

# Hitzeschutz: Sind unsere Gebäude fit für das künftige Klima?

## 1. Einleitung

Das Thema „Klima“ wird heute – unterstützt auch durch die Medien – immer mehr zu einem Treiber in Wissenschaft, Politik und Wirtschaft. Klima aus meteorologischer Sicht ist der Zustand des Klimasystems über lange Zeiträume von Jahrzehnten bis hin zu erdgeschichtlichen Zeitskalen. Um Klimagrößen und -karten international vergleichen zu können, wurden Klimanormalperioden festgelegt, welche 30-jährige Zeiträume umfassen. Wetter dagegen spielt sich auf wesentlich kürzeren Beobachtungsräumen ab (von Stunden bis Wochen). Witterung wiederum ist der über mehrere Tage bis zu einer Jahreszeit vorherrschende Wettercharakter.<sup>1</sup>

Das Wort „Klima“ selbst stammt aus dem Altgriechischen: κλίμα bedeutet in etwa Neigung der Erde vom Äquator gegen die Pole,<sup>2</sup> also auch des Sonnenstands, und die damit verbundenen Wechsel der sich dadurch ergebenden Bedingungen. Auch zB das Wort „Klimakterium“, also Wechseljahre, die auch immer schon mit den dadurch verbundenen Änderungen und Gefahren in Verbindung gebracht wurden, entspringt demselben Wortstamm. Das Wort „Klima“ trägt somit bereits die Bedeutung „Wandel“ in sich. Folgt man dem, wird der heute oft angesprochene „Klimawandel“ eigentlich zu einer Tautologie. Klima ist Wandel, wie auch Betrachtungen der historischen Entwicklung der klimatischen Bedingungen auf unserer Erde zeigen.<sup>3</sup> Wir müssen uns an diesen ständigen Wandel anpassen (neigen) und dabei bedachte Schritte unternehmen, die daraus hervorgehenden Belastungen zu bewältigen und ungünstige Entwicklungen möglichst nicht weiter zu verstärken, soweit das in unseren Möglichkeiten liegt.

In warmen Jahren (wie zB 2003), aber auch in der letzten Zeit, wird der Begriff „Klima“ auch in unseren Breiten verstärkt mit dem Begriff „Hitze“ in Verbindung gebracht. Hitze ist definiert als eine starke, unangenehm empfundene Wärme, ist also mit dem lokalen und subjektiven Empfinden des vorliegenden Wetters bzw des Raumklimas verknüpft. Wissenschaftlich gesehen wird die statistische Verteilung der Temperaturen, die höher ist als in 95 bis 98 % der betrachteten Vergangenheit, darunter verstanden, was ebenso von den spezifischen lokalen Bedingungen abhängt. Hitze in England wird bereits bei 25 bis 28° C erreicht, in Deutschland erst mit etwa 30° C (bei steigender Tendenz). Eine diesbezügliche Einfärbung globaler Wetterkarten sollte daher auch unter diesem Gesichtspunkt betrachtet werden. Die WHO bezeichnet eine

Überschreitung der durchschnittlichen Tageshöchsttemperatur um 5 K an fünf Tagen als „Hitzewelle“.

Einen guten Überblick über die Auseinandersetzung mit bestimmten Themenstellungen und die Relevanz von Themen kann man durch Auswertung von Suchstatistiken gewinnen. So wird der Suchbegriffe „Wetter“ immer schon im Sommer häufiger abgefragt, bei in den letzten Jahren offensichtlich zunehmendem Suchinteresse (siehe Abbildung 1).

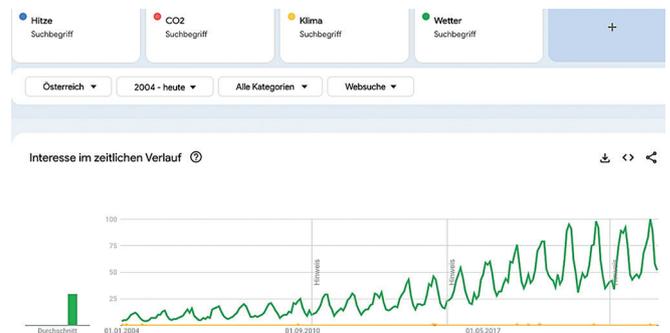


Abbildung 1: Anteil an Suchinteresse zu den angeführten Begriffen von 2004 bis 2023 in „Google Trends“ in Prozent der höchsten Beliebtheit für Österreich (grün = Suchanfrage Wetter). Die anderen angeführten Begriffe liegen in Relation um 1 % des Maximums (Quelle: Google Trends)

Während der Begriff „Klima“ eher eine abnehmende Tendenz zeigt, korreliert dabei erwartungsgemäß auch das Suchinteresse nach dem Begriff „Hitze“ mit den warmen Sommern der letzten Jahre (siehe Abbildung 2).

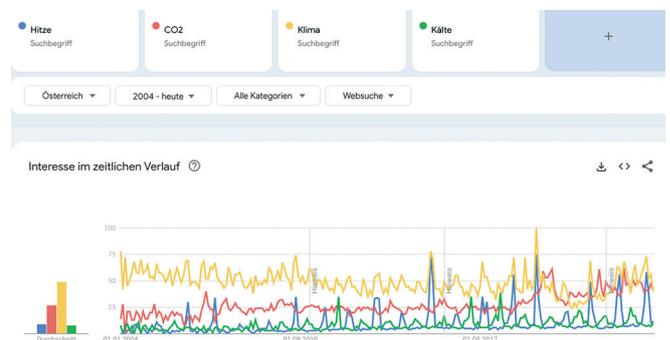


Abbildung 2: Suchinteresse zu den angeführten Begriffen von 2004 bis 2023 in „Google Trends“ in Prozent der höchsten Beliebtheit für Österreich (gelb = Klima, blau = Hitze, grün = Kälte, rot = CO<sub>2</sub>) (Quelle: Google Trends)

Ähnliche Trends sind auch für Deutschland und die Schweiz erkennbar.

Sprechen wir über die Klimatauglichkeit unserer Gebäude, geht daraus hervor, dass wir uns dabei nicht mit der aktuellen Situation, sondern den Umständen möglichst zumindest der nächsten 30 Jahre auseinandersetzen müssen, was einem durchschnittlichen Sanierungszyklus (zB von Fenstern und deren Beschattung) entspricht. Die Auseinandersetzung muss aber heute erfolgen, denn genau die Gebäude, welche heute geplant, gebaut oder renoviert werden, sollten vor in diesem Klimaabschnitt herrschendem Wetter Schutz bieten. Wie man aus dem Suchinteresse vermuten kann, stellt in Österreich Hitze ein intensiver gesuchtes Thema dar als Kälte.

Hitzeschutz ist jedenfalls ein Gesundheitsthema und wird auch in den bautechnischen Vorschriften in Österreich zunehmend stärker berücksichtigt. War in den OIB-Richtlinien bis zur Ausgabe 2015 nur ein kurzer Absatz der OIB-Richtlinie 6<sup>4</sup> diesem Thema gewidmet und die sommerliche Überwärmung hier hauptsächlich über das Kriterium der speicherwirksamen Masse geregelt, wurde in der folgenden Ausgabe 2019<sup>5</sup> dieser Thematik bereits eine höhere Bedeutung zugemessen. Ein gebäudestandortbezogenes Temperaturkriterium wurde eingeführt. Dieses soll bei Wohngebäuden durch geeignete Maßnahmen ohne mechanische Kühlung eingehalten werden. Für Nichtwohngebäude wurde ein gegebenenfalls vorhandener standortbedingter Kühlbedarf begrenzt, jeweils unter Berücksichtigung eines sich periodisch wiederholenden Außenklimas.

In der mit der Ausgabe vom Mai 2023 im Vierjahreszyklus wiederum neu überarbeiteten OIB-Richtlinie 6<sup>6</sup> wird das Thema der sommerlichen Überwärmung weiter konkretisiert. So ist bereits bei der Baueinreichung für Wohngebäude eine maximale standortabhängige und außenklimagleitende operative Temperatur im Aufenthaltsraum nachzuweisen, wobei eine Begrenzung der Lüftung über geschlossene Fenster zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr berücksichtigt werden muss. Alternativ sind vereinfachend alle Lichteintrittsflächen im Aufenthaltsraum mit außenliegenden Abschattungsvorrichtungen mit  $g_{tot} \leq 0,15$  auszustatten, sofern diese nicht nordorientiert sind. Auch für Nichtwohngebäude werden entsprechende Festlegungen getroffen. Es macht aber jedenfalls Sinn, sich darüber hinausgehend weitere Gedanken zu machen, wie später noch gezeigt wird.

Dass Hitzeschutz zunehmend ein Gesundheitsthema ist, wird auch in Statistiken durch eine Zunahme an Todesfällen durch Hitze sichtbar, aber auch in den Fallzahlen der Notaufnahmen diverser Kliniken und Ärzte.<sup>7</sup> Hier werden insbesondere Schwindel, Übelkeit bis hin zu Kreislaufproblemen, Herzinsuffizienz, Niereninsuffizienz, Ohnmacht etc immer wieder genannt. Bei steigender Temperatur versucht der menschliche Körper, verstärkt Wärmeenergie abzugeben, und dies in warmer Umgebung bekannterweise hauptsächlich durch Verdunsten von Schweiß, ein Prozess, der Energie erfordert. Diese wird dem Körper als Wärmeenergie entzogen. Die Verdunstung ist jedoch einerseits durch die Umgebungsbedingungen, anderer-

seits aber auch physiologisch im Schnitt mit etwa 2 Litern pro Stunde möglicher Schweißproduktion begrenzt und diese Flüssigkeit muss dem Körper auch wieder zugeführt werden. Mit zunehmend feuchterer Luft wird das Kühlungspotenzial durch die Verdunstung über die Haut weiter reduziert, ebenso durch Krankheit oder Alter. Darüber hinaus kann dann auch die Wahrnehmung drohender Überwärmung eingeschränkt sein. Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit durch Fensterlüftung kann eine höhere Verdunstungsrate bewirken, kann aber auch kontraproduktiv sein, wenn die dabei eingetragene warme Außenluft die betroffenen Räume weiter aufwärmt. Wenn die Außenluft wärmer als die Innenluft ist, sollte der Luftwechsel weitgehend reduziert werden und Luftbewegung besser durch Ventilation (zB mittels Deckenventilatoren) angeregt werden.

Die ÖNORM EN 15251<sup>8</sup> geht von einer unterschiedlichen Erwartungshaltung bei Gebäuden mit und ohne mechanische Klimatisierung aus. Generell kommt es zu einer gewissen Adaptierung, also Anpassung an höhere Außentemperaturen, wenn diese über einen längeren Zeitraum andauern und auch empfunden werden. Damit ändern sich in gewissem Ausmaß auch die als noch behaglich empfundenen Temperaturen über die Jahreszeiten.

Arbeitsplatzstudien zeigen, dass die Leistungsfähigkeit oberhalb des Behaglichkeitsbereichs sinkt und zB bei Büroangestellten ein Maximum bei 23° C erreicht, aber bei 30° C auf 70% des Maximums sinkt.<sup>9</sup>

Zu hohe Temperaturen abends und nachts mindern aber auch die positive Wirkung des Schlafs, wovon zB wiederum auch die Regeneration und das Immunsystem ungünstig beeinflusst werden und auch negativer Stress begünstigt wird.<sup>10</sup> Gerade für einen gesunden Schlaf wäre eine abendliche Absenkung der Temperatur wichtig, was aber gerade oft in städtischen Ballungszentren mit ihren gegenüber der Umgebung erhöhten Temperaturen (Hitzeinseln) schwer erreichbar ist. Dabei steigt gerade dort der Bevölkerungsanteil an.

Verschiedene Studien und Aussagen von Schlafforschern nennen eine physiologisch ideale Schlafzimmertemperatur um 17° C +/- 2° C bis zu maximal 25° C eher im fortgeschrittenen Alter bzw bei höherem Wärmebedarf.<sup>11</sup> Über 25° C werden deutlich negative Effekte berichtet. Wichtig dabei ist, dass die Umgebungsbedingungen eine fallende Körperkerntemperatur möglich machen, um zu einem tiefen und festen Schlaf zu kommen. Jedenfalls sollte man weder schwitzen noch frieren, wie das zB *Peter Geisler*, Leiter des Schlafmedizinischen Zentrums Regensburg, ausdrückt. Höhere Temperaturen nachts führen nicht nur zu schlechterer Schlafqualität, sondern – wie an studentischen Probanden festgestellt – auch zu verringerter Produktivität bzw Leistung in der Folge, was auch eine Vergleichsstudie aus den USA<sup>12</sup> andeutet, insbesondere dann, wenn dies mit zu geringer Frischluftzufuhr verbunden ist.

Die langjährigen Entwicklungen der Temperaturen und Niederschläge in Österreich der letzten Jahrzehnte weisen auf einen entsprechenden Trend beim Klima hin, der mittlerweile in zahllosen Studien diskutiert, in der subjektiven Erfahrung in der Tendenz gefühlt und dabei durch zahlreiche Medienberichte dabei auch noch deutlich verstärkt wird. Bereits heute betroffen von zunehmenden Temperaturen sind dabei insbesondere städtische Ballungszentren, wobei naturgemäß Unterschiede durch die lokalen Einflüsse (wie Wind, Flächenversiegelung, Grünflächen und Niederschlagsneigung) gegeben sind. Aus der Betrachtung der bisherigen Entwicklung und Modellberechnungen über die verschiedenen komplexen Einflussfaktoren wird auch immer wieder versucht, auf zukünftige Entwicklungen hochzurechnen, wobei man hier aufgrund der immer begrenzten Basisdaten und der Komplexität des Wettergeschehens entsprechende Unsicherheiten in den Prognosen zur Kenntnis nehmen muss. Die jeweils besten Modelle beruhen auf dem Stand des aktuellen Wissens und sind jeweils durch die Modellrandbedingungen begrenzt. Ein wesentliches Kriterium von Wissenschaft ist, dass sich diese im Kontext von These, Antithese und Synthese weiterentwickelt. Nicht selten werden Modelle und daraus gewonnene Interpretationen aber auch von Lobbyinteressen, der Politik und medialen Einflüsse überlagert. Trotz der somit vorhandenen Unsicherheiten in der Qualität verschiedener Prognoseergebnisse ist es für eine verantwortungsbewusste Zukunftsplanung wichtig, sich im Sinne eines geeigneten Risikomanagements mit dieser Thematik für die Raumplanung bis hin zur Entwicklung des zukünftigen Bauens, der Infrastruktur, des Energiebedarfs und auch gesellschaftlicher Fragen auseinanderzusetzen. Die Bemühungen müssen dabei zum einen dahin gehen, den möglichen menschlichen Beitrag zu ungünstigen Entwicklungen sinnvoll zu reduzieren, ohne sich dabei zu überschätzen und negative Auswirkungen von Alternativen unberücksichtigt bleiben zu lassen. Jedenfalls aber gilt es, Vorkehrungen zu entwickeln, zu planen und zu treffen, um für erwartbare Änderungen durch sich abzeichnende Klimatendenzen geeignete Antworten zu finden, entsprechende Alternativen zu entwickeln und umzusetzen. Gebäude, die heute errichtet und saniert werden, müssen eine Antwort auf die künftigen Wetterumstände geben können bzw. an diese angepasst werden können. Umso wichtiger ist eine gute Antwort, als es gilt, gesundes, behagliches Wohnen und produktives Arbeiten auch künftig sicherzustellen und gleichzeitig umweltbelastende Beiträge zu vermeiden. Die Natur zeigt uns dies deutlich in Form der Kreislaufwirtschaft und klimaresilienter oder anpassungsfähiger Flora und Fauna.

Daraus ergeben sich vielfältige Fragestellungen wie zB:

- Welche planungstechnischen Grundlagen und Zielgrößen sind zu berücksichtigen?
- Welche Parameter können wie beeinflusst werden und wie wirken diese übergreifend zusammen?
- Wie sollen unsere Siedlungsräume, Städte, Gebäude und Räume zukunftsfähig konzipiert werden?

- Wie sind Plätze und Infrastruktur sinnvoll zu gestalten?
- Welche Bauteilaufbauten und Materialien sind geeignet?
- Wie sollen Gebäudehüllen gestaltet werden, um für das jeweilige Klima eine nutzungsgerechte Antwort bei möglichst geringer Ressourcenbeanspruchung zu geben?
- Wie viel und welche Glasflächen und Beschattung sind für unsere Nutzungserfordernisse günstig?
- Wie kann der erforderliche Tageslichtbedarf sichergestellt werden?
- Wie kann man den Energiebedarf insgesamt minimieren und dennoch ein nutzungsgerechtes gesundes Raumklima schaffen?

Auf einzelne dieser Fragestellungen soll im Folgenden beispielhaft auf Basis zweier Forschungsprojekte näher eingegangen werden. Die Ausführungen basieren auf durchgeführten Studien zu einzelnen Themen, deren Zitate bei Interesse den Anmerkungen am Ende dieses Beitrags entnommen werden können.

## 2. Klimadaten für Modellbetrachtungen

Bereits vor neun Jahren zeigte der „Österreichische Sachstandsbericht Klimawandel 2014“<sup>13</sup> auf, dass damit zu rechnen sei, dass Wetterextreme aufgrund des zu beobachtenden Temperaturanstiegs künftig zunehmen werden und neben ansteigenden Tagesmitteltemperaturen auch eine höhere Zahl an Tropennächten zu erwarten ist. In einer Studie des Instituts für Meteorologie der Universität für Bodenkultur zu den Auswirkungen des Klimawandels auf die Temperaturen in Wien<sup>14</sup> wird dargelegt, dass in etwa 20 Jahren im Mittel bereits jeder vierte Tag im Sommer ein Hitzetag sein könnte. Dies geht ohne Gegenmaßnahmen naturgemäß auch mit einem Anstieg der Nachttemperaturen und entsprechend ungünstigen Auswirkungen für die Schlafqualität und möglichen Gesundheitsproblemen (im Extremfall bis zum Tod) einher.<sup>15</sup>

Den Prognosen nach besonders hinsichtlich der Sommertemperaturen deutlich betroffen sind die Städte Wien, Graz und Linz sowie die dazugehörigen Umlandgemeinden. Beim Vergleich der für den sommerlichen Hitzeschutz wesentlichen Klimakenndaten Außenlufttemperatur, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeiten sowie der durchschnittlichen Anzahl der Sommertage zeigen sich vor allem an den Messstationen Wien-Innere Stadt und Schwechat anspruchsvolle Klimawerte. Aus der Vergangenheit sticht dabei insbesondere das Jahr 2003 hervor. Es handelt sich dabei um ein Jahr mit einem der heißesten Sommer seit Beginn der Aufzeichnungen (1767) und mit einer der größten Anzahl an heißen Tagen (wiederum seit Aufzeichnungsbeginn). In Abstimmung mit ZAMG wurde daher dieses Klimaszenario als Basis für die Studie „RIOPT – Risiko-optimiertes Bauen im Klimawandel“<sup>16</sup> verwendet, deren Erkenntnisse im Folgenden dargestellt werden.

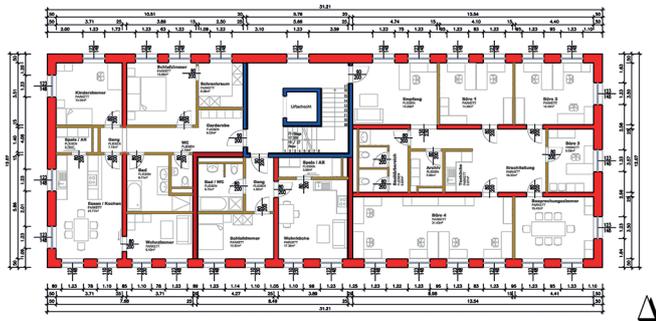
### 3. Einfluss der Bauweise

Eine der Aufgabenstellungen, denen im Rahmen des Forschungsprojekts „RIOPT“ nachgegangen wurde, war die Frage, wie sich die verschiedenen Bauweisen unter solchen künftig denkbaren Klimaszenarien in Bezug auf die Empfindungstemperatur in betrachteten Räumen verhalten und welche die maßgeblichen Einflussfaktoren sind, wenn man neben der Bauweise noch weitere Parameter (wie kühlungswirksamer Luftwechsel, Beschattung und Nutzung) betrachtet.

Die Untersuchungen wurden exemplarisch an einer Geschoßebene eines mehrgeschoßigen Gebäudes mit Wohn- bzw Büronutzung durchgeführt, mit einer Bruttogeschosßfläche von zirka 380 m<sup>2</sup> und 2,6 m Raumhöhe. Diese Geschosßfläche wurde durch eine typische Raumteilung in 21 thermische Zonen geteilt (siehe Abbildung 3).

Für die Bauweisen wurden eine Massivbauweise aus Beton, eine aus Ziegel, eine aus Brettsperrholz sowie eine weitere in Holzrahmenbau untersucht.

Für die Raumkonditionierung sollte auf eine mechanische Kühlung verzichtet werden, wie dies auch in der OIB-Richtlinie 6 vorgesehen war, wobei in weiterer Folge auch die sich theoretisch ergebenden Kühllasten ermittelt wurden, wenn man die Aufenthaltsräume auf eine spezifizierte Maximaltemperatur begrenzen würde (erfahrungsgemäß führt eine mechanische Kühlung aber darüber hinaus zu einer erhöhten Erwartungshaltung und einer reduzierten Klimatoleranz, was in der Folge zu weiteren Absenkungstendenzen der Empfindungstemperatur in der Nutzung führt).



**Abbildung 3:** Betrachtete Geschoßebene mit 21 Zonen (Quelle: Ferk/Rüdiger/Riederer/Majdanac, Sommerlicher Wärmeschutz im Klimawandel [2016])

Ein Öffnen der Fenster zu Lüftungszwecken wurde für den jeweils betrachteten Raum vorgesehen, wenn zumindest eine Person anwesend ist, die Außenlufttemperatur unter der Innenlufttemperatur zum Liegen kommt und die Außentemperatur nicht unter 18° C fällt. Verschiedene Luftwechselraten wurden betrachtet. Da bei hohen Außenlufttemperaturen die Fenster geschlossen bleiben sollten und es in der Nacht praktisch nicht immer möglich ist, die Fenster völlig offenzuhalten (Gewitter, Lärm, Einbruchschutz etc), wurden verschiedene Lüftungsszenarien in ihren Auswirkungen untersucht:

- verringerter Luftwechsel (Luftwechselzahl  $n = 1,5$ );

- Basisfall (Luftwechselzahl  $n = 3$ );
- erhöhter Luftwechsel (Luftwechselzahl  $n = 6,1$ ).

Die Beschattung wurde als automatisch gesteuert in den Modellen berücksichtigt, was sich für eine möglichst wirkungsvolle Nutzung zwingend ergibt, auch deshalb, da bereits heute viele Wohnungen zumindest teilweise tagsüber leer stehen und eine Beschattung dann nicht entsprechend bedient werden kann. Auch hier wurden unterschiedliche Szenarien betrachtet:

- verringerte Beschattung (Schaltpunkt = 480 W/m<sup>2</sup>);
- Basisfall (Schaltpunkt = 360 W/m<sup>2</sup>);
- erhöhte Beschattung (Schaltpunkt = 240 W/m<sup>2</sup>).

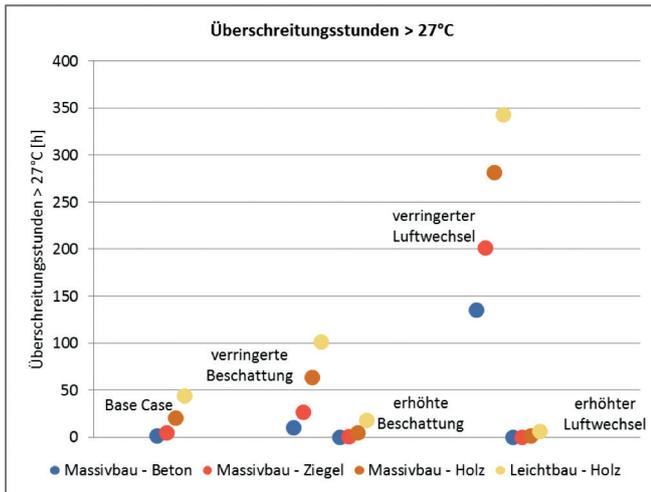
Alle oben angeführten Varianten führen bereits zu 80 Simulationsvarianten für die 8.760 Stunden eines Jahres. Betrachtet wurden die sich einstellende operative Temperatur (also vereinfacht die Empfindungstemperatur, ein Mittel zwischen Strahlungstemperatur der Raumbooberflächen und der Lufttemperatur im Raum), die Stunden, an denen 25° C bzw 27° C überschritten werden, jene Tage, an denen 27° C überschritten werden, die Anzahl heißer Nächte über 25° C und schließlich der flächenbezogene Kühlbedarf. Da 21 Zonen mit ihren verschiedenen Ausrichtungen betrachtet wurden, ergab sich für jede Simulation eine Datenmenge von 3,5 Mio Einträgen, mit den 80 Simulationsvarianten dann also 278 Mio Dateneinträge, für die in der Folge eine eigene Auswertesoftware programmiert wurde.

Die Ergebnisse bestätigten einerseits die Erwartungen, brachten aber auch einige interessante zusätzliche Erkenntnisse.

Betrachtet man das häufig verwendete Kriterium der Anzahl der Tage, an denen eine Empfindungstemperatur von 27° C im betrachteten Raum überschritten wird, zeigt sich, dass die Faktoren kühlungswirksamer Luftwechsel und Beschattung einen deutlich höheren Einfluss auf die Anzahl der Überschreitungstage aufweisen als die Bauweise an sich. Vorteile zeigt die höhere speicherwirksame Masse hier bei verringerter Beschattung und bei verringertem Luftwechsel, Fälle, die eigentlich vermieden werden sollten (siehe Abbildung 4).

Eine Lüftung im Sinne einer möglichen thermischen Entlastung eines Raumes ist naturgemäß nur bei solchen Außenlufttemperaturen wirksam, die niedriger sind als die zu kühlenden Raumbooberflächentemperaturen. Oft wird leider dennoch auch mit warmer Außenluft gelüftet, was zwar subjektiv durch die höhere Verdunstung an der Haut ein Kühlungsgefühl bewirkt, aber letztlich zu einer weiteren Erwärmung der Räume führt (Luftbewegung ja, aber hier besser mittels eines Ventilators).

Ist eine kühlungswirksame Lüftung nicht möglich (insbesondere auch bei Tropennächten), ist der wirksamste bauliche Faktor im sommerlichen Hitzeschutz die außen liegende Beschattung, um die in den Raum eingetragene Wärmemenge möglichst gering zu halten. Jegliche speicherwirksame Masse kann nur dann zur Wirkung kommen,



**Abbildung 4:** Wohnnutzung – natürliche Lüftung und Überschreitungsstunden > 27° C (Quelle: Ferk/Rüdissler/Riederer/Majdanac, Sommerlicher Wärmeschutz)

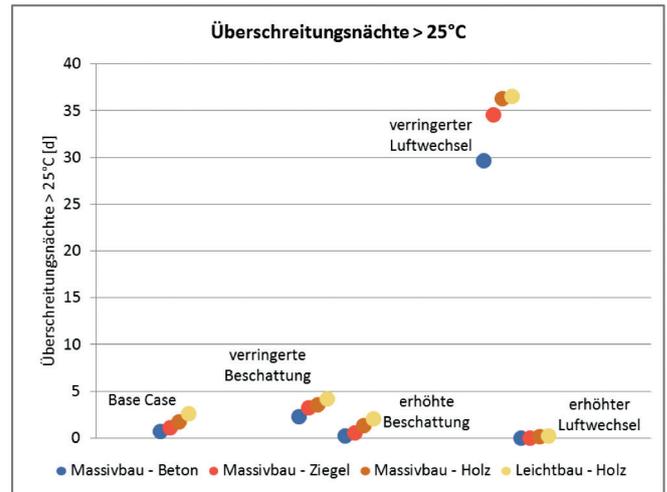
wenn die dort aufgenommene Wärme auch durch eine entsprechende kühlungswirksame Lüftung möglichst im Phasenzyklus wieder nach außen abgeführt werden kann; andernfalls kommt es zu akkumulierender Überwärmung.

Das bedeutet, dass die speicherwirksame Masse nicht nach dem Maximum, sondern idealerweise nach der möglichen kühlungswirksamen Lüftung und der Nutzung des Raumes ausgelegt werden sollte. Die Speichermasse kann dann die Spitzentemperaturen dämpfen, mit dem Nachteil, dass die Nachttemperaturen steigen können, abhängig von der jeweils zur Verfügung stehenden kühlungswirksamen Lüftung.

Bei gleicher kühlungswirksamer Lüftung werden Räume mit geringerer Speichermasse schneller abgekühlt, was insbesondere für Schlafräume Vorteile haben kann. Es darf daher nicht allein das Tagesmaximum als Kriterium herangezogen werden, sondern es ist auch die Raumnutzung in die Betrachtung einzubeziehen (siehe Abbildung 5).

Da die kühlungswirksame Lüftung ein wesentliches Kriterium für die zukünftige Klimatauglichkeit unserer Gebäude darstellt, sollte darauf auch entsprechendes Augenmerk gelegt werden:

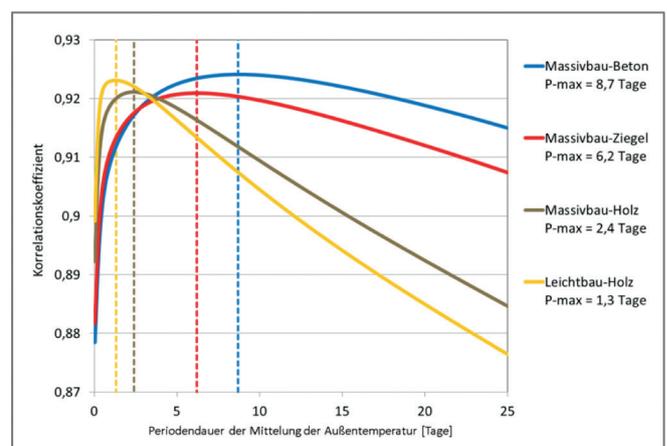
- Nutzung der Hauptwindrichtung am Standort des Gebäudes;
- für eine Querlüftung geeignete Grundrissgestaltung der Gebäude;
- Nutzung des thermischen Auftriebs durch entsprechende Zu- und Abluftöffnungen und Lüftungsschächte;
- Entwicklung und Einbau geeigneter Lüftungsfenster bzw Lüftungsfassadenelementen, die eine entsprechende Nachtlüftung ermöglichen, bei gleichzeitigem Schlagregenschutz (Gewitter) und Einbruchschutz;
- automatisierte standort- und lagebezogene Beschattungen der Glasflächen unter Berücksichtigung des Tageslichtbedarfs und des visuellen Kontakts nach außen;



**Abbildung 5:** Wohnnutzung – natürliche Lüftung und Überschreitungs-nächte > 25° C (Quelle: Ferk/Rüdissler/Riederer/Majdanac, Sommerlicher Wärmeschutz)

- geeignete Lage bzw Umgebung des Gebäudes, welche die Temperaturabsenkung begünstigen sollte (neben der erforderlichen Druckdifferenz ist hier an Verdunstungskälte durch Bäume, Gewässer, die Vermeidung von thermisch aufladbaren Fassaden von Nachbargebäuden und befestigten Flächen bis hin zu entsprechendem Lärmschutz zu denken);
- Verschattungen durch Bäume, die durch Verdunstung eine deutlich höhere Kühlwirkung erreichen, oder Beschattungen durch Textilien etc, wobei hier sicherlich auch noch generell entsprechender Entwicklungsbedarf besteht.

Je höher die Speichermasse, desto wichtiger wäre auch der Einsatz von Prognosemodellen in der Steuerung der Maßnahmen, da die Reaktionszeit entsprechend ansteigt. Gleichzeitig wirken sich bereits kurze Hitzeperioden bei sehr geringer Speichermasse entsprechend schneller aus (siehe Abbildung 6).



**Abbildung 6:** Periodendauer der Mittelung der Außentemperatur (Tage) (Quelle: Ferk/Rüdissler/Riederer/Majdanac, Sommerlicher Wärmeschutz)

Die Planung und die Ausführung der Beschattung werden jedenfalls zukünftig noch höheres Gewicht erhalten müssen. Aufgrund der nicht immer möglichen nutzerseitigen Aktivierung werden die Entwicklung und der Einsatz entsprechend automatisierter Beschattungen zunehmend wichtiger. Dabei ist aber auch auf den Tageslichtbedarf und den visuellen Kontakt mit außen Rücksicht zu nehmen. Zusammen mit der Wahl der Glasqualität und der Größe der Verglasungen ergeben sich hier wiederum neue Fragestellungen nach der optimalen Wahl für eine bestimmte Bauaufgabe.

#### 4. Fenster, Verglasung und Beschattung

Die Fenster und deren Größen, die Ausrichtung, der Wärmedurchgangskoeffizient der gesamten Fensterkonstruktion und der Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung beeinflussen bekannterweise den Energieverbrauch und auch die Komfortparameter für den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz. Die letzten beiden Kriterien finden bei den stark steigenden Energiepreisen ohnehin zunehmende Beachtung. Die Fenstergröße hingegen spielt heute hauptsächlich in der Fassadengestaltung bzw. Gebäudearchitektur eine Rolle und nimmt tendenziell deutlich zu. Da Fenster immer noch wesentlich höhere Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen als die umgebende Wandfläche, ist zu erwarten, dass größere Flächen sich hier ungünstiger auf den winterlichen Wärmeschutz auswirken. Andererseits steigt der mögliche Wärmegewinn durch solare Einstrahlung im Winter. Im Sommer hingegen kann der Wärmeeintrag zum Problem werden. Wo liegt also das Optimum der Fenstergröße? Sind kleine Fenster hier besser als große Verglasungen?

Darüber hinaus haben die im vorhergehenden Abschnitt dargestellten Ergebnisse die Bedeutung der Beschattung und kühlungswirksamer Lüftung dargelegt. Neben der Betrachtung von sommerlichen und winterlichen Klimata dürfen aber auch Übergangszeiten nicht unberücksichtigt bleiben, wo zeitweise Heizung, aber dann auch wieder Überwärmung abwechselnd auftreten können.

Und nicht zuletzt sollte auch das Tageslichtangebot in den Räumen der Nutzung entsprechen, um nicht – trotz ausreichenden Tageslichtangebots außen – innen Kunstlicht zu benötigen und auch um die gesundheitlichen Vorteile des Tageslichtangebots für den zirkadianen Rhythmus zu nutzen.

Schließlich sollen gesunde und produktive Innenraumbedingungen bei möglichst geringem Energieeinsatz sichergestellt werden, im Idealfall über den gesamten Jahreszyklus.

Wie also müssen Fenster, Verglasungen und Beschattung beschaffen sein, um den Energieeinsatz möglichst ganzjährig gering zu halten, unter Berücksichtigung der anderen Kriterien (wie Empfindungstemperatur, Tageslichtangebot und Luftwechsel)?

Diesen Fragestellungen wurde Rahmen des Sondierforschungsjahresprojekts „Coole Fenster“<sup>17</sup> in Kooperation der

Technischen Universität Graz und der Holzforschung Austria nachgegangen, insbesondere der Frage, wie sich der Zusammenhang zwischen den maßgeblichen Einflussfaktoren gestaltet und ob eine Korrelation ableitbar ist, welche künftig eine Hilfestellung für Sachverständige und Planer bieten könnte.

Für die klimatischen Randbedingungen wurde mittels des Wetterdatenprogramms „Meteonorm“ (Version 8.1.0.28251) eine Prognose auf Stundenwertbasis erstellt. Dabei wurde eine stark versiegelte innerstädtische Straße mit wenig Umgebungsbegrünung und hoher Bebauungsdichte in Wien gewählt. Das Prognosemodell selbst beruht auf dem EU-Projekt „Climate-fit.city“<sup>18</sup> und dieses wiederum auf dem Representative Concentration Path (RCP) 8.5 gemäß dem 5. IPCC-Bericht.<sup>19</sup> Aus Sicht der Entstehungszeit der Studie (2021/2022) sollten mit dem gewählten Klimaszenario plausible Entwicklungen den untersuchten Fragestellungen zugrunde gelegt werden können. Dazu ist heute, ein Jahr später, anzumerken, dass im aktuellen IPCC-Bericht der RCP 8.5, der seit 2013 für zehntausende Forschungsarbeiten und darauf basierende Entscheidungen der letzten 10 Jahre als Basisszenario herangezogen wurde und vom IPCC einst auch als einziges legitimes Basisszenario bezeichnet wurde, nunmehr im 6. Bericht<sup>20</sup> nur mehr als *High-end*-Szenario benannt wird, das für die Untersuchung von *High-end*-Risiken“ heranziehbar wäre und nicht mehr für *Business-as-usual*-Projektionen geeignet dargestellt wird. Dies entschärft einerseits die teilweise katastrophenlastigen Prognoseergebnisse, die mit dem RCP 8.5 errechnet wurden, stellt aber auch die darauf basierenden politischen Entscheidungen infrage.

Auf dem RCP 8.5 basierende Studien sind daher entsprechend vorsichtig zu genießen und es ist zu prüfen, wie weit die Ergebnisse im Zusammenhang mit dem untersuchten Sachverhalt noch plausibel verwendbar sind. Dies alles zeigt aber auch unmittelbar, wie wichtig es ist, dass Ergebnisse in der Wissenschaft nie als endgültig betrachtet werden dürfen, sondern nur so lange als Stand der Wissenschaften angesehen werden können, bis neue Erkenntnisse diese widerlegen oder Zweifel entstehen lassen. Entscheidungen auf Basis der Wissenschaft (und das gilt auch für politische Entscheidungen) sollten daher immer auch hinterfragt, laufend geprüft, angepasst und durch entsprechendes Risikomanagement begleitet werden. Wissenschaft war daher immer schon durch einen offenen Diskurs gekennzeichnet, ein Hinterfragen von Hypothesen. Wird dies unterbunden, hat das Ergebnis nichts mit Wissenschaft zu tun. Nicht umsonst schreibt *Karl Popper*: „Wann immer wir nämlich glauben, die Lösung eines Problems gefunden zu haben, sollten wir unsere Lösung nicht verteidigen, sondern mit allen Mitteln versuchen, sie selbst umzustoßen“ (Falsifikationsprinzip).<sup>21</sup>

Mittlerweile liegt ein breiter Konsens darüber vor, dass der Emissionspfad der aktuellen Politik eher unterhalb des mittleren Szenarios des RCP 4.5 liegt.<sup>22</sup>

Die Untersuchungen zu einer weiteren Studie zum Thema „zukunftsfähige Gebäude“, die hier kurz vorgestellt werden soll, wurden auf Basis der jeweils aktuellen Versionen

der Mehrzonen-Simulationsumgebung „DesignBuilder“<sup>23</sup> durchgeführt, die auf dem Rechenkern des validierten Simulationstools „EnergyPlus“<sup>24</sup> basiert.

Durch die oben angeführten Klima-Rechenmodelle wird eine steigende Anzahl von Tropennächten prognostiziert.<sup>25</sup> Für Wien wird zB ein Anstieg der Maximaltemperatur um 7,6 K erwartet.<sup>26</sup> Dies dürfte – auf Basis des oben Gesagten – nach heutigem Wissensstand nun eher ein Worst-case-Szenario sein, ist aber im Sinne einer Risikomanagementbetrachtung hier durchaus legitim.

Das würde jedenfalls bedeuten, dass in den Ballungszentren zeitweise eine Kühlung betroffener genutzter Räume erforderlich würde. Da eine solche mechanische Kühlung aber zusätzliche Energie erfordert und gleichzeitig auch durch die Verdampfer zusätzlich Abwärme in die Umgebung eingetragen wird, führt dies dazu, dass es noch wichtiger wird, die Kühllasten niedrig zu halten und die Kühlung möglichst effizient zu gestalten. Unbedingt ist eine Entwicklung zu vermeiden, wo billige mobile Klimageräte mit schlechtem Wirkungsgrad massenhaft eingesetzt werden. Eine Studie der Arizona State University hat für eine 10-tägige Hitzeperiode 2009 in Phoenix im US-Bundesstaat Arizona eine Erhöhung der Außenlufttemperatur in der Stadt durch die Abwärme der Klimaanlage um 1 K errechnet.<sup>27</sup> Die Internationale Energieagentur (IEA) geht in ihrem Bericht von einer Erhöhung des Stromverbrauchs durch Kühlung bis 2050 auf das Dreifache aus.<sup>28</sup>

Nicht zu vergessen ist die zusätzliche Erhöhung des Schallpegels, der von solchen Anlagen in dichten städtischen Gefügen ausgeht und sich ebenso wie zu hohe Nachttemperaturen ungünstig auf die Schlafqualität und damit auf die Gesundheit und auch die Produktivität auswirken kann.

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurden daher zum einen relevante Einflussparameter identifiziert und zum anderen Varianten untersucht, mit dem Ziel einer Optimierung der Zielparame-ter Heiz- und Kühlenergiebedarf sowie der Tageslichtqualität unter Berücksichtigung eines für die jeweilige Nutzung akzeptablen Innenraumklimas.

Die Einflussparameter waren dabei der Standort, die Ausrichtung des Raumes, die Bauweise, die Gebäudequalität, der Fensterflächenanteil an der Fassade, gegebenenfalls vorhandene Querlüftungsmöglichkeit, bauliche Verschattungen (wie zB Balkone), verstellbare Beschattungseinrichtungen sowie die relevanten Glasparameter (g-Wert, U-Wert und Lichttransmission), Lüftungszeiten und öffentlicher Anteil an Fensterflächen.

Darüber hinaus wurden für den Sonnenschutz die Wirkung der Steuerung, des Wind- und Regenwächters untersucht. Berücksichtigt wurden bei einer Außenbeschattung durch Raffstores auch die Lamellengeometrie, der Lamellenwinkel, die Hinterlüftung, die solaren und visuellen Eigenschaften, aber auch die Infrarot-Eigenschaften, um die Wirkung der Beschattung im Hinblick auf die nächtliche Abstrahlung der Fensterflächen in den kalten Nachthimmel mitzubetrachten. Bei einem weiteren textilen Behang wurden auch der Abstand zum Glas, die Behangdicke und dessen Wärmeleitfähigkeit und wiederum die

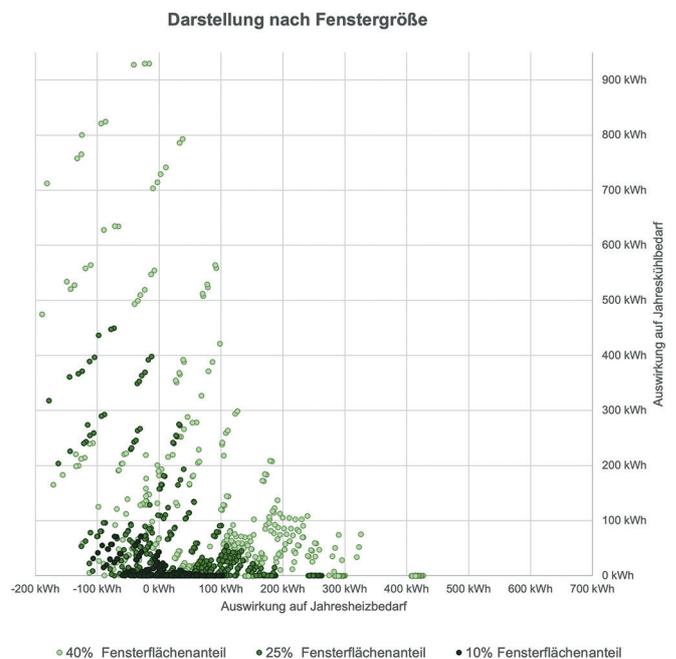
solaren, sichtbaren und infrarotwirksamen Eigenschaften sowie die Hinterlüftung untersucht.

Bei der – trotz Vereinfachung – genannten Vielzahl an Parametern wurde es erforderlich, zuerst in einer Vorstudie an einem reduzierten Ein-Raum-Modell die Einflüsse und Interaktionen zu untersuchen, mit dem Ziel, die Einflüsse auf die Energiebilanz abseits des Systems „Fenster + Beschattung“ so weit wie möglich zu reduzieren, um eine erste Einflussparametergewichtung auf die Energiebilanz zu erhalten und die Anzahl der Daten überschaubar zu halten.

Im Rahmen der Vorstudie wurde daher ein Raum mit etwa 27 m<sup>3</sup> modelliert (ohne Berücksichtigung interner Gewinne). Es wurde eine Luftwechselrate von  $n = 0,1$  für die unconditionierte Außenluft angesetzt, die Außenwände mit einem U-Wert von 0,29 W/m<sup>2</sup>K für alle Bauweisenvarianten gleich wärmedämmend gehalten und von einer Raumtemperatur von 23°C +/- 2 K ausgegangen. Variiert wurden Fenstergröße, Verglasung, Orientierung, Beschattung und eine restriktive Steuerung der Beschattung. Nähere Details sind dem Forschungsbericht zu entnehmen.

Im Gegensatz zur Hauptstudie mit 12.000 Simulationen, in welcher eine begrenzte Anzahl an Parameterkombinationen über einen Optimierungsalgorithmus selektiert wurde, wurden in der Vorstudie ohne weitere Selektion alle Varianten mit dem Simulationsprogramm „ParaSol“ der Universität Lund in Schweden berechnet, welches auf den Normenstandard ISO 15099<sup>29</sup> aufbaut.

Die Berechnungen ergeben zB hinsichtlich der Fragestellung „Fenstergröße“ folgendes Ergebnis, wobei mit Fensterflächenanteilen von 10, 25 und 40 % der betrachteten Außenwand gerechnet wurde (siehe Abbildung 7).



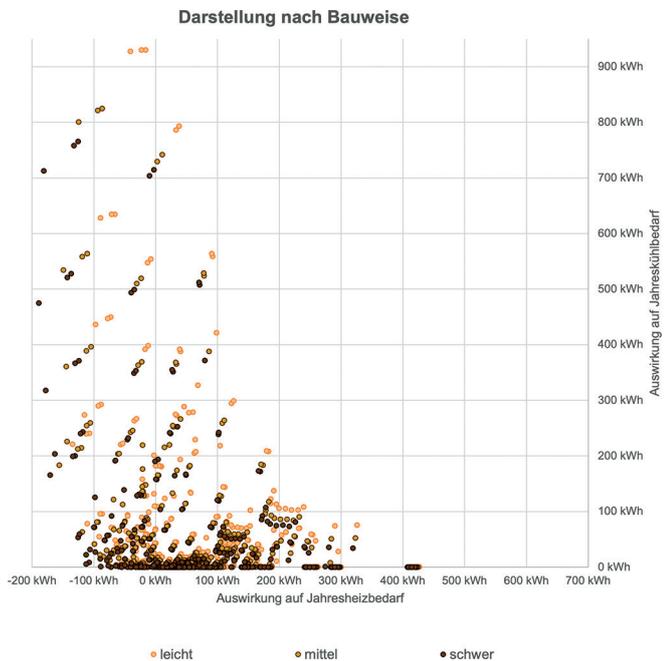
**Abbildung 7:** Auswirkung der Fenstergröße auf den Jahresheiz- und Kühlbedarf im Rahmen der Parametervorstudie (Quelle: Leh/Stiegler/Wolffhardt/Vavrik-Kirchsteiger/Bachinger/Ferk/Schober/Nusser, Coole Fenster [2023])

Erwartungsgemäß wird deutlich, dass einerseits große Glasflächen zu einem deutlich höheren Kühlbedarf führen können als kleinere Glasflächen. Andererseits kommen im sehr günstigen Fall (im Quadrat unten links) alle Fensterflächenanteile vor, was wiederum deutlich macht, dass bei rein energiebedarfsbezogener Ganzjahresbetrachtung mit der richtigen Parameterkombination immer auch gute Ergebnisse unabhängig von der Fenstergröße möglich sind.

Auch die Ergebnisse hinsichtlich der Orientierung zeigen, dass hier auch Nordfenster nicht schlecht abschneiden müssen (und auch dort eine Beschattung sinnvoll ist). Auch bei Süd-, West- und Ostfenstern ist genau auf die richtige Abstimmung der Parameterkombinationen zu achten, um zB den Kühlbedarf niedrig zu halten.

Untersucht wurden als Basis zwei Ausgangsvarianten im Sinne eines *worst case* und einer definierten Standardausführung und – sich daraus ergebend – verschiedene Variationen in Richtung Optimierung von Tageslichtangebot und Komfort.

Auch die Ergebnisse der vorne vorgestellten Studie „RIOPT“ konnten bestätigt werden, dass nämlich nicht die Speichermasse, sondern die Fenster-, Lüftungs- und Beschattungsparameter das Ergebnis deutlich stärker beeinflussen und die Jahresenergiebilanz für alle Bauweisen deutlich steuern, aber auch mit allen Bauweisen gute Ergebnisse erzielt werden können (siehe Abbildung 8).



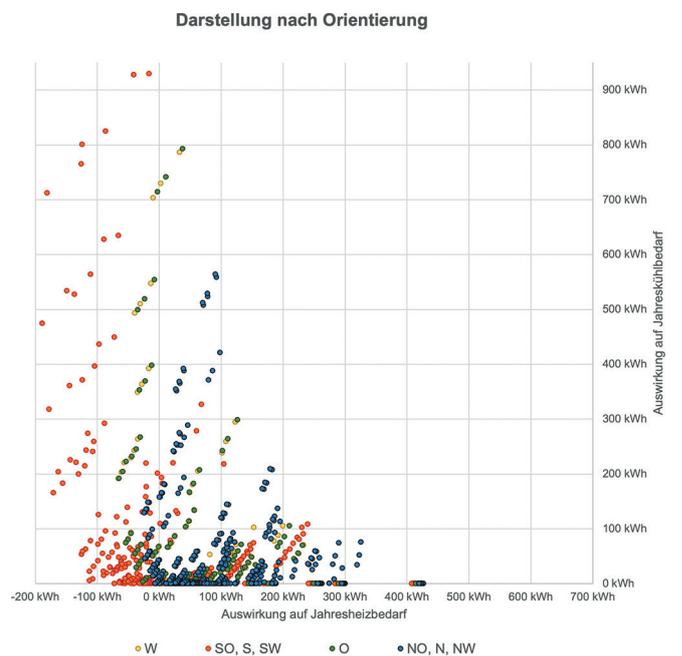
**Abbildung 8:** Auswirkung der Bauweise auf den Jahresheiz- und -kühlbedarf im Rahmen der Parametervorstudie (Quelle: Leh ua, Coole Fenster)

Ebenso zeigt sich, wie wichtig die Wahl der richtigen Beschattung und deren Funktion für den Jahresenergiebedarf sind: Kommt es ohne Beschattung zu einer markanten Zunahme des Jahreskühlbedarfs, kann dieser mit entsprechend gesteuerten Behängen derart austariert

werden, dass ein negativer Heizwärmebedarf und ein sehr geringer Kühlbedarf bei der Jahresbetrachtung anfallen.

Einen erweiterten Überblick über die Ergebnisse der Vorstudie gibt Abbildung 9, die ganz oben den Heiz- (rot) und Kühlbedarf (blau), gereiht nach dem Gesamtjahresenergiebedarf, zeigt, aufgetragen über den variierten Parametern. Dabei wurde der Basis-Energiebedarf des Raumes ohne Fenster subtrahiert.

Daher wird eine Reduktion des Jahresenergiebedarfs hier durch ein negatives Ergebnis ausgewiesen und ist daher günstig. Diese von meinem Mitarbeiter *Christopher Leh* entwickelte Darstellung ergibt eine äußerst kompakte und übersichtliche Information über die mehr als 3.000 Simulationsergebnisse der Vorstudie.



**Abbildung 9:** Auswirkung der Orientierung auf den Jahresheiz- und -kühlbedarf im Rahmen der Parametervorstudie (Quelle: Leh ua, Coole Fenster)

Der Jahresenergiebedarf wird am deutlichsten von der Fenstergröße beeinflusst; deutlich geringer ist der Einfluss der Orientierung.

Über den Jahresenergiebedarf betrachtet liegen die Ergebnisse mit großen südlich orientierten Fenstern, höherem g-Wert der Verglasung und höherer Speichermasse bei gesteuerter Beschattung im günstigsten Bereich. Komfort- und Tageslichtkriterien sind hier aber noch nicht berücksichtigt, ebenso wenig wie die Variation der wichtigen Lüftungsparameter bzw der kühlungswirksamen Lüftung.

Diese Art der Betrachtung macht deutlich, dass es für eine Energiewende im Bauen von hoher Bedeutung ist, dass die relevanten Parameter aufeinander abgestimmt gewählt werden. Um abseits der Jahresenergiebilanz aber auch die gesundheitsrelevanten Größen (wie Empfindungstemperatur über den Tagesgang, die Versorgung mit Tageslicht etc) zu berücksichtigen, ist eine weiter gehen-

de detailliertere Analyse erforderlich. Vernachlässigt man diese weiter gehende Analyse und reduziert den Zweck des Bauens nur auf den Aspekt einer minimierten Energiebilanz, wäre dies vergleichbar mit der Annahme, mit einem Fuß in einem Gefäß mit Eiswasser zu stehen und mit dem anderen in einem Gefäß mit 50 °C heißem Wasser. Dies ergäbe im Mittel angenehme und jahresenergetisch günstige 25° C (siehe Abbildung 10).

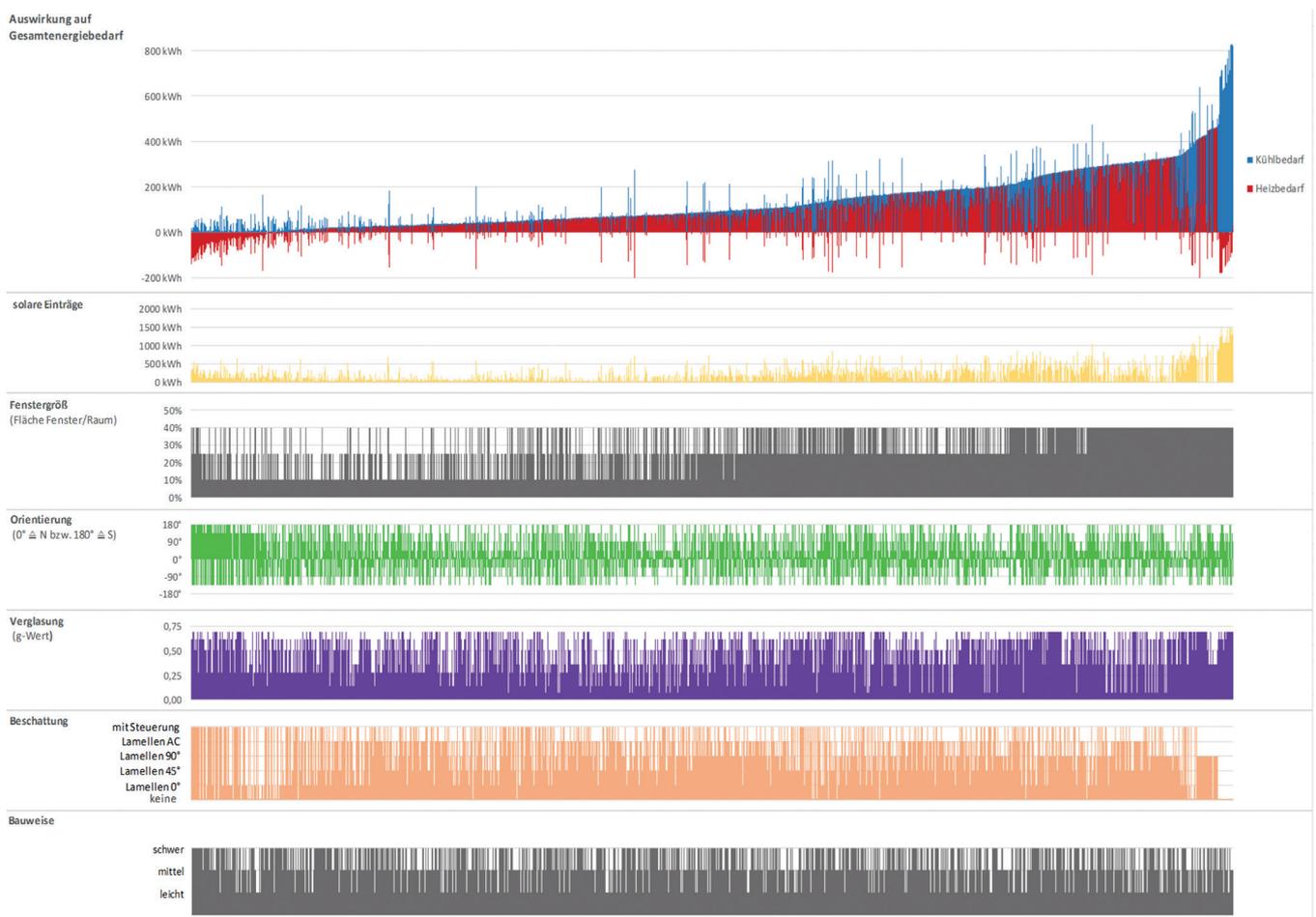
In der Hauptstudie wurden nun im Rahmen von 12.000 Simulationen die oben angeführten Einflussparameter und Varianten hinsichtlich der Gesamtenergiebilanz, des Tageslichtangebots, aber auch des Komforts hin untersucht. Grundlage bildete ein vereinfachter Referenz-Wohnungs-/Homeoffice-Grundriss. Nebenräume wurden dabei nicht berücksichtigt, um die Datenmengen möglichst zu begrenzen. Die Orientierung wurde dabei ebenso variiert wie die Lage zB im städtischen Bereich in einer Gasse mit gegenüber liegender Bebauung und damit entsprechender baulicher Verschattung.

Die Zeitpläne für die Belegung der Räume wurde in Anlehnung an die ÖNORM EN 16798-1<sup>30</sup> erstellt, mit vier Personen pro Wohnung bzw einer Person im Homeoffice. Auch die inneren Gewinne wurden normgemäß erfasst.

Ebenso wurden die Randbedingungen so gewählt, dass ein realistisches Nutzerverhalten abgebildet wurde; Näheres dazu ist in der Studie selbst zu finden. Auch die Steuerung der Beschattungselemente erfolgte in verschiedenen Varianten temperaturgesteuert, zeitplangesteuert bzw einstrahlungsgesteuert (siehe Abbildung 11).

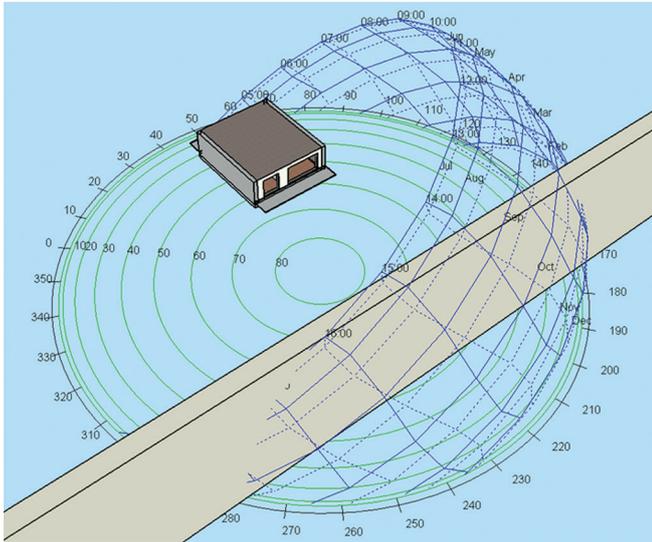
Um den Ergebnisumfang zu steuern, wurden über eine Optimierungsberechnung jeweils zwei in Konflikt stehende Zielgrößen bearbeitet. Aus einer initial zufällig ausgewählten Stichprobe an Parameterkombinationen werden dabei für den nächsten Iterationsschritt mittels eines genetischen Algorithmus Kombinationen ausgewählt, die eine potenziell optimale Lösung liefern, was so lange fortgesetzt wird, bis für eine gewählte Iterationsanzahl keine optimalen Lösungen mehr gefunden werden. Als optimal angesehene Lösungen liegen dann auf der sich ausbildenden *Pareto-Front*. Limits begrenzen die jeweils erhaltenen Generationen.

Die Optimierung nach Komfort und Beleuchtung (ohne mechanische Kühlung) erfolgte nach jenen Stunden, die nicht in den Bereich der Kategorie I der Vorgaben der ÖNORM EN 15251 fallen. Die zweite Zielgröße wurde über den Beleuchtungsenergieverbrauch bestimmt, was eine



**Abbildung 10:** Auswirkung der Parametervariationen aus der Vorstudie auf den Gesamtenergiebedarf eines Raumes (Quelle: Leh ua, Coole Fenster)

Aussage über die Tageslichtausnutzung bei der jeweiligen Parameterkombination ermöglicht (300°lx in den Wohnräumen und 500°lx im Homeoffice entsprechend Tabelle A.1 der ÖNORM EN 17037).<sup>31</sup> Werden die Vorgaben nicht eingehalten, wird in der Simulation eine künstliche Beleuchtung aktiviert, mit hier 3,4 W/(m<sup>2</sup>100 lux).



**Abbildung 11:** Darstellung der Einzelwohnung im Sonnenverlaufdiagramm, beispielhaft mit baulicher Verschattung und ungünstiger Orientierung der Fensterflächen (Quelle: Leh ua, Coole Fenster)

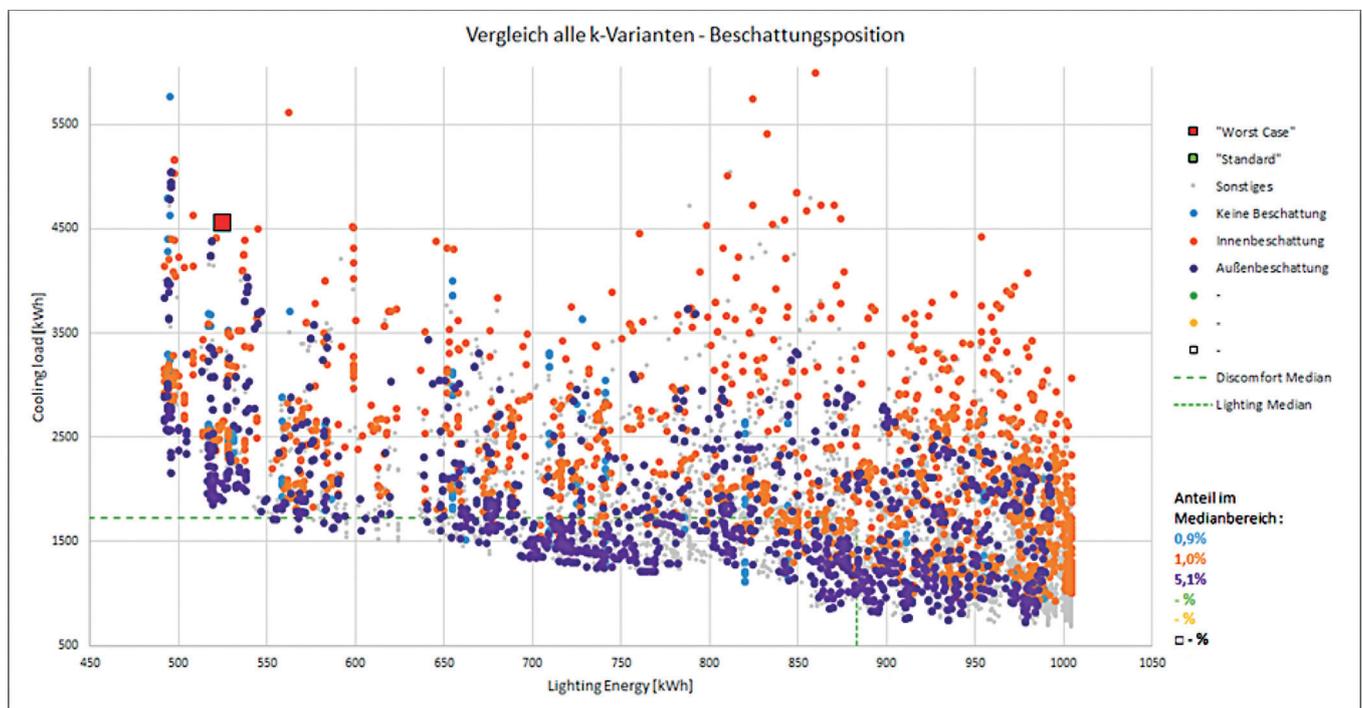
Mittels Optimierungstools wurde eine Vielzahl von Parametern variiert und in unterschiedlichsten Konstellationen kombiniert.

Ein Beispiel für die erhaltenen Optimierungsdiagramme stellen die Ergebnisse der Optimierung Kühlung und Beleuchtungsenergiebedarf in Abhängigkeit der Beschattungsposition dar. Als Planungsziel könnte man nun anstreben, dass die gewählte Kombination im unteren linken Medianquartal liegt, um sowohl die erforderliche Beleuchtungsenergie als auch die Kühllast zu minimieren (siehe Abbildung 12).

Interessant ist auch, dass deutlich wird, welcher markant günstigen Einfluss der U-Wert der Verglasungen auf die Komfortparameter zeigt. Hier ergibt sich für den als günstig bewerteten Medianbereich im Diagramm ein Anteil von 10 % der Varianten bei einem U-Wert von 0,5 W/m<sup>2</sup>K, während bei 1,0 W/m<sup>2</sup>K nur 0,8 % der Varianten in diesen günstigen Medianbereich fallen.

Nicht bewertet ist dabei das gelegentliche Anlaufen der Außenseite der Verglasung, das möglicherweise als visueller Diskomfort betrachtet werden könnte. Auch bezüglich der Kühlenergie haben die Verglasungen mit niedrigem U-Wert einen günstigen Einfluss.

Die Nutzung einer Beschattung in der Nacht kann – abhängig von der thermischen Qualität der Verglasung von 0,5 bis 1,4 W/m<sup>2</sup>K – zu einer Heizenergieeinsparung von 1 bis zu 4 % beitragen. Weitere Ergebnisse sind direkt der Studie zu entnehmen.



**Abbildung 12:** Ergebnisse Optimierung Kühlungs- versus Beleuchtungsenergiebedarf als Punktwolke; Verteilung der simulierten Parameterkombinationen in Abhängigkeit der Beschattungsposition (Anmerkung: Der angeführte Anteil im Medianbereich bezieht sich auf die Gesamtsumme der berechneten Punkte). Ausgegraute Punkte erfüllen die hinterlegte Bedingung an den Heizenergiebedarf nicht. Jeder Punkt entspricht dabei einem Simulationsergebnis einer Variante (Quelle: Leh ua, Coole Fenster)

## Hitzeschutz: Sind unsere Gebäude fit für das künftige Klima?

Die so erhaltenen Ergebnisse innerhalb konkreter Parameterkombinationen bedürfen aber für eine übergreifende Betrachtung einer fortgeschrittenen Datenanalyse. Um auch die Einflüsse einzelner Parameter und deren Interaktionen mit weiteren auf die jeweilige Zielgröße quantifizieren zu können, wurden die Ergebnisse einer statistischen Analyse mittels multilinearer Regression unterzogen.

Mittels der angewendeten multiplen linearen Regression wurde eine Gewichtung der einzelnen Parameter und deren Zusammenwirken mit anderen Parametern auf die

Zielgröße erarbeitet und dazu die Variablen normiert. Als beste Näherung ergab sich eine Polynomfunktion zweiten Grades für die Regression, welche damit auch quadratische Einflüsse einzelner Parameter abbilden lässt. Die Koeffizienten wurden computergestützt auf Basis der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt.

Da aufgrund der Vielzahl an ermittelten Koeffizienten das Ergebnis nicht einfach interpretierbar ist, wurden zur verständlichen Darstellung Einflussmatrizen erarbeitet. Man kann hier die Koeffizienten als „Gewichtungsfaktoren“

	1	Größe der Lüftungsöffnung	Ug-Wert der Verglasung	g-Wert der Verglasung	T-Wert der Verglasung	Lamellen vorhanden	Textiler Behang vorhanden	Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	innenliegende Beschattung	Reflexionsgrad der Beschattung	Transmissionsgrad eines textilen Behangs	Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	Steuerkriterium: Zeitgesteuert	Länge der Auskragung als Verschattung	Auskragung als Verschattung vorhanden	Querlüftungsmöglichkeit
1	0,055	0,022	0,035	x	-0,013	0,007	x	x	x	-0,006	x	x	0,004	-	0,002	x	x	-0,033
Größe der Lüftungsöffnung	0,022	-0,008	-0,005	0,006	0,007	-0,002	x	x	x	x	x	x	-0,005	-	x	x	x	x
Ug-Wert der Verglasung	0,035	-0,005	0,037	-0,048	-0,032	0,004	0,006	x	-0,006	0,002	-0,010	x	0,020	-	x	0,010	x	0,023
g-Wert der Verglasung	x	0,006	-0,048	0,015	0,004	x	0,004	x	x	0,006	-0,004	x	0,003	-	x	x	-0,002	-0,003
T-Wert der Verglasung	-0,013	0,007	-0,032	0,004	-0,008	x	x	x	-0,006	x	-0,005	x	0,006	-	x	x	x	-0,025
Lamellen vorhanden	0,007	-0,002	0,004	x	x	-	-	-	x	-0,007	-	x	x	-	x	-0,001	x	x
Textiler Behang vorhanden	x	x	0,006	0,004	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	x	x	x	x
Lamellenwinkel 45° / nachgeführt	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x	-	0,002	x	-	-	x	x	x
innenliegende Beschattung	x	x	-0,006	x	-0,006	x	x	x	-	0,007	0,012	x	-0,013	-	x	x	x	x
Reflexionsgrad der Beschattung	-0,006	x	0,002	0,006	x	-0,007	x	x	0,007	0,004	-0,005	x	x	-	x	x	x	x
Transmissionsgrad eines textilen Behangs	x	x	-0,010	-0,004	-0,005	-	-	-	0,012	-0,005	x	0,004	-0,012	-	0,005	x	x	x
Steuerkriterium: 24°C Raumlufttemperatur	x	x	x	x	x	x	x	0,002	x	x	0,004	-	-	-	-	x	x	x
Steuerkriterium: 50 W Einstrahlung	0,004	-0,005	0,020	0,003	0,006	x	x	x	-0,013	x	-0,012	-	-	-	-	x	x	0,006
Steuerkriterium: 200 W Einstrahlung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Steuerkriterium: Zeitgesteuert	0,002	x	x	x	x	x	x	-	x	x	0,005	-	-	-	-	x	x	-0,003
Länge der Auskragung als Verschattung	x	x	0,010	x	x	-0,001	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-	0,004
Auskragung als Verschattung vorhanden	x	x	x	-0,002	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x
Querlüftungsmöglichkeit	-0,033	x	0,023	-0,003	-0,025	x	x	x	x	x	x	x	0,006	-	-0,003	0,004	x	-

Zielgröße: Heizenergie | Raummodell: "Standard" | Variante ohne Kühlanlage

Abbildung 13: Reduzierte Einflussmatrix zum Raummodell „Standard“ ohne mechanische Kühlung mit der Zielgröße Heizenergie. Die roten Felder weisen auf einen positive, die grünen einen negativen Zusammenhang der Parameter hin (Quelle: Lehua, Coole Fenster)

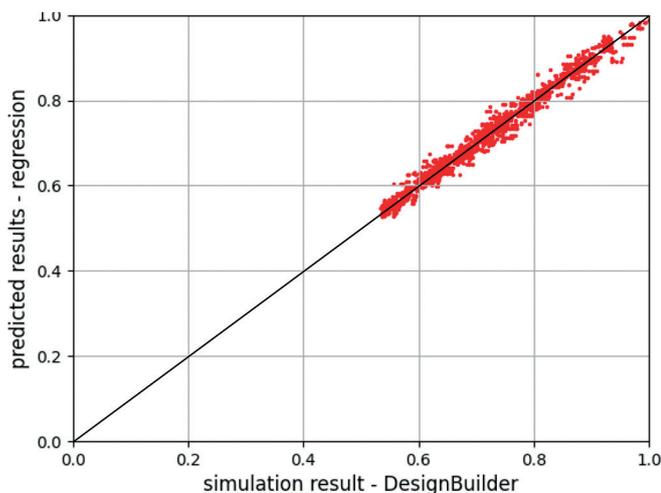
bezeichnen, da deren betragsmäßige Größe eine direkte Bewertung der Gewichtung der zugehörigen Parameter ermöglicht.

Gewichtungsfaktoren mit negativem Vorzeichen sind in Abbildung 13 grün eingefärbt (da diese zu einer Reduktion der Zielgröße führen, also zB den Heizenergiebedarf), solche mit positiven Vorzeichen rot, da diese die Zielgröße erhöhen (zB die thermisch unbehaglichen Stunden).

Als Beispiel für die multikriterielle Auswertung soll die folgende Einflussmatrix am Beispiel des Raummodells „Standard“ in einer Simulationsvariante ohne mechanische Kühlung angeführt werden (siehe Abbildung 13).

Aus der Einflussmatrix sind relevantesten Einflussgrößen ersichtlich, ungünstige in Rot, günstige in Grün. Im Beispiel sieht man zB deutlich die Abhängigkeit des  $U_g$ -Werts der Verglasung. Auch für andere Zielgrößen lassen sich solche Einflussmatrizen erstellen (zB für die Beleuchtungsenergie oder die Kühlenergie).

Die Qualität der Übereinstimmung der Ergebnisse der Regressionsmodelle mit dem Simulationsergebnissen und der Einflussmatrix lässt sich sehr gut an entsprechenden Gegenüberstellungen erkennen, wie im Folgenden zB für die Prognose Heizenergiebedarf (siehe Abbildung 14).



**Abbildung 14:** Gegenüberstellung der Ergebnisse aus der Simulation und der Regressionsprognose am Beispiel Heizenergiebedarf – Bestimmtheitsmaß 99,8 % (Quelle: Leh ua, Coole Fenster)

Die erhaltenen Ergebnisse können künftig also eine ausgezeichnete Grundlage für die Entwicklung von Tools für Sachverständige, Planer, die Wirtschaft und interessierte Laien bilden, da es bei entsprechender weiterer Ausarbeitung möglich wird, ohne tausende Simulationsvarianten für jedes Bauvorhaben durchzuspielen, Vorschläge für günstige Kombinationen der zugrunde liegenden Parameter zu erhalten und dabei zB dabei auf Basis des Standortes und der Ausrichtung die Auswirkungen auf Komfort, Gesundheit, Tageslichtkomfort und eine gute Energiebilanz gleichzeitig zu berücksichtigen und zu optimieren. Dies kann dabei unmittelbar beim Entwurf eines

Gebäudes erfolgen und so einen wesentlichen Beitrag für zukunftsfähige Gebäude leisten.

Deutlich wird dabei jedenfalls, dass eine übergreifende Betrachtung der Bauaufgabe, der Nutzung, des Klimas bis hin zu den verwendeten Komponenten unumgänglich ist, um gute Ergebnisse zu erzielen. Dies wird auch in der großen Streubreite der hier zugrunde liegenden 12.000 Simulationen sichtbar, welche letztlich durch entsprechende Werkzeuge auf eine für den Menschen überschaubare Größe komprimiert werden kann. Eine Weiterführung des Projekts ist für 2024 geplant.

Die künftig zu erwartenden Effekte der Änderungen unseres Klimas werden noch weit über die hier betrachteten Parameter hinausgehen, was es sinnvoll erscheinen lässt, solche Modelle nicht nur für eine Wohnung, sondern auch für Gebäude, Quartiere, Städte und Siedlungsräume zu erarbeiten und darin auch die Sanierung miteinzubeziehen, aber auch weitere wichtige Parameter bis hin zu möglichen Abweichungen, welche uns die Klimazukunft möglicherweise bringt, entsprechend zu berücksichtigen und dafür eine resiliente bauliche Umgebung für eine nachhaltige Zukunft zu gestalten.

## 5. Ausblick

Änderungen im Klima zeichnen sich ab und es ist an der Zeit, geeignete sinnvolle Maßnahmen für die Bewältigung dieser Herausforderungen im gesellschaftlichen Kontext zu entwickeln und auf ein wirksames Risikomanagement zu setzen. Ein Teil der erforderlichen Schritte betrifft dabei jene Maßnahmen, die jenen Anteil aus gesamtheitlicher Sicht zu reduzieren, der durch menschliche Aktivitäten einen unerwünschten Beitrag leistet. Mit Gewissheit kann man jedenfalls vom Erfordernis einer künftigen Kreislaufwirtschaft ausgehen.

Aufgrund der nicht zu negierenden Möglichkeit, dass zahlreiche und teilweise noch wenig erforschte Mechanismen zu den wahrgenommenen Änderungen in Witterung und Klima beitragen, ist der mögliche, tatsächlich wirksame Gesamtbeitrag in seiner Größenordnung heute immer noch Gegenstand der Wissenschaft.

Im Sinne einer Risikovorsorge wird es dennoch notwendig, Maßnahmen zu ergreifen, die unser Lebensumfeld robuster für die prognostizierten Entwicklungen, aber auch die Anpassung an neue Erkenntnisse machen, um hier zu mehr Resilienz zu kommen.

Ein großer Beitrag dazu betrifft hier die gebaute Umgebung samt der Infrastruktur. Werkzeuge und Wissen, die in der Folge zu einer bewussten, zielgerichteten Risikovorsorge und unter anderem einem besseren Verhalten unserer Gebäude in künftigen Klimaszenarien beitragen, müssen umgehend bereitgestellt und nutzbar gemacht und auch genutzt werden.

Gebäude, die jetzt saniert oder gebaut werden, sind jene, die uns künftig bei den geänderten Klimabedingungen

zur Verfügung stehen und entsprechenden Schutz bieten, aber auch kreislaufwirtschaftlichen Kriterien entsprechen sollten.

Die hier dargestellten Bereiche stellen nur einen kleinen Ausschnitt der Problematik dar. Die Gesamtheit der Szenarien und Optionen müssen durchdacht und umfassend begriffen und vorhandene Chancen ergriffen werden, um jetzt die richtigen Maßnahmen im Sinne einer Risikominimierung zu setzen. Aber auch falsche Wege nur einfach schneller zu gehen, trägt erfahrungsgemäß nicht zur Zielerreichung bei. Die Ergebnisse der Umsetzung und die Entwicklung der Randbedingungen selbst sind daher laufend zu evaluieren und die Handlungen entsprechend anzupassen.

Unsere heutige bauliche Umgebung benötigt noch viele Schritte in die richtige Richtung. Wir haben derzeit noch viele Möglichkeiten in der Hand, entsprechende Risikoanalyse und -vorsorge zu betreiben. Nutzen wir sie!

### Anmerkungen:

- <sup>1</sup> Siehe <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimaforschung/wetter-und-klima>.
- <sup>2</sup> Siehe <https://www.dwds.de/wb/etymwb/Klima>.
- <sup>3</sup> Siehe <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/palaeoklima/4-6-mrd.-jahre>.
- <sup>4</sup> Leitfaden zur OIB-Richtlinie 6: Energietechnisches Verhalten von Gebäuden (Ausgabe: März 2015), online abrufbar unter [https://www.oib.or.at/sites/default/files/leitfaden\\_richtlinie\\_6\\_26.03.15\\_0.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/leitfaden_richtlinie_6_26.03.15_0.pdf).
- <sup>5</sup> OIB Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz (Ausgabe: April 2019), online abrufbar [https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie\\_6\\_12.04.19\\_1.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/richtlinie_6_12.04.19_1.pdf).
- <sup>6</sup> OIB Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz (Ausgabe: Mai 2023), online abrufbar [https://www.oib.or.at/sites/default/files/oib-rl\\_6\\_ausgabe\\_mai\\_2023.pdf](https://www.oib.or.at/sites/default/files/oib-rl_6_ausgabe_mai_2023.pdf).
- <sup>7</sup> Siehe <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/praevention/hitze>.
- <sup>8</sup> ÖNORM EN 15251: Eingangsparemeter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden – Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik (Ausgabe: 1. 9. 2007).
- <sup>9</sup> Dunne/Ronald/John, Reduction in Labor capacity from heat stress under climate warming, *Nature Climate Change* 2013, 563.
- <sup>10</sup> Marx-Dick, *Gesunder Schlaf* (2023).
- <sup>11</sup> Baniassadi/Manor/Yu/Travison/Lipsitz, Nighttime ambient temperature and sleep in community-dwelling older adults, *Science of The Total Environment* 899 (2023), 165623.
- <sup>12</sup> Fan/Shao/Sakamoto/Kuga/Lan/Wyon/Ito/Bivolarova/Liao/Wargocki, The effects of ventilation and temperature on sleep quality and

a next-day work performance: pilot measurements in a climate chamber; *Building and Environment* 209 (2022), 108666.

- <sup>13</sup> Online abrufbar unter <https://ccca.ac.at/wissenstransfer/apcc/oesterreichischer-sachstandsbericht>.
- <sup>14</sup> Formayer/Clementsitsch/Hofstätter/Kromp-Kolb, *Vor Sicht Klimawandel in Österreich, regional betrachtet* (2009), online abrufbar unter [https://meteo.boku.ac.at/report/BOKU-Met\\_Report\\_16\\_online.pdf](https://meteo.boku.ac.at/report/BOKU-Met_Report_16_online.pdf).
- <sup>15</sup> Besancenot, Vagues de chaleur et mortalité dans les grandes agglomérations urbaines, *Environnement, risques & santé* 2002, 229; Laaidi/Zeghnoun/Dousset/Bretin/Vandentorren/Giraudet/Beauveau, The Impact of Heat Islands on Mortality in Paris during the August 2003 Heat Wave, *Environmental Health Perspectives* 2011, 254.
- <sup>16</sup> Ferk/Rüdisser/Riederer/Majdanac, *Sommerlicher Wärmeschutz im Klimawandel* (2016), online abrufbar unter [https://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/shop\\_Publikationen/Fokus\\_Covers\\_und\\_pdf/Sommerlicher\\_Wa\\_rmeschutz.pdf](https://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/shop_Publikationen/Fokus_Covers_und_pdf/Sommerlicher_Wa_rmeschutz.pdf).
- <sup>17</sup> Leh/Stiegler/Wolffhardt/Vavrik-Kirchsteiger/Bachinger/Ferk/Schober/Nusser, *Coole Fenster* (2023), online abrufbar unter [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz\\_pdf/schriftenreihe-2023-68-coole\\_Fenster.pdf](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2023-68-coole_Fenster.pdf).
- <sup>18</sup> Siehe <https://cordis.europa.eu/project/id/730004/de>.
- <sup>19</sup> Online abrufbar unter <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5>.
- <sup>20</sup> Online abrufbar unter <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6>.
- <sup>21</sup> Popper, *Logik der Forschung*<sup>11</sup> (2005).
- <sup>22</sup> Siehe [https://www.achgut.com/artikel/die\\_jahrhundert\\_panne\\_des\\_weltklimarates\\_ipcc](https://www.achgut.com/artikel/die_jahrhundert_panne_des_weltklimarates_ipcc).
- <sup>23</sup> Siehe <https://designbuilder.co.uk>.
- <sup>24</sup> Siehe <https://energyplus.net>.
- <sup>25</sup> Siehe [https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/hitze\\_karte.pdf](https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/hitze_karte.pdf).
- <sup>26</sup> Siehe <https://orf.at/stories/3129860>.
- <sup>27</sup> Salamanca/Georgescu/Mahalov/Moustouli/Wang, Anthropogenic heating of the urban environment due to air conditioning, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 2014, 5949.
- <sup>28</sup> Siehe <https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling>.
- <sup>29</sup> ISO 15099: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Sonnenschutzvorrichtungen – Detaillierte Berechnungen (Ausgabe: November 2003).
- <sup>30</sup> ÖNORM EN 16798-1: Energetische Bewertung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparemeter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik – Module M1-6 (Ausgabe: 1. 11. 2019).
- <sup>31</sup> ÖNORM EN 17037: Tageslicht in Gebäuden (Ausgabe: 15. 5. 2022).

### Korrespondenz:

Oberrat Dipl.-Ing- Heinz Ferk  
Labor für Bauphysik  
Technische Universität Graz  
Inffeldgasse 24, 8010 Graz  
E-Mail: [ferk@tugraz.at](mailto:ferk@tugraz.at)