

Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V

Gebäudekonzepte für heiße Sommer: Schwerpunkt Passivhaus-Nichtwohngebäude

Protokoll-
57
band



Der Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser wird unterstützt durch:

DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen

proKlima der Klimaschutzfonds der Stadtwerke Hannover AG

FAAG Technik GmbH

HESSEN



Hessisches Ministerium
für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen



Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser – Phase V: 2010-2021

Protokollband Nr. 57
Gebäudekonzepte für heiße Sommer -
Schwerpunkt Nichtwohngebäude

Wolfgang Feist; Passivhaus Institut Darmstadt
und Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften

1. Auflage: Darmstadt, September 2021

Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser

Protokollband Nr. 57

Gebäudekonzepte für heiße Sommer – Schwerpunkt Nichtwohngebäude

Herausgeber: Wolfgang Feist,
Passivhaus Institut, Rheinstraße 44-46, D-64283 Darmstadt und
Universität Innsbruck, Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften

Autoren: Oliver Kah, Passivhaus Institut
Tanja Schulz, Passivhaus Institut
Esther Gollwitzer, Passivhaus Institut
Oliver Ottinger, Kreisverwaltung Darmstadt-Dieburg
Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut
Robert Weicht, LandesEnergieAgentur Hessen GmbH
Monika Kurz, Kreisverwaltung Groß-Gerau
Jessica Grove-Smith, Passivhaus Institut
Zeno Bastian, Passivhaus Institut
Gernot Vallentin, ArchitekturWerkstatt Vallentin
Wolfgang Hasper, Passivhaus Institut
Meinolf Koßman, Deutscher Wetterdienst
Saskia Buchholz, Deutscher Wetterdienst
Jens M. Kuckelkorn, ZAE Bayern.

Umschlag: Marlies Blücher, Passivhaus Institut

Bezug: Passivhaus Institut

Die von den Autoren in ihren Beiträgen wiedergegebenen Positionen müssen nicht in allen Fällen mit denen des Herausgebers oder der Träger übereinstimmen.

1. Auflage
Darmstadt, September 2021

Passivhaus Institut
Dr. Wolfgang Feist

Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt
Tel. 06151 / 82699-0
Fax 06151 / 82699-11

mail@passiv.de
www.passiv.de

Die Träger des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser
(Phase V) sind:

- DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Wohnen
- proKlima – Der enercity-Fonds
- FAAG Technik GmbH
- Die in diesem Protokollband dargestellten Ergebnisse
wurden erarbeitet im Auftrag des Hessischen Ministeriums
für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Wohnen

Inhalt

Einleitung: Bedeutung des Sommerkomforts	1
Dr. Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut	
Sensitivitätsstudie zu sommerlichen Temperaturverhältnissen und thermischer Belastung in Städten	9
Dr. Meinolf Koßmann und Dr. Saskia Buchholz, Deutscher Wetterdienst	
Lösungsansätze für guten Sommerkomfort vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Klimaänderung	11
Oliver Kah, Passivhaus Institut	
Bewährte passive Maßnahmen: Sonnenschutz	37
Esther Gollwitzer, Passivhaus Institut	
Bewährte passive Maßnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz: Lüftungsstrategien	49
Zeno Bastian, Passivhaus Institut	
Planungserfahrungen: Verwaltungsgebäude (Passivhaus-Plus), Schulen und Kindertagesstätten	65
Gernot Vallentin, ArchitekturWerkstatt Vallentin GmbH	
Betriebserfahrungen: Verwaltungsgebäude mit Betonkernaktivierung	97
Wolfgang Hasper, Passivhaus Institut	
Praxis-Erfahrungen mit energieeffizienten Kühlkonzepten aus dem Monitoring von Passivhaus-Schulen	109
Dr. Jens M. Kuckelkorn, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.	
Nichtwohngebäude mit hohen Kühllasten	119
Oliver Kah, Passivhaus Institut	
Bewährte Maßnahmen – Reduzierung der Wärmeeinträge und Möglichkeiten der aktiven Kühlung	137
Tanja Schulz, Passivhaus Institut	
Planungs- und Praxiserfahrungen aus Sicht kommunaler Betreiber	157
Monika Kurz, Kreisverwaltung Groß-Gerau, Dr. Oliver Ottinger, Kreisverwaltung Darmstadt-Dieburg	

Sommerlicher Wärmeschutz und sommerliche Gebäudekühlung	171
Robert Weicht, LandesEnergieAgentur Hessen GmbH	
Risikoanalyse Sommerkomfort: Nutzereinfluss, Klimaveränderung und Stadtklima	173
Jessica Grove-Smith, Passivhaus Institut	
Zusammenfassung	193
Esther Gollwitzer, Passivhaus Institut	

Jürgen Schnieders, Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Einleitung: Bedeutung des Sommerkomforts

1 Sommerlicher Wärmeschutz wird immer wichtiger

Dass das Klima weltweit, aber auch in Deutschland, wärmer wird, ist hinlänglich bekannt. In den letzten Jahrzehnten ist dieser Trend im Rauschen der von Jahr zu Jahr zufällig schwankenden Messdaten immer deutlicher zu erkennen. Dabei erwärmen sich die Landmassen schneller als die Erde insgesamt, und Europa scheint nochmals besonders stark betroffen zu sein. Das 2-°C-Ziel für die weltweite Klimaerwärmung bedeutet für Deutschland einen deutlich höheren Anstieg.

Entsprechend steigen seit etwa 1980 die Temperaturen in Deutschland im Winter wie im Sommer erkennbar an (Abbildung 1). Früher bewährte Konzepte für angenehme Raumtemperaturen im Sommer stoßen an ihre Grenzen. Gleichzeitig steigen die Komfortansprüche, nicht zuletzt durch die immer häufiger anzutreffende aktive Klimatisierung etwa in Fahrzeugen oder Geschäften.

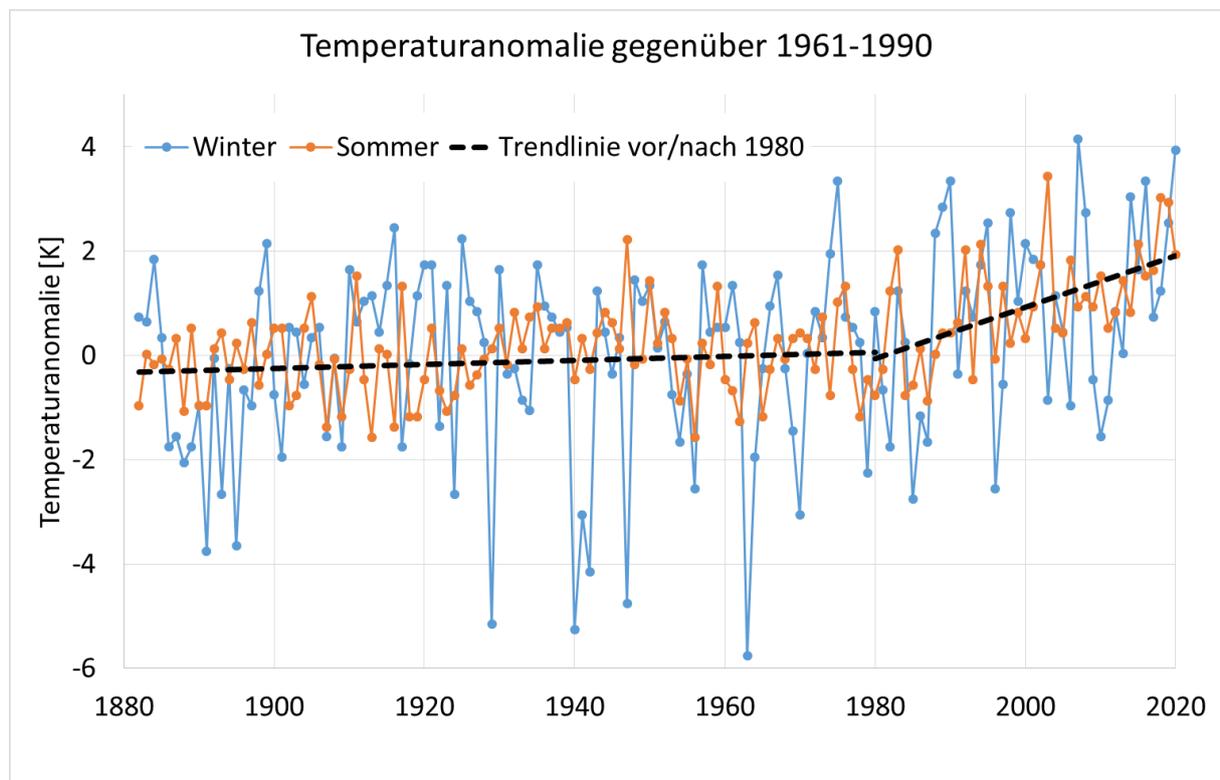


Abbildung 1: In den letzten Jahrzehnten ist ein eindeutiger Anstieg der Durchschnittstemperaturen in Deutschland zu erkennen. Der Verlauf der eingezeichneten Trendlinien hängt stark von der Auswahl des Bezugszeitraums ab und ist hier nur als Orientierung zu verstehen. Datenbasis: Mitteltemperaturen in Deutschland im Sommer bzw. Winter, [DWD 2020]

In der Planung von Gebäuden muss man sich also auf relevant häufigere und stärkere sommerliche Hitzewellen einstellen, Gebäudekonzepte müssen für heiße Sommer geeignet sein.

2 Bewertungsmaßstäbe für den Sommerkomfort

Ob ein Gebäude im Sommer komfortabel ist, kann auf verschiedene Arten bewertet werden. Eine ausführliche Darstellung verschiedener Bewertungsmaßstäbe findet sich z. B. in [Schnieders 2018], an dieser Stelle sollen nur die wichtigsten Aspekte zusammengefasst werden.

Das Referenzverfahren zur Beurteilung von Innenraumbedingungen ist das um 1970 von P. O. Fanger entwickelte und in der ISO 7730 festgeschriebene Predicted Mean Vote oder **PMV**. Es gibt die zu erwartende durchschnittliche Beurteilung des thermischen Komforts auf einer Skala von -3 (kalt) bis +3 (heiß) an, bei einem PMV von 0 empfinden die Menschen die Umgebung im Durchschnitt als neutral. Das PMV hängt von Luft- und Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Aktivität und Bekleidung ab. Unter typischen Randbedingungen ergeben sich daraus für sitzende Personen sommerliche Komforttemperaturen um 25 °C.

Wird diese Grenze überschritten, bildet die **Übertemperaturhäufigkeit** ein Maß für die dadurch entstehenden Komforteinschränkungen. Das PHI empfiehlt, dass 25 °C höchstens für 5 % des Jahres überschritten werden, in der Passivhaus-Zertifizierung wird ein Höchstwert von 10 % verlangt.

Die Übertemperaturhäufigkeit hat den Vorteil, dass sie auch für Laien ein leicht verständliches Maß ist. Ihr Nachteil ist, dass theoretisch Gebäude mit gleicher Übertemperaturhäufigkeit unterschiedliche Spitzentemperaturen erreichen können und damit trotzdem unterschiedlichen thermischen Komfort bieten. Obwohl sie in der Praxis gut mit der Übertemperaturhäufigkeit korreliert sind, sind in Deutschland daher die **Übertemperaturgradstunden** eingeführt. Dabei handelt es sich um das Integral der Temperaturdifferenz zur Grenztemperatur von 25 °C, soweit diese Differenz positiv ist; vereinfacht ausgedrückt wird für alle Stunden, in denen es wärmer als 25 °C ist, die Temperaturdifferenz zu 25 °C aufsummiert. Damit gehen sowohl Dauer als auch Intensität der Überschreitung in diesen Maßstab ein. Die Gewichtung der Temperaturdifferenzen ist linear, es wird also angenommen, dass eine Stunde bei 28 °C genauso unangenehm ist wie drei Stunden bei 26 °C. Im Prinzip wäre hier auch eine andere Gewichtung denkbar, etwa anhand des Anteils der Unzufriedenen (PPD) aus der ISO 7730.

Vor allem im akademischen Umfeld werden immer wieder **adaptive Komfortmodelle** diskutiert. Diese gehen davon aus, dass in nicht-klimatisierten Gebäuden, in denen die Nutzer einen Einfluss auf die Raumbedingungen haben, z. B. selbst Fenster öffnen können, die Komforttemperatur abhängig von der Außentemperatur steigt. In Hitzepe-

rioden ggf. auch deutlich über 25 °C. Die Ableitung dieser Modelle weist jedoch methodische Schwächen auf. Im deutschen Klima liegen die so vorhergesagten Komforttemperaturen ohnehin nur selten um mehr als 1 bis 2 K über 25 °C, sodass eine experimentelle Prüfung kaum möglich ist. In heißeren Ländern, wo diese Ansätze relevant werden, ist in der Regel eine Abstimmung mit den Füßen, für niedrigere Temperaturen, (in der Regel erreicht durch eine aktive Klimatisierung) zu beobachten.

In Nichtwohngebäuden befinden sich meist Arbeitsplätze, sodass die **Technischen Regeln für Arbeitsstätten** (ASR) relevant sind. Bezüglich der Raumtemperaturen gelten die ASR A3.5. Die ASR müssen nicht zwingend eingehalten werden, allerdings gelten die Anforderungen der Arbeitsstättenverordnung als erfüllt, wenn der Arbeitgeber die ASR einhält. Dies ist also sicherlich der einfachste Weg.

Die ASR fordern vom Grundsatz her, dass eine Raumlufttemperatur von 26 °C nicht überschritten werden darf. Dazu sind ggf. Sonnenschutzsysteme zu installieren. Erst wenn die Außenluft wärmer als 26 °C wird, dürfen auch die Raumtemperaturen über 26 °C steigen, es sollen dann aber weitere Maßnahmen (Nachtlüftung, Regelung des Sonnenschutzes, Gleitzeit ermöglichen, Bekleidungsregeln lockern, Getränke bereitstellen) ergriffen werden. Oberhalb von 30 °C am Arbeitsplatz wird dies zur Pflicht. Häufig orientiert man sich außerdem an der Regel, dass es bei Außentemperaturen über 32 °C ausreicht, wenn die Raumtemperatur 6 K unter der Außentemperatur liegt (das sog. Bielefelder Urteil).

3 Gesundheitliche Folgen hoher Temperaturen

In Hitzewellen steigt die Zahl der Menschen, die aufgrund hitzebedingter Erkrankungen ärztlich behandelt werden müssen, spürbar an. Zu den bedeutendsten solchen Erkrankungen zählen:

- Hitzschlag, d. h. eine Überwärmung des Körpers
- Dehydration, d. h. Flüssigkeitsmangel
- Bluthochdruck
- Darminfektionen
- Nierenversagen

Auch die psychische Gesundheit kann durch zu hohe Temperaturen beeinträchtigt werden. Insbesondere die Suizid-Häufigkeit scheint in Hitzewellen anzusteigen ([Thompson 2018]).

In einer niederländischen Untersuchung an Probanden im Alter über 65 Jahre, die in ihren eigenen Wohnungen wohnten, zeigte [van Loenhout 2016], dass die Häufigkeit

von Störungen wie schlechtes Schlafen, Müdigkeit, Kopfschmerzen, Durst und übermäßiges Schwitzen schon bei moderaten Temperaturen stark zunehmen kann (Abbildung 2). Bei Raumtemperaturen von 25 °C klagte bereits jeder Dritte über solche Symptome.

	1-7 May	21-27 May	24-30 Jul	14-20 Aug
Wohnen	20,9 °C	24,0 °C	24,2 °C	25,4 °C
Schlafen	19,3 °C	23,6 °C	23,8 °C	25,1 °C

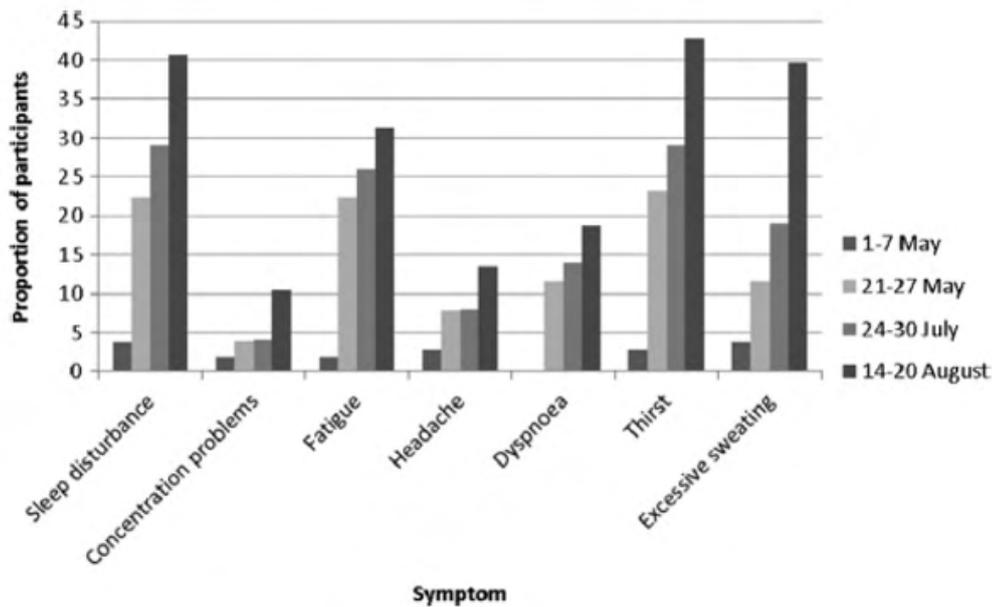


Abbildung 2: Hitzebedingte Beschwerden und Raumtemperaturen in verschiedenen Zeiträumen für ältere Menschen in den Niederlanden. Grafik: [van Loenhout 2016]

Das sogenannte Sick-Building-Syndrom besteht aus einer Anzahl unspezifischer Symptome wie Kopfschmerzen, Augen-, Nasen- und Halsirritationen, trockenem Husten, trockener Haut, Schwindelgefühl, Konzentrationsschwierigkeiten, Erschöpfung, Geruchsempfindlichkeit. Es tritt vorwiegend in Bürogebäuden auf. Die Beschwerden verschwinden einige Zeit nach Verlassen des Büros. Die Ursache ist in der Regel nicht eindeutig zu identifizieren. Das Sick-Building-Syndrom ist insbesondere abzugrenzen von Beschwerden, die sich klar spezifischen Schadstoffen im Gebäude zuordnen lassen. Obwohl das Sick-Building-Syndrom vorwiegend in Räumen mit Klimaanlage beobachtet wird, tritt es bei erhöhten Temperaturen in besonderem Maße auf.

Gerade für ältere und bereits geschwächte Menschen kann große Hitze auch lebensbedrohlich werden. Schätzungen zufolge starben in der Hitzewelle des Sommers 2003 aufgrund der hohen Temperaturen zwischen 45.000 und 70.000 Menschen, vorwiegend in Frankreich, wo die Temperaturanomalie vom 20.7. bis 20.8.2003 in einzelnen Landesteilen mit 10 °C besonders groß war.

Eine ähnlich intensive Hitzewelle wie 2003, allerdings länger, gab es im Sommer 2015, auch der Sommer 2018 war vergleichbar warm. Temperaturen, für die 2003 noch eine Jährlichkeit von 500 und mehr Jahren angegeben wurde, werden in Zukunft nicht ungewöhnlich sein. Eine Anpassung an diese Verhältnisse ist zwingend notwendig.

4 Auswirkungen hoher Temperaturen auf die Leistungsfähigkeit

Wenn hohe Temperaturen die Gesundheit beeinträchtigen können, ist umso mehr zu erwarten, dass auch die Leistungsfähigkeit des Menschen von der Temperatur abhängt. Das wird der Leser auch aus eigener Erfahrung bestätigen können.

Gerade in Nichtwohngebäuden, etwa Arbeitsstätten, Schulen und Hochschulen, ist es von Interesse, diesen Zusammenhang auch zu quantifizieren. Lohnt sich die Investition in eine aktive Kühlung vielleicht schon, weil die Arbeitsleistung der Mitarbeiter dann steigt? Leicht ist eine solche Beurteilung nicht. Zunächst ist zwischen Quantität und Qualität der Arbeit zu unterscheiden, und es gibt durchaus Studien, in denen einer der beiden Parameter sich bei unkomfortabel hohen Temperaturen leicht verbessert, wobei der andere sich dann meist verschlechtert.

In der Literatur finden sich vor allem Daten zu Tätigkeiten, bei denen Arbeitsleistung und Fehlerhäufigkeit gut zu messen sind. Ein Beispiel zeigt Abbildung 3. Dort mussten die Probanden Texte abtippen (Text typing), Additionsaufgaben lösen (Addition), einen Stroop-Test absolvieren (dabei wird z. B. das Wort „blau“ in gelber Farbe dargestellt, und der Proband muss die (gelbe) Farbe benennen, ohne sich vom u. U. nicht dazu passenden Text verwirren zu lassen) und Kombinationen von Addition, Subtraktion und Multiplikation durchführen (Calculation).

Die Aufgaben wurden bei zwei verschiedenen Temperaturen durchgeführt, 22 °C und 30 °C. Die Probanden trugen Kleidung, mit der sie sich bei der niedrigeren Temperatur thermisch neutral fühlten (0,9 clo). Gemessen wurden die Geschwindigkeit und die Fehlerhäufigkeit.

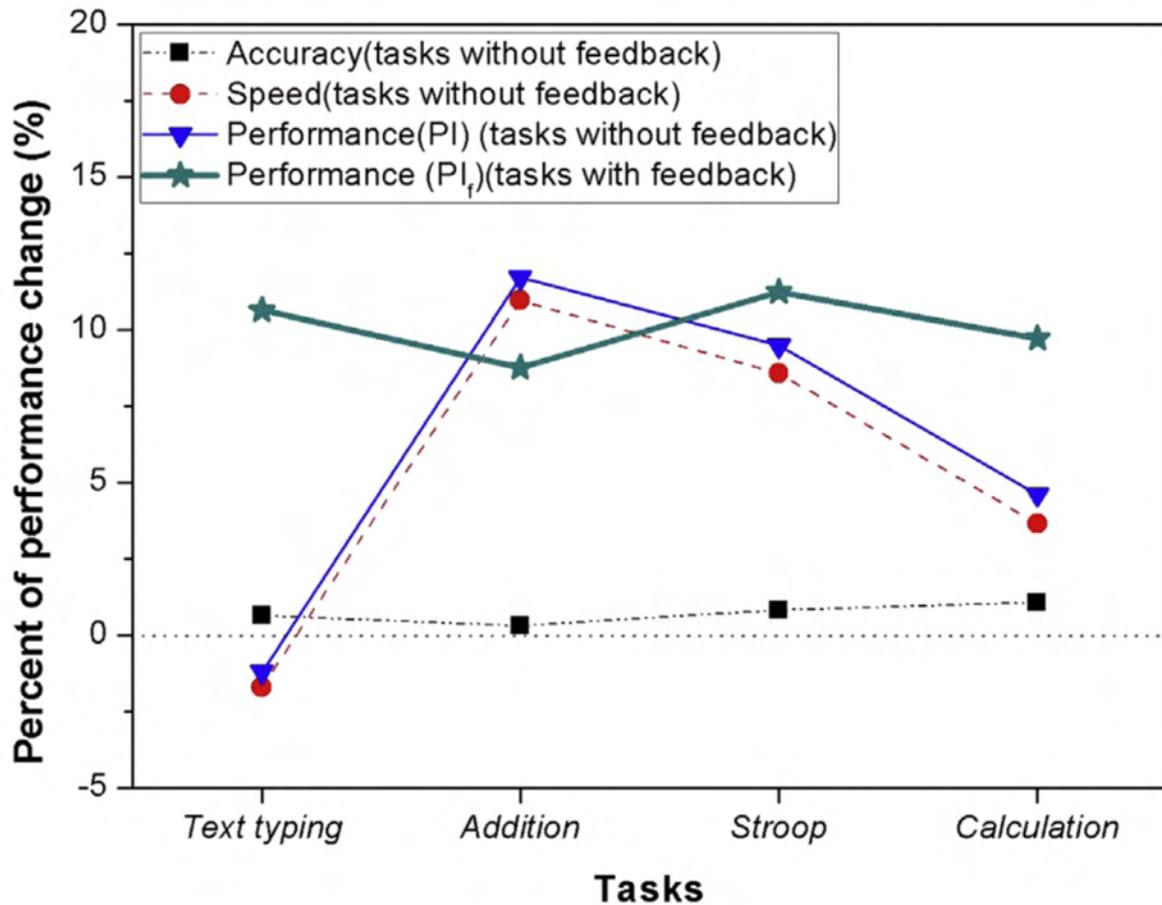


Abbildung 3: Änderung der Genauigkeit (Accuracy) und Geschwindigkeit (Speed) verschiedener Aufgaben nach Absenken der Temperatur von 30 °C auf 22 °C. Der Performance Index PI ist das Produkt aus den Genauigkeits- und Geschwindigkeitsmaßen. Je nachdem, ob die Probanden auf Fehler hingewiesen werden und sie korrigieren müssen (with feedback) oder nicht (without feedback), ergaben sich unterschiedliche Temperaturabhängigkeiten. Grafik aus [Lan 2014].

Man sieht, dass die Fehlerhäufigkeit in diesem Experiment nur schwach von der Temperatur abhängt, die Geschwindigkeit aber bei 22 °C je nach Aufgabe um ca. 10 % zunimmt. Nicht ganz eindeutig war das Ergebnis für die erste Aufgabe (Text typing), hier hing die Leistung nur dann von der Temperatur ab, wenn fehlerfreies Arbeiten verlangt wurde.

Diese Art Tests kann für die verschiedensten Aufgaben durchgeführt werden. Abbildung 4 stammt aus einer Metastudie, in der folgende Aufgaben analysiert wurden:

- Morsen (Berglund 1990),
- eine Kombination von Denken, Tippen und Geschwindigkeit (Wyon 1996),
- Lernen (Pepler 1968),
- Lern-, Rechen- und Wahrnehmungstests (Johansson 1975),
- die bearbeitete Anzahl von Anrufen pro Stunde in einem Callcenter (Niemelä 2001, 2002, Federspiel 2002),
- Nähen (Link & Pepler 1970),
- Fingerfertigkeitstests (Meese 1984).

Performance decrements vs. temperature

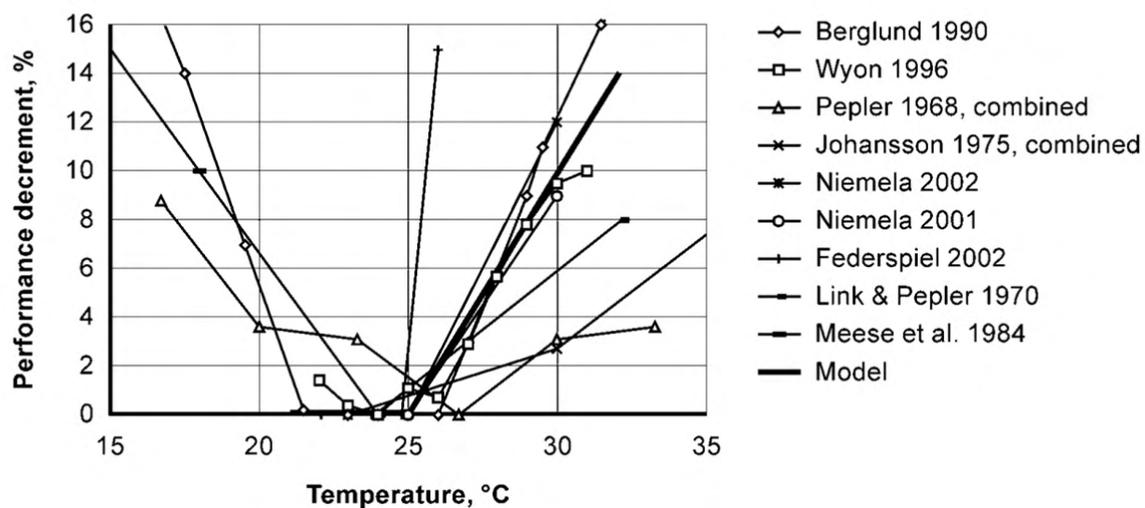


Abbildung 4: Abnahme der Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur. Grafik aus [Seppänen 2004].

Obwohl es eine starke Streuung zwischen den verschiedenen Experimenten gibt, kann man doch folgern, dass innerhalb des Komfortbereichs (bis 25 °C) keine bedeutenden Leistungseinbußen erkennbar sind, darüber aber die Leistungsfähigkeit typischerweise um 2 % pro Kelvin abnimmt (in der Abbildung: „Model“). Bei höheren Temperaturen dürfte der Anstieg steiler werden, denn schon zwischen 30 und 50 °C werden die Mitarbeiter ihre Tätigkeit voraussichtlich komplett einstellen.

Solche Ergebnisse sind mit einer gewissen Vorsicht zu interpretieren. Komplexere Tätigkeiten, etwa kreatives oder konzeptionelles Arbeiten, lassen sich auf diese Weise kaum untersuchen. Auch indirekte Einflüsse auf die Arbeitsleistung, etwa über die Motivation, die ein förderliches Arbeitsumfeld bei den Mitarbeitern schafft, werden von solchen Studien nicht erfasst.

Ein auch im Sommer komfortables Arbeitsumfeld zu schaffen wird sich in der Regel wirtschaftlich lohnen, wie eine grobe Abschätzung zeigt: Ein Mitarbeiter, der inkl. aller

Nebenkosten 100.000 € im Jahr kostet, finde an seinem Arbeitsplatz während 10 % des Jahres durchschnittlich 2 K Übertemperatur vor. Das entspricht recht genau den nach DIN 4108-2 zulässigen Übertemperaturgradstunden von 500 Kh: 2 K Übertemperatur von 7 bis 18 Uhr an Wochentagen in 5 Wochen pro Jahr ergeben 550 Kh. Sinkt die Arbeitsleistung gemäß Abbildung 4 in 10 % der Jahres um 4 % ab, kostet das 400 €/a. Das entspricht etwa typischen Kostenansätzen für eine konventionelle Vollklimatisierung, wobei andere Maßnahmen zur Verbesserung des Sommerkomforts oft preiswerter sind.

5 Fazit

Gebäude, insbesondere Nichtwohngebäude, so auszulegen, dass sie hohen sommerlichen Komfort auch bei den künftig höheren Sommertemperaturen bieten, wird sich im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit, die Gesundheit und die Zufriedenheit der Nutzer auszahlen. Wie sich in den folgenden Beiträgen zeigen wird, muss das nicht zu unverhältnismäßig hohen Energieverbräuchen führen.

6 Literatur

- [DWD 2020] <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>, (abgerufen 19.10.2020)
- [Lan 2014] L. Lan; P. Wargocki; Z. Lian: Thermal effects on human performance in office environment measured by integrating task speed and accuracy. Zeitschriftenartikel in Applied Ergonomics. Band 45, Ausgabe 3. DOI: 10.1016/j.apergo.2013.06.010
- [Schnieders 2018] J. Schnieders: Sommerliche Behaglichkeit: Komfortbereich und Einflussgrößen. In: Feist, W. (Hrsg.): Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 53: Sommerkomfort – bezahlbar und energieeffizient. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2018.
- [Seppanen 2004] O. Seppanen; W.J. Fisk; D. Faulkner: Control of temperature for health and productivity in offices, Zeitschriftenartikel. Lawrence Berkley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, University of California; Berkeley 2004
- [Thompson 2018] R. Thompson, R. Hornigold, L. Page, T. Waite: Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review. Public Health 161, pp. 171-191, DOI: 10.1016/j.puhe.2018.06.008
- [van Loenhout 2016] J.A.F. van Loenhout; A. le Grand; F. Duijm; et al.: The effect of high indoor temperatures on self-perceived health of elderly persons. Zeitschriftenartikel in Environmental Research. Band 146. DOI: 10.1016/j.envres.2015.12.012

Dr. Meinolf Koßmann und Dr. Saskia Buchholz – Abt. Klima- und Umweltberatung,
Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach am Main

Sensitivitätsstudie zu sommerlichen Temperaturverhältnissen und thermischer Belastung in Städten

1 Zusammenfassung

Im Beitrag wurden Ergebnisse des Projekts "Virtuelle Stadt – Sensitivitätsstudien zur thermischen Belastung in Städten" des Deutschen Wetterdienstes sowie das im Projekt entwickelte "Informationsportal Klimaanpassung in Städten" (INKAS) vorgestellt. Da die fortschreitende Klimaerwärmung insbesondere in Städten zu starker Hitzebelastung führt, wurden im Projekt eine große Anzahl Computersimulationen für virtuelle Städte mit unterschiedlichen Bebauungsstrukturen durchgeführt, um die Veränderungen der sommerlichen Hitzebelastung durch Klimaanpassungsmaßnahmen und durch Stadtentwicklungsszenarien systematisch zu untersuchen und miteinander vergleichbar zu machen. Die Ergebnisse sind in einer Broschüre zusammengefasst:

https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/klima/urbane_raeume_nachhaltig_gestalten.pdf

Im online Beratungswerkzeug INKAS (<https://www.dwd.de/inkas>) können Nutzer:innen die Ergebnisse der Computersimulationen interaktiv visualisieren, miteinander vergleichen und herunterladen. Als Bestandteil des Deutschen Klimavorsorgeportals der Bundesregierung (<https://www.klivoportal.de>) dient INKAS der klimaresilienten Stadt- und Regionalplanung und leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel (DAS).

2 Literatur & Referenzen

[Buchholz und Kossmann 2015]

Buchholz, S. und Kossmann, M., 2015: Research note. Visualisation of summer heat intensity for different settlement types and varying surface fraction partitioning. *Landscape and Urban Planning* 144, 59-64.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.08.002>.

[Buchholz et al. 2016]

Buchholz S., Kossmann M., Roos M., 2016: INKAS – a guidance tool to assess the impact of adaptation measures against urban heat. *Meteorologische Zeitschrift*, 25, 281-289, <https://doi.org/10.1127/metz/2016/0731>.

Oliver Kah, Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Lösungsansätze für guten Sommerkomfort vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Klimaänderungen

1 Einleitung

Das Klima verändert sich, dies belegen Studien inzwischen unmissverständlich. Darauf wurde bereits in den Beiträgen von Jürgen Schnieders und Meinolf Koßmann eingegangen. Als weiteres Beispiel für die zunehmend wärmeren Sommer soll hier die Anzahl der heißen Tage in Frankfurt betrachtet werden (Anzahl der Tage mit maximalen Außentemperaturen über 30 °C). Der Begriff Klima beschreibt repräsentative Eigenschaften des Wettergeschehens über einen langen Zeitraum. In unserem Fall wäre dies der langjährige Durchschnittswert der heißen Tage in Frankfurt. Im Zeitraum von 1870 bis 1960 gab es durchschnittlich etwa neun heiße Tage pro Jahr (vgl. Abbildung 1). In der darauffolgenden Klimaperiode von 1960 bis 1990 blieb dieser Wert nahezu unverändert. Im Zeitraum von 1987 bis 2017 stieg der Wert allerdings bereits auf etwa 15 Tage pro Jahr an. Für die zukünftige Klimaentwicklung gibt es verschiedene Szenarien, abhängig davon, wie sich die Treibhausgasemissionen weiterentwickeln werden. Ein mittleres Szenario geht hier von durchschnittlich etwa 35 heißen Tagen im Jahr 2100 aus. Für die Zukunft wäre demnach regelmäßig mit deutlich längeren Hitzeperioden zu rechnen als heute.

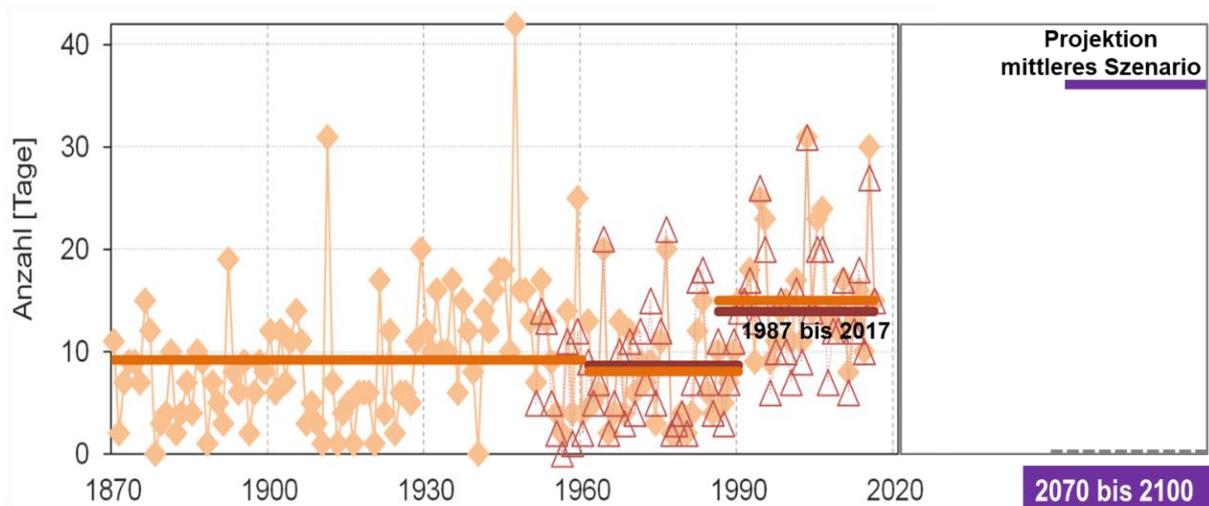


Abbildung 1: Entwicklung der Anzahl von „heißen“ Tagen im Jahr für den Standort Frankfurt („heiße Tage“ sind Tage mit maximalen Außentemperaturen über 30 °C).
Datenquelle: A. Hoy, Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Im Folgenden soll anhand von Simulationsrechnungen an Beispielgebäuden aufgezeigt werden, welche Auswirkung die zunehmend wärmeren Sommer für die Behaglichkeit in Innenräumen hat und mit welchen zusätzlichen Maßnahmen ein vergleichbarer Sommerkomfort auch in Zukunft sichergestellt werden kann. Dynamische Simulationsverfahren erlauben genaue Analysen des Gebäudeverhaltens, indem sie Wärmeströme und Temperaturverläufe in hoher zeitlicher Auflösung berechnen – dabei kommt es jedoch darauf an, die Randbedingungen richtig zu treffen.

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird die Klimaerwärmung der Region 12 (Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim) anhand von Daten aus drei Zeitperioden herangezogen. Tabelle 1 gibt zudem einen Überblick über die Anzahl der „heißen Tage“ und verdeutlicht die prognostizierte Zunahme von Hitzeperioden (Zunahme von 8 bis 28 heißen Tagen in 2035).

Tabelle 1: Übersicht zu den verwendeten Klimadaten (Testreferenzjahr 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim, „Normaljahr“)

Bezeichnung	Klimaperiode	Testreferenz-Jahr	Anzahl „heißer Tage“
TRY 2003	1960 bis 1990	TRY von 2003	8
TRY 2011	1988 bis 2007	TRY von 2011	10
TRY 2035	Klimaprojektion für 2035	TRY von 2011	28

2 Bewertung des Sommerkomforts

Im Beitrag von Jürgen Schnieders wurden bereits Bewertungsverfahren des Sommerkomforts vorgestellt. Ein Ansatz besteht darin, die Innentemperaturen oberhalb einer angenommen noch behaglichen Grenztemperatur auszuwerten. Gemäß [DIN 4108-2] werden die Anforderungen an die zulässigen Innenraumtemperaturen abhängig von der Klimazone in Deutschland definiert. Diese liegen zwischen 25 °C z. B. im Saarland und 27 °C z. B. im Oberrheingraben. Im Unterschied dazu empfiehlt das Passivhaus Institut die Bewertung anhand einer einheitlichen Grenztemperatur von 25 °C, da das Komfortempfinden unabhängig von regionalen Gegebenheiten ist, wie schon O. Fanger zeigen konnte (vgl. [Fanger 1972]).

Dabei wird in [DIN 4108-2] das Bewertungsmaß „Übertemperaturgradstunden“ verwendet, das sich aus der Überschreitung der angenommen Grenztemperatur (z. B. 25 °C) multipliziert mit der Dauer der Überschreitung in Stunden errechnet. Gemäß

[DIN 4108-2] liegt in Wohnräumen die Grenze für noch behagliche Bedingungen bei maximal 1.200 und bei Nichtwohngebäuden bei 500 Übertemperaturgradstunden pro Jahr [Kh/a]. Zur Bewertung des Sommerkomforts gibt es in [DIN 4108-2] Vorgaben zu den Nutzungsbedingungen (Nutzung in Nichtwohngebäuden von 7:00 bis 18:00 an Werktagen. Dabei wird angenommen, dass die interne Wärmeabgabe von 144 Wh/m² gleichmäßig über diese Zeit verteilt ist).

Werden nun Nutzungen mit davon abweichenden Nutzungsstunden betrachtet, z. B. kürzeren täglichen Nutzungszeiten, sollte nach Ansicht des Autors auch der Anforderungswert der Übertemperaturgradstunden entsprechend angepasst werden. Im Extremfall wären ansonsten z. B. in einer Grundschule mit ausschließlicher Vormittagsnutzung deutlich höhere relative Überschreitungen noch zulässig (da die Nutzungszeit kürzer, der Grenzwert der Übertemperaturgradstunden jedoch gleich wäre). Bezogen auf eine tägliche Nutzungszeit von 7:00 bis 14:00 wäre demnach eine um 57 % häufigere Überschreitung der Grenztemperatur um z. B. 1 Kelvin noch akzeptiert. Eine Möglichkeit der Korrektur bestünde darin, den Grenzwert der Übertemperaturgradstunden pro Jahr mit der werktäglichen Nutzungszeit zu skalieren (also 500 Kh/a x werktäglichen Nutzungszeit / werktäglichen Standard-Nutzungszeit).

Aus diesem Grunde wird in den folgenden Abschnitten auf die „relative Überschreitungshäufigkeit“ einer Grenztemperatur während der Nutzungsstunden zurückgegriffen. In Anlehnung an [DIN 4108-2 von 7-2003] sollte die Grenztemperatur an nicht mehr als 10 % der Nutzungsstunden überschritten werden.

Werden die mit Simulationsrechnungen ermittelten stündlichen Temperaturwerte nach Größe absteigend aufgetragen, kann die Häufigkeit für das Überschreiten einer Grenztemperatur von z. B. 25 °C direkt an der X-Achse abgelesen werden (vgl. Abbildung 2). Im Beitrag wird daher diese Darstellung verwendet.

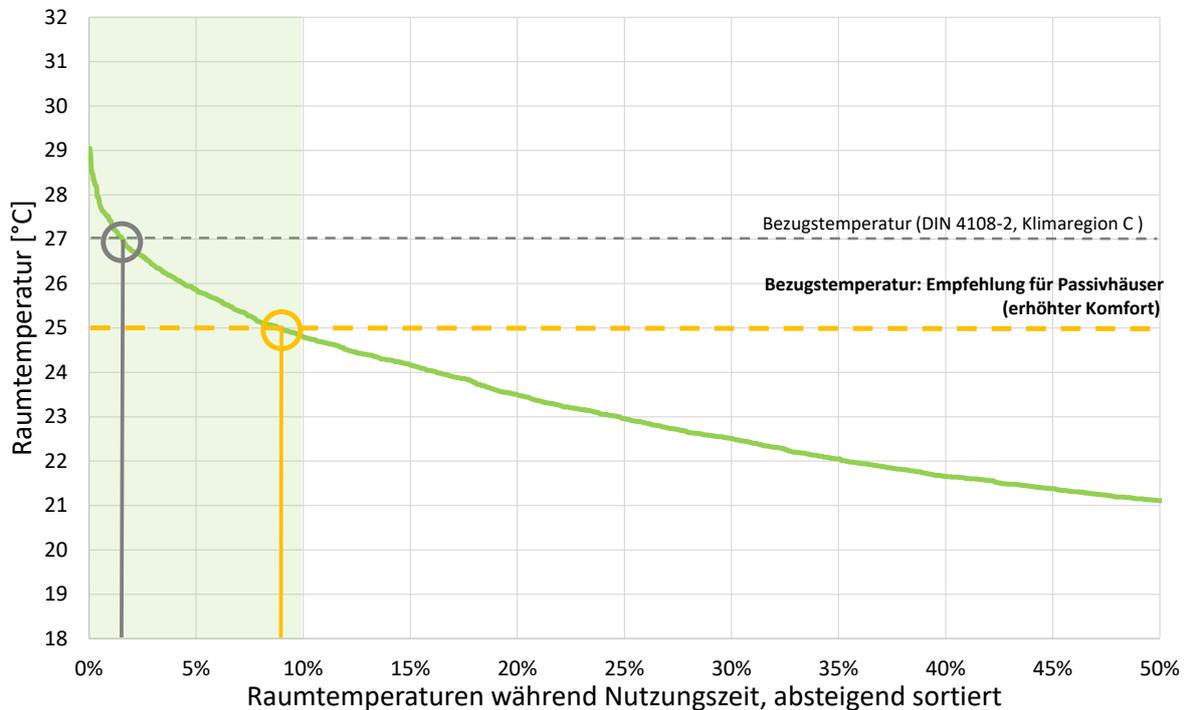


Abbildung 2: Bestimmung der Übertemperaturhäufigkeit anhand der Jahresdauerlinie der Innentemperaturen des betrachteten Raums. Am Schnittpunkt der Bezugstemperatur und der Jahresdauerlinie kann die Übertemperaturhäufigkeit an der X-Achse abgelesen werden. Im Beispiel beträgt der Anteil der Nutzungsstunden über der Bezugstemperatur von 25 °C 8,7 % bzw. 1,6 % bei 27 °C.

3 Schulnutzung

Im Folgenden werden die Auswirkungen der Klimaerwärmung für Schulen betrachtet. Mit Hilfe des Simulationsmodells eines Schulgebäudes soll der Einfluss von Klimadaten aus drei Zeitperioden untersucht werden. Beim Beispielgebäude handelt es sich um einen bereits realisierten Erweiterungsbau (Albert-Schweitzer-Schule, Alsfeld). Hierfür wurde vom Gebäude ein detailliertes Modell mit unterschiedlichen Zonen sowie den jeweiligen Schichtenaufbauten der Außen- und Innenbauteile erstellt.

Das Beispielgebäude wurde bereits in [AkkP 33] vorgestellt. Betrachtet wird das Temperaturverhalten eines Unterrichtsraums im obersten Geschoss mit einer Ausrichtung nach Süden bei einer angenommenen Ganztagschulnutzung. Weiterhin sind im Modell die Maßnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz weitgehend optimiert.

Annahmen:

- Grundfläche des Unterrichtsraums 64 m² & Belegung mit 30 Personen
- Ganztagschule: 10 Schulstunden von Mo – Fr
- Außenluftstrom in Klassenraum während Nutzungszeit 450 m³/h bzw. Luftwechsel 2,3 h⁻¹
- Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil 27 %
- Klassenraumausrichtung nach Süden
- Sommerlicher Wärmeschutz ist weitgehend optimiert:
 - Sonnenschutz außen (Lamelle mit 3-Scheiben-WSV, Abminderungsfaktor F_c ca. 0,18)
 - Nachtlüftung (Außenluftstrom in Klassenraum 450 m³/h bzw. Luftwechsel 2,3 h⁻¹)
 - massive Bauweise



Abbildung 3: Foto und Schnitt des Erweiterungsbaus der Albert-Schweitzer-Schule, Alsfeld (Architektur: BLFP, Friedberg)

3.1 Schulnutzung – konventioneller Schulbau gemäß GEG/EnEV

In einer ersten Variante wird davon ausgegangen, dass das Schulgebäude die gesetzlichen Anforderungen (GEG bzw. EnEV) gerade erfüllt. Die Innentemperaturen im Gebäude werden mit Hilfe einer dynamischen Simulation berechnet und die resultierenden stündlichen Temperaturwerte, im betrachteten Klassenraum, nach Größe absteigend sortiert, in Abbildung 4 dargestellt.

Unter den beschriebenen Randbedingungen wird die Übertemperaturhäufigkeit gemäß [DIN 4108-2] für die Klimaregion C (Grenztemperatur 27 °C) und die Klimaperiode 1960 bis 1990 erfüllt. Die strengere Anforderung gemäß [PHPP] mit einer Bezugstemperatur von 25 °C wird hingegen für diese intensive Nutzung der Schule bereits überschritten (ca. 13 % Übertemperaturhäufigkeit).

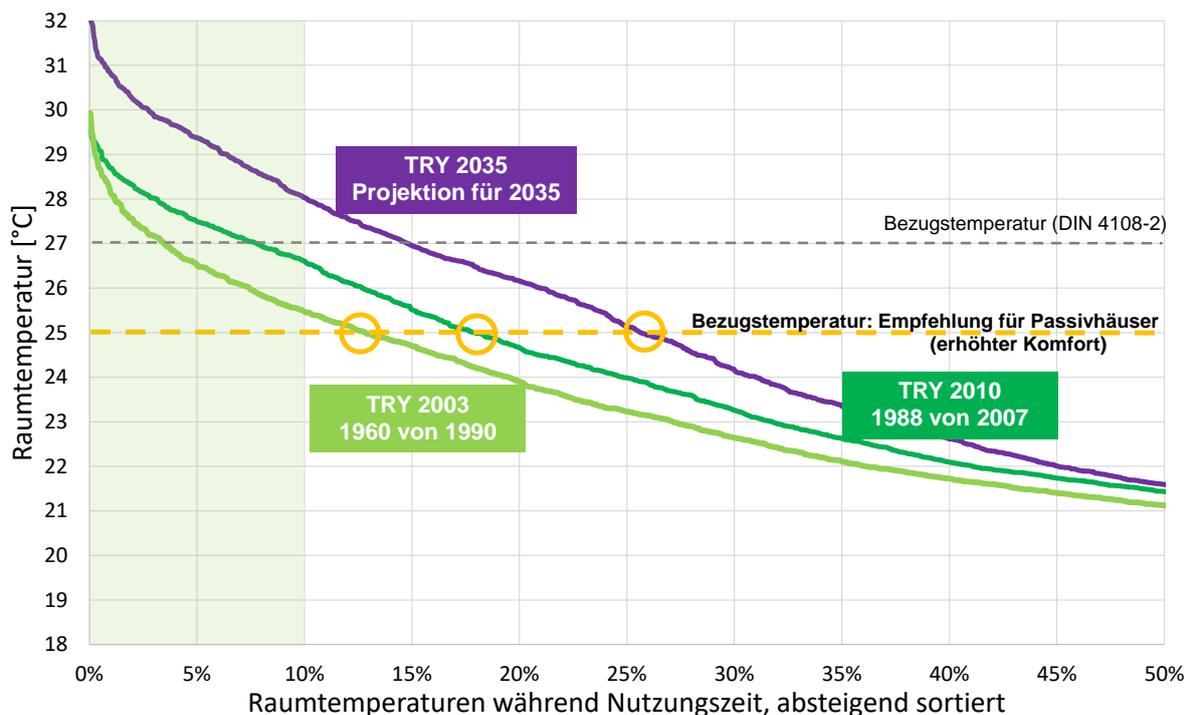


Abbildung 4: Berechnete Innentemperatur im betrachteten Klassenraum mit Wärmeschutz gemäß EnEV/GEG. Dargestellt sind die Ergebnisse für drei Klimaperioden der Region 12 (Testreferenzjahr 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Randbedingung: Nutzung als Ganztagschule, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise)

Werden die Klimadaten der Klimaperiode von 1988 bis 2008 und insbesondere die Klimaprojektion für 2035 angesetzt, nimmt die Übertemperaturhäufigkeit nochmals deutlich zu. Für das Zukunftsklima und bei einer Bezugstemperatur von 25 °C liegen nun in diesem Schulbau 26 % der Nutzungsstunden oberhalb der Grenztemperatur.

Sind noch weitere Verbesserungen bzgl. des Sommerkomforts möglich?

Bisher wurde angenommen, dass eine Nachtlüftung durch das Personal durchgeführt wird. D. h. nach Schulschluss werden Fenster (z. B. Oberlichter) oder Klappen über Nacht geöffnet (in der Praxis wäre zu beachten, dass für die Öffnungsklappen ein geeigneter Einbruchschutz und ggf. auch ein Wetterschutz vorgesehen werden muss. Weiteres hierzu im Beitrag von Zeno Bastian). Unter dieser Annahme entfällt eine Nachtlüftung am Wochenende. Würden stattdessen motorisch betriebene Öffnungsklappen vorgesehen, könnte die Schule auch am Wochenende die kühlere Außenluft über Nacht nutzen.

Abbildung 5 zeigt die Ergebnisse der konventionellen Schule, wenn motorisch betriebene Öffnungsklappen zur Nachtlüftung vorgesehen werden. Hier sollte noch ergänzt werden, dass in konventionellen Schulen in der Regel keinerlei Nachtlüftungsstrategie vorgesehen wird. Die hier getroffene Annahme ist daher eher günstig. Die Nutzung des zusätzlichen Kühlpotentials verringert die Übertemperaturhäufigkeit leicht. Mit den Klimadaten des TRY 2003 sinkt die Übertemperaturhäufigkeit unter 10 % der Nutzungsstunden, für die Zukunftsprojektion (2035) liegt der Wert mit 22 % jedoch immer noch unakzeptabel über 10 %.

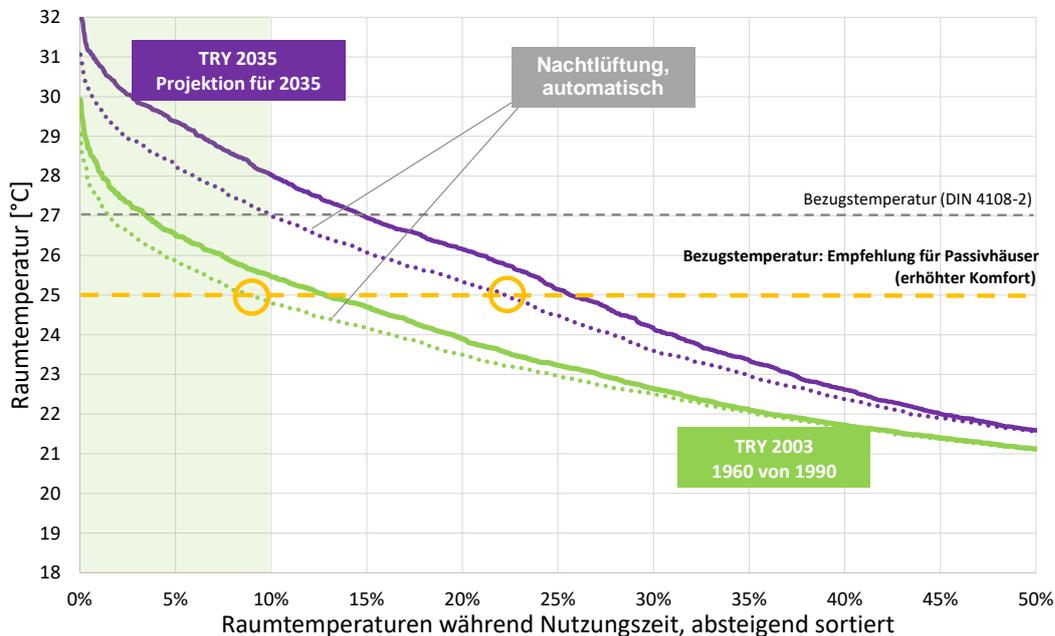


Abbildung 5: Berechnete Innentemperatur im betrachteten Klassenraum mit Wärmeschutz gemäß EnEV/GEG. Dargestellt sind die Ergebnisse für zwei Klimaperioden der Region 12 (Testreferenzjahr 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Als zusätzliche Variante wurde angesetzt, dass die Nachtlüftung automatisiert erfolgt (z. B. Regelung für motorische Öffnungsklappen). Randbedingung: Nutzung als Ganztagschule, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise)

3.2 Schulnutzung – Passivhaus-Schulbau

Bisher wurde ein konventioneller Schulbau betrachtet. Wie sind die Ergebnisse für eine hochwärmegedämmte Passivhausschule mit Lüftungsanlage?

Auch bei der Passivhausschule wird angenommen, dass die Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz weitgehend optimiert sind. Der Gebäudeentwurf bleibt (bis auf die Passivhaus-Details) unverändert.

Die Innentemperaturen in der Schule mit Passivhausstandard zeigt zusätzlich Abbildung 6. Die Ergebnisse sind demnach mit denen einer konventionellen Schule vergleichbar mit einem kleinen Vorteil für die Ausführung im Passivhausstandard¹. D. h. für das zukünftige Klima (Zukunftsprojektion für 2035) sind auch bei verbessertem Gebäudeenergiestandard häufige Temperaturüberschreitungen in der Beispielschule zu erwarten.

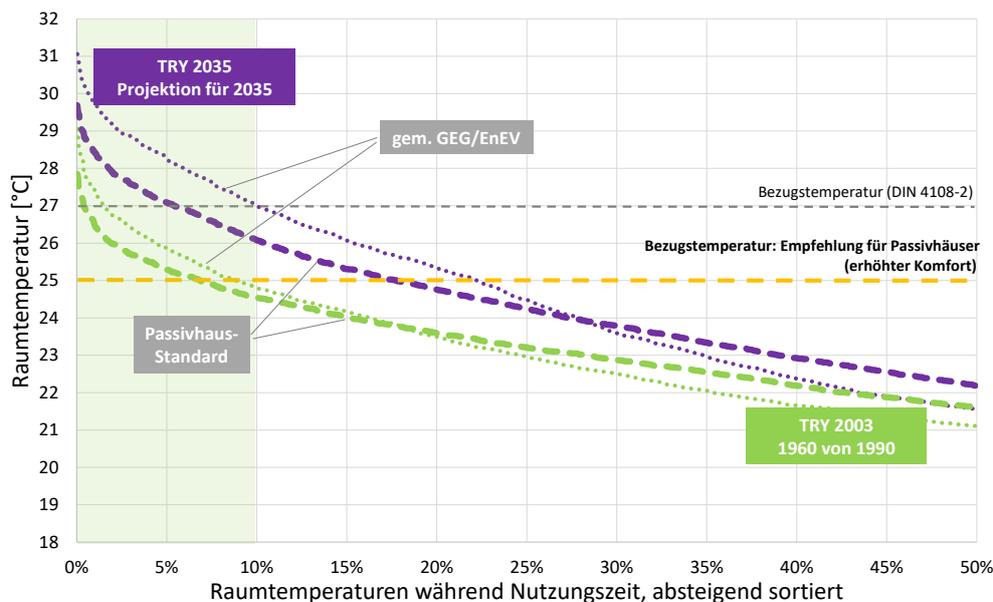


Abbildung 6: Berechnete Innentemperatur im betrachteten Klassenraum mit Wärmeschutz gemäß EnEV/GEG und mit zusätzlicher Variante gemäß Passivhaus-Standard. Dargestellt sind die Ergebnisse für zwei Klimaperioden der Region 12 (Testreferenzjahr 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Randbedingung: Nutzung als Ganztagschule, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise)

¹ Oftmals wird erwartet, dass ein guter Wärmeschutz von Nachteil für das sommerliche Verhalten wäre. Dabei reduzieren eine gute Wärmedämmung (insbesondere des Daches) und der etwas geringere g-Wert von Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen die Wärmeeinträge durch Transmission sowie die solare Einstrahlung. Um die über den Tag anfallenden Wärmeeinträge abzuführen, sollte ausreichend und möglichst auch in der Nacht gelüftet werden.

Im Unterschied zur konventionellen Schule ist in der Passivhausvariante eine kontrollierte Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung Bestandteil des Konzepts. Dies ermöglicht die Erschließung eines weiteren Kühlpotentials, indem die Lüftungsanlage auch in warmen Perioden betrieben und die Zuluft konditioniert wird. Ein Vorteil dieser Lösung besteht im geringen Aufwand bei zentralen Anlagen mit Hilfe eines zusätzlichen Kühlregisters im Zuluftteil des Lüftungsgeräts. Weitere Vorrichtungen im Gebäude müssen nicht vorgesehen werden. Zudem wären Nachrüstungen für diese Kühloption nur mit geringem Aufwand verbunden.

Die Versorgung des Kühlregisters könnte auf unterschiedliche Weise erfolgen:

- Kühlpotential des Erdreichs (z. B. über Erdsonden, Erdkollektor, Grundwasserbrunnen)
- Reversibler Betrieb einer Heizungswärmepumpe zu Kühlzwecken
- Einsatz einer Kältemaschine

Im Folgenden wird angenommen, dass die Zuluft durch die vorgesehene Technik auf 17 °C gekühlt werden kann. Eine weitere Verbesserung wird durch den zusätzlichen Betrieb der Wärmerückgewinnung bei hohen Außentemperaturen erreicht. Dabei wird die Außenluft mithilfe der kühleren Abluft vorgekühlt. Die sich einstellenden Ergebnisse für die Innentemperatur zeigt Abbildung 7. Demnach würden nur noch wenige Nutzungsstunden über 25 °C liegen und der Sommerkomfort ist in der Beispielschule auch für das Zukunftsklima in einem guten Bereich. Zusätzliches Potential kann darüber hinaus durch den Betrieb der Lüftungsanlagen mit gekühlter Zuluft über die Unterrichtszeit hinaus erschlossen werden.

Die Simulation ergibt, dass eine Maßnahme mit einer nur geringen Kühlleistung zu einer deutlichen Reduzierung der Übertemperaturlhäufigkeit führt. Dies lässt sich dadurch erklären, dass aufgrund der Klimaerwärmung, also durch wärmere Nächte und häufigere Hitzeperioden, nur wenig „natürliches“ Kühlpotential entfällt. Der Wegfall dieses „natürlichen“ Kühlpotentials kann daher, wie die Simulationen aufzeigen, durch moderate Kühlmaßnahmen ausgeglichen werden. Der erforderliche Kühlenergiebedarf wird in Abschnitt 3.3 behandelt.

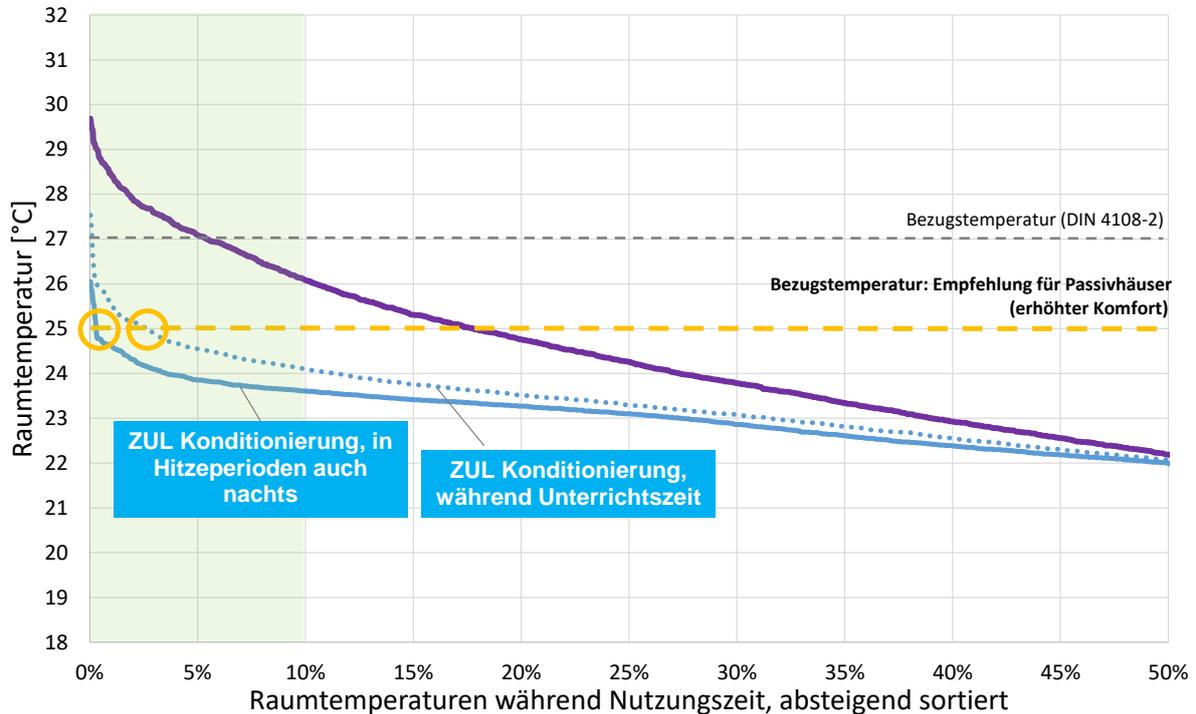


Abbildung 7: Berechnete Innentemperatur im betrachteten Klassenraum mit Wärmeschutz gemäß Passivhaus-Standard für die Klimaprojektion für 2035 der Region 12 (Testreferenzjahr 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Als zusätzliche Variante wurde angenommen, dass die Zuluft im Sommer mittels eines Kühlregisters in der Lüftungsanlage vorkonditioniert wird. Randbedingung: Nutzung als Ganztagschule, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise)

Bisher wurde von einer massiven Bauweise des Schulgebäudes ausgegangen. Insbesondere aufgrund der hohen Belegungsdichten in den Klassen ist ein Mindestmaß an zugänglicher Speichermasse von Vorteil, denn sie puffert die maximalen Energieeinträge und ist zudem für passive Kühlmaßnahmen, wie die Nachtlüftung, wesentliche Voraussetzung. Mit zunehmender Effizienz der Gebäude und der damit einhergehenden Reduzierung der Energieverbräuche gerät vermehrt auch der Energieaufwand der Errichtung und der Nachtnutzung in den Fokus. Holzkonstruktionen bieten vor diesem Hintergrund Vorteile. Den Einfluss der Bauweise anhand des Verlaufs der Innentemperatur während eines heißen Tages zeigt Abbildung 8. Wie zu erwarten, nehmen die Maximaltemperaturen und die Temperatur-Hübe zwischen Tag und Nacht im Innenraum bei Gebäuden mit weniger thermischer Masse zu. Unter den betrachteten Randbedingungen stellen sich maximale Temperaturunterschiede von ca. 3,6 K zwischen der massiven und der leichten Bauweise (bzw. 1,8 K zwischen der massiven und einer optimierten leichten Bauweise, vgl. Tabelle 2) ein.

Entsprechend liegt auch der Anteil der Nutzungsstunden über 25 °C in den Leichtbauvarianten höher als bei massiver Ausführung (vgl. Abbildung 9).

Auch hier zeigt sich, dass eine Kühlung der Zuluft die Nutzungsstunden über 25 °C auf unter 10 % begrenzen und den Sommerkomfort in einen guten Bereich bringen kann. Die gewählten Konstruktionen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

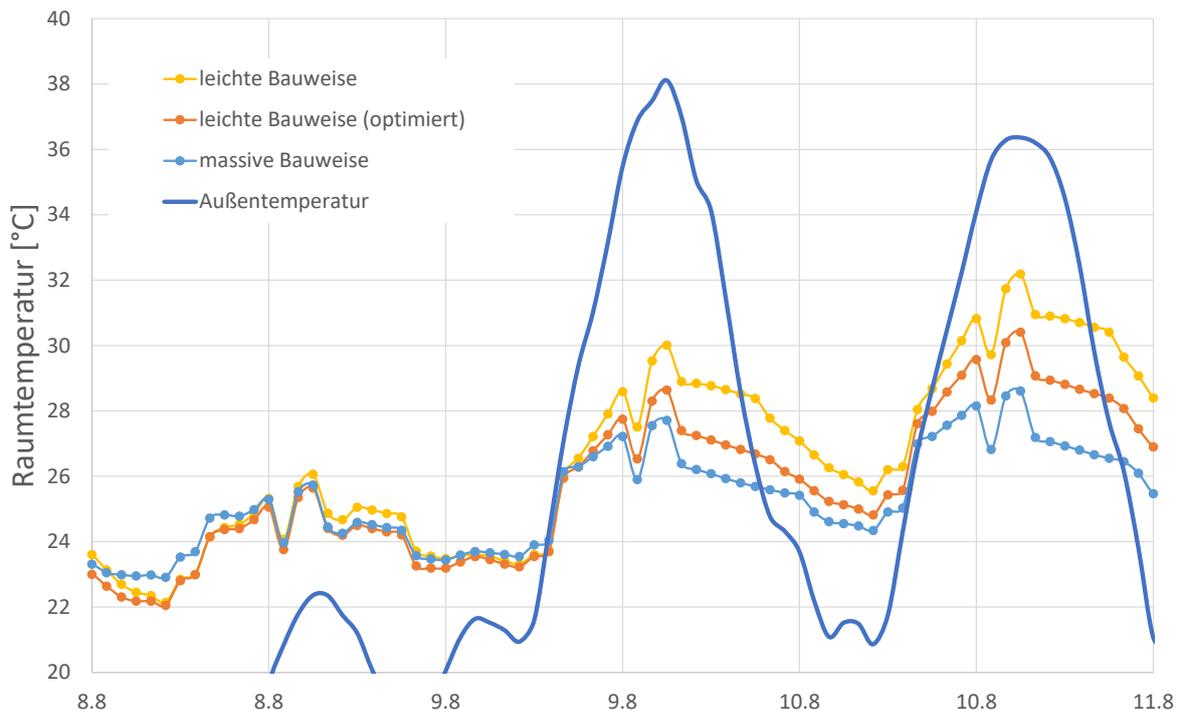


Abbildung 8: Verlauf der Innentemperatur im betrachteten Klassenraum mit Wärmeschutz gemäß Passivhaus-Standard für verschiedene Bauweisen während einer Hitzeperiode (Klimaprojektion für 2035 des Testreferenzjahres 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Randbedingung: Nutzung als Ganztagschule, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise).

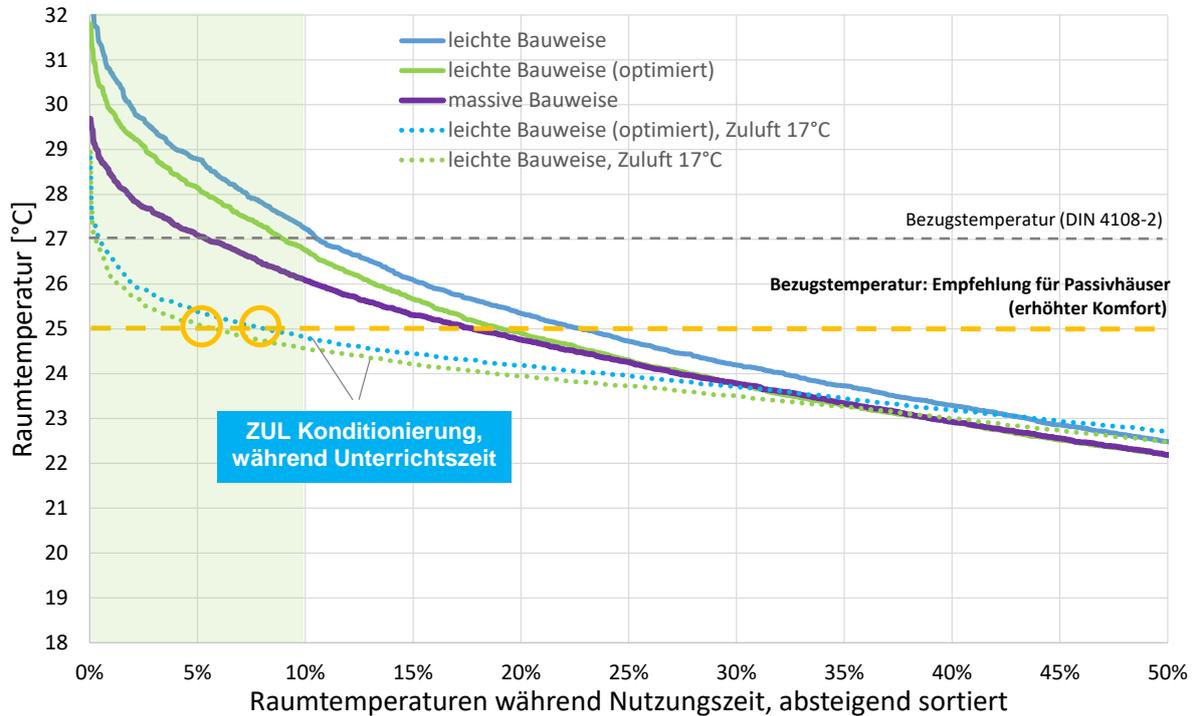


Abbildung 9: Berechnete Innentemperatur im betrachteten Klassenraum mit Wärmeschutz gemäß Passivhaus-Standard für verschiedene Bauweisen (Klimaprojektion für 2035 des Testreferenzjahres 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Als zusätzliche Variante wurde angenommen, dass die Lüftungsanlage die Zuluft im Sommer vorkonditioniert. Randbedingung: Nutzung als Ganztagschule, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise).

Tabelle 2: Beschreibung der untersuchten Konstruktionen

	Massive Bauweise	Leichte Bauweise	Leichte Bauweise (optimiert)
Dach	Holzständer-Konstruktion	Holzständer-Konstruktion	Holzständer-Konstruktion
Außenwand	Stahlbeton, WDVS	Holzständer-Konstruktion, doppelte GK-Platte	Holzständer-Konstruktion, doppelte GK-Platte
Innenwand	Stahlbeton	Leichtbauwand, doppelte GK-Platte	Brettschicht-Holz wand, doppelte GK-Platte
Geschoss-Decke	4 cm Estrich, Trittschall, Stahlbetondecke	4 cm Estrich, Trittschall, Brettschicht-Holzdecke	8 cm Estrich, Trittschall, Brettschicht-Holzdecke

3.3 Aufwand für zusätzliche Kühlmaßnahmen

Wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, kann in einem Schulgebäude mit Passivhaus-Standard mit moderaten Kühlmaßnahmen auch zukünftig ein mit heute vergleichbarer Sommerkomfort gewährleistet werden. Beim vorgestellten Lösungsansatz der „Zuluftkonditionierung“ wird die kontrollierte Lüftung auch im Sommer während der Unterrichtszeit betrieben und die Zuluft vorgekühlt. Doch welcher Aufwand ist mit solchen zusätzlichen Kühlmaßnahmen verbunden?

3.3.1 Nutzung des Kühlungspotentials des Erdreichs

Zur Konditionierung der Zuluft kann das Kühlungspotential des Erdreichs genutzt werden. Im Folgenden soll dies an einem Beispiel gezeigt werden. Es wird wie oben angenommen, dass durch die Nutzung des Kühlungspotentials auch an heißen Tagen die Zuluft 17 °C nicht überschreitet. Zudem wird angenommen, dass mithilfe eines Erdkollektors oder von Erdsonden Sole mit einer Vorlauftemperatur von 15 °C vorliegt.

Betrachtet wird ein heißer Tag mit Maximaltemperaturen von 35 °C. Die Raumtemperaturen liegen um 25 °C und die Lüftungsanlage wird zur Rückkühlung mit Wärmerückgewinnung betrieben. Mit einem mit Sole betriebenen Kühlregister wird die Zuluft im Zuluftstrang nach der Wärmerückgewinnung nochmals abgekühlt.

1. Rückkühlung durch WRG des Lüftungsgeräts (Annahme: Rückkühlgrad 75 %)
 - Außentemperatur: 35 °C, Ablufttemperatur: 25 °C
→ Zulufttemperatur nach WRG: 27,5 °C
2. Konditionierung der Zuluft nach WRG über das Kühlregister
 - a. Konventionelles Kühlregister mit Abkühlgrad (Wasser-Luft): 55 % *
Zulufttemperatur nach WRG: 27,5 °C, Sole-Vorlauftemperatur: 15 °C
→ Zulufttemperatur nach dem Kühlregister: 20,6 °C
 - b. Kühlregister mit hohem Abkühlgrad (Wasser-Luft): 84 % *
Zulufttemperatur nach WRG: 27,5 °C, Sole-Vorlauftemperatur: 15 °C
→ Zulufttemperatur nach Kühlregister: 17,0 °C

*) Annahme: Wärmekapazitätsstrom der Soleseite > Wärmekapazitätsstrom der Luftseite

Wie die überschlägige Berechnung zeigt, könnten selbst bei hohen Außentemperaturen durch Nutzung des Kühlpotentials des Erdreichs Zulufttemperaturen um 17 °C erreicht werden. Hierfür wären jedoch Luft-Wasser-Wärmeübertrager mit hohem Wirkungsgrad erforderlich, wie sie beispielsweise in Kreislaufverbund-Systemen verwendet werden.

3.3.2 Energiebedarf der zusätzlichen Kühlmaßnahme

Abbildung 10 zeigt den für das Beispielgebäude berechneten Kühlbedarf (Nutzenergie). Die Zuluft kann hierbei über verschiedene Wege gekühlt werden: durch Nutzung von „Umweltenergie“ z. B. des Erdreichs oder aber auch durch klassische Kältemaschinen. Mit den nachfolgenden zusätzlichen Beiträgen zum Endenergiebedarf ist zu rechnen:

- Hilfsenergie Lüftungsanlage:
Der Endenergiebedarf für den Betrieb der Lüftungsanlage auch während der Unterrichtszeit im Sommer beträgt etwa 1,5 bis 2,2 kWh/(m²a). Wird die Lüftungsanlage aus hygienischen Gründen ohnehin auch im Sommer betrieben, würde kein zusätzlicher Hilfsstrombedarf anfallen.
- Hilfsenergie für Erdsonden/-register bzw. Grundwasserbrunnen:
Auch wenn „Umweltenergie“ genutzt wird, besteht ein zusätzlicher Bedarf an Hilfsenergie, etwa um die Solekreis-Pumpen zu betreiben. Der Hilfsstrombedarf beträgt etwa 1,0 bis 2,0 kWh/(m²a) (mit effizienter Solepumpe & Abschaltung des Solekreises bei geringer Kälteabnahme).
- Endenergie Kältemaschine:
Wird der Kühlbedarf durch eine Kältemaschine gedeckt, besteht auch ein zusätzlicher Energiebedarf der Kälteerzeugung. Vereinfachend wird hier angenommen, dass die Kälte mit einer saisonalen Arbeitszahl von 3 erzeugt wird.

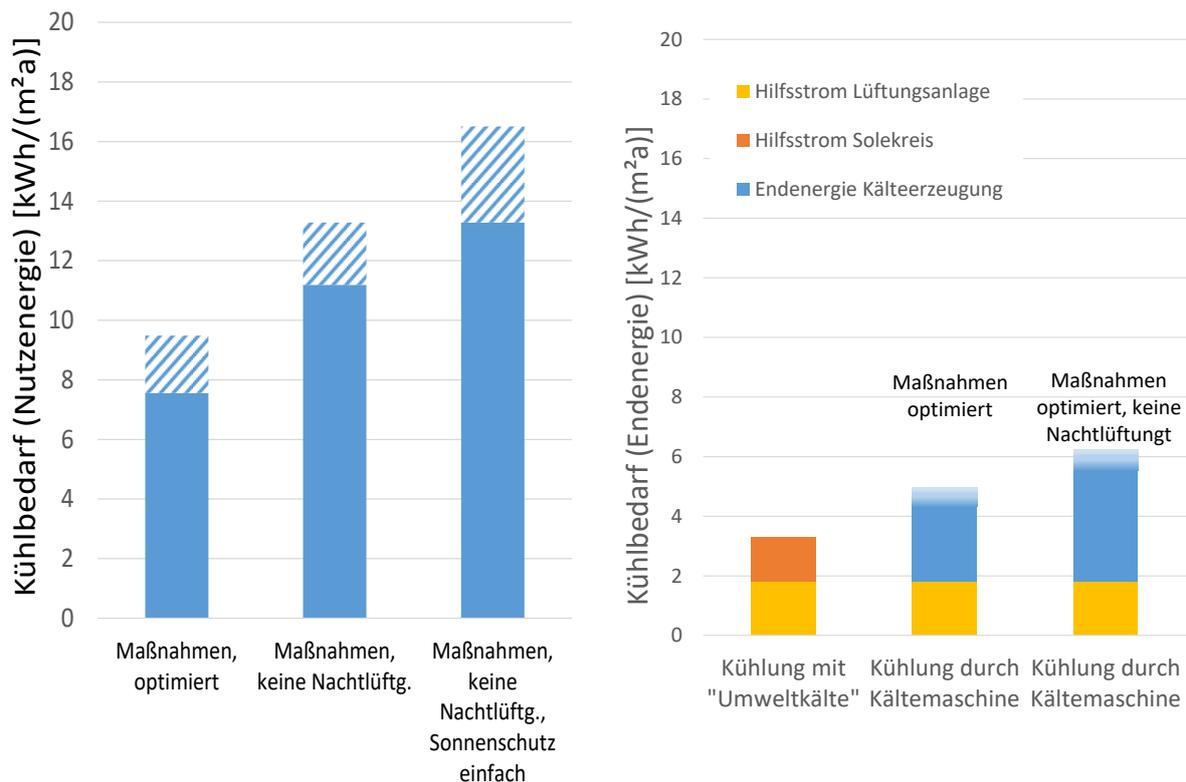


Abbildung 10: Energiebedarf der Kühlmaßnahme im betrachteten Klassenraum mit Wärmeschutz gemäß Passivhaus-Standard für verschiedene Bauweisen.
Hinweis: Voraussetzung dafür, dass sich lediglich moderate Kühlenergiebedarfswerte einstellen, ist ein geeigneter sommerlicher Wärmeschutz. Die vorgestellte Konditionierung der Zuluft ist kein Ersatz für unzureichende sommerliche Maßnahmen (z. B. einen fehlenden außenliegenden Sonnenschutz).

3.3.3 Weitere Kühlmaßnahmen

Neben der vorgestellten Vorkonditionierung der Zuluft, kann auch mit anderen Systemen moderat gekühlt werden. Interessant erscheinen insbesondere Systeme, die neben der Beheizung auch zur Kühlung verwendet werden können. Dazu zählen Wärmepumpen mit Flächenheizungen, die bei Bedarf reversibel zur Kühlung betrieben werden. Eine weitere interessante Lösung z. B. für Sanierungen können Wärmepumpen in Kombination mit Gebläsekonvektoren sein. Dabei sollten vor allem Produkte gewählt werden, die das Gebläse nur bei Bedarf zuschalten, d. h. dann, wenn eine Unterstützung aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen erforderlich ist. Denn im Kühlfall sind die Temperaturdifferenzen zwischen Kühl-/Heizmedium und Raumluft geringer als im Heizfall. Mit dem Gebläse kann während dieser Zeiten der Wärmeübergang und entsprechend die Kühlleistung erhöht werden.

4 Bürogebäude / Verwaltungsgebäude

Als weitere Nutzung wird der Einfluss der wärmer werdenden Sommer hier für ein Büro- bzw. Verwaltungsgebäude betrachtet. Auch in diesem Beispiel wird angenommen, dass die Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz weitgehend optimiert sind und im Büro nicht überhöhte interne Wärmeeinträge auftreten. D. h. bei der Wahl der Büroausstattung und Beleuchtung wurde auf energieeffiziente Systeme geachtet (z. B. arbeitsplatzorientierte Beleuchtung). Gemäß dem aktuellen Baugeschehen wird außerdem angenommen, dass das Gebäude über ein Kühlsystem in den Büroräumen verfügt. Das thermische Gebäudeverhalten wird mit Hilfe von dynamischen Simulationen untersucht. Dabei wird auf ein Modellgebäude zurückgegriffen, das bereits in [AkkP 41] verwendet und vorgestellt wurde.

Annahmen:

- Büro mit Grundfläche von 30 m², 2 Arbeitsplätze
- Nutzungszeit: 7:00 bis 18:00, Mo. bis Fr.
- Außenluftstrom in Büro während Nutzungszeit 80 m³/h bzw. Luftwechsel 1,0 h⁻¹
- Büroraumausrichtung nach Süden, grundflächenbezogener Fensterflächenanteil 30 % (Fensterband)
- mit Kühlsystem ausgestattet (z. B. Flächenkühlung oder Gebläsekonvektor)
- Sommerlicher Wärmeschutz ist weitgehend optimiert²:
 - Sonnenschutz außen (Lamelle mit 3-Scheiben-WSV, Abminderungsfaktor F_c ca. 0,18)
 - Nachtlüftung (Außenluftstrom in Büro 165 m³/h bzw. Luftwechsel 2,0 h⁻¹)
 - massive Bauweise

² Die Anforderungen nach DIN 4108-2 werden eingehalten.

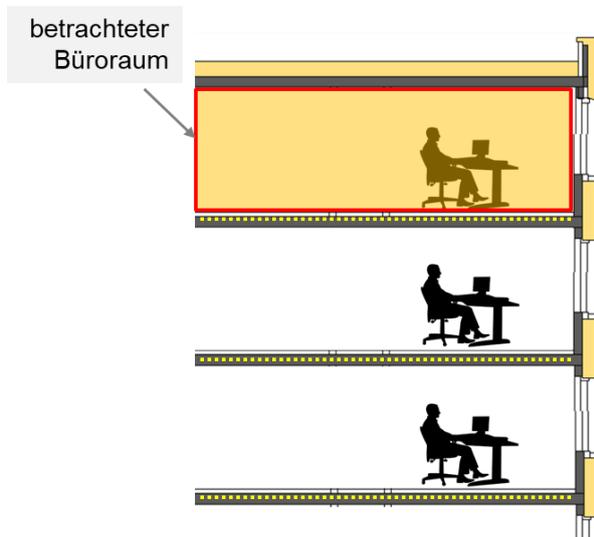


Abbildung 11: Skizze des betrachteten Büro-Modellgebäudes

Zudem wird ein Sollwert im Gebäude für das Kühlsystem von 25°C angesetzt. Abbildung 12 zeigt den resultierenden Kühlbedarf. Mit der Klimaprojektion für 2035 nimmt der Kühlbedarf erkennbar, aber auf immer noch unkritische Werte zu. Der Kühlbedarf der Passivhausvariante liegt unter dem der GEG/EnEV-Variante.

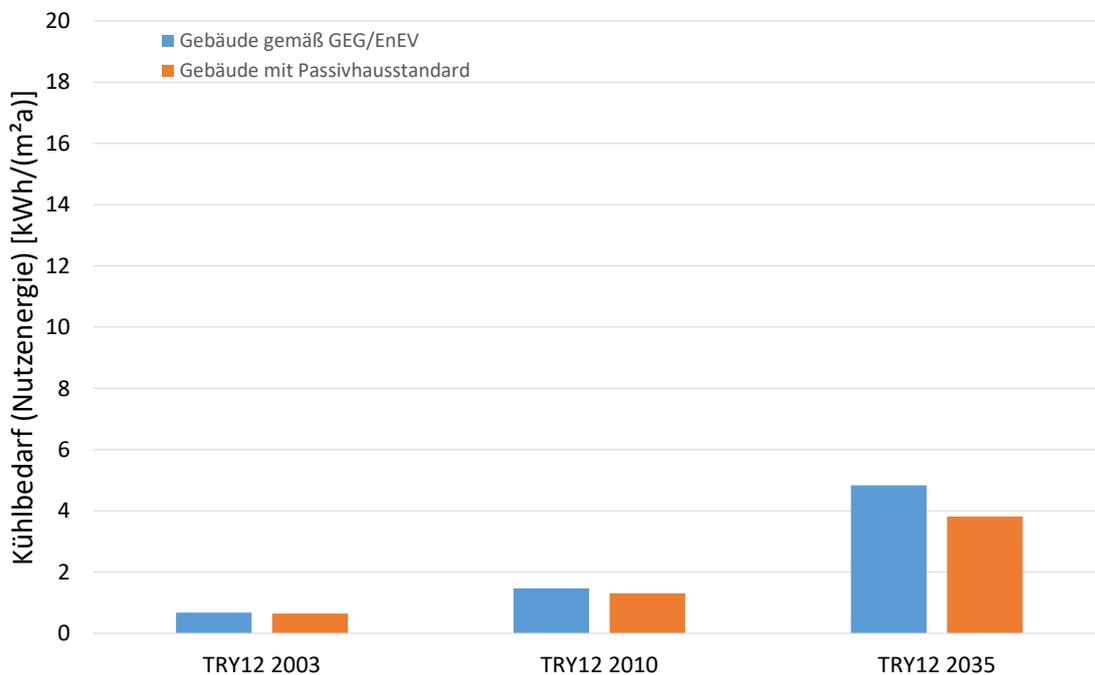


Abbildung 12: Einfluss der Klimaerwärmung auf den Kühlbedarf im Beispielbüro mit effizienter Büroausstattung. Dargestellt sind die Simulationsergebnisse für Wärmeschutz gemäß EnEV/GEG und gemäß Passivhaus-Standard sowie für drei Zeitperioden der Klimaregion 12 (Testreferenzjahr 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Randbedingung: Büronutzung (7:00 bis 18:00), optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise), nicht überhöhte interne Wärmeeinträge (88 Wh/m²/d)

Als nächstes soll der Einfluss der internen Wärmeabgabe auf den Kühlbedarf für die Klimaprojektion 2035 und die Ausführung im Passivhausstandard untersucht werden. Die Bandbreite der betrachteten internen Wärmeabgabe reicht hierbei von einer sehr effizienten Büroausstattung (Annahme gemäß [Knissel 2002]) bis zu durchschnittlichen Werten (Annahme gemäß DIN 4108-2). Abbildung 13 zeigt den Einfluss auf den Kühlbedarf. Auf Strategien zur Nachtlüftung wird in Bürogebäuden des Öfteren verzichtet. Daher wurde in einer weiteren Variante der Fall untersucht, dass im Büro keine Nachtlüftung vorgesehen ist (vgl. Abbildung 13). Demnach könnte im Beispiel eine sehr effiziente Büroausstattung (66 Wh/(m²d)) die fehlende Nachtlüftungsstrategie im Vergleich zu durchschnittlichen Büros (144 Wh/(m²d)) nahezu ausgleichen, der Kühlbedarf würde in vergleichbarer Höhe liegen. Eine effiziente Büroausstattung spart eben nicht nur Strom, sondern reduziert gleichzeitig den resultierenden Kühlbedarf im Sommer.

Tabelle 3: Annahmen zur Büroausstattung (beispielhaft)

sehr effizient: 66 Wh/(m ² d)	effizient: 88 Wh/(m ² d)	durchschnittlich: 144 Wh/(m ² d)
– effiziente Arbeitsplatzleuchte, tageslichtabhängig – Laptop oder Thin-Client	– effiziente Beleuchtung („arbeitsplatzorientiert“) – Laptop + Bildschirm	– „Standard“ Beleuchtung – PC + Bildschirm

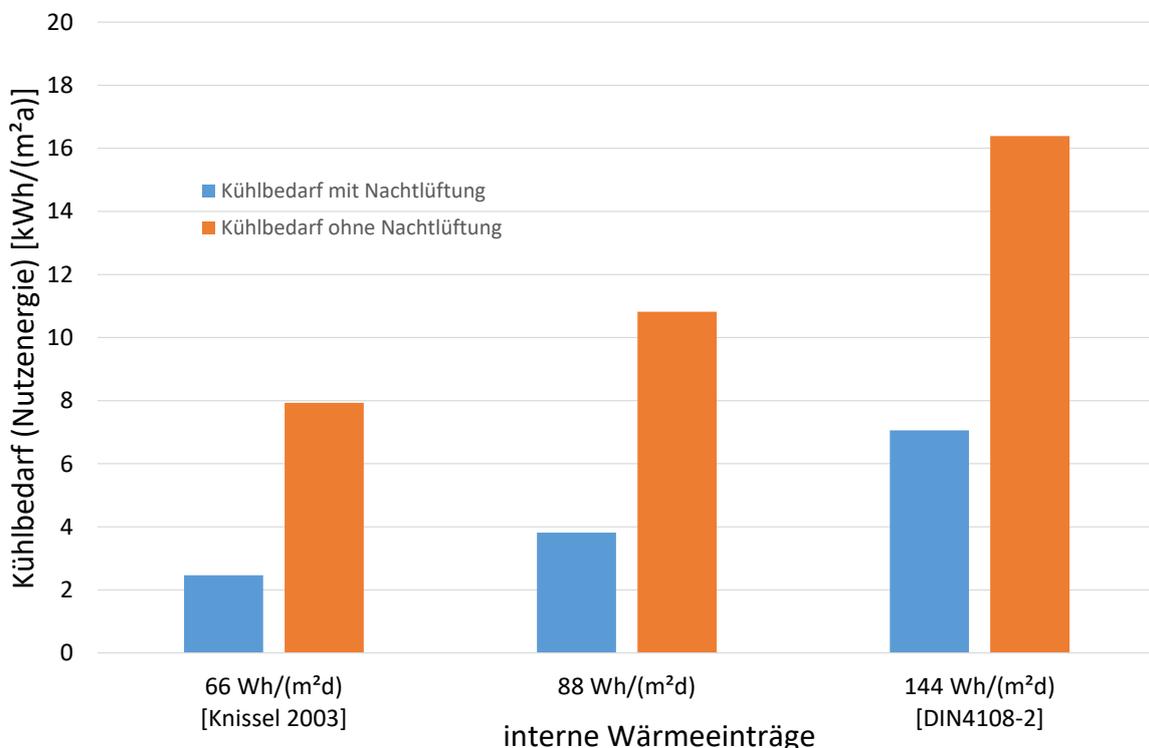


Abbildung 13: Einfluss der internen Wärmeeinträge auf den Kühlbedarf im Beispielsbüro. Dargestellt sind die Simulationsergebnisse mit Wärmeschutz gemäß Passivhausstandard für die Klimaprojektion für 2035 der Region 12 (Testreferenzjahr 12,

Oberreingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Randbedingung: Büronutzung (7:00 bis 18:00), optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise), interne Wärmeeinträge gemäß Tabelle 3)

Bisher wurde angenommen, dass im Beispielgebäude durch moderate Fensterflächen und einen außenliegenden Sonnenschutz die solaren Wärmeeinträge auf geringe Werte begrenzt werden. In der Praxis haben Bürogebäude jedoch häufig größere Fensterflächen und oftmals besteht der Wunsch, auf einen außenliegenden Sonnenschutz zu verzichten, um dauerhaft einen Sichtbezug nach außen zu haben und etwaigen Wartungsbedarf der Sonnenschutzvorrichtung zu vermeiden. Den Einfluss des Fensterflächenanteils und des Sonnenschutzes zeigt für das Beispielgebäude Abbildung 14. Die betrachteten Varianten sind jeweils gemäß [DIN 4108-2] zulässig. Bei hohem Fensterflächenanteil müsste jedoch zusätzlich eine passive Kühlung, z. B. BKT, oder eine Nachtlüftungsstrategie vorgesehen werden (durch eine Nachtlüftungsstrategie würde sich der Kühlbedarf gegenüber den Angaben in Abbildung 14 um bis zu 14 kWh/(m²a) reduzieren).

Wie die Ergebnisse im Beispiel zeigen, können die solaren Lasten (bei hohem Fensteranteil) erheblichen Einfluss haben. Gegenüber dem Büro mit moderatem Fensterflächenanteil und außenliegendem Sonnenschutz ist der Kühlbedarf bei vollständig verglasteter Fassade und Sonnenschutzglas (anstatt außenliegendem Sonnenschutz) um den Faktor 5 höher.

Dies unterstreicht die Erkenntnis, dass die Höhe der solaren Lasten einen wesentlichen (wenn nicht gar den wesentlichsten) Einflussfaktor für den resultierenden Kühlbedarf darstellt. Umso mehr sind daher Maßnahmen zur Begrenzung der solaren Lasten (moderate Fensterflächen, geeignete Sonnenschutzvorrichtungen) eine Voraussetzung für energieeffiziente Gebäude in zukünftigen Sommern.

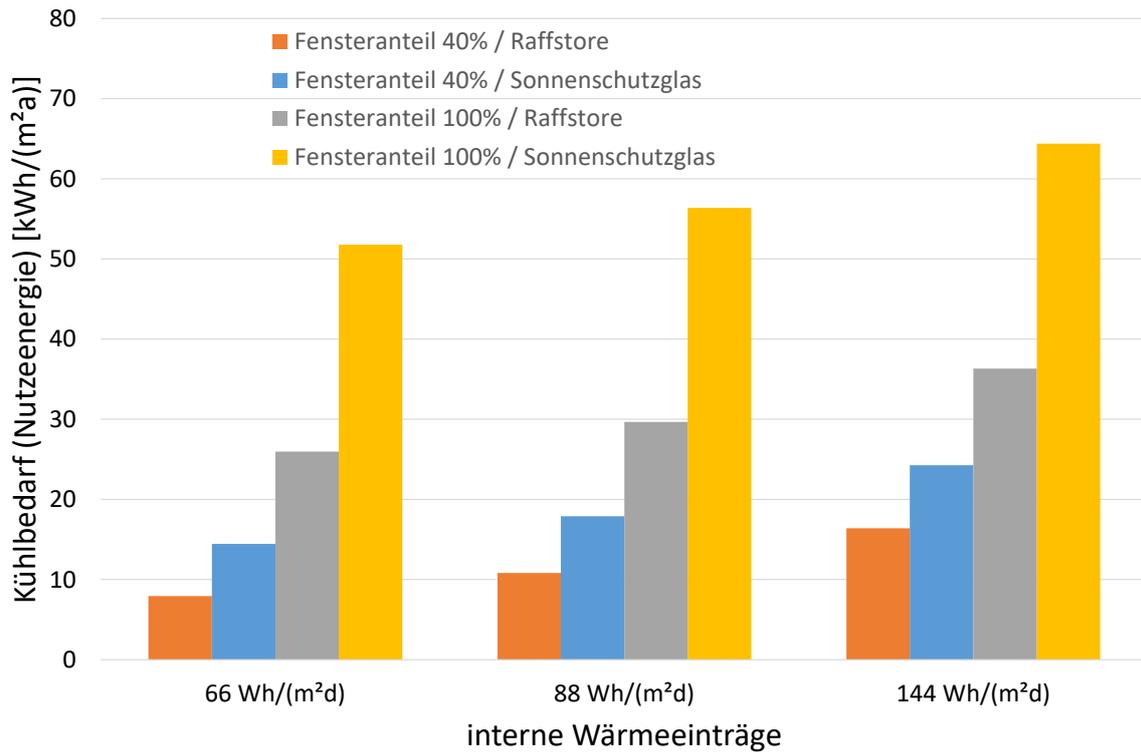


Abbildung 14: Einfluss der internen und solaren Wärmeeinträge auf den Kühlbedarf im Beispielbüro (Achtung Kühlbedarf: Skala bis 80 kWh/(m²a)). Dargestellt sind die Simulationsergebnisse mit Wärmeschutz gemäß einer Passivhaushülle der Klimaprojektion für 2035 der Region 12 (Testreferenzjahr 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim). Hinweis: Die Varianten mit einem Kühlbedarf über 15 kWh/(m²a) würden die Anforderungswerte gemäß Passivhausstandard überschreiten und wären keine zulässigen Passivhausvarianten (vgl. [PHPP]). Randbedingung: Büronutzung (7:00 bis 18:00), keine Nachtlüftung, massive Bauweise, Sonnenschutzglas g-Wert 18 %, Raffstore Lamellenwinkel 45° (Fc 0,18)

5 Einfluss des Wärmeinsel-Effekts in Städten

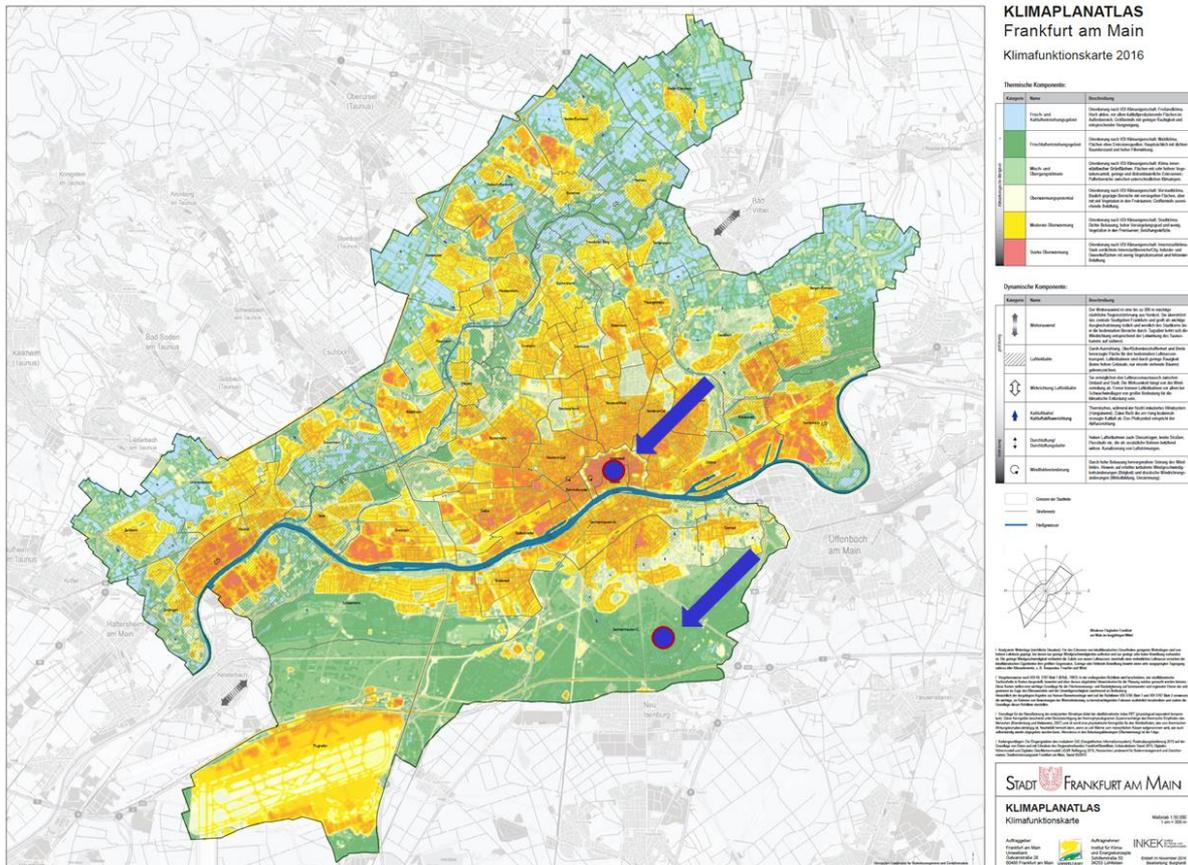
Städte sind im Vergleich zum Umland wärmer (vgl. [Oke 1973], [Kraus 1979], etc.). Dieser sogenannte Wärmeinsel-Effekt (im Englischen „urban heat island“) ist u. a. durch die höhere solare Absorption in Stadtlagen gegenüber dem Umland und die dadurch stärkere Erwärmung der Städte bedingt. Zusätzlich ist die kühlende Wirkung durch Verdunstung von Pflanzen und Wasserflächen geringer, da weniger Vegetation in urbanen Lagen vorhanden ist.

Am Beispiel des Schulgebäudes aus Abschnitt 3 soll dieser Einfluss untersucht werden. Neben den zuvor verwendeten Testreferenzjahren des DWD, die eine Einteilung der Bundesrepublik Deutschland in 15 Klima- bzw. TRY-Regionen mit je einer Repräsentanzstation vorsehen und im Rahmen der [DIN 4108-2] verwendet werden, stellt das BBSR seit 2017 auch räumlich hochaufgelöste Klimadatensätze des DWD zur Verfügung. Dabei kommen erstmals Satelliten- sowie Wettermodelldaten zum Einsatz. Abhängig vom gewählten Standort wird bei diesen räumlich hochaufgelösten Testreferenzjahren (1-km²-Raster) auch der städtische Wärmeinseleffekt berücksichtigt.

Um den Einfluss des Wärmeinsel-Effekts zu veranschaulichen, wird das Beispiel-Schulgebäude an zwei Standorten in Frankfurt am Main betrachtet: in Innenstadtlage und zusätzlich im Umland (vgl. Abbildung 15). Dabei soll das Gebäudeverhalten für ein zukünftiges Klima (Projektion für 2045) an den Standorten untersucht werden. Die Schulnutzung wird wie in Abschnitt 3 angenommen.

Abbildung 16 zeigt die mittels der dynamischen Gebäudesimulation berechneten Innentemperaturen für einen Klassenraum an beiden Standorten. Die Ergebnisse zeigen, dass abhängig vom Standort mit deutlichen Unterschieden bzgl. des Sommerkomforts zu rechnen ist. Während im Umland, in einem durchschnittlichen zukünftigen Jahr (hier 2045), bei Ganztagsnutzung eine Komforttemperatur von 25 °C nur zu knapp 10 % überschritten wird, ist die Übertemperaturhäufigkeit in Innenstadtlage nahezu doppelt so häufig. Dabei verringert der Wärmeinsel-Effekt in Städten insbesondere das nächtliche Kühlpotential der Außenluft (vgl. Abbildung 18).

Abhilfe in heißen Sommern kann auch hier die bereits für Passivhaus-Schulen vorgestellte Konditionierung der Zuluft schaffen. Wird diese verwendet, kann die Übertemperaturhäufigkeit für die Beispielschule an beiden Standorten auf annehmbare Werte verringert werden (vgl. Abbildung 17).



**Abbildung 15: Gewählte Standorte im Klimaplanatlas von Frankfurt am Main: Innenstadt und Umland. Die Standorte bilden hierbei Extreme im Stadtgebiet (der Standort im Umland ist fiktiv gewählt, dort befindet sich keine Bebauung).
Quelle: Klimaplanatlas der Stadt Frankfurt/M.**

Beim Klimawandel ist der Einfluss der einzelnen Städte und Kommunen begrenzt. Etwas anders verhält es sich beim Wärmeinsel-Effekt, da die sommerlichen Außentemperaturen in Städten durch lokale Maßnahmen positiv beeinflusst werden können. Der Rückbau von versiegelten Flächen, die Stadtgestaltung mit zusätzlichen Grünflächen oder die Begrünung von Dächern mindert die städtische Überwärmung. Im Beitrag von Meinolf Koßmann wird hierzu ein Beratungswerkzeug für die Stadt- und Regionalplanung vorgestellt.

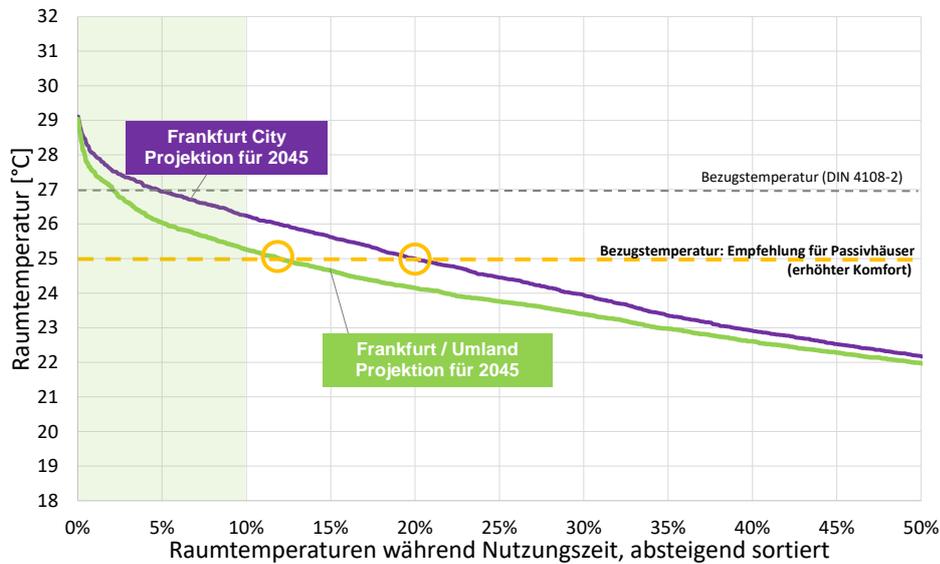


Abbildung 16: Berechnete Innentemperatur im betrachteten Klassenraum für Passivhaus-
schule in Stadtlage und im Umland von Frankfurt/M. für eine Klimaprojektion
für 2045 (räumlich hochaufgelöste Testreferenzjahr des DWD von 2017). Rand-
bedingung: Nutzung als Ganztagschule, optimierter sommerlicher Wärme-
schutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise)

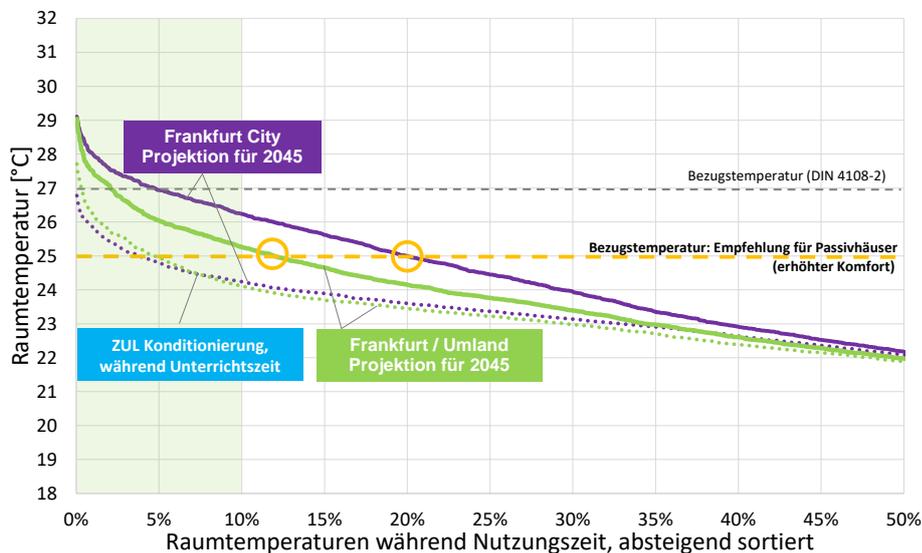


Abbildung 17: Berechnete Innentemperatur im betrachteten Klassenraum für Passivhaus-
schule in Stadtlage und im Umland von Frankfurt/M. für eine Klimaprojektion
für 2045 (räumlich hochaufgelöste Testreferenzjahr des DWD von 2017). Als
zusätzliche Variante wurde angenommen, dass die Lüftungsanlage die Zuluft
im Sommer vorkonditioniert. Randbedingung: Nutzung als Ganztagschule,
optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung,
massive Bauweise)

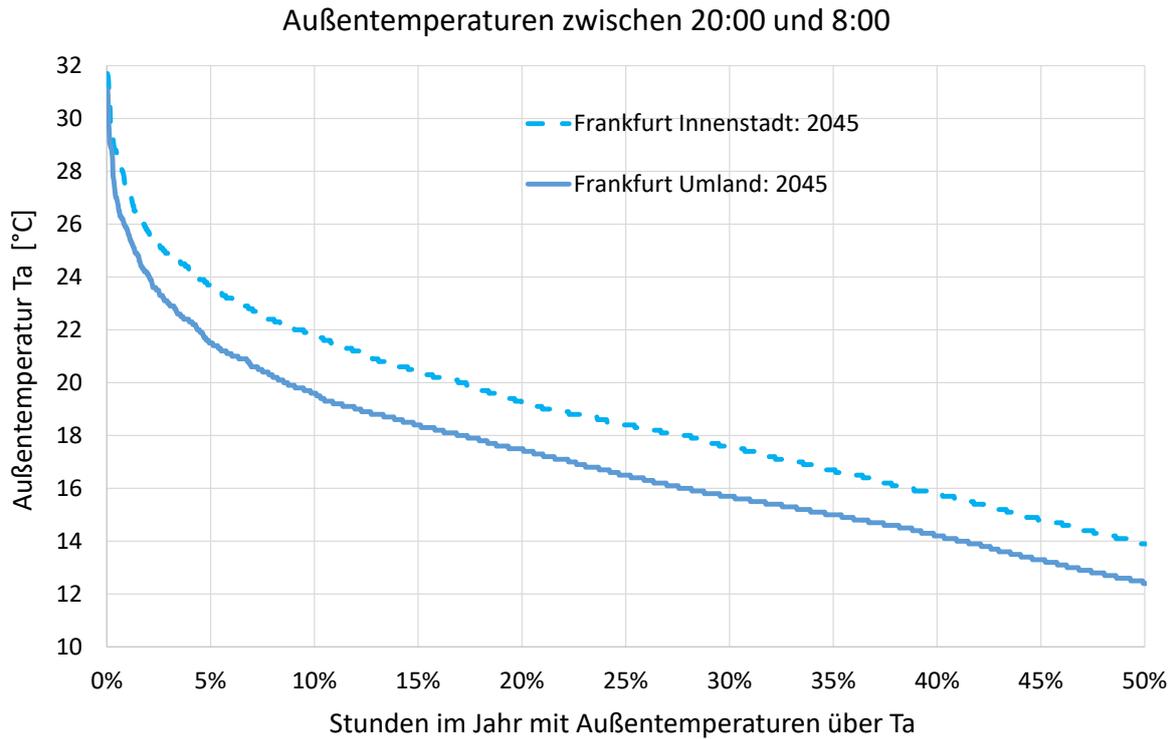


Abbildung 18: Nächtliche Außentemperaturen, nach Größe sortiert, der Standorte in Innenstadtlage und im Umland von Frankfurt/M. (Klimaprojektion 2045). Durch die Innenstadtlage verringert sich das Kühlpotential der Nachtlüftung. Während im Umland etwa 9 % der Nachstunden wärmer als 20 °C sind, liegt der Anteil im Innenstadtbereich bei 17 %.

Datenquelle: räumlich hochaufgelöstes Testreferenzjahr des DWD von 2017

6 Zusätzliches Kühlpotential für die zukünftigen Sommer

Durch höhere sommerliche Außentemperaturen, insbesondere in der Nacht, sowie länger andauernde warme Perioden verringert sich in Zukunft das durch passive Lüftung erschließbare natürliche Kühlpotential. Um weiterhin vergleichbaren Sommerkomfort zu gewährleisten, sollten daher Kühllasten konsequent reduziert und neue Kühlpotentiale erschlossen werden. Sofern grundsätzliche Empfehlungen für den sommerlichen Wärmeschutz befolgt werden, sind, wie die Ergebnisse zeigen, moderate zusätzliche Kühlpotentiale ausreichend.

- Moderate interne Lasten (energieeffiziente Gebäudeausstattung, gute Wärmedämmung der Trinkwarmwassersysteme, etc.),
- Moderate solare Lasten (maßvolle Fensterflächen³, außenliegender Sonnenschutz mit entsprechender Regelung),
- Wärmeschutz der Gebäudehülle (Dachfläche),
- thermische Speichermasse puffert Temperaturspitzen, bei Nutzungen mit zeitweise hohen internen Lasten (z. B. Schulen). Bei Bauweisen mit geringer thermischer Masse (z. B. Holzständer-Bauweisen), kann ein massiver Estrich das Temperaturverhalten verbessern.
- Maßnahmen zur Nachtauskühlung in der Planung vorsehen, soweit am Standort umsetzbar (vgl. Beitrag von Zeno Bastian)
- Empfehlung von Systemen mit geringer/moderater Kühlleistung, die die Räume temperieren und den Sommerkomfort gewährleisten (die Übertemperaturhäufigkeit begrenzen). Bei ungünstigen Bedingungen sollten kurzzeitige Überschreitungen der Solltemperaturen noch akzeptiert werden.
- Wenn Kühlsysteme eingesetzt werden, angemessene Solltemperaturen in Innenräumen vorgeben. Raumtemperaturen von 24 bis 25 °C liegen bei sommerlicher Kleidung im Behaglichkeitsbereich.

Fazit: es konnte gezeigt werden, dass der zusätzliche Kühlenergiebedarf für sommerlichen Komfort in Gebäuden in Mitteleuropa auch für zukünftige Klimarandbedingungen

³ Hinweis: Verglaste Brüstungsbereiche führen zu keiner Verbesserung der Tageslichtnutzung in Schulen oder Bürogebäuden.

gen nur geringfügig höher ausfallen wird. Voraussetzung dafür ist jedoch eine konsequente Reduzierung der externen (Solarlast) und internen Wärmeeinträge. Dies muss bei der Planung von Neubauten und Sanierungen stets beachtet werden.

7 Literatur

- [AkkP 33] Arbeitskreis Protokollband 33: *Passivhaus-Schulen*, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser; Passivhaus Institut; Darmstadt 2006.
- [AkkP 41] Arbeitskreis Protokollband 41: *Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhausstandard*, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase V; Passivhaus Institut; Darmstadt 2012.
- [DIN 4108-2] DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Beuth-Verlag, Berlin.
- [DIN 4108-2 von 7-2003] DIN 4108-2:2003-07: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Beuth-Verlag, Berlin.
- [Fanger 1972] Fanger, P.O.: *Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering*. McGraw-Hill, New York, 1972.
- [Knissel 2002] Jens Knissel, *Energieeffiziente Bürogebäude mit reduzierten internen Wärmequellen und Wärmeschutz auf Passivhausniveau*, Dissertation, Technischen Universität Berlin 2002.
- [Kraus 1979] KRAUS, H.; *Der städtische Lebensraum – energetisch betrachtet*. Pro-met 4'79, 3-7; 1979.
- [Oke 1973] OKE, T.R.; *City size and the Urban Heat Island*. Atmos. Environ., 7, 769-779; 1973.
- [PHPP] W. Feist, et. al: *Passivhaus-Projektierungspaket, Energiebilanzierungs- und Planungstool für effiziente Gebäude und Modernisierungen*, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998-2021.

Esther Gollwitzer, Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Bewährte passive Maßnahmen: Sonnenschutz

Um auch im Sommer angenehme Innentemperaturen zu erhalten, beinhaltet das Passivhauskonzept für den Sommerfall die Vermeidung übermäßiger solarer Einstrahlung. Auch bei allen anderen Energiestandards ist diese Maßnahme wichtig. Dazu bieten sich verschiedene Möglichkeiten des Sonnenschutzes an. In der Regel möchte man im Kühlfall den Solareintrag mindern, ihn im Heizfall dagegen möglichst ungestört nutzen. Ein möglicher Sichtbezug nach außen, trotz Sonnenschutz, ist ein Vorteil für die Häufigkeit der Nutzung und für die Nutzerzufriedenheit.

Folgende Aspekte sollte man bei der Suche nach der geeigneten Variante ansehen:

- Wie groß ist der Abminderungsfaktor?
- Wie groß ist der Abminderungsfaktor im unbenutzten Zustand (z. B. im Winter)?
- Wie windanfällig ist der Sonnenschutz?
- Ist der Sonnenschutz auch als Blendschutz geeignet?
- Gibt es einen Sichtbezug trotz aktiviertem Sonnenschutz?
- Wie gut ist die Tageslichtversorgung bei aktiviertem Sonnenschutz?
- Welche Wärmebrücke muss für den Einbau in Kauf genommen werden?

Bei der Auswahl zu beachten sind auch Situationen, die besondere Lösungen fordern:

- Eingangs- und Fluchttüren, bei denen der Weg nicht versperrt werden darf:
z. B. beweglicher Sonnenschutz auf den Rahmen montiert oder feststehender horizontaler Sonnenschutz
- Schaufenster, bei denen der Blickbezug von außen nach innen essentiell ist:
z. B. schräge Markisen oder feststehender horizontaler Sonnenschutz

1 Beweglicher Sonnenschutz

Die beste Abminderung erzielen eindeutig außenliegende Verschattungen. Im Folgenden wird ein Vergleich für eine 3-fach-Verglasung mit $g = 0,50$ gezeigt. Aufgelistet sind F_c -Werte von unterschiedlichem Sonnenschutz und daraus resultierend die g -Wert der Verglasung inkl. Verschattung:

Sonnenschutz außen: $F_c = 0,1$ bis $0,5$ ► $g = 0,2 \times 0,5 = 0,10$

Sonnenschutz innen: $F_c = 0,7$ bis $0,9$ ► $g = 0,8 \times 0,5 = 0,40$

Sonnenschutzverglasung: $g = 0,30$

Außenliegender Sonnenschutz

Übliche Lösungen bei Nichtwohngebäuden sind außenliegende Raffstores und Screens ("Rollos" aus Gewebe). Sie können je nach Sonnenstand und Temperaturen genutzt werden. Schräge oder perforierte Lamellen und transluzente Screenstoffe lassen einen gewissen Sichtbezug nach außen zu. Ob dabei der Verschattungsfaktor der Screens ausreichend ist, muss projektspezifisch geprüft werden. Bei bunten Screens ist die farbliche Veränderung des Innenraums zu beachten. Bei manchen Raffstores kann im oberen Teil das Tageslicht an die Decke umgeleitet und damit nutzbar gemacht werden.

Grenzen für den Einsatz ist die Windanfälligkeit. Bei der Auswahl ist deshalb auf robuste Produkte zu achten. Die Stadt Frankfurt schreibt in ihren Leitlinien Produkte fest, die erst ab Windgeschwindigkeiten von 13 m/s eingefahren werden müssen. Durch die Festlegung der Fenstergrößen und damit den Spannweiten des Sonnenschutzes kann man auch Einfluss auf die Windanfälligkeit nehmen.

Auch andere Belastungen für den Sonnenschutz sollten mit bedacht werden (z. B. angrenzende Ballsportplätze, öffentliche Wege, Taubenkot).

Ein Beispiel für eine besondere Lösung zeigt eine Schule in Hard in Vorarlberg (siehe Abbildung 1). Die Markisen (Windklasse 3) wurden mit 50° Neigung (ca. 1 m vor dem Fenster mit einer Länge von 2,5 m eingebaut. Damit können sie einen Großteil auch tiefstehender Sonne abhalten und gewähren gleichzeitig einen Ausblick nach draußen. Die Markisen fahren zur Sicherheit bei einer Windgeschwindigkeit von 48 km/h (= 13,3 m/s) hoch.



Abbildung 1: Kombination aus feststehendem und beweglichem Sonnenschutz; Baumschlager Hutter Partners
© Albrecht Schnabel; <https://passivehouse-database.org/> ID 5778

Bei speziellen Entwürfen werden manchmal auch eigene Sonnenschutzsysteme entwickelt, die Bestandteil der Fassadengestaltung sind.

Blendschutz innen

Kombiniert man den außenliegenden Sonnenschutz mit einem innenliegenden Blendschutz, kann das energetische Potential voll ausgeschöpft werden. Blendschutz und Reduzierung der solaren Lasten kann also unabhängig voneinander aktiviert werden. Auch wenn dies zusätzliche Kosten bedeutet, sollte es in Erwägung gezogen werden, da in der Regel innenliegende Systeme nur einen Bruchteil der außenliegenden kosten.

Innenliegender Sonnenschutz

Da innenliegender Sonnenschutz die solare Strahlung ins Gebäude hineinlässt, die Verschattungswirkung also sehr gering ist, ist dieses Systems möglichst zu vermeiden. Bei Randbedingungen z. B. Hochhaus, die keinen außenliegenden Sonnenschutz erlauben, muss berechnet werden, ob und mit welchen anderen Maßnahmen die Behaglichkeit hergestellt werden kann.

Sonnenschutz in der Verglasung

Sonnenschutz in sogenannten Verbundfenstern kombiniert die gute Verschattungswirkung mit einem guten Schutz des Systems (vor Wind, Schmutz etc.). Dabei wird ein spezieller Fensterrahmen und außen eine zusätzliche Scheibe verwendet. In dem Luftraum zwischen dieser und der Wärmeschutzverglasung wird der Sonnenschutz platziert. Wichtig ist dabei, zu beachten, wieviel der hochgefahrenene Sonnenschutz vers-

chattet und wie gut er im Bedarfsfall ausgetauscht werden kann. Es lohnt sich, projektspezifisch die Kosten dieser Lösung anderen gegenüberzustellen. Rahmen für Verbundfenster sind leider oft nur für Öffnungsflügel erhältlich.

2 Fester Sonnenschutz

Feststehender Sonnenschutz eignet sich vor allem auf der Südseite, da die Verschattungswirkung bei hochstehender Sonne am besten ist. Meistens wird sie in Form von horizontal auskragenden Elementen oder Dachüberständen oberhalb der Fenster ausgeführt. Kosten- und wartungstechnisch ist es eine günstige Ausführung. Bei den Kosten ist allerdings zu beachten, dass die Auskragungen wärmebrückenfrei angeschlossen werden müssen. Alternativen sind freistehende Balkonkonstruktionen.

Abbildung 2 zeigt einen festen Sonnenschutz als architektonisches Gestaltungselement. Die Länge der Rohrstücke wurde mit designPH simuliert, um den gewünschten Verschattungseffekt für den Standort und die Himmelsrichtung zu erzielen. Da es ein Supermarkt ist, soll Sonneneinstrahlung auf die Waren ganzjährig vermieden werden.



Abbildung 2: Supermarkt "M-Preis" mit feststehendem Sonnenschutz;
Fotos: David Schreyer Architekten: Fügenschuh-Hrdlovics

3 Regelung

Es gibt sehr unterschiedliche Herangehensweisen an die Regelung. Manche Betreiber, mit denen wir gesprochen haben, bevorzugen eine möglichst einfache Regelung andere eine intelligente Regelung. Es empfiehlt sich, das gut zu überlegen. Nicht zuletzt haben die Menschen, die die Regelung einstellen, optimieren usw. einen großen Einfluss auf die Wirksamkeit. Ein intelligenteres System kann mehr bewirken. Allerdings kann ein intelligentes System, das nicht richtig eingestellt wird, schlechter sein als ein einfaches System.

Es empfiehlt sich auf jeden Fall, bei Nichtwohngebäuden eine automatische Regelung einzusetzen, da in den Nichtnutzungszeiten niemand zur händischen Bedienung da ist. Einig ist man sich auch, dass eine Übersteuerung durch Nutzer möglich sein sollte, um den Sonnenschutz den aktuellen Situationen anpassen zu können und um die Nutzerzufriedenheit zu steigern.

Im Folgenden werden wichtige Punkte zu den Regelungen aufgeführt. Bei der intelligenten Regelung müssen natürlich nicht alle Punkte umgesetzt werden, sondern können ans Projekt angepasst werden.

Einfache Regelung

- Nur im Sommer aktiv
- Herunterfahren zu festen Zeiten
- Bei Wind hochfahren

Intelligente Regelung

- Fassadenweise
- Nach Strahlung + Raumtemperatur
- Zeitintervall nach Übersteuerung
- Lamellenwinkel (cut-off-Steuerung)
- Steuerung nach Personenanwesenheit (Tageslichtnutzung ist z. B. bei Abwesenheit nicht notwendig)
- Interaktion Kühlung/Heizung
- Bei Wind hochfahren (Windwächter evtl. fassadenweise)
- In GLT einbinden

- Ziel: Laie soll Parameter in der Regelung umstellen können

Wichtig ist, dass die Regelung nach der Inbetriebnahme optimiert wird und zwar unter Einbeziehung der Nutzer. Auf diese Weise kann die beste Optimierung erzielt werden. Gleichzeitig steigt die Akzeptanz der Regelung und damit die Nutzerzufriedenheit und die Häufigkeit der Übersteuerung sinkt. Es ist auch hilfreich, Infos weiterzugeben, z. B. dass man sich durch die kühle Morgenluft nicht täuschen lässt, sondern auch ost-orientierte Fenster Verschattung benötigen.

Hilfe für die Planung und Einstellung von Sonnenschutzregelungen findet sich in Form von Checklisten im Praxishandbuch - Schulgebäude in Passivhausbauweise [Ritter 2018].

4 Fenstergestaltung

Bevor man vorhandene Verglasung verschatten muss, kann auch durch die Verglasungsgröße selbst Einfluss auf den Komfort des Gebäudes genommen werden. Gerade im Zuge steigender Temperaturen sind Entwürfe mit großflächigen Verglasungen zu hinterfragen.

Bei der Fenstergestaltung sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden: Tageslichtnutzung, Gestaltung, Energieverluste und -gewinne (im Kühl- und Heizfall). Eine kleine Übersicht, welche Aspekte große oder kleine Verglasungsflächen fordern, findet sich in Abbildung 3. Gelingt es, diese Aspekte abzuwägen und in einem geschickten Entwurf umzusetzen, kann dies zusätzlich Kosten sparen (moderate Fensterflächen, weniger Maßnahmen für sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz).

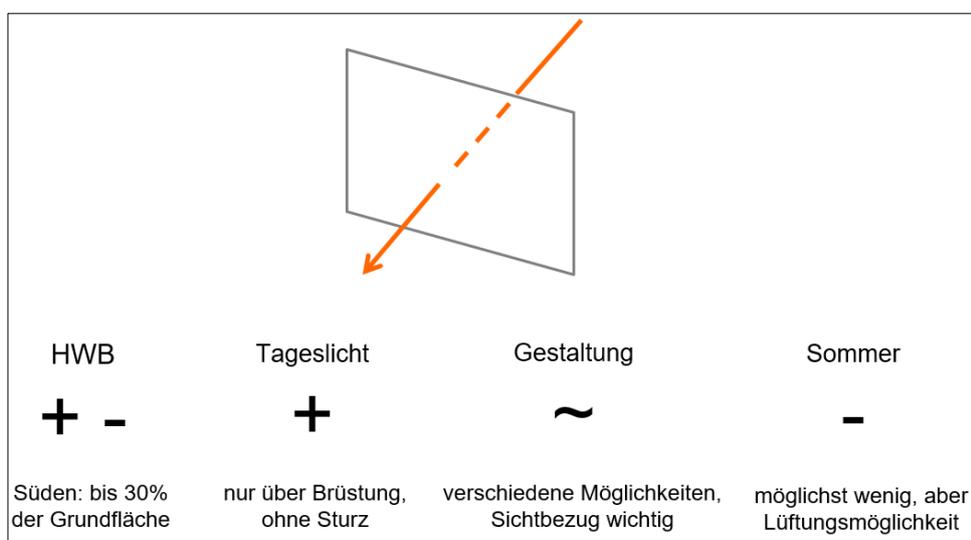


Abbildung 3: Entwurf: Welche Aspekte fordern große (+) oder kleine (-) Verglasungsflächen? (HWB = Heizwärmebedarf)

Neben den Raumtiefen hilft für die Optimierung der Tageslichtnutzung eine Innenperspektive (siehe Abbildung 4). Auf diese Weise kann die Gestaltung nicht nur in Gebäudeansichten, sondern auch in Innenansichten entworfen werden.

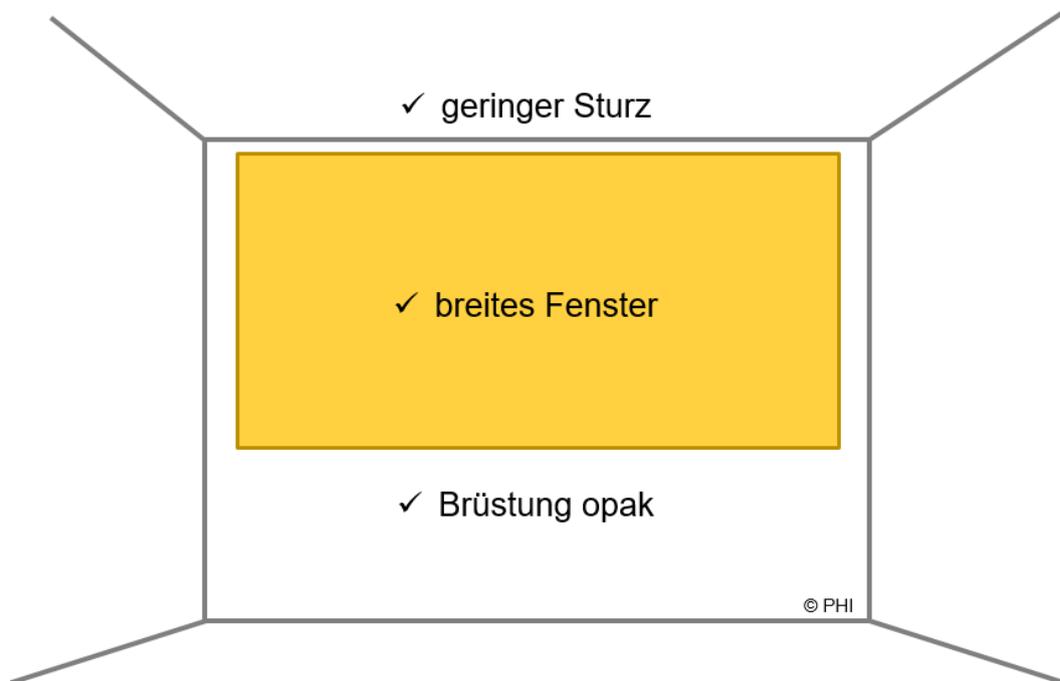


Abbildung 4: positive Maßnahmen für die Tageslichtnutzung

Bodentiefe Fenster sind ein schönes Gestaltungsmittel, um Innen- und Außenraum zu verbinden (z. B. auf eine große Dachterrasse oder im Eingangsbereich). In der Praxis werden oft bodentiefe Verglasungen auch an Stellen eingesetzt, an denen diese weniger gewünscht sind. Das zeigt sich durch abgeklebte Verglasungen besonders in Erdgeschossen oder auch durch unschöne Einblicke von außen auf "Kabelsalate" unter den Schreibtischen.

f) Das **Verhältnis von verglasten (transparenten) und opaken Fassadenflächen** soll unter den Gesichtspunkten geeigneter Blickbeziehungen, guter Tageslichtnutzung, natürlicher Belüftung, Wärmeschutz, Kosten für Sonnenschutzmaßnahmen und Absturzsicherungen sowie Reinigungskosten je nach Orientierung optimiert werden. Verglasungen unterhalb der Nutzebene tragen nicht zur Belichtung bei und vergrößern die Gefahr von Überhitzungen im Sommer. Anhaltswerte sind 20-30% nach Norden, 30-40% nach Ost/West und 40-50% nach Süden. Verglasungen sind so anzuordnen und zu gestalten, dass sie ohne Hubsteiger gereinigt gewartet und instandgesetzt werden können. Dachfenster und Oberlichter führen im Sommer häufig zu Überhitzungen und sollen sich daher ausschließlich an Belichtungserfordernissen orientieren.

Abbildung 5: Auszug aus den Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2021 der Stadt Frankfurt [Frankfurt 2021]

5 Berechnungen

Sonneneintragskennwertverfahren

Beim Kurzverfahren nach [DIN 4108-2] werden Sonneneintragswerte ermittelt. Bei vielen Gebäuden werden die Grenzwerte nicht erfüllt. Das führt leicht dazu, zu vermuten, dass das Verfahren zu pessimistisch rechnen würde. Zu bedenken ist aber, dass sich die Planung (insbesondere in Städten) an zukünftig steigende Temperaturen anpassen sollte.

Die Stadt Frankfurt hat deshalb für Ihre Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen 2021 noch einen strengeren Grenzwert, nämlich einen Sonneneintragskennwert von maximal 0,03 aufgestellt. Dies ist Teil der Klimaanpassungsstrategie der Stadt.

Die Stadt München z. B. prüft bei Bauanträgen auch die Verglasungsflächen in Hinblick auf den sommerlichen Komfort und fordert gegebenenfalls Reduzierungen.

Auch wenn der Nachweis für ein Gebäude mit dem Kurzverfahren nicht erfüllt wird, so gibt es doch Aufschluss, wie gut die sommerliche Performance des Gebäudes ist. Wenn die Sonneneintragskennwerte deutlich über dem Grenzwert liegen, kann man sich eine Simulation sparen und sollte den sommerlichen Wärmeschutz optimieren.

Abbildung 6 zeigt eine Tabelle, in der aus dem Kurzverfahren zurückgerechnet wurde, welche Fensterflächen bei welchen Randbedingungen (g-Wert, Bauweise, Verschattungsfaktor, Nachtlüftung, passive Kühlung) zulässig sind. Diese können als Orientierung für einen Entwurf verwendet werden. Unter passiver Kühlung sind hier im Sinne der DIN 4108-2 Systeme gemeint, die Energie nur zum Transport aber nicht zur Kälteerzeugung benötigen (z. B. Erdsonden, Adiabate Kühlung).

Maximal zulässiger Fensterflächenanteil bezogen auf die Nettogrundfläche ost/west/süd für **Nichtwohnnutzung**
Sommerklimaregion: **C**



g-Wert	65%			55%			45%			35%		
Bauweise	leicht	mittel	schwer									
Ohne Nachlüftung, ohne passive Kühlung												
Fc = 1	3%	4%	5%	4%	5%	6%	5%	6%	7%	12%	14%	15%
Fc = 0,7	5%	6%	7%	6%	7%	8%	6%	8%	9%	16%	18%	19%
Fc = 0,5	6%	8%	9%	7%	9%	10%	8%	10%	12%	20%	22%	24%
Fc = 0,3	9%	11%	13%	10%	12%	14%	12%	14%	16%	27%	30%	32%
Fc = 0,25	10%	12%	14%	11%	14%	16%	13%	15%	18%	29%	32%	35%
Mit erhöhter Nachlüftung (2-fach), ohne passive Kühlung												
Fc = 1	10%	13%	14%	11%	15%	16%	13%	18%	20%	23%	28%	30%
Fc = 0,7	13%	17%	19%	15%	20%	22%	18%	23%	26%	30%	37%	39%
Fc = 0,5	17%	23%	25%	20%	26%	29%	22%	30%	33%	37%	45%	49%
Fc = 0,3	25%	32%	36%	27%	36%	40%	31%	40%	45%	49%	60%	65%
Fc = 0,25	28%	36%	40%	30%	40%	44%	34%	44%	49%	53%	65%	70%
Mit hoher Nachlüftung (5-fach), ohne passive Kühlung												
Fc = 1	13%	18%	22%	15%	21%	26%	18%	25%	30%	28%	37%	44%
Fc = 0,7	18%	25%	30%	20%	28%	35%	24%	33%	40%	37%	48%	56%
Fc = 0,5	23%	32%	39%	26%	36%	44%	30%	42%	51%	46%	59%	70%
Fc = 0,3	33%	46%	56%	37%	51%	62%	41%	57%	70%	60%	78%	93%
Fc = 0,25	37%	51%	63%	41%	56%	69%	45%	62%	76%	65%	85%	100%
Ohne Nachlüftung, mit passive Kühlung												
Fc = 1	6%	9%	13%	7%	11%	15%	8%	13%	17%	17%	22%	28%
Fc = 0,7	8%	13%	17%	10%	15%	20%	11%	17%	23%	22%	29%	36%
Fc = 0,5	11%	17%	22%	12%	19%	25%	14%	22%	29%	27%	36%	45%
Fc = 0,3	16%	24%	32%	17%	27%	36%	20%	30%	40%	36%	48%	59%
Fc = 0,25	18%	27%	36%	19%	30%	40%	21%	33%	44%	39%	52%	64%
Mit erhöhter Nachlüftung (2-fach), mit passive Kühlung												
Fc = 1	12%	18%	22%	14%	21%	26%	17%	25%	30%	27%	36%	43%
Fc = 0,7	17%	24%	30%	19%	28%	34%	22%	33%	40%	35%	47%	56%
Fc = 0,5	22%	32%	39%	25%	36%	44%	28%	41%	50%	44%	59%	70%
Fc = 0,3	31%	45%	55%	35%	50%	61%	39%	56%	69%	58%	78%	92%
Fc = 0,25	35%	51%	62%	38%	56%	68%	43%	62%	76%	63%	84%	100%
Mit hoher Nachlüftung (5-fach), mit passive Kühlung												
Fc = 1	16%	23%	30%	18%	27%	35%	21%	32%	41%	33%	45%	56%
Fc = 0,7	21%	32%	41%	24%	36%	47%	28%	42%	54%	42%	59%	73%
Fc = 0,5	28%	41%	53%	31%	46%	60%	36%	53%	69%	53%	73%	91%
Fc = 0,3	40%	59%	75%	44%	64%	83%	49%	73%	94%	70%	96%	100%
Fc = 0,25	44%	65%	84%	49%	72%	93%	54%	80%	100%	76%	100%	100%

Bemerkung: Neigung des Fensters immer >60° angenommen (S4=0); Orientierung vernachlässigt (S5=0)

unter 30%	30-60%	61-90%	über 90%
-----------	--------	--------	----------

Abbildung 6: Maximal zulässige Fensterflächen in Abhängigkeit vom g-Wert der Verglasung, Bauweise und Verschattungsfaktor (Fc) des Sonnenschutzes; Quelle: ebök GmbH

Alternativ zum Sonneneintragskennwertfahren kann der Nachweis für den sommerlichen Wärmeschutz nachweis gemäß DIN 4108-2 Abschnitt 8.4 auch mit einer thermischen Gebäudesimulation mit vorgegebenen Randbedingungen geführt werden. Besser ist es aber, über den planerischen Ansatz das Sonneneintragskennwertverfahren einzuhalten, damit wird auch zukünftig steigenden Temperaturen Rechnung getragen.

PHPP und designPH

PHPP und designPH eignen sich zum Vergleich verschiedener Fenstergestaltungen und zur Optimierung dieser. Im PHPP können die genauen Fenstergrößen und Orientierungen, die Verschattung dieser und Reduktion durch beweglichen Sonnenschutz eingegeben werden. Der Solareintrag wird sowohl für jedes Fenster als auch für die Himmelsrichtungen aufsummiert angezeigt. Mit designPH (Passivhaus plugin für sketchUp) können die Fenster und auch die verschattenden Objekte in der Umgebung im 3D-Modell eingegeben werden. Daraus erhält man eine genaue Verschattungsbeurteilung, die wiederum ins PHPP importiert werden kann.

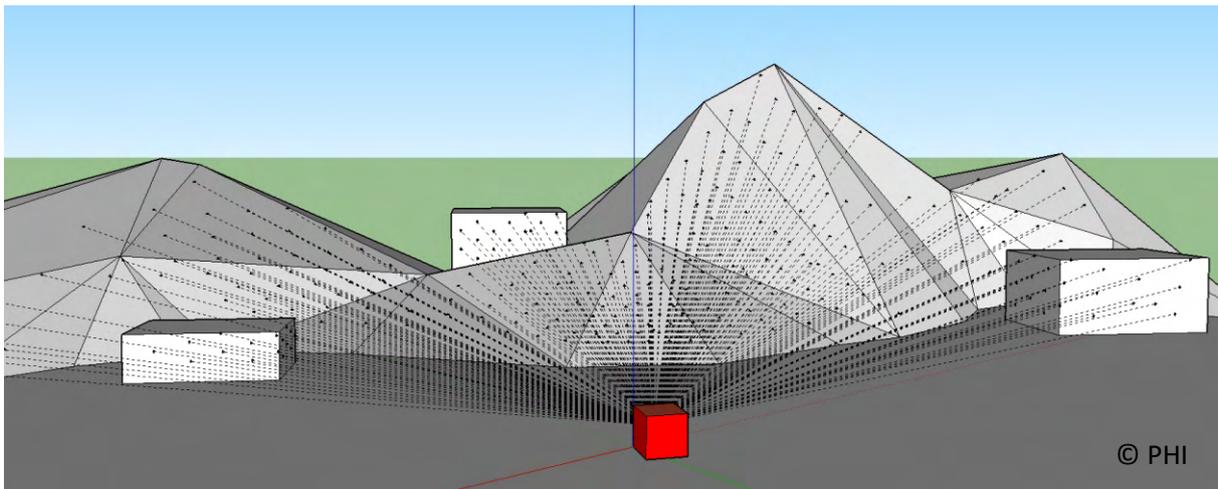


Abbildung 7: Modell mit designPH: Die Verschattung durch die Umgebung kann damit genau berechnet werden und ins PHPP importiert werden.

Weitere Tools

Wer für wissenschaftliche Zwecke tiefer einsteigen möchte, für den gibt es zwei kostenlose Tools im Internet, die einzelne Räume betrachten.

Mit ParaSol, einem Programm der Universität Lund, können einige voreingestellte Sonnenschutzsysteme in Kombination mit Verglasungen berechnet werden und ist relativ einfach zu bedienen.

Mit DALEC können in drei unterschiedlichen Höhen eines Raumes Fenster- und Verschattungssituationen nachgebildet werden. Dabei geht es um den Energieverbrauch für Heizung, Kühlung und Beleuchtung. Die Einstellmöglichkeiten sind sehr vielfältig, sodass eine Einarbeitung notwendig ist. Es können Stundendaten als .csv-Datei exportiert werden.

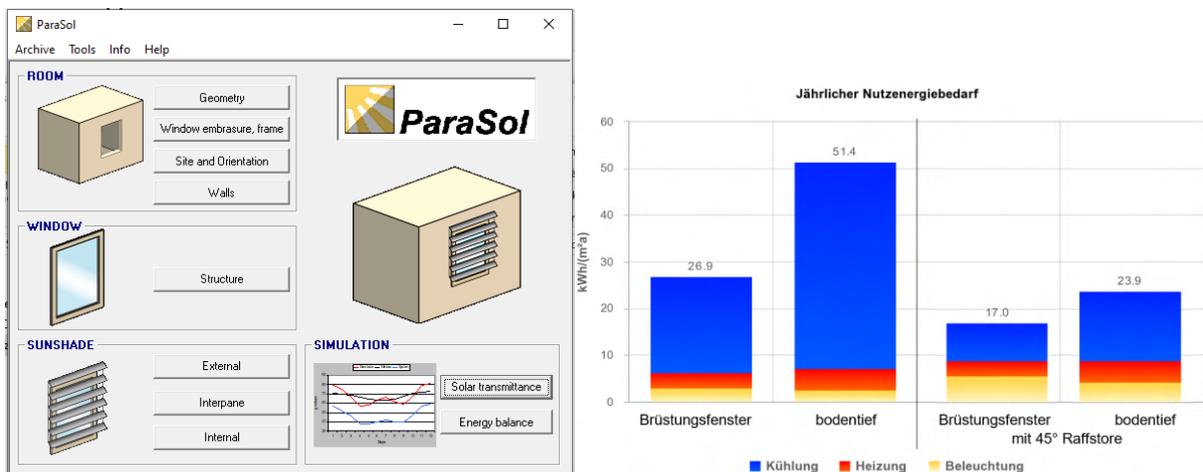


Abbildung 8: links: Tool [ParaSol]; rechts: Tool [DALEC]: Vergleich zwischen einem Brüstungsfenster und einem bodentiefen Fenster

6 Fazit

Sonnenschutz ist eine Entwurfsaufgabe.

Unabhängig vom Energiestandard des Gebäudes spielt der solare Eintrag eine bedeutende Rolle. Mit dem Entwurf (Orientierung, Verglasungsgrößen, Fensterpositionen) werden die Weichen gestellt, ob das Gebäude mit einfachen Maßnahmen im Sommer komfortabel gehalten werden kann.

Bei der Wahl des Sonnenschutzes sind die verschiedenen Aspekte (Verschattungsfaktor, Robustheit, Blickbezug) gut abzuwägen. Eine automatische Regelung des Sonnenschutzes ist auf jeden Fall zu empfehlen. Die Regelung kann sehr einfach oder auch intelligenter sein. Wichtig ist, dass sie richtig eingestellt ist und die Nutzer mit einbezogen werden.

7 Literatur & Referenzen

- [DALEC] <http://dalec.uibk.ac.at/#room>
- [DIN 4108-2] DIN 4108-2:2013-02; Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2013
- [Frankfurt 2021] Magistrat der Stadt Frankfurt am Main (Hrsg.): Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen; <https://energiemanagement.stadt-frankfurt.de/Investive-Massnahmen/Leitlinien-wirtschaftliches-Bauen/Leitlinien-wirtschaftliches-Bauen.pdf> (Zugriff 10.02.2021)
- [ParaSol] <http://www.ebd.lth.se/software/parasol/>
- [Ritter 2018] Oliver Ritter und Marlies Bock: Praxishandbuch - Schulgebäude in Passivhausbauweise; <https://www.ufu.de/wp-content/uploads/2018/04/Passivhausschulen-Praxishandbuch.pdf> (Zugriff 10.02.2021)

Zeno Bastian, Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Bewährte passive Maßnahmen für den sommerlichen Wärmeschutz: Lüftungsstrategien

1 Einführung

1.1 Warum ist Sommerlüftung im Passivhaus besonders wichtig?

Der ausgezeichnete Wärmeschutz von Passivhäusern hält nicht nur im Winter die Wärme im Gebäude. Der niedrige Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) der Gebäudehülle verringert auch an heißen Sommertagen deutlich den Wärmeeintrag durch Transmission ins Gebäude. Der geringere Energiedurchlassgrad (g-Wert) der 3-fachverglasten Fenster reduziert zusätzlich die solaren Wärmelasten. Deshalb heizen sich Passivhäuser prinzipiell an heißen Sommertagen langsamer auf und bleiben kühler als Altbauten oder konventionelle Neubauten.

Ist es draußen kühler als im Gebäude, z. B. nachts, ist auch im Passivhaus eine zusätzliche Abfuhr der einmal ins Gebäude gelangten Wärme erforderlich. Dafür bietet sich im kühl-gemäßigten Klima die Lüftung, insbesondere über die Fenster, aber auch über die Lüftungsanlage an. Mit gezielter Lüftung bietet ein Passivhaus oder ein mit Passivhaus-Komponenten modernisierter Altbau einen gegenüber einem ungedämmten Altbau entscheidend verbesserten Sommerkomfort (vgl. [Grove-Smith 2012]). Voraussetzung ist selbstverständlich, dass auch die weiteren Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz, wie Verschattung und Begrenzung interner Wärmelasten, umgesetzt werden.

Der durch die Sommerlüftung erzielte Luftwechsel ist aber besonders wichtig für die sommerliche Behaglichkeit (vgl. [Schnieders 2012]). Die (Nacht-) Lüftung ist daher eine unabdingbare Maßnahme, um in nicht aktiv gekühlten Passivhäusern einen guten Sommerkomfort zu erreichen. Wenn auf ohnehin vorhandene Bauteile zurückgegriffen werden kann (Fenster, Lüftungsanlage), ist die Sommerlüftung eine sehr kostengünstige passive Kühlmaßnahme, die bei freier Fensterlüftung (nahezu) ohne Energieaufwand funktioniert.

Der vorliegende Beitrag bietet einen Überblick über die bisherigen Forschungsergebnisse und Erfahrungen des Passivhaus Instituts zur passiven Gebäudekühlung mittels sommerlicher Belüftung.

1.2 Nachtlüftungspotential heute und in Zukunft

Für die Gebäudekühlung über Nachtlüftung müssen die nächtlichen Außentemperaturen mindestens einige Grad unter der angestrebten sommerlichen Maximaltemperatur liegen (wir gehen im Folgenden von 25 °C aus). Dies ist in Deutschland in der überwiegenden Zeit der Fall. Abbildung 1 zeigt, für das Testreferenzjahr 2003 (Klima Mannheim, repräsentativ für den für Deutschland vergleichsweise warmen Oberrheingraben), dass nur während 4 % der Nachtstunden des Jahres die Temperaturen über 20 °C liegen, und nur während 2 % über 22 °C. Bedingt durch den Klimawandel steigt allerdings der Anteil der warmen Nachtstunden, sodass in dem vom deutschen Wetterdienst (DWD) im Testreferenzjahr 2035 auf Basis der regionalen Klimamodelle für 2021 bis 2050 prognostizierten Klima (vgl. [DWD 2014]) schon gut 10 % der Nachtstunden über 20 °C liegen.

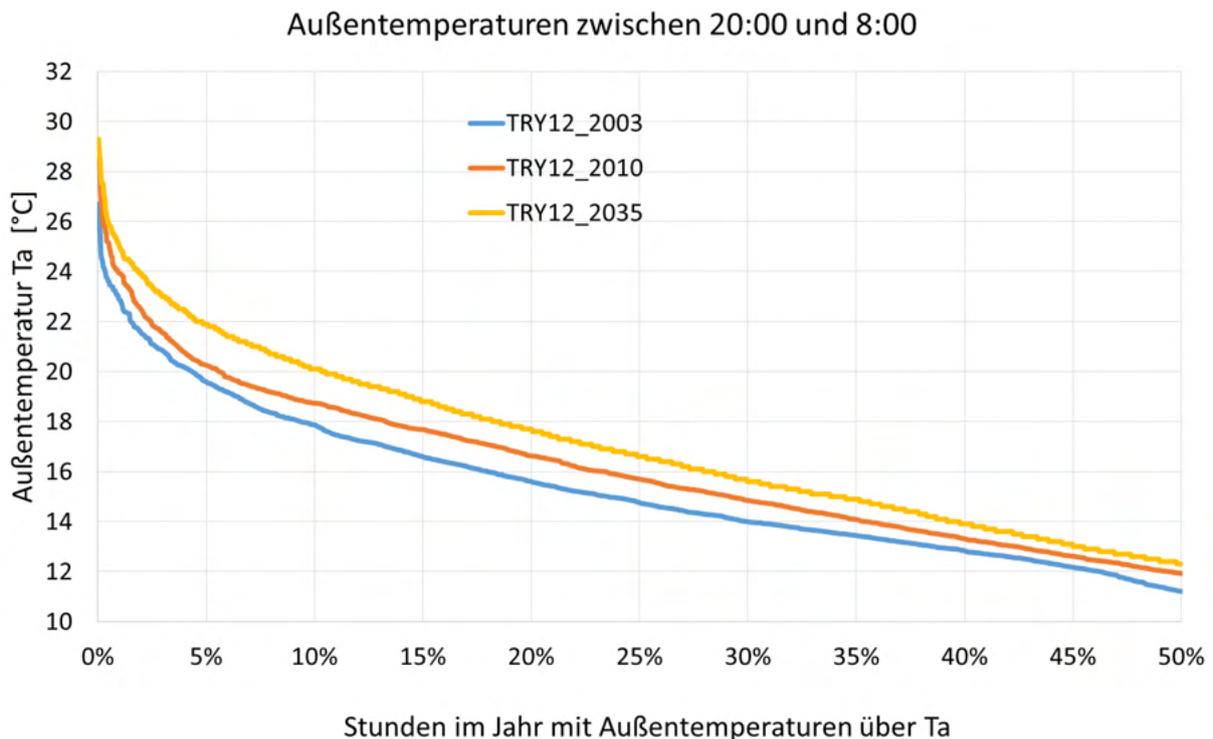


Abbildung 1: Anteil der Nachtstunden unter einer bestimmten Außentemperatur für TRY12, Mannheim. Testreferenzjahre (TRY) repräsentieren einen mittleren, aber für das Jahr typischen Witterungsverlauf (Grafik: PHI).

Für die Wirksamkeit der passiven Kühlung ist auch wichtig, welche Tiefsttemperaturen in den frühen Morgenstunden erreicht werden. In den sogenannten "Tropennächten" sinken die Temperaturen zu keinem Zeitpunkt unter 20 °C. Dann ist nur ein geringes oder gar kein Kühlpotential über Nachtlüftung vorhanden. Abbildung 2 zeigt die Anzahl der Tropennächte in Deutschland. In der Vergangenheit (links, Zeitraum 1961 – 1990)

waren Tropennächte in Deutschland sehr selten. Sie kamen nur an wenigen Standorten und auch dort nur an maximal 3 Tagen im Jahr vor. Im beispielhaft gezeigten Jahr 2019 (Mitte) ist schon eine deutliche Zunahme zu erkennen, wobei Tropennächte noch immer selten bleiben. Rechts werden Zukunftsszenarien für die Jahre 2050-2080 gezeigt. Die mittlere Karte zeigt das 50. Perzentil der Ergebnisse der als Basis verwendeten bis zu 21 regionalen Klimamodelle. Hier ist eine Zunahme um bis zu 10 Tropennächte erkennbar, in den pessimistischeren Szenarien (85. Perzentil) sogar um bis zu 25 Nächten. Das Nachtlüftungspotential wird sich also in Zukunft deutlich verringern. Dennoch kann die Nachtlüftung weiterhin an vielen Tagen und Standorten eine wichtige Maßnahme sein, ggf. in Kombination mit aktiver Kühlung.

Deutschland Tropennächte

Kalenderjahr 2019

Emissionsszenario: A1B Zeitfenster: 2050 - 2080

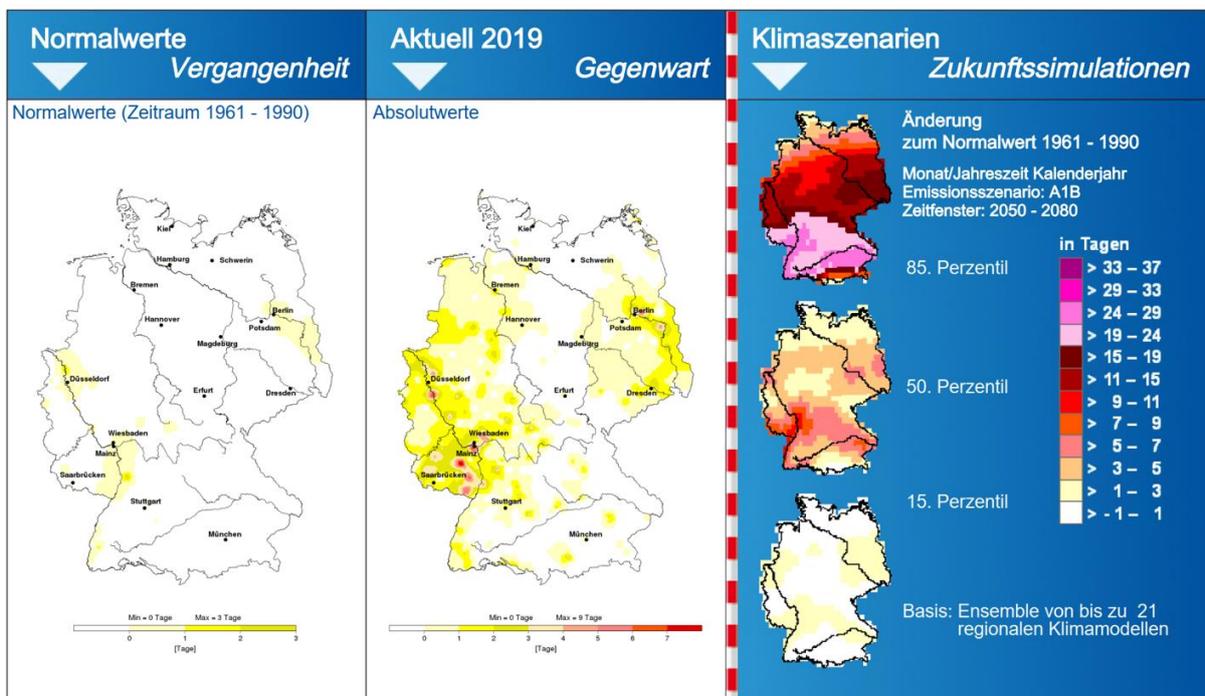


Abbildung 2: Anzahl der "Tropennächte", in denen die Temperatur nicht unter 20 °C sinkt, in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft (Quelle: [DWD 2020]).

In Städten ist das Nachtlüftungspotential geringer, bedingt durch den im Beitrag von Dr. Meinolf Koßmann angesprochenen städtischen Wärmeinseleffekt. Dieser ist, wie Abbildung 3 zeigt, besonders nachts ausgeprägt. Grund ist u. a. die hohe Wärmespeicherkapazität von Oberflächen wie Wänden und Straßenbelägen aus massiven Baustoffen, die die Abkühlung verzögert. Der Wärmeinseleffekt sollte für städtische Standorte auch bei der Auslegung der sommerlichen Lüftung mit dem PHPP berücksichtigt werden (siehe hierzu den Beitrag von Jessica Grove-Smith).

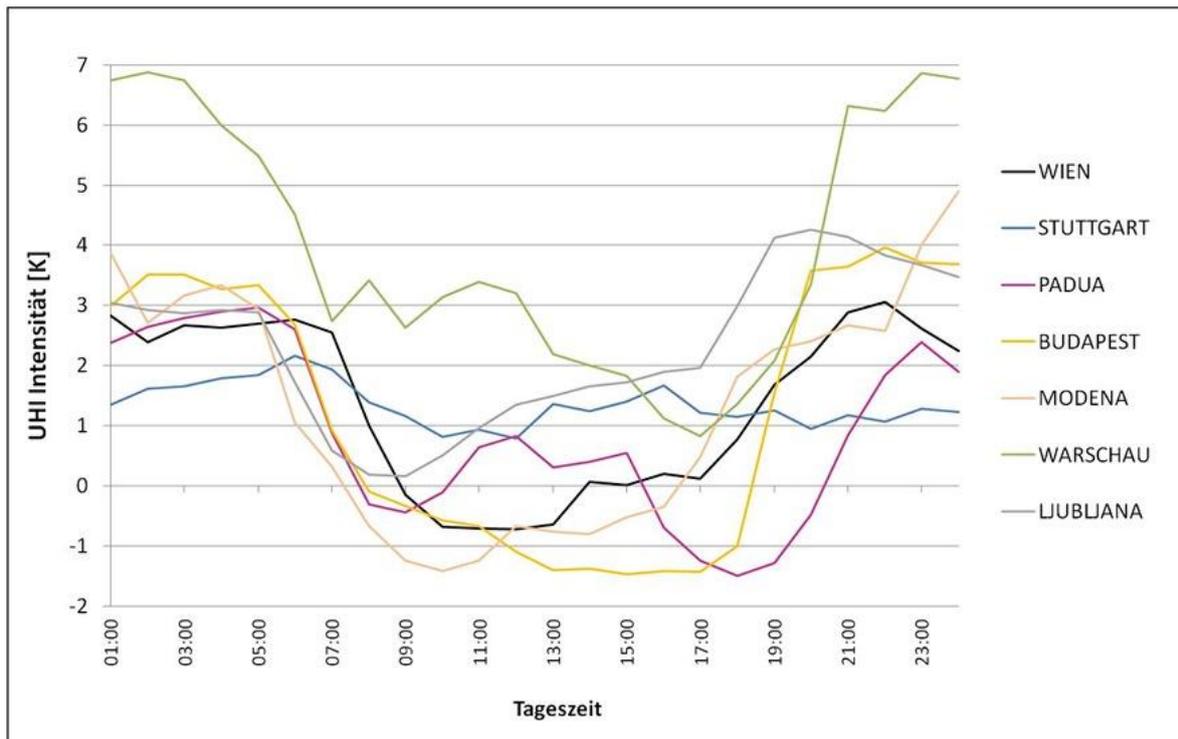


Abbildung 3: Intensität des städtischen Wärmeinseleffekts (UHI = Urban Heat Island) für verschiedene Städte nach Tageszeit (Quelle: [Amt für Umweltschutz, Stuttgart, 2020])

2 Fensternachtlüftung

Fenster nachts zu öffnen, ist aus praktischen Gründen vor allem bei Anwesenheit von Personen möglich, also insbesondere in Wohngebäuden. Aber auch in Nichtwohngebäuden können die Vorteile der Fensternachtlüftung genutzt werden, wenn zusätzliche Maßnahmen wie motorische Fensteröffner und ein Einbruch- und Witterungsschutz umgesetzt werden (s. a. Abschnitte 2.4 und 2.5.).

2.1 Einseitig / quer / geschossübergreifend?

Bei der Fensterlüftung lassen sich die folgenden drei Möglichkeiten unterscheiden:

- Einseitige Lüftung: Fenster in einzelnen Räumen offen, Innentüren geschlossen.
- Querlüftung: Fenster an gegenüberliegenden Fassaden geöffnet, Innentüren offen.
Evtl. sind Brandschutzanforderungen zu beachten (Brandschutztüren: Türaufhalter schließen im Brandfall)

- Geschossübergreifende Lüftung: Fenster in mehr als einem Stockwerk offen, Innentüren offen, geschossübergreifender Luftstrom über Atrium, Treppenhaus o. ä.
Ebenfalls Brandschutzanforderung beachten; ggf. können ohnehin vorhandene RWA-Klappen im Dachbereich für die Sommerlüftung genutzt werden

Tabelle 1 zeigt die resultierenden mittleren Luftwechsel in Hitzeperioden im Zusammenhang mit den Übertemperaturhäufigkeiten für unterschiedliche Lüftungsarten. Die einseitige Lüftung schneidet erwartungsgemäß am schlechtesten ab, mit dem geringsten Luftwechsel und einer Übertemperaturhäufigkeit von fast 10 %, bei den in dieser Simulation angesetzten Randbedingungen. Durch Querlüftung verbessert sich die Situation allerdings nur minimal. Grund dafür ist, dass die Windgeschwindigkeiten nachts in Hitzeperioden selten über 2 m/s steigen. Der Luftaustausch ist dann ohnehin vor allem temperaturgetrieben. Durch geschossübergreifende Lüftung ergibt sich eine weitere moderate Erhöhung des Luftwechsels, verbunden mit einer sehr starken Reduktion der Übertemperaturhäufigkeit. Grund ist zum einen, dass die Luft einen längeren Weg durch das Gebäude zurücklegt und dadurch mehr Wärme aufnehmen kann. Zum anderen ergibt sich bei der durch Auftriebskräfte angetriebenen Lüftung der größte Luftwechsel immer dann, wenn das Kühlpotential am höchsten ist, nämlich dann, wenn die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen am größten ist.

Wenn es die Randbedingungen im Gebäude erlauben, sollte also die geschossübergreifende Fensterlüftung genutzt werden. Zusätzlicher Aufwand zur Ermöglichung von Querlüftung statt einseitiger Lüftung lohnt sich dagegen kaum, es sei denn, es gibt in größerem Umfang innenliegende Räume, die durch einseitige Lüftung nicht erreicht werden.

Tabelle 1: Mittlerer Luftwechsel und Übertemperaturhäufigkeit in Abhängigkeit von der Lüftungsart, Ergebnisse der Simulation am Beispiel eines Reihendhauses (Datenquelle: [Schnieders 2003a])

	mittl. Luftwechsel in Hitzeperioden [1/h]	Übertemperaturhäufigkeit $t_9 \geq 25$ [%]
geschossübergreifend	0,83	1,4
Querlüftung	0,71	8,3
einseitig	0,69	9,6

2.2 Sinnvoller Luftwechsel

Abbildung 4 zeigt Übertemperaturhäufigkeit und Maximaltemperaturen in Abhängigkeit vom erzielten sommerlichen Luftwechsel. Klar erkennbar ist, dass die Übertemperaturhäufigkeit schon bei moderaten Luftwechselraten unter 1/h sehr stark sinkt. Bei für Wohngebäude typischen internen Wärmelasten (unterste Kurve) ergeben sich oberhalb eines 1-fachen Luftwechsels nur noch geringe Verbesserungen - die Übertemperaturhäufigkeit nähert sich 0 % an. Bei doppelten internen Gewinnen, wie sie eher in Nichtwohngebäuden auftreten, ist in der Simulation ein 2- bis 3-facher Luftwechsel erforderlich, um die Übertemperaturhäufigkeit unter 10 % zu senken. Hier bringen dann mehr als 4-fache Luftwechselraten nur noch eine geringfügige weitere Absenkung.

Grund dafür, dass sehr hohe Luftwechselraten kaum noch eine Verbesserung bringen, ist, dass die Wärmeabgabe an die Luft durch den Wärmeübergangswiderstand an den Innenoberflächen des Gebäudes begrenzt ist. Bei sehr hohen Luftwechselraten kann sich die Luft beim Durchströmen des Gebäudes kaum noch erwärmen.

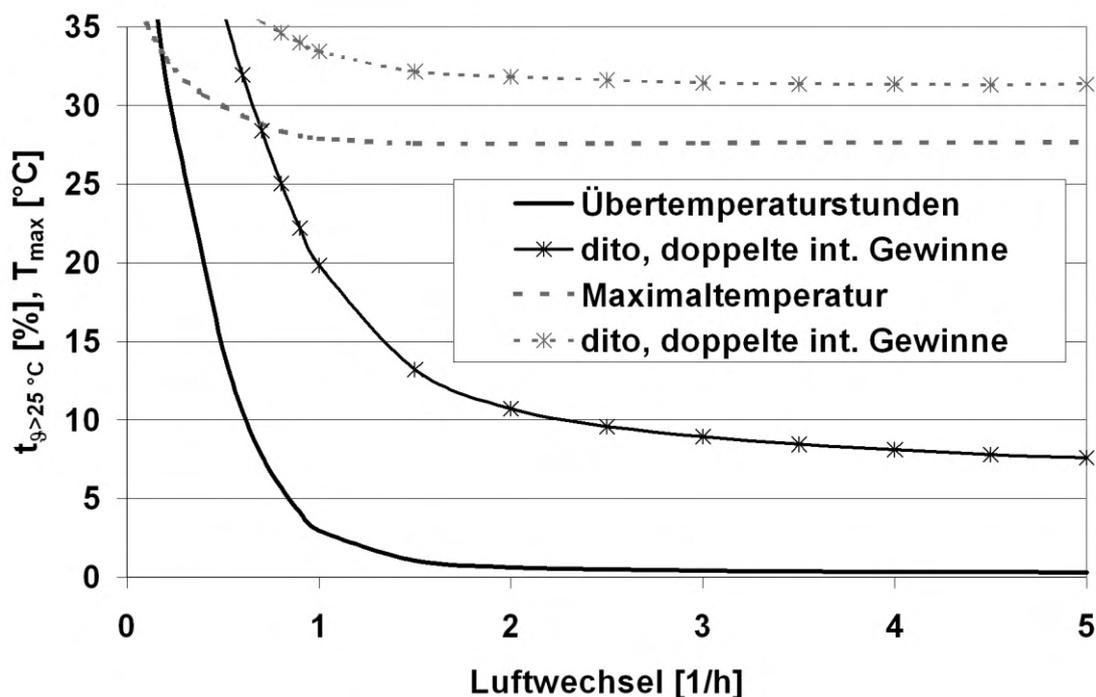


Abbildung 4: Übertemperaturhäufigkeit und Maximaltemperatur als Funktion des erreichbaren sommerlichen Luftwechsels (Tag und Nacht) für ein Reihenendhaus. Die dicken Linien ohne Symbole entsprechen den normalen internen Gewinnen, die dünneren Linien mit Symbolen gehören zu verdoppelten internen Gewinnen (Quelle: [Schnieders 2003b]), Grafik: PHI).

2.3 Einfluss von Öffnungsweite und Fensterformat

Grundsätzlich gilt, dass sich der erreichte Volumenstrom linear mit der lichten Öffnungsgröße des Fensters vergrößert. Voll geöffnete Drehfenster sind daher Kippfenstern deutlich überlegen. Bei Kippfenstern ist die tatsächliche lichte Öffnungsweite entscheidend (vgl. [Krick 2012]). Außerdem kann der Luftwechsel auch ungewollt durch Schutzmaßnahmen wie Lamellen, Gitter etc. vor dem Fenster vermindert werden.

Durch Vorgaben der gesetzlichen Unfallkassen sind Drehflügel in Schulen und anderen Kinderbetreuungseinrichtungen jedoch nicht immer möglich, oder sie müssen so ausgeführt werden, dass sie geöffnet nicht über die Vorderkante der Fensterbank hinausragen. Eine Alternative sind hier nach außen öffnende Fensterflügel.

Neben der Öffnungsgröße spielt auch das Fensterformat eine Rolle. Bei einseitiger Lüftung und Querlüftung haben schmale, hohe Fenster einen bis über 2-fach erhöhten Luftwechsel gegenüber liegenden Formaten mit den gleichen Abmessungen. Grund dafür ist die bessere Nutzung der Thermik als Antrieb für den Luftaustausch bei höheren Öffnungen. Stehende Formate sind wie oben erwähnt auch bezüglich Unfallschutz günstiger, da sie nicht so weit in den Raum ragen. Ist geschossübergreifende Lüftung möglich, spielt das Format dagegen keine entscheidende Rolle mehr, weil dann der Antrieb durch die Thermik über die Gebäudehöhe erfolgt.

2.4 Einbruch-, Eindring- und Witterungsschutz

Nichtwohngebäude wie Schulen und Büros sind in den Nachtstunden, wenn die Kühlwirkung der sommerlichen Lüftung am stärksten ist, normalerweise nicht besetzt. Daher ist es unabdingbar, die Lüftungsöffnung zu schützen, und zwar gegen:

- Einbruch, unerlaubtes Eindringen von Personen
- Eindringen von Kleintieren (Nager, Vögel, evtl. auch Insekten) und Grobschmutz (Laub)
- Regen (und evtl. Sturm)

Gekippte Fenster bieten keinen ausreichenden Einbruchschutz, da sie sich relativ leicht und schnell aushebeln lassen. Daher beurteilen Einbruchdiebstahlversicherungen gekippte Fenster wie offene Fenster (vgl. [Hörner et. al. 2012]). Es sind aber Produkte erhältlich, mit denen Fenster so nachgerüstet werden können, dass sie auch im gekippten Zustand einen guten Einbruchschutz bieten (siehe z.B. Abbildung 5).



Abbildung 5: Abschließbare Teleskopstange zum Blockieren von Fenstern und Fenstertüren mit Verankerung in der Mauerleibung; erlaubt Kippöffnung (Foto: © ABUS August Bremicker Söhne KG)

Sollen die Fenster aufgedreht werden, so wird in der Regel ein Einbruchschutz z. B. in Form von Stahlgittern oder Lamellen aus Stahl bzw. Verbundsicherheitsglas (VSG) vor dem Fenster nötig. Lamellen können gleichzeitig als Regen- und Sonnenschutz dienen. Als Eindringenschutz bietet sich ein Drahtgewebe oder Fliegennetz an. Bei nach außen öffnenden Fenstern können die Schutzelemente innen angebracht werden, so dass sie die solaren Wärmegewinne in der Heizperiode nicht vermindern. Beispiele zeigt Abbildung 6.



Abbildung 6: Beispiele für Nachtlüftungsklappen mit Schutzmaßnahmen:
links-oben: VSG-Glaslamellen und Drahtgewebe stellen den Einbruch- und Insektenschutz sicher. Kindertagesstätte Goldstein (Frankfurt), Architektur: AS&P, Frankfurt

rechts-oben: Der Kettenantrieb ermöglicht einen großen Öffnungswinkel. Die nach außen öffnende Klappe schützt vor Regen, die Stäbe stellen einen wirksamen Einbruchschutz dar und das dahinterliegende Netz sichert den Insektenschutz. Kindertagesstätte in Frankfurt Schwanheim / Architektur: sdks, Darmstadt

links-unten: Geschlitzte Holzwerkstoffplatten in Kombination mit Insektengitter und einer motorisch nach innen öffnenden, opaken Klappe. Grundschule Rieberg, Frankfurt (Main), 4a Architekten GmbH

rechts-unten: starre Metalllamellen in Kombination mit Insektengitter. Die opake Lüftungsklappe ist mit Vakuumdämmung ausgestattet. Grundschule Nürnberg Zerzabelshof, Schulhaus Viatissstraße, Architektur: Mario Bodem, ING+ARCH Partnerschaft
(alle Fotos: PHI)

Bei nach oben/außen öffnenden Klappfenstern oder Lüftungsklappen bietet schon das Öffnungselement selbst einen gewissen Regenschutz. Beim modernisierten Bauingenieurgebäude der Universität Innsbruck (siehe Abbildung 7) wurden eigens entwickelte Senkklass-Fenster mit einem Wind- und Regensensor kombiniert, sodass die Fenster bei Regen und/oder Sturm automatisch schließen. Da die Fassade des 8-stöckigen Gebäudes für Einbrecher keine Aufstiegsmöglichkeit bietet, konnte auf weitere Schutzmaßnahmen verzichtet werden, sodass ein ungehinderter Ausblick durch die Lüftungsflügel möglich ist.



Abbildung 7: Modernisiertes Bauingenieur-Gebäude der Universität Innsbruck mit motorisch betriebenen Senkklass-Fenstern für die Sommerlüftung (Fotos: PHI).

2.5 Automatische Fensterantriebe oder manuelle Betätigung?

Soll eine Fensternachtlüftung realisiert werden, so stellt sich die Frage, ob die Öffnungsflügel manuell oder motorisch betätigt werden sollen. Eine Entscheidungshilfe bietet die folgende Übersicht der **Vor- und Nachteile automatischer Fensterantriebe**:

Vorteile

- Zuverlässige Nachtlüftung in Abhängigkeit von festgelegten Randbedingungen
- Automatisches Schließen bei Regen, Sturm, Auskühlung

Nachteile

- Investitionskosten
- Wartungs- und Reparaturaufwand
- Undichtigkeiten bei ungeeigneten oder nicht richtig eingestellten Antrieben (bei großen Flügeln evtl. ergänzend Verriegelungsantrieb verwenden)
- Fenster lässt sich evtl. tagsüber nicht mehr von Hand öffnen

Bei Gebäuden mit einer festen Personenzuordnung zu Räumen (z. B. Kindergarten mit festen Gruppen, evtl. Grundschule, evtl. Büro) besteht das Potential die kostengünstigere "Low-Tec"-Lösung der manuellen Öffnung zu nutzen. Für feste Nutzer ist es prinzipiell zum eigenen Vorteil, daran zu denken, im Sommer zu Nutzungsende die Nachtlüftungsflügel zu öffnen. Ein fest installierter Witterungsschutz ist bei manuell betätigten Flügeln besonders wichtig.

Die Investitionskosten für automatische Fensterantriebe sind mit 200 – 500 € pro Antrieb (ohne Montage) nicht unerheblich, allerdings mit sinkender Tendenz bei immer besserer Verfügbarkeit. Die Antriebe gibt es in verschiedenen Bauformen, die sich in Anwendungstyp (Fenster, RWA-Dachöffnung), Öffnungsweite/ -winkel sowie maximaler Zug- und Druckkraft unterscheiden. Auch die Optik kann eine Rolle bei der Auswahl spielen. So gibt es rahmenintegrierte Antriebe, die im geschlossenen Zustand nicht sichtbar sind. Eine Übersicht verschiedener Antriebe findet sich in [Krick 2012].

Die **Regelung** der automatischen Antriebe kann z. B. in Abhängigkeit von den folgenden **Parametern** erfolgen:

Fenster öffnen:

- außerhalb der Nutzungszeit UND
- Höchsttemperatur innen überschritten (z.B. 23 °C) UND
- Außentemperatur unter Innentemperatur

Fenster schließen:

- vor Nutzungsbeginn (bzw. vom Nutzer übersteuerbar) ODER
- Mindesttemperatur innen unterschritten ODER
- Sensor meldet Sturm und/oder Regen (falls kein ausreichender Witterungsschutz)

3 Nachlüftung über die Lüftungsanlage

Alternativ zur Fensterlüftung kann der Luftaustausch zur Wärmeabfuhr im Sommer auch über die im Passivhaus ohnehin vorhandene Lüftungsanlage gelöst werden. Dies hat folgende Vor- und Nachteile:

Vorteile

- keine offenen Fenster (Einbruch, Witterung, Tiere, Lärm) bzw. keine Kosten für Schutzmaßnahmen
- keine Kosten für Fensterantriebe
- keine offenen Innentüren nötig
- nutzerunabhängig zentral regelbar

Nachteile

- der erreichbare Luftwechsel ist deutlich begrenzt
- Strombedarf der Ventilatoren
- ggf. unerwünschte Erwärmung der Zuluft durch die Zuluftventilatoren

Lüftungsanlagen sollten in der Regel lediglich für die Anforderungen des hygienischen bedingten Luftwechsels im Winterbetrieb ausgelegt werden. Damit ist der für die Sommerlüftung zur Verfügung stehende Luftwechsel begrenzt. Hohe Luftwechselraten für die Sommerlüftung stehen in Gebäuden mit hohen Belegungsdichten wie Schulen und Versammlungsstätten zur Verfügung. In solchen Gebäuden kann daher eine ausreichende passive Kühlung über die Lüftungsanlage möglich sein. Ob dies der Fall ist, kann im PHPP mit dem Blatt SommLuft geprüft werden.

3.1 Varianten der mechanischen Nachlüftung

3.1.1 Zu-/Abluftanlage

Naheliegender und ohne zusätzliche Installationen möglich, ist der Betrieb der vorhandenen Zu-/Abluftanlage auch im Sommer. Unverzichtbar ist dabei ein Bypass des Wärmetauschers, da dieser sonst die Wärmeabfuhr weitgehend verhindert, wenn es außen kühler als innen ist. Ein automatisch temperatur geregelter Bypass kann die Wärmerückgewinnung wieder aktivieren, wenn es außen wärmer als innen ist. Die so zusätzlich erzielbare Verbesserung der sommerlichen Behaglichkeit ist aber im deutschen Klima bisher wenig bedeutend, da die Wärmelasten, die die Lüftungsanlage in

das Gebäude einträgt, im Vergleich zu den sonstigen Lasten gering sind (vgl. [Schneiders 2003a]).

Stellt man die passive Kühlleistung der Lüftungsanlage im Sommer in Relation zum aufgewendeten Ventilatorstrom, so ist die so definierte Leistungszahl proportional zur Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Da die Abwärme der Zuluftventilatoren die Zuluft zusätzlich aufheizt, ist eine Mindesttemperaturdifferenz von 0,6 K erforderlich, damit sich überhaupt ein Kühleffekt ergibt (bei einem Ventilatorstrombedarf von $0,4 \text{ Wh/m}^3$, vgl. [Pfluger 2005]). Bei 1,8 K ergibt sich eine Leistungszahl von 1 und bei 3,0 K von 2. Mit einem effizienten Splitgerät lässt sich im Vergleich dazu eine Leistungszahl von ca. 5 erzielen, wenn die Außentemperaturen auch für eine Nachtlüftung geeignet wären. Die passive Kühlung über die Lüftungsanlage ist daher insbesondere bei geringeren Temperaturdifferenzen wenig effizient, bei hohen Temperaturdifferenzen ist sie oft gar nicht erforderlich. Sie lässt sich im Einzelfall rechtfertigen, weil die Lüftungsanlage ohnehin vorhanden ist, während eine aktive Kühlung erst installiert werden muss - außerdem in Gebäuden, in denen nutzungsbedingt die Laufzeiten nicht zu lang sind, wie z. B. in Schulen, die in den heißesten Sommerwochen ohnehin ferienbedingt geschlossen sind. Bei der Wahl der Strategie für die Sommerbehaglichkeit sollte aber auf jeden Fall bedacht werden, dass die Kühlung durch maschinelle Lüftung erst ab einer Mindesttemperaturdifferenz innen/außen von 3 K eine halbwegs akzeptable Effizienz bietet.

3.1.2 Abluftbetrieb plus Öffnungsklappen

Manchmal kann durch reine Fensterlüftung kein für die sommerliche Behaglichkeit ausreichender Luftwechsel erzielt werden, z. B. wenn nur einseitige Lüftung über Kippfenster möglich ist. Dann kann eine Kombination von Fensteröffnung mit der Lüftungsanlage im Abluftbetrieb sinnvoll sein. Im Vergleich zum Zu-/Abluftbetrieb ergibt sich dann auch der Vorteil, dass kein Wärmeeintrag über die Zuluftventilatoren erfolgt und dass der Strombedarf geringer ist.

Bei der (abluf-)ventilatorgestützten Belüftung sind die Antriebskräfte größer als bei der reinen Fensterlüftung. Daher kann die Überströmung zwischen den Räumen auch über Überströmöffnungen erfolgen, die einen höheren Druckverlust als geöffnete Innentüren haben – die Innentüren können dann nachts geschlossen bleiben. Bei der Ausführung der Überströmöffnungen können auch Schall- und Brandschutzanforderungen berücksichtigt werden. Ein Beispiel zeigt Abbildung 8.

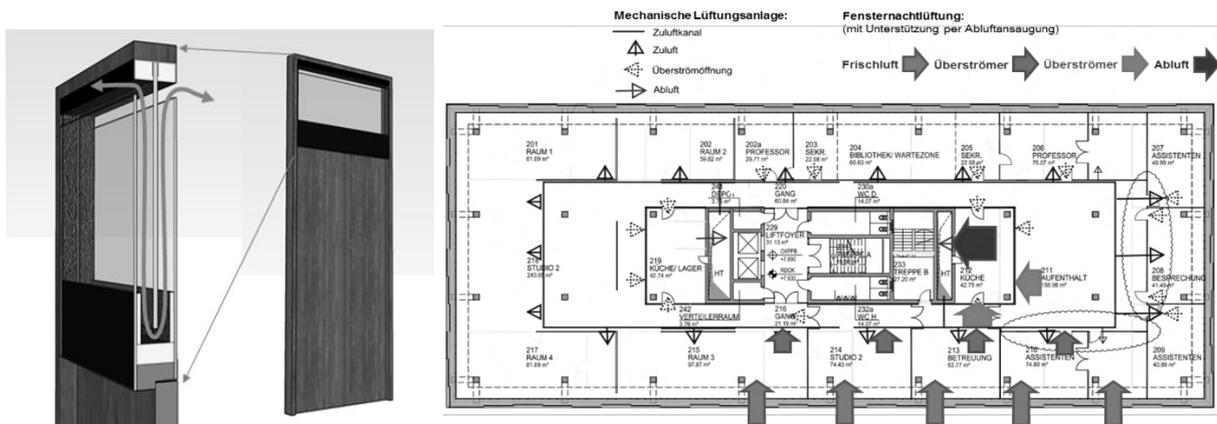


Abbildung 8: Links: Türoberlicht mit schallgedämmter Überströmöffnung für die Sommernachtlüftung. Rechts: Grundriss mit Schema der durch die Lüftungsanlage im Abluftbetrieb erzeugten Durchströmung (Modernisiertes Bauingenieur-Gebäude der Universität Innsbruck, Grafiken: PHI).

3.1.3 Zusätzlicher Abluftventilator für den Sommer

Bei Gebäuden mit geringerer hygienisch bedingter Luftwechselrate (z. B. Büros) erzielt die Lüftungsanlage häufig keinen für die Sommerkühlung ausreichenden Luftwechsel. Dann können für den Sommerbetrieb zusätzliche Abluftventilatoren mit größerer Leistung in Öffnungen in der Gebäudehülle installiert werden. Für den Industrie- und Agrarbedarf ("Stallventilator") gibt es Ventilatoren mit sehr hohen Leistungen von bis über 50.000 m³/h. Die Außenluft gelangt dabei ebenfalls über Öffnungsklappen, Kippfenster o. ä. ins Gebäude. Kurzschlussströmungen durch große Außenöffnungen in der Nähe des Ventilators sind zu vermeiden, da sie die Durchlüftung weiter entfernter Gebäudeteile vermindern. Wichtig ist, dass die Öffnung für den Ventilator im Winter luftdicht und wärmegeklämmt verschlossen werden kann. Außerdem ist sicherzustellen, dass die Ventilatoren keine übermäßige Schallbelastung für benachbarte Gebäude verursachen.

4 Nachlüftung im Passivhaus-Projektierungspaket (PHPP)

Im PHPP-Blatt "SommLuft" kann der durch sommerliche Fensterlüftung erzielbare Luftwechsel berechnet werden. Dabei wird die Öffnungsdauer, Fenstergeometrie und -anzahl, Öffnungsart (Kipp/Dreh) und Weite sowie die Art der Durchströmung des Gebäudes (einseitig, Querlüftung, geschossübergreifend) berücksichtigt. Die Ergebnisse können im PHPP für die Berechnung der sommerlichen Behaglichkeit (Übertemperaturhäufigkeit) bzw. des Kühlbedarfs verwendet werden. So kann bereits in der Planung ohne aufwändige Simulationen geprüft werden, ob das Lüftungskonzept ausreicht, um im Zusammenspiel mit den anderen Maßnahmen wie außenliegender Verschattung die passivhaustypische gute sommerliche Behaglichkeit zu gewährleisten.

Das Verfahren ist auch für typische Nichtwohngebäude wie Schulen und Büros validiert und kommt erst bei sehr hohen, zeitlich und räumlich schwankenden Lasten an seine Grenzen (vgl. [Schnieders 2012]). Da es sich um ein Einzonenmodell handelt, ist außerdem Voraussetzung, dass das Gebäude einigermaßen gleichmäßig durchlüftet wird bzw. ein guter Temperatenausgleich zwischen den Zonen möglich ist. Aus diesem Grund ist es empfehlenswert, neben der Gesamtgebäudebetrachtung im PHPP in der Planung auch sicherzustellen, dass für jeden relevanten Raum ein ausreichender Luftwechsel über die für die Nachlüftung vorgesehenen Öffnungen erzielt wird. Bewährt hat es sich, mindestens einen 2-fachen Luftwechsel vorzusehen. Dies kann ebenfalls mit dem PHPP-Blatt "SommLuft" geprüft werden.

Im Rahmen der Passivhausplanung ist sicherzustellen, dass die im PHPP angesetzte sommerliche Belüftung im Gebäudebetrieb auch tatsächlich erreicht werden kann. Typische Fehlerquellen sind hierbei:

Fenster werden nicht wie geplant geöffnet weil...

- sie nicht (ausreichend) gegen Einbruch, Regen, Sturm gesichert sind.
- bei manueller Fensteröffnung die Zuständigkeit nicht geklärt ist.

Der tatsächliche Luftwechsel ist geringer als geplant, weil...

- der verwendet Fensterantrieb das Fenster nicht vollständig öffnen kann.
- der Öffnungsquerschnitt durch Schutzmaßnahmen (Gitter etc.) verringert ist.
- wegen Anforderungen der Unfallkasse nur Kippöffnungen zulässig sind.
- Innentüren nicht wie geplant offen gelassen werden (können).

5 Literatur & Referenzen

- [Schnieders 2003a] Schnieders, Dr. Jürgen: Der Einfluss verschiedener Lüftungsstrategien auf das Sommerklima – vergleichende Untersuchung mittels dynamischer Gebäudesimulation, In: Protokollband 22 " Lüftungsstrategien für den Sommer ", Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut Darmstadt 2003.
- [Schnieders 2003b] Schnieders, Dr. Jürgen: Ein vereinfachtes Verfahren zur Abschätzung des sommerlichen Luftwechsels, In: Protokollband 22 " Lüftungsstrategien für den Sommer ", Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut Darmstadt 2003.
- [Pfluger 2005] Pfluger, Dr.-Ing. Rainer: Technologien zur energieeffizienten Raumkühlung: passiv - hybrid - aktiv, In: Protokollband 31 "Energieeffiziente Raumkühlung", Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut Darmstadt 2005.
- [Grove-Smith 2012] Grove-Smith, Jessica: Sommerfall in sanierten Nichtwohngebäuden, In: Protokollband 48 "Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden", Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut Darmstadt 2012.
- [Hörner et. al. 2012] Hörner, Michael; Knissel, Dr. Jens; Großklos, Marc: : Versicherungsfragen bei Wärmeabfuhr durch sommerliche Nachtlüftung, In: Protokollband 41 " Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhaus-Standard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse", Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut Darmstadt 2012.
- [Krick 2012] Krick, Dr. Benjamin: Wärmeabfuhr durch Nachtlüftung, In: Protokollband 41 " Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhaus-Standard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse", Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut Darmstadt 2012.
- [Schnieders 2012] Schnieders, Dr. Jürgen: Planungstools für den Sommerfall im Nichtwohngebäude, In: Protokollband 41 " Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhaus-Standard; Projekterfahrung und neue Erkenntnisse", Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut Darmstadt 2012.
- [DWD 2014] Climate & Environment Consulting Potsdam GmbH, Deutscher Wetterdienst im Auftrag des Bundesamts für Bauwesen und Raumordnung: Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse, Offenbach, 2014.
- [DWD 2020] Deutscher Wetterdienst: Deutscher Klimaatlas, https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html; abgerufen im Oktober 2020.
- [Amt für Umweltschutz, Stuttgart, 2020] Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz, Abt. Stadtklimatologie: Das Klima von Stuttgart, Der Wärmeinseleffekt (UHI), http://www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?klima_waermeinsel; abgerufen im Oktober 2020.

Gernot Vallentin, ArchitekturWerkstatt Vallentin GmbH, Dorfen/München

Planungserfahrungen: Verwaltungsgebäude (Passivhaus-Plus), Schulen und Kindertagesstätten

1 Einleitung

In diesem Beitrag werden die Erfahrungen mit der Planung und Ausführung von Verwaltungsgebäuden, Schulen und Kindergärten vorgestellt.

Die ArchitekturWerkstatt Vallentin besteht seit 1996. So konnten bis heute vielfältige Erfahrungen im Bereich des energetischen Bauens im Passivhausstandard gewonnen werden.



Abbildung 1: links: Gernot Vallentin, Dipl. Ing. Architekt, Zertifizierter Passivhaus-Planer, Deutscher Werkbund Bayern, Bundesverdienstkreuz 2012
rechts: Rena Vallentin, Dipl. Kauffrau, MBA, Zertifizierte Passivhaus-Beraterin, Deutscher Werkbund Bayern

2 Verwaltungsgebäude Abwasserzweckverband Erdinger Moos



Abbildung 2: Verwaltungsgebäude Abwasserzweckverband Erdinger Moos

2.1 Projektbeschreibung

Der Abwasserzweckverband Erdinger Moos betreibt eine öffentliche Einrichtung zur Abwasserbeseitigung für die Kreisstadt Erding, sowie die umliegenden Gemeinden und das Kanalnetz des Flughafen Münchens. Nach dem Bau der neuen Kläranlage war der Umzug der Geschäftsstelle zum Betriebsgelände geplant. Durch den Standortwechsel sollten die Verzahnung von Verwaltung und Technik erreicht und Arbeitsabläufe effizienter gestaltet werden. Vor allem die Frage der Fassadengestaltung war hier wichtig: Die Fassade sollte sich von der einer Wohnhausfassade absetzen, den Zweckverband repräsentieren und eine großzügige Belichtung der Büroräume sicherstellen.

Es sollte dennoch keine Komplettverglasung aus ökologischen Gründen umgesetzt werden. Vielmehr sollte ein kompaktes Gebäudekonzept, am besten ein Hallenkonzept, entworfen werden, welches passive Verschattungsmaßnahmen nutzt.

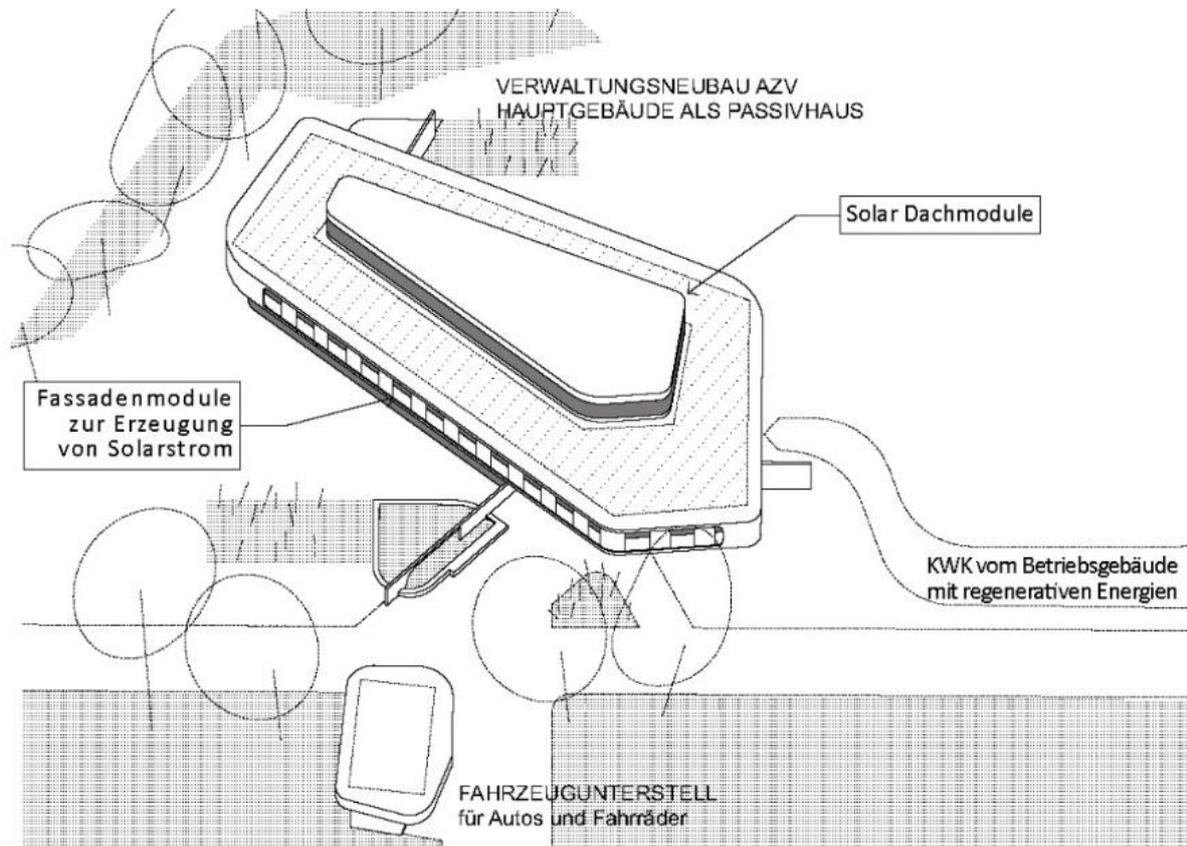


Abbildung 3: Lageplan Verwaltungsgebäude Abwasserzweckverband Erdinger Moos

2.2 Plusenergiekonzept

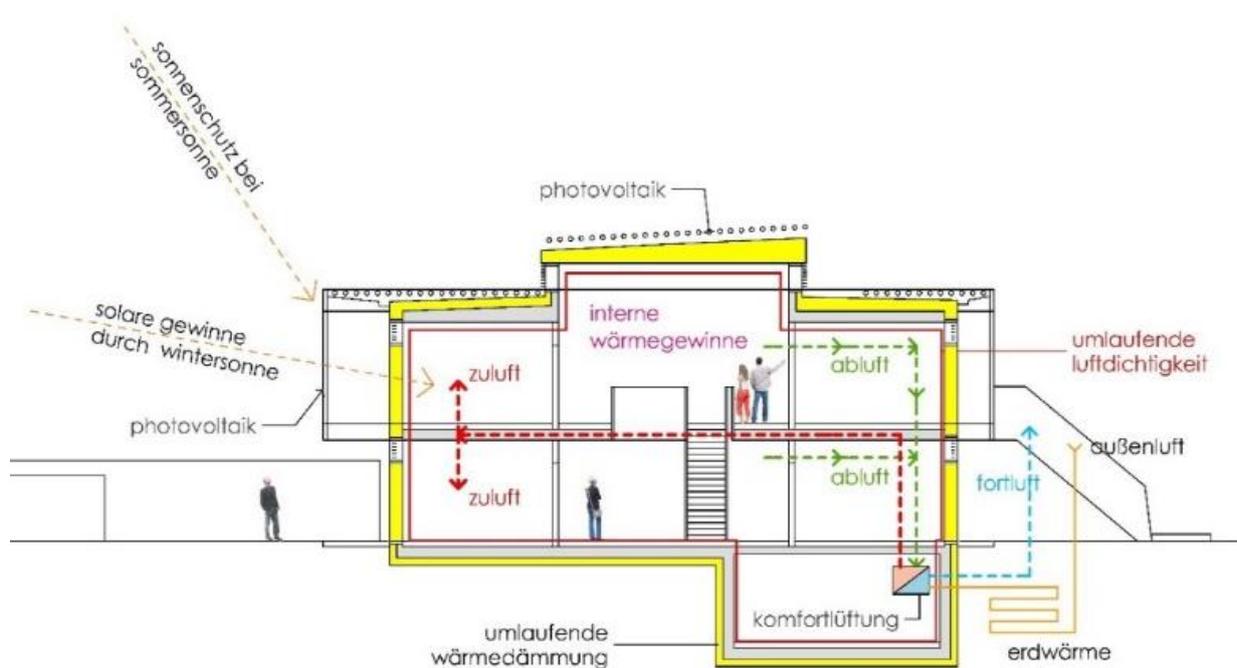


Abbildung 4: Gebäudehülle in Passivhausqualität (U-Wert von Außenwand und Dach ca. $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Fenster U_w : $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, Verglasung Nordseite U_g : $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, g-Wert 50%, Südseite U_g : $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, g-Wert 60%), Komfortlüftung mit WRG (η_{WRG} ca. 80%) und Vortemperierung durch Grundwasser. Das Gebäude mit großzügiger PV-Anlage erreicht den Passivhaus Plus-Standard. Durch den geringeren Heizwärmebedarf war keine Erweiterung der Heizzentrale (Blockheizkraftwerk) erforderlich.

Es entstand ein Plusenergiekonzept auf Basis des Passivhausstandards mit den üblichen Passivhauskomponenten, wie guter Wärmedämmung der Außenhülle, Passivhausfenster und Lüftungsanlage. Außerdem wurde eine Photovoltaikanlage integriert, sowohl auf dem Dach als auch im Bereich des umlaufenden Balkons als Gestaltungselement.

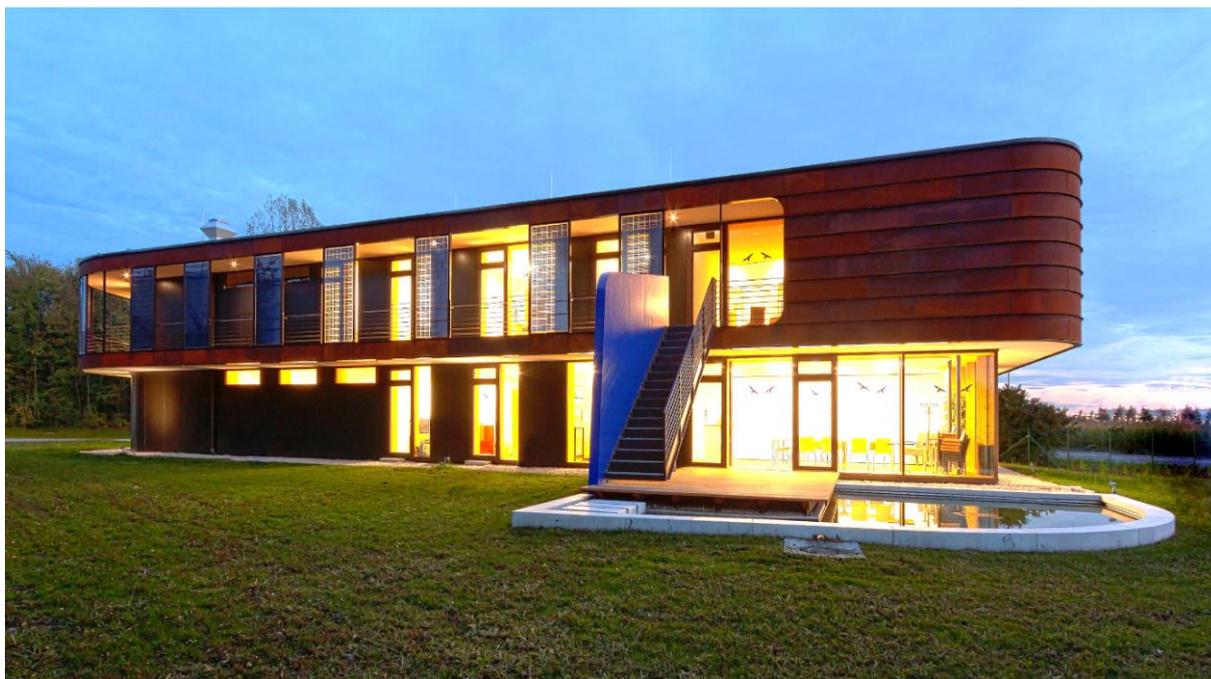


Abbildung 5: Nordseite mit umlaufendem Balkon und Fluchttreppe; der vorspringende Baukörper als Balkonzone aus wetterfestem Stahl (Cortenstahl) bildet das gestaltprägende Element des Gebäudes; An der Ecke liegt der Sozialraum mit vorgelegtem Holzdeck und Naturte.

2.3 Raumklima Winter

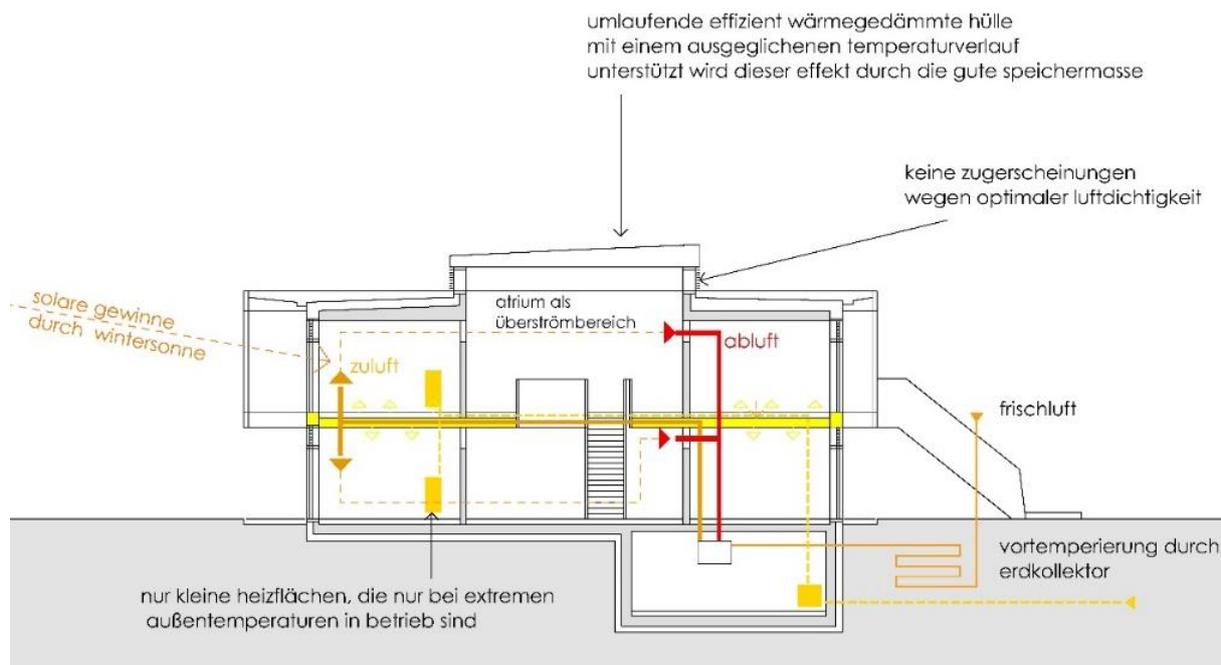


Abbildung 6: Anlagenschema Winter

Aufgrund der Komfortlüftung ist keine Fensterlüftung nötig, um einen hygienischen Luftwechsel herzustellen. Trotzdem sind alle Fensterelemente offenbar und dienen

auch als Fluchtwege. Die Verlegung der Lüftungsrohre in der Betondecke kann zur Temperierung genutzt werden. Bei Betrieb der Komfortlüftung entsteht gute Raumluft und eine ausgeglichene Luftfeuchtigkeit – Nebeneffekt: es kann lärm- und geruchsfrei gearbeitet werden. Die Hülle ist diffusionsoffen durch eine hinterlüftete Fassade mit Holzplattenbekleidung.

Im Rahmen der Planung wurde das Raumklima zum einen für den Winter- und zum anderen für den Sommerfall betrachtet. Lösungen für den sommerlichen Wärmeschutz sind gerade bei Bürogebäuden wichtig.

Das Raumklima im Winter wird vor allem durch die Wärmedämmung und die solaren Gewinne beeinflusst. Der umlaufende Balkon erfüllt hier mehrere Funktionen. Er stellt den zweiten Rettungsweg dar und durch die Art und Tiefe des Balkons werden die notwendigen solaren Gewinne gesichert. Darüber hinaus gelangt über eine sogenannte Laterne, also ein hochgesetztes Dach mit einer Senkrechthverglasung, Sonnenlicht und -wärme in den Innenraum.

Die Lüftung mit Wärmerückgewinnung wird hier durch einen vorgeschalteten Erdkollektor unterstützt, der Grundwasser nutzt.



Abbildung 7: Ostseite mit umlaufendem Balkon; Eingang rückversetzt, eine Stahlbetonwand führt als Leitwand in das Gebäude, der äußere und innere Bereich der Leitwand sind thermisch getrennt; Photovoltaikmodule befinden sich auf dem Dach und repräsentativ im Bereich des Balkons.

2.4 Raumklima Sommer

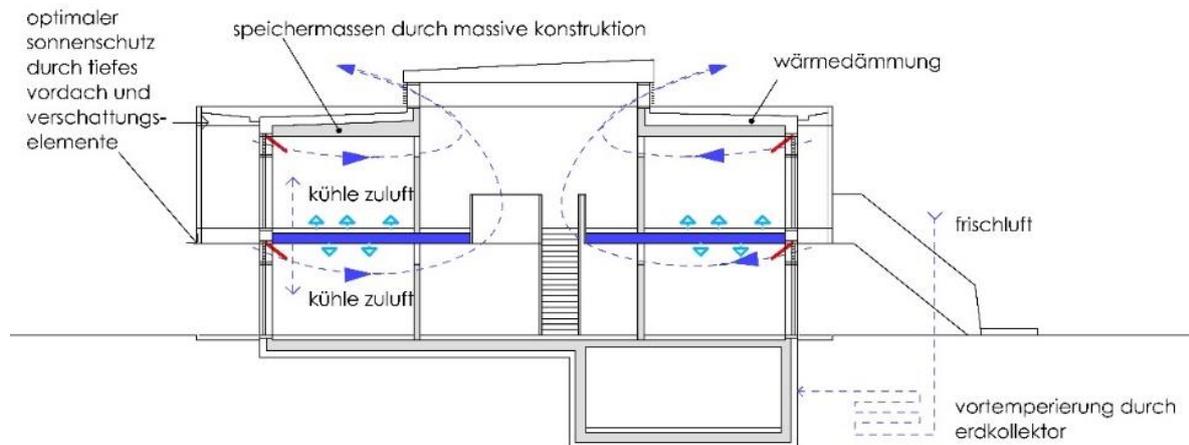


Abbildung 8: Anlagenschema Sommer: Querlüftung durch Fensterlüftung, Aktivierung der Betondecke durch Lüftungsleitungen in der Decke und Speichermasse

- Bei Betrieb der Komfortlüftung:
gute Raumluft, pollenfrei, lärmfrei, geruchsfrei, Kühlung/Temperierung
- Bei Hitzeperioden tagsüber:
Betrieb mit Komfortlüftung und Vortemperierung durch Erdkollektor
- nachts:
freie Lüftung über automatische Fensteröffner
- morgens:
Vorspülbetrieb mit Schließen der Fenster und Beginn der Komfortlüftung



Der Balkon bewirkt eine passive Verschattung und hat dadurch einen positiven Effekt auf das Sommerklima im Innenraum. Zudem ist die Möglichkeit gegeben, über die Öffnungsflügel der Laterne und die Oberlichter der normalen Fenster für eine zusätzliche Belüftung zu sorgen.

Abbildung 9: Balkonansicht

2.5 Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz

- 1) Kompaktheit und Zonierung
 - hoher Wärmeschutz
 - innenliegendes Atrium
 - Bauteile mit hoher Speichermasse
- 2) Temporärer Sonnenschutz mit senkrechter Markise
 - im Bereich der Laternenverglasung ausgeführt
 - im Erdgeschoss/Obergeschoss vorgerichtet
- 3) Dachüberstand im EG und OG mit einem umlaufenden Balkon
- 4) Balkon-Füllungen mit PV-Modulen
- 5) Öffnungsflügel im Bereich Laterne/RWA
- 6) Temperierung über die Lüftungsanlage durch Kühlaggregat mit Grundwasser
- 7) Manuelles Lüftungskonzept:
 - Öffnen der Öffnungsflügel in Hitzephasen Früh (7 bis 11 Uhr), Nachtlüftung nur schwer zu realisieren.

Zu den wichtigen Maßnahmen zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes zählen die Kompaktheit und Zonierung. Diese haben nicht nur im Winter, sondern auch im Sommer einen positiven Effekt auf die Temperatur im Innenraum.

Das aus Stahlbetonbauteilen bestehende, innenliegende Atrium weist eine sehr hohe Speichermasse auf. Ein temporärer Sonnenschutz mit senkrechten Markisen wurde von Beginn an in der Laterne ausgeführt und im Erd- und Obergeschoss vorgerichtet, für den Fall, dass eine Nachrüstung notwendig wird.

Der Dachüberstand im EG und OG durch den umlaufenden Balkon bewirkt eine passive Verschattung und ist das prägende Gestaltungselement dieses Entwurfes.

Die Öffnungsflügel im Bereich der Laterne dienen eigentlich als RWA (= Rauch-Wärme-Abzugsanlage) können aber auch unterstützend zur Belüftung eingesetzt werden.

Die Temperierung durch die Lüftungsanlage mit einem Kühlaggregat, das über Grundwasser betrieben wird und ein manuelles Lüftungskonzept, das mit den Nutzern vereinbart ist, optimieren ebenfalls den sommerlichen Wärmeschutz.

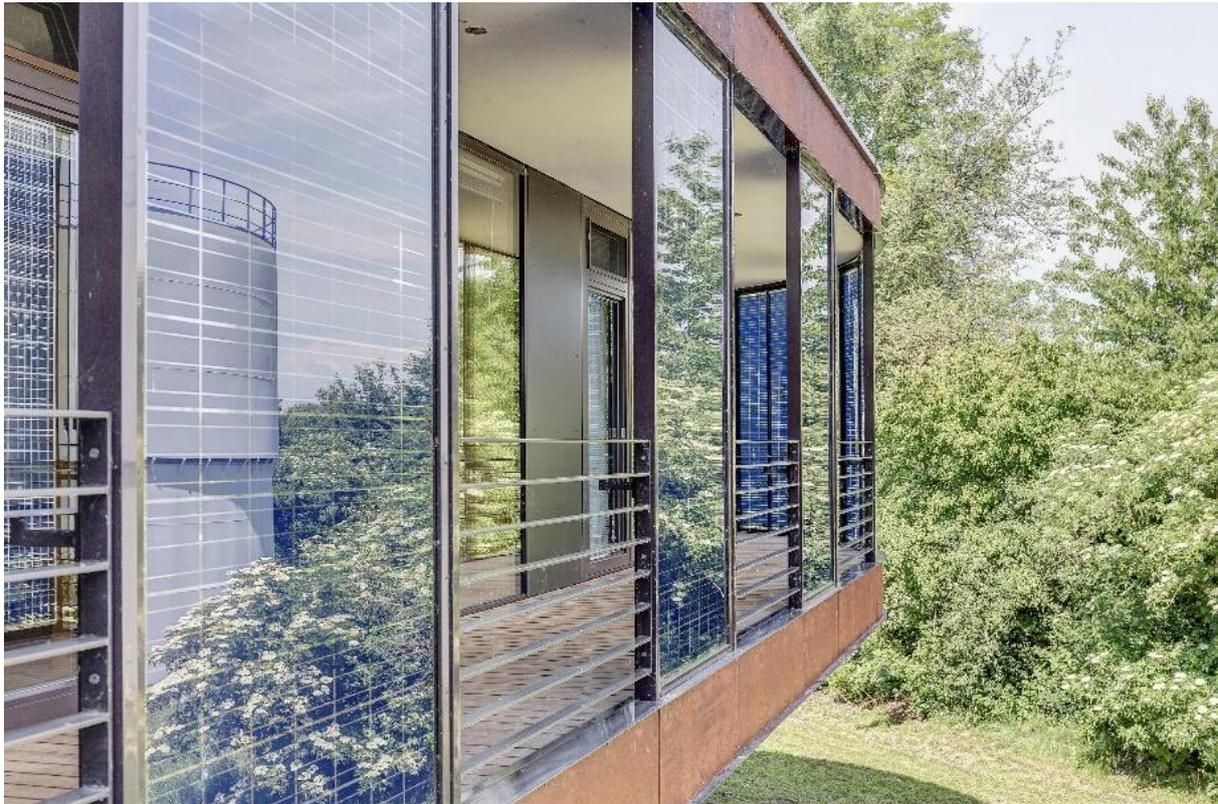


Abbildung 10: Ansicht Südseite: Südseite mit umlaufendem Balkon als Aufenthaltsbereich, Übergang von innen nach außen, Erweiterung des Innenraums durch großzügige Verglasung und Fenster in den Balkonbereich; Aufenthaltsbereich Pufferzone für heißes Außen-klima im Sommer; Verschattung durch Balkondach und Photovoltaikmodule.

2.6 Kompaktheit und Zonierung

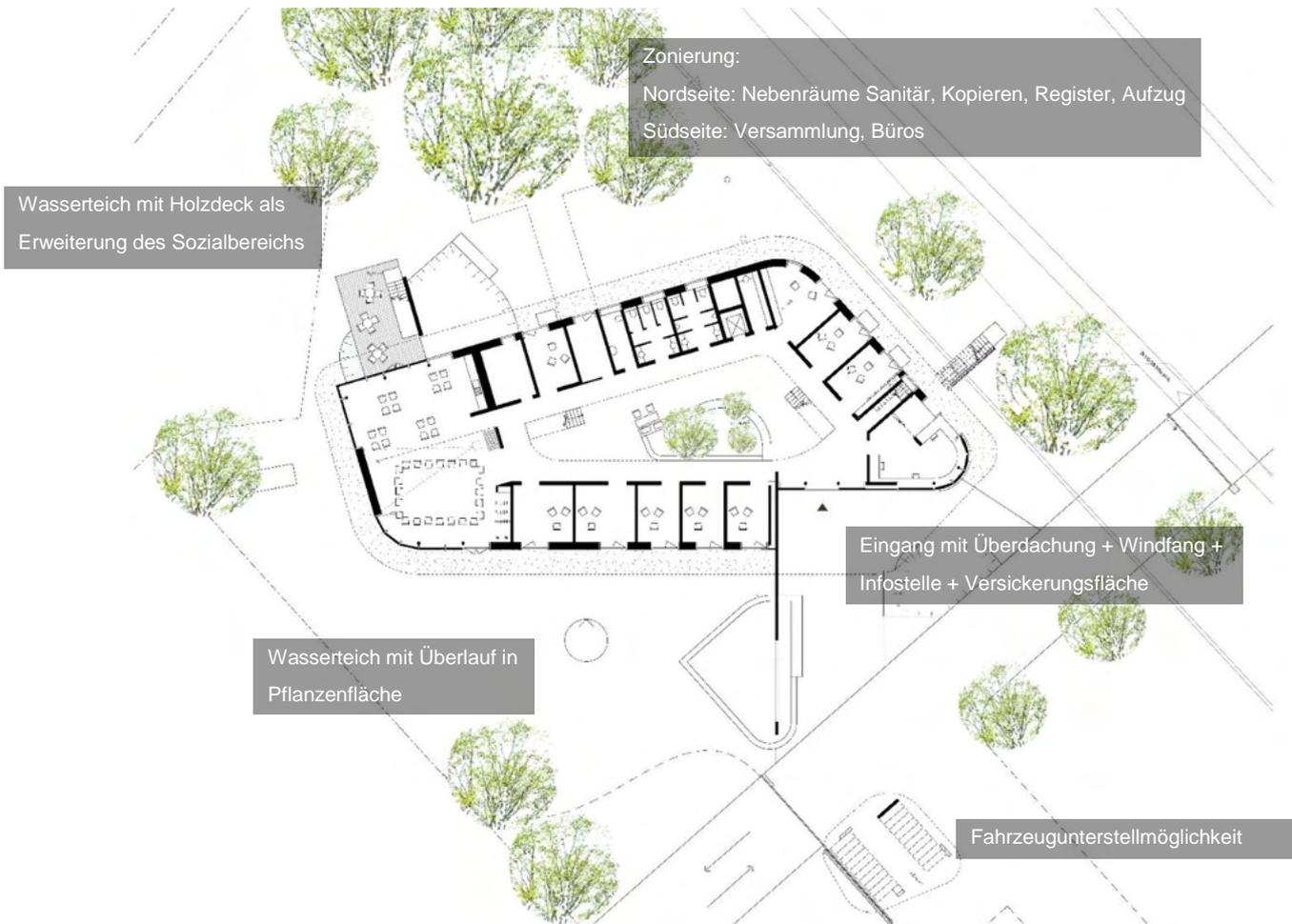


Abbildung 11: Grundriss EG, genordet

In den vorderen Bereichen sind die Hauptnutzungsräume. Nach Norden sind reine Nebenräume mit Sanitäreinrichtungen und weiteren Nutzräumen wie Kopierraum etc. angeordnet. Der umlaufende Balkon fasst das gesamte Gebäude ein. In der Mitte befindet sich das tiefe Atrium, das eine Temperierung über die großen Speichermassen ermöglicht und zudem als Rückzugsort für die Nutzer im Sommer dient. Zudem wird das Atrium als Ausstellungfläche genutzt.

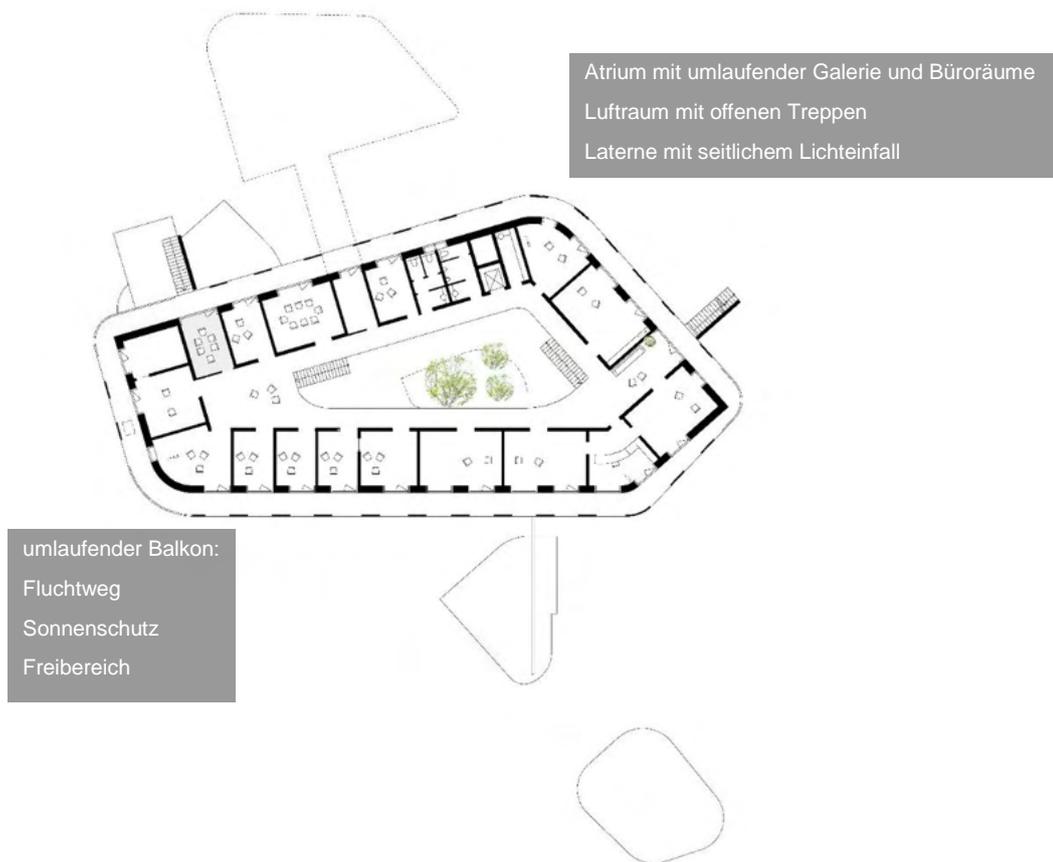


Abbildung 12: Grundriss OG, genordet

Auf dem Grundriss des Obergeschosses erkennt man die Aufteilung in Hauptnutz- und Nebenräume, das Atrium und den umlaufenden Balkon. Ein großzügiger Luftraum verbindet die beiden Geschosse.

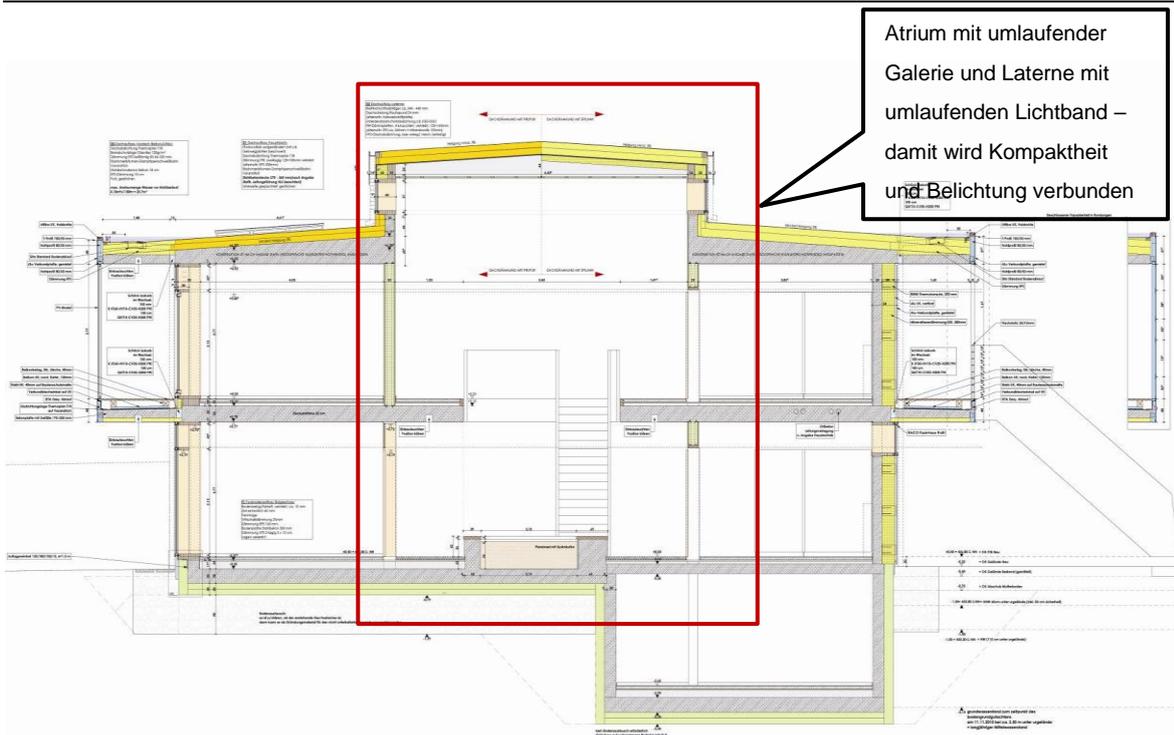


Abbildung 13: Gebäudeschnitt

Im Schnitt erkennt man die Zonierung: links und rechts der umlaufende Balkon, an den sich die Hauptnutzräume anschließen. In der Mitte das großzügige Atrium mit der umlaufenden Galerie und dem oberen Lichtband. Alle Decken sind aus Stahlbeton und bilden dadurch eine thermisch gut aktivierbare Gebäudemasse.



Abbildung 14: Ansicht Atrium

Der Blick ins Atrium macht die gute Tageslichtversorgung über die Laterne deutlich. Die Speichermassen der Decken werden nicht von Trockenbauelementen verdeckt.

2.7 Öffnungsflügel und Markisen

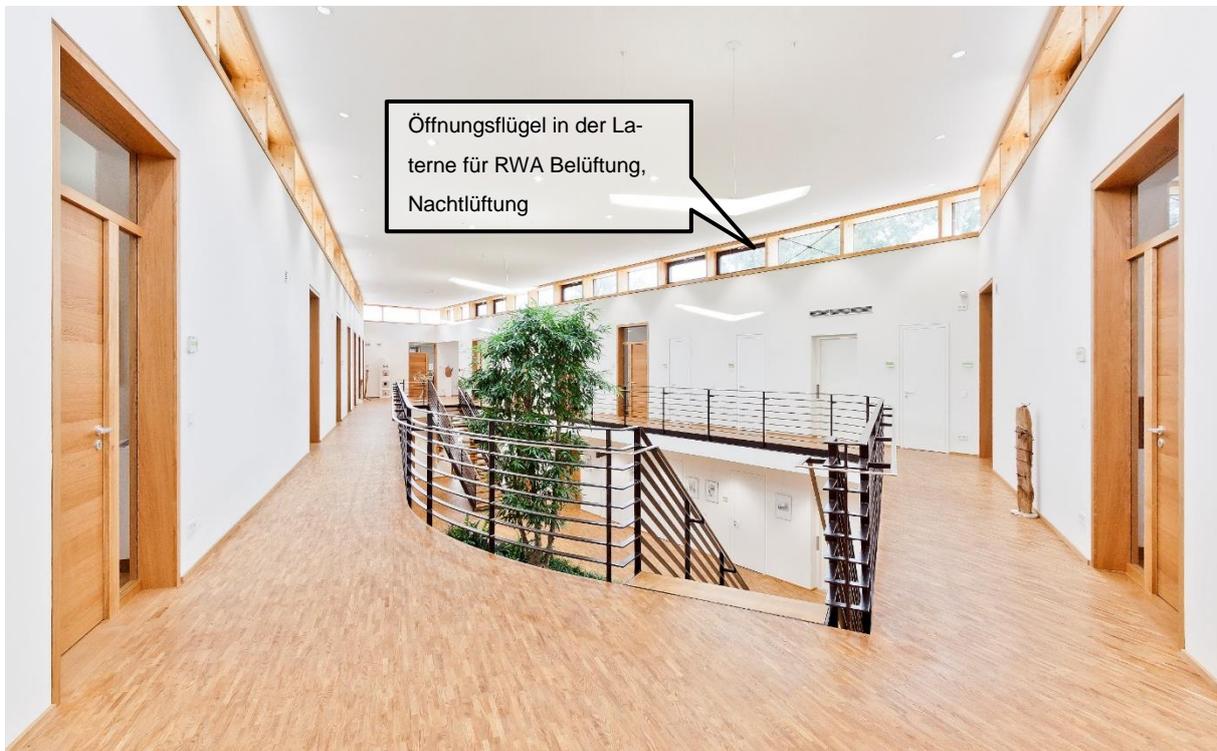


Abbildung 15: Innenansicht OG

Im oberen Geschoss sind Öffnungsflügel in der Laterne für RWA-Belüftung und Nachtlüftung eingebracht. Alle Fenster können mit Markisen abgedunkelt werden. In den Büroräumen des Erd- und Obergeschosses sind Vorrichtungen für Markisen angebracht, die eine Nachrüstung bei Bedarf einfach möglich machen.

Umlaufende Balkone

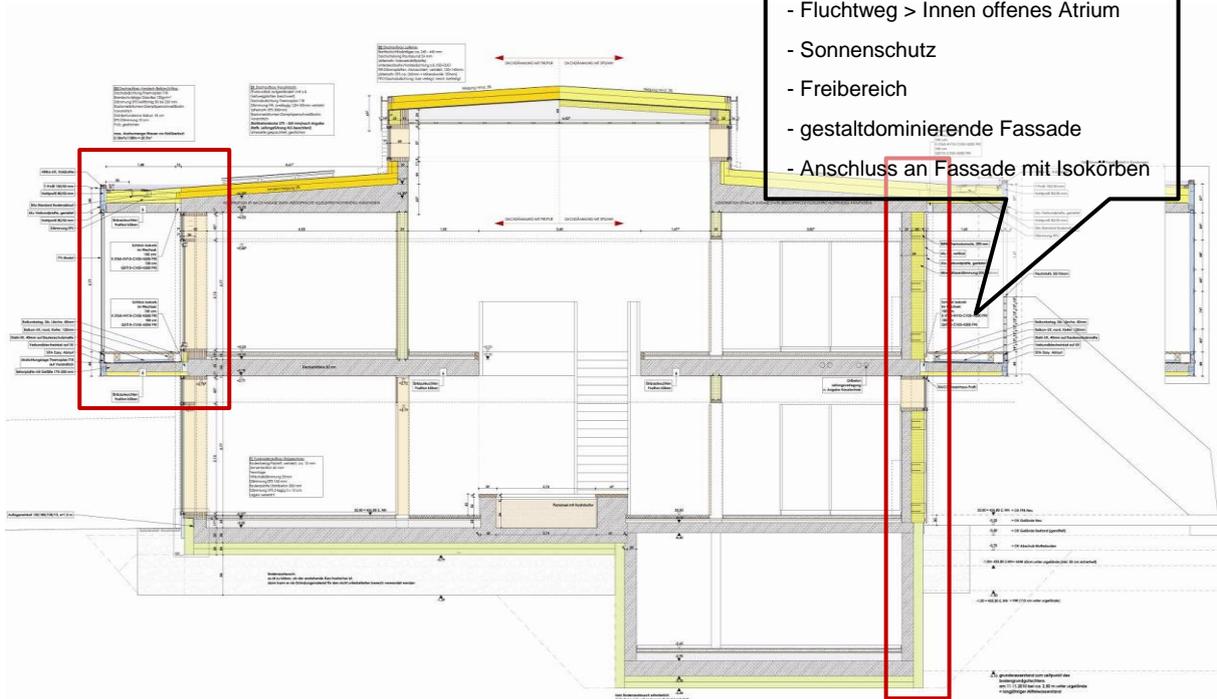


Abbildung 16: Gebäudeschnitt

Die eigentliche thermische Fassade ist hinter die gestaltprägende Fassade des Balkons zurückgesetzt. Die Balkonzone betont die Form und dient hauptsächlich als Sonnenschutz und Fluchtweg. Zusätzlich eingebaute Photovoltaikmodule tragen zur Verschattung der thermischen Hülle bei.



Abbildung 17: Ansicht Südseite mit Photovoltaikmodulen

Im Inneren des Laubengangs entsteht ein Raum, der als Rettungsweg, Sonnenschutz und Aufenthaltsbereich genutzt wird.



Abbildung 18: Blick in das Innere des Laubengangs der Südseite

Der Balkon entfaltet im Sommer seine Verschattungswirkung

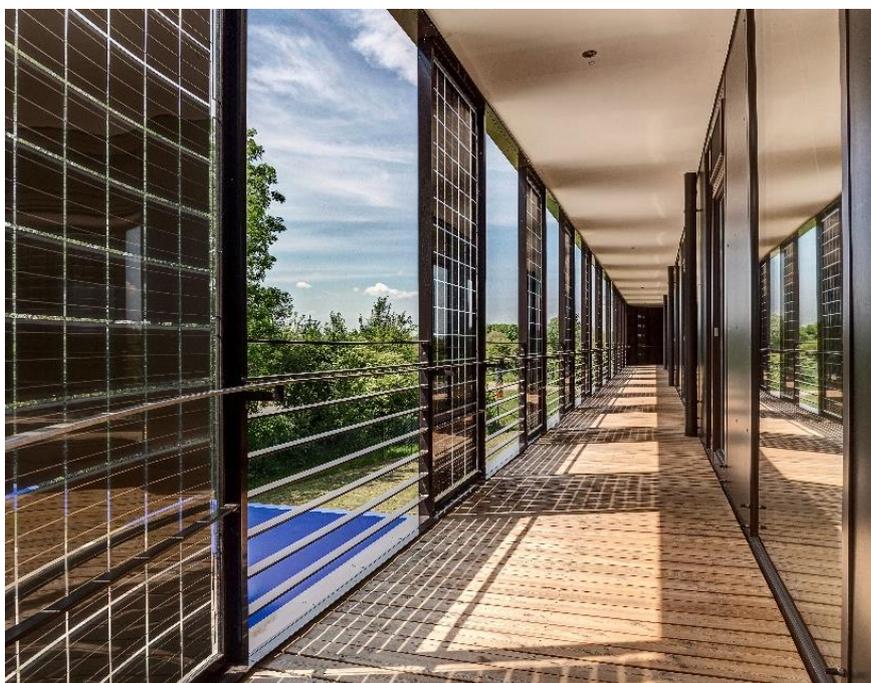


Abbildung 19: Laubengang mit Sonneneinstrahlung

2.8 Manuelles Lüftungskonzept



Abbildung 20: Gebäudeansicht

In Hitzeperioden hat es sich bewährt, die Öffnungsflügel in der Früh zum Beispiel von 7 bis 11 Uhr zu öffnen. Den restlichen Tag sind die Fenster geschlossen zu halten. Dieses Konzept wird von den Nutzern sehr gut angenommen. Zudem kann die Laterne (bzw. die darin integrierte RWA) in der Nacht geöffnet werden. Sie ist mit einer automatischen Regelung durch Wind- und Regensensorik ausgestattet und wird bei entsprechenden Wetterereignissen geschlossen. Da es aber gerade nachts oft windig oder regnerisch ist, wodurch die Öffnungsflügel verschlossen bleiben, muss die eigentliche Auskühlung am Vormittag stattfinden.

3 Kindertagesstätten

3.1 Unterschiedliche Formen

Formfindung

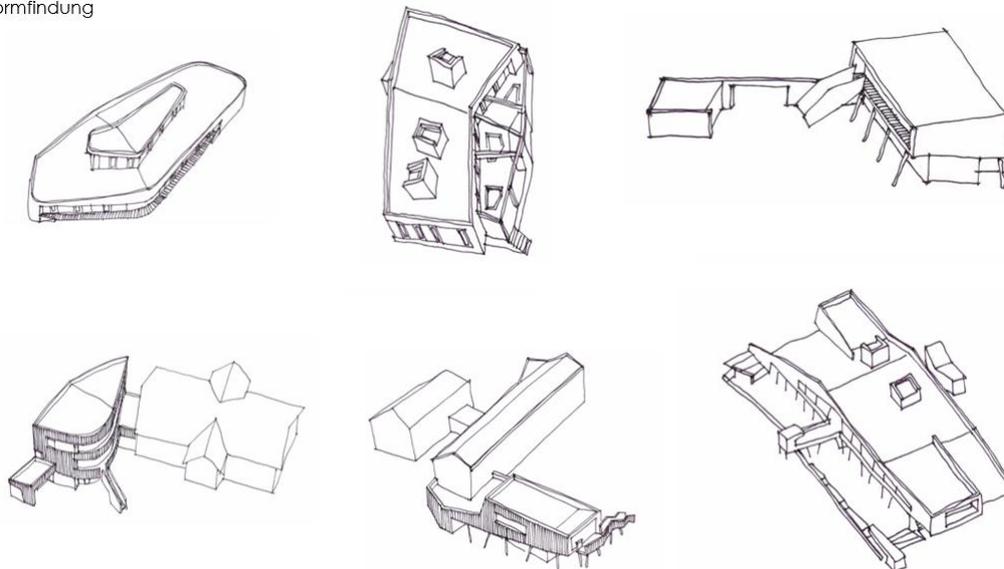


Abbildung 21: Unterschiedliche Formen in der Formfindung: von links nach rechts: Hallentypus eingeschossig, Gangtypus eingeschossig, Gangtypus zweigeschossig, als Anbau an ein Nicht-Passivhaus, als Anbau ein Gebäude in EnerPhit-Standard, Gangtypus dreigeschossig mit Nutzung Erdreich.

Die ArchitekturWerkstatt Vallentin hat bisher einige Kindertagesstätten in vielen verschiedenen Formen in Passivhausstandard entworfen und gebaut. Die Variation in Größe und Form erfordert immer wieder eine Entwicklung unterschiedlicher Konzepte.

3.2 Unterschiedliche Konzepte



Abbildung 22: Unterschiedliche Konzepte in der Planungsphase: Gelb – Hauptnutzräume, Hellgelb – Nebenutzräume, Strichliert – Sanitarräume, Küchen und Personalräume, Blau und Weiß – Erschließung.

3.3 Kindertagesstätte Langenpreising

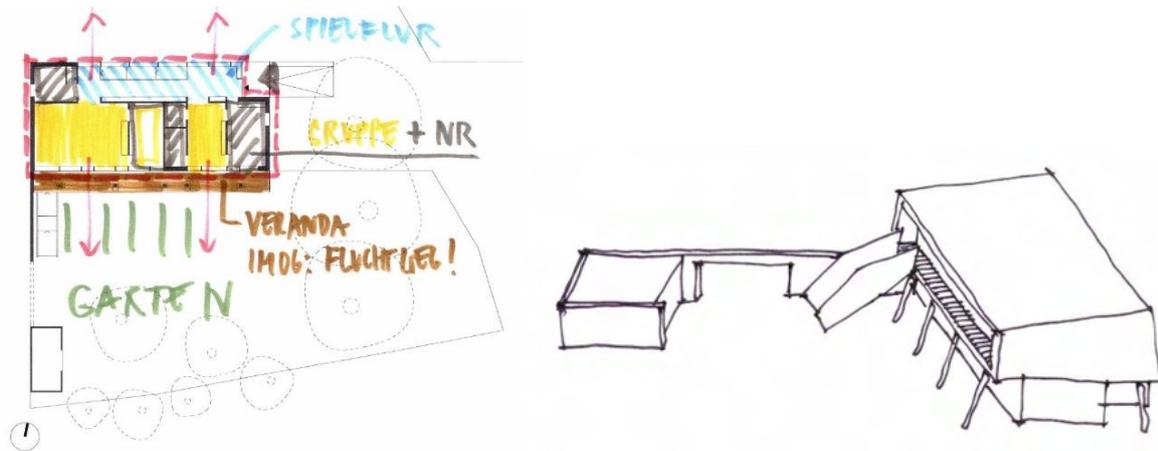


Abbildung 23: Darstellung der Kindertagesstätte Langenpreising mit drei Gruppen, zweigeschossig

Die interne Erschließung befindet sich im Norden. Die Hauptnutzräume im Süden zum Garten ausgerichtet. Vor den Haupträumen schließt sich eine Veranda/Balkon als Fluchtbalkon, Verschattungselement, Erweiterung des Innenraumes, Pufferzone zum sommerlichen Klima und Aufenthaltsfläche an.

3.4 Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz

1. Kompaktheit und Zonierung:

- hoher Wärmeschutz
- Orientierung der Haupträume nach Süden
- Decken als Holzmassivelemente

2. Temporärer Sonnenschutz mit senkrechter Markise

3. Dachüberstand im EG und OG mit einem umlaufenden Balkon

4. Öffnungsflügel nach Norden im Erschließungsbereich

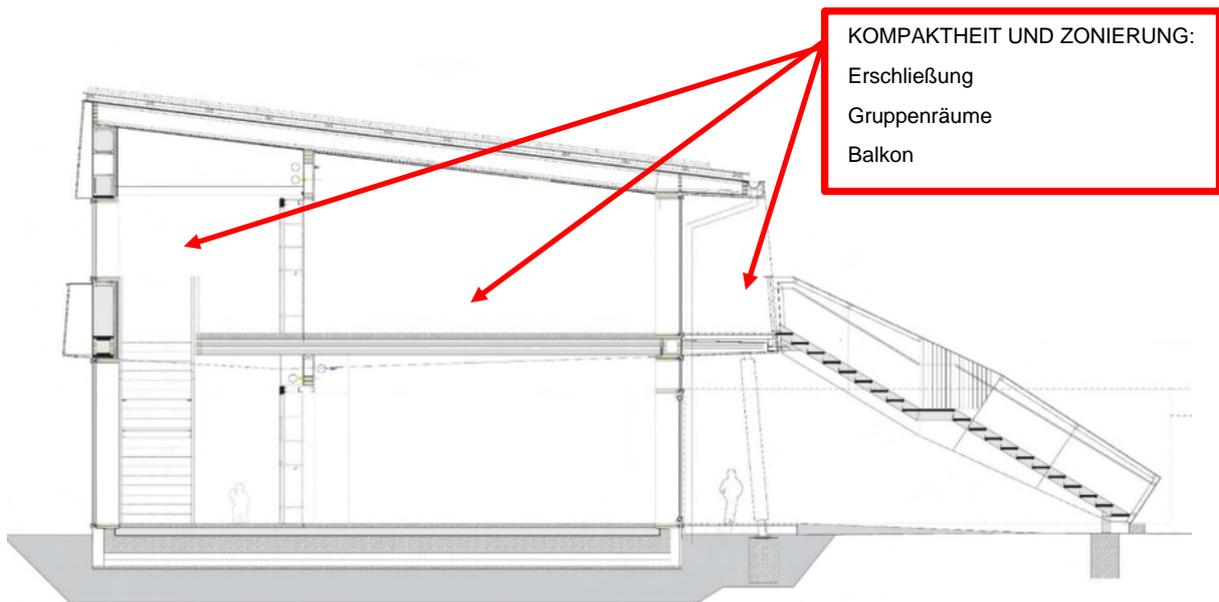
5. Manuelles Lüftungskonzept:

- Öffnen der Öffnungsflügel in Hitzeperioden in der Früh (7 Uhr bis 11 Uhr). Nachtlüftung nur schwer zu realisieren.



Abbildung 24: Ansicht der Südseite mit Spielplatz

Die Kompaktheit des Baukörpers und die Zonierung wirken sich positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz aus. Ein hohes Maß an Wärmedämmung liefert einen günstigen Beitrag zum Passivhauskonzept. Die Decken sind als Holzmassivelementen ausgeführt und tragen zu Speichermasse des Gebäudes bei. Durch die Veranda im Süden und den entstehenden Dachüberstand wird die thermische Hülle gut verschattet. Fenster mit Öffnungsflügel sind im Süden und im nördlichen Erschließungsbereich vorhanden. Zusätzlich zur Komfortlüftung gibt für den Sommerfall ein manuelles Lüftungskonzept durch Fensterlüftung am Vormittag (von 7 bis 11 Uhr). Eine Nachtlüftung ist hier aufgrund von Regenereignissen nur schwer zu realisieren. Außerdem kann bei Nachtlüftung der Einbruchschutz nicht gewährleistet werden.



KOMPAKTHEIT UND ZONIERUNG:
 Erschließung
 Gruppenräume
 Balkon

Abbildung 25: Gebäudeschnitt quer

Im Schnitt erkennbar: im Norden die Erschließung, in der Mitte die Hauptnutzungs-
 räume und auf der Südseite die Veranda und Balkonbereiche



BALKON NACH SÜDEN:
 Gruppenräume, Veranda,
 Sonnenschutz, Fluchtwege

Abbildung 26: Ansicht von Süden

Die Südseite mit Balkon und Veranda. Große Fensterflächen müssen im Sommer
 verschattet werden. Hierzu dient ein Balkon mit Überdachung von 1,40 m.



Abbildung 27: Ansicht von Norden

Auf der Nordseite wurde eine großzügige Verglasung realisiert, weil hier der Ausblick in einen schönen Dorfanger wünschenswert war. Das Passivhauskonzept wurde im übrigen Gebäude überaus gut umgesetzt, wodurch dieser Spielraum bestand. Die mögliche Fensterfläche muss durch die PHPP-Berechnung verifiziert werden.

3.5 Kindertagesstätte Markt Schwaben

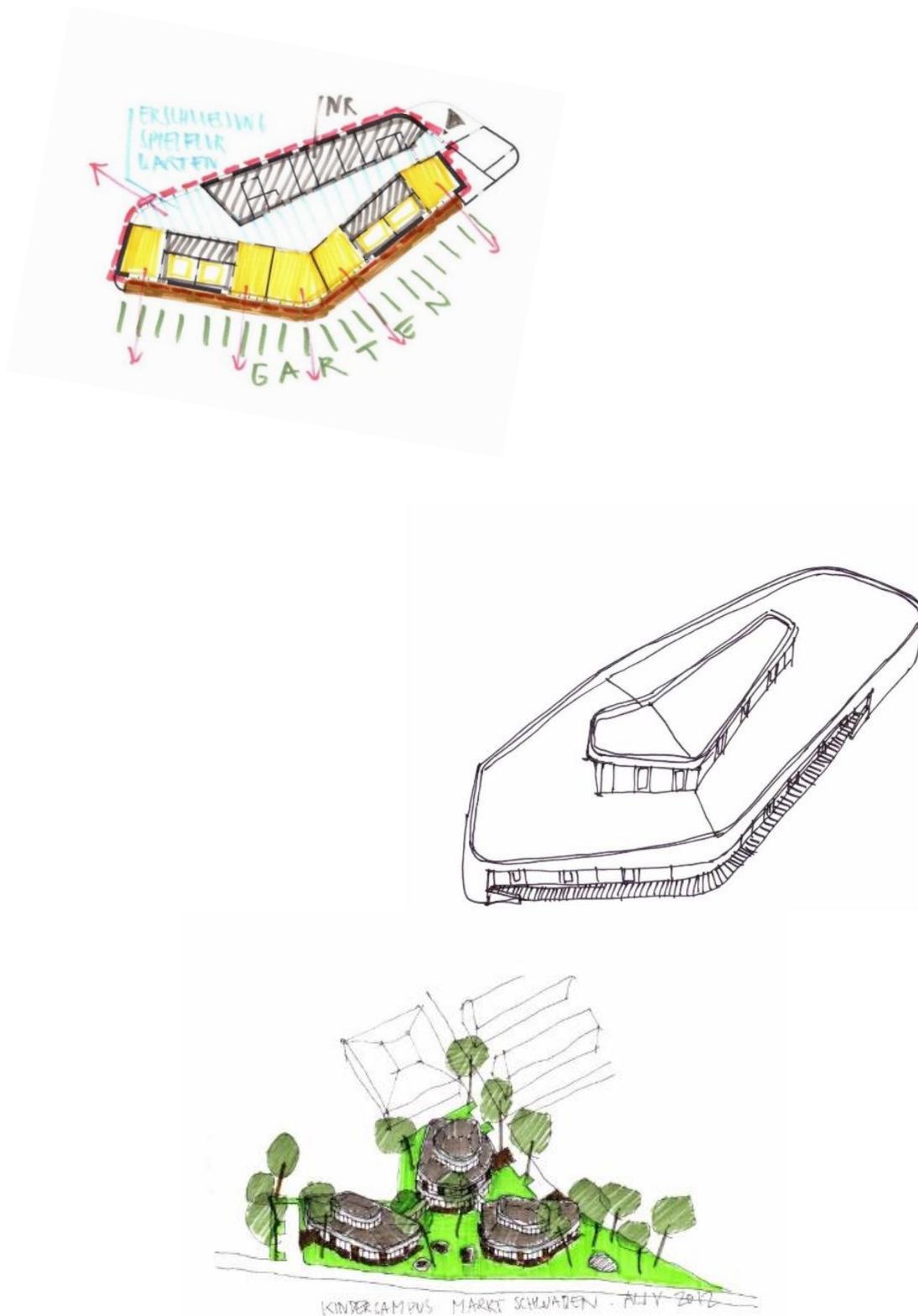


Abbildung 28: Darstellungen der Kindertagesstätte Markt Schwaben in der Planungsphase



Abbildung 29: Ensemble mit drei Gebäuden in Markt Schwaben bei München

Das Gebäude besteht aus einem Hallentypus mit optimierten Atrium, vier Gruppen und einem Mehrzweckraum. Die Hauptnutzräume sind nach Süden und die Nebennutzräume nach Norden orientiert. Über der Halle ist eine Laterne aufgesetzt.

1. Kompaktheit und Zonierung

- hoher Wärmeschutz
- Orientierung der Haupträume nach Süden
- Atrium
- Decken als Holzmassivelemente

2. Temporärer Sonnenschutz mit senkrechter Markise

3. Dachüberstand im EG

4. Manuelles Lüftungskonzept:

- Öffnen der Öffnungsflügel in Hitzeperioden in der Früh (7 Uhr bis 11 Uhr). Nachtlüftung nur schwer zu realisieren.

5. Nachrüstung mit Sonnensegel und Sonnenvorhängen

Der hohe Wärmeschutz nach Passivhausstandard hat sich vielfach bewährt – sowohl im Winter als auch im Sommer. Maßnahmen wie die Orientierung der Haupträume nach Süden, ein Atrium, die Decken als Holzmassivelemente, ein temporärer Sonnenschutz für alle Bereiche mit einer senkrechten Markise, ein sehr großer Dachüberstand im Erdgeschoss, die Öffnungsflügel in der Laterne und Oberlichter in allen Räumen im Norden und im Süden gehören zum Passivhaus-Gesamtkonzept. Auch bei diesem Projekt gibt es ein manuelles Lüftungskonzept. Eine Nachtlüftung war nicht umsetzbar. Eine Nachrüstung mit Sonnensegel und Vorhängen im Außenbereich ist angedacht und wird ermöglicht, falls dies künftig gewünscht oder notwendig wird. Das trifft zu, wenn die Sommer in Deutschland immer heißer werden.

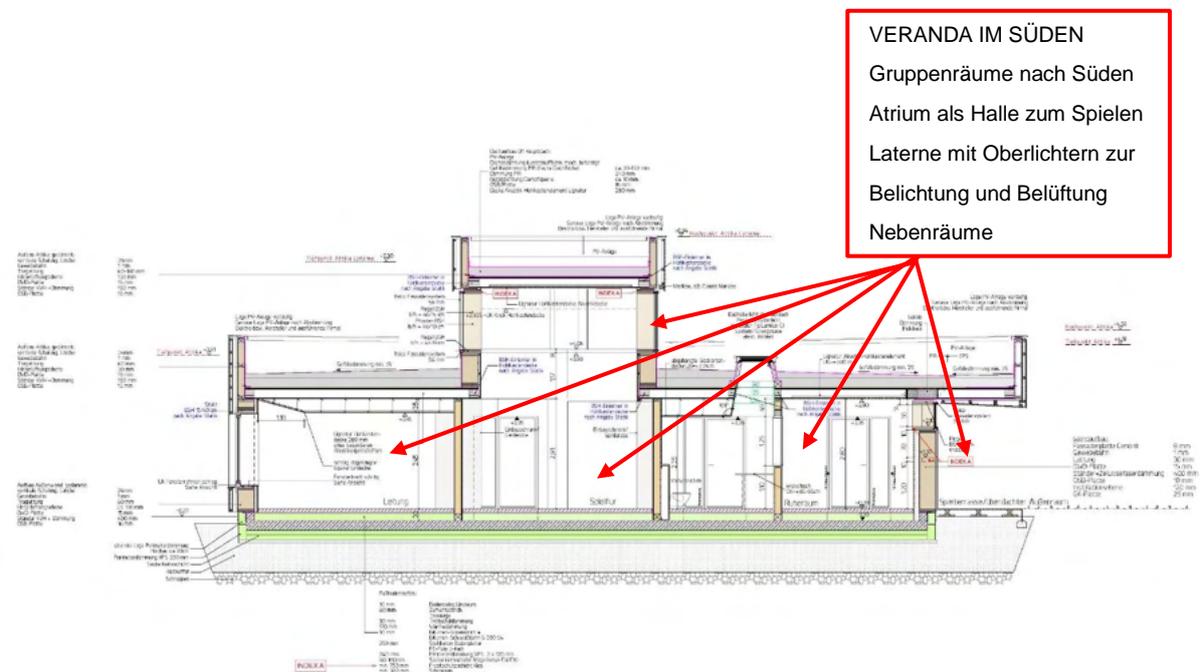


Abbildung 30: Gebäudeschnitt mit Zonierung: Veranda und Hauptnutzungsräume im Süden, einen innenliegenden Sanitärraum mit einem kleinen Oberlicht, das Atrium mit der Halle und der oberen Verglasung. Die Nebenträume schließen sich im Norden an.



Abbildung 31: Ansicht der Nordseite der Fassade mit dem Eingangsbereich, der als Einschnitt in den monolithischen Block in Erscheinung tritt

Daneben befinden sich im Westen die Nebenräume und die Aula, an die sich Eltern- und Essbereich anschließen. Die Formgebung und die Baumaterialien sind einladend, sie greifen Formen auf, die in der Natur vorkommen. Die Formensprache Architektur-Natur, die von der Architekturwerkstatt Vallentin verfolgt wird.



Abbildung 32: Innenansicht

Die Wände und Decken in Massivholzbauweisen können freizugänglich als Speicher-
masse aktiviert werden. Die Öffnungsflügel dienen sowohl als RWA, als auch für die
Kühlung und unterstützen den sommerlichen Wärmeschutz.



Abbildung 33: Ansicht von Süden

Auf der Südseite wird die tiefstehende Auskragung deutlich. Zusätzliche Verschattungen lassen sich einfach nachrüsten. Bei diesem Projekt wurde im Nachhinein ein Sonnensegel vor der Veranda aufgestellt, um diese Fläche auch im Sommer geschützt nutzen zu können. Zudem wird ein Außenvorhang vorgesehen. Derartige Nachrüstungen sind im Holzbau einfach zu realisieren und optimieren den sommerlichen Wärmeschutz.

4 Verwaltungs- und Seminargebäude Qingdao – China



Abbildung 34: Ansicht des Verwaltungs- und Seminargebäudes in Qingdao in China

Architekten:

Ludwig Rongen, Rongen Architekten, Wassenberg/Germany

Michael Tribus, Tribus Architecture, Lana/Italy

Gernot Vallentin, ArchitekturWerkstatt Vallentin, München/Germany

Haustechnik:

Werner Cieslok, INCO, Aachen/Germany

Passivhaus-Zertifizierung:

Laszlo Lepp, Bertold Kaufmann, Passive House Institute, Darmstadt/Germany

Dieses Verwaltungsgebäude in Qingdao/China ist ein Gemeinschaftsprojekt zusammen mit Prof. Ludwig Rongen und Michael Tribus.

4.1 Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz



Abbildung 35: Ansicht des Verwaltungs- und Seminargebäudes in Qingdao bei Nacht

1. Kompaktheit und Zonierung:
 - hoher Wärmeschutz
 - innenliegendes Atrium
 - Bauteile mit hoher Speichermasse
2. Temporärer Sonnenschutz mit senkrechter Markise
 - im Bereich der Verglasung Balkone ausgeführt
3. umlaufende Balkone
4. Öffnungsflügel im Bereich der Skylights
5. Aktive Temperierung/Kühlung durch Kühldecken und Lüftungsanlage mit Kühlungsaggregat betrieben mit Grundwasser

Aufgrund des besonderen Klimas in Qingdao, China, liegt das Hauptaugenmerk bei diesem Projekt auf dem sommerlichen Wärmeschutz und dem sommerlichen Energieverbrauch. Um den Energieverbrauch möglichst gering zu halten, sollen so viele passive Maßnahmen wie möglich genutzt werden. Diese sind hier ebenfalls die Kompaktheit und Zonierung, hoher Wärmeschutz, das innenliegende Atrium, Bauteile mit einer hohen Speichermasse und einem temporären Sonnenschutz durch senkrechte Markisen. Markisen finden sich in allen verglasten Bereichen. Die umlaufenden Balkone er-

möglichen eine Verschattung in den heißen Sommermonaten. Die sogenannten Sky-lights oberhalb des Atriums und die Öffnungsflügel lassen sich zur Belüftung nutzen. Da die passiven Maßnahmen nicht ganz zur Einhaltung behaglicher Temperaturen des Gebäudes im Sommer ausreichen, wurde zusätzlich ein aktives System mit Kühldecken und einem Kühlungsaggregat in der Lüftungsanlage entworfen. Das Aggregat wird ressourcenschonend mit Grundwasser betrieben. Die Lage des Gebäudes spielt für die PHPP-Berechnung eine große Rolle. Die entsprechenden Klimadaten wurden im PHPP eingelesen.

4.2 Außen- und umlaufender Balkon:

Passiver Sonnenschutz, Gestaltung

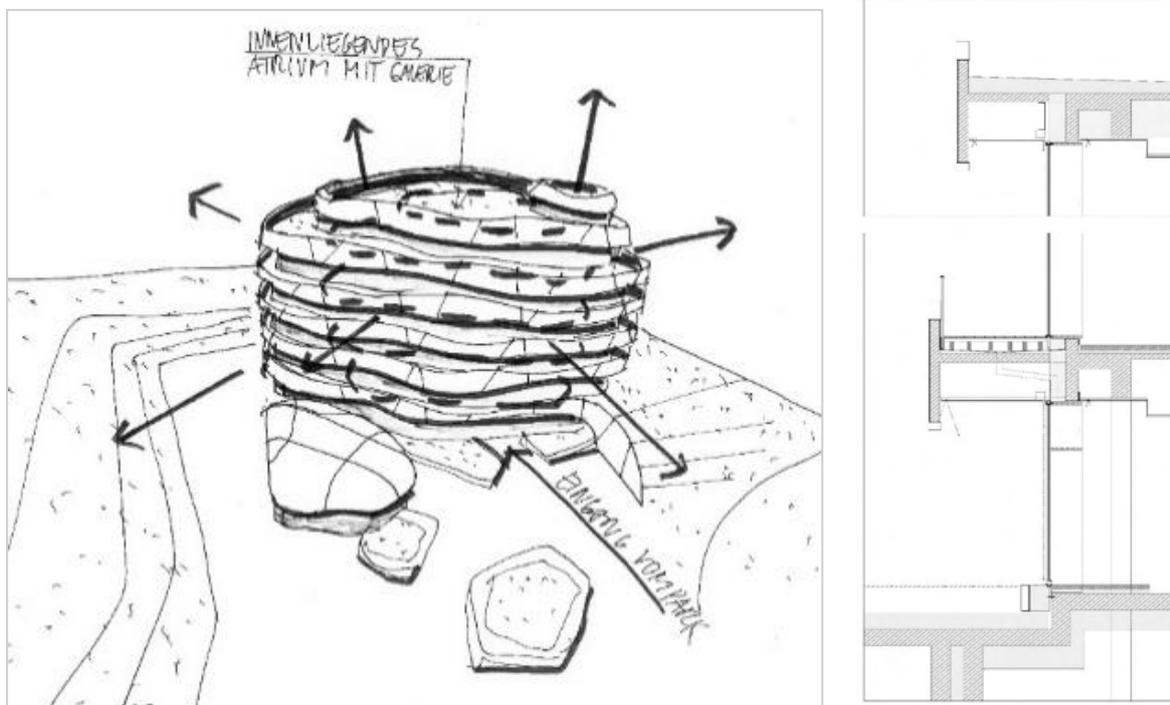


Abbildung 36: Skizze zur Konzeptentwicklung, Ausführungsplanung mit entkoppelter Balkonkonstruktion



Abbildung 37: Nacht- und Tagaufnahmen des Gebäudes

Das Entwurfskonzept setzt auch hier auf eine zweite Fassade, die als umlaufender Balkon ausgebildet wird. Dahinter liegen Büroräume mit großzügigen Fensterfassaden, wie man auf der Nachtaufnahme erkennen kann.

4.3 Innen – zentrale Halle/Atrium:

Es wurde ein kompakter Baukörper mit zentraler Erschließung über ein Atrium, geschossübergreifend, entwickelt. Über einen inneren Galeriegang werden die Büros und Konferenzräume erreicht.

Tageslicht wird durch Fensterbelichtung, offenen Bereiche und Oberlichter gewährleistet. In einzelnen Geschossen überspannen Brücken den Atriumbereich. Der kompakte Baukörper mit der Atriumhalle ist über Oberlichter und verglaste öffentliche Bereiche in jedem Geschoss natürlich belichtet. Der umlaufende Balkon fungiert als Schattenzone. Große Speichermasse und passiver Sonnenschutz sind kombiniert mit einem effektiven Kühlungs- und Entfeuchtungskonzept.

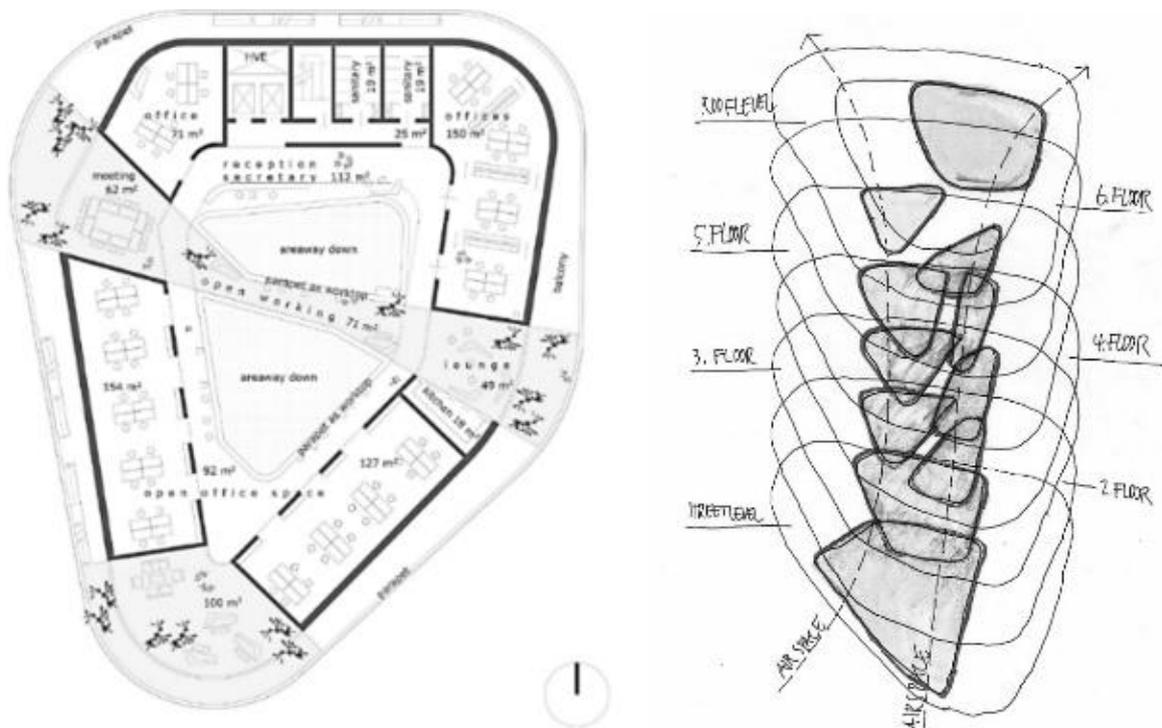


Abbildung 38: Darstellung des Gebäudekonzeptes



Abbildung 39: Aufnahmen des fertiggestellten Gebäudes

Die großzügigen Verglasungen, das große Atrium und der Einfluss des Balkons mussten mit dem Passivhausprojektierungspaket (PHPP) abgestimmt werden. Im Untergeschoss und Erdgeschoss befinden sich Tagungsräume. Pflanzen im Gebäude tragen zu einem ausgeglichenen Raumklima, also einem Ausgleich von Feuchtigkeit und Trockenheit bei und erhalten ausreichend Belichtung.

4.4 Planung mit designPH:

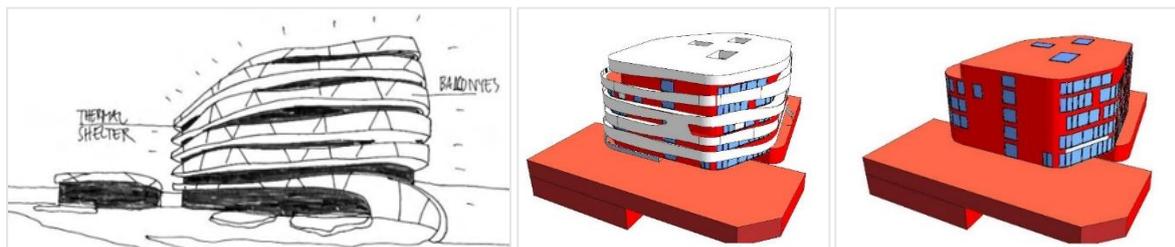


Abbildung 40: Skizze des Gebäudes mit verschiedenen Ansichten des Gebäudes aus designPH

Die Abbildungen zeigen das Passivhausdesign, welches von den Architekten erstellt wurde. Die eigentliche thermische Hülle befindet sich hinter den Balkonen. Auch eine Zonierung lässt sich erkennen: Auf der Nordseite sind die Nebenräume angesiedelt. Die Haupträume werden eher nach Süden orientiert. Die Trennung von tragender Struktur und Hülle bildet eine Lösung des Wärmebrücken-Problems. An den Leitdetails lässt sich erkennen, wie der Anschluss zwischen Balkon und tragender Struktur hergestellt werden muss, um Wärmebrücken zu vermeiden. Das Gebäude erhielt das Passivhaus-Zertifikat vom Passivhaus Institut Darmstadt.

5 Literatur & Referenzen

Fotos Abwasserzweckverband und Kindertagesstätten:

Jakob Kanzleiter,

Zeichnungen Abwasserzweckverband und Kindertagesstätten:

ArchitekturWerkstatt Vallentin GmbH

Fotos Verwaltungs- und Seminargebäude Qingdao/ China:

Sino-German-Ecopark

Zeichnungen und Abbildungen Verwaltungs- und Seminargebäude Qingdao/China:

Ludwig Rongen, Rongen Architekten, Wassenberg/Germany; Michael Tribus, Tribus Architecture, Lana/Italy; Gernot Vallentin, ArchitekturWerkstatt Vallentin, München/Germany

Dipl.-Ing. Wolfgang Hasper

Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Betriebserfahrungen: Verwaltungsgebäude mit Betonkernaktivierung

1 Gebäude

Bei dem Beispielgebäude handelt es sich um den Erweiterungsbau für das Hessische Ministerium der Finanzen in Wiesbaden. Der eigenständige Baukörper ist mit dem Bestand durch eine verglaste Brücke im 1. OG verbunden. Die Büroräume gruppieren sich um eine zentrale, verglaste Halle, die nach Westen, zur Stadt, durch eine Glasfassade geöffnet ist. Im Untergeschoss und Erdgeschoss befinden sich Parkplätze.

Das Gebäude mit knapp 3.100 m² Energie-Bezugsfläche wurde als zertifiziertes Passivhaus geplant und 2016 in Betrieb genommen. Die Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung wurde im Rahmen eines zweijährigen Monitorings systematisch durchgeführt.

Weitere Details finden sich online unter www.passivhausprojekte.de unter der ID 4255.

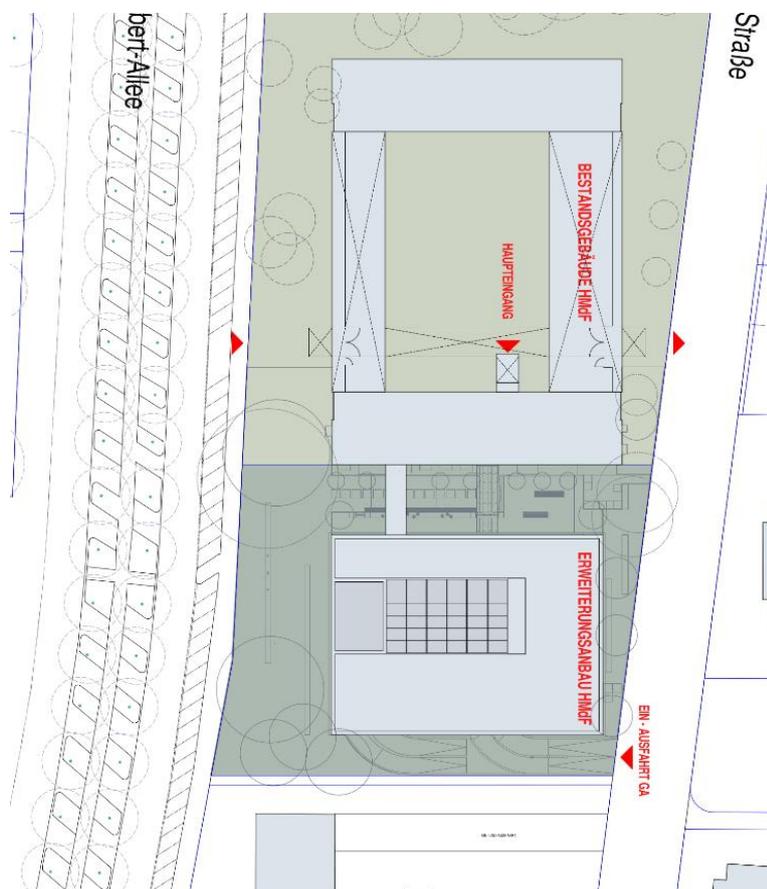


Abbildung 1: genordeter Lageplan des Neubaus (unten)



Abbildung 2: Modellfoto, Ansicht von Süd-West

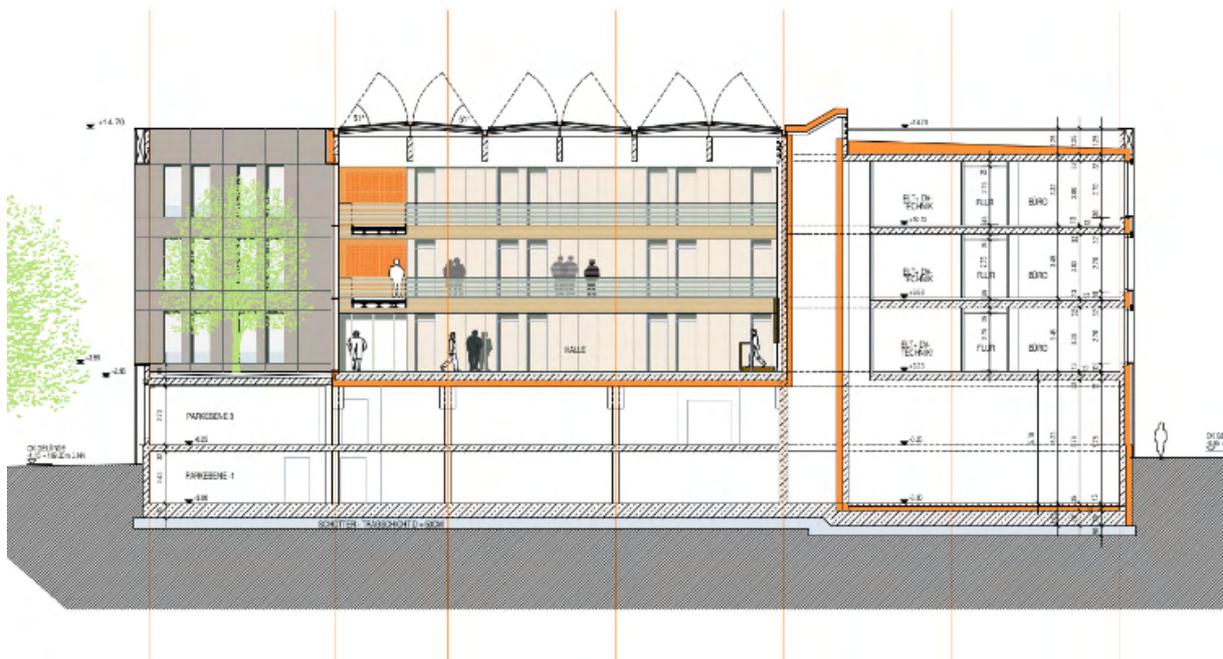


Abbildung 3: Schnitt durch die Halle (West-Ost) mit Verlauf der thermischen Gebäudehülle

2 Betonkerntemperierung

Die Abbildung zeigt den typischen Querschnitt eines Büroraumes mit BKT, Außenverschattung mit geteiltem Behang zur Tageslicht-Nutzung und innenliegenden Blendschutz für den Winter. Zuluft- und Sammelkanal der Überströmung mit Brandschutzklappe sind im oberen Teil des Einbauschranks enthalten. Die Betonkerntemperierung wurde 100 mm oberhalb der Deckenunterkante installiert, die Deckenuntersicht ist unverkleidet. Raumakustische Maßnahmen wurden im Bereich des Einbauschranks und des Bodenbelags realisiert. Nach oben hin ist die Wirksamkeit der BKT durch eine Trittschalldämmung eingeschränkt.

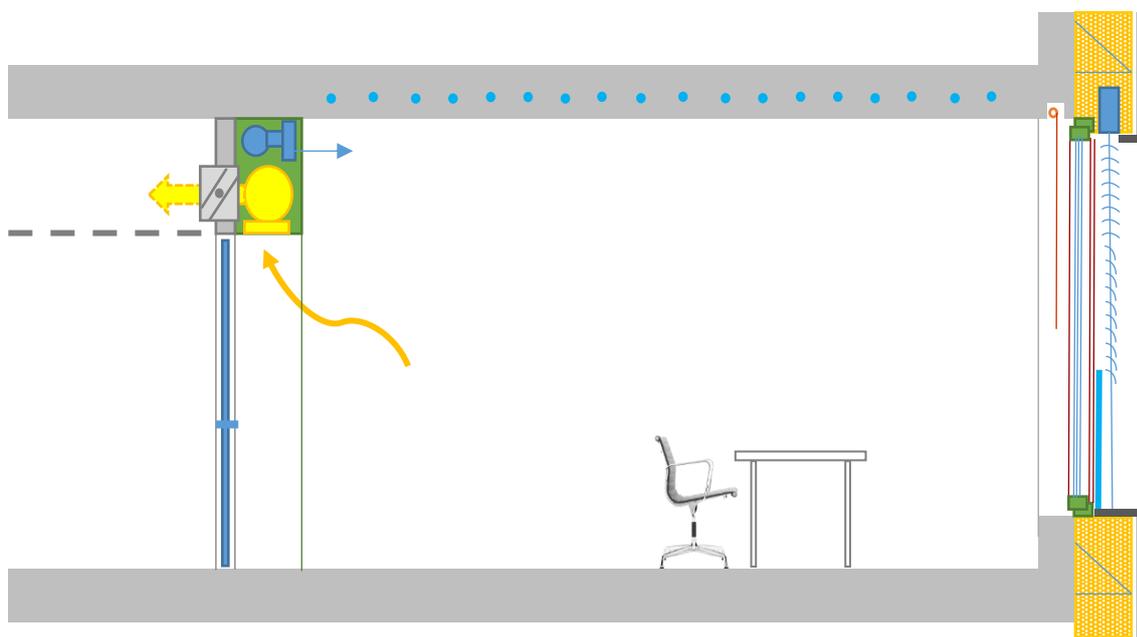
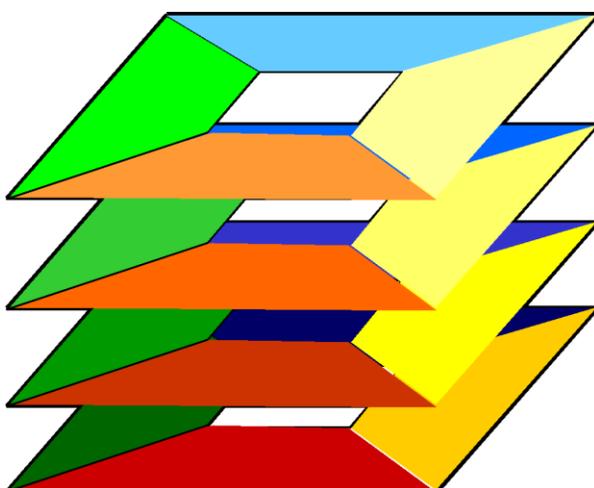
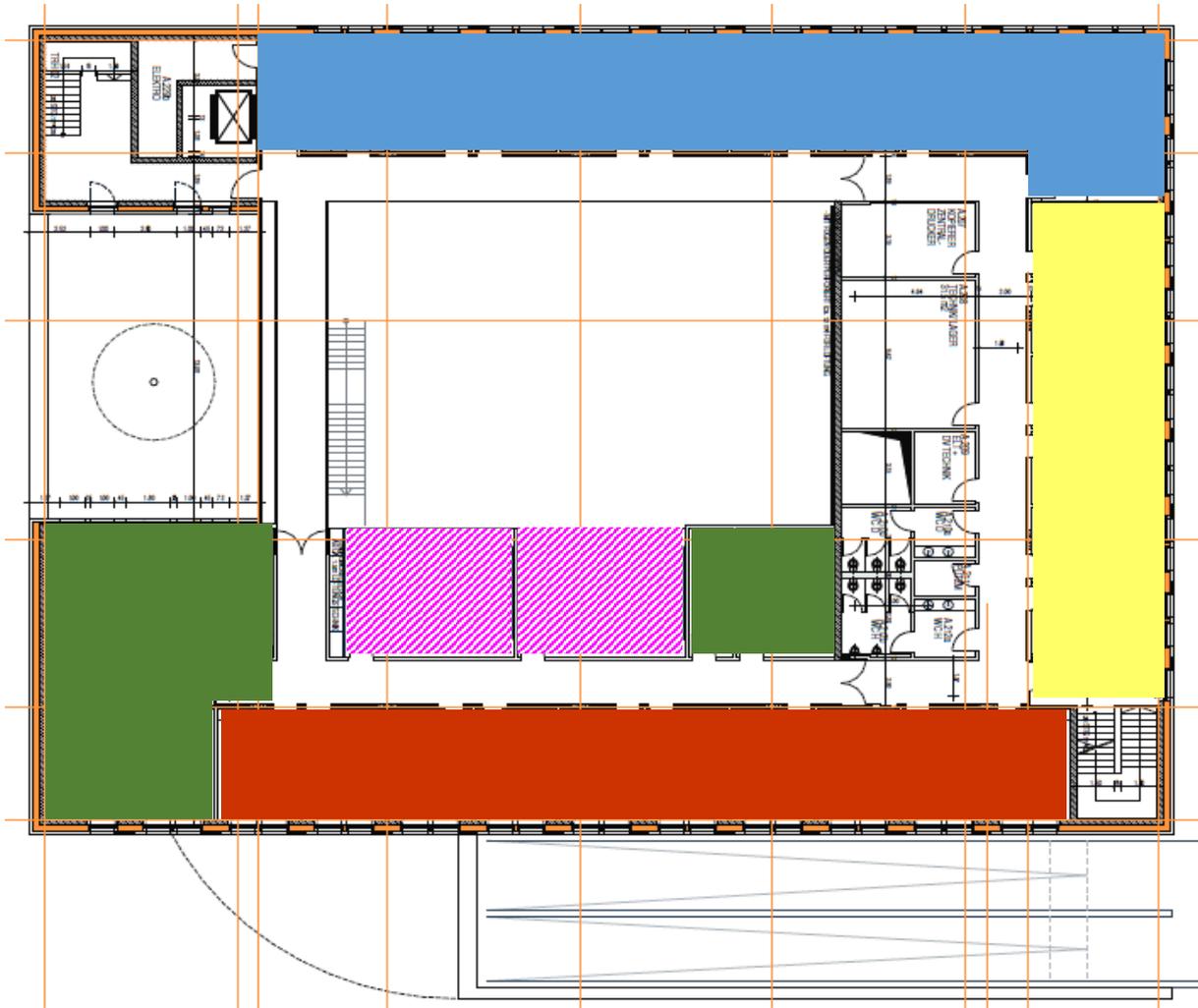


Abbildung 4: Schematischer Querschnitt Büroraum

Die Zonierung der BKT erfolgte weitgehend entsprechend der bereits im [AkkP 41] erarbeiteten Empfehlung einer geschoss- und orientierungsweisen Unterteilung.



Grafik © Passivhaus Institut

Abbildung 5: Ideale Zonierung BKT aus AK41

Abbildung 6: Reale Zonierung im Beispielgebäude, exemplarisch

In den nordöstlich gelegenen Eckräumen wurde darüber hinaus noch eine Wandflächenheizung an das BKT-System angebunden, die über die vergrößerte Fläche die winterliche Beheizung absichert. Die Fläche der zur Halle gelegenen Teeküchen wurde der Einfachheit halber mit der westlichen Fassadenzone zusammengefasst. In den innen liegenden Besprechungsräumen übernimmt eine massearme Kühldecke die Aufnahme der stark fluktuierenden Wärmelasten (schraffierte Fläche). IT-Räume werden ganzjährig über Umluft-Kühlgeräte mit Anbindung an einen separaten Kaltwasserstrang betrieben. In der zentralen Halle befindet sich eine nass verlegte Fußbodenheizung, die als zusätzliche Regelzone betrieben wird und auch einen geringen Beitrag zur Kühlung leisten kann.

Die zur Regelung der BKT erforderlichen Raumtemperatur-Istwerte werden aus jeweils drei Musterräumen in jeder Zone gemittelt. Die Raumfühler wurden in situ einer Kalibrierung unterzogen, die Messunsicherheit der eingesetzten Ni1000-Fühler an

langen Zweileiter-Anschlüssen und 14-Bit-AD-Wandler beträgt insgesamt ca. 0.54 K und ist damit noch immer recht groß. Dies sollte in künftigen Projekten um 50 % vermindert werden, z. B. durch Fühler besser als A-TGA nach VDI/VDE 3512 Blatt 4 und der Berücksichtigung der gesamten Messkette bei der Bestimmung der Messunsicherheit.

Die Umschaltung von Heiz- auf Kühlbetrieb erfolgt für alle Zonen gemeinsam zentral auf Basis der tagesmittleren Außentemperatur. Im Heizbetrieb erfolgt eine thermostatische Regelung für jede Zone mit recht hoher Vorlauftemperatur (28 - 30°C), wobei die Zone bei Unterschreiten einer VL/RL-Temperaturdifferenz von 1 K abgeschaltet wird. Ähnlich erfolgt die Regelung im Kühlfall, wobei hier mit einer konstanten Vorlauftemperatur von 18°C gearbeitet wird.

Dieses Regelschema illustriert anschaulich, dass die vorgesehene Messtechnik mit Messunsicherheiten im Bereich von 0.54 K wenig geeignet ist, das Abschaltkriterium zuverlässig zu bestimmen. Gerade hier müsste deutlich genauer gemessen oder aber ein grundlegend anderer Ansatz verfolgt werden. Denkbare Alternativen wären zusätzliche Messsysteme zur direkten Bestimmung der Temperatur-Differenz der einzelnen Zonen oder aber ein grundlegend anderes Abschaltkriterium.

Der mutmaßlich einfachste Weg wären aber qualitativ weiterentwickelte Systeme zur Temperaturmessung mit Platin-Widerstandsthermometern in Vierleiter-Schaltung und einer radiometrischen Messung mit hochwertiger Referenz. Zudem sollte die Digitalisierung mit mehr als 14 Bit (nominell) erfolgen – die elektronischen Komponenten für ein solches Vorgehen sind marktüblich.

3 Lüftung

Das Gebäude ist mit einem Lüftungssystem mit regenerativer Wärmerückgewinnung ausgestattet (Menerga Resolair 640701). Die Luftmenge richtet sich nach dem hygienischen Bedarf und beträgt um 4.500 m³, je nach Betriebszustand der bedarfsgeregelten Besprechungsräume. Die geräteintegrierte Regelung führt eine konstante Zuluft-Temperatur nach Vorgabe herbei, wozu die Zykluszeiten der Regeneratoren angepasst und die Wärmerückgewinnung somit verändert wird. Dies erwies sich sowohl im Sommer als auch im Winter als problematisch, da es dazu führte, dass am kühlen Sommermorgen eine unerwünschte Wärmerückgewinnung erfolgte, im Winter dagegen die Wärmerückgewinnung in sonnigen Mittagszeiten zurückgefahren wurde, obwohl die solaren Gewinne im vollen Umfang hilfreich gewesen wären. Zur Balancierung der Außen- und Fortluft-Volumenströme wurde eine Master/Slave-Regelung der Ventilatoren gewählt.

4 Verschattung

Anders als die klassischen TGA-Komponenten wurde die Verschattungs-Anlage vom Elektrogewerk verantwortet. Sie besitzt ein eigenständiges Steuergerät, das nicht mit der Gebäudeleittechnik verbunden ist. Dieses errechnet aus dem Breitengrad und der aktuellen Zeit den Sonnenstand und aktiviert selektiv die Verschattungen auf den sonnenbeschienenen Fassaden in Abhängigkeit von der Beleuchtungsstärke. Dabei erfolgt keine Berücksichtigung der Innentemperatur oder der Jahreszeit. Dies stellt sich als große Schwäche heraus, da nun manuell regelmäßig eine saisonale Anpassung der Schwellwerte für die Beleuchtungsstärke erfolgen muss und keine Berücksichtigung der Innentemperatur möglich ist. Solche Steuerungen sollten immer eine jahreszeitliche, am besten eine monatsweise Einstellung der Einstrahlungs-Grenzwerte erlauben. Wirklich gute Systeme sollten in die zentrale Steuerung eingebunden sein und die aktuelle Innentemperatur als wesentlichen Parameter für die Steuerung der Verschattung verwenden.

5 Licht

Wie eingangs kurz beschrieben wurde bereits in einem frühen Planungsstadium eine gute Tageslichtversorgung mit den Erfordernissen wirksamer Verschattung und Blendschutz für die Bildschirmarbeit abgewogen. Die Lamellen-Raffstores verfügen über einen geteilten Behang mit horizontalen Lamellen in den obersten 50 cm. So kann auch im Sommer eine gute Tageslichtversorgung mit aktivierter Verschattung in Einklang gebracht werden. Die zur Winterzeit willkommenen solaren Gewinne können dank eines manuell aktivierten inneren Blendschutzes genutzt werden ohne die Bildschirmarbeit übermäßig zu beeinträchtigen. Die Außenverschattung wird automatisch bei Bedarf aktiviert, kann aber auf Nutzerwunsch manuell deaktiviert werden. Die Automatik greift zu festgelegten Zeiten (0900/1200/1500/1800) wieder und übersteuert den Nutzerwunsch, der dann gegebenenfalls zu wiederholen wäre. Anderenfalls blieben verlassene Räume oder vergessene Übersteuerungen den ganzen Tag ohne Verschattung.

Zum Lichtkonzept gehört ferner die, auf Basis einer qualifizierten Lichtplanung ausgelegte, abgependelte LED-Beleuchtung mit kleinem Indirekt-Anteil und helligkeitsabhängiger Leistungsregelung. Damit wurde eine sehr energieeffiziente Beleuchtungslösung der Büros gefunden. Die Auslegungsleistung unterschreitet $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot 100 \text{ lx})$ deutlich. Auch in Fluren und Nebenräumen wurde vollständig eine LED-Beleuchtung mit angemessenen Beleuchtungsstärken realisiert.



Abbildung 7: Büroraum im Bauzustand, LED-Leuchten und Zuluft-Schlitzauslass im oberen Bereich des Wandschranks zum Flur

6 Wärmeabfuhr

Die mit PHPP abgeschätzte Kühllast beträgt knapp 50 kW. Als Wärmesenke dient ein Kaltwassersatz Typ Menerga 980401. Das Gerät kann je nach Außenluft-Konditionen eine freie Kühlung, Verdunstungskühlung, oder eine Kompressions-Kältemaschine einsetzen. Es wird ganzjährig ein Kaltwasserspeicher von 12 °C für die IT-Umluftkühler und im Kühlfall ein zweiter Puffer mit 18 °C bedient. Während über den 12-°C-Kreislauf nur geringe Leistungen umgesetzt werden, erfolgt die eigentliche Gebäudekühlung über die Betonkerntemperierung bei minimal 18 °C. In diesem Betriebszustand erreicht das Kühlgerät eine maximale Leistung von 93 kW und verfügt damit über beträchtliche Reserven gegenüber der erwarteten Last. Da die Aufschaltung des Wärmezählers auf die GLT über lange Zeiten nicht möglich war, stehen nur monatliche Zählerablesewerte zur Verfügung. Der tatsächliche Lastgang lässt sich daher nicht im Einzelnen nachvollziehen.

7 Wärmeversorgung

Die Heizlast von bis zu 44 kW (PHPP) wird indirekt über die Erdgas-Heizungsanlage des Bestandsbaus bereitgestellt, indem diese mit Brennwert-Wärmetauschern im Abgasstrang nachgerüstet wurde. Die geringen Vorlauftemperaturen der BKT (max.

30 °C) bieten eine gute Voraussetzung für diese preisgünstige Maßnahme. Der Bestandsbau aus den 1950er Jahren steht unter Denkmalschutz und weist einen hohen Heizwärmebedarf sowie eine lange Heizperiode auf. Sollte dort zukünftig ein Wechsel auf Fernwärme erfolgen, könnte der Neubau im Rücklauf eingebunden oder ein reversibler Betrieb des Kaltwassersatzes in Erwägung gezogen werden. Auch standen die Werte des für das Gerät vorgesehenen Elektro-Zwischenzählers nicht zur Verfügung.

8 Betriebsverhalten

Das Betriebsverhalten konnte im Rahmen eines zwei Jahre dauernden Monitorings zur Einregulierung beobachtet werden. Dazu wurden regelmäßig die Daten des GLT-Systems eingesehen und Zählerstände erfasst.

9 Nutzerkomfort

Trotz anfänglicher Schwierigkeiten mit insbesondere überhöhten Luftvolumenströmen konnte ein guter Sommerkomfort erreicht werden. Daten aus dem heißen Sommer 2018 wurden während eines bereits weitgehend planungsgemäßen Betriebs erhoben. Warme Außentemperaturen herrschten bereits im Frühsommer, während eine Hitzeperiode Ende Juli und Anfang August eine besondere Belastungsprobe gab.

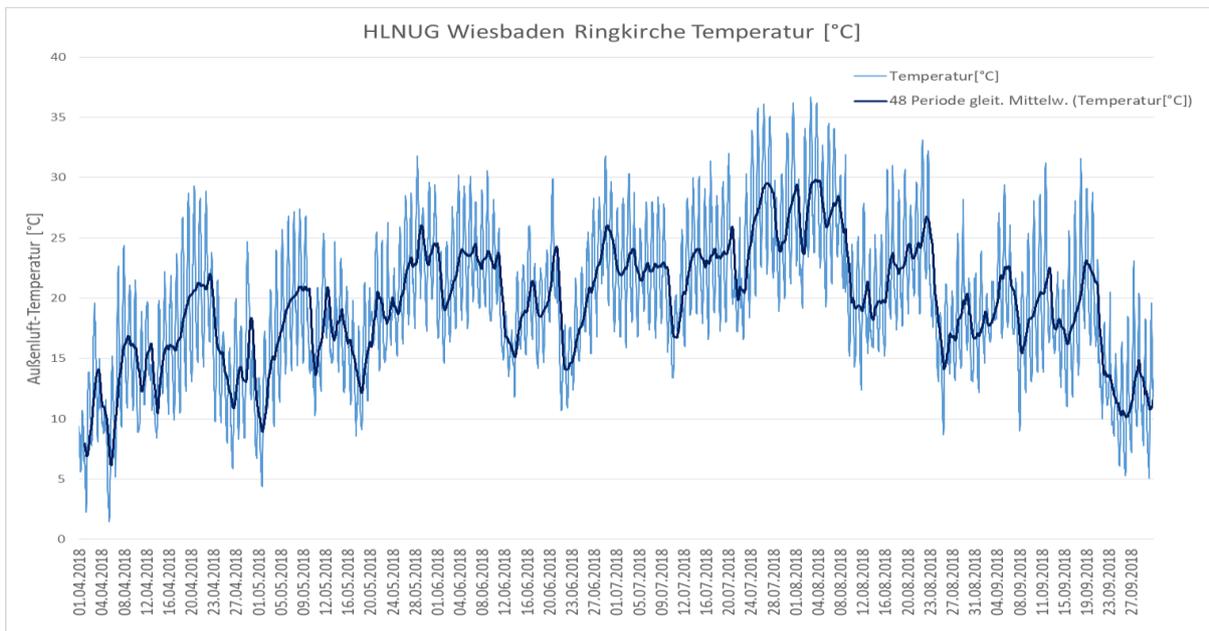


Abbildung 8: Außenluft-Temperatur der HLNUG-Station Wiesbaden Ringkirche Sommer 2018, gleitender Tagesmittelwert

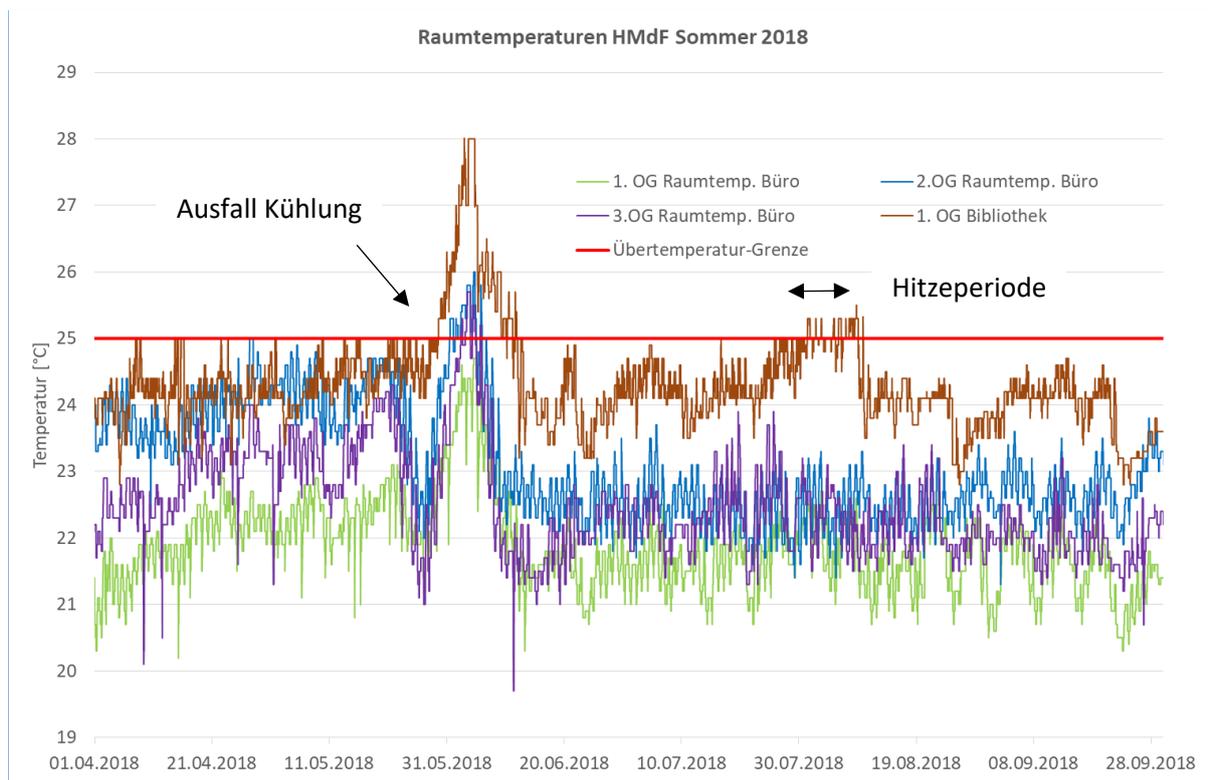


Abbildung 9: Raumtemperaturen ausgewählter Räume im Sommer 2018

Die gemessenen Temperaturen befinden sich durchweg im komfortablen Bereich. Das Maximum Anfang Juni geht auf einen Ausfall der Kühlanlage zurück. Dieser wurde zunächst nicht bemerkt und so stiegen die Innentemperaturen im gesamten Haus über mehr als eine Woche kontinuierlich an. Das Büro im 1. OG stellt dabei den günstigsten Fall dar – hier werden auch unter diesen Bedingungen die Komfortgrenzen nicht überschritten. Die spätere Hitzeperiode wurde mit dem korrekt funktionierenden Kühlsystem sehr gut bewältigt.

Den anderen Extremfall stellt der innenliegende Bibliotheksraum dar, der über keine Fenster, dafür aber eine dauerhaft hohe Beleuchtungsleistung verfügt. Hier wurde der Komfortbereich deutlich überschritten. In der Spitze trat kurzzeitig eine Temperatur bis zu 28 °C auf. Die instandgesetzte Kühlanlage konnte dies in sehr kurzer Zeit korrigieren, und auch in der ausgeprägten Hitzeperiode wurde die Grenztemperatur von 25 °C nur geringfügig überschritten.

Die Bedingungen in den übrigen Büroräumen lagen zwischen diesen Extremen und hielten die Komfortgrenzen zu allen Zeiten ein.

Trotz ganz vereinzelt und kurzzeitig nicht mehr komfortablen Bedingungen zeigt die Dynamik nach Ausfall der Kühlanlage einen recht gutmütigen Verlauf, der erst nach Tagen zu wirklichen Schwierigkeiten führt. Sofern also Ausfälle in den technischen Systemen durch verbesserte Prozesse frühzeitiger bemerkt werden, bleibt Zeit für die

Einleitung der notwendigen Maßnahmen. Auch in dem Ausfall-Szenario waren die Innenraum-Bedingungen vermutlich noch günstiger als in einem unconditionierten Altbau zur selben Zeit.

10 Energieverbrauch

Der Gebäude-Betrieb war anfänglich durch Mängel und Fehlfunktionen beeinflusst. So war etwa die Herstellung eines planungsgemäßen Betriebs der Lüftungsanlage (Balance, Volumenstrom) ein langwieriger Prozess zwischen vielen Beteiligten (vergl. Hierzu [AkkP 52]). Insofern sind die Kennzahlen zum Energieverbrauch ebenfalls vor diesem Hintergrund zu interpretieren. Für den Sommer 2017 liegen Näherungswerte des Kühlenergieverbrauchs vor. Allerdings ist nur ein Zähler für den Wärme-Entzug durch den Kaltwassersatz vorhanden, der sowohl 12-°C-IT-Kühlkreis als auch den 18-°C-BKT-Kühlkreis umfasst. Eine weitere Einschränkung liegt in der Abwesenheit eines Unterzählers für die Stromaufnahme des Kaltwassersatzes. Dennoch kann eine Annäherung durchgeführt werden, indem unterschiedliche monatliche Verbrauchswerte im Jahreslauf Hinweise auf den Energieaufwand für einzelne Sektoren liefern.

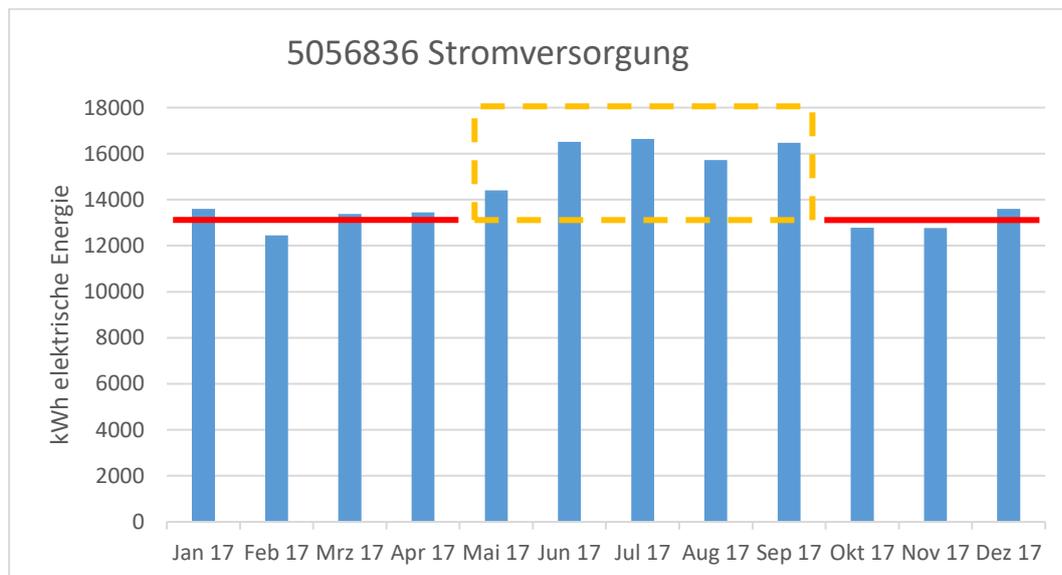


Abbildung 10: Monatswerte des Gesamt-Stromverbrauches

Aus dem vergrößerten Stromverbrauch der Sommermonate kann ein Wert von ca. 14.012 kWh/a für die Raumkühlung abgeleitet werden. Dies entspricht 4,57 kWh/(m²a).

Ein ähnliches Vorgehen im Bereich der Kaltwasser-Erzeugung liefert 49 MWh oder 16 kWh/(m²a) für die Raumkühlung. Zugleich bestand, durch Fehlfunktionen im Sommer, ein Heizwärmeverbrauch von ca. 3 MWh, was bereinigt zu einem Kühl-Kennwert von ca. 15 kWh/(m²a) führt. Dies übersteigt den Planungswert erheblich, befindet sich

aber in guter Übereinstimmung mit dem nach PHPP berechneten Wert für den tatsächlichen Wetterverlauf und die tatsächlichen internen Wärmequellen. Letztere sind durch einen etwa zweimal so großen Stromverbrauch deutlich erhöht; der Zusatzverbrauch geht im Wesentlichen auf nicht näher bekannte Verbraucher innerhalb der TGA zurück (Steuerung/Regelung, Standby von Sensoren und Aktoren, ineffiziente Netzteile u. dgl.), die in Summe ca. 2 W/m² zusätzlich ausmachen.

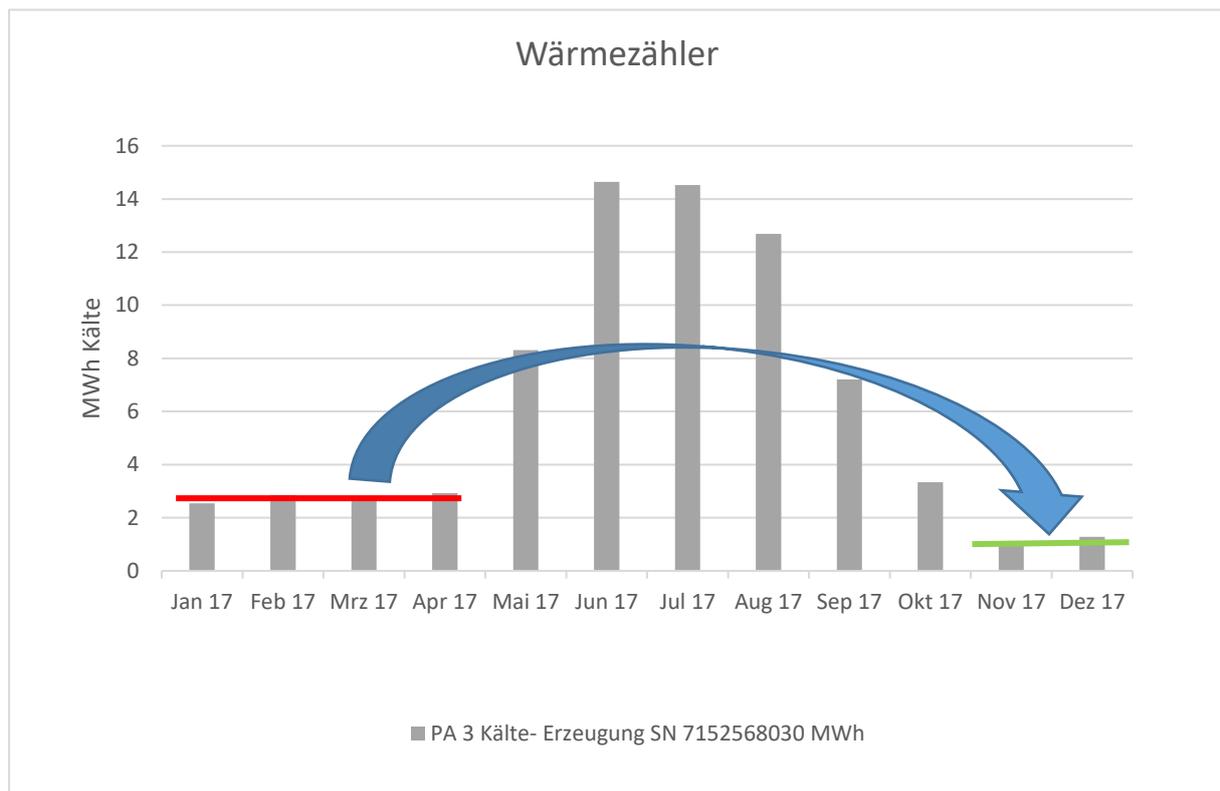


Abbildung 11: Monatswerte des Gesamt-Wärmeentzugs

Die Werte des Gesamt-Wärmeentzugs zeigen daneben deutlich die Minderung im Bereich der IT-Kühlung (Wintermonate) nach einer Anhebung der Raumtemperatur von knapp 20 °C auf 25 °C.

Die Relation des abgeschätzten Nutzenergie-Verbrauchswertes von 49 MWh/a mit dem abgeschätzten Stromverbrauch von 14 MWh/a ergibt eine globale Effizienz Zahl von ~3,5 für die Raumkühlung. Neben dem Kältegerät selbst sind Hilfsaggregate, Pumpen und Steuerungen für die Raumkühlung weitgehend eingeschlossen. Der Wert liegt im Bereich der von Kleinklimageräten bekannten Effizienz unter realen Randbedingungen und bleibt für dieses große Kältegerät eher unter den Erwartungen. Angesichts der Unsicherheiten der hier angestellten Abschätzungen ist der Wert jedoch in Ordnung.

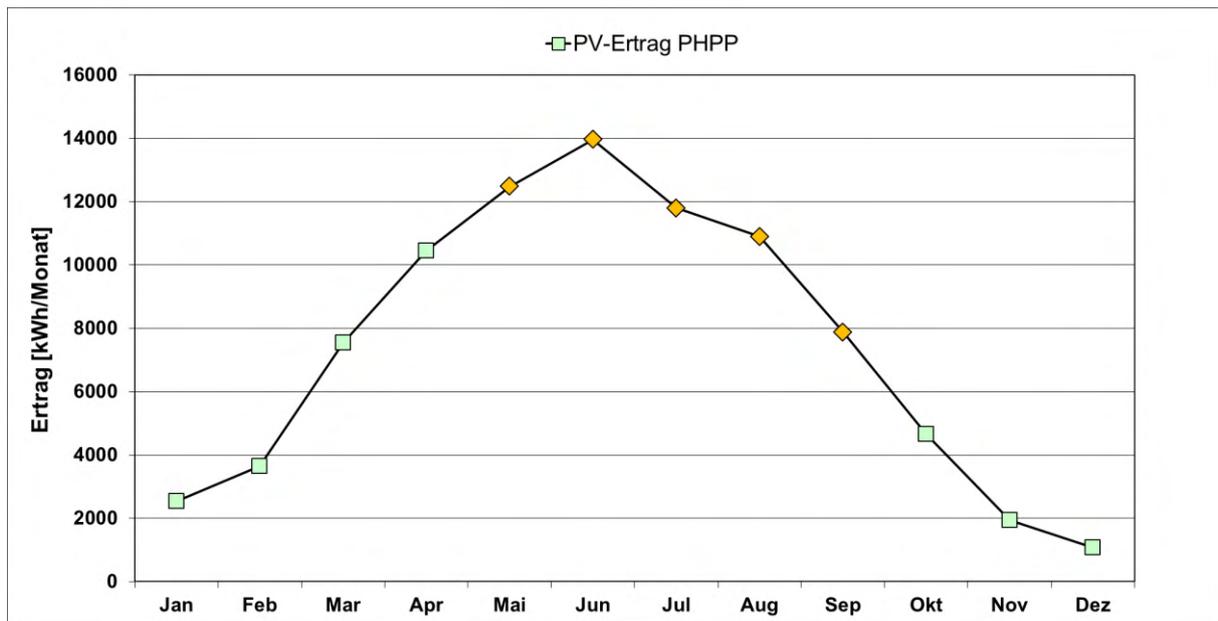


Abbildung 12: Ertrag der PV-Anlage für 2018 gem. PHPP. Hervorgehoben (gelb) ist der Ertrag während der Monate mit Kühlbedarf.

Schließlich ist das Gebäude mit einer PV-Anlage zur Stromerzeugung mit einer Leistung von 88,5 kW_P versehen. Die Ertragsabschätzung mit dem PHPP zeigt anschaulich die hohen Erträge in den Monaten mit Kühlbedarf (gelber Kasten). Der geringe Kühlbedarf eines Passivhauses korreliert somit gut mit dem Angebot an lokal gewonnener erneuerbarer Energie.

11 Literatur

- [AkkP 41] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 41: Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhausstandard – Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012.

- [AkkP 52] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 52: Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung als Erfolgsfaktoren für energieeffiziente Gebäude. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2017.

Jens M. Kuckelkorn, Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
ZAE Bayern, Walther-Meißner-Str. 6, 85748 Garching

Praxis-Erfahrungen mit energieeffizienten Kühlkonzepten aus dem Monitoring von Passivhaus-Schulen

1 Sommerliche Überhitzung: Kühlkonzept der integralen Planung

Nichtwohngebäude sind oft nicht ausreichend vor sommerlicher Überhitzung geschützt. Insbesondere bei dicht belegten Schulgebäuden ist dies häufig der Fall und erfüllt nicht den Anspruch auf ein optimales Lernumfeld. In Zeiten des Klimawandels ist zu erwarten, dass die damit verbundenen Probleme zukünftig vermehrt auftreten.

Im Rahmen einer integralen Planung können Gesamtkonzepte umgesetzt werden, die gleichzeitig ganzjährig einen hohen Raumkomfort und eine hohe Energieeffizienz aufweisen. Eine gute Funktionalität, eine verbesserte Wirtschaftlichkeit und die Einhaltung der Kostendeckelung sind damit vereinbar und kein Widerspruch. Zwei Praxisbeispiele für Schulneubauten zeigen auf, wie Konzepte zur sommerlichen Gebäudekühlung im Rahmen des Gesamtkonzeptes erfolgreich umgesetzt wurden. Dabei wurden einerseits die Wärmegewinne minimiert und andererseits der Restkühlbedarf energieeffizient gedeckt.

Einen wichtigen und tendenziell kostengünstigen Ansatz stellen die passiven Maßnahmen am Gebäude dar: Durch Optimierungen von Gebäudeorientierung, Raumaufteilung, Zonierung, Fläche und Orientierung der transparenten und transluzenten Bauteile können unnötig hohe Wärmeeinträge vermieden werden. Fenster in Nord- und Südrichtung sind bezüglich der Direktstrahlung wesentlich praktikabler, als Ost- und Westfenster. Eine gut gedämmte und dichte Gebäudehülle sorgt für einen geringen Wärmeeintrag durch Transmission und Infiltration. Erforderlich sind ebenfalls eine ausreichende nutzbare Wärmekapazität des Gebäudes sowie die Berücksichtigung von internen Wärmegewinnen in der Planung. Ergänzt werden diese Maßnahmen mit folgenden technischen Maßnahmen:

- Professionelle Verschattungsanlage mit geeigneter Automation
- Energieeffiziente Gebäudekühlung
- Lüftungsanlagen mit Kälterückgewinnung und aktiver Zuluftvorkonditionierung
- Zuverlässige Gebäudeautomation und Gebäudeleittechnik

Beide Praxisbeispiele wurden von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert und nach Inbetriebnahme vom Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE Bayern) mit einer dreijährigen Phase der Betriebsoptimierung und Evaluation begleitet. [Kuckelkorn et al. 2015], [Robrecht et al. 2019]

2 Passivhaus-Schulneubau der FOS / BOS Erding

Der Schulneubau in Passivhausbauweise des Landkreises Erding wurde für 750 Schüler geplant und ist inzwischen mit rd. 930 Personen belegt. Das Gebäude besteht aus einem Nordriegel mit vier Geschossen und einem Südriegel mit drei Geschossen, die durch ein zentrales Atrium verbunden sind.

2.1 Gebäudehülle und Verschattung

Die Passivhaus-Gebäudehülle (U-Werte in $W/(m^2K)$: Dach 0,10; Außenwand 0,13; Bodenplatte 0,18; Verglasung 0,6) besitzt eine hochwärmedämmte Pfosten-Riegelkonstruktion mit einem tageslichtoptimierten Fensterflächenanteil und minimierte Wärmebrücken. Eine exzellente Luftdichtheit ($n_{50} < 0,17 \text{ h}^{-1}$) sorgt für eine geringe Infiltration.

Die Fenster der Hauptnutzfläche sind nahezu alle nach Norden oder Süden ausgerichtet. Dadurch konnte eine tageslichtoptimierte Verschattungsanlage mit außenliegendem Lamellensonnenschutz mit minimalem Kunstlichteinsatz realisiert werden. Die automatisierte Anlage mit Cut-off-Winkelsteuerung blendet die Direktstrahlung komplett aus und besitzt aufgrund weißer Lamellen einen hohen Diffuslichtdurchgang. Die Einsatzsteuerung erfolgt über die Helligkeit in Fassadenebene, die Freigabe über eine Übersteuerung aus der zentralen Leittechnik, die das thermische Verhalten des Gebäudes mit Betonkerntemperaturen analysiert.



Abbildung 1: Südfassade der FOS / BOS Erding. (Foto: © Peter Wankerl / kplan AG)

2.2 Gebäudekühlung

Zur Kühlung des Gebäudes wird eine Nachtlüftung eingesetzt. Für die Zuluft werden nachts motorisch zahlreiche Oberlichtfenster per Einzelraumregelung geöffnet. Das Stahlbetongebäude besitzt eine hohe thermische Trägheit. In guter Abstimmung mit den Maßnahmen zur Akustik konnten in großem Umfang offenliegende Betonflächen als Speichermasse genutzt werden. Die Abluft wird zentral im Atrium mit vier großen Ventilatoren bei niedriger Drehzahl aus dem Gebäude geführt. Der mittlere Kälte-Wirkungsgrad (Kälte-COP) der Abluft-Ventilation liegt bei 99 im Betrieb, ganzjährig mit 72 % Stand-by-Verbrauch bei 29.

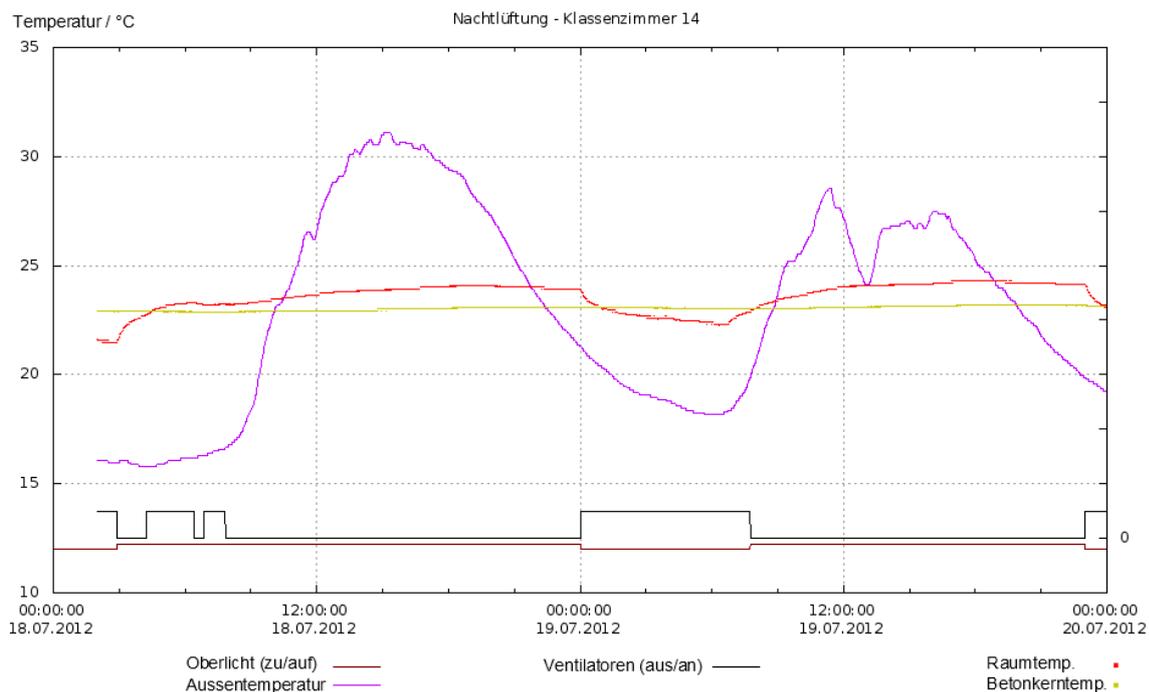


Abbildung 2: Temperaturverhalten an zwei Juli-Tagen mit Nachtlüftung. Obwohl die Außentemperatur (blau) über 30 °C steigt, liegt die Raumlufthtemperatur (rot) im Klassenzimmer unter 25 °C. Die Betonkerntemperatur (gelb) schwankt im Bereich von 0,1 K und wird nachts abgesenkt.

2.3 Zuluftvorkonditionierung

Die Zuluft erfolgt bedarfsgerecht mit Einzelraumregelung, Volumenstromcontrollern, CO₂- und VOC-Sensoren aus zentralen Lüftungsanlagen. Die Abluft wird ohne Kanalnetz zentral aus dem Atrium abgesaugt. Die Rotoren der Wärmerückgewinnung werden zur Kälterückgewinnung genutzt. Die Zulufttemperatur der Quelllüftung erfolgt schwingungsfrei mit mindestens 2 K unter der Raumlufthtemperatur (Zulufttemperatur 19,5 °C bis 21 °C). Hierzu ist eine aktive Kühlung der Zuluft über das Zuluftheizregister erforderlich. Als Kältequelle wird Grundwasser aus einer Brunnendublette eingesetzt. Durch Optimierung der Pumpenregelungen und Umnutzung des Wärmeübertragers zum Grundwasserkreis als Kältespeicher konnte der Stromverbrauch und der Grundwasserbedarf extrem minimiert werden.

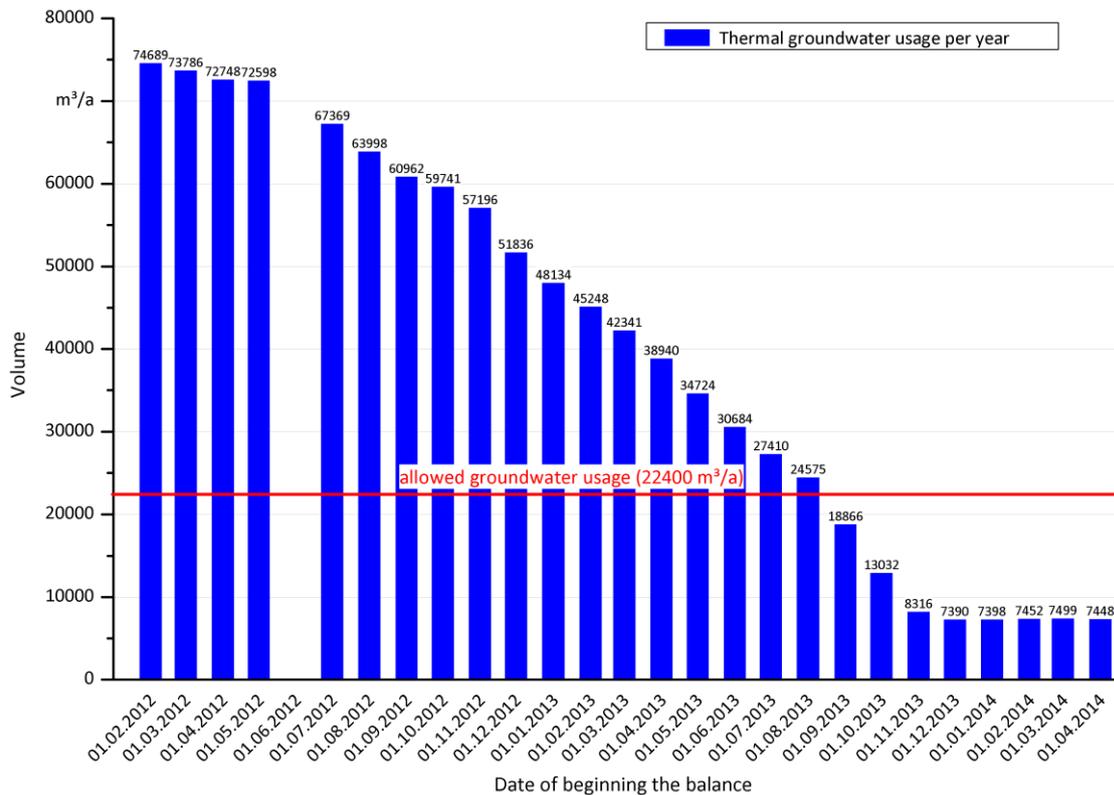


Abbildung 3: Änderung des jährlichen Grundwasserbedarfs während der Optimierung. Der Jahresbedarf sank von rd. 75.000 m³/a auf rd. 7.500 m³/a, obwohl aus ökologischen Gründen nur eine mittlere Erwärmung um 2,5 K umgesetzt wurde.

2.4 Komfort und Energieeffizienz

Während der Optimierung wurde als Ziel verfolgt, die Raumlufttemperatur unter 25,5 °C und die CO₂-Maximalwerte im Bereich von 1.000 – 1.340 ppm zu halten. Nach der Optimierungsphase konnte dies fast immer erreicht werden.

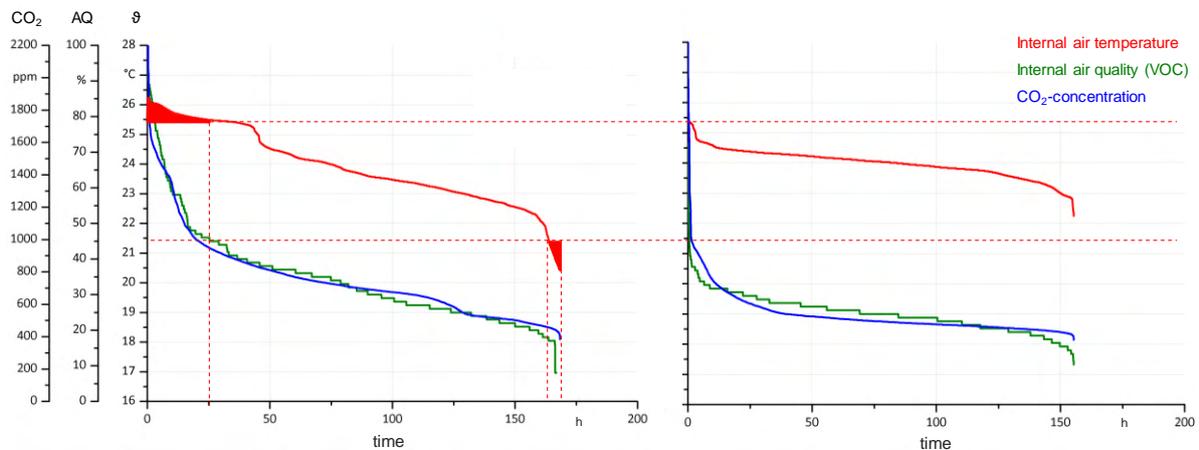


Abbildung 4: Raumkomfort im Klassenraum während des Unterrichts. Vor der Optimierung (links) sind deutliche Überschreitungen von Temperatur- (rot) und CO₂-Werten (blau) zu sehen. Nach der Optimierung (rechts) traten Überschreitungen nur in sehr begrenztem Umfang oder bei Betriebsstörungen auf.

Im Evaluationsjahr 2014 betrug der klimabereinigte Heizbedarf der Schule 9,0 kWh/(m²a) nach PHPP, der reale Verbrauch lag bei 7 kWh/(m²a). Der aktive Kühlbedarf mit Grundwasserkühlung (ohne Sondernutzungen) lag bei 0,27 kWh/(m²a). Der Gesamtstromverbrauch (Hauptzähler ohne Küche) lag bei nur 18,3 kWh/(m²a). Obwohl diese Ergebnisse als hocheffizient zu bewerten sind, sind weitere Einsparpotenziale, insbesondere beim Stromverbrauch, vorhanden. Die Investkosten des Gebäudes lagen nur 1,9 % über denen einer Standardschule. Insgesamt konnten alle Projektziele zur Nachhaltigkeit erreicht werden.

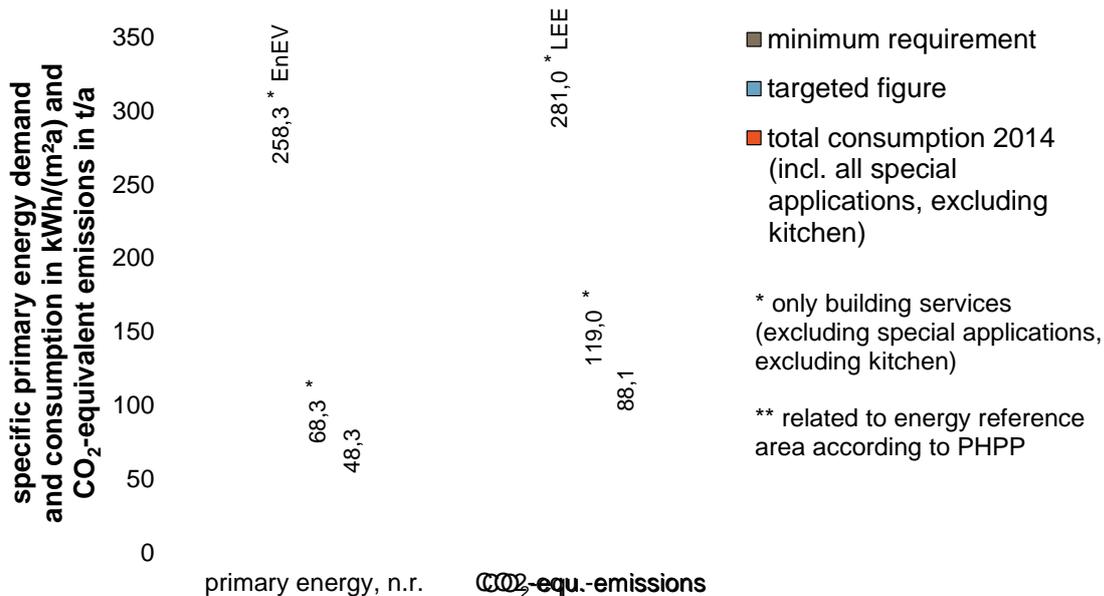


Abbildung 5: Spezifische Energiebedarfe der FOS / BOS Erding im Evaluationsjahr 2014. Die Ergebnisse der Evaluation (rot) für das Gebäude (ohne Küche) sind extrem niedrig und liegen unter den Vorgaben aus der Planung.

3 Plusenergie-Schulneubau Schmuttertal-Gymnasium Diedorf

Der Plusenergie-Schulneubau für rd. 960 Schüler des Landkreises Augsburg besteht aus einem Gebäude-Ensemble mit vier Einzelgebäuden. Der Holzbau in Fertigbauweise (Einsparung von grauer Energie) besitzt vier PV-Anlagen (440 kW_p) auf den nach Süden gerichteten Dächern und weist eine sehr geringe Wärmekapazität auf. Lediglich die Technikräume im Keller wurden als Stahlbetonbauteile ausgeführt. Weiterhin wurde ein pädagogisches Konzept mit modernen Lernlandschaften umgesetzt. Diese Randbedingungen stellten eine besondere Herausforderung für Lüftung, Kühlung und Schallschutz im Rahmen der integralen Planung dar.



Abbildung 6: Plusenergie-Schulneubau Schmuttertal-Gymnasium Diedorf. (Foto: Florian Nagler Architekten, Architekten Hermann Kaufmann)

3.1 Gebäudehülle und Verschattung

Die Gebäudehülle (U-Werte in W/(m²K): Dach 0,10, Außenwand 0,12, Bodenplatte 0,23, Verglasung 0,6) entspricht einem Passivhaus mit einem guten A/V-Verhältnis von 0,28 m⁻¹. Die Luftdichtheit mit n₅₀ < 0,21 h⁻¹ sorgt für eine geringe Infiltration.

Die Fenster der Einzelräume der Hauptnutzfläche sind alle nach Norden oder Süden ausgerichtet. Hierdurch konnte ebenfalls eine tageslichtoptimierte Verschattungsanlage mit außenliegendem Lamellensonnenschutz mit minimalem Kunstlichteinsatz realisiert werden. Obwohl die automatisierte Anlage mit Cut-off-Winkelsteuerung manuell übersteuert werden kann, geschieht dies sehr selten. Für die Freigabe der zentralen Leittechnik wurde das thermische Verhalten des Gebäudes über die Kerntemperatur von massiven Holzbauteilen analysiert.

3.2 Gebäudekühlung

Die Gebäude besitzen eine Fußbodenheizung. Diese wurde mit 8 cm Estrich realisiert, damit eine ausreichende Wärmekapazität für den Sommerfall erreicht wird. Zur Kühlung der Gebäude wird nachts über die Fußbodenheizung der Estrich heruntergekühlt. Zur Vermeidung einer Kondensation ist eine Taupunktüberwachung integriert. Als zentrale Kältequelle dient eine freie Kühlung mit Außenluft.

3.3 Zuluftvorkonditionierung

Die Quelllüftung erfolgt bedarfsgerecht mit Einzelraumregelung, Volumenstromcontrollern und CO₂-Sensoren aus zwei zentralen Lüftungsanlagen. Die Wärmerückgewinnung erfolgt mit einem Kreislaufverbundsystem und wird auch zur Kälterückgewinnung genutzt. Die Zulufttemperaturkonditionierung erfolgt mit mindestens 2 K unter der Raumlufttemperatur zunächst über freie Kühlung, dann mit einer Adiabatik. Reicht auch dies nicht aus, wird eine Kompressionskältemaschine zugeschaltet. Im Sommer wird einer der Heizwasser-Pufferspeicher als Kältespeicher verwendet.

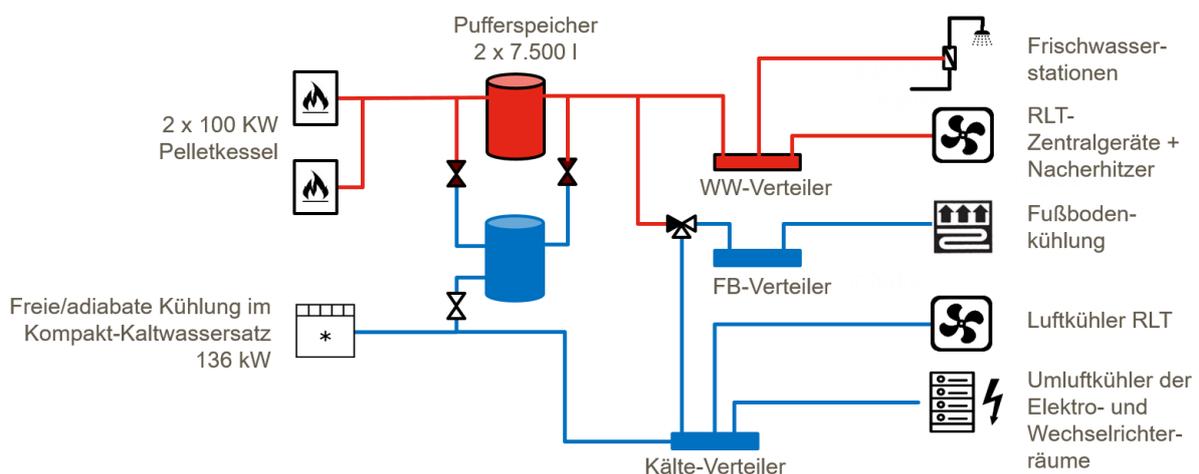


Abbildung 7: Anlagentechnisches Konzept im Kühlbetrieb. Nächtliche Fußbodenkühlung und Zuluftvorkonditionierung mit KRG, Adiabatik und KKM.

3.4 Komfort und Energieeffizienz

Im Betrieb konnte erreicht werden, die operative Raumlufttemperatur unter 25,5 °C und die CO₂-Maximalwerte im Bereich von 1.000 – 1.200 ppm zu halten.

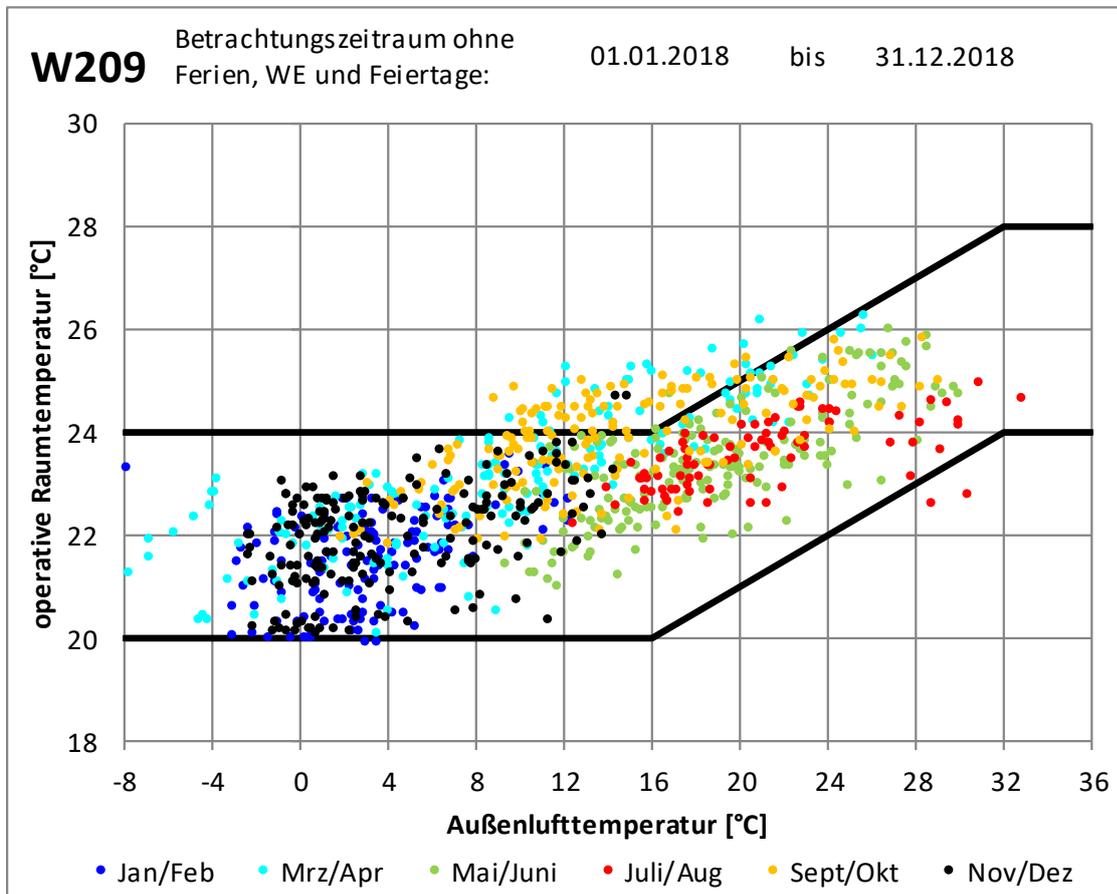


Abbildung 8: Operative Raumtemperaturen im Evaluationsjahr 2018 in einem Referenz-Klassenraum. Überschreitungen von 25,5 °C kamen selten und nicht bei den hohen Außentemperaturen vor.

Grundsätzlich war es möglich, die operativen Raumtemperaturen auch bei hohen Außentemperaturen zu halten, geringfügige Überschreitungen von 1 K gab es eher bei gemäßigter Außentemperatur, z. B. durch manuelle Eingriffe (Verschattung, Fenster). In der Betriebsoptimierung musste die Anlageneffizienz durch Optimierung der Regeltechnik deutlich verbessert werden. Die Adiabatik wurde zunächst kaum genutzt, konnte aber dann die Zuluft im Mittel um rd. 5 K abkühlen, die Jahresarbeitszahl der Kältemaschine konnte von 3,4 auf 4,8 gesteigert werden.

Die spezifische Gesamtwärmeerzeugung (mit Verlusten und Brauchwarmwasser) der Pelletkessel lag bei 19,3 kWh/(m²a), der klimabereinigte Heizwärmeverbrauch entsprach 18,0 kWh/(m²a), der Gesamtstromverbrauch lag bei 26,3 kWh/(m²a), jeweils bezogen auf die beheizte Energienutzfläche.

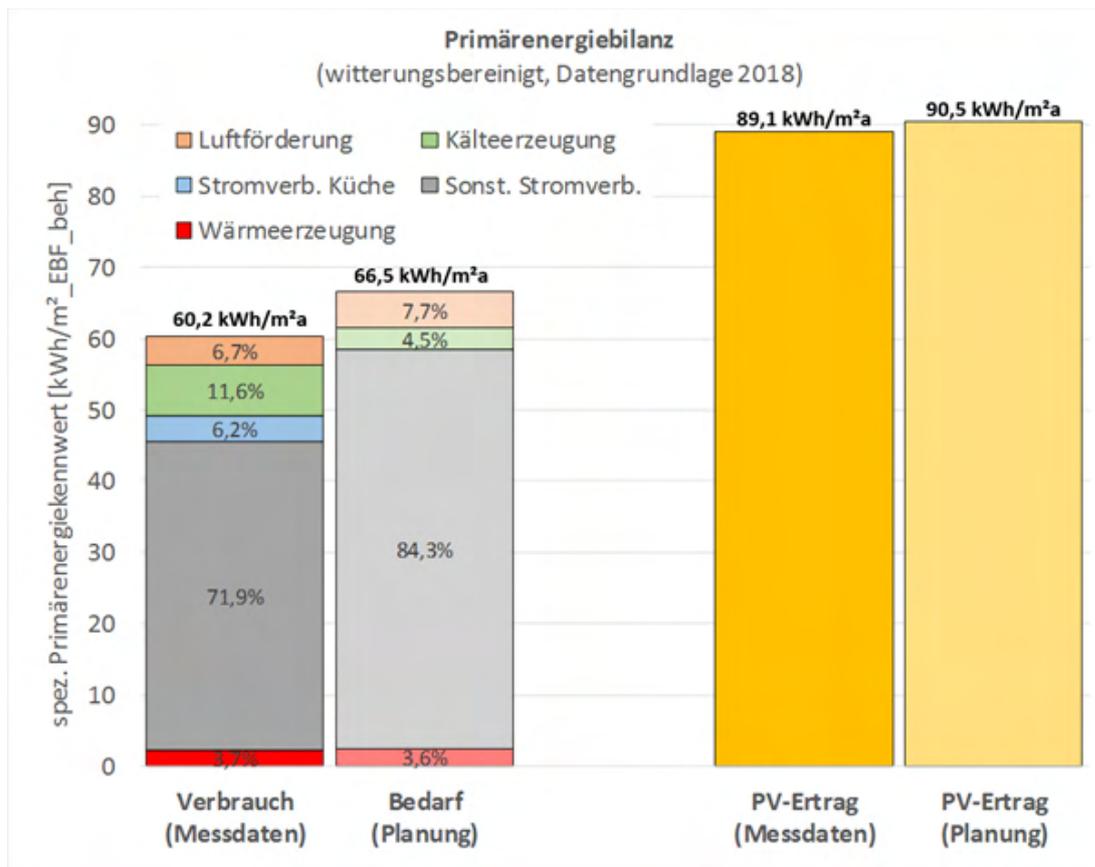


Abbildung 9: Primärenergiebilanz Schmuttertal-Gymnasium Diedorf. Monitoringergebnisse und Planzahlen im Vergleich (witterungsbereinigt, Datengrundlage 2018).

In der Primärenergiebilanz ist zu sehen, dass die Energieumsätze zur Wärme- und Kältebereitstellung nur einen kleinen Teil des Gesamtenergieumsatzes ausmachen (15,3 %). Der Primärenergieverbrauch liegt mit 60,2 kWh/(m²a) deutlich unter dem Wert der Stromerzeugung mit 89,1 kWh/(m²a). Damit wurde das energetische Ziel des bilanziellen Plusenergiestandards deutlich erreicht.

4 Literatur & Referenzen

- [Kirschbaum et al. 2018] A. Kirschbaum, J. M. Kuckelkorn, Monitoring und Betriebsoptimierung eines Passivhaus-Schulneubaus, 22. Internationale Passivhaustagung 2018, München, Germany, 09.-10.03.2018, p. 107
- [Kuckelkorn et al. 2015] J. M. Kuckelkorn, A. Kirschbaum, F. Volz, M. Biank, Neubau der Fach- und Berufsoberschule in Erding: Nachhaltiges Passivhaus mit extrem niedrigem Gesamt-Primärenergiebedarf: 3. Abschlussbericht, Dokumentation der Monitoringphase, DBU, Osnabrück, Az. 26170/02, Az. 26170/03, 2015
- [Kuckelkorn et al. 2018] J. M. Kuckelkorn, A. Kirschbaum, A. Robrecht, Qualitätssicherung und Monitoring bei Neubauten und Sanierungen, DBU-Fachinfo Nr. 5, Osnabrück, 08/2018, p. 11
- [Robrecht et al. 2019] A. Robrecht, J. M. Kuckelkorn et al., Umfassendes Monitoring und Qualitätssicherung des Holzbau-Demonstrationsvorhabens ‚Gymnasium Diedorf‘ einschließlich Betriebsoptimierung, Dokumentation und Ergebnisverbreitung, Abschlussbericht zur 3. Förderphase, DBU, Osnabrück, Az. 29892/03, 2019
- [Robrecht 2019] A. Robrecht, Klassenziel erreicht – Monitoring und Qualitätssicherung Plusenergieschule Diedorf, Gebäude Energieberater 02/2019, Stuttgart, 02/2019, p. 12-16
- [Robrecht et al. 2018] A. Robrecht, J. M. Kuckelkorn, Monitoring und Betriebsoptimierung der Plusenergieschule Schmuttertal-Gymnasium Diedorf, 22. Internationale Passivhaustagung 2018, München, Germany, 09.-10.03.2018

Oliver Kah, Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Nichtwohngebäude mit hohen Kühllasten

1 Einleitung

Nichtwohngebäude mit intensiver Nutzung können auch in unseren Breiten einen erheblichen Kühlbedarf aufweisen. Dabei spielt neben den solaren Lasten häufig auch die Ausstattung eine relevante Rolle.

In diesem Beitrag soll der Einfluss der Ausstattung speziell bei Gebäuden mit hohen Kühllasten behandelt werden. Zu diesen Gebäudenutzungen zählen beispielweise:

- Büros mit hochtechnisierter Nutzung
- Laborgebäude
- Kantinen/Restaurants
- Krankenhäuser
- Küchen
- Serverräume
- Verkaufsstätten, Einkaufszentren

Dabei besteht oftmals bereits durch die Auswahl einer energieeffizienten Ausstattung und Beleuchtung ein maßgeblicher Einfluss auf den resultierenden Kühlenergiebedarf. Des Weiteren sind energetisch vorteilhafte Kühlsysteme (wie z. B. die Bauteilaktivierung) oftmals erst anwendbar, wenn bestimmte Kühllasten unterschritten werden. Dass sich ein Blick auf Geräte und Ausstattung in Gebäuden mit Kühlbedarf lohnt, soll im folgenden Beitrag behandelt werden.

Mit Kühllast wird der Wärmestrom bezeichnet, der in einer Zone abgeführt werden muss, um die gewünschte Raumlufttemperatur zu erreichen oder zu halten. Die Kühllast wird hierbei durch die „äußeren Lasten“, wie z. B. die solare Einstrahlung und Transmissionswärmeströme (bei hohen Außentemperaturen) sowie durch die „internen Lasten“ hervorgerufen. Unter internen Lasten wird der Wärmeeintrag im Raum durch Personenabwärme und Geräte sowie Beleuchtung verstanden.

2 Beispiel Krankenhaus

In Bezug auf den Strombedarf gehören Krankenhäusern zu den Spitzenverbrauchern unter den Nichtwohngebäuden. Der durchschnittliche Stromverbrauch eines Krankenhauses (der Maximalversorgung, alle Versorgungsleistungen werden angeboten) liegt mit etwa 120 kWh/(m²a) rund 3 bis 4 Mal höher als im Wohnbau (vgl. z. B. [Tippkötter et al 2009]).

Dies hat verschiedenste Ursachen, u. a.:

- Technische Ausstattung mit Vielzahl an medizinischen Geräten wie z. B. bildgebende Verfahren: Ultraschallgeräte, Röntgensysteme, Computertomographie, Magnetresonanztomographie, etc.
- häufige Nutzung des Kunstlichtes (24-Stunden-Betrieb)
- umfassende Ausstattung mit EDV bzw. viele Nutzungsstunden

2.1 Untersuchungs- und Behandlungsräume: Interne Wärmeeinträge

Im Krankenhaus gibt es verschiedene Bereiche mit erhöhten internen Lasten. Hier soll ein Untersuchungs- und Behandlungsraum betrachtet werden. Es werden die folgenden Nutzungsparameter angenommen:

Tabelle 1: Nutzungsparameter

Grundfläche des Untersuchungsraum 19 m ² / Belegung mit 2 Personen
Nutzungszeit: 7:00 bis 17:00, Anwesenheit 80 %
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil: 45 %

Zur Ermittlung der Kühllast und zur Berechnung des Kühlbedarfs müssen neben den externen Lasten (hier vor allem die solaren Einträge) auch die internen Lasten in dem betrachteten Raum ermittelt werden. Die internen Wärmeeinträge setzen sich hierbei aus verschiedenen Beiträgen zusammen. Abbildung 1 gibt einen Überblick zu den internen Wärmeeinträgen im betrachteten Beispielraum. Im Einzelnen sind dies:

- Interne Wärmebeiträge durch Personen: Die Wärmeabgabe wird durch die Anzahl, die Aktivität, die Bekleidung sowie die Aufenthaltsdauer der Personen bestimmt. Angaben zur Wärmeabgaben sind z. B. in [DIN EN ISO 7730], [DIN SPEC 15240], [VDI 2078] tabelliert. Während der Nutzungszeit wird die Anwesenheit von zwei Personen angenommen (Aktivität 1,2 met, Bekleidung 0,7 clo).

- **Interne Wärmeabgabe durch die Beleuchtung:**
Aufgrund der technischen Entwicklungen im Bereich der Leuchtmittel, können die erforderlichen Beleuchtungsstärken mit immer geringerem Energieeinsatz bereitgestellt werden. Entscheidend für eine niedrige elektrische Leistungsaufnahme und in der Folge auch eine geringe Wärmeabgabe sind die folgenden Aspekte: hoher Leuchtenwirkungsgrad, helle Raumgestaltung, effiziente Leuchtmittel, arbeitsplatzbezogenes Beleuchtungskonzept und ein bedarfsabhängiger Betrieb der Beleuchtung. Die elektrische Leistungsaufnahme eines konkreten Beleuchtungskonzepts kann vom Elektroplaner mit spezieller Planungssoftware ermittelt werden. Angaben zur Wärmeabgabe der Beleuchtung in Richtlinien und der Literatur basieren häufig noch auf älterer, weniger effizienter Beleuchtung. In der Praxis sind Beleuchtungsanlagen mit einer installierten Leistung von 2 W/m^2 je 100 lux und weniger realisierbar. In dem Untersuchungsraum wird von einer erforderlichen Beleuchtungsstärke von 500 lx ausgegangen. Zunächst wird angenommen, dass die Beleuchtung etwa 25 % effizienter als die Referenzanlage gemäß [GEG] ausgeführt wird.
- **Interne Wärmeabgabe durch Arbeitshilfen:**
Auch im Bereich der elektronischen Arbeitsmittel hat eine rasante Entwicklung in den letzten Jahrzehnten stattgefunden. Der Stromverbrauch von Arbeitsplatzrechnern oder Monitoren konnte hierdurch erheblich reduziert werden. Die Wärmeabgabe der elektronischen Arbeitshilfen konnte jedoch nicht in gleichem Umfang reduziert werden, da gleichzeitig der Umfang der Ausstattung zunahm (z. B. zweiter Monitor). Verschiedene Datenbanken geben einen guten Überblick zur elektrischen Leistungsaufnahme dieser Geräte und unterstützen bei der Auswahl von sparsamen Geräten. Hier wird eine Leistungsaufnahme für Arbeitsplatzrechner und Monitor von 100 W angenommen (vgl. [DIN SPEC 15240], [VDI 2078]).
- **Medizinische Ausstattung – Untersuchungsleuchte:**
Untersuchungsleuchten werden für die betrachtete Nutzung benötigt. Die Entwicklung bei der LED-Technologie wirkt sich auch hier positiv aus. Angaben zur Leistungsaufnahme können Datenblättern entnommen werden. Verwendet wurde hier ein üblicher Planungsansatz.
- **Medizinische Ausstattung – Ultraschallgerät:**
In Untersuchungsräumen sind häufig auch medizinische Geräte zur Untersuchung der Patientinnen und Patienten vorhanden. Im betrachteten Beispiel wird ein oft verwendetes medizinisches Gerät – ein Ultraschallgerät vorgesehen. Die Datenblätter von medizinischen Geräten enthalten in der Regel lediglich Angaben zur Anschlussleistung. Verwendet wurde hier ein vorliegender Planungsansatz zur Wärmeabgabe.

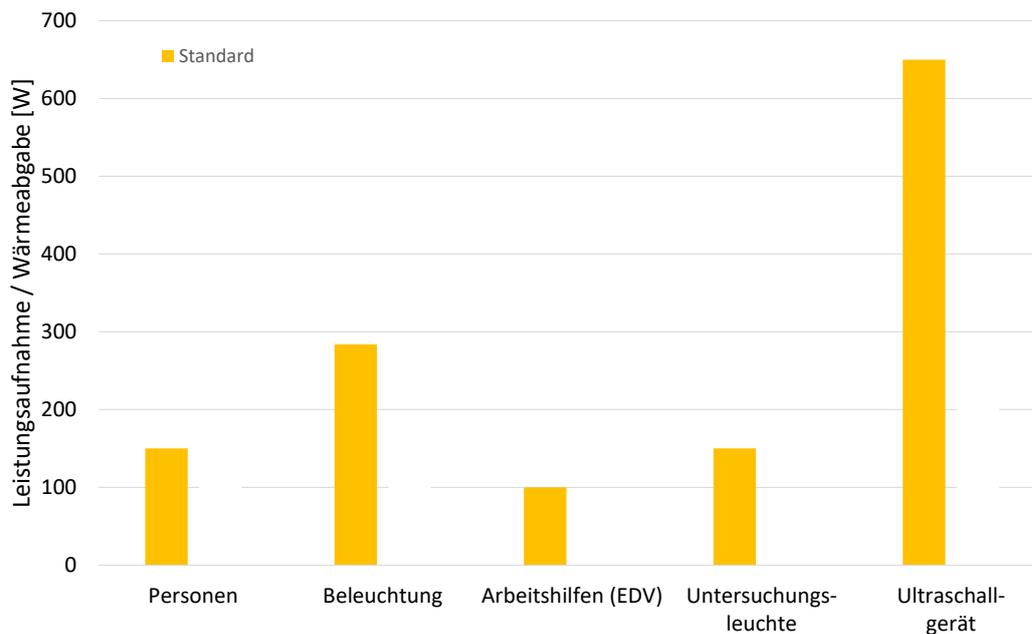


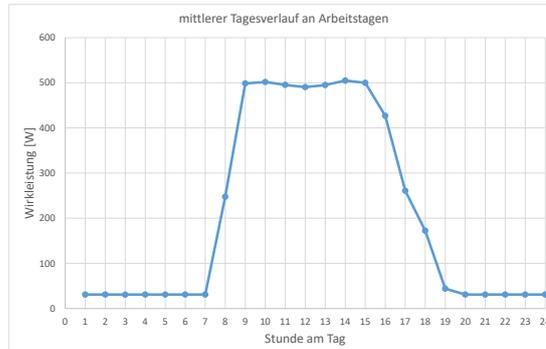
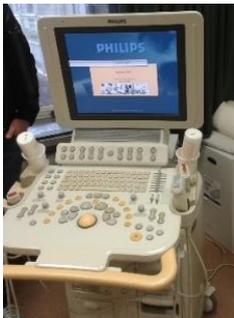
Abbildung 1: Interne Wärmeabgabe im betrachteten Untersuchungs- und Behandlungsraum

Zu medizinischen Geräten liegen meist lediglich Angaben zur Anschlussleistung vor. Dies sind jedoch Maximalwerte der Leistungsaufnahme und somit der Wärmeabgabe (bei Geräten, die keine mechanische Arbeit verrichten, wird die eingesetzte Energie letztlich in Wärme umgewandelt). Es ist zu erwarten, dass die tatsächliche Wärmeabgabe der Geräte mit Angaben zur Anschlussleistung deutlich überschätzt wird. Um dies zu klären, wurden Messungen vom Passivhaus Institut an verschiedenen Geräten im Krankenhausbetrieb durchgeführt. Aus den Messungen konnten „Reduktionsfaktoren“ (auch als „Belastungsfaktoren“ bezeichnet) bzgl. der Nennleistung ermittelt werden, welche das Verhältnis von durchschnittlicher Leistungsaufnahme und Nennleistung darstellt.

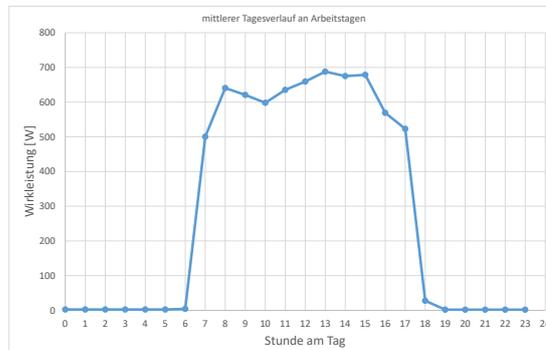
Tabelle 2 stellt die Ergebnisse von drei Ultraschallgeräten vor. Während der Nutzungszeiten der betrachteten Räume ergaben sich Faktoren zwischen 40 und 60 %. Gegenüber der Nennleistung wäre demnach die Wärmeabgabe 60 bis 40 % geringer. Wie die Messungen weiterhin zeigten, wurde ein Gerät am Abend nicht ausgeschaltet (dritte Gerät in Tabelle).

Tabelle 2: Ermittelte Tagesprofile der elektrischen Leistungsaufnahme der vermessenen Ultraschallgeräte im praktischen Betrieb. Die ermittelten Gleichzeitigkeitsfaktoren geben das Verhältnis von mittlerer Leistungsaufnahme im Zeitintervall zur Nennleistung an.

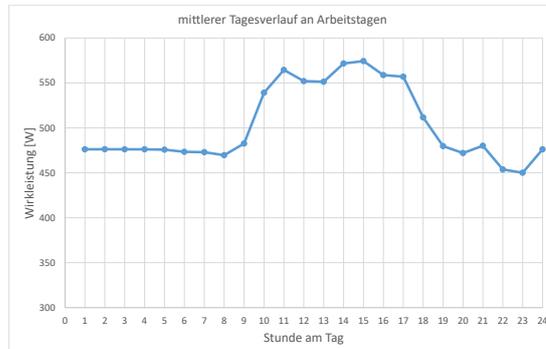
Anmerkung: bei den untersuchten Geräten handelte es sich um Bestandsgeräte. Die Messungen wurden über mehrere Wochen vom Passivhaus Institut durchgeführt.



Nennleistung: 1.150 W
 (Belastungs-)Faktor:
 mittl. Leistung / Nennleistung
 - Werktag (24h): 18%
 - Werktag (8 bis 17h): 40%



Nennleistung: 1.010 W
 (Belastungs-)Faktor:
 mittl. Leistung / Nennleistung
 - Werktag (24h): 28%
 - Werktag (8 bis 17h): 62%



Nennleistung: 1.200 W
 (Belastungs-)Faktor:
 mittl. Leistung / Nennleistung
 - Werktag (24h): 42%
 - Werktag (8 bis 17h): 46%

Daneben konnten noch Messungen an weiteren Geräten durchgeführt werden. Besonders bedeutend war hierbei der Reduktionsfaktor bei einem Inkubator (einem Wärmebett auf der Neugeborenen-Station). Die durchschnittliche Leistungsaufnahme lag bei 140 W und damit deutlich unter der Nennleistungsaufnahme von ca. 1,5 kW. Diese wird vermutlich lediglich für kurzzeitige Aufheizvorgänge gebraucht und zeigt, dass die Angabe der Nennleistung auf massive Überbewertung von Wärmeeinträgen einzelner Geräte führen kann. Aus Mangel an geeigneten Daten wird dennoch häufig zur Abschätzung der Wärmeabgabe die Anschlussleistung der vorgesehenen Geräte verwendet.

Die Leistungsmessungen wurden an Bestandsgeräten durchgeführt. Da die Fortschritte in der Halbleitertechnik auch bei medizinischen Geräten Anwendung finden, sind bei modernen Ultraschallgeräten nochmals geringere Leistungsaufnahmen zu erwarten. Wie zuvor erläutert, fehlen jedoch geeignete Angaben in den Datenblättern. Energielabel sind bei Medizinprodukten ebenfalls noch nicht etabliert. Eine Chance bieten freiwillige „Umweltprodukterklärungen“, welche zu Nachhaltigkeitsaspekten informieren und von einzelnen Herstellern veröffentlicht werden (vgl. Tabelle 3). Mit diesen Angaben könnte im Rahmen der Neubeschaffung von medizinischen Geräten auch die Energieeffizienz als Kriterium verwendet werden.

Tabelle 3: Angaben aus einer Umweltprodukterklärung zu verschiedenen Ultraschallgeräten eines Herstellers. Die Erklärungen stellen detaillierte Informationen bereit und könnten als weiteres Kriterium im Rahmen von Neuanschaffungen berücksichtigt werden. (Datenquelle: Siemens Healthcare AG)

Ultraschallgerät	„high end“	„Allrounder“	„portable“
Leistungsaufnahme ausgeschaltet	13,4 W	39 W	0
Leistungsaufnahme eingeschaltet / Scan	360 – 380 W	242 – 281 W	93 – 99W
Leistungsaufnahme Standby	13,4 W	119 W	0
Einschaltzeit	2:30 min	2:04 min	0:30 min
Ausschaltzeit	0:20 min	0:47 min	0:27 min

In einer zweiten Variante soll nun nochmals der Untersuchungs- und Behandlungsraum unter Berücksichtigung von energieeffizienten Geräten und Systemen betrachtet werden. Neben dem Ultraschallgerät soll auch die weitere Ausstattung hinsichtlich energiesparender Geräte- und Lösungen optimiert werden:

- Interne Wärmebeiträge durch Personen:
Die Nutzung bleibt unverändert, während den Behandlungszeiten sind 2 Personen im Raum anwesend.
- Interne Wärmeabgabe durch Beleuchtung:
Die zuvor angenommene Allgemeinbeleuchtung mit 500 lx Beleuchtungsstärke wird durch ein arbeitsplatzorientiertes Beleuchtungskonzept ersetzt. Hierbei

wird vorrangig das Umfeld des Arbeitsplatzes beleuchtet. Angenommen werden die Werte aus einer umgesetzten Beleuchtungsplanung. Gegenüber dem ursprünglichen Ansatz wird die Leistungsaufnahme um über 60 % verringert.

- **Interne Wärmeabgabe durch Arbeitshilfen:**
Im Bereich der Arbeitshilfen sind die Leistungsaufnahmen der elektronischen Geräte erheblich gesunken. Weitere Potentiale bieten spezielle Lösungsansätze, welche die eigentliche Rechnerleistung in zentralen Servern bereitstellen, sogenannte „Thin-Clients“. Am Arbeitsplatz sind dann lediglich Eingabegeräte und Monitore erforderlich. In der zweiten Varianten wird angenommen, dass der Arbeitsplatzrechner durch ein Laptop oder „Thin-Client“ ersetzt wird (Reduktion der mittleren Leistungsaufnahme gegen über der ursprünglichen Ausstattung 50 %).
- **Medizinische Ausstattung – Untersuchungsleuchte:**
Moderne Untersuchungsleuchten mit LED-Technik haben nur noch geringe elektr. Leistungsaufnahmen. Gegenüber der ursprünglichen Annahme (einem üblichen Planungsansatz) kann die Leistungsaufnahme bzw. die Wärmeabgabe massiv reduziert werden (hier um 90 %).
- **Medizinische Ausstattung – Ultraschallgerät:**
Es wird angenommen, dass ein modernes, effizientes Gerät vergleichbar dem „Allround“-Gerät aus Tabelle 3 verwendet wird. Gegenüber der ursprünglichen Annahme (einem üblichen Planungsansatz) sinkt die durchschnittliche Leistungsaufnahme bzw. Wärmeabgabe um über 60 %.

Im ersten Ansatz beträgt die Tagessumme der internen Wärmeeinträge rund 510 Wh/(m²d). Durch eine optimierte Planung und Wahl einer energieeffizienten Ausstattung sind erhebliche Reduzierungen der Wärmeeinträge möglich (vgl. Abbildung 2). Mit effizienter Ausstattung beträgt die Tagessumme der Wärmeeinträge nur noch 215 Wh/(m²d)¹.

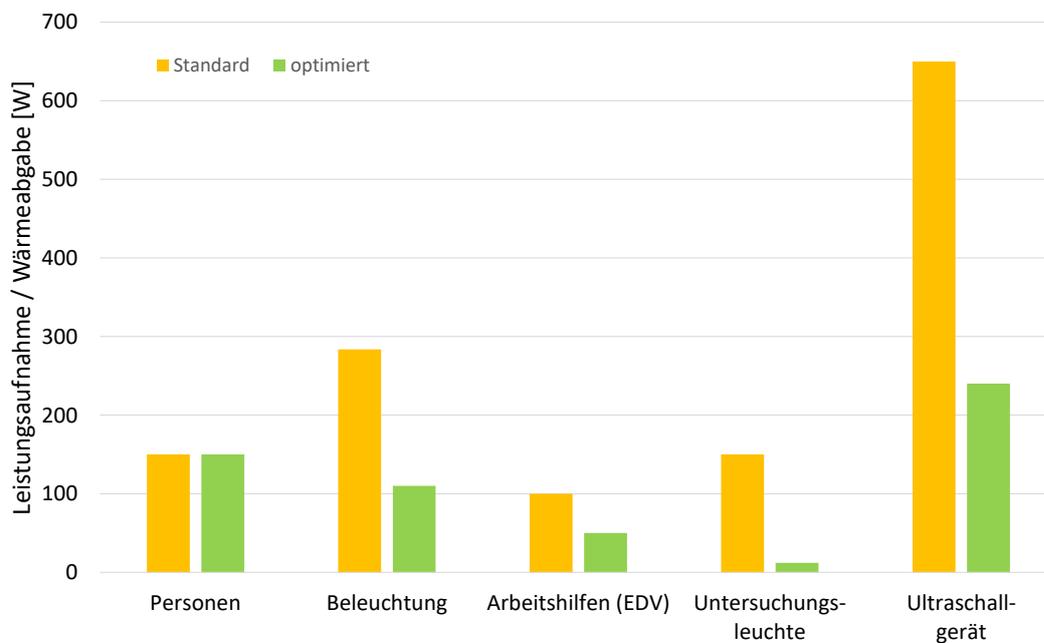


Abbildung 2: Interne Wärmeabgabe im betrachteten Untersuchungs- und Behandlungsraum mit einer zusätzlichen Variante (optimiert) mit Annahmen von energieeffizienten Geräten/Beleuchtung.

¹ Die Systeme, die hier zugrunde gelegt wurden, sind alle bereits heute am Markt erhältlich – diese Angabe ist also nicht etwa eine “Untergrenze” oder ein theoretisches Potential. Weitere technische Fortschritte sind in Zukunft nicht ausgeschlossen, der Wert für die interne Wärme kann durchaus noch weiter reduziert werden. Technologische Ansätze dafür sind bereits heute vorhanden (z.B. Monitore mit „electronic ink“).

2.2 Untersuchungs- und Behandlungsraum: Kühlenergiebedarf und Kühlleistung

Am Beispiel soll ferner untersucht werden, welchen Einfluss die internen Wärmeeinträge auf den zukünftigen Kühlbedarf und die maximal erforderliche Kühlleistung haben. Hierfür wird angenommen, dass das Gebäude, indem sich der Raum befindet, weitgehend bzgl. des sommerlichen Wärmeschutzes optimiert ist (vgl. Tabelle 4).

Das Verhalten des Raumes wird mit Hilfe einer dynamischen Gebäudesimulation ermittelt. Für die Betrachtung wird der „Extremsummer“ einer Zukunftsklimaprognose (2035) verwendet. Damit wird der Empfehlung des DWD gefolgt, dass zur Auslegung der technischen Anlagen jeweils das Extremklima der betrachteten Klimaregion verwendet werden sollte. (Hier soll noch darauf hingewiesen werden, dass die dynamischen Gebäudesimulation mit den genannten Klimadatensätzen durchgeführt werden und nicht dem Vorgehen nach VDI 2078 folgen).

Tabelle 4: Annahmen

Grundfläche des Untersuchungsraum 19 m ² / Belegung mit 2 Personen
Nutzungszeit: 7:00 bis 17:00, Anwesenheit 80 %
Außenluftstrom während Nutzungszeit 80 m ³ /h
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil 50 % / Orientierung nach Süden
Temperatur-Sollwert (Kühlung): 25 °C
Sommerlicher Wärmeschutz ist weitgehend optimiert:
<ul style="list-style-type: none"> ○ Sonnenschutz außen (Lamelle mit 3-Scheiben-WSV, F_c ca. 0,18) ○ Nachtlüftung (Außenluftstrom in Untersuchungsraum 160 m³/h) ○ massive Bauweise

Die Ergebnisse der Simulation zeigt Abbildung 3. Die Berücksichtigung einer effizienten Ausstattung des Raumes wirkt sich demnach maßgeblich auch auf den Kühlbedarf und die max. Kühlleistungen im Untersuchungsraum aus. Der Kühlbedarf verringert sich durch die effizientere Ausstattung um 70 % und die Reduktion der max. erforderlichen Kühlleistungen liegt bei gut 40 %.

Um den Einfluss der sich abzeichnende Klimaänderung abzubilden, werden zusätzliche Simulationsläufe mit dem Testreferenzjahr von 2003 (TRY 2003) durchgeführt (vgl. Abbildung 4). Wie zu erwarten, liegt der Kühlbedarf mit dem Zukunftsklima (2035) höher als bei Verwendung des Testreferenzjahres von 2003 (Klimaperiode von 1960 bis 1990). Die Anzahl der warmen Perioden im Sommer nimmt zu. Die max. erforderlichen Kühlleistungen hingegen bleiben nahezu unverändert.

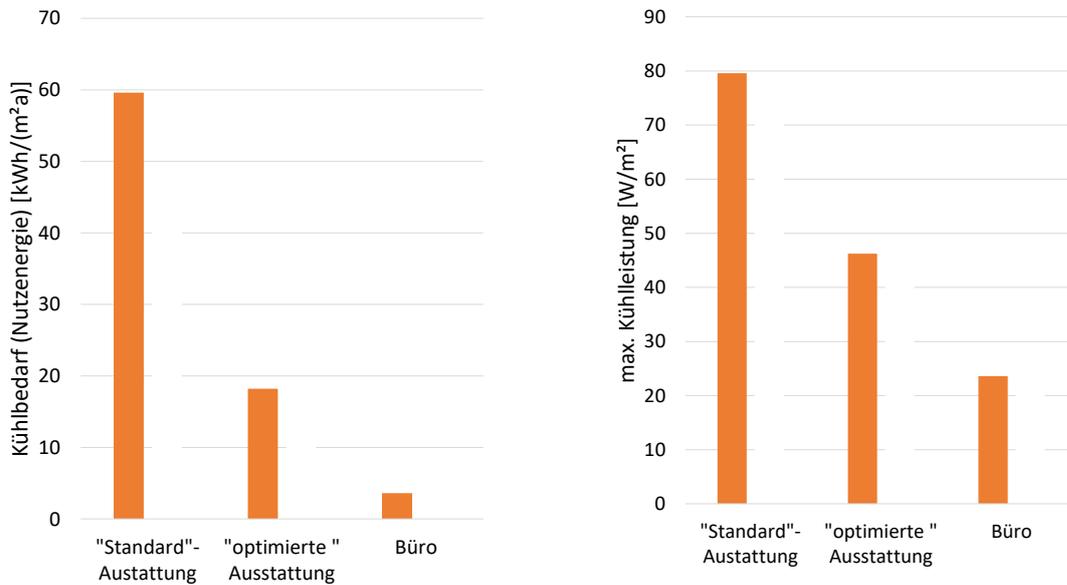


Abbildung 3: Berechneter Kühlbedarf (links) und max. erforderliche Kühlleistung (rechts) im betrachteten Untersuchungsraum für eine Klimaprojektion der betrachteten Region 12. (Randbedingungen: Nutzung – Untersuchungsraum, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise), Klimadaten für Klimaprojektion für 2035 (Region 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim / Extremsommer))

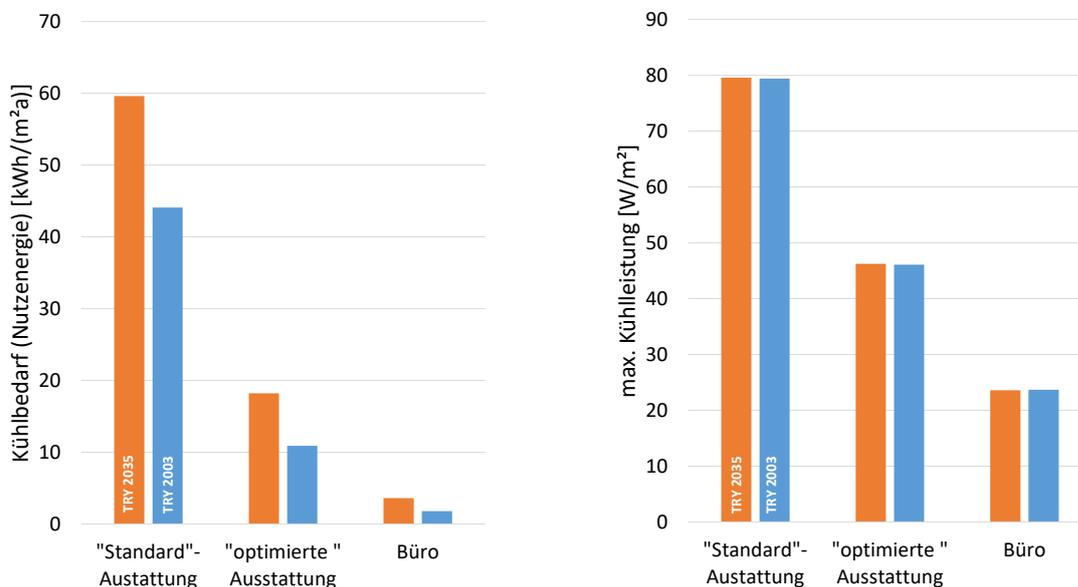


Abbildung 4: Berechneter Kühlbedarf (links) und max. erforderliche Kühlleistung (rechts) im betrachteten Untersuchungsraum für eine Klimaprojektion (TRY 2035) und die Klimaperiode 1960 bis 1990 (TRY 2003) der betrachteten Region 12. (Randbedingungen: Nutzung – Untersuchungsraum, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nachtlüftung, massive Bauweise), Klimadaten für Klimaprojektion für 2035 (TRY 2035) / Klimadaten der Klimaperiode 1960 bis 1990 (TRY 2003), Region 12 (Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim / Extremsommer))

Die adiabate Kühlung in Lüftungsanlagen nutzt die Verdunstungskälte beim Verdunsten von Wasser zur Kühlung der Außenluft. Von Vorteil bei diesem Verfahren ist, dass lediglich Hilfsenergie für die Wasserpumpe zur Kühlung aufgewendet werden muss. Die indirekte Verdunstungskühlung oder auch adiabate Kühlung wird inzwischen bei vielen Herstellern von RLT-Geräten als reguläres Zubehör angeboten, dabei wird Wasser im Abluft-/ Fortluftstrang eingesprüht und verdunstet. Durch den Betrieb mit Wärmerückgewinnung kühlt die Abluft im nächsten Schritt die Außenluft ab (vgl. Abbildung 5, links). Selbst bei hohen Außentemperaturen können Zulufttemperaturen deutlich unter der Ablufttemperatur erzielt werden. In einer weiteren Variante wurde der Einfluss eines RLT-Geräts mit indirekter Verdunstungskühlung für den betrachteten Behandlungsraum untersucht (vgl. Abbildung 5, rechts). Die Technologie ist vor allem an heißen Tagen wirksam. Die max. erforderlichen Kühlleistungen können hierdurch nennenswert reduziert werden (um 30 % für die Variante mit effizienter Ausstattung).

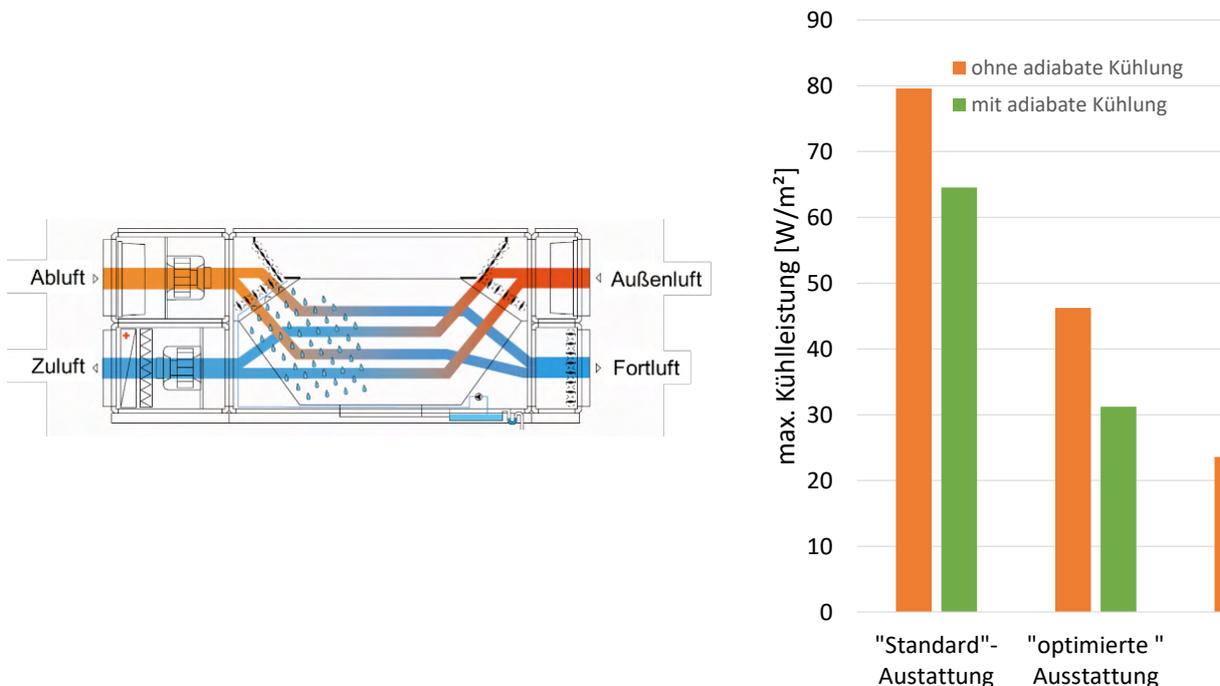


Abbildung 5: Beispiel der indirekten Verdunstungskühlung mit Hilfe einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (links). Max. erforderliche Kühlleistung (rechts) im betrachteten Untersuchungsraum für eine Klimaprojektion (TRY 2035). (Foto links: Menerga)

Wenn die erforderlichen Kühlleistungen konsequent reduziert werden, ist sogar ein Wechsel beim Kühlsystem denkbar. Im betrachteten Beispiel könnte eine effizientere Ausstattung verwendet werden, zudem besteht die Möglichkeiten durch eine indirekte Verdunstungskühlung die Kühllasten nochmals zu verringern. In einer weiteren Variante soll daher eine Betonkerntemperierung (BKT) zur Kühlung des Raums untersucht werden. Eine BKT ist zur Abführung von eher moderaten Kühllasten geeignet und ist

ferner durch die Einbettung in die Stahlbetonkonstruktion durch ein träges Regelungsverhalten gekennzeichnet.

Abbildung 6 zeigt die Temperaturverläufe während einer heißen Woche im betrachteten Untersuchungsraum. Mit der effizienteren Ausstattung nimmt der Temperaturanstieg über den Tag ab und die Überschreitung der empfohlenen Grenztemperatur von 25 °C (Überschreitungshäufigkeit $h_{25\text{ °C}}$) kann auf ein vertretbares Maß reduziert werden. Wird ferner die Lüftungsanlage mit einer adiabaten Kühlung betrieben, kann der sommerliche Komfort während dieser heißen Woche nochmals verbessert werden. Durch eine „effiziente“ Ausstattung und eine adiabate Kühlung über die Lüftungsanlage würde im betrachteten Fall auch der Einsatz einer Betonkerntemperierung möglich.

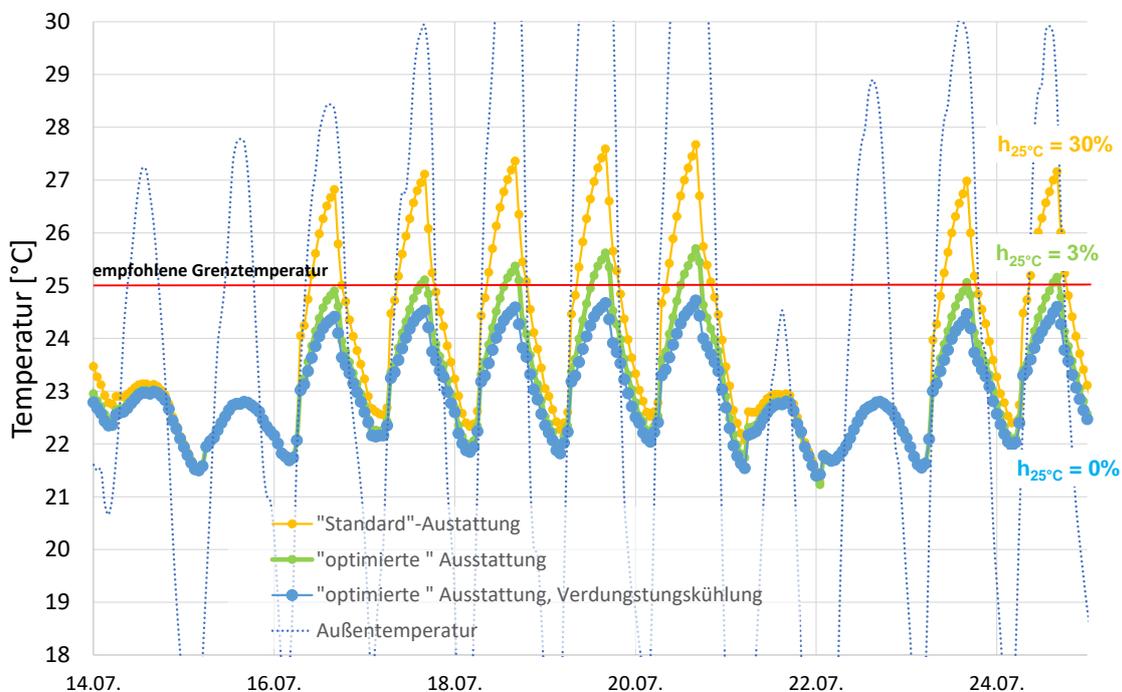


Abbildung 6: Berechnete Innentemperatur im betrachteten Untersuchungsraum während einer heißen Woche. Die Kühlung erfolgt in diesem Fall mit einer Betonkerntemperierung mit begrenzter Leistung für verschieden effiziente Ausstattungen des Raums sowie einer zusätzlichen indirekten Verdunstungskühlung über das Lüftungssystem (adiabate Kühlung). (Randbedingungen: Nutzung – Untersuchungsraum, optimierter sommerlicher Wärmeschutz (Sonnenschutz außen, Nacht-lüftung, massive Bauweise), Klimadaten für Klimaprojektion für 2035 (Region 12, Oberrheingraben, unteres Neckartal, Mannheim / Extremsommer))

2.3 Untersuchungs- und Behandlungsraum: Energiebedarf für Ausstattung und Beleuchtung sowie Kühlung

Wie bereits gezeigt wurde, profitiert man in Bereichen mit hoher Technisierung von einer besonders energieeffiziente Ausstattung und Beleuchtung gleich in zweifacher Hinsicht: zum einen verbrauchen effiziente Geräte und Beleuchtung im gesamten Jahr weniger Energie und gleichzeitig verringert sich aufgrund der reduzierten internen Wärmeeinträge im Sommer der Kühlbedarf. Abbildung 7 zeigt die Verhältnisse für den betrachteten Untersuchungsraum. Durch die Optimierung der Ausstattung im Untersuchungsraum kann der Endenergiebedarf (Strom) für Geräte, Beleuchtung und Kühlung um rund 70 % reduziert werden.

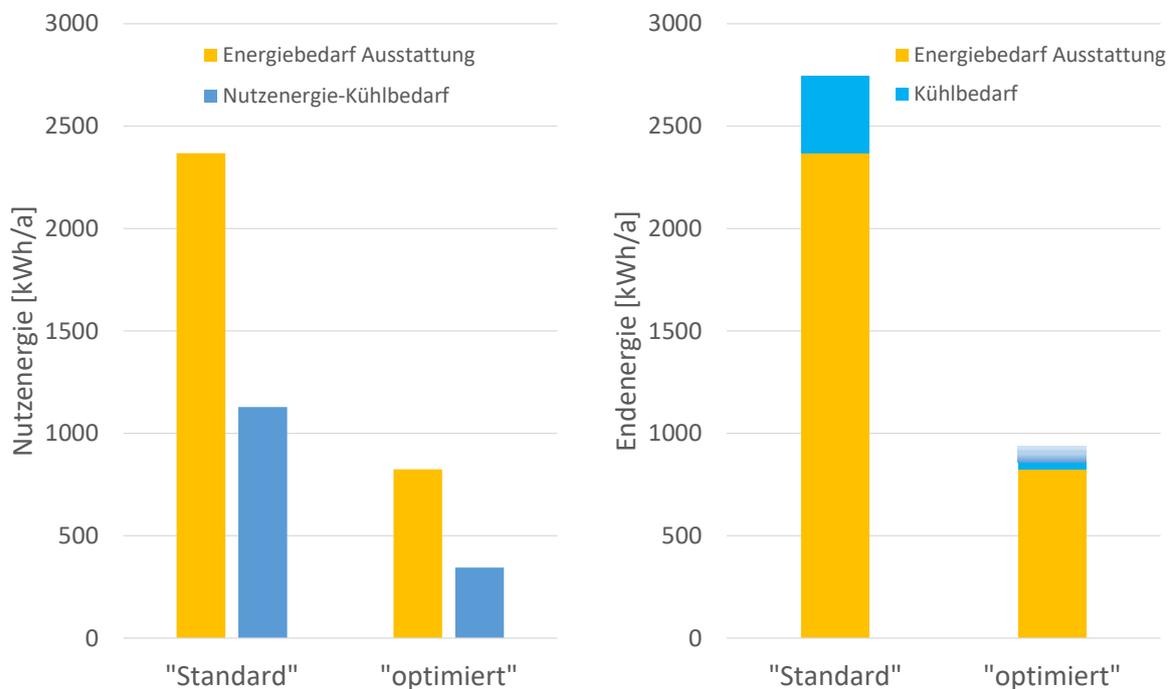


Abbildung 7: Energiebedarf für Ausstattung und Geräte sowie der resultierende Kühlbedarf des betrachteten Untersuchungsraums. Links ist der Nutzenergiebedarf und rechts der Endenergiebedarf der Geräte zzgl. des Energiebedarfs der Kühlung (hier Strom) dargestellt. (Randbedingung: Nutzungsstunden 2.500 h/a, Arbeitszahl der Kältebereitstellung 3 (Zur Ermittlung des Endenergiebedarfs)).

3 Weitere Nutzungen mit hohen internen Lasten

3.1 Gewerbeküchen

Gewerbliche Küchen zählen ebenfalls zu den energieintensiven Gebäudenutzungen. Die typischen Anwendungen wie Kochen, Braten und Backen, ebenso wie das Geschirrspülen und die Lebensmittel-Kühlung, sind einerseits mit hohem Energieeinsatz verbunden und erzeugen andererseits hohe interne Wärme- und Feuchtelasten, welche auch abgeführt werden müssen. Energieeffiziente Küchentechnik hat daher gleich mehrfach Vorteile, sie spart Energie und verringert in der Regel die abzuführenden Lasten.

Wesentliche Empfehlungen an dieser Stelle in Kürze:

- Geschlossene Gargeräte wie z. B. Kombidämpfer bevorzugen. Beispielsweise ermöglichen diese dämpfen, braten und backen im abgeschlossenen Garraum und sind mit hochwertiger Dämmung des Gehäuses (einige Geräte sind bereits mit Dreischeiben-Verglasungen) ausgestattet. Weitere Vorteile erschließen sich z. B. durch die Kondensation des Wrasen im Gerät (Energieeinsparung und zusätzlich geringe Feuchtelasten).
- Grillplatten mit verchromter Oberfläche und ggf. zusätzlich Abdeckungen zu verwenden, verringert die Wärmeabstrahlung des Grills.
- Fritteusen bei Nichtnutzung abdecken
- Gewerbespülmaschine: eine Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser und Wärmerückgewinnung aus der Abluft senken den Energieverbrauch und verringern zugleich – insbesondere die Kondensation des Wrasens – die Raumluftbelastung.

Weiterführende Empfehlungen zu energieeffizienten Gewerbeküchen finden sich u. a. in [AkkP 47], [Kah et al. 2010].

3.2 Serverräume

Neben der EDV-Ausstattung am Arbeitsplatz besteht ein erheblicher Energiebedarf in der Serverstruktur. Um eine Überhitzung und Ausfälle von Servern zu vermeiden, werden Serverräume oft klimatisiert. Etwa 50 % des Energiebedarfs in Rechenzentren entfällt auf Kühlung, USVs und andere Infrastruktur-Komponenten (vgl. [Hintemann 2020]). Der energieeffizienten Ausstattung von Serverräumen ("Green IT") kommt daher seit Jahren eine zentrale Bedeutung zu.

Die Energieeffizienz von IT-Systemen wird stetig verbessert. Zu wesentlichen Maßnahmen zählen:

- Beschaffung energieeffizienter Hardware
- Virtualisierung von mehreren „Servern“ auf nur einer realen physischen Hardware (bessere Auslastung der Server). Stromeinsparungen von bis zu 80 % sind hierdurch belegt.
- Effizienzmaßnahmen bei der Datenspeicherung: Aufgrund des steigenden Datenvolumens nimmt auch der Strombedarf für die Datenspeicherung stetig zu. Maßnahmen zur Effizienzverbesserung betreffen die Datenhaltung (Deduplizierung), die Datenbereitstellung (z. B. bessere Ausnutzung der Speicherkapazitäten) und die Datenaufteilung (z. B. Verteilung auf verschiedenen schnelle Speichermedien).

Um eine Überhitzung und Ausfälle von Servern zu vermeiden, werden Serverräume klimatisiert. Aufgrund der hohen Leistungsdichten besteht z. T. erheblicher Kühlbedarf. Durch gezielte Maßnahme kann die Klimatisierung optimiert werden:

- Temperaturtoleranz der Server prüfen: Früher wurden Serverräume häufig auf geringe Temperaturen gekühlt, heute werden Temperaturen bis 27 °C empfohlen. Höhere zulässige Raumtemperaturen verringern den Kühlbedarf.
- Trennung von Warm- und Kaltluft durch Anordnung der Server in Kalt-/Warmgang in Rechenzentren: Damit wird die Vermischung von kühler Zuluft und abströmender warmer Luft vermieden.
- Anwendung von direkter bzw. indirekter Freikühlung: Hierbei wird das Kühlpotential der Außenluft entweder direkt (Außenluft wird durch Raum geführt) oder indirekt (das Kühlpotential der Außenluft wird mittels eines Wärmeübertragers auf ein Kühlmedium übertragen). Für kleinere Serverräume sind auch Lösungen zur freien Kühlung einzelner Serverracks verfügbar.

Der Kühlbedarf von kleineren Serverräumen kann zudem durch die räumliche Anordnung positiv beeinflusst werden (z. B. in Nordräumen oder im Untergeschoss). In Gebäude mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, sollten die Serverräume eine eigene Zuluft ohne Wärmerückgewinnung erhalten. Ggf. kann durch Öffnungsklappen in der Fassade mit geringem Aufwand auch freie Kühlung genutzt werden.

4 Nutzung der Potentiale der technischen Ausstattung

Der Einsatz einer energieeffizienten Ausstattung und Beleuchtung scheint eine vielversprechende Lösung zu sein, um den sommerlichen Komfort zu verbessern und, wenn es sich um klimatisierte Räume handelt, auch den Kühlbedarf zu senken. Doch zeigt die Planungspraxis, dass diese Potentiale häufig nur zum Teil genutzt werden.

4.1 Hemmnisse

Dies hat unterschiedliche Ursachen: Ein Hemmnis, welches der Berücksichtigung energieeffizienter Geräte/Systeme im Planungsprozess entgegensteht, besteht schlicht darin, dass Festlegungen bzgl. der Ausstattung mit technischen Geräten häufig erst spät im gesamten Bauprozess erfolgen. Sollen besonders effiziente Geräte in der späteren Nutzung eingesetzt und in der Planung berücksichtigt werden, sind frühzeitige Abstimmungen zu diesen Produkten mit den jeweiligen Fachplanern, den späteren Nutzern oder der Beschaffungsstelle erforderlich. Dies ist durchaus möglich, muss jedoch entsprechend im Planungsprozess eingeplant und berücksichtigt werden.

Als Beispiel soll hier die Ausstattung von gewerblichen Küchen angeführt werden. Da der Küchenplaner häufig erst spät im Bauprozess dazukommt, werden die technischen Anlagen und hier insbesondere die Küchenlüftung für eher ungünstige Standardannahmen konzipiert. Vorteile durch besondere und effiziente Küchengeräte bleiben dann in der Regel unberücksichtigt.

Ein zusätzliches Hemmnis liegt darin, dass im Bereich der gewerblichen Geräte häufig geeignete Kennzeichnungen fehlen. Im Unterschied zu Haushaltsprodukten, die innerhalb der EU durch ein Energielabel gekennzeichnet sein müssen, wie z. B. Kochgeräte, Geschirrspülmaschinen oder Waschmaschinen, besteht diese Kennzeichnungspflicht bei den entsprechenden professionellen Geräten (z. B. für Kochgeräte und Geschirrspülmaschinen in gewerblichen Küchen) nicht. Es ist daher im Bereich der gewerblichen Geräte häufig schwierig, effizientere Produkte überhaupt ausfindig zu machen und geeignet in Leistungsverzeichnissen oder für Beschaffungsstellen zu beschreiben.

Bei medizinischen Geräten erschweren zudem die langwierigen Zulassungsverfahren kurzfristige energetische Optimierung an diesen.

4.2 Ansätze, um Potentiale zu nutzen

Gleichwohl gibt es Ansätze, wie diese Potentiale genutzt werden können.

Intergrale Planung:

Frühzeitige Abstimmungen im Planungsprozess (z. B. zum IT-Konzept, Medizintechnik, Küchenplaner, etc.) bieten die Chance, Effizienz-Potentiale durch eine gezielte Auswahl der Geräte und Ausstattung zu ermöglichen. Die Vorteile der „Integralen Planung“ werden seit vielen Jahren diskutiert. Es wird Zeit, diese nun auch in der in der regulären Planungspraxis umzusetzen.

Energiekennzeichnung:

Die Kennzeichnung von gewerblichen Produkten schreitet voran, jedoch besteht augenscheinlich im Vergleich zu Haushaltsgeräten immer noch ein erheblicher Nachholbedarf im Bereich der gewerblichen/professionellen Geräte. Energieverbrauchskennzeichnungen gelten inzwischen für gewerbliche Kühlgeräte, Datenspeicherprodukte für Serverräume, kleine Server sowie Transformatoren ab 1 KVA. Eine Kennzeichnung für Aufzüge ist in Vorbereitung. Einen Überblick zur EU-Kennzeichnung gibt:

https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products_de

Neben dem EU-Label gibt es weitere Kennzeichnungen insbesondere zu IT-Produkten. Zu medizinischen Geräten veröffentlichen einzelne Hersteller detaillierte Umweltproduktdeklarationen. Außerdem informiert das BMI über Möglichkeiten der nachhaltigen Beschaffung (rechtliche Grundlagen, Handlungshilfen) unter:

<http://www.nachhaltige-beschaffung.info>

Vorgabe von Grenzwerten zu internen Wärmeeinträgen:

Häufig ist während der Planung die spätere Nutzung noch unklar. Z. B. wenn der spätere Nutzer noch unbekannt ist, die Räumlichkeiten vermietet werden oder die Ausstattung regelmäßig geändert wird (z. B. in Ausstellungsbereichen oder auf Verkaufsflächen). Mit den Nutzern können in diesem Fall Höchstwerte der internen Wärmeeinträge vereinbart werden. Finden höhere Wärmeeinträge statt (z. B. spezielle Ausstellungsleuchten), können vereinbarte Komfortbereiche nicht mehr garantiert werden. Beim Neubau eines Museums sahen sich die Verantwortlichen zur Festlegung von Höchstwerten gezwungen, da aktuelle Ausstellungskonzepte mit Multimedia-Technologien enorme Wärmemengen freisetzen können.

5 Literatur

- [AkkP 47] Arbeitskreis Protokollband 47: **Energieeffiziente Kantinen und Gewerbeküchen**, Protokollband des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser Phase V; Passivhaus Institut; Darmstadt 2012.
- [DIN EN ISO 7730] DIN EN ISO 7730:2006-05: 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; Beuth-Verlag, Berlin.
- [DIN SPEC 15240] DIN SPEC 15240:2019-03: Energetische Bewertung von Gebäuden - Lüftung von Gebäuden - Energetische Inspektion von Klimaanlage; Beuth-Verlag, Berlin.
- [GEG] Gebäudeenergiegesetz: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden, Gebäudeenergiegesetz vom 8. August 2020 (BGBl. I S. 1728).
- [Hintemann 2020] <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2020/03/Borderstep-Rechenzentren-2018-20200511.pdf>
- [Kah et al. 2010] O. Kah; T. Schulz; S. Winkel; J. Schnieders; Z. Bastian; B. Kaufmann: „Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude“; Passivhaus Institut; Darmstadt Juli 2010.
- [Tippkötter et al. 2009] Tippkötter, Rainer; Schüwer, Dietmar; Wallschlag, Benedikt (2009): Leitfaden Energieeffizienz für Krankenhäuser. EnergieAgentur NRW.
- [VDI 2078] VDI 2078:2015-06: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen, Beuth-Verlag, Berlin.

Dipl.-Ing. Tanja Schulz
Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Bewährte Maßnahmen – Reduzierung der Wärmeeinträge und Möglichkeiten der aktiven Kühlung

1 Einleitung

Steigende Sommertemperaturen, die Zunahme der Tropennächte sowie Rekordwerte bei Hitzeperioden lassen die Folgen des Klimawandels für uns alle spürbar werden. Dies rückt nicht nur die dringend erforderlichen Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgase in den Fokus, sondern erfordert zunehmend auch Anpassungsstrategien im Bereich der Gebäude und Gebäudetechnik.

Um das abnehmende Potential der passiven Maßnahmen wie z. B. der Nachtlüftung auszugleichen, müssen diese zukünftig durch moderate aktive Maßnahmen ergänzt werden. Auch wenn diese noch nicht überall notwendig sind, sollten sie zumindest für zukünftige Nachrüstungen bereits heute in der Planung berücksichtigt werden. Dabei soll der Energieeinsatz möglichst gering sein. Ziel ist nicht die Klimatisierung der Gebäude im üblichen Sinne, bei der definierte Raumkonditionen hergestellt werden, sondern es geht vielmehr um eine Temperierung, die gewährleistet, dass die Nutzung der Gebäude auch in Zukunft noch komfortabel und zumindest ohne Gefährdung der Gesundheit der Nutzer möglich ist.

Voraussetzung hierfür ist ein Gebäude- und Nutzungskonzept, das konsequent auf eine **Reduzierung der Wärmeeinträge** hin optimiert wurde. Dies wird durch die bewährten Maßnahmen wie die sehr gute Wärmedämmung der opaken Gebäudehülle, die Reduzierung der solaren Einträge (durch einen außenliegenden Sonnenschutz) sowie durch ein geeignetes Lüftungskonzept gewährleistet. Sind die Einträge von außen minimiert, orientiert sich die erforderliche Kühlung an den abzuführenden internen Wärmeeinträgen. **Geringe Kühlbedarfe können und sollen nach wie vor zunächst mit energieeffizienten passiven Kühlmaßnahmen gedeckt werden.**

Eine reine aktive Kühlung ist nur in einzelnen Ausnahmefällen sinnvoll, z. B. bei besonders hohen Anforderungen oder besonders hohen Wärmeeinträgen.

Die konsequente Reduktion der Wärmeeinträge ist eine Aufgabe, die sowohl die Planung in Bezug auf z. B. Beleuchtung betrifft als auch den Betreiber bzw. Nutzer in Bezug auf z. B. die EDV-Ausstattung.

2 Bewährte Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmeeinträge

Die umfassende Nutzung passiver Kühlstrategien ist Voraussetzung für eine energieeffiziente und auf kleine Leistungen abzielende aktive Kühlung. Eine wesentliche Voraussetzung für das Gelingen dieser Strategie ist eine realistische Annahme in Bezug auf die tatsächlich vorhandenen Potentiale passiver Maßnahmen.

An erster Stelle steht die konsequente Reduzierung der Wärmeeinträge. Dies gilt sowohl für die internen Wärmeeinträge, z. B. durch Optimierung der Stromanwendungen, als auch für die Reduzierung der solaren Wärmeeinträge durch einen guten Sonnenschutz sowie der Transmissionswärmeeinträge durch die bewährte Passivhausgebäudehülle.

An zweiter Stelle steht dann die Optimierung der passiven Kühlstrategien wie z. B. ein Lüftungskonzept, das die kühleren Nachtstunden zur Wärmeabfuhr nutzt. Die Effizienz der Nachtlüftung hängt zum einen vom Gebäudestandort (Innenstadtlage) und dem dort vorhandenen Kühlpotential, aber auch von Planungsrandbedingungen ab. Öffnungsflügel und nachts offenstehende Innentüren müssen mit Belangen des Einbruchs- und Brandschutzes sowie evtl. der Datensicherheit im Einklang stehen. Schließlich muss die geplante und umgesetzte Kühlstrategie auch kommuniziert werden, damit sich ein entsprechendes Nutzerverhalten bilden kann.

Die Optimierung von Verschattungen und Lüftungskonzepten ist in den Beiträgen von Esther Gollwitzer und Zeno Bastian ausführlich vorgestellt worden. Im Folgenden steht daher die Reduzierung der internen Wärmeeinträge im Fokus.

- ❶ Reduzierung der Wärmeeinträge
 - ⊙ interne Wärmeeinträge
 - ▶ effiziente Stromanwendungen
 - ⊙ solare Wärmeeinträge
 - ▶ gute außenliegende Verschattung und passende Regelstrategie
 - ▶ moderate Fensterflächen
 - ⊙ Transmissionswärmeeinträge
 - ▶ wärmegeämmte Hülle
 - ▶ Bevorzugung von hellen oder begrünten Dachflächen
- ❷ Nutzung passiver Maßnahmen zur Wärmeabfuhr (z. B. das Lüftungskonzept)

2.1 Reduzierung der Wärmeeinträge: Optimierung der Beleuchtung und der Tageslichtnutzung

Zur Minimierung des Energiebedarfs für die Beleuchtung sind zwei Faktoren maßgebend. Zum einen kann die Dauer der erforderlichen Kunstlichtnutzung durch eine optimale Tageslichtplanung begrenzt werden und zum anderen kann der Strombedarf durch hocheffiziente Beleuchtungsmittel reduziert werden.

Bewährte Maßnahmen zur optimalen Tageslichtausnutzung sind zum einen eine angepasste Fenstergröße und -geometrie (z. B. ein möglichst hoher Fenstersturz, vgl. [AkkP 48], [Kah 2010]) sowie eine angepasste Verschattung, die eine Belichtung des Raumes ermöglicht, ohne hohen Solareintrag hervorzurufen. Weiterhin sollte beachtet werden, dass der Brüstungsbereich von bodentiefen Fenstern die Belichtung der Arbeitsfläche (Büros und Schulen) nicht nennenswert verbessert, allerdings die solaren Wärmeeinträge relevant erhöht.

Für eine effiziente Beleuchtung liegt der Zielwert der installierten elektr. Leistung bei **2 W/(m² 100 lux)**. In der Praxis hat sich gezeigt, dass ein hoher Nutzerkomfort für eine erfolgreiche Umsetzung ausschlaggebend ist, da sonst aufgrund von Beschwerden Regelkonzepte ganz außer Kraft gesetzt werden.

Bei Schulen hat es sich bewährt, die Beleuchtung jeweils zu den Pausenzeiten auszuschalten. Zu Unterrichtsbeginn kann die Beleuchtung bei Bedarf wieder angeschaltet werden. Auch im Büro empfiehlt es sich, zu festen Zeiten eine Ausschaltung vorzunehmen, um ein versehentliches Durchlaufen der Beleuchtung zu verhindern. Es ist empfehlenswert, die gewählte Regelung wiederholt zu kommunizieren und eine leichte Anpassung zu ermöglichen. Eine Übersteuerung der voreingestellten Regelung muss unbedingt möglich sein. In Büros hat sich ferner die Beleuchtung mit Arbeitsleuchten bewährt, die nach Bedarf und individuell geschaltet werden können.

- ❶ Optimierung der Tageslichtnutzung (Tageslichtplanung)
- ❷ Hocheffiziente Kunstlichtplanung:
 - z. B. arbeitsplatzorientierte Beleuchtungskonzepte, effiziente Leuchten und Leuchtmittel
 - ▶ Zielwert 2, besser 1 W/(m² 100 lux)
- ❸ Angepasste und nutzerfreundliche Regelung der Beleuchtung bzw. automatische Ausschaltung zu festen Zeiten
- ❹ Effiziente Kühlung für die restliche Wärme

2.2 Reduzierung der Wärmeeinträge: Optimierung Stromanwendungen

Die Art der Stromverbraucher unterscheidet sich stark nach der Art der Nutzung (z. B. Büroarbeitsplätze, Serverräume, Kantinen, Küchen usw.). Somit ist es schwierig, allgemeingültige Zielwerte vorzuschlagen. Für eine Reihe von speziellen Nutzungen stehen Untersuchungen und Empfehlungen zur Verfügung: Verkaufsstätten, Gewerbeküchen, Kliniken, etc. Eine entsprechende Übersicht befindet sich am Ende des Beitrages. Sinnvoll ist es, im Rahmen der Planung der technischen Ausstattung zu überlegen, welche internen Wärmeeinträge und Laufzeiten optimierbar sind. Für die häufigen Nutzungen Schule und Büro werden im folgenden Hinweise gegeben.

2.3 Empfehlungen für die technische Ausstattung von Schulen und Büronutzungen

Nicht erst seit der Coronapandemie ist deutlich geworden: die Schulen müssen sich digitalisieren, und dies schneller als in den letzten Jahren geschehen. Der Einsatz digitaler interaktiver Tafeln zur Gestaltung des Unterrichtes schreitet voran, und es haben sich drei wesentliche Methoden etabliert: Das interaktive Whiteboard, der interaktive Projektor und das interaktive Panel. Diese Systeme benötigen in der Regel einen Nahdistanzprojektor, bzw. die Tafel an sich fungiert als Bildgeber. Die Projektoren haben Leistungsaufnahmen von 200 bis 500 W in der aktiven Phase und einen geringen Standby-Verbrauch von unter 0,5 W.

Zudem verfügen Klassenräume zunehmend über LAN- oder WLAN-Internetzugänge, sodass auch hier zusätzliche Infrastruktur notwendig ist. WLAN-Router und Switches werden mittlerweile in jeder Klasse und in den Fluren eingebaut. Einige versorgen auch angeschlossene Endgeräte mit Strom. Hier lohnt es sich bei der Auswahl der Geräte auf Sparsamkeit zu achten. WLAN-Router und Co. kann man zeitgesteuert einrichten, so dass sich nach Schulschluss die Geräte einfach abschalten. So wird ein unnötiger Standby-Verbrauch vermieden.

Bei der Auto-Power-down Steuerung reduziert der Switch die Energie an einem Port, wenn er erkennt, dass von der Gegenstelle am Port keine Signale mehr kommen. Sobald sich dies ändert, steht wieder die volle Energie zur Verfügung. Die Energie für die Übertragung über ein LAN-Kabel hängt auch von dessen Länge ab. Erkennt die Komponente, dass diese kürzer als 10 Meter ist, reduziert sie an diesem Port ebenfalls die Leistung.

Hier haben die Städte und Kommunen die Möglichkeit, durch entsprechende Leitlinien zur Energieeffizienz dafür Sorge zu tragen, dass neue Energiesparttechnologien mit in den Planungsprozess einfließen. Auch wenn die Auswahl zurzeit bei einigen Gerätekategorien noch sehr gering ist, so lohnt es sich auf Energielabel wie den „Blauen

Engel“ zu setzen. Nur Geräte mit hoher Effizienz und gutem Powermanagement erfüllen die Kriterien zum Erhalt des Siegels „Blauer Engel“. Die Online-Plattform ecotopten des Öko-Institutes (www.ecotopten.de) stellt entsprechende Checklisten für Beamer, Router und Co. zur Verfügung, die als Hilfestellung bei der Anschaffung von technischer Ausstattung unterstützen. Die dem Blauen Engel (www.blauer-engel.de) zugrundeliegenden Anforderungen und Grenzwerte für die Betriebszustände sind im „EU Code of Conduct on Energy Consumption of Broadband Equipment, Version 6“ von 2017 ausführlich dokumentiert und orientieren sich am bekannten Energy Star Label.

Eine im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführte Studie des Öko-Instituts zeigt: Durch eine kluge Auswahl der richtigen Produkte lassen sich die Umweltbelastung und Kosten senken. Aus Sicht der Energieeffizienz ergibt sich eine weitere Synergie: Effiziente Geräte sparen zweimal. An erster Stelle führt ein geringer Stromverbrauch zu geringen Betriebskosten. Er führt aber auch zu geringen internen Wärmeeinträgen und damit zur Senkung des Kühlbedarfes.

Der Bericht des Öko-Instituts liefert erstmals belastbare Zahlen **zur Umweltbelastung über den gesamten Lebenszyklus** und gibt **Empfehlungen, wie der Energieverbrauch in der Nutzung realistisch berechnet werden kann**. Das dabei entwickelte Tool ist eine wertvolle Hilfestellung für die Dimensionierung der Kühlung.

Hieraus einige wichtige Empfehlungen:

- ▶ Verwaltungen sollten ihre Computerarbeitsplätze **mit Mini-PCs statt mit Desktop-PCs** ausstatten und Notebooks nur dann verwenden, wenn die Computer tatsächlich mobil eingesetzt werden sollen.
- ▶ Ein einfacher DSL-Router mit WLAN sollte nicht mehr als 7 Watt aufnehmen.
- ▶ Ein höher ausgerüsteter VDSL-Router mit Dualband-WLAN und integrierter DECT-Basisstation sollte maximal 12 Watt aufnehmen.
- ▶ Das WLAN-Funkmodul sollte durch einen leicht zugänglichen Schalter abgestellt werden können.
- ▶ Die von Energy Star und Blauem Engel ausgezeichneten Drucker haben eine geringe voreingestellte Übergangszeit für Ruhe-/Energiesparmodus. Allerdings erhöht sich damit die Zeit für die Inbetriebnahme, da das Gerät erst aufheizt, bevor es aus dem Energiesparmodus drucken kann. Moderne Geräte sind aber sehr schnell wieder betriebsbereit.

2.4 Einfluss der bewährten Maßnahmen auf den Kühlbedarf

Im Beitrag von Oliver Kah wurde gezeigt, dass durch die Klimaerwärmung in Gebäuden, die heute noch einen guten Sommerkomfort bieten, zukünftig Übertemperaturhäufigkeiten von bis zu 20 % der Nutzungszeit zu erwarten sind. Mit zusätzlichen moderaten aktiven oder passiven Kühlmaßnahmen können wir diese Übertemperaturhäufigkeit auf sogar unter 5 % senken. Dabei ist zu betonen, dass es nach wie vor eine geringe Anzahl von Temperaturüberschreitungen gibt. Ziel ist es, ein vertretbares Sommerklima zu gewährleisten und nicht im Sinne von klimatisierten Gebäuden die gewünschte Solltemperatur auch bei Extrembedingungen sicherzustellen. Dies ist vor allem bei der Kommunikation mit Betreibern, Mietern, Schulträgern wichtig, da bei dem Stichwort „gekühltes Gebäude“ andere Erwartungen geweckt werden.

3 Kühlbedarf und -Deckung am Beispiel

3.1 Passivhausschule



Auf Basis einer monatsweisen Betrachtung des Kühlbedarfes, des daraus resultierenden Strombedarfes und des Solarangebotes werden die Potentiale der Energieeffizienz und der aktiven Kühlmaßnahmen am Beispiel einer Passivhausschule untersucht.

Gebäudedaten

- ▶ 11 Klassenräume
- ▶ Energiebezugsfläche 1.750 m²
- ▶ Ganztagsbetrieb

In Abbildung 1 ist der Kühlbedarf dargestellt. Dieser liegt bei typischer Schulnutzung bei etwa 12 kWh/(m²a), kann aber durch konsequente Beachtung von Effizienzmaßnahmen um mehr als die Hälfte reduziert werden (blaue Linien). Eine Wärmepumpe mit einer Arbeitszahl von 3 benötigt hierfür 2 – 4 kWh/(m²a). Für das gesamte Gebäude ergibt sich in Summe ein Strombedarf für die Kühlung von 2.200 – 7.600 kWh/a (Fläche unter den roten Linien). Möchte man den Bedarf direkt am Gebäude erzeugen, so kann man das Dach mit PV belegen. Für die gezeigte Schule bedeutet dies: Um den Strombedarf auch im August im Monatsmittel decken zu können, benötigt man etwa 150 m² PV-Fläche – das sind etwa 30 % der Dachfläche. Die Jahressumme der PV-Erträge liegt dann bei 30.200 kWh. Da Kühlbedarf und PV-Ertrag einen vergleichbaren Tagesverlauf haben, kann der Bedarf gut über PV gedeckt werden.

Alternativ könnte die Kälte auch direkt über eine Erdsonde bereitgestellt werden. Hierfür wären dann überschlägig etwa 3 bis 5 Sonden nötig.

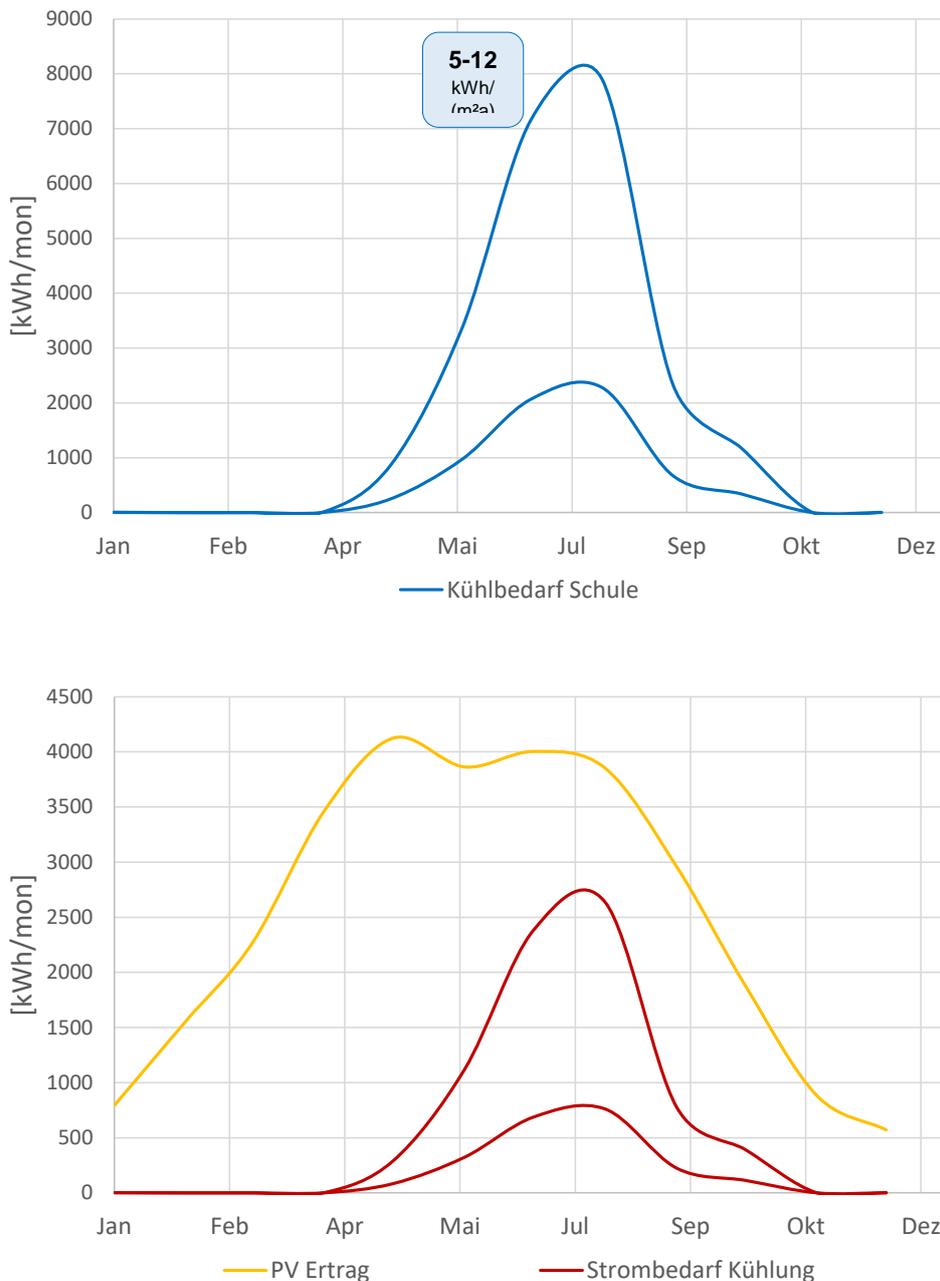


Abbildung 1: monatlicher Kühlbedarf (oben), Strombedarf für Kühlung und PV-Ertrag (unten) für eine Beispielschule. Die dargestellten Bereiche bilden die Bandbreite des Kühl- und Strombedarfes ab, der sich je nach Konsequenz der Vermeidung von Wärmeeinträgen ergibt.

3.2 Passivhaus-Büro- und Verwaltungsgebäude

Am Beispiel des 2008 realisierten Bürokomplexes „luteco“ wird der Kühlbedarf für den Gebäude-Typ Büro und Verwaltung untersucht. Während die internen Wärmeeinträge bei Schulen hauptsächlich durch die hohe Belegungsdichte verursacht werden, verhält es sich bei der Büronutzung anders. Hier stehen die technische Ausstattung, die Be-

leuchtung und die solaren Einträge im Vordergrund, die sowohl durch eine gute Planung als auch durch Hinweise und Empfehlungen für zukünftige Nutzende in vielen Fällen optimiert werden können. Auch hier ist die Empfehlung letztendlich, ein Kühlsystem mit moderater Leistung vorzusehen. Es geht darum, die passiven Maßnahmen durch zusätzliche Kühlung insoweit zu unterstützen, dass die Übertemperaturhäufigkeiten bzw. -gradstunden auch in Zukunft in einem akzeptablen Bereich liegen.

- ▶ **Passivhaus-Bürogebäude Iuteco**
- ▶ **Vier Geschosse**
- ▶ **10.000 m² Energiebezugsfläche**
- ▶ **170 Büros (mit je 2 Personen)**



Der Jahreskühlbedarf für das gesamte Gebäude beträgt ca. 12 kWh/(m²a). Das Maximum von etwa 18.000 kWh tritt im Juli auf und erzeugt einen Strombedarf z.B. für eine Wärmepumpe von etwa 6.000 kWh. Wird dieser von einer PV-Anlage bereitgestellt,

die auch im Juli (im Monatsmittel) genügend Strom erzeugt, müsste diese gerade einmal 11 % der Dachfläche bedecken. .

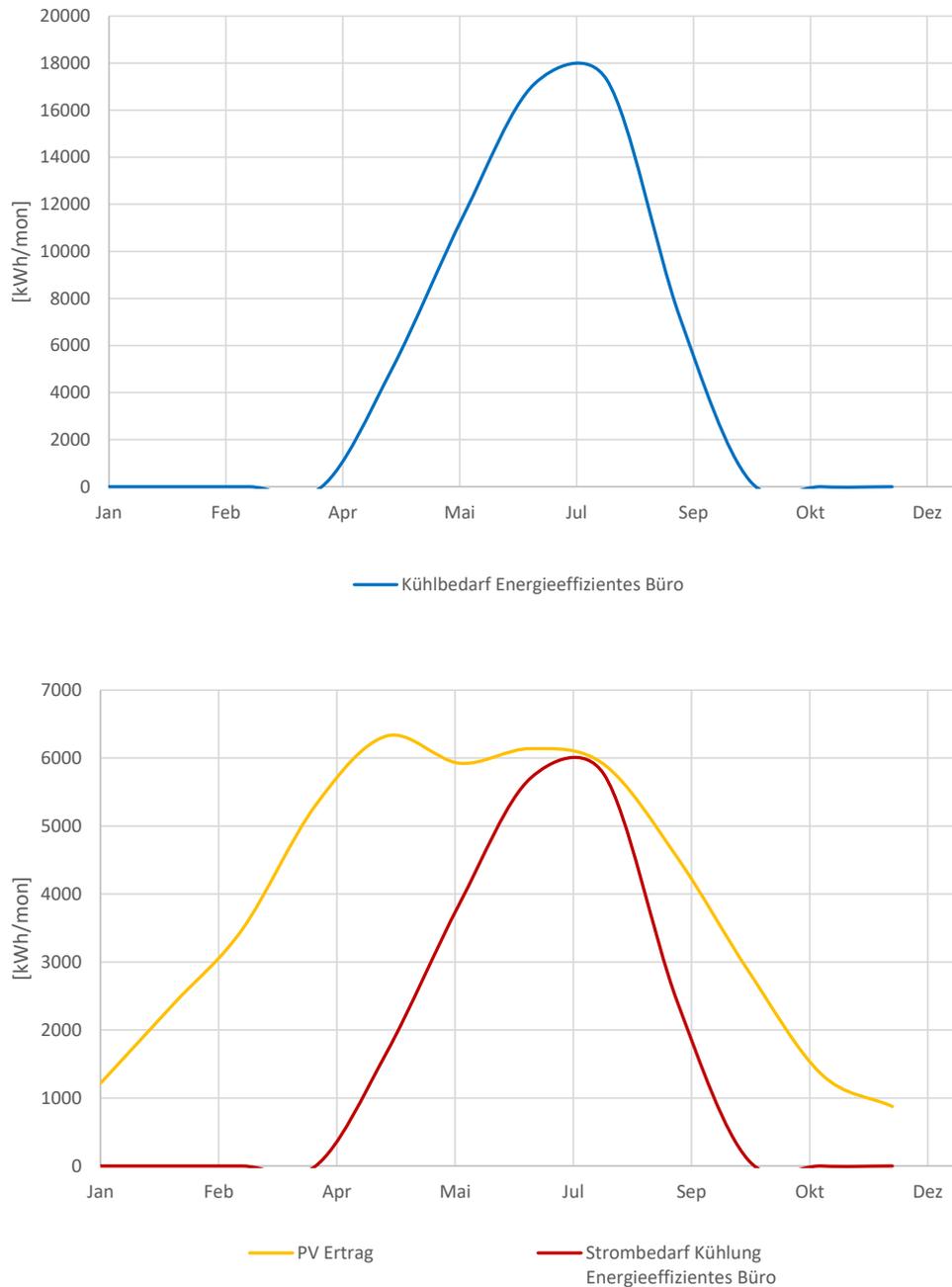


Abbildung 2: monatlicher Kühlbedarf (oben), Strombedarf für Kühlung und PV-Ertrag (unten) für ein effizient ausgestattetes Büro. Die PV wird hier so groß gewählt, dass sie auch im Juli den Strombedarf für die Kühlung decken kann.

Das Gebäude wird tatsächlich über Erdsonden in Kombination mit einer Betonkern-temperierung geheizt und gekühlt. In unserem Beispiel wären etwa sechs bis acht Erdsonden zur direkten Kühlung erforderlich.

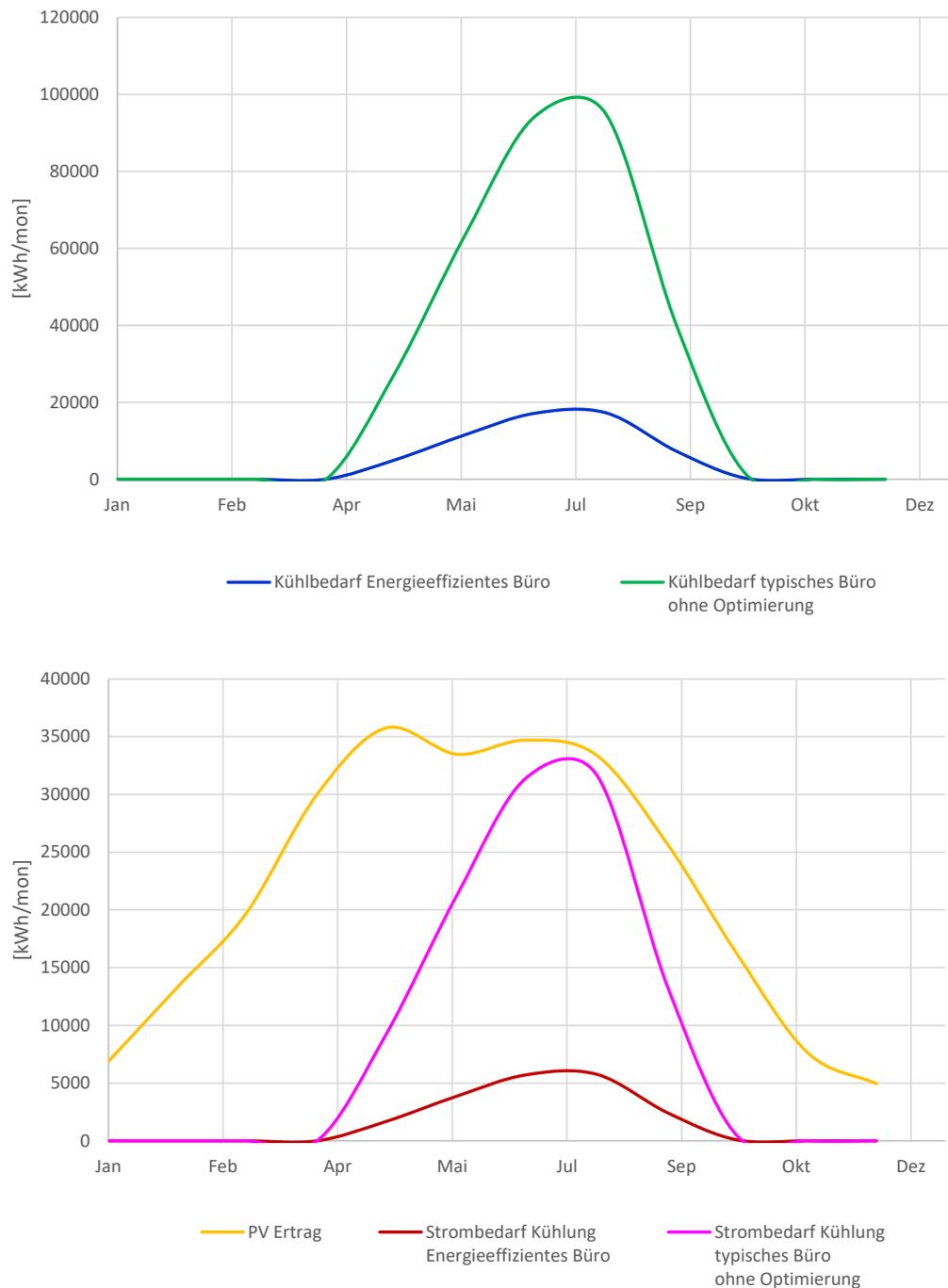


Abbildung 3: Monatlicher Kühlbedarf (oben) für ein effizient ausgestattetes (blau) und ein typisches (grün) Büro, zugehöriger Strombedarf für Kühlung und PV-Ertrag (unten).

Im Vergleich zu einem konventionellen Bürogebäude wird das enorme Potential der energieeffizienten Ausstattung und geringer solarer Einträge durch moderate Fensterflächen sowie guten Sonnenschutz deutlich. Konventionell hätten wir einen Kühlbedarf von eher 60-70 kWh/(m²a). Um den Strombedarf (hier die Fläche unter der pinken Linie) zu decken müssen statt der 11% nun 51% der Dachfläche mit PV belegt werden.

Die beiden Beispiele zeigen, dass eine konsequente Anwendung der Energieeffizienzmaßnahmen in mehrfacher Hinsicht lohnend ist:

Einsparungen im Strombezug senken die Betriebskosten und in Folge auch die erforderliche Kühlenergie zur Wärmeabfuhr. Dadurch können Kühlsysteme deutlich geringer dimensioniert werden, was wiederum deren Investitionskosten senkt.

Bei geringen Wärmeeinträgen tragen passive Konzepte maßgeblich zum Sommerkomfort bei. Aktive Systeme dienen als Ergänzung für das sinkende Potential z. B. der Nachtlüftung. Die Kombination aus einer umfassenden passiven Kühlstrategie und einer moderaten aktiven Ergänzung bilden ein optimales Duo für die wärmer werdenden Sommer. Im Gegensatz dazu können passive Maßnahmen bei hohen Lastverläufen in vielen konventionellen Gebäuden kaum einen nennenswerten Beitrag leisten.

Die hier vorgestellten Beispiele zeigen, dass die Stromversorgung für Kühlenergie am Gebäude selbst problemlos möglich ist. Die üblicherweise für PV zur Verfügung stehenden Dachflächen reichen aus, um den zusätzlichen Strombedarf von Kältemaschinen (z. B. reversibel betriebenen Wärmepumpen) auch im ungünstigsten Monat bereitzustellen (auf Basis von Monatsmittelwerten).

4 Energieeffiziente Kühlkonzepte für Nichtwohngebäude

Werden die solaren und internen Wärmeeinträge konsequent reduziert und wird eine moderate Überschreitung der Grenztemperaturen akzeptiert, so ist eine große Bandbreite an Kühlkonzepten möglich.

Da Lüftungsanlagen ohnehin als fester Bestandteil des Passivhauskonzeptes vorhanden sind, bietet sich hier die Möglichkeit, die Kälte über konditionierte Zuluft einzubringen. Zudem ist die Nutzung von Flächenheizsystemen zu Kühlzwecken häufig möglich. Als Kältequelle kann die Außenluft, das Erdreich oder das Grundwasser, jeweils direkt oder zusätzlich gekühlt, dienen. Hierzu ist eine reversible Wärmepumpe interessant, die sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen eingesetzt werden kann. Eine weitere Möglichkeit ist die Kombination der Lüftungsanlage mit einer adiabaten Kühlung. Mit Hilfe von Absorptionskältemaschinen kann auch überschüssige Wärme zum Kühlen verwendet werden, diese Option ist aber mit hohen Investitionskosten verbunden und erfordert eine besondere Beachtung der Hilfsstromverbräuche.

4.1 Passive Kühlung

Die Potentiale der Außenluft ggf. in Kombination mit einem Erdwärmetauscher wurden im Beitrag von Zeno Bastian vorgestellt. Werden kombinierte Systeme zum Heizen und Kühlen mit Erdregistern oder Erdwärmesonden vorgesehen, so können die Solekreise auch direkt zur Kühlung verwendet werden. Dies gilt ebenso für Grundwasser. Mit einem Temperaturniveau von etwa 10 bis 12 °C eignet es sich gut zum Kühlen. Die Umsetzbarkeit von Grundwasserkühlung hängt allerdings von der örtlichen Verfügbarkeit ab und ist genehmigungspflichtig. Zu beachten ist, dass durch die intensive Nutzung als Wärmesenke die Grundwassertemperaturen ggf. ansteigen können.

Zu den passiven Kühlmaßnahmen zählt auch die adiabate oder Verdunstungskühlung. Diese Strategie ist in Kombination mit einer zentralen Lüftungsanlage interessant. Hierbei wird Wasser in den Abluftstrang gesprüht. Durch die Verdunstung wird der Abluft Wärme entzogen, was wiederum über den Wärmetauscher die Außen-/Zuluft kühlt. Die Platzierung im Abluft-/Fortluftstrang ist aus Hygienegründen sinnvoll. Diese Lösung ist vor allem bei kleinerem Kühlbedarf sinnvoll, da die Kühlleistung auf etwa $3 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ begrenzt ist. Zudem sinkt die Leistung bei hohen Außenluftfeuchten ab.

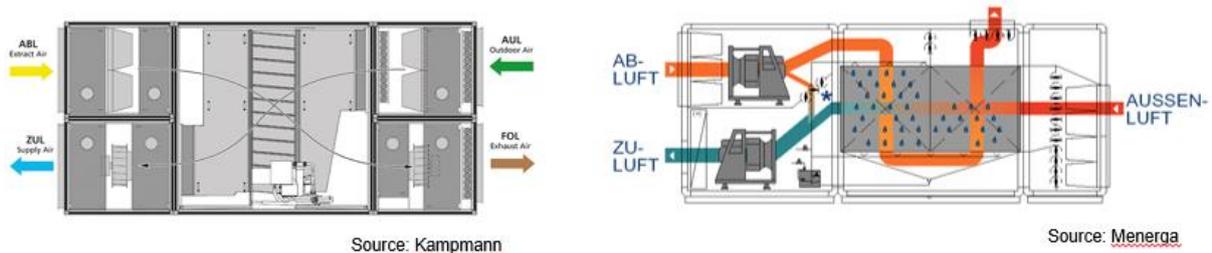


Abbildung 4: Beispiel für Lüftungsgeräte mit adiabater Kühlung.
Quellen: Kapmann und Menerga.

4.2 Aktive Kühlung – Lüftung

Reicht das Potential der zuvor genannten passiven Kühlung nicht mehr aus, so können Systeme zum Einsatz kommen, bei denen z. B. eine reversible Wärmepumpe zugeschaltet wird.

Eine einfache und kostengünstige Lösung ist die Kühlung über die ohnehin vorhandene zentrale RLT. Dabei ist zu beachten, dass die Dimensionierung der Lüftung sich nach wie vor am Frischluftbedarf orientieren sollte. Sind interne und solare Wärmeeinträge weitestgehend optimiert, sind eine Erhöhung des Volumenstromes und damit eine Vergrößerung der Querschnitte sowie des Gerätes in der Regel nicht notwendig. Zudem kann das Kühlpotential durch eine zeitweise Erweiterung der Betriebszeit nochmals gesteigert werden.

Die Zuluftkühlung kann bei zentralen Lüftungskonzepten auch leicht nachgerüstet werden. Für Lüftungsanlagen stehen häufig verschiedene Lösungen zur Verfügung, um ein Kühlregister nachträglich einzubauen. Teilweise sind in den Anlagen bereits Leermodule vorhanden, die hierfür genutzt werden können. Dies ist in der Regel deutlich kostengünstiger und mit geringerem Aufwand verbunden als eine Nachrüstung dezentraler Kühlgeräte in Klassen- oder Büroräumen.

Tabelle 1: Frischluftbedarf für typische Nutzungseinheiten

	[m ³ /(h*Person)]	\dot{V}_{ges} [m ³ /h]
Kita	15	300 m ³ /h bei 20 Kindern + 2 Erziehende
Grundschule	15	430 m ³ /h bei 25 Lernenden + 1 Lehrkraft
Weiterführende Schule	20	600 m ³ /h bei 30 Lernenden + 1 Lehrkraft
Büro/Verwaltung	30	60 m ² /h je Büro (2 Personen)

Daneben besteht auch die Möglichkeit einer dezentralen Zuluftkühlung durch sogenannte Kühlbalken. Vorteilhaft ist die Möglichkeit einer höheren Kühlleistung durch Zuschalten eines Umluftbetriebes. So bietet z. B. die Firma Swegon ein Produkt an, das an einen vorhandenen Zuluftauslass angeschlossen werden kann. Die Raumluft wird durch das Induktionsprinzip mit gekühlt. Das System eignet sich gut für eine Nachrüstung im Bestand und ist als Abhängsystem oder Brüstungssystem erhältlich. Allerdings ist hier ein dezentraler Kältekreis und ggf. eine Kondensatableitung erforderlich.

Kühlbalken (z.B. Swegon)

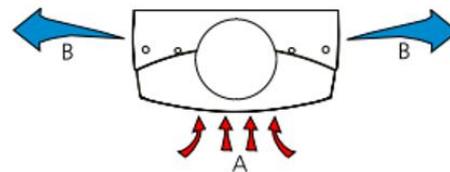


Abbildung 1. Kühlung und Lüftung

A = Raumluft

B = Primärluft und gekühlte Raumluft

Source: Swegon

Abbildung 5: Beispiel für Kühlbalken. Quelle: Swegon.

Planungsempfehlungen für die Zuluftkühlung

- ▶ Zulufttemperatur mindestens 1 K oberhalb der Taupunkttemperatur
- ▶ Dämmung ca. 20 mm bis zum Auslass
- ▶ Ausblasrichtung der Auslasselemente beachten (Behaglichkeit)
- ▶ Zentrale RLT nach dem Frischluftbedarf dimensionieren
- ▶ interne Wärmeeinträge (Geräte, Beleuchtung, Abwärme) und solare Wärmeeinträge reduzieren
- ▶ Zur Erhöhung der Kühlleistung kann bei Bedarf die Betriebszeit der Anlage zeitweise erhöht werden (z. B. auch nachts)

4.3 Aktive Kühlung mit Kältekreis

Neben der Kältebereitstellung über die ohnehin vorhandene Lüftungsanlage können auch die Heizsysteme zur Kühlung genutzt werden. Hierbei können Flächenheizsysteme, Betonkerntemperierung, kombinierte Kühl-/Heizdecken und Radiatoren in Betracht gezogen werden.

4.3.1 Radiatoren

Gebläsekonvektoren sind spezielle Heizkörper, die mit einem Ventilator ausgestattet sind. Dadurch wird die Wärmeübertragung und somit die Leistung erhöht. Die Heizflächen können somit (auch bei geringen Temperaturdifferenzen zur Raumluft) gut zur Kühlung genutzt werden, was diese Lösung besonders für Sanierungen interessant macht. In konventionellen Gebäuden mit höheren Kühlleistungen reichen die geringeren Oberflächen der Heizkörper für den Kühlfall in aller Regel nicht aus. Um Kondensationsprobleme zu vermeiden, darf die Vorlauftemperatur nicht zu sehr abgesenkt werden und muss sicher oberhalb des Taupunktes liegen. Bei geringen Wärmeeinträgen, wie sie hier diskutiert werden, kann auch mit der höheren Vorlauftemperatur (aus naheliegenden Gründen muss diese Vorlauftemperaturen (oberhalb der Taupunkttemperatur liegen) eine gute Kühlung erreicht werden.



Abbildung 6: Beispiele für Gebläsekonvektoren. Quelle: Vasco und Dimplex.

4.3.2 Betonkerntemperierung

Vor allem in Bürogebäuden wird die Betonkerntemperierung (BKT) schon seit langem als ergänzendes System zum Heizen und Kühlen verwendet. Die benötigten Leistungen bei Passivhaus-Schulen und -Bürogebäuden sind so gering, dass die BKT als alleiniges Heiz- und Kühlsystem eingesetzt werden kann. Der Leistungsbereich liegt bei etwa 25 W/m² bis 35 W/m² im Heizbetrieb und 35 W/m² bis 50 W/m² im Kühlbetrieb.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Decken nicht abgehängt werden dürfen. Gerade in Schulen steht die BKT ebenso wie die passive Kühlung in Flächenkonkurrenz zu Akustikmaßnahmen. Eine Lösung könnten hier sogenannte Baffeln sein, die den Schall absorbieren, aber den Luftverbund mit der Decke nicht verhindern. Zudem ist zu beachten, dass die BKT nur sensible Wärme abführen und daher nicht zur Entfeuchtung genutzt werden kann.

Zu empfehlen ist zumindest eine Zonierung nach Orientierung, da die solaren Wärmeinträge trotz Verschattungsmaßnahmen einen großen Einfluss auf die erforderliche Kühlleistung haben. Auch unterschiedliche Nutzungen oder Temperaturanforderungen in verschiedenen Räumen können eine Zonierung erforderlich machen. Die Dimensionierung der BKT-Flächen erfolgt bei typischen Gebäuden anhand des Heizfalls, da die Leistungsabgabe hier geringer ist. Für Passivhäuser ist zu erwarten, dass, aufgrund der geringen Heizlasten, der Sommerfall maßgebend wird. Dies ist im Einzelfall zu dimensionierenermitteln.

Planungsempfehlungen für Betonkerntemperierungen

- ▶ Vorlauftemperatur mindestens 1 K oberhalb der Taupunkttemperatur
- ▶ Druckverlust < 300 mbar je Kreis
- ▶ Zonierung der Heiz- bzw. Kühlkreise mindestens nach Orientierung und Nutzung

4.3.3 Kühldecken

Kühldecken eignen sich auch als kombinierte Systeme zum Kühlen und Heizen, haben aber aufgrund der besseren Wärmeübergabe einen höheren Leistungsbereich als die BKT. So kühlen konvektive Systeme mit etwa 150 W/m² und Strahlungskühldecken mit 60 bis 90 W/m².

4.3.4 Kälteerzeugung – aktive Systeme

Für die Gebäudekühlung wird häufig eine Kompressionskältemaschine eingesetzt. Die Verdichtung des Kältemittels erfolgt hier mit elektrischer Energie, sodass sie sich sehr gut mit einer PV kombinieren lässt. Weitere Vorteile sind die geringen Investitionskosten und flexiblen Einsatzbereiche. Die Kompressoren arbeiten entweder mit einem Kaltwassersatz oder als Direktverdampfer. Letztere sparen nochmals einen Wärmetauscher. Sinnvoll sind Kompressoren mit Invertertechnik, die die Kühlleistung an den Bedarf anpassen können. Hierdurch werden weitere Effizienzpotentiale erschlossen. Kritisch gesehen wird die Verwendung von Kältemitteln aus klimaschädlichen Treibhausgasen. Mittlerweile gibt es eine erfreuliche Anzahl von Systemen, die mit halogenfreien, sogenannten natürlichen Kältemitteln wie Kohlendioxid (CO₂), Ammoniak (NH₃) oder Kohlenwasserstoffe (HC) arbeiten. Zudem besitzt CO₂ kein Ozonabbaupotenzial (ODP). Die Verwendung von nicht-halogenierten Kältemitteln wird im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Kälte-Klima-Richtlinie) gefördert [BAFA 2021].



Abbildung 7: Kompressionskältemaschine mit CO₂ als Kältemittel. Beispiel für ein Lüftungsgärat mit integrierter Kühlfunktion. Quelle: Menerga.

Alternativ können auch Adsorptionskältemaschinen zum Einsatz kommen. Diese erzielen einen Kühleffekt durch thermisch betriebene Kompression des Kältemittels mit Hilfe von Adsorption und Desorption von Wasser z. B. an Silikagel. Wichtige Voraussetzung für hohe Energieeffizienz ist eine ohnehin vorhandene Wärmequelle, z. B. Prozessabwärme. Es ist nicht sinnvoll, z. B. die Heizungsanlage ganzjährig durchlaufen zu lassen, um die Wärme dann zur Kälteerzeugung zu nutzen.

5 Fazit

Bewährte Maßnahmen zur Reduzierung der solaren und internen Wärmeeinträge haben auch in Zukunft hohe Priorität. Ziel muss dabei nicht immer sein, dass sie auch in Zukunft zunehmend verwendete „aktive Kühlsysteme“ vollständig ersetzen. Sie sind vielmehr wichtige Bestandteile einer energieeffizienten Kühlstrategie, die auf moderate Leistungen bei ergänzenden aktiven Systemen abzielt.

Durch den Klimawandel nimmt der Kühlbedarf zu, da natürliche Kühlpotentiale wie z. B. die Nachtlüftung z. B. in Innenstädten schwinden. Eine Kompensation kann durch passive oder aktive Kühlmaßnahmen erfolgen.

Der Kühlbedarf kann mit den eingangs beschriebenen Maßnahmen so gering gehalten werden, dass er weiterhin mit geringem Aufwand gedeckt werden kann.

Ziel ist nicht eine Vollklimatisierung der Gebäude, sondern die Sicherstellung eines komfortablen Innenraumklimas entsprechend den Passivhaus-Kriterien bzw. der Norm [DIN EN 4108-2]: Begrenzung der Überschreitungen der Grenztemperatur auf max. 10 % der Nutzungsstunden.

Die Minimierung der inneren Lasten lohnt dreifach: Energieeffiziente Anwendungen verbrauchen weniger Strom, was die Betriebskosten senkt. Damit sinken auch Energiebedarf und -kosten für Kühlmaßnahmen, sodass das Kühlsystem kleiner dimensioniert und ausgeführt werden kann. Am Beispiel einer Schule und eines Bürogebäudes zeigt sich, dass bei konsequenter Umsetzung von Energieeffizienz der Kühlenergiebedarf auch mit geringem Aufwand direkt am Gebäude z. B. über eine PV-Anlage gedeckt werden kann.

Ist der Kühlbedarf gering, ergeben sich vielfältige Lösungsmöglichkeiten: Die im Passivhaus vorhandene Lüftungsanlage kann leicht mit einer Kühlfunktion ausgestattet werden. Dabei ist zu beachten, dass sich die Auslegung der Anlage am Frischluftbedarf orientieren soll. Auch damit lässt sich in der Regel der gewünschte Kühleffekt erzielen. Eine größere Auslegung der Anlage ist nicht nötig.

Alternativ können auch Heizflächen zum Kühlen verwendet werden. Dies gilt sowohl für Radiatoren als auch für Flächenheizsysteme wie z. B. die BKT. Auch hier zahlt sich der geringe Kühlbedarf aus: Flächensysteme dienen als alleinige Heiz- oder Kühlquelle, und auch Radiatoren mit zusätzlicher Gebläsefunktion sind in der Regel ausreichend und müssen nicht durch weitere Systeme ergänzt werden.

6 Literatur

- [BAFA 2021] Richtlinie zur Förderung von Kälte- und Klimaanlage mit nicht-halogenierten Kältemitteln in stationären und Fahrzeug-Anwendungen im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative (Kälte-Klima-Richtlinie)
vom: 27.08.2020; BAnz AT 30.11.2020 B5; <https://www.bundesanzeiger.de/pub/de/amtliche-veroeffentlichung?1>
- [DIN EN 4108-2] DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Beuth-Verlag, Berlin.
- [Akkp 48] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 48: Einsatz von Passivhaustechnologie bei der Modernisierung von Nichtwohngebäuden. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012.

Sondernutzungen Literaturquellen

- [AkkP 47] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 47: Energieeffiziente Kantinen und Gewerbeküchen. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012.
- [AkkP 40] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser Phase V, Protokollband Nr. 40: Passivhaus-Verkaufsstätten. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012.
- [Kah 2013] Kah, O.; Bräunlich, K.; Schulz, T.; Grill, A.; Ottinger, O.; Schumacher, R.: Grundlagenstudie zur Umsetzung des Passivhauskonzept in Krankenhäusern, Studie im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2013
- [Kah 2010] Kah, O.; et al.: Leitfaden für energieeffiziente Bildungsgebäude. Passivhaus Institut, Darmstadt, Juli 2010.
- Webseite des Passivhaus Instituts
https://passiv.de/de/05_service/03_fachliteratur/0305_alle.php

Monika Kurz, Fachdienst Bau & Technik, Gebäudemanagement, Kreis Groß-Gerau
Dr. Oliver Ottinger, Energiemanagement, Da-Di-Werk Gebäudemanagement, Land-
kreis Darmstadt-Dieburg

Planungs- und Praxiserfahrungen aus Sicht kommunaler Betreiber

1 Einleitung

"Wir wollen Schüler:innen und Lehrer:innen ein angenehmes und sicheres Lernumfeld bieten", lautet das Leitbild des Landkreises Darmstadt-Dieburg, der als Schulträger für Bau, Betrieb und Unterhaltung der Schulgebäude im Kreis verantwortlich ist. Dies gilt natürlich nicht nur während der kalten Jahreszeit, für die ein guter Wärmeschutz und Heizungsanlagen wichtig sind. Auch im Sommer sollen es die Lernenden und Lehrenden angenehm haben. Auch der Kreis Groß-Gerau hat das Wohl der Schüler:innen und Lehrer:innen im Blick und hat bereits vor über 10 Jahren beschlossen, den Passivhausstandard für Neubauten einzusetzen.

Das Thema sommerlicher Wärmeschutz spielt an Schulen sowohl bei Neubauten und Sanierungen als auch im Bestand eine zunehmend große Rolle. Grund dafür sind eine Reihe von Änderungen in der Nutzung, als auch der Klimawandel. Wo es früher noch Hitzefrei gab, gibt es heute Ganztagsunterricht. Damit nimmt zum einen der Wärmeeintrag durch die Nutzer zu und zum anderen wird die zu betrachtende Nutzungszeit ausgedehnt, die bei Betrachtung der Übertemperaturstunden relevant ist.

In diesem Beitrag werden die Erfahrungen und Anforderungen aus Sicht eines kommunalen Betreibers von Schulgebäuden beschrieben. Bei diesen Betreibern handelt es sich um die Nachbarkreise Groß-Gerau und Darmstadt-Dieburg, die sich beide im südlichen Rhein-Main-Gebiet befinden. Beide Landkreise verfolgen seit den Jahren 2008 bzw. 2009 den Umbau zu einem nachhaltigen Schulgebäudebestand. Hierzu werden seitdem bei allen Neubauvorhaben den Planungen die Passivhausprinzipien zu Grunde gelegt und bereits zahlreiche Gebäude im Passivhaus-Standard errichtet. Bei Sanierungen wird auf den EnerPHit-Standard, bzw. die Nutzung von passivhausgeeigneten Komponenten, gesetzt.

2 Sommerlicher Wärmeschutz an Schulen – Herausforderungen und Lösungsansätze

2.1 Grundlegende Überlegungen zu Wärmelasten

Die internen Lasten in Schulgebäuden werden dominiert durch die Schüler: Jede Person gibt 80 – 100 W Wärmeleistung ab. In einem typischen Klassenraum mit 60 m² und einer Belegung von 25 Schüler:innen ergeben sich so 2 – 2,5 kW Wärmeeintrag bzw. interne Wärmelasten von 35 – 40 W/m². Die Wärmeleistung übersteigt, zumindest bei gut gedämmten Gebäuden, die Maximalleistung der installierten Heizkörper im Klassenraum und ist, im Tagesbetrieb, zu berücksichtigen. Des Weiteren sind die Wärmeeinträge durch solare Einstrahlungen, die Belüftung sowie die sonstigen internen Lasten beeinflussbar, z. B. durch elektrische Verbraucher.

Die Lüftung spielt eine wesentliche Rolle, da im Gegensatz zu Bürogebäuden durch die dichtere Belegung deutlich höhere Luftwechsel erforderlich sind. Üblich sind 25 m³/(h*Person), was bei 25 Schüler:innen und ca. 65 m² Klassenraumgröße einem ca. 3-fachen Luftwechsel entspricht. Bisher wird im Sommer in frei belüftbaren Räumen, die keine Lärmproblematik haben (Stichwort Fluglärm), die Lüftung oft ausgeschaltet, um Strom zu sparen. Dies sorgt für direkten Wärmeeintrag durch die Außenluft.

Stattdessen wäre es möglich, die Wärmerückgewinnung der vorhandenen Lüftungsanlagen zu nutzen und so den Wärmeeintrag zu begrenzen. In Abbildung 1 ist im linken Teil der Wärmeeintrag durch Lüftung in Abhängigkeit der Außentemperatur für verschiedene Luftwechsel aufgetragen. Im Gegensatz zum Wärmeeintrag durch Fensterlüftung kann durch Nutzung einer guten Wärmerückgewinnung (gestrichelte Linien, Annahme: 85 % WRG) der Wärmeeintrag auch auf unter 1 kW begrenzt werden. Bei Betrachtung der Abbildung ist wichtig, dass es sich hier um die Temperatur der eingebrachten Außenluft handelt, die sich durch direkte Sonneneinstrahlung auf Temperaturen deutlich über die Außentemperatur erhöhen kann.

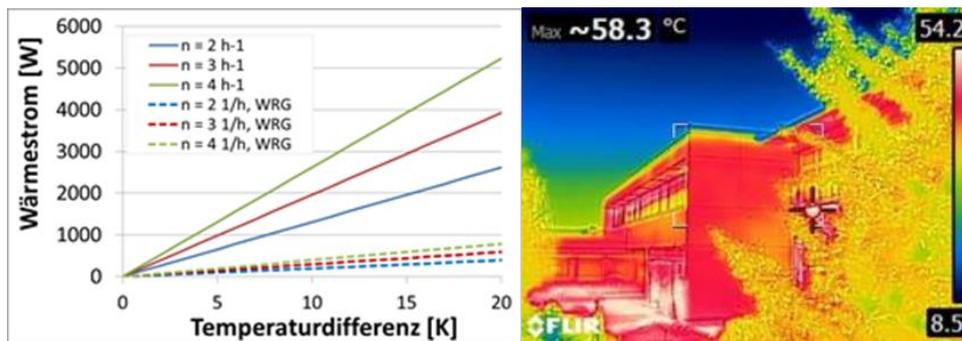


Abbildung 1: Wärmestrom durch die Zuluft durch Fensterlüftung (durchgezogen) bzw. unter Ausnutzung der Wärmerückgewinnung (gestrichelt) bei unterschiedlichen Luftwechseln (1/h) in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Innentemperatur und einströmender Luft (links). Thermographieaufnahme eines Schulgebäudes im Hochsommer bei direkter Sonneneinstrahlung (rechts).

Neubauten werden grundsätzlich mit motorisch betriebenem, außenliegenden, hinterlüfteten Verschattungen ausgestattet. Viele Alt- und Bestandsbauten, insbesondere solche, die unter Denkmalschutz stehen, haben allerdings noch keinen Sonnenschutz.

Den Einfluss des Sonnenschutzes sowie die Anteile der Wärmeeinträge können aus Abbildung 2 entnommen werden. Dort ist für konstante interne Lasten, durch die Anwesenheit der Schüler und konstante Wärmelasten durch Lüftung (Annahme 1 kW), der Sonnenschutz variiert worden. Beginnend mit einem außenliegenden Sonnenschutz, einem innenliegenden Sonnenschutz und rechts einer Variante ohne Sonnenschutz. Nur die Variante mit außenliegendem Sonnenschutz bietet eine sehr gute Reduktion der Einstrahlung. Daher ist dies auch die Variante, die stets bei Neubauten umgesetzt und auch bei jeglicher Form von Sanierungen als Umsetzungsziel verfolgt wird.

Am Ende nutzt der beste Sonnenschutz natürlich nur etwas, wenn er auch bei entsprechender Sonneneinstrahlung heruntergefahren wird. Dies ist ein Punkt, der sowohl durch automatisches Herunterfahren mit Zeit- und Wettersteuerung als auch durch die Nutzer beeinflusst wird. Möglichkeiten zur Verschattung gehen natürlich weit über automatisch geregelte Jalousien hinaus: Überstände oder Festverschattungen können insbesondere auf der Südseite eine sichere Variante zur Vermeidung von Überhitzungen darstellen. Insbesondere an Notausgängen ist dies eine gute Variante, da hier Standardlösungen selten anwendbar sind. Aber auch die Gestaltung der Außengelände kann durch natürliche Verschattungen durch Bäume ihren Beitrag liefern.

Noch eine Anmerkung an dieser Stelle zu einer möglichen Kühlung: Davon ausgehend, dass ein Schulgebäude über nur 10 nach Süden ausgerichtete Räume verfügt, so beträgt der Unterschied, außenliegender Sonnenschutz zu keinem Sonnenschutz,

bereits ca. 20 kW Wärmeleistung durch Einstrahlung. Ohne relevante Wärmepufferung oder Akzeptieren höherer Temperaturen wäre hier eine entsprechend höhere Kühlleistung mit entsprechenden Energieverbräuchen nötig.

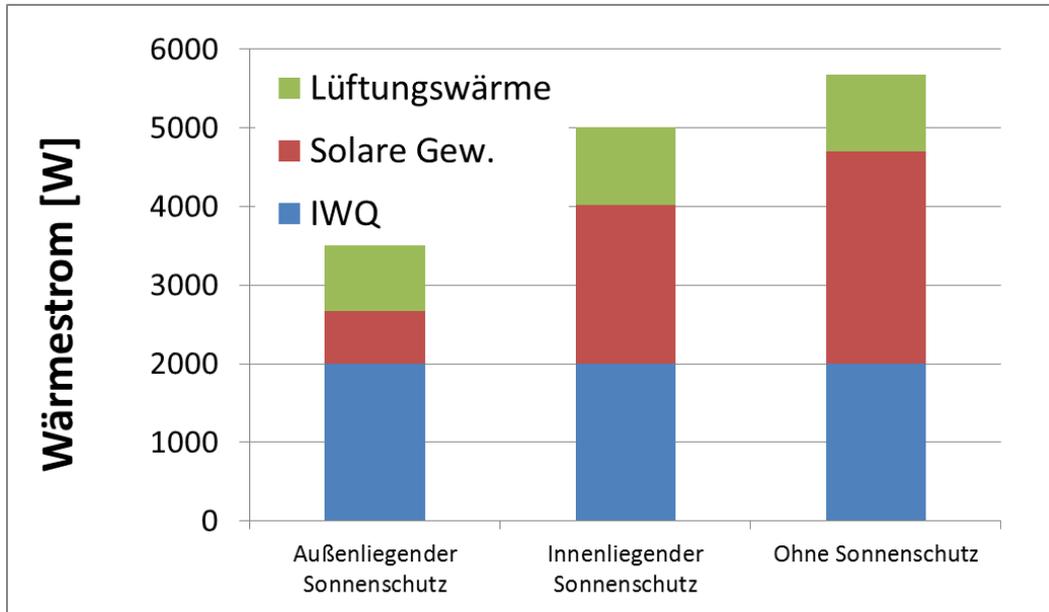


Abbildung 2: Wärmeströme bzw. -lasten für einen südausgerichteten Klassenraum an einem Hochsommertag zur Mittagszeit durch interne Wärmegewinne (IWQ) durch die Personenbelegung (2 kW) und Wärmeeintrag durch Lüftung (2-facher Luftwechsel bei 5 K Temperaturdifferenz (1 kW)). Die solaren Gewinne wurden für die Fälle mit außenliegendem, mit innenliegendem und ohne Sonnenschutz (von links nach rechts) dargestellt.

2.2 Spannungsfeld Bestandsbau – Passivhaus-Neubau

Wie schon in der Einleitung angedeutet, ist der sommerliche Wärmeschutz sowohl bei Neu- als auch bei Bestandsbauten eine zunehmende Herausforderung. Der solare Wärmeeintrag ist bei Alt- bzw. Bestandsbauten in der Regel höher als bei Neubauten, da die Wände einen höheren Wärmedurchgang aufweisen und Fenster mit höheren U-Werten meist höhere g-Werte (Gesamtenergiedurchlass) haben. Weiter gibt es in vielen Fällen keine außenliegende Verschattung. Teils gibt es nur innenliegende Vorhänge oder es existiert gar keine Verschattungsmöglichkeit. Insbesondere bei unter Denkmalschutz stehenden Gebäuden gibt es teils langwierige Diskussionen, ob überhaupt, bzw. wie, eine Verschattung installiert werden kann. Bei Neubauten werden dagegen standardmäßig über eine Wetterstation steuerbare Verschattungen installiert. Diese fahren dann automatisiert in Abhängigkeit der Einstrahlung den Sonnenschutz herunter, bzw. bei starken Windlasten wieder hoch. Ohne die automatische Regelung können Verschattungen oft nur während der Nutzung geschlossen werden, sodass spätestens am Wochenende eine starke Aufheizung erfolgen kann.

Vorteile älterer Gebäude liegen in den größeren Undichtigkeiten und geringeren Dämmniveaus, da sich die Gebäude auf diesem Weg über Nacht etwas abkühlen können und am Morgen wieder etwas kühler sind. Ein anderer Punkt, der sich insbesondere bei Altbauten positiv auswirkt ist die große thermische Masse. Diese kann Teile der tagsüber eingebrachten Wärmeenergie aufnehmen und bremst so den Temperaturanstieg über den Tag. Eine gewisse thermische Masse hat sich auch bei Neubauten als sehr hilfreich herausgestellt – gerade um die Lasten durch die Schüler zu puffern.

Zu dem Spannungsfeld, mit dem es ein Betreiber von Bildungsgebäuden zu tun hat, gehört auch immer wieder der Ruf nach aktiver Kühlung. Oft sind es einzelne Räume z. B. Büros der Schulleitung, die doch bitte gekühlt werden sollten. Dann stellt sich allerdings schnell die Frage, warum dieser Raum und nicht ein anderer oder gleich alle anderen Räume gekühlt werden müssten. Ein Blick auf die kommunalen Finanzkräfte zeigt, dass dann diese schnell erschöpft wären. Ganz abgesehen davon, dass, aus energetischer Sicht, zunächst alle passiven Maßnahmen ausgeschöpft werden sollten (z. B. geregelter, außenliegender Sonnenschutz), ehe die reduzierte Restwärme durch aktive Kühlung abgeführt wird. Das Spannungsfeld ist auch ein Grund dafür, dass es eine große Hürde ist, bei Neubauten aktive Kühlung vorzusehen.

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass der Passivhausstandard, im Vergleich zum Gebäudebestand, einen erhöhten Komfort und bessere Temperaturbedingungen bereitstellt. Wegen des Klimawandels und zu erwartender Temperaturerhöhungen werden aber schon jetzt Vorrüstungen vorgesehen (z. B. Platz in Lüftungsanlagen für Kühlregister), um später reagieren zu können.

2.3 Einfluss der Verschattungssteuerung

Wie bereits bei den Grundlagenbetrachtungen ausgeführt, ist eine gute Verschattung sehr wichtig, um den Wärmeeintrag zu begrenzen. Dies konnte am Beispiel der Albrecht-Dürer Schule in Weiterstadt, auf Grund der zunächst nicht funktionsfähigen Regelung, deutlich gezeigt werden. Im Jahr nach der Inbetriebnahme des sanierten Gebäudes gab es Probleme mit der GLT, die einen deutlich reduzierten Einsatz der Verschattung zur Folge hatte. Aus den Raumtemperaturdaten konnte in einer Hitzeperiode im ersten Jahr eine Schwankung zwischen 27 °C und 32 °C beobachtet werden. Als im Folgejahr die automatische Regelung funktionierte betrug, bei ähnlichen Außenbedingungen, die Höchsttemperaturen nur noch 29 °C. Hieraus kann die Relevanz der automatischen Steuerung abgeleitet werden.

2.4 Die Rolle der Nutzer

Neben den für einen guten sommerlichen Komfort unverzichtbaren baulichen Voraussetzungen ist der Einfluss der Nutzer nicht zu unterschätzen. Ein installierter Sonnen-

schutz, der morgens zuerst geöffnet wird, hilft nicht, die Mittagssonne draußen zu halten. Da hilft auch keine Automatik. Daher sind Nutzerhinweise ein Mittel, durch das die Betreiber die Nutzer unterstützen können. Ein Beispiel für Nutzerhinweise ist in der Abbildung unten dargestellt. Eine Schwierigkeit besteht grundsätzlich immer, die Lehrer:innen und Schüler:innen vor Ort auch wirklich zu erreichen. Auf jeden Fall müssen derartige Hinweise jährlich wiederholt werden, da die Belegschafts-Fluktuation doch sehr groß ist und die Gebäudenutzung selten im Fokus steht.



Gutes Raumklima in Sommer und Winter

Stets eine frische Brise

Ohne ausreichenden Luftaustausch sinkt der Sauerstoffgehalt der Luft und die Konzentrationsfähigkeit lässt schnell nach. Die Zufuhr von frischer Luft kann durch das Öffnen von Fenstern oder mechanisch durch Lüftungsanlagen erfolgen. Bei Belüftung ausschließlich über Fenster sollten diese zumindest nach jeder Stunde für kurze Zeit komplett geöffnet werden (Stoßlüften).

Ist eine Lüftungsanlage vorhanden, so kann im Winterhalbjahr (1.10.-31.03.) auf das Öffnen von Fenstern verzichtet werden. Durch die Wärmerückgewinnung werden über 80 % der Raumwärme, die bei Fensterlüftung verloren ginge, nutzbar. Die Lüftungsanlagen werden i.d.R. zeitgesteuert kurz vor Unterrichtsbeginn eingeschaltet und am Ende des Unterrichtstages ausgeschaltet. Auch im Winter dürfen Fenster selbstverständlich geöffnet werden. Dies ist besonders bei sehr hoher Raumbelegung oder Geruchsbildung empfehlenswert.

Im Sommer werden die Lüftungsanlagen ausgeschaltet und es muss in allen Schulen die Zufuhr von frischer Luft durch Fensterlüftung erfolgen. Wenn es draußen warm wird, ist eine Wärmerückgewinnung nicht erwünscht und es kann so Strom gespart werden. Lediglich innenliegende Räume werden auch im Sommer mechanisch belüftet.

Angenehm warm im Winter

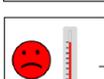
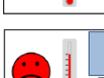
SOMMER	Verschattung schließen		Verschattung unten geringe Aufheizung & Tageslichtnutzung
			Verschattung offen Starke Erwärmung
	In den Morgenstunden Fensterlüftung zum Auskühlen		Fenster offen Raum kühlt aus
			Fenster geschlossen Raum bleibt warm
	In der Mittagszeit Fenster nur kurz öffnen		Fenster nur kurz öffnen Gute Luftqualität bei erträglichen Temperaturen
			Fenster dauerhaft offen Raum heizt sich auf

Abbildung 3: Ausschnitte aus den Nutzerhinweisen des Landkreises Darmstadt-Dieburg für die Schulen in textlicher Form und als leicht lesbare Piktogramme.

Im Landkreis Darmstadt-Dieburg hat der Schulservice im Jahr 2019 eine Umfrage an allen Schulen durchgeführt, um zu erfahren, wie die Nutzer vor Ort auf Hitzewellen reagieren. Ein Ergebnis der Umfrage war, dass alle Schulen die konsequente Schließung der Verschattungssysteme als prioritär betrachten. Auch individuelle Möglichkeiten von manueller Nachtlüftung bzw. Lüftung am frühen Morgen werden durchgängig genannt, soweit nicht sowieso automatische Systeme vorhanden sind. Da es ein immer wieder kontrovers diskutiertes Thema ist: Fenster dürfen grundsätzlich nicht einfach über Nacht geöffnet bleiben. Hier sollten die individuellen Gefahren für Einbruch und Wasserschäden mit der Versicherung geklärt werden und technische Maßnahmen ergriffen werden. Weiter wurden an vielen Schulen auch Ventilatoren eingesetzt, um die gefühlte Temperatur zu reduzieren bzw. den Luftaustausch zu unterstützen. In wenigen Fällen wurden auch Spiegelfolien auf den Fenstern befestigt, was den Sonneneintrag ein wenig mindert und den gering investiven Maßnahmen zuzuordnen ist.

Daneben gibt es auch die Möglichkeit organisatorische Maßnahmen zu ergreifen: So werden teilweise besonders heiße Räume gemieden und sonst unbeliebte Kellerräume genutzt. Teilweise werden auch die Stundenpläne so angepasst, dass die Hauptfächer oder zumindest Klassenarbeiten in die ersten Unterrichtsstunden verlegt werden. Auch Unterricht im Freien – vorausgesetzt es gibt schattige Plätze auf dem Schulhof, die sicher grundsätzlich immer vorhanden sein sollten – Sport im Wald oder das Einlegen von Trinkpausen wurden genannt. Hitzefrei ist wegen der verlässlichen Betreuung kaum noch eine Maßnahme. Dafür standen in Betreuungen Wasserspiele auf dem Programm.

Die Umfrage hat einen sehr konstruktiven Umgang der Schulen mit der Hitze gezeigt. In wieweit die Nutzerhinweise des Da-Di-Werks dazu beigetragen haben, konnte hier nicht ermittelt werden. Die positivste Rückmeldung soll hier noch zitiert werden, da dies ein echter Ansporn für jedes neue Projekt ist: "Hitzeproblem – Fehlanzeige. Da wir ein so modernes und gut isoliertes Gebäude haben. Im Sommer ist es im Gebäude kühler als im Freien. Insofern entfällt Hitzefrei." Gerne würden wir von allen Schulen derartige Rückmeldungen bekommen. Doch bis dahin ist es wohl noch ein weiter Weg.

2.5 Nachtlüftung

Die nächtliche Gebäudeauskühlung erfolgt in den Schulen beider Kreise über verschiedene Varianten von Nachtlüftungsklappen meist in Kombination mit Lüftungsanlagen, die durch den Passivhausstandard sowieso vorhanden sind.

Die Nachtauskühlung wird über die Gebäudeleittechnik innerhalb eines nächtlichen Zeitfensters aktiviert, wenn nachfolgende Bedingungen erfüllt sind:

- Überschreitung des Raum-Sollwertes (Mittelwertbildung)
- ausreichende Spreizung zwischen Außentemperatur und Raum-Isttemperatur
- außerhalb der Heizperiode

Deaktiviert wird die Nachtlüftung, wenn die Raumsolltemperatur mit einer gewissen Spreizung unterschritten wird oder wenn das Zeitfenster abgelaufen ist.

2.5.1 Lüftungsanlage

Die vorhandenen Lüftungsanlagen mit einem auf die Klassenräume bezogenen ca. 3-fachen Luftwechsel können durch den nächtlichen Betrieb zur Abkühlung der Unterrichtsräume beitragen.

Möglich ist der Betrieb von Zu- und Abluftventilator oder der Betrieb des Abluftventilators in Kombination mit Nachtlüftungsklappen. Bei Betrieb des Zuluftventilators sind der zusätzliche Stromverbrauch sowie der Wärmeeintrag über den Ventilator zu beachten. Die Wärmerückgewinnung ist während des Nachtkühlbetriebes deaktiviert.

2.5.2 Nachtlüftungsklappen

Grundsätzlich können die Nachtlüftungsklappen motorisch oder manuell ausgeführt werden.



Abbildung 4: verschiedene Ausführungen von Nachtlüftungsklappen

Nachfolgende Punkte gilt es bei der Planung beider Varianten zu berücksichtigen:

- ausreichend freier Querschnitt

- Einbruchschutz
- Witterungsschutz vor Regen, Hagel, Schnee (nur motorische Öffnungsflügel können zugefahren werden)
- Insektenschutz; Schutz vor Vogeleinflug
- Bei den manuellen Klappen kommt zusätzlich der Aspekt der Arretierung dazu. Bei Planung und Ausführung der automatischen Klappen müssen die Themen Öffnungsprinzip, geeignete Motoren und Klemmschutz beachtet werden.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der motorischen und manuellen Nachtlüftungsklappen

	motorische Nachtlüftungsklappen	manuelle Nachtlüftungsklappen
Vorteil	automatisch (nutzerunabhängig), unproblematisch bei ungünstigen Wetterlagen	geringere Kosten
Nachteil	Kosten für Motor, Wartung und Reparaturen	Effektivität nutzerabhängig; am Wochenende/in den Ferien/an Feiertagen keine Öffnung möglich

Im Kreis Groß-Gerau werden bei einzelnen Projekten in Absprache mit den Schulen manuellen Nachtlüftungsklappen umgesetzt. Bei den Schulen handelt es sich um Grundschulen, die im Gegensatz zu den meisten weiterführenden Schulen eine feste Klassenzuordnung zu Räumen haben, was die Verantwortung und Akzeptanz erhöht.

2.5.3 Effizienz der Nachtlüftung

Welchen Einfluss verschiedene Nachtlüftungskonzepte auf die morgendliche Raumtemperatur haben, hat der Kreis Groß-Gerau an einem Passivhausschulgebäude im Sommer 2019 untersucht.

Hierzu wurden die Außentemperatur sowie in vier vergleichbaren Räumen die Raumtemperatur aufgezeichnet und über die Gebäudeleittechnik je nach Variante die Nachtlüftungsfenster sowie die Volumenstromregler in der Zu- und Abluft auf- bzw. zugefahren.

Tabelle 2: Raumtemperaturabsenkung über Nacht bei unterschiedlichen Nachtlüftungsvarianten

Temperatur-Differenz Raum zu Außenluft 23:00 – 06:00 Uhr	V1: keine Lüftung, Fenster ZU	V2: keine Lüftung, Fenster AUF	V3: Zu- und Abluft AN (Luftwechsel 3-fach, WRG außer Betrieb) Fenster ZU	V4: Abluft AN (Luftwechsel 3-fach) Fenster AUF
Spreizung ca. 2 K	0 – 0,1 K (Ø 0,0 K)	0,3 – 1,5 K (Ø 0,95 K)	0,1 – 2,7 K (Ø 1,05 K)	2,3 – 2,5 K (Ø 2,35 K)
Spreizung ca. 4 K	0,1 – 0,2 K (Ø 0,1 K)	1,5 – 2,8 K (Ø 2,11 K)	0,9 – 2,3 K (Ø 1,49 K)	1,5 – 3,7 K (Ø 2,2 K)
Spreizung ca. 6 K	0,1 – 0,2 K (Ø 0,1 K)	/	1,4 – 2,0 K (Ø 1,7 K)	/

In der Tabelle sind die Temperaturabsenkungen für verschiedene Varianten und unterschiedliche nächtliche Temperaturdifferenzen aufgeführt. Durch die hohe Luftdichtigkeit und die sehr gute Dämmung des Gebäudes ergab sich bei geschlossenen Fenstern und Nichtbetrieb der Lüftungsanlage keine nennenswerte Absenkung der Raumtemperatur.

Bei der Variante 2 Fenster AUF und Lüftung AUS erhöhte sich die Effizienz der Raumabkühlung mit zunehmender Spreizung zwischen Raum- und Außentemperatur. Bei 4 K Spreizung konnte die Raumtemperatur im Mittel um ca. 2,1 °C abgesenkt werden gegenüber ca. 1 °C bei 2 K Spreizung. Ursache ist der sich einstellende höhere Luftaustausch bei steigender Temperaturdifferenz zwischen Raum und Außen.

Der alleinige Betrieb der Lüftungsanlage ohne gleichzeitige Fensteröffnung (Variante 3) führte zu Raumtemperaturabsenkungen zwischen ca. 1 – 1,7 °C. Bei größeren Temperaturunterschieden zwischen innen und außen wird deutlich, dass die Effizienz der Fensterlüftung (V2) gegenüber der Lüftungsanlage (V3) bedingt durch den höheren Luftaustausch wächst.

Bei Betrachtung der Ergebnisse der Variante 4 Fenster AUF mit Abluft AN zeigt sich, dass diese kombinierte Variante von Luftaustausch über Fenster und erzwungene Luftströmung durch die Lüftungsanlage bei geringen Spreizungen Vorteile bietet.

Die Ergebnisse insgesamt zeigen, dass Temperaturabsenkungen von 2 – 4 Grad erreichbar sind. Zu erwähnen ist, dass die Raumtemperatur im Messzeitraum (ohne lange Hitzeperiode) zu Beginn der Nachtauskühlung durch konsequente Verschattung bei moderaten 24 – 27 °C lag. Ersichtlich ist auch, dass die Raumabkühlung neben der Ausgangsraumtemperatur und der Nachtlüftungsvariante stark von den Außenbedingungen (Temperatur, Wind) abhängt.

Der Kreis Groß-Gerau ist bestrebt die Effizienz der Nachtkühlvarianten bei weiteren Schulen zu untersuchen. Zurzeit wird überwiegend die Variante 4 Nachtlüftungsfenster mit Abluft AN verfolgt.

2.6 Praxisbeispiele



Abbildung 5: Klassenraum Bertha-von Suttner Schule Mörfelden-Walldorf: thermische Speichermasse Betondecke weiß gestrichen, ist mit abgehängten Akustiksegeln zugänglich und trägt zur Pufferung von Temperaturspitzen bei. Als Kompensation wurden Akustikpaneele an der Rückwand angebracht. Auf der rechten Seite ist die Abkofferung für Lüftung zu sehen.

In der Planung gilt es die Anforderungen verschiedener Gewerke abzuwägen, um für das jeweilige Projekt den sinnvollsten Kompromiss zu finden. Zum Beispiel ist der Wunsch nach möglichst viel thermischer Speichermasse an der Decke in Einklang zu bringen mit den Akustikanforderungen und den erforderlichen Installationsräumen für die Haustechnik.

Holzbauten weisen bei der Erstellung eine deutlich bessere CO₂-Bilanz auf als Massivbauten. Die systembedingt geringere thermische Speichermasse muss bei der Betrachtung des sommerlichen Wärmeschutzes beachtet werden. Ein stimmiges Sonnenschutz- und Nachtlüftungskonzept ist bei solchen Bauten unabdingbar.



Abbildung 6: Grundriss Neubau Neue Grundschule Raunheim: überwiegend Holzkonstruktion, massive Stahlbetonkonstruktion zur Aussteifung und thermische Speichermasse (grüne Bauteile), massive Holzkonstruktionen (rote Bauteile),
Quelle: Fast + Epp Darmstadt

3 Zusammenfassung & Ausblick

Anhand der Beispiele und auf Basis der Grundlagenbetrachtungen wurde versucht darzulegen, wo die wichtigsten Punkte bei Planung und Betrieb von Schulen sind, um einen hohen sommerlichen Komfort sicher zu stellen.

Grundsätzlich sind zunächst alle möglichen baulichen Maßnahmen vorzunehmen, damit die Gebäude sich wenig erwärmen und auch gegenüber dem Nutzerverhalten möglichst robust sind. Der Passivhausstandard liefert hierfür eine sehr gute Grundlage und funktioniert sowohl im Winter als auch im Sommer. So sind Passivhaus-Schulen im Sommer in der Regel kühler als konventionelle und ältere Schulgebäude.

Die wichtigsten Maßnahmen sind:

- Maßvolle Dimensionierung der Fensterflächen: Das ist der beste Wärmeschutz, der obendrein auch die Investitionskosten reduziert.
- Verschattung: außenliegend, hinterlüftet, automatisch über Wetterstation gesteuert und am besten zweigeteilt, um Tageslichtnutzung zu maximieren.
- Wärmeschutz durch gut gedämmte Fenster und Wände: Dieser ist in der Regel durch den Passivhausstandard zur Genüge erfüllt, sodass Wärmeeinträge durch Transmission gering sind.
- Lüftung: Bei sehr hohen Außentemperaturen sollte die Lüftung mit Wärmerückgewinnung ausgenutzt werden, um den Wärmeeintrag zu minimieren. Ist es draußen kälter als drinnen sollte die Wärmerückgewinnung durch einen Bypass umgangen werden, um Wärme abzuführen oder alternativ mit Fenstern gelüftet werden.
- Nachtlüftung: Die natürliche Nachtlüftung ist bei intelligenter Planung eine günstige Möglichkeit, um tagsüber aufgestaute Wärme abzuführen, sodass die Gebäude morgens kühl sind.
- Thermische Massen: Insbesondere in Kombination mit der Nachtlüftung sind thermische Massen sehr hilfreich. Bei Massivbauten sollten diese möglichst zugänglich bleiben und wenig durch Abhängungen z. B. für Akustikmaßnahmen verdeckt werden. In Leichtbauten können thermische Massen bewusst eingebracht werden (z. B. Betondecke oder ein massiver Kern, der auch statische Probleme bei großen Spannweiten reduzieren kann).
- Minimierung der internen Lasten: Durch Einsatz effizienter Technik und energiesparender Regelung werden nicht nur Stromkosten eingespart, sondern auch Wärmelasten im Sommer reduziert.

- Die Planung für den Sommer sollte auch die Außenanlagen umfassen. Diese können die Umgebungstemperaturen durchaus um 1 – 2 K beeinflussen und damit auch im Gebäude den sommerlichen Komfort erhöhen.
- Einbeziehung der Nutzer: Einweisung in neue Gebäude sollten für das Bedienpersonal aber auch für alle Pädagog:innen erfolgen. Guten Erfahrungen wurden auch schon mit Schulungen für Schüler:innen gemacht, die oft ein viel besseres Auge für das Gebäude haben als die Lehrkräfte. Jährliche Wiederholung der Nutzerempfehlungen zur Auffrischung und um Wissensverlust durch Belegschafts-Fluktuation entgegen zu wirken.

Der Klimawandel bewirkt zunehmend steigende sommerlichen Temperaturen, längere Hitzeperioden und zunehmend wärmere Nächte. Dadurch nimmt insbesondere die Wirksamkeit der Nachtlüftung ab und Diskussionen über aktive Kühlung werden häufiger werden. Eine Vermeidung aktiver Kühlung sollte soweit irgend möglich wegen dem Spannungsfeld zwischen Bestands- und Neubauten angestrebt werden. Trotzdem wurde kürzlich im Rahmen einer Neubauplanung im Landkreis Darmstadt-Dieburg für einen Holzmodulbau erstmals eine Kühlung nötig. Die Simulationen ergaben grenzwertige Ergebnisse für den aktuell gültigen Klimadatensatz. Eine Simulation mit einem zukünftigen Klimadatensatz ergab allerdings auch bei moderat angenommenen Randbedingungen eine Verdopplung der Übertemperaturgradstunden für einige Räume. In dem Fall wurde nun der Einsatz einer reversiblen Wärmepumpe in Kombination mit einem Flächenheiz-/kühlsystem (hier Deckenheizung) eingeplant. So sollen Temperaturspitzen abgepuffert werden. Eine Temperierung auf eine Maximaltemperatur wurde bei der Auslegung nicht angestrebt. Grundsätzlich erscheint die Verwendung eines zukünftigen Klimadatensatzes (z. B. 2035), zumindest um die Robustheit auf Temperaturerhöhungen zu testen, sehr sinnvoll. Neben der Kühlung über Wärmepumpen wären auch adiabate Kühlung über die Lüftung bzw. Betonkernaktivierung mögliche Ansätze zur Temperierung, die bisher aber noch nicht in unseren Kommunen umgesetzt wurden. Ziel für jeden Neubau sollte es auf jeden Fall sein, dass dieser auch in Zukunft auch im Hochsommer nutzbar und damit am Ende wirklich nachhaltig ist.

Robert Weicht, LEA LandesEnergieAgentur Hessen GmbH, Wettinerstraße 3, 65189
Wiesbaden

Sommerlicher Wärmeschutz und sommerliche Gebäudekühlung

Es wird wärmer ...

Was können wir tun, damit wir weiterhin arbeitsfähig sind und uns die Wärme nicht zu
Kopfe steigt?

Mit dem Klimawandel müssen wir neue Anforderungen an unsere Gebäude stellen und
sie so planen, bauen und gestalten, dass wir weiterhin darin gut leben und arbeiten
können. Ob in Büro-, Produktionsgebäuden oder Schulen, es soll allen ermöglicht sein,
geschützt vor Hitze, Kälte oder Regen ihre Leistung zu erbringen, ohne Gefahr einer
gesundheitlichen Beeinträchtigung.

Es gibt nicht „die Maßnahme“ zum sommerlichen Wärmeschutz, die alle Probleme auf
einmal löst. Es gibt Faustregeln, die bei jeder Planung beachtet werden sollten:
Solare und interne Wärmeeinträge reduzieren, möglichst passive Kühlung anwenden
und effiziente Kühlsysteme vorsehen, falls passive Kühlmaßnahmen nicht ausreichen.

Eine ausreichende Dämmung verringert den Heizwärmebedarf und schützt die Ge-
bäude gleichzeitig im Sommer vor Wärmeeinträgen bei hohen Temperaturen und Son-
neneinstrahlung auf die Fassade. Gesetzliche Mindestanforderungen bieten Hilfestel-
lung bei der Umsetzung, doch gilt das Augenmerk auch Maßnahmen, die darüber hin-
ausführen. In Bestandsgebäuden und im Neubau sollte auf Nachtlüftung und gute Luft-
zirkulation geachtet werden. Beide Maßnahmen sind technisch simpel, haben aber
großes Potenzial, da der Energieverbrauch im Vergleich zu einer Klimaanlage gering
ist.

Darüber hinaus kann Erleichterung mit verschiedenen Verhaltensmaßnahmen und
passiven Maßnahmen, wie z. B. außenliegendem Sonnenschutz und Sonnenschutz
durch Begrünung, erreicht werden. Gleichzeitig wird die Atmosphäre verbessert sowie
das Gebäude verschönert, was sich dann wiederum auch auf das psychische Wohl-
befinden der Menschen positiv auswirkt.

Im Mittelpunkt der Bestrebungen sollte immer der Mensch mit seinen Behaglichkeits-
anforderungen stehen.

Die relevanten Einflussfaktoren für die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit sind
Luft- und Strahlungstemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftgeschwindigkeit sowie die jewei-
lige Aktivität und Bekleidung der Menschen. Als Regelwerk zur Beurteilung des ther-

mischen Komforts weist die Norm DIN EN ISO 7730 eine Rechenmethode zur Bestimmung des mittleren Komfortempfindens von Menschen aus, das mit dem sogenannten PMV-Wert (Predicted Mean Vote) angegeben wird.

Die empfundene Temperatur ist die Haupteinflussgröße für den thermischen Komfort und wird daher oft als Indikator herangezogen. Bis ca. 25 °C werden im Sommer von den meisten Menschen als behaglich empfunden. Darüber hinaus wird es aus rein physiologischen Gründen unangenehm. Der Komfort kann schon während der Planungsphase bewertet werden, z. B. durch eine Berechnung der zu erwartenden Temperaturüberschreitung.

Insbesondere angesichts der durch den Klimawandel steigenden Außentemperaturen ist die Sicherstellung des Sommerkomforts eine entscheidende Aufgabe der Gebäudeplanung – z. B. durch die Dämmung, die Größe der Fenster, deren Orientierung und Verschattung sowie effektive Lüftungskonzepte. Wenn selbst bei optimierter Planung absehbar ist, dass keine komfortablen Temperaturen gewährleistet werden können, sollte eine effiziente, aktive Kühlung vorgesehen werden.

Die Effektivität der Lüftungskonzepte ist mit den jüngsten Entwicklungen durch Covid 19 und der Messbarkeit der Luftqualität wieder stärker in den Fokus gerückt und vor allem die Frage, wie oft muss wieviel Frischluft zugeführt werden. Die einfachste und effektivste Messgröße ist der CO₂-Anteil in der Raumluft. Die Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) weist an dieser Stelle darauf hin, dass CO₂-Konzentrationen oberhalb von 2.000 ppm in Innenräumen generell als hygienisch inakzeptabel gelten (Ad hoc AG 2008, UBA 2017) und sowohl Leistung als Wohlbefinden abträglich sind (Salthammer et al. 2016, Petersen et al. 2016). Anzustreben ist ein CO₂-Wert im Mittel über den Tag von 1.000 ppm.

Beratungsangebot zum Thema Energieeffizienz für hessische Unternehmen:
<https://www.lea-hessen.de/unternehmen/uebersicht/>

Jessica Grove-Smith, Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Risikoanalyse Sommerkomfort: Nutzereinfluss, Klimaveränderung und Stadtklima

1 Robuste Planung für hohen Sommerkomfort

Die Sicherstellung hoher Behaglichkeit sowohl im Winter als auch im Sommer ist eine der zentralen Aufgaben jeder Gebäudeplanung. Es gilt, die Zusammenhänge und Einflussfaktoren zu verstehen und darauf basierend die Gebäudeplanung und alle Komponenten im Zusammenspiel so zu optimieren, dass ein hoher Komfort in der Nutzung verlässlich gewährleistet werden kann. Letztendlich kommt es auf den realen Nutzerkomfort an. Genau dieses Thema greift dieser Beitrag auf: Wie genau und wie verlässlich lässt sich Sommerkomfort in der Planung bestimmen? Was sind die wesentlichen Einflussfaktoren und Unsicherheiten? Wie kann eine Risikoanalyse während der Planung helfen, um Sommerkomfort in der Nutzung zu erzielen?

Die grundlegenden passiven Planungsansätze für hohen Sommerkomfort sind grundsätzlich bekannt und werden in diesem Artikel daher nicht im Detail erläutert. In Kürze und vereinfacht zusammengefasst geht es darum, die Wärmelasten zu reduzieren (solare und interne Wärmequellen sowie Transmissionslasten) und bei Bedarf zusätzliche Lüftung gezielt zur Auskühlung einzusetzen (insbesondere nächtliche Fensterlüftung). Diese Aspekte beeinflussen sich gegenseitig und sind zum Teil auf aktive Interaktion durch den Nutzer angewiesen.

Tools, gekoppelt mit konkreter Anforderung an den Sommerkomfort, sind wichtige Hilfestellungen, um während der Planung die erforderliche Gebäudeoptimierung all dieser Komponenten im Zusammenspiel durchführen zu können. In diesem Sinne wird bei Passivhäusern als konkretes Planungsziel und als Qualitätssicherungsmaßnahme die Überhitzungshäufigkeit begrenzt: Basierend auf Berechnungen mit dem Passivhaus-Projektierungspaket [PHPP] dürfen die Innentemperaturen 25 °C nicht mehr als 10 % der Stunden pro Jahr überschreiten. Empfohlen wird, dass sie unter 5 % liegen.

Die sorgfältig gewählten Randbedingungen, die für die Berechnungen in der Planungsphase verwendet werden, können von der tatsächlichen Gebäudenutzung abweichen. Zum Beispiel schwanken die Wetterverhältnisse von Jahr zu Jahr mit teils wärmeren und teils kühleren Sommern als die durchschnittlichen Klimabedingungen, die für die Planung verwendet werden. Auch die Nutzerinteraktion spielt eine nicht unwesentliche Rolle, z. B. wie oft und wann die Verschattung genutzt wird. Vor diesem Hintergrund ist eine Risikoanalyse für den Sommerkomfort in jeder Planung unerlässlich. Dabei

geht es darum, mittels Parametervariation in einem Stress-Test abzusichern, dass das Gebäude gut funktioniert, auch wenn etwas ungünstigere Randbedingungen auftreten.

Traditionell kommen Gebäude im typischen Klima von Deutschland meist gut ohne aktive Kühlung aus. Sommerliche Überhitzung ist kein dominantes Planungsthema und lässt sich leicht in den Griff bekommen. Vor dem Hintergrund steigender Temperaturen bedingt durch die Klimaerwärmung verschärft sich die Thematik jedoch zunehmend und eine robuste Planung hinsichtlich Sommerkomfort gewinnt stark an Bedeutung.

1.1 Bewertung des Sommerkomforts

Die Bewertung des thermischen Komforts, insbesondere im Sommer, ist eine nicht ganz triviale Fragestellung. Viele Einflussparameter beeinflussen das Wohlbefinden einer Person, dabei sind die wesentlichen Einflussfaktoren die Luft- und Strahlungstemperatur, Feuchte, Luftgeschwindigkeit, jeweils abhängig von aktueller Betätigung und Bekleidung (vgl. z. B. [Feist 2011]). Als vereinfachter und in der Praxis bewährter Indikator für den Sommerkomfort lässt sich die Temperatur heranziehen. Bei der Passivhaus-Bewertung wird basierend auf den Komfortklassen der DIN EN ISO 7730 eine Temperatur von 25 °C als Grenzwert verwendet. Ziel ist eine möglichst geringe Überschreitung dieses Grenzwerts (siehe Abbildung 1). Falls die Übertemperaturhäufigkeit laut Planung mit dem Passivhaus Projektierungspaket [PHPP] nicht verlässlich unter max. 10 % der Jahresstunden gehalten werden kann, wird eine aktive Kühlung benötigt, um einen hohen Sommerkomfort sicher zu stellen. Die Passivhaus-Anforderungen für den Sommerkomfort sind in Tabelle 1 zusammen gefasst.

$h_{>25}$	Bewertung
> 15%	katastrophal
10 – 15%	schlecht
5 – 10%	akzeptabel
2 – 5%	gut
0 – 2%	exzellent

Abbildung 1: Behaglichkeitseinstufung der mit dem PHPP berechneten Übertemperaturhäufigkeit [Schnieders 2012].

Tabelle 1: Indikatoren zur Sicherstellung des Sommerkomforts

	Passive Kühlung	Aktive Kühlung
Indikator Sommerkomfort	Übertemperaturhäufigkeit 25°C	Nutzkältebedarf zur Erhaltung von max. 25 °C
Passivhaus Kriterium [PHI 2016]	Grenzwert: < 10 % Empfehlung: < 5 %	< 15 kWh/(m²a) (kühl-gemäßigtes Klima)
Auswirkung abweichender Randbedingungen in der Gebäudenutzung	Wenig Ausgleich möglich, daher gewisses Risiko von inakzeptablem Sommerkomfort.	Ausgleich möglich: Sicherstellung des Komforts durch erhöhten Energieverbrauch.

1.2 Berechnungstools

Allgemein lässt sich bei Berechnungstools zwischen detaillierter dynamischer Simulation und vereinfachten Methoden unterscheiden. Welches Tool am besten geeignet ist, hängt nicht zuletzt von der konkreten Fragestellung ab.

- Dynamische Simulationen haben den Vorteil, dass sie eine zeitlich hoch aufgelöste und für einzelne Gebäudebereiche sehr detaillierte Analyse ermöglichen. Insbesondere für komplexe und große Gebäude, für die Entwicklung von Lösungen für kritische Räume oder für wissenschaftliche Betrachtungen sind dynamische Simulationen hilfreich und sinnvoll. Sie erfordern jedoch Erfahrung und Fachkompetenz in der Anwendung.
- Vereinfachte Verfahren haben dagegen den Vorteil, dass sie in der Planung schneller anzuwenden sind und direkte Rückschlüsse für wesentliche wegweisende Planungsentscheidungen liefern können (z. B. Verglasungsanteil oder -qualitäten, Gebäudeorientierung, Dämmqualitäten, etc.).

Die Thematik geeigneter Planungstools für den Sommerfall, insbesondere für komplexere Nichtwohngebäude, wurde im Rahmen einer früheren Sitzung des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser untersucht [Schnieders 2012]. Als Fazit wurde gefolgert, dass man das Sommerverhalten in den meisten Fällen mit vereinfachten Verfahren, wie sie z. B. im PHPP implementiert sind, zuverlässig planen kann. Die Berechnung des Nutzkältebedarfs mit dem PHPP hat sich bei der Untersuchung als sehr zuverlässig erwiesen und stößt nur bei zeitlich stark konzentrierten Lasten an Grenzen. Die PHPP-Kühllastberechnung liegt auf der sicheren Seite, wobei auch hier Vorsicht bei extrem geballten Lasten geboten ist. Etwas schwieriger wird es bei Gebäuden ohne aktive Kühlung. Die Übertemperaturhäufigkeit eignet sich als Indikator für das Sommerverhalten, lässt sich jedoch – ganz unabhängig vom Rechenverfahren – nur mit einer begrenzten Genauigkeit bestimmen. Letztendlich empfiehlt [Schnieders 2012]

dynamische Simulationen für stark gekoppelte Räume mit unterschiedlichen Anforderungen oder im Fall hoher Lasten mit starker zeitlicher Dynamik.

Unabhängig vom gewählten Tool und Rechenverfahren sind die Annahmen für die wesentlichen Einflussfaktoren und für die Randbedingungen der Berechnung letztendlich entscheidend für die Verlässlichkeit der Ergebnisse. Die Unsicherheit dieser Randbedingungen kann durchaus einen größeren Einfluss auf die tatsächlichen Temperaturen im Gebäude haben als der Unterschied zwischen einer vereinfachten stationären und einer detaillierten dynamischen Berechnung.

1.3 Annahmen und Unsicherheiten in der Planung

Die wesentlichen Einflussfaktoren, die während der Planung als Randbedingung in die Berechnung des Sommerkomforts eingehen, lassen sich grob in drei Kategorien gruppieren. Einige Aspekte können verlässlich quantifiziert werden, während für andere eine gewisse Unsicherheit besteht. Um die Unsicherheiten besser einschätzen zu können, werden diese in den Folgekapiteln näher beleuchtet.

1.3.1 Bauliche Maßnahmen:

Hierzu zählen unter anderem Orientierung, Gebäudegeometrie & Grundriss, Fensterflächenanteil, Verglasungseigenschaften, feststehende Verschattungselemente, Dämmstandard, Oberflächenfarbe, Fassaden- und Dachbegrünung, thermische Masse, ...

Diese baulichen Aspekte lassen sich verlässlich quantifizieren, und damit kann der Einfluss auf den Sommerkomfort auch recht zuverlässig berechnet werden. Wichtig sind an dieser Stelle vor allem eine realistische Einschätzung der Komponentenqualitäten für die Berechnung sowie hohe Qualitäten bei der Umsetzung.

1.3.2 Nutzerverhalten

Die Interaktion der Nutzer mit dem Gebäude hat einen hohen Einfluss auf den Sommerkomfort, insbesondere die Nutzung der Verschattung, Lüftungsgewohnheiten und internen Wärmelasten durch Belegungsdichte und technische Ausstattung (z. B. Home-Entertainment oder Büro-Ausstattung). Geeignete Annahmen für die Gebäudeplanung lassen sich aus typischen und durchschnittlichen Verhaltensmustern und Statistiken abschätzen, sind aber für die tatsächliche Gebäudenutzung nicht vorhersagbar. Kapitel 2 dieses Beitrags befasst sich mit Empfehlungen für die Gebäudeplanung hinsichtlich Sommerkomfort.

1.3.3 Wetter und Klima

Das Wetter variiert von Jahr zu Jahr, und selbstverständlich sind manche Jahre wärmer als andere. Zudem gibt es nachweislich einen Trend der Klimaerwärmung, und es ist zukünftig mit generell wärmeren Bedingungen zu rechnen als bisher. Zusätzlich können Unsicherheiten durch ein lokales Mikroklima ins Spiel kommen, insbesondere Stadtklimaeffekte (Wärmeinsel) im urbanen Kontext. Die Zielsetzung der Planung sollte sein, auch unter wärmeren Bedingungen einen guten Sommerkomfort gewährleisten zu können, d. h. es ergibt Sinn, einen gewissen Puffer für höhere Außentemperaturen einzuplanen. Der Wetter- und Klimaeinfluss wird im Kapitel 3 dieses Beitrags näher beleuchtet.

2 Nutzereinfluss

Nutzerverhalten, welche sich auf den Sommerkomfort auswirken, sind insbesondere die Nutzung von Verschattungselementen, sommerlicher Fensterlüftung sowie durch Nutzer beeinflussbare Wärmelasten im Gebäude. In Abbildung 2 ist ein Beispiel für gemessene Übertemperaturhäufigkeiten in weitestgehend baugleichen Gebäuden dargestellt. Im Rahmen eines umfangreichen Monitorings wurde in dieser ersten Passivhaus-Reihenhaussiedlung Deutschlands (Wiesbaden-Dotzheim) u.a. der Sommerkomfort näher betrachtet [Ebel et al. 2003]. Die mittlere Übertemperaturhäufigkeit im dargestellten Messjahr betrug 7 %, mit einer Streuung von sehr niedrigen 2 % bis hin zu über 20 % im schlechtesten Fall. Diese Spreizung ist vor allem auf unterschiedliche Verschattungsnutzung (teilweise Nachrüstung), unterschiedliche interne Wärmelasten und das Lüftungsverhalten der Bewohner zurückzuführen. Eine solche Normalverteilung der auftretenden Temperaturen ist statistisch zu erwarten, ganz unabhängig vom realisierten Effizienzstandard des Gebäudes.

Für eine Risikoeinschätzung ist es empfehlenswert, die Auswirkung von ungünstigem Nutzereinfluss auf den Sommerkomfort zu testen (siehe Kapitel 4 für konkrete Empfehlungen). Wie wirken sich erhöhte interne Wärmelasten aus? Wie sehr steigt die Übertemperaturhäufigkeit an, wenn die Verschattung weniger oder gar nicht genutzt wird? Wie wichtig ist die zusätzliche Fensterlüftung zur Auskühlung des Gebäudes? Durch eine solche Analyse können oft wertvolle Hinweise für eine robustere Sommerstrategie gewonnen werden. Ist das Risiko zu hoch, müssen Gegenmaßnahmen getroffen werden wie z. B. Anpassungen der Verglasungsflächen oder Installationen von festen Verschattungselementen anstelle von temporärer Verschattung.

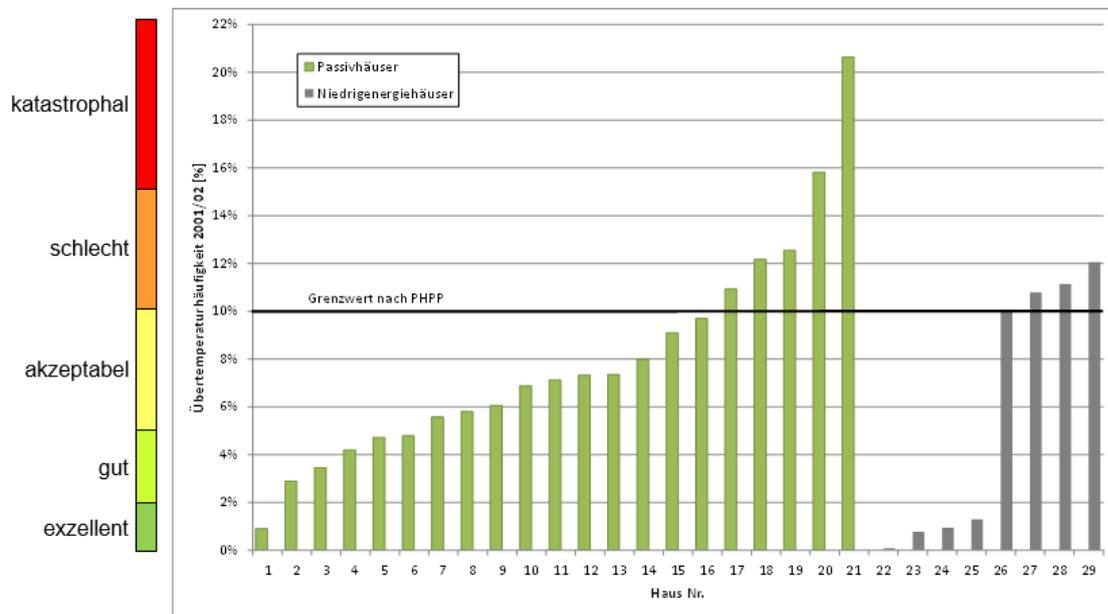


Abbildung 2: Gemessene Übertemperaturhäufigkeit von einzelnen Passivhaus (grün) und Niedrigenergie Gebäuden (grau) einer Reihenhaus-Siedlung in Wiesbaden-Dotzheim. Quelle: [Großklos 2018], angepasst durch PHI

"Ungünstiges" bzw. auf den Sommerkomfort nachteilig auswirkendes Verhalten der Bewohner bzw. Gebäudenutzer ist meist verursacht durch Unwissenheit, Missverständnisse oder auch durch Verhinderung aus praktischen Gründen. Für die Planung und Qualitätssicherung bedeutet das:

- Die projektspezifische Situation muss bei den Annahmen für die Verschattungsnutzung und Fensterlüftung zwingend berücksichtigt werden, z. B. Beeinträchtigungen durch eventuelle Lärmbelastung, Einbruchrisiko in niedrigen Geschossen, Beleuchtungsanforderungen, etc.
- Gezielte Informationen für den Nutzer bzw. Betreiber können helfen, Missverständnissen vorzubeugen und sicherzustellen, dass das Sommerkonzept so umgesetzt wird, wie es von den Planern konzipiert wurde.
- Je nach Gebäudetypologie kann eine Automatisierung von Verschattungselementen und/oder Fensteröffnungen unterstützend wirken. Dies ist insbesondere bei Nichtwohngebäuden immer öfter der Fall. Ausschlaggebend für den Erfolg ist an dieser Stelle eine verlässliche, möglichst einfache Regelung und ausreichende Wartung, um die Funktionalität zu gewährleisten.

3 Wetter- und Klimaeinfluss

Das Potential passiver Kühlmaßnahmen wird stark durch die aktuell vorherrschenden Wetterbedingungen beeinflusst: An sonnigen Tagen gibt es höhere solare Einträge in das Gebäude und während andauernden Hitzeperioden steigt nicht nur die Transmissionswärmelast, es sinkt zusätzlich auch das Potential einer Auskühlung über nächtliche Lüftung. In der Gebäudeplanung werden üblicherweise und aus gutem Grund historische Klimadaten von einem geeigneten Referenzstandort verwendet, die typische durchschnittliche Verhältnisse der Region widerspiegeln. Der Ansatz von Klimazonen und Referenzorten ist im Kontext der Gebäudeplanung ausreichend genau. Vor dem Hintergrund der jährlichen Wetterschwankungen und der ohnehin begrenzten Genauigkeit der Klimamessungen und -aufarbeitung würden ortsgenaue Klimadaten einen falschen Eindruck von hoher Präzision vermitteln. Wichtiger als örtliche Präzision ist vielmehr die Verwendung von verlässlichen und aktuellen Klima-Randbedingungen, um die Funktionalität des Gebäudes gewährleisten zu können. Mit "Funktionalität" ist im Kontext die Sicherstellung eines ausreichenden Sommerkomforts gemeint, d. h. verlässliche Begrenzung der Übertemperaturhäufigkeit oder eine ausreichend dimensionierte aktive Kühlung.

Für eine Risikoeinschätzung ist es empfehlenswert, die Auswirkung höherer Außentemperaturen auf den Sommerkomfort zu testen (siehe Kapitel 4 für konkrete Empfehlungen). Funktioniert das geplante Sommerkonzept auch in einem Extremsommer, dem lokalen städtischen Mikroklima und auch für zukünftige Klimaprognosen oder wird doch eine aktive Kühlung benötigt?

3.1 Zukunftsklima

Projektionen für zukünftiges Klima sind eine hochkomplexe Aufgabe. Klimaforscher führen hierfür umfangreiche Simulationen mit Hilfe von Klimamodellen durch, um auf Basis unterschiedlicher Emissionsszenarien eine Bandbreite von möglichen zukünftigen Klimaänderungen zu entwickeln. Diese zukünftigen Klimaprojektionen sind daher unausweichlich mit einer gewissen Unsicherheit behaftet. Diese Unsicherheit ist höher, je weiter der betrachtete Zeitpunkt in der Zukunft liegt und je kleiner die betrachtete Region ist. Klimaprojektionen für Deutschland weisen für das mittlere Emissionsszenario (RCP 4.5) auf eine durchschnittliche Erwärmung im Sommer von ca. 1,5 K bis zum Jahr 2050 hin (siehe Abbildung 3). Der vom Deutschen Wetterdienst online zugängliche Deutsche Klimaatlas ermöglicht eine Betrachtung von regionalen und saisonalen Projektionen. Zusätzlich zur Lufttemperatur sind weitere hilfreiche Indikatoren für die Sommerbedingungen enthalten: Die projektierte Anzahl von Sommertagen (max. Temperatur > 25 °C), heißen Tagen (max. Temperatur > 30 °C) und Tropennächten (min. Temperatur > 20 °C).

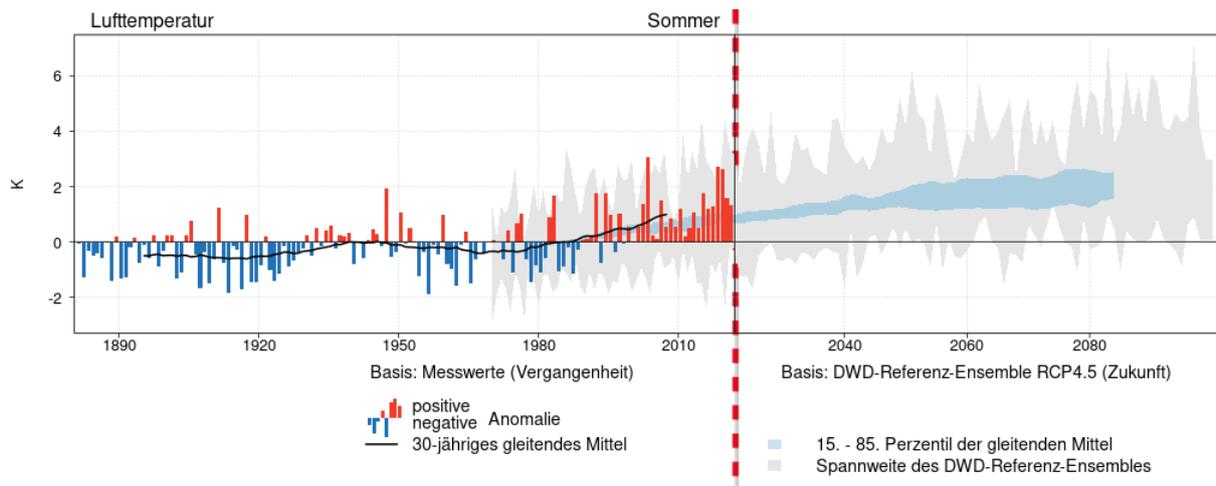


Abbildung 3: Anomalie (Abweichungen von den vieljährigen Mittelwerten 1971 – 2000) der mittleren Lufttemperatur im Sommer für Deutschland. Quelle und weitere Informationen: Deutscher Klimaatlas [DWD 2021].

Im Folgenden wird ein Beispiel für die Auswirkung von zukünftigen Klimaprojektionen auf die Übertemperaturhäufigkeit in Gebäuden aufgezeigt. Für die Analyse wurden die aktuellen Testreferenzjahr-Datensätze vom Zeitraum 1995 – 2012 für den Standort Frankfurt herangezogen [BBR/DWD 2017]. Verglichen wird in Abbildung 4 zunächst die mit dem PHPP berechnete Übertemperaturhäufigkeit für ein Bürogebäude unter aktuellen Klimabedingungen (2015) und unter einer Klima-Projektion (2045), jeweils sowohl für ein typisches Jahr als auch für einen Extremsommer. Für dieses konkrete Beispiel wird der erreichte Sommerkomfort im Jahr 2045 etwa einem heutigen Extremsommer entsprechen, mit einer akzeptablen Übertemperaturhäufigkeit im Bereich von 5 – 8 % (blaue Balken). Unter Berücksichtigung eines ungünstigen Nutzerverhaltens (rote Balken) steigt die Übertemperaturhäufigkeit in einen grenzwertigen bzw. inakzeptablen Bereich um die 10 %. Während eines zukünftigen Extremsommers wird der Sommerkomfort laut dieser Analyse nicht mehr eingehalten und es müssen mit hoher Wahrscheinlichkeit Gegenmaßnahmen getroffen werden. Abbildung 5 zeigt den berechneten spezifischen Energiebedarf für dieselben Szenarien unter der Annahme, dass eine aktive Kühlung vorgesehen und das Gebäude auf 25 °C gekühlt wird. Der Nutzkältebedarf steigt zwar unter zukünftigen wärmeren Bedingungen, ist aber in allen Fällen sehr niedrig (unter 5 kWh/(m²a)). Gleichzeitig sinkt der Heizwärmebedarf unter den angenommenen Zukunftsprojektionen um ca. 4 kWh/(m²a).

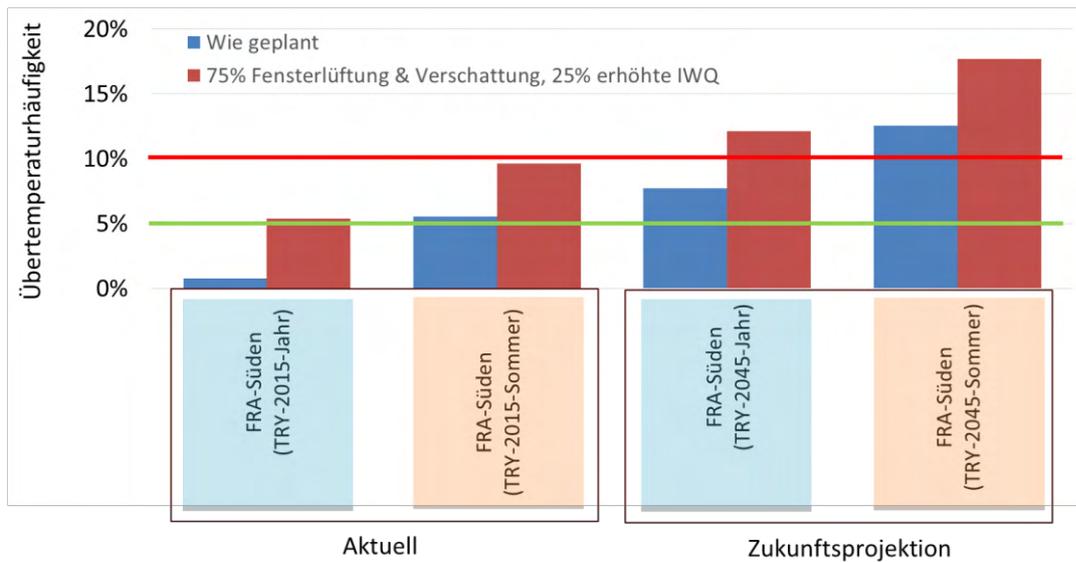


Abbildung 4: Mit dem PHPP berechnete Übertemperaturhäufigkeit für ein Bürogebäude in Frankfurt unter aktuellen Klimabedingungen, sowie Klimaprojektionen von 2045. Jeweils für den Fall idealer Nutzerinteraktion (blaue Balken) sowie mit Risikoaufschlag für ungünstiges Nutzerverhalten (rote Balken).

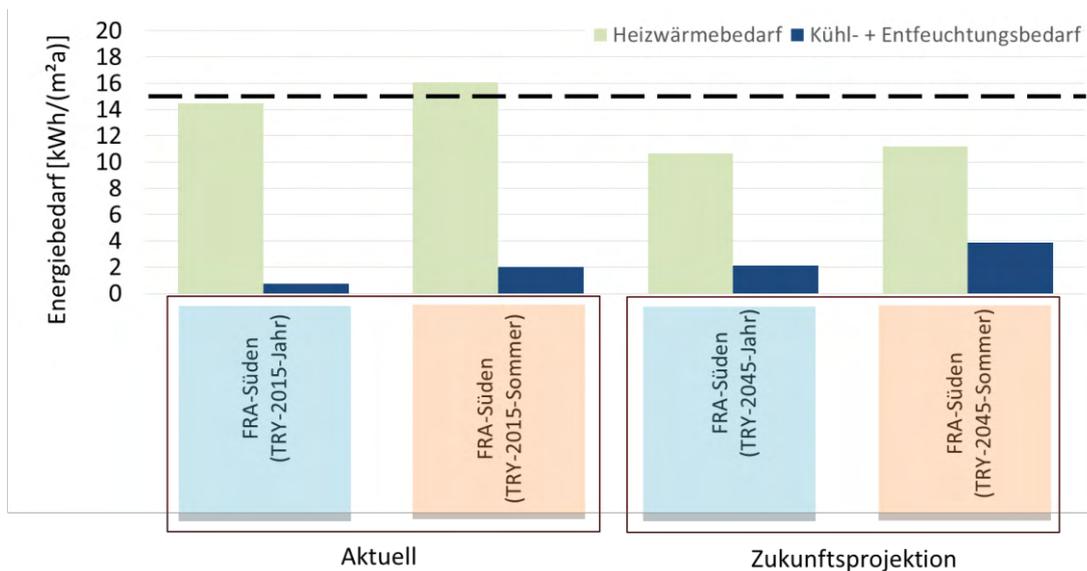


Abbildung 5: Mit dem PHPP berechneter spezifischer Energiebedarf für Heizung (grün) und Kühlung (blau) für ein Bürogebäude in Frankfurt unter aktuellen Klimabedingungen sowie für Klimaprojektionen von 2045.

3.2 Städtische Wärmeinsel

Als städtische Wärmeinsel (auch Urban Heat Island, UHI) wird der Effekt bezeichnet, wenn Temperaturen in innerstädtischer Lage höher ausfallen als im Umland. Im Wesentlichen tritt dieser Effekt durch höhere solare Absorption auf, die eine stärkere Erwärmung bedingt. Wichtige Einflussfaktoren sind z. B. Bebauungsdichte, Versiege-

lungsgrad, Grünflächenanteil, Bewölkung und Windgeschwindigkeit. Typische Auswirkung des Effekts sind allgemein höhere Temperaturen als im Umland, insbesondere in der Sommermonaten, und tendenziell weniger Abkühlung nachts, wodurch das Potential zur Auskühlung über eine Nachtlüftung eingeschränkt wird.

Da die Erwärmung sowohl lokal als auch zeitlich stark schwankt, sind pauschale Abschätzungen der Temperaturerhöhung schwierig. Es gibt verschiedene Ansätze, die zumindest als Anhaltspunkt herangezogen werden können. [Wienert 2013] schlägt z. B. eine Formel der maximal zu erwartenden stundenmittleren Temperaturerhöhung anhand der Einwohnerzahl vor, mit Reduktionsfaktoren je nach Windgeschwindigkeit und Bewölkung. Als grober Richtwert für die Energiemodellierung mit dem PHPP können Temperaturerhöhungen in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl mit einem pauschalen Reduktionsfaktor verwendet werden (siehe Abbildung 6). Für eine genauere Abschätzung ist eine Betrachtung des Einzelfalls notwendig, insbesondere der lokalen Bebauungsdichte. Als Hilfestellung können hierbei z. B. Infrarotaufnahmen von Städten dienen, aus denen die Stärke des Wärmeinseleffekts in verschiedenen Stadtteilen sichtbar wird (siehe Beispiele in Abbildung 7).

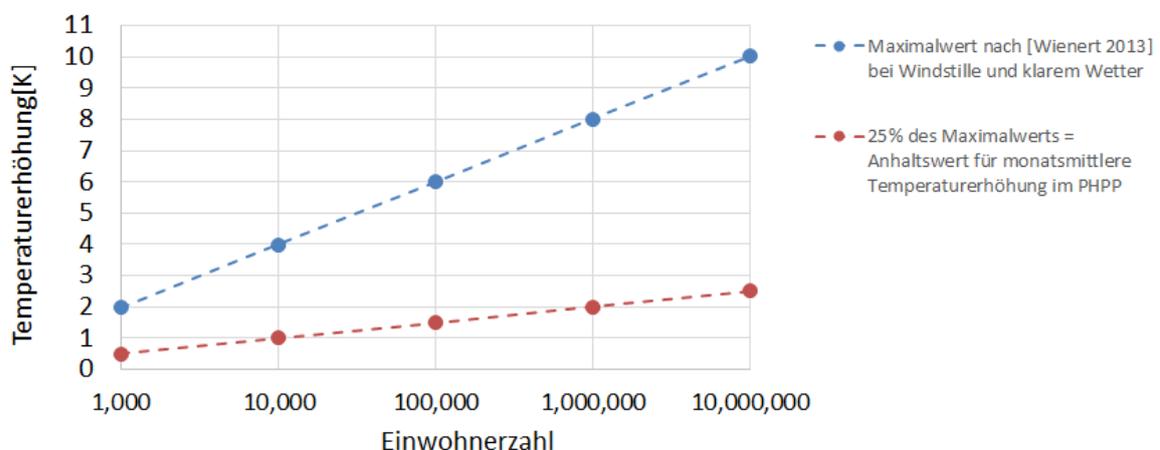


Abbildung 6: Richtwerte für die Temperaturerhöhung bedingt durch den städtischen Wärmeinseleffekt in Abhängigkeit von der Einwohnerzahl. Die blaue Kurve zeigt die maximale stundenmittlere Temperaturerhöhung bei Windstille und klarem Wetter nach [Wienert 2013]. Die rote Kurve zeigt Anhaltswerte für die monatsmittlere Temperaturerhöhung, die als grober Anhaltswert für die Energiemodellierung mit dem PHPP angesetzt werden kann.

Für eine Einschätzung der Auswirkung auf den Sommerkomfort in Gebäuden wurden einige Beispiele für Deutschland berechnet. Auch hier wurden wieder die aktuellen ortsgenauen Testreferenzjahr-Datensätze herangezogen [BBR/DWD 2017]. Abbildung 8 zeigt die Auswertung für drei beispielhafte Städte: Hamburg, Frankfurt und München. In den konkret betrachteten Fällen ist die Temperatur im Sommer innerstäd-

tisch durchschnittlich ca. 1,4 – 1,6 K höher als im Umland. Die Anzahl der Sommertage, heißer Tage und Tropennächte steigt in innerstädtischer Lage. Zu beachten ist bei dieser Analyse, dass es sich nicht um Messdaten handelt, sondern um interpolierte Klimadaten im 1-mal-1-km²-Raster des DWD. Die Auswertung gilt auch nur für die jeweils ausgewählten Koordinaten und lässt sich nicht ohne weiteres verallgemeinern oder für einen konkreten Standort anwenden. Die Analyse ist dennoch aufschlussreich für ein besseres Verständnis einer typischen Ausprägung des städtischen Wärmeinseleffekts.

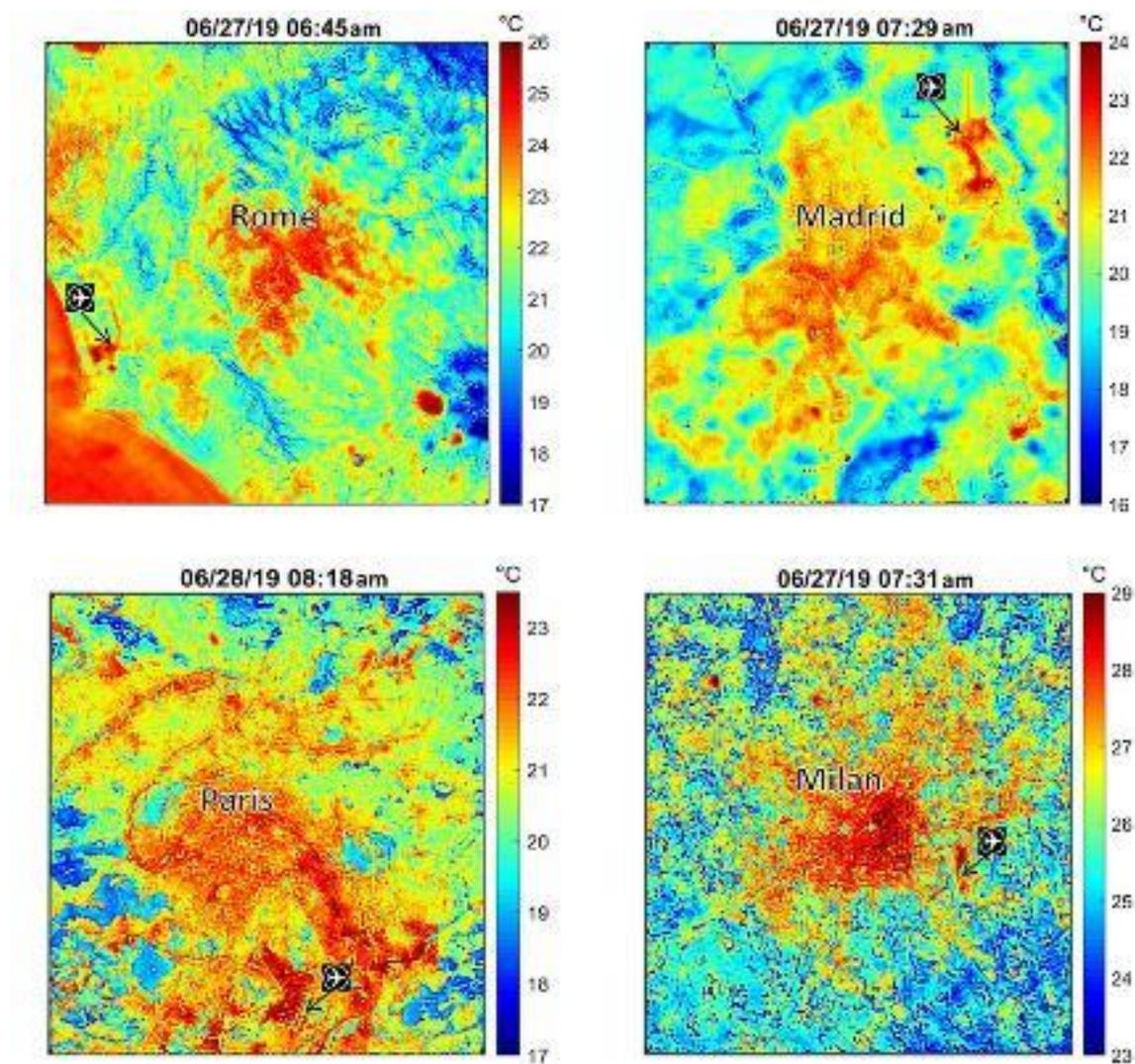
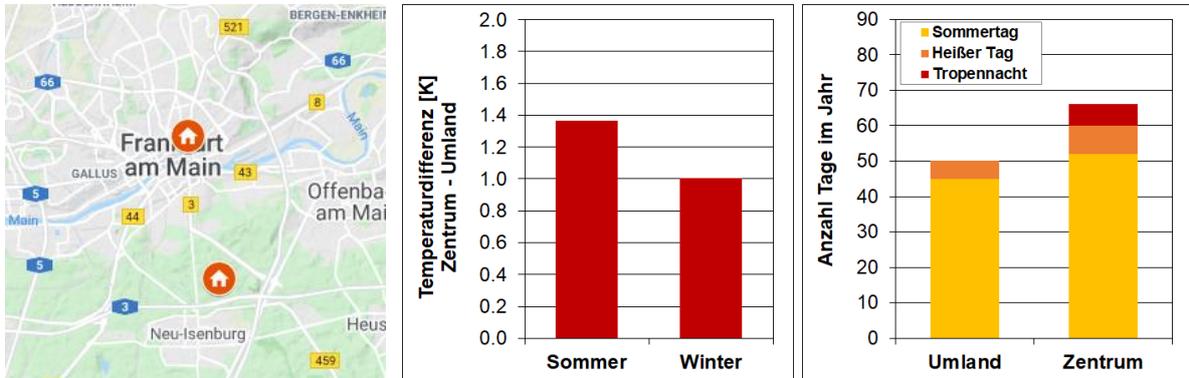
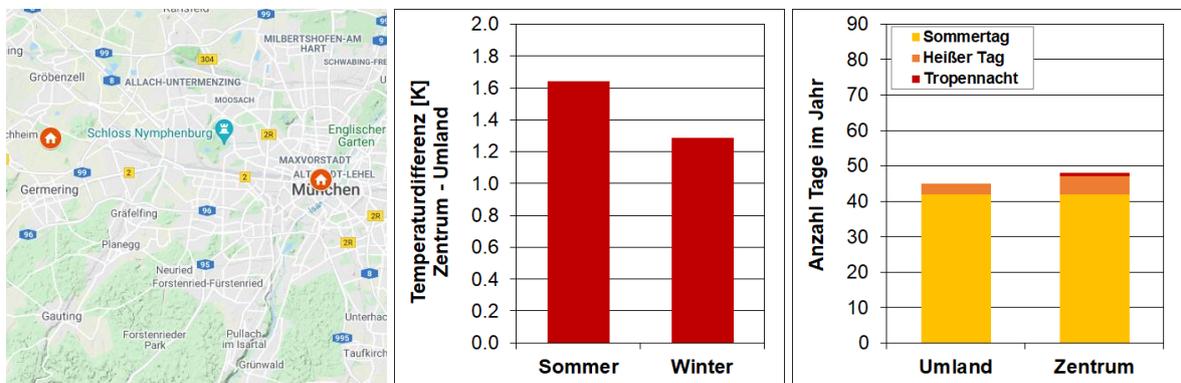


Abbildung 7: Oberflächentemperatur-Messungen von vier europäischen Großstädten (ECOSTRESS) in den frühen Morgenstunden, 27. & 28. Juni 2019. Die rote Einfärbung zeigt deutlich den städtischen Wärmeinseleffekt mit höheren Temperaturen in innerstädtischer Lage. Quelle: NASA/JPL-Caltech

FRANKFURT (ca. 0,7 Mio. Einwohner)



MÜNCHEN (ca. 1,49 Mio. Einwohner)



HAMBURG (ca. 1,85 Mio. Einwohner)

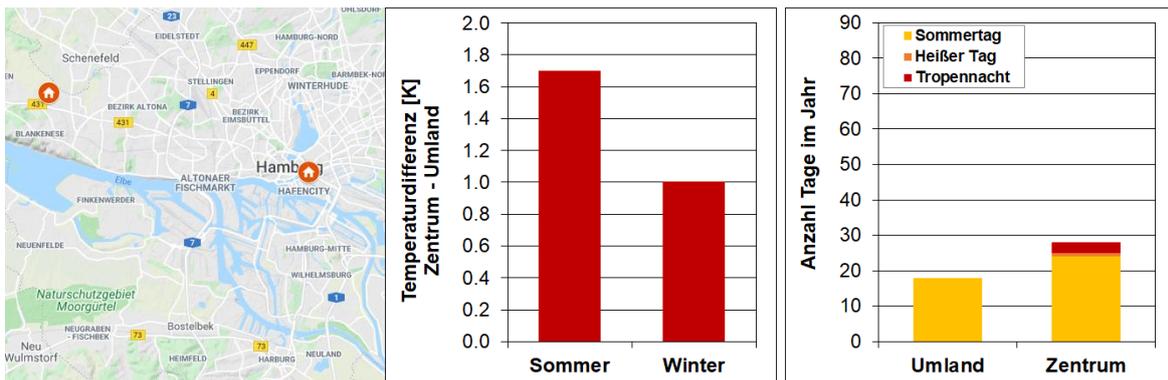


Abbildung 8: Städtischer Wärmeinseleffekt: Auswertung der aktuellen Testreferenzjahre für drei Städte in Deutschland. In den Sommermonaten (Mai-Aug) ist die Temperatur ca. 1,5 K höher als im Umland. Auch die Anzahl der Sommertage (max. Temperatur > 25 °C), der heißen Tage (max. Temperatur > 30 °C) und der Tropennächte (min. Temperatur > 20 °C) steigt in städtischer Lage. Quelle Einwohnerzahlen: [Wikipedia]

Für das Beispiel Frankfurt wurden die Klimadaten als Randbedingung für ein Beispiel-Bürogebäude mit dem PHPP berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 9 dargestellt. Hier ist deutlich erkennbar, dass die Übertemperaturhäufigkeit in innerstädtischer Lage für ein baugleiches Gebäude kritischer ausfällt – im konkreten Fall steigt die Übertemperaturhäufigkeit um ca. 5 %. Während eines besonders warmen Sommers oder unter Berücksichtigung zukünftiger Erwärmungsprojektionen wird in diesem Beispiel in innerstädtischer Lage kein ausreichender Sommerkomfort erreicht. Die Planung müsste in diesem Fall angepasst werden, um die passiven Kühlmaßnahmen weiter auszuschöpfen und ggf. aktive Kühlung zu ergänzen. Wie in Abbildung 10 ersichtlich, wäre der aktive Nutzkältebedarf eines solchen Passivhauses sehr niedrig.

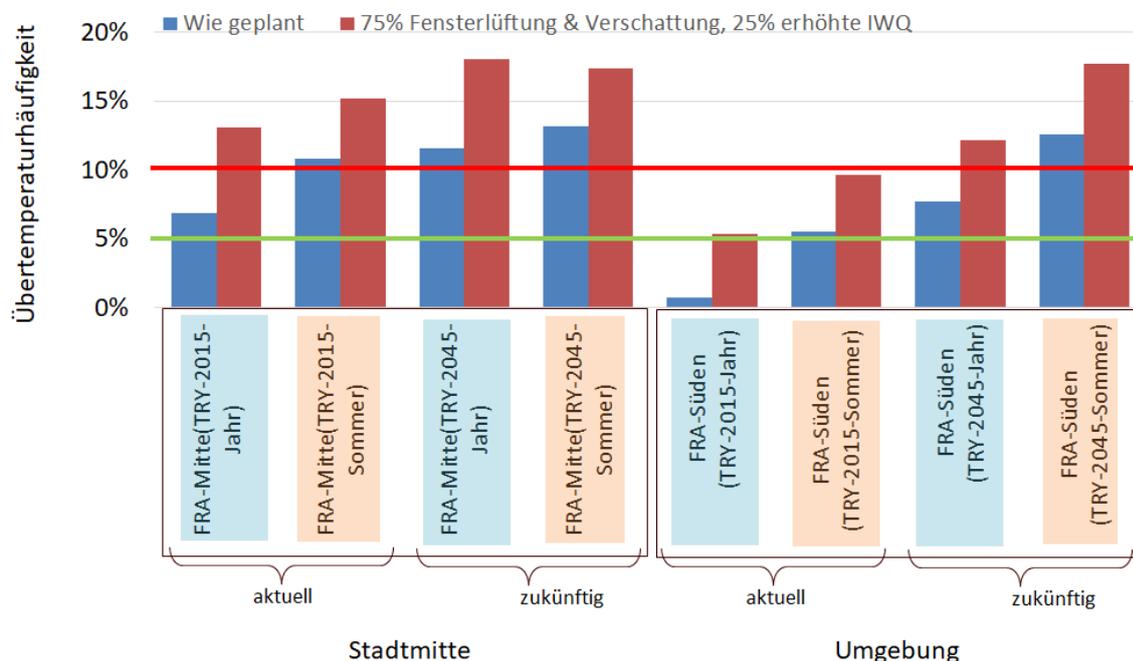


Abbildung 9: Mit dem PHPP berechnete Übertemperaturhäufigkeit für ein Bürogebäude im Umland (rechts) sowie in der Stadtmitte von Frankfurt (links), jeweils unter aktuellen Klimabedingungen, einem aktuellen Extremsommer, sowie einer mittleren Klimaprojektion für 2045. Dargestellt jeweils für den Fall idealer Nutzerinteraktion (blaue Balken) sowie mit Risikoaufschlag für ungünstiges Nutzerverhalten (rote Balken).

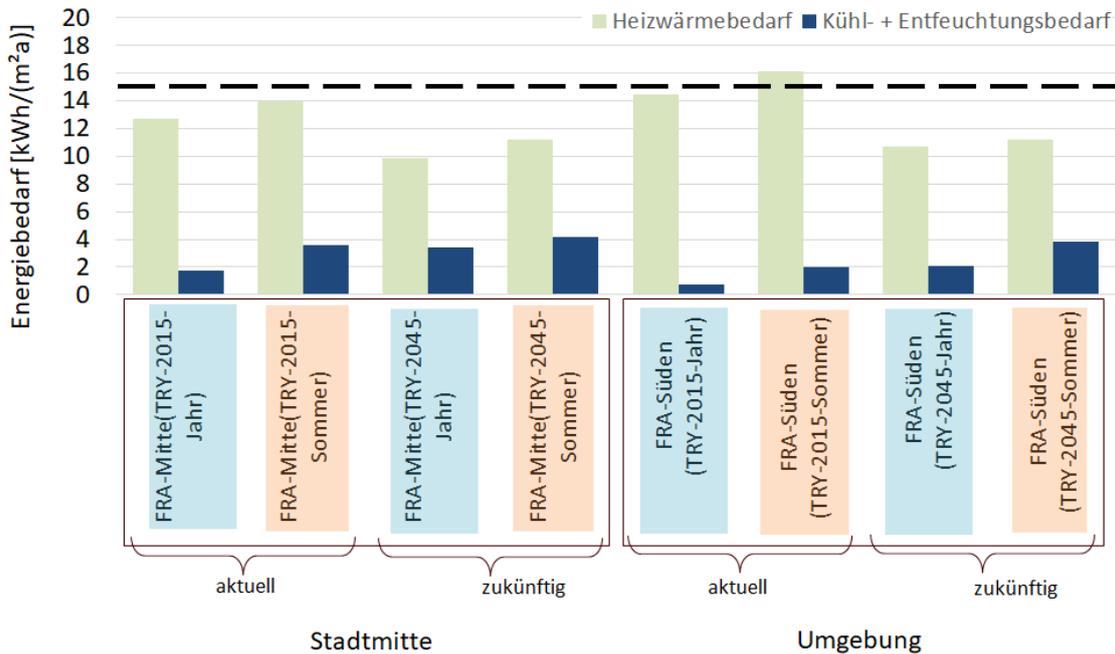


Abbildung 10: Mit dem PHPP berechneter spezifischer Energiebedarf für Heizung (grün) und Kühlung (blau) für ein Bürogebäude in der Stadtmitte von Frankfurt (links) sowie im Umland (rechts), jeweils unter aktuellen Klimabedingungen, einem aktuellen Extremsommer sowie einer mittleren Klimaprojektion für 2045.

3.3 Empfehlung Klimadaten

Es stellt sich nun also die Frage, welche Klimadaten als Randbedingung für die Energiemodellierung herangezogen werden sollten. Eine standortgenaue Präzision ist wie eingangs beschrieben trügerisch. Projektionen für zukünftiges Klima sind mit hoher Unsicherheit behaftet und auch mikroklimatische Effekte, wie z. B. der städtische Wärmeinseleffekt, können nur abgeschätzt werden. Die Empfehlung lautet an dieser Stelle: "Keep it simple" für robuste und hohe Planungssicherheit. Der Verwendung von plausiblen Sicherheitsaufschlägen in Verbindung mit einer Risikoanalyse ermöglicht eine vereinfachte und handhabbare Planung mit hoher Verlässlichkeit.

Zum Zweck der Risikoanalyse stellt das Passivhaus Institut ein Tool zur Verfügung, mit dem die Sommertemperaturen vorhandener Klimadaten im PHPP-Format erhöht werden können [PHI 2021]. Dieses Feature ist ab dem PHPP 10 fest integriert.

4 Risikoanalyse in der Planung

Der in der Planungsphase berechnete Sommerkomfort (Übertemperaturhäufigkeit) entspricht den erwarteten Bedingungen im Gebäude unter den jeweiligen Randbedingungen und Annahmen, die im Rechentool eingegeben wurden. Wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben ist es jedoch wichtig zu beachten, dass diese Übertemperaturhäufigkeit sehr empfindlich gegenüber vielen Einflussfaktoren ist, welche wiederum in der Nutzung deutlich variieren können. Viele dieser Aspekte wirken sich stark auf den sommerlichen Komfort des Gebäudes aus, insbesondere die Nutzerinteraktion mit dem Gebäude (vor allem manuelle Fensterlüftung, Verwendung von Beschattung und interne Wärmelasten) und das Wetter (z. B. Hitzeperioden) bzw. Klima (zukünftige Klimaerwärmung und lokale Wärmeinseleffekte).

4.1 Sommerkomfort-Stresstest mit dem PHPP

Um die mögliche Übertemperaturhäufigkeit unter einer Reihe von wahrscheinlich auftretenden, weniger günstigen Randbedingungen besser zu verstehen, ist es unerlässlich, eine Risikoanalyse durchzuführen. Für das PHPP 10 wurde als Hilfestellung ein solcher "Stresstest" entwickelt und fest in das Tool integriert, um den Planern die robuste Planung hinsichtlich Sommerkomfort zu erleichtern. Ergänzend zu den Standard-Randbedingungen werden parallel 5 zusätzliche Varianten berechnet, mit jeweils unterschiedlichen Annahmen zum Sommerklima und zur Nutzerinteraktion. Diese Analyse liefert wertvolle Rückmeldungen zum möglichen Risiko einer Überhitzung über das Hauptergebnis des PHPP hinaus. Sie trägt auch dazu bei, die Ursachen einer möglichen Überhitzung besser zu verstehen und so zu robusteren und widerstandsfähigeren Planungsentscheidungen bezüglich des Sommerkomforts zu gelangen. Abbildung 11 zeigt einen Ausschnitt des PHPP mit einem beispielhaften Stresstest. Für jede Variante werden die Ergebnisse für den sommerlichen Komfort als prozentuale Übertemperaturhäufigkeit, als Übertemperaturgradstunden sowie als tägliche Innentemperaturschwankung zusammengefasst.

Bei erkennbar hohen Übertemperaturhäufigkeiten für die Stresstestergebnisse müssen Gegenmaßnahmen ergriffen werden, z. B. kleinere Verglasungsflächen, angepasste Fensterausrichtung, mehr Verschattung und/oder Verbesserung des Nachtlüftungskonzepts. Idealerweise sollte das Gebäude so konzipiert sein, dass alle Varianten des Stresstests eine niedrige Übertemperaturhäufigkeit aufweisen (unterhalb der Passivhaus-Zertifizierungsgrenze von 10 %). Dies wird jedoch nicht immer möglich und auch nicht immer notwendig sein. Die Bewertung des Überhitzungsrisikos muss im Zusammenhang mit dem jeweiligen Projekt analysiert werden. Bei gefährdeten Bewohnern (z. B. in einem Seniorenheim) oder bei unbekanntem und sehr durchmischtem

Nutzern (z. B. Mieter in einem Mehrfamilienhaus) ist es deutlich wichtiger, den Sommerkomfort verlässlich gewährleisten zu können, als z. B. bei einem privaten Einfamilienhaus mit Gartenzugang.

Die relevanten Parameter werden im Stresstest sowohl einzeln als auch in Kombination betrachtet. Die Annahmen, die den 5 voreingestellten Stresstestvarianten zugrunde liegen, sind in Tabelle 2 zusammengefasst, gefolgt von einer kurzen Beschreibung der einzelnen Parameter und einer Herleitung der Parametervariation.

Risikoanalyse Sommerkomfort Passivhaus mit PHPP Version 10.1 DE 

	wie geplant	kombinierter Stresstest	Fensterlüftung reduziert	ohne temporäre Verschattung	erhöhte IWQ	erhöhte Außentemperatur	manuelle Eingabe
Nutzereinfluss							
Sommerluftwechsel über Fenster	1/h	0.36	0.30	0.30	0.36	0.36	
Nachtlüftung über Fensteröffnung	1/h	0.15	0.10	0.00	0.15	0.15	
Nutzung temporärer Verschattung	-	90%	80%	90%	0%	90%	
Interne Wärmequellen	W/m²	2.4	3.0	2.4	2.4	4.8	2.4
Sommerklima							
Sommertemperaturerhöhung	K	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	2.0
Ergebnisse							
Übertemperaturhäufigkeit		1%	14%	11%	14%	10%	7%
Übertemperaturgradstunden	Kh	80	2025	1238	2043	814	505
Tägl. Innentemperaturschwankung	K	0.6	0.6	0.6	0.9	0.7	0.6

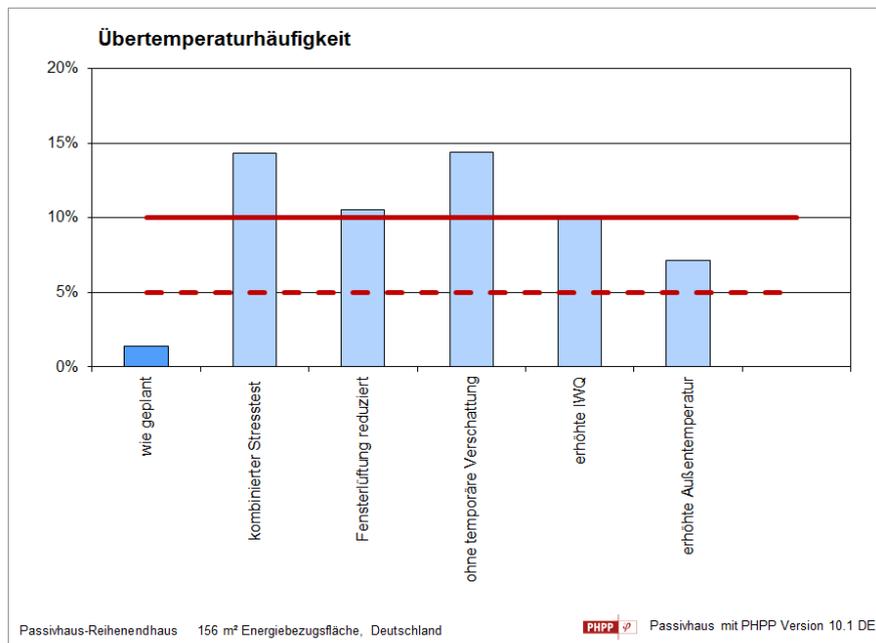


Abbildung 11: Screenshot des PHPP (Version 10) Sommerkomfort-Stresstests. Unter Standard-Randbedingungen (ganz links) liegt die Übertemperaturhäufigkeit unter 5 %. Laut Risikoanalyse steigt sie auf 10 % oder mehr bei reduzierter Verschattung, Nachtlüftung oder erhöhten Internen Wärmequellen (IWQ).

Tabelle 2: Parametervariationen für den voreingestellten Sommerkomfort-Stresstest im PHPP. Die mit einem Sternchen versehenen Einträge zeigen an, dass die Werte gemäß den projektspezifischen Annahmen verwendet werden. Quelle: Handbuch [PHPP]

	1	2	3	4	5
	Kombinierter Stresstest	Fensterlüftung	Temporäre Verschattung	Interne Wärmegewinne	Klima
Nutzereinfluss					
Grundlegende Sommerlüftung über Fenster	= Winter Luftwechsel	Winter Luftwechsel ²⁾	*	*	*
Zusätzliche Fensterlüftung nachts ¹⁾	≤ 0,1 h ⁻¹	0 h ⁻¹	*	*	*
Reduktionsfaktor für den Einsatz von temporärer Verschattung	80 % (Automatik) 70 % (manuell)	*	0 %	*	*
Interne Wärmelasten	125 %	*	*	200 %	*
Klimaeinfluss					
Temperaturanstieg im Sommer	+ 1,5 K	*	*	*	+ 2,0 K

¹⁾ Luftwechselrate bei 1K Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur, gemäß PHPP-Konventionen.
²⁾ Die gesamte Grundluftwechselrate, die im Sommer hygienisch notwendig ist, darf nicht höher sein als die im Winter angenommene durchschnittliche Luftwechselrate.

4.1.1 Nutzereinfluss: manuelle Fensterlüftung

Die Fensterlüftung beruht auf dem manuellen Öffnen und Schließen der Fenster durch die Nutzer – sowohl tagsüber für die Grundlüftung als auch nachts für die zusätzliche passive Kühlung. Wenn die Nutzer weniger Fenster oder diese für einen kürzeren Zeitraum öffnen als für das Energiemodell angenommen (z. B. nur in den Abendstunden, aber nicht während der gesamten Nacht), ist das Potential zur passiven Kühlung reduziert und die durchschnittlichen Temperaturen im Gebäude fallen mit hoher Wahrscheinlichkeit höher aus.

Annahmen für den Sommerkomfort-Stresstest:

Für die Grundlüftungsrate wird im Stresstest davon ausgegangen, dass die Gesamtlüftungsrate im Sommer (Lüftungsanlage im Bypass-Modus, plus Fensterlüftung) nicht höher ist als der hygienisch erforderliche Luftwechsel im Winter. Dies entspricht der Annahme, dass die mechanische Lüftungsanlage ganzjährig mit gleichbleibender durchschnittlicher Luftwechselrate betrieben wird, ohne zusätzliche Fensterlüftung im Sommer.

Für die zusätzliche Nachtlüftung begrenzt der kombinierte Stresstest die Lüftungsrate auf max. $0,1 \text{ h}^{-1}$ (bei 1 K Temperaturdifferenz innen und außen), was etwa einem gekippten Fenster pro 60 m^2 Wohnfläche entspricht. Bei der extremen Stresstestvariante, die nur die Auswirkungen der manuellen Fensterlüftung betrachtet, wird die zusätzliche Nachtlüftung auf null gesetzt.

4.1.2 Nutzereinfluss: Temporäre Verschattung

Auch manuelle Verschattungselemente sind in hohem Maße von der Anwendung der Nutzer abhängig. So kann es beispielsweise vorkommen, dass an einem sonnigen Sommertag morgens die Jalousien nicht geschlossen werden, bevor das Haus für den Arbeitsalltag verlassen wird, oder dass die Verschattungselemente aus persönlicher Vorliebe teilweise geöffnet bleiben, um besseren Zugang zum Tageslicht zu ermöglichen.

Annahmen für den Sommerkomfort-Stresstest:

Für den kombinierten Stresstest werden dieselben Sicherheitsfaktoren angewandt wie für die PHPP-Kühlbedarfsalgorithmen, d. h. die Reduktion der einfallenden Strahlung wird im Falle der Nutzung von manueller Verschattung nur mit 70 % des technisch Möglichen angenommen, im Falle einer automatisch geregelten Verschattung mit 80 %. Bei der Variante des extremen Stresstests, die ausschließlich die Auswirkungen einer zusätzlichen sommerlichen Verschattung betrachtet, wird angenommen, dass gar keine temporäre Verschattung vorhanden ist (Abminderungsfaktor $z = 100 \%$).

4.1.3 Nutzereinfluss: Interne Wärmegewinne

Die Wärmegewinne innerhalb des Gebäudes werden größtenteils durch Menschen, ihre Gewohnheiten und alle elektrischen oder wärmeabgebenden Geräte im Gebäude bestimmt. Die tatsächliche Belegung und Nutzung des Gebäudes kann von den bei der Planung getroffenen Annahmen abweichen, insbesondere der Umfang und die Effizienz der Geräte kann je nach Lebensstil, Themenbewusstsein und Vorlieben der Bewohner erheblich variieren (z. B. Küchengeräte, Unterhaltungselektronik, Bürogeräte usw.).

Annahmen für den Sommerkomfort-Stresstest:

Für den kombinierten Stresstest wird angenommen, dass die internen Wärmegewinne im Sommer 125 % des Referenzwerts betragen (siehe Blatt Nachweis). Bei der Variante des extremen Stresstests, die nur die Auswirkungen der internen Wärmegewinne betrachtet, wird angenommen, dass diese doppelt so hoch sind wie der Referenzwert.

4.1.4 Klimaeinfluss: Wärmere Außentemperaturen im Sommer

Gebäude werden in der Regel auf der Grundlage historischer und regional repräsentativer durchschnittlicher Klimabedingungen geplant. Ein Stresstest des Gebäudeentwurfs unter wärmeren Außenbedingungen ist hilfreich, um die Übertemperaturhäufigkeit in einem Jahr mit einem überdurchschnittlich warmen Sommer zu überprüfen sowie für prognostizierte wärmere zukünftige Klimabedingungen.

Annahmen für den Sommerkomfort-Stresstest:

Für den kombinierten Stresstest wird ein durchschnittlicher monatlicher Temperaturanstieg von 1,5 K angesetzt, was eine angemessene Annahme für extreme Sommer und für Klimabedingungen innerhalb der Lebensdauer gegenwärtig errichteter Gebäude ist. Für die Variante des extremen Stresstests, die nur die Auswirkungen wärmerer Klimabedingungen betrachtet, wird ein Temperaturanstieg von 2 K angenommen.

5 Zusammenfassung

Aktuell kommen Gebäude im Klima von Deutschland meist gut ohne aktive Kühlung aus. Sommerliche Überhitzung ist kein dominantes Planungsthema und überwiegend unproblematisch. Laut Klimaprojektionen ist allerdings davon auszugehen, dass die Außentemperaturen bis Mitte des Jahrhunderts so weit steigen, dass die Sicherstellung des Sommerkomforts mehr Aufmerksamkeit fordert und vermehrt mit aktiver Kühlung zu rechnen ist. Eine Begrenzung hoher Innenraumtemperaturen ist nicht nur eine Frage des Komforts, sondern auch der Gesundheit, und darf daher nicht vernachlässigt werden.

Aus den in diesem Beitrag aufgeführten Beispielen wird deutlich, dass sowohl das Nutzerverhalten als auch die tatsächlichen sommerlichen Außentemperaturen den realen Sommerkomfort stark beeinflussen. Es ist zu erwarten, ja im Grunde unvermeidlich, dass Abweichungen zwischen dem Planungswert unter standardisierten bzw. durchschnittlichen Randbedingungen und den realen Innentemperaturen in einem bestimmten Jahr auftreten. Es ergibt keinen Sinn, den Sommerkomfort durch optimistische Maßnahmen in der Planung "schönzurechnen". Stattdessen sollten die Annahmen zum Nutzerverhalten kritisch geprüft und für das konkrete Projekt möglichst realistisch angesetzt werden. Ein Sicherheitsaufschlag für warme Sommer ist angesichts der Zukunftsprognosen zu empfehlen.

Aus diesen Gründen ist eine Risikoanalyse während der Planung wichtig. Gegebenenfalls können dann Maßnahmen ergriffen werden, die eine höhere Resilienz gegen

Überhitzung ermöglichen, was insbesondere vor dem Hintergrund steigender Temperaturen durch die Klimaerwärmung unerlässlich ist.

6 Literatur & Referenzen

- [BBR/DWD 2017] Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Deutscher Wetterdienst (DWD): Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Offenbach, 2017.
- [DWD 2021] Deutscher Wetterdienst (DWD): Deutscher Klimaatlas. www.dwd.de/klimaatlas (Zugriff 13.09.2021)
- [Feist 2011] Feist, W. (Hrsg.): Passive Houses for different climate zones. Passivhaus Institut, Darmstadt, November 2011.
- [Großklos 2018] Großklos, M.: Sommerliches Verhalten - Ergebnisse aus Feldmessungen. In: Feist, W. (Hrsg.): Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 53: Sommerkomfort - bezahlbar und energieeffizient. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2018.
- [PHI 2016] Kriterien für den Passivhaus-, EnerPHit- und PHI-Energiesparhaus-Standard, Version 9f, Stand 26.08.2016. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2016
- [PHI 2021] Anpassung der Sommertemperatur von PHPP-Klimadaten. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2021. <https://passipedia.de/planung/tools> (Zugriff 13.09.2021)
- [PHPP] Passivhaus Projektierungs-Paket. Berechnung von Energiebilanzen und Planungstool für energieeffiziente Gebäude. Passivhaus Institut, Darmstadt 1998–2021. Aktuelle Version: PHPP 10.0 (2021).
- [Schnieders 2012] Schnieders, J.: Planungstools für den Sommerfall im Nichtwohngebäude. In: Feist, W. (Hrsg.): Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Protokollband Nr. 41: Sommerverhalten von Nichtwohngebäuden im Passivhaus-Standard; Projekterfahrungen und neue Erkenntnisse. Passivhaus Institut, Darmstadt, 2012.
- [Wienert 2013] Wienert, U., F. Kreienkamp, A. Spekat, and W. Enke, 2013: A simple method to estimate the urban heat island intensity in data sets used for the simulation of the thermal behavior of buildings. *Met.Z.*, 22(2), 179-185.
- [Wikipedia] <https://de.wikipedia.org> (Zugriff 13.09.2021)
- [Ebel et al. 2003] Ebel, W.; Großklos, M.; Loga, T.; Knissel, J.; Müller, K.: Wohnen in Niedrigenergie- und Passivhäusern – Eine vergleichende Analyse der Nutzerfaktoren am Beispiel der Gartenhofsiedlung Lummerlund in Wiesbaden-Dotzheim. Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2003.

Esther Gollwitzer, Passivhaus Institut, Rheinstraße 44/46, 64283 Darmstadt

Zusammenfassung

Der Begriff Anthropozän besagt, dass wir in einer Zeit leben, in der der Mensch einen großen Einfluss auf die Funktionsweise der Erde hat. Der Klimawandel existiert nicht mehr nur in wissenschaftlichen Arbeiten, sondern er ist in aller Munde und die gestiegenen Temperaturen konnten wir im Alltag selbst erleben. Die meisten Leser dieser Veröffentlichung leben wahrscheinlich nur im kühl-gemäßigten Klima, in dem es für die breite Masse noch nicht lebensbedrohlich wird. Bei gelben Wiesen und fallenden Blättern im Sommer bekommt man aber ein Gefühl dafür, dass Hitze Leben gefährden kann.

1 Wer kann mitwirken?

In diesem Arbeitskreis ging es darum zu zeigen, wie wir im Bereich Nichtwohngebäude auf steigende Temperaturen und Hitzeperioden reagieren können oder müssen.

Planer

Planer können mit ihrem Entwurf großen Einfluss auf das Sommerverhalten des Gebäudes nehmen. Gebäudeformen, Verglasungsanteile, Verschattungselemente und Möglichkeiten der Lüftung spielen hier Hand in Hand. Fenster sind nicht nur Gestaltungsmittel, sondern beeinflussen den Sommerkomfort des Gebäudes entscheidend. Deshalb ist es wichtig, den Entwurf als Herausforderung verschiedenster Aspekte anzusehen und den Bauherrn darüber aufzuklären. Der Sommerkomfort ist nicht alleine eine Aufgabe der Gebäudetechnik.

Behörden

Kommunen, Bauämter, etc. können Einfluss nehmen auf die Ausführung der Gebäude. Einige Kommunen haben sich dem Thema der geänderten Anforderungen für Sommerkomfort bereits angenommen (z. B. Karlsruhe, Nürnberg, Frankfurt, München). Das kann z. B. in Form von Infoblättern, genaueren Bauvorgaben oder Prüfungen beim Bauantrag sein. Auch stadtplanerische Aspekte wie versiegelte Flächen, helle Farben, begrünte Gebäude und Kaltluftschneisen helfen (vgl. Beitrag von Dr. Meinolf Koßmann). Herr Stefan Heyde von der Landes Energie Agentur (LEA) Hessen stellte eine Informationsbroschüre zum Sommerlichen Wärmeschutz vor [LEA 2020].

Bauherrn

Bauherrn sind oft fachfremde Personen und die Zusammenhänge sind bisher in der Öffentlichkeit nicht ausreichend bekannt. Dr. Jürgen Schnieders hat in seinem Beitrag gezeigt, dass die Leistungsfähigkeit von Menschen bei höheren Temperaturen sinkt. Bauherren sollten demnach explizit vor dem Entwurf auch das Thema Sommerkomfort einbringen. Sie selbst können durch den Einsatz von effizienten Geräten die internen

Wärmegewinne senken und sparen damit doppelt (Strom für die Geräte und Strom für Kühlung). Außerdem sollten Sie sich um Informationen für die Nutzer kümmern.

2 Bewährte Maßnahmen

Es gibt vielfältige, bewährte Maßnahmen, den Sommerkomfort zu beeinflussen. Sie sind keine neuen Erfindungen, aber wenn der gleiche Sommerkomfort bei steigenden Temperaturen beibehalten werden soll, müssen sie bewusster und konsequenter eingesetzt werden. Hier werden einige Stichpunkte aufgezählt:

Lasten reduzieren

- Orientierung des Gebäudes (unverschattete Ost-, Westfenster bringen große solare Lasten)
- Fenster optimieren (Tageslichtnutzung, Ausblick, Gestaltung und solarer Eintrag)
- Sonnenschutz (beweglich oder fest, Wirksamkeit rechnerisch quantifizieren)
- Interne Wärmegewinne reduzieren (effiziente Geräte, bedarfsgerechte Regelungen)
- Vorteilhaft: Serverräume oder andere Räume mit hohen Lasten auf Nordseite

Lasten abführen

- Nachtlüftungsmöglichkeit (Querlüftung zum Abtransportieren der Lasten) sind eine Planungsaufgabe (Einbruchschutz, Wetterschutz) (vgl. Beitrag von Zeno Bastian)
- Geeignete Regelungen und Aufklärung der Nutzer
- Speichermasse kann die Lastspitzen dämpfen

Aktiv kühlen

- Kühlung mit Regelung nach Zonen
- Passende Geräteauslegung (keine Überdimensionierung)
- Kühlung mit Wärmepumpen (evtl. Nutzung für Heizen und Kühlen) in Kombination mit PV-Anlage
- Abwärme so platzieren, dass sie nicht zur Aufwärmung der Umgebung beiträgt

Sowohl Monika Kurz als auch Dr. Oliver Ottinger haben aus ihrer Praxiserfahrung als kommunale Betreiber von Schulen berichtet (passive Maßnahmen): Der hohe Dämmstandard wirkt sich positiv in Hitzeperioden aus. Sie betreiben Bestandsschulen und Passivhausschulen und haben somit den direkten Vergleich. Im Landkreis Darmstadt-

Dieburg gab es eine Nutzerbefragung, die zeigt, dass in Passivhaus-Schulen die Nutzer zufrieden sind. Die passiven Maßnahmen tragen also heute zu einem angenehmen Sommerkomfort bei, in Zukunft kann aber eine zusätzliche aktive Kühlung sinnvoll werden.

3 Steigende Temperaturen

Oliver Kah hat mit einer dynamischen Simulation verschiedene Varianten von Maßnahmen untersucht. Dabei stellt er die Ergebnisse für vergangene, heutige und zukünftige Klimadaten gegenüber. In seinem Beitrag zeigt er anhand einer Beispielschule, dass die Übertemperaturhäufigkeit für das betrachtete zukünftige Klima (Klimaprojektion 2035) sich gegenüber dem Klima der Periode von 1960 bis 1990 mehr als verdoppelt (bei ansonsten unveränderten Randbedingungen). Für Passivhaus-Schulen könnte, wie die Untersuchungen weiter darlegen, eine moderate Konditionierung der Zuluft auch in Zukunft gleichen Sommerkomfort bei steigenden Außentemperaturen gewährleisten. Außerdem werden die Auswirkungen der steigenden Temperaturen für ein Bürogebäude und ein Untersuchungsraum mit hohen internen Wärmeeinträgen untersucht.

Im Beitrag von Tanja Schulz wird gezeigt, dass bei energieeffizienten Gebäuden nur ein geringer Kühlenergiebedarf erforderlich wäre, um auch in Zukunft guten Sommerkomfort zu gewährleisten. Aufgrund der geringen Kühllast, wie sie z. B. in Passivhaus-Schulen zu erwarten wäre, würde bereits eine PV-Anlage auf 30 % der Dachfläche ausreichen, um diese z. B. mit einer reversiblen Wärmepumpe decken zu können.

Klar ist, dass bei gleichen Komfortwünschen trotz steigender Temperaturen oder Wärmeinseleffekten mehr getan werden muss. Deshalb ist es wichtig, realistische Abschätzungen der Nutzung vorzunehmen, die Auswirkungen der Maßnahmen zu berechnen und den Sommerfall schon möglichst früh im Planungsprozess zu untersuchen. Mit designPH lässt sich dazu die genaue solare Einstrahlung ermitteln, als Grundlage für die Berechnungen. Jessica Grove-Smith thematisierte wie wichtig eine Risikoanalyse bei der Betrachtung des Sommerkomforts ist und welche Faktoren dabei eine wesentliche Rolle spielen. Für eine Risikobewertung sollten z.B. zukünftige oder innerstädtische Klimadaten sowie unterschiedliche Nutzerverhalten berücksichtigt werden (die Klimadaten werden hierfür mit einem frei verfügbaren Tool auf www.passiv.de modifiziert, in PHPP 10 ist die Risikobewertung integriert.). Hiermit kann geprüft werden, wie robust ein Gebäude hinsichtlich des Sommerkomforts ist, z. B. wenn mehrere ungünstige Faktoren zusammen treffen. Hier fließen auch unterschiedliche Nutzerverhalten mit ein, die einen großen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Deswegen ist es sehr wichtig, für die Information der Nutzer zu sorgen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass Bauherren von vornherein fordern, dass das Gebäude so robust geplant wird, dass der vereinfachte Nachweis nach [DIN 4108-2] geführt werden kann oder der zulässige Wert sogar unterschritten wird.

4 Praxis

Konkrete Empfehlungen für die Planung, Regelung und Betriebsführung behandelten Wolfgang Hasper und Dr. Jens Kuckelkorn in Ihren Beiträgen. Die vorgestellten Passivhaus-Projekte erzielen mit sehr geringem Energieaufwand guten Sommerkomfort. Nützlich sind auch folgende Praxishandbücher [Ritter 2018], [Kah et al 2010], welche neben Planungsempfehlungen für Schulen auch Checklisten enthalten.

Gernot Vallentin hat in seinem Beitrag anhand von sehr unterschiedlichen Nichtwohngebäuden gezeigt, wie das Thema sommerlicher Wärmeschutz bereits im Architektorentwurf einfließen kann.

Bei den Recherchen hat sich eindeutig gezeigt, dass ein Umdenken bereits begonnen hat (z. B. Anpassungsstrategien [Frankfurt 2021]). Es ist allerdings noch weiter zu fördern, damit sich die Bautradition eines Heizklimas auch im Planungsalltag ändert. Sieht man sich traditionelle Bauformen an, spiegeln diese auch das Klima wider: z. B. Iglus mit Kaltluftsperrung am Eingang oder verschattete Innenhöfe mit wenig solarer Einstrahlung in heißen Klimaten. Der zwischenzeitlich vermeintliche Reichtum an Energie hat dies etwas vergessen lassen. Es bleibt spannend, welche Gebäudemerkmale sich in Zukunft im kühl-gemäßigten Klima weiter verbreiten und welche einfachen aktiven Kühlmöglichkeiten auf den Markt kommen werden.

Der Grundsatz, die Temperaturen zuerst durch passive Maßnahmen zu senken und dann den verbleibenden geringen Kühlbedarf aktiv zu decken, ist geblieben. Dabei gibt es nicht eine Maßnahme, die alles löst, sondern durch ein Zusammenspiel der verschiedenen Maßnahmen kann für eine behagliche Innenklima auch bei hohen Außentemperaturen gesorgt werden.

5 Literatur & Referenzen

- [DIN 4108-2] DIN 4108-2:2013-02; Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2013
- [Frankfurt 2016] Stadt Frankfurt am Main: Frankfurter Anpassungsstrategie an den Klimawandel; 2016; <https://energiemanagement.stadt-frankfurt.de/Service/Dokumente/Anpassungsstrategie-Klimawandel.pdf> (Zugriff 1.3.2021)
- [Frankfurt 2021] Magistrat der Stadt Frankfurt am Main (Hrsg.): Leitlinien zum wirtschaftlichen Bauen; <https://energiemanagement.stadt-frankfurt.de/Investive-Massnahmen/Leitlinien-wirtschaftliches-Bauen/Leitlinien-wirtschaftliches-Bauen.pdf> (Zugriff 10.02.2021)
- [Kah et al. 2010] O. Kah, T. Schulz, S. Winkel, J. Schnieders, Z. Bastian, B. Kaufmann, Leitfaden für energie-effiziente Bildungsgebäude, im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Passivhaus Institut, 2010.
- [LEA 2020] Landesenergieagentur Hessen: Sommerlicher Wärmeschutz; https://www.lea-hessen.de/files/download/1591701421_Sommerlicher-Waermeschutz/sommerlicher-waermeschutz.pdf.pdf (Zugriff 3.3.2021)
- [Ritter 2018] Oliver Ritter und Marlies Bock: Praxishandbuch - Schulgebäude in Passivhausbauweise; <https://www.ufu.de/wp-content/uploads/2018/04/Passivhausschulen-Praxishandbuch.pdf> (Zugriff 10.02.2021)

Weiterführende Informationen rund ums Passivhaus:



Das unabhängige Forschungsinstitut

Die Internetseite des Passivhaus Instituts bietet ausführliche Informationen rund um das Thema hocheffiziente Energienutzung bei Gebäuden. Experten finden hier Details und Hintergründe zur aktuellen Forschung. Aber auch für Nichtfachleute hält das Portal umfassende Einblicke in die Welt des Passivhauses bereit.

www.passiv.de



Das Passivhaus-Lexikon

Passipedia ist die große Wissensdatenbank zum Passivhaus. In dem Online-Lexikon können Bauherren, Planer und andere Interessierte schnell und bequem Informationen nachschlagen – von der häufigen Frage, ob beim Passivhaus die Fenster geöffnet werden dürfen, über Details der Wärmebrückenberechnung bei erdberührten Bauteilen bis hin zur Zertifizierung.

www.passipedia.de



Das Netzwerk für alle Baubeteiligten

Die IG-Passivhaus Deutschland ist ein Netzwerk für Information, Qualität und Weiterbildung. Alle am Bau Beteiligten finden hier Rat und Unterstützung. Ziel ist die Förderung und Verbreitung des Passivhauskonzepts. Einmal im Jahr organisiert die Informations-Gemeinschaft die Tage des Passivhauses. Außerdem hilft sie etwa bei Anfragen nach Probewohnen oder Ausstellungen weiter.

www.ig-passivhaus.de



Globale Plattform für Passivhaus-Experten

Die iPHA (International Passive House Association) ist ein globales Netzwerk von Passivhaus-Akteuren. Bauherren, Architekten, Wissenschaftler und Produkthersteller knüpfen auf diesem Weg Kontakte und tauschen sich aus. Ziel der iPHA ist, das Wissen über die Vorteile des Passivhauskonzepts weltweit zu verbreiten. Dazu kommuniziert sie mit den Medien, der allgemeinen Öffentlichkeit sowie mit allen am Bauprozess beteiligten Fachleuten.

www.passivehouse-international.org



Kompetente Partner für den Baustandard der Zukunft

Die Zertifizierung als Passivhaus-Planer bescheinigt ein solides Grundwissen zum Bau von Passivhäusern. Auf der Internetseite zu dem Weiterbildungsangebot sind aktuelle Kurstermine sowie der Lernzielkatalog aufgeführt. Wer für ein konkretes Bauprojekt einen qualifizierten Ansprechpartner sucht, findet hier zudem eine Liste aller zertifizierten Passivhaus-Planer und -Berater.

www.passivhausplaner.eu



Kompetente Handwerker für energieeffizientes Bauen

Nur mit qualifizierten Profis auf der Baustelle kann ein Passivhaus-Projekt auch umgesetzt werden. Die Weiterbildung zum zertifizierten Passivhaus-Handwerker vermittelt die Grundlagen für eine Einhaltung der Standards. Die Internetseite der Initiative informiert über Termine und Inhalte der Kurse. Eine Datenbank ermöglicht auch hier die Suche nach geeigneten Ansprechpartnern.

www.passivhaus-handwerk.de



IG PASSIVHAUS
Informations-Gemeinschaft Passivhaus Deutschland



International
PASSIVE HOUSE
Association



Foto | Titelseite: Bahnstadt Heidelberg, Labor- und Bürogebäude © Passivhaus Institut

www.passiv.de