

Fachartikel zum BFE-Forschungsprojekt über das Kühlen von Verwaltungsbauten im Zeichen des Klimawandels (ROGEK\*)

# Gebäudeplaner wappnen sich gegen Klimawandel

Temperatur und andere Wetterdaten spielen bei der Gebäudeplanung eine wichtige Rolle. Die für die kommenden Jahrzehnte erwarteten Wetterveränderungen im Zuge des Klimawandels stellen somit eine Herausforderung für Gebäudeplaner dar. Eine Studie der Hochschule Luzern hat auf der Grundlage von drei realen Verwaltungsgebäuden simuliert, in welchem Mass Klimaänderungen die Auslegung von Kühlsystemen tangieren. Die Autoren empfehlen, angesichts der erwarteten Auswirkungen des Klimawandels bei der Planung neuer Gebäude Reservekapazitäten bereitzustellen.

Benedikt Vogel, im Auftrag des BFE

Die Kündigung des Pariser Klimaabkommens durch die Vereinigten Staaten von Amerika wurde von der internationalen Staatengemeinschaft mit Unverständnis aufgenommen. Denn in Wissenschaft und Politik herrscht ein grosser Konsens, dass der Klimawandel unstrittig ist und seine Eindämmung einer gemeinsamen Anstrengung bedarf. Ein landesweiter Forschungsverbund unter der Federführung der ETH Zürich und des nationalen Wetterdiensts MeteoSchweiz hat im Jahr 2011 die Auswirkungen der Erderwärmung auf die Schweiz im Bericht «Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz CH2011» dargestellt. Im Begleitwort des Berichts schrieb Didier Burkhalter, der damalige Bundesrat und Vorsteher des Innendepartements: «Wir alle sind vom Klimawandel betroffen, dessen Auswirkungen wir jetzt schon spüren. Die Suche nach Lösungen und nach wissenschaftlichen Modellen, welche zukünftige Entwicklungen aufzeigen können, ist deshalb von grösster Bedeutung. Dieser Bericht liefert eine ausführliche Basis für die Diskussion und Reflexion in politischen und wirtschaftlichen Kreisen.»

## Drei reale Gebäude als Grundlage

Ein Bereich, der auf den Klimawandel unmittelbar reagieren muss, ist die Gebäudetechnik. Ihre Aufgabe ist es schliesslich, das Raumklima innerhalb von Wohnungen und Büros in Abhängigkeit von der Wetterlage bedarfsgerecht zu regeln. Steigt die Temperatur, steigt der Kühlbedarf, und der Heizbedarf sinkt. Zudem stellen längere Hitze- bzw. Kälteperioden erhöhte Anforderungen an Kühl- bzw. Heizsysteme. Weil die Folgen des Klimawandels sich nur längerfristig und damit schleichend

manifestieren, werde diese Thematik von Gebäudeplanern noch viel zu wenig wahrgenommen, sagt Axel Seerig, Professor für Bauklimatik und Gebäudesimulation am Institut für Gebäudetechnik und Energie der Hochschule Luzern (HSLU). «Gebäudetechniker stehen der Problematik des Klimawandels immer noch mit einer gewissen Ignoranz gegenüber», sagt Seerig, der sich seit 1992 als Planer, Berater und Dozent mit nachhaltigen Gebäude- und Energiekonzepten im deutschsprachigen Raum befasst. «Zwar berücksichtigen Planer die Wetterdaten des jeweiligen Standorts, im Planungsklima bleiben bisher allerdings meistens die künftigen Veränderungen im Zuge des Klimawandels unbeachtet.» Vor seiner Beru-

fung als HSLU-Dozent hatte Axel Seerig beim Baudienstleister Gruner AG in Basel gearbeitet.

Seerig hat nun mit einem HSLU-Forscher-team in einer vom BFE finanzierten Studie die Auswirkungen des Klimawandels auf ausgewählte gebäudetechnische Anlagen quantifiziert. Die Wissenschaftler legten ihrer Untersuchung drei typische Schweizer Bürogebäude zugrunde und statteten sie gedanklich mit den heute gängigen Kühlsystemen aus (siehe unten). Anschliessend berechneten sie, ob bzw. wie die fraglichen Kühlanlagen in den nächsten 30 Jahren mit den Folgen des Klimawandels fertig werden. Die zwei Hauptkenntnisse: Zur Bereitstellung der erwünschten Raumtemperatur wird



Ausstoss von Treibhausgasen bewirkt Klimawandel: Gebäudeplaner müssen sich auf die neuen Gegebenheiten einstellen. (Foto: Benedikt Vogel)

unter den Bedingungen der Klimaerwärmung mehr Energie benötigt werden als heute. Und: Die heute installierten Kühlsysteme wären an vielen Tagen nicht mehr in der Lage, das erwünschte Raumklima herzustellen. In anderen Worten: Die Zahl der Überhitzungsstunden würde aufgrund des Klimawandels stark zunehmen, wenn man die heutigen Kühlsysteme nicht durch leistungsfähigere Anlagen ersetzt.

### Unterschiedliche Kühlsysteme, verschiedene Klimaszenarien

Die Forscher betrachten in ihrer Untersuchung die drei verbreitetsten mechanischen Kühlsysteme:

- Zuführung von Kaltluft mittels Klimaanlage (Luftkühlung)
- von kaltem Wasser durchströmte Kühldecken
- von warmem oder kaltem Wasser durchströmte, in den Boden oder die Decke eingelegte Rohre (Betonkernaktivierung = Thermoaktive Bauteilsysteme «TABS»).

Kühlen lässt sich bei entsprechender Aussentemperatur darüber hinaus aber auch «passiv», also ohne mechanisch betriebenes Kühlsystem, nämlich durch Öffnen der Fenster.

Um die Folgen des Klimawandels auf die Gebäudetechnik simulieren zu können, legten die Wissenschaftler ihren Berechnungen zwei verschiedene Szenarien zugrunde:

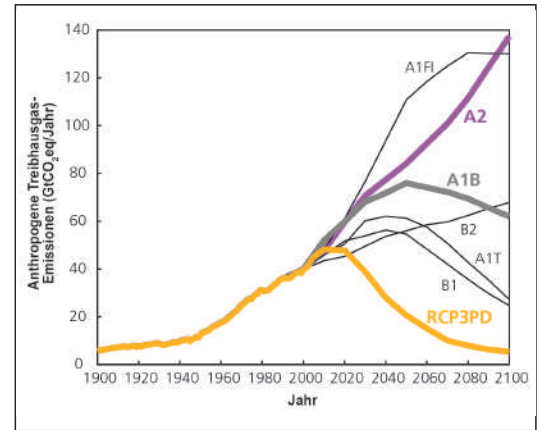
- «**A1B lower**», ein Szenario mit weniger ausgeprägter Erwärmung: Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 0,5 Grad bis 2035
- «**A2 upper**», ein Szenario mit ausge-

prägter Erwärmung: Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 1,7 Grad bis 2035 (je im Vergleich zum Mittelwert der Periode 1980–2009).

Die beiden Szenarien entstammen dem eingangs erwähnten CH2011-Bericht und gehen von einem schwächeren bzw. einem stärkeren Anstieg der Treibhausgas-Emissionen aus.

### Unterschiede je nach Gebäude

Die Simulationen der Luzerner Wissenschaftler zeigen: Der Energiebedarf für den Betrieb der Kühlsysteme nimmt aufgrund des Klimawandels für alle drei Gebäudetypen zu, allerdings nicht im selben Umfang. In den drei Säulen-Grafiken «Energiebedarf für Kühlung» ist die Zunahme für die zwei untersuchten Klimaszenarien und die jeweils für den Gebäudetyp charakteristischen Kühlsysteme dargestellt. Die geringste Zunahme des Energiebedarfs ist für den **Altbau** zu beobachten, während die Zunahme beim **Referenzbau** im mittleren Bereich liegt und beim **Neubau** am höchsten ausfällt. Nimmt man den Durchschnittswert aller betrachteten Kühlsysteme, beträgt die Zunahme des jährlichen Energiebedarfs für Kühlung beim Altbau 1,2 kWh/m<sup>2</sup>a (nämlich von 1,5 auf 2,7 kWh/m<sup>2</sup>a). Beim Referenzgebäude beträgt die Zunahme 3,4 kWh/m<sup>2</sup>a (von 7,9 auf 11,3 kWh/m<sup>2</sup>a), beim Neubau sogar 5,4 kWh/m<sup>2</sup>a (von 26,8 auf 32,2 kWh/m<sup>2</sup>a). Generell gilt: Altbauten haben heute aufgrund ihres geringen Wärmewiderstands und ihrer hohen Wärmekapazität einen geringeren Energiebedarf zum Kühlen als moderne Bürobauten (hoher Verglasungsanteil, hohe solare Lasten). Zu be-



ETH Zürich und MeteoSchweiz haben 2011 in ihrem Bericht «Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz CH2011» gemeinsam mit Partnern die Auswirkungen verschiedener Klimaszenarien auf die Schweiz untersucht, dies gestützt auf den Bericht des Weltklimarats (IPCC). Das Szenario «A1B» geht von einer Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um 0,5 Grad bis 2035 im Vergleich zum Mittelwert der Periode 1980–2009 aus. Beim Szenario «A2» erhöht sich die Jahresmitteltemperatur entsprechend um 1,7 Grad bis 2035. RCP3PD zeigt zum Vergleich ein Szenario, bei dem die jährlichen Treibhausgas-Emissionen bis 2050 um die Hälfte reduziert werden. Die HSLU-Forscher verwenden in ihrer Untersuchung für das Szenario «A1B» die Bezeichnung «A1B lower» und für das Szenario «A2» die Bezeichnung «A2 upper». (Grafik: CH2011)

achten im Zusammenhang mit dem Energiebedarf ist zudem, dass der Temperaturanstieg im Winter zu einer Reduktion des Heizenergiebedarfs führt.

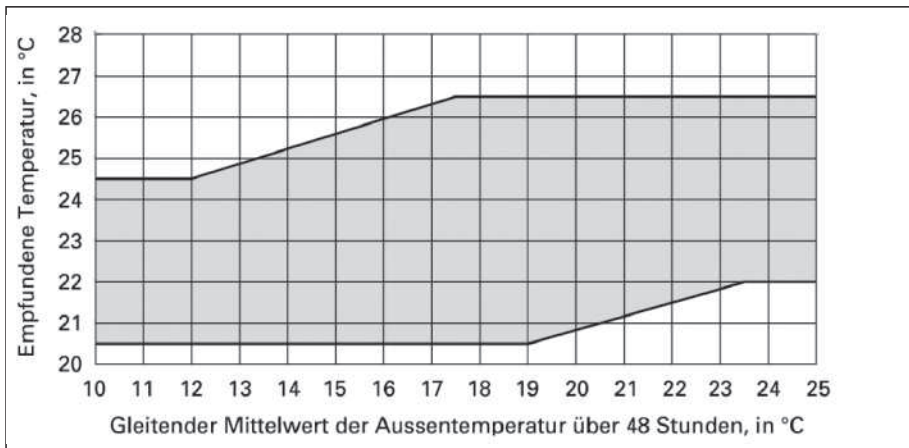
### Überhitzungsstunden

Ein näherer Blick lohnt sich auch auf die Ergebnisse bei der Zahl der Überhitzungsstunden. Auch hier zeigen sich wie beim Energieverbrauch erhebliche Unterschiede zwischen den drei untersuchten Gebäudetypen (vgl. drei Säulen-Grafiken «Überhitzungsstunden»): Die grösste Zunahme an Überhitzungsstunden für das Klimaszenario «A2 upper» ist beim Referenzbau zu beobachten (ein Plus von durchschnittlich 166 Überhitzungsstunden über alle Kühlsysteme

Typ	Beispiel	Gebäudetechnik	Charakteristiken
	Architektur/Raum		Gebäude
Altbau (Baujahr ca. 1930)	Bestandsausbau; Riegel, Lochfassade mit 30% bis 40% Verglasung, vorwiegend Einzelbüros, Unterlagsboden mit fugenloser Abdeckung, Decke Beton roh	Keine mechanische Kühlung, Glaskessel mit Radiatoren-Heizung, mechanische Lüftung im Deckenbereich, Deckenleuchten, Erschliessung der Arbeitsplätze funktioniert über Brüstungskanäle	Landis und Gyr Gebäude, Zug
Referenz (Baujahr ca. 1980)	Bestandsausbau; Lochfassade mit 50% Verglasung, Einzel- und Gruppenbüros, Decke Beton roh	Kühlung und Grundheizung durch Betonkernaktivierung; mechanische Lüftung im Deckenbereich, Deckenleuchten, Erschliessung der Arbeitsplätze über Brüstungskanäle	Actelion, Allschwil
Neubau (Baujahr ca. 2000)	Bestand oder Neubau; Bandfassade, bis 90% Verglasung, Doppelboden, Decke Beton roh; überwiegend Grossraumbüros	Mechanische Lüftung, Kühlung durch deckennahe Kühlsegel, Sole/Wasser-Wärmepumpe, Quelllüftung über den Doppelboden	Europ Tec, Oftringen

Die Forscher der Hochschule Luzern haben sich bei ihren Berechnungen an drei typischen Schweizer Bürogebäuden orientiert, wie sie hier stichwortartig beschrieben sind. Es handelt sich um einen Altbau, einen Bau von 1980 (der als Referenzbau fungiert) und einen neueren Bau mit Baujahr ca. 2000. Die drei Bauten verfügen über ein für ihre Bauzeit typisches Kühlsystem. Für die Simulationen der Studie wurden die Gebäude gedanklich mit verschiedenen Kühlsystemen ausgerüstet. (Tabelle: Schlussbericht ROGK)





Die HSLU-Forscher mussten für ihre Untersuchung eine Festlegung treffen, welche Temperatur von Menschen als behaglich empfunden wird (graue Fläche). Die als behaglich empfundene Temperatur liegt tendenziell höher, wenn auch die Aussentemperatur höher ist. Liegt die empfundene Temperatur über dem grauen Bereich, liegt eine Überhitzungsstunde vor. Die in der Grafik dargestellte Festlegung stammt aus der SIA-Norm 382/1 (2014) für Wohn- und Büroräume mit mechanischer Lüftung. Die «empfundene Temperatur» ist nicht ein subjektiver Wert, sondern das Mittel zwischen der gemessenen Raumtemperatur und der gemessenen Temperatur der Wandflächen. (Grafik: Schlussbericht ROGEK)

hinweg betrachtet). Geringer ist die Zunahme beim Altbau (durchschnittlich ein Plus von 110 Überhitzungsstunden) und beim Neubau (durchschnittlich ein Plus von 99 Überhitzungsstunden). Werden im Neubau Kühlsysteme eingesetzt, sind diese in der Lage, die Zahl der Überhitzungsstunden zu begrenzen. Die Grafik zu den Überhitzungsstunden im Neubau macht auch deutlich, dass die Zahl der Überhitzungsstunden von der verwendeten Kühltechnologie abhängig ist: Da TABS relativ träge auf Erhöhungen der Aussentemperatur reagieren, ist die Zahl der Überhitzungsstunden höher als bei einer Klimaanlage mit Luftkühlung, die eine schnelle Kühlwirkung hat.

#### Unterschiedlich robust

Die Luzerner Forscher haben die Ergebnisse der Studie dazu benutzt, um die verschiedenen Kühlsysteme nach ihrer Robustheit zu bewerten. Dabei wurde ein Kühlsystem als «robust» bewertet, wenn sich bei geänderten Randbedingungen die Überhitzungsstunden nicht oder nur minimal änderten. Die Forscher gelangen zu folgender Bewertung: «Da die Betonkernaktivierung ein träges System ist, kann es nicht sofort den Kühlbedarf decken. Um den gleichen Komfort in Bezug auf Überhitzungsstunden zu erreichen wie bei der Kühldecke und dem Luftkühlsystem, wird daher eine zusätzliche Vorkühlung benötigt. Aus energetischer Sicht sind diese Systeme daher ungünstig.»

Die Ergebnisse der Studie können Planern künftig helfen, Kühlsysteme adäquat und energieeffizient zu planen, betont Axel Seerig. Mit Blick auf den sich abzeichnenden Klimawandel empfiehlt der Luzerner Gebäudeforscher, für HLK-Anlagen bei der Planung Ausbaureserven vorzusehen, damit man die Systeme zu einem späteren

Zeitpunkt bei Bedarf nachrüsten kann (was bei TABS allerdings kaum bzw. gar nicht möglich ist). Axel Seerig: «Wenn eine Anlage eine Zunahme der Überhitzungstage um 30% bewältigen muss, muss ihre Leistung gesteigert werden können, um diese Zusatzlast zu bewältigen.» Falsch wäre laut Seerig, Klimaanlage wegen des erhöhten künftigen Leistungsbedarfs von Beginn weg grösser zu dimensionieren. Das hätte den ungewollten Effekt, dass die Anlagen in den Anfangsjahren in Teillast betrieben werden müssten, was energetisch ineffizient ist. Die Überdimensionierung von Anlagen führt erfahrungsgemäss dazu, dass der Energieverbrauch insgesamt ansteigt, weil die Anlagen nicht optimal betrieben werden und die Räume dann zu stark beheizt oder in diesem Fall gekühlt werden.

#### Temperaturspitzen sind schon Realität

Die Studie der Hochschule Luzern macht deutlich, wie relevant der zu erwartende Anstieg der Durchschnittstemperatur im Zuge des sich abzeichnenden Klimawandels sein wird. Darüber darf aber nicht vergessen gehen, dass auch die Temperaturschwankungen, wie sie heute schon zwischen den einzelnen Jahren zu beobachten sind, die Klimaanlage vor immense Herausforderungen stellen. «Im Hitzesommer 2003 waren viele Kühlsysteme der Schweiz überfordert», sagt dazu Rolf Moser, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Gebäude und Städte. «Die Systeme müssten eigentlich bereits heute in einem gewissen Masse robust sein, was aber zu einer Überdimensionierung und zu Mehrkosten führt. In Zukunft wird daher in noch grösserem Masse als bisher schon die Frage an Bedeutung gewinnen, wie oft die Nutzer eine Überschreitung der Normbedingungen zu tolerieren bereit sind.» ■

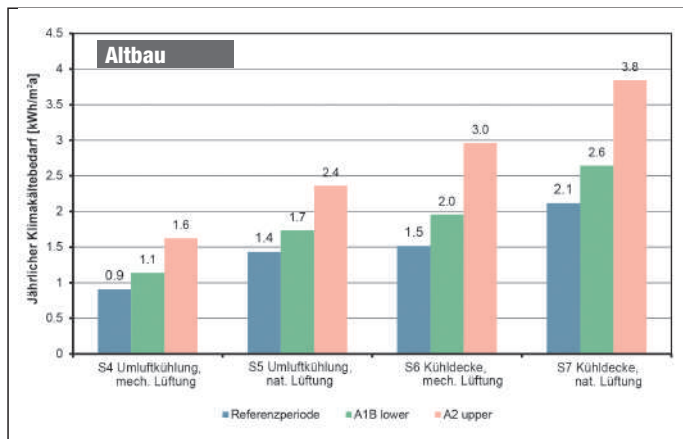


\* Den Schlussbericht zum Projekt «Robustheitsbewertung von integrierten gebäudetechnischen Kühlkonzepten in Verwaltungsbauten hinsichtlich Klima und Nutzervariabilität» (ROGEK) findet man unter: <https://www.aramis.admin.ch/Default.aspx?DocumentID=35211&Load=true>  
 Weitere Auskünfte zu dem Projekt erteilt Rolf Moser (moser@enerconom.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Gebäude und Städte.

Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Gebäude und Städte: [www.bfe.admin.ch/CT/gebaeude](http://www.bfe.admin.ch/CT/gebaeude)

### Energiebedarf für Kühlung

Zunahme des jährlichen Energiebedarfs für Kühlung bei weniger ausgeprägter Klimaerwärmung («A1B lower») und bei ausgeprägter Klimaerwärmung («A2 upper»). Die dargestellten Simulationsergebnisse beziehen sich auf folgende Varianten: S4 Gebäude mit Lüftungs- und Klimaanlage, S5 Gebäude mit Klimaanlage und Lüften durch Fenster öffnen, S6 Gebäude mit Kühldecke und Lüftungsanlage, S7 Gebäude mit Kühldecke und Lüften durch Fensteröffnen, S8 Gebäude mit TABS und Lüftungsanlage. (Grafiken: Schlussbericht ROGEK)



### Überheizungsstunden

Die drei Grafiken zeigen von oben nach unten die Zahl der Überheizungsstunden für den Altbau, den Referenzbau und den Neubau. Dies jeweils für eine Auswahl von Kühltechniken, für welche die HSLU-Forscher Simulationen erstellt haben. Betrachtet man die Zunahme an Überheizungsstunden für das Klimaszenario «A2 upper» und ermittelt den Durchschnittswert für die jeweils untersuchten Kühlsysteme, dann zeigt sich: Beim Referenzbau steigt die Zahl der Überheizungsstunden um 166, beim Altbau um 110 und beim Neubau um 99. (Grafiken: Schlussbericht ROGEK)

