Projektentwicklung, mit einer gleichzeitigen Beauftragung des Architekten, Tragwerksplanung, TGA-Planung und des Facility Managements ein. Eine der Hauptaufgaben der integralen Planung ist es, simultane Optimierungsprozesse auszulösen, welche in einem interdisziplinären Team ermöglicht werden. Die Vorteile dieser Prozesse sind in einem Value Engineering und einer optimierten Planungszeit zu finden.

Der frühe Entwurfsprozess (kreativer Prozess) entzieht sich aufgrund seiner starken individuellen Ausformung und seiner chaotischen Abläufe, bis heute einer Systematisierung beziehungsweise Standardisierung. Petra von Both und Niklaus Kohler, vom Institut für Industrielle Bauproduktion der Universität Karlsruhe, kommen in ihrem Paper „Ein prozessorientiertes Kooperationsmodell für eine anforderungsorientierte dynamische Unterstützung der Integralen Bauplanung“ zu folgendem Schluss:

> *„Will man Planungsprozesse - gerade in den frühen entscheidenden Projektphasen – entsprechend koordinieren, ohne den dort notwendigen planerischen Freiraum durch starre Vorgaben einzuschränken, so wird es deutlich, dass die zur Zeit praktizierten Vorgehensweisen hinterfragt werden müssen und neue Ansätze zu erarbeiten sind, die eine flexiblere Koordination und die Erfassung der Unschärfe kreativer Planungsprozesse erlauben.“* (von Both & Kohler, 2007, p. 101)

4.2 Integrale Planung / Planungsprozess

Der lebenszyklusorientierte, integrale Planungsprozess, der die simultane Mitwirkung der diversen Disziplinen (Architektur, Tragwerksplanung, Haustechnik, Facility- und Energie-Management) schon vom Vorentwurf bis hin zur Abbruchphase voraussetzt, ist für eine nachhaltige Architektur entscheidend. (Mendler, Odell, & Lazarus, 2006)

Wie Mendler definiert, setzt der integrale Planungsprozess “schon“ im Vorentwurf an. Die Entwicklungs- und Kreativphase werden hier nicht einbezogen.

Die Integrale Planung versucht die Risiken, welche durch eine Spartenplanung durch Einzelplaner und Einzelplanerinnen entstehen, zu minimieren. Die Nachteile der Spartenplanung sind, laut Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Arch. Christoph Achammer, dass keine simultanen Prozesse stattfinden, dass Zielabweichungen erst spät erkennbar

werden, ein hoher Kommunikationsaufwand besteht und ein Termin- und Schnittstellenrisiko besteht. (Achhammer, 2013, p. 24)

Die integrale Planung muss in diesem Sinne als organisatorischer Planungsprozess verstanden werden. Die abgebildeten Prozesse beschränken sich auf den Planungsprozess aus der Sicht der Projektsteuerung. Nachfolgende Abbildung 5 zeigt den organisatorischen Planungsprozess einer integralen Planung.

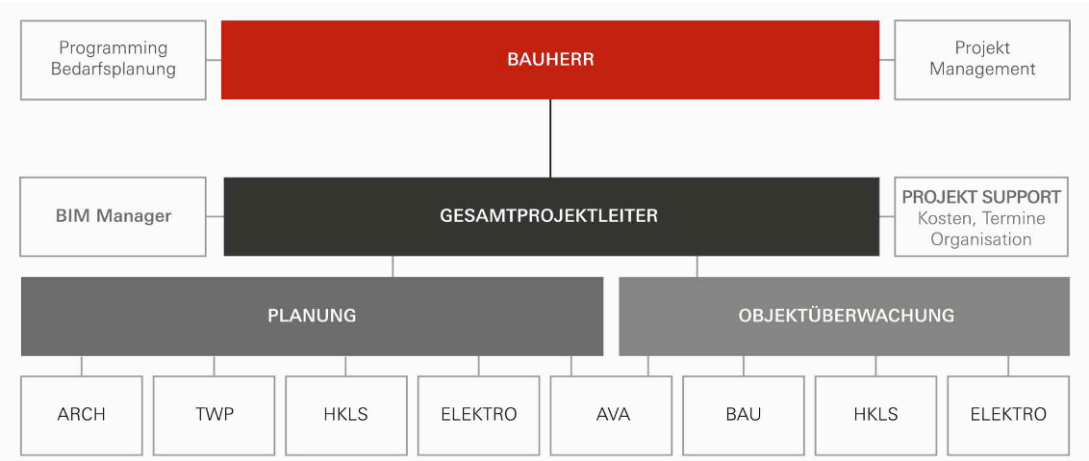


Abbildung 5: Planungsprozess organisatorisch / Gesamtplanung (Achhammer, 2013, p. 28)

4.3 Kreativer Prozess

Im Gegensatz zum geordneten Planungsprozess, stellt der konzeptuelle Entwurf eine ungeordnete Phase dar, in der es wichtig ist, das kreative Potential fließen zu lassen, damit die unterschiedlichen Akteure und Akteurinnen möglichst ungestört agieren können. Jürgen Joedicke definiert den Planungsprozess in seinem 1969 erschienenen Artikel „Zur Formalisierung des Planungsprozesses“ als ein System beabsichtigter, künftiger Handlungen. Er versteht Planung prozessorientiert, während er den Entwurf objektorientiert sieht. (Joedicke, 1969)

Bei genauer Betrachtung gibt es wesentliche Unterschiede zwischen Planen (Planungsprozess) und Entwerfen (Kreativer Prozess). Diese Unterschiede werden in Abbildung 6 dargestellt.

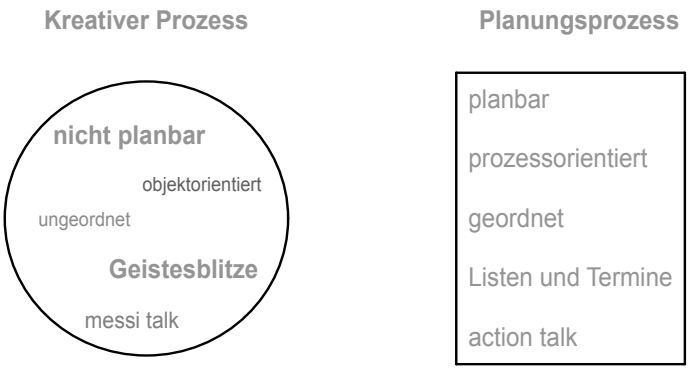


Abbildung 6: Gegenüberstellung kreativer Prozess - Planungsprozess

Das Institut für Psychologie der Universität Klagenfurt beschäftigt sich in den Beiträgen zur Philosophie mit den Phasen des kreativen Prozesses und stellt insbesondere das Vier-Stufen-Modell des französischen Mathematikers Henri Poincaré (Universität Klagenfurt, n.d.) vor. Unten dargestellte Phasen können auch für unseren Entwurfsprozess angewandt werden.

Das Modell von Poincaré gliedert sich in die

- Vorbereitungsphase – Phase der Informationsaufnahme
- Inkubationsphase – Phase der Informationswirkung
- Illuminationsphase – Phase der Verknüpfung und Lösungen (Aha Erlebnisse, Geistesblitz, …)
- Verifikationsphase - logische Phase, kritisches Hinterfragen, ….

Vorbereitungs-, Inkubations- und Illuminationsphasen unterscheiden sich unserer Erfahrung nach durch implizierten Wissensstand, kognitiven Prozessen und durch die jeweilige Motivation, der am Entwurf beteiligten Personen. Für das gemeinsame Entwerfen, braucht es die Fähigkeit, unterschiedliche Sichtweisen auf das Objekt zu überlagern, wirken zu lassen und in den eigenen Inkubationsprozess zu integrieren.

Da sich der gesamte kreative Entwurfsprozess in unterschiedliche Phasen aufteilt, ist es wichtig, für jede Phase die entsprechende Methode zu finden. Im folgenden Kapitel stellen wir unseren Ablauf des kreativen Entwurfes dar und beschreiben die

in dem „Handbuch für erfolgreiche Planung“ (Wiegand, 2005) gefundenen Methoden.

Wie erwähnt, ist der kreative Prozess sehr individuell und in vielen Phasen ungeordnet. Als Methode werden daher dynamische, frei fließende Vorgänge mit einem großen Maß an Rückkoppelungsprozessen, veränderten Situationen und Fragestellungen angewandt. Trotz dieser Ausgangslage versuchen wir, einen wiederkehrenden, systemischen Ansatz zu verfolgen, in dem sich die ungeordneten, kreativen Phasen mit strukturierten Entscheidungsphasen abwechseln.

Für diese Entscheidungsphase (Verifikationsphase) stellen wir eine, von uns entwickelte, Entscheidungsschrittmethode vor, die es ermöglicht, jeden Entwurfsschritt auf die gleiche Weise integral zu behandeln. Diese Vorgangsweise wird durch die, in den einzelnen Arbeitsschwerpunkten entwickelten, schnellen Abschätzungs- und Auswahlwerkzeuge unterstützt.

5 DARSTELLUNG UNSERES KREATIVEN ENTWURFSPROZESSES

5.1 Einleitung

Wir simulieren nachfolgende, praxisnahe Situation einer architektonischen Aufgabe und unternehmen den Versuch eines integralen Entwurfes (IE). Die verschiedenen Entwurfs- und Entscheidungsprozesse werden entsprechend dokumentiert und analysiert. Als übergeordnetes Ziel des Entwurfes soll das Gebäude keinen Kühlbedarf aufweisen.

Am konkreten Projekt decken wir die Fachgebiete Behaglichkeit und technische Gebäudeausrüstung, Energie und Bauphysik sowie Architektur ab. In der Realität wären noch zusätzliche Fachplaner notwendig – der von uns entwickelte methodische Entwurfsprozess ist deshalb beliebig erweiterbar und entsprechend adaptierbar.

5.2 Methodik und Ablauf des integralen Entwerfens

Der Entwurf gliedert sich unserer Meinung nach in drei wiederkehrende Phasen:

- Problemstrukturierung beziehungsweise Fokussierung der Entwurfsfragen
- die kreative Phase
- Entscheidungsphase

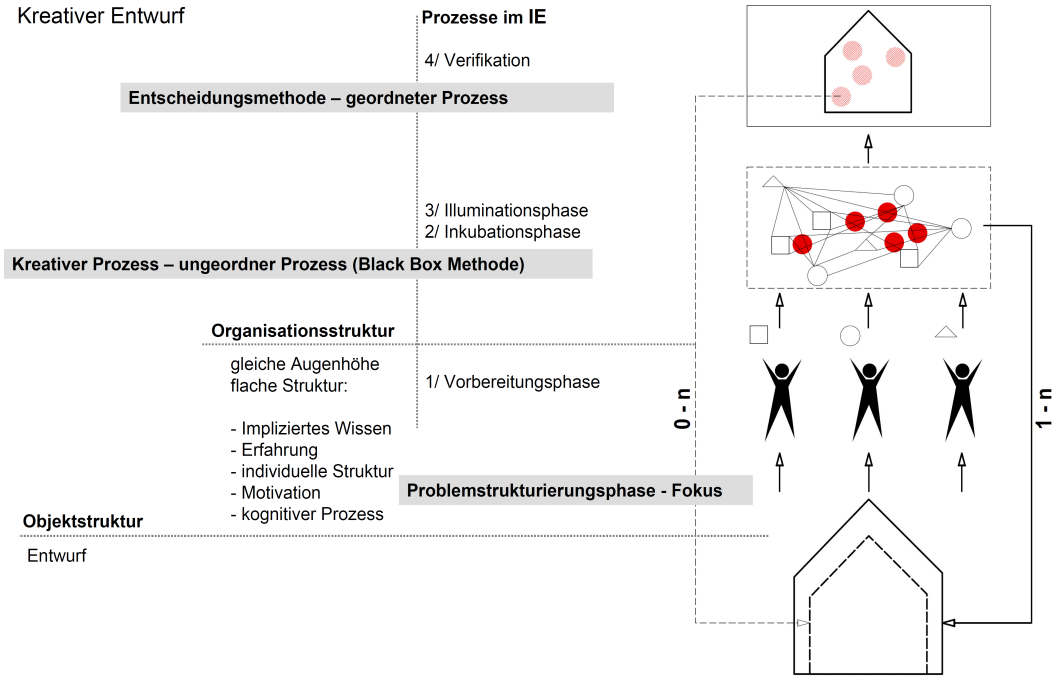


Abbildung 7: Darstellung unseres kreativen Prozesses

Gemäß Jürgen Wiegand (Wiegand, 2005) müssen drei Prozessebenen vor Beginn der Zusammenarbeit geklärt werden.

- Methoden und Werkzeuge
- Zusammenarbeit
- Management und Organisation

Für jede der drei Phasen werden die Methoden, die Art der Zusammenarbeit und die Managementstruktur geklärt.

5.2.1 Problemstrukturierung und Erstellung der Entwurfsfragen

Die angewandte Methode wurde dem Handbuch für Planungserfolg von Jürgen Wiegand (Wiegand, 2005) entnommen und für unseren Entwurfsablauf adaptiert.

Methode: System-Abgrenzungs-Methode (SAM) (Wiegand, 2005, pp. 347–349)[2]

- Erstellen einer Entwurfsfrage (Brain Storming, Mind Mapping,…)
- Erstellung von Rahmenbedingungen, Fokussieren der Entwurfsfrage
- Sammlung von Projektideen, Informationen, …

Zusammenarbeit:

- Gruppenarbeit
- Einzelarbeit

Management:

- Nicht hierarchische Organisationsstruktur
- übergeordnete Führung im Sinne einer mediativen Kommunikationsbegleitung
- effektive Sprache als Werkzeug (siehe 10.3.1)

---

[2] Die System–Abgrenzungs-Methode dient lt. Wiegand (Wiegand 2006) der Bestimmung des zu lösenden Problems und der Abgrenzung des Problems gegenüber dem Umfeld. Dabei wird anhand der Problemstellung eine erste Sammlung von Ideen vorgenommen. In einem weiteren Schritt werden die Ideen systematisiert und eine Beziehungsanalyse der Ideen untereinander vorgenommen. Mittels dieser Analyse kann eine Systemgrenze zum Umfeld gut vorgenommen werden. (Wiegand 2006; S 347 – 349)

5.2.2 Der kreative(re) Prozess

In Anlehnung an die, im Handbuch für Planungserfolg von Jürgen Wiegand vorgestellte, Black Box Methode (Wiegand, 2005, pp. 349–350)[3] werden Inputfaktoren von den einzelnen Teammitgliedern in den kreativen Prozess getragen. Das sind zum einen die Entwurfsfragen, zum anderen sehr persönliche, über das Individuum gesteuerte Faktoren. Als Outputfaktoren werden bestimmte Kristallisationspunkte (Entwurfsaspekte) definiert. Die Abläufe innerhalb der „Kreativ Box“ sind komplex und werden dabei keiner systemischen Analyse unterzogen.

- freies Fliesen
- Brain storming, Mind Mapping, …
- Activity, Narrativ Methode, ….

Zusammenarbeit:

- Gruppenarbeit

Management:

- Nicht hierarchische Organisationsstruktur
- übergeordnete Führung im Sinne einer mediativen Kommunikationsbegleitung
- effektive Sprache als Werkzeug (siehe 10.3.1)

---

[3] Die Black – Box - Methode ist laut Wiegand ein „Kunstgriff zur Reduktion von Komplexität“. Dabei werden die inneren Vorgänge in einem System ausgeklammert. Das System wird dabei nur über die Input- und Outputfaktoren betrachtet. Das innere des Systems wird dadurch nicht bewusst gestaltet. (Wiegand 2006; S 349 – 350)

5.2.3 Entscheidungsphase

Für die Entscheidungsphase wird die von uns entwickelte Entscheidungsmethode (siehe Kapitel 5.3) angewandt. Dabei werden die Outputfaktoren unter den drei Schwerpunkten, Raum – Energie – Behaglichkeit qualitativ eingeordnet. Die Methode folgt einem strukturierten Ablauf und kann aus diesem Grund für jede Entwurfsfrage angewandt werden.

- Qualitatives Einordnen mittels Farbcode
- klassische Problemanalyse (Problemordnung - Problemanalyse - Problemreduktion)

Zusammenarbeit:

- Gruppenarbeit (durch die in den einzelnen Arbeitsschwerpunkten entwickelten Methoden kann diese Bewertung in der Gruppe vorgenommen werden)

Management:

- Nicht hierarchische Organisationsstruktur
- effektive Sprache als Werkzeug (siehe 10.3.1)

5.3 Entscheidungsmethode

Die Entscheidungsmethode wurde entwickelt, um nach der kreativen Phase, unter Einhaltung einer flachen, nicht hierarchischen Struktur, eine Entscheidung im Team herbeiführen zu können.

Die Methode folgt einem genauen Ablauf, welcher für jeden Entwurfsschritt gleich beibehalten wird. Ausgangspunkt ist der jeweilige Entwurfsaspekt, ein Kristallisationspunkt aus dem kreativen Prozess. Dem Entwurfsgedanken folgt eine architektonische Handlung, die im nächsten Entscheidungsschritt einem Qualilätscheck, aus den drei Betrachtungsgebieten Raum – Energie – Behaglichkeit, unterzogen wird. Der Qualitätscheck findet, unterstützt von den, in den jeweiligen Arbeitspaketen entwickelten Abschätzungsmethoden, als Gruppenprozess statt.

Die Entscheidungsmethode wurde auf folgende drei Bereiche eingeschränkt, kann aber je nach Entwurfsteam beliebig erweitert werden.

- AP 01: Technik - Entscheidungsbaum der technischen Systeme
- AP 02: Energie - Design of Experiments (Abschätzungsmethode zur Beurteilung der Wirkung unterschiedlicher Einflussgrößen auf die energetische Performance)
- AP 03: Raum - Architektur – Einflusskarten / Systemkarten Methode (Anpassungsfähigkeit)

5.3.1 Ablauf der Entscheidungsfindung

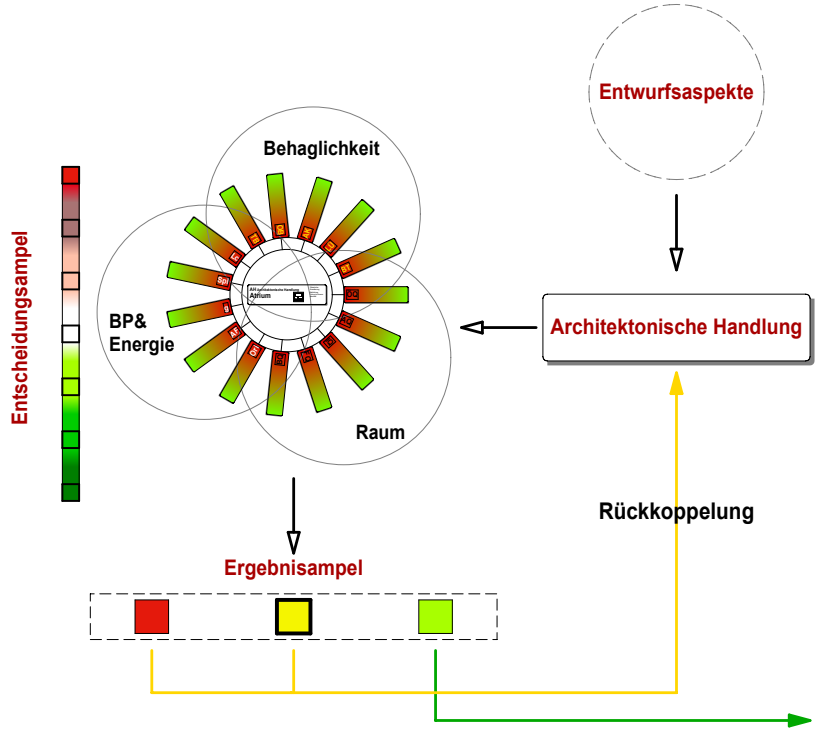


Abbildung 8: Ablauf der Entscheidungsschritte

Die Abbildung 8 zeigt die Gesamtheit der einzelnen Entscheidungsschritte. Mit dieser von uns entwickelten Methode können komplexe Entwurfsfragen in einem Team bereits im kreativen Entwurf abgeschätzt und eingeordnet werden. Es ist damit möglich, einen Integralen Entwurf (IE) umzusetzen und viele Spezialisten tief in den Entwurf einzubinden.

Nachfolgend wird die Methode der Entscheidungsfindung erklärt und die einzelnen Entscheidungsschritte beschrieben.

Reihenfolge der Entscheidungsschritte

Darstellung der einzelnen Entscheidungsschritte:

Entwurfsaspekte

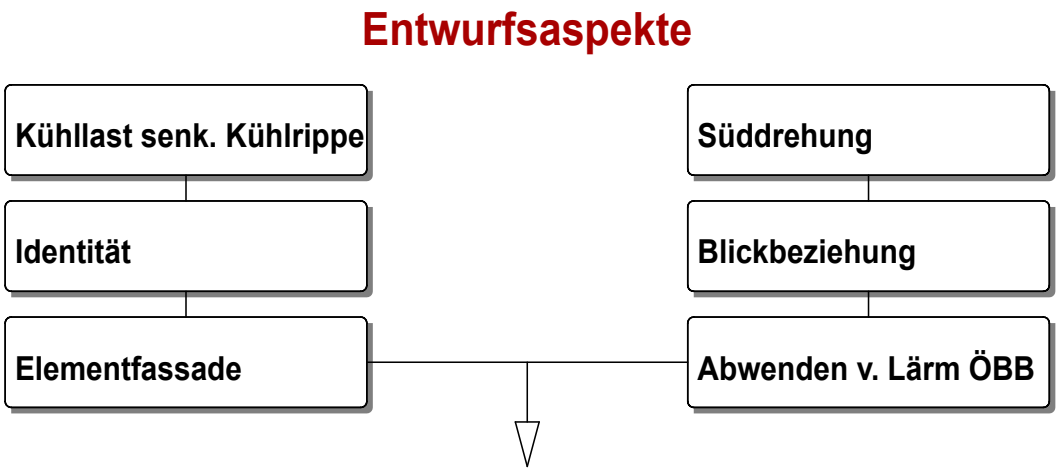


Abbildung 9: Ausgangslage der Entscheidungsschrittmethode, Entwurfsaspekte (Kristallisationspunkte aus Phase 02 kreativer Prozess)

Die Entwurfsaspekte, wie in Abbildung 9 dargestellt, werden im integralen Entwurfsteam in einer ungeordneten kreativen Phase (siehe Abbildung 7) gefunden. Die einzelnen Aspekte der beteiligten Akteure und Akteurinnen werden durch kognitive Prozesse „verwoben“ und kristallisieren sich als Entwurfsaspekt heraus, die den ITBK verbessern und aufwerten sollen. Der Prozess und die entstehenden Entwurfsaspekte, sind abhängig von der Zusammensetzung des Entwurfsteams und entziehen sich einer Prozessbeschreibung.

Architektonische Handlung

Abbildung 10: Architektonische Handlung

Die in Abbildung 10 beispielhaft gezeigte, architektonische Handlung entsteht aus den gemeinsam gefundenen Entwurfsaspekten. Der Architekt, die Architektin oder im Idealfall das Team, generieren aus den Entwurfsaspekten die architektonische Handlung. Die Vorgangsweise zur Umsetzung der Entwurfsaspekte in eine architektonische Handlung kann in Kapitel 10.3 und 10.4 nachgelesen werden.

Qualitative Entscheidungsampel

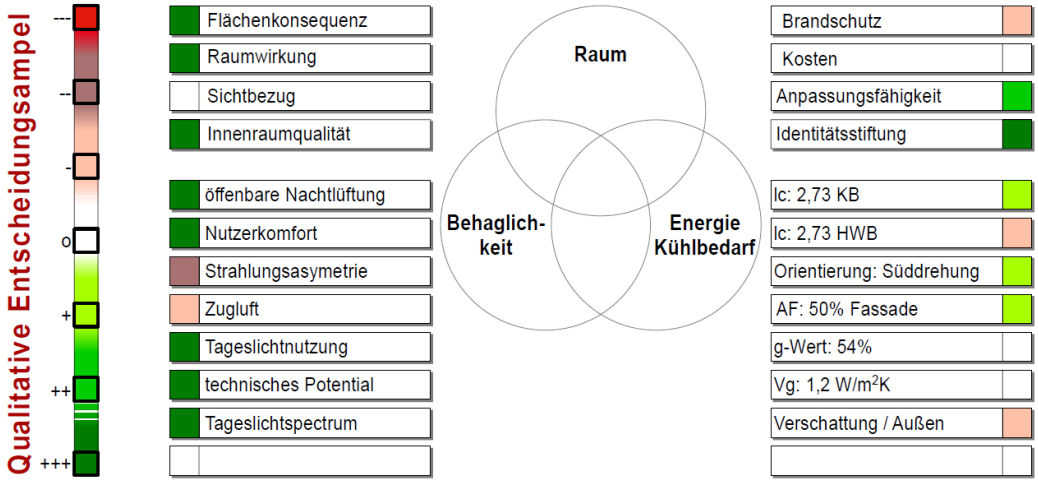


Abbildung 11: Farbliche Einordnung der Einzelkriterien Raum – Behaglichkeit - Energie

Die architektonische Handlung wird aus den Gebieten Raum – Behaglichkeit – Energie betrachtet, wie in Abbildung 11 dargestellt. Durch die in den Arbeitspaketen entwickelten Methoden ist es möglich, die architektonische Handlung unter Einbeziehung der Forschungsfrage schnell zu beleuchten und in den Farbcode einzuordnen.

Ergebnisampel

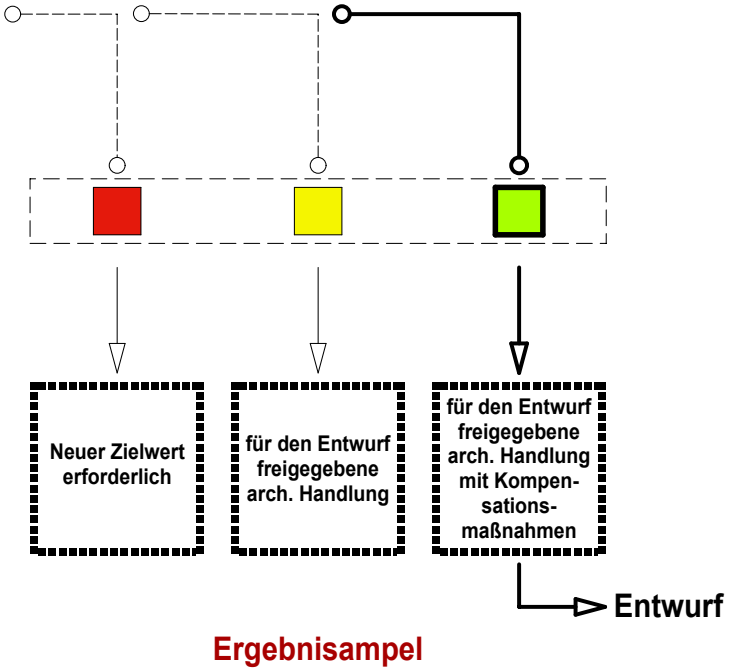


Abbildung 12: Ergebnisampel

Über den Schritt der Ergebnisampel werden Freigabe-, Rückkoppelungsprozesse oder Zielwertanpassungsverfahren in Gang gesetzt, wie Abbildung 12 zeigt. Die Einordnung erfolgt durch gemeinsame Teamentscheidung. Erfolgt eine Einordnung in „grün“, so kann die architektonische Handlung sofort für den Entwurf übernommen werden. Ist die Entscheidung „gelb“, so wird eine entsprechende Kompensationsmaßnahme gesucht und es beginnt ein weiterer Durchlauf. Bei „rot“ ist entweder eine neue Zielwertdefinition erforderlich oder die architektonische Handlung scheidet aus.

6 IDEALTYPISCHER BAUKÖRPER (ITBK)

Der idealtypische Baukörper stellt eine Basisvariante auf dem konkreten Standort, unter Berücksichtigung folgender Rahmenbedingungen dar:

- Bedarf des Auftraggebers
- BGF; Standard Volumen
- Standort (Geologie, Klima, Immissionen)
- Standard Nutzung, Bautypologie für Standardnutzung
- Bebauungsgrundlagen (TROG, TBO, Rechte und Pflichten des Grundstücks...)

Der idealtypische Körper stellt für die drei Schwerpunkte (Behaglichkeit, Energie, Raum) die Basis für die Kriterienanwendung beziehungsweise für die Untersuchung der Auswirkung der gefundenen Kriterien dar. Er wird als virtueller Versuchsbaukörper von den unterschiedlichen Spezialisten verwendet, um Verbesserungspotentiale und Grenzwerte zu suchen, zu finden und festzulegen.

6.1 Randbedingungen des Idealtypischen Baukörpers

6.1.1 Standortbedingungen

Zu den Standortbedingungen zählen:

- Klimabedingungen der Klimazone gemäß ÖNORM B8110 – 5 (Solare Einstrahlung und mittlere Temperatur des jeweiligen Monats)
- Mikroklimatische Bedingungen (Kleinklimatische Gegebenheiten am Grundstück)
- Baurechtliche Bedingungen (Abstände zu Grundgrenzen, Gebäudehöhe, Baudichte, Baufluchtlinien)
- Immissionen (ÖBB, Bundesstraße)
- Baugrundqualität und Besonderheiten des geologischen Aufbaues

Klimastandort:

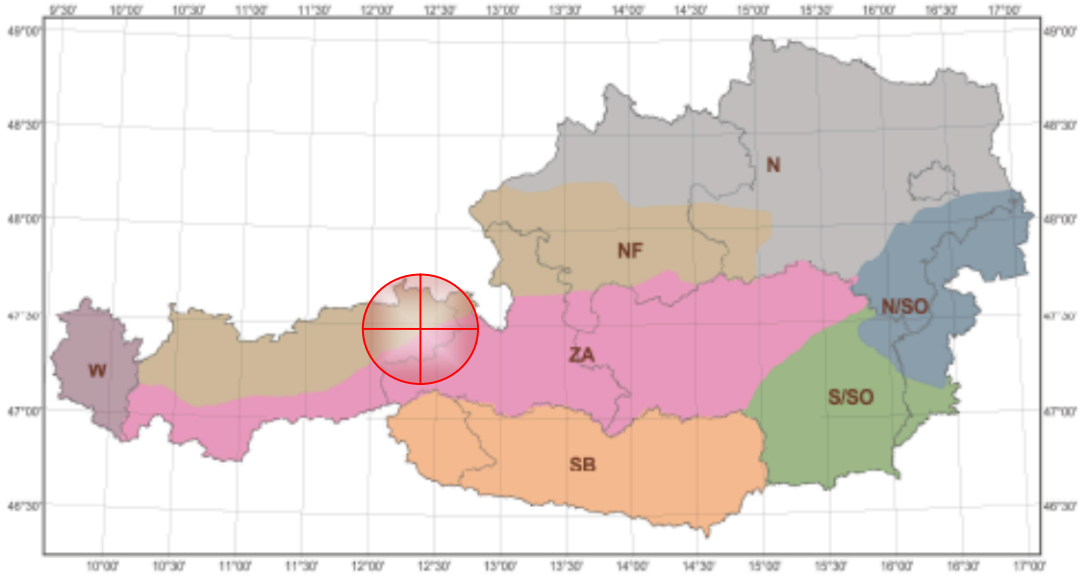


Abbildung 13: Darstellung des Klimastandort in den sieben Temperaturzonen Österreichs (ÖNORM B 8110-6, 2014, p. 47)

Geographische Lage: 6370 Kitzbühel, 819 Höhenmeter

Temperaturregion: Alpine Zentrallage

Wie das Diagramm 1 zeigt, liegen die mittleren Temperaturen deutlich unter jenen am Referenzstandort. Die Strahlungssummen sind in den Sommermonaten, wie in Diagramm 2 dargestellt, um ca. 9% geringer als am Referenzklimastandort. Die Sommerbedingungen sind somit am Standort, im Vergleich zum Referenzklimastandort [4], hinsichtlich des Kühlbedarfs, deutlich günstiger.

[4] Das Referenzklima wird in der ÖNORM B8110 – 5 für den Klimastandort Österreich mit 3400 HGT definiert. Die Anforderungswerte HWB* und KB* werden mittels Klimadaten für den Referenzstandort berechnet.

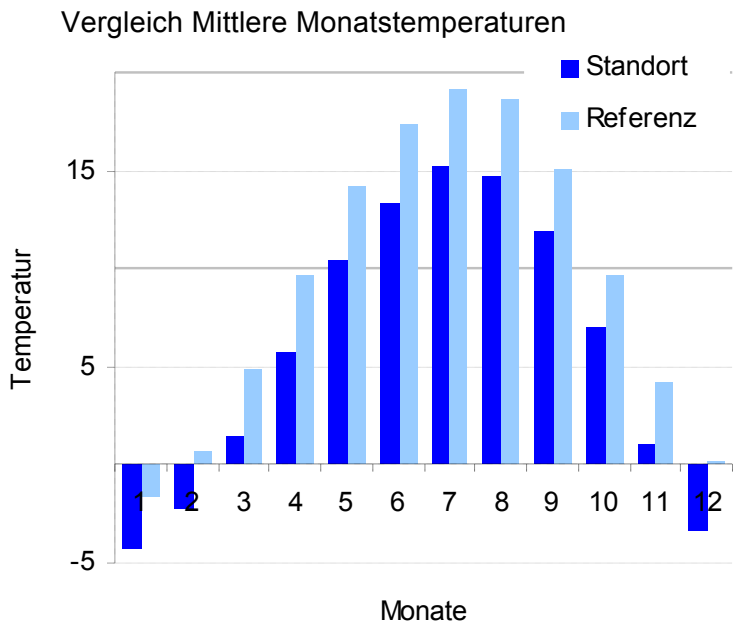


Diagramm 1: Vergleich der mittleren Monatstemperaturen am Standort Kitzbühel und am Referenzstandort

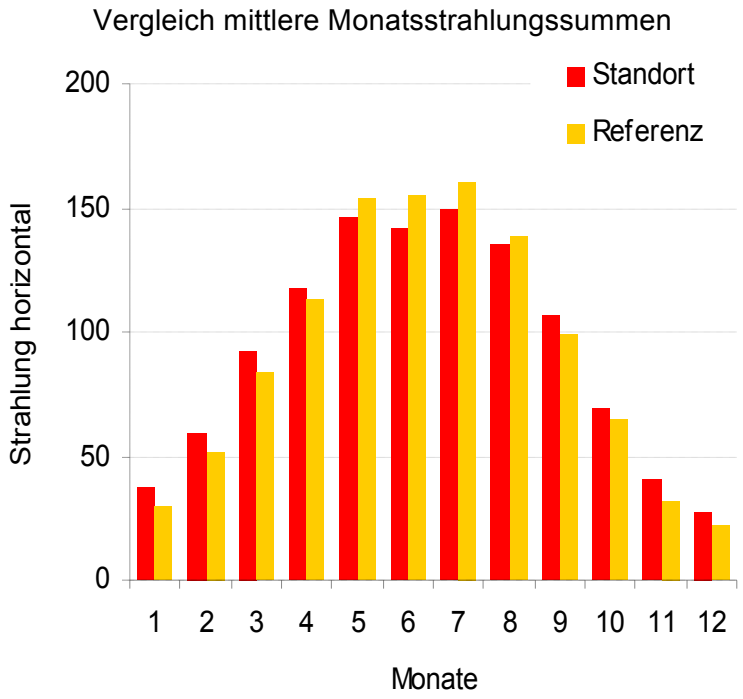


Diagramm 2: Vergleich der horizontalen Strahlungssummen am Standort Kitzbühel und am Referenzstandort

Mikroklima am Standort

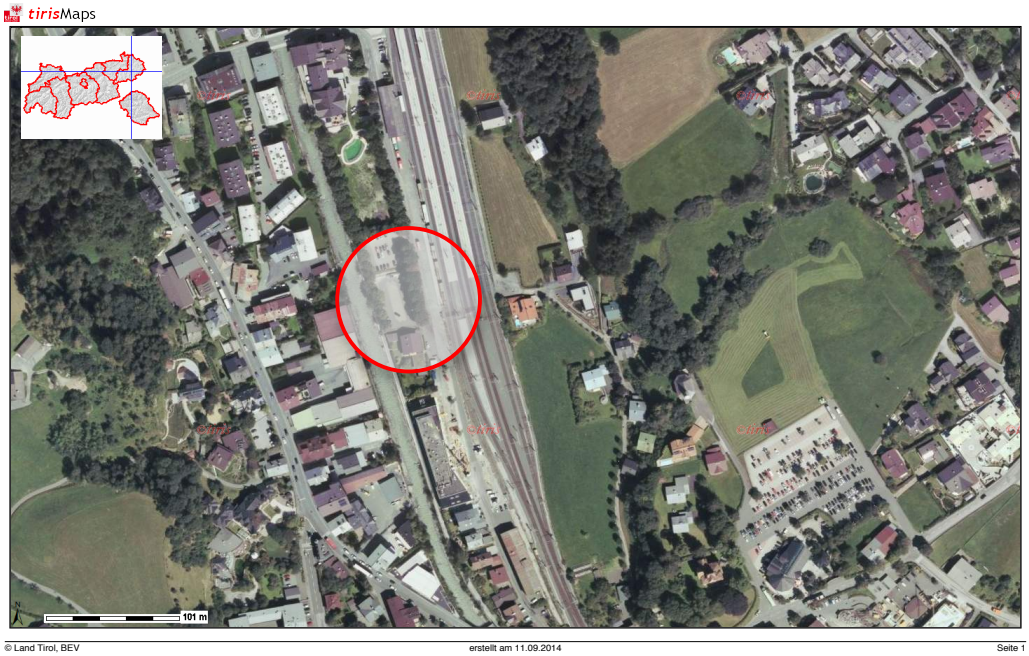


Abbildung 14: Übersichtsplan mit eigener Ergänzung (Land Tirol, 2014)

Als wesentlicher Einflussfaktor für den Entwurf ist das Mikroklima am Standort zu untersuchen. Das Mikroklima kann durch umliegende hohe Bebauungen, einen hohen Versiegelungsgrad in der unmittelbaren Umgebung, Bepflanzungen oder durch Wasserflächen wesentlich beeinflusst werden und Abweichungen zu den lokalen Klimadatensätzen hervorrufen.

Im Westen des Grundstücks fließt die Kitzbüheler Ache, ein Gewässer, mit annähernd konstanter Temperatur (ca. 8°C). Der angrenzende Fuß- und Radweg wird durch eine Alleebepflanzung, mit einer Höhe von ca. 15 m, begleitet.

Abbildung 15: Blick vom Baufeld nach Süden / Kitzbüheler Ache

Von Osten kommend mündet der Ölbergbach am südlichen Grundstücksrand in die Kitzbüheler Ache. Dieses Gewässer ist nur bei größeren Niederschlagsereignissen stark wasserführend und sonst kaum wahrnehmbar.

Abbildung 16: Blick vom Baufeld Richtung Grundgrenze Süd / Ölbergbach

Angrenzend an die Nördliche Grundstücksgrenze ist starker Baumbewuchs vorzufinden, der das angrenzende Hotel abschirmt. Entlang des Achenweges im Osten des Grundstücks, besteht eine Baumallee. Die Bäume haben in diesem Bereich eine Höhe von ca. 15 m.

Entsprechend der Entwurfsfrage, die notwendigen Kühllasten zu minimieren, kann die Lage des Grundstückes positiv bewertet werden. Unter Berücksichtigung der zuvor genannten Umgebungsfaktoren wie Wasserflächen und der Bepflanzungen, sind positive Effekte durch Verdunstungskühlung zu erwarten. Diese sollten in den Entwurfsaspekten berücksichtigt werden.

Die nachfolgenden Bestandsfotos zeigen den Bewuchs und die Kitzbüheler Ache mit angrenzendem Fuß- und Radweg.

Abbildung 17: Bestandsfotos Achenweg, 6370 Kitzbühel, Tirol, Österreich

6.1.2 Randbedingungen durch die Bedarfsanalyse

6.1.3 Technische Randbedingungen

Thermische Hülle: Die definierten Randbedingungen für die thermische Gebäudehülle beschreiben den Standard für Niedrigenergiegebäude. Dies sind nicht die gesetzlichen Mindestvorschriften, die in der OIB Richtlinie 6 definiert sind. Das „Mindest U-Wert Ensemble“ der OIB Richtlinie 6 stellt eine Minimalanforderung an ein Gebäude dar. Die Erläuterungen zur OIB Richtlinie stellt fest, dass das vorgeschlagene „Mindest U-Wert Ensemble“ lediglich ein bauphysikalisches Sicherheitsnetz darstellt (Österreichisches Institur für Bautechnik, 2007, p. 9). Unter Einhaltung dieser Werte ist es zumeist nicht möglich, die gesetzlichen Anforderungen für den Heizwärmebedarf zu erfüllen.

Für den ITBK werden Wärmedurchgangskoeffizienten nach Niedrigenergiestandard für die Basisvariante eingesetzt. Die Effizienzrichtlinien für Landeshochbauten definieren hier unterschiedliche Standards. Der aktuellste veröffentlichte Beitrag ist das Pflichtenheft für Landesgebäude des Landes Niederösterreich „Energieeffizienz

und Nachhaltigkeit von Landesgebäude“ (Kunze, 2014). In Punkt 8.3 werden die Mindestqualitäten für Bauteile wie folgt definiert (Kunze, 2014, p. 45).

- Wände gegen Außenluft 0,2 W/m²K
- Decke und Dachschrägen 0,15 W/m²K gegen Außenluft
- Fenster gegen Außenluft 1,20 W/m²K / Holz- und Kunststoffrahmen
- Fenster gegen Außenluft 1,40 W/mK / metallischer Rahmen
- Fenster gegen Außenluft horizontal 1,70 W/mK

Diese Werte werden für unsere Basisvariante teilweise herangezogen. Lediglich für die Außenwände werden die U-Werte an jene der Außendecken angeglichen.

Qualität der Bauteilhülle der Basisvariante (U-Werte und Gesamtenergiedurchlassgrad):

- Wände und Decken gegen Außenluft: 0,15 W/m²K
- Fenster gegen Außenluft: 1,20 W/m²K, g-Wert: 54%

Fensterflächenanteil: Die Anforderung an die minimalen Belichtungsflächen von Aufenthaltsräumen sind über die Landesbauvorschriften beziehungsweise über die OIB Richtlinie 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz geregelt. (OIB Richtlinie 3, 2011)

In Punkt 9 werden die Anforderungen an die minimalen Belichtungsflächen wie folgt festgelegt.

- 10% Nettoglasfläche der Bodenfläche des dahinter liegenden Raumes
- +1% Nettofläche bei Raumtiefen größer 5 m
- +2% Nettofläche bei horizontalem Überhang von mehr als 50 cm

In Abhängigkeit des Lichttransmissionsgrades wird weiters festgelegt, dass bei einer Verglasung mit einem Lichtimmissionsgrad von kleiner als 0,65 die Lichteintrittsfläche im gleichen Verhältnis der Unterschreitung zu vergrößern ist. (OIB Richtlinie 3, 2011) Unter Einhaltung oben genannter Werte unterschreiten die Verglasungsanteile 20% des Fassadenanteils. Die Praxis zeigt jedoch, gerade in Hinblick auf die Minimierung des Heizwärmebedarfs, einen höheren

Verglasungsanteil der Fassaden. Eine maximale Beschränkung des Verglasungsanteils gibt es in den Bauvorschriften nicht. Es gibt lediglich in unterschiedlichen Normen den Hinweis auf aufwendigere Nachweisführung, wenn die Fensterfläche 30% übersteigt. So wird zum Beispiel in Hinblick der Schallschutzanforderungen an den resultierenden Schallschutz der Fassade die 30% Regel angewandt. In ÖNORM B 8115-2 ist festgelegt, dass bei einem Fensterflächenanteil der Fassaden größer als 30% sich der Anforderungswert an die Einzelöffnung in Abhängigkeit zum Öffnungsgrad ändert.(ÖNORM B 8115-2, 2006, p. 8) Auch in Deutschland wird eine Öffnungsgradgrenze beim Nachweis des sommerlichen Überhitzungsschutzes schon lange herangezogen. Die Anforderungsgrenze für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes beträgt nach DIN 4108-2, je nach Himmelsrichtung, 20% (Ost – Süd – Ost) und 30% (Ost – Nord – West) (DIN 4108-2, 2001, p. 16). Die Praxis zeigt, dass bei einem Verglasungsanteil unter 30%, auch bei leichter Bauweise, keine sommerlichen Überhitzungsprobleme zu erwarten sind. Aus diesem Grund wird die Basisvariante mit 30% Öffnungsanteil der Fassade fixiert.

Schall: Durch den Schalleintrag am Standort werden Einschränkungen hinsichtlich der Verglasungsauswahl notwendig. Laut in Abbildung 18 dargestellter Lärmschutzkarte Österreich (Ministerium für ein lebenswertes Österreich, 2014) beträgt der 24 Stunden Durchschnittswert für den Lärmpegel, der durch die Schiene verursacht wird [L_{den}], an der Nord-Ost Fassade 65 dB – 70 dB. Der Nachtpegel für die gleiche Emissionsquelle beträgt 60 – 65 dB. In den Lärmschutzkarten des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich sind nur die 24 Stundenwerte und die Nachwerte abgebildet. Da keine Tageswerte für die Dimensionierung vorhanden sind, wurden, zur Abschätzung des mindesterforderlichen Schallschutzes der Außenbauteile, die Emissionswerte für die Nacht herangezogen. Da die Büronutzung nur tagsüber stattfindet und die vorhandene Emissionsquelle „Schiene“ erfahrungsgemäß in der Nacht höhere Schallemissionen aufweist, stellt diese Betrachtungsweise den ungünstigeren Fall dar. Für jeden weiteren Planungsschritt muss jedoch der maßgebliche, standortbezogene Außenlärmpegel mittels Messung ermittelt werden.

Abbildung 18: Lärmschutzkarte Österreich (Ministerium für ein lebenswertes Österreich, 2014)

Die laut ÖNORM B 8115 – 2 (ÖNORM B 8115-2, 2006, p. 8) für Bürobau definierte Schallschutzklassen (Klasse H) ergeben einen resultierenden, fassadenbezogenen, mindesterforderlichen Schallschutz von Rw_{res} von 43 dB. Der bewertete

Schalldämmwert für die Fensterbauteile, im eingebauten Zustand, beträgt somit mindestens 38 dB. Da davon auszugehen ist, dass der Fensterflächenanteil größer als 30% der Fassadenfläche sein wird, werden die Schalldämmwerte für den Fensterbauteil größer als 38 dB sein. In der im idealtypologischen Baukörper festgelegten Wärmeschutzklasse (U-Wert der Verglasung mit 1,2 W/m²K) ist es möglich, höhere Schallschutzklassen zu erreichen. Bei näherer Betrachtung könnte sogar ein U-Wert von 1,0 W/m²K die geforderten Schallschutzklassen erreichen.

Der U-Wert der Verglasung am ITBK wird mit 1,2 W/m²K festgelegt. Bei der Optimierung können, in Abhängigkeit der Variantengenauigkeit, noch niedrigere Werte herangezogen werden.

6.2 Basisvariante

Zusammenfassung der Daten für die gewählte Basisvariante:

- Nutzfläche: ca. 3000 m^2
- Raumhöhe: 300 cm netto
- Höchster Gebäudepunkt 14,0 m über GOK
- Baumassendichte min 1,0
- Bauweise offen, 0,6 facher Abstand zur Grundgrenze, bezogen auf die Wandhöhe
- Oberirdische Geschoße max 3
- Typologie: Bürogebäude mit flexibler Arbeitsplatzgestaltung, hohem Tageslichtanteil, zweihüftige Erschließung, Tiefgarage
- Grundwasservorkommen ab ca. 2 m unter GOK
- Schwefelvorkommen in einer Tiefe von ca. 8 – 10 m unter GOK
- Orientierung: NO - SW
- Fensterflächenanteil: 30% an allen Fassaden
- Formfaktor (Charakteristische Länge): 3,13 m

- U-Werte Gebäudehülle: opake Bauteile = 0,15W/m²K, transparente Bauteile = 1,2 W/m²K

- Gesamtenergiedurchlassgrad: 54%

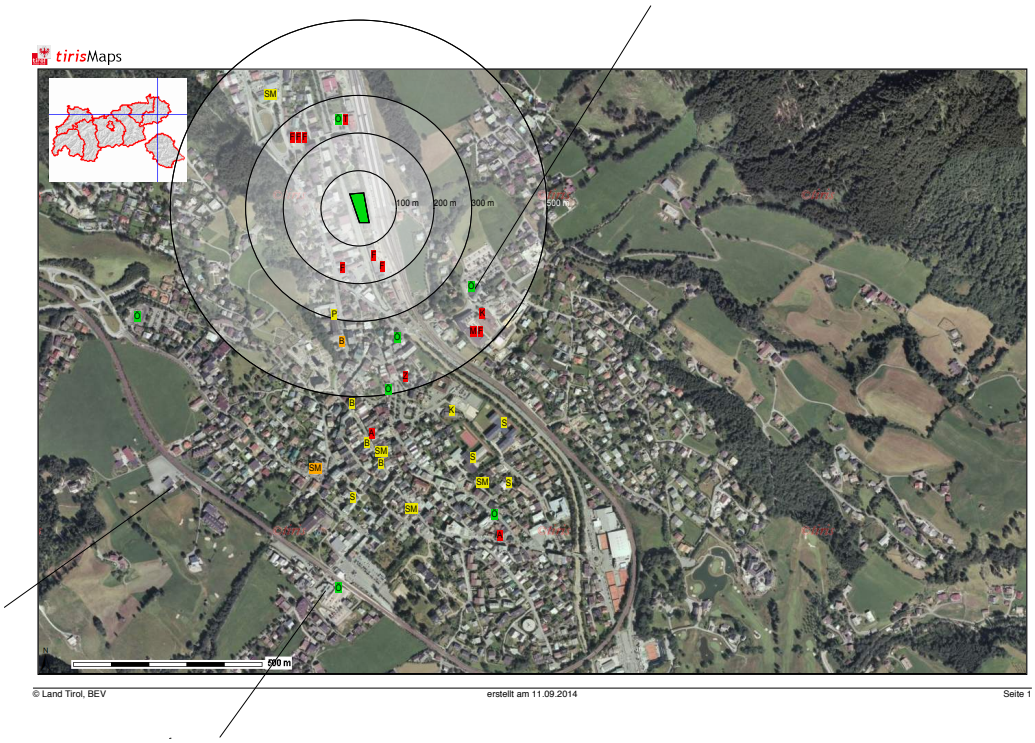


Abbildung 19: Umfeldanalyse / Übersichtskarte mit eigener Ergänzung (Land Tirol, 2014)

Die Umfeldanalyse zeigt 100 m, 200 m, 300 m und 500 m Kreise. Das Baufeld im Zentrum der Kreise ist in Grün dargestellt, die Haltestellen für den öffentlichen Verkehr ebenso. Rot markiert sind Einrichtungen für Gesundheit (Facharzt, praktischer Arzt und Apotheke). Gelb zeigt Lebensmittelmärkte, Post und Banken.

Aus der Analyse wird ersichtlich, dass das Baufeld gut an den öffentlichen Verkehr angeschlossen ist (ÖBB und Bus). Die Entfernung zum nächstgelegenen Supermarkt beträgt ca. 400 m. Ärzte liegen im Umkreis von ca. 200 m – 500 m.

Eine KITA liegt im 400 m Kreis, die Post 300 m entfernt.

Zusammenfassend kann das Grundstück infrastrukturell als gut eingebunden bezeichnet werden.

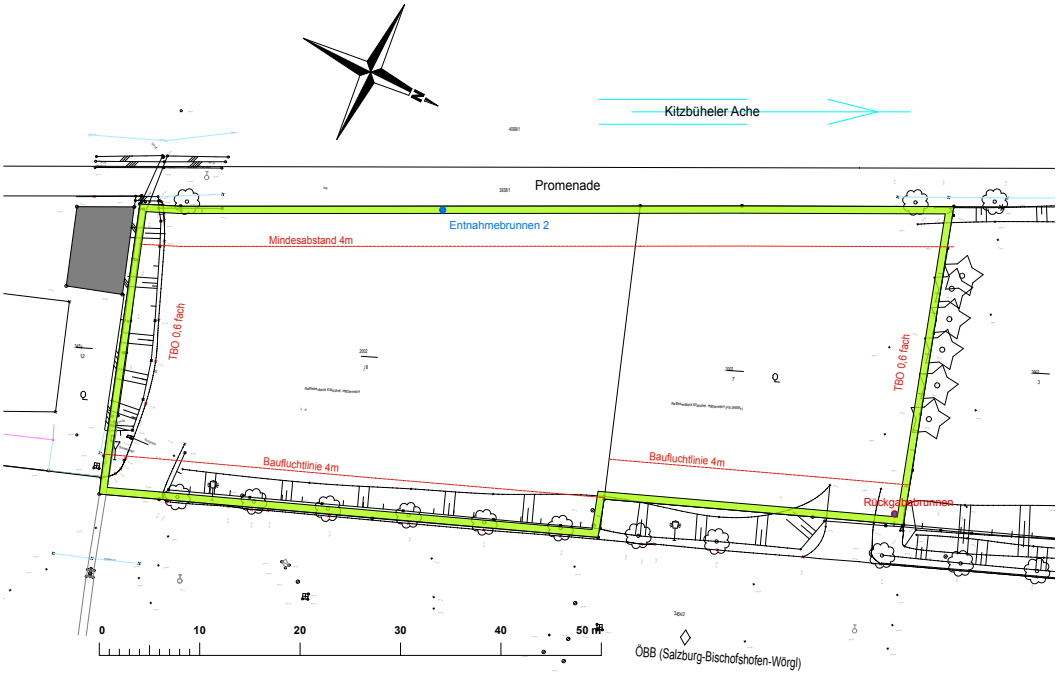


Abbildung 20: Lageplan ZT Rieser/Bauer Kitzbühel eigene Darstellung

Der Lageplan des Vermessungsbüros Rieser/Bauer in Kitzbühel zeigt die rechtlich gesicherten Grundgrenzen und vorgeschrieben Baufluchtlinien. Westlich des Grundstücks werden die Promenade und die Kitzbüheler Ache ersichtlich. Im Osten befindet sich der Achenweg und das ÖBB Gelände (Hauptbahnhof Kitzbühel).

Das nördlich gelegene Grundstück ist mit einer Sonderflächennutzung „Hotel“ gewidmet. Im südlich angrenzenden Grundstück besteht Wohnnutzung mit Bestandsgebäuden.

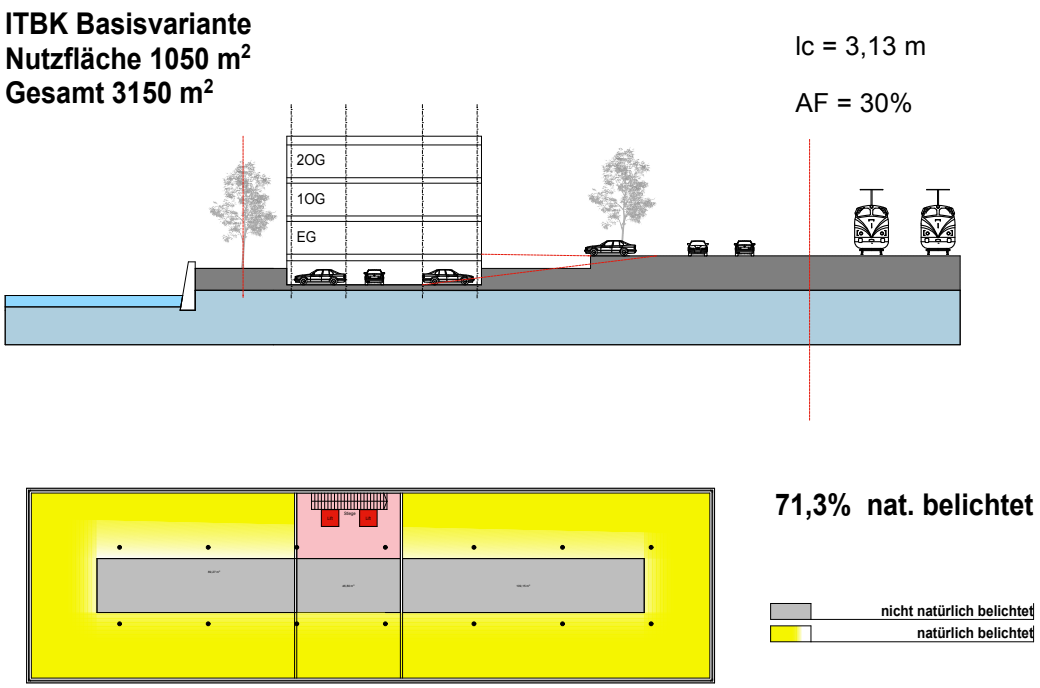
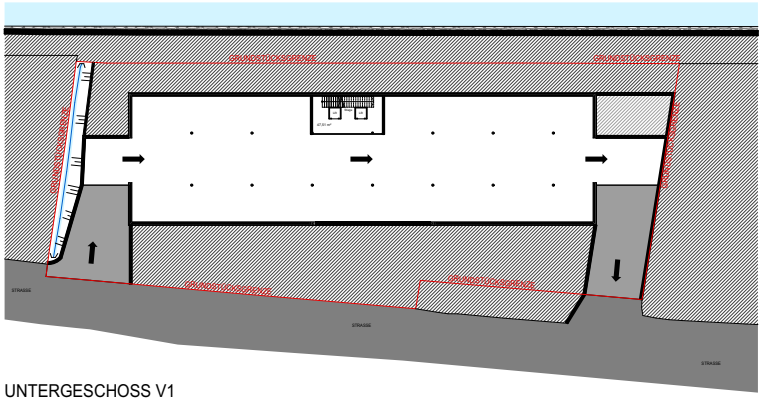


Abbildung 21: Typologie ITBK

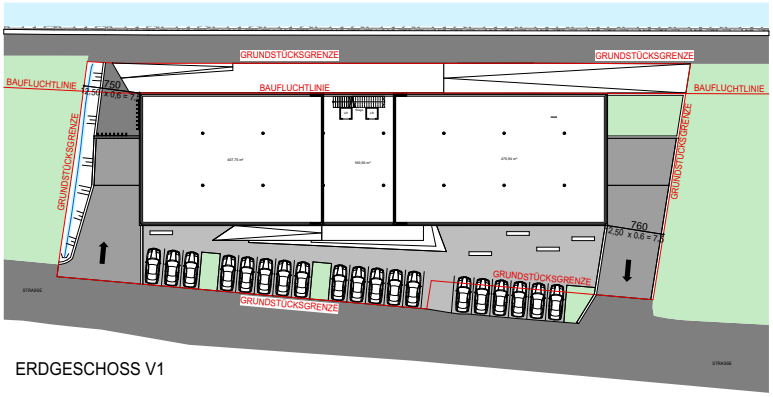
Der ITBK hat eine Länge von 62,9 m, eine Breite von 17,8 m und eine Höhe von 11,4 m.

Wie im Schnitt ersichtlich, befindet sich der Grundwasserspiegel ca. 50 cm unter dem Niveau der Tiefgarage. So kann auf eine kostenintensive Bauwasserhaltung verzichtet werden. Durch den Verzicht einer zweigeschossigen Tiefgarage, wird auch die, in ca. 8 m Tiefe liegende Schwefelschicht nicht berührt und es sind keine besonderen Auflagen zu beachten (keine Explosionsgefahr).

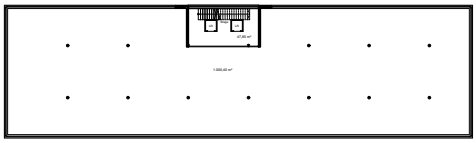
Basisvariante ITBK
Nutzfläche 1050 m²
Geamt 3150 m²



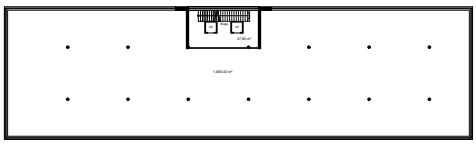
UNTERGESCHOSS V1



ERDGESCHOSS V1



1. OBERGESCHOSS V1



2. OBERGESCHOSS V1

Abbildung 22: Grundrisse ITBK

Ausgehend vom statischen Raster der Tiefgarage (Stellplätze und Fahrbahnbreite) wird der ITBK in einfacher Addition in den darüber liegenden Geschossen fortgesetzt. Der Verglasungsanteil wird mit 30% der Fassade fixiert.

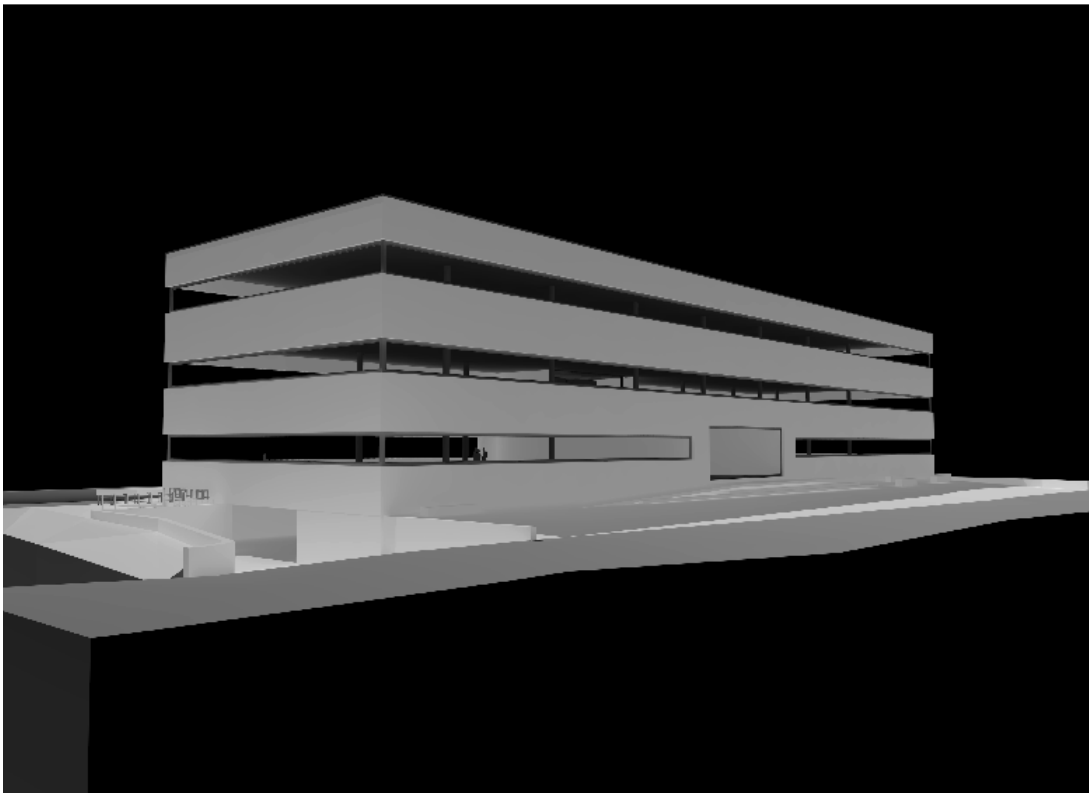


Abbildung 23: Perspektive ITBK Standort Österreich, Tirol, Kitzbühel, Achenweg Richtung Nord West

Der ITBK dient als virtuelles Versuchsobjekt und wird im IE architektonisch verformt. Aussagen zur Bauphysik und der Behaglichkeit werden als Grundlage für die Workshops am ITBK untersucht und haben deshalb direkte Aussagekraft für den daraus folgenden, integralen Entwurf am konkreten Standort.

7 VORWORT ZU DEN ARBEITSPAKETEN

In den Arbeitspakten werden in Einzelarbeit folgende Themen untersucht.

- Arbeitspaket 01: Behaglichkeit und Technik [Kapitel 8]
- Arbeitspaket 02: Energie und Bauphysik [Kapitel 9]
- Arbeitspaket 03: Raum [Kapitel 10]

In den einzelnen Arbeitspaketen werden Methoden gesucht und entwickelt, um die gemeinsame Forschungsfrage im integralen Entwurf beantworten zu können.

Im Arbeitspaket 01 werden die Kriterien der Behaglichkeit untersucht und jene Kriterien selektiert, die durch den Entwurfsprozess beeinflusst werden können. Ebenso werden technische Systeme und deren Leistungsfähigkeit, unter Berücksichtigung des ITBK, festgelegt. Die gefundenen Größen wirken als Grenzwerte in das Arbeitspaket 02 hinein.

Im Arbeitspaket 02 wurde eine statistische Methode angewandt (Design of Experiments DoE), welche die energetischen Auswirkungen von architektonischen Handlungen, ausgehend vom ITBK, rasch bewerten kann. Dies ermöglicht eine unmittelbare, fundierte Entscheidungsfindung im integralen Entwurf.

Im Arbeitspaket 03 werden architektonische Handlungen und bauliche Einflussgrößen, mit besonderem Fokus auf die Anpassungsfähigkeit, untersucht. Der Wirkungsbereich einzelner Größen wird den Qualitäten zugeordnet, die im integralen Entwurf berücksichtigt werden sollten. Die gefundene Methode ermöglicht im IE auch eine umfassende Berücksichtigung jener Kriterien, die mit der Anpassungsfähigkeit verknüpft sind.

8 BEHAGLICHKEITSKRITERIEN UND TECHNISCHE SYSTEME FÜR DEN ENTWURF

In der gemeinsamen Arbeit wurde folgende Hypothese aufgestellt:

„Es ist möglich, durch ausgewählte Entwurfskriterien ein Bürogebäude zu errichten, welches hohen Behaglichkeitskriterien entspricht und ohne technische Klimatisierung betrieben werden kann."

Die zentrale Forschungsfrage des Arbeitspaketes Behaglichkeitskriterien und technische Systeme für den Entwurf:

Finden von Behaglichkeitskriterien und Grenzwerten für die Kühlung von Gebäuden, die auf den architektonischen Entwurf wirken.

Der Begriff der „technischen Klimatisierung" wird wie folgt definiert (eigene Definition):

Eine technische Klimatisierung liegt dann vor, wenn Kälte mittels eines Wärmepumpenprozesses erzeugt wird. Technische Systeme sind nur dann zu berücksichtigen, wenn die Primärenergie aus lokal verfügbaren Ressourcen stammt. Antriebsenergien für Pumpen und Ventilatoren, die für den Transport von Energie aus natürlichen Wärmesenken notwendig sind, werden zugelassen.

8.1 Einleitung und Motivation

Als ein integraler Bestandteil der drei definierten Arbeitspakete [AP] (AP 01: Behaglichkeit und Technik / AP 02: Energie und Bauphysik / AP 03: Raum) bilden die Kriterien der Behaglichkeit und die eingesetzten technischen Systeme eines Gebäudes Rahmenbedingungen, die in den integralen Entwurf [IE] einfließen.

Die Parameter der Behaglichkeit und die eingesetzten technischen Systeme werden oft zu spät im Entwurf berücksichtigt. Daher müssen meist die technischen Systeme in späteren Planungsschritten Versäumnisse des Entwurfs „ausbügeln". Es ist hinlänglich bekannt, dass am Anfang eines Projektes getroffene Entscheidungen große Auswirkungen auf den weiteren Projektverlauf haben. Den eingeschlagenen Weg in einer späteren Planungsphase wieder zu revidieren, benötigt viel Zeit und auch Geld.

Der integrale Entwurf zeigt sich als kreativer und ungeordneter Prozess (siehe Kapitel 4.3), der in eine Entscheidungsfindung übergeleitet werden muss. Dieser Prozess verlangt nach einer Methode, die möglichst rasch eine fundierte Entscheidungsfindung herbeiführt.

Auch modernste Methoden, wie die BIM – Technologie (Building Information Modeling), führen nicht zum gewünschten Erfolg, wie das Forschungsprojekt „BIM sustain“ gezeigt hat. Hier werden vor allem die Inkompatibilitäten während des Datentransfers als großes Hemmnis beschrieben (Oberwinter, Kovacic, & Suppin, 2013, p. 49). Genau dieses Problem, welches eine rasche Entscheidungsfindung hemmt, gilt es zu lösen.

Dieser Teil der Arbeit beschäftigt sich mit den Parametern der Behaglichkeit und denen der technischen Systeme, die den Kühlbedarf für Bürogebäude beeinflussen. Um im integralen Planungsteam die architektonische Handlung einordnen zu können, wird untersucht, welche bauphysikalischen Größen, die im üblichen Entwurfsprozess durch Rahmenbedingungen der Bauordnungen definiert werden, durch Behaglichkeitsparameter weiter eingeschränkt werden.

Es wird untersucht, welche technischen Systeme den Grenzwert der maximal zulässigen Kühllast des Gebäudes erhöhen, ohne eine technische Klimatisierung errichten zu müssen. Dies bedeutet, dass die, durch die Bauweise definierten Grenzen der Sommertauglichkeit, durch technische Systeme weiter angehoben werden können.

8.2 Beschreibung der Methodik

Für den Bereich der Behaglichkeit werden in einem ersten Schritt die Größen der Behaglichkeit durch Literaturrecherche gesucht. In einem zweiten Schritt die Größen selektiert, die direkt auf bauphysikalischen Größen des Entwurfs wirken. Sind diese Größen gefunden, werden, mittels einer dynamischen Simulation, Grenzwerte bzw. Empfehlungen für den integralen Entwurf ermittelt. Diese Grenzwerte werden an das Arbeitspaket 02 „Energie und Bauphysik“ übergeben und über die Berechnung im integralen Entwurf berücksichtigt.

Für die Auswahl der technischen Systeme wird folgende Methodik angewendet: es werden die Wärmesenken (Kältequellen) gesucht, die vor Ort verfügbar sind. Als zweiter Schritt wird das Potenzial daraufhin untersucht, ob diese Wärmesenken für den Einsatz von „direct cooling“ geeignet sind. Dies ist Voraussetzung um ohne Wärmepumpen, mittels einer Bauteilkühlung, zu kühlen. In einem letzten Schritt wird, mit Hilfe einer dynamischen Simulation, der Grenzwert für den maximal zulässigen Kältebedarf für das Gebäude mit „Bauteilkühlung“ ermittelt. Als zweiter Grenzwert wird der maximal zulässige Kühlbedarf für die „Kühlung durch Lüftung“ ermittelt.

Die Ermittlung der Grenzwerte erfolgt am idealtypischen Baukörper. Die Ergebnisse werden auch an das Arbeitspaket 02 „Energie und Bauphysik“ übergeben und finden so Eingang in den integralen Entwurf.

Durch die Übergabe der Ergebnisse an das Arbeitspaket 02 werden die Parameter der Behaglichkeit und der technischen Systeme im entwickelten Rechenmodell (DOE-Methode) des Arbeitspaketes 02 berücksichtigt und werden so umgehend und direkt im integralen Entwurf beachtet.

Die Simulation wurde mit dem Simulationstool IDA-ICE durchgeführt. IDA Indoor Climate and Energy Expert edition Stand-alone Version: 4.6.2 Datum: 2015-01-12. EQUA Simulation AB, Stockholm, Sweden. Das Tool wurde gewählt, da folgende Untersuchungen in einem Modell möglich sind: effiziente, mechanische Belüftung, Betonkernaktivierung, sowie Erstellung komplexer Regelungsstrategien.

8.3 Anwendung der Methodik

Die Auswahl der relevanten Größen erfolgt über Literaturrecherche, unter Einbeziehung der normativen Hinweise sowie durch die Eingangsparameter der Rechenmodelle des sommerlichen Wärmeschutzes ÖNORM B 8110-3 Wärmeschutz im Hochbau - Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse (ÖNORM B 8110-3, 2012) und der Berechnung des Kühlbedarfs ÖNORM B 8110-6 Wärmeschutz im Hochbau - Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren - Heizwärmebedarf und Kühlbedarf - Nationale Festlegungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN ISO 13790 (ÖNORM B 8110-6, 2014) sowie über die Eingangsparameter dynamischer Simulationsprogramme.

8.3.1 Parameter der Behaglichkeit

Allgemeines zur Behaglichkeit

Parameter der Behaglichkeit finden sich in allen Bereichen, die mit unseren Sinnen wahrgenommen werden können sowie in Bereichen, die uns durch längere Einwirkung beeinflussen. Unser Behaglichkeitsempfinden ist maßgeblich davon abhängig welche Fähigkeiten wir haben, Reize wahrzunehmen.

Aristoteles mit seinem einflussreichen Werk "De Anima" (Aristotles, 350BC) definierte 5 Sinne: Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Fühlen. Er geht in seinen Ansichten so weit, dass sich das Denken alleine nur durch die Sinneswahrnehmung ableiten lässt.

All unsere Sinne wirken auf unser Empfinden und beeinflussen, ob wir uns behaglich oder unbehaglich fühlen. Auch die Dauer eines Reizes bringt eine Veränderung in unserer Wahrnehmung und beeinflusst unser Behaglichkeitsempfinden. Wer kennt es nicht, nach einer langen Sitzung und einer kurzen Pause wieder in den schlecht gelüfteten Meetingraum zurückzukehren und dann plötzlich zu merken, dass die Luft furchtbar schlecht war und ist.

Es zeigt sich, dass für eine umfassende Bewertung und Kategorisierung der Behaglichkeit sehr viele, unterschiedlichste Größen berücksichtigt werden müssen. Auch spielen ethnische und nationale Unterschiede und Gewohnheiten eine Rolle, ob sich jemand „wohl fühlt“ oder nicht.

Parameter Pool der Behaglichkeit

Kriterien der lokalen, thermischen Behaglichkeit werden in der ÖNORM EN ISO 7730 (ÖNORM EN ISO 7730, 2006) sowie in der ÖNORM EN 15251 (ÖNORM EN 15251, 2007) definiert und bilden die Basis der Kriterienauswahl und Bewertung. Für die optische Behaglichkeit wird die ÖNORM EN 12464-1 (ÖNORM EN 12464-1, 2011) als Basis für die Kriterienauswahl herangezogen. Für die akustische Behaglichkeit wird die ÖNORM B 8115-3 (ÖNORM B 8115-3, 2005) für die Auswahl herangezogen.

Aus den folgenden Kriterien der Behaglichkeit werden diejenigen isoliert, welche sowohl den kreativen Entwurfsprozess beeinflussen als auch durch den Entwurf beeinflusst werden. Der Pool, der zur Verfügung stehenden Kriterien, wird im Folgenden aufgeführt.

Thermische Behaglichkeit

- operative Temperatur
- Lufttemperatur
- Luftgeschwindigkeit
- Luftfeuchte
- Luftqualität
- Oberflächentemperaturen
- Temperaturverteilung im Raum

Optische Behaglichkeit

- Kunstlicht / Tageslicht
- Blendung
- Beleuchtungsstärken
- Gleichmäßigkeit der Beleuchtung

Akustische Behaglichkeit

- Sprachverständlichkeit
- Schalldruckpegel
- Hallzeiten

Die Behaglichkeit stellt einen Schwerpunkt in der subjektiven Beurteilung des Nutzers von Gebäuden für einen gelungen Entwurf dar. Dabei muss immer beachtet werden, dass die Behaglichkeit durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Rahmen- und Randbedingungen beeinflusst werden kann.

Die in diesem Kapitel betrachteten Kriterien beschränken sich auf thermische, optische und die akustische Behaglichkeit.

Behaglichkeitsparameter wie Zugerscheinungen, Farben und elektrische Felder usw. werden nicht berücksichtigt, da diese nicht direkt durch den IE beeinflusst werden.

Wechselbeziehungen zu anderen Einflussgrößen wie Alter, Bekleidung, Aktivitätsgrad, physische und psychische Verfassung, Arbeitsplatzgestaltungen usw., die wesentlich zu einer geänderten Wahrnehmung und Einschätzung der Umgebungsfaktoren beitragen, werden nicht untersucht. Für die Quantifizierung der thermischen Behaglichkeit können Berechnungen gem. ÖNORM EN ISO 7730 (ÖNORM EN ISO 7730, 2006), das vorausgesagte mittlere Votum PMV (predicted Mean Vote) und der vorausgesagte Prozentsatz der Unzufriedenen PPD (predicted percentage dissatisfied) herangezogen werden.

Um die relevanten Größen der Behaglichkeitsparameter für das Arbeitspaket 02 zu finden, können die Bewertungen gem. ÖNORM EN ISO 7730 nicht angewendet werden, da in den Berechnungen Faktoren wie Luftgeschwindigkeit, Bekleidungsfaktoren und Energieumsatz keine energetisch parametrierbaren und durch den Entwurfsprozess beeinflussbaren Größen abbilden (siehe dazu auch 8.3.1.1 ff).

Das PMV wird mit den Gleichungen (1) bis (4) berechnet:

$$\mathrm{PMV} = \left[0{,}303 \cdot \exp(-0{,}036 \cdot M) + 0{,}028\right]$$

$$\left\{\begin{array}{l} (M - W) - 3{,}05 \times 10^{-3}\left[5733 - 6{,}99(M - W) - p_{\mathrm{a}}\right] - 0{,}42\left[(M - W) - 58{,}15\right] \\ -1{,}7 \times 10^{-5} M (5867 - p_{\mathrm{a}}) - 0{,}0014 M (34 - t_{\mathrm{a}}) \\ -3{,}96 \times 10^{-8} f_{\mathrm{cl}} \left[(t_{\mathrm{cl}} + 273)^4 - (\bar{t}_{\mathrm{r}} + 273)^4\right] - f_{\mathrm{cl}} h_{\mathrm{c}} (t_{\mathrm{cl}} - t_{\mathrm{a}}) \end{array}\right\} \quad (1)$$

$$t_{\mathrm{cl}} = 35{,}7 - 0{,}028(M - W) - I_{\mathrm{cl}} \left\{3{,}96 \times 10^{-8} f_{\mathrm{cl}} \left[(t_{\mathrm{cl}} + 273)^4 - (\bar{t}_{\mathrm{r}} + 273)^4\right] + f_{\mathrm{c}} \cdot h_{\mathrm{c}} (t_{\mathrm{cl}} - t_{\mathrm{a}})\right\} \quad (2)$$

$$h_{\mathrm{c}} = \begin{cases} 2{,}38 \cdot |t_{\mathrm{cl}} - t_a|^{0{,}25} & \text{für} \quad 2{,}38 \cdot |t_{\mathrm{cl}} - t_a|^{0{,}25} \text{ U } 12{,}1 \cdot \sqrt{v_{\mathrm{ar}}} \\ 12{,}1 \cdot \sqrt{v_{\mathrm{ar}}} & \text{für} \quad 2{,}38 \cdot |t_{\mathrm{cl}} - t_a|^{0{,}25} \text{ I } 12{,}1 \cdot \sqrt{v_{\mathrm{ar}}} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{\mathrm{cl}} = \begin{cases} 1{,}00 + 1{,}290 I_{\mathrm{cl}} & \text{für} \quad I_{\mathrm{cl}} \le 0{,}078 \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K/W} \\ 1{,}05 + 0{,}645 I_{\mathrm{cl}} & \text{für} \quad I_{\mathrm{cl}} \text{ U } 0{,}078 \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K/W} \end{cases} \quad (4)$$

EN ISO 7730:2006 (D)

Dabei ist

M	der Energieumsatz, in Watt durch Quadratmeter ($W \cdot m^{-2}$);
W	die wirksame mechanische Leistung, in Watt durch Quadratmeter ($W \cdot m^{-2}$);
I_{cl}	die Bekleidungsisolation, in Quadratmeter Kelvin durch Quadratmeter ($m^2 \cdot K/W$);
f_{cl}	der Bekleidungsflächenfaktor;
t_{a}	die Lufttemperatur, in Grad Celsius (°C);
$\bar{t}_{\mathrm{r}}$	die mittlere Strahlungstemperatur, in Grad Celsius (°C);
v_{ar}	die relative Luftgeschwindigkeit, in Meter durch Sekunde (m/s);
p_{a}	der Wasserdampfpartialdruck, in Pascal (Pa);
h_{c}	der konvektive Wärmeübergangskoeffizient, in Watt durch Quadratmeter Kelvin ($W \cdot m^{-2} K^{-1}$);
t_{cl}	die Oberflächentemperatur der Bekleidung, in Grad Celsius (°C).

ANMERKUNG 1 Metabolische Einheit = 1 met = 58,2 W/m^2; 1 Kleidungseinheit = 1 clo = 0,155 $m^2 \cdot$ °C/W.

Das PMV darf für verschiedene Kombinationen von Energieumsatz, Bekleidungsisolation, Lufttemperatur, mittlerer Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und Luftfeuchte (siehe ISO 7726) berechnet werden. Die Gleichungen für t_{cl} und h_{c} dürfen iterativ gelöst werden.

Abbildung 24: Auszug (ÖNORM EN ISO 7730, 2006)

Die Abbildung 24 zeigt die Größen, die in die Berechnung des PMV eingehen. Weitere Einschränkungen sind, dass die, für die Bewertung heranzuziehenden Richtwerte im Anhang E der EN ISO 7730 für PMV, nur für eine relative Luftfeuchte von 50% anzuwenden sind.

Für die Einordnung der Behaglichkeitskriterien wird daher die Bewertung bei den einzelnen Kriterien durchgeführt (siehe 8.3.1.1 ff) und die Relevanz für den Entwurf und der Einfluss auf die bauphysikalischen Größen bestimmt.

8.3.1.1 Thermische Behaglichkeit

Die durch den Entwurf beeinflussbaren Größen der thermischen Behaglichkeit werden selektiert. Die Größen, welche entweder durch technische Einrichtungen oder durch die Geometrie beeinflusst und bestimmt werden, bleiben für die Bewertung außen vor. Die Betrachtung beschränkt sich auf die warme Jahreszeit. Es werden diejenigen Parameter der Behaglichkeit als Einflussgrößen selektiert, die auf die bauphysikalische Größen einschränkend wirken.

- **Luftgeschwindigkeit**

Die in Räumen auftretende Luftgeschwindigkeit wird durch das verwendete Belüftungssystem und die Anordnung der Luftauslässe beeinflusst. Ebenso können Lüftungsstrategien mit Fenstern oder Lüftungsklappen in Fassaden die auftretenden Luftgeschwindigkeiten beeinflussen. Die Luftgeschwindigkeit ist daher keine Einflussgröße, welche auf die bauphysikalischen Größen wirkt.

- **Luftfeuchte**

Die Luftfeuchte wird durch Befeuchtungs- und Entfeuchtungsanlagen bestimmt sowie durch die internen Feuchtequellen und externen, mikroklimatischen sowie regionalen Gegebenheiten. Durch die gewählten Luftwechselraten über die mechanische Lüftung und/oder durch manuelles oder automatisiertes Fensterlüften, kann die Luftfeuchte stark beeinflusst werden. Die Luftfeuchte ist daher keine Einflussgröße, die auf die bauphysikalischen Größen wirkt.

- **Luftqualität**

Die Luftqualität wird durch das verwendete Lüftungssystem, die Dichtheit der Gebäudehülle und die Belegungsdichte in den Räumen bestimmt. Die Luftqualität ist daher keine Einflussgröße, die auf die bauphysikalischen Größen wirkt.

- **Temperaturverteilung im Raum**

Die Temperaturverteilung im Raum wird über das verwendete Kühlsystem und die Raumgeometrie definiert. Die Temperaturverteilung ist daher keine Einflussgröße, die auf die bauphysikalischen Größen wirkt.

- **operative Temperatur**

Die operative Temperatur stellt eine wesentliche Größe der thermischen Behaglichkeit dar. Die operative Temperatur ist der Mittelwert aus Lufttemperatur und Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen. Diese Definition gilt für Luftgeschwindigkeiten < 0,2m/s.

Operative Temperatur = a x Oberflächentemperatur + (1 – a) x Lufttemperatur

wobei

a = 0,5 für Luftgeschwindigkeiten v < 0,2 m/s,

a = 0,6 für v = 0,2 ... 0,6 m/s,

a = 0,7 für v = 0,6 ... 1,0 m/s.

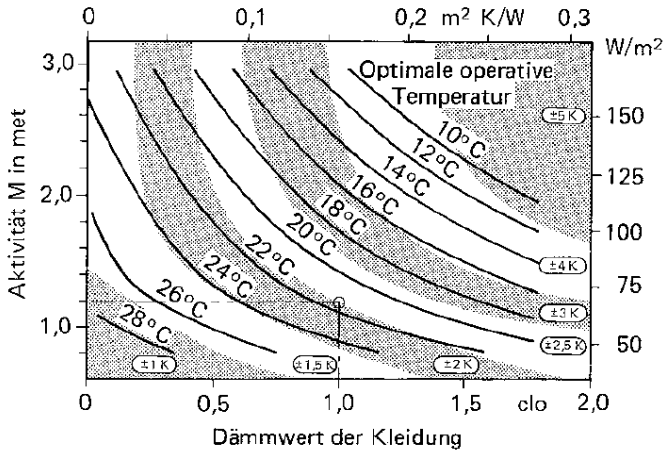
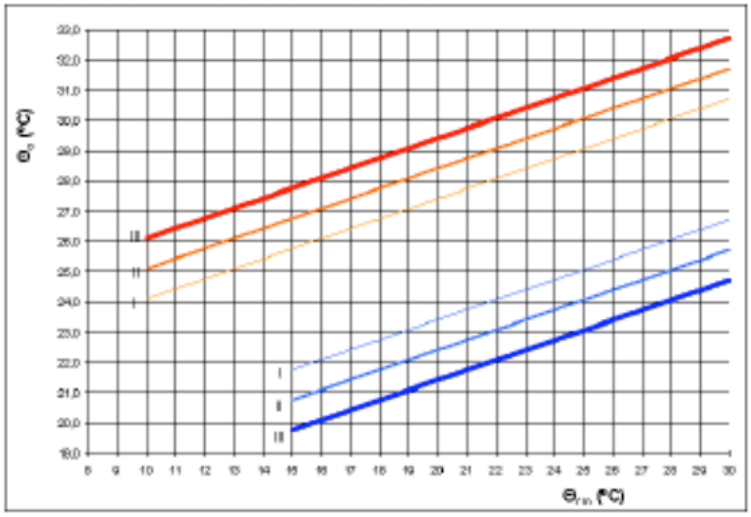


Abbildung 25: Optimale operative Temperatur für PMV = 0 abhängig von Aktivität und Kleidung (nach ÖNORM EN ISO 7730) (Recknagel, Sprenger, & Schramek, 2009, p. 119)

Die Abbildung 25 zeigt die Wirkung der Kleidung und des Aktivitätsgrades auf die optimale operative Temperatur. Diese Zusammenhänge werden in der ÖNORM EN ISO 7730 festgelegt. Dieses Verfahren wird von der ÖNORM EN 15251 übernommen. Die Simulationsergebnisse für die Ermittlung der maximal zulässigen Kühllast werden über diese Größe bestimmt.

Die operative Temperatur stellt, für die Bewertung der Kühlstrategien, die zulässigen Grenzen dar. Steigt die operative Temperatur über eine zulässige Grenze, wird die thermische Behaglichkeit nicht eingehalten.

Um die Grenzen der Behaglichkeit festzustellen, kommt die ÖNORM EN 15251 (ÖNORM EN 15251, 2007) zur Anwendung.



Legende

θ_{rm} gleitender Mittelwert der Außentemperatur, in °C

θ_o operative Temperatur, in °C

Bild A.1 — Auslegungswerte für operative Innentemperatur von Gebäuden ohne maschinelle Kühlanlage, dargestellt als Funktion des exponentiell gewichteten gleitenden Mittelwertes der Außentemperatur

Abbildung 26: zulässige operative Temperaturen (ÖNORM EN 15251, 2007, p. 27)

Die Abbildung 26 zeigt das in der Norm definierte Temperaturfeld, welches die zulässigen Temperaturen, in Abhängigkeit zur Außentemperatur, informativ festlegt (Kategoriendefinition gem. Anhang A). In der Norm wird darüber hinaus unterschieden, ob ein Gebäude mit einer Klimatisierung ausgestattet ist oder nicht (maschinell gekühlte Gebäude). Bei nicht klimatisierten Gebäuden sind so normativ höhere, operative Innraumtemperaturen möglich, ohne die Behaglichkeitsgrenzen zu verlassen.

Für die Bewertung und Nachweisführung der Einhaltung der Behaglichkeitsparameter werden die empfohlenen Innentemperaturen für den Entwurf, ohne maschinelle Kühlanlagen, entsprechend dem Anhang A.2 der ÖNORM EN 15251, herangezogen. Die Kategorie II und die damit verbundenen Temperaturgrenzwerte werden als einzuhaltende Kategorie festgelegt.

Die operative Temperatur ist daher eine wesentliche Einflussgröße, welche auf die bauphysikalischen Größen wirkt.

- **Lufttemperatur**

Die Lufttemperatur ist ein Parameter, der als Teilaspekt der operativen Temperatur berücksichtigt wird. Kühle Luft zum Atmen (in Räumen mit warmen Wänden) empfinden die meisten Menschen als angenehm. Warme Luft in Räumen mit kalten Wänden wirkt auf viele Menschen eher als verbrauchte Luft und unangenehm.

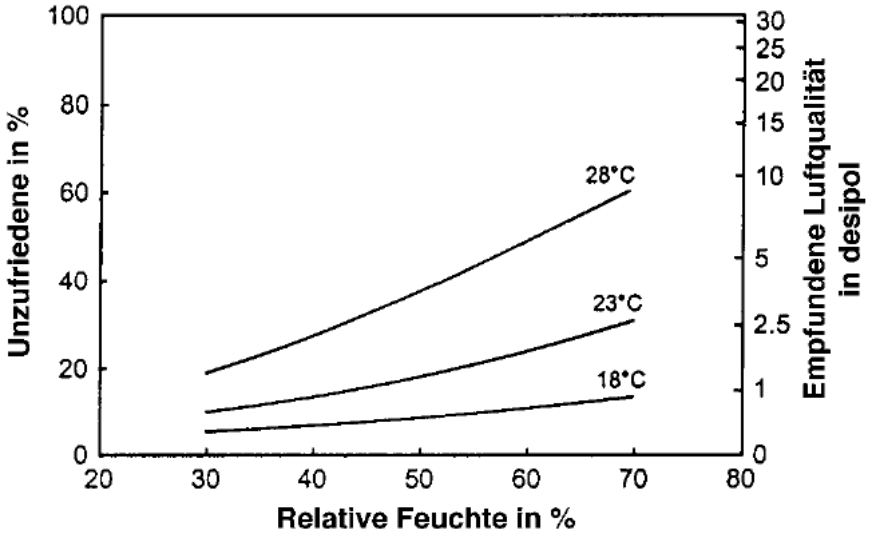


Abbildung 27: Einfluss von Temperatur und Feuchte auf die empfundene Qualität reiner Luft (Recknagel et al., 2009)

Die Abbildung 27 zeigt den Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur und der empfundenen Luftqualität und zeigt die Unzufriedenen in %. Je kühler die Luft, desto höher wird die Luftqualität empfunden.

Ob die Raumluft oder die Wandoberflächen zum Heizen verwendet werden, entscheidet somit auch über das Behaglichkeitsempfinden in einem Raum.

Als Einzelparameter wird dieser Wert nicht übergeben, wirkt aber als Teil der operativen Temperatur als wesentliche Größe auf die bauphysikalischen Größen.

- **Oberflächentemperaturen**

Die Oberflächentemperaturen werden durch die U-Werte der raumumschließenden Flächen und über die Temperaturdifferenzen zwischen Innen und Außen oder der aneinander angrenzenden Räumen bestimmt. Die U-Werte der Bauteile sind durch die Mindestanforderungen der Bauordnung festgelegt. Die U-Werte für Fenster,

jeweils in „NichtWohngebäuden“ (NWG) gegen Außenluft, werden mit einem Wert von maximal 1,7 W/m²K gem. OIB Richtlinie 6 (OIB Richtlinie 6, 2011, p. 6) angegeben und stellen den Bauteil mit den schlechtesten thermischen Eigenschaften dar. Gerade bei großflächigen Verglasungen ist zu vermuten, dass es zu Einschränkungen der Behaglichkeit kommt.

Dieser angegebene Wert sollte in Hinblick auf die Einhaltung der Behaglichkeit untersucht werden.

8.3.1.2 Optische Behaglichkeit

> *“The first American house built in war-time Java completely bewildered natives there. Instead of building walls of local bamboo, which is closely spaced to keep out rain while admitting light and air, the white man put up solid walls to keep out light and air, and then cut windows in the walls to admit the light and air. Next, he put glass panes in the windows to admit light but keep out the air. Then, he covered the panes with blinds and curtains to keep out the light too.”*
> (Beadle, 2001, p. 584)

Das einleitende Zitat liefert uns einen amüsanten Zugang zu dem Dilemma unseres regionalen Klimas und den damit verbundenen Notwendigkeiten, unsere Bedürfnisse nach Behaglichkeit zu befriedigen. Aber nicht nur die Behaglichkeit, sondern auch der Schutz des persönlichen Umfeldes vor Fremden, Regen und Unwettern, aber auch Prestige und Geltungsbedürfnisse, formen die Art und Weise unserer Bauweisen.

Nachdem wir nun alles getan haben, um das Licht auszusperren, welches wir uns in unserem Lebensumfeld wünschen und auch brauchen, ist den Fenstern großes Gewicht für unsere Behaglichkeit beizumessen. Die Auswirkungen auf die optische Behaglichkeit und die Wirkung auf unser Wohlbefinden sind zu bewerten.

Unter optischer Behaglichkeit (oder visuellem Komfort) werden oft folgende Parameter verstanden:

Blendung, übermäßige Leuchtdichten oder Leuchtdichte Verhältnisse im Gesichtsfeld, direkte Blendung, Lichtquellen im Gesichtsfeld, reflektierte Blendung -> Reflexionen einer Lichtquelle auf einer Fläche, Beleuchtungsstärken, Gleichmäßigkeit der Beleuchtung

Folgende Faktoren bestimmen die vorgenannten Parameter:

Leuchtdichte der Quelle, Größe der Quelle, Position der Quelle, Adaptionsstatus des Auges.

Die vorgenannten Einflussfaktoren gelten ebenso auch für das künstlich erzeugte Licht durch Glühbirnen, LED usw..

Durch das Design der Gebäudehülle wird der Bedarf an künstlicher Beleuchtung bestimmt. Dass damit ein hohes Risiko einer Blendung durch künstliche Beleuchtung einhergeht, ist ein Aspekt, dem durch ein entsprechendes Kunstlichtdesign entgegen gewirkt werden kann.

Die künstliche Beleuchtung selbst trägt aber wesentlich zu den auftretenden, internen Lasten eines Gebäudes bei und beeinflusst so die Tauglichkeit des Entwurfes.

Qualität des Lichtes

Kunstlicht unterscheidet sich in seiner Qualität wesentlich von natürlichem Sonnenlicht. Der Qualitätsunterschied kann durch das ausgesendete Spektrum des Lichtes quantifiziert werden.

Je nach durchgelassenem Spektrum des Lichtes in einen Raum und je nach verwendeten Leuchtmitteln für die Kunstlichtversorgung, können sich unterschiedliche Wirkungen auf den menschlichen Organismus zeigen. Über das sichtbare Spektrum hinaus ist z.B. der UVB Anteil des Lichtes für die Bildung von Vitamin D3 (Hormon Cholecalciferol) mit verantwortlich (J. Haas, 2006, p. 23).

Die Forschung im Bereich der nicht visuellen Wirkungen im sichtbaren Spektrum, ist ein junges Forschungsgebiet und wurde erst durch die Entdeckung eines dritten Rezeptors, den ipRGC-Zellen (1991 Russell G. Foster, Ignacio Provencio), vermehrt durchgeführt. Aktuell laufen Studien, die die „Nicht-visuelle Lichtwirkungen“ näher untersuchen, wie z.B. NiviL (Laufzeit: 01.12.2014 - 30.11.2017) der Technischen Universität Berlin. Diese Studien werden hoffentlich in naher Zukunft eine bessere und breitere Datenbasis bieten, um die Einflussparameter der „Nicht-visuellen“ Lichtwirkungen besser einordnen zu können. Erste Wirkungen wurden z.B. auf die Melatoninproduktion, subjektive Ermüdung, Herzschlagrate und die Körperkerntemperatur nachgewiesen. Die Melatonin-Suppression führt zu einer Verminderung der Melatoninsynthese. *„Melatonin ist für den menschlichen*

Organismus, unter anderem wegen seiner Wirkung als Antioxidant, von großer physiologischer Bedeutung“ (Schulmeister & Weber, 2004, p. 810).

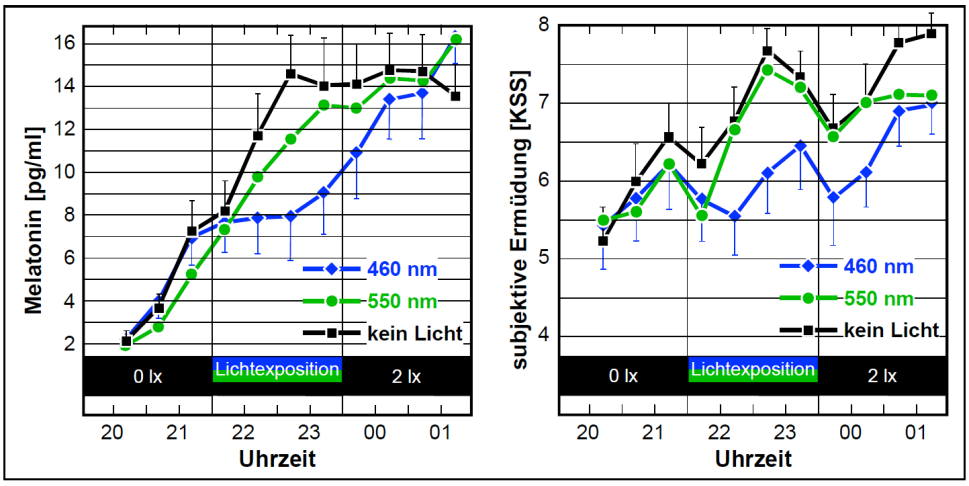


Abbildung 28: Melatonin-Suppression und subjektive Ermüdung in Abhängigkeit des Lichtspektrums (Schierz, 2006, p. 4)

Die Abbildung 28 zeigt in der linken Grafik den Einfluss des Lichtspektrums auf die Melatonin-Suppression deutlich. Das blaue Licht wirkt stärker auf den Melatoningehalt als grünes Licht.

In der rechten Grafik zeigt sich der Einfluss auf die subjektive Ermüdung. Das blaue Licht wirkt aktivierend, das grüne Licht wesentlich weniger.

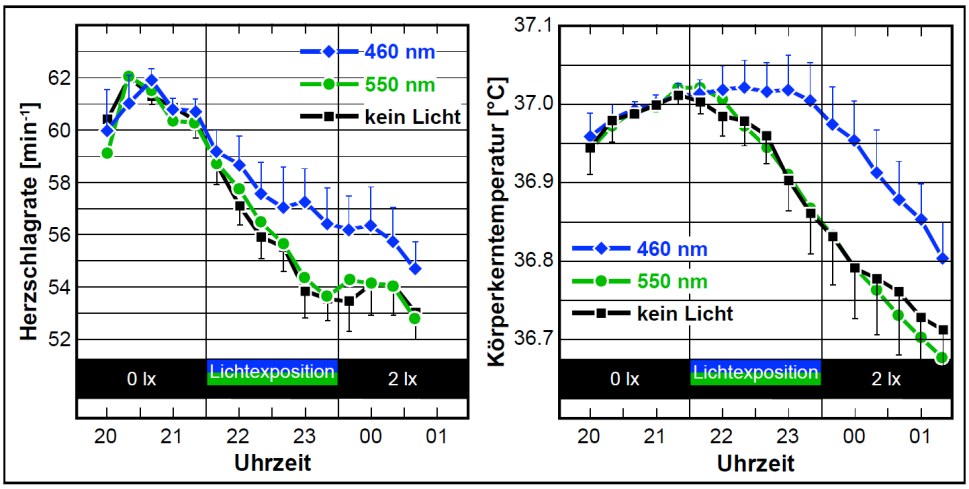


Abbildung 29: Herzschlagrate und Körperkerntemperatur in Abhängigkeit des Lichtspektrums (Schierz, 2006)

Die Abbildung 29 zeigt auch bei den physiologischen Daten, dass ein Einfluss des blauen Lichtes stark zu erkennen ist.

In der linken Grafik zeigt sich deutlich, dass blaues Licht, stärker als das grünliche Licht, dem Abfall der Herzschlagrate entgegen wirkt. Das Gleiche zeigt sich auch beim nächtlichen Abfall der Körperkerntemperatur.

Da in Zukunft die künstliche Beleuchtung immer mehr auf LED Lichttechnik umgestellt werden wird, ist besonderes Augenmerk darauf zu legen, dass ein gesundes und möglichst „ungestörtes“ Tageslichtspektrum, durch die Verglasung an den Arbeitsplätzen, zur Verfügung gestellt wird.

Das Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC arbeitet an Gläsern, die es nach eigenen Worten der Zielgruppe *„Architekten / Energieberater Innovative Bauten – Aktiv-Solarhaus, Konzepte zu ganzheitlichem, menschengerechten Bauen“* (Glaubitt & Probst, 2013, p. 22) widmet. Die Wichtigkeit, möglichst viel Tageslicht in unsere Räume zu lassen, wird eine immer größere Herausforderung werden. Die Zusammenhänge moderner Zivilisationserkrankungen mit der immer geringer werdenden Sonnen- Exposition werden in aktuellen Forschungen behandelt (Bartenbach Studie). Die Ergebnisse werden hoffentlich weitere Aufschlüsse und Empfehlungen liefern.

In Folge des reduzierten Tageslichtspektrums von Gläsern, bei einem g-Wert unter 0,45W/m²K, wird die Empfehlung ausgesprochen, für Sonnenschutzverglasungen den g-Wert nicht weiter abzusenken. Der Sonnenschutz ist entweder mittels tageslichtlenkender Außenbeschattungen oder durch andere bauliche Maßnahmen sicherzustellen.

Die Verwendung sinnvoller und energetisch optimierter Systeme zur Tageslichtnutzung ist im Entwurf mit hoher Priorität zu verfolgen, da auch ein gutes Kunstlichtdesign nicht die Qualitäten des Tageslichtes nachbilden kann.

8.3.1.3 Akustische Behaglichkeit

Der Bereich der akustischen Behaglichkeit wird als wesentliches Entwurfskriterium angeführt, da eine intensive Auseinandersetzung mit demselben, zur Erreichung der akustischen Behaglichkeit, notwendig ist. Die Herausforderung besteht darin, die notwendigen, wärmewirksamen Speichermassen nicht einzuschränken.

Eine solche Einschränkung erfolgt meist durch den unachtsamen Einsatz abgehängter Decken. Ein vollflächiger Einsatz von abgehängten Decken reduziert die speicherwirksamen Massen. Die Bewertung und Definition der erforderlichen, speicherwirksamen Massen erfolgt im Kapitel 9.4.2 des AP02 .

Alle Parameter, wie Sprachverständlichkeit, Schalldruckpegel und Hallzeiten, sind somit nur indirekt, über die erforderlichen, speicherwirksamen Massen und die damit verbundenen, umgesetzten Maßnahmen, als Rahmenparameter vorhanden.

Die akustische Behaglichkeit ist daher keine direkte Einflussgröße, welche auf die bauphysikalischen Größen wirkt.

8.3.2 Parameter der technischen Systeme

In diesem Kapitel werden Parameter technischer Systeme untersucht.

Im ersten Teil erfolgt eine Darstellung des wesentlichen Vorteiles einer direkten Kühlung, ohne zwischengeschalteten Wärmepumpenprozess. Dieses Verfahren wird als „direct cooling“ bezeichnet.

Im zweiten Teil werden die lokal verfügbaren Kältequellen untersucht und auf Ihre Tauglichkeit für das „direct cooling“ Verfahren geprüft.

Die beiden letzten Kapitel zeigen die Funktion der Bauteilaktivierung und der Speichermassenaktivierung durch eine mechanische Lüftung auf.

Die Untersuchung teilt sich in zwei Teilbereiche:

- „direct cooling“ – Funktionsweise.
- finden und quantifizieren der potenziell verfügbaren Wärmesenken.

8.3.2.1 „direct cooling“

Um ein Gebäude ohne Kältemaschinen oder Wärmepumpen mit zusätzlicher Kälte versorgen zu können, ist das Verfahren des „direct cooling“ die Grundvoraussetzung.

Diese Art der direkten Nutzung der Kälteenergie wird als „direct cooling“ bezeichnet. Für die Nutzung sind lediglich Pumpen für den Transport des Kältemediums notwendig.

Zur Anschauung soll folgendes Beispiel die hohe Effizienz des „direct coolings“ erläutern und den Unterschied zu einer technischen Klimatisierung, mittels Wärmepumpe oder Kältemaschine, verdeutlichen:

Angenommen wird ein Gebäude mit einer Betonkernaktivierung, welches Nachts mittels „direct cooling“ gekühlt werden soll.

Annahme:

Die an den Bauteil abgegebene Leistung beträgt 50kW, bei einer Spreizung von 5K. Der notwendige Volumenstrom im System ergibt sich somit mit 8,749m³/h. Als weitere, erforderliche Kenngröße wird ein Druckverlust im Verteilsystem angenommen und mit 6mWS als Planungszielwert fixiert.

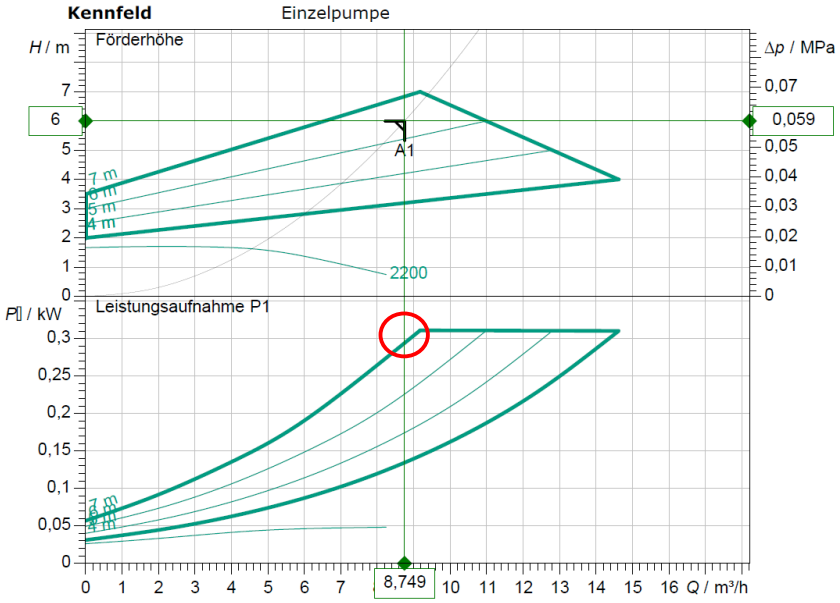


Abbildung 30: Pumpenkennfeld Hoch-Effizienz-Pumpe, Bestimmung Betriebspunkt für „direct cooling“

Für die Auswahl einer hocheffizenten, drehzahlgeregelten Pumpe eines Herstellers kann, wie in Abbildung 30 ersichtlich, über das Auslegungsdiagramm die Leistungsaufnahme der Pumpe ermittelt werden. Die Leistungsaufnahme der Pumpe am Betriebspunkt beträgt 0,29kW.

Die Effizienz der Kälteerzeugung wird aus dem Verhältnis der aufgenommenen Leistung zur abgegebenen Leistung des Kältesystems gebildet.

In der beispielhaften Rechnung ergibt sich ein Verhätnis von 1:172 . Dies bedeutet, dass mit einer eingesetzten Energie von 1kWh eine Kältemenge von 172kWh für das Gebäude zur Verfügung gestellt werden kann.

Wenn in Systemen keine hocheffizienten Pumpen eingesetzt werden, ergeben sich niedrigere Wirkungsgrade des „direct coolings“. Beispielhaft wird eine Standard Pumpe ausgewählt.

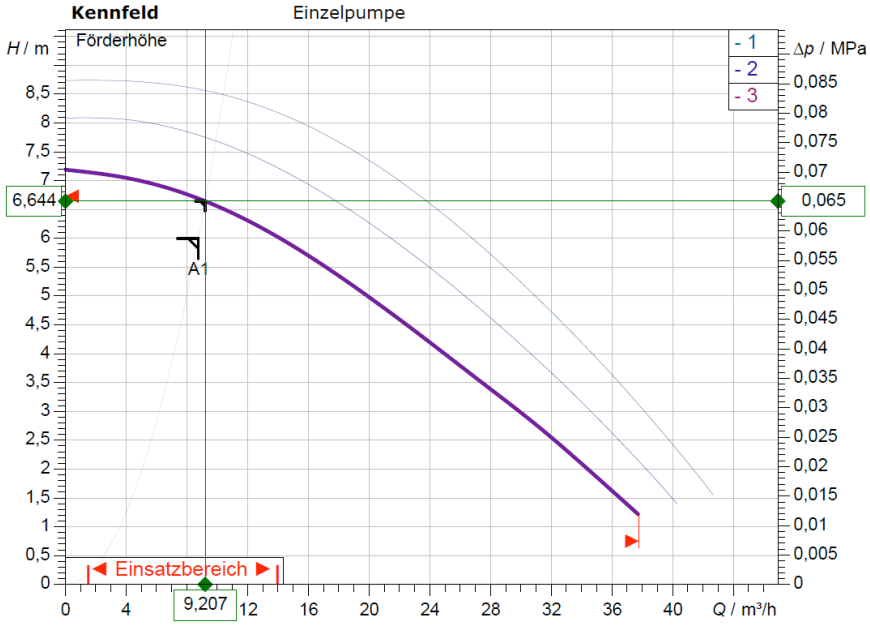


Abbildung 31: Pumpenkennfeld Standard Pumpe, Bestimmung Betriebspunkt für „direct cooling“

Der Förderstrom liegt, wie die Abbildung 31 zeigt, durch die fixen Drehzahlstufen, geringfügig über dem notwendigen Volumenstrom (9,207m³/h statt 8,749m³/h). Die Leistungsaufnahme wird im Datenblatt wie folgt angegeben:

Motordaten pro Motor/Pumpe	
Netzanschluss	3~ 400 V / 50 Hz
Zulässige Spannungstoleranz	±10 %
Max. Drehzahl	2500 ... 2850 1/min
Leistungsaufnahme P1	1,05 kW
Stromaufnahme	1,3 A ... 2,42 A
Schutzart	IP X4D
Isolationsklasse	H

Abbildung 32: detaillierte Pumpendaten der gewählten Pumpe

In Abbildung 32 werden die detaillierten technischen Daten der Pumpe angeführt, die für die Berechnung des Wirkungsgrades herangezogen werden.

In der beispielhaften Rechnung ergibt sich ein Verhältnis von 1:47. Dies bedeutet, dass mit einer eingesetzten Energie von 1kWh eine Kältemenge von 47kWh für das Gebäude zur Verfügung gestellt werden kann.

Aus der beispielhaften Berechnung geht hervor, wie deutlich die Effizienz des Systems durch die Wahl einzelner Anlagenteile wesentlich beeinflusst werden kann, aber auch, wie hoch der Kältebereitstellungsgrad einer direkten Kühlung durch Umweltenergien sein kann. Übliche Wirkungsgrade von Kältesystemen werden bei Kältesystemen über den EER-Wert („energy efficiency ratio“) angegeben oder über

JAZ („Jahresarbeitszahlen“), welche unterschiedliche Anlagenbetriebszustände berücksichtigen. Diese Wirkungsgradangaben bewegen sich im Bereich von 3 bis 7.

Durch das „direct cooling“ kann hingegen ein Faktor 10 in der Effizienz bei korrekter Auslegung leicht erreicht werden.

8.3.2.2 Wärmesenken

Die Kühlung soll, entsprechend der Forschungsfrage, über lokal verfügbare Wärmesenken versorgt werden und das, ohne Einsatz von Wärmepumpen oder Kältemaschinen.

Wie im Handbuch der Passiven Kühlung (Zimmermann, 1999) zu lesen, werden folgende Wärmesenken angeführt:

Vor Ort verfügbare Wärmesenken bis 150Wh/m²d

- Natürliche Lüftung
- Mechanische Lüftung
- Adiabate Verdunstung

Vor Ort verfügbare Kälte- und Wärmesenken bis 250Wh/m²d

- Luftkühler
- Wasserkühlung (direkt)
- Luftansaug-Erdregister (Energiebrunnen)
- Energiesonde
- Energiepfahl
- Trocken-Kühlturm
- Nass- Kühlturm

Für Werte größer 250Wh/m²d gibt Zimmermann die Notwendigkeit von Wärmepumpen oder Kältemaschinen an.

Ein Kriterium für die Auswahl der Wärmesenken ist die direkte Nutzung, ohne zusätzlichen Wärmepumpenprozess.

Allgemeines zur Erdwärmenutzung

Erdwärmenutzung stellt eine, an jedem Bauplatz zur Verfügung stehende, Wärmesenke dar. Limitierende Faktoren sind, je nach Art der Erdwärmenutzung, die geologischen Verhältnisse, bereits bestehende Erdwärmenutzungsanlagen an benachbarten Grundstücken und das Verhältnis der verbauten Fläche zur thermisch konditionierten Nutzfläche. Einen weiteren, limitierenden Faktor stellen die Gestehungskosten dar. Folgende Systeme haben sich, je nach Gebäudetyp, etabliert:

Grundwassernutzung, Erdwärmesonden bzw. Erdwärmesondenfelder, Flächenkollektoren, Energiepfähle und Geostrukturen.

Hydrothermale Nutzungen für direkte (Wärme) oder indirekte Nutzung (z.B. Strom) finden nur in Großanlagen Anwendung.

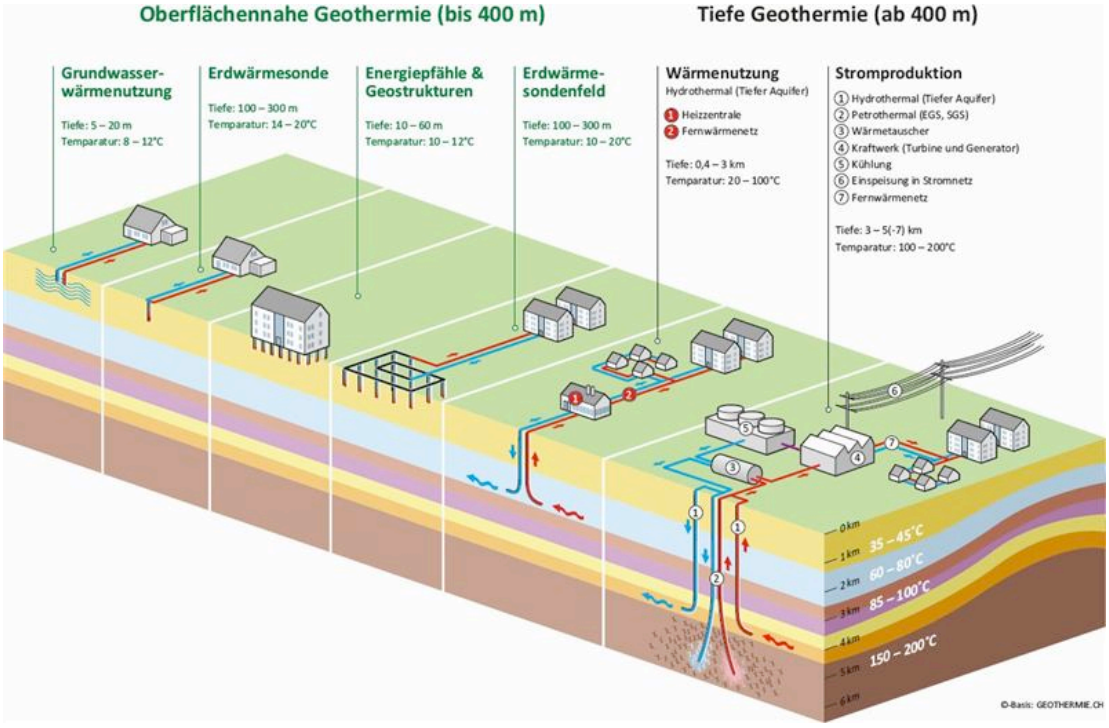


Abbildung 33: unterschiedliche Geothermie Wärmeanlagen (Quelle: geothermie.ch)

In Abbildung 10 werden die unterschiedlichen Geothermie Anlagen dargestellt.

Im Folgenden werden die möglichen, geothermischen Anlagen in ihrem Potenzial bewertet:

Grundwassernutzung

Das Grundwasser liefert meist 10°C mit geringen, jahreszeitlichen Schwankungen und stellt so eine ideale Kältequelle dar. Abgemindert wird dies geringfügig durch den Wärmeeintrag der Pumpenanlagen sowie durch die zwingend einzusetzenden Wärmetauscher zwischen Primär- (dem Grundwasserkreislauf) und Sekundärkreislauf (dem Wärmeabgabesystem). Bei wirtschaftlich ausgelegten Wärmetauschern ergibt sich eine Grädigkeit von 3-5K. Die zur Verfügung stehende Vorlauftemperatur liegt somit bei ca. 15-16°C. Diese Temperaturen entsprechen den maximal zulässigen Vorlauftemperaturen für eine Bauteilkühlung. Tiefere Vorlauftemperaturen führen zu Kondensaterscheinungen und werden üblicherweise nicht zugelassen.

Die Wärme- bzw. Kältemenge wird lediglich durch die, zur Verfügung stehende Schüttleistung der Brunnenanlagen begrenzt. Die Einsatzgrenze des „direct cooling“ wird für ein Bürogebäude nur über das Abgabesystem limitiert.

Erdwärmesonden, Energiepfähle und Geostrukturen

Wie bei allen Erdwärmeanlagen besteht der Vorteil vor allem darin, dass die Temperatur als über den Jahresverlauf stabil angesehen werden kann. Bis zu einer Tiefe von 20 m wird der Wärmeeintrag vor allem über die Erdoberfläche bestimmt. Als Wärmelieferant dienen die Sonnenstrahlung, aber auch und vor allem der Regen. Die Erdtemperatur ist demnach den jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Die Temperatur liegt im Mittel, in dieser Zone bei ca. 7 – 11°C. In tieferen Zonen steigt die Temperatur um ca. 3 Grad pro 100 m.

Für den Anwendungsfall der Kühlung kommen kürzere Sonden zur Anwendung. Je nach geologischen Verhältnissen (Wärmeleitfähigkeit des Bodens) schwanken die Leistungen der Erdwärmeanlagen. Auch das Grundwasser und die Fließgeschwindigkeit (des Grundwassers) nehmen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Erdwärmenutzung.

Im Handbuch der passiven Kühlung (Zimmermann, 1999, p. 61) gibt Mark Zimmermann eine Leistung > 30W/m an, wenn eine Grundwasserströmung > 0.5 m/Tag vorhanden ist an, kleiner 30W/m bei Grundwasserströmung < 0.5 m/Tag.

Auch werden Angaben über die, zur Verfügung stehende Kältemenge im Jahresverlauf gemacht und mit 20-80kWh/(m² a) angegeben.

Die Wärme-, bzw. Kältemenge wird durch die Länge der Sonden begrenzt. Die Einsatzgrenze des „direct cooling“ wird für ein Bürogebäude nur über das Abgabesystem limitiert.

Flächenkollektoren

Erdwärme Flächenkollektoren sind horizontal verlegte Rohrregister im Erdreich. Diese werden üblicherweise in einer Tiefe von 1-2m verlegt. Betrachtet man sich den Temperaturverlauf im ungestörten Erdreich in dieser Tiefe, zeigen sich in den warmen Jahreszeiten Temperaturen von mehr als 15°C.

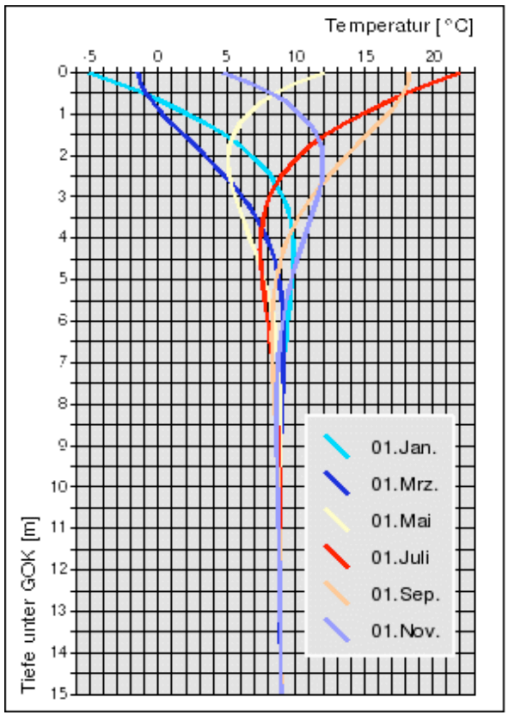


Abbildung 34: Temperaturen des ungestörten Erdreichs (Quelle: Energieagentur Nordbayern)

Die Abbildung 34 zeigt bei einer Verlegetiefe von 1,5m im September eine Temperatur von 15°C im ungestörten Erdreich (ohne vorherigen Wärmeeintrag durch einen Flächenkollektor). Glück schreibt in seiner Forschungsarbeit SIMULATIONSMODELL "ERDWÄRMEKOLLEKTOR" zur wärmetechnischen Beurteilung von Wärmequellen, Wärmesenken und Wärme-/Kältespeichern (Glück, 2008, p. 71) in einer Beispielbetrachtung: „*Eine Bauteilkühlung ohne Zwischenschalten einer Kältemaschine wäre nicht möglich. Die Aufnahmefähigkeit des Erdreiches im Sommer wird sehr oft überschätzt.*“

Theoretisch könnten Wärmesenken dieser Art, bei sehr großer Ausdehnung, ausreichend Kühlenergie liefern, um eine 100% Abdeckung zu erreichen. Dies ist aber weder wirtschaftlich noch technisch und energetisch sinnvoll.

Die oberflächennahe Erdwärmenutzung, mittels Flächenkollektoren, kann daher nicht für einen „direct cooling“ Betrieb herangezogen werden.

Energiebrunnen

Unter dem Begriff „Energiebrunnen“ werden Systeme verstanden, die die Erdreichtemperatur als Wärmesenke verwenden. Hierfür werden im Erdreich verlegte Lüftungsrohrleitungen verwendet, um mittels direkter Durchströmung mit Luft die Wärme an das Erdreich direkt abzugeben. Zimmermann verwendet den Begriff „*Luftansaug-Erdregister*“ (Zimmermann, 1999, p. 45).

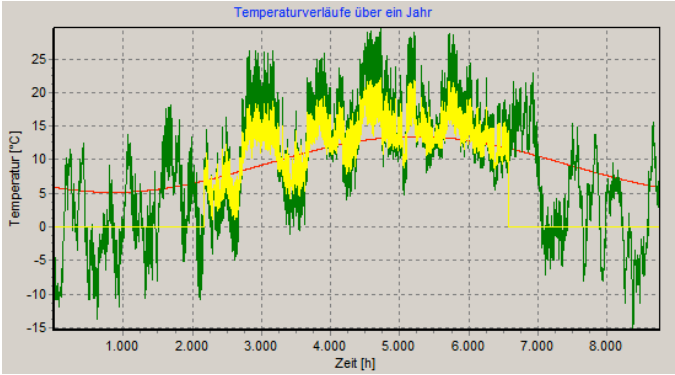


Diagramm 3: Temperaturverlauf des Energiebrunnens (Beispiel ITBK ein Geschoß)

Das Diagramm 3 zeigt den Temperaturverlauf der geänderten Luftansaugtemperaturen als Beispielberechnung für den ITBK. Die gelben Linien zeigen die gedämpfte Frischlufttemperatur im Gegensatz zur Außentemperatur, die durch die grünen Linien dargestellt wird.

Die abgegebene Kältemenge [kWh] in einem Jahr variiert, je nach Anzahl der Rohrreihen. Die Effizienz der Erdregister ist bei einer Auslegung mit geringen Längen hoch, liefert jedoch keinen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Kühllastabfuhr für das Gebäude. Bei einer Auslegung mit sehr großen Leitungeslängen sinkt die Effizienz jedoch stark, da die Temperaturdifferenz zwischen Luft und Erdreich, nach den ersten Metern des Wärmetauschers, geringer wird und danach pro Meter Rohrleitung nur noch eine geringere Wärmemenge übertragen wird. Ist die Luft gleich der Erdreichtemperatur, so findet keine

Wärmeübertragung aus dem Erdreich an die Luft mehr statt. Aus diesem Grund sind hochwirksame Systeme wirtschaftlich nicht umsetzbar.

Im Handbuch zur Planung und Ausführung von luftdurchströmten Erdreichwärmetauschern für Heiz- und Kühlanwendungen (Blümel, Fink, & Reiser, 2001, p. 15) werden Einsatzbeispiele dieser Anwendungen mit dem Schwerpunkt Kühlfall untersucht.

Theoretisch könnte bei dieser Art der Wärmesenke, bei sehr großer Ausdehnung, ausreichend Kühlenergie geliefert werden, um eine 100%ige Abdeckung zu erreichen. Dies ist aber weder wirtschaftlich, noch technisch und energetisch sinnvoll.

In den letzten Jahren wurden außerdem diese Systeme aus hygienischen Gründen in Frage gestellt und als bedenklich eingestuft.

Die oberflächennahe Erdwärmenutzung, mittels Luftansaugregister, kann daher nicht für einen „direct cooling“ Betrieb herangezogen werden.

Trockene und Nasse Kühltürme

Trockene und Nasse Kühltürme unterscheiden sich nur dadurch, dass bei nassen Kühltürmen, durch den Einsatz von verdunstendem Wasser, die Anlagen kleiner konzipiert werden können.

Die Leistung ist sehr von der Lufttemperatur und bei nassen Kühltürmen auch von der Luftfeuchte des Außenklimas des Aufstellungsortes, abhängig.

Bei höheren Außentemperaturen sinkt die zur Verfügung stehende Kältemenge stark ab. Gerade in dieser Zeit wird jedoch die Kälte benötigt.

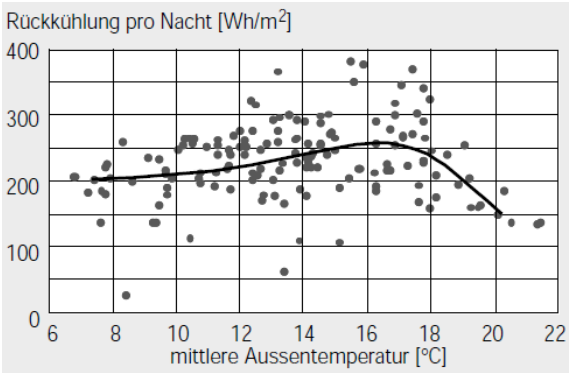


Abbildung 35: pro Nacht abgeführte Wärme bei einem Büro mit hoher Last (47W/m²) (Zimmermann, 1999)

Die Abbildung 35 zeigt die Abhängigkeit der Kühlung zur mittleren Außentemperatur bei trockenen Kühltürmen.

Trockene und nasse Kühltürmen können daher nicht uneingeschränkt für einen „direct cooling“ Betrieb herangezogen werden.

8.3.2.3 Bauteilkühlung

Die Bauteilkühlung wird als aktives Klimatisierungselement angesehen, jedoch nur, gemäß der Forschungsfrage, wenn aus lokalen Kältequellen, ohne Wärmepumpenprozess, hocheffizient und direkt versorgt. Die aktive Bauteilkühlung erfolgt in den meisten Fällen durch eine Betonkernaktivierung.

Diese Art der unterstützenden Kühlung hat folgende Vorteile:

- Hoher Komfort: Zugfreiheit, Geräuschlosigkeit, hoher Strahlungsanteil
- Pufferung von Kühlleistungsspitzen, somit tauglich für höhere, kurzfristige interne Lasten.
- Kostengünstige Herstellung (Der große Vorteil dieser Art)

Warum sich gerade der Beton für die Speicherung von Wärme eignet, zeigt die Abbildung 36, ein Vergleich der thermodynamischen Eigenschaften unterschiedlicher Baumaterialien.

			>28cm **Beton**	>18cm **Ziegel**	>10cm **Holz**	2,5cm **GKP**
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/mK	1,8	0,2	0,1	0,2
Wärmespeicherkapazität	c_p	kJ/kgK	1,0	1,0	2,5	1,1
Spezifisches Gewicht	ρ	10^3 kg/m³	2,4	0,8	0,5	0,9
Temperaturleitfähigkeit	a	10^{-6} m²/s	0,8	0,3	0,1	0,2
dynamische Eindringtiefe für T=24h	δ	m	0,14	0,09	0,05	0,08
flächenbez. wirksame Wärmekapazität	χ`	Wh/(m²K)	27	13	12	1
volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit	C	Wh/(m³K)	667	222	347	263

Abbildung 36: Thermodynamische Eigenschaften, Vergleich Beton, Ziegel, Holz, Gipskartonplatten (Holzer, 2013, p. 4)

Einerseits hat Beton eine hohe Wärmeleitfähigkeit, die ein Vielfaches von Ziegel aufweist (1,8W/mK zu 0,2W/mK) und somit die Wärme sehr gut quer und in das Innere des Bauteils leitet. Andererseits hat Beton hohe Wärmekapazitäten und Wärmespeicherfähigkeiten, um möglichst viel Wärme aufnehmen zu können. Ein Material, welches den gestellten Anforderungen, möglichst viel Wärme in möglichst kurzer Zeit zu speichern, am besten entspricht.

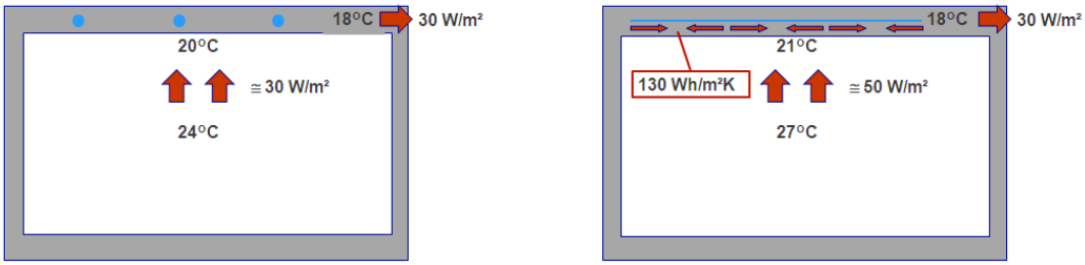


Abbildung 37: Betonkernaktivierung, unterschiedliche Raum-Oberflächentemperaturen (Quelle: P. Holzer)

Abbildung 37 zeigt die Leistungsänderung der Betonkernaktivierung bei unterschiedlichen Raum-Oberflächentemperaturen. Beträgt die Differenz 4K, so ist mit einer Leistung von 30 W/m² zu rechnen. Steigt die Raumtemperatur und auch die Oberflächentemperatur an und erhöht sich die Differenz auf 6K, so steigt gleichzeitig „automatisch“ die Kühlleistung der Betonkernaktivierung. Dieser Selbstregelungseffekt für größere Lasten ist aber zeitlich begrenzt, da der Wärmeabtransport nicht die aufgenommene Leistung erreichen kann.

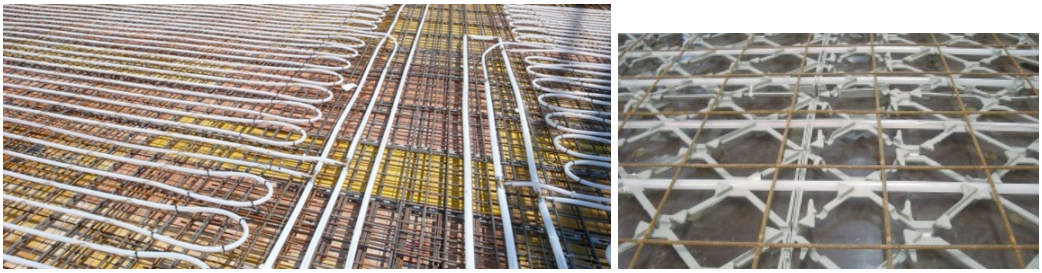


Abbildung 38: Betonkernaktivierung, AUF und UNTER der ersten Bewehrungslage (Quelle: Uponor)

Abbildung 38 zeigt die Verlegemethoden der Bauteilaktivierung unter der ersten Bewehrungslage. Durch die Lage der Rohre in den Bauteilen können die Eigenschaften der thermisch aktivierten Bauteile, je nach Anforderung und Verwendung, beeinflusst werden. Werden die Rohre als oberflächennahes System verlegt, so können höhere Kühlleistungen und schnellere Anpassung an Nutzungsänderungen realisiert werden. Die Kompensation von Spitzenlasten und der Ausgleich von Lastschwankungen kann, durch den geringeren Wärmeleitweg im Beton, verbessert werden.

Im Handbuch der passiven Kühlung (Zimmermann, 1999, p. 69) ist zu lesen:

> *„Während dem eine Nachtlüftung mit Kippfenster bereits bei geringen Wärmelasten von 20 W/m2 resp. 160 Wh/(m2•d) zu teilweise unkomfortablen Zuständen führt, ist die selbe Situation mit Bauteilkühlung völlig unproblematisch. Selbst Büroräume mit hohen Wärmelasten (46 W/m2 resp. 370 Wh/(m2•d)) sind mit der Bauteilkühlung noch machbar.“*

In anderen Publikationen und Forschungen werden ca. 35-40 W/m² maximale Leistung angegeben (siehe z.B.(Glück, 1999, p. 15)).

In der Literatur finden sich Angaben, die eine Aussage über den täglichen Kühlbedarf tätigen, der durch Bauteilaktivierung abgedeckt werden kann. Im vorher zitierten Buch von Zimmermann werden bis zu 370W/m²d als „noch machbar“ angegeben.

Angaben über den Kühlbedarf über ein ganzes Jahr sind nicht zu finden. Dies ist auch verständlich, da diese Werte sehr von den vorliegenden Nutzungsprofilen, dem Standort und weiteren individuellen Faktoren des einzelnen Projektes abhängen.

Für die Untersuchungen im Kapitel 8.3.3 wird ein Oberflächennahes System simuliert.

8.3.2.4 Kühlung durch Lüftung

Die Kühlung durch Lüftung stellt eine einfache Art der Aktivierung der wärmespeicherfähigen Massen eines Gebäudes dar. Dabei ist die thermische Aktivierung nicht auf einzelne Bauteile beschränkt, sondern es wird die gesamte Bauteilmasse gekühlt. Damit eine thermische Aktivierung jedoch funktioniert, müssen massive Bauteile durch die Lüftung aktiviert werden können. Eine Quantifizierung der notwendigen Speichermassen erfolgt im AP 02.

Die meisten neuen Bürogebäude werden mit einer Lüftungsanlage ausgestattet. Dies kann aus unterschiedlichen Gründen erfolgen.

Durch Lüftungsanlagen kann die Einhaltung der CO_2 Grenzwerte garantiert werden, ohne auf ein „intelligentes“ Nutzerverhalten angewiesen zu sein. Dies ist einerseits durch die Anforderungen an einen Arbeitsplatz gefordert (siehe AStV. Arbeitsstättenverordnung 1998 i.d.g.F) , anderseits steigt bei niedrigen CO_2 Werten der Raumluft die Konzentrations- und Leistungsfähigkeit. Und das wünscht sich jeder Arbeitgeber.

Andererseits kann die Lüftungsanlage einen wesentlichen Beitrag für eine höhere Energieeffizienz des Gebäudes liefern, da die Lüftungswärmeverluste durch eine Wärmerückgewinnung um 70-90% reduziert werden können.

In der Nacht kann die Lüftung in Betrieb genommen werden und die kühle Außenluft in das warme Gebäude leiten. Durch diese Betriebsart können die Bauteilmassen in der Nacht durch die kühle Außenluft abgekühlt werden. Die Kälte steht dann am nächsten Tag, im Bauteil eingespeichert, zur Verfügung. Vier thermodynamische Prozesse laufen während eines 24h Tages Zyklus ab:

1.Ladung (Konvektion und Strahlung)	Wärmetransport in den Bauteil
2.	Speicherung im Bauteil
3.Entladung (Konvektion)	Wärmetransport aus den Bauteilmassen
4.	Wärmeabfuhr durch Außenluftwechsel

Ob diese Art der Kühlung sinnvoll einsetzbar ist, ist sehr vom lokalen Standort des Gebäudes abhängig. Auch sind in urbanen Regionen die Nächte wärmer und verringern die Möglichkeit, die Bauteile wirkungsvoll vorzukühlen.

8.3.3 Bestimmung der Grenzwerte

Die im Kapitel 8.3.1 und 8.3.2 zu untersuchenden Parameter und Größen werden, gemäß der anzuwendenden Methode, in weiterer Folge quantifiziert. Die Quantifizierung und Bestimmung der Grenzwerte erfolgt mittels dynamischer Simulation.

Im ersten Schritt wird der zulässige U-Wert für Verglasungen gesucht. Im zweiten Schritt wird der maximal zulässige, jährliche Kühlbedarf für die Varianten „Kühlung durch Lüftung“ und „Bauteilaktivierung“ gesucht.

Für die Rahmenbedingung des maximal zulässigen Kühlbedarfs für den Entwurf von Gebäuden, ohne technische Klimatisierung, werden in der ÖNORM EN 15251 (ÖNORM EN 15251, 2007) zulässige Innenraumtemperaturen (Behaglichkeitsfeld) als informativer Anhang beschrieben und finden Berücksichtigung für die Bildung der Grenzwerte des zulässigen Kühlbedarfs durch „Kühlung durch Lüftung“ und die „Bauteilaktivierung“. Die Rahmenbedingung gilt dann als erfüllt, wenn die Temperaturen der Kategorie II entsprechen.

8.3.3.1 Oberflächentemperaturen

Je größer der Fensteranteil im Gebäude ist, desto größer ist auch der Einfluss auf die Behaglichkeit. Je größer (höher) der U-Wert, umso kritischer sind Fensterflächen, im Hinblick auf die Behaglichkeit, zu bewerten.

Im Rahmen der dynamischen Simulation werden die Wirkung der Fensterflächen und die Oberflächentemperaturen der Außenwandoberflächen, in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils, untersucht.

Schon bei geringen Fensterflächenanteilen von 30% der Außenwand zeigt sich eine deutlich niedrigere Oberflächentemperatur.

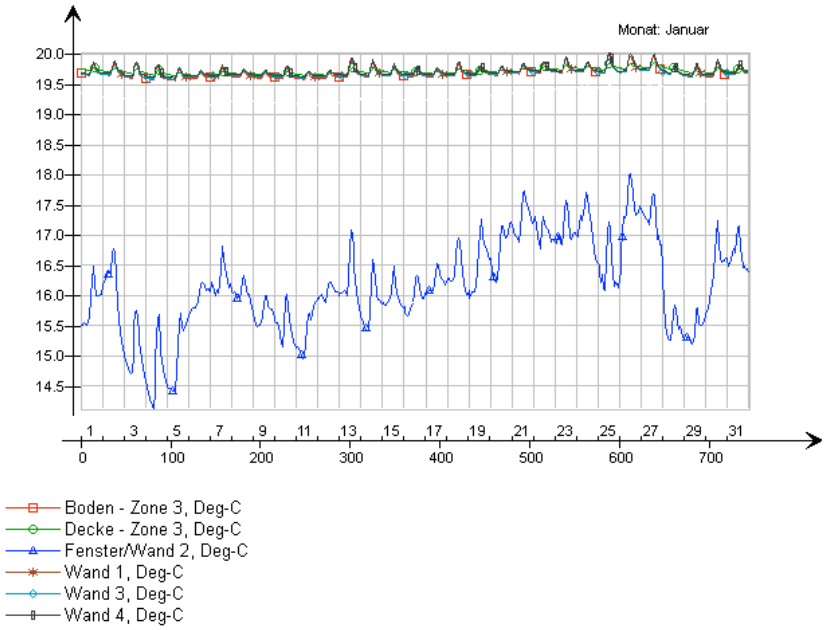


Diagramm 4: Fenster Oberflächentemperaturen bei 30% AF-Anteil U-Wert 1,7 W/m²K

Das Diagramm 4 zeigt Oberflächentemperaturen von unter 14,5°C. Bei der Veränderung des U-Wertes auf 1 W/m²K erhöht sich die Oberflächentemperatur auf zumindest 16°C, wie das Diagramm 5 zeigt.

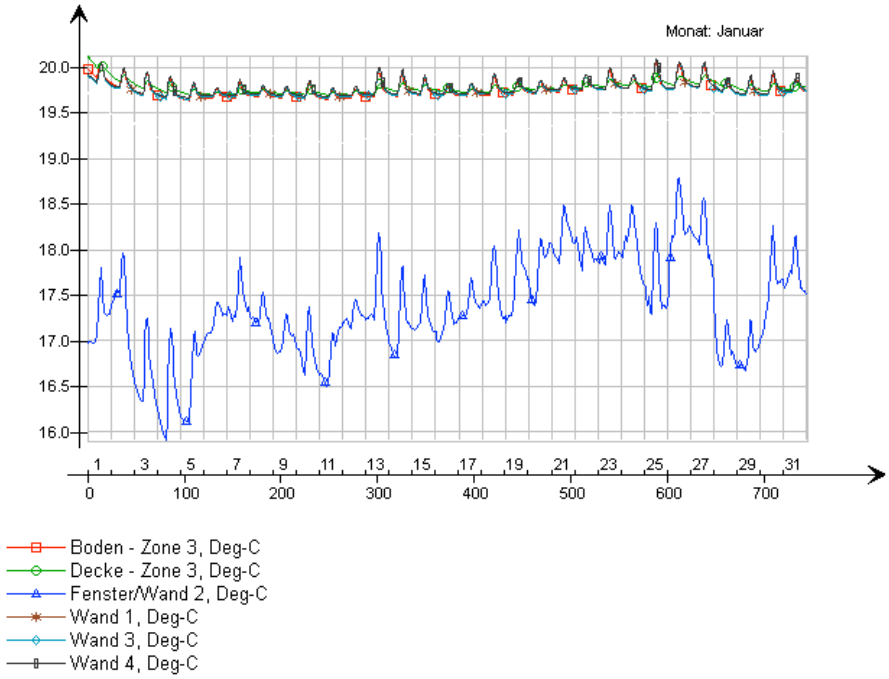


Diagramm 5: Fenster Oberflächentemperaturen bei 30% AF-Anteil U-Wert 1,0 W/m²K

Eine weitere Verbesserung des U-Wertes, auf 0,6W/m²K, erhöht, wie in Diagramm 6 ersichtlich, die Oberflächentemperaturen nur mehr geringfügig auf eine Oberflächentemperatur von 16,4°C.

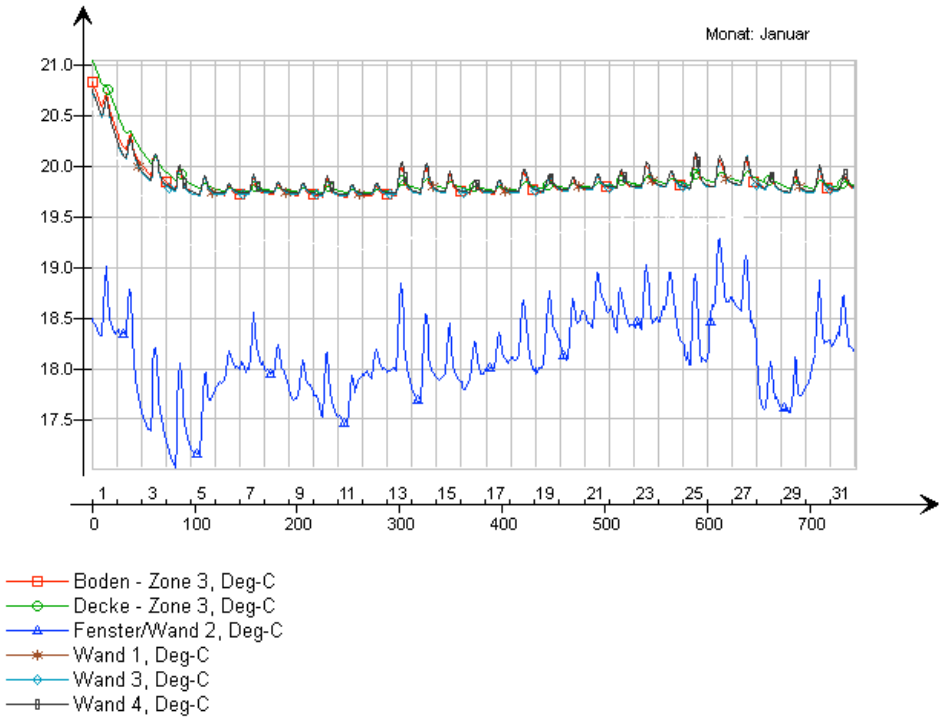


Diagramm 6: Fenster Oberflächentemperaturen bei 30% AF-Anteil U-Wert 0,6 W/m²K

Für den Entwurfsprozess wird empfohlen, die U-Werte der Verglasung, im Sinne der Behaglichkeit, einzuschränken und die zulässige Grenze der Bauordnung für die Verglasung zu unterschreiten. Da die Verbesserung des U-Wertes für die Sommertauglichkeit einen negativen Einfluss hat (siehe Kapitel 8.3.2), ist zu empfehlen, den U-Wert nicht zu minimieren, sondern vorsichtig die Grenze der Behaglichkeit zu finden, an welcher eine Einschränkung des Nutzers zu erwarten ist.

Die gerichtete operative Temperatur wird als Durchschnitt der lokalen Lufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur von jenen Oberflächen berechnet, die in der aktuellen Richtung sichtbar sind.
Für den Fall eines Fensters mit einem U-Wert 1,0 W/m²K kann dieser Wert als Rahmenbedingung angenommen werden, da die in der Simulation bezeichnete Wandfläche 2 mit den Fenstern nur eine, um max. 0,4K geringere, gerichtete operative Temperatur zu den anderen Wandflächen zeigt. Diese Temperaturdifferenz stellt keine Einschränkung der Behaglichkeit dar und lässt eine

Schwankungsbreite zu. Gem. Anhang zum Handbuch IDA ICE (EQUA Simulation AB, 2013) führen Differenzen von bis zu 1K zu keinen Behaglichkeitseinschränkungen.

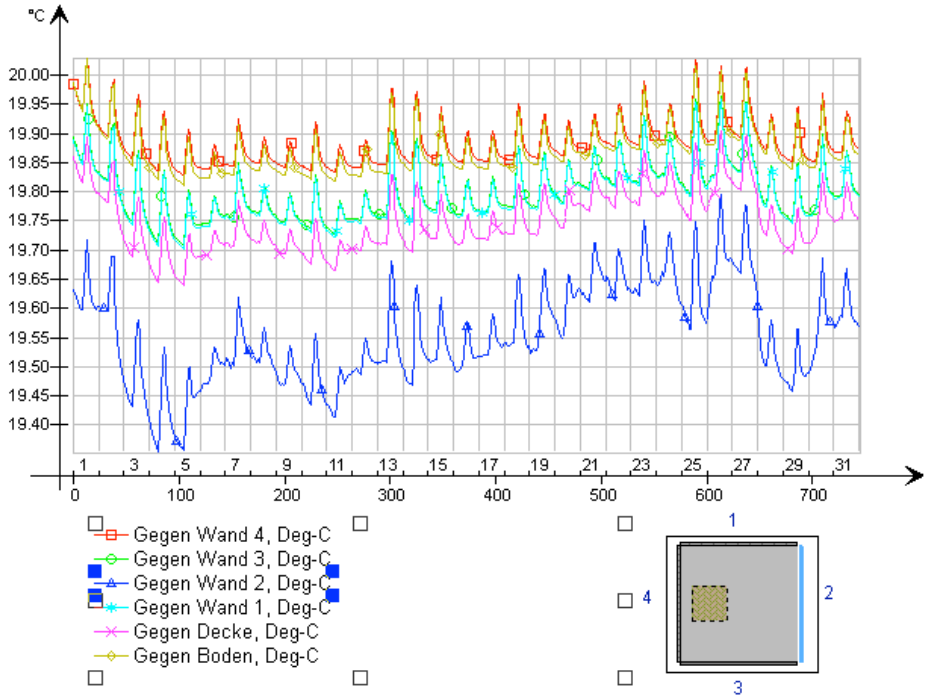


Abbildung 39: gerichtete operative Temperatur bei 30% AF-Anteil U-Wert 1,0 W/m²K

Für den IE ist eine Rahmenbedingung gefunden, der den Fenster U-Werte auf 1W/m²K ± 20% angibt. Wird der Fensterflächenanteil gering gehalten, so kann der U-Wert auch noch angehoben werden. Für die Auswertung im AP02 werden die U-Werte für transparente Bauteile in den Grenzen bis 1,4 W/m²K übergeben.

8.3.3.2 Bauteilaktivierung

Bei der Zielwertsuche des maximalen Kühlbedarfs für die „Bauteilaktivierung“ wird die Leistungsgrenze der Kühlung durch das Kälte abgebende System bestimmt. In diesem Fall die Bauteilaktivierung.

Bei der Überlegung wird davon ausgegangen, dass eine Wärmesenke zur Anwendung kommt, die so dimensioniert wurde, dass ausreichend Kälte vorhanden ist, um die Bauteilkühlung mit derselben versorgen zu können.

Um eine fundierte Aussage über die Leistungsfähigkeit der Bauteilaktivierung zu tätigen, welche durch lokal verfügbare Ressourcen versorgt wird, wurde eine dynamische Simulation durchgeführt. Ziel der Simulation ist es, einen möglichst

allgemeinen Grenzwert für die abgeführte Wärmemenge in einem Referenzjahr zu ermitteln. Die Gültigkeit beschränkt sich auf den gewählten Standort, bzw. die Klimaregion.

Da die Ergebnisse in das Arbeitspaket 02 übergeben werden, wurden die Eingabeparameter zwischen dem Berechnungstool des AP01 und AP02 abgeglichen. Eine direkte Übernahme der im AP02 fixierten, normativen Vorgaben konnte nicht in allen Bereichen direkt erfolgen. Für die Beleuchtung liegt in der Berechnungsmethode des AP02 ein Jahres Benchmark Wert lt. ÖNORM H 5059 vor (in kWh/m²a). Dieser Benchmark-Wert kann durch die Definitionen der ÖNORM 8110-5 und ÖNORM 8110-6 umgerechnet werden.

Unter Berücksichtigung der ÖNORM B8110-6:2014 Formel 40 (ÖNORM B 8110-6, 2014, p. 33) sowie der Nutzungsprofile der ÖNORM B8110-5:2011 Tabelle 2 (ÖNORM B 8110-5, 2010, pp. 8–9), wurde der monatliche Beleuchtungsenergiebedarf auf eine spezifische Leistung umgerechnet.

Umrechnung Beleuchtungsenergiebedarf		
ÖNORM B8110-6:2014 Formel 40		
Nutzungsprofile ÖNORM B8110-5:2011 Tabelle 2		
Nutzungsstunden / Tag	12	h
BGF	3358,86	m²
Nutzfläche	2687,088	m²
jährlicher Beleuchtungsenergiebedarf lt. Benchmark H5059	32,2	kWh/m²a
Nutzungstage Jahr	269	d

	Jänner	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
monatlicher Beleuchtungsenergiebedarf [kWh]	9247,48	8041,29	9247,48	8845,41	9247,48	8845,41	9247,48	9247,48	8845,41	9247,48	8845,41	4824,77
spez. monatlicher Beleuchtungsenergiebedarf [kWh/m²NGFmon]	3,44	2,99	3,44	3,29	3,44	3,29	3,44	3,44	3,29	3,44	3,29	1,80
spez. Beleuchtungsleistung [W/m²]	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Nutzungstage Monat [d]	23	20	23	22	23	22	23	23	22	23	22	12
Nutzungsstunden im Monat [h]	276	240	276	264	276	264	276	276	264	276	264	144

Tabelle 1: Umrechnung Beleuchtungsenergiebedarf in spezifische Beleuchtungsleistung

Die spezifische Beleuchtungsleistung ergibt sich entsprechend der Umrechnungstabelle (Tabelle 1) mit 12,5W/m².

Personen- und Geräteabwärme sind über das Standardnutzungsprofil der ÖNOMR B8110-5 mit 7,5 W/m² (ÖNORM B 8110-5, 2010, p. 8) festgelegt und werden übernommen.

Wie im Kapitel 8.3.1.3 Akustische Behaglichkeit hingewiesen, sind die Speicherwirksamen Massen ein wesentlicher Bestandteil des Gebäudekonzeptes, um die Einhaltung der Sommertauglichkeit erreichen zu können.

Um eine Sicherheit bei den Übergabeparametern zu gewährleisten, wurden nicht alle Deckenflächen mit Rohrregistern verlegt, da eventuell einige unumgänglichen,

akustischen Maßnahmen Deckenflächen verdecken könnten, aber auch sonstige Einbauten, wie Sondernutzungsräume usw., die wirksamen Flächen reduzieren könnten. Die Abbildung 40 zeigt grafisch den Flächenanteil der Bauteilaktivierung, der für die Simulation in Ansatz gebracht wurde.

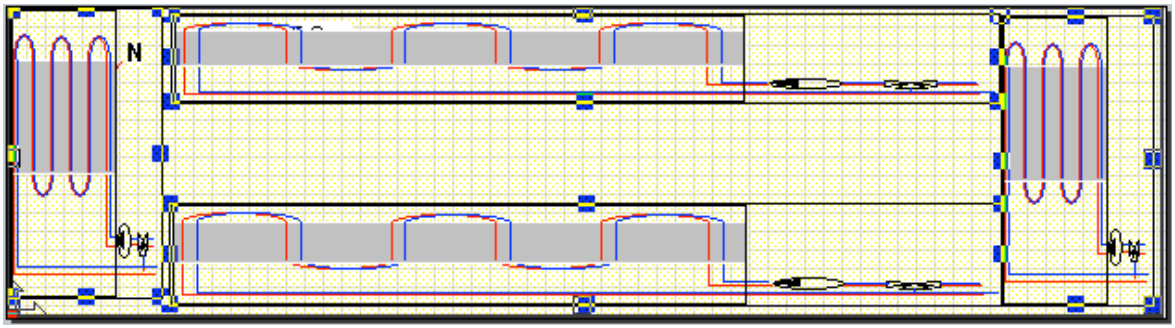


Abbildung 40: Grundriss ITBK mit verlegter Bauteilaktivierung

Wie im Kapitel der Wärmesenken für die Bauteilaktivierung definiert, können theoretisch Temperaturen von bis zu 15°C zur Verfügung gestellt werden. Als Temperaturniveau, für eine abschließende Bewertung von Übergabe- und Grenzwerten an das AP02, wird eine Temperatur für die Bauteilaktivierung von 18°C festgelegt, da somit die Wärmesenken, wie im Kapitel 8.3.2.2 untersucht, angewendet werden können. Als Regelparameter der Bauteilaktivierung werden Solltemperaturen, Regelstrategien usw. definiert. Die Paramter wurden, entsprechend den Zielvorgaben, für die Einhaltung der maximalen Temperaturen eingegeben.

Als Kühl-Solltemperatur wurden 26°C vorgeben.

Die Bauteilaktivierung kann in verschiedenen Lagen in der Betondecke verlegt werden. Ein System ist ein oberflächennahes System mit einer Überdeckung von ca. 1cm und Mittenlage von 2cm Entfernung zur Deckenoberfläche. Die Rohre werden also vor der ersten Bewehrungslage auf die Schalung der Betondecken aufgelegt. Eine zweite, übliche Lage ist, das Rohrregister auf die erste Bewehrungslage zu legen, mit einer so entstehenden Überdeckung von Beton mit ca. 5-7cm. Manche Deckensysteme und Bewehrungen lassen auch eine Mittellage der Bauteilaktivierung zu.

Um einen Maximalwert über die zu definierenden Grenzwerte treffen zu können, wurde entschieden, die Bauteilaktivierung in der ersten möglichen Lage oberflächennahe zu verlegen. In tieferen Lagen wird, auf Grund des trägeren

thermischen Verhaltens, ein geringer Grenzwert erwartet. Auch kann so das Ergebnis unabhängig der Bauteilstärke der Stahlbetondecken erfolgen.

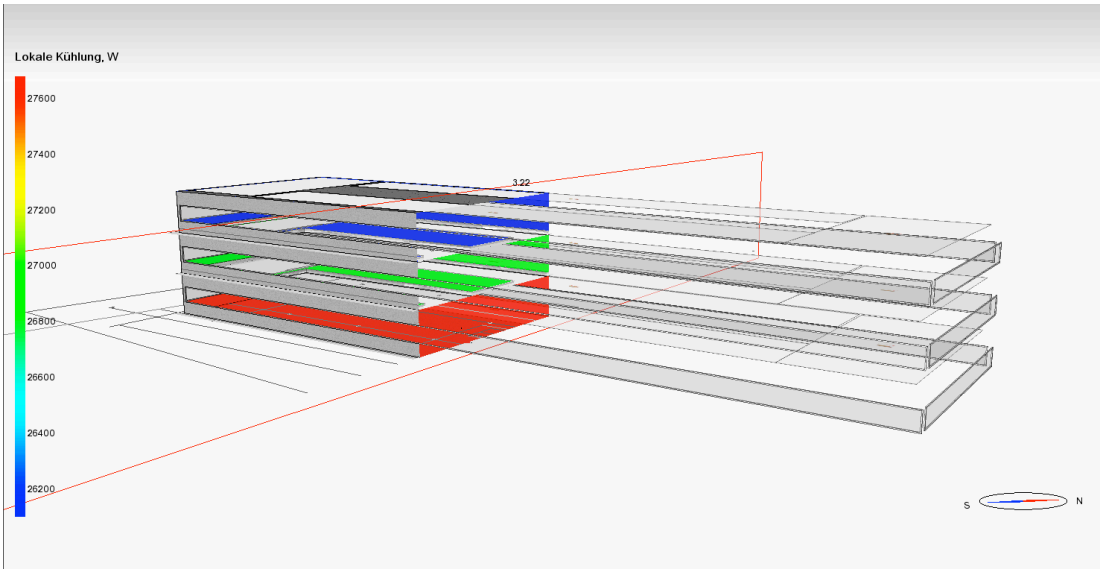


Abbildung 41: Falschfarben Darstellung der Lokalen Kühlung [W]

Die Abbildung 41 zeigt die unterschiedlichen Leistungen, in Abhängigkeit der jeweiligen Stockwerke. Die Kälteabgabe erfolgt über die Bauteile, welche die auftretenden Kühllasten abführen.

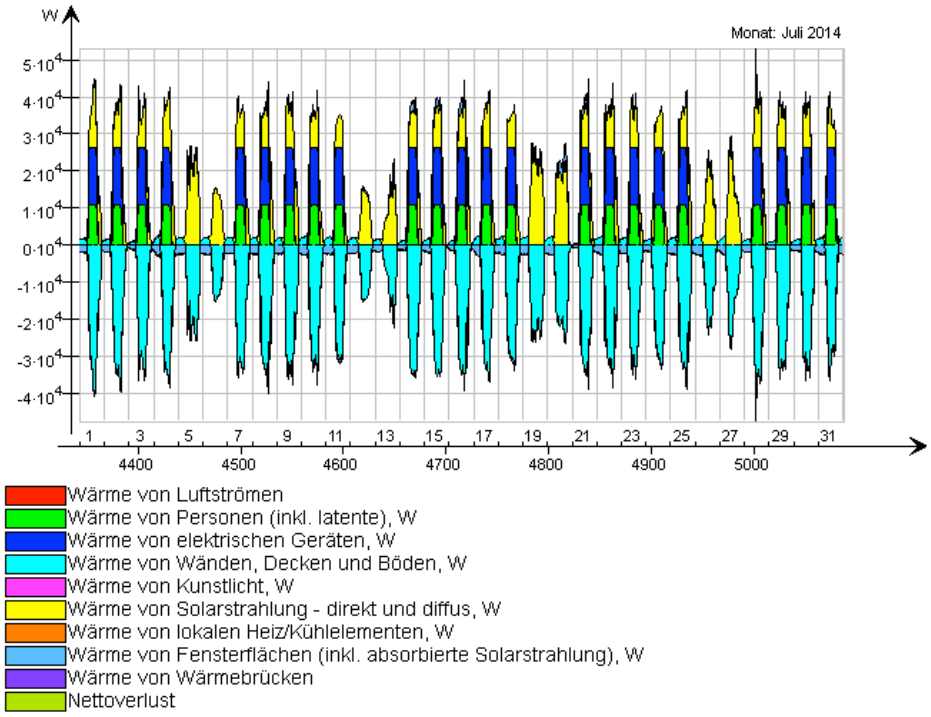


Abbildung 42: Monatsgrafik der Wärmebilanz in einer Zone (Stockwerk)

Die in der Abbildung 42 aufgezeigte „Wärme von Wänden, Decken und Böden, W“ zeigt die Kühlleistung der aktivierten Decken an, die zur Abdeckung der Kühllast herangezogen werden.

Es zeigt sich, dass die Abfuhr der notwendigen Kühlleistung, in Abhängigkeit der auftretenden Lasten, ausreichend erfolgt.

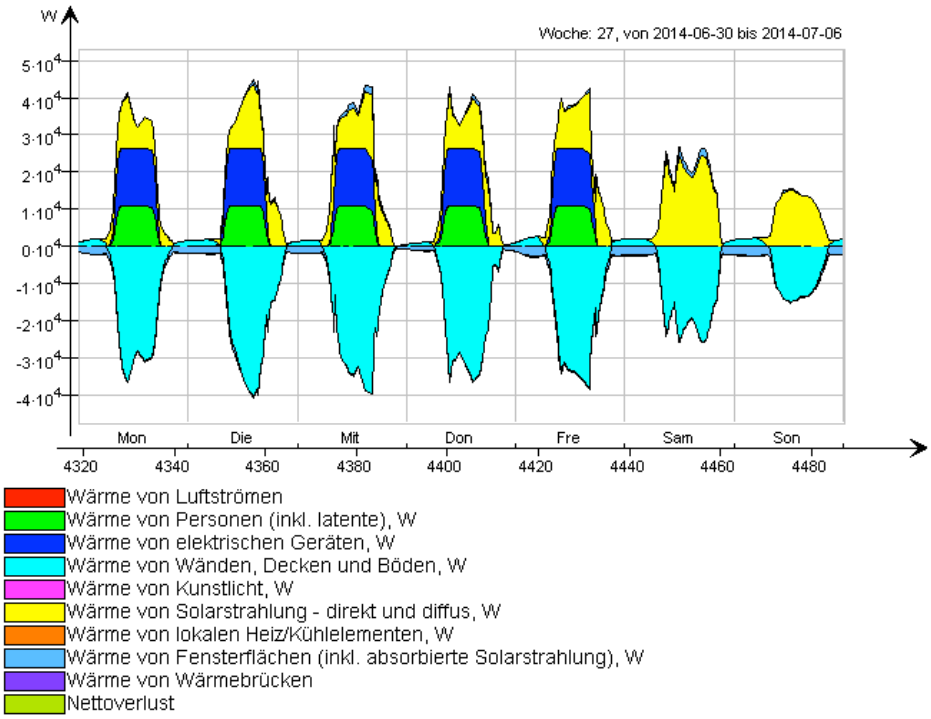


Abbildung 43: Wochengrafik der Wärme in einer Zone (Stockwerk)

Ein interessantes Detail zeigt sich in der Abbildung 43 in der Darstellung der Fensterflächen, die sich als „Wärme von Fensterflächen (inkl. absorbierte Solarstrahlung), W“ zeigt. In den Nachtstunden kühlen die Fensterflächen das Gebäude deutlich sichtbar aus und wandern dann im Tagesverlauf auf die Wärmeeintragsseite.

Der in der Simulation angesetzte U-Werte von 1 W/m²K für die Verglasung trägt also dazu bei, dass das Gebäude in der Nacht auskühlen kann. Eine Erhöhung des U-Wertes hat also eine Erhöhung der abzuführenden Wärmlasten, durch die Bauteilaktivierung, zur Folge.

Der Energiebedarf verteilt sich erwartungsgemäß, entsprechend des Jahreszeitverlaufes und zeigt ein Maximum im Monat 07. In der Simulation wurde die Decke auch für den Heizbetrieb verwendet, um auftretende Lastwechsel

zwischen Heiz- und Kühlbetrieb zu berücksichtigen und einen realen Betrieb abzubilden. (

In der Simulation wurden alle Anlagenkennwerte für die Bereitung der Kälte auf 1 gesetzt (COP1 Kälteerzeugung), um im Ergebnisfeld die Werte, ohne Wirkungsgradeinfluß, darstellen zu können. Bei der Simulation kann direkt das Ergebnis über den Anlagen-Wärmemengenzähler der Bauteilaktivierung abgelesen werden.

		kWh	kWh/m²
	Kühlen	116252	37.5
	Lüftung, Pumpen	642	0.2
	Gesamt, Strom - zentral	116894	37.7

Tabelle 2: Energiebedarf Bauteilkühlung

Die errechneten 37,7 kWh/m² a können als maximaler Kühlbedarf unter Normbedingungen bewertet werden. Durch den Abgleich des Nutzungsprofils und der internen Lasten, gem. ÖNORM, kann das Ergebnis an das AP02 übergeben werden.

Als Übergabeparameter für das Arbeitspaket 02 wird für die

Bauteilkühlung KB <35kWh/m²a übergeben.

8.3.3.3 Kühlung durch Lüftung

Da in einem Bürogebäude sowohl für die Einhaltung der Behaglichkeit als auch für die Erreichung der Energieeinsparziele, immer öfter eine Lüftungsanlage eingebaut werden sollte, um die notwendige Luftqualität ohne Einbuße der Behaglichkeit zu garantieren, ist die Nachtlüftung die Grundvariante, ohne jede weitere technische Kühlung.

Für die Bewertung und Bestimmung des Grenzwertes der Kühlung durch Nacht-Lüftung wurde der idealtypische Baukörper herangezogen. Durch die minimal auftretenden Kühllasten bei diesem Baukörper, der unter bauphysikalischen Kriterien entwickelt wurde, ist die zu erwartende, abzuführende Kühllast als gering einzustufen.

Als Workaround für die Energiebilanzierung wurde folgendes Vorgehen gewählt:

Es wurden zwei Varianten über ein Referenzjahr simuliert. Bei der ersten Variante wurde ein ideales Kühlelement, ohne Nachtlüftung, simuliert und die Kälteenergie berechnet. In einem zweiten Simulationsschritt wurde die Nachtlüftung aktiviert und ebenfalls die Kälteenergie berechnet. Die Differenz der beiden Simulationen ergibt die über die Kühlung durch Lüftung ersetzte und bereitgestellte Kälteenergie.

Für die Bewertung des Gebäudes wurde ein 3D-Model (siehe Abbildung 44) erstellt und als Basisvariante in das Tool eingegeben.

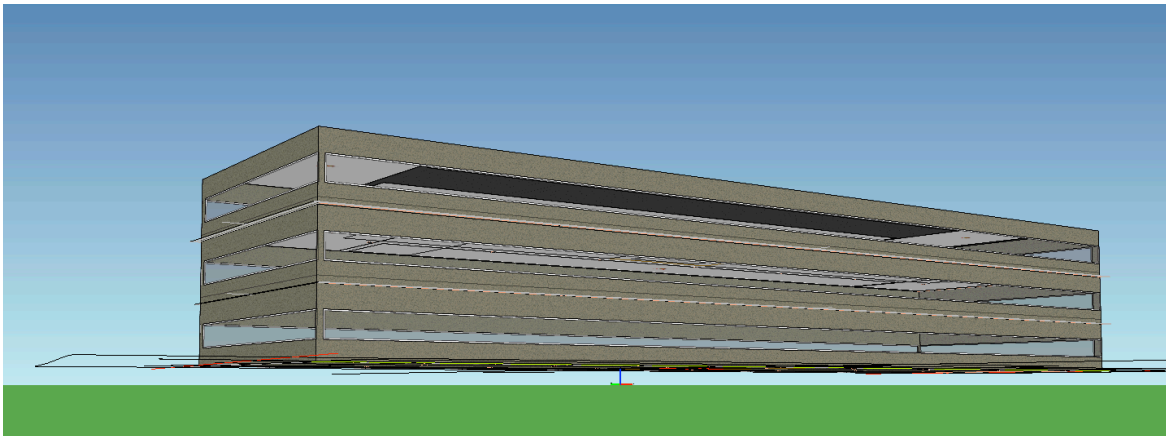


Abbildung 44: 3-D Darstellung des Simulationsgebäudes ITBK

Für die Bewertung wurden die einzelnen Geschosse als eine Zone eingegeben. Wie in Abbildung 45 ersichtlich, wurde im Zentrum des Gebäudes der Kern mit der Aufzugsanlage abgezogen und zählt daher nicht zum Volumen des Gebäudes. Die Wände des Erschließungskernes sind jedoch speicherwirksame Flächen und gehen in die Berechnung mit ein.

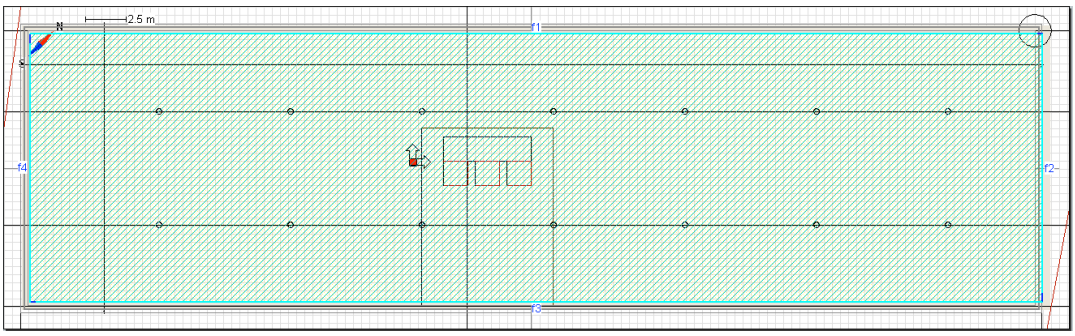


Abbildung 45: Grundriss des ITBK

Bei den Berechnungen wurden alle Wirkungsgrade des Kältebereitungssystems auf 1 gesetzt (COP1), um eine direkte Ausgabe der Kälteenergie im Ergebnisblatt der Endenergie ablesen zu können.

Die Simulation ergibt für den Rechenlauf des idealen Kühlelementes, ohne Lüftung, wie in Tabelle 3 zu lesen, folgendes Ergebnis:

		kWh	kWh/m²
	Kühlen	105171	33.9
	Lüftung, Pumpen	0	0.0
	Gesamt, Strom - zentral	105171	33.9

Tabelle 3: Energiebedarf ideales Kühlelement

Der spezifische Energiebedarf für die Kühlung beträgt 33,9kWh/m²a.

Im zweiten Simulationslauf wurde die Kühlung durch Lüftung aktiviert und wieder die Energie für die Kühlung bestimmt, wie in Tabelle 4 abzulesen.

		kWh	kWh/m²
	Kühlen	36196	11.7
	Lüftung, Pumpen	27115	8.8
	Gesamt, Strom - zentral	63311	20.4

Tabelle 4: Energiebedarf Kühlung durch Lüftung

Der spezifische Energiebedarf für die Kühlung beträgt 11,7kWh/m²a.

Die Differenz beider Berechnungen ergibt 22,2 kWh/m²a.

Um dieses Ergebnis auf seine Tauglichkeit zu überprüfen, wurde eine Simulation der Nachtlüftung durchgeführt und die Einhaltung der maximal zulässigen Temperaturen geprüft. Die Simulation wurde, wie zuvor mit einem 4-fachen Luftwechsel der Lüftungsanlage, in der Nacht durchgeführt. Bei Außentemperaturen unter 12°C wird die Nachtlüftung deaktiviert.

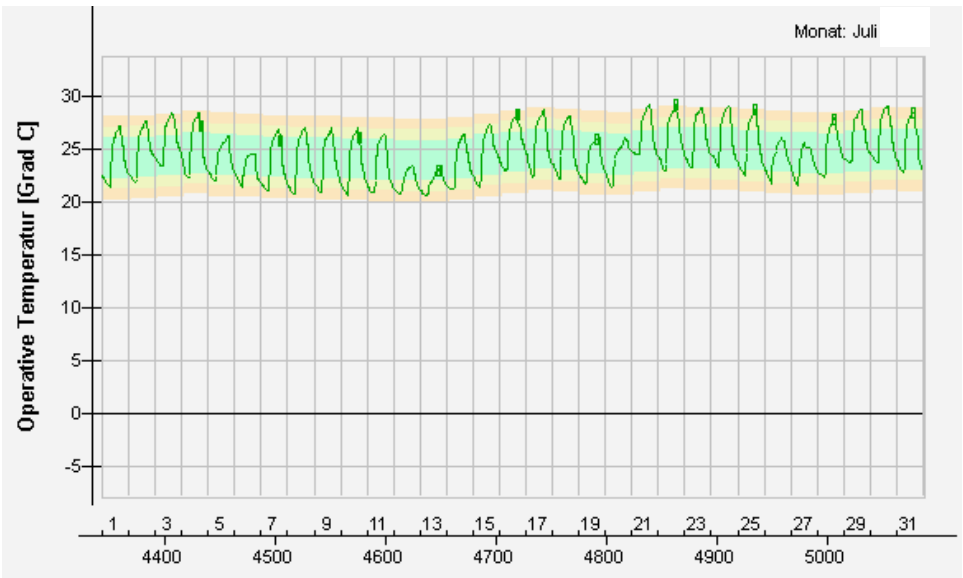


Diagramm 7: Beispiel operative Temperaturen, Sommer, Kühlung durch Lüftung, 4-F. LW

Die Überprüfung zeigt in Diagramm 7 nur geringste Überschreitungen bei ca. 23h im Jahr der Kategorie II gem. ÖNORM EN 15251 (ÖNORM EN 15251, 2007, p. 27).

Die schwankenden Behaglichkeitsgrenzen sind auf der Normung ÖNORM EN 15251 (ÖNORM EN 15251, 2007, p. 27) für die Bewertung von Räumen, ohne Klimatisierung, begründet. Mit einer Kühlung durch Lüftung kann somit das Gebäude, unter Einhaltung der Komfortgrenzen, betrieben werden.

Da bei der Berechnung noch nicht alle Möglichkeiten einer Anlagenoptimierung ausgeschöpft wurden, kann der zuvor errechnete Wert aufgerundet werden (Erhöhung Luftwechsel usw.).

Bei höheren Luftwechselraten kann die eingebrachte Kühlenergie wesentlich erhöht werden. Die Einhaltung der Behaglichkeitskriterien verlagert sich dann sogar an die untere Grenze des Behaglichkeitsfeldes. Da dies außerhalb der Betriebszeiten erfolgt, kann dies auch als zulässige Betriebsweise angesehen werden.

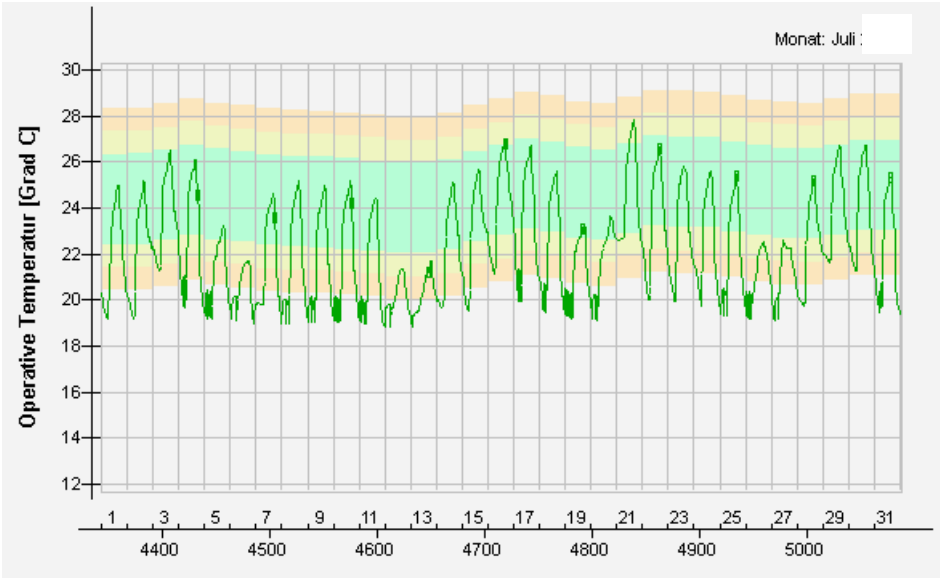


Diagramm 8: Beispiel operative Temperaturen, Sommer, Kühlung durch Lüftung, 6-F. LW

Durch den Grenzwert und Regelparameter 20°C operativer Temperatur für die Nachtlüftung, schwingt die Temperatur bis auf 19°C, wie in Diagramm 8 ersichtlich und man läuft Gefahr, dass das Gebäude an einigen Tagen zu kalt „in den Tag startet“.

Als zu übergebender Grenzwert an das AP2 wird somit ein Wert, der geringfügig über dem untersten Kühlenergiewert der Grundsimulation liegt, von 25 kWh/m²a für die freie Kühlung angegeben.

Kühlung durch Lüftung KB < 25kWh/m²a

8.3.4 Ergebnis und Parameterübergabe

Für den integralen Entwurf werden die relevanten Parameter aus dem Arbeitspaket 01 an das Arbeitspaket 02 übergeben. Die folgende Abbildung zeigt den organisatorischen Ablauf der Parameterübergabe.

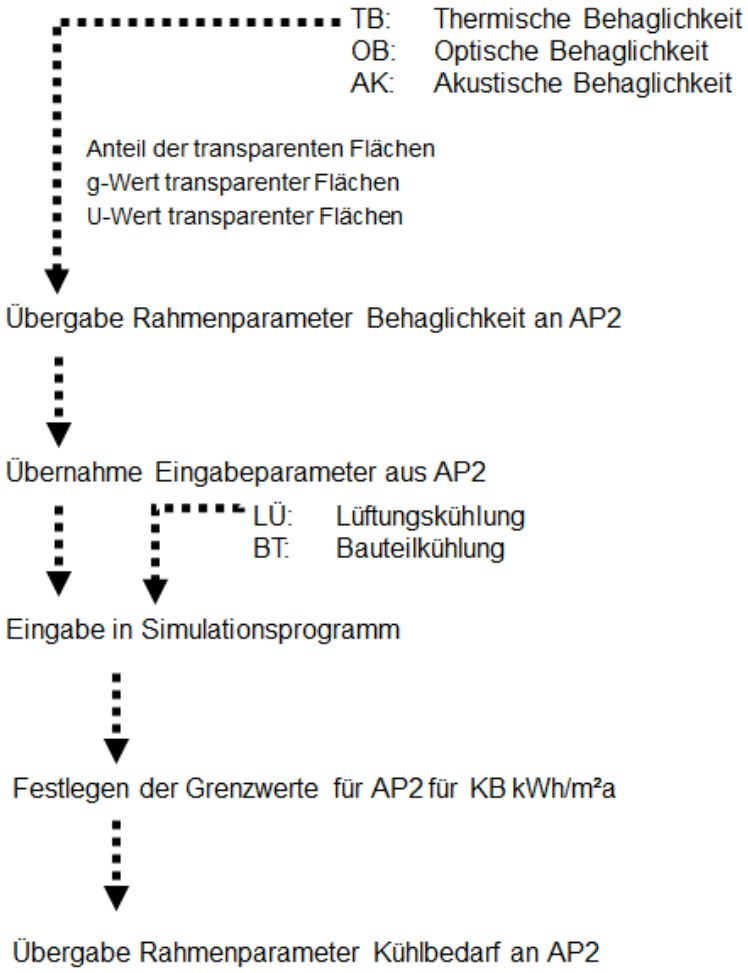


Abbildung 46: Ablaufdiagramm Parameterübergabe

8.3.4.1 Behaglichkeitsparameter

Als Ergebnis der Untersuchung wurden Behaglichkeitsparameter gefunden, die auf die bauphysikalische Größen des integralen Entwurfes wirken. Die neuen Grenzwerte für die bauphysikalischen Größen wurden gefunden.

Diese Grenzwerte werden an das Arbeitspaket 02 übergeben und finden so direkte Berücksichtigung im weiteren Planungsprozess.

U-Wert Fenster < 1-1,4 W/m²K

g-Wert > 0,45

8.3.4.2 Parameter der technischen Systeme

Als zweites Ergebnis wurden Grenzwerte für die maximal zulässige Kühllast des Gebäudes gefunden. Die Grenzwerte, ohne eine technische Klimatisierung errichten zu müssen, wurden für die „Kühlung durch Lüftung“ und für die „Bauteilkühlung“ gefunden.

Diese bedeutet, dass die, durch die Bauweise definierten Grenzen der Sommertauglichkeit, durch die technischen Systeme weiter angehoben werden können.

Diese Grenzwerte werden an das Arbeitspaket 02 übergeben und finden so direkte Berücksichtigung im weiteren Planungsprozess.

Kühlung durch Lüftung KB < 25kWh/m²a

Bauteilkühlung KB <35kWh/m²a

8.3.5 „Entscheidungsbaum“ der technischen Systeme

Zur raschen Entscheidungsfindung wurde ein „Entscheidungsbaum“ für die technischen Systeme entwickelt. Der in Kapitel 12 angewendete Entwurfsprozess mit seiner „Ergebnisampel“ kann mit Hilfe des Entscheidungsbaumes eine Auswahl der möglichen technischen Systeme liefern.

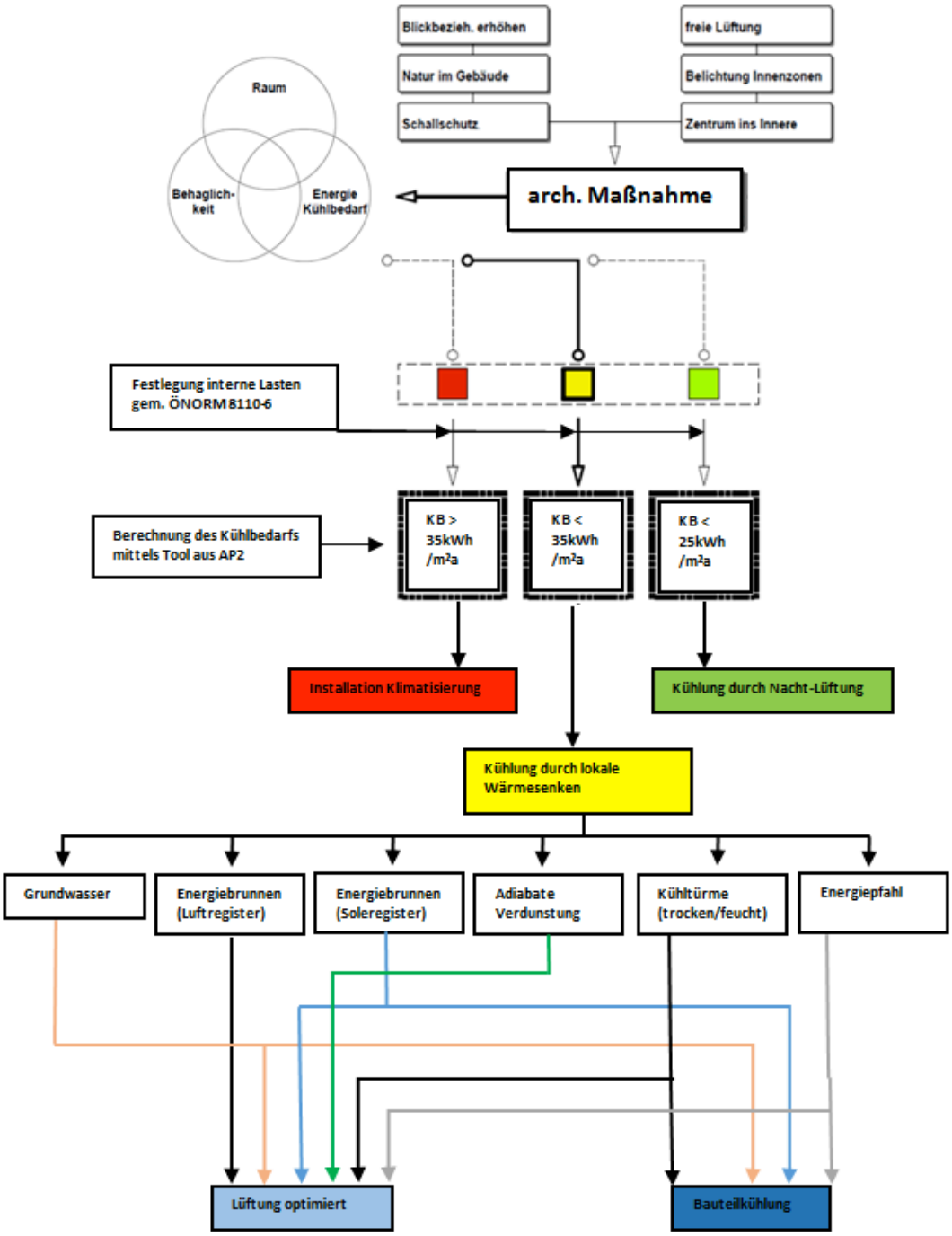


Abbildung 47: Entscheidungsbaum der technischen Systeme

Die Abbildung 47 zeigt, dass aus der architektonischen Handlung heraus die „Freigabe“ über die „Ergebnisampel“ erfolgt. Schaltet die Ampel auf Grün, so wurde der Grenzwert von 25kWh/m²a unterschritten. Die notwendige technische Maßnahme beschränkt sich somit auf eine reine Nachtlüftung.

Wird dieser Grenzwert überschritten und liegt zwischen 25kWh/m²a und 35 kWh/m²a, ist eine Auswahl einer zusätzlichen Wärmesenke bzw. Kältequelle erforderlich. Diese kann über den Entscheidungsbaum ausgewählt werden.

Kommt es zu einer Überschreitung des Grenzwertes von 35 kWh/m²a, so müssen Kältemaschinen eingesetzt werden und zusätzliche Kühlelemente im Gebäude, um die auftretende Kühllast abzuführen. Die Ampel steht auf Rot.

8.4 Resümee

Bei der Suche nach Behaglichkeitsparametern, die einschränkend auf die ausgesuchten, energetisch wirksamen Parameter wirken, hat sich im Laufe der Untersuchungen herausgestellt, dass ein Einfluss auf zwei bauphysikalische Größen der transparenten Bauteile (U-Wert und g-Wert der Fenster) besteht.

Dieses Ergebnis liegt vor allem darin begründet, dass die Übergabeparameter an das Arbeitspaket 02 „Energie und Bauphysik“ auf die energetischen Hauptparameter beschränkt wurde. Das statistische Auswertungs-Modell könnte bei anderen Fragestellungen weitere Behaglichkeitseinflüsse bewerten. Die Auswirkung der architektonischen Handlungen auf die Behaglichkeit könnten so über das DOE-Modell, z.B. für Überkopfverglasungen, bereichsweise 100% Fensteröffnungen usw., die voraussichtlich engere U-Wert Grenzen in diesen Bereichen fordern, bewertet werden.

U-Werte für Fenster kleiner 1,4W/m²K sind heute selbstverständlich und somit keine wirkliche Einschränkung. Die Vorgabe, den g-Wert nicht niedriger als 0,45 anzusetzen, erfordert eine genaue Abstimmung der anderen energetischen Einflussgrößen, um die Hypothese zu erfüllen. Mit dieser Beschränkung werden architektonische Konzepte mit sehr hohen Glasanteil eingeschränkt. Gerade aber für diesen einschränkenden Parameter gibt es noch hohen Forschungsbedarf, um diese Forderungen stärker zu untermauern.

Durch die angewandt Methode kann der Entwurfprozess positiv beeinflusst werden. Durch die frühe Abschätzung von Einschränkungen auf die anderen Fachbereiche, können Umwege und falsche Entscheidungen minimiert werden.

Die Methode kann die fachliche Interpretation und die auftretenden Fragestellungen nicht ersetzen, jedoch kann sie eine schnelle Entscheidungsfindung unterstützen.

Die Suche nach Grenzwerten für den Kühlenergiebedarf, der durch die Auswahl der technischen Systeme gebildet wird, ist ein gutes und ausbaufähiges Instrument, den Entwurf in die richtige Richtung zu lenken. Die Ergebnisse wurden als Grenzwerte übergeben und konnten den Entwurfsprozess wesentlich beeinflussen.

Die Auswahl der lokalen Wärmesenken konnte umfänglich durchgeführt werden. In den Berechnungen wurden die Wärmesenken immer als ausreichend dimensioniert angenommen, sodass der Kältebedarf mit dem gewünschten Temperaturniveau für Bauteilkühlung abgedeckt werden konnte. Eine Varianz der zur Verfügung stehenden tatsächlichen Leistungen der Wärmesenken wurde oft überlegt, jedoch verworfen, da dies schon eher in die Projektierung eines Projektes führt als in den Entwurf. Die Gültigkeit dieser Aussagen wäre dann auch nur noch auf einen Bauplatz beschränkt.

Variationen des Kälteabgabesystems im Gebäude könnten durchgeführt werden. Die Bauteilkühlung, die mit relativ hohen Vorlauftemperaturen optimal die lokal verfügbaren Wärmesenken nutzen kann, wird aber auch hier voraussichtlich das optimale System darstellen.

Bei der Grenzwertfindung für „Kühlung durch Lüftung“ können durch eine breitere Varianz der eingesetzten technischen Anlagen und der Regelstrategien Vorteile im Entwurf gefunden werden. Optimierte Lüftungsanlagen mit adiabater Kühlung über Wärmetauscher, Varianten durch vorgekühlte Frischluft und somit auch Tagbetrieb mit aktiver Kühlung über lokale Wärmesenken usw., können hier noch detailliertere Entscheidungspfade für die technischen Systeme liefern.

Für eine breitere Anwendung der Methode sollte untersucht werden:

- Alternative Rechenmethoden der Grenzwertfindung des maximal zulässigen Kühlbedarfs ohne dynamische Simulation
- oder Aufstellen einer nationalen „Kühlbedarf Geo-Map“ um die Grenzwerte Standort bezogen übergeben zu können.

- die Abhängigkeit der Standortrelevanz untersuchen.
- Variantenuntersuchungen von unterschiedlichen Lüftungsstrategien und deren Wirksamkeit auf den maximal zulässigen Kühlbedarf.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die angewendete Methode, mit der Übergabe der Werte an das Arbeitspaket 02 und den angewendeten Methoden der AP02 und AP03, im gemeinsamen integralen Entwurf sinnvoll eingesetzt werden konnte und die Entscheidungsfindungen wesentlich rascher stattfinden konnten. Der integrale Entwurfsprozess konnte erfolgreich begleitet und gestaltet werden.

9 METHODISCHE UNTERSUCHUNG DER ENERGETISCHEN UND BAUPHYSIKALISCHEN EINFLUSSGRÖßEN FÜR DEN ENTWURF

Kurzfassung

Das folgende Arbeitspaket untersucht das Anwenden einer statistischen Optimierungsmethode (Design of Experiments; DoE) für den Entwurf eines Bürogebäudes am Standort Kitzbühel. Eine statistische Funktionsgleichung über die Wechselwirkung unterschiedlicher Einflussparameter soll es ermöglichen, im integralen gemeinsamen Entwerfen die Zielgrößen des Entwurfs schnell abzuschätzen. Mit der Anwendung dieser Methode sollen richtungweisende Entscheidungen gemeinsam getroffen werden und bei Veränderungen von entwurfsrelevanten Parametern eine tendenzielle Aussage hinsichtlich der Entwicklung der definierten Zielgrößen oder Fragestellungen gemacht werden können.

Angewandt und erprobt wird die Methode anhand der Fragestellung ein Bürogebäude ohne technischen Kühlbedarf unter energetischen, raumklimatischen und räumlichen Parametern im integralen Team zu entwerfen. Die Vorgangsweise der Untersuchung wird einerseits über die Fragestellung und andererseits über den Ablauf der statistischen Versuchsplanung strukturiert. In einem ersten Schritt werden die zu untersuchenden Parameter festgelegt. Über die Bandbreite der einzelnen Einflussgrößen wird in weiterer Folge der gültige Simulationsraum festgelegt. Es folgt eine Sensitivitätsanalyse, die die mathematische Abhängigkeit der Einzelparameter fixiert. Zum Erzeugen der mathematischen Funktion müssen eine Reihe von Variantenrechnungen durchgeführt werden. Diese Varianten werden vom statistischen Programm vorgegeben und decken den gesamten Simulationsraum ab. Je größer die Anzahl der Parameter ist, desto mehr Varianten werden zum Erzeugen der Funktionsgleichung benötigt. Für vorliegende Untersuchung waren 162 Berechnungen nötig.

Die vom statistischen Programm erzeugte Funktionsgleichung und die grafische Auswertung der Wechselwirkungen unterschiedlicher Parameter wurden im Entwurfsprozess erprobt. Aufgrund der raschen Aussagekraft und der breiten Anwendbarkeit hat sich dabei die Methode gut bewährt. Es konnten gleich am Beginn des Prozesses sowohl Tendenzen der energetischen Performance des Gebäudeentwurfes als auch Grenzen des Entwurfes hinsichtlich der Einhaltung der definierten Einflussgrößen definiert werden. Wesentlicher Vorteil gegenüber

herkömmlichen Methoden war die Möglichkeit der raschen Beantwortung der Fragestellungen während des integralen Prozesses.

9.1 Einleitung und Motivation

Die Akteure und Akteurinnen im Prozess zur Erstellung eines nachhaltigen Gebäudes sind sich in einem Punkt einig: Soll ein Gebäude möglichst viele nachhaltige Kriterien erfüllen, müssen möglichst früh diese Kriterien ins Gebäudekonzept integriert werden. Für den Entwurfsprozess heißt dies kulturelle, technische, ökologische und ökonomische Entwurfsparameter in einem kreativen Prozess der Architektur zugrunde zu legen. Dies ist aufgrund der Aufspaltung von Architektur in viele Spezialgebiete nur in einem integralen Prozess möglich. Voraussetzung für das integrale Entwerfen ist das gemeinsame Teilhaben an den Entwicklungs- und Entscheidungsphasen des kreativen Prozesses. Der kreative Prozess lässt sich, wie eingangs festgestellt, nicht in aufeinander folgende Prozessschritte zurückführen, sondern folgt eigenen, sich der Akteure anpassenden Gesetze. Soll das integrale Entwerfen gelingen, ist die Einführung von schnellen iterativen Prozessen nötig. Für diese iterativen Prozesse braucht es Methoden, die die Entscheidungsfindung wesentlich unterstützen und zudem schnell anwendbar sind. Gerade in der Abschätzung der Energieeffizienz durch gestaltgebende, oft sehr komplexe Parameterkonfigurationen fehlen geeignete Abschätzungswerkzeuge, die im Entwurfsprozess einsetzbar sind. Simulationsprogramme oder andere Berechnungstools liefern Ergebnisse hinsichtlich fixierter Entwurfsvarianten, können aber bei Veränderung der Parameter keine tendenziellen Aussagen hinsichtlich der Entwicklung der Energieperformance geben.

Der Physiker Bruno Keller fasst dies 1997 im Vorwort seines Buches „Klimagerechtes Bauen“ wie folgt zusammen:

> „*Was der Planer und Praktiker vermisst, ist eine Übersicht über die objektspezifischen Abhängigkeiten: Was geschieht mit dem Energie- und Leistungsbedarf, wenn er einen oder mehrere Parameter verändert? (…) Der Planer braucht nicht so sehr präzise Koordinatenangaben und den „Standpunkt“ seines Projektes, sondern er bräuchte eine Landkarte, auf der er seine Handlungsspielräume ersehen kann. Dies ist insbesondere wichtig für die besonders entscheidungsträchtigen frühen Planungsfragen.“* (Keller, 1997, p. Vorwort)

Dieser Teil der Arbeit beschäftigt sich mit jenen Parametern, die den Kühlbedarf als wesentliche Größe für Bürogebäude beeinflussen. Die Parameter werden beschrieben und in einer Sensitivitätsanalyse am Standort für die Typologie untersucht. Wesentlicher Teil ist jedoch der Versuch, für den Entwurfsprozess eine Methode anzuwenden, die es ermöglicht, rasche Aussagen über die Tendenz der Energieperformance zu geben um den Handlungsspielraum für die Architekturschaffenden abzugrenzen.

9.2 Stand der Technik

9.2.1 Normung und gesetzliche Anforderungen

Die aktuellen Visionen unserer gebauten Umwelt gehen in Richtung Niedrigstenergie- oder Plusenergiegebäude und in Richtung Einbindung erneuerbarer Energieträger zur Gebäudekonditionierung. Neben dem allgemeinen gesellschaftlichen Status Quo über die Wichtigkeit der CO_2 Reduktion stellen die Festlegungen der 20-20-20 Klimaziele durch die Europäische Union einen wesentlichen Faktor für diese Entwicklung dar. In der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden vom 19. Mai 2010 sind für den Gebäudesektor klare Ziele definiert. Die gesamten Treibhausgasemissionen sollen um 20% gegenüber den Werten von 1990 gesenkt werden. Weiters werden eine Effizienzsteigerung von 20% und ein verstärkter Einsatz von erneuerbarer Energiequellen (+20%) gefordert. Die EU Richtlinie sieht zudem vor, dass bis 31. Dezember 2020 alle neuen Gebäude Niedrigstenergiegebäude sein sollen. Der Fokus der Energieperformance der Gebäude soll verstärkt in Richtung Gesamtenergieeffizienz gehen. Wie die unten stehenden Artikel 8 und Artikel 9 der EU Richtlinie 2010/31 darstellen, sollen lokale Bedingungen berücksichtigt und alle Gebäudekomponenten mit einbezogen werden, wobei der Kosteneffizienz der Gebäude eine große Rolle zukommt.

> *„Bei Maßnahmen zur weiteren Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sollte den klimatischen und lokalen Bedingungen sowie dem Innenraumklima und der Kosteneffizienz Rechnung getragen werden. Diese Maßnahmen sollten anderen Anforderungen an Gebäude, wie beispielsweise Zugänglichkeit, Sicherheit und beabsichtigte Nutzung des Gebäudes, nicht entgegenstehen.“*(RICHTLINIE 2010/31/EU, 2010, p. 2)

„Die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sollte nach einer Methode berechnet werden, die national und regional differenziert werden kann. Dabei sollten zusätzlich zu den Wärmeeigenschaften auch andere Faktoren von wachsender Bedeutung einbezogen werden, z.B. Heizungssysteme und Klimaanlagen, Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, passive Heiz- und Kühlelemente, Sonnenschutz, Raumluftqualität, angemessene natürliche Beleuchtung und Konstruktionsart des Gebäudes.“(RICHTLINIE 2010/31/EU, 2010, p. 2)

Verstärkt hingewiesen wird in der EU Richtlinie auf die notwendige Qualitätssteigerung der Gebäude im Sommer. Dies vor allem vor dem Hintergrund der Zunahme der Klimaanlagen in den europäischen Ländern und der damit verbundenen steigenden Spitzenlastzeiten.

„Vorrang sollte“, laut Artikel 25 der EU Richtlinie, *„Strategien eingeräumt werden, die zur Verbesserung der thermischen Eigenschaften der Gebäude im Sommer beitragen. Hierzu sollte man sich auf Maßnahmen zur Vermeidung einer übermäßigen Erwärmung, wie Sonnenschutz und ausreichende Wärmekapazität der Gebäudekonstruktion, und auf Weiterentwicklung und Einsatz der passiven Kühlung konzentrieren, und zwar in erster Linie auf solche Maßnahmen, die zur Verbesserung der Qualität des Raumklimas und zur Verbesserung des Mikroklimas in der Umgebung von Gebäuden beitragen.“* (RICHTLINIE 2010/31/EU, 2010, p. 4)

In Österreich werden zukünftig auf Basis dieser Anforderung für die Gebäudeperformance zusätzliche Kennwerte zur Beurteilung der Energieeffizienz von Gebäuden eingeführt. Im Dokument „zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“ des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) sollen Heizwärmebedarf (HWB*), Kühlbedarf (KB*), Primärenergiebedarf (PEB) und CO2 als gleichwertige Anforderungskennwerte anerkannt werden. Weiters wird ein Gesamtenergieeffizienzfaktor (f_{GEE}) definiert. Er stellt den Quotient aus Lieferenergiebedarf und Referenzendenergiebedarf dar und legt somit einen Fokus auf die Gebäudetechnik. (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2014, p. Nationaler Plan)

Vor dem Hintergrund eines dualen Nachweisszenarios über den maximalen Heizwärmebedarf und den Heiztechnikenergiebedarf am Referenzstandort

einerseits, beziehungsweise über einen maximalen Heizwärmebedarf und einen einzuhaltenden Gesamtenergieeffizienzfaktor andererseits werden die technische Ausstattung und der Energieträger in Zukunft eine maßgebliche Rolle in der Gebäudekonzeption einnehmen. Wie Abbildung 48 Abbildung 49zeigt sollen die zusätzlichen Anforderungswerte für den Primärenergiebedarf und für den Gesamtenergieeffizienzfaktor mittels fixen Werten eingeführt werden.

	HWB_{max} [kWh/m²a]	EEB_{max} [kWh/m²a]	$f_{GEE,max}$ [-]	PEB_{max} [kWh/m²a]	$CO2_{max}$ [kg/m²a]
2014	5,50 × (1 + 3,0 / ℓ_c)	mittels $HTEB_{Ref}$		230	36
2016	4,67 × (1 + 3,0 / ℓ_c)	mittels $HTEB_{Ref}$		210	33
	oder				
	5,50 × (1 + 3,0 / ℓ_c)		$f_{GEE,DLGneu,max}$		
2018	4,00 × (1 + 3,0 / ℓc)	mittels $HTEB_{Ref}$		190	30
	oder				
	5,50 × (1 + 3,0 / ℓ_c)		$f_{GEE,DLGneu,max}$		
2020	3,33 × (1 + 3,0 / ℓ_c)	mittels $HTEB_{Ref}$		170	27
	oder				
	5,50 × (1 + 3,0 / ℓ_c)		$f_{GEE,DLGneu,max}$		
	$f_{GEE,DLGneu,max}$ … Diese Werte ergeben sich jeweils aus der strengeren HWB-Anforderung und der Anwendung der Referenzausstattungen.				

Abbildung 48: OIB Anforderung für Nichtwohngebäude bis 2020 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2014)

Anforderungswerte für den Kühlbedarf sind in diesem Dokument nicht festgelegt. Gültig ist der in der OIB Richtlinie 6 festgelegte Anforderungswert für den außeninduzierten Kühlbedarf von 1 kWh/m³a am Referenzstandort. (OIB Richtlinie 6, 2011, p. 4)

Aus der Formulierung der Richtlinie 2010/31/EU ist abzulesen, dass die Forderung nach dem Einsatz alternativer Energiesysteme gebunden ist an die Forderung der Optimierung der Gebäudehülle. Der Einsatz alternativer Energieversorgungssysteme soll für Gebäude, so die EU Richtlinie, *„unabhängig von ihrer Größe, in Betracht gezogen werden, unter Beachtung des Grundsatzes, dass zuerst der Energiebedarf für die Heizung und Kühlung auf ein kostenoptimales Niveau zu senken ist.“* (RICHTLINIE 2010/31/EU, 2010, p. 3)

Die Nutzung von am Standort vorhandener erneuerbarer Ressourcen, beziehungsweise der Einsatz alternativer Energiesysteme hat einen wesentlichen Einfluss auf den architektonischen Entwurf. Die Tatsache, dass die Nutzung von Photovoltaik und von Solarthermie einen großen Einfluss auf den Gebäudeentwurf

hat, ist bei den Architekten und Architektinnen gut etabliert. Noch kaum in den Entwurfsprozess integriert ist hingegen die gestaltbeeinflussende Wirkung der Optimierung des Entwurfes hinsichtlich der Anwendung passiver und hybrider Kühlkonzepte. Die Nachfrage nach „Low-Tech Strategien“ werden aufgrund der Forderung der EU Richtlinie nach kostenoptimalen Gebäuden und der immer höher werdenden Anteils der Kosten für die technische Gebäudeausrüstung an den Gesamtbaukosten verstärkt.

Im Bürobau ist hier besonders der Anstieg an Klimatisierungstechnik zu erwähnen. Das EU Projekt „Keep Cool II“ prognostiziert beispielsweise eine Verdoppelung des Kühlbedarfs für Büro – und Verwaltungsgebäude bis zum Jahr 2020. Die erhöhte Nachfrage erklärt sich laut Studie „Keep Cool II – Vom Kühlen zum Nachhaltigen Sommerkomfort“

> „*durch steigende interne Lasten aufgrund von vermehrten elektrischen Büroanwendungen, aber auch durch höhere Komfortansprüche im Sommer. Großzügig verglaste Außenflächen tragen außerdem zu sommerlichen Überhitzungserscheinungen bei, auch und gerade in den nördlichen Regionen Europas. Manchmal benötigen klimatisierte Gebäude in Nordeuropa sogar mehr Kühlenergie als in Südeuropa, wo sich die Architektur den herrschenden klimatischen Gegebenheiten bereits seit langem angepasst hat.“* (Dröschl, 2007, p. 2)

Vor dem Hintergrund des nationalen Planes zur Erreichung der Klimaschutzziele 2020 der Richtlinie 2010/31 des Europäischen Parlamentes und Rates gibt es also zahlreiche neue Fragestellungen, die die Forschung zur Energieeffizienz und zum frühen Entwurfsprozess wesentlich beeinflussen.

Vor allem für Nichtwohngebäude stellt sich die Frage, ob der Heizwärmebedarf (HWB*) und der Kühlbedarf (KB*) am Referenzstandort die richtigen Größen sind, um eine niedrige Gesamtenergieperformance vorauszusagen. Aufgrund der höheren Primärenergiewertigkeit von elektrischer Energie wird der Fokus im Nichtwohngebäude verstärkt auf den Kühlenergiebedarf (KEB) gelenkt. Der Kühlenergiebedarf gibt jene Energiemenge wieder, die das technische System aufwenden muss, um unter Anwendung des gebäudespezifischen Nutzungsprofils das Gebäude auf einer bestimmten Temperatur zu halten. Um den KEB zu minimieren, bedarf es ein auf den Kühlbedarf hin optimiertes Gebäudekonzept, eine intelligente Anlagentechnik und den Einsatz regenerativer Energiequellen.

Wenn es gelingt, das Gebäude so zu optimieren, dass die Kühlung ausschließlich über hybride Konzepte funktioniert, wird der KEB je nach System im Gebäude gleich null, beziehungsweise gering (Pumpleistung, Ventilatorenleistung) sein.

Eine wichtige Anforderungsgröße ist demnach der Kühlbedarf am Standort. Erst wenn dieser unter eine bestimmte Grenze fällt, können hybride Kühlsysteme zur Erfüllung von Behaglichkeitskriterien im Sommer angewandt werden.

9.2.2 Einflussgrößen in der Forschung

In Hinblick auf die Entwicklung hin zum Niedrigstenergie- oder Plusenergiegebäude wird in zahlreichen Studien und Veröffentlichungen die Beeinflussung der Nutzenergie durch unterschiedliche Einzelparameter untersucht und dargestellt. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag bislang im Wohngebäude und befasste sich mit Parametern, die den Heizwärmebedarf minimieren. Vor allem seitens der Energieberatung wurde sehr lange der Fokus stark auf die Optimierung des Heizwärmebedarfs über eine maximal mögliche Ausnutzung der äußeren Gewinne gelegt. Der Zusammenhang der Minimierung des Heizwärmebedarfs und der gleichzeitigen, nicht immer positiven Auswirkung auf die sommerliche Überhitzung wurde dabei nicht kritisch hinterfragt. Sommertauglichkeitsuntersuchungen spielten vor Einführung der OIB Richtlinie in einigen Bundesländern Österreichs im Entwurfs- und Baueinreichungsprozess keine Rolle. Auch nach Einführung der OIB Richtlinie 6 im Jahr 2006, die ja einen Nachweis über den KB* oder über die ÖNORM B8110–3: „Wärmeschutz im Hochbau – Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse“ zwingend fordert, spielte dieser Nachweis eine eher untergeordnete Rolle. Grund dafür war, wie Krec in seiner Studie „Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden“ feststellt, dass das Nachweisverfahren nach ÖNORM B8110–3 lediglich eine Ja oder Nein Entscheidung zulässt. Diese Vorgangsweise verhindere zwar Fehlplanungen, kann aber nicht zu einer Optimierung unterschiedlicher Einflussgrößen beitragen. (Krec, 2006, p. 1)

Die Forschung zu diesem Thema teilt sich einerseits in Forschung zu technischen Konzepten und regenerativen Energiequellen, andererseits in Forschung zu Gebäudekonzepten und Einflussgrößen, die Grundlage für eine optimierte Gesamtenergieperformance sind. Den Untersuchungen gemeinsam ist das Wissen über das Zusammenspiel des architektonischen Konzeptes (Entwurfs), des Gebäudes, des Standortes sowie die Wahl der haustechnischen Ausstattung und

der Energieträger. Anhand zwei aktueller Studien sollen zwei Themen dargestellt werden:

- die Beeinflussung der Energiekennzahl eines Gebäudes durch das Standortklima und
- der Einfluss der gestaltbildenden Größen auf die Energieperformance

Die Studien, die nachfolgend zur Erläuterung der Fragen herangezogen werden, sind die Studie der Hochschule Luzern „Das Klima als Entwurfsfaktor im Bürobau“ (Settembrini & Urs-Peter, 2014) und das Haus der Zukunft Projekt 56a/2012; „Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbaren Energieerschließung“ (Bointner et al., 2012).

Einfluss der Standortbedingungen:

Beide Studien beschreiben den Einfluss des Standortklimas auf die Nutzenergie. Untersuchungen zur Standortvarianz von gleichen Baukörpern zeigen, dass der Klimaeinfluss am Standort, hier vor allem die zu erwarteten Temperaturen und die globale Einstrahlung, einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzenergie haben. Optimierungsvoraussetzung beziehungsweise Voraussetzung für qualitativ hochwertige Planung ist, so eine Kernaussage der zitierten Forschungsarbeiten, die Kenntnis der Klimadaten am Standort.

In einem Vergleich von Bürobauten an unterschiedlichen Standorten zeigt die Studie der Hochschule Luzern „Das Klima als Entwurfsfaktor im Bürobau“ deutlich die unterschiedliche Entwicklung des Nutzenergiebedarfs. (siehe Abbildung 49).

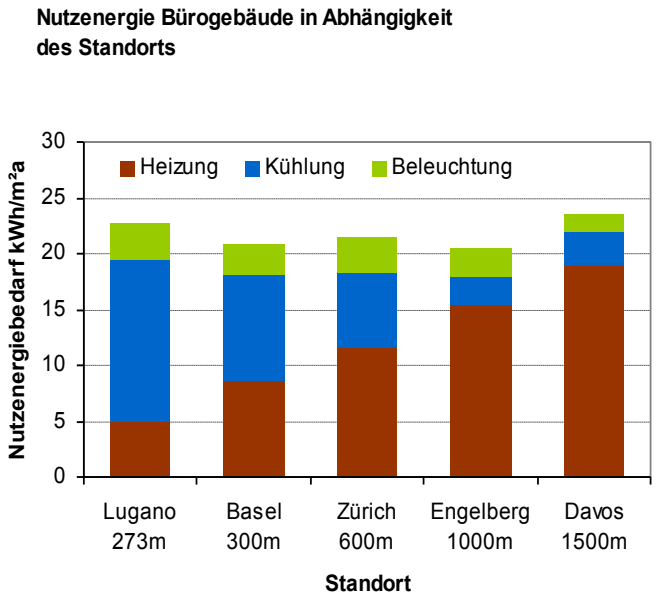


Abbildung 49: Nutzenergievergleich Bürobau an unterschiedlichen Standorten [eigene Darstellung nach (Settembrini & Urs-Peter, 2014, p. 15) **Abbildung 15]**

Relevante Aussage der Untersuchung ist, dass dasselbe Gebäude *„(…) in Basel lediglich die Hälfte für die Heizung und entsprechend mehr für die Kühlung als in Engelberg“* aufwendet.(Settembrini & Urs-Peter, 2014, p. 14)

Zu einem vergleichbaren Ergebnis kommt das Haus der Zukunft Projekt 56a/2012; „Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbaren Energieerschließung“ (Bointner et al., 2012). In diesem Forschungsprojekt wird unter anderem ebenfalls der Einfluss des Standortklimas für unterschiedliche Gebäudetypen untersucht. Auch hier sind, wie in Abbildung 50 für den Typus Reihenhaus und den Typus Einfamilienhaus dargestellt, deutliche Unterschiede der Energieperformance an den Standorten zu erkennen.

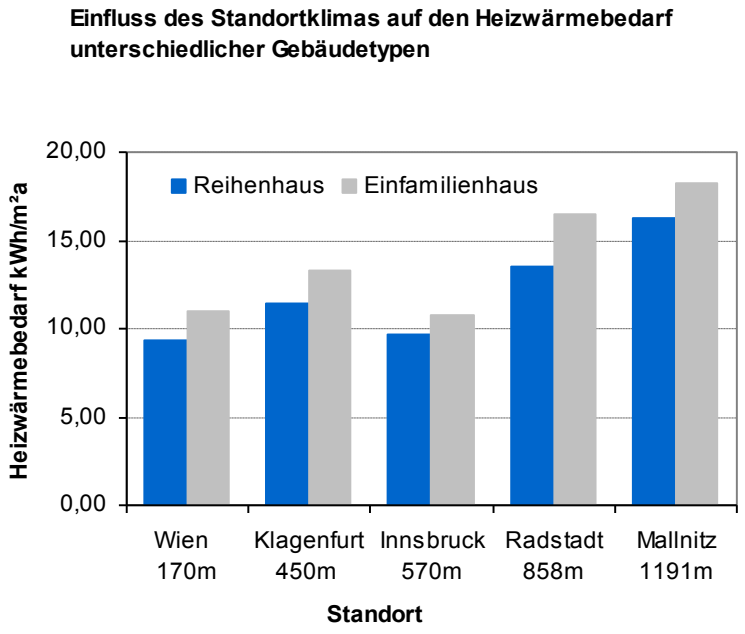


Abbildung 50: Flächenbezogener Heizwärmebedarf des Bautypus Reihenhaus und Einfamilienhaus an fünf österreichischen Standorten [eigene Darstellung nach (Bointner et al., 2012, p. 76) **Abbildung 32]**

Einfluss der gestaltbildenden Größen:

In beiden Studien werden unterschiedliche architektonische Einflussgrößen hinsichtlich ihrer Einwirkung auf die Energieperformance untersucht. Optimierungsmaßnahmen beziehungsweise Variantenstudien werden abhängig von den Parametern Orientierung, Formfaktoren (charakteristische Länge, Kompaktheit), Fensterflächenanteil, Materialisierung (Speichermassen), Gebäudehülle (Wärmedämmeigenschaften, Strahlungsdurchlass) und Eigenverschattung an Hand der Modellgebäude durchgeführt.

Die Studie der Hochschule Luzern untersucht die Beeinflussung der Gesamtenergieeffizienz durch die unterschiedliche Variation der Einzelparameter an einer Basisvariante am Klimastandort Zürich. Sie stellt für jeden Parameter in Anhängigkeit seiner Varianz die prozentuale Abweichung zur Basisvariante dar. Eine direkte Planungsempfehlung an die Architektur wird aus der Studie nicht abgeleitet, es wird lediglich dargestellt, welche Einflussgrößen sich positiv oder negativ auf den Entwurf auswirken. Die Studie kommt zu dem Schluss, dass vor allem die Kompaktheit und der Fensterflächenanteil wesentlichen Einfluss auf die Energieperformance haben.(Settembrini & Urs-Peter, 2014, p. 22)

Zusammenfassend wird festgestellt, dass Grundsatzentscheidungen im konzeptuellen Entwurf die Energieperformance beeinflussen.

„Mit einfachen Maßnahmen“, so in der Zusammenfassung, *„lassen sich beträchtliche Mengen Energie und THG einsparen. Mit einer kompakten Form, einem optimierten Fensteranteil oder einer akkuraten Materialwahl lässt sich die Gebäudebilanz jeweils um rund 10% verbessern. Werden die Strategien kombiniert, sind noch größere Einsparungen möglich. Die erwähnten Parameter sind für die Gebäudege-staltung maßgebend und können allesamt in der frühen Entwurfsphase beeinflusst werden. Den Hebel für eine gute Gebäudebilanz bei diesen Parametern anzusetzen erweist sich effizienter als die nachträgliche Optimierung einzelner Gebäudeteile,(…)“* (Settembrini & Urs-Peter, 2014, p. 22)

In der Studie „Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbaren Energieerschließung“ lassen Parameterstudien mit veränderten Einflussgrößen an unterschiedlichen Klimastandorten eine Tendenz erkennen, aus der die Autorinnen und Autoren Planungsleitsätze für Plusenergiegebäude ableiten. Mit dem Hinweis auf die Notwendigkeit der Berücksichtigung der lokalen klimatischen Gegebenheiten werden Zusammenhänge der einzelnen Parameteroptimierung dargestellt. Aus den Planungsleitsätzen geht deutlich hervor, dass sich Heizwärmebedarf und Kühlbedarf bei einer Optimierung der Parameter diametral verhalten können.

So wird zum Beispiel in oben genannter Studie der Zusammenhang zwischen Seehöhe und Fensteröffnung wie folgt dargestellt:

„- Tedenziell nehmen die erzielbaren Energieeinsparungen durch Öffnung der Südfassade mit zunehmender Seehöhe des Gebäudestandortes zu.

- Zugleich nimmt das Risiko einer sommerlichen Überwärmung mit zunehmender Seehöhe des Gebäudestandortes tendenziell ab.

- Durch Vergrößerung der südseitigen Glasflächen lassen sich die passiven solaren Gewinne steigern und der Heizwärmebedarf senken, zugleich steigt jedoch die Gefahr einer sommerlichen Überwärmung“ (Bointner et al., 2012, p. 68)

und weiter:

- Vollverglaste Fassaden schneiden im Bürobau in nördlicher, östlicher und westlicher Orientierung sowohl im Heizfall als auch im Kühlfall schlechter ab als Fassaden mit geringerem Verglasungsanteil. Bei Orientierungen in

südlicher Richtung zwischen etwa 105° und 255° können sich größere Verglasungsanteile positiv auf den Heizwärmebedarf auswirken, es ist jedoch fraglich, ob der gleichzeitig erhöhte Kühlbedarf in der Ganzjahresbilanz dadurch ausgeglichen werden kann.“ (Bointner et al., 2012, p. 70)

9.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der untersuchten Studien

Eine Analyse der beiden Studien „Das Klima als Entwurfsfaktor-Architektur und Energie bei Wohn- und Bürogebäuden“(Settembrini & Urs-Peter, 2014) der Hochschule Luzern und „Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung“ (Bointner et al., 2012) hinsichtlich der Forschungsfragen lässt folgende Aussagen zu:

- Der Standort hat einen entscheidenden Einfluss auf die Zielgrößen, da die Wirkung der Einzelparameter je nach Standort unterschiedlich ist.
- Planungs- oder Entwurfsleitsätze sind nicht allgemein auf Gebäudeentwürfe anwendbar. Standort und Formfaktoren spielen dabei eine wesentliche Rolle. Der Architekt, die Architektin müssen für die Interpretation einiges an Fachwissen mitbringen.
- Eine Aussage über die Beeinflussung der Energieperformance, ist aufgrund der Wechselwirkung der Einflussgrößen, nur mittels Kombination der einzelnen Parameter möglich. Die gestaltbildenden Parameter wie Fensterflächenanteil, Formfaktor und im weiteren Sinne auch Speichermassen werden in der frühen Phase festgelegt und sind somit für den weiteren Planungsprozess fixiert. Es ist deshalb wichtig in der Entwurfsphase eine Optimierung der Parameter vorzunehmen.

9.2.4 Optimierungsmethoden

Bislang stehen keine unterstützenden Methoden zur Verfügung, die näherungsweise den Entwurfsprozess optimierend begleiten und die Kombination von Einflussgrößen schnell abschätzen können.

Bei der konventionellen Versuchsplanung wird zur Ermittlung der Zielgröße eine Einfaktorenmethode angewandt. Dabei werden Schritt für Schritt die einzelnen Parameter verändert und so eine Annäherung an die Zielgröße erreicht. Diese Methode verlangt sehr viele Einzelschritte und gibt zudem keine Auskunft auf

eventuelle Wechselwirkung der Parameter. Für den integralen Prozess ist diese Methode nicht anwendbar, da jeder Verfahrensschritt eine Berechnung erfordert und somit eine tendenzielle Entwicklung nicht sofort abfragbar ist.

Eine zweite Methode der konventionellen Vorgangsweise ist die Zufallsmethode. Hier werden aufgrund des architektonischen Entwurfs und aufgrund der Erfahrung mehrere Variationen berechnet und so das tendenzielle Verhalten des Baukörpers beurteilt. Der Erfolg dieser Methode ist an ein hohes Maß an Fachwissen gebunden.

9.3 Beschreibung der Forschungsfrage des Arbeitspaketes

Eine konventionelle Entwurfsmethodik ist durch das Auftrennen der kreativen Phase der Architekturschaffenden und der Beurteilungsphase durch zusätzliche Fachkräfte gekennzeichnet. Im besten Fall wird das Gebäude unter Zuhilfenahme von Planungsleitsätzen entworfen. Meist fehlt jedoch das Wissen, diese allgemeinen Planungsleitsätze auf das spezielle Gebäude und den Standort anzuwenden. Ob das energetische Entwurfsziel erreicht wird, ist erst in der Beurteilungsphase möglich. Zu diesem Zeitpunkt sind aber wichtige architektonische Weichen schon gestellt. Ausgehend von der Bewertung des Entwurfes werden danach nur noch bedingt architektonisch - gestaltgebende Größen geändert, da das Gebäude bereits in den Köpfen der Architekturschaffenden, meist auch in den Köpfen der Auftraggeber und Auftraggeberinnen als Bild gefestigt ist.

Für den Entwurfsprozess soll also eine Methode abgeleitet werden, die es ermöglicht, im integralen gemeinsamen Entwerfen die Bewertungsgrößen schnell abzuschätzen. Damit sollen richtungweisende Entscheidungen gemeinsam getroffen und Fehlentwicklungen schnell erkannt werden.

9.3.1 Anforderungen an die Methodik

Die ausgewählte Methode sollte folgende Fähigkeiten haben:

- Aufzeigen tendenzieller Entwicklungen: Die Methode soll ausgehend vom Standort, der Bedarfsanalyse, den technischen Rahmenbedingungen und einer grundsätzlichen Baukörpertypologie in Abhängigkeit der Einflussgrößenvariation eine tendenzielle Entwicklung der Energieperformance aufzeigen. Vor Beginn des eigentlichen Entwurfsprozesses können somit speziell auf das zu entwerfende Gebäude und auf spezielle Fragestellungen gemeinsam Planungsleitsätze entwickelt werden.

- Darstellen von Zusammenhänge zwischen den Einflussgrößen und den Bewertungsgrößen: Die Methode soll den Zusammenhang der definierten Einflussgrößen abschätzend darstellen können und eine Aussage über die Qualitätsentwicklung der Zielgrößen geben können.

- Optimierung der Zielgrößen: Ausgehend von bestimmten Fragestellungen soll die Methode optimierte Varianten auswerfen können.

- Schnelle Unterstützung im Entwurfsprozess: Im „Workflow“ des integralen Arbeitens sind schnelle Ergebnisse wichtig. Um den Entscheidungsprozess zu unterstützen sind Berechnungen meist zu langwierig. Die Methode soll funktionale Zusammenhänge erfassen und die Möglichkeit einer grafischen Darstellung bieten.

9.3.2 Beschreibung der ausgewählten Methode

Eine Recherche nach geeigneten Optimierungswerkzeugen für den frühen Entwurfsprozess ergab keine befriedigende Lösung. Die in Österreich gängigen Energieausweisberechnungsprogramme enthalten keine Werkzeuge, die es ermöglichen, nach einer ersten Eingabe einer Typologie die Parameter auf ein Ergebnis hin zu optimieren.

In anderen technischen Bereichen mit vergleichbaren Optimierungsaufgaben werden als Lösungsansatz häufig statistische Methoden eingesetzt. Hier kann insbesondere die Methode „Design of Experiments (DoE)“ erwähnt werden. DoE ist eine Methode zur Planung und Auswertung von Versuchen und Simulationen mittels Statistik. Eine Recherche nach den unterschiedlichen Anwendungsgebieten der Methode ergab neben dem Einsatz in der Motorentechnik vor allem die Anwendung in allen Bereichen der Produkt- und Prozessoptimierung zur Optimierung zwischen Qualitätsanforderungen und Marktanforderungen.

In ihrem Leitfaden zur modellgestützten Versuchsplanung schreiben Orth und Wenzel:

> “*Je früher im Lebenszyklus eines Produktes, von der Entwicklung über die Produktion und den Verkauf bis zum Kunden, eine Methode zur Qualitätsverbesserung eingesetzt werden kann, desto kostensparender wird sie sich bemerkbar machen. Die modellgestützte Versuchsplanung hat gerade den Vorteil, dass sie sowohl in der Forschung zur ursprünglichen*

Produktentwicklung, als auch in der Entwicklung der Prozesse, als auch in der Produktion zur Prozessoptimierung angewendet werden kann.“ (Orth & Wenzel, n.d.)

Aufgrund der Recherche ist anzunehmen, dass sich eine statistische Methode auch auf den Optimierungsprozess von Gebäuden anwenden lässt.

Bei einer auf Statistik basierenden Versuchsplanung werden funktionale Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Einflussgrößen (Input Parameter) den definierten Qualitätsmerkmalen (Funktionsergebnis) generiert.

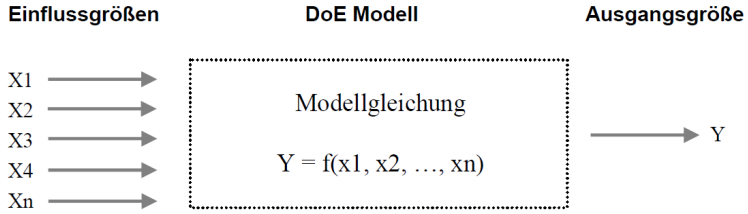


Abbildung 51: Generiertes Modell [eigene Darstellung nach (Adam, 2004, p. 4)**]**

Ausgehend von unterschiedlichen Ergebnissen über den definierten Versuchsraum (Varianten innerhalb dokumentierter Bandbreiten) wird eine Regressionsfunktion bestimmt. Mittels dieser Funktion wird das Systemverhalten des Modells beschrieben.

Die Vorgangsweise für die Methodenanwendung lässt sich wie folgt darstellen:

- Auswahl der Zielgrößen für die Fragestellung
- Definition der Parameter, die die Zielgröße beeinflussen (Parameterraum)
- Sensitivitätsanalyse und Festlegung der Bandbreite der einzelnen Parameter
- Anwenden der statistischen Methode

Die DoE Methode wurde bisher hauptsächlich im experimentellen Versuch eingesetzt. Mittlerweile wird sie aber auch, wie im vorliegenden Fall, für rein simulatorische Aufgaben eingesetzt, bei denen aufgrund der Vielzahl der freien Parameter eine Optimierung notwendig ist. (Wimmer et al., 2012)

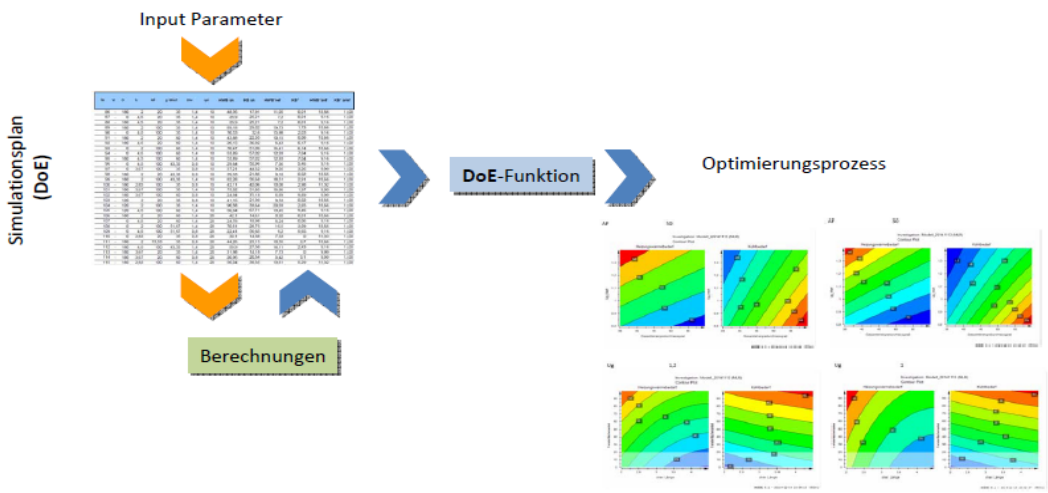


Abbildung 52: Ablaufschema statistische Versuchsplanung

Im Folgenden soll anhand des in Abbildung 52 dargestellten Ablaufschemas und auf Grundlage der typologischen Basisvariante ein statistisches Modell für die Forschungsfrage aufgestellt werden. Die so gewonnenen Funktionsgleichungen dienen der schnellen Entscheidungsfindung für den integralen Entwurf.

9.3.3 Nachzuweisende Größen auf Basis des Baugesetzes

Die Energieperformance für Bürogebäude (Nichtwohngebäude) wird in Österreich durch den Nachweis der in der OIB Richtlinie 6 (OIB Richtlinie 6, 2011) festgelegter Größen dargestellt.

Kühlbedarf:

Die Grenze für die Erreichung der baugesetzlichen Anforderungen wird über den „außeninduzierten Kühlbedarf“ am Referenzstandort, bezogen auf das Bruttovolumen dargestellt ($KB^*_{V,NWG,max}$). Der KB* wird nur über solare Einträge und Transmissionsverluste berechnet, die innere Wärmelasten und der Luftwechsel (auch Nachtlüftung) werden dabei nicht in Rechnung gestellt. Der Infiltrationsluftwechsel wird mit einer Luftwechselrate von 0,15 h^{-1} berechnet. Der Anforderungswert für den so errechneten KB* darf bei Neubauten 1,0 kWh/m³ a nicht überschreiten. Wie in den Erläuterungen zur OIB R 6 festgestellt, wurde der Anforderungswert „*aufgrund der noch fehlenden Erfahrungen in diesem Bereich (…) nicht allzu streng gesetzt.“*(Österreichisches Institur für Bautechnik, 2007, p. 6)

Als alternativer Nachweis kann der Nachweis zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung gemäß ÖNORM B8110-3 für jeden einzelnen Raum mit den wirklich auftretenden inneren Lasten geführt werden. (ÖNORM B 8110-3, 2012)

Heizwärmebedarf:

Die Grenzen des Heizwärmebedarfs werden über den Heizwärmebedarf am Referenzstandort, bezogen auf das konditionierte Bruttovolumen dargestellt ($HWB^*_{V,NWG,max,RK}$). Der maximal zulässige jährliche Heizwärmebedarf ist abhängig von der Geometrie und beträgt momentan für neue Gebäude:

$HWB^*_{V,NWG,max,RK}$ = 5,5 x (1+3,0/lc) [kWh/m³a]<=18,7 [kWh/m³a] (OIB Richtlinie 6, 2011, p. 4)

Endenergiebedarf:

Der Anforderungswert für den Endenergiebedarf (EEB) wird auf das Standortklima bezogen. Er setzt sich aus dem maximal zulässigen Heizwärmebedarf, dem Warmwasserbedarf (WWW), dem Heiztechnikenergiebedarf (HTEB) einer Referenzausstattung zuzüglich eines Heiztechnikenergiefaktors (f_{HT}), dem Kühlbedarf zuzüglich eines Faktors für die verwendete Kühltechnik (f_{KT}), einem Defaultwert für die Beleuchtungsenergie (BelEB) und einem Defaultwert für den Betriebsstrom (BSB) zusammen.

$EEB_{BGF,NWG/NWG,max,SK}$ = $HWB_{BGF,NWG/NWG,max,SK}$ + $WWW_{BBGF,NWG}$ + f_{HT} x $HTEB_{BGF,NWG,Ref}$ + f_{Bel} x $BelEB_{Default}$ + f_{KT} x $KB_{BGF,NWG/NWGsan,max,SK}$ + BSB (OIB Richtlinie 6, 2011, p. 5)

Das OIB Dokument „zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem nationalen Plan“ legt zudem Anforderungen für den Primärenergiebedarf und für den Gesamtenergieeffizienzfaktor mittels fixen Werten fest. (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2014)

9.3.4 Gewählte relevante Bewertungsgrößen und Limits

Ein niedriger Heizwärmebedarf führt im Nichtwohngebäude nicht automatisch zu einer Reduktion der Gesamtenergieperformance. Die den Heizwärmebedarf limitierenden Parameter können sich negativ auf den Kühlbedarf auswirken. Prognosen über die Entwicklung des Kühlbedarfs sagen bis zum Jahr 2020 eine

Verdoppelung des Kühlenergiebedarfs voraus (Dröschl, 2007, p. 2). Aus diesem Grund konzentriert sich diese Arbeit auf eine Optimierung des Kühlbedarfs auf eine Größenordnung, die es möglich macht, hybride Kühlstrategien (siehe Kapitel 8.3.2) anzuwenden.

Der Kühlbedarf wird laut ÖNORM B8110–6 wie der Heizwärmebedarf monatlich bilanziert und ist dabei als jene Wärmemenge definiert, die im *„langjährigem Mittel während einer Kühlperiode aus den Räumen eines Gebäudes abgeführt werden muss, um die vorgegebene Soll-Temperatur während der Betriebszeit sicherzustellen.“* (ÖNORM B 8110-6, 2014, p. 41) Die Darstellung des Kühlbedarfs erfolgt im Energieausweis über eine Jahressumme (kWh/m²a).

In Abgleichung mit Kapitel 8.3.3 werden für den Kühlbedarf folgende maximale Werte als Optimierungsansatz definiert:

- Kühlung durch Lüftung KB < 25 kWh/m²a
- Bauteilkühlung KB < 35 kWh/m²a

Diese Zielgrößen wurden mittels Simulation unter Angleichung der internen Lasten mit den Vorgaben aus der ÖNORM B8110-5 (ÖNORM B 8110-5, 2010) und der ÖNORM H5059 (ÖNORM H 5059, 2010) im Kapitel 8.3.3 untersucht. Die Ergebnisse wurden mit der im „Handbuch für passive Kühlung“ dargestellten maximal möglich abzuführenden Wärmelast je System verglichen. Mark Zimmermann führt darin das Limit für die über freie Kühlung abführbare Wärmelast mit einer Tagessumme von 150 Wh/m²d an. (Zimmermann, 1999, p. 24) Dentel und Dietrich bestätigen diesen Wert in ihrer Dokumentation „PRIMERO - Komfort Kühlsysteme – Funktionsweise und Grobdimensionierung“ (Dendel & Dietrich, 2008, p. 17) stellen jedoch noch einen Zusammenhang zwischen vorhandener Speichermasse und maximaler möglicher abführbaren Tagessumme her.

Die Vergleichsrechnungen ergaben eine Korrelation zwischen den in Kapitel 8.3.3 festgelegten notwendigen Behaglichkeitsbedingungen und einem mittels quasi-stationärem Monatsverfahren berechneten jährlichen Kühlbedarf von kleiner 25 kWh/m². Weitere Untersuchungen zur Verifikation der Zielgrößen wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Um die Methode alltagstauglich zu machen und um die Übernahme der Ergebniswerte aus der Simulation als Zielgröße für die Berechnung nach ÖNORM abzusichern, sind jedoch weitere Untersuchungen notwendig. Zusätzlich zur Angleichung der internen Lasten sollte

auch die weitere Modellbildung zwischen Simulation und ÖNORM Rechenmethode geprüft werden. Dies vor allem hinsichtlich jener Faktoren, die im quasi-stationären Modell stark vereinfacht angesetzt werden, wie zum Beispiel der Einfluss der Speichermasse oder die Wirkung der beweglichen Verschattung.

Wie eine Untersuchung der unterschiedlichen Rechenverfahren „Einflussparameter auf Heizwärmebedarf und Kühlbedarf von Gebäuden in verschiedenen Berechnungsmethoden von EN ISO 13790“ von Gratzl-Michlmair, Heimrath und Schranzhofer zeigt, ist gerade beim Kühlbedarf der Mittelwert der Abweichung zwischen Simulation und monatsweise Verfahren höher als vergleichsweise beim Heizwärmebedarf (Gratzl-Michlmair et al., 2010, p. 301). Die Autoren stellen fest: *„Durch eine Überlagerung der verschiedenen Parameter werden bei den Monatswerten die Abweichungen verstärkt, was insbesondere beim quasi-stationären Monatsverfahren zu einer relativ hohen Abweichung der Standartabweichung σ führt.“* (Gratzl-Michlmair et al., 2010, p. 301) Die Autoren kommen zum Schluss, dass der Kühlbedarf durch getroffene Vereinfachungen im quasi-stationären Monatsverfahren tendenziell überschätzt wird, weisen jedoch auch auf eine Studie von Sofic und Bednar hin, die zu anderen Ergebnissen kommt. (Gratzl-Michlmair et al., 2010, p. 301)

Für die vorliegende Arbeit heißt dies, dass bei einem Einsatz der Methode im Planungsprozess eine Absicherung der gewählten Zielgrößen durch eine detaillierte Analyse der Modellbildung und durch weitere Variantensimulation auf jeden Fall vorgenommen werden sollte.

Heizwärmebedarf:

Der Heizwärmebedarf wird aus oben genanntem Grund in unserer Arbeit lediglich auf den Bauordnungswert als limitierende Größe beschränkt.

9.4 Anwenden der Methode

9.4.1 Auswahl und Beschreibung der Parameter

In der statistischen Versuchsplanung sind Einflussgrößen definiert als unabhängige Größen, die variabel oder konstant sein können. Wichtig für das Erstellen des statistischen Modells ist also die Auswahl von Parametern die unabhängig voneinander einstellbar sind.

Die Auswahl der Parameter erfolgte aus den Berechnungslogarithmen der in Österreich gängigen Berechnungen für die Energieperformance des Gebäudes. Für die Berechnung des Kühlbedarfs gilt ebenso wie für den Heizwärmebedarf die quasi-stationäre Bilanzgleichung (Monatsbilanzverfahren). Kühlbedarf und Heizwärmebedarf werden in zwei voneinander unabhängigen Schritten mit unterschiedlichen Temperaturen ermittelt. Die internen Lasten werden über Abwärmen der Personen und Geräte und über die Abwärme der Beleuchtungskörper definiert. Personen- und Geräteabwärme sind über das Standardnutzungsprofil der ÖNOMR B8110-5 mit 7,5 W/m² definiert. (ÖNORM B 8110-5, 2010, p. 8) Die Beleuchtungsabwärme wird mittels Benchmarkwert für Bürogebäude laut ÖNORM H5059 mit 32,2 kWh/m²a festgelegt. (ÖNORM H 5059, 2010) Rückgerechnet ergibt dieser Benchmarkwert eine interne Last für die Beleuchtung von ca. 12,5 W/m². (siehe Kapitel 8.3.3) Für das Abschätzungsverfahren im konzeptuellen Entwurf wurden diese Defaultwerte herangezogen. Sollte das Modell auch auf den Planungsprozess angewandt werden, ist es sinnvoll, diese internen Lasten auf die tatsächlichen Werte anzugleichen.

Die äußeren Lasten werden durch die Gebäudegestalt, die Orientierung, die Öffnungsgrößen und durch die technischen Daten der solaren Einstrahlungsflächen beeinflusst. Für den Entwurf ist es nochmals wichtig, zwischen den technischen und den gestaltbildenden Größen zu unterscheiden.

Für die äußeren Lasten sind folgende Parameter ausschlaggebend:

- der Standort des Gebäudes (Bestrahlungsstärken und Temperatur am Standort),
- die Orientierung der verglasten Flächen,

- der Glasflächenanteil,
- die Art der Verglasung (Gesamtenergiedurchlassgrad und U – Wert),
- der Formfaktor des Gebäudes (charakteristische Länge) und
- Sonnenschutzstrategien (baulich z.B.: Vordächer, beweglicher Sonnenschutz,…)

9.4.2 Sensitivitätsanalyse und Festlegen des Versuchsraumes

In einem ersten Verfahrensschritt wird auf Basis des typologischen Baukörpers die Relevanz der einzelnen, die Zielgröße beeinflussenden Parameter bewertet und eine sinnvolle Variationsbreite der Einzelgrößen festgelegt. Die Bewertung findet durch eine Berechnung der Zielgrößen gemäß Berechnungsverfahren der ÖNORM B8110–6: 2012 statt. Diese Untersuchung stellte damit die Grundlage für die Anwendung der DoE – Methode dar.

Für den typologischer Baukörper (Basisvariante) wurden in Kapitel 6 die Parameter wie folgt festgelegt:

- Orientierung der Hauptfassaden: NO – SW
- Fensterflächenanteil: 30%
- Technischen Daten Fenster: g – Wert 54%; U-Wert 1,2 W/M²K
- Speichermassen: Leicht

Einfluss der beweglichen Verschattung

In Übereinstimmung mit dem in der ÖNORM B8110-6 festgelegten vereinfachten Ansatz werden für die Abhängigkeitsuntersuchungen vier Einstellungen betrachtet.

- 1/ Keine Verschattung
- 2/ Innen liegende Verschattung
- 3/ Außen liegende Verschattung manuell geregelt
- 4/ Außen liegende Verschattung strahlungsgeregelt

Grundlage für das Berechnen der wirksamen Verschattung ist die EN ISO 13363, wobei hier über die Kennwerte der Verglasung und des Sonnenschutzelementes ein

korrigierter Gesamtenergiedurchlassgrad (g_{tot}) berechnet wird. (ÖNORM EN 13363-1, 2009) Das Verfahren zur Feststellen der sommerlichen Innentemperaturen nach der ÖNORM B8110-3 (ÖNORM B 8110-3, 2012) folgt diesem Ansatz. Für die Berechnung des Kühlbedarfs gemäß Energieausweis wird in der ÖNORM B8110–6 (ÖNORM B 8110-6, 2014) in Angleichung an die DIN 18599-2 (DIN V 18599-2, 2013) ein vereinfachter numerischer Ansatz gewählt. Der Abminderungsfaktor z für den beweglichen Sonnenschutz wird dabei in Abhängigkeit des Gesamtenergiedurchlassgrades ausgewählt. Zusätzlich erfolgt eine Bewertung der Wirksamkeit der Verschattung über die Regelstrategie mittels numerischen Regelbeiwertes. Abbildung 53 zeigt die Wirkung der beweglichen Verschattung bei der Basisvariante.

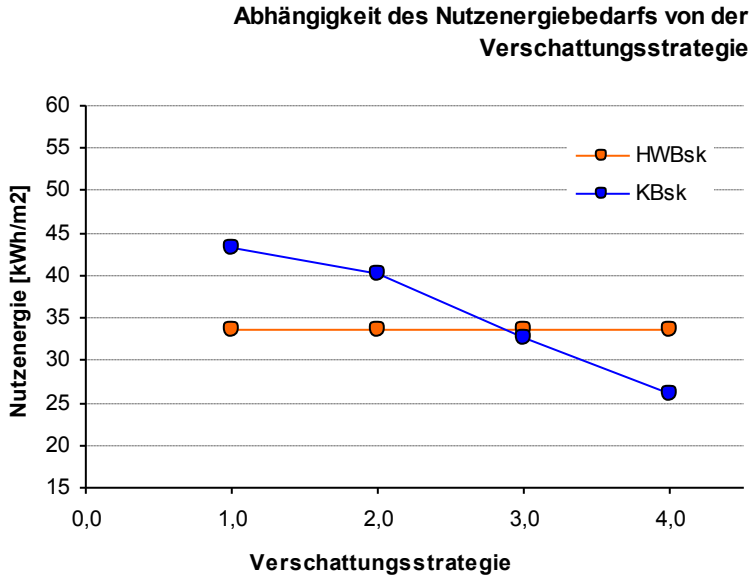


Abbildung 53: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher Verschattungsstrategie

Wie Abbildung 53 zeigt haben bewegliche, außen liegende Verschattungsstrategien wesentlichen Einfluss auf den Kühlbedarf.

Die Wirkung der Verschattung ist nach der Definition der statistischen Versuchsplanung keine unabhängige Einflussgröße, da sie von den Parametern Gesamtenergiedurchlassgrad und Orientierung abhängig ist. Die Verschattungsstrategie wird aus diesem Grund in die Basisvariante integriert. Als Staus Quo von Verschattungselementen bei Bürogebäuden wird eine außen liegende manuell zu bedienende Verschattung angenommen.

Einfluss der Orientierung am Standort Kitzbühel

Die Drehung der Basisvariante erfolgte in 22,5 Gradschritten.

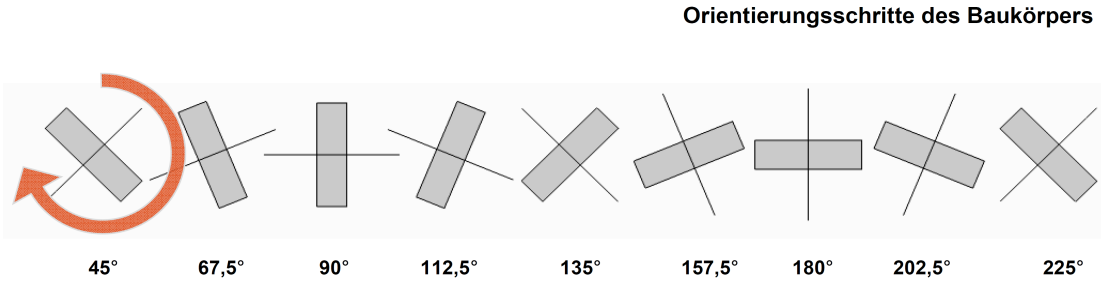


Abbildung 54: Drehung des Baukörpers in 22,5 Gradschritten

Aufgrund der symmetrischen Ausrichtung des Baukörpers wurde nur um 180° gedreht. Abbildung 55 zeigt die Ergebnisse für 30% Fensterflächenanteil, Abbildung 56 die Ergebnisse für 60% Fensterflächenanteil.

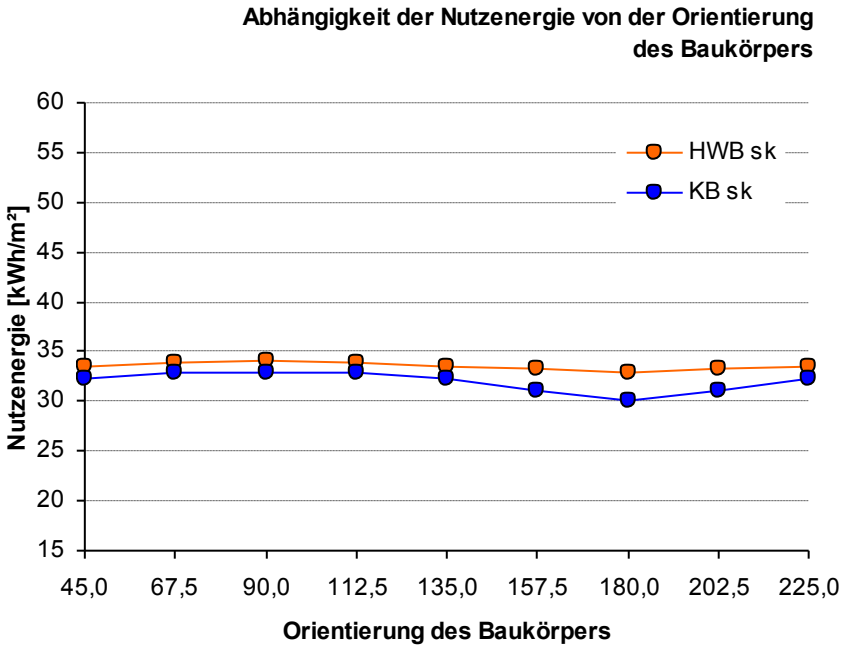


Abbildung 55: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher Orientierung des Baukörpers

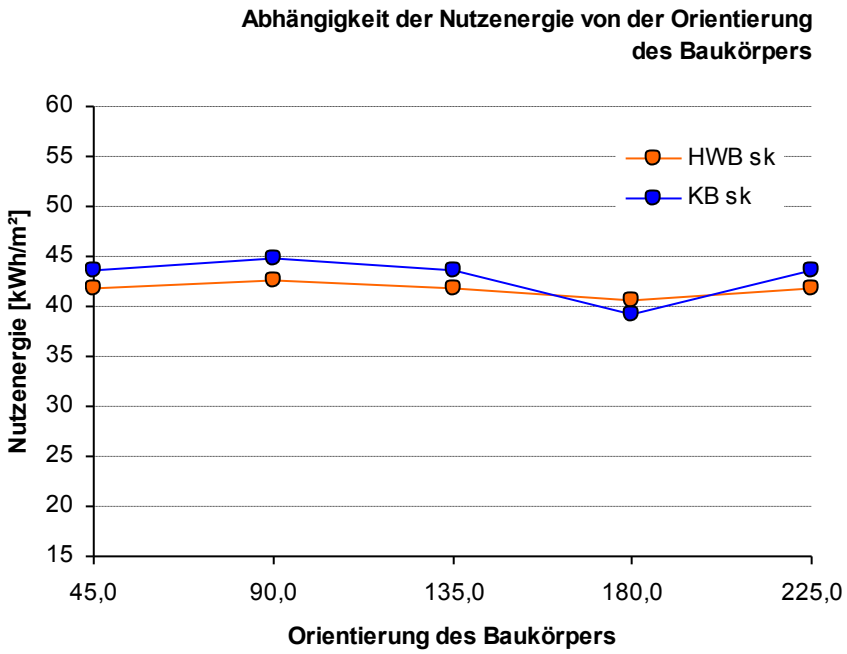


Abbildung 56: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher Orientierung des Baukörpers und 60% Verglasungsanteil

Die höchsten Werte für den Kühlbedarf und den Heizwärmebedarf ergeben sich unabhängig vom Fensterflächenanteil bei Ost – West Orientierung der Hauptfassaden, die niedrigsten Werte werden bei genauer Ausrichtung der Hauptfassaden nach Süd – Nord berechnet. Für den Kühlbedarf ergibt sich eine stärkere Beeinflussung durch die Orientierung.

Der Einfluss der Orientierung ist stark abhängig vom Anteil der transparenten Bauteile an den jeweiligen Fassaden. In der Basisvariante ist aufgrund der zweispännigen Bürobautypologie die Verteilung der transparenten Bauteile an den Fassaden ausgeglichen. Wird eine andere Grundrisstypologie gewählt, können die energetischen Werte über die unterschiedliche Öffnungsvarianz in den Orientierungen gestalterisch stark beeinflusst werden.

Einfluss des Verglasungsanteils am Standort Kitzbühel

Es wurde eine Variantenberechnung von 0% - 100% Fensterflächenanteil in Schritten von 10% vorgenommen. Abbildung 57 zeigt die Abhängigkeit der Nutzenergie an der Basisvariante (Orientierung der Hauptfassaden NO/SW). In

Abbildung 58 wird zusätzlich zur Basisvariante die Abhängigkeit auch für die optimale Orientierung der Hauptfassaden nach Nord – Süd dargestellt.

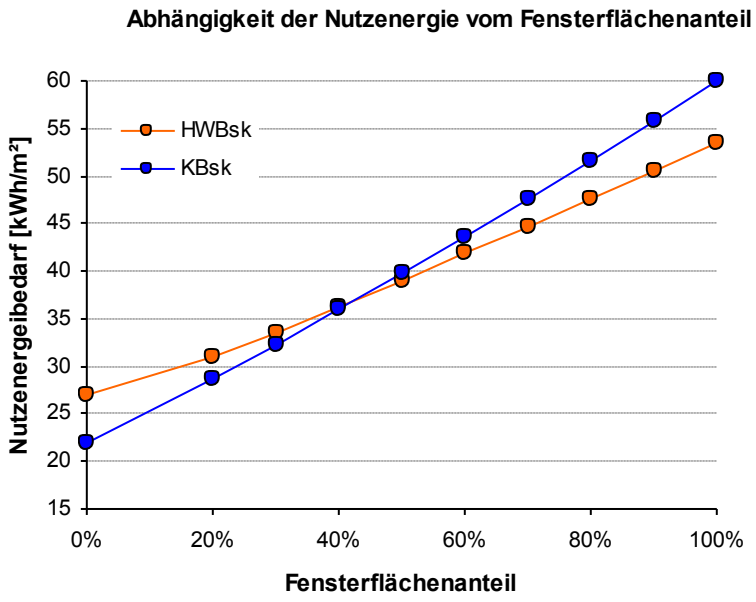


Abbildung 57: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlichem Fensterflächenanteil

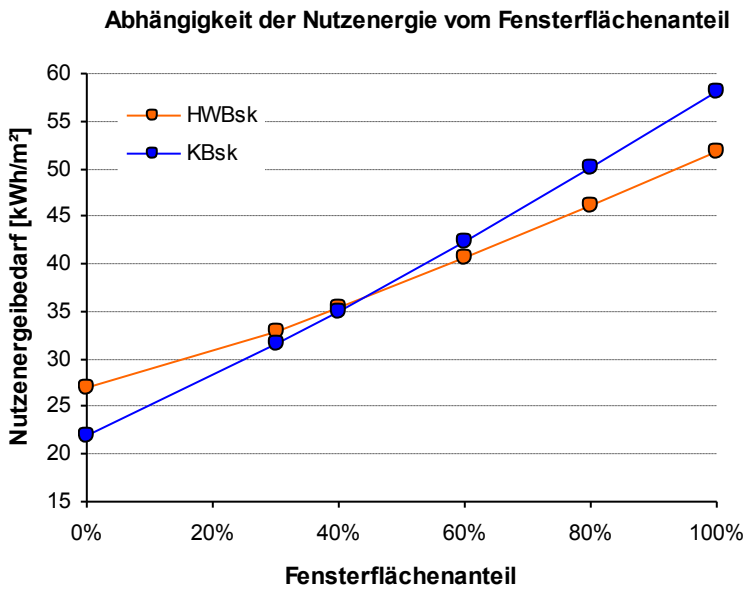


Abbildung 58: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Nord-Süd orientierten Basisvariante bei unterschiedlichem Fensterflächenanteil

Der Verglasungsanteil hat sowohl auf Kühlbedarf als auch auf den Heizwärmebedarf einen großen Einfluss. Im Gegensatz zu Vergleichsrechnungen mit Wohnnutzung konnten keine Verbesserungen des Heizwärmebedarfes bei Vergrößerung der Verglasungsflächen festgestellt werden. Auch bei optimaler Ausrichtung steigt der Heizwärmebedarf und der Kühlbedarf fast linear zum Anstieg der Verglasungsfläche. Größeren Einfluss hat der Verglasungsanteil auf den Kühlbedarf.

Einfluss des Gesamtenergiedurchlassgrades der Verglasung

Für den Gesamtenergiedurchlassgrad wurde vorerst eine Bandbreite von 35% bis 60% in Schritten von 5% Punkten untersucht. Abbildung 59 zeigt die Ergebnisse für 30% Fensterflächenanteil, Abbildung 60 die Ergebnisse für 60% Fensterflächenanteil.

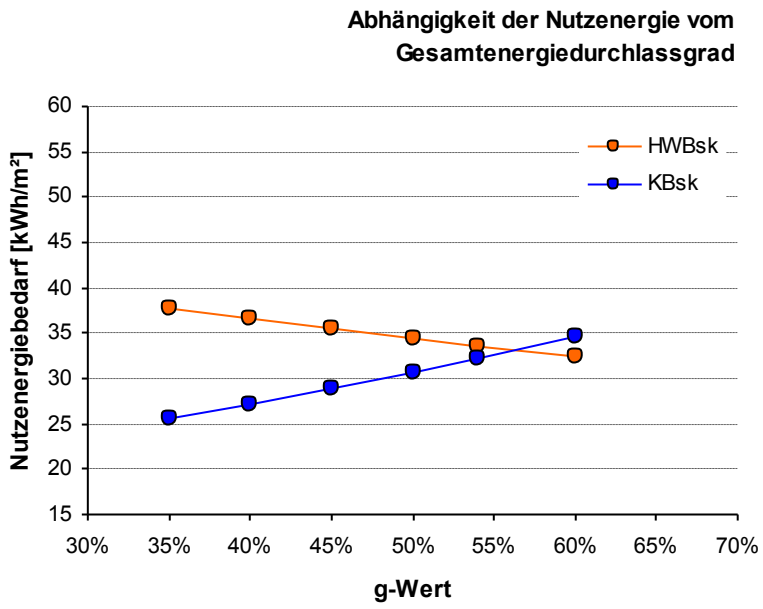


Abbildung 59: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedliche Gesamtenergiedurchlassgrad

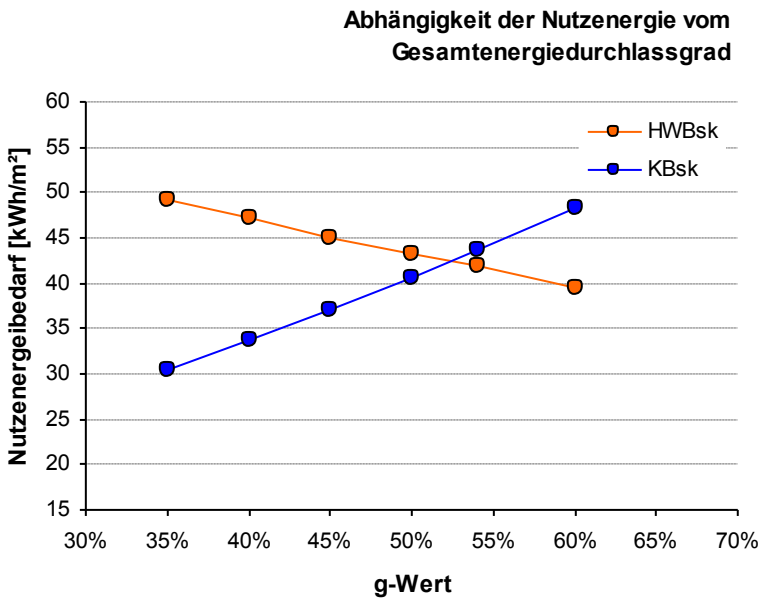


Abbildung 60: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedliche Gesamtenergiedurchlassgrad und 60% Fensterflächenanteil

Der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung hat wesentlichen Einfluss auf Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Bei steigendem g–Wert steigt der Kühlbedarf während der Heizwärmebedarf bei steigendem g–Wert sinkt. Verstärkt wird der Effekt durch Erhöhung des Fensterflächenanteils an den Fassaden.

Einfluss des U–Wertes der Verglasung

Die Abhängigkeit der Zielgrößen vom U–Wert wurde in einer Bandbreite von 0,6 W/m²K – 1,7 W/m²K in Schritten von 0,2 W/m²K untersucht. Die Abhängigkeiten wurden wieder für die Basisvariante mit 30% Fensterflächenanteil Abbildung 61 und für die Basisvariante mit 60% Abbildung 62 Fensterflächenanteil dargestellt.

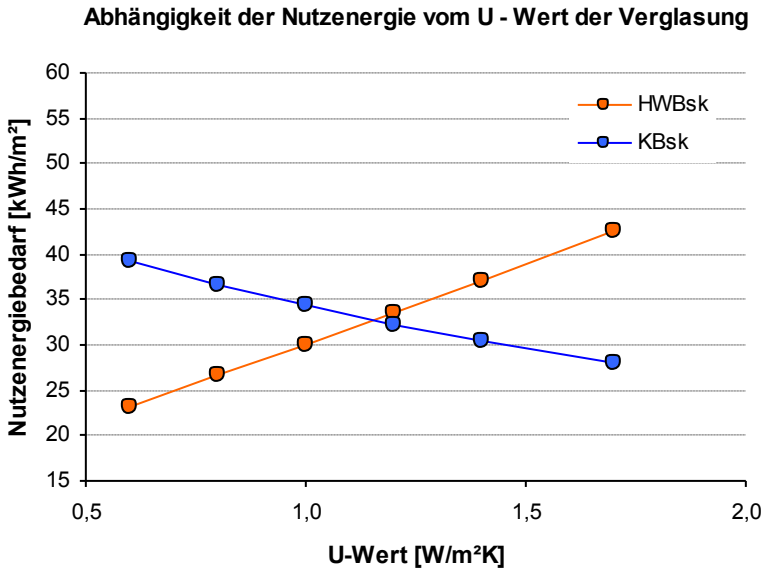


Abbildung 61: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlichem U–Wert der Verglasung

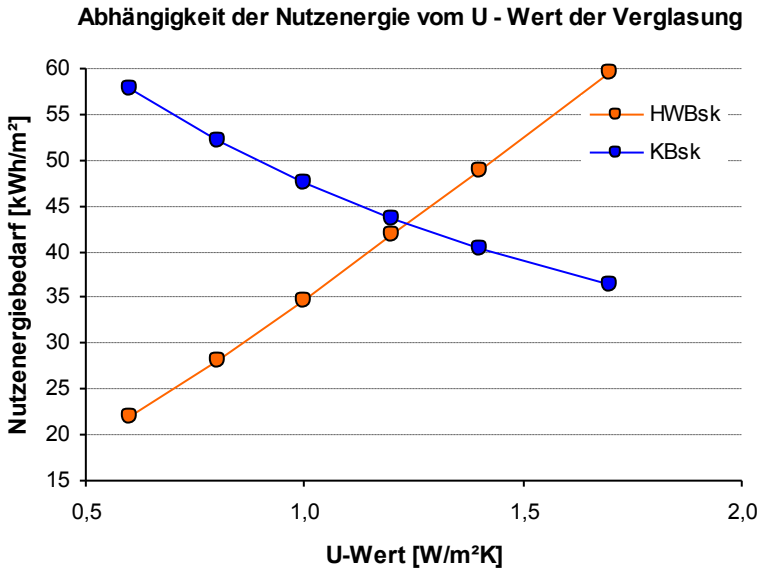


Abbildung 62: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlichem U-Wert der Verglasung und 60% Fensterflächenanteil

Ein sinkender U–Wert führt fast linear zu einer Verbesserung des Heizwärmebedarfs, während der Kühlbedarf sich mit sinkendem U–Wert

verschlechtert, da die Wärmelasten weniger über die Hülle abgegeben werden können. Auch hier ist der Einfluss stark vom Fensterflächenanteil abhängig, wobei der Einfluss auf den Heizwärmebedarf größer ist als auf den Kühlbedarf.

Einfluss der Speichermasse

In Übereinstimmung mit dem in der ÖNORM B8110–6 festgelegtem vereinfachtem Ansatz werden für die Abhängigkeitsuntersuchungen drei Stufen betrachtet. Abbildung 63 zeigt der Einfluss der Speichermassen für die Basisvariante.

- leichte Bauweise = 10 Wh/(m³ K)
- mittelschwere Bauweisen = 20 Wh/(m³ K)
- schwere Bauweisen = 30 Wh/(m³ K)

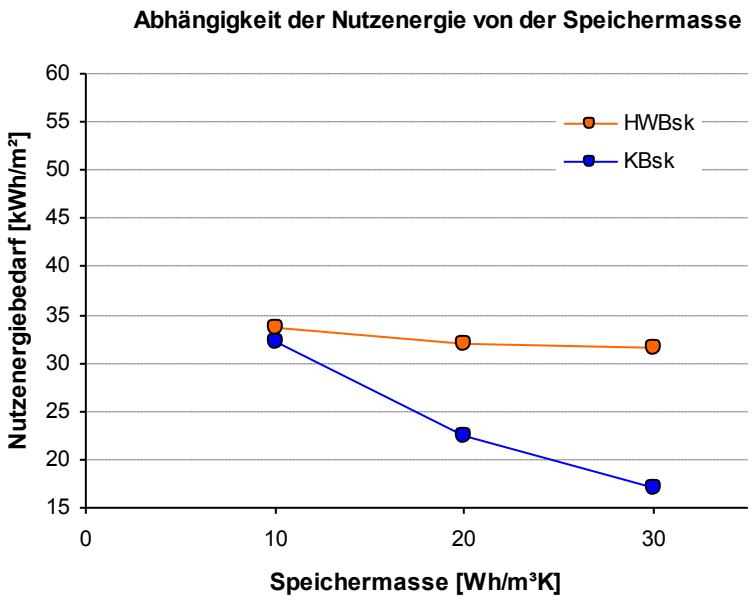


Abbildung 63: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher Speichermasse

Die Speichermassen haben in der Berechnung nach ÖNORM B8110-6 einen erheblichen Einfluss auf den Kühlbedarf.

Einfluss der charakteristischen Länge

Die Auswirkung der charakteristischen Länge auf den Heizwärmebedarf wurde bislang sehr genau untersucht. Wird das Gebäude kompakter verringern sich die Wärmeverluste nach außen. Der Heizwärmebedarf wird bei gleichem

Wärmedämmstandard niedriger. Dieser Beeinflussung des Heizwärmebedarfs durch die Gebäudegestalt wird auch in der Definition des Anforderungswertes in Abhängigkeit zur charakteristischen Länge (lc) Rechnung getragen. Kompaktere Gebäude müssen einen strengeren Grenzwert einhalten als kleinere und unkompaktere Gebäude. Abbildung 64 zeigt für die Basisvariante die Beeinflussung für Heizwärmebedarf und Kühlbedarf durch die charakteristische Länge.

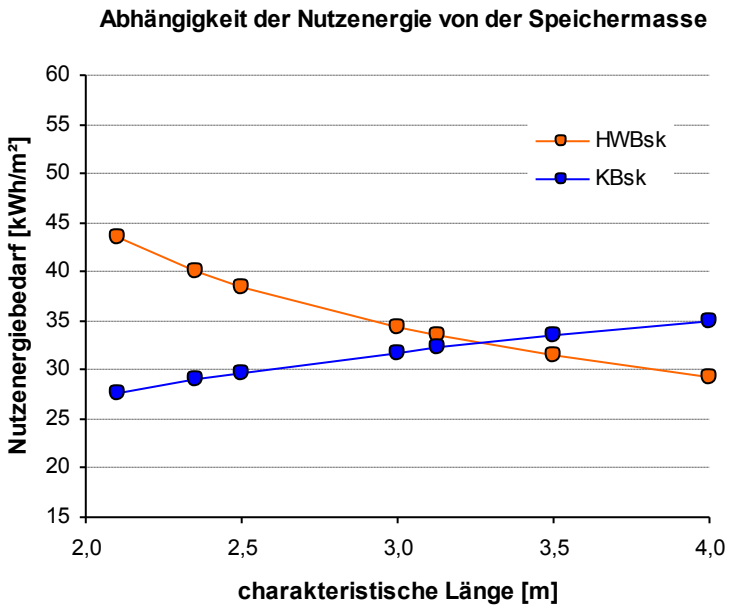


Abbildung 64: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher charakteristischer Länge

Die Auswirkung der charakteristischen Länge auf den Kühlbedarf ist deutlich geringer als die Auswirkung auf den HWB, dennoch steigt der Kühlbedarf bei kompakteren Gebäuden.

9.4.3 Erstellen des Simulationsplanes auf Basis der DoE-Methode

Der Simulationsplan stellt die systematisch generierten Simulationspunkte dar, die zur Herleitung der Regressionsfunktionen notwendig sind. Je größer die Zahl der Einflussgrößen und die geforderte Präzision der Ergebnisse desto größer ist die Anzahl der notwendigen Simulationen. Wie in Abbildung 65 dargestellt ist der Simulationsraum begrenzt durch die ausgewählten Grenzen sämtlicher Einflussgrößen. Die Bandbreite der einzelnen Einflussgrößen wurde in der Sensibilitätsanalyse beschrieben. Zusammenfassend begrenzen folgende Minimal- und Maximalwerte den Simulationsraum

- Orientierung: 360 Grad
- Fensterflächenanteil: 0% - 100%
- Gesamtenergiedurchlassgrad: 35% - 60%
- U–Wert der Verglasung: 0,6 W/m²K – 1,7 W/m²K
- Speichermasse: 10 Wh/m³K – 30 Wh/m³K
- Charakteristische Länge: 2,1 m – 4,5m

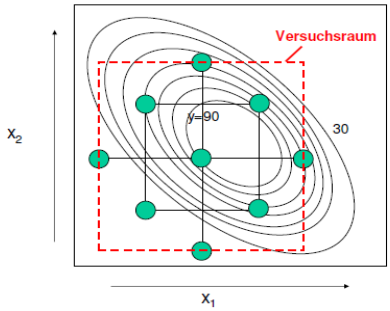


Abbildung 65: Darstellung eines Versuchsraumes (=Simulationsraumes) (Adam, 2004, p. 8)

Die für die Sensitivitätsanalyse Kapitel 9.5.2 berechneten Varianten werden in einem ersten Schritt in das statistische Programm eingegeben. Anhand der Sensitivitätsanalyse wird die mathematische Abhängigkeit (linear, quadratisch, …) der einzelnen Parameter festgelegt. Damit wird das statistische Modell erstellt. Die Darstellung der Modellgenauigkeit zeigte, dass diese 65 Parametervariationen nicht ausreichend für die Bestimmung der Regressionsfunktionen sind. Das statistische Programm schlägt zusätzliche Varianten zur Bewertung vor, um insbesondere auch die Grenzen des Versuchsraumes erfassen zu können. Für das Bilden der Regressionsfunktionen wurden 97 zusätzliche Varianten zur Berechnung vorgeschlagen, so dass insgesamt 162 Parameterkombinationen für die Modellbildung herangezogen wurden.

Der gesamte Simulationsplan inklusive der berechneten Ergebnisgrößen ist im Anhang A dargestellt.

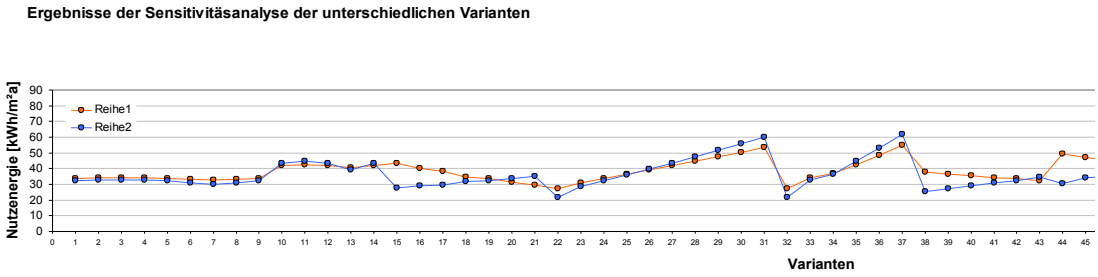


Abbildung 66: Ausschnitt Ergebnisse Sensitivitätsanalyse

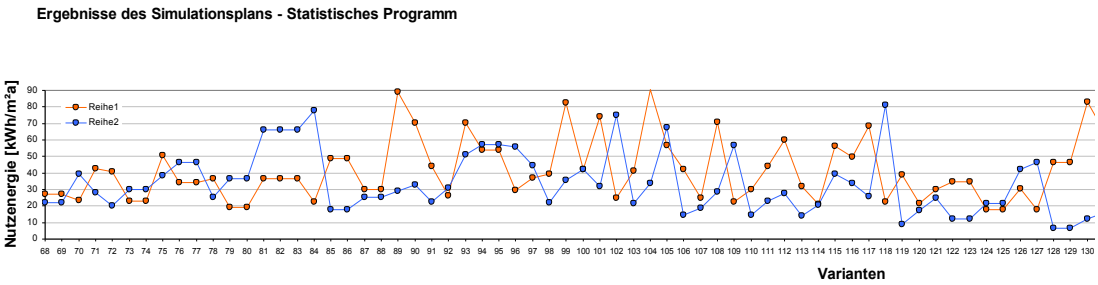


Abbildung 67: Ausschnitt Ergebnisse DoE Simulationsplan

Aus den Abbildung 66 und Abbildung 67 wird deutlich, dass sich die statistische Auswahl der Parameterkombinationen (DoE Simulationsplan) zu einem großen Teil in den Extrempunkten bewegt und den Simulationsraum an den Grenzen untersucht.

Der Simulationsplan wurde mit Hilfe der statistischen Versuchsplanungssoftware „Design of Experiments“ der Firma Umetric erstellt. Die Eingabe in das statistische Programm erfolgte durch Herrn Dr. Salbrechter vom Institut für Verbrennungskraftmaschinen der technischen Universität Graz.

9.4.4 Generieren des statistischen Modells

Aus den Simulationsergebnissen der oben beschriebenen Parametervariationen wurden in weiterer Folge mit dem Statistikprogramm die Regressionsfunktionen für die Zielgrößen HWB und KB erstellt. Die Modellbildung erfolgte mit den relevanten Haupt- und Nebenwirkungseffekte. Haupteffekte stellen die direkte Beeinflussung einer Einflussgröße dar, Nebeneffekte die Wechselwirkung der Einflussgrößen mit anderen Einflussgrößen. Nicht signifikante Aspekte wurden in der Regressionsfunktion nicht berücksichtigt.

Die ermittelten Regressionsfunktionen sind wie folgt aufgebaut:

- **KB sk = a_0+ a_1 x Ori+ a_2 x lc+ a_3 x AFe+ a_4 x g+ a_5 x U+ a_6 x spi+ a_7 x Ori x Ori+ a_8 x lc x lc+ a_9 x AFe x AFe+ a_{10} x U x U+ a_{11} x spi x spi + a_{12} x Ori x g + a_{13} xOri x spi +a_{14} x lc x AFe + a_{15} x lc x g+ a_{16} x lc x U+ a_{17} x lc x spi+ a_{18} x AFe x g + a_{19} x AFe x U + a_{20} x AFe x spi + a_{21} x g x U + a_{22} x g x spi + a_{23} x U x spi**

- **HWB sk = b_0+ b_1 x Ori+ b_2 x lc+ b_3 x AFe+ b_4 x g+ b_5 x U+ b_6 x spi+ b_7 x Ori x Ori+ b_8 x lc x lc+ b_9 x AFe x AFe+ b_{10} x U x U+ b_{11} x spi x spi + b_{12} xOri x spi +b_{13} x lc x AFe + b_{14} x lc x g+ b_{15} x lc x U+ b_{16} x lc x spi+ b_{17} x AFe x g + b_{18} x AFe x U + b_{19} x AFe x spi + b_{20} x g x U + b_{21} x g x spi + b_{22} x U x spi**

- **HWB ref =c_0+ c_1 x Ori+ c_2 x lc+ c_3 x AFe+ c_4 x g+ c_5 x U+ c_6 x spi+ c_7 x Ori x Ori+ c_8 x lc x lc+ c_9 x AFe x AFe+ c_{10} x U x U+ c_{11} x spi x spi + c_{12} x Ori x spi +c_{13} x lc x AFe + c_{14} x lc x g+ c_{15} x lc x U+ c_{16} x lc x spi+ c_{17} x AFe x g + c_{18} x AFe x U + c_{19} x AFe x spi + c_{20} x g x U + c_{21} x g x spi + c_{22} x U x spi**

Die in Abbildung 68 dargestellten Multiplikatoren für die einzelnen Haupt- und Nebeneffekte sind über den ganzen Versuchsraum, der durch die Bandbreite der Einzelparameter festgelegt wurde, gültig. Sämtliche Änderungen des Entwurfes innerhalb dieser festgelegten Bandbreite können damit untersucht werden.

KBsk			
Größe	Wert	Multiplikator	
Constant		8,364	a_0
Ori	45	0,0791	a_1
lc	2,7	6,98351	a_2
AFe	50	0,14795	a_3
g	54	0,23745	a_4
U	1,2	-1,13018	a_5
spi	20	-1,15332	a_6
Ori*Ori	2025	-0,00044	a_7
lc*lc	7,29	-0,39332	a_8
AFe*AFe	2500	-0,00017	a_9
U*U	1,44	3,57110	a_{10}
spi*spi	400	0,02576	a_{11}
Ori*g	2430	0,00029	a_{12}
Ori*spi	900	-0,00059	a_{13}
lc*AFe	135	-0,01045	a_{14}
lc*g	145,8	0,03794	a_{15}
lc*U	3,24	-1,62731	a_{16}
lc*spi	54	-0,04836	a_{17}
AFe*g	2700	0,00976	a_{18}
AFe*U	60	-0,17476	a_{19}
AFe*spi	1000	-0,00538	a_{20}
g*U	64,8	-0,18586	a_{21}
g*spi	1080	-0,00938	a_{22}
U*spi	24	0,20948	a_{23}

HWBsk			
Größe	Wert	Multiplikator	
Constant		69,824	b_0
Ori	45	0,0475	b_1
lc	2,7	-22,8652	b_2
Afe	50	-0,1197	b_3
g	54	-0,1894	b_4
U	1,2	15,5297	b_5
spi	20	-0,0903	b_6
Ori*Ori	2025	-0,0002	b_7
lc*lc	7,29	2,3237	b_8
AFe*AFe	2500	0,0003	b_9
g*g	2916	0,0031	b_{10}
spi*spi	400	0,0076	b_{11}
Ori*spi	900	-0,0005	b_{12}
lc*AFe	135	0,0082	b_{13}
lc*g	145,8	0,0321	b_{14}
lc*U	3,24	-1,0191	b_{15}
lc*spi	54	0,0089	b_{16}
AFe*g	2700	-0,0059	b_{17}
AFe*U	60	0,5565	b_{18}
AFe*spi	1000	-0,0026	b_{19}
g*U	64,8	-0,1954	b_{20}
g*spi	1080	-0,0023	b_{21}
U*spi	24	-0,1079	b_{22}

HWB ref			
Größe	Wert	Multiplikator	
Constant		15,915	c_0
Ori	45	0,0077	c_1
lc	2,7	-4,6661	c_2
Afe	50	-0,0335	c_3
g	54	-0,0337	c_4
U	1,2	2,3750	c_5
spi	20	-0,0285	c_6
Ori*Ori	2025	0,0000	c_7
lc*lc	7,29	0,4592	c_8
AFe*Afe	2500	0,0001	c_9
g*g	2916	0,0005	c_{10}
spi*spi	400	0,0018	c_{11}
Ori*spi	900	-0,0001	c_{12}
lc*AFe	135	0,0016	c_{13}
lc*g	145,8	0,0058	c_{14}
lc*U	3,24	-0,1059	c_{15}
lc*spi	54	0,0012	c_{16}
AFe*g	2700	-0,0011	c_{17}
AFe*U	60	0,1182	c_{18}
AFe*spi	1000	-0,0005	c_{19}
g*U	64,8	-0,0327	c_{20}
g*spi	1080	-0,0005	c_{21}
U*spi	24	-0,0174	c_{22}

Abbildung 68: Multiplikatoren der Zielgrößen-Funktionale

Die dargestellte Regressionsfunktion wurde in Excel programmiert und im Entwurfsprozess eingesetzt.

Um die Modellqualität beurteilen zu können, sind in Abbildung 69 die erhaltenen Korrelationen dargestellt. Die Determinationskoeffizienten (R2) von annähernd 99% legen eine sehr hohe Modellgüte nahe.

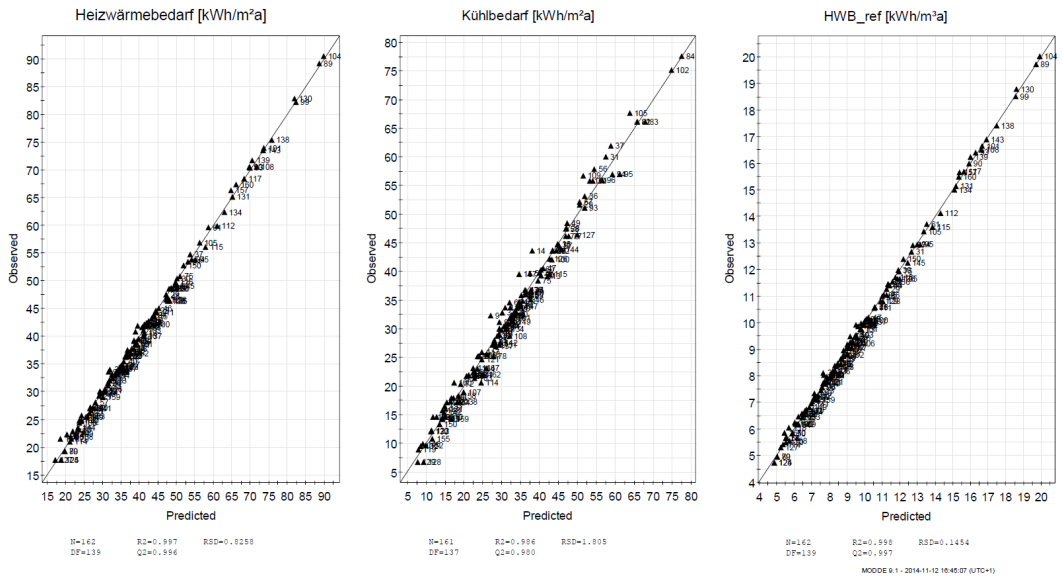


Abbildung 69: Modellqualität

Im relevanten Zielgrößenbereich liegen die Abweichungen in der Größenordnung von 5%. Im Bereich niedrigster Werte für KB sind Abweichungen in der Größenordnung von 10% feststellbar. Insgesamt wird die Qualität der Modelle für den Einsatz in der frühen Entwurfsphase als vollkommen ausreichend eingeschätzt.

9.4.5 Darstellen der grundsätzlichen Abhängigkeiten

Mittels dargestellter Regressionsfunktion kann die tendenzielle Entwicklung aller beliebigen Parameterkombinationen innerhalb des dargestellten Versuchsraumes abgeschätzt werden. Weiters können grundsätzliche Abhängigkeiten dargestellt und gezielte Fragestellungen auf einfache Weise und ohne weitere Simulationsberechnungen beantwortet werden. Die Herausforderung besteht nun vielmehr darin, geeignete Fragestellungen zu formulieren und die für den jeweiligen Entwurf relevanten Abhängigkeiten zu bestimmen. Für den gegenständlichen Entwurf waren die Einhaltung der Zielgröße unter dem Aspekt der Gestaltung einer hochtransparenten Fassade und eine natürliche innere Belichtung des tiefen Baukörpers entscheidend. Die Auswertungen wurden aus diesem Grund insbesondere auf die gestaltbildenden Elemente Verglasungsanteil sowie charakteristische Länge und auf die technischen Werte der Verglasung konzentriert. Als Zielgrößen soll, wie in Kapitel 8.3.4 dargestellt, der Kühlbedarf am Standort so minimiert werden, dass hybride Kühlstrategien anwendbar sind. Des Weiteren soll, wie oben dargestellt, der Heizwärmebedarf unter den gesetzlichen Anforderungen bleiben.

Die Auswertung der Abhängigkeiten erfolgte in drei Schritten. Die Darstellung der Ergebnisse der einzelnen Schritte unterscheidet sich und wurde so gewählt, dass sie den Entwurfsprozess in den jeweiligen Phasen maximal unterstützen konnten.

Auswertungsschritte Design of Experiments (DoE)

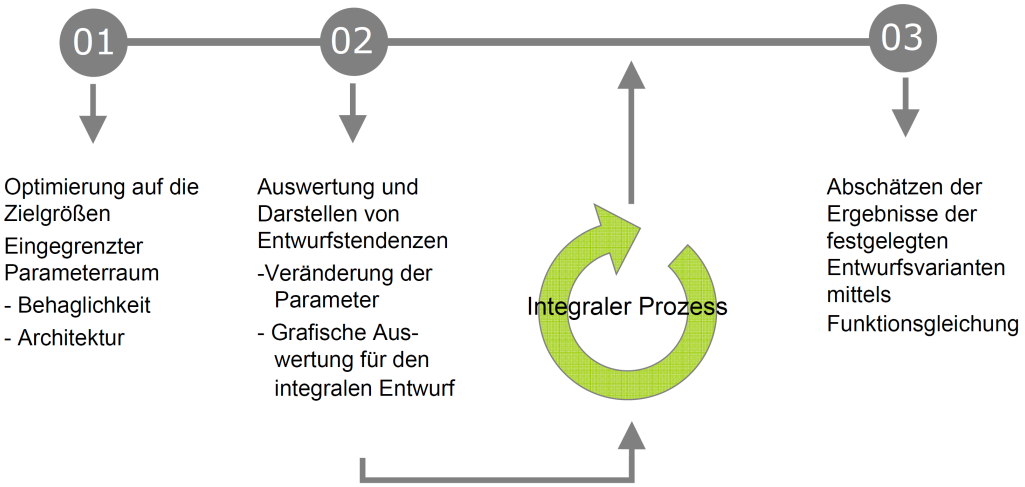


Abbildung 70:Auswertungsschritte DoE Modells

Auswertungsschritt 01: Optimierung auf die festgelegten Zielgrößen

Eine erste im statistischen Programm durchgeführte Optimierung lässt die Varianz der unterschiedlichen Parameter bei unterschiedlichen Zielgrößen gut erkennen. Diese Optimierung war nötig, um für den diskursiven Prozess die Grenzen des Entwurfs zu kennen. Voraussetzung war die Fixierung der limitierenden Größen (Zielgrößen) und die Bandbreite der einzelnen Parameter. Folgende Optimierungen wurden vorgenommen:

- Optimierung der Varianten hinsichtlich minimalem Kühlbedarf
- Limit KB_{sk}- hybride Kühlstrategie – freie Kühlung KB < 25 kWh/m²a
- Limit KB_{sk} - hybride Kühlstrategie – Bauteilkühlung KB < 35 kWh/m²a

Die Bandbreite der Parameter für diesen Optimierungsprozess wurde unter Berücksichtigung von architektonischen Kriterien und Behaglichkeitskriterien an dieser Stelle innerhalb des Versuchsraumes noch einmal neu festgelegt. Der Optimierungsprozess und die Auswertung wurden also in einem für den vorliegenden Entwurf sinnvollen Bereich durchgeführt.

Behaglichkeitseinschränkungen:

- g–Wert: aufgrund der Einschränkung des Tageslichtspektrums (siehe Kapitel 8.3.1) wurden Gläser mit einem Gesamtenergiedurchlassgrad unter 45% nicht in den Optimierungsprozess einbezogen. Optimierungsbandbreite: 45% - 60%

- U–Wert: aufgrund der möglichen, bei größeren transparenten Flächen auftretenden Strahlungsasymmetrie im fensternahen Bereich wird der Wärmedurchgangskoeffizient mit maximal 1,4 W/m²K beschränkt. Die Beschränkung des Wertes mit 1,0 W/m²K wird aufgrund der herrschenden Schallbelastung (siehe Kapitel 6.1.3) und der Zielgrößendefinition (Kühlbedarf) beschränkt.

  Optimierungsbandbreite: 1,0 W/m²K – 1,4 W/m²K

Architektonische Wünsche:

- Fensterflächenanteil: aufgrund des gewünschten Konnexes zwischen Innenraum und Außenraum und einer gewünschten möglichst hohen Tageslichtnutzung wurde eine hohe Transparenz der Fassade (Fensterflächenanteil über 80%) angestrebt.

  Optimierungsbandbreite: 30% - 80%

- Charakteristische Länge: aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und der Belichtung der inneren Zonen sollte der kompakte typologische Baukörper mittels Atrien und Durchgängen durchlässiger gestaltet werden.

  Optimierungsbandbreite: Die Auswertungen wurden mit unterschiedlichen Formfaktoren (2,6 m; 2,7 m; 2,9 m; 3,0 m) durchgeführt. Eine charakteristische Länge von 2,7 m wurde aufgrund der Begrenzung des Heizwärmebedarfs auf den Bauordnungswert als unterstes Limit fixiert.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse der Optimierungen aus dem statistischen Programm. Die Optimierung wurde mit mittelschwerer und schwerer Bauweise durchgeführt. Die Abfragen erfolgten mit den in Abbildung 71 dargestellten Parameterbandbreite.

Limits der Parameter				
Factor	Role	Value	Low Limit	High Limit
Ori	Constant	45		
lc	Constant	2,7		
AF	Free		30	80
g - Wert	Free		45	60
Ug	Free		1	1,4
spi	Constant	20		

Abbildung 71: Parameterbandbreite für den Optimierungsprozess

Optimierungs kriterien	Minimaler Kühlbedarf								
Response	Criterion	Weight	Min	Target	Max		Predicted		
HWB sk	Predicted								
KB sk	Minimize	1		0	11,3283				
HWB_ref	Predicted								
HWB_anf	Predicted								
HWB+KB	Predicted								
Vorschlag	**Ori**	**char. Länge**	**AF**	**g - Wert**	**Ug**	**spi**	**HWB sk**	**KB sk**	**HWB_ref**
1	45	2,7	30	45	1,4	**20**	41,6	18,0	9,7
2	45	2,7	30,116	49,6404	1,4	**20**	40,2	19,0	9,4
3	45	2,7	30,0014	45,0003	1,0334	**20**	34,8	20,3	8,3
4	45	2,7	30	45	1,4	**30**	41,2	14,9	9,7
5	45	2,7	30,0057	45,0001	1,24	**30**	38,4	15,5	9,1
6	45	2,7	30,0742	49,6152	1,3994	**30**	39,7	15,4	9,4

Abbildung 72: Optimierung für minimalen Kühlbedarf

Optimierungs-kriterien	Kühlbedarf ~25								
Response	Criterion	Weight	Min	Target	Max				
HWB sk	Predicted								
KB sk	Target	1	23,5	24	24,5				
HWB_ref	Predicted								
HWB_anf	Predicted								
HWB+KB	Predicted								
Vorschlag	**Ori**	**char. Länge**	**AF**	**g - Wert**	**Ug**	**spi**	**HWB sk**	**KB sk**	**HWB_ref**
7	45	2,7	44,0625	47,849	1,1428	**20**	39,3	24,0	9,3
8	45	2,7	30,3125	57,2188	1,0058	**20**	31,8	24,0	7,7
9	45	2,7	40,2238	53,6967	1,2467	**20**	39,1	24,0	9,3
10	45	2,7	67,5	45	1,04	**30**	41,4	23,9	10,0
11	45	2,7	44,896	59,3199	1,0253	**30**	32,6	24,1	8,0
12	45	2,7	56,7175	55,4071	1,2408	**30**	41,4	24,0	10,0

Abbildung 73: Optimierung für Kühlbedarf ca. 25 kWh/m²a

Optimierungs-kriterien	Kühlbedarf ~35								
Response	Criterion	Weight	Min	Target	Max				
HWB sk	Predicted								
KB sk	Target	1	33,5	34	34,5				
HWB_ref	Predicted								
HWB_anf	Predicted								
HWB+KB	Predicted								
Vorschlag	**Ori**	**char. Länge**	**AF**	**g - Wert**	**Ug**	**spi**	**HWB sk**	**KB sk**	**HWB_ref**
13	45	2,7	69,9301	54,5093	1,2054	**20**	45,0	34,0	10,7
14	45	2,7	60,5582	59,7894	1,1985	**20**	40,5	34,0	9,7
15	45	2,7	58,586	57,709	1,0721	**20**	36,8	34,0	8,9
16	45	2,7	78,7215	57,6387	1,0465	**30**	37,3	34,1	9,3
17	45	2,7	73,6679	59,6184	1,0271	**30**	35,0	34,0	8,8
18	45	2,7	78,4191	59,54	1,1178	**30**	39,3	34,1	9,8

Abbildung 74: Optimierung für Kühlbedarf ca. 35 kWh/m²a

Wie der Optimierungsdurchgang für die Abfrage nach den geringsten Kühlbedarfswerten in Abbildung 72 zeigt, ist der geringste Kühlbedarf am Standort

bei einem Fensterflächenanteil von ca. 30% festzustellen, unabhängig von der zur Verfügung stehenden Speichermasse.

Für die Zielgröße KB < 25 kWh/m²a sind deutlich höhere Fensterflächenanteile zulässig. Die möglichen Variationen der Baukörpergestaltung steigen. Eine Abstimmung der einzelnen Parameter untereinander (Kombination der Parameter) wird wichtiger.

Für die Zielgröße KB < 35 kWh/m²a gibt es, wie aus Abbildung 74 ersichtlich, hinsichtlich des Fensterflächenanteils kaum Einschränkungen.

Auswertungsschritt 02: Darstellen von Entwurfstendenzen

Aufgrund obiger Ergebnisse wurden für das integrale Arbeiten folgende Auswertungen vorgenommen

- Auswirkung des Fensterflächenanteils auf den Kühlbedarf (abhängig von den technischen Größen g-Wert und U-Wert)
- Auswirkung der Speichermasse auf den Kühlbedarf

Die Auswertung der Abschätzung erfolgt in 2D-Parameterdarstellungen je Fensterflächenanteil in Abhängigkeit des g-Wertes und des U-Wertes für unterschiedliche Formfaktoren und Speichermassen. Diese Darstellung wurde vom Entwurfsteam auf die entwurfsrelevanten Fragestellungen begrenzt.

Abbildung 75 zeigt die grundsätzliche Vorgangsweise der Auswertung. In einem ersten Schritt wurde die Abhängigkeit der Zielgrößen von der charakteristischen Länge betrachtet und relevante Grenzen im Team festgelegt. Die Auswertung erfolgte für drei Formfaktoren (lc = 2,5 m; lc = 2,7 m; lc = 3,1 m). Da es bei einem Fensterflächenanteil von über 30% nicht möglich ist, mit leichter Speichermasse unter dem festgelegten Zielwert zu bleiben, wurde die Darstellung der Auswertungen auf mittelschwere und schwere Speichermasse beschränkt. Die Ergebnisse wurden für einen Fensterflächenanteil von 30%; 40%; 50%; 60%; 70% und 80% dargestellt.

Auswertungsschritt 02: Tendenzen

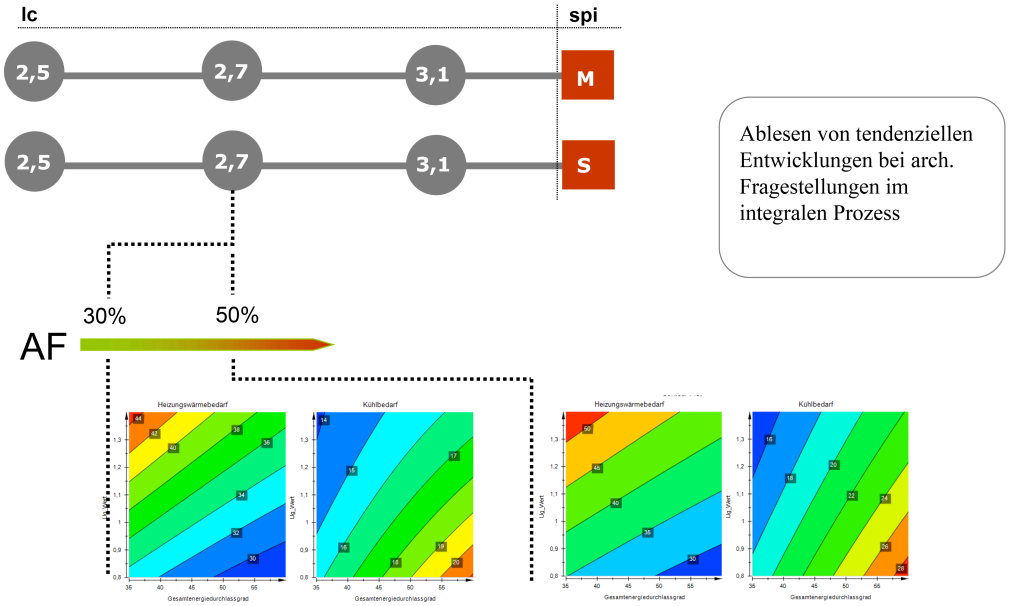


Abbildung 75: Ablaufschema Auswertungsschritt 02

Die Darstellung in Form von Tendenzdiagrammen wurde als Grundlage zur Entscheidungsfindung im integralen Entwurfsseminar herangezogen.

Untenstehende Abbildungen zeigen eine Auswahl der Ergebnisse. Die Abhängigkeit der Zielgrößen Heizwärmebedarf und Kühlbedarf wird dabei unter oben genannten Fragestellungen als Diagramm dargestellt.

Abbildung 76 und Abbildung 77 zeigt die Abhängigkeit der Zielgrößen von der charakteristischen Länge und dem Fensterflächenanteil. Betrachtet man die für den Gebäudeentwurf relevante charakteristische Länge zwischen 2,7 m (größtmögliche Auflockerung für innere Belichtungsflächen) und 3,13 m (kompakter typologische Baukörper), so ist der mögliche Fensterflächenanteil zur Unterschreitung der Zielgröße direkt ablesbar. Eine Gegenüberstellung der Auswertung für mittelschwere (Abbildung 76) und schwere Bauweise (Abbildung 77) zeigt die Relevanz der Speichermassen für den Fensterflächenanteil. Betrachtet man die Zielgröße KB < 25 kWh/m²a, so muss bei mittelschwerer Bauweise der Fensterflächenanteil deutlich unter 45% bleiben, erhöht man die Speichermasse so sind weit größere Öffnungen möglich.

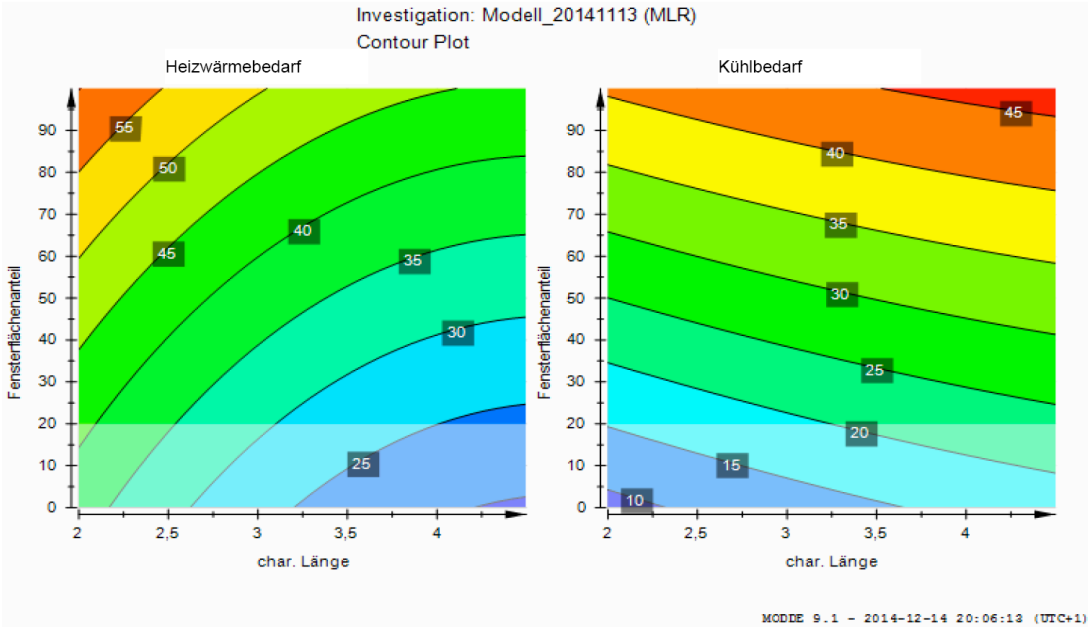


Abbildung 76: Zielgrößenentwicklung in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils bei mittelschwere Bauweise, Ug = 1,2 W/m²K und g = 54%

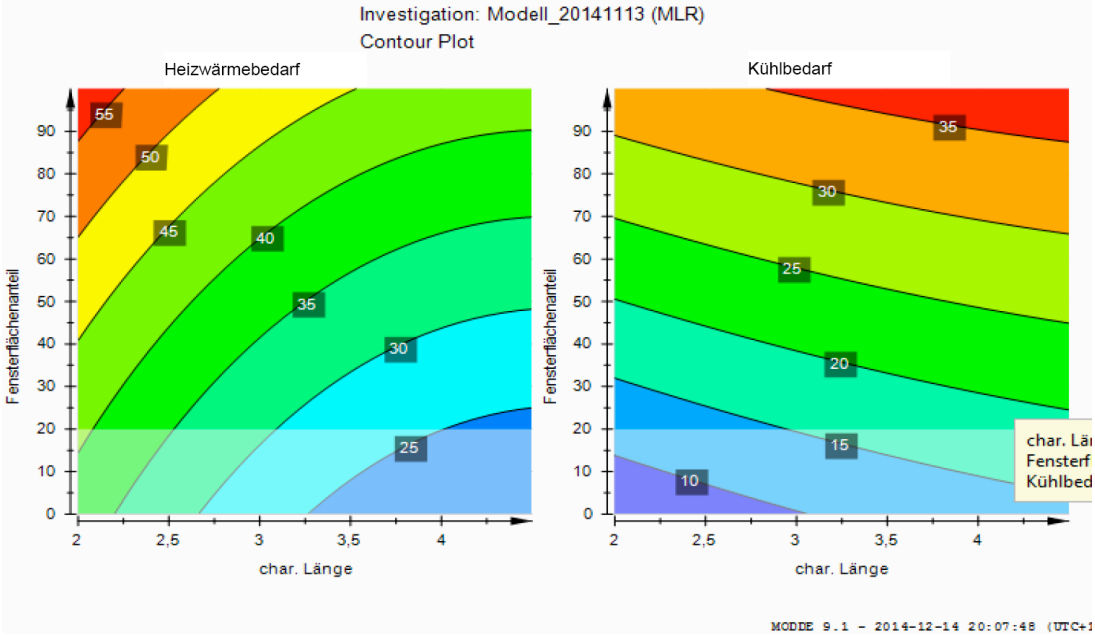


Abbildung 77: Zielgrößenentwicklung in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils bei schwere Bauweise, Ug = 1,2 W/m²K und g = 54%

Die Darstellungen zeigen auch die größere Beeinflussung des Heizwärmebedarfs durch die charakteristische Länge. Erkennbar ist jedoch, dass der Kühlbedarf unter gleich bleibenden Gebäudekomponenten wie Fensterflächenanteil und technische Daten bei kompakterer Bauweise deutlich steigt. Für den Entwurf von

Nichtwohngebäuden sollte aus diesem Grund eine Analyse der Beeinflussung beider Kennwerte stattfinden.

Weitere Untersuchungen für den Entwurfsprozess stellte die Beeinflussung der Zielgrößen durch die Fensterflächenanteile und die technischen Daten der Verglasungsflächen dar. Die Abfrage erfolgte getrennt nach unterschiedlichen Fensterflächenanteilen und unterschiedlichen Formfaktoren (charakteristischen Länge). Die Auswertung wurde unter der Annahme einer mittelschweren Bauweise und einer schweren Bauweise geführt. Abbildung 78 und Abbildung 79 zeigen die Abhängigkeit von HWB und KB am Entwurfsstandort bei einer charakteristischen Länge von 2,7 m; einer mittelschweren Bauweise und einem Fensterflächenanteil von 30% und 60%. Sehr schnell kann mit diesen 2D-Parameterdarstellungen gezeigt werden, dass die Zielgröße (KB < 25 W/m²K) bei einem Fensterflächenanteil von 30% auch mit hohen Gesamtenergiedurchlassgraden und niedrigen U–Werten der Verglasung zu erreichen ist. Bei einem Fensterflächenanteil von 60% ist der Zielwert nur noch mit Gesamtenergiedurchlassgraden < 45% zu erreichen. Dies ist jedoch aufgrund von Behaglichkeitsbeschränkungen (siehe Kapitel 8.3.1) für den Entwurf nicht möglich, und wirkt sich zudem auf den Heizwärmebedarf aus.

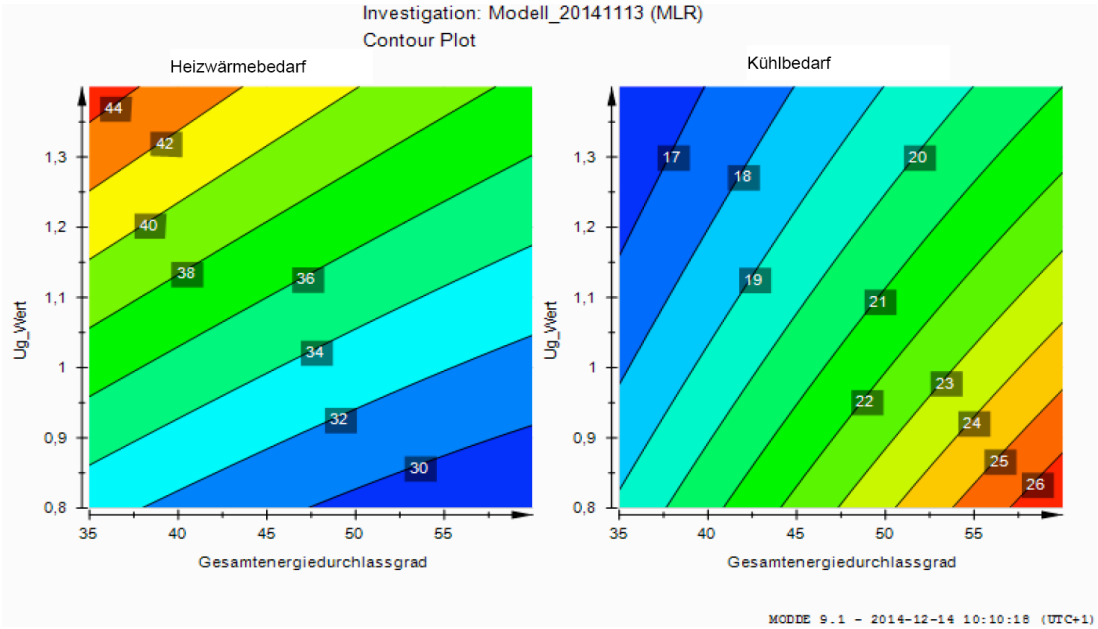


Abbildung 78: Zielgrößenentwicklung bei AFe = 30%, mittelschwerer Bauweise und einer charakteristischen Länge von 2,7 m in Abhängigkeit vom Ug–Wert und dem g–Wert der Verglasung

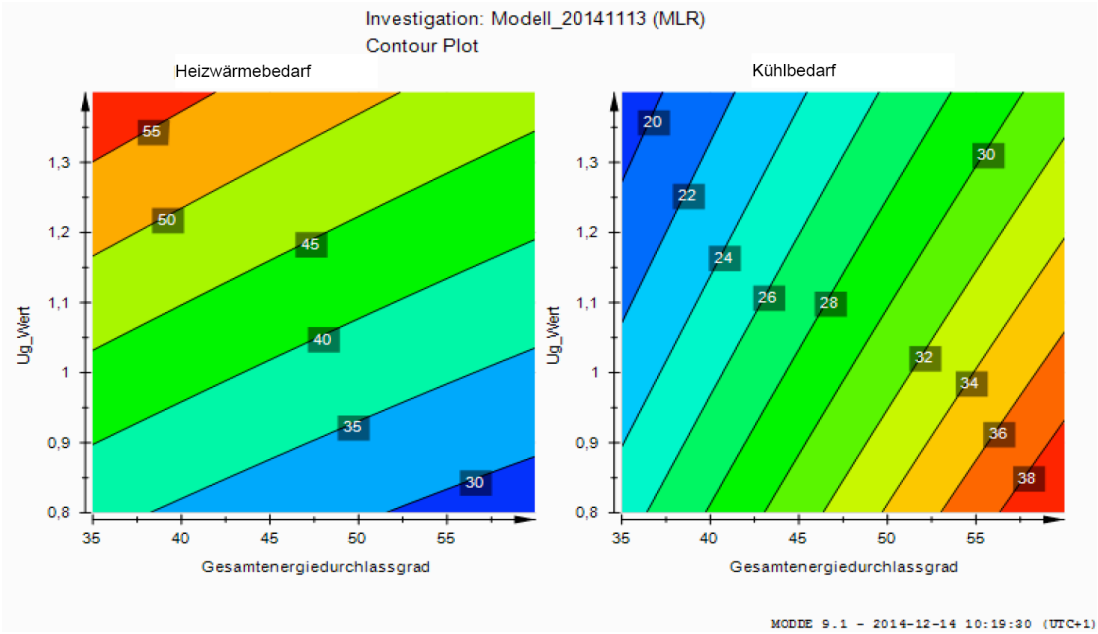


Abbildung 79: Zielgrößenentwicklung bei AFe = 60%, mittelschwerer Bauweise und einer charakteristischen Länge von 2,7 m in Abhängigkeit vom Ug–Wert und dem g–Wert der Verglasung

Abbildung 80 und Abbildung 81 zeigen die Ergebnisse bei schwerer Speichermasse. Deutlich wird hier, dass bei einem Fensterflächenanteil von 30% der Kühlbedarf unter 25 kWh/m²a bleibt. Die ganze Bandbreite der technischen Werte der Verglasung kann hier ausgenutzt werden.

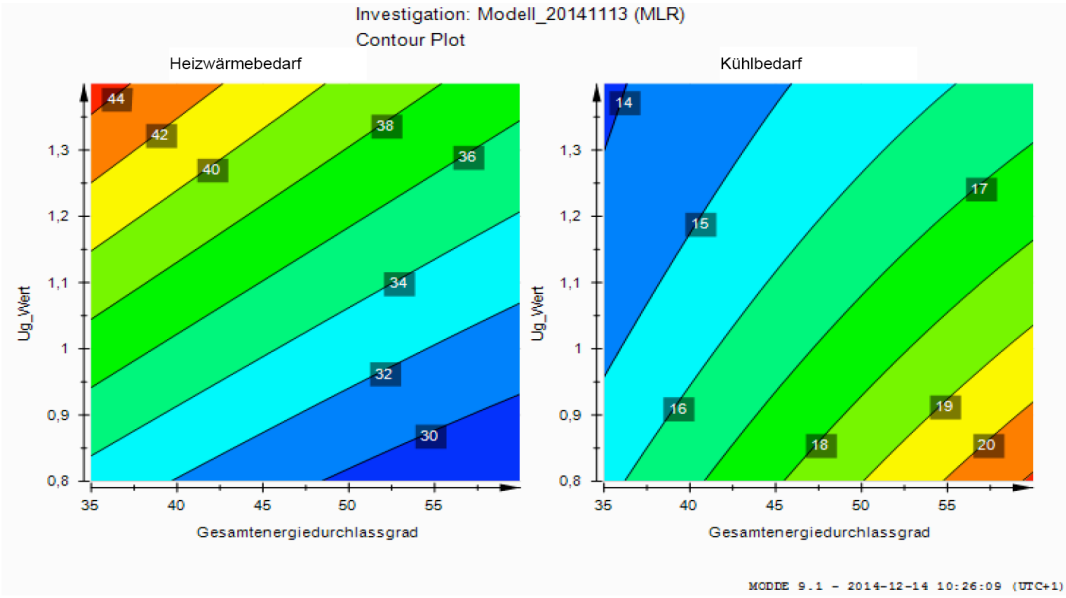


Abbildung 80: Zielgrößenentwicklung bei AFe = 30%, schwerer Bauweise und einer charakteristischen Länge von 2,7 m in Abhängigkeit vom Ug–Wert und dem g–Wert der Verglasung

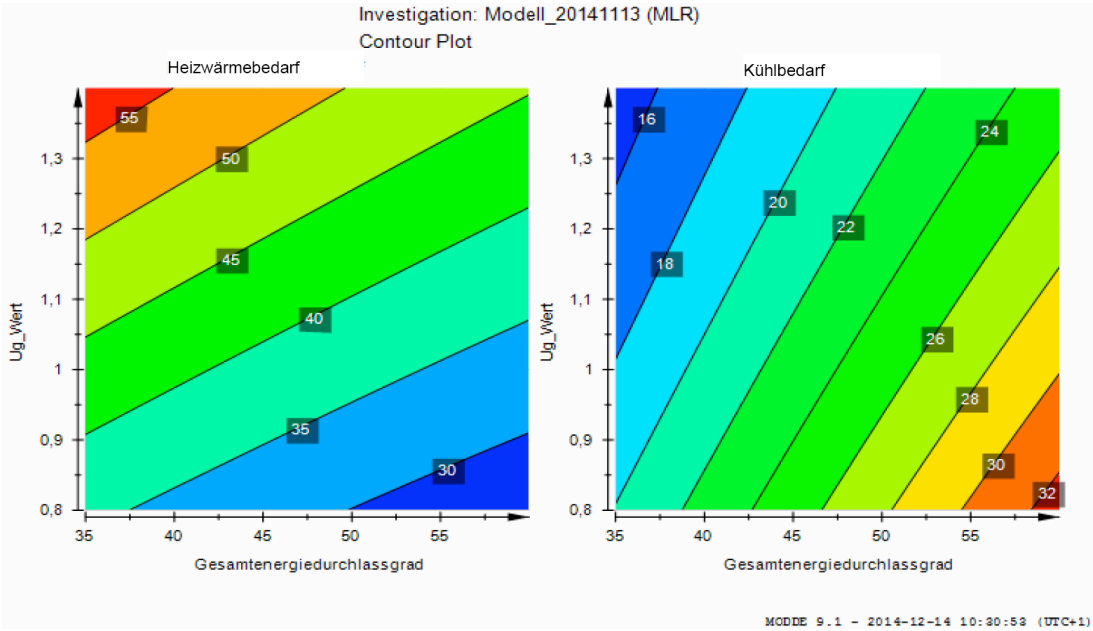


Abbildung 81: Zielgrößenentwicklung bei AFe = 60%, schwerer Bauweise und einer charakteristischen Länge von 2,7 m in Abhängigkeit vom Ug–Wert und dem g–Wert der Verglasung

Wie oben erwähnt besteht die Herausforderung der Anwendung des statistischen Modells geeignete Fragestellungen zu entwickeln. Für den Entwurfsprozess können mit dem statistischen Modell energetisch relevante Fragestellungen sehr rasch geklärt werden.

Auswertungsschritt 03: Abschätzen der Ergebnisse von festgelegten Varianten

Mittels Funktionsgleichung können die im Entwurfsprozess fixierten Entwurfsstände abgeschätzt werden. Dies dient dem Entscheidungsprozess und der Dokumentation der Entscheidung.

9.4.6 Einsatz der Methode im Entwurfsprozess

Für den Entwurfsprozess wurden nach der Analyse der Basisvariante (typologische Baukörper) und der Feststellung der durch die Zielgröße definierten Entwurfsgrenzen (Auswertungsschritt 01) Wechselwirkungen und Tendenzen des Gebäudes bei Veränderung der Einflussgrößen im Entwurfsteam diskutiert. Grundlage für die Diskussion war die grafische 2D Parameterdarstellung der tendenziellen Abhängigkeiten (Auswertungsschritt 02). Für den in Kapitel 12 dargestellten gemeinsamen Entscheidungsprozess wurden die Zielgrößen bei jeder fixierten Variante mittels Funktionsgleichung abgeschätzt (Auswertungsschritt 03).

Behandelte Entwurfsfragen:

Der Fensterflächenanteil und der Formfaktor (charakteristische Länge) wurden als wesentliche gestaltgebende Einflussgrößen herausgefiltert. Modellhaft wurden im Entwurfsworkshop folgende Fragestellungen mittels Plots und Funktionsgleichung bearbeitet:

- Auswirkung der Auflösung der kompakten Form aufgrund Wegführungen durch das Gebäude und innere Belichtungsmöglichkeiten durch Atrien.
- Auswirkung einer Erhöhung der Fassadentransparenz von bis zu 60%
- Auswirkung einer „Kaktusfassade“ (Kühlrippenfassade)

Die genannten Fragestellungen konnten im gemeinsamen Entwurfsprozess mittels Tendenzdiagramme zielsicher beantwortet werden.

Ergebnisse:

- Die Auflösung der kompakten Form kann bis zu einem lc von 2,7m durchgeführt werden. Bis zu dieser charakteristischen Länge ist es möglich, mittels Angleichung der technischen Kennwerte der Verglasung und Speichermassenausgleich auch Fensterflächenanteile von bis zu 50% umzusetzen. Wird das Gebäude weniger kompakt, wirkt sich das zwar nicht negativ auf den Kühlbedarf aus, der Heizwärmebedarf steigt jedoch in Richtung definierter Zielgröße (Bauordnungsgrenzwert).
- Eine Erhöhung des Fensterflächenanteils auf 50% kann bei den festgelegten Behaglichkeitskriterien nur dann realisiert werden, wenn genügend Speichermassen vorhanden sind (schwere Bauweise). Bei Umsetzen einer mittelschweren Bauweise können Fensterflächenanteile von 40% – 45% realisiert werden.
- Eine Verringerung durch eine strukturierte „Kaktusfassade“ wirkt sich auf die Zielgröße des Objektes kaum aus.

Die einzelnen Entwurfsschritte werden im Kapitel 12 gesondert dargestellt.

9.5 Resümee

Anhand der grafischen 2D-Paramterdarstellungen und des mathematischen Modells konnten in den folgenden integralen Workshops sämtliche vom Architekten entwickelten Entwurfsgedanken energetisch begleitet und deren Auswirkung auf die gemeinsam festgelegten Zielgrößen mitverfolgt werden. Die statistische Methode hat sich im Entwurfsprozess aufgrund der raschen Aussagekraft und der breiten Anwendbarkeit gut bewährt. Es konnten gleich am Beginn des Prozesses sowohl Tendenzen der energetischen Performance des Gebäudeentwurfes als auch Grenzen des Entwurfes hinsichtlich der Einhaltung der definierten Einflussgrößen definiert werden. Wesentlicher Vorteil gegenüber herkömmlichen Methoden ist die Möglichkeit der raschen Beantwortung der Fragestellungen während des integralen Prozesses. Ohne weitere Berechnung war es möglich, den Entwurf energetisch zu begleiten und auch Fehlentwicklungen sofort zu erkennen. Im Gegensatz dazu ist im konventionellen Entwurfsprozess eine Aussage immer nur für die berechnete Variante möglich. Trends daraus abzulesen verlangt viel Fachwissen, eine Optimierung mehrerer Parameter auf Zielgrößen ist nur schwer möglich.

Das Optimieren hinsichtlich einer klar definierten Zielgröße führt mittels der angewandten Methode auch bei sehr vielen Parametern zum Erfolg. Dies ist auch ohne Fachwissen leicht durchzuführen. Entwurfsbegleitende Fragestellungen, wie zum Beispiel die Entwicklung der Zielgrößen bei Änderung von Parametern, verlangen allerdings einen entsprechenden fachlichen Hintergrund zur Formulierung einer präzisen Fragestellung und zur Reduktion auf zwei Darstellungsgrößen. Zum Beispiel lässt sich die Frage nach dem größtmöglichen Fensterflächenanteil unter Einhaltung einer Zielgröße bei fünf Einflussgrößen nur mittels Teilschritten und mehreren Darstellungen lösen.

Generell ist die graphische Darstellung der Entwicklung der Zielgrößen bei Änderung von Parametern ein wichtiges Instrument für den diskursiven Prozess im integralen Team. Die Diskussion von Varianten kann anhand dieser Darstellungen zielgerichteter stattfinden. Für die Architekturschaffenden ist zudem eine grafische Darstellung besser lesbar als jedes rechnerische Ergebnis. Es konnte festgestellt werden, dass auf Basis dieser grafischen Auswertung eine sehr sachliche Diskussion über Entwurfsgrößen geführt werden konnte.

Die Komplexität des statistischen Modells hängt im Wesentlichen von der festgelegten Basisvariante mit den definierten Rahmenbedingungen, der Anzahl der

die Zielgrößen beeinflussenden Parameter und der Zielgrößen ab. Je mehr freie Parameter die Zielgröße beeinflussen, desto umfangreicher werden die Variantenberechnungen vorab. Die Zielgrößen wurden im oben durchgeführten Prozess durch fünf freie Parameter beeinflusst. Durch diesen hohen Grad an Komplexität waren 162 Berechnungen zum Erzeugen der mathematischen Funktionen notwendig. Die Berechnung der Varianten für die Festlegung der mathematischen Funktion erforderte viel Eingabezeit in das Rechenprogramm. Diese Zeit kann im herkömmlichen Bürobetrieb für den Entwurfsprozess meist nicht zur Verfügung gestellt werden. Einsetzbar wird diese Methode nur, wenn eine Automatisierung der Variantenberechnung möglich ist.

Für eine Anwendung im Entwurfs- und Planungsprozess müssten folgende Punkte in weiteren Untersuchungen geklärt werden:

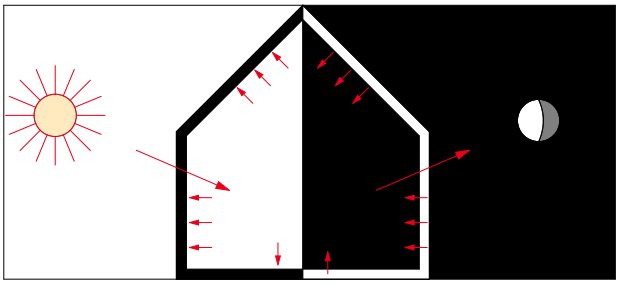
- Absicherung der Signifikanz der Zielgrößen für unterschiedliche hybride Kühlsysteme durch eine Variantensimulation unterschiedlicher Bürogebäude und durch eine Analyse der Modellbildung
- Automatisierung der Variantenberechnungen innerhalb von festgelegten Bandbreiten in Rechenprogrammen
- Automatisierte Unterstützung der Auswahl von entwurfsrelevanten Fragestellungen für den Entwurfsprozess
- Untersuchen des Verhaltens von unterschiedlichen Bautypologien
- Weiteres Untersuchen der Standortrelevanz für unterschiedliche Bautypologien

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die ausgewählte Methode den integralen Entwurfsprozess positiv unterstützen konnte und entwurfsrelevante Fragestellungen gut begleiten konnte.

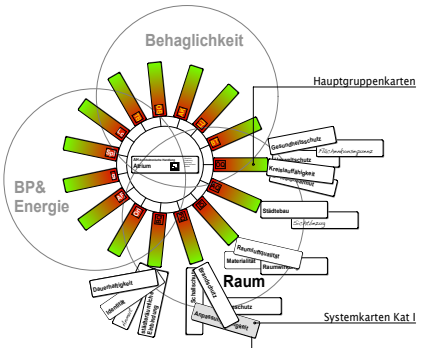
Die Methodik lässt sich auch auf andere Zielgrößen und Abfragen verändern. Es ist ebenso möglich, der statistischen Auswertung andere Rechenmodelle (zum Beispiel dynamische Simulationen) zu hinterlegen. Wichtig ist auch hier den Eingabeprozess zu automatisieren. In weiterer Folge könnte diese Methode auch im Polierplanungsprozess angewandt werden, um Änderungen während des Planungsprozesses energetisch zu verfolgen und Ausgleichsmaßnahmen sinnvoll zu steuern.

10 Architektonische und räumliche Kriterien für den Entwurf

1 **Bürogebäude ohne technische Kühlung**



2 **Finden einer Methode zur Parameterauswahl**



3 **Anwenden der gefundenen Methode am Beispiel Anpassungsfähigkeit**

Abbildung 82: Ziele des Arbeitspaketes 03

Kurzfassung

Das Arbeitspaket 03 beschäftigt sich mit dem Finden von architektonischen und räumlichen Kriterien für den Entwurf von einem Bürogebäude ohne technische Kühlung. Es wird nach einer Methode gesucht, die ohne EDV Unterstützung verwendet werden kann, um im Team, am Besprechungstisch, Entscheidungen zu treffen, die ein außergewöhnliches Ergebnis liefern. Die getroffenen Entscheidungen werden an einem konkreten Projekt dargestellt und überprüft.

Um den Kontext des nachhaltigen Bauens zu erfüllen, ist es notwendig Teams zu bilden, die ein möglichst breites Themenfeld abdecken können.

Die Grundvoraussetzung für Teamarbeit stellt eine effiziente Gesprächskultur dar. Unterscheidungen der verschieden Gesprächsdomänen sind dafür essentiell und werden in diesem Arbeitspaket beschrieben. Die gefundene Methode baut auf dem Wissen dieser Gesprächsdomänen auf und stellt eine Hilfestellung für die zu führenden Gespräche dar. Die Methode wurde anhand des Beispiels „Anpassungsfähigkeit eines Bürogebäudes“ erprobt und in einem architektonischen Entwurf umgesetzt. Die Unterscheidung, kreativer Prozess gegenüber Planungsprozess, war Grundlage für die Entwicklung der Methode. Es ist gelungen eine Methode zu entwickeln, die den kreativen Prozess unterstützt und fördert. Die gefundene Methode war gut anzuwenden und lieferte rasch konkrete Ergebnisse.

10.1 Motivation

In diesem Teil der Masterthese wird eine Methode gesucht, die architektonische Handlungen leitet und in ein Gesamtsystem von Entscheidungen für den architektonischen Entwurf zusammen führt. Dieses Arbeitspaket wurde von DI Michael Egger erstellt.

Die gesuchte Methode muss sich ins Gesamtkonzept dieser Masterthese einpassen, weil in den gefundenen Methoden der Arbeitspakete 01 und 02 nicht nur auf den Entwurf abgestimmte Ergebnisse erzielt, sondern auch allgemeingültige Aussage getroffen wurden. Am Beispiel „Anpassungsfähigkeit“ soll die angewandte Methode dargestellt und auf Tauglichkeit überprüft werden.

Als obergeordnetes Ziel des Entwurfs soll das Gebäude keinen Kühlbedarf aufweisen.

Es werden architektonische Einflussgrößen definiert, die in direktem Zusammenhang mit der Anpassungsfähigkeit des Gebäudes stehen. Die Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes ist eines der wichtigsten Parameter in einem Entwurf, der unter den Aspekten des nachhaltigen Bauens kreiert wird, weil das Gebäude dadurch lange genutzt werden kann. Lange Lebensdauern schlagen sich positiv in der Ökobilanzierung und den Lebenszykluskosten nieder. Unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten für künftige Generationen ermöglichen eine Einbindung in das soziale Gefüge der Stadt und erhöhen die Akzeptanz. Wird dieser Gedanke sichtbar in die Öffentlichkeit getragen, können somit Prozesse stattfinden, die den Gedanken der Nachhaltigkeit in der Gesellschaft festigen. Sie kann bei jedem Entwurf mitgedacht werden, und ist somit weder nutzungsspezifisch oder klimatisch begrenzt.

10.2 Forschungsstand / Anpassungsfähigkeit

10.2.1 Stand der Normung

„Im Jahr 2009 wurde von der EU das Weißbuch „Anpassung an den Klimawandel: Ein europäischer Aktionsrahmen“ als strategischer Ansatz für gezielte Klimaanpassungsmaßnahmen vorgelegt. Zuständig ist die EU-Kommission Generaldirektion Climate Aktion (DG CLIMA). Im Jahr 2012 wurde das Internetportal Climate-ADAPT online gestellt, das dem

internationalen Austausch für Anpassungsstrategien dienen soll.“ (Umweltbundesamt, 2013)

Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel wurde vom Ministerrat am 23. Oktober 2012 beschlossen.

Dabei wird festgestellt, dass die ursächliche Bekämpfung des Klimawandels oberste Priorität hat. Die Anpassungsstrategie wird als zweite unerlässliche Säule der Klimapolitik gesehen.

Die Anpassungsmaßnahmen lassen sich analog zum Weißbuch grob in drei Kategorien einteilen:

1. *„graue“, rein technische Maßnahmen*
2. *„grüne“ Maßnahmen, die darauf abzielen, die natürlichen Funktionen von Ökosystemen zu erhalten oder zu verbessern und somit Resilienzen zu schaffen*
3. *„softe oder smarte“ Maßnahmen. Darunter sind Aktivitäten zusammengefasst, die auf eine Bewusstseinssteigerung und auf Wissenszuwachs fokussieren, ökonomische Anreize schaffen und institutionelle Rahmenbedingungen für die Anpassung ermöglichen.“* (Bmlfu, 2012, p. 16)

Ich möchte diesen Gedanken fortsetzen und untersuchen, welche strategischen Überlegungen in einem architektonischen Entwurf wichtig sind, um die Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes zu verstärken.

10.2.2 Stand der Forschung

Für den nachfolgenden Entwurf möchte ich besonderes Augenmerk auf die Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes und die damit verbundene Nutzung legen, da sie für die Nachhaltigkeitsperformance eines Gebäudes entscheidend ist. Je länger ein Gebäude genutzt wird, desto besser die Nachhaltigkeitsperformance in diesem

Sinne. Geringe LCC[5] und eine entsprechend gute LCA[6] werden hier vorausgesetzt, jedoch in dieser Arbeit nicht genauer beleuchtet. Ich will mich intensiver mit der Thematik „Anpassungsfähigkeit“ und damit verknüpften Themen auseinander setzten.

Bei der ÖGNI finden wir zur Anpassungsfähigkeit im Themenfeld Ökonomische Qualität folgende Definition:

Kriterium 17 Drittverwendungsfähigkeit:

> *„Ein globalisierter, internationaler Markt verlangt hohe Effizienz, Flexibilität und Anpassungsfähigkeit. Dies spiegelt sich auch in der Nutzung von Gebäuden wider. Ein nachhaltig konzipiertes Gebäude lässt sich leicht an wandelnde Anforderungen anpassen. Dabei können sich Änderungen in der Nutzung sowohl durch einen Mieter- oder Nutzerwechsel, wie auch durch vom Mieter durchgeführte Umstrukturierungen ergeben. Eine hohe Umnutzungsfähigkeit von Gebäuden ist unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten gegeben, wenn der Wandel mit einem geringen Ressourcenverbrauch realisiert werden kann.“* (ÖGNI, 2015)

Weiter finden wir im ÖGNI Kriterienkatalog zum Thema Anpassungsfähigkeit folgendes Kriterium im Themenfeld soziokulturelle und funktionale Qualität.

---

[5] Erfassung der über die Lebensdauer eines Systems anfallenden Kosten bestehend aus Erstkosten (Beseitigungs- und Erschließungskosten, Planungskosten und Baukosten) und Folgekosten (Nutzungskosten, Modernisierungs- und Revitalisierungskosten, Abbruch- und Entsorgungskosten).

[6] In der ÖNORM EN ISO 14040 wird die Ökobilanz wie folgt definiert: ([1], S.7)

„Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Wirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebenswegs.“

Kriterium 28 Umnutzungsfähigkeit:

> *„Je besser und mit je geringerem Aufwand ein Gebäude umzugestalten ist, umso besser ist seine Eigenschaft „Umnutzungsfähigkeit“ zu beurteilen. Ein globalisierter, internationaler Markt verlangt hohe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit. Dies spiegelt sich auch in der Nutzung von Gebäuden wider. Ein nachhaltig konzipiertes Gebäude lässt sich leicht an wandelnde Anforderungen anpassen.*
>
> *Dabei können sich Änderungen in der Nutzung sowohl durch einen Mieter-/ Nutzerwechsel, wie auch durch vom Nutzer durchgeführte Umstrukturierungen ergeben. Eine hohe Umnutzungsfähigkeit von Gebäuden ist unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten gegeben, wenn der Wandel mit einem geringen Ressourcenverbrauch realisiert werden kann.“* (ÖGNI, 2015)

Bei der ÖGNB finden wir im TQB-Tool für Dienstleistungsgebäude unter Punkt B.1.4 Flexibilität und Dauerhaftigkeit folgende Unterpunkte:

> *„Die statische Dimensionierung der Grundkonstruktion (tragende Elemente, Decken) erlaubt Nutzungsänderungen (zu Wohnen/ Büro/ kleinen Dienstleistungsbetrieben/ Betreuungseinrichtungen).*
>
> *Das Gebäude weist durchgehend Raumhöhen von mindestens 2,70 Meter auf.*
>
> *Die Grundkonstruktion beinhaltet leicht austauschbare Subsysteme (bei nicht tragenden Elementen).*
>
> *Nutzungseinheiten sind von der Grundrissgestaltung leicht zusammenlegbar oder teilbar.*
>
> *Ausreichende Kapazität an Versorgungsschächten.*
>
> *Versorgungsleitungen nur in als „fix betrachteten“ Wänden.*
>
> *Elektroinstallation mittels Bus-System oder ausreichende Kapazität an Leerverrohrung.*
>
> *Beschreibung von baulichen und haustechnischen Maßnahmen für Nutzungsänderungen vorhanden.“* (ÖGNB, 2015)

Vereinfacht lässt sich somit feststellen, dass in der ÖGNI Bewertung die „Anpassungsfähigkeit“ eines Gebäudes mit ca. 11% (SB 17 9%, SB 28 1,6%) in der Gesamtbeurteilung berücksichtigt wird. Bei TQB sind es lediglich 2,5% der Gesamtbeurteilung (B.1.4 25 Punkte von 1000).

Betrachtet man die Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes als Grundlage für eine lange Nutzungsdauer, scheinen beide Bewertungen als zu nieder angesetzt. Zertifizierungssysteme sollen „bessere“ Gebäude (Neubau und Sanierung) im Sinne des nachhaltigen Bauens generieren. Sie sind ein guter Leitfaden und Hilfestellung für die Realisierung. Als Gesamtsystem müssen sie jedoch starr sein, um einen Vergleich mit anderen Gebäuden zu ermöglichen, die im selben Zertifizierungssystem bewertet wurden. Als Entwurfsinstrument sind sie nur bedingt einsetzbar, denn jeder Entwurf ist an einen speziellen Ort, mit einer speziellen Nutzung, für unterschiedliche Nutzer, mit unterschiedlichen Nutzungsgewohnheiten verknüpft und somit „einzigartig“ zu konzipieren. Deshalb ist vor Beginn der Planungsarbeiten unbedingt das Anforderungsprofil für den Entwurf festzulegen. Die „Bestellqualität“ ist entscheidend für das Ergebnis und sollte deshalb mit besonderer Sorgfalt gemeinsam mit der BauherrIn ausgearbeitet werden. Es muss ein System entwickelt werden, um das Anforderungsprofil - „Bestellung“ - mit dem kreativen Entwurfsprozess zu verbinden.

10.2.3 Beschreibung der Forschungsfrage des Arbeitspaketes

„Welche architektonischen Parameter unterstützen die Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes?“

10.3 Beschreibung der angewendeten Methode

Diese Arbeit stellt keinen Anspruch auf einen vollständigen Katalog für Planungsrichtlinien. Sie soll vielmehr einen Weg aufzeigen, um im kreativen Entwurf[7] strukturiert Ergebnisse zu erzielen, die das nachhaltige Bauen unterstützen können. Die Entwicklung des ITBK (Idealtypischer Baukörper) und die Vorarbeiten dazu können in Kapitel 6 nachgelesen werden. In diesem Arbeitspaket wird das

[7] Unterschied kreativer Entwurf / Planungsprozess siehe Kapitel 4 Punkt 4.3

Finden der Hauptgruppen (Domänen), die Suche nach Entwurfsaspekten (Dimensionen) und das Arbeiten mit der Systemkarten Methode im IE (Integralen Entwurf) beschrieben.

Der kreative Prozess ist individuell verschieden und führt immer zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die angewandte Methode soll genau so funktionieren, um sich nahtlos in den kreativen Prozess einzugliedern. Die entwickelte Methode soll ein gemeinsames Arbeiten „am Tisch“ erleichtern. Die Grundlage für ein effektives[8] Arbeiten wird einerseits durch ein entsprechendes Gesprächsklima und andererseits durch das Begegnen auf selber Augenhöhe gelegt.

Es ist deshalb notwendig sich mit dem „Gespräch“ an sich zu beschäftigen.

10.3.1 Effektive Sprache als Werkzeug

Das Erzielen außerordentlicher Ergebnisse ist abhängig von der Verwendung effektiver Sprache. Die Voraussetzung dafür ist das Unterscheiden von Sprachdomänen, innerhalb der gewisse Gespräche geführt werden.

Letzten Endes ist jedes Ergebnis das Resultat eines Gespräches, deshalb möchte ich gerne aus einem Workshop mit der BAA (British Airport Authority), abgehalten von Michael Walleczek im Jahr 2005, zitieren (Übersetzung aus dem Englischen).

Walleczek unterscheidet folgende Gesprächsdomänen (Hauptgebiete).

A) Gespräche zur Schaffung von Beziehungen von gegenseitigem Vertrauen und Respekt:

> *„A.1 Gespräche aus der Vergangenheit klären, um in Zukunft davon befreit zu sein. (richtig zuhören ist oft der Schlüssel zum Erfolg)*
>
> *A.2 Gespräche, um ein gemeinsames Verständnis der Situation zu gewinnen.*

---

[8] Effizient: die Dinge richtig tun / Effektiv: die richtigen Dinge tun

Menschen die nicht verstehen, können nicht verantwortlich handeln

Menschen die verstehen, können nicht nicht verantwortlich handeln

A.3 Gespräche, die den Kontext (Klima, umgebenden Zusammenhang) kreieren.

A.4 Gespräche, welche die eigene Haltung für das zukünftige Projekt ausdrücken.

A.5 Gespräche, die die Erfahrung einer Person in Bezug auf das zukünftige Projekt aufzeigen." (Walleczek, 2005)

Diese erste Domäne ist somit essentiell, um ein Team aufzubauen und die Möglichkeit für einen integralen Entwurf (IE) zu legen, denn was immer möglich ist, ist begrenzt durch Beziehungen von gegenseitigem Vertrauen und Respekt.

Walleczek weiter:

B) Gespräche für Möglichkeit (Idee) – Die Frage nach dem „was"?

„Ein Gespräch für Möglichkeit ist eine völlig andere Art der Konversation.

Es ist frei, ungebunden, nicht festgelegt.

Brainstorming, alles ist erlaubt um kreativ zu denken, es gibt keine Grenzen.

Es ist informiert von der Vergangenheit und ist dennoch völlig unabhängig von der Vergangenheit.

Es ist gewissermaßen von der Zukunft für die Zukunft geschaffen.

Erst zu einem späteren Zeitpunkt werden die Vergangenheit und die Umstände berücksichtigt.

Dieses Gespräch benötigt eine „sichere" Umgebung, eine beschützende Atmosphäre um abgehalten werden zu können.

Man muss lernen Ideen ohne Bewertung zu hören.

Es geht um Ideen / Visionen / Träume" (Walleczek, 2005)

In dieser Phase werden die Kristallisationspunkte, also die Verknüpfungen unterschiedlicher Ideen und somit neue Ideen (Möglichkeiten) kreiert.

C) Gespräche über Machbarkeit – Die Frage nach dem „wie“?

> *„Erst ein Gespräch über Machbarkeit macht Möglichkeit machbar.*
>
> *Dabei ist die Brücke zwischen der Möglichkeit (Idee) und der Machbarkeit (Umsetzung) die Messbarkeit. Nur wenn die Idee messbar gemacht wird bleibt sie bestehen. Wenn die Idee mit historisch bekannten Messeinheiten nicht messbar ist, muss eine neue Messeinheit erfunden und vereinbart werden (CO2 Footprint als Indikator für ökologisch verantwortlichen Lebensstil, Sterberate von Säuglingen als Maßstab für die Beendigung des Hungers auf der Welt usw.).“* (Walleczek, 2005)

Eine uns allen bekannte Vereinbarung über Messbarkeit wurde 1799 für verbindlich erklärt – das Urmeter. Dazu folgender Auszug:

> *„Die Längeneinheit Meter ist seit Ende des 18. Jahrhunderts in Gebrauch. Der Ursprung dieser Längeneinheit geht auf einen Beschluss der französischen Nationalversammlung zurück, ein einheitliches Längenmaß zu definieren. Dem gingen einige Vorschläge für die Definition einer Längeneinheit voraus, die anders als die traditionellen Längenmaße nicht von der Länge menschlicher Gliedmaßen (der Fingerbreite, dem Zoll, der Handbreite, der Handspanne, der Elle, dem Fuß, dem Schritt und dem Klafter) abgeleitet war. So schlug der Abbé Jean Picard 1668 als Längeneinheit das Sekundenpendel vor – also die Länge eines Pendels, das eine halbe Periodendauer von einer Sekunde hat. Im Schwerefeld von Europa hätte ein solches Pendel die Länge von etwa 0,994 m und käme der heutigen Definition eines Meters ziemlich nahe.*
>
> *Maßgebend für die neue Längeneinheit wurde jedoch nicht das Sekundenpendel, sondern die Erdfigur. 1735 entsandte die Pariser Akademie der Wissenschaften zwei Expeditionen zur Gradmessung in das heutige Ecuador und nach Lappland, um die genauen Abmessungen der Erde festzustellen. Im Jahr 1793 setzte der französische Nationalkonvent – neben einem neuen Kalender – auch ein neues Längenmaß fest: Der Meter sollte den 10-millionsten Teil des Erdquadranten auf dem Meridian von Paris betragen – also den zehnmillionsten Teil der Entfernung vom Nordpol über*

Paris zum Äquator. Ein Prototyp dieses Meters wurde 1795 in Messing gegossen. Er erwies sich später als außerordentlich genau – gemessen am gesteckten Ziel war er nur 0,013 % oder 0,13 Millimeter zu lang.

Zwischen 1792 und 1799 bestimmten Delambre und Méchain die Länge des Meridianbogens zwischen Dünkirchen und Barcelona erneut. Aus einer Kombination mit den Ecuador-Lappland-Resultaten ergab sich ein neuer Wert zu 443,296 Pariser Linien, der 1799 für verbindlich erklärt und als ein Platinstab, das Urmeter, realisiert wurde. Im 19. Jahrhundert kamen allerdings genauere Vermessungen der Erde zum Ergebnis, dass das Urmeter etwa 0,02 % zu kurz geraten war. Dennoch wurde an dem 1799 definierten Meter festgehalten – mit dem Ergebnis, dass der Erdmeridianquadrant nicht 10 000 km, sondern 10 001,966 km lang ist. Diese Länge gilt für den Meridian von Paris, andere Meridiane können andere Längen haben. Ein Nebeneffekt war, dass man erkannte, dass die Erde keine exakte Kugel ist, sondern eine unregelmäßige Form hat. Die Erde hatte sich damit als ungeeignet zur Definition des Meters erwiesen. Bis 1960 war deshalb das Meter als die Länge eines konkreten Gegenstands festgesetzt – zuerst des Urmeters, seit 1889 dann des Internationalen Meterprototyps (siehe unten). Alle späteren Definitionen hatten das Ziel, dieser Länge möglichst genau zu entsprechen.

Der Norddeutsche Bund beschloss am 17. August 1868 die Einführung des französischen Metersystems zum 1. Januar 1872. Deutschland gehörte 1875 zu den zwölf Gründungsmitgliedern der Meterkonvention.

Im Jahr 1889 führte das Internationale Büro für Maß und Gewicht (BIPM) den Internationalen Meterprototyp als Prototyp für die Einheit Meter ein. Dabei handelte es sich um einen Stab mit kreuzförmigem Querschnitt. Als Material wurde eine Platin-Iridium-Legierung im Verhältnis 90:10 gewählt. Die Länge des Meters wurde festgelegt als der Abstand der Mittelstriche zweier Strichgruppen auf dem auf einer konstanten Temperatur von 0 °C gehaltenen Stab. Es wurden 30 Kopien dieses Prototyps hergestellt und an nationale Eichinstitute übergeben.

Verbesserungen der Messgenauigkeit bei der Realisierung des Meters nach dieser Vorschrift änderten jeweils den Zahlenwert der Naturkonstante Lichtgeschwindigkeit im leeren Raum. Zuletzt geschah dies 1973. Auf der

15. Generalkonferenz für Maße und Gewichte (kurz CGPM) wurde beschlossen, den Zahlenwert der Vakuumlichtgeschwindigkeit als konstant zu betrachten. Im Gegenzug wurde vorgeschlagen, die Länge eines Meters als diejenige Strecke zu definieren, die Licht im Vakuum innerhalb des Zeitintervalls von 1/299 792 458 Sekunden durchläuft. Die 17. CGPM hat am 20. Oktober 1983 diese Definition angenommen." (wikipedia, 2015a)

Walleczek weiter:

D) Gespräche über Aktion / Lass Taten sprechen / die Frage nach: wer macht was bis wann?

„Aktion ist ein Gespräch.

Verschiedene Gesprächsarten bewirken unterschiedliche Ergebnisse:

Befehle und Anweisungen sind in der heutigen Zeit nur begrenzt erfolgsversprechend.

Außerordentliche Ergebnisse sind heute nur mit Menschen möglich, die aus freiem Willen „ja" sagen! Die dafür verwendete Sprachform heißt: „Ersuchen", „Versprechen"

Ein klares Ersuchen besteht aus folgenden vier Elementen:

Wer stellt das Ersuchen?

An wen ist das Ersuchen gestellt? / Das kann eine oder können mehrere Personen sein

Was ist die Erfüllungsbedingung?

Bis wann wird das Ersuchen erledigt?

*Ein echtes Ersuchen gibt Raum auch „**NEIN**" zu sagen.*

Mögliche Antworten auf ein Ersuchen können somit sein:

Ja, ich verspreche

Nein ich verspreche nicht

Hier ist mein Gegenangebot

Ich verspreche später zu versprechen, oder nicht.

(zB. Ich verspreche, Ihnen in zwei Tagen zu sagen ob ich es machen werde oder nicht!)." (Walleczek, 2005)

Voraussetzung für ein effizientes Gespräch ist, dass sich alle Teilnehmer bewusst sind, welches Gespräch gerade geführt wird – also in welcher Gesprächsdomäne man sich befindet. Sobald der Gesprächsführer bzw. die Teilnehmer wünschen, kann die Gesprächsdomäne gewechselt werden.

Die Systemkarten - Methode ist eine Ergänzung zu diesem Wissen. Das Finden der Hauptgruppen (Domänen) erfolgt genauso, wie das Finden der daran anschließenden Unterkarten (Dimensionen), nur über das „Gespräch" statt. Das Fokussieren auf jeweils nur eine Karte erleichtert den Prozess und führt durch „effektive Sprache" zu außergewöhnlichen Ergebnissen.

Nachstehende Grafik soll einen Überblick über die Methode ermöglichen.

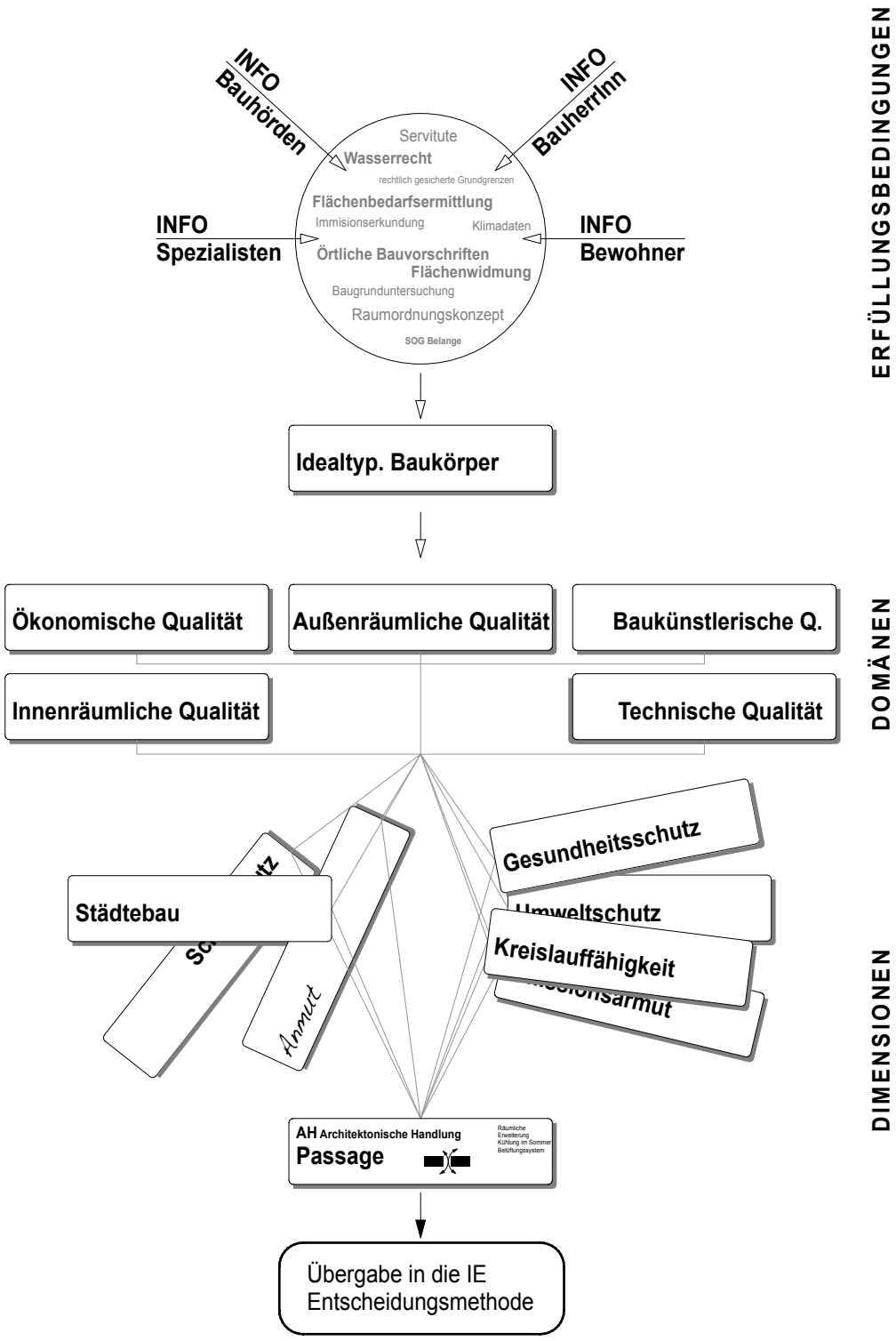


Abbildung 83: Schema der Methode

Die Abbildung 83 zeigt den Zusammenhang der ersten Informationen, welche für die Entwicklung des ITBK notwendig sind, bis zur architektonischen Handlung im Entwurf. Die ArchitektIn hat, genauso wie die anderen Spezialisten, Vorarbeit zur Erstellung des ITBK zu leisten. Informationen und Randbedingungen müssen erhoben und festgelegt werden, um den ITBK zu erstellen (siehe Kapitel 6). In dieser Phase werden die Erfüllungsbedingungen festgelegt. Nachdem der ITBK entwickelt wurde, werden jene Hauptgruppen bestimmt, die für den Entwurf und somit für das Projekt behandelt werden. Zugeordnet zu den Hauptgruppen (-karten) wird durch die Systemkarten Methode ein Weg bis zur architektonischen Handlung gefunden. Diese wird anschließend in der IE Entscheidungsmethode eingeordnet und weiter bearbeitet (siehe Kapitel 5).

10.3.2 Die Rolle der ArchitektIn im integralen Entwurfsteam

Die ArchitektIn hat im Entwurfsprozess oft die meisten Informationen, und kann so entweder alleine oder gemeinsam mit dem Integralen Entwurfsteam jene grundsätzlichen Entwurfsüberlegungen fixieren, die als Leitziele (Domänen) für den Entwurf dienen sollen. Das Arbeiten mit Leitzielen hat sich dabei für den kreativen Prozess als nützlich erwiesen, weil sie eine Richtung vorgeben, die jedoch auf unterschiedlichste Art und Weise eingehalten werden kann. Es bleibt genügend Spielraum, um den kreativen Prozess am Laufen zu halten, und ihn nicht gleich am Beginn der Überlegungen in ein strenges Gedankenkorsett zu pressen. Im IE ist es ungemein wichtig, dass sich alle Teilnehmer auf „gleicher Augenhöhe“ befinden. Erst dadurch wird es möglich, dass Gedanken frei und ohne Beschränkung ausgesprochen werden – dies ist die Grundlage für gemeinsames Kreieren.

10.3.3 Hauptgruppen / Domänen

Die Hauptgruppen bilden das große Gerüst und sollen den Rahmen des Entwurfes abstecken. Das IE Entwurfsteam muss in einem ersten Schritt eine Einigung für die gemeinsame Entwurfsrichtung definieren. Die einzelnen Definitionen müssen verständlich besprochen werden, so dass für alle Teammitglieder klar ist, wie die individuelle Definition der Einzelpersonen gemeint ist, und was im jeweiligen Wort (=Hauptgruppe / Domäne) enthalten ist. Nur durch diese Klarheit wird eine gemeinsame Basis geschaffen. Dieser Einstieg ist wichtig für alle Beteiligten, denn er schafft gegenseitiges Verständnis der Situation.

10.3.4 Entwurfsaspekte / Dimensionen

Sind die Hauptgruppenkarten bestimmt, werden für diese die nächste Dimension, die Systemkarten Kat I und in weiterer Folge die Systemkarten Kat II, gesucht. Es gibt vorgefertigte Karten, die verwendet werden können. Wenn zusätzliche Karten benötigt werden, können Leerkarten verwendet werden. Diese werden handschriftlich ausgefüllt, um schnell die gewünschte Karte zu erhalten und anlegen zu können. Durch diese schnelle und unkomplizierte Vorgehensweise wird der Prozess nicht aufgehalten, und es entstehen neue Anknüpfungspunkte für alle Teilnehmer. Da alle Teilnehmer gleichberechtigt Karten bestimmen können, entsteht eine große Vielfalt an Entwurfsaspekten. In mehreren Besprechungsdurchgängen wird entschieden, welche Karten für besonders wertvoll erachtet werden. Die Fokussierung auf die jeweilige Karte fördert die Konzentration aller Teilnehmer auf das jeweilige Problem. Wenn es für eine Karte keine Einigung gibt, kann sie zu einem späteren Zeitpunkt besprochen werden, und eine andere Karte wird in der Zwischenzeit behandelt. Dies ermöglicht ein effektives Behandeln von unterschiedlichsten Themen, spart Zeit und soll das Versteifen auf ein Unterkapitel (Detailpunkt) unterbinden.

10.4 Die Systemkarten Methode

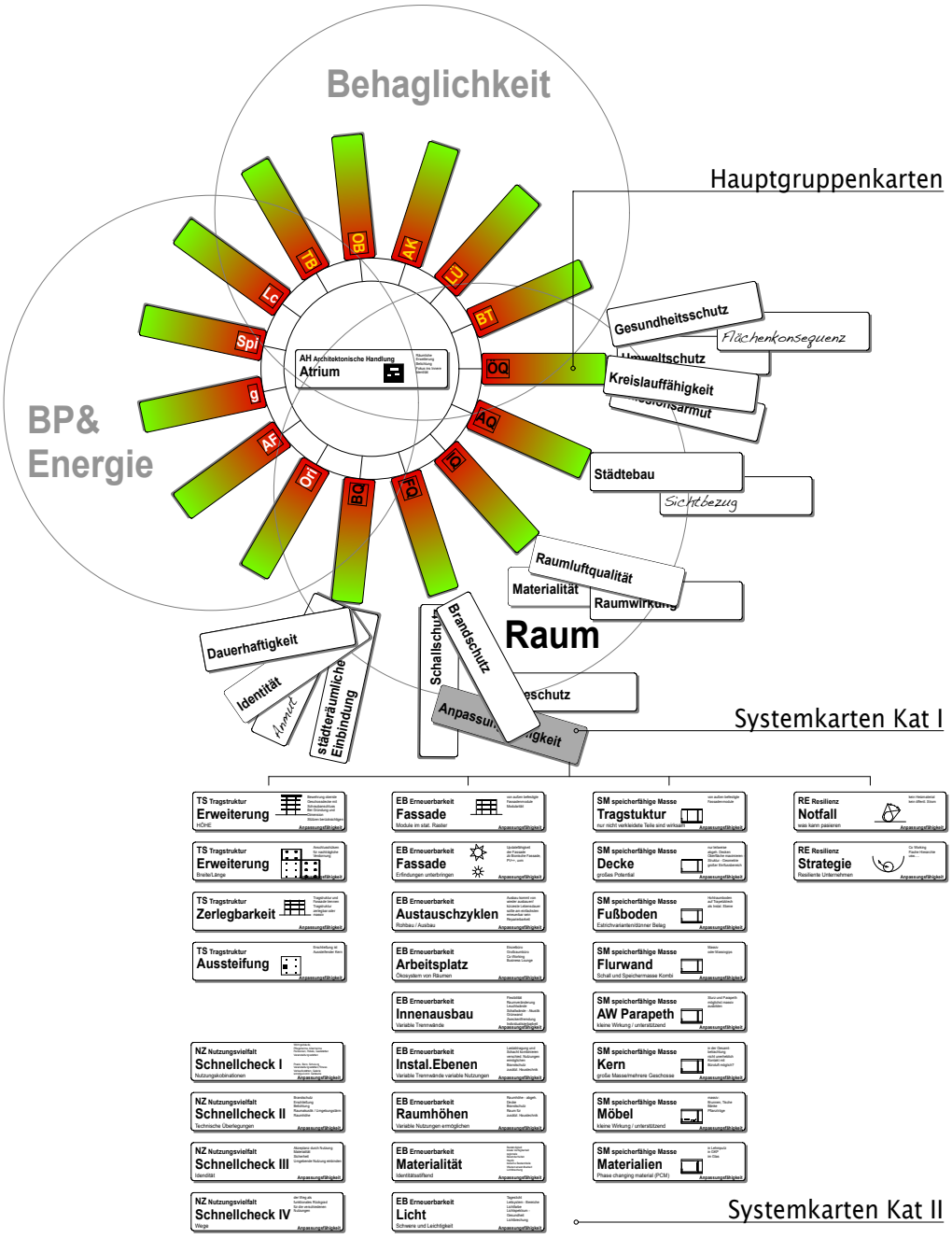


Abbildung 84: Übersicht Systemkarten Methode

Eine große Auswahl an vorgefertigten Systemkarten (Hauptgruppenkarten) wird gesichtet, besprochen und die für das Projekt entsprechenden Karten ausgewählt. Diese dienen als Ausgangspunkte für weitere Überlegungen. An diese Hauptgruppenkarten werden Systemkarten der Kategorie I angeknüpft. Die weitere Vertiefung zur jeweiligen Karte erfolgt über die Systemkarten Kategorie II. Diese Vorgangsweise ist aus elektronischen Mid Mapping Programmen bekannt. Der wesentliche Unterschied ist die analoge Vorgehensweise. Es kann direkt am Besprechungstisch gearbeitet werden. EDV Unterstützung ist nicht notwendig – Schreibgerät und die Konzentration der Teilnehmer reichen aus, um die Methode durchzuführen. Es entsteht ein visuelles Bild von einem abstrakten Entwurf, welches gleichzeitig die besprochenen Punkte dokumentiert und somit eine Protokollfunktion erfüllt. Mit dieser Methode kann am Tisch mit mehreren Teilnehmern gearbeitet werden, ohne den kreativen Prozess zu unterbrechen - Gedanken werden frei ausgesprochen, die Karten verändert, ausgetauscht und ergänzt. Die Systemkarten Methode ist auch mit mehreren Architekten anwendbar, die gemeinsam einen Entwurf erarbeiten, da immer nur ein Thema besprochen wird und der gezeichnete Entwurf erst später ausformuliert wird. Obwohl im kreativen Prozess alle Gedanken erlaubt sind, werden sie durch diese Methode geordnet und Gedankengänge nachvollziehbar dargestellt. Der ITBK (siehe Kapitel 6) dient dabei als Grundkörper an dem Verbesserungspotentiale gesucht und abgeleitet werden.

10.4.1 Systemkarten Kat I / Aufbau

Abbildung 85: Systemkarte Kat I

Die Abbildung 85 zeigt exemplarisch den Aufbau einer Systemkarte Kat I.

10.4.2 Systemkarten Kat II / Aufbaues

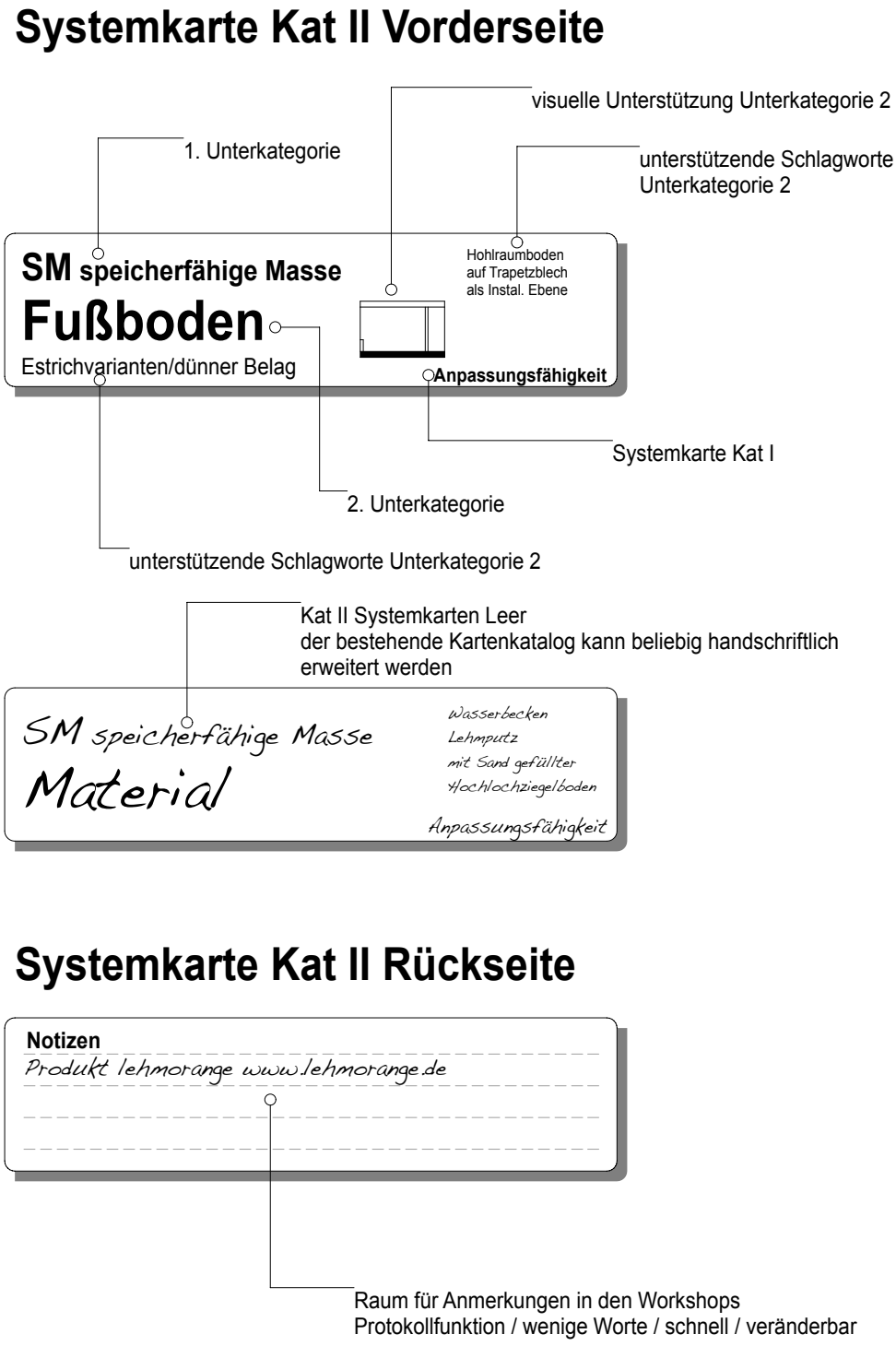


Abbildung 86: Systemkarte Kat II

Die Abbildung 86 zeigt exemplarisch den Aufbau einer Systemkarte Kat II.

10.4.3 Beispiel Systemkarten Kat II zu Anpassungsfähigkeit

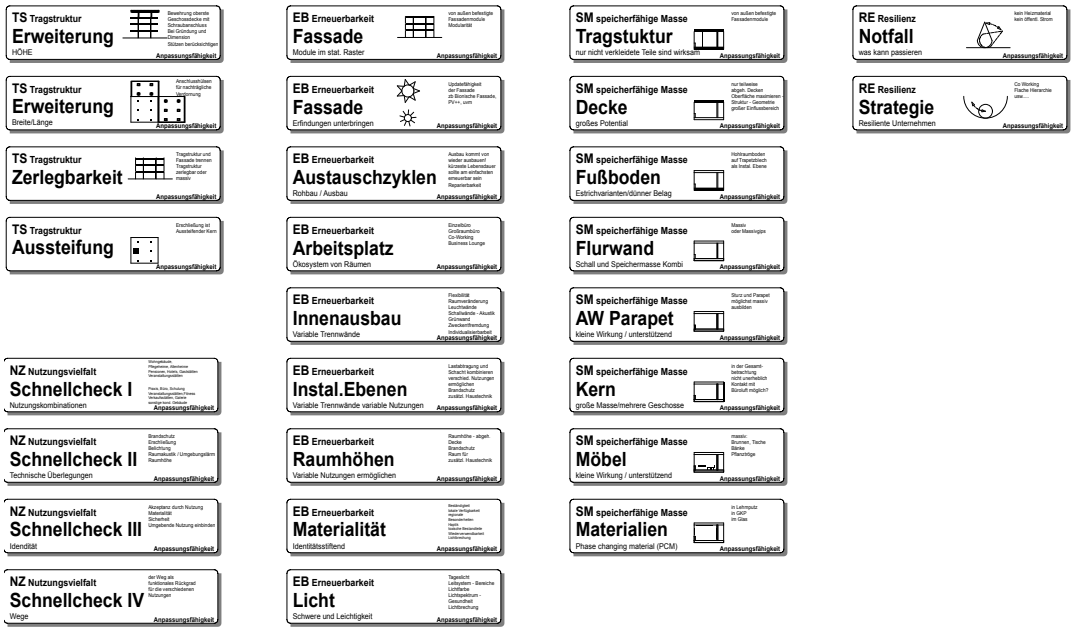


Abbildung 87: Übersicht der Systemkarten Kat II zu Anpassungsfähigkeit

Wie in einer Mind Map werden die Vertiefungen zu den höherrangigen Karten in Unterkarten geteilt. Am Beispiel Anpassungsfähigkeit wird deutlich, dass die Gliederung in Tragstruktur, Erneuerbarkeit, speicherfähige Masse, Nutzungsvielfalt und Resilienz getroffen wurde. Eine weitere Gliederung wird in Abbildung 87 sichtbar und nachfolgend beschrieben.

> *„Eine Mind Map ist ein hocheffektiver Weg, um das Gehirn mit Informationen zu versorgen oder Informationen von dort abzurufen, sie ist ein kreatives und zugleich logisches Hilfsmittel, um sich Notizen zu machen und diese wieder abzurufen. Ihre Ideen werden dabei im wahrsten Sinn des Wortes auf einer Karte (engl. Map) verzeichnet. Alle Mind Maps haben einige Dinge gemeinsam, zum Beispiel die natürliche Struktur, die sich von einem Zentrum aus nach außen fortpflanzt. Dabei kommen Linien, Symbole, Worte Farben und Bilder zum Einsatz, die das Konzept erst wirklich 'Gehirn-gemäß' machen. Eine Mind Map macht aus einer langen Liste monotoner Information eine buntes hoch geordnetes Diagramm, das man sich wesentlich besser merken kann, weil es auf die gleiche Art strukturiert ist, auf die auch das Gehirn funktioniert.“* (mindmapping.com, 2015)

10.4.3.1 Tragstruktur

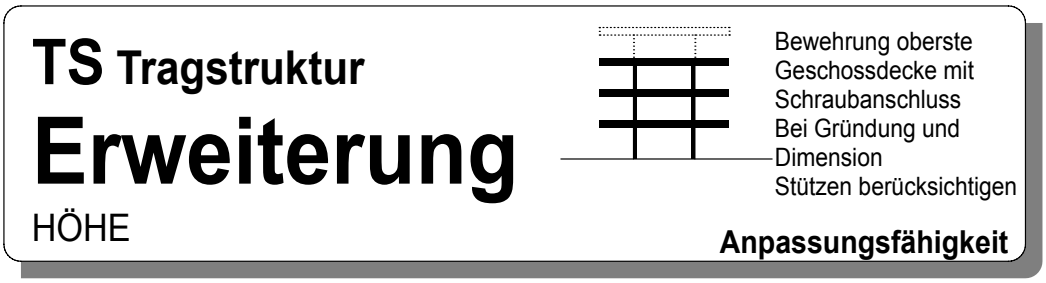


Abbildung 88: Systemkarte Kat II AP1

Um eine Erweiterung mit einem oder mehreren Geschossen zu ermöglichen, kann statisch mit relativ geringem Aufwand darauf reagiert werden. Die Fundamentierung und die tragenden Bauteile werden entsprechend dimensioniert. Bei der obersten Geschoßdecke sind Schraubverbindungen bei der Bewehrung der Stützen-anschlusspunkte angebracht, um eine kraftschlüssige Verbindung des zusätzlichen Geschosses zu gewährleisten.

In unserem Entwurf haben wir bereits die Vorsorge berücksichtigt und den Lift bis auf das Dach geführt. Das Dach kann bis zur Erweiterung von den Benützern des Gebäudes genützt werden (Garten, Terrasse, Sport).

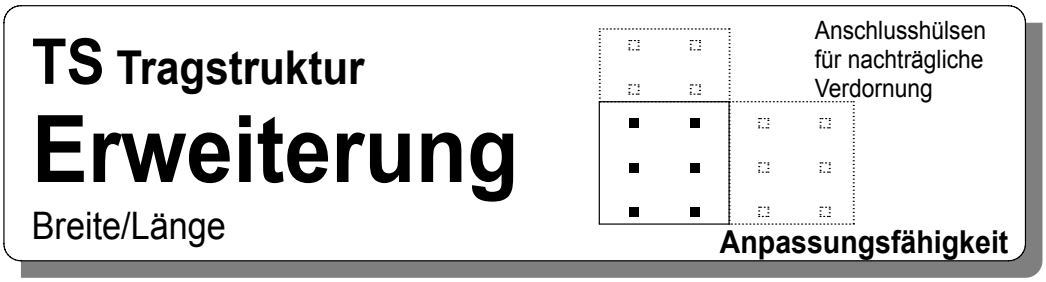


Abbildung 89: Systemkarte Kat II AP2

Um eine Erweiterung in der Länge oder der Breite zu ermöglichen, sind in den Deckenstreifen Anschlusshülsen für die nachträgliche Verdornung der Bauteile vorzusehen. Somit können unterschiedliche Setzungen und damit Rissbildungen vermindert werden.

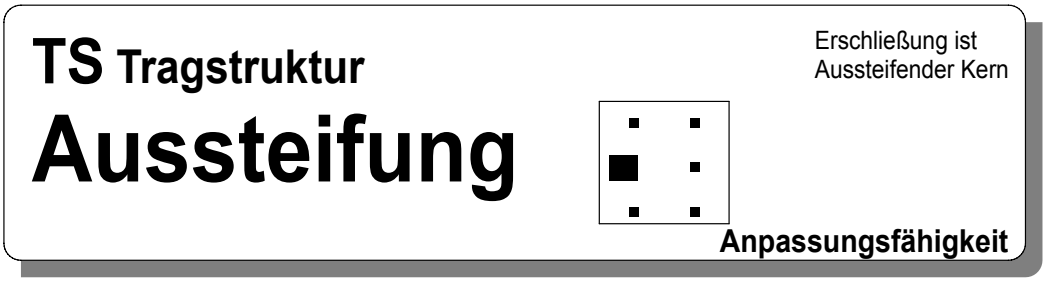


Abbildung 90: Systemkarte Kat II AP3

Ein System aus tragenden Stützen und nichttragender Fassade bietet eine sehr große Flexibilität hinsichtlich Nutzung und der Fassadengestaltung. Um die statisch notwendige Aussteifung zu erhalten, ist es sinnvoll einen aussteifenden Kern / meist gleichzeitig Erschließung und Lift zu bilden.

10.4.3.2 Erneuerbarkeit

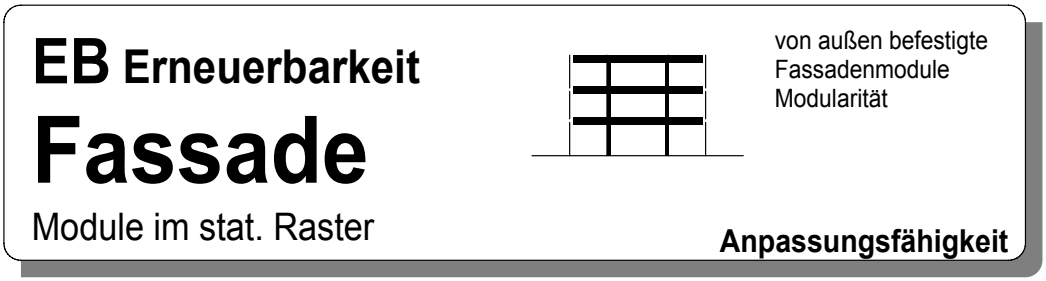


Abbildung 91: Systemkarte Kat II AP4

Um eine Fassade zu modernisieren bzw. auch einer neuen Nutzung anzupassen, ist es hilfreich die Fassade nicht tragend auszuführen. Wenn es möglich ist die Fassade in Modulbauweise zu errichten, können diese Module einfach ausgetauscht werden. Der Gebäudebetrieb wird somit nur teilweise eingeschränkt.

Abbildung 92: Systemkarte Kat II AP5

Die Lage der Installationsebenen ist für eine variable und flexible Nutzung essentiell.

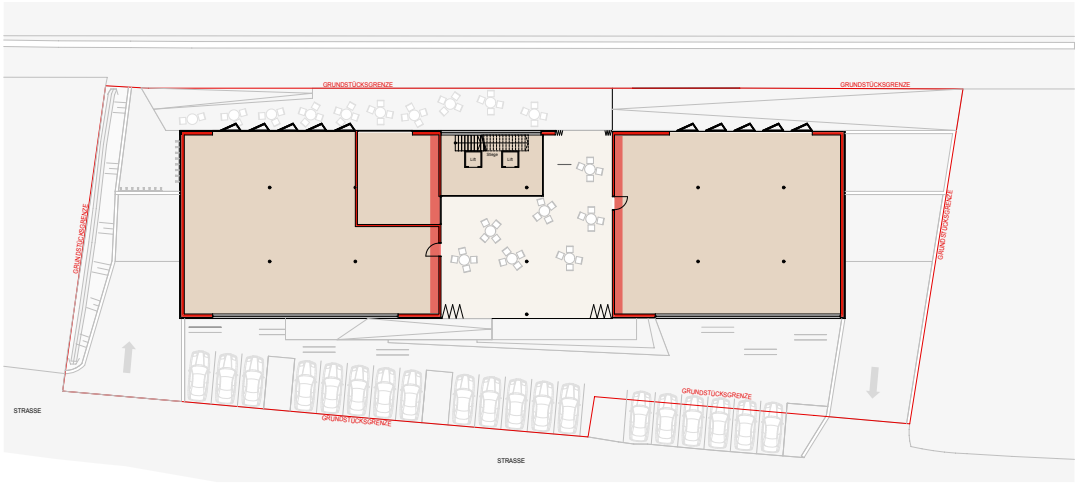


Abbildung 93: Entwurf Grundriss Lage der Installationsebenen

Im Entwurf haben wir die Möglichkeit gefunden, die im Erdgeschoß vorhandenen Mittelwände der Passage für die Ableitung der Installationen bis DUK Tiefgarage zu verwenden. Von dort kann entlang der Tiefgaragendecke ein entsprechender Verzug und damit ein Anschluss zu den öffentlichen Ver- und Entsorgungsleitungen erfolgen.

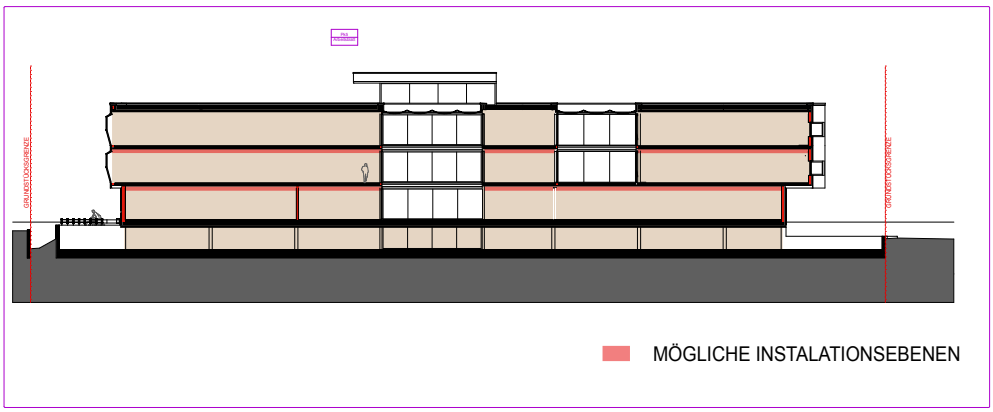


Abbildung 94: Entwurf Schnitt Lage der Installationsebenen

In den Obergeschossen kann, aufgrund der vorhandenen Raumhöhe, über abgehängte Decken ein entsprechender Verzug der Leitungen erfolgen und nachträglich angepasst werden. Es ist darauf zu achten, dass entsprechende Nutzungsrechte dafür gesichert werden.

EB Erneuerbarkeit

Raumhöhen

Variable Nutzungen ermöglichen

Raumhöhe - abgeh. Decke
Brandschutz
Raum für zusätzl. Haustechnik

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 95: Systemkarte Kat II AP6

Um der Arbeitsstättenverordnung zu entsprechen und Räume mit mehr als 500 m^2 zu ermöglichen, ist eine lichte Raumhöhe von 3,0 m gewählt worden. Es ist darauf zu achten, dass eine abgehängte Decke – für Beleuchtung, Installationen und Raumakustik genutzt werden kann (lichte Raumhöhe 3,0 m + 25 cm abgehängte Decke).

EB Erneuerbarkeit

Austauschzyklen

Rohbau / Ausbau

Ausbau kommt von wieder ausbauen!
kürzeste Lebensdauer sollte am einfachsten erneuerbar sein
Reparierbarkeit

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 96: Systemkarte Kat II AP7

Prof. DI. Horst Gamerith schreibt:

> *„Je schneller ein Teil erodiert bzw. verbraucht oder kaputt wird, desto leichter soll er für die Instandsetzung und den Austausch zugänglich sein. Bedenke: Bauen ist ein Kampf gegen die Erosion(...).Konstruktionen sind instandhaltungsfreundlich, auf Tauglichkeit stets kontrollierbar und, falls notwendig, instandsetzbar zu konzipieren (z.B Befestigungstechnik, Flachdachtechnik, Installationstechnik). Beim Erneuern eines Teils dürfen keine großen Folgearbeiten anfallen.“ (Gamerith, 2007, p. e)*

Abbildung 97: Systemkarte Kat II AP8

Der Innenausbau ist flexibel zu gestalten. Die Anforderungen an Innenraumhygiene und Raumakustik sind besonders zu berücksichtigen. Es besteht ein direkter Zusammenhang mit der speicherfähigen Masse und damit auch mit dem thermischen Komfort des Gebäudes .

> *„Nicht ohne Grund gibt es seit jeher die Begriffe „Rohbau“ und „Ausbau“. Unter dem Begriff Ausbau ist nicht nur der raumbildende Ausbau, sondern auch der Technische Ausbau zu verstehen. Das Wort bedeutet sinngemäß, dass dieser Ausbau nach einer bestimmten Nutzungsphase wieder aus dem Rohbau, und zwar ohne Zerstörung der Substanz ausgebaut werden kann.“* (Gamerith, 2007, p. 63)

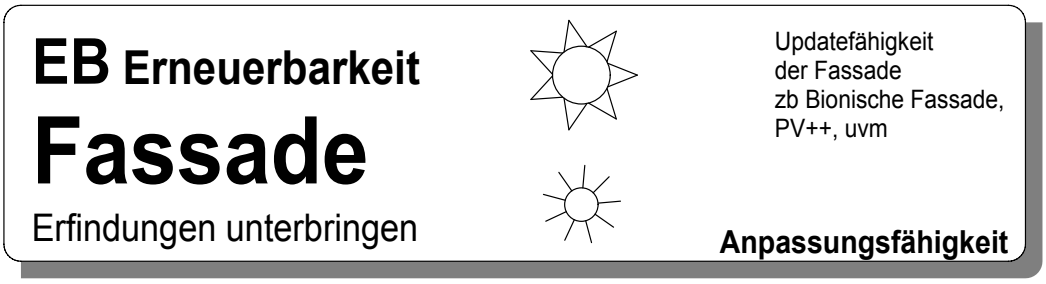


Abbildung 98: Systemkarte Kat II AP9

Es soll ein System gefunden werden, dass sowohl Weiterentwicklungen und Erfindungen in die Fassade integrieren kann. Die Updatefähigkeit von Fassadenmodulen erscheint in diesem Zusammenhang sehr wichtig. Beim Entwurf haben wir uns einem Phänomen der Natur bedient – dem Kaktus.

Abbildung 99: Cardon Cactus (Hatcher, 2015)

Der Kaktus kann in klimatisch heißen Zonen aufgrund seiner Geometrie überleben.

Durch seine große Oberfläche und die gezackte Form entsteht viel „Kühlfläche“ - auch mit Eigenbeschattungseffekt. Dieser Effekt wird durch die Stacheln unterstützt.

„FORM FITS FUNKTION“ (Gosztonyi, 2011, pp. 22–28)

Wir haben versucht diesen Effekt auch in unserer Fassade umzusetzen – vor allem weil wir in unserer Forschungsfrage den minimalen Kühlbedarf ansprechen.

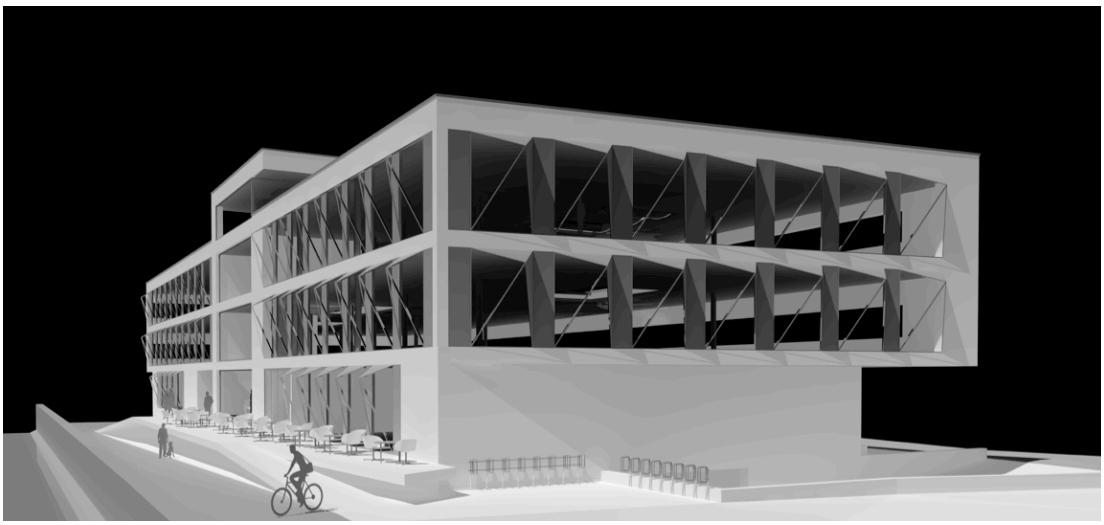


Abbildung 100: Entwurf Blick von Süden

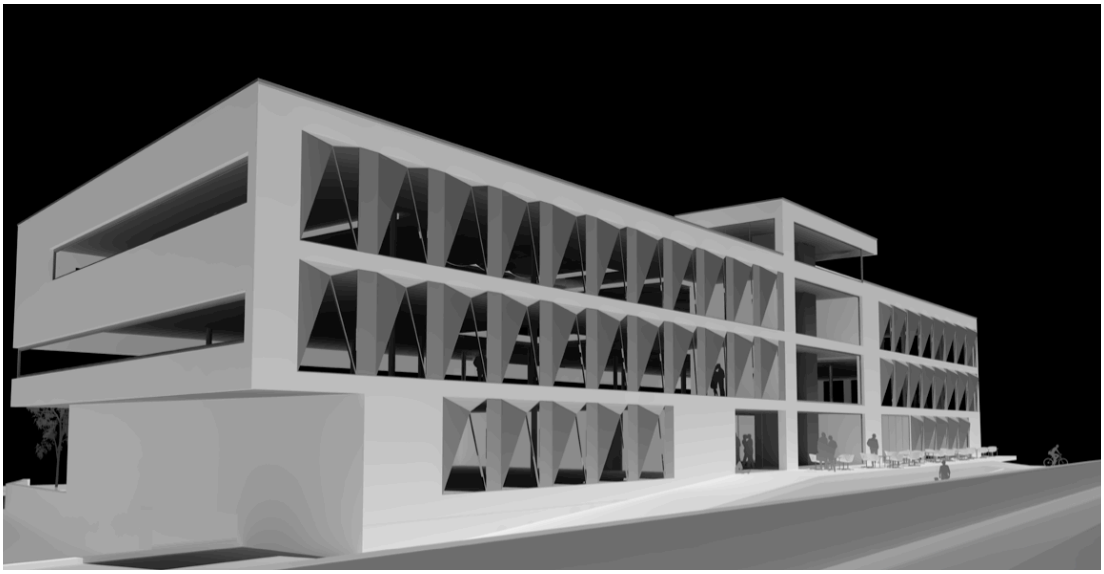


Abbildung 101: Entwurf Blick von Nordwest

Die Abbildung 100 und Abbildung 101 zeigen eine Fassade, die dreidimensional geformt ist. Durch die Geometrie erhöht sich die Oberfläche und somit auch die charakteristische Länge (lc) des Gebäudes. Diese hat eine positive Auswirkung auf den Kühlbedarf des Gebäudes. Zusätzlich wird eine eigenständige Form mit hohem Wiedererkennungswert geschaffen, welche die Identität erhöht. Die Dreiecksflächen werden mit unterschiedlichen Materialen belegt. Mit PCM gefüllte Blechpaneele können vor Überwärmung schützen und gleichzeitig die Speichermasse erhöhen. Durch diese gefundene Fassadenform entsteht ein identitätsstiftendes Element aus der Funktion. Die Wichtigkeit der Identifikation, sowie die damit verbundene Akzeptanz der Nutzer, ist für ein nachhaltiges gebautes Gebäude von großer Bedeutung. Eine Studie aus dem Jahr 2001 vom Institut für Energiewirtschaft zur

Analyse fördernder und hemmender Faktoren bei der Markteinführung von innovativen Wohnbauten kommt zu dem Schluss:

> „Ein wesentlicher fördernder Faktor für die Markteinführung innovativer Wohnbauten ist das Engagement einzelner Akteure, welche aus technologisch – ökologisch motiviertem Interesse ein überdurchschnittliches persönliches Engagement in Projekte einbringen. Motive von NutzerInnen können die Erwartung von Komfort, Wohngefühl und –erlebnis, Gesundheitswert, aber auch Präsentations- und Prestigestreben sein. Fördernd für die Akzeptanz von innovativen Wohnbauten durch die Nutzer ist ein hoher Grad an Identifikation mit dem Gebäude, wobei dieser im wesentlichen vom Grad der Selbstbestimmung bei der Planung und Errichtung sowie von den Eigentumsverhältnissen abhängt.“ (Biermayr et al., 2001, p. IV)

Abbildung 102: Systemkarte Kat II AP10

Prof. DI. Horst Gamerith beschreibt sein WWW-Konzept wie folgt:

WWW meint in diesem Zusammenhang nicht das World Wide Web sondern den Umgang mit dem Baustoff selbst.

> *„W1: Woher kommst DU?*
>
> *Woher stammt das zu verbauende Material? Wieviel Primärenergie steckt in seiner Herstellung? Wie beeinflusst seine Herstellung unsere Umwelt?*
>
> *W2: Wozu bist Du da?*
>
> *Wozu und wie werden die ausgewählten Materialien verbaut? Wie lange sind ihre Nutzungszeiten? Ist ihre sortenreine Trennung im Sinne einer Nachnutzung möglich?*

W3: Wohin gehst Du einst?

Wohin und wie werden die verbauten Materialien nach Ende einer einfachen oder mehrfachen Gebrauchstauglichkeit entsorgt? „Eingraben“ von primärenergiereichen Materialien ist das Letzte.“ (Gamerith, 2014, p. 1)

Weiter schreibt Gamerith:

„Zu W1

Bedingt den Einsatz von ökologisch unbedenklichen Materialien, die vor allem in der Region beschaffbar sind. Die Größenordnung, die für die Aufwendung der zur Verwendung vorgesehenen Materialien erforderliche graue Energie ist dabei zu berücksichtigen. Beachte, dass die Rohbaukonstruktion eines Bestandes einen Großteil an grauer Energie bereits besitzt. Auf diesem aufzubauen ist daher ressourcenschonend. „Urban Mining Recycling for the Planet“ ist angesagt!

Zu W2

Differenziere beim Konstruieren nach den Erfordernissen der Instandsetzbarkeit, zwischen Rohbau- und Ausbauelemente. Wähle daher eine „Fügetechnik“ in Hinblick auf eine einfache Austauschbarkeit von Bauwerksteilen mit unterschiedlicher Gebrauchsdauer. (Wer montiert muss ans Demontieren denken!)

Zu W3

Im Sinne einer energiebewussten Kreislaufwirtschaft hat das gewählte Konzept als Ganzes, aber auch im Einzelnen, eine umweltgerechte Wiederverwendbar- bzw. Wiederverwertbarkeit der in den Produkten enthaltenden grauen Energie zu berücksichtigen. Dabei ist zu unterscheiden, zwischen Abbauaufwand (sortenreine Zerlegung - heute kleben, morgen Sorgen beim Zerlegen) und dem Aufwand, mittels wirtschaftlichen Recycle-Verfahren, für eine Nachnutzung zu sorgen.

Nichtmehr wieder verwertbare Materialien sind letztendlich in der Art so zu deponieren, dass diese einst wieder wie wir, dem Erdboden gleich werden und keine Danaergeschenke für unsere Nachkommen sind!“ (Gamerith, 2014, p. 1)

EB Erneuerbarkeit

Licht

Schwere und Leichtigkeit

Tageslicht
Leitsystem - Bereiche
Lichtfarbe
Lichtspektrum - Gesundheit
Lichtbrechung

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 103: Systemkarte Kat II AP11

Im Entwurf wurde versucht einen hohen Tageslichtkoeffizient zu erzielen. Durch die Anordnung von Lichthöfen wird das Gebäude nicht nur durch die Fassade mit Tageslicht versorgt, sondern auch das „Gebäudeinnere“. Durch die Veränderung des Tageslichts werden Raumstimmungen geschaffen, die mit dem Wetter, der Jahreszeit und der Tageszeit variieren. Zur Zeit befinden sich Glasfasergewebe[9] in Entwicklung, die durch Lichtbrechung Sonnenlicht tief ins Gebäude verteilen können. Diese Glasfasergewebe könnten klassische Lichtdecken ersetzen, und sparen somit Strom und interne Lasten für den Kühlbedarf.

EB Erneuerbarkeit

Arbeitsplatz

Ökosystem von Räumen

Einzelbüro
Großraumbüro
Co-Working
Business Lounge

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 104: Systemkarte Kat II AP12

In unserem Projekt haben wir die Büronutzung vorgesehen. Deshalb erscheint es sinnvoll sich Trends für die Nutzung eines Büro- bzw. Dienstleistungsgebäudes anzusehen.

---

[9] siehe dazu Bionische Fassaden BioSkin - Forschungspotentiale aus der Bionik für adaptive energieeffiziente Fassaden der Zukunft(Gosztonyi, 2011)

Offene Bürokonzepte sind eine Reaktion auf die veränderte Arbeitssituation. Ort und Zeit der Arbeit sind nicht mehr fest, sondern flexibel. Durch mobiles Internet kann jederzeit und beinahe überall gearbeitet werden.

Eine Sonderform ist die Business Lounge. Das Konzept zeichnet sich dadurch aus, dass die Arbeitsplätze nicht mehr fix vergeben sind. Die Mitarbeiter suchen sich je nach Bedarf einen passenden Arbeitsplatz und wandern mit ihren persönlichen Container dort hin. Als zentraler, informeller Treffpunkt wird ein Bereich mit Espressobar oder Bar, Garderobe und Sekretariat angeordnet. Hier wird die Buchung der Räume erledigt, wenn kein Online System, ähnlich wie bei einer Hotelbuchung verwendet wird.

In diesem Bereich können auch Drucker, Kopierer usw. angeordnet werden. Die Teams arbeiten in unterschiedlichen räumlichen Bereichen, in denen eine Vielfalt von offenen und geschlossenen Räumen angeordnet sind. Unterschiedliche Besprechungs- und Präsentationsräume stehen den Mitarbeitern zur Verfügung. Das Konzept kann durch mobile working ergänzt werden, dabei arbeiten Mitarbeiter je nach Bedarf zu Hause oder im Büro.

Ergänzt wird das Konzept meist durch die Anordnung einer getrennten Arbeitslounge – ein Bereich in dem in sehr ruhiger Atmosphäre gearbeitet werden kann (Sitzgruppen, Pflanzen, Kamin.....).

In den letzten 10 Jahren hat sich ein Trend bei Freiberuflern, kleinen Startup Unternehmen, Kreativen und Neuen Medien abgezeichnet. Co-Working: Die Idee hinter dem Konzept ist einfach, aber auch sehr inspirierend. Mehrere Firmen und oder Einzelpersonen mieten sich in einem entsprechend großen Raum ein. Die Co-Workingräume stellen die Infrastruktur wie Netzwerk, Drucker, Telefon, Beamer, Besprechungsräume, teilweise auch ein Sekretariat als zentrale Anlaufstelle zur Verfügung. Das Konzept geht davon aus, dass je unterschiedlicher die Tätigkeitsbereiche der einzelnen Teilnehmer sind, desto innovativer kann der Output werden. Die verschiedenen Akteure bewegen sich in unterschiedlichen sozialen Kreisen und haben so Zugang zu unterschiedlichen Informationen. Dies ist nicht nur bei kleinen Tipps ein Vorteil, sondern kann auch bei der Beschaffung neuer Jobs hilfreich sein.

Co-Workingräume werden Tages-, Wochen-, oder in Monatspauschalen gemietet. Die Bandbreite des Angebots reicht von studentischen, eher locker geführten Co-Workingräumen, bis zu sehr professionellen Co-Workingräumen mit elektronischem Buchungssystem für Besprechungs- und Präsentationsräumen.

In Zeiten ökonomischer Unsicherheit ist dieses Konzept hilfreich die Kosten der einzelnen Teilnehmer gering zu halten, jedoch gleichzeitig die Möglichkeiten des Einzelnen zu erhöhen. Zudem findet eine Vernetzung statt, die wie zuvor beschrieben, einen resilienten Zustand und die Möglichkeit zur Interaktion fördert. In Co-Workingräumen werden Unterstützungsleistungen oft untereinander ausgetauscht, wodurch die Beziehungen vertieft werden. Co-Workingräumen etablieren sich derzeit über den gesamten Globus. Es gibt bereits eine Vielzahl von Verzeichnissen von Co-Workingräumen, um beispielsweise international Arbeiten zu können.

Interessant erscheint, dass obwohl viele der Co-worker alleine arbeiteten, ein Großteil die Möglichkeit für Teamarbeiten in Co-Workingräumen nutzt.

Die Co-Workingräume haben in der Regel meist mehr Mieter wie Tische, weil die Co-worker nicht alle zur selben Zeit arbeiten – so können die allgemeinen Kosten weiter gesenkt und das Netzwerk gleichzeitig vergrößert werden.

Dieses Konzept lebt von Flexibilität und dem dauerhaften Input neuer Mitglieder. Um dieses Konzept auf lange Sicht in einem Gebäude zu erhalten, ist eine hohe Flexibilität der Arbeitsräume, der benötigen Gemeinschaftsräume und des Arbeitsplatzes an sich notwendig. Ebenso empfiehlt sich ein ausgewogenes Verhältnis an fix vermieteten Arbeitsplätzen zu flexibel vermieteten Schreibtischen zu gewährleisten.

Die Trends im Büro und Dienstleistungsbereich weisen eindeutig auf flexible Strukturen hin, welche Gebäudestrukturen benötigen, die entsprechend angepasst werden können.

NZ Nutzungsvielfalt

Schnellcheck I

Nutzungskombinationen

Wohngebäude,
Pflegeheime, Altenheime
Pensionen, Hotels, Gaststätten
Veranstaltungsstätten

Praxis, Büro, Schulung
Veranstaltungsstätten,Fitness
Verkaufsstätten, Galerie
sonstige kond. Gebäude

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 105: Systemkarte Kat II AP13

In der Schnellcheck Kartenkombination Nutzungsvielfalt soll herausgefunden werden, welche Nutzungen mit der geforderten Nutzung kompatibel wären. Je mehr Nutzungen möglich sind, desto besser für die Anpassungsfähigkeit des Gebäudes.

NZ Nutzungsvielfalt

Schnellcheck II

Technische Überlegungen

Brandschutz
Erschließung
Belichtung
Raumakustik / Umgebungslärm
Raumhöhe

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 106: Systemkarte Kat II AP14

Technische Überlegungen sollen besprochen und Probleme sichtbar gemacht werden.

NZ Nutzungsvielfalt

Schnellcheck III

Idendität

Akzeptanz durch Nutzung
Materialität
Sicherheit
Umgebende Nutzung einbinden

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 107: Systemkarte Kat II AP15

Durch eine Vielfalt von Nutzungsmöglichkeiten kann das Gebäude gut in die sozialen Strukturen eines Ortes eingebunden werden, und steigert so seine Identität.

NZ Nutzungsvielfalt

Schnellcheck IV

Wege

der Weg als
funktionales Rückgrad
für die verschiedenen
Nutzungen

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 108: Systemkarte Kat II AP16

Die äußere und die Innere Erschließung sind in diesem Sinne besonders wichtig. Sie verbinden auch spätere Nutzungen mit einander.

Folgende Nutzungen sind in diesem Entwurf machbar:

Großbüros, Kleinbüros, Geschäft, Fitnessstudio, Hotel, Restaurant, Wohnungen, Ausbildungsstätte / Seminar, KITA / KIGA, Ordinationen

Im Entwurf haben wir folgende Nutzungskombinationen festgelegt und grafisch eingearbeitet:

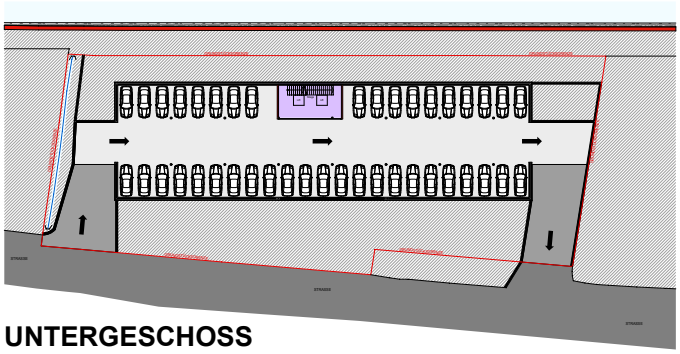
Geschäfte/Büros groß/Büros klein

Restaurant/Hotel

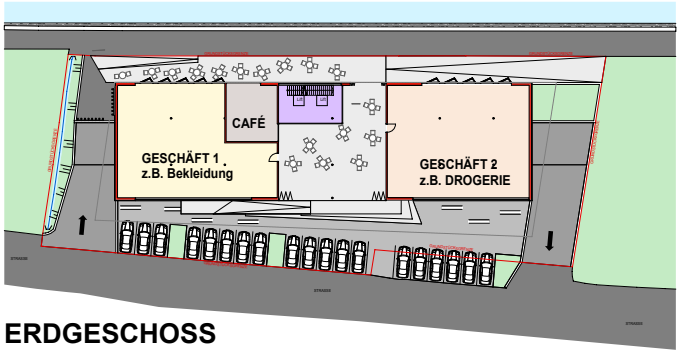
Geschäft/KIGA/Fitness/Büro

Geschäft/Seminar/Bildung

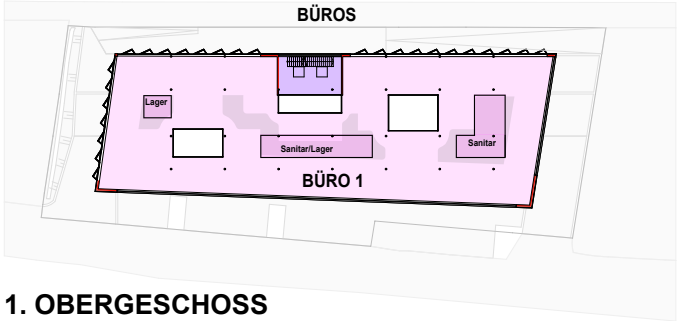
Geschäft/Ordination/Pflege



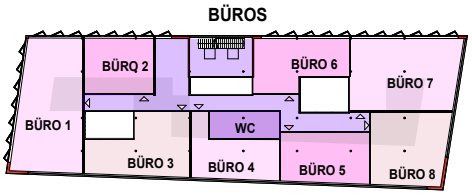
UNTERGESCHOSS



ERDGESCHOSS



1. OBERGESCHOSS



2. OBERGESCHOSS

KOMMUNIKATIONSWEGE
BÜROS
GESCHÄFTE

0 10 20 30 40 50 m

Abbildung 109: Entwurf Nutzung Geschäft / Büro groß / Büro klein

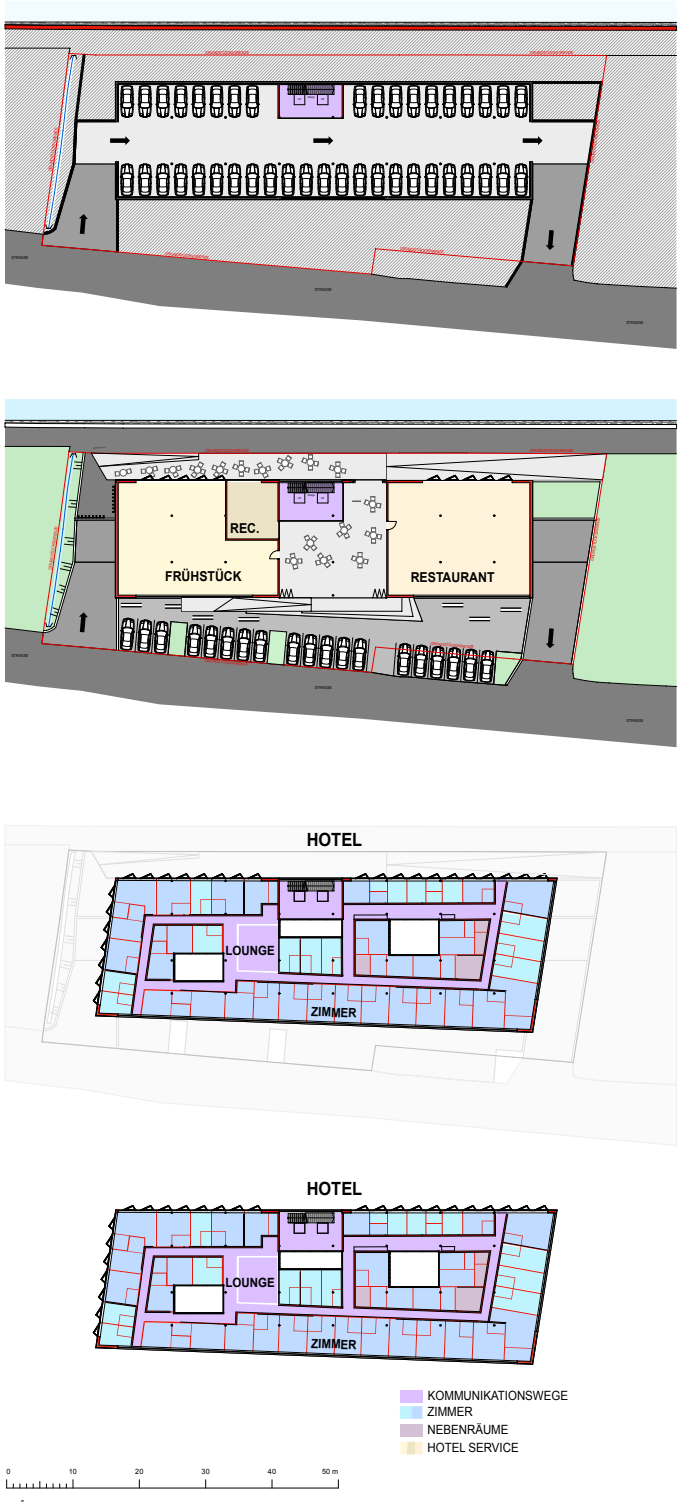
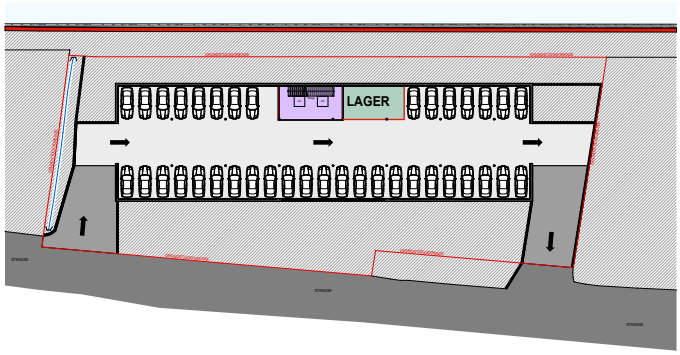
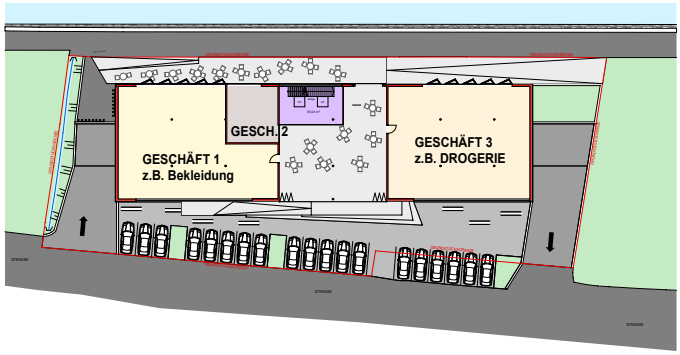
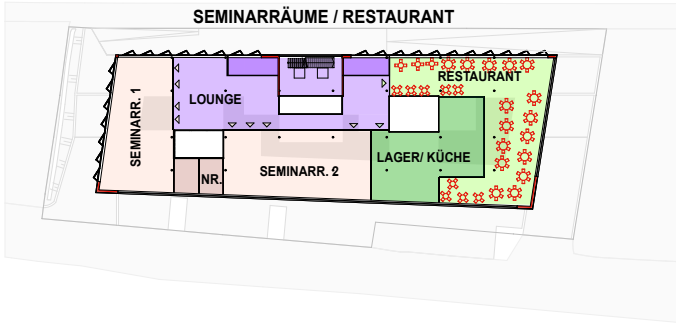


Abbildung 110: Entwurf Nutzung Restaurant / Hotel

Abbildung 111: Entwurf Nutzung Geschäft / KIGA / Fitness / Büro







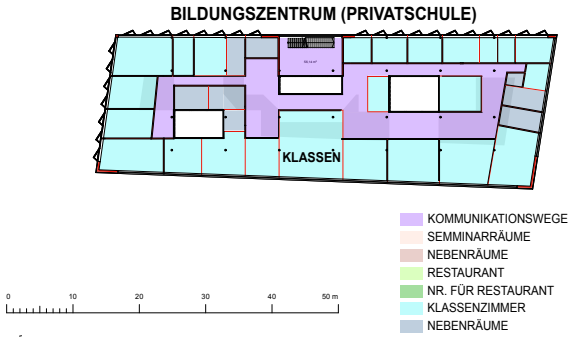


Abbildung 112: Entwurf Nutzung Geschäft / Seminar / Bildung

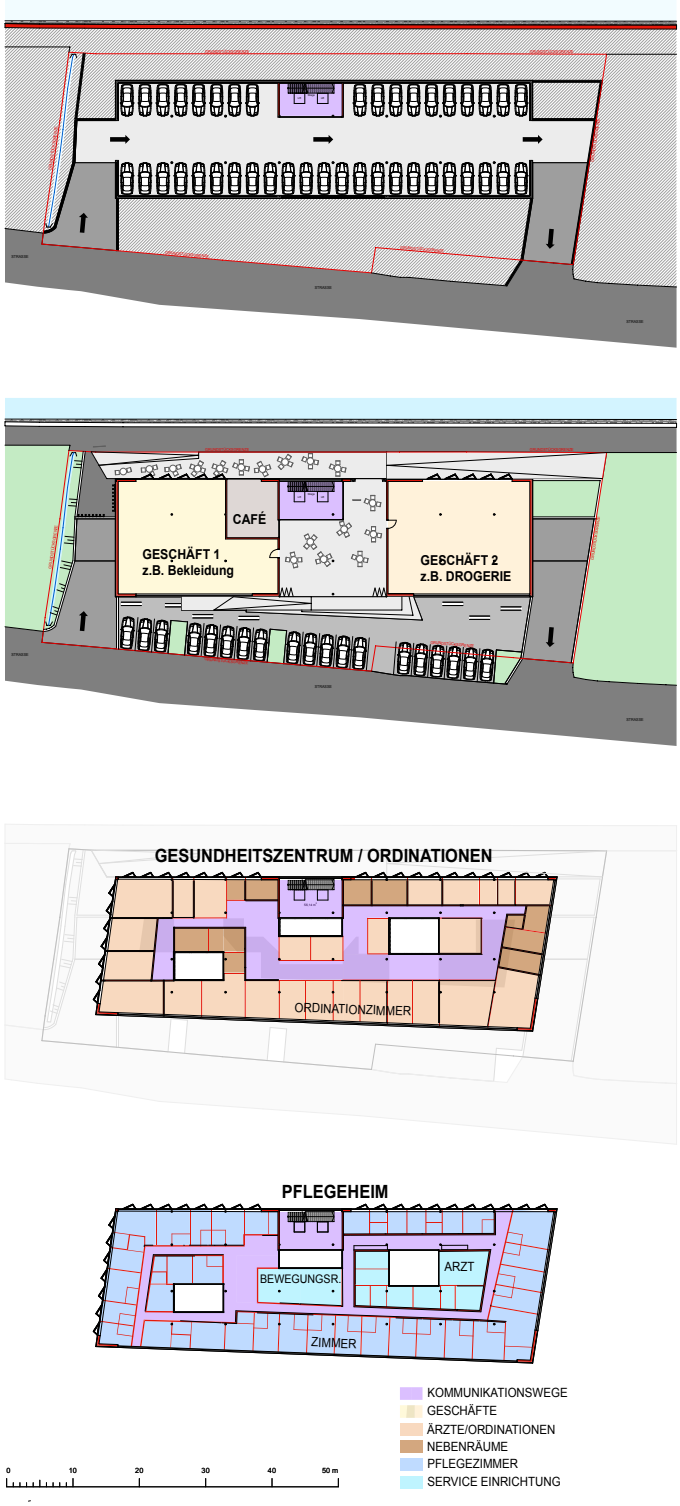


Abbildung 113: Entwurf Nutzung Geschäft / Ordination / Pflege

10.4.3.3 Speicherfähige Masse

Abbildung 114: Systemkarte Kat II AP17

Grundlage für die nachfolgende Beschreibung der Speichermassennutzung ist der Artikel: „Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau“ aus dem Jahr 2009 veröffentlicht in „Nachhaltig massiv AP7“ (Hofer, Grim, Varga, & Amann, 2009, pp. 3 –18)

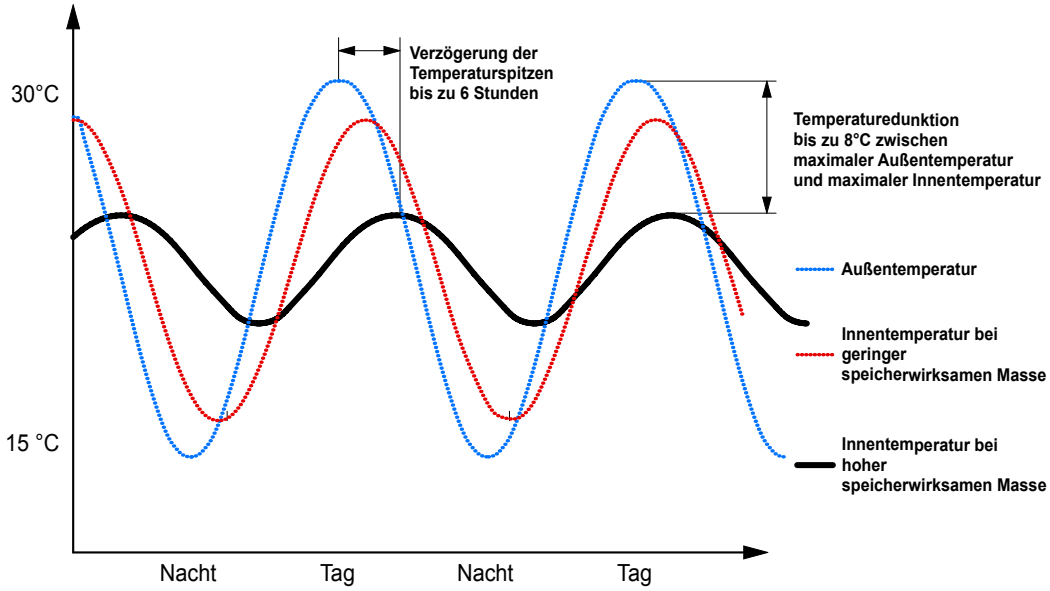


Abbildung 115: Verzögerung der Temperaturspitzen / Einfluss der Speichermasse Quelle: Europaean Concrete Platform, 2007, eigene Darstellung

Die Abbildung 115 zeigt das Prinzip der Speichermassennutzung. Die Temperaturspitzen werden abgeflacht. Es kommt zu einer Amplitudenverzögerung. Vereinfacht lässt sich feststellen, dass die Möglichkeit besteht die Temperatur während der heißen Tagesstunden in Bauteilen aufzunehmen, und während der

Nacht, beispielsweise durch Lüften, wieder abzugeben. Der Bauteil wird dadurch wieder ausgekühlt und kann seine Speicherfähigkeit für die nächste Temperaturspitze zur Verfügung stellen.

Um eine große Nutzungsflexibilität zu ermöglichen, ist es notwendig die Trennwände und Innenausbauten in leichter Bauweise zu errichten. Als statisches Gerüst ist somit ein Säulenraster mit Stahlbetondecken zu bevorzugen, um die Speichermasse des Gebäudes zu erhöhen. Die Fassade soll in diesem Fall vor den Betonstützen vorbeigeführt werden, um ein späteres Austauschen und Adaptieren der Fassade zu erleichtern.

Im modernen Bürobau werden meist abgehängte Decken und doppelte Fußboden verwendet, um die Leitungsführung auch nachträglich noch einfach anzupassen.

Dies bedeutet jedoch, dass die speicherwirksamen Massen (STB Decke und STB Fußboden) „isoliert“ sind und nur gering wirksam werden. Dadurch werden Temperaturschwankungen im Rauminneren nicht mehr ausgeglichen, und das Raumklima verschlechtert sich. Eine sommerliche Überwärmung der Innenräume ist durch aktive Kühlsysteme zu verhindern.

Ist der Baustoff nicht thermisch vom Innenraum getrennt, führt die Aufnahme der Wärme durch den Baustoff zu gleichmäßigeren Innenraumtemperaturamplituden. Im besten Fall wird die Wärme tagsüber aufgenommen, gegen Abend wieder abgegeben und kann ausgelüftet werden. Dadurch wird der Nutzenergiebedarf gegenüber einem aktiv gekühlten Gebäude entscheidend gesenkt.

Entscheidend für die Wärmespeicherfähigkeit von Baustoffen ist sowohl ihr Oberflächenausmaß, als auch die spezifische Wärmespeicherkapazität.

Schwere Materialien wie Beton, Stein oder Wasser haben eine hohe Wärmespeicherfähigkeit – leichte Materialien wie Holz oder Gips haben eine geringe Wärmespeicherfähigkeit.

Hohe Speichmassennutzung steht somit eigentlich einer hohen Flexibilität der Nutzung diametral gegenüber. Es sind somit Lösungen anzustreben, die beide Anforderungen erfüllen.

SM speicherfähige Masse

Decke

großes Potential

nur teilweise
abgeh. Decken
Oberfläche maximieren -
Struktur - Geometrie
großer Einflussbereich

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 116: Systemkarte Kat II AP18

Bei Bürobauten werden oft abgehängte Decken eingebaut, um die Raumakustik zu verbessern, aber auch Einbauten wie Sprinkler, Beleuchtung, Lüftung und elektrische Leitungen zu verstecken. Durch eine sorgfältige Planung muss eine Lösung gefunden werden, um alle genannten Anforderungen zu erfüllen, wobei dennoch die Speichermasse der Betondecke freigelegt wird.

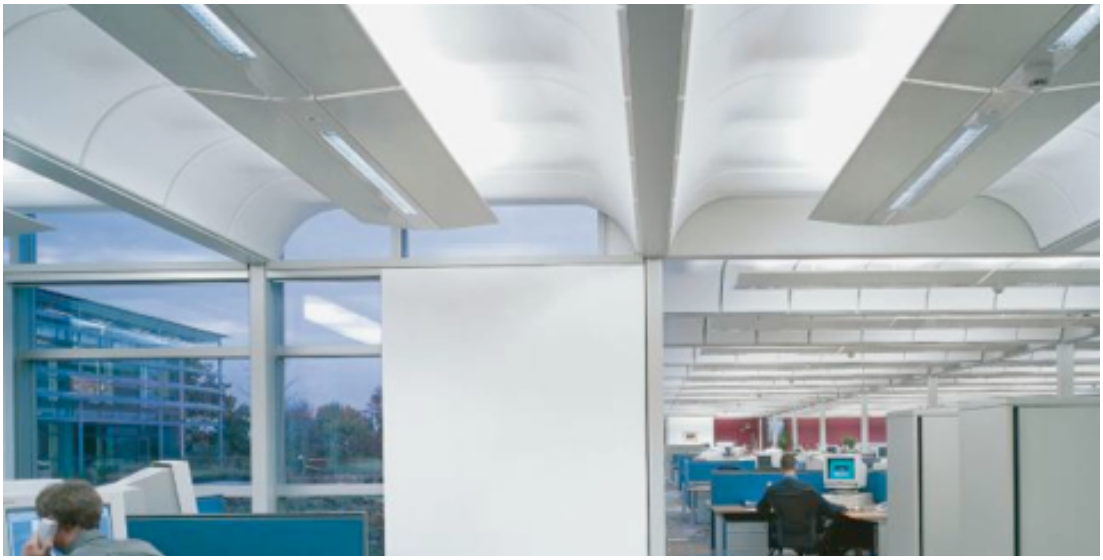


Abbildung 117: Wessex Water Operations Center in Bath, England (Hofer et al., 2009, p. 10)

Eine weitere Möglichkeit die Speicherfähigkeit zu erhöhen, ist die Luftaustauschfläche der Decke selbst durch Strukturierung zu vergrößern. Strukturelle Veränderungen können wesentliche akustische Veränderungen bewirken, und müssen mit einem Akustikplaner abgestimmt werden.

SM speicherfähige Masse

Fußboden

Estrichvarianten/dünner Belag

Hohlraumboden
auf Trapetzblech
als Instal. Ebene

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 118: Systemkarte Kat II AP19

Der Doppelboden isoliert ähnlich der abgehängten Decke die Oberfläche der darunter liegenden speicherfähigen Masse (STB Decke). Es gilt auch hier ein ähnlicher Lösungsansatz. Leitungsführungen vermeiden – nur dünne „Isolationsschichten“ über der speicherfähigen Masse anordnen.

Ein Hohlraumboden kann als Alternative ausgeführt werden. Generell kann bei Ausführungen mit schwimmendem Estrich eine hohe Flexibilität gewährleistet werden, wenn Leistungskanäle mit Revisionsöffnungen im Boden integriert werden.

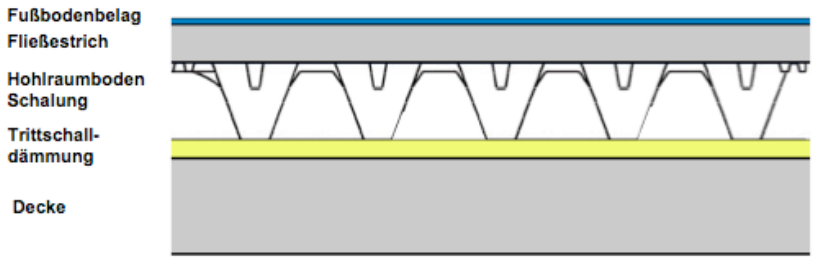


Abbildung 119: Hohlraumboden: Estrich auf Trapezblech für Leitungsführung (Hofer et al., 2009, p. 12)

SM speicherfähige Masse

Flurwand

Schall und Speichermasse Kombi

Massiv
oder Massivgips

Anpassungsfähigkeit

Abbildung 120: Systemkarte Kat II AP20

Der Gebäudekern (meist gleichzeitig Haupterschließung) bleibt auch bei unterschiedlichen Nutzungsarten erhalten. Deshalb sind jene Wände, die zum Gebäudekern angrenzen, meist fix anzusehen und können massiv ausgeführt werden.

Zwischenwände aus massivem Gips haben im Vergleich zu Gipskartonplatten einen Vorteil in der Wärmespeicherung. Auch eine spätere Änderung der Wand ist mit geringerem Aufwand verbunden als die Änderung einer Gipskartonständerwand. Zudem ist eine homogene Wand einer mehrschichtig verklebten Wand (GKP) im Sinne der sortenreinen Entsorgung vorzuziehen. Obwohl das Gewicht der Gipswand höher ist als jenes der Gipskartonständerwand, kann die Gipswand direkt auf den Estrich gestellt werden.

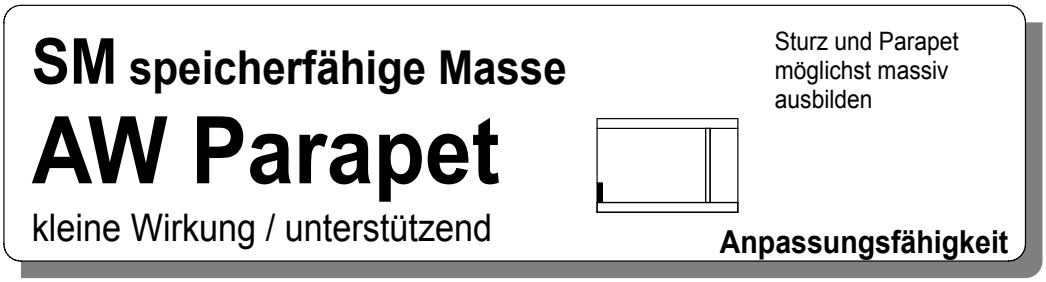


Abbildung 121: Systemkarte Kat II AP21

Meist sind die zur Verfügung stehenden Flächen in diesem Bereich nicht sehr groß (Parapet, Sturz). Sie bieten jedoch eine unterstützende Wirkung im Gesamtsystem der Speichermasse, wenn die Innenraumluft mit dieser Speichermasse direkt in Berührung kommt.

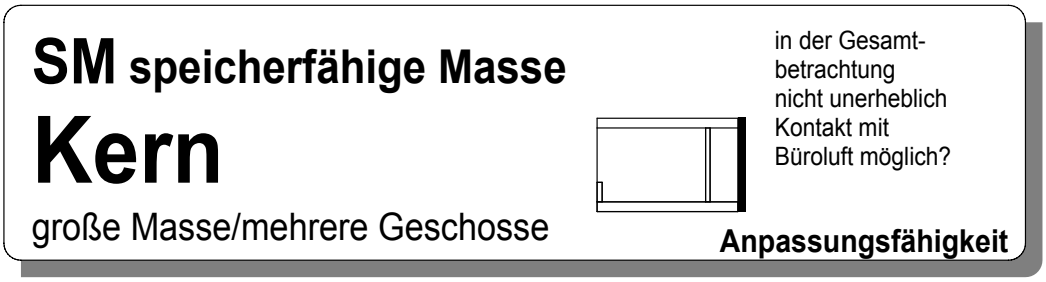


Abbildung 122: Systemkarte Kat II AP22

Der Gebäudekern ist meist mehrfach genutzt. Einerseits sind in diesem Bereich die Erschließungen und Lifte anzuordnen, und andererseits bietet er meist auch statisch eine aussteifende Wirkung für das Gesamtsystem Gebäude. Da in diesem Bereich auch meist die Fluchtwege für den Brandschutz angeordnet sind, ist eine massive Ausführung von Vorteil.

Da aus Überlegungen des Brandschutzes meist der Kern nicht mit der Innenraumluft der Büros zusammentrifft, ist die Wirkung der Speichermasse im Bereich des Kerns nur als unterstützende Maßnahme im Gesamtsystem zu sehen.

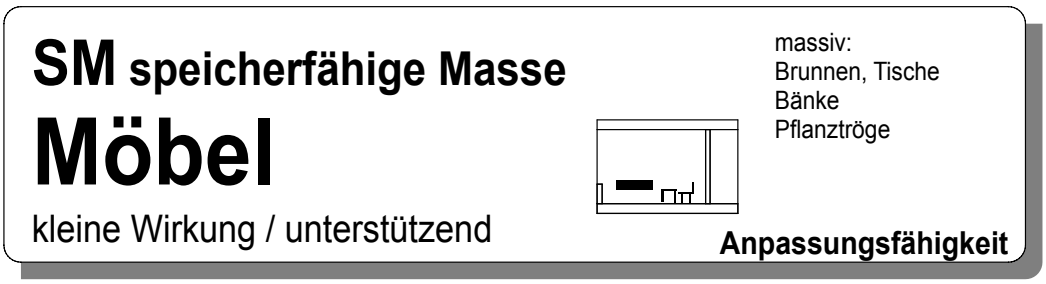


Abbildung 123: Systemkarte Kat II AP23

Die Summe der Teile ergibt ein Ganzes. So können auch massive Möbel wie Brunnen, Bänke oder Tische einen Teil zur speicherfähigen Masse beitragen.

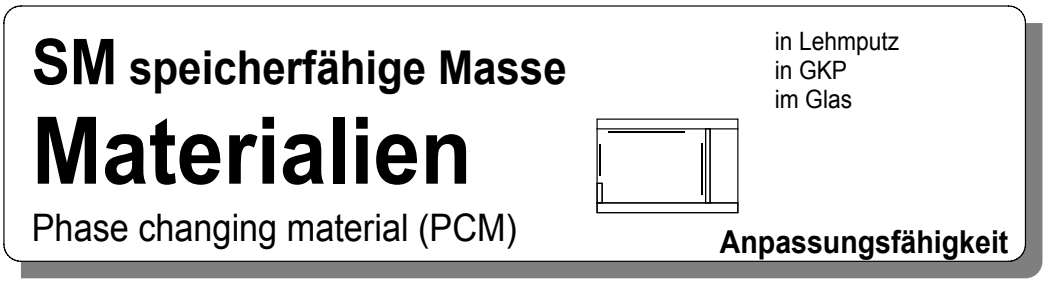


Abbildung 124: Systemkarte Kat II AP24

Auf dem Gebiet der Materialforschung findet eine große Entwicklung hinsichtlich smarter Materialien statt. Phase changing material (PCM) in Gipskartonplatten sind bereits in der kommerziellen Produktpalette integriert z.B. Knauf PCM SmartBoard 23/26).

Durchsichtiges und transluzentes PCM in Fensterflächen wird von der Firma GLASSXcrystal angeboten. Nachfolgender Produkttext der Firma GLASSX beschreibt die Funktion:

> *„GLASSXcrystal integriert 4 Systemkomponenten in einer funktionellen Einheit:*
>
> *transparente Wärmedämmung – Überhitzungsschutz – Energieumwandlung – thermischer Speicher.*

Ein 3-fach-Isolierglasaufbau sorgt für eine exzellente Wärmedämmung mit einem U-Wert von unter 0,5 W/m2K. Ein in den Scheibenzwischenraum implementiertes Prismenglas reflektiert die hoch stehende Sommersonne mit Einfallswinkeln über 40° nach außen. Die Wintersonne hingegen passiert in voller Intensität den Sonnenschutz.

Zentrales Element von GLASSXcrystal ist ein Wärmespeichermodul, das die solare Energie aufnimmt, speichert und zeitverzögert als angenehme Strahlungswärme wieder abgibt. Als Speichermaterial wird PCM (Phase Change Material) in Form eines Salzhydrates verwendet. Die Wärmespeicherung erfolgt durch Aufschmelzen des PCM, beim Abkühlen wird die gespeicherte Wärme wieder abgegeben. Das Salzhydrat ist in Polycarbonat-behältern hermetisch eingeschweißt, welche zur Verbesserung der Absorptionswirkung grau eingefärbt sind. Raumseitig wird das Element durch ein 6-mm-Einscheiben-Sicherheitsglas abgeschlossen, das mit einem keramischen Siebdruck nach Wahl bedruckt werden kann.“ (GLASSX AG, 2005, p. 6)

Dieses Produkt wäre in unserem Entwurf bei der Stiegenhausverglasung einsetzbar.

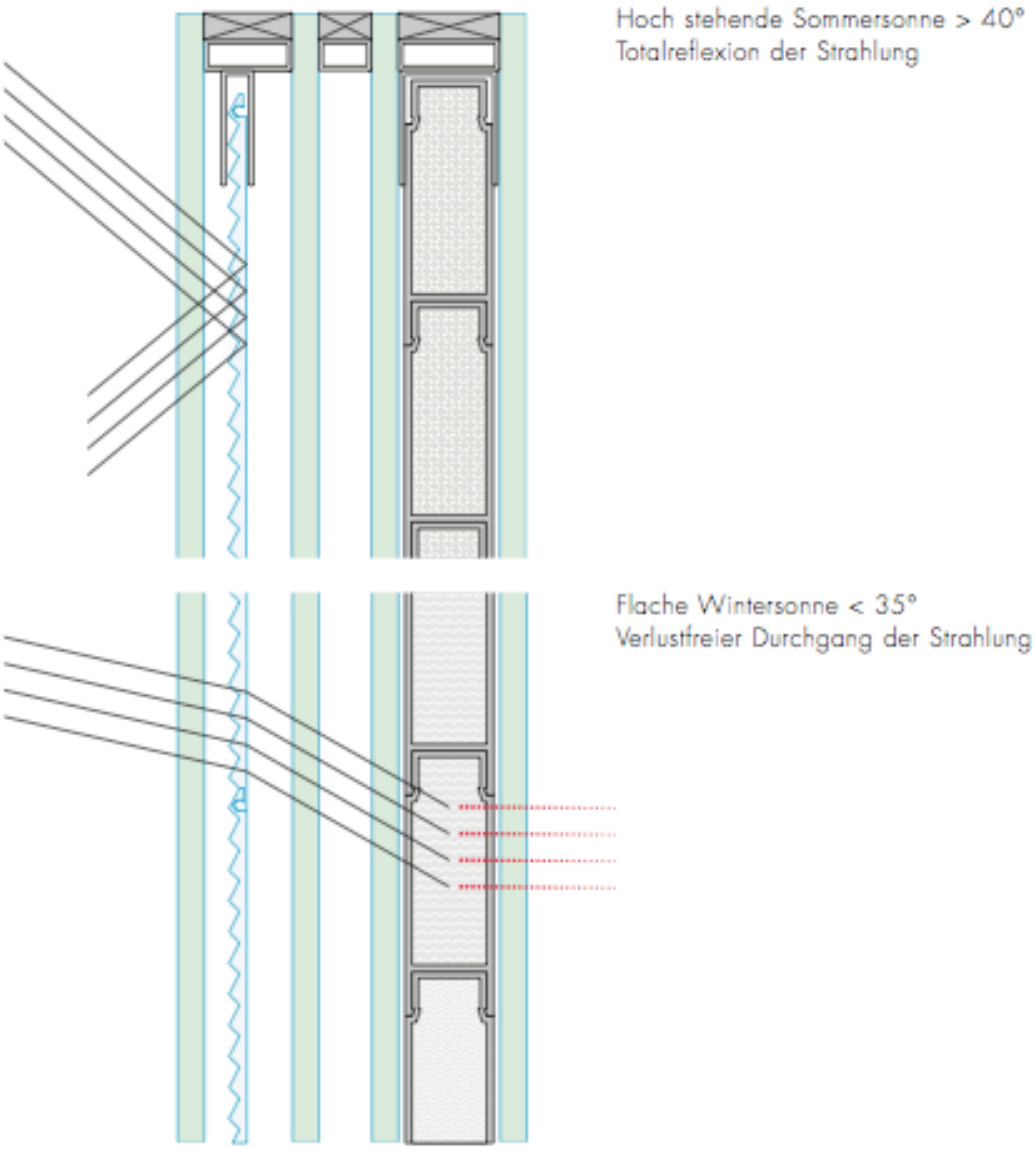


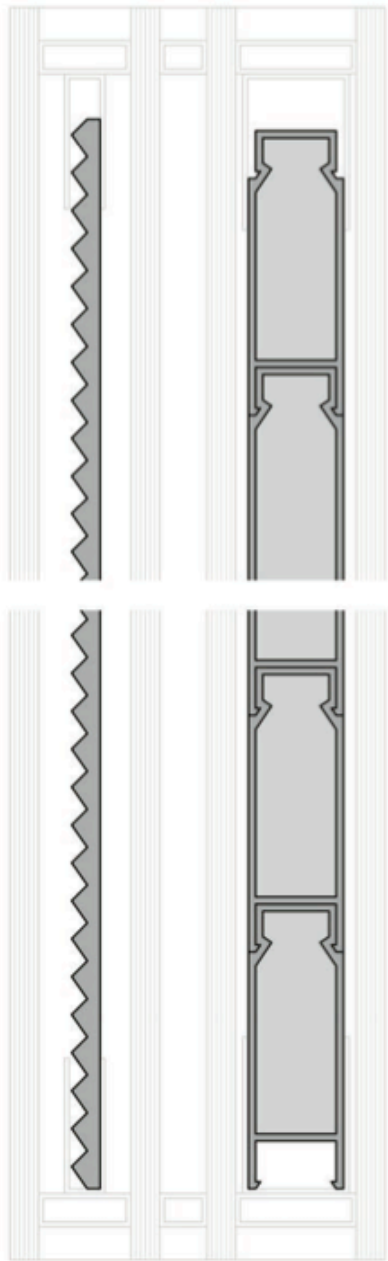
Abbildung 125: Systembild aus Broschüre GLASSX (GLASSX AG, 2005, p. 7)

GLASSX
Speichern Wärmen Kühlen

Die technischen Daten zu GLASSX®crystal

Glas 1 aussen	Einscheiben-Sicherheitsglas
SZR 1	Scheibenzwischenraum mit Prismenplatte und Edelgas
Glas 2	Einscheiben-Sicherheitsglas mit Low-E
SZR 2	Scheibenzwischenraum mit Edelgas
Glas 3	Einscheiben-Sicherheitsglas mit Low-E
SZR 3	Scheibenzwischenraum mit PCM-Platte
Glas 4 innen	Klares Floatglas, auf Wunsch mit keramischem Siebdruck*

Elementdicke	62 - 86 mm
Dickentoleranz	-1/+4 mm
Falzbreite	67 - 96 mm
Gewicht	max. 95 kg/m²
Max. Fläche	6,0 m²
Max. Höhe	3000 mm
Max. Breite	2000 mm
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)	bis 0,48 W/m²K
Lichttransmission	
bei kristallinem PCM	8 - 28 % (± 3 %)
bei flüssigem PCM	12 - 44 % (± 4 %)
Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert):	
senkrechte direkte Einstrahlung	
bei Kristallinem PCM	33 % (± 4 %)
bei flüssigem PCM	37 % (± 4 %)
diffuse Einstrahlung	29 %
saisonal Winterhalbjahr	
bei kristallinem PCM	33 %
bei flüssigem PCM	35 %
saisonal Sommerhalbjahr	
bei kristallinem PCM	6 %
bei flüssigem PCM	9 %
Speicherkapazität	1185 Wh/m²
Speichertemperatur	26 - 28 °C



* Ausführung als Einscheibensicherheitsglas

Die Spezifikationen U-Wert, Lichttransmission und g-Wert sind vom Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) geprüft.

Abbildung 126: Technische Beschreibung GLASSX (GLASSX AG, 2005, p. 9)

Lehmtrockenbau Systeme

z.B. lehmorange Lehmbauplatte

Lehmorange Produkt Text:

> *„Die lehmorange Lehmbauplatte wurde konsequent weiterentwickelt, um Planern und Bauherren weitere Anwende-Möglichkeiten zu bieten. Lehm, gemischt mit High Tech Wachsen (Micronal® PCM), ergibt die PCM-Lehmbauplatte. Unter Beibehaltung der geringen Plattenstärke konnte die Wärmespeicherkapazität um ein Vielfaches erhöht werden. Die „latente Wärme“ wird dabei in den Platten gespeichert. Die pcm-passiv dient als Überhitzungsschutz im Raum und das Element pcm-activ und pcm-plus versorgen den Raum mit Wärme.*
>
> *14mm lehmorange PCM Lehmtrockenbauplatte entspricht der speicherfähigen Masse von 18cm Hochlochwandziegel oder 7cm Beton.“*(Lehmorange, 2015)

Dicke x Länge x Breite	16 mm x 125 cm x 62,5 cm
Einzelplatte	0,781 m² / Platte
Flächengewicht	13,5 kg/m²
Schmelzpunkt	23°C / 26°C wählbar
Latente Wärme	100 Wh/m²
Latente Wärmespeicherung	26°C: 330 kJ/m² 23°C: 300 kJ/m²
Spezifische Wärmekapazität Cp	ca. 1,3 kJ/kgK
Gesamte Speicherkapazität	802 kJ/m²
Brandklasse nach orientierender Pru? fung	B, C inkl. Putz
Wasserdiffusionswiderstand μ	μ 5-10
Wärmeleitfähigkeit λ	ca. 0,47 W/mK
Rohdichte ρ	1000 kg/m³
PCM-Gehalt	3 kg/m²

Abbildung 127: Produktangabe Lehmorange PCM passiv (Lehmorange, 2015)

Dieses Produkt könnte in unserem Entwurf für die abgehängten Decken und Vorsatzschalen eingesetzt werden.

10.4.3.4 Resilienz

Definition:

> *„Resilienz (lateinisch resilire ‚zurückspringen‘, ‚abprallen‘, deutsch etwa Widerstandsfähigkeit) beschreibt die Toleranz eines Systems gegenüber Störungen.“* (wikipedia, 2015b)
>
> *„Resilienz ist die Fähigkeit eines Systems, mit Veränderungen umgehen zu können.“* (Wielnad & Wallenburg, 2013, pp. 300 –320)
>
> *„Der Begriff der Resilienz bezeichnet in der Ökosystemtheorie die Fähigkeit eines Ökosystems, angesichts von ökologischen Störungen seine grundlegende Organisationsweise zu erhalten anstatt in einen qualitativ anderen Systemzustand überzugehen.“* (wikipedia, 2014)

Der IPCC Report 2013 prognostiziert Oberflächentemperaturanstiege im 21. Jahrhundert zwischen 1,5°C und 6°C je nach Berechnungsszenario. Ein Anstieg der Anzahl der tropischen Nächte zwischen 19 und 65 Tagen und ein Sinken der frostigen Tage zwischen 5 und 30 Tagen wird global erwartet. Nachdem die Berechnungen auf Entwicklungsszenarien aufgebaut sind, und das hinterlegte Klimamodell auf einem relativ groben Raster aufgebaut ist, kann eine genauere Aussage nicht erfolgen. Eines ist dennoch aus dem Report eindeutig abzulesen – eine Klimaerwärmung findet statt. Wie dramatisch sie ausfallen wird, ist abhängig von unserem Lifestyle und dem Verhalten zukünftiger Generationen. Alleine aus diesem Gedanken heraus scheint es unumgänglich Gebäude zu entwickeln, die sich verschiedenen Situationen anpassen, bzw. relativ einfach auf neue Situationen reagieren können.

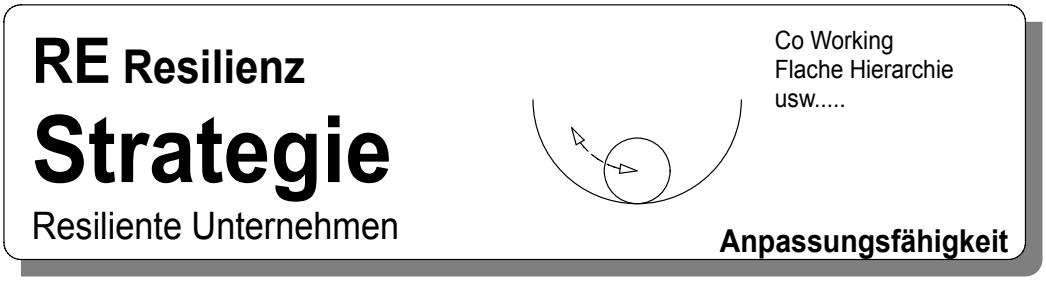


Abbildung 128: Systemkarte Kat II AP25

Resiliente Unternehmen verfügen meist mehr als nur über einen Plan B für die Zukunft. Andrew Zolli, Executive Direktor und Kurator von PopTech unterstützt Unternehmen wie Nike, American Express und General Electric, und entwickelte mit diesen Firmen Wege, die auch in „unsicheren“ Zeiten zum Erfolg führen. Im Folgenden möchte ich aus einem Interview mit Andrew Zolli zitieren:

> *„Denken Sie nur an das Jahr 2012: an die Hitzewelle, die den Asphalt der Landebahn am Flughafen in Washington D.C. zum Schmelzen brachte; an die Jahrhundertdürre in den USA, wegen der das halbe Land den Notstand ausrufen musste; an den größten Blackout der Geschichte, der jeden neunten Menschen dieser Erde (ganz Indien) im Dunkeln sitzen ließ; oder an den Wirbelsturm Sandy. All diese Katastrophen hängen unmittelbar mit der Klimaerwärmung zusammen..... Als der Hurrikan Katrina die Golfküste erreichte, standen die Wohnungen der Menschen unter Wasser. Sie verloren ihren Besitz, ihr Geld, ihre Identität, alles. Eine der wichtigsten regionalen Banken, die Hancock Bank, hat 90 ihrer 115 Zweigstellen verloren, und ihre Zentrale war stark zerstört. Der Strom fiel aus, die Computer funktionierten nicht mehr, die Büros waren überflutet – doch dann hatte die Bank eine geniale Idee. Sie errichtete Zelte, stellte Tische auf und zahlte jedem, der es benötigte – Kunden ebenso wie Nichtkunden – an Ort und Stelle 150 US-Dollar aus. Ohne Ausweis, völlig unbürokratisch, ein wirklich gewaltiger Vertrauensbeweis. In den ersten Wochen nach dem Sturm hatte Hancock auf diese Weise 40 Millionen US-Dollar ausgeliehen. 99,6 Prozent dieser Summe wurde am Ende zurückgezahlt, und auch das Nettovermögen der Bank vergrößerte sich in den 90 Tagen nach der Katastrophe um eine Milliarde US-Dollar, nachdem viele Menschen ihr Geld dorthin überwiesen hatten. Das ist genau jene Art der adaptiven, flexiblen Reaktion, die ein resilientes Unternehmen kennzeichnet. Sie kam nicht aus einem der*

Chefbüros, sondern von Mitarbeitern des mittleren Managements, die von den Werten der Bank überzeugt und zum Handeln angeregt waren(...). Ein anderes wesentliches Merkmal resilienter Unternehmen ist Vertrauen. Mitarbeiter müssen einander vertrauen und zusammenarbeiten, wenn etwas schief geht. Aus diesem Grund bezeichnen wir Resilienz auch als „adhocratisch". Sie erfordert viele kleine Kooperationen vieler verschiedener Akteure und ist nur selten bestimmt von „Top-Down- Planungen". Daher finden Sie sie vor allem in Firmen, die über ein hohes Maß an Vertrauen, Vielfalt und Teamarbeit verfügen, statt(...). Die nötige Widerstandskraft gegen Störungen ist in der Regel das Nebenprodukt von Entscheidungen, die in ruhigen Zeiten getroffen wurden. Für uns resultiert Resilienz aus vier grundlegenden Fähigkeiten. Zunächst einmal müssen Unternehmen regenerative Kapazitäten bilden, wenn die Dinge gerade gut laufen. Indikatoren hierfür sind: der Gesundheitszustand der Unternehmenskultur, das Niveau der Risikobereitschaft, die Leistungsfähigkeit der internen und externen sozialen Netzwerke, das physische und psychische Wohlbefinden der Mitarbeiter, der Förderungsgrad von Vielfalt, die Anpassungsfähigkeit und das vorherrschende Maß an Vertrauen. Diese, sich immer wieder selbst erneuernden Kapazitäten sind das entscheidende Kriterium für Resilienz. Hier geht es nicht um Reaktionen, sondern um proaktives Handeln. Der zweite Punkt betrifft die Fähigkeit, selbst schwache Anzeichen für bevorstehende Veränderungen und Störungen zu erkennen, leise Signale zu hören und auch für Dinge sensibilisiert zu sein, die heute kaum wahrnehmbar sind, die jedoch schon morgen riesige Schäden anrichten können. Gleichzeitig müssen die Signale aber auch richtig interpretiert, unterschiedliche Formen des Wandels durchdacht und unzählige Szenarien durchgespielt werden. Der dritte Aspekt bezieht sich auf die Art und Weise, wie Unternehmen auf Störungen reagieren, ob es etwa gelingt, das ganze Potenzial der „adhocratischen" Improvisationen freizusetzen. Und schließlich sind da noch die Lern- und Transformationsprozesse, die Lehren, die aus früheren Antworten und aus der Veränderung der regenerativen Kapazitäten zu ziehen sind, sowie unterschiedliche Methoden, den zukünftigen Wandel zu erfassen. Resilienz entsteht nicht, wenn nur einer der genannten Punkte umgesetzt wird, sondern nur dann, wenn tatsächlich alle erfüllt sind. Das Arbeitsumfeld hat mit Sicherheit einen enormen Einfluss auf die Entstehung von Vertrauen, Zusammenarbeit und resilientem Verhalten. Wir sind soziale

Wesen, die natürliche Umgebungen stets bevorzugen. Ebenso sind wir gern in der Nähe von Orten, an denen wir zusammen mit anderen Menschen unter uns sind. Halten sich Menschen in einer solchen Umgebung auf, sinkt ihr Cortisolspiegel, während sich ihr Sozialverhalten und ihr Vertrauen verbessern(...). Viele Unternehmen haben realisiert, dass ihre Mitarbeiter nicht den ganzen Tag isoliert arbeiten können. Die derzeit zu beobachtende „Re-Urbanisierung" zeugt aber auch vom immer größeren Stellenwert der Face-to-Face-Kommunikation und der persönlichen Zusammenarbeit. Einmal mehr wird dadurch deutlich, dass all unsere Denk- und Arbeitsprozesse der zwischenmenschlichen Interaktion bedürfen." (Steelcase, 2013, pp. 7–9)

Die Firma Steelcase[10] definiert Resilenz wie folgt:

„*Drei Prinzipien aus der Erforschung der Resilienz bilden unseren Rahmen zur Planung von Büroflächen, die sich jeglichen veränderten Bedingungen und sich weiterentwickelnden Unternehmen anpassen können, ohne dabei die Unternehmensvisionen und -ziele aus den Augen zu verlieren.*

Clusterbildung:

Gestalten Sie Arbeitsumgebungen so, dass vielfältige Menschen, Ressourcen, Arbeitsmittel und Ideen eng miteinander verknüpft werden. Achten Sie zugleich auf das richtige Maß an Dichte: nicht zu dünn besetzt, aber auch nicht überfüllt. Clusterbildungen fördern den fruchtbaren Austausch zwischen Mitarbeitern, von Ideen und Erfahrungen, durch die Schaffung von Orten, die alles zusammen- bringen. Diese Orte sind so gestaltet, dass sie die Interaktionen der Menschen verbessern – egal, ob sie nebeneinander sitzen oder sich auf verschiedenen Kontinenten befinden.

---

[10] Steelcase ist ein Hersteller von Büroeinrichtungen Raumlösungen. Das Unternehmen wurde 1912 in Grand Rapids in Michigan, USA, gegründet.

Weltweit hat Steelcase etwa 10.700 Beschäftigte. Die Firma beschäftigt sich mit dem Thema Nachhaltigkeit und forscht bei der Entwicklung des zukünftigen Büroarbeitsplatzes.

Drei Hauptmerkmale für ein Ökosystem aus Räumen:

Vielzahl von Räumen: unterschiedliche, fest zugeordnete bzw. gemeinsam genutzte Räume für Einzel- und Teamarbeit

Vielzahl von Arbeitsstilen: Räume, die zur Bewegung ermuntern

Vielzahl an Präsenzen: Räume, die unterschiedliche physische und virtuelle Präsenzformen sowie den analogen und digitalen Informationsaustausch fördern

Modularität:

Schaffen Sie Orte mit modularen Strukturen und nutzen Sie hierzu ganzheitliche Innenarchitekturen, Möblierungen und Technologien, die sich einfach umkonfigurieren lassen, wenn sich die Bedürfnisse in Wachstums- oder Krisenzeiten verändern. Modulare Lösungen basieren auf bewussten Gestaltungskonzepten mit einer ausgewogenen Mischung aus Bereichen für individuelles Arbeiten und für Teamarbeit – einige davon Einzelpersonen oder Teams zugeordnet, andere gemeinsam genutzt. Können die Mitarbeiter selbst darüber entscheiden, wo sie am effektivsten sind, führt dies dazu, dass die gesamte Bürofläche den wechseln- den Bedürfnissen eines Unternehmens gerecht wird.

Feedback-Schliefen:

Gibt es eine Kultur der Feedback-Schleifen zum Zustand der Arbeitsumgebung, erfahren die Unternehmen, was funktioniert und was nicht, und können anschließend mit entsprechenden Veränderungen oder weiteren iterativen Prozessen reagieren. Hierzu bedarf es einer quantitativen und qualitativen Datenanalyse, die Rückschlüsse darauf zulässt, ob Bedarf für schrittweise oder sofortige Korrekturen besteht. Zusammen mit den Ansätzen Clusterbildung und Modularität helfen Feedback-Schleifen Unternehmen dabei, Räume schnell und dynamisch umzukonfigurieren und Betriebsstörungen zu vermeiden.

Resiliente Immobilienstrategien, die auf den Prinzipien Clusterbildung, Modularität und Feedback basieren, fördern die Ausbildung starker Gemeinschaften am Arbeitsplatz. Dies ermöglicht den Mitarbeitern nicht nur eine effektivere Zusammenarbeit und eine größere Anpassungsfähigkeit

gegenüber Veränderungen, sondern auch schnellere und entschlussfreudigere Reaktionen auf den Wandel der globalen Märkte. Geprägt vom gegenseitigen Vertrauen sind diese Menschen beweglicher, innovativer und letztlich auch resilienter. Und resiliente Menschen bilden den Kern eines jeden resilienten Unternehmens.“ (Steelcase, 2013, pp. 14–16)

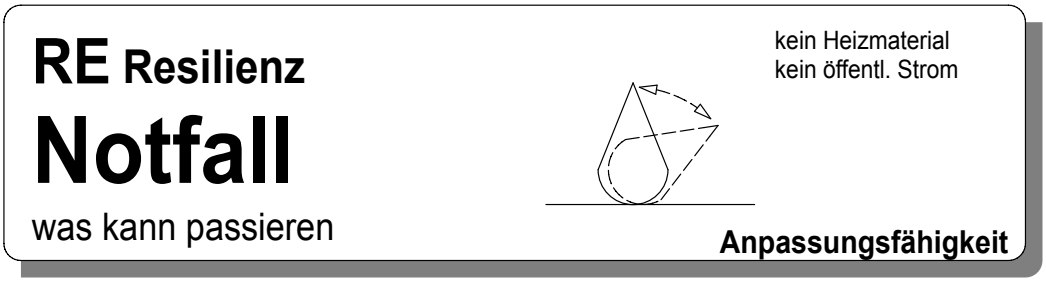


Abbildung 129: Systemkarte Kat II AP26

Notfallszenarien zu besprechen, noch bevor der Notfall eintritt, macht durchaus Sinn. Was tun wenn der Strom ausfällt? Kann das Gebäude ohne Heizung benutzt werden? Wie lange kann ein Notbetrieb im Gebäude aufrecht erhalten werden? Durch diese Fragestellungen können neue Ansätze und Lösungen gefunden werden, die den kreativen Prozess beeinflussen, und somit auch den Entwurf formen.

10.5 Ergebnis

Mit der angewandten Methode ist es gelungen Parameter zu finden, welche die Anpassungsfähigkeit eines Gebäudes unterstützen.

Durch die angewandte Methode wurden Soziale, Ökonomische und Ökologische Aspekte berührt. Die Teamarbeit wurde verstärkt und das Verständnis für die unterschiedlichen Problemstellungen erhöht. Die Methode hat Zeit gespart und ist deshalb wirtschaftlich interessant. Gemeinsame ökologische Aspekte konnten gefunden und Wechselbeziehungen sichtbar gemacht werden.

Die angewandte Methode ist individuell anpassbar, unterstützt den kreativen Prozess und damit auch den integralen Entwurf (IE). Durch die Wahl der Karten kann auch in größeren Teams der Fokus auf einzelne Problemstellungen behalten werden. Gespräche und somit auch gedankliche Entwürfe werden unterstützt und können vom Team nachvollzogen werden.

Das Ergebnis eines Workshops ist bereits am Ende einer Sitzung sichtbar. Der Erfolg eines Workshops (Teamsitzung) ist damit auch sofort erkennbar und für die Teilnehmer ein positives Ergebnis. Das Team lernt Problemlösungen gemeinsam zu entwickeln. Durch die visuelle Darstellung der Kriterien/Aspekte (Karten) ist der Kontext immer begreifbar und nachvollziehbar.

Die Methode liefert schnelle Ergebnisse ohne EDV Unterstützung und bietet eine gute Vorbereitung und Grundlage für den Beginn einer integralen Planung.

10.6 Ausblick

Die angewandte Systemkarten Methode lässt sich gut in ein größeres System integrieren. Beispielsweise kann sie in einem übergeordneten Leitfadenprogramm für nachhaltiges Bauen dessen Ziele unterstützten. Um den Gedanken der Nachhaltigkeit zu festigen sind alle Akteure aufgerufen ihren Beitrag zu leisten. Die Systemkarten Methode kann dabei hilfreich verwendet werden. Workshops für effektive Sprache sollten am Beginn der Zusammenarbeit der Teams zur Verfügung stehen, um außerordentliche, nicht lineare Ergebnisse zu erhalten.

11 Zusammenstellung der für den Entwurf maßgeblichen Kriterien

11.1 Kriterien Arbeitspaket 01 Behaglichkeit

- Thermische Behaglichkeit
- Optische Behaglichkeit
- Akustische Behaglichkeit

In den oben angeführten Bereichen der Behaglichkeit wurden einzelne Parameter selektiert, die durch den räumlichen Entwurfsprozess beeinflusst werden können und nicht durch Rahmenbedingungen der Bauordnung, Arbeitsstättenverordnung und lokalen Vorgaben soweit optimiert vorgegeben werden, dass eine negative Beeinflussung im Entwurfsprozess auszuschließen ist.

Folgende Kriterien wurden als relevant erkannt:

Thermische Behaglichkeit

- operative Temperatur
- Oberflächentemperatur
- Raumlufttemperatur

Optische Behaglichkeit

- Tageslichtspektrum (direkte Abhängigkeit g-Wert)

Akustische Behaglichkeit

- Speichermassenaktivierung vs. Raumakustik

11.2 Kriterien Arbeitspaket 02 Energie

In Hinblick auf die zu untersuchende Zielgröße (Kühlbedarf) wurden folgende Einflussgrößen untersucht:

- Orientierung
- Verglasungsanteil

- Gesamtenergiedurchlassgrad
- U-Wert der Verglasung
- Charakteristische Länge
- Verschattung
- Speichermasse

Eine aus der Funktionsgleichung abgeleitete Einschätzung der Wechselwirkung der Einflussgrößen für den vorliegenden ITBK ergab folgende Relevanzen für die Wechselwirkung der einzelnen Parameter:

	Ori	AF	g	Ug	spi	lc
Ori		o	o	o	o	o
AF	o		ooooo	oooo	ooo	o
g	o	ooooo		ooo	ooo	o
Ug	o	oooo	ooo		oo	o
spi	o	ooo	ooo	oo		o
lc	o	o	o	o	o	

Abbildung 130: Relevanz der Wechselwirkung aus der Funktionsgleichung

Die Relevanz wurde mit den Multiplikatoren und den Eingabewerten der Parameter aus der Funktionsgleichung ermittelt (siehe Kapitel 9.4.4).

Die Abschätzung ergab eine hohe Relevanz des Fensterflächenanteils in Verbindung mit den technischen Daten der Verglasung. Weiters hat die Speichermasse in Wechselwirkung mit Fensterflächenanteil und g-Wert einen großen Einfluss auf die grundsätzliche Zielsetzung.

11.3 Kriterien Arbeitspaket 03 Raum

Mit der Systemkarten Methode wurden folgende Hauptgruppen gewählt.

- Ökonomische Qualität
- Außenräumliche Qualität
- Innenräumliche Qualität
- Funktionale Qualität
- Baukünstlerische Qualität

Die Systemkarte Kat I „Anpassungsfähigkeit“ wurde tiefer beleuchtet, um die Anwendbarkeit der Methode zu überprüfen. Dabei wurden folgende Systemkarten Kat II entwickelt:

- Tragstruktur
- Nutzungsvielfalt
- Erneuerbarkeit
- Speicherfähige Masse
- Resilienz

12 ENTWURFSPROZESS

Der integrale Entwurf stellt die Anwendung, der in unserer Arbeit entwickelten Methoden, auf die gestellte Forschungsfrage dar. Alle gefundenen Entwurfsaspekte werden im Team untersucht, eingeordnet und entschieden. Für die einzelnen Arbeitsschwerpunkte sind das:

Behaglichkeit, Technik:	Grenzwerteverfahren, Entscheidungsbaum Technik
Energie:	Design of Experiments Abschätzungsmethode (DoE)
Raum:	Systemkarten Methode

Der Entwurfsprozess fand als zweitägiger Workshop statt. Exemplarisch wurden folgende Entwurfsaspekte behandelt und in den Entwurf eingearbeitet.

- Atrium
- Fassade / Kaktus
- Passage

12.1 Atrien

12.1.1 Entwurfsaspekte aus den Kristallisationspunkten des kreativen Prozesses

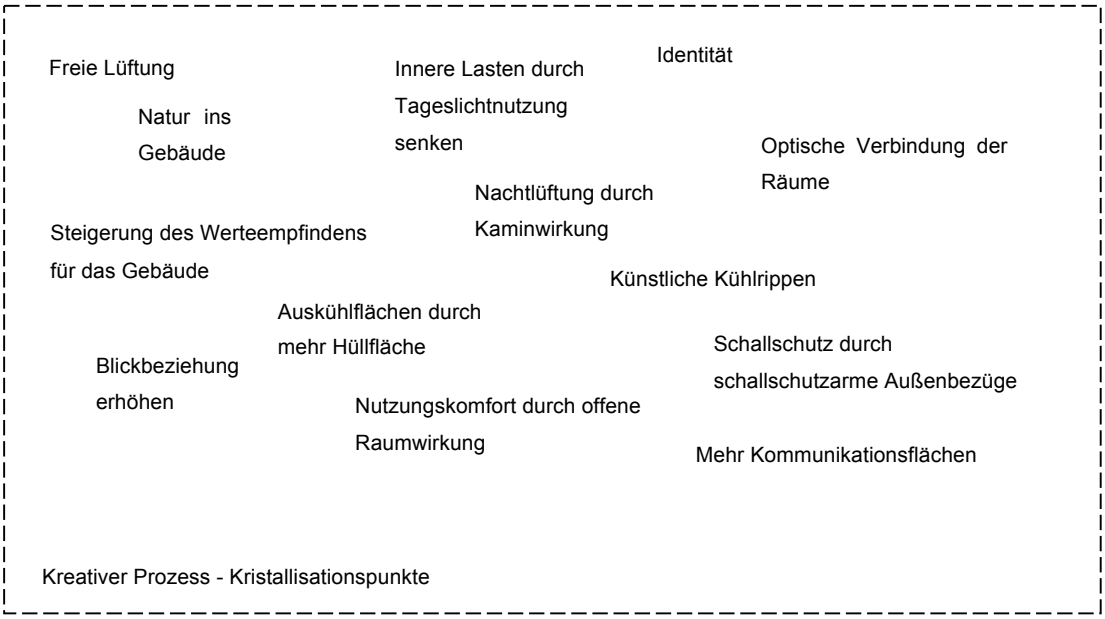


Abbildung 131: Auszug Entwurfsaspekte

12.1.2 Architektonische Handlung

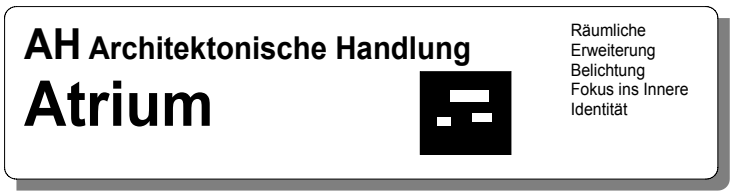


Abbildung 132: Systemkarte architektonische Handlung - Atrium

Aus den gemeinsam gefundenen Entwurfsaspekten wird als architektonische Handlung eine Anordnung von Lichthöfen / Atrien vorgeschlagen. Dadurch kann die Baukörpertiefe maximiert, ausreichend Tageslicht im Gebäude für die inneren Zonen zu Verfügung gestellt und so die nutzbare Fläche erhöht werden. Zudem kann ein natürliches Be- und Entlüftungssystem einfach realisiert werden. Durch die Orientierung ins Atrium wird eine Öffnung zu schallabgewandten Seiten möglich. Die Atrien werden als 100% verglast vorgeschlagen.

Die architektonische Handlung wird in Folge mittels der entwickelten Entscheidungsmethode aus den drei Blickwinkeln untersucht.

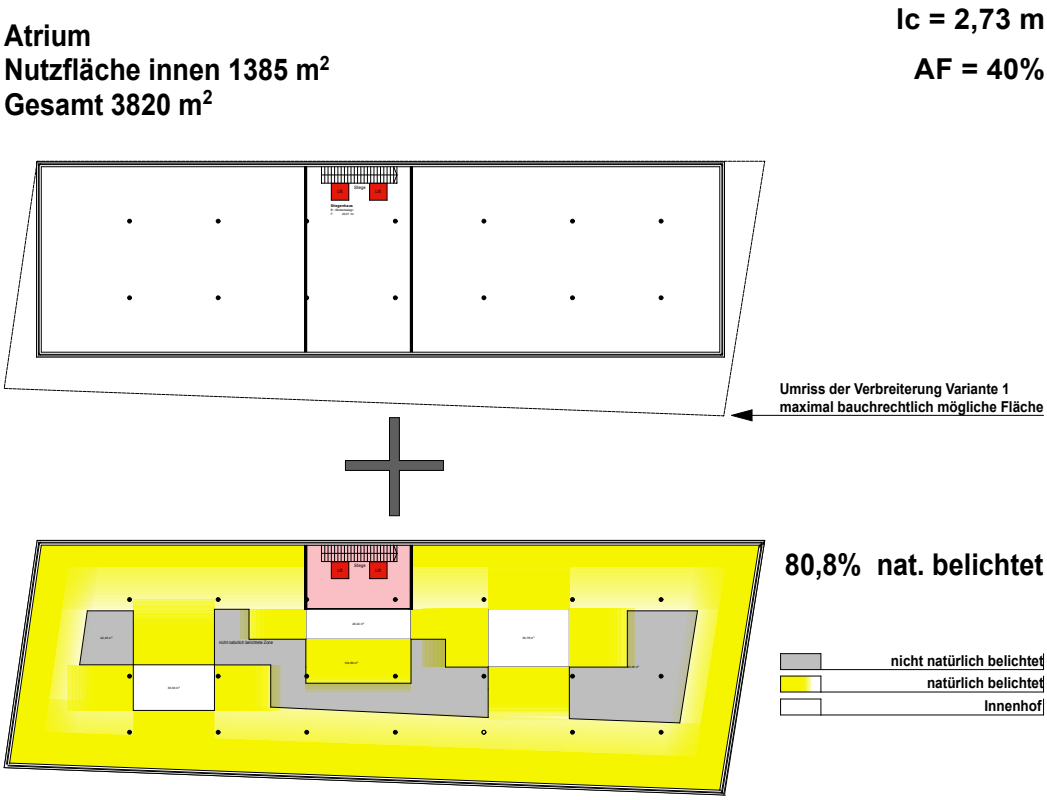


Abbildung 133: Baukörperentwicklung Atrium

Die Tiefgaragenebene und das Erdgeschoss bleiben vorerst von dieser Maßnahme unberührt. Die Obergeschosse werden durch diese Maßnahme um ca. 25% vergrößert – die effektive Innennutzfläche wird somit um ca. 17% erweitert.

12.1.3 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel:

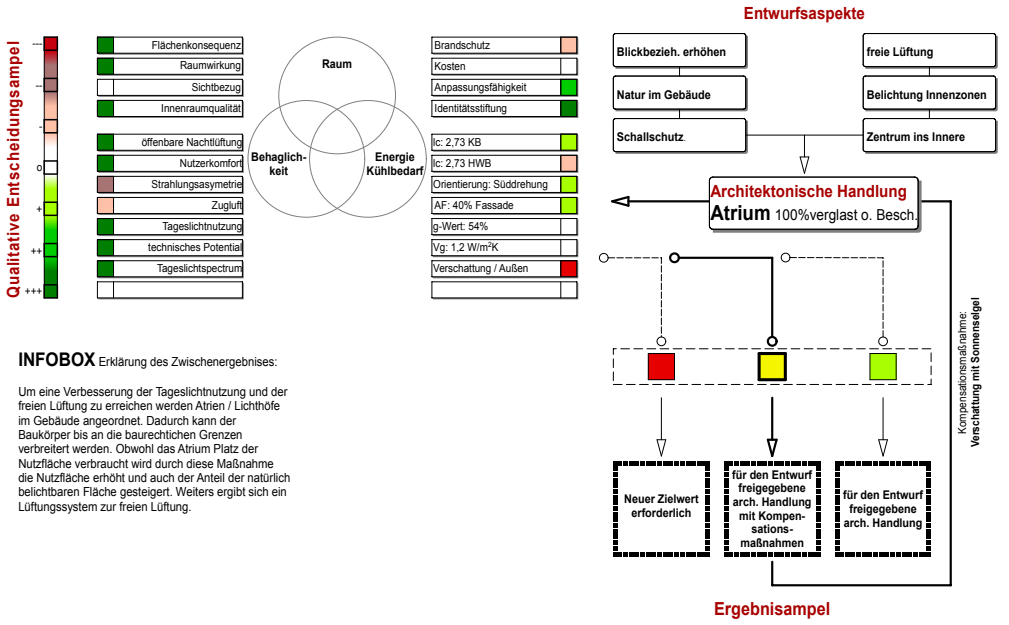


Abbildung 134: Einordnung Atrium

Behaglichkeit: Es wurde die Strahlungsasymmetrie und die fehlende Verschattung außen, der Brandschutz, die Auswirkung auf den HWB sowie das Kriterium Zugluft mangelhaft eingeordnet.

Energie: Durch das Atrium und die Vergrößerung des Fensterflächenanteils ergaben sich folgende Einschätzungen aus dem DoE Abschätzungsmodell:

- charakteristische Länge - Kompaktheit: eine Auflösung der sehr kompakten Form wirkt sich positiv auf den Kühlbedarf aus. Die charakteristische Länge wirkt sich jedoch weit intensiver auf den Heizwärmebedarf aus. Aus den 2-D Parameterdarstellungen ist ersichtlich, dass in Hinblick auf den Bauordnungsanforderungswert für den Heizwärmebedarf eine Auflösung der Kompaktheit bis zu einer charakteristischen Länge von 2,6 m tolerierbar ist. Die Betrachtung des Fensterflächenanteils und der Speichermasse spielt dabei eine wesentliche Rolle.

- Fensterflächenanteil: die Erhöhung des Fensterflächenanteils hat wesentlichen Einfluss auf den Kühlbedarf. Mittels Darstellungen Fensterflächenanteil in Abhängigkeit zu den technischen Größen werden die Grenzen des möglichen Fensterflächenanteils festgelegt. Eine Vergrößerung der Fensterflächenanteile von 30% auf 40% stellt kein Problem zur Erreichung der Zielgröße dar. Die Zielgröße kann innerhalb der Behaglichkeitsgrenze des g-Wertes von >45% gut situiert werden.

- Unverschattete Fensterflächen werden als problematisch angesehen.

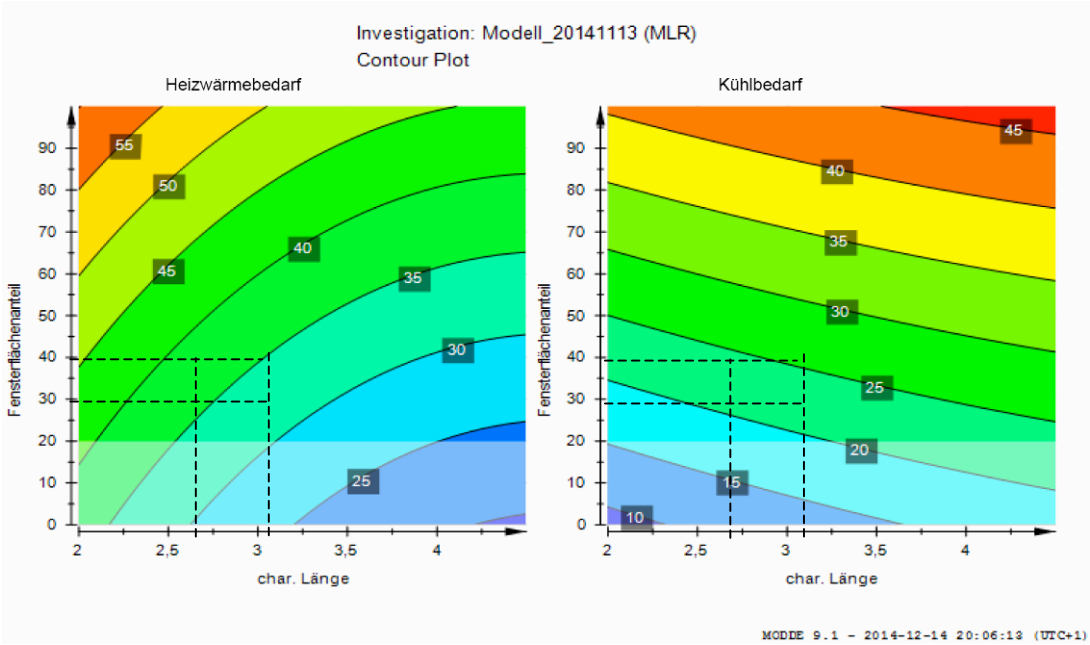


Abbildung 135: Zielgrößenentwicklung in Abhängigkeit des lc und AF bei mittelschwere Bauweise, Ug = 1,2 W/m²K und g = 54%

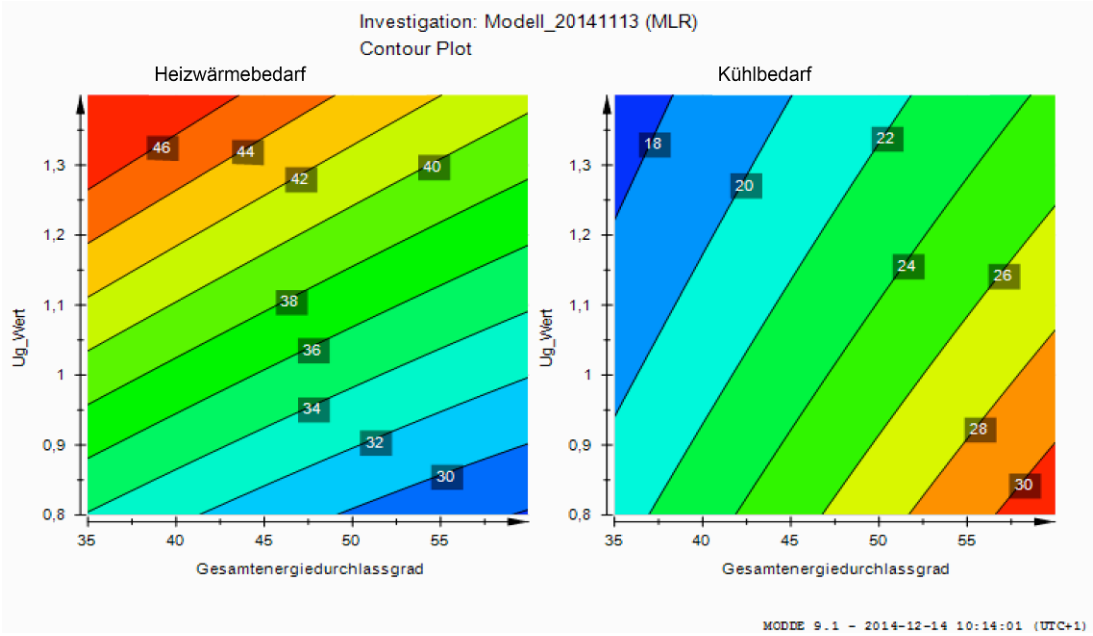


Abbildung 136: Zielgrößenentwicklung in Abhängigkeit des Fensterflächenanteils bei mittelschwere Bauweise, Ug = 1,2 W/m²K und g = 54%

Die verwendeten Abhängigkeitsgrafiken der Einflussgrößen zur Abschätzung der energetischen Performance des Entwurfsprojektes befinden sich im Anhang B.

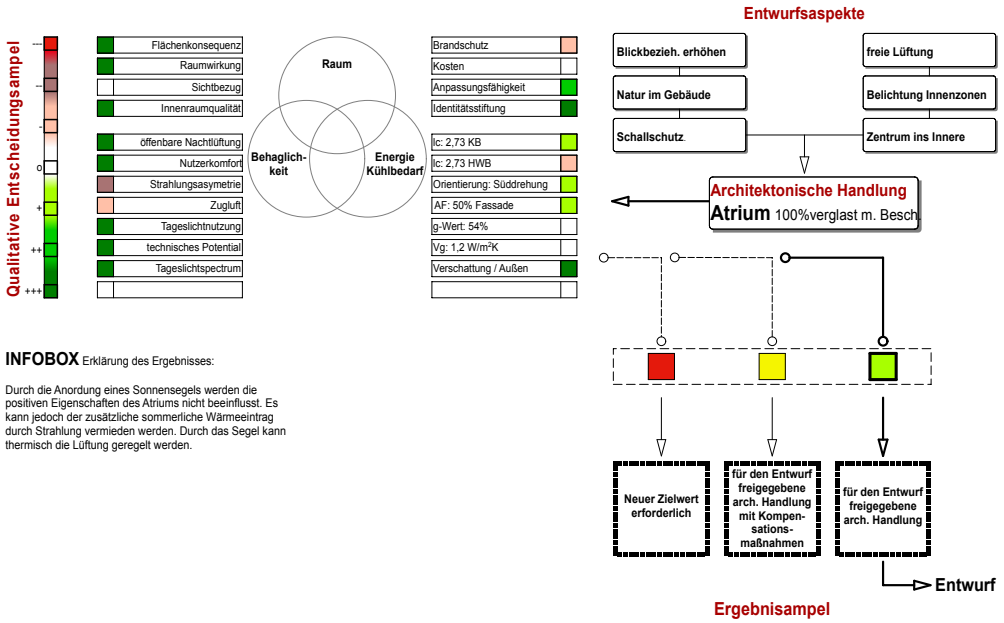
Raum: Die Situierung der Atrien hat für die Innenraumqualität positive Auswirkung. Aus soziologischer Sicht scheint die Anordnung interessant, denn die Nutzer orientieren sich sowohl durch die Fassade nach außen, als auch durch die gewählten Atrien ins Gebäudeinnere – also auch auf die Arbeit, die Arbeitskollegen – das Gebäude an sich. Sichtbeziehungen zu unterschiedlichen Geschossen werden hergestellt. Diese Maßnahme ist identitätsstiftend und auch deshalb positiv zu bewerten.

12.1.4 Zusammenfassung:

Das Atrium wird als architektonische Handlung grundsätzlich positiv eingestuft. Die energetische Zielgröße wird positiv beeinflusst. In Summe sind die als mangelhaft eingeordneten Kriterien incl. der Verschattung durch einfache Maßnahmen zu lösen.

12.1.5 Kompensationsmaßnahme Atrium mit Sonnensegel:

Wie aus der Ergebnisampel ersichtlich, ist eine Kompensationsmaßnahme notwendig. Die kompensatorische architektonische Handlung (Atrium mit Sonnensegel) wird neu untersucht und für den Entwurf freigegeben.



INFOBOX Erklärung des Ergebnisses:

Durch die Anordung eines Sonnensegels werden die positiven Eigenschaften des Atriums nicht beeinflusst. Es kann jedoch der zusätzliche sommerliche Wärmeeintrag durch Strahlung vermieden werden. Durch das Segel kann thermisch die Lüftung geregelt werden.

Abbildung 137: Einordnung Atrium & Sonnensegel

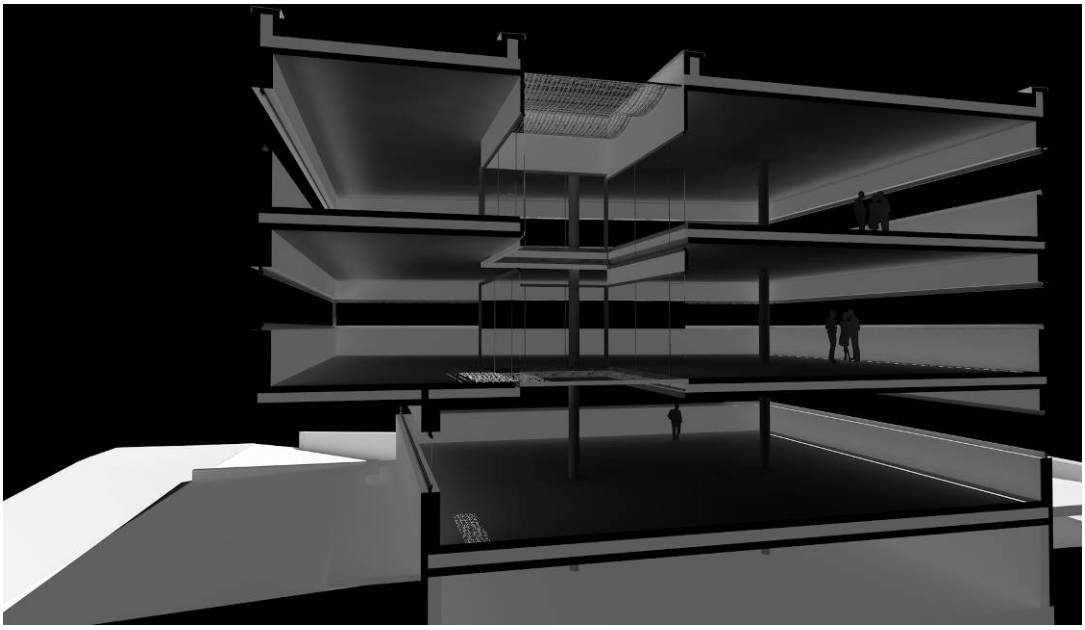


Abbildung 138: Veränderung des ITBK durch Atrien perspektivische Darstellung

12.2 Kaktusfassade

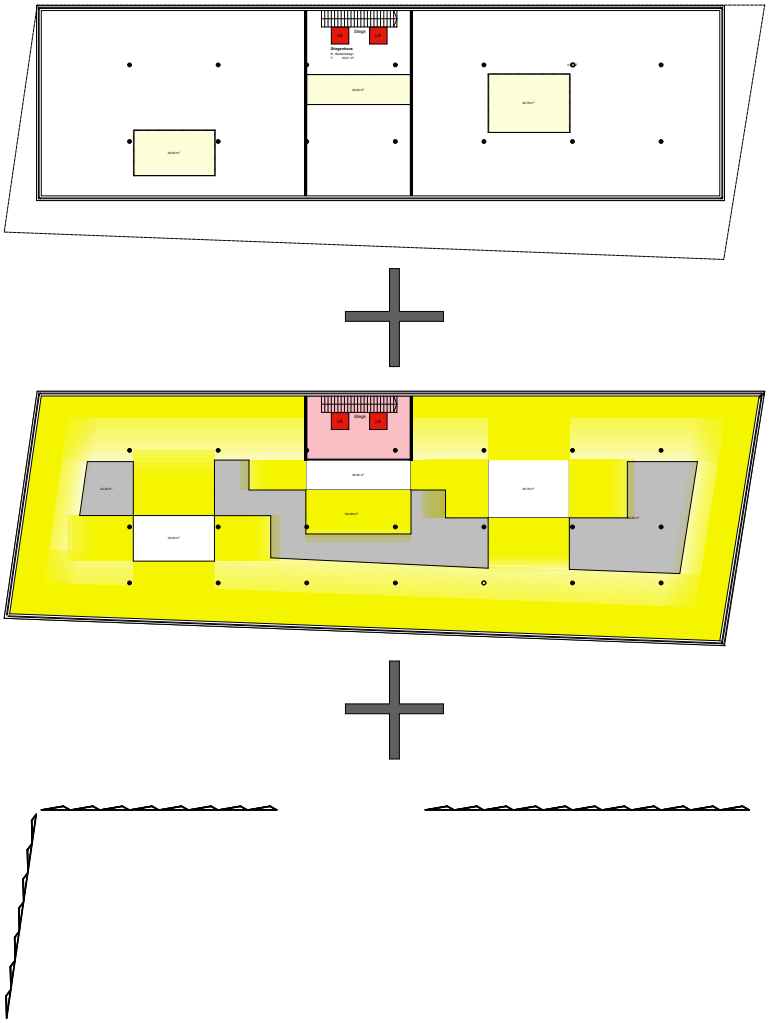
12.2.1 Zusammenfassung des Entscheidungsprozesses

Auf Basis gemeinsamer Entwurfsaspekte wie beispielsweise Identifikation mit dem Gebäude, Naturraumbezug, Transparenz, Blickbeziehungen nach außen, Präsentation am Standort und Zielgrößen wird als architektonische Handlung eine Elementfassade vorgeschlagen, die sich an einen aus der Natur kommenden Effekt anlehnt. Die vorgeschlagene Fassade orientiert sich am Kühlrippenprinzip des Kaktus. Ein Kaktus überlebt die großen Temperaturen durch seine große Oberfläche im Verhältnis zu seinem Volumen. Durch die „zackenförmige“ Oberfläche ergeben sich Beschattungszonen, welche die Fassade kühlen. Dieses Vorbild aus der Natur wird auf die Fassaden übertragen. Die Kaktusfassade wird großflächig geöffnet, um den Effekt zu steigern.

Kaktus
Nutzfläche innen 1385 m²
Gesamt 3820 m²

lc = 2,68 m

AF >80%



80,8% nat. belichtet

nicht natürlich belichtet
natürlich belichtet
Innenhof

Abbildung 139: Baukörperentwicklung Kaktus

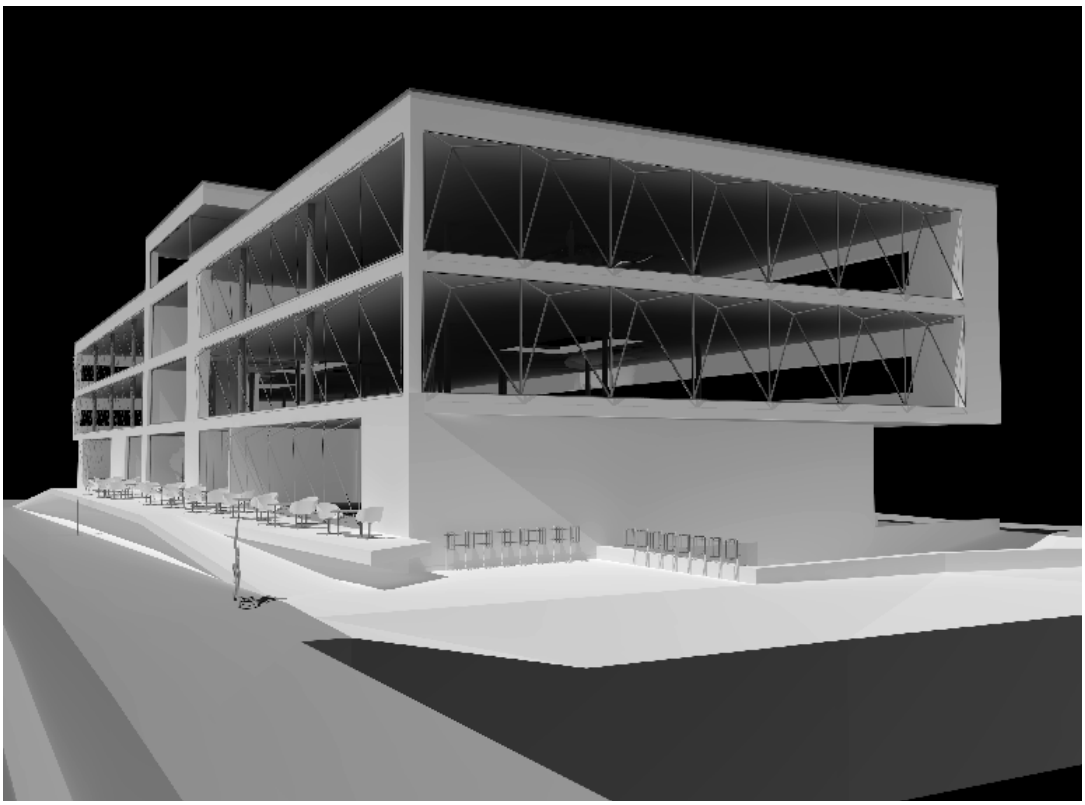


Abbildung 140: Kaktus Elementfassade perspektivische Darstellung

12.2.2 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel:

Die Idee an sich wird in der Diskussion für gut empfunden. Die Untersuchungen und Einschätzungen durch die einzelnen Fachgebiete ergaben einige Einschränkungen hinsichtlich des Lasteintrages über die weit geöffnete Fassade. Die eingeplanten Kühlrippen sind in den Abmessungen zu gering, als dass sie über die Oberflächenvergrößerung einen nennenswerten Effekt auf den Kühlbedarf haben. Die Selbstverschattung findet über die geringe Faltung nach außen kaum statt. Der Fensterflächenanteil mit über 80% ist sowohl hinsichtlich der Zielgröße, als auch hinsichtlich der Behaglichkeit problematisch. Weiters wurde der fehlende Nutzerkomfort bei der Möglichkeit der Fensteröffnung, sowie die technische Umsetzung als problematisch eingestuft.

12.2.3 Kompensationsmaßnahme Kaktusfassade plus

Die architektonische Handlung (Kaktusfassade) wird mit Kompensationsmaßnahme neu untersucht.

Die Verzahnung der Fassade wurde vergrößert um den Kaktuseffekt zu verstärken. Es wurde ein maximal zulässiger Fensterflächenanteil von 50% über die DoE Abschätzungsmethode festgelegt. Die opaken Teile der Elementfassade werden mit

PCM gefüllt. Für die Erhöhung des Nutzerkomforts wird ein Lüftungsflügelelement in die opake Fassade eingeplant.

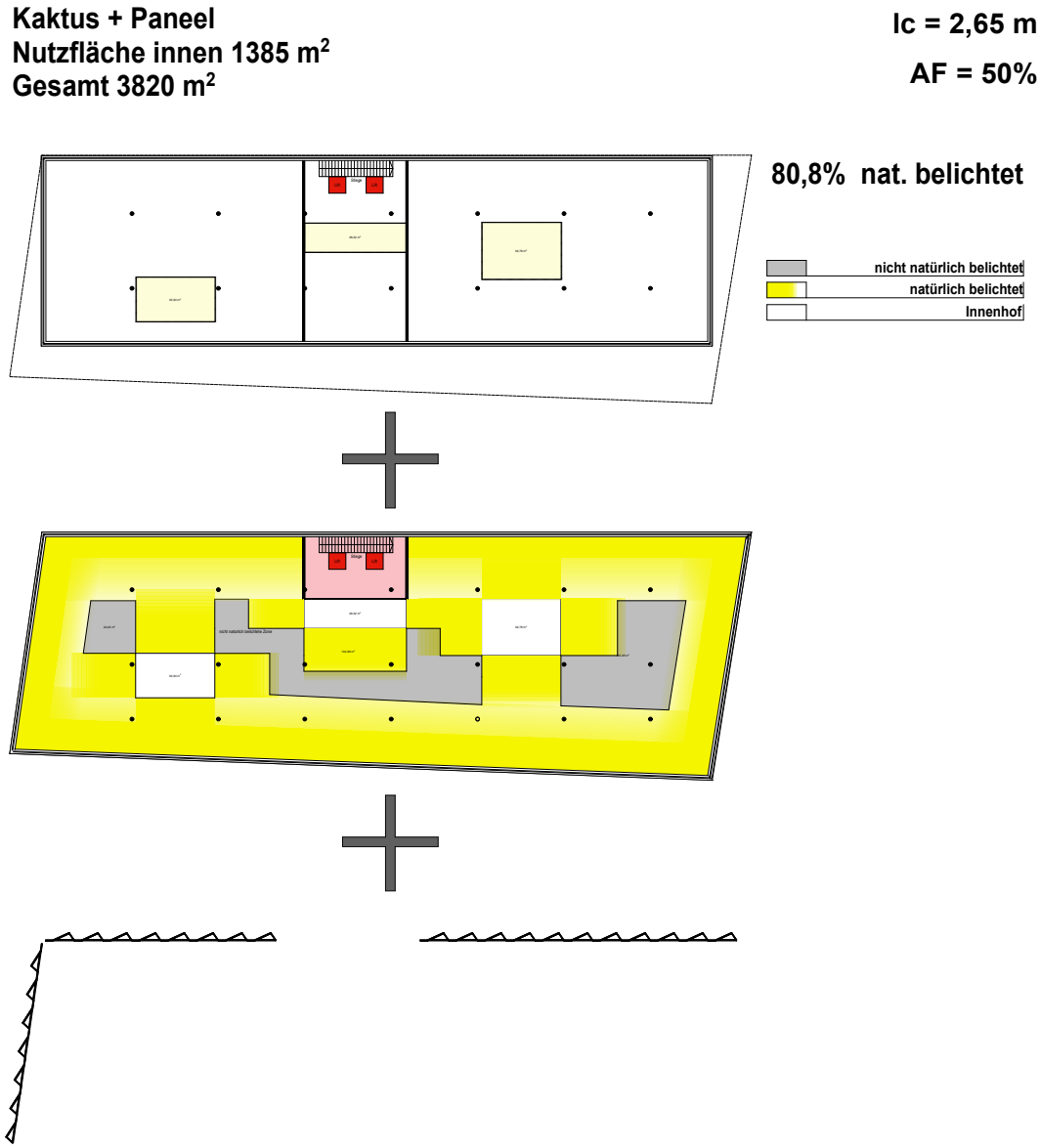


Abbildung 141: Baukörperentwicklung Kaktus plus

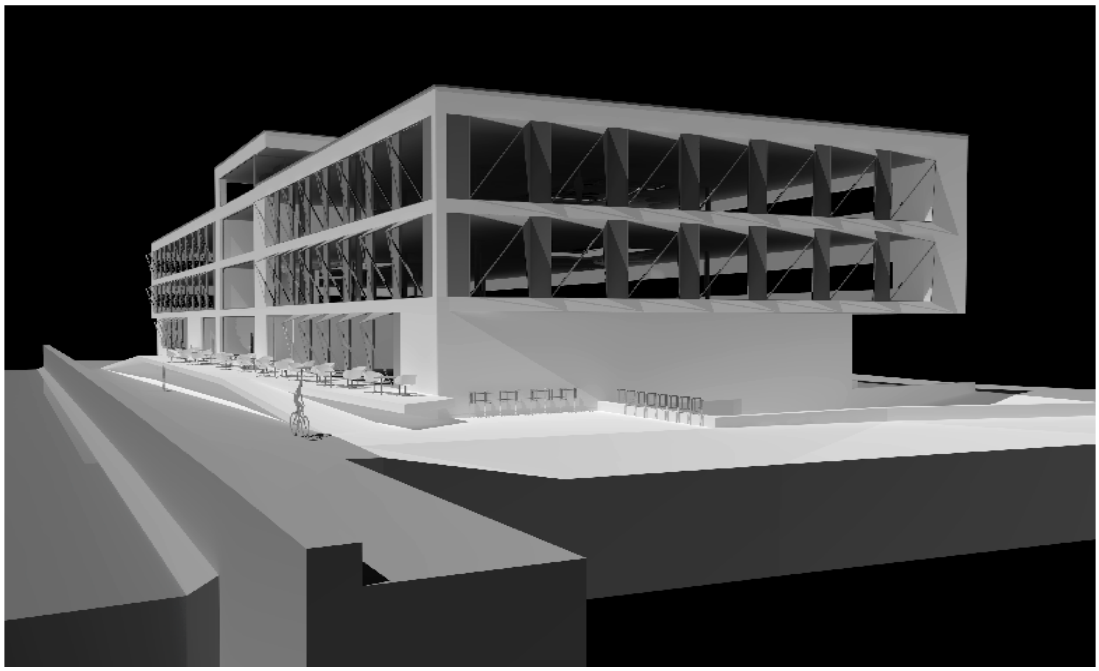


Abbildung 142: Weiterentwicklung Elementfassade Kaktus durch PCM Elemente und Lüftungsflügel

12.2.4 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel

Die Kaktusfassade plus wird für den Entwurf freigegeben.

12.3 Passage

12.3.1 Zusammenfassung des Entscheidungsprozesses

Auf Basis gemeinsamer Entwurfsaspekte wie zum Beispiel Identifikation mit dem Gebäude, Naturraumbezug, Durchgängigkeit, Anbindung an Fußwege, Transparenz, Präsentation am Standort und Durchlüftung im Sommer wird als architektonische Handlung eine Passage im Erdgeschoß vorgeschlagen. Diese bindet das Gebäude an die bestehende Promenade und den Achenweg ein. Durch die Passage werden halböffentliche Räume geschaffen die beispielweise durch ein Cafe´ genutzt werden können. Durch diese Öffnung im Gebäude kann darüber hinaus das Objekt optimiert mit kühler Nachtluft (Kitzbüheler Ache) durchströmt werden.

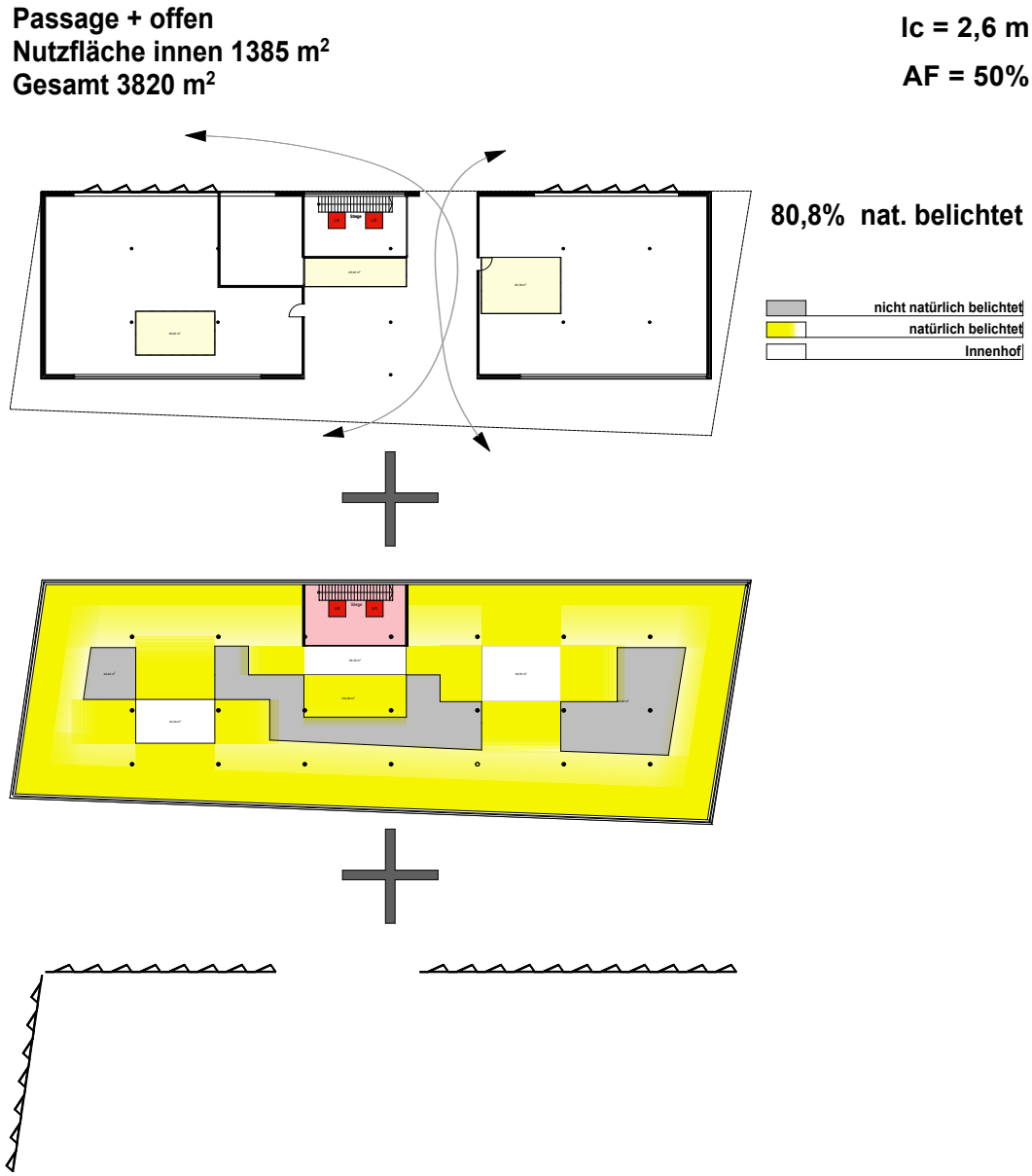


Abbildung 143: Baukörperentwicklung Passage

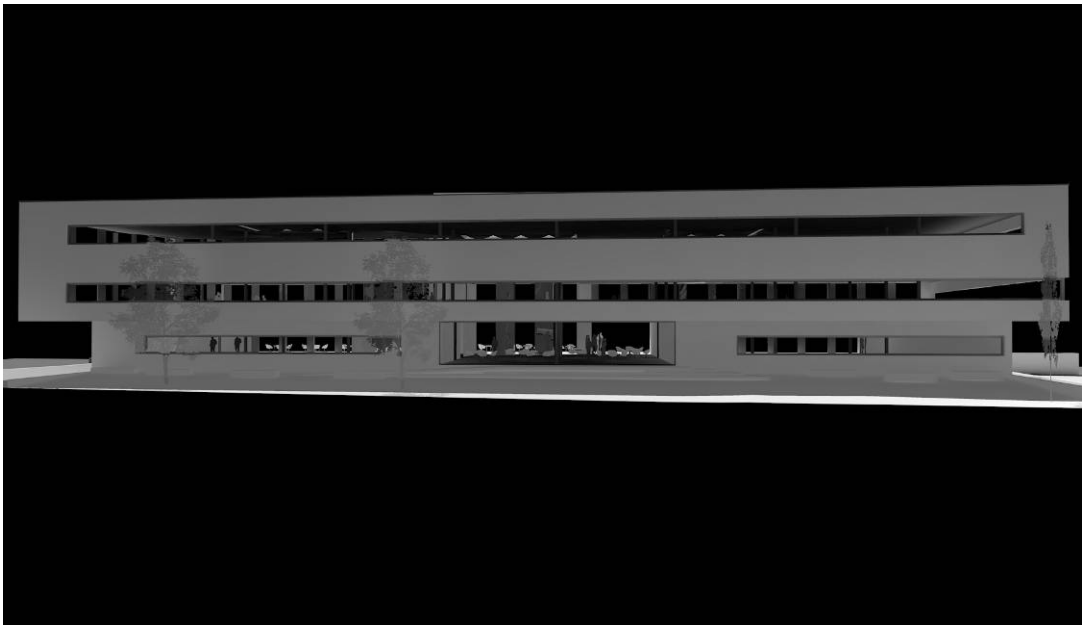


Abbildung 144: Perspektivische Darstellung Baukörper mit Passage

12.3.2 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel

Die Untersuchungen und Einschätzungen durch die einzelnen Fachgebiete ergaben Einschränkungen hinsichtlich der Vergrößerung der Hüllflächen im Winter. Die charakteristische Länge mit Passage beträgt 2,6 m. Gemäß Abschätzung DoE liegt dies gerade noch im Toleranzbereich für den Heizwärmebedarf.

Die Passage ist für das Gebäude eine Aufwertung der außen- und innenräumlichen Qualität. Sie bietet die Möglichkeit, bei jedem Wetter den Außenraum zu nutzen und ist Treffpunkt für interne und externe Nutzer. Sie ist ein ordnendes Element in der Erschließung und erleichtert somit auch die Orientierung im Gebäude.

Die Passage bietet darüber hinaus Möglichkeiten, die Lage zum Fluss, in Verbindung mit passiven Strategien für die Kühlung, besser nutzen und umsetzen zu können.

Es wird trotzdem vorgeschlagen über eine Kompensationsmaßnahme nachzudenken.

12.3.3 Kompensationsmaßnahme Passage geschlossen

Die Passage wird im Winter durch eine thermisch wirksame Faltglaswand geschlossen. Die positiven Kühleffekte im Sommer können daher erhalten bleiben und der thermische Nachteil im Winter wird ausgeglichen.

Passage + geschlossen
Nutzfläche innen 1385 m²
Gesamt 3820 m²

lc = 2,68 m

AF = 50%%

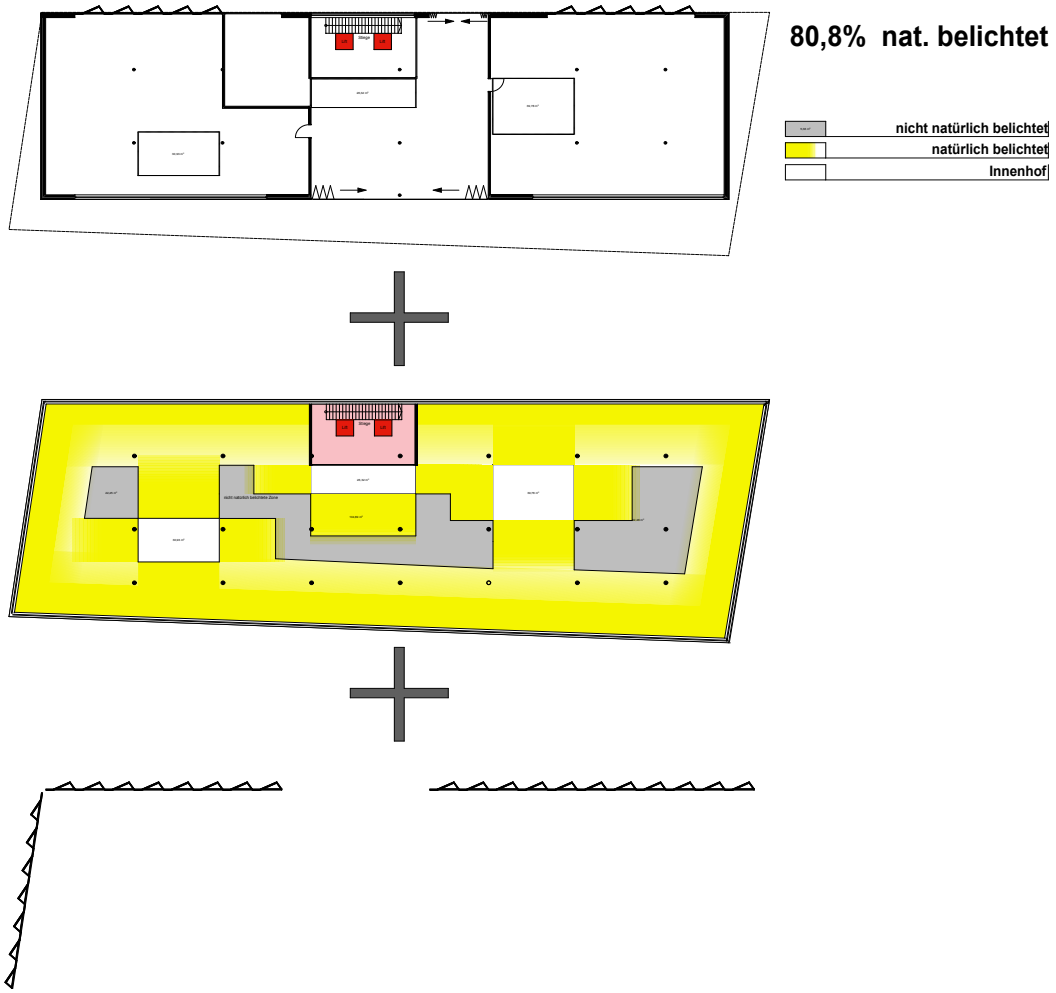


Abbildung 145: Baukörperentwicklung Passage geschlossen

Abbildung 146: Grundriss zeigt die Einarbeitung der drei architektonischen Handlungen

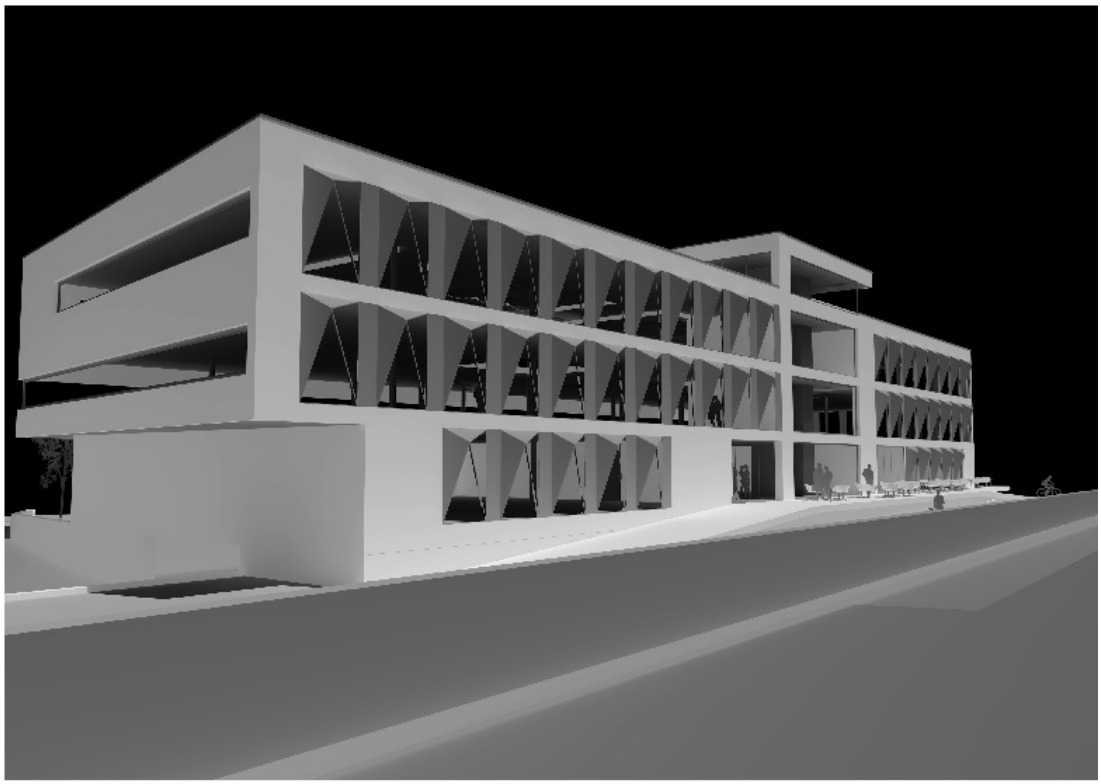


Abbildung 147: Baukörper zeigt die drei architektonischen Handlungen perspektivische Darstellung

12.3.4 Ergebnisse qualitative Entscheidungsampel

Die Passage geschlossen wird für den Entwurf freigegeben.

13 ERGEBNIS

Die Beschäftigung mit dem kreativen Prozess führte zu neuen Methoden und Lösungswegen in einem architektonischen Entwurf, der von einem Team entwickelt wird.

Die von uns entwickelten Methoden eignen sich gut um einen Entwurfsprozess integral zu gestalten. Der gesamte Entwurfsprozess kann als effizient und vielschichtig bezeichnet werden.

Die gefundenen Methoden und Tools wurden an dem dargestellten Entwurf erfolgreich angewandt und überprüft.

Es ist gelungen, Methoden zu finden, die am Besprechungstisch – ohne EDV Unterstützung – einfach anzuwenden sind, den kreativen Prozess anregen, fördern, unterstützen und auch strukturieren.

Es konnte ein Bürogebäude entwickelt werden, das ohne technische Kühlung betrieben werden kann.

Die im Entwurf fixierten Randbedingungen für die Einhaltung der Forschungsfrage am Standort Kitzbühel sind:

- Fensterflächenanteil: <50%
- Ug: 1,2 W/m²K
- g-Wert: 50%
- lc: ca. 2,7 m (Toleranzbereich für HWB ist größer 2,6 m)
- Speichermassen: mittelschwer - schwer
- Sonnenschutz: außen

Die Eingabe der Werte in die Funktionsgleichung ergab bei mittelschwerer Bauweise einen Kühlbedarf von 25,88 kWh/m²a und bei schwerer Bauweise einen Kühlbedarf von 20,8 kWh/m². Die Abschätzungen zeigten, dass bei leichter Bauweise die Fensterflächen bei 30% bleiben müssten.

Im weiteren Entwurfsprozess könnte über die technischen Komponenten der Fenster eine Feinabstimmung, bezüglich der Speichermassen, stattfinden.

Durch die Installation einer Lüftungsanlage und der Etablierung einer Nachtlüftung mit einem 4-fachen Luftwechsel, kann der Kühlbedarf von 25 kWh/m²a abgedeckt werden. Bei architektonischen Forderungen, welche sich auf den Kühlbedarf erhöhend auswirken, kann, limitiert durch das Abgabesystem der Kälte, im Sinne einer Bauteilaktivierung, ein Kühlbedarf von bis zu 35 kWh/m²a zugelassen werden.

Aus Sicht des Architekten, konnte durch die beschriebene Methode, auch mit den energetischen Zielwerten und Behaglichkeitsgrenzwerten, ein Weg gefunden werden, der einen breiten, künstlerischen Freiraum zulässt und gleichzeitig den Kontext des nachhaltigen Bauens unterstützt.

14 AUSBLICK

Der Entwurf im Teamprozess ist abhängig von der Zusammensetzung des Teams. Daher ist jeder Entwurfsprozess individuell. Die entwickelten Methoden sind leicht auf unterschiedliche Teams anzupassen. Weiters ist es möglich, die Methoden zu erweitern und mit bereits bestehenden zu verknüpfen (Planungsleitfaden, BIM, Tools, Kommunikationstechniken …).

Zum erfolgreichen Einsatz ist es wichtig die Unterscheidung zwischen Integralen Entwurf und Integraler Planung zu vollziehen. Die Werkzeuge im integralen Entwurfsprozess unterscheiden sich wesentlich von jenen, die in der integralen Planung angewendet werden.

Die gefundenen Methoden und Tools haben großes Potential, auch eine allgemein gültige Tauglichkeit zu erreichen. Dazu müssten weitere Untersuchungen, zum Beispiel in Hinblick auf die Standortabhängigkeit der energetischen Zielgrößen, der Anwendung auf andere Zielgrößen und der Formulierung allgemein gültiger Abfragen gemacht werden. Ebenso müssten weitere technische Systeme integriert werden wie „natürliche Lüftungssysteme“ im Zusammenspiel mit der Gebäudegeometrie und Untersuchungen weiterer Kühlsysteme, die mit Temperaturniveaus aus lokalen Wärmesenken den erforderlichen Kühlbedarf erfolgreich abdecken können. Auch technoidere Systeme wie Solar-Cooling, Brennstoffzellentechnologien und ähnliche Systeme könnten in Abhängigkeit des Standortes betrachtet und in den Entscheidungsbaum der technischen Systeme zur Kühlung mit aufgenommen werden.

Es wäre sinnvoll, die Methoden und Tools weiter zu entwickeln, um noch schneller zu Ergebnissen im kreativen Prozess zu kommen. Ein umfassender Katalog für die „Systemkarten Methode“ könnte dabei hilfreich sein. Grundlegende Themen des nachhaltigen Bauens könnten vorbereitet werden, um den Architekten und den Architektinnen eine entsprechende Unterstützung für ihre Arbeit zu liefern. Das Zusammenarbeiten mit Spezialisten und Spezialistinnen kann nicht entfallen – jedoch kann das gegenseitige Verständnis für die Problemstellung besser vermittelt werden. In Zukunft können mehr Teams geformt werden, die als Einheit an einem Entwurf bereits in der ersten Stunde zusammenarbeiten können. Die Bezeichnung „integraler Entwurf (IE)“ sollte so selbstverständlich in den Sprachgebrauch aufgenommen werden wie die bereits bekannte Bezeichnung „integrale Planung (IP)“.

15 LITERATURVERZEICHNIS

Achhammer, C. (2013). *Integrale Planung Skriptum Nachhaltiges Bauen vom 27.09.2013*.

Adam, M. (2004). *Statistische Versuchsplanung und Auswertung. DoE Design of Experiments; Vorlesungsskript*. Düsseldorf. Retrieved from http://www.mv.fh-duesseldorf.de/d_pers/Adam_Mario/a_lehre/am_pflicht/0_DoE_Vorlesung_Skript_aktuell.pdf abgerufen am 29.10.2014

Aristotles. (350BC). *Die Seele*. Retrieved from https://ebooks.adelaide.edu.au/a/aristotle/a8so/complete.html abgerufen am 20.02.2015

Beadle, L. (2001). *Tall Buildings and Urban Habitat*. New York: Spon Press.

Biermayr, P., Baumann, B., Schriefl, E., Skopetz, H., Stieldorf, K., Zelenka, H., … Ornetzeder, M. (2001). Analyse fördernder und hemmender Faktoren bei der Markteinführung von innovativen Wohnbauten, 136. Retrieved from http://download.nachhaltigwirtschaften.at/download/biermayer_endbericht.pdf abgerufen am 14.03.2015

Blümel, E., Fink, C., & Reiser, C. (2001). *Handbuch zur Planung und Ausführung von luftdurchströmten Erdreichwärmetauscher für Heiz- und Kühlanwendungen*. Gleisdorf: AEE INTEC, Fraunhofer ISE.

Bmlfu. (2012). *Die österreichische Strategie zur Anpassung an den Klimawandel*. Retrieved from http://www.lebensmittelminsterium.at

Bointner, R., Bednar, T., Eikemeier, S., Ghaemi, S., Haas, R., Harreither, C., … Wimmer, R. (2012). *Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung*. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Dendel, A., & Dietrich, U. (2008). *Dokumentation PRIMERO – Komfort Kühlsysteme – Funktionsweise und Grobdimensionierung.* Hamburg: Hafen City Universität Hamburg.

DIN 4108-2. (2001). *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz*. Berlin.

DIN V 18599-2. (2013). *Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen*. Berlin.

Dröschl, B. (2007). *Keep Cool II – Vom Kühlen zum Nachhaltigen Sommerkomfort.* Retrieved from http://www.bvst.at/fileadmin/pdf/vom_kuehlen_zum_nachhaltigen_sommerkomfort.pdf abgerufen am 10.12.2014

EQUA Simulation AB. (2013). *Handbuch IDA ICE*. EQUA Simulation AB.

Gamerith, H. (2007). *100+1 Hochbauerkenntnisse*. Graz: ARCHÍN, H. Pierer Keg.

Gamerith, H. (2014). *Das www Konzept*. Graz.

GLASSX AG. (2005). *GLASSX ® crystal Das Glas, das speichert, wärmt und kühlt.*

Glaubitt, W., & Probst, J. (2013). *Optimierung der Lichttransmissionseigenschaften von Verglasungen*. Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC Würzburg (D).

Glück, B. (1999). *Thermische Bauteilaktivierung*. Jößnitz: Rud. Otto Meyer-Umwelt-Stiftung.

Glück, B. (2008). *Simulationsmodell "Erdwärmekollektor" zur wärmetechnischen Beurteilung von Wärmequellen, Wärmesenken und Wärme-/Kältespeichern*. Jößnitz: Rud. Otto Meyer-Umwelt-Stiftung.

Gosztonyi, D. I. S. (2011). *Bionische Fassaden BioSkin - Forschungspotentiale aus der Bionik für adaptive energieeffiziente Fassaden der Zukunft, "HAUSderZukunft Plus" Unterlagen zum Vortrag vom 31.März 2011,Graz*.

Gratzl-Michlmair, M., Heimrath, R., & Schranzhofer, H. (2010). Einflussparameter auf Heizwärmebedarf und Kühlbedarf von Gebäuden in verschiedenen Berechnungsmethoden von EN ISO 13790. *Bauphysik 32*, *Heft 5*, 296 – 302.

Haas, J. (2006). *Vigantol: Adolf Windaus und die Geschichte des Vitamin D*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart.

Haas, R., Biermayr, P., Kranzl, L., Müller, A., Schriefl, E., Wien, T., & (EEG), E. E. G. (2007). Wärme und Kälte aus Erneuerbaren, 123.

Hatcher, B. (2015). *Cardon Cacuts*. *06.Februar*. Retrieved from http://www.billhatcher.com/index.php#s=0&p=3&a=0&at=0 abgerufen am 06.02.2015

Hofer, G., Grim, M., Varga, M., & Amann, S. (2009). *Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau*. *Nachhaltigkeit massiv AP7*. Wien.

Holzer, P. (2013). *Prinzipien und Potentiale der Bauteilaktivierung*. Building Research.

Jeon, S. O., Yook, K. S., Joo, C. W., & Lee, J. Y. (2009). Phenylcarbazole-based phosphine oxide host materials for high efficiency in deep blue phosphorescent organic light-emitting diodes. *Advanced Functional Materials*, *19*, 3644–3649. doi:10.1002/adfm.200901274

Joedicke, J. (1969). Zur Formalisierung des Planungsprozesses. In *Arbeitsberichte zur Planungsmethodik 1. Bewertungsprobleme in der Bauplanung* (2. Auflage., pp. 9 – 26). Stuttgart: Institut für Grundlagen der Modernen Architektur, Universität Stuttgart.

Keller, B. (1997). *Klimagerechtes Bauen, Grundlagen Dimensionierung - Beispiele*. Stuttgart: Teubner.

Krec, K. (2006). *Bewertung der Sommertauglichkeit von Gebäuden Kurzfassung*. Schönberg am Kamp.

Kunze, R. (2014). *Energieeffizienz und Nachhaltigkeit für NÖ Landesgebäude* (Version 3.). St. Pölten: Niederösterreichische Landesregierung.

Land Tirol. (2014). *TIRIS*. Retrieved from https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris abgerufen am 11.09.2014

Lehmorange. (2015). *PCM passiv Lehmbauplatte*. *20. Februar*. Retrieved from http://www.lehmorange.de/shop_de.php?wpf_shops_products_id=53&wpf_shops_products_group=3 abgerufen am 20.02.2015

Mendler, S., Odell, W., & Lazarus, M. A. (2006). *The HOK guidebook to Sustainable Design*. New Jersey, U.S.A: John Wiley&Sons.

mindmapping.com. (2015). *Die Theorie hinter den Mind Maps*. *15. Februar*. Retrieved from http://www.mindmapping.com/de/die-theorie-hinter-den-mind-maps.php abgerufen am 15.02.2015

Ministerium für ein lebenswertes Österreich. (2014). *Lärminfo Standort Kitzbühel*. Retrieved from http:

Oberwinter, L., Kovacic, I., & Suppin, R. (2013). BIM - gestützte Planungsprozesse. *LCM-Bau Symposium*.

ÖGNB, Ö. G. für N. B. (2015). *TQB Tool*. *02. Februar*. Retrieved from https://www.oegnb.net/zertifikat.htm?typ=dl abgerufen am 02.02.2015

ÖGNI, A. S. B. C. (2015). *Themenfelder*. *02. Februar*. Retrieved from http://www.ogni.at/de/soziokulturell abgerufen am 02.02.2015

OIB Richtlinie 3. (2011). *Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz*. Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.

OIB Richtlinie 6. (2011). *Energieeinsparung und Wärmeschutz*. Wien.

ÖNORM B 8110-3. (2012). *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse*. Wien.

ÖNORM B 8110-5. (2010). *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile*. Wien.

ÖNORM B 8110-6. (2014). *Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*. Wien.

ÖNORM B 8115-2. (2006). *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau*. Wien.

ÖNORM B 8115-3. (2005). *Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Teil 3: Raumakustik*. Wien.

ÖNORM EN 12464-1. (2011). *Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten - Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen*. Wien.

ÖNORM EN 13363-1. (2009). *Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen — Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades*. Wien.

ÖNORM EN 15251. (2007). *Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik*. *15251*. Wien.

ÖNORM EN ISO 7730. (2006). *Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit*. Wien.

ÖNORM H 5059. (2010). *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – Beleuchtungsenergiebedarf*. Wien.

Orth, A., & Wenzel, D. (n.d.). *Modellgestützte Versuchsplanung und Optimierung in ihrer Anwendung*. Retrieved from http://www.versuchsplanung.com/ abgerufen am 04.12.20014 14:45

Österreichisches Institur für Bautechnik. (2007). *Erläuternde Bemerkungen zu OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ und zum OIB-Leitfaden „Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“*. Wien.

Österreichisches Institut für Bautechnik. (2014). *Dokument zur Definition des Niedrigstenergiegebäudes und zur Festlegung von Zwischenzielen in einem „Nationalen Plan“*. Wien. Retrieved from http://www.oib.or.at/de/guidelines/richtlinie-6-nationaler-plan abgerufen am 05.01.2015

Recknagel, H., Sprenger, E., & Schramek, E.-R. (2009). *Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschließlich Warmwasser- und Kältetechnik*. Dortmund: Oldenbourg Industrieverlag München.

RICHTLINIE 2010/31/EU. (2010). *Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.* Brüssel: Europäischer Rat.

Schierz, C. (2006). *Der Mensch im farbigen Licht*. Bern: Schweizer Licht Gesellschaft und der lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, Österreichs und der Niederlande.

Schulmeister, M., & Weber, K. (2004). Diskussion Dosimetrischer Aspekte bei experimentellen Studien zur Lichtinduzierten Melatoninreduktion. *NIR 2004 Tagungsbericht*.

Settembrini, G., & Urs-Peter, M. (2014). *Das Klima als Entwurfsfaktor –Architektur und Energie bei Wohn- und Bürogebäuden*. Horw: Hochschule Luzern.

Steelcase. (2013). *360° Der neue IQ steigern sie ihren Innovations-Quotient. Ausgabe 7 Aktuelle Forschungen, Einblicke und Trends rund um den Arbeitsplatz* (Vol. Ausgabe 7). Grand Rapids.

Umweltbundesamt. (2013). *Anpassung auf EU-Ebene*. Retrieved from http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimafolgen-anpassung/anpassung-auf-eu-ebene abgerufen am 09.02.2015

Universität Klagenfurt. (n.d.). *Beiträge zur Philosophie: Poincare's Vierstufenmodell*. Retrieved from http://wwwu.uni-klu.ac.at/hstockha/neu/html/23phasen.html

Virtuvius. (25BC). *Vitruvii De architectura libri decem = Zehn Bücher über Architektur / übers. und mit Anm. vers. von Curt Fensterbusch* (Darmstadt.). Darmstadt: Primus Verlag.

Von Both, P., & Kohler, N. (2007). Ein prozessorientiertes Kooperationsmodell für eine anforderungsorientierte dynamische Unterstützung der Integralen Bauplanung. In *Vernetzt-kooperative Planungsprozesse im Konstruktiven Ingenieurbau.* Berlin, Heidelberg.

Walleczek, M. (2005). Outline Breakthrough Workshop 1 T5 Heathrow 2005. London.

Wiegand, J. (2005). *Handbuch Planungserfolg. Methoden, Zusammenarbeit und Management als integraler Prozess* (vdf Hochsc.). Zürich.

Wielnad, A., & Wallenburg, C. M. (2013). The influence of relational competencies on supply chain resilience: A relational view. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 43*, *No 4*.

wikipedia. (2014). *Resilienz II*. Retrieved from http://de.wikipedia.org/wiki/Resilienz_(oekosystem) abgerufen am 19.12.2014

wikipedia. (2015a). *Meter*. Retrieved from http://de.wikipedia.org/wiki/Meter abgerufen am 18.03.2015

wikipedia. (2015b). *Resilienz I*. Retrieved from http://de.wikipedia.org/wiki/Resilienz abgerufen am 20.01.2015

Wimmer, A., Pirker, G., Schnessl, E., Trapp, C., Schaumberger, H., & Klinger, M. (2012). Bewertung von Simulationsmodellen zur Brennverfahrensauslegung für die neue Generation von Großgasmotoren. In *10th International Symposium on Combustion Diagnostics*. Baden-Badeb.

Zimmermann, M. (1999). *Rationelle Energienutzung in Gebäuden - Handbuch der passiven Kühlung*.

16 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AFe	Fensterflächenanteil
2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
AH	Architektonische Handlung
AK	Akustische Behaglichkeit
AP	Arbeitspakete
arch.	architektonisch
AStV.	Arbeitsstättenverordnung
BAA	British Airport Authority
BC	vor Christus
BefEB	Befeuchtungsenergiebedarf
BelEB	Beleuchtungsenergiebedarf
BGF	Konditionierte Brutto-Grundfläche
BIM	Building Information Modeling
BP	Bauphysik
BSB	Betriebsstrombedarf
BT	Bauteilkühlung
CO_2	Kohlendioxid
COP	Coefficient of Performance
DIN	Deutsche Industrienorm
DIN	Deutsche Industrienorm
DoE	Design of Experiments
DUK	Deckenunterkante
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EEB	Endenergiebedarf
EN	Europäische Nation
EN	Europäische Normen
et al.	und alle
EU	Europäische Union
ff	und folgende
f_{GEE}	Gesamtenergieeffizienzfaktor
f_{HT}	Korrekturfaktor Heiztechnik

fK_T	Korrekturfaktor Kühltechnik
GKP	Gipskartonplatte
GOK	Gelände Oberkante
g-Wert	Gesamtenergiedurchlassgrad
HEB	Heizenergiebedarf
HGT	Heizgradtage
HHSB	Haushaltsstrombedarf
HTEB	Heiztechnikenergiebedarf
HWB	Heizwärmebedarf
HWB*	Heizwärmebedarf (gem. OIB Richtlinie 6)
i.d.g.F	in der geltenden Fassung
IDA-ICE	Indoor Climate and Energy, Simulationstool
IE	Integraler Entwurf
IP	Integrale Planung
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISC	Fraunhofer-Institut für Silicatforschung
ISO	Internationale Organisation für Normung
ITBK	Idealtypischer Baukörper
Kat	Kategorie
KB	Kühlbedarf
KB*	Außeninduzierter Kühlbedarf
KEB	Kühlenergiebedarf
KIGA	Kindergarten
KITA	Kindertagesstätte
KTEB	Kühltechnikenergiebedarf
lc	charakteristische Länge
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life-Cycle-Costing
L_{den}	Level day-evening-night /24 Stunden Durchschnittswert für den Lärmpegel
LED	light-emitting diode
LÜ	Lüftungskühlung
NO	Nordost
NWG	Nichtwohngebäuden
OB	Optische Behaglichkeit

ÖBB	Österreichische Bundesbahn
ÖGNB	Österreichische Gesellschaft für nachhaltiges Bauen
ÖGNI	Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ÖNORM	Österreichische Norm
Ori	Orientierung
p.	Page / Seite
PCM	Phasechancing Material
PEB	Primärenergiebedarf
PEB	Primärenergiebedarf
PMV	predicted Mean Vote
PPD	predicted percentage dissatisfied
R2	Determinierungskoeffizient
ref	Referenzklima
Rw_{res}	resultierendes Schalldämmmaß
SAM	System-Abgrenzungs-Methode
SB	Steckbrief
sk	Standortklima
SOG	Tiroler Stadt- und Ortsbildschutzgesetz
spi	Speichermasse innen
STB	Stahlbeton
TB	thermische Behaglichkeit
TBO	Tiroler Bauordnung
TGA	Technische Gebäudeausrüstung
TQB	Total Quality Building
TROG	Tiroler Raumordnungsgesetz
UVB	Ultraviolettbestrahlung
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
V	Konditioniertes Bruttovolumen
VT	Virtuelle Teamsitzung
WWWB	Warmwasserbedarf
z	Abminderungsfaktor für bewegliche Verschattung
ZT	Ziviltechniker

17 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Szenario des Stromverbrauches für Klimatisierung in Österreich (R. Haas et al., 2007, p. 26) 1
Abbildung 2: Organisatorischer Ablauf und Prozessdarstellung „integraler Entwurf“. 6
Abbildung 3: Zeitlicher Ablauf der Arbeit 7
Abbildung 4: Kosten-Zeit (Achhammer, 2013, p. 2) 10
Abbildung 5: Planungsprozess organisatorisch / Gesamtplanung (Achhammer, 2013, p. 28) 12
Abbildung 6: Gegenüberstellung kreativer Prozess - Planungsprozess 13
Abbildung 7: Darstellung unseres kreativen Prozesses 15
Abbildung 8: Ablauf der Entscheidungsschritte 19
Abbildung 9: Ausgangslage der Entscheidungsschrittmethode, Entwurfsaspekte (Kristallisationspunkte aus Phase 02 kreativer Prozess) 20
Abbildung 10: Architektonische Handlung 20
Abbildung 11: Farbliche Einordnung der Einzelkriterien Raum – Behaglichkeit - Energie 21
Abbildung 12: Ergebnisampel 22
Abbildung 13: Darstellung des Klimastandort in den sieben Temperaturzonen Österreichs (ÖNORM B 8110-6, 2014, p. 47) 24
Abbildung 14: Übersichtsplan mit eigener Ergänzung (Land Tirol, 2014) 26
Abbildung 15: Blick vom Baufeld nach Süden / Kitzbüheler Ache 27
Abbildung 16: Blick vom Baufeld Richtung Grundgrenze Süd / Ölbergbach 28
Abbildung 17: Bestandsfotos Achenweg, 6370 Kitzbühel, Tirol, Österreich 29
Abbildung 18: Lärmschutzkarte Österreich (Ministerium für ein lebenswertes Österreich, 2014) 32
Abbildung 19: Umfeldanalyse / Übersichtskarte mit eigener Ergänzung (Land Tirol, 2014) 34
Abbildung 20: Lageplan ZT Rieser/Bauer Kitzbühel eigene Darstellung 35
Abbildung 21: Typologie ITBK 36
Abbildung 22: Grundrisse ITBK 37
Abbildung 23: Perspektive ITBK Standort Österreich, Tirol, Kitzbühel, Achenweg Richtung Nord West 38
Abbildung 24: Auszug (ÖNORM EN ISO 7730, 2006) 46

Abbildung 25: Optimale operative Temperatur für PMV = 0 abhängig von Aktivität und Kleidung (nach ÖNORM EN ISO 7730) (Recknagel, Sprenger, & Schramek, 2009, p. 119) 48
Abbildung 26: zulässige operative Temperaturen (ÖNORM EN 15251, 2007, p. 27) 49
Abbildung 27: Einfluss von Temperatur und Feuchte auf die empfundene Qualität reiner Luft (Recknagel et al., 2009) 50
Abbildung 28: Melatonin-Suppression und subjektive Ermüdung in Abhängigkeit des Lichtspektrums (Schierz, 2006, p. 4) 53
Abbildung 29: Herzschlagrate und Körperkerntemperatur in Abhängigkeit des Lichtspektrums (Schierz, 2006) 53
Abbildung 30: Pumpenkennfeld Hoch-Effizienz-Pumpe, Bestimmung Betriebspunkt für „direct cooling“ 56
Abbildung 31: Pumpenkennfeld Standard Pumpe, Bestimmung Betriebspunkt für „direct cooling“ 57
Abbildung 32: detaillierte Pumpendaten der gewählten Pumpe 57
Abbildung 33: unterschiedliche Geothermie Wärmeanlagen (Quelle: geothermie.ch) 59
Abbildung 34: Temperaturen des ungestörten Erdreichs (Quelle: Energieagentur Nordbayern) 61
Abbildung 35: pro Nacht abgeführte Wärme bei einem Büro mit hoher Last (47W/m²) (Zimmermann, 1999) 64
Abbildung 36: Thermodynamische Eigenschaften, Vergleich Beton, Ziegel, Holz, Gipskartonplatten (Holzer, 2013, p. 4) 65
Abbildung 37: Betonkernaktivierung, unterschiedliche Raum-Oberflächentemperaturen (Quelle: P. Holzer) 65
Abbildung 38: Betonkernaktivierung, AUF und UNTER der ersten Bewehrungslage (Quelle: Uponor) 66
Abbildung 39: gerichtete operative Temperatur bei 30% AF-Anteil U-Wert 1,0 W/m²K 71
Abbildung 40: Grundriss ITBK mit verlegter Bauteilaktivierung 73
Abbildung 41: Falschfarben Darstellung der Lokalen Kühlung [W] 74
Abbildung 42: Monatsgrafik der Wärmebilanz in einer Zone (Stockwerk) 74
Abbildung 43: Wochengrafik der Wärme in einer Zone (Stockwerk) 75
Abbildung 44: 3-D Darstellung des Simulationsgebäudes ITBK 77
Abbildung 45: Grundriss des ITBK 77

Abbildung 46: Ablaufdiagramm Parameterübergabe 81
Abbildung 47: Entscheidungsbaum der technischen Systeme 83
Abbildung 48: OIB Anforderung für Nichtwohngebäude bis 2020 (Österreichisches Institut für Bautechnik, 2014)..... 91
Abbildung 49: Nutzenergievergleich Bürobau an unterschiedlichen Standorten [eigene Darstellung nach (Settembrini & Urs-Peter, 2014, p. 15) Abbildung 15] 95
Abbildung 50: Flächenbezogener Heizwärmebedarf des Bautypus Reihenhaus und Einfamilienhaus an fünf österreichischen Standorten [eigene Darstellung nach (Bointner et al., 2012, p. 76) Abbildung 32]..... 96
Abbildung 51: Generiertes Modell [eigene Darstellung nach (Adam, 2004, p. 4)] . 101
Abbildung 52: Ablaufschema statistische Versuchsplanung 102
Abbildung 53: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher Verschattungsstrategie 108
Abbildung 54: Drehung des Baukörpers in 22,5 Gradschritten 109
Abbildung 55: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher Orientierung des Baukörpers 109
Abbildung 56: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher Orientierung des Baukörpers und 60% Verglasungsanteil 110
Abbildung 57: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlichem Fensterflächenanteil 111
Abbildung 58: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Nord-Süd orientierten Basisvariante bei unterschiedlichem Fensterflächenanteil..... 111
Abbildung 59: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedliche Gesamtenergiedurchlassgrad 112
Abbildung 60: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedliche Gesamtenergiedurchlassgrad und 60% Fensterflächenanteil..... 113
Abbildung 61: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlichem U–Wert der Verglasung 114
Abbildung 62: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlichem U-Wert der Verglasung und 60% Fensterflächenanteil 114
Abbildung 63: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher Speichermasse 115
Abbildung 64: Flächenbezogener Nutzenergiebedarf der Basisvariante bei unterschiedlicher charakteristischer Länge 116
Abbildung 65: Darstellung eines Versuchsraumes (=Simulationsraumes) (Adam, 2004, p. 8) 117

Abbildung 66: Ausschnitt Ergebnisse Sensitivitätsanalyse 118
Abbildung 67: Ausschnitt Ergebnisse DoE Simulationsplan 118
Abbildung 68: Multiplikatoren der Zielgrößen-Funktionale 120
Abbildung 69: Modellqualität 121
Abbildung 70:Auswertungsschritte DoE Modells..... 122
Abbildung 71: Parameterbandbreite für den Optimierungsprozess 124
Abbildung 72: Optimierung für minimalen Kühlbedarf..... 124
Abbildung 73: Optimierung für Kühlbedarf ca. 25 kWh/m²a 124
Abbildung 74: Optimierung für Kühlbedarf ca. 35 kWh/m²a 124
Abbildung 75: Ablaufschema Auswertungsschritt 02 126
Abbildung 76: Zielgrößenentwicklung in Abhängigkeit des Fensterflächen-anteils bei mittelschwere Bauweise, Ug = 1,2 W/m²K und g = 54% 127
Abbildung 77: Zielgrößenentwicklung in Abhängigkeit des Fensterflächen-anteils bei schwere Bauweise, Ug = 1,2 W/m²K und g = 54% 127
Abbildung 78: Zielgrößenentwicklung bei AFe = 30%, mittelschwerer Bauweise und einer charakteristischen Länge von 2,7 m in Abhängigkeit vom Ug–Wert und dem g–Wert der Verglasung 128
Abbildung 79: Zielgrößenentwicklung bei AFe = 60%, mittelschwerer Bauweise und einer charakteristischen Länge von 2,7 m in Abhängigkeit vom Ug–Wert und dem g–Wert der Verglasung 129
Abbildung 80: Zielgrößenentwicklung bei AFe = 30%, schwerer Bauweise und einer charakteristischen Länge von 2,7 m in Abhängigkeit vom Ug–Wert und dem g–Wert der Verglasung 129
Abbildung 81: Zielgrößenentwicklung bei AFe = 60%, schwerer Bauweise und einer charakteristischen Länge von 2,7 m in Abhängigkeit vom Ug–Wert und dem g–Wert der Verglasung 130
Abbildung 82: Ziele des Arbeitspaketes 03 134
Abbildung 83: Schema der Methode 147
Abbildung 84: Übersicht Systemkarten Methode 150
Abbildung 85: Systemkarte Kat I 152
Abbildung 86: Systemkarte Kat II 153
Abbildung 87: Übersicht der Systemkarten Kat II zu Anpassungsfähigkeit..... 154
Abbildung 88: Systemkarte Kat II AP1 155
Abbildung 89: Systemkarte Kat II AP2 155
Abbildung 90: Systemkarte Kat II AP3 156
Abbildung 91: Systemkarte Kat II AP4 156

Abbildung 92: Systemkarte Kat II AP5 156
Abbildung 93: Entwurf Grundriss Lage der Installationsebenen 157
Abbildung 94: Entwurf Schnitt Lage der Installationsebenen 157
Abbildung 95: Systemkarte Kat II AP6 158
Abbildung 96: Systemkarte Kat II AP7 158
Abbildung 97: Systemkarte Kat II AP8 159
Abbildung 98: Systemkarte Kat II AP9 159
Abbildung 99: Cardon Cactus (Hatcher, 2015) 160
Abbildung 100: Entwurf Blick von Süden 161
Abbildung 101: Entwurf Blick von Nordwest 161
Abbildung 102: Systemkarte Kat II AP10 162
Abbildung 103: Systemkarte Kat II AP11 164
Abbildung 104: Systemkarte Kat II AP12 164
Abbildung 105: Systemkarte Kat II AP13 167
Abbildung 106: Systemkarte Kat II AP14 167
Abbildung 107: Systemkarte Kat II AP15 167
Abbildung 108: Systemkarte Kat II AP16 168
Abbildung 109: Entwurf Nutzung Geschäft / Büro groß / Büro klein 169
Abbildung 110: Entwurf Nutzung Restaurant / Hotel 170
Abbildung 111: Entwurf Nutzung Geschäft / KIGA / Fitness / Büro 171
Abbildung 112: Entwurf Nutzung Geschäft / Seminar / Bildung 172
Abbildung 113: Entwurf Nutzung Geschäft / Ordination / Pflege 173
Abbildung 114: Systemkarte Kat II AP17 174
Abbildung 115: Verzögerung der Temperaturspitzen / Einfluss der Speichermasse Quelle: Europaean Concrete Platform, 2007, eigene Darstellung 174
Abbildung 116: Systemkarte Kat II AP18 176
Abbildung 117: Wessex Water Operations Center in Bath, England (Hofer et al., 2009, p. 10) 176
Abbildung 118: Systemkarte Kat II AP19 177
Abbildung 119: Hohlraumboden: Estrich auf Trapezblech für Leitungsführung (Hofer et al., 2009, p. 12) 177
Abbildung 120: Systemkarte Kat II AP20 177
Abbildung 121: Systemkarte Kat II AP21 178
Abbildung 122: Systemkarte Kat II AP22 178
Abbildung 123: Systemkarte Kat II AP23 179
Abbildung 124: Systemkarte Kat II AP24 179

Abbildung 125: Systembild aus Broschüre GLASSX (GLASSX AG, 2005, p. 7) ... 181
Abbildung 126: Technische Beschreibung GLASSX (GLASSX AG, 2005, p. 9).... 182
Abbildung 127: Produktangabe Lehmorange PCM passiv (Lehmorange, 2015) ... 183
Abbildung 128: Systemkarte Kat II AP25 ... 185
Abbildung 129: Systemkarte Kat II AP26 ... 189
Abbildung 130: Relevanz der Wechselwirkung aus der Funktionsgleichung ... 192
Abbildung 131: Auszug Entwurfsaspekte ... 194
Abbildung 132: Systemkarte architektonische Handlung - Atrium ... 195
Abbildung 133: Baukörperentwicklung Atrium ... 195
Abbildung 134: Einordnung Atrium ... 196
Abbildung 135: Zielgrößenentwicklung in Abhängigkeit des lc und AF bei mittelschwere Bauweise, Ug = 1,2 W/m²K und g = 54% ... 197
Abbildung 136: Zielgrößenentwicklung in Abhängigkeit des Fensterflächen-anteils bei mittelschwere Bauweise, Ug = 1,2 W/m²K und g = 54% ... 198
Abbildung 137: Einordnung Atrium & Sonnensegel ... 199
Abbildung 138: Veränderung des ITBK durch Atrien perspektivische Darstellung 199
Abbildung 139: Baukörperentwicklung Kaktus ... 201
Abbildung 140: Kaktus Elementfassade perspektivische Darstellung ... 202
Abbildung 141: Baukörperentwicklung Kaktus plus ... 203
Abbildung 142: Weiterentwicklung Elementfassade Kaktus durch PCM Elemente und Lüftungsflügel ... 204
Abbildung 143: Baukörperentwicklung Passage ... 205
Abbildung 144: Perspektivische Darstellung Baukörper mit Passage ... 206
Abbildung 145: Baukörperentwicklung Passage geschlossen ... 207
Abbildung 146: Grundriss zeigt die Einarbeitung der drei architektonischen Handlungen ... 208
Abbildung 147: Baukörper zeigt die drei architektonischen Handlungen perspektivische Darstellung ... 209

18 TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Umrechnung Beleuchtungsenergiebedarf in spezifische Beleuchtungsleistung ... 72
Tabelle 2: Energiebedarf Bauteilkühlung ... 76
Tabelle 3: Energiebedarf ideales Kühlelement ... 78
Tabelle 4: Energiebedarf Kühlung durch Lüftung ... 78

19 DIAGRAMMVERZEICHNIS

Diagramm 1: Vergleich der mittleren Monatstemperaturen am Standort Kitzbühel und am Referenzstandort 25
Diagramm 2: Vergleich der horizontalen Strahlungssummen am Standort Kitzbühel und am Referenzstandort 25
Diagramm 3: Temperaturverlauf des Energiebrunnens (Beispiel ITBK ein Geschoß) 62
Diagramm 4: Fenster Oberflächentemperaturen bei 30% AF-Anteil U-Wert 1,7 W/m²K 69
Diagramm 5: Fenster Oberflächentemperaturen bei 30% AF-Anteil U-Wert 1,0 W/m²K 69
Diagramm 6: Fenster Oberflächentemperaturen bei 30% AF-Anteil U-Wert 0,6 W/m²K 70
Diagramm 7: Beispiel operative Temperaturen, Sommer, Kühlung durch Lüftung, 4-F. LW 79
Diagramm 8: Beispiel operative Temperaturen, Sommer, Kühlung durch Lüftung, 6-F. LW 80

20 ANHANGVERZEICHNIS

Anhang A: Ergebnisse der Variantenuntersuchung für das DoE-Modell

Anhang B: 2D-Parameterdarstellung für den Entwurfsprozess (Auszug)

ANHANG A:

ERGEBNISSE DER VARIANTENUNTERSUCHUNG FÜR DAS DOE-MODELL

Nr	V	O	lc	AF	g-Wert	Uw	spi	HWB sk	KB sk	HWB*ref	KB*	HWB*anf	KB* anf
-	-	°	m	%	%	W/m²K	Wh/m³	kWh/m²a	kWh/m²a	kWh/m³a	kWh/m³a	kWh/m³a	kWh/m³a
1	V_BV_O_45	45	3,13	30	54	1,2	10	33,58	32,27	8,03	0,66	10,77	1,00
2	V_BV_O_67,5	67,5	3,13	30	54	1,2	10	33,93	32,93	8,08	0,73	10,77	1,00
3	V_BV_O_90	90	3,13	30	54	1,2	10	34,02	32,83	8,1	0,71	10,77	1,00
4	V_BV_O_112,5	112,5	3,13	30	54	1,2	10	33,93	32,93	8,08	0,73	10,77	1,00
5	V_BV_O_135	135	3,13	30	54	1,2	10	33,58	32,27	8,03	0,66	10,77	1,00
6	V_BV_O_157,5	157,5	3,13	30	54	1,2	10	33,24	31,15	7,97	0,52	10,77	1,00
7	V_BV_O_180	180	3,13	30	54	1,2	10	32,97	30,02	7,92	0,4	10,77	1,00
8	V_BV_O_202,5	202,5	3,13	30	54	1,2	10	33,24	31,15	7,97	0,52	10,77	1,00
9	V_BV_O_225	225	3,13	30	54	1,2	10	33,58	32,27	8,03	0,66	10,77	1,00
10	V_BV_AF_60_O_45	45	3,13	60	54	1,2	10	41,84	43,61	9,92	3,24	10,77	1,00
11	V_BV_AF_60_O_90	90	3,13	60	54	1,2	10	42,63	44,74	10,07	3,39	10,77	1,00
12	V_BV_AF_60_O_135	135	3,13	60	54	1,2	10	41,84	43,61	9,92	3,24	10,77	1,00
13	V_BV_AF_60_O_180	180	3,13	60	54	1,2	10	40,59	39,17	9,72	2,36	10,77	1,00
14	V_BV_AF_60_O_225	225	3,13	60	54	1,2	10	41,84	43,61	9,92	3,24	10,77	1,00
15	V_BV_lc_2,1	45	2,1	30	54	1,2	10	43,56	27,58	10,14	0,47	13,66	1,00
16	V_BV_lc_2,35	45	2,35	30	54	1,2	10	40,14	29	9,43	0,52	12,51	1,00
17	V_BV_lc_2,5	45	2,5	30	54	1,2	10	38,48	29,75	9,07	0,55	12,07	1,00
18	V_BV_lc_3,0	45	3	30	54	1,2	10	34,44	31,79	8,21	0,64	11	1,00
19	V_BV_lc_3,13	45	3,13	30	54	1,2	10	33,58	32,27	8,03	0,66	10,77	1,00
20	V_BV_lc_3,5	45	3,5	30	54	1,2	10	31,46	33,52	7,57	0,73	10,19	1,00
21	V_BV_lc_4,0	45	4	30	54	1,2	10	29,33	34,87	7,11	0,8	9,61	1,00
22	V_BV_AF_00	45	3,13	0	54	1,2	10	27,05	21,91	6,57	0	10,77	1,00
23	V_BV_AF_20	45	3,13	20	54	1,2	10	31,08	28,72	7,46	0,16	10,77	1,00
24	V_BV_AF_30	45	3,13	30	54	1,2	10	33,58	32,27	8,03	0,66	10,77	1,00
25	V_BV_AF_40	45	3,13	40	54	1,2	10	36,24	35,94	8,63	1,4	10,77	1,00
26	V_BV_AF_50	45	3,13	50	54	1,2	10	39,01	39,73	9,27	2,27	10,77	1,00
27	V_BV_AF_60	45	3,13	60	54	1,2	10	41,84	43,61	9,92	3,24	10,77	1,00
28	V_BV_AF_70	45	3,13	70	54	1,2	10	44,66	47,59	10,59	4,26	10,77	1,00
29	V_BV_AF_80	45	3,13	80	54	1,2	10	47,54	51,65	11,28	5,33	10,77	1,00
30	V_BV_AF_90	45	3,13	90	54	1,2	10	50,48	55,79	11,97	6,44	10,77	1,00
31	V_BV_AF_100	45	3,13	100	54	1,2	10	53,48	60,01	12,68	7,59	10,77	1,00
32	V_BV_O_90_AF_00	90	3,13	0	54	1,2	10	27,05	21,91	6,57	0	10,77	1,00
33	V_BV_O_90_AF_30	90	3,13	20	54	1,2	10	34,02	32,83	8,1	0,71	10,77	1,00
34	V_BV_O_90_AF_40	90	3,13	40	54	1,2	10	36,84	36,69	8,73	1,48	10,77	1,00
35	V_BV_O_90_AF_60	90	3,13	60	54	1,2	10	42,63	44,74	10,07	3,39	10,77	1,00
36	V_BV_O_90_AF_80	90	3,13	80	54	1,2	10	48,59	53,16	11,47	5,57	10,77	1,00
37	BV_O_90_AF_100	90	3,13	100	54	1,2	10	54,78	61,9	12,92	7,9	10,77	1,00
38	V_BV_g_0,35	45	3,13	30	35	1,2	10	37,71	25,49	8,86	0,12	10,77	1,00
39	V_BV_g_0,4	45	3,13	30	40	1,2	10	36,54	27,23	8,63	0,21	10,77	1,00
40	V_BV_g_0,45	45	3,13	30	45	1,2	10	35,44	28,97	8,41	0,34	10,77	1,00
41	V_BV_g_0,5	45	3,13	30	50	1,2	10	34,38	30,71	8,19	0,49	10,77	1,00
42	V_BV_g_54	45	3,13	30	54	1,2	10	33,58	32,27	8,03	0,66	10,77	1,00
43	V_BV_g_0,6	45	3,13	30	60	1,2	10	32,43	34,66	7,79	0,96	10,77	1,00
44	V_BV_AF_60_g_0,35	45	3,13	60	35	1,2	10	49,28	30,41	11,4	1,02	10,77	1,00
45	V_BV_AF_60_g_0,4	45	3,13	60	40	1,2	10	47,12	33,95	10,98	1,5	10,77	1,00
46	V_BV_AF_60_g_0,45	45	3,13	60	45	1,2	10	45,11	35,12	10,58	2,05	10,77	1,00
47	V_BV_AF_60_g_0,5	45	3,13	60	50	1,2	10	43,26	40,53	10,21	2,66	10,77	1,00
48	V_BV_AF_60_g_0,54	45	3,13	60	54	1,2	10	41,84	43,61	9,92	3,24	10,77	1,00
49	V_BV_AF_60_g_0,45	45	3,13	60	60	1,2	10	39,53	48,38	9,51	4,18	10,77	1,00
50	V_BV_Uw_0,6	45	3,13	30	54	0,6	10	23,26	39,25	5,84	1,01	10,77	1,00
51	V_BV_Uw_0,8	45	3,13	30	54	0,8	10	26,63	39,69	6,54	0,91	10,77	1,00
52	V_BV_Uw_1,0	45	3,13	30	54	1	10	30,1	34,38	7,27	0,77	10,77	1,00
53	V_BV_Uw_1,2	45	3,13	30	54	1,2	10	33,58	32,27	8,03	0,66	10,77	1,00
54	V_BV_Uw_1,4	45	3,13	30	54	1,4	10	37,14	30,39	8,79	0,58	10,77	1,00
55	V_BV_Uw_1,7	45	3,13	30	54	1,7	10	42,63	27,95	9,95	0,48	10,77	1,00
56	V_BV_AF_60_Uw_0,6	45	3,13	60	54	0,6	10	21,94	57,83	5,67	4,95	10,77	1,00
57	V_BV_AF_60_Uw_0,8	45	3,13	60	54	0,8	10	28,11	52,09	7,04	4,25	10,77	1,00
58	V_BV_AF_60_Uw_1,0	45	3,13	60	54	1	10	34,72	47,48	8,46	3,69	10,77	1,00
59	V_BV_AF_60_Uw_1,2	45	3,13	60	54	1,2	10	41,84	43,61	9,92	3,24	10,77	1,00
60	V_BV_AF_60_Uw_1,4	45	3,13	60	54	1,4	10	48,78	40,36	11,41	2,87	10,77	1,00
61	V_BV_AF_60_Uw_1,7	45	3,13	60	54	1,7	10	59,63	36,4	13,71	2,46	10,77	1,00
62	V_BV_Sp_L	45	3,13	30	54	1,2	10	33,58	32,27	8,03	0,66	10,77	1,00
63	V_BV_Sp_M	45	3,13	30	54	1,2	20	32	22,51	7,78	0,31	10,77	1,00
64	V_BV_Sp_S	45	3,13	30	54	1,2	30	31,5	17,12	7,71	0,26	10,77	1,00
65	V_BV_AF_60_Sp_L	45	3,13	60	54	1,2	10	41,94	43,61	9,92	3,24	10,77	1,00
66	V_BV_AF_60_Sp_M	45	3,13	60	54	1,2	20	38,8	34,57	9,46	2,31	10,77	1,00
67	V_BV_AF_60_Sp_S	45	3,13	60	54	1,2	30	37,88	23,16	9,31	1,83	10,77	1,00

Tabelle 1: Ergebnisdarstellung der Sensitivitätsanalyse

Nr	V	O	Ic	AF	g-Wert	Uw	spi	HWB sk	KB sk	HWB*ref	KB*	HWB*anf	KB* anf
68	-	45	3,13	0	54	1,2	10	27,05	21,91	6,57	0	10,77	1,00
69	-	45	3,13	0	54	1,2	10	27,05	21,91	6,57	0	10,77	1,00
70	-	45	3,13	30	54	0,6	10	23,26	39,25	5,85	1,01	10,77	1,00
71	-	45	3,13	30	54	1,7	10	42,63	27,95	9,95	0,48	10,77	1,00
72	-	0	2	20	35	0,8	10	40,82	20,3	9,47	0,01	13,66	1,00
73	-	180	4,5	20	35	0,8	10	22,77	30	5,66	0,01	9,16	1,00
74	-	180	4,5	20	35	0,8	10	22,77	30	5,66	0,01	9,16	1,00
75	-	0	2	100	35	0,8	10	50,79	38,38	11,92	2,59	13,66	1,00
76	-	0	4,5	100	35	0,8	10	34,18	46,21	8,43	3,45	9,16	1,00
77	-	180	4,5	100	35	0,8	10	34,18	46,21	8,43	3,45	9,16	1,00
78	-	180	2	20	60	0,8	10	36,43	25,2	8,62	0,1	13,66	1,00
79	-	0	4,5	20	60	0,8	10	19,26	36,37	4,96	0,26	9,16	1,00
80	-	0	4,5	20	60	0,8	10	19,26	36,37	4,96	0,26	9,16	1,00
81	-	0	2	100	60	0,8	10	36,36	66,1	9,23	8,46	13,66	1,00
82	-	0	2	100	60	0,8	10	36,36	66,1	9,23	8,46	13,66	1,00
83	-	180	2	100	60	0,8	10	36,36	66,1	9,23	8,46	13,66	1,00
84	-	180	4,5	100	60	0,8	10	22,48	77,59	6,15	10,27	9,16	1,00
85	-	0	2	20	35	1,4	10	48,56	17,91	11,05	0,01	13,66	1,00
86	-	180	2	20	35	1,4	10	48,56	17,91	11,05	0,01	13,66	1,00
87	-	0	4,5	20	35	1,4	10	29,9	25,21	7,2	0,01	9,16	1,00
88	-	180	4,5	20	35	1,4	10	29,9	25,21	7,2	0,01	9,16	1,00
89	-	180	2	100	35	1,4	10	89,18	29,02	19,73	1,73	13,66	1,00
90	-	0	4,5	100	35	1,4	10	70,53	32,6	15,98	2,03	9,16	1,00
91	-	180	2	20	60	1,4	10	43,88	22,35	10,15	0,08	13,66	1,00
92	-	180	4,5	20	60	1,4	10	26,15	30,92	6,43	0,17	9,16	1,00
93	-	0	2	100	60	1,4	10	70,47	51,09	16,41	6,14	13,66	1,00
94	-	0	4,5	100	60	1,4	10	53,89	57,02	12,93	7,04	9,16	1,00
95	-	180	4,5	100	60	1,4	10	53,89	57,02	12,93	7,04	9,16	1,00
96	-	0	4,5	100	43,33	0,8	10	29,64	55,96	7,56	5,46	9,16	1,00
97	-	0	3,67	100	35	0,8	10	37,21	44,52	9,05	3,26	9,99	1,00
98	-	180	2	20	43,33	0,8	10	39,33	21,86	9,18	0,02	13,66	1,00
99	-	180	2	100	43,33	1,4	10	82,28	35,68	18,51	2,91	13,66	1,00
100	-	180	2,83	100	35	0,8	10	42,11	42,06	10,08	2,98	11,32	1,00
101	-	180	3,67	100	35	1,4	10	73,92	31,85	16,66	1,97	9,99	1,00
102	-	180	3,67	100	60	0,8	10	24,94	75,18	6,69	9,89	9,99	1,00
103	-	120	2	20	35	0,8	10	41,16	21,39	9,53	0,02	13,66	1,00
104	-	120	2	100	35	1,4	10	90,58	33,64	20,03	2,65	13,66	1,00
105	-	120	4,5	100	60	1,4	10	56,94	67,71	13,45	9,46	9,16	1,00
106	-	180	2	20	60	1,4	20	42,1	14,61	0,92	0,01	13,66	1,00
107	-	0	4,5	20	60	1,4	20	24,78	18,98	6,24	0,06	9,16	1,00
108	-	0	2	100	51,67	1,4	20	70,61	28,75	16,5	3,09	13,66	1,00
109	-	0	4,5	100	51,67	0,8	20	22,41	56,65	6,2	5,65	9,16	1,00
110	-	0	2,83	20	35	0,8	20	30,1	14,58	7,33	0	11,33	1,00
111	-	180	2	73,33	35	0,8	20	44,26	23,15	10,55	0,7	13,66	1,00
112	-	180	4,5	100	43,33	1,4	20	59,9	27,58	14,11	2,43	9,16	1,00
113	-	180	3,67	20	35	1,4	20	31,98	14,18	7,73	0	9,99	1,00
114	-	180	3,67	20	60	0,8	20	20,96	20,54	5,42	0,1	9,99	1,00
115	-	180	2,83	100	60	1,4	20	56,04	39,55	13,61	5,29	11,32	1,00
116	-	60	2	100	35	0,8	20	49,8	33,72	11,72	2,94	13,66	1,00
117	-	60	4,5	100	35	1,4	20	68,48	25,9	15,69	1,09	9,16	1,00
118	-	120	4,5	100	60	0,8	20	22,37	81,12	6,05	9,16	9,97	1,00
119	-	180	2	20	35	0,8	30	39,1	8,87	9,26	0	13,66	1,00
120	-	0	4,5	20	35	0,8	30	21,48	17,28	5,5	0	9,16	1,00
121	-	180	4,5	100	35	0,8	30	30,23	24,62	7,78	2,02	9,16	1,00
122	-	0	2	20	60	0,8	30	34,59	12,13	8,36	0	13,66	1,00
123	-	0	2	20	60	0,8	30	34,59	12,13	8,36	0	13,66	1,00
124	-	180	4,5	20	60	0,8	30	17,72	21,72	4,73	0,14	9,16	1,00
125	-	180	4,5	20	60	0,8	30	17,72	21,72	4,73	0,14	9,16	1,00
126	-	180	2	100	60	0,8	30	30,42	42,21	8,16	5,26	13,66	1,00
127	-	0	4,5	100	60	0,8	30	17,65	46,37	5,31	6,83	9,16	1,00
128	-	0	2	20	35	1,4	30	46,62	6,7	10,81	0	13,66	1,00
129	-	180	2	20	35	1,4	30	46,62	6,7	10,81	0	13,66	1,00
130	-	180	2	100	35	1,4	30	82,96	12,12	18,8	0,55	13,66	1,00
131	-	0	4,5	100	35	1,4	30	65,13	15,97	15,13	0,76	9,16	1,00
132	-	0	2	20	60	1,4	30	41,66	9,5	9,87	0	13,66	1,00
133	-	0	4,5	20	60	1,4	30	24,38	17,17	6,18	0,03	9,16	1,00
134	-	180	2	100	60	1,4	30	62,45	30	15,01	3,98	13,66	1,00
135	-	0	4,5	100	60	1,4	30	46,36	36,77	11,66	4,53	9,16	1,00
136	-	180	4,5	100	60	1,4	30	46,36	36,77	11,66	4,53	9,16	1,00
137	-	0	2	100	43,33	0,8	30	40,04	26,9	10,03	2,31	13,66	1,00
138	-	0	2	100	43,33	1,4	30	75,41	17,22	17,42	1,33	13,66	1,00
139	-	0	2	73,33	35	1,4	30	71,72	14,65	16,23	0,35	13,66	1,00
140	-	0	4,5	20	43,33	1,4	30	27,16	14,5	6,74	0	9,16	1,00
141	-	0	4,5	73,33	35	0,8	30	27,06	22,02	6,96	1,08	9,16	1,00
142	-	0	3,67	20	35	0,8	30	24,63	15,35	6,19	0	9,99	1,00
143	-	0	2,83	100	35	1,4	30	73,58	14,19	16,89	0,65	11,33	1,00
144	-	0	2,83	100	60	0,8	30	23,54	43,8	6,65	6,03	11,33	1,00
145	-	0	3,67	100	60	1,4	30	49,17	35,79	12,26	4,44	9,99	1,00
146	-	180	2	20	43,33	0,8	30	37,51	9,9	8,95	0	13,66	1,00

Nr	V	O	lc	AF	g-Wert	Uw	spi	HWB sk	KB sk	HWB*ref	KB*	HWB*anf	KB* anf
147	-	180	2	100	51,67	0,8	30	34,89	33,98	9,04	3,64	13,66	1,00
148	-	180	4,5	20	51,67	1,4	30	25,75	15,76	6,46	0,01	9,16	1,00
149	-	180	4,5	100	43,33	0,8	30	25,46	31,33	6,83	3,44	9,16	1,00
150	-	180	4,5	73,33	35	1,4	30	52,82	13,29	12,4	0,28	9,16	1,00
151	-	180	4,5	73,33	60	1,4	30	38,66	27,15	9,75	2,37	9,16	1,00
152	-	180	2,83	20	35	1,4	30	36,94	9,63	8,81	0	11,33	1,00
153	-	180	2,83	20	60	0,8	30	25,65	16,46	6,45	0,03	11,33	1,00
154	-	180	3,67	100	35	0,8	30	32,99	23,06	8,38	1,83	9,99	1,00
155	-	120	2	20	60	1,4	30	42,39	10,84	9,98	0,01	13,66	1,00
156	-	60	2	100	35	0,8	30	48,63	25,29	11,55	2	13,66	1,00
157	-	120	2,00	100	60	1,4	30	66,41	39,56	15,65	6,04	13,66	1,00
158	-	120	4,50	20	35	0,8	30	21,92	18,31	5,57	0	9,16	1,00
159	-	60	4,50	20	35	1,4	30	29,07	14,18	7,1	0	9,16	1,00
160	-	120	4,50	100	35	1,4	30	67,4	20,62	15,49	1,45	9,16	1,00
161	-	60	4,50	100	60	0,8	30	21,47	55,87	5,87	6,75	9,16	1,00
162	-	90	3,25	60	47,5	1,1	30	37,3	21,94	9,09	1,51	10,57	1,00

Tabelle 2: Ergebnisdarstellung des Simulationsplanes

ANHANG B:

2D-PARAMETERDARSTELLUNG FÜR DEN ENTWURFSPROZESS (AUSZUG)

Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m³K]	g [%]	Ug[W/m²K]	AFe [%]
45	2,7	20	35-60	0,8-1,4	30 - 100

Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m³K]	g [%]	Ug[W/m²K]	AFe [%]
45	2,7	30	35-60	0,8-1,4	30 - 100

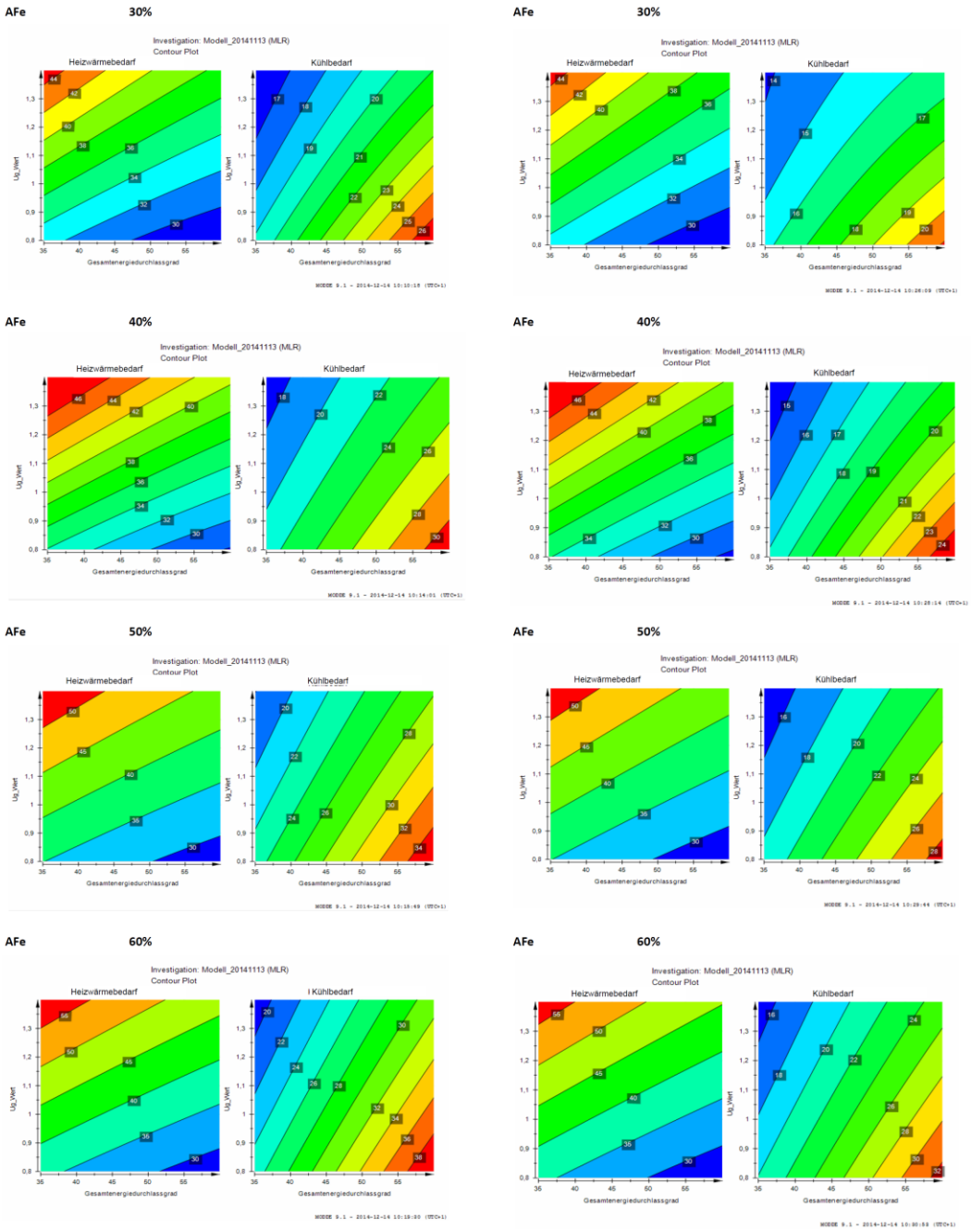
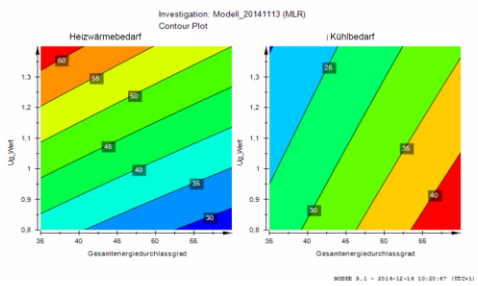


Abbildung 1: 2D Parameterdarstellung (g-Wert und U-Wert) für unterschiedliche Fensterflächenanteile (30% - 60%) für ein lc von 2,7m

Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m²K]	g [%]	Ug[W/m²K]	AFe [%]
45	2,7	20	35-60	0,8-1,4	30 - 100

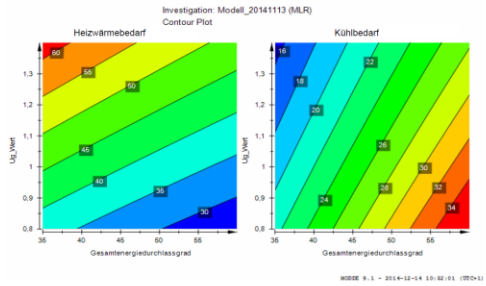
AFe 70%



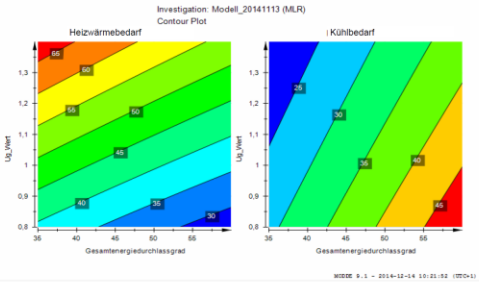
Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m²K]	g [%]	Ug[W/m²K]	AFe [%]
45	2,7	30	35-60	0,8-1,4	30 - 100

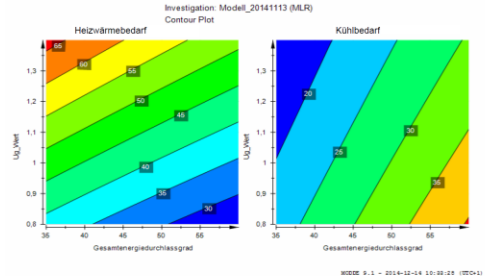
AFe 70%



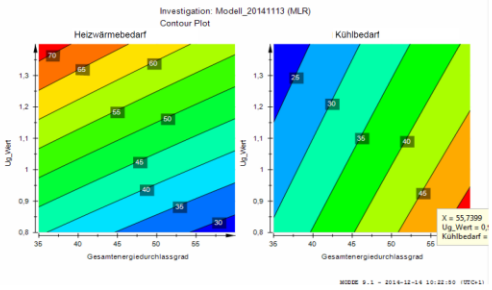
AFe 80%



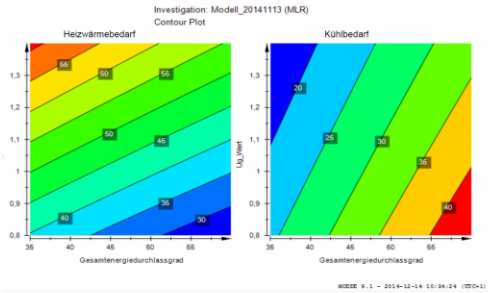
AFe 80%



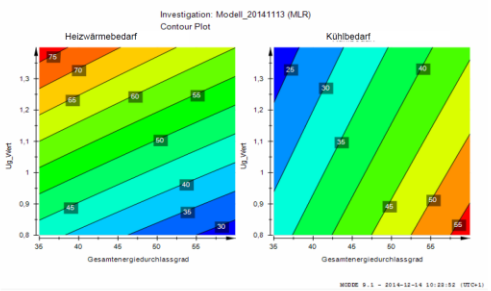
AFe 90%



AFe 90%



AFe 100%



AFe 100%

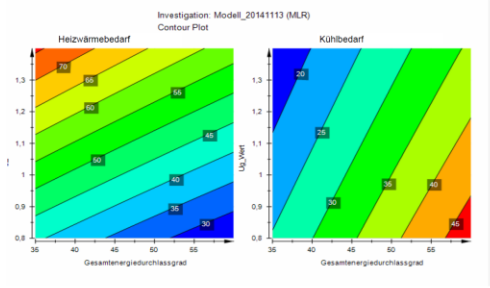


Abbildung 2: 2D Parameterdarstellung (g-Wert und U-Wert) für unterschiedliche Fensterflächenanteile (70% - 100%) für ein lc von 2,7m

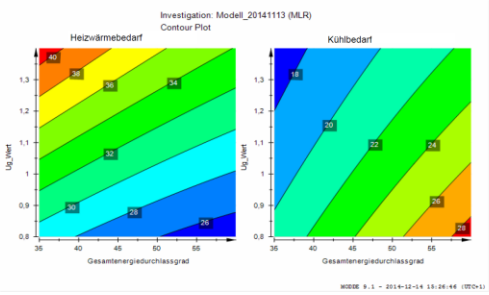
Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m³K]	g [%]	Ug[W/m²K]	AFe [%]
45	3,13	20	35-60	0,8-1,4	30 - 100

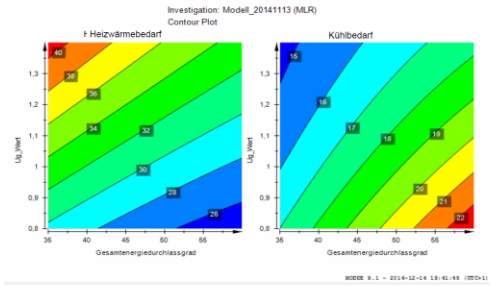
Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m³K]	g [%]	Ug[W/m²K]	AFe [%]
45	3,13	30	35-60	0,8-1,4	30 - 100

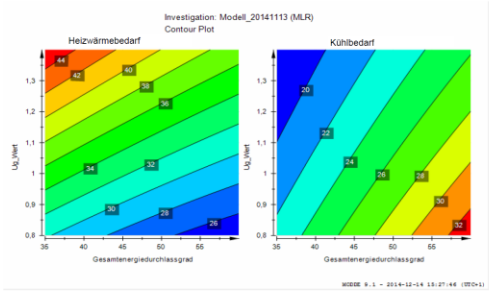
AFe 30%



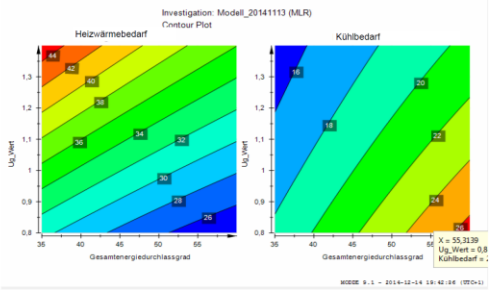
AFe 30%



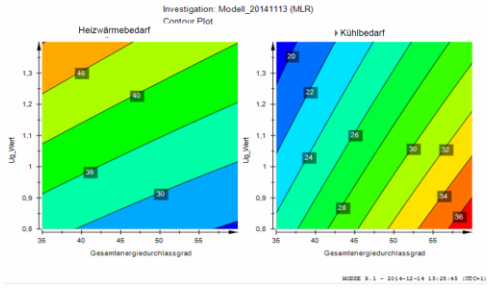
AFe 40%



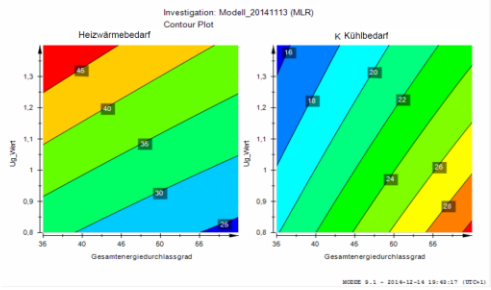
AFe 40%



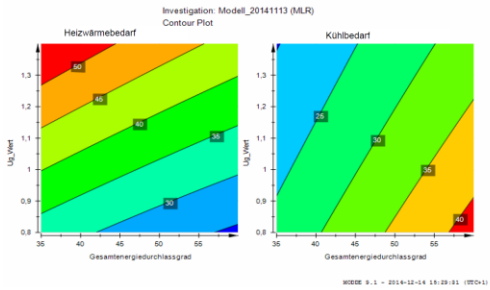
AFe 50%



AFe 50%



AFe 60%



AFe 60%

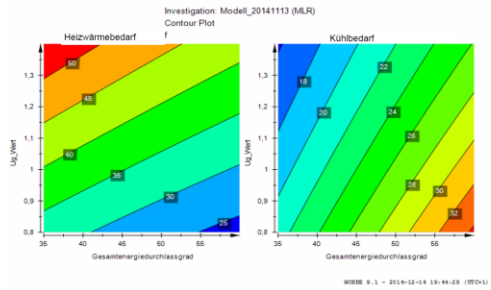
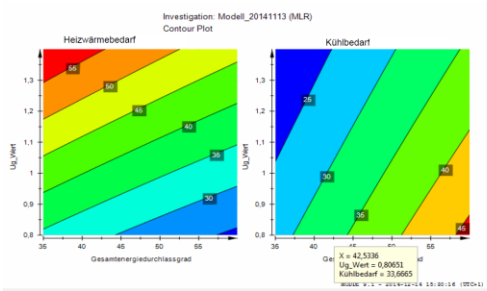


Abbildung 3: 2D Parameterdarstellung (g-Wert und U-Wert) für unterschiedliche Fensterflächenanteile (30% - 60%) für ein lc von 3,13 m

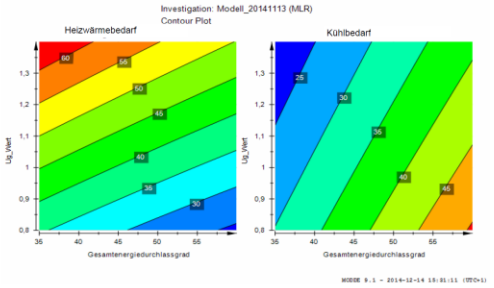
Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m²K]	g [%]	Ug[W/m²K]	AFe [%]
45	3,13	20	35-60	0,8-1,4	30 - 100

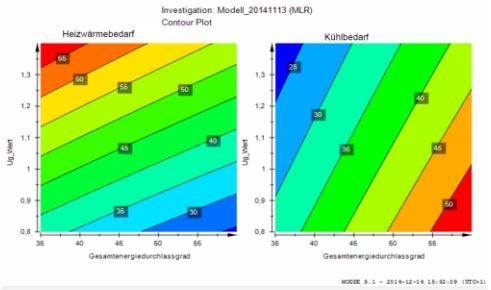
AFe 70%



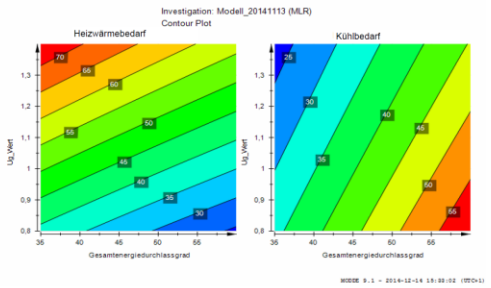
AFe 80%



AFe 90%



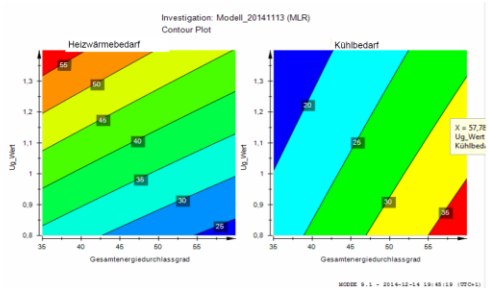
AFe 100%



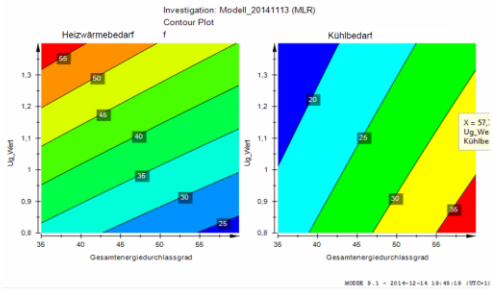
Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m²K]	g [%]	Ug[W/m²K]	AFe [%]
45	3,13	30	35-60	0,8-1,4	30 - 100

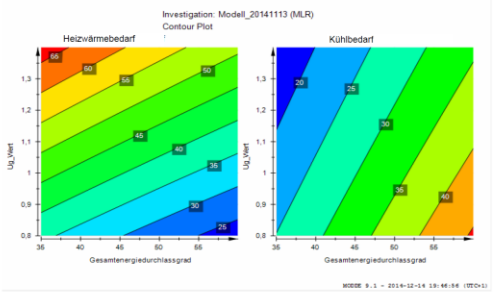
AFe 70%



AFe 80%



AFe 90%



AFe 100%

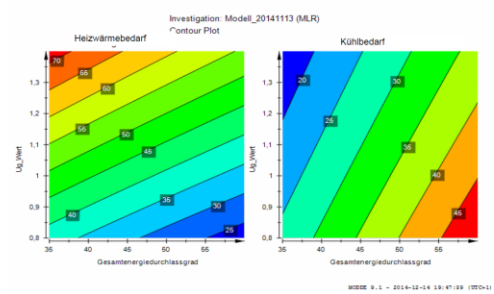


Abbildung 4: 2D Parameterdarstellung (g-Wert und U-Wert) für unterschiedliche Fensterflächenanteile (70% - 100%) für ein lc von 3,13 m

Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m³K]	g [%]	Ug[w/m²K]	AFe [%]
45	2,5-4	20	54	1,0-1,4	0 - 100

Parameter

ori [°]	lc [m]	spi [Wh/m³K]	g [%]	Ug[w/m²K]	AF [%]
45	2,5-4	30	54	1,0-1,4	0 - 100

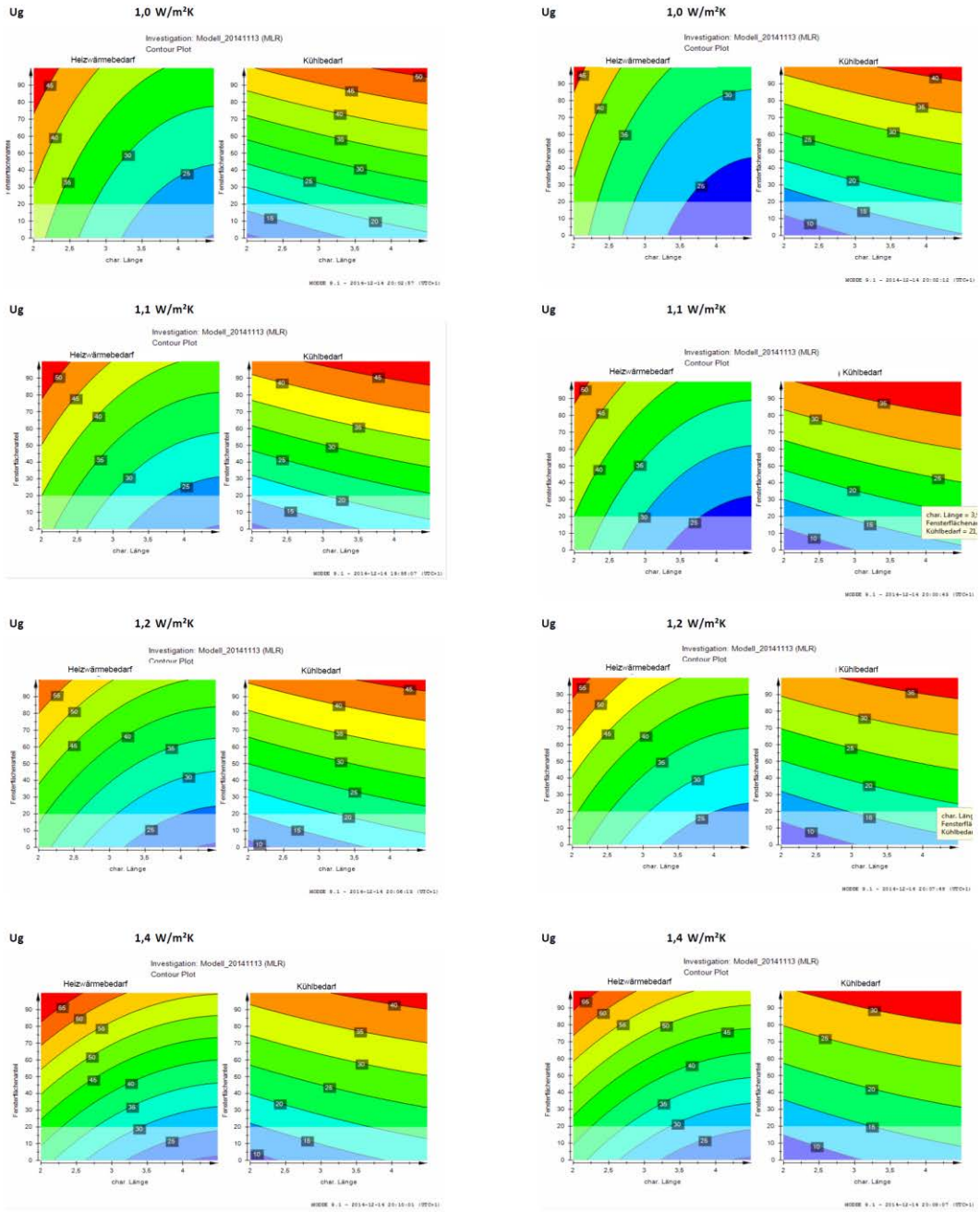


Abbildung 5: 2D Parameterdarstellung (lc und Fensterflächenanteil) für unterschiedliche U-Werte für ein lc von 2,5 m