

MINDERUNG SOMMERLICHER ÜBERHITZUNG IN WOHNGEBÄUDEN

HANDLUNGSANLEITUNG FÜR
KLIMAGERECHTES BAUEN UND SANIEREN



MACH MIT.
BAU NACHHALTIG.
Energieeffizientes Bauen in Sachsen



saena
Sächsische
Energieagentur GmbH



Hinweis zur sprachlichen Gleichstellung:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit und Verständlichkeit wird auf die Anwendung der Transgender-
sprache verzichtet. Personen- und Funktionsbezeichnungen gelten für alle Geschlechtsidentitäten.

1. Ausgangssituation	4
2. Grundlegende Anpassungskonzepte	6
3. Beispielhafte Umsetzung der Anpassungskonzepte an zwei unterschiedlichen Gebäudetypen	9
3.1 Untersuchungsmethodik	9
3.2 Mehrfamilienwohnhaus WBS 70	12
3.3 Mehrfamilienwohnhaus der Bauzeit 1918–1939	16
4. Wirtschaftliche Bewertung	20
5. Zusammenfassung sommerlicher Überhitzung in Wohngebäuden	22
6. Checkliste	28
7. Literatur	29
Impressum	31

1. Ausgangssituation

Eine der anerkanntesten und folgenreichsten Wirkungen des Klimawandels ist die steigende Hitzebelastung vor allem in Großstädten (IPCC 2012) und hier insbesondere in stark verdichteten Quartieren. Dabei ist davon auszugehen, dass nicht nur die mittlere Temperatur ansteigt, sondern dass darüber hinaus die Anzahl an Extremereignissen ebenfalls zunimmt. Mit einem sommerlichen Temperaturdurchschnitt von 19,2 °C zählte der Sommer 2019 neben 2003 (19,7 °C) und 2018 (19,3 °C) zu den drei heißesten Sommern in Deutschland seit Beginn regelmäßiger Messungen im Jahr 1881 (DWD 2019).

Im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz sind insbesondere die Analyse von klimatischen Kenntagen wie der Anzahl der heißen Tage (Maximum der Lufttemperatur > 30 °C) bzw. der Anzahl der Tropennächte (Minimum der Lufttemperatur > 20 °C) relevant. Abbildung 1 zeigt die zeitliche Entwicklung dieser Kenntage und die mittleren jährlichen sowie sommerlichen Lufttemperaturen für die Wetterstation Dresden-Klotzsche des Deutschen Wetterdienstes. Es wird deutlich, dass diese Parameter großen Schwankungen unterliegen. Die langjährigen Trends sind aber durchweg linear ansteigend. Klimatologen gehen mit

mittlerer bis hoher Wahrscheinlichkeit davon aus, dass die mit der steigenden Hitzebelastung verbundenen Beeinträchtigungen der Lebensqualität in naher Zukunft und insbesondere zum Ende des 21. Jahrhunderts sehr stark zunehmen werden (Bundesregierung 2015).

Ein Effekt, welcher insbesondere in Großstädten beobachtet werden kann, ist der städtische Wärmeinseleffekt. Dieses Phänomen führt dazu, dass in städtischen Bereichen heiße Tage sowie Tropennächte besonders häufig auftreten. Dabei beeinflussen insbesondere die Größe der Stadt, ihre Dichte, die Höhe der Bebauung, der Grünflächenanteil sowie die verwendeten Baumaterialien die Ausprägung dieses Effekts. Während der Monate Juni bis August beträgt der maximale tägliche Temperaturunterschied zwischen Stadtzentrum und dem direkten Umland durchschnittlich 3 bis 4 °C, aber auch Temperaturunterschiede von bis zu 9 °C wurden bereits gemessen (vgl. Buth et. al 2019). Folglich ist damit zu rechnen, dass auch zukünftig die Wärmebelastung in den Innenstädten besonders hoch sein wird.

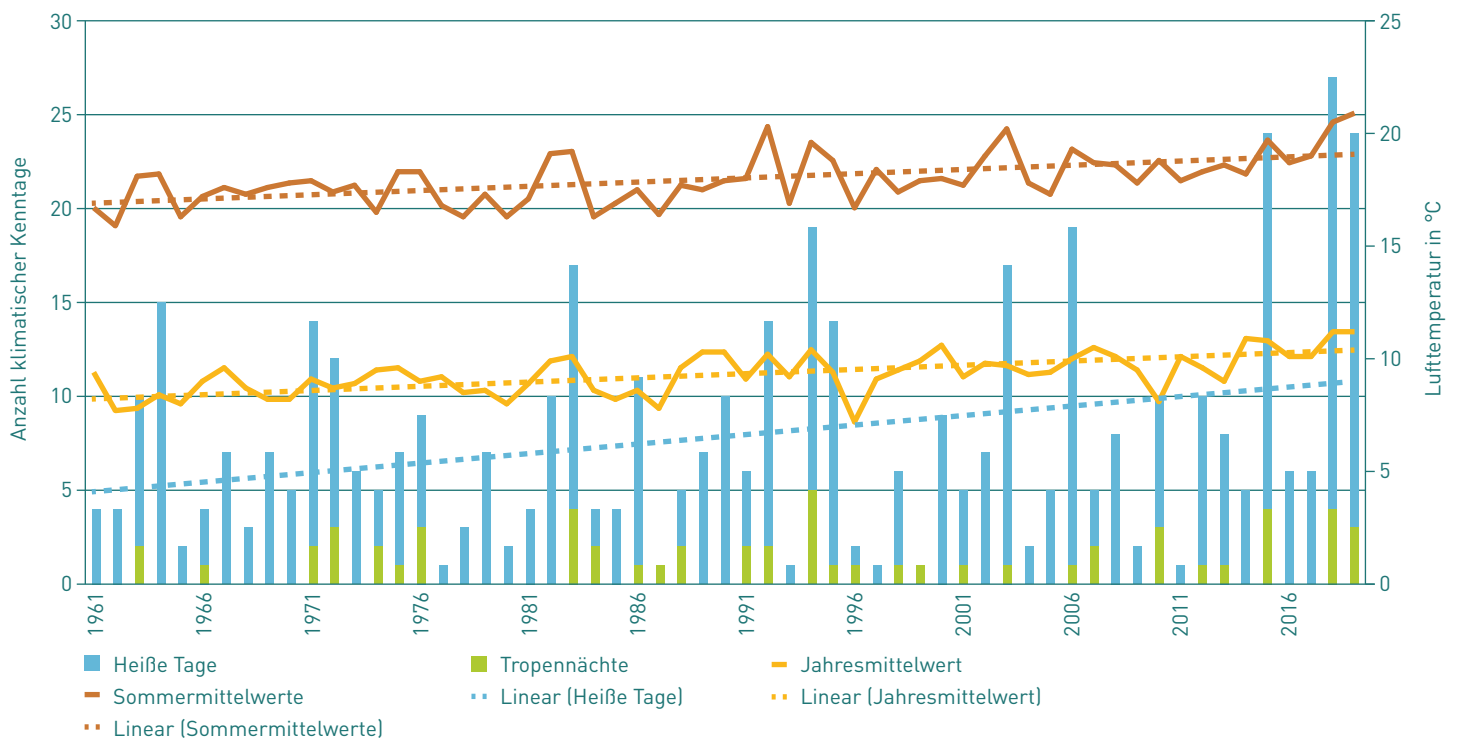


Abbildung 1: Variabilität der Parameter „Heiße Tage“, „Tropennächte“, „mittlere Lufttemperatur (Jahr)“ und „mittlere Lufttemperatur (Sommer)“ in Dresden von 1961 bis 2019. Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst (DWD), Station Dresden-Klotzsche

Neben den meist weniger umfangreichen direkten Schäden an Gebäuden hat die beschriebene steigende Hitzebelastung eine Veränderung des Innenraumklimas von Wohnräumen und Arbeitsräumen zur Folge (Nikolowski et al. 2015). Wenn sich das Raumklima aufgrund von sommerlichen Hitzeperioden verändert, wird die thermische Behaglichkeit der Bewohner abnehmen. Während des außergewöhnlich heißen Sommers 2018 wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes in Dresden in einem Mehrfamilienwohnhaus im 5. Obergeschoss eine Messreihe zur Erfassung des Innenraumklimas durchgeführt. Dabei wurden absoluten Maximalwerte von bis zu 35,8 °C sowie ein zusammenhängender Zeitraum von knapp 20 Tagen festgestellt, innerhalb dessen die Innenraumtemperatur zu keinem Zeitpunkt unterhalb von 27 °C lag (vgl. Kunze 2019).

Ein solches Innenraumklima beeinflusst die Leistungsfähigkeit und die Gesundheit der Menschen, welche in einem Gebäude leben. Eine Kombination aus mehreren, aufeinander folgenden heißen Tagen und Tropennächten belastet zudem den menschlichen Organismus stark. Insbesondere ältere Menschen, chronisch Kranke, kleine Kinder sowie isoliert lebende Personen kön-

nen davon betroffen sein. Durch den erhöhten Flüssigkeitsverlust aufgrund von Hitzebelastungen und der damit verbundenen Dehydrierung erhöht sich das Risiko für Thrombosen und andere Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Die in Abbildung 2 dargestellte Auswertung zeigt, dass in Jahren mit ausgeprägten Hitzeperioden die Anzahl hitzebedingter Todesfälle über dem zu erwartenden Durchschnitt liegt. So sind in dem durch sommerliche Hitzeperioden geprägten Jahr 2003 geschätzt etwa 7 500 Menschen durch hitzebedingte Ursachen verstorben (Buth et al. 2019).

Ebenso wichtig wie gesundheitliche Folgen sind die psychologischen Folgen großer Hitze, denen sich ein gesonderter Beitrag in dieser Broschüre widmet. Die Zunahme psychischer Erkrankungen bei Hitze ist nur ein Teil der Problemlage. Bei einer Zunahme heißer Tage im Jahr müssen Unternehmen mit Einbußen bei Produktivität und Kreativität aufgrund verminderter Konzentrationsfähigkeit ihrer Mitarbeitenden rechnen. Hitze trägt zudem zu sozialem Unfrieden bei, da aggressives Verhalten bei Hitze nachweislich zunimmt. Die Abwendung hitzebedingter negativer Folgen wird damit nicht nur eine medizinische oder wirtschaftliche, sondern eine gesellschaftliche Notwendigkeit.

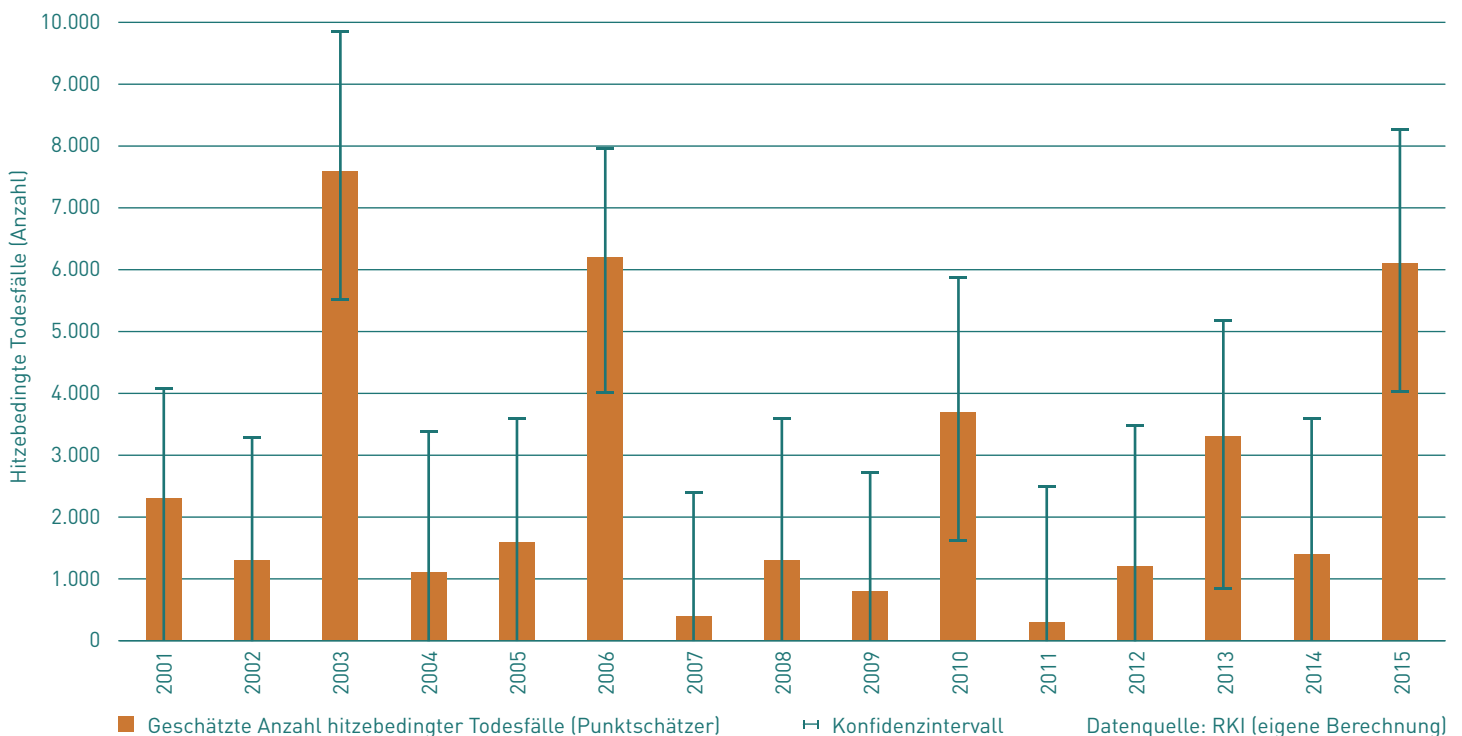


Abbildung 2: Geschätzte Anzahl an hitzebedingten Todesfällen seit 2001 in Deutschland, Quelle: Buth et al. 2019

2. Grundlegende Anpassungskonzepte

Um den jeweiligen Bewohnern gegenwärtig sowie zukünftig ein behagliches und angenehmes Innenraumklima in Gebäuden zur Verfügung stellen zu können, sind Anpassungskonzepte zur Reduzierung der thermischen Belastung im Innenraum sowohl für den Neubau als auch für bestehende Gebäude notwendig.

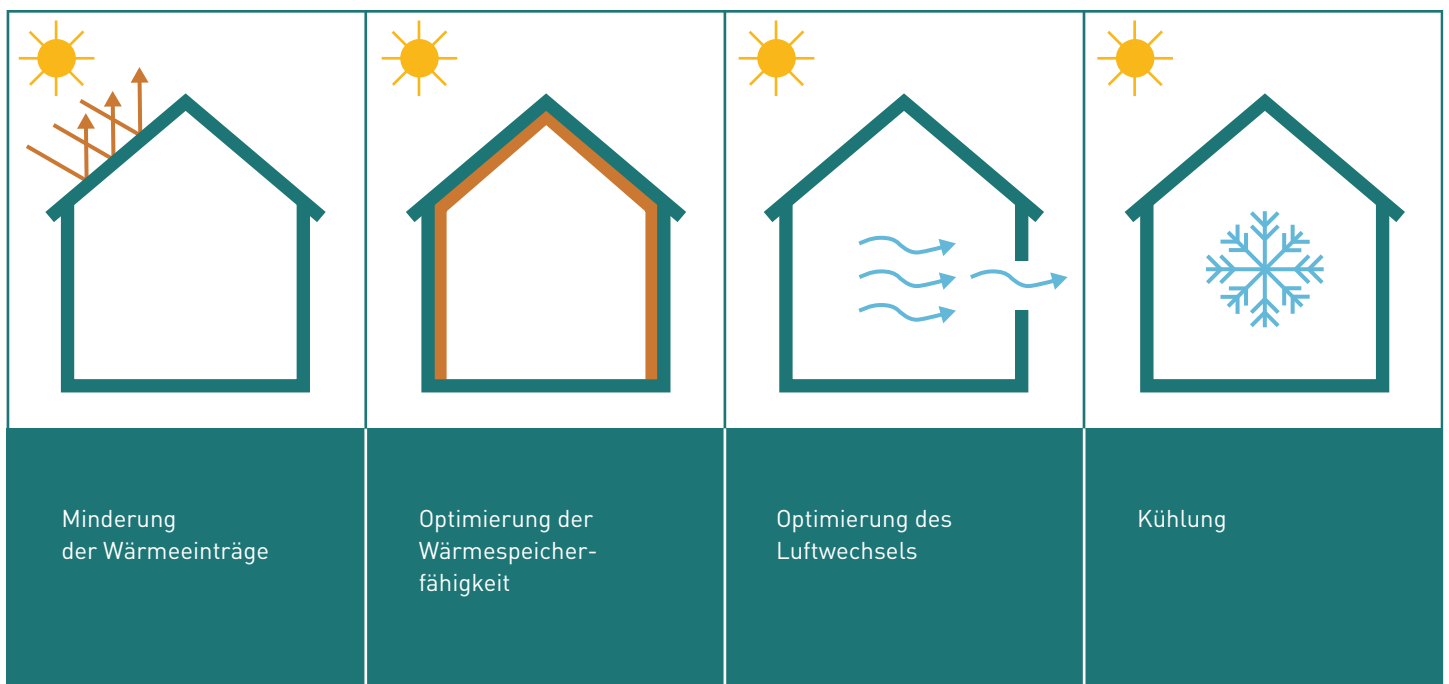


Abbildung 3: Grundlegende Strategien zur Reduzierung der thermischen Belastung in Gebäuden.

Die vier grundlegenden Strategien, welche hierfür verfolgt werden können, sind in Abbildung 3 als Übersicht aufgeführt. Nach einer objektbezogenen Überprüfung der Wirksamkeit von Maßnahmen der unterschiedlichen Strategien, wird sich in den überwiegenden Fällen eine Kombination aus Maßnahmen mehrerer Anpassungsstrategien als Vorzugsvariante erweisen.

Da der Einsatz von Maßnahmen, welche die Wärmeeinträge in das Gebäude mindern bzw. reduzieren (Beispiel: außen liegende Verschattungseinrichtungen), bereits das Innenraumklima unter sommerlichen Witterungsbedingungen deutlich verbessern kann, sollte deren Umsetzbarkeit immer zuerst geprüft werden. Darauf aufbauend sind Maßnahmen zu empfehlen, welche die Wärme gezielt zwischenspeichern, so dass die Temperaturmaxima in Innenräumen gesenkt werden und während kühlerer Außentemperaturen die gespeicherte Wärme, z. B. durch Lüftung, wieder abgegeben wird. Um die überwiegend kälteren Nacht-

temperaturen zum Austausch der aufgeheizten Innenraumluft zu nutzen, sind Maßnahmen zur Verbesserung des Luftwechsels erforderlich. Abschließend besteht die Möglichkeit, mittels maschineller Kühlung die Innenraumtemperaturen zu senken, bestenfalls in Kombination mit am Gebäude installierten regenerativen Energiequellen. Da einzelne Maßnahmen die Verletzbarkeit von Gebäuden gegenüber anderen Einwirkungen oder klimatischen Verhältnissen beeinflussen können, ist immer eine ganzheitliche Betrachtung, einschließlich einer Abwägung der Vor- und Nachteile, notwendig.

Bei der Planung von Neubauten sollte nicht nur das einzelne Gebäude, sondern ebenso das Quartier bzw. die Stadtraumgestaltung als Ganzes in die Betrachtung einbezogen werden, da diese Randbedingungen sich während andauernder Hitzephasen wechselseitig beeinflussen.

Deshalb ist es wichtig, auf die Ausrichtung der Gebäude im Stadtraum zu achten. In Reihe stehende Gebäude, deren Fassaden nach Osten und Westen ausgerichtet sind, weisen beispielsweise deutlich höhere thermische Belastungen im Innenraum auf, als Gebäuden mit einer anderen Orientierung (siehe auch Abschnitt 3.1). Darüber hinaus ist es für das Stadtklima un-
gemein wichtig, dass bestehende Kaltluftschneisen bestehen bleiben und nicht durch die Errichtung von neuen Gebäuden gestört werden. Auch können eine ungünstige Ausrichtung sowie Standortwahl einzelner Gebäude die Ventilation eines Stadtviertels behindern.

Da insbesondere durch transparente Fassadenelemente Wärme in das Gebäudeinnere eingetragen wird, sind sehr große transparente Flächen in Süd-, West- sowie auch Ostfassaden für den sommerlichen Wärmeschutz ungünstig. Für die vorhandenen bzw. geplanten Fensterflächen ist deshalb ein effektiver Sonnenschutz notwendig. Hierfür eignen sich bewegliche, außenliegende Verschattungselemente wie beispielsweise Rollläden, Fensterläden, Raffstores oder textile Verschattungen, welche automatisch gesteuert die größte Wirksamkeit entfalten. Darüber hinaus ist aber auch eine Verschattung durch feststehende Bauteile wie Auskragungen, Balkone oder Dachüberstände möglich.

Der Strategie zur Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit folgend, ist es wichtig, durch massive Bauweisen ausreichend thermische Speichermassen zum Abpuffern von Temperaturspitzen zur Verfügung zu stellen. Diese können aber durch abgehängte Decken, Trockenbau-Vorwandinstallationen und Einbauschränke unerwünscht in ihrer Wirksamkeit eingeschränkt sein.

Die Berücksichtigung von ausreichenden Belüftungsmöglichkeiten bei der Gebäudeplanung ermöglicht es, dass die aufgeheizte Innenraumluft während der Nacht durch kühlere Außenluft ausgetauscht werden kann, was Überhitzungen wirksam mindert. Als besonders effektiv hat sich dabei die Möglichkeit der Querlüftung erwiesen.

Auch in bestehenden Gebäuden ist eine Reduzierung der thermischen Belastung im Innenraum durch die Entwicklung und Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen anhand der aufgezeigten Anpassungsstrategien möglich. Da die Umsetzung der Strategie „Optimierung der Speicherfähigkeit“ im Bestand in der Regel von eingeschränkter Bedeutung ist, wird auf diese nachfolgend nicht näher eingegangen.



Abbildung 4: Verschattungsmöglichkeiten im Neubau: automatisch gesteuerte Raffstores (oben), feststehende Elemente zur Verschattung (unten)

Grundsätzlich erfolgen signifikante Wärmeeinträge in ein Gebäude infolge von Solarstrahlung durch transparente Flächen und den Luftaustausch über Öffnungen in der Gebäudehülle. Weiterhin kann Wärme auch durch Wärmeleitung in den Außenbauteilen in das Gebäudeinnere eingetragen werden, jedoch ist dieser Anteil in den überwiegenden Fällen aufgrund der ohnehin schon großen Wärmedämmstoffstärken und der geringeren Temperaturdifferenzen im Vergleich zum Heizfall sehr gering.

Dem Wärmeeintrag infolge Solarstrahlung kann am effektivsten mit einem außenliegenden Sonnenschutz begegnet werden. Bei Wohngebäuden bieten sich das Nachrüsten von Jalousien an, welche die transparente Fläche weitgehend abdecken können, da viele Wohnungen im Regelfall zu Zeiten des größten Wärmeeintrages zur Mittags- bzw. Nachmittagszeit im Regelfall wenig genutzt werden. Optimalerweise sollte dieser Sonnenschutz automatisch in Abhängigkeit der Strahlungsstärke gesteuert werden, um eine Einschränkung der Wirksamkeit durch ungünstiges Nutzerverhalten zu verringern. Um eine Versorgung mit Tageslicht weiterhin zu ermöglichen, sollte eine manuelle Korrektur des Verschattungsgrades durch den Nutzer möglich sein.

Da innenliegende Verschattungen in ihrer Wirksamkeit zur Reduzierung der Innenraumtemperatur vergleichsweise schlecht bewertet werden, sollten diese lediglich dann verwendet werden, wenn ein außenliegender Sonnenschutz beispielsweise aus denkmalschutzrechtlichen Belangen nicht möglich ist.

Um die entstehenden Kosten für Anpassungsmaßnahmen möglichst gering zu halten, bietet es sich an, diese im Rahmen einer ohnehin anstehenden Fassadeninstandsetzung zu planen und umzusetzen. Ist dabei zusätzlich ein Austausch der Fenster vorgesehen, ist auf einen möglichst geringen Energiedurchlassgrad (g-Wert) zu achten. Um deshalb aber keine Einschränkungen bei der Beleuchtung der Räume mit Tageslicht zu verursachen, sollte darüber hinaus ein möglichst hoher Lichttransmissionswert gewählt werden.

Bei der Optimierung des Luftwechsels in der Nacht wird das Kältepotential der Außenluft genutzt. Bei einer weiteren Zunahme von tropischen Nächten, d. h. wenn die Temperatur während Sommernächten nicht unter 20 °C sinkt, kann es zu einer geringeren Wirksamkeit kommen. Für die überwiegenden Perioden des Sommers lassen sich aber signifikante Effekte erzielen.

Die Nachtauskühlung von Wohnhäusern kann auf zwei Wegen erreicht werden:

- durch natürliche Zirkulation über Fenster, Öffnungen bzw. durch ggf. vorhandene Abluftschächte sowie
- durch eine erzwungene Zirkulation über vorhandene oder nachzurüstende Lüftungsanlagen.

Eine Nachtauskühlung über die Fenster ist einfach zu realisieren

und erfordert keinen zusätzlichen Energieaufwand. Die Bewohner müssen hierbei aber aktiv agieren und in Abhängigkeit der Außentemperaturen die Fenster manuell öffnen bzw. schließen. Das individuelle Sicherheitsempfinden der Bewohner, mögliche Außenlärmbelastungen sowie ggf. Einschränkungen durch Allergien oder eine zeitweise Abwesenheit der Bewohner können aufgrund von Interessenkonflikten die Wirksamkeit dieses Lösungsansatzes einschränken.

Für die notwendige Belüftung zum Feuchteschutz in innenliegenden Sanitärräumen sind in vielen Gebäuden Abluftanlagen vorhanden. Diese Anlagen können mit geringfügigen Anpassungen zusätzlich für die Nachtauskühlung genutzt werden. Neben Änderungen an der Steuerung müssen ggf. größere Ventilatoren und zusätzliche Abluftschächte installiert werden. Der Vorteil dieser maschinellen Nachtlüftung besteht in erster Linie darin, dass sie automatisch gesteuert werden kann, ohne dass die Bewohner aktiv eingreifen müssen. Damit werden die Möglichkeiten eines Interessenkonfliktes reduziert. Diesen Vorteilen steht allerdings der erhöhte Energieaufwand für den zusätzlichen Lufttransport entgegen, der durch eine bedarfsabhängige Steuerung begrenzt werden könnte.

Anpassungsmaßnahmen mittels aktiver Kühlung sind möglichst zu vermeiden und sollten nur in begründeten Ausnahmefällen in Betracht gezogen werden. Die Nachrüstung von entsprechenden Klimaanlageanlagen erfordert signifikante Investitionen, was zu deutlichen Mieterhöhungen und steigenden Betriebskosten führen würde. Darüber hinaus wird das Überhitzungsproblem mit der Rückkühltechnik in den gebäudenahen Außenraum verlagert, was dort ohnehin bestehende Beeinträchtigungen verschärft.

Im Geschosswohnungsbau sind im Bestand grundsätzlich zwei technische Lösungen zur aktiven Kühlung denkbar:

- (1) Kaltwassersysteme unter Nutzung von Teilen der Heizungsanlage sowie
- (2) Klimaspalt-Geräte, welche raumweise in Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmern installiert werden.

Da die Kühlleistung bei Verwendung der vorhandenen Heizkörper für ein Kaltwassersystem im Regelfall zu gering wäre, ist der Einbau von Kühlkonvektoren in den zu kühlenden Räumen zu empfehlen. Die Kälteerzeugung selbst würde durch eine elektrische Kompressions-Kältemaschine, d. h. einen so genannten Kaltwassersatz, erfolgen. Vorteilhaft wäre die Nutzung des Heizungsrohrnetzes als Kaltwassernetz. Diese Option muss aber im Einzelfall geprüft werden. Der Elektroenergiebedarf für die Kälteerzeugung kann mit Hilfe einer PV-Anlage am Gebäude reduziert werden. Allerdings kann die PV-Anlage nur einen Teil des Bedarfes abdecken.

Bei Klimaspalt-Geräten handelt es sich um dezentrale Lösungen. Deshalb besteht hierbei der Vorteil, dass raumweise geplant

bzw. umgesetzt werden kann. In den zu kühlenden Räumen werden Klimasplit-Geräte installiert, welche zur Rückkühlung mit einer Außeneinheit verbunden sind. Problematisch dürfte in vielen Fällen die Installation dieser Außeneinheit sein. Hier müssen im Einzelfall baukonstruktive Aspekte (u. a. Windsicherung),

ästhetische Belange bzw. Aspekte des Denkmalschutzes sowie die entstehende Lärmbelästigung im Außenraum berücksichtigt werden. Folglich ist der Einsatz von Klimasplit-Geräten lediglich als punktuelle Maßnahme zur Entspannung stark belasteter Dachgeschosswohnungen zu empfehlen.

3. Beispielhafte Umsetzung der Anpassungskonzepte an zwei unterschiedlichen Gebäudetypen

3.1 Untersuchungsmethodik

Für die weiteren Untersuchungen zur Reduzierung der thermischen Belastung im Innenraum wurden zwei unterschiedliche Beispielobjekte ausgewählt, welche jeweils typisch für einen in Sachsen vorkommenden Gebäudetyp sind. Es handelt sich um:

- ein Mehrfamilienwohnhaus des industriellen Bauens der Wohnungsbauserie 70 mit 6 Vollgeschossen (WBS 70) und
- ein Mehrfamilienwohnhaus der Bauzeit zwischen 1918 und 1939 mit 3 Vollgeschossen und einem ausgebauten Mansardgeschoss.

Beide Gebäude wurden mit Hilfe der thermischen Gebäudesimulation auf der Basis des Programmsystems TRNSYS 18 untersucht. Wesentliche Bestandteile einer solchen Simulation sind ein detailliertes Gebäudemodell (instationäres Mehrzonen-Modell), ein Anlagenmodell zur Abbildung der technischen Gebäudeausrüstung sowie ein Wetterdatensatz, welcher für jede Stunde eines Jahres die für die Simulation notwendigen meteorologischen Parameter bereitstellt. Dadurch ist es möglich, die Innentemperaturen mit hoher zeitlicher Auflösung im Jahresverlauf für jeden Raum eines Gebäudes zu berechnen. Durch Veränderungen am Gebäudemodell können darüber hinaus unterschiedliche bauliche und anlagentechnische Maßnahmen untersucht werden.

Eine Grundlage für die Entwicklung und Bewertung von möglichen Hitzeanpassungsmaßnahmen ist die Bestimmung des Ausgangszustandes. Hierbei wird gegenübergestellt, wie sich ein Gebäude im aktuellen Bauzustand unter durchschnittlichen und sommerheißen gegenwärtigen Wetterbedingungen verhält. Die dafür genutzten Wetterdatensätze werden vom Deutschen Wetterdienst für jeden Standort innerhalb Deutschlands zur Verfügung gestellt (DWD 2017). Charakteristisch für ein sommerheißes Jahr sind eine höhere Durchschnittstemperatur im Sommerhalbjahr sowie eine höhere Maximaltemperatur. Außerdem steigt die Anzahl an Tagen, bei denen die Außenlufttemperatur über 30 °C beträgt, sowie die Anzahl an Nächten, in welchen es

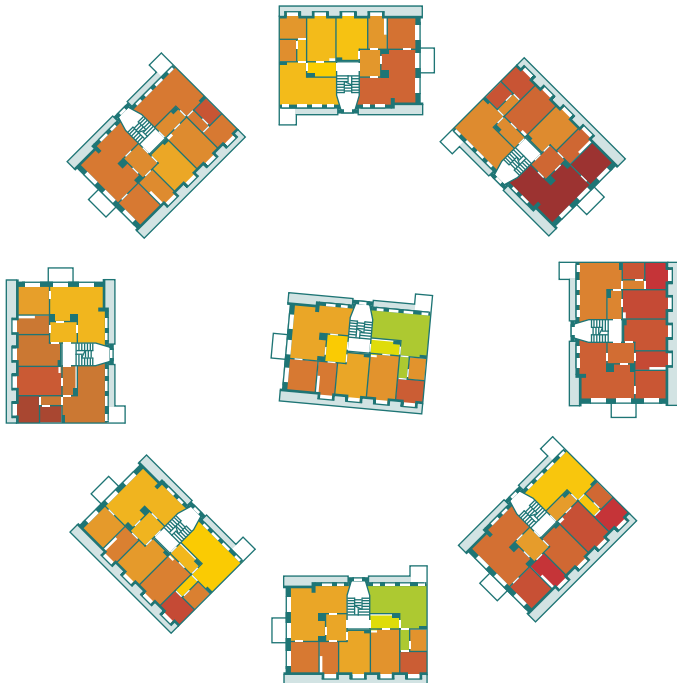
zu keinem Zeitpunkt kühler als 20 °C ist, deutlich an. Für die beiden untersuchten Beispielobjekte wurden anhand der synthetischen Klimafunktionskarte der Landeshauptstadt Dresden jeweils Gebäudestandorte mit mittlerer Überwärmung gewählt, d. h. an diesen Orten kann es zu einer städtischen Überwärmung von 3–4 °C kommen.

Die Ergebnisse der thermischen Gebäudesimulation können mit unterschiedlichen Parametern ausgewertet werden. Zu den sehr gut nachvollziehbaren Parametern zählen hierbei die Maximalwerte der Raumtemperatur sowie die Anzahl an Stunden, innerhalb welcher eine festgelegte Temperatur überschritten wird. Dabei ist eine Differenzierung nach den Tageszeiten möglich. Darüber hinaus wird bei der Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes z. B. im Rahmen des Baugenehmigungsverfahrens (siehe DIN 4108-2) die Bewertungsgröße der „Übertemperaturgradstunden“ verwendet. Eine Übertemperaturgradstunde entsteht, wenn in einem Raum eine Stunde lang die Innenraumtemperatur um 1 °C über der festgelegten Bezugstemperatur (in Dresden: 27 °C) liegt. Folglich gibt dieser Parameter neben der Länge auch Auskunft über die Höhe der Überschreitung. Als Anforderungswert für Wohngebäude ist in der genannten Norm ein Wert von 1.200 Kh/a festgelegt. Um jedoch realitätsnahe thermische Gebäudesimulationen durchzuführen, wurden von den einfach gehaltenen Simulationsrandbedingungen nach DIN 4108-2 abgewichen.

Neben der am jeweiligen Gebäude vorhandenen Gebäudehülle beeinflusst die Ausrichtung des Baukörpers bzw. der vorhandenen Fassadenflächen hin zu bestimmten Himmelsrichtungen stark die Innenraumtemperaturen, welche unter gleichen äußeren Witterungsbedingungen in einem Gebäude auftreten können. In Abbildung 5 sind die beiden nachfolgend detailliert beschriebenen und untersuchten Gebäude gegenübergestellt. Es wird deutlich, dass eine West-Ost-Ausrichtung der Fassaden mit dem größten Fensterflächenanteil ein Auftreten von deutlich unangenehmeren Innenraumklima-Kennwerten bewirkt. Dies ist

→ 10 | Beispielhafte Umsetzung der Anpassungskonzepte

Gebäude der Bauzeit 1918–1939



Gebäudetyp WBS 70

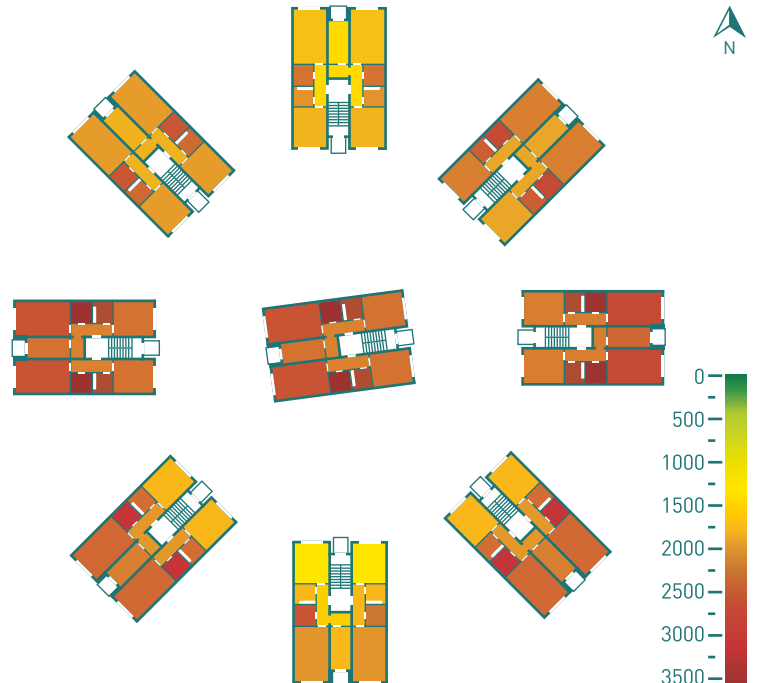


Abbildung 5: Anzahl der Übertemperaturgradstunden pro Jahr in Kh/a für die verschiedenen Räume der obersten Wohngeschosse in Abhängigkeit der Gebäudeausrichtung.

im Sommer bei beiden untersuchten Gebäuden unabhängig vom Gebäudetyp festzustellen und stellt eine wichtige Information dar, welche bei der Planung von Neubauten möglichst berücksichtigt werden sollte.

Anhand von Voruntersuchungen wurden verschiedene Anpassungsmaßnahmen für die betrachteten Gebäude ausgewählt und gezielt miteinander kombiniert. Nachfolgend werden diese Maßnahmen kurz vorgestellt.

Zur Minderung der Wärmeeinträge in ein Gebäude während sommerlicher Witterungsbedingungen eignen sich außenliegende Verschattungseinrichtungen. Am Gebäudetyp WBS 70 werden diese in Form von Rollläden, am anderen Gebäude aufgrund von denkmalschutzrechtlichen Anforderungen durch Klappläden (siehe Abbildung 6) gebildet. Dabei ist die einfachste Steuerung bei Verschattungseinrichtungen die manuelle Steuerung, d. h. die Bewohner können entscheiden, wann sie die Verschattung einsetzen bzw. wieder öffnen. Als eine weitere Variante wurde eine automatisierte Steuerung in Abhängigkeit der Einstrahlung auf die Fensterflächen untersucht. Als Bedingung zum Verschließen der Verschattung wurde ein Wert von 200 W/m^2 festgelegt.

Abbildung 6:
Oben: Darstellung der südlichen Fassade des Beispielobjektes mit Klappläden. Unten: Außenliegende Rollläden als Verbundbauteil mit den Fenstern.



Für die Optimierung des Luftwechsels lag der Fokus bei der Auswahl der Maßnahmen insbesondere auf Möglichkeiten zur Verbesserung des nächtlichen Luftaustauschs. Eine einfache Variante stellt dabei die Lüftung über die vorhandenen Fensterflächen dar. Im Vergleich zur angekippten Fensterstellung in der Nacht beim Ausgangszustand, müssen die Fenster während der Nachtstunden vollständig geöffnet sein. Diese Variante verursacht einen intensiven Luftaustausch mit entsprechender Abkühlung des jeweiligen Raumes. Die zur Lüftung genutzte Fensteröffnungsfläche vergrößert sich dabei von 7 % auf 100 %.

Alternativ dazu kann auf eine zentrale, maschinelle Abluftanlage zurückgegriffen werden. Hierfür ist es von Vorteil, wenn bereits eine solche Anlage in innen liegenden Bädern vorhanden ist, so dass diese mit zusätzlichen Abluftschächten und leistungstärkeren Ventilatoren erweitert werden kann. Dabei wird die aufgeheizte Innenraumluft über die innen liegenden Bäder abgeführt und es strömt über Außenluftdurchlasselemente in Außenwänden und Fensterrahmen kühlere Luft nach (siehe Abbildung 7).

Bei den zuvor beschriebenen Maßnahmen handelt es sich um passive Maßnahmen zur Gebäudekühlung. Diese sollten bei der Entwicklung von individuellen Anpassungsmaßnahmen für ein Gebäude stets zuerst betrachtet werden. Darüber hinaus gibt es aber auch Ansätze zur aktiven Kühlung.

Beispielsweise kann die vorhandene Heizungsanlage mit angepassten Kühlkonvektoren in Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmern zur sommerlichen Kühlung von Gebäuden genutzt werden. Das von einer zentralen, elektrischen Kompressionskältemaschine gekühlte Wasser wird dabei durch die Heizungsanlage gepumpt. Durch den Temperaturunterschied zwischen dem Wasser in den Heizkörpern und der Raumluft entsteht ein Wärmeaustausch und die Raumluft wird abgekühlt. Die Kühlkonvektoren verstärken dabei diesen Prozess. Um jedoch Tauwasserproblemen beispielsweise an den Zuleitungen zu den Heizkörpern vorzubeugen, wird die minimale Wassertemperatur im Heizkreislauf auf 20 °C begrenzt.

Alternativ dazu können bedarfsweise Klimasplit-Geräte in Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmern eingebaut werden, welche so bemessen sind, dass sie die Kühllast in den jeweiligen Räumen vollständig abdecken können. Neben der Inneneinheit, welche ein Absenken der Innenraumtemperatur durch kühle Luft bewirkt, ist immer auch eine Außeneinheit zur Rückkühlung notwendig. Durch die Abgabe der Wärme aus dem Gebäudeinneren an den gebäudenahen Außenraum wird dieser deutlich erwärmt, wodurch es zu einer Verlagerung des Überwärmungsproblems kommen kann. Darüber hinaus stellt die Platzierung und die sichere Befestigung dieser Außeneinheiten an der Gebäudehülle ein weiteres Problemfeld dar.

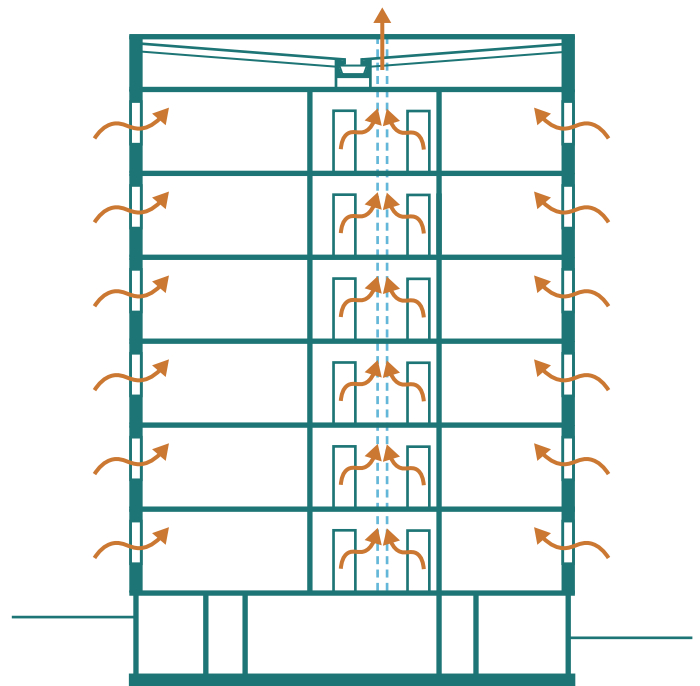


Abbildung 7: Oben: Schematische Darstellung einer zentralen Abluftanlage im Gebäudequerschnitt. Unten: Außenluftdurchlasselement im Fensterrahmen.



Abbildung 8: Links: Inneneinheit zur aktiven Kühlung von Innenräumen. Rechts: Zugehörige Rückkühltechnik (Außeneinheit) an einer Gebäudefassade.

3.2 Mehrfamilienwohnhaus WBS 70

Bei dem untersuchten Mehrfamilienwohnhaus handelt es sich um einen Gebäudetyp, der ab 1970 für den Massenwohnungsbau entwickelt wurde, um der Nachfrage nach rationalisiertem mehrstöckigem Wohnen zu entsprechen. Ausgehend von ehemals typisierten Wohngebäuden wurden die Gebäude des Typs WBS 70 als Plattenbauweise entwickelt, die mehrere Fertigteile aus Stahlbeton kombiniert, wie z. B. (1) Kelleraußenwände, (2) Außen- und Innenwandkonstruktionen, (3) Deckenplatten, (4) Treppenläufe, (5) mehrschalige Kaltdachkonstruktionen und (5) Loggia-Elemente. Auch wenn diese WBS 70-Gebäude für unterschiedliche städtebauliche Situationen entwickelt wurden, folgen das räumliche Muster und die Grundrisse vordefinierten Lösungen, was ein weiteres Merkmal für ihre weit reichende Standardisierung ist.

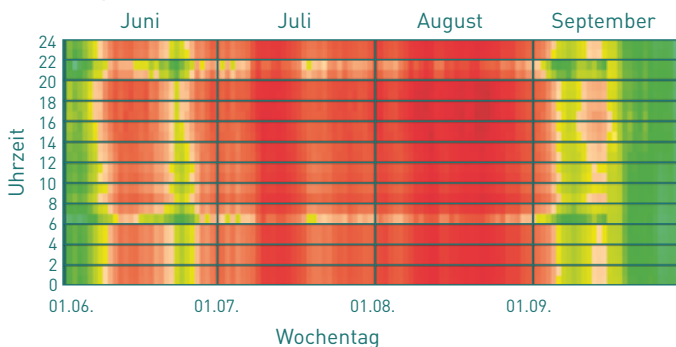
Bei dem hier untersuchten WBS-70-Gebäude handelt es sich um ein sechsstöckiges Mehrfamilienwohnhaus. Zu den baulichen Besonderheiten des Gebäudes gehören sowohl die dreischichtigen Außenwandkonstruktionen, bestehend aus (a) einer Tragschicht aus Stahlbeton, 14 cm, (b) einer Wärmedämmschicht aus Polystyrol, 6 cm, (c) einer Wetterschutzschicht aus Stahlbeton mit Oberflächenstruktur, 6 cm, als auch das Flachdach in Kaltdachbauweise, genannt „Trogdach“, mit innenliegendem Entwässerungssystem. Für die weiteren Untersuchungen ist es wichtig, dass dieses Gebäude bereits einmal saniert wurde. Dabei wurden ein 8 cm dickes Wärmedämmverbundsystem an der Fassade angebracht und die ursprünglichen Fenster durch Kunststoffrahmenfenster mit Zweischeiben-Isolierverglasung (U-Wert: 1,4 W/m² K) ersetzt.

Abbildung 10 zeigt beispielhaft stündliche Temperaturverläufe im Zeitraum Juni bis September in einem Wohnzimmer im 5. Obergeschoss unter durchschnittlichen sowie sommerheißen gegenwärtigen Witterungsbedingungen. Die sehr intensive Rotfärbung der beiden Diagramme verdeutlicht, dass nicht unbedingt ein



Abbildung 9: Ansicht der Fassade West eines noch unsanierten Beispielobjektes (oben) und der Fassade Ost eines sanierten Beispielobjektes mit zusätzlich vorgestellten Balkonen (unten).

Raumtemperatur 5. OG, Wohnen links: durchschnittlicher Sommer



Raumtemperatur 5. OG, Wohnen links: warmer Sommer

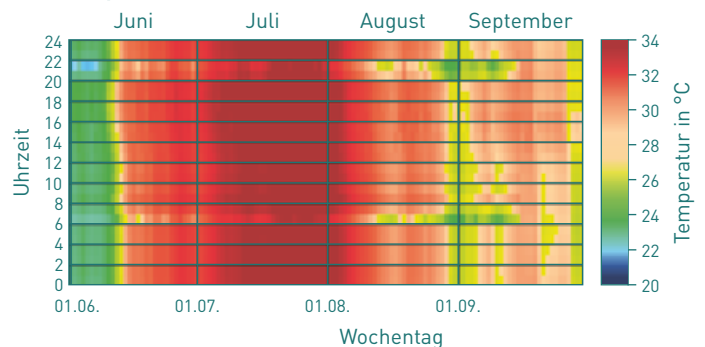


Abbildung 10: Stündlicher Temperaturverlauf im Wohnzimmer der linken Wohnung im 5. Obergeschoss unter durchschnittlichen (links) und sommerheißen (rechts) gegenwärtigen Witterungsbedingungen.

sehr warmes Außenklima vorhanden sein muss, um in diesem Wohnraum beinahe dauerhaft Innenraumtemperaturen über 27 °C auszulösen. Bei einem Anstieg der Außenlufttemperaturen verschärft sich diese Situation nochmals deutlich. Ein angenehmes Innenraumklima im Sommer ist folglich im 5. Obergeschoss dieses Gebäudes ohne zusätzliche Anpassungsmaßnahmen nicht erzielbar.

Für dieses Gebäude wurden Simulationen für die zuvor beschriebenen Anpassungsmaßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen durchgeführt und ausgewertet. Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 1 beispielhaft für Räume der linken Wohnung im 5. Obergeschoss zusammengestellt.

Maßnahmen /-kombinationen	Maximale Raumtemperatur in °C		Übertemperaturgradstunden in K*h		Anzahl der Stunden mit T > 27°C	Anzahl der Stunden mit T > 24°C, nachts
	WZ	SZ	WZ	SZ	WZ	SZ
0 Istzustand, sommerheißes Jahr	37,1	36,3	8.888	7.947	2.311	1.026
1 Außenliegende Verschattung, manuell betätigt	32,7	31,3	3.938	2.882	1.726	984
2 Außenliegende Verschattung, automatisch gesteuert	32,1	31,2	2.666	1.967	1.092	815
3 Außenliegende Verschattung, automatisch gesteuert und Nachtlüftung über die Fenster	28,7	28,1	176	82	249	244
4 Außenliegende Verschattung, automatisch gesteuert und Nachtlüftung über zentrale Abluft	30,2	29,2	880	496	627	443
5 Klimatisierung, Kaltwassersatz, Konvektoren in Wohn-, Kinder- und Schlafzimmern	32,3	31,7	3.173	2.721	1.361	1.012
6 Klimatisierung, Klimasplit-Gerät in Wohn-, Kinder- und Schlafzimmern	27,0	26,5	0	0	0	21

Tabelle 1: Simualtionsergebnisse für das Gebäude WBS 70 (Abkürzungen: WZ – Wohnzimmer, SZ – Schlafzimmer). Die Einfärbung der Maßnahmenzahl stellt eine Bewertung der Maßnahme bzw. -kombination dar (rot – ungünstiges bis grün – angenehmes Raumklima). Da Maßnahme 6 nur punktuell empfohlen wird, ist diese Maßnahme nicht in die Bewertung einbezogen.

Die dargestellten Simulationsergebnisse verdeutlichen, dass in den oberen Etagen des betrachteten Gebäudes ein Problem der sommerlichen Überhitzung besteht und diesem mit Hilfe der untersuchten Maßnahmen bzw. -kombinationen begegnet werden kann. Nachfolgend werden die einzelnen Maßnahmenkombinationen detailliert betrachtet. In Abbildung 12 sind jeweils die Übertemperaturgradstunden für die Räume des 5. Obergeschosses mit einer einheitlichen Farbskala abgebildet. Im Vergleich zu Wohn- und Schlafzimmern sind Küchen in der Regel durch besonders hohe innere Wärmeeinträge geprägt. Diese Küchen werden jedoch aufgrund der durchschnittlich kürzeren Aufent-

haltsdauer am Tag sowie der geringeren thermischen Ansprüche an diese Räume nicht für die Bewertung des Innenraumklimas maßgebend sein.

Anhand der abgebildeten Grundrisse des Beispielgebäudes mit den zugeordneten Farbcodes lässt sich die Wirksamkeit der Maßnahmen bzw. -kombinationen sehr anschaulich miteinander vergleichen.

Im Ausgangszustand des Gebäudes (Maßnahme 0) wurden sowohl für die nach Osten ausgerichteten Schlafzimmer, als auch

→ 14 | Beispielhafte Umsetzung der Anpassungskonzepte

für die nach Westen orientierten Wohnzimmer sehr hohe Innenlufttemperaturen berechnet. Folglich ist beinahe der gesamte Grundriss in Abbildung 12 dunkelrot eingefärbt.

Bereits durch die gezielte Nutzung eines außenliegenden Rollladens als Sonnenschutzvorrichtung vor den Fenstern (Maßnahme 1) wird das Innenraumklima im Sommer deutlich verbessert. Die maximale Raumtemperatur wird durchschnittlich um 4 °C verringert und die Übertemperaturgradstunden werden mehr als halbiert. Bei einer manuellen Steuerung, das heißt die Bewohner können diese Rollläden über Gurtbänder schließen und wieder öffnen, ist je nach Ausführungsvariante mit Kosten zwischen 200 € und 400 € je Fenster zu rechnen. Den durchgeführten Berechnungen liegt jedoch ein optimales Bewohnerverhalten zugrunde. Da davon auszugehen ist, dass dieses Verhalten nicht zu jedem Zeitpunkt wirklich ausgeführt wird, beeinträchtigt das Nutzerverhalten die Effektivität dieser Maßnahme erheblich.

In Maßnahme 2 wird deshalb die Steuerung der Rollläden verändert. Die manuelle Betätigung mittels Rollladengurts wird durch eine strahlungsabhängige elektrische Steuerung ersetzt. Dabei wurde angenommen, dass der Sonnenschutz ab einer Strahlungsleistung von 200 W/m², welche auf die Fensterflächen auftritt, aktiviert wird. Dies führt zu einer weiteren deutlichen Reduktion der Übertemperaturgradstunden und zu einer Erhöhung der Effektivität der Maßnahme. Auch in den Nachtstunden ist ei-

ne Verbesserung feststellbar. Allerdings liegen hier in der Nacht die Werte des Raumklimas mit ca. 800 Stunden über 24 °C immer noch sehr hoch.

Um insbesondere eine Verbesserung des nächtlichen Raumklimas bewirken zu können, ist es notwendig, die aufgeheizte Innenraumluft während der Nacht durch kühlere Außenluft auszutauschen. Deshalb wurde in Maßnahmenkombination 3 zusätzlich zur automatisierten Verschattung am Tag eine intensive Nachtlüftung über die Fenster untersucht. Es zeigt sich, dass diese Maßnahmenkombination sehr wirksam ist. In Abbildung 11 ist der tägliche Verlauf der durchschnittlichen Lufttemperatur dieser Maßnahmenkombination zusätzlich mit dem des Ausgangszustandes und der Maßnahme 2 dargestellt. Dabei ist die reduzierende Wirkung dieser Maßnahmen sehr gut zu erkennen. Diese Ergebnisse sind jedoch nur dann realistisch, wenn alle Bewohner diese Lüftung ideal ausführen würden. Unter Berücksichtigung des individuellen Sicherheitsbedürfnisses, von Lärmbelastigungen und ggf. Einschränkungen durch Allergien wird es bei einigen Bewohnern zu Interessenkonflikten kommen. Letztlich verdeutlicht diese Maßnahmenkombination aber auch, dass die Bewohner mittels geeigneter Maßnahmen eigenständig die thermische Belastung in ihrer Wohnung reduzieren können. Die Attraktivität dieser Maßnahmenkombination begründet sich auch damit, dass keine zusätzliche Energie (etwa wie bei den Maßnahmen 5, 6, 7) aufgewendet werden muss. Zwar müssen

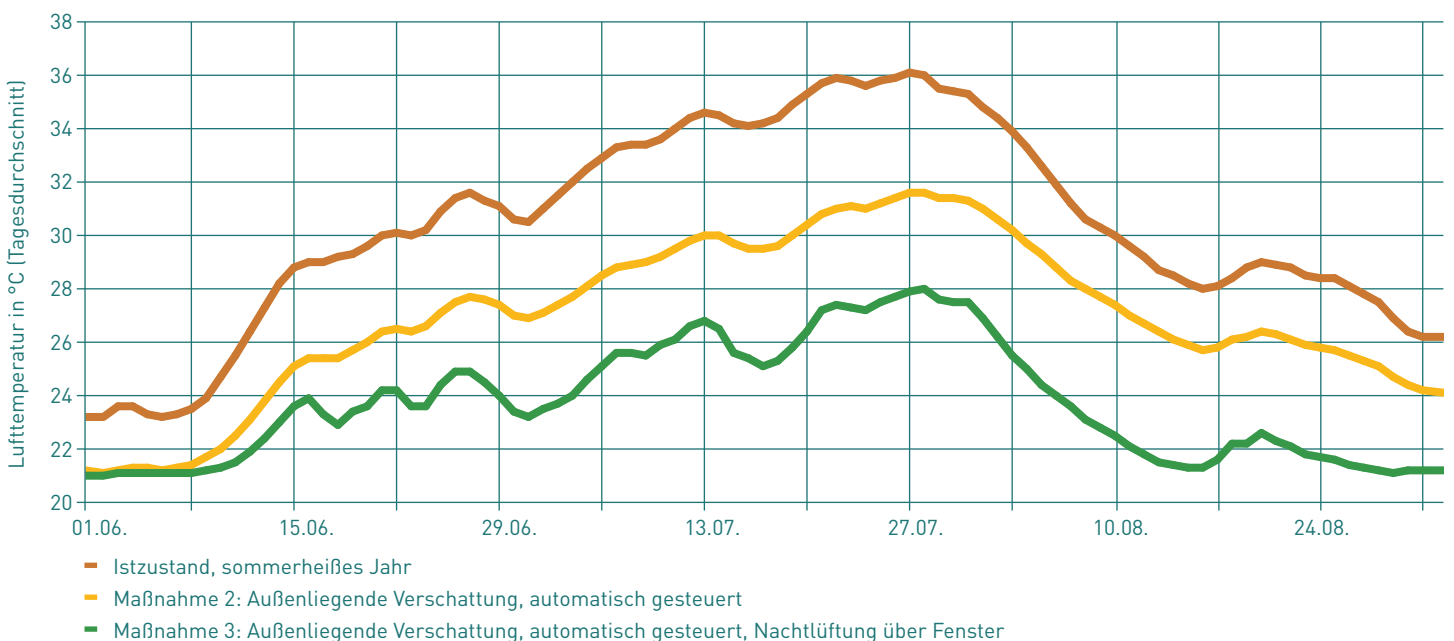


Abbildung 11: Verlauf der tagesdurchschnittlichen Lufttemperatur unter Anwendung verschiedener Anpassungsmaßnahmen im Wohnzimmer in der linken Wohnung im 5. Obergeschoss.

die Bewohner ggf. mit einer Mieterhöhung aufgrund der Modernisierungsumlage rechnen, die Betriebskosten dürften aber kaum bzw. nur marginal steigen (siehe Abschnitt 4). Letzteres könnte durch zusätzliche Wartungsaufwendungen für den Sonnenschutz der Fall sein.

Um das mögliche Problem eines nicht idealen Nutzerverhaltens zu umgehen, kann die Fensterlüftung durch eine zentrale, maschinelle Abluftanlage (Maßnahmenkombination 4) ersetzt werden. Grundsätzlich ist die Wirksamkeit von Nachtlüftungen aber nur solange gegeben, wie die Außenlufttemperaturen in der Nacht in städtischen Bereichen eine Erwärmung ermöglichen. Da die vorhandenen Fensterflächen für den nächtlichen Luftaustausch sehr groß und die maximalen Abmessungen des Abluftschachtes durch die baulichen Gegebenheiten begrenzt sind, ist diese Maßnahmenkombination etwas weniger effektiv, wie die zuvor beschriebene Kombination 3. Mögliche Interessenkonflikte bei den Bewohnern entfallen hier.

Bei Maßnahme 5 werden die Schlaf-, Kinder- und Wohnzimmer über die vorhandene Heizungsanlage, welche mit Kühlkonvektoren ausgestattet wurde, aktiv gekühlt. Im Vergleich zu den zuvor beschriebenen passiven Maßnahmen rechtfertigt die Wirksamkeit dieser Maßnahme nicht den zusätzlichen Energiebedarf sowie die hohen Investitionskosten. Folglich sollte diese Maßnahme nicht weiter verfolgt werden.

Zum Abschluss wurde angenommen, dass in den Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmern jeweils Klimasplit-Geräte (Maßnahme 6) vorhanden sind. Mit diesen Geräten treten folglich keine Übertemperaturgradstunden mehr in diesen Räumen auf. Diese Reduzierung der Raumtemperaturen geht mit einer signifikanten Investition mit entsprechender Mieterhöhung sowie einem zusätzlichen Energiebedarf für die Kälteerzeugung einher. Dieser Bedarf könnte mit Hilfe zusätzlicher Investitionen in eine Photovoltaik-Anlage reduziert werden. Etwa 80 % des Stroms für die Kälteerzeugung könnte mit der PV-Anlage generiert werden. Die Umsetzung in der Praxis ist jedoch nur schwer möglich. Außerdem wird durch die Rückkühltechnik im Außenbereich eine weitere Erwärmung des gebäudenahen Raumes verursacht. Darüber hinaus ergeben sich bei dieser Maßnahme eine Reihe baukonstruktiver Herausforderungen wie z. B. die Platzierung und sichere Befestigung der Außeneinheiten. Hinzu kommt eine erhebliche Beeinträchtigung der Fassadenansicht und die damit verbundenen negativen städtebaulichen Aspekte. Demzufolge dürfte eine vollständige Ausstattung aller Wohnungen mit dieser Maßnahme kaum realisierbar sein.

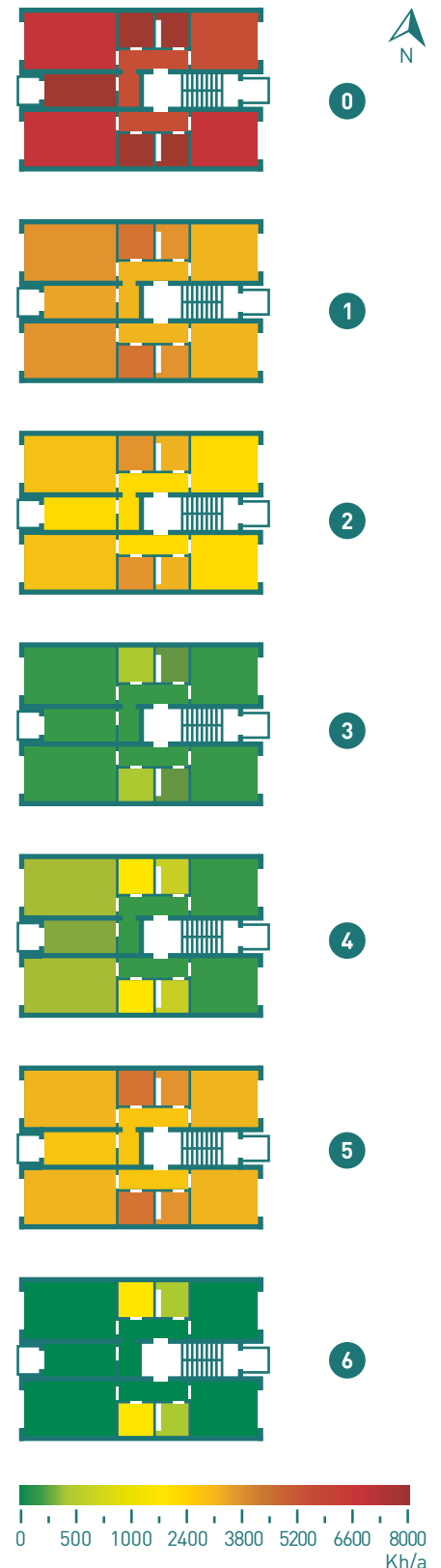


Abbildung 12: Auswirkung der ausgewählten Maßnahmen bzw. -kombinationen auf die Übertemperaturgradstunden im 5. Obergeschoss des Beispielgebäudes

3.3 Mehrfamilienwohnhaus der Bauzeit 1918–1939

Das im Jahr 1926 erbaute, vollständig unterkellerte Beispielobjekt, ein repräsentativer Vertreter für diesen Gebäudetyp, ist als Einzeldenkmal klassifiziert. Es weist einen rechteckigen Grundriss über insgesamt vier Wohngeschosse auf. Die drei Vollgeschosse verfügen jeweils über drei Zweiraumwohnungen und weisen eine Geschosshöhe von etwa 2,90 m auf. Im Mansardgeschoss sind hingegen nur zwei Zweiraumwohnungen vorhanden, wobei die Geschosshöhe gegenüber den Vollgeschossen reduziert ist.

Die Außenwände bestehen aus massivem Vollziegelmauerwerk mit Wandstärken zwischen 52 cm im Erdgeschoss und 39 cm im Mansardgeschoss. Auf die Montage eines Wärmedämmverbundsystems an der Fassade wurde aufgrund der Denkmaleigenschaft verzichtet. Die Innenwände bestehen ebenfalls überwiegend aus massivem Vollziegelmauerwerk mit geringeren Wandstärken. Vereinzelt wurden im Rahmen der umfassenden Sanierung des Gebäudes im Jahr 2008 neue Trennwände als Trockenbauwände errichtet. Die während der Sanierungsphase eingebauten Kunststoffrahmenfenster sind mit Zweischeiben-Isolierverglasung versehen und weisen einen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) von 1,4 W/m² K auf. Oberhalb des Mansardgeschosses ist das Oberdach als Kaltdachkonstruktion ausgeführt. Dieses Geschoss wird nicht zu Wohnzwecken genutzt und die Dachflächen sind nicht gedämmt.

In Abbildung 14 sind die stündlichen sommerlichen Raumtemperaturen eines Schlafzimmers im Mansardgeschoss im Ausgangszustand dieses Beispielgebäudes dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass es bereits unter durchschnittlichen Witterungsbedingungen Phasen mit höheren Innenraumtemperaturen gibt. Dabei zeigt das Diagramm nur kurze rote Bereiche, in denen die Innenraumtemperatur über 27 °C ansteigt. Diese Bereiche werden unter sommerheißen Witterungsbedingungen deutlich

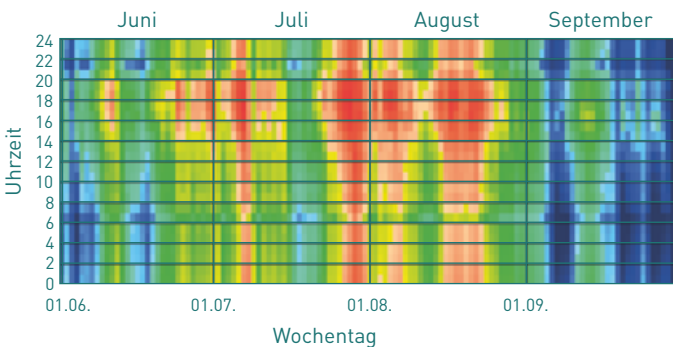


Abbildung 13: Ansicht der Fassaden Süd (oben) und Nord (unten) des Beispielobjektes.

länger und intensiver. Innerhalb des Monats Juli sinkt die Temperatur nur in wenigen Stunden unterhalb der 27 °C-Marke und es werden Maximalwerte bis zu 34 °C erreicht.

Für dieses Gebäude wurden Simulationen für die oben beschriebenen Maßnahmen bzw. -kombinationen durchgeführt und ausgewertet. Die Untersuchungsergebnisse sind in Tabelle 2 für Räume der rechten Wohnung im Mansardgeschoss zusammengestellt.

Raumtemperatur MG, Wohnen rechts: durchschnittlicher Sommer



Raumtemperatur MG, Wohnen rechts: warmer Sommer

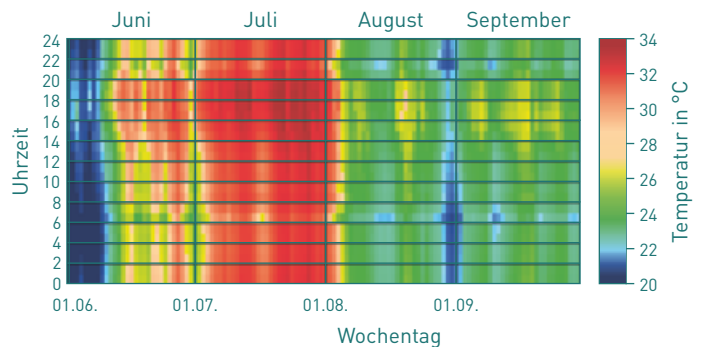


Abbildung 14: Stündlicher Temperaturverlauf im Schlafzimmer der linken Mansardwohnung unter durchschnittlichen (links) und sommerheißen (rechts) gegenwärtigen Witterungsbedingungen (MG – Mansardgeschoss).

Maßnahmen /-kombinationen	Maximale Raumtemperatur in °C		Übertemperaturgradstunden in K*h		Anzahl der Stunden mit T > 27°C		Anzahl der Stunden mit T > 24°C, nachts	
	WZ	SZ	WZ	SZ	WZ	SZ	WZ	SZ
0 Istzustand, sommerheißes Jahr	35,0	33,9	3.239	3.303	1.059	827		
1 Außenliegende Verschattung, manuell betätigt	32,0	31,4	1.252	1.367	711	769		
2 Außenliegende Verschattung, automatisch gesteuert	31,2	31,3	1.076	1.223	611	769		
3 Außenliegende Verschattung, automatisch gesteuert und Nachtlüftung über die Fenster	30,7	28,7	325	163	298	251		
4 Außenliegende Verschattung, automatisch gesteuert und Nachtlüftung über zentrale Abluft	31,1	29,8	597	584	459	617		
5 Klimatisierung, Kaltwassersatz, Konvektoren in Wohn-, Kinder- und Schlafzimmern	33,4	30,7	2.116	1.110	939	817		
6 Klimatisierung, Klimasplit-Gerät in Wohn-, Kinder- und Schlafzimmern	27,4	26,5	7	0	51	69		

Tabelle 2: Simulationsergebnisse für das Gebäude der Bauzeit 1918 – 1939 (WZ – Wohnzimmer, SZ – Schlafzimmer). Die Einfärbung der Maßnahmenzahl stellt eine Bewertung der Maßnahme bzw. -kombination dar (rot – ungünstiges bis grün – angenehmes Raumklima). Da Maßnahme 6 nur punktuell empfohlen wird, ist diese Maßnahme nicht in die Bewertung einbezogen.

Nachfolgend werden die einzelnen Maßnahmenkombinationen genauer ausgewertet. Auf der rechten Seite sind jeweils die Übertemperaturgradstunden für die Räume des Mansardgeschosses mit einer einheitlichen Farbskala abgebildet. Dadurch lässt sich die Wirksamkeit der Maßnahmen bzw. -kombinationen sehr anschaulich miteinander vergleichen. Aufgrund der starken inneren Wärmeeinträge durch Geräte sind Küchen in der Regel höher belastet als Wohn- und Schlafräume. Diese Küchen sind jedoch für die Bewertung des Innenraumklimas nicht maßgebend, da die Aufenthaltsdauer in Küchen vergleichsweise gering ist.

Die in Abbildung 16 deutlich erkennbare rote Einfärbung der Räume im Mansardgeschoss im Ausgangszustand (Maßnahme 0) verdeutlicht das unbehagliche Innenraumklima während des Sommers in diesem Wohngeschoss. Eine besonders hohe Belastung ist dabei in den nach Süden ausgerichteten Schlafzimmern feststellbar.

Denkmalgerechte Klappläden (Maßnahme 1) bilden eine wirksame Verschattungsmaßnahme, die darüber hinaus mit dem äußeren Erscheinungsbild des Gebäudes sehr gut in Einklang zu

bringen ist. Durch diese Maßnahme lassen sich positive Effekte für das sommerliche Raumklima in allen betrachteten Wohnräumen nachweisen, da z. B. die Maximaltemperatur durchschnittlich um 2,7 °C reduziert und die Anzahl der Übertemperaturgradstunden mehr als halbiert wird. Jedoch wird die individuelle Bedienung durch die Bewohner häufig dazu führen, dass das Verschattungspotential der Klappläden nur zeitweise ausgenutzt wird, wodurch deren Effektivität beeinträchtigt ist.

Diesem Problem kann eine Veränderung der Steuerung der Verschattungsmaßnahme entgegenwirken. Deshalb wird in Maßnahme 2 das manuelle Schließen der Klappläden durch einen motorgestützten Klapplädenantrieb mit strahlungsabhängiger, elektrischer Steuerung ersetzt. Dadurch tritt eine deutlich höhere Effektivität auf und Beeinträchtigungen durch eine nachteilige Nutzersteuerung sind reduziert. Da diese elektrischen Antriebe von Klappläden jedoch in der Baupraxis selten eingesetzt werden, kommt in den nachfolgenden Maßnahmenkombinationen wieder das manuelle Schließen der Klappläden zum Einsatz.

→ 18 | Beispielhafte Umsetzung der Anpassungskonzepte

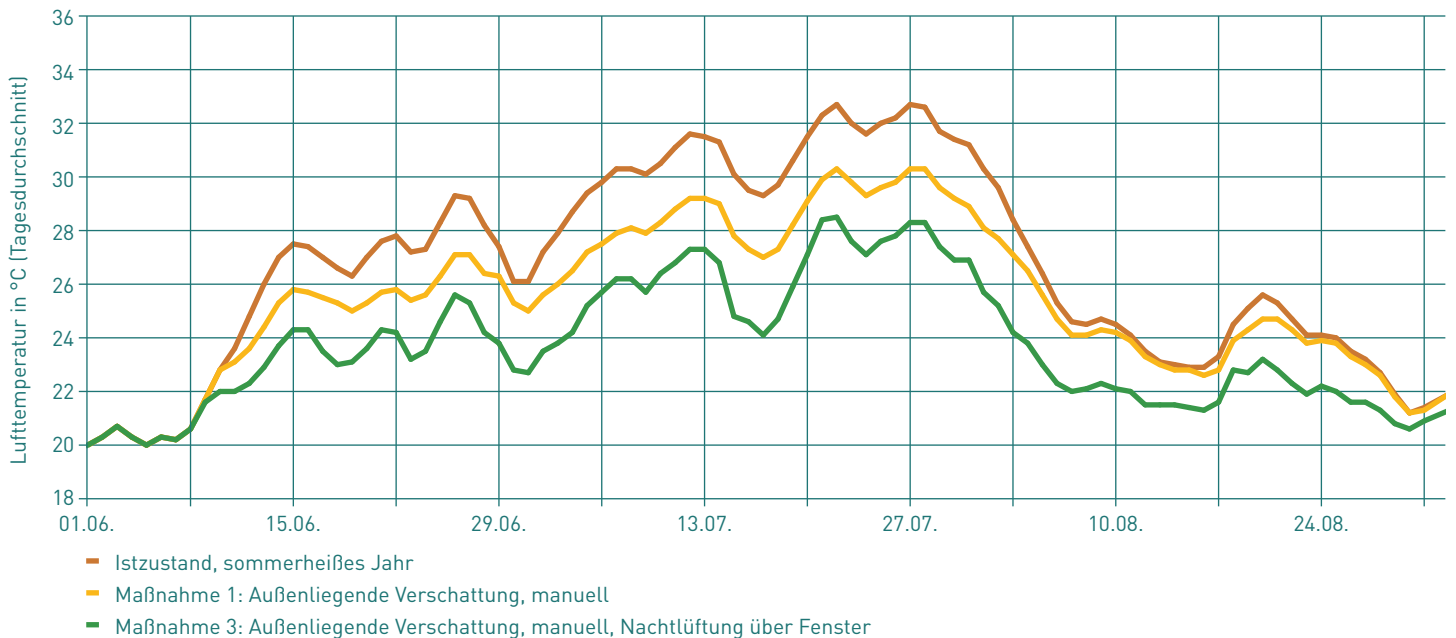


Abbildung 15: Verlauf der tagesdurchschnittlichen Lufttemperatur unter Anwendung verschiedener Anpassungsmaßnahmen im Wohnzimmer in der rechten Wohnung im Mansardgeschoss.

Die bisher beschriebenen Maßnahmen führen dazu, dass das Erhitzen der Raumluft durch die solare Einstrahlung tagsüber erschwert bzw. verringert wird. Da es während der Nacht zu einer deutlichen Reduzierung der Außenlufttemperatur kommt, bietet eine zusätzliche, manuelle Nachtlüftung über vollständig geöffnete Fenster (Maßnahme 3) ein sehr großes Entwärmungspotential. In den betrachteten Wohnräumen sinkt die Zahl der Übertemperaturgradstunden weiter ab und die maximale Innenraumtemperatur verringert sich im Vergleich zum Ausgangszustand um durchschnittlich 4,5 °C. In Abbildung 15 ist der tägliche Verlauf der durchschnittlichen Lufttemperatur dieser Maßnahmenkombination zusätzlich mit dem des Ausgangszustandes und der Maßnahme 1 dargestellt. Dabei ist die reduzierende Wirkung dieser beiden Maßnahmen sehr gut zu erkennen. Ein möglicher zukünftiger Anstieg von Nachttemperaturen, insbesondere in dicht bebauten Innenstädten, kann die Effektivität dieser Maßnahmenkombination jedoch beeinträchtigen. In städtischen Bereichen kann sich darüber hinaus ein Interessenkonflikt mit den Ansprüchen der Bewohner an Lärmschutz, dem individuellen Sicherheitsempfinden sowie ggf. Beeinträchtigungen durch Allergien ergeben. So wird die Effektivität stark davon abhängig, welchem Aspekt die Bewohner das größte Gewicht geben.

Deshalb stellt Maßnahmenkombination 4 eine geeignete Alternative dar. Hier wird zusätzlich zu den Verschattungsmaßnah-

men die aufgeheizte Innenluft in der Nacht durch eine zentrale Abluftanlage abgeführt und es strömt über schallgedämmte Außenluftdurchlasselemente, welche sich in den Außenwänden bzw. Fensterrahmen befinden, kühle Außenluft nach. Da für diese Maßnahme ein Abluftschacht notwendig ist, wird durch dessen Größe, in Verbindung mit dem stündlichen Abluftvolumen des Ventilators, das Entwärmungspotential begrenzt. So ist die Effektivität dieser Maßnahmenkombination geringer als unter einer ideal gesteuerten Nachtlüftung über die Fenster, jedoch bestehen keine Einschränkungen durch Interessenkonflikte.

Ergänzend zu den beschriebenen passiven Maßnahmen, welche bei der Entwicklung von individuellen Anpassungsmaßnahmen für ein Gebäude bevorzugt untersucht werden sollten, werden nachfolgend noch zwei Ansätze zur aktiven Kühlung vorgestellt.

Bei Maßnahme 5 wird die vorhandene Heizungsanlage mit angepassten Kühlkonvektoren in Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmern zum Kühlen genutzt. Die Kühlung der Raumluft wird dabei durch den Wärmeaustausch, welcher aufgrund des Temperaturunterschieds zwischen dem Wasser in den Heizkörpern und der Raumluft entsteht, realisiert. Um Tauwasserproblemen vorzubeugen, wird die minimale Wassertemperatur im Heizkreislauf auf 20 °C begrenzt. Durch diese Einschränkung ist die Wirksamkeit dieser Maßnahme sehr limitiert. Deshalb führt diese Maßnahme auch nicht zur erwünschten Reduktion der Maximaltemperaturen bzw.

der Übertemperaturgradstunden. Im Zusammenhang mit den hohen Investitionskosten ist diese Maßnahme nicht für die Umsetzung zu empfehlen.

Die Verwendung von Klimasplit-Geräten in Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmern (Maßnahme 6) zeigt sich in der thermischen Gebäudesimulation als eine sehr wirksame Maßnahme, welche jedoch mit einigen Problemen sowie Einschränkungen im Hinblick auf die Außeneinheiten verbunden ist. Neben den zusätzlichen Energieverbräuchen durch die aktive Kühlung kommt es durch die Rückkühltechnik im Außenbereich zur Erwärmung des gebäudenahen Raumes, mit Konsequenzen für den bereits überhitzten Stadtraum. Dies kann auch nicht durch die Nutzung von Strom aus Photovoltaik-Anlagen kompensiert werden. Darüber hinaus beeinträchtigen die Außeneinheiten der Klimasplit-Geräte die Gebäudefassaden optisch sehr stark. Dies ist insbesondere im Denkmalbestand nicht akzeptabel. Ebenso ist die Verankerung dieser Außeneinheiten im Steildachbereich sehr aufwendig und risikobehaftet. Neben der Lärmbelastung entstehen zusätzliche Lasten in der Dachebene, in die bestehende Dachhaut muss eingegriffen und die Sturmsicherheit sichergestellt werden. Außerdem ist ein regelmäßiger Zugang zu Wartungszwecken notwendig. Ungeachtet dessen ist der Einsatz von Klimasplit-Geräten als punktuelle Maßnahme zur Entspannung stark belasteter Dachbereiche denkbar.

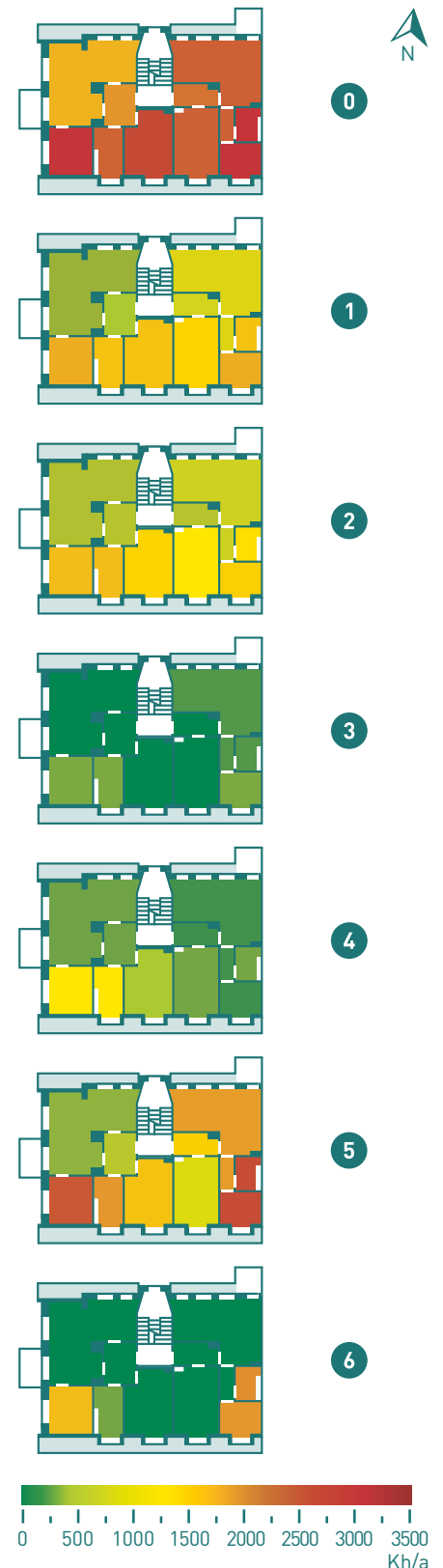


Abbildung 16: Auswirkung der ausgewählten Maßnahmen bzw. -kombinationen auf die Übertemperaturgradstunden im Mansardgeschoss.

4. Wirtschaftliche Bewertung

Die beschriebenen Maßnahmenpakete verursachen Baukosten (Herstellkosten) und ggf. zusätzliche Betriebskosten. Es besteht grundsätzlich die Frage, wer diese Kosten trägt.

Betriebswirtschaftlich gesehen, handelt es sich bei den Maßnahmenkombinationen um Investitionen. Da es sich bei den betrachteten Gebäuden im Regelfall um Mietobjekte handelt, muss die spezielle Vermieter-Mieter-Konstellation beachtet werden (Abbildung 17). Im Gegensatz zum klassischen Fall, bei welchem der Investor und der Begünstigte der Investition ein und dieselbe Person sind, tätig hier der Vermieter (Wohnungsgesellschaft, Wohnungsgenossenschaft, Eigentümergemeinschaften) die Investition und der Mieter ist der Begünstigte bzw. direkt Betroffene. Die Investition muss demzufolge aus Sicht beider Beteiligten beurteilt werden.

Der Vermieter tätigt die Investition, d. h. er trägt die Herstellkosten zur Umsetzung der Maßnahmenkombinationen. Da Wohnungsgesellschaften und -genossenschaften, wie die meisten anderen Vermieter, wirtschaftlich arbeiten müssen, ist für sie die Refinanzierung der eingesetzten Mittel überlebenswichtig. Im Regelfall muss dazu die Miete erhöht werden, sofern nicht andere Finanzierungsquellen (z. B. Fördermittel) zur Verfügung stehen. Aufgrund der signifikanten Bedeutung dieses Prinzips hat der Gesetzgeber den Rahmen für die Mieterhöhung im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) vorgegeben, siehe dazu die Abbildung 18 und Abbildung 19.

Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) § 559 Mieterhöhung nach Modernisierungsmaßnahmen Absatz 1

Hat der Vermieter Modernisierungsmaßnahmen im Sinne des § 555b Nummer 1, 3, 4, 5 oder 6 durchgeführt, so kann er die jährliche Miete um 8 Prozent der für die Wohnung aufgewendeten Kosten erhöhen.

Abbildung 18: BGB, §559, Absatz 1: Mieterhöhung nach Modernisierungsmaßnahmen

Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) § 555b Modernisierungsmaßnahmen Modernisierungsmaßnahmen sind bauliche Veränderungen,

1. durch die in Bezug auf die Mietsache Endenergie nachhaltig eingespart wird (energetische Modernisierung),
2. durch die nicht erneuerbare Primärenergie nachhaltig eingespart oder das Klima nachhaltig geschützt wird, sofern nicht bereits eine energetische Modernisierung nach Nummer 1 vorliegt,
3. durch die der Wasserverbrauch nachhaltig reduziert wird,
4. durch die der Gebrauchswert der Mietsache nachhaltig erhöht wird,
5. durch die die allgemeinen Wohnverhältnisse auf Dauer verbessert werden,
6. die auf Grund von Umständen durchgeführt werden, die der Vermieter nicht zu vertreten hat, und die keine Erhaltungsmaßnahmen nach § 555a sind, oder
7. durch die neuer Wohnraum geschaffen wird.

Abbildung 19: BGB, §555b: Modernisierungsmaßnahmen



Abbildung 17: Grundlegende Konstellationen bei Investitionen

Die Maßnahmenkombinationen dürften nach §555b, Absatz 5 eindeutig als Modernisierungsmaßnahme gelten (Abbildung 19) und der Vermieter kann die Miete um 8 % der anfallenden Kosten erhöhen. Im vorliegenden Fall kann er wahrscheinlich die Kosten in voller Höhe anrechnen, da in den Maßnahmen keine Instandhaltungsmaßnahmen (So bezeichnete „Sowieso-Kosten“, welche abzuziehen wären) enthalten sind.

Die Wirtschaftlichkeit der Modernisierungsinvestition kann aus Sicht des Mieters z. B. mit dem Kapitalwertverfahren beurteilt werden, vgl. dazu ausführlich Krimmling 2018. Dabei gilt: Die Investition ist dann wirtschaftlich sinnvoll, wenn der Kapitalwert größer Null ist.

Für den Mieter erhöht sich in der Regel die Kaltmiete, außerdem können je nach Maßnahmenkombination zusätzliche Betriebskosten für Energie und Wartung anfallen.

Beispiel 1 – Installation von automatisch gesteuerten Rollläden (außenliegender Sonnenschutz)

	von	bis
Kosten Rollläden	8.835,73 €	11.495,25 €
Automatische Steuerung	7.250,00 €	14.500,00 €
Verkabelung	2.900,00 €	5.800,00 €
Sonstiges	3.000,00 €	3.000,00 €
Summe	21.985,73 €	34.795,25 €

Tabelle 3: Geschätzte Herstellkosten für die Rollläden für das WBS 70-Gebäude.

Kalkulationszins	i	3,0 %	
Laufzeit in Jahren	T	20	
Rentenbarwertfaktor	RBF	14,88	

		von	bis
Investition	$A_{0,VM}$	21.985,73 €	34.795,25 €
Mieterhöhung 8 %	$E_{1-T,VM}$	1.758,86 €	2.783,62 €
veränderte Kosten	$A_{1-T,VM}$	-	-
Kapitalwert des Vermieters	K_{VM}	4.181,64 €	6.617,99 €

Tabelle 4: Berechnung des Kapitalwertes für den Vermieter für die Maßnahme Rollläden.

Diese Investition ist für den Vermieter wirtschaftlich sinnvoll. Beim Mieter würde sich folgende (grob geschätzte) Mieterhöhung ergeben:

		von	bis
Mietfläche im Gebäude	635,6 m ²		
Mieterhöhung	8,0 %	1.670,74 €	2.783,62 €
jährliche Mieterhöhung pro Fläche	€/m ² a	2,63 €	4,38 €
monatliche Mieterhöhung	€/m² Mon	0,22 €	0,36 €

Tabelle 5: Mieterhöhung für die Maßnahme Rollläden.

Beispiel 2 – Nachtlüftung über zentrale Abluftanlage

	Anzahl	EP	GP
zusätzlicher Abluftschacht	2	8.500,00 €	17.000,00 €
zusätzlicher Ventilator	2	6.000,00 €	12.000,00 €
Sonstiges		20 %	5.800,00 €
			34.800,00 €

Tabelle 6: Geschätzte Herstellkosten für die zusätzliche Abluftanlage für das WBS 70 Gebäude.

Kalkulationszins	i	3,0 %
Laufzeit in Jahren	T	20
Rentenbarwertfaktor	RBF	14,88
Investition	$A_{0,VM}$	34.800,00 €
Mieterhöhung 8 %	$E_{1-T,VM}$	2.784,00 €
veränderte Kosten	$A_{1-T,VM}$	-
Kapitalwert des Vermieters	K_{VM}	6.618,89 €

Tabelle 7: Berechnung des Kapitalwertes für den Vermieter für die Maßnahme Zentrale Abluftanlage.

Mietfläche im Gebäude	635,6 m ²
Mieterhöhung	8,0 %
jährliche Mieterhöhung pro Fläche	4,38 €/m ² a
monatliche Mieterhöhung	0,37 €/m ² Mon
zusätzlicher Energiebedarf	212,25 kWh/a
zusätzliche jährliche Energiekosten pro Fläche	0,08 €/m ² a
zusätzliche Wartungskosten Ventilatoren	0,38 €/m ² a
zusätzliche monatliche Betriebskosten	0,04 €/m ² Mon

Tabelle 8: Mieterhöhung und zusätzliche Betriebskosten für die Maßnahme Zentrale Abluftanlage.

5. Zusammenfassung sommerlicher Überhitzung in Wohngebäuden

Die sommerliche Überhitzung in dicht besiedelten städtischen Bereichen bildet gegenwärtig und zukünftig eine relevante Einwirkung auf Wohngebäude und ihre Bewohner. Thermische Gebäudesimulationen, die auf einer präzisen Bestandsaufnahme basieren, sind ein wirksames Instrument zur Abschätzung und Bewertung der Auswirkungen solcher Wärmelasten. Dabei werden die zu erwartenden Innentemperaturen auf Etagen- und Raumbene genau berechnet. Für die Entwicklung objektspezifischer Anpassungskonzepte sollten die vier Anpassungsstrategien

- (1) Minderung der Wärmeeinträge,
- (2) Optimierung der Wärmespeicherfähigkeit,
- (3) Optimierung des Luftwechsels und
- (4) Kühlung

möglichst effektiv kombiniert werden. Mit dieser Broschüre liegen für zwei beispielhafte Gebäudetypen wirksame und effektive Anpassungsmaßnahmen vor, um den Bewohnern solcher Gebäude jetzt und in Zukunft ein behagliches Raumklima während sommerlicher Hitzeperioden zu bieten. Zukünftig wird es ein wichtiges Ziel sein, diese Systematik auch auf weitere Gebäudetypen zu übertragen und geeignete Anpassungskonzepte für diese zu entwickeln.

Übersicht zu den psychologischen Folgen von sozialer Isolation und von Hitze

Dr. phil. Markus Barth

Kurzfassung

Steigende Temperaturen einerseits und soziale Isolation andererseits stellen Risikofaktoren für die körperliche und geistige Gesundheit dar. Soziale Isolation erhöht u. a. das Risiko für psychische Erkrankungen und schwächt das Immunsystem. Isolation und auch hohe Temperaturen senken die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit bei komplexen Aufgaben. Durch hohe Temperaturen erhöht sich zudem die Gewaltbereitschaft. Die beschriebenen Effekte können nachhaltige wirtschaftliche und soziale Folgen haben. Besonders anfällig sind insbesondere sozial Schwache, Alte und psychisch Vorerkrankte.

Einleitung

Die durchschnittlichen Temperaturen in den Städten sind in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen und werden noch weiter steigen (Bastin et al., 2019). Insbesondere in den Sommermonaten erleben die Menschen die Hitze am Arbeitsplatz und auch zu Hause als zusätzliche Belastung. Neben den überdurchschnittlichen Temperaturen entstand durch den Ausbruch der Corona-Pandemie ein weiterer Belastungsfaktor. Sicherheits- und Gesundheitsbedenken sowie strenge Auflagen führten dazu, dass die Menschen mehr Zeit zu Hause verbrachten. Die notwendige Ausgangsbeschränkung und das Social Distancing waren insbesondere für die Personen, die allein leben, eine Herausforderung. Der menschengemachte Klimawandel ist eine Tatsache (IPCC, 2014). Alle aktuellen Klimamodelle gehen davon aus, dass die durchschnittliche Temperatur in Deutschland weiter steigen wird. Damit bleibt unangenehme Hitze im Wohn- und Arbeitsbereich eine Belastung, auf die sich die Menschen langfristig einstellen müssen. Auch für das Geschehen um COVID-19 ist nicht auszuschließen, dass regional erneut Ausgangsbeschränkungen beschlossen werden oder Menschen für einen längeren Zeitraum unter Quarantäne gestellt werden. Somit besteht die Möglichkeit, dass die Menschen einer mehrfachen Belastung ausgesetzt sind. Einerseits durch die Hitze in den Wohnräumen und andererseits durch die auferlegte Isolation. Unabhängig von der weiteren Entwicklung der Pandemie betrifft diese Doppelbelastung auch Menschen, die aufgrund ihres Alters oder aufgrund ihres Gesundheitszustandes ohnehin selten das Haus verlassen können und allein leben.

Im Weiteren soll der aktuelle Wissenstand zu den Folgen der Belastung durch Hitze und durch soziale Isolation zusammengefasst werden. Der Überblick möchte für die Problematik sensibilisieren. Die Darstellung konzentriert sich insbesondere auf psychologische Aspekte. Diese haben nachweislich mittel- und langfristige Konsequenzen für Gesundheit und Wohlbefinden der Menschen. Dennoch werden sie in der öffentlichen Diskussion nicht immer mitgedacht. Die psychologischen und physiologischen Folgen sind in einigen Fällen jedoch stark miteinander verschränkt. Körperliches Leid bringt häufig auch psychologische Stressoren mit sich (z. B. Angst, Unsicherheit, Sorgen) und umgekehrt können psychische Leiden auch die körperliche Gesundheit beeinträchtigen. Wo nötig wird deshalb auch auf Folgen für die körperliche Gesundheit eingegangen. Zunächst werden die Folgen von Einsamkeit beschrieben, anschließend die Folgen von starker Hitze. Das Zusammenspiel beider Faktoren ist wissenschaftlich noch nicht umfassend untersucht. Diese Perspektive wird im Schlussteil kurz umrissen.

Psychologische Folgen von Isolation

Zu Beginn ist es notwendig, zwischen Einsamkeit und sozialer Isolation zu unterscheiden. Nicht jeder Mensch, der eine gewisse Zeit allein zubringen muss (z. B. aufgrund von Ausgangsbeschränkungen), fühlt sich deswegen einsam. Einsamkeit ist ein subjektiver Mangel an sozialen Kontakten. Während für manche ein soziales Netzwerk aus drei Personen völlig hinreichend erscheint, erleben andere hier bereits einen Kontaktmangel. Trotz dieser Unterscheidung scheint es eine Wechselwirkung zwischen sozialer Isolation und Einsamkeit auf die Sterblichkeitsrate zu geben (Beller & Wagner, 2018). Je umfangreicher die Isolation, desto größer stellte sich der Effekt empfundener Einsamkeit für die Sterblichkeitsrate dar. Einsame Menschen, die sich in Isolation befinden, sind also stärker gefährdet als Menschen, die zwar isoliert sind, sich aber nicht einsam fühlen.

Einsamkeit und soziale Isolation stellen ein Gesundheitsrisiko dar. Es konnten bereits Zusammenhänge zu depressiven Symptomen aufgezeigt werden (z. B. Brenes, Rodriguez, & Fornaguera, 2008; Luo, Hawkey, Waite, & Cacioppo, 2012), zu Einschränkungen der kognitiven Funktionen (z. B. Shankar, Hamer, McMunn, & Steptoe, 2013), sowie zu einer verminder-

ten Funktion des Immunsystems (Pressman et al., 2005). Wie schon erwähnt sind Einsamkeit und Isolation damit Einflussfaktoren für die Sterberate (vgl. auch Coyle & Dugan, 2012; Elovainio et al., 2017). Das erhöhte Risiko für depressive Symptome bei einsamen Menschen erklärt auch zum Teil, warum Einsamkeit eine Vorhersagevariable für Suizid ist (Goldsmith, Pellmar, Kleinman, & Bunney, 2002). Einen weiteren Indikator für einen negativen Einfluss auf die Gesundheit berichteten Hawkey und Cacioppo (2010): Sie konnten zeigen, dass Einsamkeit mit einem erhöhten Risiko für Herzgefäßerkrankungen einhergeht.

Weitere Untersuchungen machen die Beziehung zwischen Einsamkeit und negativen psychologischen Folgen noch deutlicher. Mehrere Studien belegen den Zusammenhang zwischen Einsamkeit und Persönlichkeitsstörungen sowie Psychosen (z. B. DeNiro, 1995; Richman & Sokolove, 1992). Andauernde Einsamkeit minderte die geistige Leistungsfähigkeit über die Zeit und trug damit zum Verfall der kognitiven Fähigkeiten bei (Gow, Pattie, Whiteman, Whalley, & Deary, 2007; Tilvis et al., 2004). Diese Befunde machen deutlich, dass insbesondere ältere Menschen aufgrund von Isolation und Einsamkeit nicht nur an einer Teilhabe am sozialen Leben gehindert werden. Auch die geistigen Fähigkeiten leiden darunter, wodurch Demenz und Senilität zu einem früheren Zeitpunkt einsetzen können, als ohne Isolation.

Die vorgenannten Ergebnisse beschreiben allgemeine Folgen von Einsamkeit und Isolation. Spezifische Folgen von Isolation aufgrund von Quarantäne gehen noch darüber hinaus. Aufschlussreich für die aktuelle Situation sind frühere Untersuchungen zur Folge von Quarantänemaßnahmen. Menschen in Quarantäne berichten mehr Unsicherheit, Angst und Verzweiflung (Hawryluck, Gold, Robinson, Pogorski, Galea, Styra, 2004). Die psychologische Belastung hat dabei zumindest fünf Ursachen: die Dauer der Quarantäne (je länger, desto belastender), die Furcht vor Ansteckung, Frustration und Langeweile, unangemessene Versorgung und unzureichende Information (Brooks et al., 2020). Diese Analyse macht deutlich, dass gerade in Zeiten einer Pandemie eine effektive Kommunikationsstrategie einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung unnötiger Stressoren darstellt. Durch gezielte und regelmäßige Informationen könnten Unsicherheit und Frustration reduziert werden.

Auch langfristig zeigten sich Auswirkungen eines Quarantäneerlebnisses: noch nach drei Jahren sagte die Quarantäne Symptome einer posttraumatischen Belastungsstörung vorher. Insbesondere bei Kindern zeigten sich viermal höhere Werte auf einem Belastungsindex (Brooks et al., 2020). Bei Erwachsenen konnten Zusammenhänge zwischen dem Quarantäne-Erlebnis und dysfunktionalen Verhaltensweisen wie Alkoholmissbrauch und Abhängigkeiten festgestellt werden.

Psychologische Folgen von Hitze

Viele Untersuchungen kamen unabhängig zu dem Ergebnis, dass Hitzewellen die Wahrscheinlichkeit für Gewaltverbrechen (d. h. häusliche Gewalt, Mord und auch Suizid) erhöhen (z. B. Basu & Samet, 2002; Qi, Tong, & Hu, 2009). Hohe Temperaturen erhöhen die Herzrate sowie feindselige Gefühle. So kam Anderson (2001) zu dem Schluss, dass jede Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur um 2 °F (= 1,1 °C) von einer Zunahme gewalttätiger Tendenzen begleitet werden wird (vgl. dazu Abb. 1 für eine Schätzung des Effekts auf Deutschland).

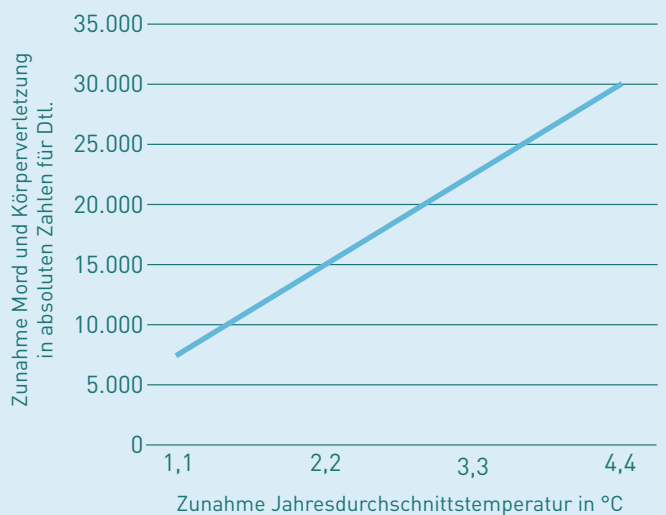


Abbildung 1: Schätzung des Einflusses globaler Erwärmung auf Mord und Gewaltdelikte in Deutschland bei einer Bevölkerung von 83 Millionen (nach Anderson et al., 2000)

Eine holländische Studie (Vrij, van der Stehen, & Koppelaar, 1994) konnte den Effekt von Hitze auf Gewaltbereitschaft sogar für Polizeibeamte nachweisen. Verdächtige wirkten bei Hitze auf die Beamten gefährlicher und aggressiver. Die Polizisten zogen auch häufiger die Waffe. Im Einklang mit diesem Ergebnis beschrieben Anderson und Kollegen (2000) wie unangenehme Wärme die Interpretation sozialer Interaktion verzerren kann. Mehrdeutige Situationen würden bei Hitze eher so interpretiert, als ob sie eine aggressive Komponente enthielten.

Die Befunde zu den Folgen von Hitze auf Aggressivität sind besonders relevant für öffentliche Einrichtungen, so etwa Schulen, Gefängnisse und Bürogebäude und Behörden. Hier könnten nachträgliche Verbesserungen bei der Temperaturregulierung (Dämmung, Klimaanlage etc.) sinnvoll sein, da die Kosten der Anschaffung durch den Nutzen (z. B. weniger Sachschäden, geringere Inhaftierungskosten, erhöhte Produktivität) schnell ausgeglichen wären (Anderson, 2001).

Hitze hat auch negative Wirkung auf die kognitive Leistungsfähigkeit, etwa auf Reaktionszeiten und einfache mathematische Fähigkeiten (Cedeno Laurent, Williams, Oulhote, Zanobetti, Allen, & Spengler, 2018). In diesen Bereichen zeigten Studierende, die in nicht klimatisierten Wohnheimen lebten, deutliche Einbußen. Die Autoren weisen darauf hin, dass die Beeinträchtigungen bei anderen Bevölkerungsgruppen (z. B. Alte, Kranke usw.) noch deutlicher ausfallen sollten. Der nachteilige Effekt hoher Temperaturen auf kognitive Fähigkeiten konnte auch von anderen Arbeiten bestätigt werden (vgl. Taylor, Watkins, Marshall, Dascombe, & Foster, 2016). So zeigten Cheema und Patrick (2012), dass die Fähigkeit zum komplexen Problemlösen bei Hitze beeinträchtigt ist. Ohne hinreichenden Hitzeschutz ist somit mit Einbußen bei der Produktivität, Effektivität und bei der Kreativität in vielen Branchen zu rechnen.

Betrachtet man die Anfälligkeit verschiedener Bevölkerungsgruppen für die negativen Folgen von Hitze, so stellt die Hitze insbesondere für ältere Bewohner einer Stadt ein gesundheitliches Risiko dar. Diese Anfälligkeit wird durch andere Faktoren, wie etwa die soziale Isolation älterer Menschen noch erhöht (Nayak et al., 2018). Neben den Alten in der Gesellschaft sind auch Personen mit psychischen Vorerkrankungen einem höheren Risiko ausgesetzt. Medikation mit Psychopharmaka stellt einen Risikofaktor für hitzebedingte Todesfälle dar (Bouchama & Knochel, 2002). Ebenso Erkrankungen der Atemwege oder der Herzgefäße, sowie Substanzmissbrauch (Basu & Samet, 2002; Marzuk et al., 1998). Die genannten drei Risikofaktoren treten häufiger bei Personen mit psychischer Vorerkrankung als in einer gesunden Population auf. Die Anfälligkeit für negative Hitzefolgen wird noch zusätzlich durch unangepasstes Bewältigungsverhalten von psychisch Erkrankten erhöht, ebenso durch ihre häufig schlechten Lebensbedingungen (Kovats & Ebi, 2006). Gleichzeitig steigt die Nachfrage nach psychiatrischer Hilfe während einer Hitzeperiode an (z. B. Wang, Lavigne, Ouellette-Kuntz, & Chen, 2014). Hitze scheint also den Ausbruch latenter psychischer Krankheiten zu fördern.

Fazit

Soziale Isolation stellt für alle Menschen einen Stressor dar, der die Lebenszufriedenheit senkt und die psychische und körperliche Gesundheit bedroht. Bisherige Untersuchungen konnten zeigen, dass die Isolation psychische Erkrankungen wie Depression begünstigt und das Immunsystem schwächt. Dadurch macht anhaltende Isolation anfälliger für Krankheiten. Insbesondere auch das erhöhte Suizidrisiko einsamer Menschen kann als Ruf nach mehr sozialer Anteilnahme verstanden werden. Den Menschen ohne hinreichende soziale Kontakte oder in erzwungener Isolation

sollten im Rahmen der Möglichkeiten Angebote sozialer Teilhabe gemacht werden. Besonders ältere Menschen sind anfällig für die negativen Folgen der Isolation. Gesundheitspolitisch ernst sollten hier die Folgen andauernder Isolation auf die geistigen Fähigkeiten und die Gesundheit der Alten genommen werden.

Während Quarantänemaßnahmen und Ausgangsbeschränkungen jeweils nur zeitlich beschränkte Belastungen darstellen, ist davon auszugehen, dass sich die globale Erwärmung nicht ohne außerordentliche Anstrengungen anhalten oder gar umkehren lassen wird. Von einer weiteren Zunahme der durchschnittlichen Temperaturen muss daher ausgegangen werden und damit auch von einer Zunahme negativer Wärmefolgen.

Starke Temperaturanstiege stellen nicht nur ein Risiko für den einzelnen Menschen dar, sondern sind eine Herausforderung für die gesamte Gesellschaft. Nicht nur, weil die Arbeits- und Lebenswirklichkeiten auf die neuen Rahmenbedingungen eingestellt werden müssen. Hier sind etwa nötige Arbeitsschutzmaßnahmen zu nennen, ebenso wie städtebaulicher Hitzeschutz in den Wohneinheiten und in den Innenstädten. Daneben muss auch mit mehr sozialer Unruhe aufgrund zunehmender Gewaltpotentiale gerechnet werden.

So wie auch die soziale Isolation beeinträchtigen hohe Temperaturen die Leistungs- und Problemlösefähigkeit. Insbesondere im beruflichen Kontext ist somit bei einem weiteren Anstieg der Temperatur mit einer Abnahme der Produktivität und Kreativität zu rechnen. Unternehmen werden hier Gegenmaßnahmen ergreifen müssen, um die Leistungspotentiale zu bewahren.

Unabhängig von wirtschaftlichen Faktoren stellen die negativen Folgen von Hitze aber auch die Folgen von andauernder Isolation vor allen Dingen eine Gefahr für die Mitglieder der Gesellschaft dar, die sich nicht mehr oder nicht hinreichend selbst helfen können. Dazu gehören Alte, psychisch Kranke und sozial benachteiligte Personen. Für diese Personengruppen ist gesellschaftliche Solidarität möglicherweise überlebensnotwendig, sowohl mit Blick auf politische Entscheidungen als auch auf die Bereitschaft des Einzelnen, das Wohl seiner Nachbarn und Mitmenschen zu schützen und zu fördern.

Anderson, C. A. (2001). Heat and violence. *Current Directions in Psychological Science*, 10, 33–38. doi:10.1111/1467-8721.00109

Anderson, C. A., Anderson, K. B., Dorr, N., De Neve, K. M., & Flanagan, M. (2000). Temperature and aggression. In M. Zanna (Ed.), *Advances in experimental social psychology* (Vol. 32, pp. 63–133). New York: Academic Press.

Bastin, J. F., Clark, E., Elliott, T., Hart, S., van den Hoogen, J., Hordijk, I., ..., Crowther, T. W. (2019). Understanding climate change from a global analysis of city analogues. *PLOS ONE*, 14(10), e0224120. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224120

Basu, R., & Samet, J. (2002). Relation between ambient temperature and mortality: A review of the epidemiological evidence. *Epidemiologic Reviews*, 24, 190–202. doi:10.1093/epirev/mxf007

Beller, J., & Wagner, A. (2018). Disentangling loneliness: Differential effects of subjective loneliness, network quality, network size, and living alone on physical, mental, and cognitive health. *Journal of Aging and Health*, 30, 521–539.

Bouchama, A., & Knochel, J. (2002). Heat stroke. *New England Journal of Medicine*, 346, 1978–1988.

Brenes, J. C., Rodríguez, O., & Fornaguera, J. (2008). Differential effect of environment enrichment and social isolation on depressive-like behavior, spontaneous activity and serotonin and norepinephrine concentration in prefrontal cortex and ventral striatum. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 89, 85–93. http://dx.doi.org/10.1016/j.pbb.2007.11.004

Brooks, S. K., Webster, R. K., Smith, L. E., Woodland, L., Wessely, S., Greenberg, N., & Rubin, G. J. (2020). The psychological impact of quarantine and how to reduce it: Rapid review of the evidence. *The Lancet*, 395(10227), 912–920. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30460-8

Cedeño Laurent, J. G., Williams, A., Oulhote, Y., Zanobetti, A., Allen, J. G., Spengler, J. D. (2018). Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. *PLoS Med*, 15(7): e1002605. https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002605

Cheema, A., & Patrick, V. M. (2012). Influence of warm versus cold temperatures on consumer choice: A resource depletion account. *Journal of Marketing Research*, 49, 984–995.

Coyle, C. E., & Dugan, E. (2012). Social isolation, loneliness and health among older adults. *Journal of Aging and Health*, 24, 1346–1363. http://dx.doi.org/10.1177/0898264312460275

DeNiro, D. A. (1995). Perceived alienation in individuals with residual-type schizophrenia. *Issues in Mental Health Nursing*, 16(3), 185–200. https://doi.org/10.3109/01612849509006934

Elovainio, M., Hakulinen, C., Pulkki-Råback, L., Virtanen, M., Josefsson, K., Jokela, M., ..., Kivimäki, M. (2017). Contribution of risk factors to excess mortality in isolated and lonely individuals: An analysis of data from the U. K. Biobank cohort study. *The Lancet Public Health*, 2, e260–e266. http://dx.doi.org/10.1016/S2468-2667(17)30075-0

Goldsmith, S. K., Pellmar, T. C., Kleinman, A. M., Bunney, W. E. (2002). *Reducing Suicide: A National Imperative*. Washington, DC: National Academy Press.

Gow, A. J., Pattie, A., Whiteman, M. C., Whalley, L. J., & Deary, I. J. (2007). Social support and successful aging: Investigating the relationships between lifetime cognitive change and life satisfaction. *Journal of Individual Differences*, 28(3), 103–115. https://doi.org/10.1027/1614-0001.28.3.103

Hawkley, L. C., & Cacioppo, J. T. (2010). Loneliness matters: A theoretical and empirical review of consequences and mechanisms. *Annals of Behavioral Medicine*, 40, 218–227. http://dx.doi.org/10.1007/s12160-010-9210-8

Hawryluck, L., Gold, W. L., Robinson, S., Pogorski, S., Galea, S., & Styra, R. (2004). SARS control and psychological effects of quarantine, Toronto, Canada. *Emerging infectious diseases*, 10(7), 1206–1212. https://doi.org/10.3201/eid1007.030703

IPCC (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genf: IPCC.

Luo, Y., Hawkley, L. C., Waite, L. J., & Cacioppo, J. T. (2012). Loneliness, health, and mortality in old age: A national longitudinal study. *Social Science & Medicine*, 74, 907–914. http://dx.doi.org/10.1016/j.socscimed.2011.11.028

Marzuk, P., Tardiff, K., Leon, A., Hirsch, C., Potera, L., Iqbal, M. I., Nock, M., & Hartwell, N. (1998). Ambient temperature and mortality from unintentional cocaine overdose. *Journal of the American Medical Association*, 279, 1795–1800.

Nayak, S. G., Shrestha, S., Kinney, P. L., Ross, Z., Sheridan, S. C., Pantea, C. I., Hsu, W. H., Muscatiello, N., & Hwang, S. A. (2018). Development of a heat vulnerability index for New York State. *Public Health*, 161, 127–137. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2017.09.006

Pressman, S. D., Cohen, S., Miller, G. E., Barkin, A., Rabin, B. S., & Treanor, J. J. (2005). Loneliness, social network size, and immune response to influenza vaccination in college freshmen. *Health Psychology, 24*, 297–306.
<http://dx.doi.org/10.1037/0278-6133.24.3.297>

Qi, X., Tong, S., & Hu, W. (2009). Preliminary spatiotemporal analysis of the association between socioenvironmental factors and suicide. *Environmental Health, 8*, 46.
[doi:10.1186/1476-069X-8-46](https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-46)

Richman, N. E., & Sokolove, R. L. (1992). The experience of aloneness, object representation, and evocative memory in borderline and neurotic patients. *Psychoanalytic Psychology, 9*(1), 77–91. <https://doi.org/10.1037/h0079323>

Shankar, A., Hamer, M., McMunn, A., & Steptoe, A. (2013). Social isolation and loneliness: Relationships with cognitive function during 4 years of follow-up in the English Longitudinal Study of Ageing. *Psychosomatic Medicine, 75*, 161–170.

Taylor, L., Watkins, S. L., Marshall, H., Dascombe, B. J., & Foster, J. (2016). The impact of different environmental conditions on cognitive function: A focused review. *Frontiers in Physiology, 6*. [doi: 10.3389/fphys.2015.00372](https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00372)

Tilvis, R. S., Kähönen-Väre, M. H., Jolkkonen, J., Valvanne, J., Pitkala, K. H., & Strandberg, T. E. (2004). Predictors of Cognitive Decline and Mortality of Aged People Over a 10-Year Period. *The Journals of Gerontology: Series A, 59* (3), M268–M274.
<https://doi.org/10.1093/gerona/59.3.M268>

Vrij, A., van der Steen, J., & Koppelaar, L. (1994). Aggression of police officers as a function of temperature: An experiment with the Fire Arms Training System. *Journal of Community and Applied Social Psychology, 4*, 365–370.

Wang, X., Lavigne, E., Ouellette-Kuntz, H., & Chen, B. E. (2014). Acute impacts of extreme temperature exposure on emergency room admissions related to mental and behavior disorders in Toronto, Canada. *Journal of Affective Disorders, 155*, 154–161.

6. Checkliste

Ist im Gebäude mit einem unbehaglichen Innenraumklima im Sommer zu rechnen? (Gefährdungssituation)

- Wie beurteilen Sie die Innenraumtemperaturen in Ihrer Wohnung / Ihrem Gebäude während anhaltend heißer Außentemperaturen in den einzelnen Räumen Ihrer Wohnung? Denken Sie beispielsweise an die Sommer der Jahre 2018 bzw. 2019 zurück.
- Befindet sich das betrachtete Objekt in einem Gebiet, welches in den vergangenen Jahren durch hohe Außentemperaturen geprägt war?
- Liegt das Objekt in einer Innenstadtlage einer Großstadt (> 100 000 Einwohner)?
- Befindet sich das Gebäude in einem stark verdichteten Quartier (geringer Grünflächenanteil, viele versiegelte Flächen, hohe Bevölkerungsdichte)?
- In welche Himmelsrichtung zeigt der überwiegende Teil Ihrer Fenster? Sind die Fenster durch auskragende Bauteile (z. B. Balkone) verschattet oder können die Fenster durch außen liegenden Sonnenschutz effektiv verschattet werden?
- Wann ist die letzte Sanierung Ihres Gebäudes erfolgt? Sind die Außenwände mit einem Wärmedämmstoff versehen? Ist in Ihren Fenstern bereits 2-Scheiben-Isolierglas vorhanden?
- In welcher Etage innerhalb des Gebäudes wohnen Sie?
- Welche Exposition hat diese Etage hinsichtlich solarer Einstrahlungen im Sommer?
- Werden die Wohnungen durch sehr viele Personen genutzt (weniger als 30 m²/Person)?
- Wohnen in den oberen Etagen besonders gefährdete Personen?
- Sind bereits Verschattungsmöglichkeiten vorhanden? Wird Ihr Gebäude durch umgebende Bebauung oder Bäume verschattet?
- Ist eine effektive Lüftung Ihres Gebäudes, beispielsweise per Querlüftung (Fenster in gegenüberliegenden Fassaden), möglich?
- Liegen Messwerte aus vergangenen Sommern zur objektiven Bewertung des Innenraumklimas vor?

Was ist bei der Wahl eines Gebäudestandortes zu beachten?

- Der Standort sollte bestehende Kaltluftschneisen nicht behindern sowie die Ventilation des Quartiers nicht behindern.
- Bei der Ausrichtung des Gebäudes sollte beachtet werden, dass die solare Einstrahlung bei Ost-West-Ausrichtung besonders hoch ist.
- Die umgebende Bebauung oder Bäume können das Gebäude verschatten.

Was ist bei der Planung und Ausführung eines Neubaus zu beachten?

- Bei der Größe, Anzahl und Ausrichtung der transparenten Flächen eines Gebäudes sollte zwischen natürlicher Belichtung, solaren Wärmege winnen im Winter und einer möglichen Überhitzung im Sommer abgewogen werden. Solare Energieeinträge im Winter unterstützen die Aufheizung des Innenraumes, im Sommer sind diese zu begrenzen (Wahl kleinerer Fenster, Verschattungsmöglichkeiten) und eine ausreichende Tageslichtversorgung sichert eine gute Wohnqualität.
- Für transparente Flächen (Fenster, Verglasungen) sind möglichst außenliegende Verschattungsmöglichkeiten (bestenfalls automatisch gesteuert) vorzusehen.
- Soweit dies möglich ist, sollten massive Bauweisen gewählt werden, um ausreichend Masse zur sommerlichen Wärmespeicherung zur Verfügung zu stellen.
- Eine gute und effektive Belüftung eines Gebäudes ist möglich, beispielsweise per Querlüftung (über Fenster in gegenüberliegenden Fassaden) oder vertikaler Lüftung (Fenster in unterschiedlichen Geschossen und freie Durchströmung zwischen den Geschossen).
- Für eine effektive Nachtlüftung sind hohe Fenster mit einem möglichst kleinen Fenstersturz vorteilhaft.
- Für das Gebäude sollte ausreichende Pufferzonen, z. B. in Form von Kaltdachkonstruktionen vorgesehene werden.
- Helle Fassadenanstriche und helle Dachflächen sind zu bevorzugen.

Welche Möglichkeiten gibt es für den Gebäudebestand?

- Für nachträgliche Ausbauten sollten anstelle von Trockenbauwänden bestenfalls massive Bauweisen gewählt werden, um ausreichend Masse zur sommerlichen Wärmespeicherung zur Verfügung zu stellen.
- Die nachträgliche Ergänzung von effektiven Verschattungsmöglichkeiten sollte geprüft und umgesetzt werden.
- Ggf. vorhandenen Verschattungsmöglichkeiten sollten während heißer Außentemperaturen sinnvoll verwendet werden (hoher Verschattungsgrad bei besonders hoher solarer Einstrahlung auf der jeweiligen Fassadenseite).
- Eine Verbesserung der Nachtlüftung während des Sommers über vollständig geöffnete Fenster sollte berücksichtigt werden, soweit dies mit den Nutzeransprüchen in Einklang zu bringen ist.
- Auf eine wirkungsvolle Lüftung des Gebäudes während anhaltend heißer Außentemperaturen ist zu achten (Fenster sind tagsüber geschlossen; nachts möglichst weit geöffnet; Überprüfung der wirkungsvollen Lüftung mittels einer Wetterstation (Außenluft kühler als die Innenluft))
- Die Möglichkeiten der maschinellen Unterstützung der Nachtlüftung, beispielsweise durch die Anpassung vorhandener Abluftanlagen in innen liegenden Bädern (Erhöhung der Abluftkapazität, zusätzliche Abluftschächte), sollte geprüft werden.

7. Literatur

Bundesregierung (2015): Fortschrittsbericht zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Berlin, 2015.

Buth, M., Schönthaler, K., van Rùth, P. und von Andrian-Werburg, S. (2019): Monitoringbericht 2019. Berlin: Umweltbundesamt. Von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/das_monitoringbericht_2019_barrierefrei.pdf abgerufen

DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz. Berlin: Beuth.

IPCC (2012): C. B. Field, V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, K. J. Mach, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, D. J. Dokken, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor und P. M. Midgley, Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press, 2012.

DWD (2017): Handbuch ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Deutscher Wetterdienst (DWD), Offenbach.

Krimmling, J. (2018): Wirtschaftlichkeitsbewertung verstehen und anwenden. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden 2018, S. 87ff.

Kunze, S. (2019): Sommerliche Überhitzung in Wohngebäuden – Baukonstruktive und haustechnische Anpassungsmaßnahmen. In: Sieber, L. (Hrsg.): Tagungsband zum 4. BIH-Treffen 2019, Interdisziplinäre Forschung – Chancen und Herausforderungen, Fachtagung für wissenschaftlich Beschäftigte und Nachwuchskräfte an Bauingenieur-Institutionen deutscher Hochschulen, S. 19–28. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:520-qucosa2-352275>

Kunze, S.; Naumann, T.; Bolsius, J.; Schiela, D.; Zweinert, S.; Reinfried, F. 2019: Improving heat resilience of prefab concrete residential buildings – vulnerability, adaptation measures and structural implementation, Proceedings of 26th International Sustainable Development Research Society.

Nikolowski, J., Goldberg, V., Zimm, J. und Naumann, T. (2015): Analysing the vulnerability of buildings to climate change: Summer heat and flooding, Meteorologische Zeitschrift, pp. 145–153, 2015.

Projekt

Handlungsanleitung für klimaangepasstes Bauen und Sanieren –
Verminderung sommerlicher Überhitzung in Wohngebäuden

Stand

Oktober 2021

Auftraggeber/Redaktion

Sächsische Energieagentur – SAENA GmbH
Pirnaische Straße 9, 01069 Dresden



Autoren

Dipl.-Ing. Stefanie Kunze
Prof. Dr.-Ing. Jörn Krimmling
Prof. Dr.-Ing. Jens Bolsius
Prof. Dr.-Ing. Thomas Naumann
Dr. phil. Markus Barth



Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Lehrgebiet Baukonstruktion und Bauwerkserhaltung
Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

Gestaltung

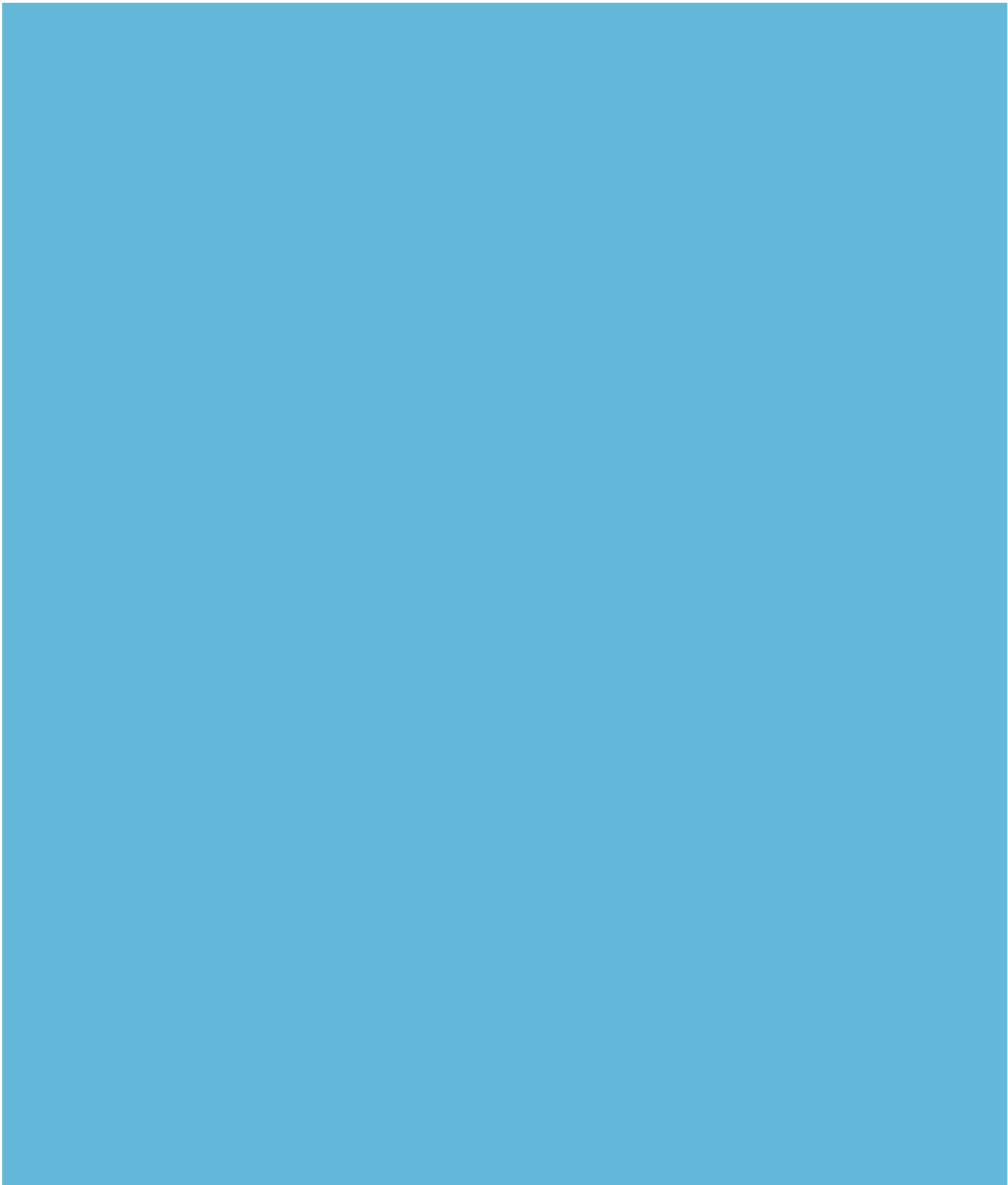
blaurock markenkommunikation

Fotos

stock.adobe.com/Petair (S. 1); J. Bolsius, HTW Dresden (S. 7);
EWG Dresden eG (S. 10 u., 12 M.); S. Kunze, HTW Dresden
(S. 11 M. + u., 12 o., 16 o. + M.)

Druck

Lößnitz-Druck GmbH



gedruckt auf 100 % Recyclingpapier