

## Anpassung von Gebäuden

Der Klimawandel ist bereits heute in Form von regionalen Klimaveränderungen spürbar. Die Auswirkungen des Klimawandels sind äußerst vielfältig. Beispielsweise zeigte der „Jahrhundertssommer“ im Jahr 2003 für viele Unternehmen die Grenzen einer möglichen Kühlung von Arbeitsstätten, insbesondere von Bürogebäuden auf, sodass eine thermische Behaglichkeit für die Mitarbeiter nicht mehr gewährleistet werden konnte. Solche Situationen führen zu erschwerten Arbeitsbedingungen und infolgedessen sind durchaus Produktivitätseinbußen möglich. Um einer solchen in Zukunft immer häufiger prognostizierten Entwicklung rechtzeitig entgegenwirken zu können, wird im vorliegenden Faktenblatt der Schlüsselprozess zur Gebäudekühlung und Gebäudehülle vorgestellt. Zudem werden Möglichkeiten zur Anpassung an den Klimawandel dargestellt.

### Klimaentwicklung in der Modellregion Dresden

Für die Modellregion Dresden ist mit folgenden Veränderungen zu rechnen: Anstieg der Durchschnittstemperaturen, Zunahme des Niederschlags im Winterhalbjahr und Abnahme der klimatischen Wasserbilanz. Des Weiteren wird sich ein abnehmender Heizbedarf im Winter sowie ein steigender Kühlbedarf im Sommer ergeben. Konkrete Aussagen über Extremwetterereignisse sind schwierig, doch ist mit einer Zunahme dieser zu rechnen.

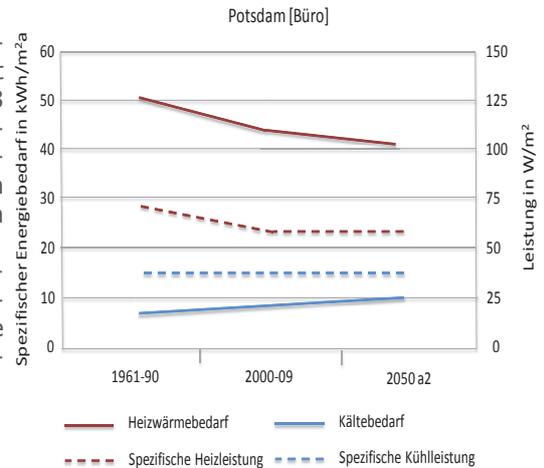
Bei den relevanten Einwirkungen des Klimawandels speziell auf Gebäuden wurde folgende Priorisierung ermittelt: Sommerhitze, Überflutungen, Starkregenereignisse, Hagel, Windlasten und schließlich die Einwirkungen von (Nass-) Schnee. Somit ergibt sich insbesondere durch die ansteigenden Temperaturen ein veränderter Nutzenergiebedarf für Büros. Daraus resultieren eine sinkende spezifische Heizleistung und eine steigende spezifische Kühlleistung (*Abbildung 1*).

### Anpassungsmaßnahmen für hitzegefährdete Gebäude

Doch welche Anpassungsmaßnahmen gibt es, um die Behaglichkeit in Gebäuden auch während Sommerhitzen zu erhalten?

- Verschattungsmaßnahmen
  - Außenliegender robuster Sonnenschutz
  - Bepflanzung
- Erhöhung der thermisch wirksamen Speicherkapazität
  - Keine abgehängten Decken
  - Einsatz von Phasenwechselmaterialien
- Reduzierung der internen Wärmelasten
- Fassaden- und Dachdämmung
- Verbesserung der mikroklimatischen Verhältnisse
- Zuluftkonditionierung durch Erdwärmesonden und/oder Kühlung mit Verdunstungskälte
- Traditionelle Bauweisen, aktive Kühlung
- Bei Neubauten: ggf. Anpassung der Gebäudeausrichtung, Einsatz massiver Bauteile (z.B. Fußboden) bzw. Speichermassen (u.a. auch Latentwärmespeicher), Reduzierung innerer Wärmequellen und bedachtsamerer Umgang mit großen Glasflächen (BMVBS/ BBR (2008))
- Reduzierung des Absorptionsgrades
- Nächtliche Zusatzlüftung (Minimallösung: Intensives Lüften in den frühen Morgenstunden)
- Automatisierte Nachtlüftung von Gebäuden

Das Beispiel zur Reduzierung der Übertemperaturgradstunden durch automatisierte Nachtlüftung soll an folgenden *Abbildungen 2, 3 und 4* (s. Seite 2) verdeutlicht werden.



(Abbildung 1)

Spezifischer Nutzenergiebedarf und spezifische Leistungen (Voss & Künz, 2012)

Aktuelle Berechnungen zeigen (mittelfristig bis 2035):

- Eine Verringerung des Heizenergiebedarfs um ca. 15 %
- Einen Anstieg des Kühlenergiebedarfs um ca. 2/3
- Eine spezifische Heizleistungsminderung um ca. 20 %
- Eine nahezu unveränderte spezifische Kühlleistung

Trotz dieser Verlagerung vom Heiz- zum Kühlenergiebedarf wird insgesamt von einer moderaten Veränderung des Gesamtenergiebedarfs ausgegangen. Dennoch stellt auch die Steigerung der Stromnachfrage im Sommer aufgrund des verstärkten Klimatisierungsbedarfs eine Herausforderung an die Energieversorgung.

Der Klimawandel hat auch Auswirkungen auf die Energiebereitstellung in Gebäuden. So verbessert sich aufgrund der höheren Lufttemperatur und Globalstrahlung der Ertrag von Solarkollektoren um 5 bis 7 %. Zudem erhöht sich die Jahresarbeitszahl von Luftwärmepumpen um ca. 0,1.

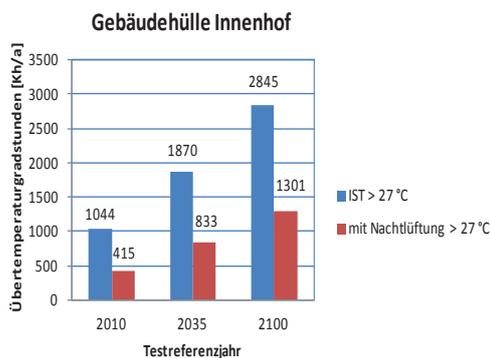
## Automatisierte Nachtlüftung



(Abbildungen 2 und 3)

Links: Bürogebäude Ammonhof (Mombrei, 2010)

Rechts: grün – äußere Gebäudehülle, rot: Gebäudehülle Atrium (Fahrion, 2012)



(Abbildung 4)

Reduzierung der Übertemperaturgradstunden durch automatisierte Nachtlüftung (Fahrion, 2012)

Am Beispiel des Bürogebäudes Ammonhof in Dresden ist klar ersichtlich, dass mit intelligenten technischen Lösungen die Behaglichkeit in Gebäuden wesentlich verbessert werden kann. In diesem Fall ist mit einer automatisch geregelten Durchlüftung des Gebäudes eine deutliche Reduzierung der Übertemperaturgradstunden, proportional zum Kühlenergiebedarf, möglich. Dabei wird nachts durch Ankippen der Fenster eine Querlüftung von der Außenhülle zum überdachten Atrium gewährleistet. Die somit gewonnene Kühlleistung wird sich zukünftig noch erhöhen.

## Chancen und Risiken der Klimatisierung

Zu den *positiven* Auswirkungen zählen:

- Höhere Motivation des Personals
- Bessere Arbeitsbedingungen im Allgemeinen
- Höhere Produktivität des Personals

Diesen Chancen stehen *Risiken* gegenüber:

- Erhöhte Energiekosten
- Hohe Investitionskosten für Anlagentechnik und schwierige Ermittlung der Amortisation
- Erkältungsgefahr bei Wechsel unterschiedlich temperierter Umgebungen
- Negative Wirkung auf Klimaschutzziele durch höheren Energieverbrauch

## Anpassungsmaßnahmen für bei starkregen- und hagelbeanspruchten sowie flutgefährdeten Gebäuden

### Starkregenbeanspruchung:

- Erstellung und Prüfung eines Entwässerungskonzeptes unter Berücksichtigung sämtlicher Einzugsflächen des Gebäudes (z.B. Dächer, Terrassen, Balkone)
- Nachbemessung, Kontrolle und regelmäßige Wartung vorhandener Entwässerungsleitungen, Erhöhung der Kapazität durch Querschnittsänderung, nachträgliche Installation von Notüberläufen und Vermeidung innen liegender Entwässerungen
- Verbesserung des Schutzes von Dachabdichtungen, Dachdeckungen und Unterspannbahnen gegen Beschädigung (z.B. Perforation)
- Konzepte für flutgefährdete Gebäude sowie bei Starkregen- und Hagelbeanspruchung
- Anpassungsbedarf in Regelwerken (z.B. bei Dachrinnensystemen)

### Hagelbeanspruchung:

- Verwendung hagelresistenter Bauprodukte und Bauarten
- Anordnung von Schutz- oder Verschleißschichten
- Dachüberstand, Siebaufsätze für Abläufe
- Automatisierung von Sonnenschutzlamellen und Rollläden

### Flutgefährdung:

- Einbau von Flutschotten zum Schutz hochwertiger Gebäudeteile
- Bewusste Verlagerung der hochwertigen Nutzungsbereiche in höhere Bereiche zur Verbesserung der Flutsicherheit bei unterschiedlichen Wasserständen
- Verwendung wenig schadensanfälliger Schichtenfolgen für gefährdete Wand-, Decken und Fußbodenkonstruktionen
- Gezielte Verwendung zeit- und kostengünstig wiederherstellbarer Konstruktionen
- Veränderte Anordnung des Höhenniveaus von Gebäuden zur Erhöhung des für eine Flutung notwendigen Wasserstandes

## Methoden und Instrumente

Für die Analyse der Auswirkungen des Klimawandels und der Ermittlung damit verbundener Anpassungsmaßnahmen stehen verschiedene Methoden und Instrumente zur Verfügung wie z.B. die Szenario-Analyse oder die Risiko-/Chancen-Analyse (Risikomatrix). Für die Kalkulation der finanziellen Folgen des Klimawandels einschließlich der Anpassungsmaßnahmen können Methoden wie die differenzierte Kostenrechnung (siehe z.B. Faktenblatt Baugewerbe), die Lebenszykluskostenrechnung oder der Ökonomisch-Ökologische Nettoeffekt eingesetzt werden.

## Lebenszykluskostenrechnung

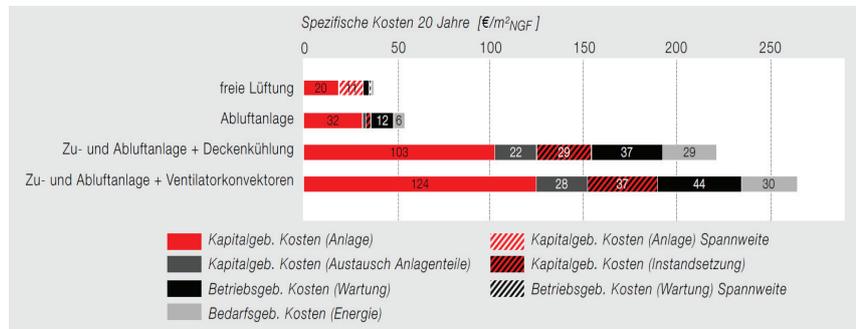
Das Instrument der Lebenszykluskostenrechnung stellt ein Verfahren zur lebenszyklusorientierten Bewertung von Investitionsalternativen, d.h. von der Herstellung über die Verwendung bis zur Entsorgung, dar. Der Begriff Kosten in der Instrumentenbezeichnung ist insofern irreführend, als das Verfahren prinzipiell Zahlungsströme betrachten sollte. Der Anwender bewertet dadurch bewusst neben den reinen Anschaffungskosten die notwendigen Folgezahlungen, einschließlich der Entsorgungskosten. Durch die Betrachtung der unterschiedlichen Aus- und Einzahlungen über den Lebenszyklus werden deren Austauschbeziehungen identifiziert. So kann es sich durchaus rechnen, einen höheren Anschaffungspreis für ein Produkt zu zahlen, wenn hierdurch die laufenden Auszahlungen entsprechend reduziert werden.

Im Folgenden werden für die Durchführung einer Lebenszykluskostenrechnung die Untersuchungen des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung am Beispiel eines dargestellten Referenzgebäudes (zweibündiges Bürohaus mit sechs Etagen) vorgestellt. Hierfür wurden vier mögliche Lüftungssysteme für die Verbesserung des sommerlichen Raumklimas untersucht (**Tabelle 1**).

Die Ermittlung der Nutzungskosten wurde in folgende vier Kostengruppen unterteilt:

1. Kapitalgebundene Kosten (einschl. Instandsetzung und Erneuerung)
2. Bedarfs- (verbrauchs-) gebundene Kosten (Energiekosten)
3. Betriebsgebundene Kosten (Wartung)
4. Sonstige Kosten (z.B. Versicherung, Steuern) sind nicht berücksichtigt.

Die Lebenszykluskostenrechnung ergab Folgendes (**Abbildung 5**):



(Abbildung 5)

Spezifische Kosten über 20 Jahre (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2007)

Für die **Entsorgungskosten** wird pauschal mit einem Wert von 5 % der Anschaffungskosten kalkuliert.

Im nächsten Schritt sind die ermittelten Lebenszykluskosten den Kosten zu hoher Raumtemperaturen gegenüberzustellen.

Aus den vorliegenden Daten wird ersichtlich, dass sich die vier untersuchten Lüftungssysteme in ihren Anschaffungskosten unterscheiden. Auch wenn davon ausgegangen wird, dass außer der Sonnenschutzverglasung die weiteren drei betrachteten Lüftungssysteme nicht nur der Verbesserung des sommerlichen Raumklimas dienen und hier im Folgenden nur mit 50 % der Kosten für den speziellen Zweck weitergerechnet wird, so ist die Ausstattung des Referenzgebäudes (120 Arbeitsplätze) mit Sonnenschutzglas die mit Abstand günstigste Alternative mit knapp 175 € pro Arbeitsplatz. Die Wirtschaftlichkeit verbessert sich deutlich, wenn Ventilatoren die Lüftung unterstützen.

Werden die derzeit in Deutschland vorliegenden Gebäudebestandsanlagen für nichtklimatisierte Gebäude verwendet (67 Mio. m<sup>2</sup> Nettogrundfläche) (Bruckmann et al., 2002), so würden sich Mehrinvestitionen für Sonnenschutzglas i.H.v. etwa 469 Mio. € ergeben.

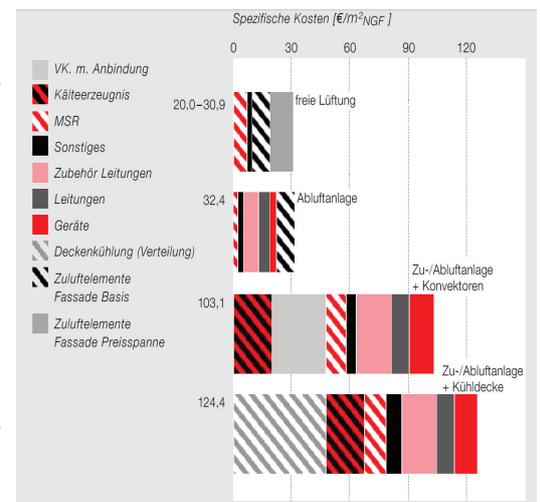
Für einfache Abluftanlagen sind Betriebsenergieaufwand und Betriebskosten im Rahmen des Gesamtenergiebedarfs vernachlässigbar gering. Komplexere Anlagenvarianten mit einem hohen thermischen Komfort können aufgrund des recht hohen Primärenergiebedarfs mit etwa 30kWh/m<sup>2</sup>a interessant sein, wenn nahe des Gebäudes Kältequellen wie Grundwasser oder Erdreich verfügbar sind. Die erforderlichen Mehrkosten für die betrachteten kompletten Zu- und Abluftanlagen mit Kühlung würden hier bei etwa 6,9 bis 8,3 Mrd. € für die betrachteten Bestandsgebäude liegen.

(Tabelle 1)

Untersuchte Lüftungssysteme (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2007)

Bezeichnung	Kurzbeschreibung
1 freie Lüftung	Lüftung der Büros erfolgt durch Querlüftung über elektrisch ansteuerbare Zuluftelemente in der Fassade. WC werden über separate Abluftanlage belüftet.
2 Abluftanlage	Lüftung der Büros über eine Abluftanlage und Zuluftelemente in der Fassade. Die Anlage wird auch zur Nachtlüftung verwendet. WC werden über separate Abluftanlage belüftet.
3 Zu-/Abluftanlage mit Luftkühlung	Be- und Entlüftung der Büros mit einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. WC haben separaten Abluftstrang. Kühlung der Büros erfolgt über Ventilator-konvektoren im Umluftbetrieb. Die Kälteerzeugung erfolgt über eine Kompressionskältemaschine.
4 Zu-/Abluftanlage mit Deckenkühlung	Be- und Entlüftung der Büros mit einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. WC haben separaten Abluftstrang. Kühlung der Büros erfolgt über Deckenkühlelemente. Die Kälteerzeugung erfolgt über eine Kompressionskältemaschine.

Bei der Untersuchung der Investitionskosten wurden folgende spezifischen Kosten für die vier untersuchten Systeme ermittelt (**Abbildung 6**).



(Abbildung 6)

Spezifische Kosten für die vier untersuchten Lüftungssysteme. (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2007)

## Weitere Faktenblätter

Im Rahmen des REGKLAM Verbundprojektes wurden - neben dem Schlüsselprozess der Gebäudekühlung und Gebäudehülle u.a. folgende branchenübergreifende Faktenblätter erstellt:

- **Energieversorgung**
- **Risikomanagement**
- **Personalmanagement**

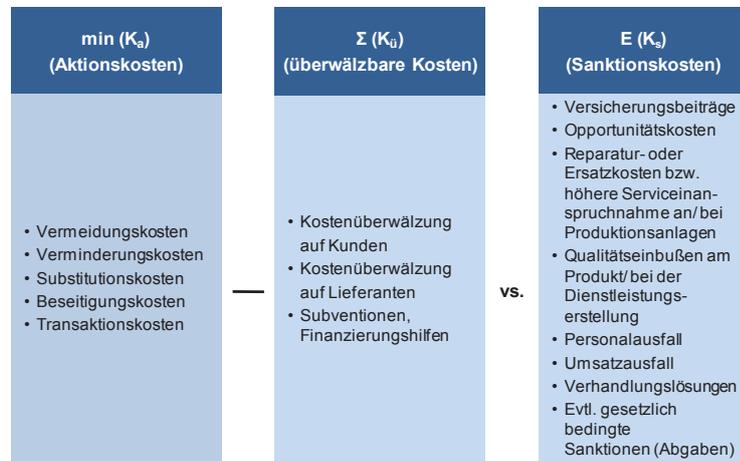
Zudem wurden auch weitere REGKLAM- Faktenblätter und umfangreiches Informationsmaterial zu Klimawandel und Klimaanpassung auf der Projektseite [www.regklam.de](http://www.regklam.de) veröffentlicht.

## Quellen

- BMVBS/ BBR (Hrsg.) (2008): Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland. BBR-Online-Publikation, Nr. 10/2008.
- BRUCKMANN, O.; ELSENHEIMER, F.; MAI, M. et al. (2002): Teilbericht zum Forschungsvorhaben: Energiebedarf bei der technischen Erzeugung von Kälte, Universität Essen, Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik (IATK).
- BUNDESAMT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG (2007): Energieeinsparung contra Behaglichkeit, Forschungen Heft 121, Auftragnehmer: Voss, K. & Pfafferoth, J., Bonn 2007.
- FAHRION, M.S. (2012): TP 3.1.1 Gebäude- ind Siedlungsstrukturen: Klimaanpassung von Gebäuden - Sommerlicher Wärmeschutz. REGKLAM- Vortrag (03.07.2012).
- MOMBREI, H. (2010): Ammonhof Dresden, <http://www.fotos-aus-der-luft.de>
- VOSS, K.; KÜNZ, C. (2012), Klimadaten und Klimawandel - Untersuchungen zum Einfluss auf den Energiebedarf, den Leistungsbedarf und den thermischen Komfort von Gebäuden. Bauphysik, 34.
- WELLER, B.; NAUMANN, T.; JAKUBETZ, S. (2012): Gebäude unter den Einwirkungen des Klimawandels, REGKLAM-PUBLIKATIONSREIHE Heft 3.

## Ökonomisch-Ökologischer Nettoeffekt

Kosten, die durch Maßnahmen zur Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels entstehen, d.h. Aktionskosten, können denen des Nicht-Handelns, d.h. Sanktionskosten, gegenübergestellt werden. Zu den Aktionskosten, häufig im Sinne von Investitionskosten zu betrachten, zählen z.B. Kosten in den Hochwasserschutz eines Gebäudes oder der Kauf von UV-beständigere Farbe für die Außenfassade des Gebäudes. Zu den Sanktionskosten zählen die in Verbindung mit einem Schadensereignis entstehenden Kosten, wie z.B. Instandhaltungs- sowie Reparaturkosten, aber auch ein durch Hitze bedingter Personalausfall. Des Weiteren sind Umsatzausfälle, steigende Beschaffungspreise, erhöhte Versicherungskosten oder ein zunehmender Serviceaufwand einzukalkulieren. Darüber hinaus ist eventuell mit spezifischen Abgaben für Klimawandelanpassung zu rechnen. Neben den Aktions- und Sanktionskosten sind die überwälzbaren Kosten zu berücksichtigen, d.h. Kosten, die die Aktionskosten mindern (*Abbildung 7*).



(Abbildung 7)

Ökonomisch-Ökologischer Nettoeffekt

## Zusammenfassung

- Anpassungsbedarf bzgl. der voraussichtlich ansteigenden Extreme erforderlich (Sommerhitze, Hagel, Starkniederschlag, Nassschnee, Windlasten)
- Verlagerung vom Heiz- zum Kühlenergiebedarf
- Moderate Veränderung des Gesamtenergiebedarfs
- Geringere Wirtschaftlichkeit von Dämm-Maßnahmen
- Technische Anlagen zur Kühlung in sommerheißen Gebieten erforderlich
- Steigerung der Stromnachfrage im Sommer aufgrund des verstärkten Klimatisierungsbedarfs

## Impressum

TU Dresden - Lehrstuhl für BWL, insb. Betriebliche Umweltökonomie - Prof. Dr. Edeltraud Günther, Kristin Stechemesser, Julian Meyr, Jana Herrmann, Anne Bergmann  
bu@mailbox.tu-dresden.de

TU Bergakademie Freiberg - Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik - Lehrstuhl für Gas- und Wärmetechnische Anlagen - Andreas Herrmann

## Projektpartner, Projektförderer und -träger

