

Kühlen von Gebäuden

# Weshalb Kühlen immer wichtiger wird

Klimawandel und immer häufigere Hitzewellen lassen die Kühlung von Gebäuden wichtiger werden. Lösungen mit Flächenkühlung sind im Trend. Eine Kühllastberechnung mit ausgewogenem Verhältnis Aufwand/Genauigkeit führt zu einem guten Raumklima und zufriedenen Nutzern.

Text Oliver Stalder, Planfabrik GmbH  
Bilder University of Oxford, TU Dresden,  
HSLU, Oliver Stalder

Meldungen wie die folgenden häufen sich in den Medien: «Hitze: Schweiz «gefährlich unvorbereitet»» (SRF, 2023), «Hitzewarnung in weiten Teilen der Schweiz – es drohen bis zu 36 Grad» (Blick, 2023), «Hitzesommer: Wie man effizient und klimaneutral sein Haus kühlen kann» (Luzerner Zeitung, 2019), «Wenn Kühlen wichtiger wird als Heizen» (Haustech, 2018).

Der Klimawandel verursacht immer häufigere und intensivere Hitzewellen mit gravierenden Auswirkungen auf Tiere, Ökosysteme und Menschen. In den letzten 20 Jahren traten Hitzewellen so häufig auf wie nie zuvor, besonders zu erwähnen in den Jahren 2003, 2010, 2018 und 2020.

Extreme Temperaturen gefährden Leben, erhöhen die Sterblichkeitsrate und verschärfen gesundheitliche Probleme. In urbanen Gebieten sind Hitzewellen besonders intensiv, und die Kühlung von Gebäuden ist eine Notwendigkeit. Effektive Kühlsysteme mindern Gesundheitsrisiken und steigern die Produktivität am Arbeitsplatz, indem sie die Hitzebelastung reduzieren. Eine Studie der ETHZ hat kürzlich gezeigt, dass in einem Worst-Case-Szenario (innerhalb der nächsten 20 Jahre) die Temperaturen in Zürich oder Genf auf bis zu 44 °C steigen könnten (SRF August 2024).

Diese dramatischen Veränderungen unterstreichen die Notwendigkeit eines Umdenkens in der Gebäudeplanung und -bewirtschaftung, um effizientere, zentrale Kühlsysteme, passives Kühlen und angepasste Bauweisen zu fördern. Man könnte so weit gehen, von einem Paradigmenwechsel zu sprechen. Kühllastberechnungen liefern dabei die notwendigen Grundlagen, um Gebäude angemessen und energieeffizient kühlen zu können.

## Das System «Kühlen» und seine Einflussgrößen

Die Abb. 2 zeigt das System «Kühlen» in Form eines Ursache-Wirkungsdiagramms. Auf die Kühllast eines Gebäudes haben

vielfältige Faktoren Einfluss. Auf die blau eingefärbten Faktoren soll im vorliegenden Beitrag vertieft eingegangen werden. Der Beitrag greift dazu einige vielleicht nicht alltägliche Aspekte heraus und stellt sie etwas ausführlicher dar.

Wichtige Aspekte umfassen Raumbelegung und Aktivitätsgrad der Personen, Geräte und Beleuchtung sowie Lüftungstechniken wie Fensterlüftung und Nachtkühlung. Bei der Kälteerzeugung werden aktive und passive Kühlmethoden berücksichtigt. Solare Einstrahlung wird durch Verschattung und Fensterwerte beeinflusst. Die Transmission umfasst Dämmung und angrenzende Räume. Speichermasse bezieht sich auf bauliche Elemente und Hitzeschutz. Normen wie SIA und VDI spielen eine Rolle bei den Berechnungen. Der Standort des Gebäudes, einschliesslich Besonderheiten und Ausrichtung, beeinflusst die Kühllast ebenfalls.

## Solare Einstrahlung durch die Fenster

Nebst den internen Lasten spielt der Sonnenschutz von Fenstern eine entscheidende Rolle beim Aufheizen der Räume und dem sommerlichen Energieverbrauch von Gebäuden. Effektive Sonnenschutzmassnahmen wie Lamellenstoren oder spezielle Beschichtungen reduzieren die direkte Sonneneinstrahlung, die in den Raum gelangt, und verhindern so eine übermässige Aufheizung der Innenräume.

Sonnenschutzsysteme sind ein Kernelement zum sommerlichen Hitzeschutz. Sie senken den Bedarf an Klimaanlage und verringern somit den Energieverbrauch und die Kosten. Die Kombination von Sonnenschutz mit Wärmeschutzverglasung verbessert die Energieeffizienz signifikant. Eine automatische Storensteuerung ist bei gekühlten Neubauten gesetzlich vorgeschrieben.

g-Werte zeigen, wie viel solare Energie durch Verglasungs- und Beschattungskombinationen in den Raum gelangt; ein niedri-

Relative  $\Delta CDD_{18}$  from 1.5°C to 2°C

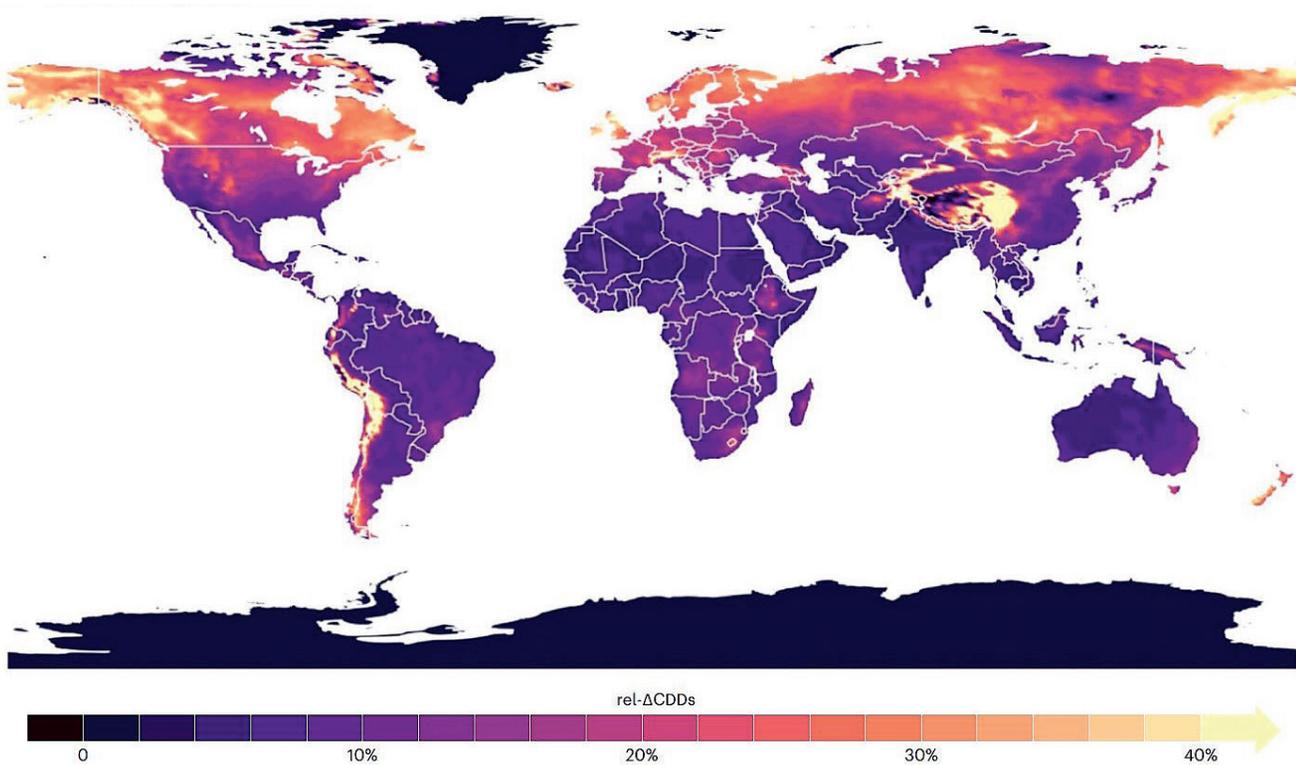


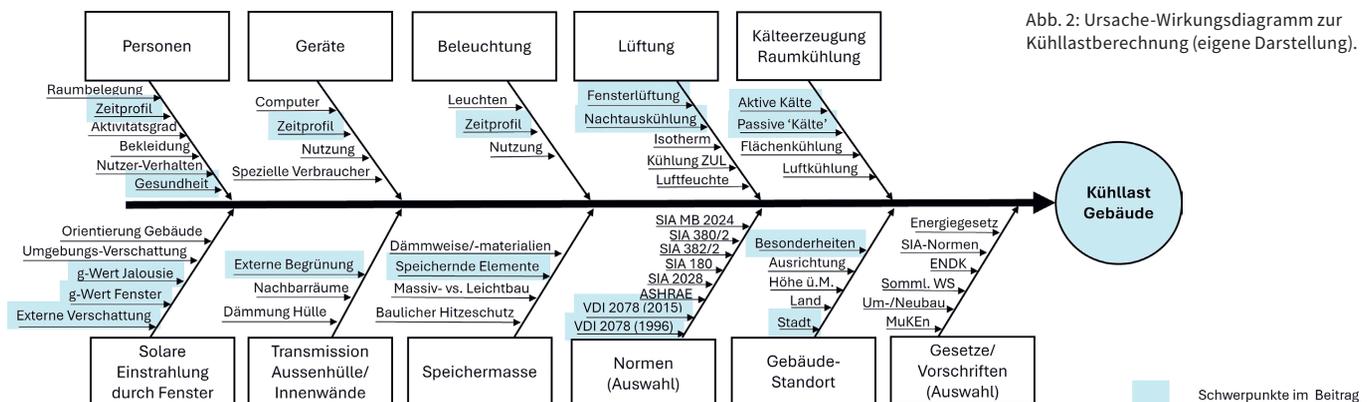
Abb. 1: Hitze-Hotspot in der Schweiz. Grafik zeigt die Zunahme der Kühlgradtage bei einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur von +1,5°C auf +2,0°C. Ein besonderes Augenmerk ist in der Grafik auf die Schweiz zu richten: Es wird eine überproportionale Erhitzung erwartet.

Quelle: Miranda, N. D., Lizana, J., Sparrow, S. N., Zachau-Walker, M., Watson, P. A. G., Wallom, D. C. H., Khosla, R., & McCulloch, M., 2023, University of Oxford.

gerer g-Wert bedeutet bessere Reduktion der solaren Wärmegewinne. Sonnenschutzsysteme minimieren den Blendeffekt und steuern das natürliche Tageslicht, was den visuellen Komfort erhöht. Fenstergrösse und Orientierung sind ebenfalls wichtig, da trotz guter Verschattung eine «Restwärme» ins Gebäude gelangt, die bei grossen Fensterflächen zunimmt. Gebäude mit kleineren Fensterflächen heizen sich daher weniger schnell auf.

Die Grafik zeigt den Durchgang und die Absorption von Sonnenstrahlung. Extraterrestrische Strahlung mit 1350 W/m<sup>2</sup>

trifft auf die Atmosphäre und reduziert sich auf 800 W/m<sup>2</sup> Globalstrahlung. Davon dringt – nach Fensterverglasung und Sonnenschutz – eine unterschiedlich grosse Wärmemenge ins Gebäude ein und heizt die Räume als Sekundärstrahlung auf. Eine externe Verschattung mit einem tiefen g-Wert von beispielsweise 0.10 (Verschattung und Fenster kombiniert) reduziert diesen solaren Eintrag um mehr als 90%. Fenstergrössen, Ausrichtung, bauliche Massnahmen wie Vordächer und Umgebung (Verschattungen, Reflexionen) beeinflussen zusätzlich die solare Aufheizung. ))



Schwerpunkte im Beitrag

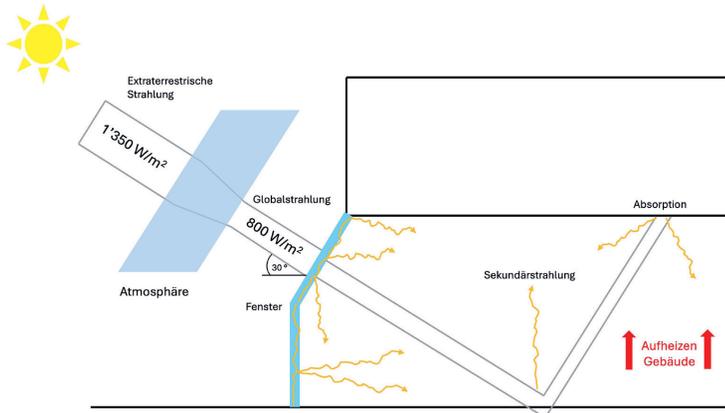


Abb. 3: Solare Einträge in einen Raum. Eigene Darstellung.

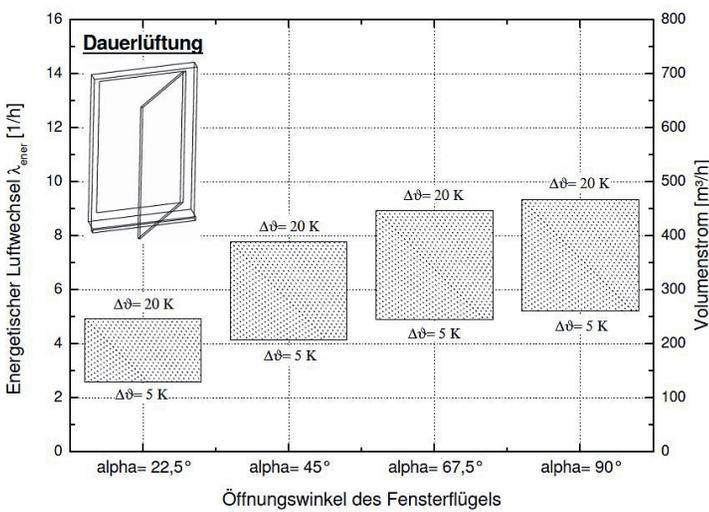


Abb. 4: Luftwechselraten am Beispiel einer Dauerlüftung. Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht. Bereiche für Temperaturdifferenzen 5 bis 20 K zwischen Innen- und Aussenluft.

(Quelle: Richter, W., Seifert, J., Gritzki, R., & Rösler, M., 2003, Technische Universität Dresden)

Es ist nicht erstaunlich, dass derzeit vor allem neuere Gebäude in leichter Bauweise (geringe Speichermasse) und mit grossen Fensterflächen von Überhitzung betroffen sind, wie eine Studie der HSLU kürzlich zeigte. Erschwerend kommt hinzu, dass eine gute Dämmung die Wärme nicht nur im Winter im Gebäudeinnern zurückhält, sondern sich im Sommer bei Überhitzung entsprechend nachteilig auswirkt. Ebenso kommt es auf die Dämmweise, die Wahl von Dämmmaterialien und deren Phasenübergänge an.

### Nachtauskühlung

Die Nachtauslüftung, ein «altbewährtes» Instrument zur Kühlung, verliert zunehmend an Wirksamkeit aufgrund immer häufiger auftretender Hitzewellen und Tropennächte, bei denen die nächtlichen Temperaturen nicht ausreichend abkühlen. Dies führt zu unangenehm hohen Innenraumtemperaturen, beeinträchtigt die Schlafqualität und die Gesundheit, da der menschliche Körper zwecks Regeneration nachts unbedingt Abkühlung benötigt. Zudem verschlechtert sich die Luftqualität durch erhöhte Konzentrationen von Partikeln, Ozon und Allergenen, die durch offe-

ne Fenster ins Gebäude gelangen (Belastung je nach Standort des Gebäudes unterschiedlich). Auch bleibt die Luftfeuchtigkeit länger hoch. Lärmbelastungen in urbanen Gebieten und erhöhtes Einbruchrisiko sind weitere Nachteile offener Fenster.

Eine Studie der TU Dresden zeigt, dass der Luftwechsel durch Fensterlüftung stark von der Fensterstellung und der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Aussenluft abhängt. Die Ergebnisse helfen, optimale Fensteranordnungen zu bestimmen. Die Luftwechselraten und Volumenströme steigen mit zunehmendem Öffnungswinkel und Temperaturdifferenz (vgl. Abb. 4). Das Problem ist, dass eine minimal erforderliche Temperaturdifferenz bei Hitzewellen und Tropennächten immer seltener erreicht wird (sogar ins Gegenteil kippen kann – also aussen wärmer als innen).

Angesichts dieser Herausforderungen ist eine Gebäudekühlung die bessere Lösung. Moderne Kühlsysteme sorgen für konstante und angenehme Temperaturen, unabhängig von äusseren Witterungsbedingungen. Sie verbessern beispielsweise in Kombination mit einer KWL (kontrollierte Wohnraumlüftung) die Luftqualität, indem sie Partikel und Allergene aus der Luft filtern, und bieten den zusätzlichen Vorteil, dass Fenster geschlossen bleiben können, wodurch Lärm und Sicherheitsrisiken minimiert werden.

### Kühlsysteme

Traditionelle lüftungsbasierte Kühlanlagen haben aufgrund zahlreicher Herausforderungen einen teilweise schlechten Ruf: Sie können Luft aufwirbeln, was für Allergiker problematisch ist, Schleimhäute austrocknen und Infekte begünstigen. Zudem kann Zugluft zu Nackenverspannungen und Kopfschmerz führen, was das Wohlbefinden und die Produktivität beeinträchtigt. Diese negativen Auswirkungen können zu einem ungesunden Raumklima führen und das Risiko für Atemwegserkrankungen erhöhen.

Flächenkühlung ist eine Alternative. Sie ermöglicht eine gleichmässige und schonende Temperierung. Flächenkühlung ist ausserdem energieeffizienter und nachhaltiger, besonders in Kombination mit passiven Kühlsystemen wie Erdsonden-Kühlung. Abb. 5 zeigt einige typische Auslegungs-Kennzahlen für Gebäude mit Aussen-Verschattung.

Ein besonderes Augenmerk gilt den spezifischen Werten der Kühllast. Diese fallen in der Regel höher aus als entspre-

| Typische Kühllasten bei 26 °C in W/m <sup>2</sup> (Beispiel) |         |
|--|---------|
| Büro   | 40 – 50 |
| Grossraumbüro  | 35 – 40 |
| Sitzung  | 60 – 70 |
| Versammlungsräume  | > 80    |
| Wohnzimmer   | 25 – 35 |
| Schlafzimmer   | 20 – 25 |

| Kühlleistung von Flächenkühlsystemen in W/m <sup>2</sup> |          |
|--|----------|
| Bodenheizung   | 10 – 15  |
| TABS   | 25 – 40  |
| Deckenkühlsysteme (grosse Vielzahl an Lösungen)          | 40 – 100 |
| KWL (Zuluft gekühlt)                                     | 10 – 15  |

chende Heizlastwerte derselben Räume (z. B. Heizlast Büro 20 – 30 W/m<sup>2</sup>). Die Kühllast eines Gebäudes fällt also oft höher aus als die Heizlast. Diesem Umstand müsste bereits bei der Planung Rechnung getragen werden – sollte beispielsweise die «Bodenheizung» für den Kühlfall ausgelegt werden, entspricht dies (im vorliegenden Beispiel und je nach Systemkombination) einer gegenüber der Heizlast engeren Rohrverlegung.

In modernen Gebäuden kommen oftmals mehrere dieser Kühlsysteme kombiniert zum Einsatz. So lässt sich beispielsweise die klassische Bodenheizung/-kühlung mit TABS in der Decke kombinieren. Falls zusätzlich eine KWL mit Vorkonditionierung der Zuluft und gegebenenfalls Entfeuchtung zum Einsatz kommt, lassen sich Gebäude komfortabel kühlen. Zu erwähnen ist, dass sich ab einer relativen Luftfeuchtigkeit  $r_f > 60\%$  erhöhte Temperatu-

Abb. 5: Typische Kennzahlen für Gebäude mit Aussen-Verschattung (eigene Darstellung).

ren noch unangenehmer anfühlen, da sich die natürliche Verdunstung über die Haut signifikant reduziert. Entfeuchtung spielt hier eine wichtige Rolle (auf Entfeuchtungs-lösungen sei an dieser Stelle nicht weiter eingegangen).

#### Kälteerzeugung

Die Kälteerzeugung für die Gebäudekühlung umfasst ein breites Spektrum von Technologien und Methoden, von passiven bis hin zu aktiven Systemen. Passive Kühlmethode nutzen natürliche Ressourcen und physikalische Prinzipien zur Reduktion der Raumtemperatur. Ein Beispiel ist die Erdsonden-, Grund- oder Seewasserkühlung, bei der die konstante Temperatur des Erdreichs/Wassers genutzt wird.

Es zirkuliert eine Flüssigkeit (meist Wasser-Glykol-Gemisch), die Wärme im Gebäude aufnimmt und abtransportiert. Diese Methode ist energieeffizient und nachhaltig. Ein weiteres passives Verfahren ist die Nachtlüftung, die jedoch bei zu-

GF Piping Systems

# BIOCAT Kalkschutz. Aber natürlich.

Hochwirksames Kalkschutz-  
gerät ohne Zugabe von Salz  
oder Chemikalien

Neu  
auch mit  
Leckage-  
schutz



GF JRG BIOCAT schützt Ihre Trinkwasser-  
installation auf natürliche Weise vor  
Kalkschäden. Ohne Zugabe von Salz oder  
Chemikalien. Damit Ihr Trinkwasser gesund  
und schmackhaft bleibt.

Georg Fischer Rohrleitungssysteme (Schweiz) AG  
Amsler-Laffon-Strasse 9, CH-8201 Schaffhausen  
Tel: 052 631 30 26, E-Mail: ch.ps@georgfischer.com

[www.gfps.com/ch](http://www.gfps.com/ch)





Abb. 6: Begrünte Fassaden. Bild aus Alicante (Spanien).

künftigen Hitzewellen an Bedeutung verlieren dürfte.

Aktive Kühlmethoden verwenden mechanische Systeme wie Kältemaschinen. Es gibt verschiedene Arten von Kältemaschinen, darunter Kompressions- und Absorptionskältemaschinen. Kompressionskältemaschinen nutzen elektrische Energie zur Kälteerzeugung, während Absorptionskältemaschinen thermische Energie verwenden. Das Prinzip der Kältemaschine, wie wir es auch von Klimaanlage im Auto oder dem Kühlschrank kennen, ist seit den 1830er-Jahren bekannt. Die Kältemaschine arbeitet mit einem Klimakompressor, indem sie Kältemittel verdichtet, durch Kondensation Wärme abgibt, expandiert und schliesslich im Verdampfer Wärme aufnimmt, um Kälte zu erzeugen und zu übertragen. Diese Art der Kälteerzeugung (insbesondere mit elektrischem Kompressor) ist – im Vergleich zu den passiven oder Freecooling-Ansätzen – energieintensiv.

Hybride Ansätze kombinieren passive und aktive Kühlmethoden und nutzen zudem die Speichermassen von Gebäude, wie die Betonkernaktivierung in Kombination mit Kältemaschinen. Die Auswahl der Kälteerzeugungsmethode ist entscheidend für die Energieeffizienz und Nachhaltigkeit eines Gebäudes und erfordert sorgfältige Planung und Integration verschiedener Technologien. Moderne Konzepte zielen darauf ab, den Energieeinsatz zu minimieren.

#### Natürliche Kühlung

Nicht nur technische, sondern auch natürliche Kühlsysteme wie Begrünung gewinnen an Bedeutung und sollten in ein ganzheitliches Kühlkonzept integriert werden. Ein besonderer Aspekt ist die Fassadenbegrünung. Eine Studie in England [1] zeigte, dass grüne Fassaden die Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit in Modellgebäuden beeinflussen. Die Autoren untersuchten Pflanzenarten wie *Hedera helix* (Gemeiner Efeu), *Parthenocissus tricuspidata* (Wilder Wein) und *Pileostegia viburnoides* (Kletterhortensie) und fanden heraus, dass diese Pflanzen die Lufttemperatur innen und aussen während der Sommertage um mindestens 1 °C senkten. *Hedera helix* erzielte die grösste Kühlwirkung, indem sie die Innentemperatur

um 7,2 °C und die Aussentemperatur um 5,7 °C reduzierte.

Die Pflanzen verringerten auch die täglichen Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit und der Temperaturen. Nachts blieb die Temperatur hinter dem Hedera-Laub höher, was Frost-Tau-Schäden im Winter reduzieren könnte. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde durch die Vegetation nur an warmen Nachmittagen signifikant erhöht. Die Studie zeigt, dass begrünte Fassaden Temperatur und Luftfeuchtigkeit positiv beeinflussen und ein vielversprechender Bestandteil integrierter Lösungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und zur Verbesserung des thermischen Komforts in Gebäuden sein könnten.

#### Die Kühllast ist keine «umgekehrte» Heizlast

In der Praxis hört man oft, dass die Kühllastberechnung «nur eine umgekehrte Form» der Heizlastberechnung und deshalb einfach zu erstellen sei. Diese Interpretation führt jedoch zu Missverständnissen und Fehlannahmen. Ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal: Während bei der Heizlast mit einer statischen Temperaturdifferenz die Verlustleistungen – vornehmlich durch die Gebäudehülle und Lüftungsverluste – berechnet werden, ist die Kühllast wesentlich dynamischer.

Die Aussentemperatur schwankt täglich um die Raumtemperatur – nachts (idealerweise) tiefer, tagsüber höher. Die Masse des Gebäudes spielt eine entscheidende Rolle als Speicher, der im 24-Stunden-Rhythmus Wärme aufnimmt und abgibt. In einer längeren Hitzeperiode laden sich die Massenspeicher allmählich auf, was ein komplexes Wechselspiel darstellt.

Externe Faktoren wie Sonneneinstrahlung sowie interne Belegungen durch Personen, Geräte und Beleuchtung sind wesentliche Parameter bei der Kühllast. Einträge durch die Hülle spielen dagegen, bei zeitgemässen Dämmungen, eine etwas untergeordnete Rolle (im Gegensatz zur Heizlast).

Ohne präzise Kühllastberechnung können diese dynamischen Einflüsse nicht ausreichend berücksichtigt werden, was zu Überdimensionierung oder Komfortein-

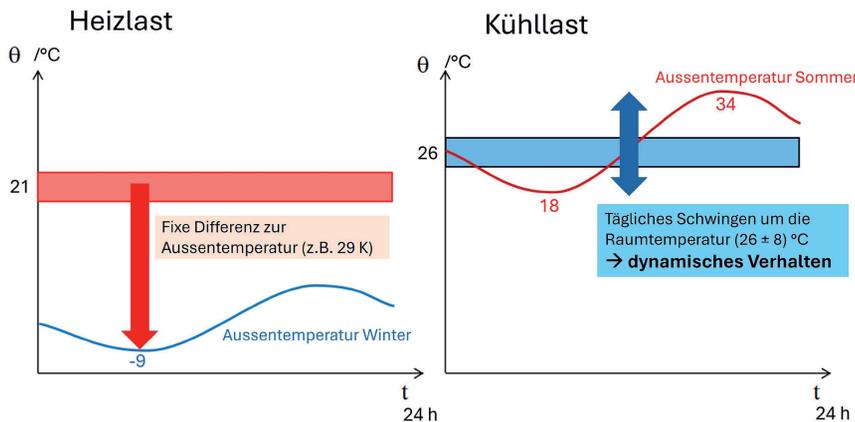


Abb. 7: Vergleich Heiz- und Kühllast. Eigene Darstellung, angelehnt an Vorlesungsmaterial der HSLU.

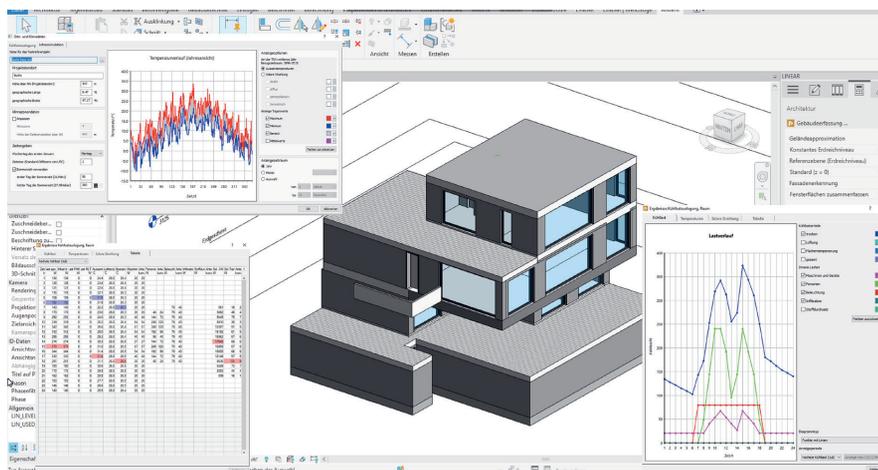


Abb. 8: Kühllast mit Revit/Linear (eigene Darstellung).

bussen durch zu hohe Innentemperaturen führen kann.

**Die Kühllastberechnung in der Praxis**

In der Praxis stehen Fachleute oft vor drei nicht zufriedenstellenden Alternativen, wenn es um die Bestimmung einer Kühllast geht:

1. Das Thema Kühlen wird ignoriert, da es als zu komplex oder unbedeutend angesehen wird.
2. Eine grobe Schätzung wird vorgenommen, weil die Kenntnisse und die Erfahrung fehlen oder es an Zeit und Fachpersonal mangelt. Möglicherweise behilft man sich mit einer Excel-Abschätzung.
3. Eine detaillierte und aufwendige Simulation wird durch einen Simulationsexperten durchgeführt, was jedoch oft mit hohen Kosten und erhöhtem Zeitaufwand verbunden ist.

Die Folgen dieser Vorgehensweisen (insbesondere 1 und 2) können nachteilig sein:

- Unzureichende Kühllastberechnung: Führt zu unangenehmem Raumklima und unzufriedenen Nutzern.

- Überdimensionierte Systeme: Erhöhen die Betriebskosten unnötig und belasten das Budget sowie die Energieeffizienz.
- Unterdimensionierte Systeme: Können die Raumtemperatur nicht ausreichend senken, was – trotz Investitionen – zu Komfortproblemen und möglichen Gesundheitsrisiken führt.
- Projektverzögerungen

Die Alternative liegt zwischen den genannten Extremen. Eine Kühllastberechnung, beispielsweise mit Trimble Nova oder Revit/Linear, bietet einen Mittelweg, der sowohl effizient als auch praktikabel ist. Durch die Nutzung von Revit für den Modellaufbau und Linear für die Berechnungen (als eine mögliche von vielen potentiellen Softwarelösungen) können dynamische Kühllastberechnungen nach VDI 2015 oder ASHRAE-Standards durchgeführt werden. Diese Methode erfordert weniger Aufwand als die Simulation. Mit einem solchen Ansatz kann die Kühllastermittlung effizienter gestaltet werden, ohne auf detaillierte Fachkenntnisse verzichten zu müssen. So kann ein ausgewo-

genes Verhältnis zwischen Aufwand und Genauigkeit erreicht werden, was letztlich zu einem optimalen Raumklima und zufriedenen Nutzern führt.

**Fazit und Schlussfolgerungen**

Angesichts des Klimawandels und häufiger Hitzewellen wird die Kühlung von Gebäuden immer wichtiger. Moderne Kühlsysteme und natürliche Kühlmethode, wie Begrünung, bieten innovative Lösungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs und Verbesserung des Raumklimas. Eine präzise Kühllastberechnung ist in jedem Falle entscheidend, um die Effizienz dieser Systeme zu gewährleisten.

Traditionelle lüftungsbasierte Kühlanlagen haben gesundheitliche und wartungstechnische Nachteile, während Flächenkühlung als nachhaltigere Alternative gilt. Die Luftfeuchtigkeit sollte stets berücksichtigt werden. Studien zeigen, dass begrünte Fassaden Temperaturen und Luftfeuchtigkeit positiv beeinflussen können. Eine fundierte Planung, die verschiedene Technologien integriert, ist notwendig, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden und gleichzeitig Komfort und Gesundheit der Bewohner zu sichern. Durch den Einsatz spezialisierter Software können diese komplexen Berechnungen vereinfacht und optimiert werden, was zu einem ausgewogenen und energieeffizienten Kühlsystem führt. Der Umfang und die Komplexität der Thematik führt zu immer ausdifferenzierten Spezialisierungen in der Planung, sodass vermehrt in Partnernetzwerken gearbeitet wird. ■

[plan-fabrik.ch](http://plan-fabrik.ch)

[1] Zitierte Studie: Thomsit-Ireland, F., Essah, E. A., Hadley, P., & Blanuša, T. (2020). The impact of green facades and vegetative cover on the temperature and relative humidity within model buildings. *Building and Environment*, 181, 107009. Digital Object Identifier (doi): 10.1016/j.buildenv.2020.107009, Link: dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107009