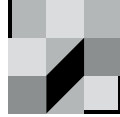




Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



Bundesamt
für Bauwesen und
Raumordnung

BBR-Online-Publikation, Nr. 10/2008

Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Verkehr,
Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)
Invalidenstraße 44
10115 Berlin

Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Bearbeitung

Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt (Auftragnehmer)
Peter Werner (Leitung)
Elke Chmella-Emrich (Architektin), Kaiserslautern
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn
Andrea Vilz (Leitung)

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Zitierhinweise

BMVBS / BBR (Hrsg.): Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis
in Deutschland, BBR-Online-Publikation 10/2008.
urn:nbn:de:0093-ON1008R229

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist
nicht unbedingt mit der der Herausgeber identisch.

ISSN 1863-8732
urn:nbn:de:0093-ON1008R229

© BMVBS / BBR April 2008

Ein Projekt des Forschungsprogramms „Zukunft Bau“ des Bundesministeriums
für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bundesamtes für Bauwesen
und Raumordnung (BBR)

Vorwort

Neben der Auswertung von Literatur- und Online-Recherchen sind zahlreiche Interviews und Fachgespräche geführt worden, um den derzeitigen Wissens- und Informationsstand über Adaptationsstrategien im Themenfeld Klimawandel und Bauen darstellen zu können. Es sind Gespräche mit Bauphysikern, Architekten, Planern, Baustatikern, Ingenieuren, Bauhandwerkern, Versicherungen, Bauproduktherstellern und Verbandsvertretern geführt worden.

Aus den Recherchen und insbesondere aus den Gesprächen ist deutlich geworden, dass das Thema Klimawandel und Bauen in Deutschland erst „am Anfang steht“. Andere Länder wie das Vereinigte Königreich und die Schweiz sind hierbei etwas weiter. Gleichzeitig ist aber auch zu erkennen, dass das Thema verstärkt aufgegriffen wird, wie es aktuelle Veranstaltungsankündigungen, z. B. die Rosenheimer Fensterstage oder Veranstaltungen des Deutschen Katastrophenschutzes zeigen. Häufig steht der Klimaschutz (z. B. Energieeinsparung) oder die Hochwasserproblematik (z. B. Bauen in hochwassergefährdeten Gebieten) im Mittelpunkt. Adaptationsstrategien und Vorsorgemaßnahmen zur Reduzierung von negativen Folgewirkungen des Klimawandels im Bereich Bauen werden noch defizitär behandelt. Das Versicherungswesen hat sich unter dem Blickwinkel der Vermeidung von Schäden durch Extremwetterereignisse, diesem Thema bisher am weitesten genähert. Auch die Bauschadensforschung bietet eine Reihe von Ansatzpunkten, da die Untersuchung bautechnischer Schwachpunkte, die bei spezifischen Wetter- und Witterungseinflüssen (z. B. Schlagregen) zu Bauschäden führen können, ein breites Betätigungsfeld der Schadensforschung ist.

Bei Bürogebäuden wirken darüber hinaus auch Empfehlungen zur Arbeitsplatzgestaltung und die Arbeitsstättenverordnung bzw. -richtlinie in das Themenfeld hinein, zum Beispiel die Richtlinie über die Vermeidung von Hitzestress am Arbeitsplatz. Diese Empfehlungen, Verordnungen und Richtlinien beziehen ebenfalls bautechnische Lösungswege ein. Die häufig als Leitbild für repräsentative Bürogebäude benutzte Glasarchitektur (s. z. B. die derzeit realisierten spektakulären Hochhäuser in Dubai) und die aktive Klimatisierung von Bürogebäuden, die in der Regel mit einem hohen Energiebedarf verbunden sind, bilden dabei Themengebiete für spannungsgeladene und auch „ideologisch“ befrachtete Auseinandersetzungen.

Die ersten drei Abschnitte der vorliegenden Studie leiten in das Thema ein und umreißen das Problemfeld Klimawandel und Bauen. Die spezifischen klimarelevanten Herausforderungen, Auswirkungen und Schlussfolgerungen für den Bereich Bauen sind nach Wirkungstypen gegliedert und in den Kapiteln 4 bis 7 beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass die Ausführungen zum einen zum jetzigen Zeitpunkt nicht vollständig sein können und zum anderen vielfach vorläufige Informationen und Einschätzungen enthalten.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass die zukünftigen Anpassungserfordernisse des Bauens und des Gebäudebestandes in Deutschland ein weites Spektrum an Fragen aufwerfen, die hier nur zum Teil angerissen werden können. Auch die Belastbarkeit der verschiedenen Annahmen, wo Schwachpunkte im Bereich des Neubaus und Bestandes voraussichtlich liegen werden, und die erarbeiteten Vorschläge über die zu empfehlenden Vorgehensweisen bedürfen in mehreren Punkten weiterer Klä-

rungen. Diese offenen Fragen sollten Gegenstand nachfolgender Untersuchungen und Forschungsprojekte sein.

Bedanken möchten wir uns bei den Kolleginnen und Kollegen des Instituts Wohnen und Umwelt, die uns in Diskussionsrunden, Einzelgesprächen und durch eigene Beiträge sowohl während der Bearbeitung als auch bei der Erstellung des Berichtes unterstützt haben.

Besonders möchten wir uns bei allen Gesprächspartnern bedanken, die uns entweder mündlich oder schriftlich Rede und Antwort gestanden haben. Namentlich erwähnen möchten wir:

Dr. Detlef Hennings, Physiker, Köln

Prof. Dipl.-Ing. Manfred Gerner, Architekt, Fulda

Dr.-Ing. Hans Fritz Brunck, Architekt, Niederhorbach

Dr. Bernd Devantier, Institut für Holztechnologie, Dresden

Burkhard Evers, Landschaftsarchitekt, Kaiserslautern

Gert Süßenguth, Deutscher Wetterdienst, Offenbach

Ernst Rauch, Münchener Rückversicherung, München

Dr. Michael Kuhn, SV Sparkassen Versicherung, Stuttgart

Herr Dipl.-Ing. Habicht, Bauingenieur, Büro ISK, Kaiserslautern

Herr Olbrich, Gartner Fassaden, Gundelfingen

Herr Lateltin, Vereinigung kantonaler Feuerversicherungen, Bern

Herr Tschorn, Verband der Fenster- und Fassadenhersteller, Frankfurt/M.

Herr Albers, Braas Dachdeckungen, Oberursel

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	4
Abstract	7
1 Einleitung.....	10
2 Zu beachtende Elemente des Klimawandels für den Bereich Bauen	13
3 Bauen in Deutschland	15
4 Entwicklungen von genereller Bedeutung	19
4.1 Hitzewellen	19
4.2 Starkregenereignisse.....	25
4.3 Wind	30
4.4 Hagel	34
5 Entwicklungen mit noch unklaren Folgen	36
5.1 Zunahme von feuchten Wintern.....	36
5.2 Längere Sonneneinstrahlung im Sommer	38
6 Veränderungen lokaler und regionaler Bedingungen	39
7 Zwischenzeitliche Effekte des Klimawandels: Veränderung von Schneelasten ..	41
8 Schlussfolgerungen	43
9 Forschungsbedarf.....	46
Literatur	47

Kurzfassung

Deutschland ist durch vielfältige Klimate und Standortverhältnisse gekennzeichnet. Diese Verhältnisse werden sich durch den nicht aufzuhaltenden Klimawandel ändern. Die nationale Anpassungsstrategie versucht auf diese Herausforderung zu reagieren. Dabei zeigt sich, dass in Deutschland Adaptationsstrategien und Vorsorgemaßnahmen zur Reduzierung von negativen Folgewirkungen des Klimawandels im Bereich Bauen erst am Anfang stehen. In der Studie wird versucht, einen ersten Überblick über den Stand des Wissens und Bedarfe für Anpassungsstrategien im Bereich Bauen zu geben. Zur Erstellung des Überblicks wurden nationale und internationale Studien ausgewertet sowie systematische Recherchen im Internet und zahlreiche Interviews mit Fachpersonen, wie Bauphysikern, Architekten, Planern, Baustatikern, Ingenieuren, Bauhandwerkern, Versicherungen, Bauproduktherstellern und Verbandsvertretern, durchgeführt.

Verändern sich die Klimafaktoren während des Lebenszyklusses eines Gebäudes in erheblicher Weise, kann das Gebäude den Zweck, Menschen vor Witterungseinflüssen zu schützen und ein angenehmes Raumklima bereitzustellen, nicht mehr ausreichend erfüllen. Bauteile über Erdreich, Bauteile im Erdreich und die Gebäudetechnik müssen entsprechend angepasst werden. Insbesondere die Außenhülle der Gebäude wird durch die verschiedensten Klimafaktoren beansprucht.

Bauplanung, -technik und -ausführung haben in Deutschland einen hohen Standard und sind für unterschiedlichste Klimabeanspruchungen ausgelegt. Viele Effekte des bereits aktuell stattfindenden als auch des bevorstehenden Klimawandels auf den Bereich Bauen lassen sich innerhalb dieses Standards bewältigen. Dennoch besteht besonders für die Zunahme von heute noch als Extremereignisse angesehene Klimafolgen Anpassungsbedarf. Zu diesen heute noch besonderen und in Zukunft wahrscheinlich regulären Ereignissen gehören: ausgeprägte Hitzewellen im Sommer, Starkniederschläge im Winterhalbjahr, Zunahme von Winterstürmen und beides mit Begleiterscheinungen wie extremer Schlagregen, Hagel und ungewöhnliche Windböenstärke.

In einer vorläufigen Bewertung werden vor dem Hintergrund der derzeitigen Klimaprognosen die Probleme folgendermaßen eingeschätzt. Das Problem der Zunahme von Hitzewellen wird als hoch bewertet, da hier Gesundheit und Wohlbefinden in gravierender Weise betroffen sind. Die Hitzewelle aus dem Jahre 2003 hat dies deutlich gezeigt. Auch das Problem der Zunahme von Starkregenereignissen und die potenziellen Wirkungen auf die Außenhülle sowie für Bauteile im Erdreich werden als hoch beurteilt. Effekte von Veränderungen in der Windbelastung (z. B. Zunahme Winterstürme), Wirkungen von Hagelzügen oder Veränderungen des Bodenwasserhaushalts werden für einzelne Regionen oder für einzelne Standorte ebenfalls als hoch bewertet. Die Zunahme von feuchten Wintern kann für historische Bausubstanz – Hinweise aus England liegen vor – oder unter Umständen für Bauteile aus Holz erhebliche negative Wirkungen nach sich ziehen. Dies lässt sich allerdings noch nicht näher beurteilen. Ein spezifisches Problem stellt die Entwicklung von Schneelasten dar. In einzelnen Regionen können zwischenzeitlich ungewöhnlich hohe Schneelasten entstehen. Mögliche Effekte einer stärkeren sommerlichen Sonneneinstrahlung auf die Bauteile und deren Materialbeständigkeit werden als eher gering eingeschätzt.

Die Studie benennt zu den einzelnen Problembereichen verschiedene mögliche Handlungsmaßnahmen. Die Wesentlichen sind: Sofern ein guter Wärmeschutz, Einplanung von Verschattungselementen, ggf. Anpassung der Gebäudeausrichtung, Einsatz massiver Bauteile bzw. Speichermassen, Reduzierung innerer Wärmequellen und bedachtsamerer Umgang mit großen Glasflächen vorliegen, werden Überwärmungsprobleme in Gebäuden weitgehend vermieden und Anlagen zur Klimatisierung, vor allem im Wohnungsbau, nicht benötigt. Kontrollierte Lüftungssysteme werden neben der Sicherstellung einer ausreichenden Luftwechselrate in Zukunft eine doppelte Funktion übernehmen müssen, nämlich dass die Frischluft, z. B. über Erdwärmetauscher, im Winterhalbjahr nicht nur erwärmt, sondern im Sommer bei Hitzeperioden herabgekühlt werden kann.

Die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit von Baustoffen gegenüber extremeren Witterungsbedingungen wird vermutlich in Zukunft stärker zur Entscheidung für oder gegen bestimmte Konstruktionen und Materialien beitragen. Beim Neubau sind zukunftsorientierte Planungen mit neuen Materialien und Konstruktionen umsetzbar. Beim Bestand ist dieses nicht so ohne Weiteres möglich. Der Bestand ist sehr heterogen und die Bewältigung der klimabedingten Probleme komplexer. Historische Gebäude stellen dabei ein besonders schwieriges Problemfeld dar.

Allerdings werden auch im Bestand die meisten klimabedingten Probleme mit Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen bewältigt werden können. Möglicherweise werden Faktoren wie ‚Anfälligkeit bezüglich Regen und Feuchte‘ oder ‚Schadenspotenzial bei Stürmen‘ neben Aspekten wie ‚Wärmedämmstandard‘, ‚Standort‘ etc. für Bestandsgebäude zu Wert bestimmenden Merkmalen werden, die über ‚Verkauf oder Nichtverkauf‘ bis hin zu ‚Erhalt oder Abriss‘ entscheiden.

Die Dynamik des Klimawandels verstärkt die Notwendigkeit, vorsorgend Prognosen in Normungen einzubeziehen, denn Gebäude werden nicht für wenige Jahre, sondern für Jahrzehnte geplant, gebaut und erneuert. Durch die Häufung von Extremereignissen kommt der erhaltenden Bauvorsorge ein hoher Stellenwert zu. Regelmäßige Kontrollen und sachgerechte Wartung insbesondere der Außenhülle erweisen sich als dringend erforderlich, um unverhältnismäßige Gebäudeschäden und Gefährdungen abzuwenden. Dies gilt auch für Standorte, an denen durch Klimaänderungen stärkere Beeinflussungen der Bodenverhältnisse zu erwarten sind.

Bestimmte Gebäudebestände können sich für einzelne Klimafolgen als besonders sensibel herausstellen. Zum Beispiel Fachwerkgebäude im Zusammenhang mit anhaltender Durchfeuchtung im Winterhalbjahr oder das Verhalten des Baustoffs Holz unter sich verändernden Bedingungen. Dies ist näher zu beobachten und zu untersuchen.

Prognosesicherheit und Bereitschaft zur Vorsorge gehen Hand in Hand. Hohe Unsicherheiten erhöhen das Risiko, dass Vorsorgekosten getätigt werden, die sich als unnötig oder als nicht zielführend erweisen. Widersprechende oder offensichtlich unsichere Aussagen erschweren die Situation, vorausschauende Vorsorge zu betreiben. Eine ausreichende Vorsorge kann sich im Augenblick an Extremereignissen orientieren, die mit hoher Wahrscheinlichkeit in Zukunft regelmäßiger auftreten werden (z. B. Hitzewellen), oder es werden Gebäude geplant, die im Zyklus von ca. 20 Jahren an weitere potenzielle Klimaveränderungen anpassungsfähig sind.

Kleinräumige regionale und lokale Gegebenheiten sind bei diesen dynamischen Klimaänderungen besonders zu beachten. Das Informationswesen für Investoren, Bauherren, Planer, Architekten, Ingenieure und Fachhandwerk ist darauf auszurichten. Kommunale Planungen und Aktivitäten (z. B. Ausweisung von Bauland), Kenntnisse aus Ergebnissen laufender Umweltbeobachtung und ökologischer Risikoanalyse sowie Planungen bzw. Bauaktivitäten von Bauherren sind aufeinander abzustimmen.

Die Studie schließt mit Hinweisen zum weiteren Forschungsbedarf.

Abstract

Germany is characterised by diverse climates and local conditions, and these conditions will alter as a result of climate change, which can no longer be reversed. The national adaptation strategy is trying to respond to this challenge. In the process, it has emerged that Germany's adaptation strategies and precautionary measures for reducing negative consequences of climate change in the field of the construction of buildings, as yet, hardly got off the ground. The study attempts to give an initial overview of the level of knowledge and demand for adaptation strategies in field of construction. For the preparing of the survey national and inter-national studies were analyzed as well as systematic enquiries on the Internet were conducted and numerous interviews were carried out with specialist persons, like building physicists, architects, planners, engineers, structural engineers, trained building workers, insurances, building material manufacturers and representatives of corresponding associations.

If climate factors change significantly during the life cycle of a building, the building becomes less fit for its purpose, which is namely to protect people and provide a pleasant indoor environment. Building elements above ground, building elements in the ground and the technical building services must be adapted accordingly. The varying climate factors put particular stress on the outer shell of the building.

Construction planning, technique and execution are held to a high standard in Germany, and are designed to withstand the most varied climate exposure conditions. Many effects of both current and impending climate change on the building sector can be overcome within this standard. However, there is still a need for adjustment, in particular with regard to the increase in climatic incidents that are still considered "extreme events". These events, which are considered exceptional today but will probably become regular occurrences in the future, include distinct summer heat waves, heavy precipitation during the latter half of the year, an increase in winter storms and both accompanied by extreme driving rain, hail and unusually strong wind squalls.

Against the background of current climate forecasts, the problems are assessed as follows in a preliminary evaluation. The problem of increasing heat waves is considered to be a significant one, since it can have serious and damaging effects on health and well-being. The heat wave of 2003 was a clear example. The problem of increasing heavy rainfall and its potential effects on the outer shell of buildings as well as on building elements in the ground was also classed as high. The effects of changes in wind patterns (e.g. increasing winter storms), hail-storms or changes in the ground water balance are likewise assessed as significant problems for individual regions or locations. The increase in wet winters may have a significant negative impact on historic structures (examples of this phenomenon can be seen in England) or, under some circumstances, on wooden building elements. It has not yet been possible to evaluate this in more detail, however. One specific problem is the development in snow loads. Certain regions may experience levels of snowfall that have become unusual in recent times. Potential effects of more intense solar radiation during the summer on building elements and their material durability have been deemed less significant.

The study specifies various possible actions to combat the individual problem areas. The fundamental ones are as follows: providing that good heat insulation is ensured,

shadow elements are incorporated in planning, building layouts are modified where necessary, solid building elements or storage mass are used, internal heat sources are reduced and the use of large glass areas is well thought out, problems of overheating in buildings will be largely avoided, and air conditioning systems, especially in residential buildings, will not be required. In future, controlled ventilation systems will have to take on the additional function, as well as ensuring sufficient air renewal rates, of making sure that fresh air can not only be warmed during the winter by means of an earth heat exchanger, for instance, but also cooled down during periods of high temperatures in the summer.

The efficiency and resilience of construction materials in extreme weather conditions will, presumably, play a greater role in future in the decision for or against certain designs and materials. For new development, forward-looking plans using new materials and designs are marketable. For the building stock, this is harder to implement. Existing construction is highly heterogeneous and overcoming climate-related problems is a more complex issue. Historic buildings, in particular, present a particular problem in this regard.

However, even in existing construction, most problems caused by climate can be overcome with refurbishment and modernisation measures. Factors such as “susceptibility to rain and damp” or “potential for storm damage” may, along with aspects such as “thermal insulation standard”, “location” etc., become characteristics that determine the value of existing buildings and decide upon “sale or no sale” and even “preserve or tear down”.

The dynamics of climate change reinforce the necessity to incorporate forecasts into standards, since buildings are not built for the short term but are planned, built and renovated for decades. The accumulation of extreme events accords foresight in construction, with the aim of preservation, a high significance. Regular checks and proper maintenance, in particular of outer shells, are proving to be essential in order to avoid disproportionate building damage and endangerment. This also applies to locations where climate changes are expected to influence ground conditions to an even greater extent.

Some existing buildings may turn out to be particularly sensitive to certain climatic consequences. For example, timber-framed buildings in conjunction with prolonged moisture penetration during the winter months, or the behaviour of wood as a building material under changing conditions. This must be observed and investigated more closely.

Forecast certainty and preparedness to take precautions go hand in hand. High uncertainty increases the risk of precautionary costs being spent where they are not necessary or do not lead to the desired results. Contradictory or clearly uncertain statements aggravate the situation with regard to instigating precautionary measures. An adequate forecast may currently be geared towards extreme events, that in all likelihood will occur more regularly in future (e.g. heat waves), or buildings are planned that can be adapted to further climate changes in a roughly 20 year cycle.

It is particularly important to take into account small scale regional and local conditions with regard to such dynamic climatic changes. The flow of information for investors, building owners, planners, architects, engineers and specialist tradesmen must

be directed towards these conditions. Municipal plans and activities (such as the identification of building land), knowledge gained from the results of current environmental monitoring and ecological risk analysis as well as planning and building activities by building owners must be coordinated.

The study closes with references to further research requirements.

1 Einleitung

Die ursprünglichste Aufgabe der Gebäude in der Geschichte der Menschheit ist es, Menschen vor den Unbilden der Witterung zu schützen. Mit der Errichtung von Gebäuden entsteht ein Innen und ein Außen, entsteht ein Innenklima und ein Außenklima. Das Außenklima stellt dabei die Führungsgröße dar, die diejenigen Einflüsse bestimmt, durch die das Innenraumklima determiniert bzw. mit denen das Raumklima gesteuert werden kann (Roloff 2002). Folgende Faktoren des Außenklimas sind für Mensch und Gebäude von Bedeutung:

- direkte und diffuse Sonneneinstrahlung
- Lufttemperatur und deren Schwankungen
- Niederschläge und ihr zeitliches und quantitatives Auftreten
- Luftbewegungen

Verändern sich diese Faktoren des Klimas während des Lebenszyklusses eines Gebäudes in erheblicher Weise, dann verliert das Gebäude seine Zweckmäßigkeit, nämlich dem Menschen ein angenehmes Raumklima bereitzustellen. Werden Außenhülle und sogar die statische Grundkonstruktion eines Gebäudes durch Veränderungen des Klimas beeinträchtigt, können dramatische Folgen bis hin zum Einsturz eintreten.

Die bisherigen Analysen der bisher verwendeten Klimagutachten aus Deutschland aber auch aus dem Vereinigten Königreich, aus Frankreich, Österreich und der Schweiz bestätigen, dass folgende Aspekte der Klimaänderung für den Bereich Gebäude und Bauen von *besonderer Bedeutung* sind und für die Anpassungsstrategien zu prüfen bzw. bei Bedarf zu entwickeln sind:

- Zunahme von Hitzewellen im Sommer
- Veränderungen im Wasserhaushalt (sommerliche Trockenheit, winterliche Zunahme der Niederschlagsmenge)
- Zunahme, insbesondere von winterlichen Starkniederschlägen
- Zunahme von Winterstürmen
- Zunahme von Gewittern mit Hagel, Starkregen und Starkböen

Weitere zusätzliche Aspekte (z. B. Entwicklung der relativen Luftfeuchtigkeit) und die Berücksichtigung regionaler und standörtlicher Besonderheiten vervollständigen und ergänzen in den folgenden Darstellungen, die oben genannten Aspekte. Biotische Folgewirkungen können im Augenblick nur als eine Merkposition mitgeführt werden. Die Entwicklungen auf diesem Sektor und die damit verbundenen Wirkungsbereiche „Beständigkeit von Materialien“ und „Gesundheit“ lassen sich noch nicht ausreichend darstellen.

Die potenziellen Wirkungen des Klimawandels auf Gebäude sind in die Wirkbereiche „Bauteile über Erdoberfläche“, „Bauteile im Erdreich“ und „Gebäudetechnik“ unterteilt. Dabei kommt es in der Regel zu relativ klaren Zuordnungen von Klimafaktoren zu Wirkungsbereichen (z. B. Wind betrifft ausschließlich Bauteile über Erdoberfläche etc.). Zur Überprüfung der möglichen Einwirkungen sind die Gebäudeteile, die durch den Klimawandel po-

tenziell besonders betroffen sind, noch eine Stufe tiefer analysiert worden und zwar in Bezug auf die Funktionen: Statik, Konstruktion, Alterungsbeständigkeit, Funktionalität, Schutzanforderungen Wärme/Feuchte/Brand. Konnten bereits konkrete Hinweise über besondere Empfindlichkeiten von einzelnen Gebäudetypen, z. B. historische Gebäude, Fachwerkhäuser oder Hochhäuser, identifiziert werden, dann wird auf diese im Folgenden speziell hingewiesen.

In weiteren Schritten können die Wohnbedingungen bezogen auf die Aspekte Wohlbefinden und Gesundheit (z. B. Hitzestress) zusätzlich in die Analyse einfließen. Diese beiden Aspekte ergänzen die oben genannten Problembereiche um weitere Anforderungen an das Gebäude bzw. an Bauteile des Gebäudes, werden aber aus Mangel an belastbaren Informationen hier nicht weiter berücksichtigt.

Bisherige Erfahrungen mit Extremwetterereignissen, die als Ausnahmeereignisse quasi Regelereignisse der Zukunft vorwegnehmen und zum Teil gut dokumentiert und analysiert sind (s. z. B. Dokumentationen der Münchener Rückversicherungsgesellschaft), bieten wichtige Orientierungshilfen, um Schwachpunkte und Handlungserfordernisse bei den derzeitigen Gebäuden und Bauteilen zu identifizieren.

Eckdaten des Klimawandels in Deutschland

Faktor	Parameter	Veränderungen		Bemerkungen
		2050	2100	
Temperatur	Jahresdurchschnitt		+1,5 bis + 3,7° C	stärkste Zunahmen im Norden u. Voralpen
	Durchschnitt	+ 2,1° C	+ 3,4° C	
	Sommerhalbjahr	(Hessen)	(Hessen)	
	Durchschnitt	+ 3,3° C	+ 4,6° C	
	Winterhalbjahr	(Hessen)	(Hessen)	
	Hitzewellen		2x bis 7x mehr Tage > 30° C und Nächte > 20° C	
Niederschläge	Jahresniederschläge	0	0	Umverteilung in den Jahreszeiten
	Sommerhalbjahr	- 13% bis + 12%	- 17/20%	regional sogar bis minus 50%
	Winterhalbjahr	+ 18/31%	+ 19/30%	regional in Mittelgebirgen bis 80% Zunahme
	Extremniederschläge	Zunahme Tage >40mm		
	Hagelzüge	Zunahme mit großen Hagelkörnern	Zunahme mit großen Hagelkörnern	Betrifft einzelne Regionen z. B. Ba.-Württemb.
Sonnenscheindauer	Jahresdurchschnitt	+ 0,6	+ 1 h	
	Sommerhalbjahr	+ 0,8 h	+ 0,9 h	
	Winterhalbjahr	- 0,2 h	0	
Relative Luftfeuchtigkeit	Jahresdurchschnitt	- 1%		
	Sommerhalbjahr	- 1,7%	- 1,8%	
	Winterhalbjahr	0	0	
Windgeschwindigkeiten	Jahresdurchschnitt	+ mittlere Geschw.	leicht minus Tagesmittel	sehr unsichere Aussagen
	Sommerhalbjahr			
	Winterhalbjahr	stärkere Winterstürme	stärkere Winterstürme	
Schneefall		minus	minus	generell deutliche Abnahme

Quellen: Enke 2003, 2004, OcCC/Proclim 2007, UBA 2007

2 Zu beachtende Elemente des Klimawandels für den Bereich Bauen

Zum jetzigen Zeitpunkt lassen sich die Faktoren des Klimawandels in Deutschland in folgende Wirkungstypen unterteilen, die für eine Anpassungsstrategie im Bereich Gebäude von wesentlicher Bedeutung sind:

1. *Entwicklungen von genereller Bedeutung*

Das sind Entwicklungen, die für Deutschland insgesamt oder für größere Teile von Deutschland zutreffen und die zum Teil mit gravierenden Folgen und Schäden einhergehen. Dazu gehören:

- lang anhaltende Hitzewellen im Sommer
- Zunahme von Starkregenereignissen
- Zunahme von Intensität und Stärke von Sturmereignissen

2. *Entwicklungen mit noch unklaren Folgen*

Hiermit sind Elemente des Klimawandels gemeint, deren Folgen bzw. bei denen der Anpassungsbedarf für den Gebäudebereich zurzeit noch nicht abschätzbar sind und die demzufolge noch weiter zu beobachten sind und für die weitere Hinweise bezüglich möglicher Wirkungen noch gesucht werden. Dazu zählen:

- Zunahme von feuchten Wintern
- potenziell längere Sonneneinstrahlung im Sommer

Die Berücksichtigung biotischer Folgewirkungen (Materialschädlinge, Krankheitserreger) ist erst noch zu prüfen.

3. *Veränderungen lokaler und regionaler Bedingungen*

In den verschiedenen Regionen und an den verschiedenen Standorten haben sich Grundsätze entwickelt, wie dort unter den jeweiligen vergangenen und heutigen Klimabedingungen und gegenwärtigen Standortverhältnissen zu bauen ist. Diese Grundsätze können sich auf Grund des Klimawandels als falsch herausstellen, und es sind neue aktuelle und zukünftige Bedingungen zu beachten. Dazu sind zu rechnen das Bauen

- in Hanglagen,
- in Gebieten mit quellfähigen Böden (Tonböden),
- in Gebieten unter Grundwassereinfluss,
- in Gebieten unter zusätzlichem – potenziellen – Hochwassereinfluss,
- in ehemaligen Bergbau-/Tagebaugebieten.

4. Zwischenzeitliche Effekte des Klimawandels

Der Klimawandel führt auch zu Zwischenstadien, die besondere Belastungen bezüglich der Gebäudetechnik und -nutzung mit sich bringen können. Hierzu können zum Beispiel gerechnet werden:

- Veränderungen der Schneefallmenge und der Konstitution des Schnees

3 Bauen in Deutschland

Deutschland ist durch vielfältige Klimate und Standortverhältnisse gekennzeichnet. In der Vergangenheit haben sich dementsprechend in den Regionen Deutschlands unterschiedliche Bauweisen (z. B. unterschiedliche Dachüberstände und -neigungen) und differenzierte Ausgestaltungen (z. B. unterschiedliche Dachkonstruktionen je nach Dachneigung und -überstand) entwickelt, die unter Verwendung der örtlich verfügbaren Materialien den spezifischen Standortanforderungen gewachsen waren. Mit der zunehmenden Industrialisierung des Bauens und der Entwicklung leistungsfähiger und generell anwendbarer Baustoffe sind die regional differenzierten Bauweisen durch eine Bautechnik abgelöst worden, die über das gesamte Spektrum der Klimaanforderungen in Deutschland einsetzbar ist und sichere Bauten gewährleistet. Das regional unterschiedliche Erfahrungswissen, das ehemals die Bauqualität sicherte, ist nach und nach durch standardisierte Normen ergänzt bis ersetzt worden. Regionale Unterschiede fließen heute z. B. über die Windzonenkarten oder Schlagregenklassen in die Gestaltung der Gebäude ein.

Die heute in Deutschland bestehenden Gebäude entstammen also einer Zeitspanne, die mehrere Jahrhunderte umfasst. Viele der älteren Gebäude haben zudem einen oder mehrere Sanierungs- und Modernisierungszyklen durchlaufen, die die ursprüngliche Form mit den Mitteln und Techniken der jeweiligen Zeit veränderten. Es ist anzunehmen, dass der insgesamt sehr heterogene Gebäudebestand auf den Klimawandel in unterschiedlicher Weise reagieren wird. Die Untersuchung der Anpassungsanforderungen an den Klimawandel macht daher eine Unterscheidung zwischen Neubau und Gebäudebestand notwendig.

Für den Bereich des aktuell praktizierten Neubaus ist nach dieser Untersuchung damit zu rechnen, dass die derzeit gegebenen Baunormen und Bautechniken sowie der bestehende Neubaustandard den meisten – zumindest mittelfristigen (ca. 50 Jahre) – Anpassungserfordernissen standhalten können. Die Internationalisierung dieser Bauweisen und -techniken weist ja darauf hin, dass ein guter bautechnischer Standard über ein breites Klimaspektrum hinweg den Anforderungen gewachsen ist. Anpassungserfordernisse werden voraussichtlich in Teilbereichen innerhalb dieses mittelfristigen Lebenszyklus bestehen, können aber wahrscheinlich vielfach innerhalb der existierenden, bewährten Standards abgedeckt werden. So wird möglicherweise in einigen Regionen mit wachsender Gefahr erhöhter Grundwasserstände und periodisch anfallenden Starkregenereignissen mit der Folge intensiv wassergesättigter Böden die Erfordernis zunehmen, auf Keller zu verzichten oder im Erdreich liegende Geschosse gegen drückendes Wasser zu sichern. Probleme dürften häufig dahingehend zu finden sein, dass zurzeit noch bewährte regionale und lokale „Gewohnheiten“ des Bauens teilweise verlassen werden müssen, dass gegebenenfalls Konstruktionen vorsorgend aufwändiger und damit kostenintensiver werden, dass Anforderungen an die Instandhaltung wachsen (z. B. Sturmschäden, temporärer Wasseranriff bei Unwettern) und zunehmend für Extremsituationen Vorkehrungen getroffen werden müssen.

Bei dem Gebäudebestand kann eine dem Neubau vergleichbare technische Leistungsfähigkeit nicht unterstellt werden. Hier müssen für die Zukunft absehbare Schadensfelder identifiziert werden, die sich voraussichtlich regional unterscheiden werden. So wird ein erhöhter Wasseranriff bei bindigen Böden oder hohen Grundwasserständen in den entsprechenden Regionen vermutlich zu einem Problem für die im

Erdreich liegenden Bauteile werden. Keller sind in den meisten Fällen nicht gegen drückendes Wasser abgedichtet – eine nachträgliche Abdichtung ist zwar technisch möglich, aber sehr aufwändig und teuer. In der Vergangenheit wurde bei diesen Gebäuden hingenommen, dass innerhalb mehrerer Jahrzehnte ein Unwetterereignis zu entsprechenden Schäden führen konnte. Das Problem der Zukunft liegt in der potenziellen Häufung dieser Ereignisse. Bei historischen, eventuell denkmalgeschützten Gebäuden kann die Problemlage noch intensiver werden, da hier zum einen Baumaterialien und Konstruktionen zum Einsatz gekommen sind, die unter Umständen empfindlicher auf klimatische Veränderungen reagieren, und zum anderen der Erhalt der ästhetischen und bautechnischen Eigenarten Handlungsspielräume einschränkt. Die Außenhaut von Gebäuden wird von den kommenden Wetterveränderungen am meisten betroffen sein, ist jedoch bei historischen Gebäuden, die von alten Konstruktions- und Handwerkstechniken und entsprechenden Gestaltungsprinzipien geprägt sind, am schwierigsten zu modifizieren. Während es im normalen Bestand weniger problematisch sein dürfte, mindestens die Wetterseite mit einer Vorhangfassade nachträglich zu schützen, beeinträchtigt diese Maßnahme das Erscheinungsbild z. B. eines gründerzeitlichen Gebäudes erheblich (dieser Aspekt ist auch bei der nachträglichen Wärmedämmung historischer Gebäude ein großes Problem und daher im Prinzip bekannt). Die Frage, wie mit historischen Gebäuden verfahren werden sollte, ist sehr komplex und kann im Rahmen dieser Studie daher nur angerissen werden.

Neben der Unterscheidung zwischen Neubau und Bestand ist auch zwischen Bauteilen im Erdreich und Bauteilen über dem Erdreich zu differenzieren. Die betrachteten angreifenden Lasten sind unterschiedlicher Natur und wirken auf unterschiedliche Bereiche: so ist das Thema ‚Wasser/Feuchte‘ für alle Bauteile relevant, die Themen hohe UV-Strahlung, Hitze oder Windlast dagegen nur für die Bauteile über dem Erdreich. Die Intensivierung z. B. der UV-Strahlung kann potenziell für alle Oberflächenmaterialien über dem Erdreich eine Belastung bedeuten, unabhängig davon, ob es sich um Neubau oder Bestand handelt.

Exkurs: Verwertbares Wissen aus alten regionalen Bauweisen

Zur alten Bautechnik

Bauernhäuser waren Wohn- und Zweckbauten zugleich. Bei ihrer Gestaltung spielten neben den funktionalen Anforderungen unter anderem die Bodenbeschaffenheit (bestimmend für die Art der Gründung, Boden als potenzieller Baustofflieferant) sowie die Klimabedingungen eine Rolle. Das Klima hatte direkte Auswirkungen auf das Gebäude, indem es dessen Schutzbedürfnisse definierte, und indirekte Auswirkungen, indem es zusammen mit den Bodenverhältnissen die Vegetation bestimmte und damit einen großen Teil der zur Verfügung stehenden Baustoffe. Das Variantenspektrum der über lange Zeiträume daraus entstandenen Bauformen ist groß und kann hier nur auszugsweise besprochen werden:

In Mitteleuropa waren aufgrund der Klimabedingungen überall feste Wohn- und Wirtschaftsgebäude erforderlich. Das Schutzbedürfnis vor der Witterung war in den Gebirgen höher als in den Tälern, in den östlichen Landesteilen Deutschlands höher als in den westlichen. Da Steinmauern und dicke Holzwände besser isolieren als Lehm-fachwerkwände, wurden sie – sofern die Baustoffe verfügbar waren – in winterkalten Klimazonen bevorzugt. In besonders kalten Zonen (kontinentales und hochmontanes

Klima) wurde ihre Schutzwirkung durch Brennholzstapel vor den Außenwänden und auf dem Dachboden gestapeltes Stroh nochmals unterstützt.

Im südlichen Bayern waren die Blockhäuser im Gebirge mit schweren Langschindeldächern versehen. Die Langschindeln, aus Nadelholz gespaltene Fichtenholzbretter, wurden nicht genagelt, sondern nur mit Latten und Steinen beschwert, die Dächer durften daher nur flach geneigt sein. Im Winter hatte dies den Vorteil, dass der sich in mächtigen Schichten ablagernde Schnee eine zusätzliche Isolierung gegen die Kälte bildete und bei kurzen Tauperioden auch nicht gleich abrutschte.

In Getreide anbauenden Gegenden wurden Strohdächer, in Küstengebieten Reetdächer bevorzugt. Strohdächer waren mindestens 45, eher 60 Grad steil, damit der Regen nicht durch die Strohaufgabe durchsickern konnte. Für den Bau dieser vergleichsweise leichten Dachkonstruktionen wurde weniger Holz gebraucht als für flach geneigte Dächer. Strohdächer, heute noch z. B. im Schwarzwald oder im westlichen Schleswig zu finden, hatten meistens Walme oder zumindest Krüppelwalme, also keine ‚angreifbare‘ große Giebelfläche. Die Dachüberstände waren groß, um den Regen von den nässeempfindlichen Außenwänden (Holz, Lehm) und ggf. den im Bereich der Toröffnungen arbeitenden Menschen abzuhalten. Im Südschwarzwald waren die Dächer der Giebelseiten so weit vorgezogen, dass sogar sturmgetriebene Regengüsse nicht auf die Bohlenwände oder die dort angebrachten Galerien gelangten. Die großen Dachüberstände beeinträchtigten allerdings die Belichtung der Innenräume.

Senkrechte Verbretterungen schützten in einigen Regionen Block- und Bohlenständerwerkwände aus Nadelholz vor Nässe, in anderen Regionen wurden Holzschindeln verwendet oder kürzere Bretter schindelartig verlegt. Die Verlegeart war immer dergestalt, dass der Regen möglichst zügig und sicher ablaufen konnte. Die Schindeln waren nicht gesägt, sondern aus einem Holzklotz gespalten, sodass die Holzfasern nicht verletzt wurden und die Schindeln länger hielten.

Die vor allem in den südlichen Landesteilen verbreiteten Fensterläden ermöglichten es, die Fenster nachts oder bei ungünstiger Witterung zu schützen. In heißen Perioden bildeten sie bei geöffnetem Fenster einen schattenden, luftdurchlässigen und von innen zu verriegelnden Verschluss. In Kälteperioden wirkten sie als Wärmeschutz.

Der Baustoffkanon, der an einem Gebäude zum Einsatz kam, war klein und bestand aus ca. fünf bis sechs Materialien. Verhalten und Qualitäten der Materialien waren bekannt, der geeignete Umgang mit ihnen durch Generationen hindurch entstanden. Veränderungen der erprobten Techniken waren in der Regel gleichbedeutend mit bautechnischer Verbesserung (Wieland 2003).

Auch die Positionierung von Gebäuden zueinander oder im Gelände war nicht zufällig: Nebel- und windbelastete Zonen wurden nicht bebaut, Schutzpflanzungen dienten als Windbrecher, Öffnungen lagen zur Wind abgewandten Seite. In den Gebirgstälern wurden Gebäude so platziert, dass die wertvolle Wintersonne so lange wie möglich genutzt werden konnte. In den von häufigen und schweren Stürmen belasteten Gegenden Jütlands (Dänemark) wurden die Gebäude zu Drei- und Vierseitenhöfen kombiniert, deren Dächer lückenlos aneinander anschlossen, um den Innenhof vor dem Wind zu schützen.

Zur Übertragbarkeit des Wissens

Technische, wirtschaftliche, soziale Rahmenbedingungen und das Komfortbedürfnis haben sich bis heute in einer Weise weiterentwickelt, die sich mit den alten Bauweisen nicht mehr sinnvoll vereinbaren lassen. Dies gilt jedoch nicht für die folgenden Regeln, die den alten Bauten zugrunde lagen:

- Schonender Umgang mit Energie: lange Transportwege durch entsprechende Baustoffwahl vermeiden. Alle im Gebäude angelegten und örtlich vorhandenen Energiesparpotenziale nutzen.
- Wetterschutz, Kälteschutz: klimaangepasste Gestaltung ist vorrangig vor Gestaltung unter rein ästhetischen Gesichtspunkten. Nicht windexponiert bauen, die Schutzfunktion von Dächern nutzen, feucht-unempfindliche Konstruktionen wählen, konstruktiven Holzschutz betreiben. Klimatische Bedingungen bereits bei der Wahl des Bauplatzes und der Positionierung von Gebäuden berücksichtigen.
- Bautechnische Sicherheit: ausgereifte Materialien und Konstruktionen einsetzen, die Vielzahl der Baustoffe in einem Projekt begrenzen, sanierungsfreundlich bauen, regelmäßig das Gebäude überprüfen und pflegen.

Traditionelles Bauen bedeutete, eng an der Natur und zum Teil auch nach dem Vorbild der Natur zu bauen. Alte Kulturen z. B. im heutigen Iran nutzten Windeffekte zur Lüftung und Klimatisierung ihrer Lehmbauten, indem sie durch die Gestaltung des Baukörpers und seiner Öffnungen Druckdifferenzen erzeugten. Der Ansatz, ohne intensiven technischen Aufwand physikalische Zusammenhänge zu nutzen, ist für das Bauen im Klimawandel ebenfalls interessant. Die Bionik als Wissenschaftsdisziplin beschäftigt sich mit diesem Thema. Die Literatur nennt zehn Prinzipien natürlicher Konstruktionen und damit bionischen Designs, darunter die Folgenden mit direktem Bezug zum Thema Bauen (Nachtigall 1997):

- Optimierung des Ganzen statt Maximierung eines Einzelelements
- Multifunktionalität statt Monofunktionalität
- Feinabstimmung gegenüber der Umwelt
- Energieeinsparung statt Energieverschleuderung
- direkte und indirekte Nutzung der Sonnenenergie
- zeitliche Limitierung statt unnötiger Haltbarkeit

Aus der Vergangenheit im Sinne der Vorsorge für den Klimawandel zu lernen, müsste daher auch bedeuten, sich im Rahmen der Bauforschung „systematisch mit der technischen Umsetzung und Anwendung von Konstruktionen, Verfahren und Entwicklungsprinzipien biologischer Systeme zu befassen“.

4 Entwicklungen von genereller Bedeutung

4.1 Hitzewellen

Problembeschreibung

Prognose Klimawandel

Zurzeit ist mit einer Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Extremereignisses vergleichbar mit dem Hitzesommer 2003, nur alle 455 Jahre zu rechnen. Allerdings ändert sich diese Wahrscheinlichkeit bei einer Fortsetzung des derzeitigen Trends der Temperaturen erheblich. Es gibt Prognosen, die davon ausgehen, dass um 2100 alle 5 Jahre eine derartige Hitzewelle eintreten könnte (Jonas et al. 2005, OcCC/Proclim 2007).

Die vorliegenden Prognosen geben an, dass sich die Zahl der Sommertage mit Temperaturen $> 30^{\circ}\text{C}$ und die Zahl der Tropennächte, Nachttemperatur nicht unter 20°C , sich bis 2100 regional teilweise mehr als verdreifachen werden. Besonders betroffen ist der süddeutsche Raum (Umweltbundesamt 2006 u. 2007).

Auswirkungen

In den USA hat eine Auswertung der Daten über wetterbedingte Todesfälle im 20. Jahrhundert ergeben (Laschewski 2005), dass Hitzewellen mit durchschnittlich 1.000 Todesfällen pro Jahr deutlich vor anderen wetterbedingten Todesursachen liegen wie etwa Todesfälle durch Hurrikans (38 bis 62 Fälle pro Jahr) oder Überschwemmungen (100 bis 160 Fälle pro Jahr).

Die Hitzeperiode im Sommer 2003 führte nach Schätzungen zu ca. 3.500 Hitzetoten in Deutschland (Münchener Rück 2004) bzw. nach anderen Schätzungen sogar zu 7.000 Toten, besonders betroffen war Baden-Württemberg mit ca. 2.000 Todesfällen (Koppe & Jendritzki 2004). Eine Auswertung der Todesfälle in Frankreich – Frankreich war bezüglich des Ausmaßes von Todesfällen besonders betroffen – ergab (InVS et al. ohne Jahr), dass neben den eher bekannten Fällen wie

- alte Menschen, 70 % der der Hitzewelle zugerechneten Todesfälle betraf Personen über 75 Jahre alt,
- Menschen, die zurzeit der Hitzewelle in Krankenhäusern, Seniorenanlagen u. Ä. untergebracht waren, ca. 60 % der Todesfälle waren dort zu verzeichnen, und
- Menschen aus Ballungsräumen (in Köln Anstieg der Todesfälle um 17 %),

unter den „Hitzetoten“ auch überproportional viele Personen zu finden waren, für die folgende Wohnsituationen zutrafen. Die betroffenen Personen wohnten

- in den obersten Stockwerken oder in Dachwohnungen sowie
- in schlecht gedämmten Häusern, meist Baujahre vor 1975.

In Großstädten, die sich gegenüber dem Umland bereits als ausgeprägte Wärmeinseln darstellen und die in Extremfällen in den dicht bebauten Stadtgebieten um 10 °C höhere Temperaturen in der Nacht aufweisen können, sind die Belastungen deutlich höher.

Der Sommer 2003 führte zu zahlreichen Klagen von Bürobeschäftigten über zu große Hitze und Sonneneinstrahlung am Arbeitsplatz. Bei Temperaturen über 30 °C ist ein Nachlassen der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung nachweisbar (OcCC/Proclim 2007).

Bewertung

Betrifft in gravierender Weise das Problem Gesundheit und Wohlbefinden. Flächendeckend werden sowohl Neubau als auch Bestand von dem Problem berührt und es betrifft Gebäudegestaltung und -technik in vielfältiger Weise. An einen langsamen Anstieg der mittleren sommerlichen Temperaturen kann sich der Mensch gut anpassen und eine daran langfristig angegliche Bauweise kann auch für die Zukunft ein ausreichendes Wohlbefinden gewährleisten. Problematisch ist dagegen die kurzfristige Anpassung an Hitzewellen. Von medizinischer Seite wird – neben verhaltensbezogenen Maßnahmen – auf die Bedeutung des Raumklimas hingewiesen, um Hitzestress zu vermeiden (von Wichert 2004).

Aus der Sicht des Klimaschutzes ist kritisch eine Entwicklung zu beurteilen, bei der als Reaktion auf den sommerlichen Temperaturanstieg und auf die Hitzewellen auch im Wohnbereich vor allem auf technisierte Kühlungssysteme gesetzt wird, da diese zu einem erhöhten Energieverbrauch führen und somit den Klimaschutzziele entgegenwirken.

Klimafaktor	Besondere Klimateffekte	Besonders betroffene Gebäudefunktionen und -komponenten	Adaptationsbedarf	Bedeutung
Temperatur	Sommerlicher Temperaturanstieg mit längeren Hitzeperioden	Außenhülle Außenwände Dach Fenster Gebäudetechnik	Behagliches und gesundes Raumklima Wärmeschutz „Glasarchitektur“ Tageslichtarchitektur Sonneschutz Lüftung Klimatisierung	hoch

Handlungsvorschläge

Die Bundesländer Baden-Württemberg und Hessen arbeiten an einem beispielhaften Frühwarnsystem, um vor allem Krankenhäuser, Senioreneinrichtungen etc. rechtzei-

tig warnen zu können. Eine gezielte Betreuung von Risikogruppen und Informationen für die Bevölkerung sollen darüber hinaus vorsorgend zu einem angemessenen Verhalten während einer Hitzewelle beitragen. Dies sind sicherlich die wesentlichen Beiträge für eine Reduktion von gesundheitlichen Gefährdungen während einer Hitzeperiode.

Für den baulichen Schutz vor Sommerhitze und zur Sicherung des Raumklimas gelten folgende grundlegenden strategischen Prinzipien, nämlich Reduktion von Wärmelasten und Abführung vorhandener Wärme.

Aus diesen Grundprinzipien resultieren nachstehende Maßnahmen (HBV-Immobilien 2002, Bezirksregierung Arnsberg o. J.):

- Reduktion solarer Einträge durch begrenzte Fensterflächenanteile und sorgfältig abgestimmte Tageslichtarchitektur unter Nutzung
 - von außen liegendem Sonnenschutz
 - Sonnenschutzgläsern
- Reduktion der inneren Wärmequellen
- Speichermassen und Verwendung antizyklischer Latentwärmespeicher
- Nachtlüftung
- Fassaden- und Dachdämmung
- raumluftechnische Anlagen und Einsatz ergänzender technischer Möglichkeiten (z. B. Kühldecken, Kernkühlung u. Ä.)

In Wohngebäuden sollten – nicht nur – aus Gründen des Klimaschutzes natürliche Ventilierungen im Vordergrund stehen. Von den Büro- und Verwaltungsgebäuden sind in Deutschland zurzeit ca. 10 % vollklimatisierte, ein gutes Drittel teilklimatisierte und etwas mehr als 50 % nicht klimatisierte Gebäude. Der Energiebedarf für Gebäudeklimatisierung sollte sich nicht erhöhen, sondern im Gegenteil noch abgesenkt werden. Durch eine optimale Abstimmung von Wärmedämmung, Verglasung, Sonnenschutz und thermischer Masse sind im Normalfall beim Neubau ohne Weiteres Gebäude möglich, die auch bei zunehmender Wärmebelastung im Sommer und ohne konventionelle Klimatisierung ein hochwertiges Innenraumklima sicherstellen können (HBV Immobilien 2002, Voss et al. 2004). Die oben genannten Komponenten stehen im Prinzip auch für eine Nachrüstung im Bestand zur Verfügung, so dass auch hier das anvisierte Ziel ohne Klimaanlage auszukommen, möglich ist.

Für die zukünftige Entwicklung sollte der Nachweis eines ausreichenden Sonnenschutzes prinzipiell vorgesehen werden. Im Wohnungsbau sollte die weitere Entwicklung, vor allem in Bezug auf Fensterflächenanteile und des Einsatzes von Klimaanlagen, genau beobachtet werden.

Kombination von Dämmung und Speicherung

Werden für Fassaden- und Dachdämmung die vorgegebenen und empfohlenen Niedrigenergiehaus- bzw. Passivhausstandards angewendet, dann wird in Wohngebäuden durch die hochgedämmte Außenhülle gleichzeitig auch ein entscheidender Beitrag zum Schutz vor Überwärmung geleistet. Schwere Wände und Böden oder auch der Einsatz neuartiger Materialtechniken, wie zum Beispiel Phase-Change-

Materials (PCM), die mittlerweile sowohl für Innenwände als auch für Außenfassaden zur Verfügung stehen, sind zusätzlich vorzusehen, da sie als Latentwärmespeicher antizyklisch den Innenräumen Wärme entziehen und zurückgeben können und somit zur Vermeidung von Spitzentemperaturen beitragen können. Zur Erläuterung: Latentwärmespeichermaterialien sind Materialien, welche über einen Phasenwechsel, meist fest-flüssig, große Wärmemengen bei kleinen Temperaturänderungen speichern können. Neben dem Namen Latentwärmespeichermaterial wird auch die Bezeichnung Phasenwechselmaterial (englisch: phase change material, kurz PCM) verwendet. PCM müssen in kühlen Nachtstunden entladen werden.

Bei lang anhaltenden Hitzeperioden mit hohen Nachttemperaturen stößt die Leistungsfähigkeit von Massivspeichern, aber insbesondere der Latentwärmespeicher – wirkungsfähig nur in einem engeren Temperaturspektrum und schneller „überladen“ - zwangsläufig an Grenzen. An diesen Beispielen zeigt sich, wie Wärmeschutz zur Energieeinsparung und Schutz vor Überwärmung Hand in Hand gehen können. Konstruktive und technische Entwicklungen, die diese beiden Elemente miteinander verbinden, sind fortzuentwickeln und zu befördern.

Neben Fassaden und Dächern, vor allem wenn diese schlecht gedämmt sind, sind die Fensterflächen der wesentliche Eintrittspunkt für übermäßige Hitze. Das bedeutet, dass sich für Handlungsvorschläge zur Vermeidung von überwärmten Innenräumen Ansatzpunkte bei der architektonischen Gestaltung mit Fensterflächen und dem Tageslicht, bei der einzusetzenden Glas- und Fenstertechnik und bei der Verwendung von stationären oder temporären Verschattungselementen ergeben.

Fensterflächen und Tageslichtgestaltung

Der einfachste Weg, zu starke sommerliche Einstrahlung zu vermeiden, ist die Begrenzung der Fensterflächenanteile, vor allem der nach Osten und Westen und zum Teil nach Süden ausgerichteten Fensterflächen. Die aktuelle Entwicklung verläuft dagegen genau in die gegensätzliche Richtung, denn die Anteile der Fensterflächen pro Gebäude sind in den letzten Jahren stetig angewachsen.

Es existieren bereits Empfehlungswerte für die derzeitigen Klimabedingungen, z. B. dass der Glasflächenanteil bei Bürogebäuden nicht höher als 60 % (HBV-Immobilien 2002) sein sollte. Noch darüber hinausgehen Empfehlungen, die feststellen, dass bei einem Anteil von 40 % ein optimaler Raumkomfort erzielt werden kann (Knissel 2002) oder Empfehlungen, die zwischen Massiv- und Leichtbauweisen unterscheiden (Roaf 2005).

Unter Berücksichtigung der unveränderlichen Einstrahlungswinkel und der jahreszeitlichen Rhythmen – hochsommerliche Einstrahlung nimmt im Jahresverlauf nur ein geringes Zeitfenster ein - können Tagslichtkonzepte aus südlichen Breitengraden nicht ohne Weiteres auf mitteleuropäische Verhältnisse übertragen werden. Die Belichtungskonzepte müssen auf die zwei sehr unterschiedlichen Belichtungszustände ‚bedeckter Himmel‘ (ca. 60 %) und ‚Sonnenhimmel‘ (ca. 40 %) ausgelegt sein. Die Verteilung dieser Anteile und die Dauer der einzelnen Perioden werden sich durch den Klimawandel leicht verschieben aber nicht grundsätzlich ändern. Das bedeutet, dass die Fenster-Geometrie auch in Zukunft bei bedecktem Himmel das verfügbare Tageslicht so gut wie möglich nutzen muss aber gleichzeitig so gestaltet sein sollte, dass sowohl Fenstergröße als auch deren Geometrie vorsorgend Überwärmung

durch zu starke Solareinstrahlung im Sommer vermeiden hilft. Ein flexibler außen liegender Sonnenschutz erscheint unter diesen Optionen als besonders vorteilhaft, wenn eine Windanfälligkeit des Sonnenschutzes vermieden werden kann (Hennings 2007).

Architekten und Ingenieure sind vor dem Hintergrund des Klimawandels hinsichtlich der Themen Fensteranteile („Glasarchitektur“) und Tageslichtgestaltung noch stärker zu sensibilisieren, vorausschauende Planung zu betreiben. Dabei sind die Möglichkeiten, die die Entwicklung der Fenstertechnik und des Sonnenschutzes mit sich bringen, mit einzubeziehen. Allerdings zeigt die tägliche Baupraxis und Bauunterhaltung, dass je komplizierter die Gebäudeausrüstung wird, desto rascher deren Anfälligkeit und Kosten ansteigen können. Aus diesem Grunde sollten Empfehlungen, die Richtwerte für Fensterflächenanteile und für verschiedene Gebäudetypen und Gebäudenutzungen vorschlagen, als Anregung aufgegriffen, systematisch einer Fachdiskussion ausgesetzt und deren Auswirkungen über Modellberechnungen und Modellvorhaben konkret überprüft werden.

Fensterverglasungen

Der Wärmeeintrag über das Fenster wird wesentlich durch die Verglasung bestimmt. Der Effekt von Gewächshäusern ist hinlänglich als Treibhauseffekt bekannt. In den letzten zwei bis drei Jahrzehnten stand in der Entwicklung der Fenstertechnologie jedoch der Wärmeschutz im Mittelpunkt. Vielfältige Wärmeschutz- und Isoliergläser stehen mittlerweile dem Fensterbau zur Verfügung. Mit der zunehmenden Entwicklung der Glasarchitektur hat die Vermeidung sommerlicher Wärmeeinträge an Bedeutung gewonnen und neuere technische Entwicklungen in Richtung von Sonnenschutzverglasungen in Gang gesetzt (Wagner 2007).

Die Sonnenschutzgläser bestehen aus mit hauchdünnen Funktionsschichten versehenen Gläsern, die im Allgemeinen durch einen geringen Gesamtenergiedurchgangswert und hohen Lichttransmissionswert charakterisiert sind.

Die Rosenheimer Fenstertage 2007 und sonstigen letzten Tagungen des Verbandes der Fenster- und Fassadenhersteller zeigen, dass auf der einen Seite das Thema Klimawandel und Fenstertechnologie mittlerweile auch in Deutschland angekommen ist und die Entwicklung der Fenstertechnologie beeinflusst, dass aber auf der anderen Seite die Diskussion hierüber und die Entwicklung der Technologien noch weiterer deutlicher Fortschritte bedarf.

Die Diskussion um effiziente und technologisch optimierte Verglasungen für die Anpassung an den Klimawandel wird dadurch erschwert, dass die Diskussion um Sonnen- und auch Wärmeschutzgläser meist mit dem Für und Wider von Glasarchitektur gekoppelt wird.

Außen liegender und zwischenliegender Sonnenschutz

Vor dem Hintergrund der Vermeidung von Wärmelasten ist ein innen liegender Sonnenschutz in der Regel nicht zu empfehlen. In der Kombination mit einer Sonnenschutzverglasung kann jedoch bei begrenztem Fensterflächenanteil auch ein innen liegender Sonnenschutz eine ausreichende Funktion erfüllen.

Der verstärkte Einsatz von feststehenden Teilen, wie Fenster- und Dachüberstände, Balkone etc. ist zum Zwecke des Sonnenschutzes für viel genutzte Räumlichkeiten nicht zu empfehlen, da sie den Lichteinfall permanent abmindern und die Ausnutzung des Tageslichtes beschränken. Flexible anpassungsfähige Sonnenschutzsysteme sind vorzuziehen (Hennings 2007). Sie sind für die differenzierten und wechselhaften Licht- und Einstrahlungsverhältnisse unserer Breitengrade besser geeignet.

Aus diesen Gründen sollten sich Sonnenschutzmaßnahmen sowohl im Neubau als auch in der Bestandserneuerung zum einen auf außen liegende und zum anderen auf flexible Sonnenschutzsysteme konzentrieren. Bei den außen liegenden Systemen ist darauf zu achten, dass sie nicht windanfällig sind, da ja mit zunehmenden Sturmstärken zu rechnen ist. Gegebenfalls besteht hier Entwicklungsbedarf für entsprechend belastbare Systeme.

Bei Bürohochhäusern sind zunehmend Konzepte zu finden, bei denen der Sonnenschutz zur Vermeidung von Windanfälligkeit hinter der äußeren Glasfront quasi als zwischenliegender Sonnenschutz angebracht wird. Die innere Glasfront besteht in diesen Fällen meist aus einer Wärmeschutzverglasung, vor die dann eine zweite oder gar dritte Glasfront gesetzt wird. Diese mehrschichtige Glasfassade stellt gleichzeitig das Wärmeschutzsystem der Außenhülle dar. Allerdings dürfen die energetischen Verbesserungen solcher Konstruktionen in Bezug auf den Wärme- und Sonnenschutz nicht überschätzt werden, da es andererseits in Bezug auf Energieverbrauch und Nutzerfreundlichkeit vielfältige Kritik an der so genannten Glasarchitektur und der Architektur mit Doppelglasfassaden im Bürobau gibt (Eicke-Hennig 2006).

Sonnenschutzsysteme sind dann nutzerfreundlich, wenn sie den Bezug zur Außenwelt weiterhin ermöglichen, die Orientierung im Raum nicht einschränken, Lüftungsmöglichkeiten nicht behindern und durch den Nutzer aktiv eingestellt werden können (Voss et al. 2005, Schuster 2006). Die im Wohnungsbau verbreiteten Rollläden erfüllen diese Bedingungen nur zum Teil, insbesondere der Bezug zur Außenwelt ist bei herabgelassenen Rollläden mit geringen Spaltöffnungen quasi abgeschnitten. Robuste – auch Sicherheitsansprüchen genügende – und trotzdem verstellbare außen liegende Sonnenschutzsysteme wären in diesen Fällen zukunftsweisend. Als zwischenliegender Sonnenschutz werden auf dem Markt Folien-, Jalousien- bzw. Lamellensysteme angeboten, die im Scheibenzwischenraum von Isoliergläsern angebracht sind.

Die verschiedenen Alternativen sowohl von Verglasungen als auch von Sonnenschutzsystemen müssen unterschiedliche Schutzansprüche abdecken und daraufhin insgesamt überprüft werden. Dies sind: a) Wärmeschutz und Energieeffizienz; b) Sicherheit gegenüber Naturkräften und Einbruch; c) Schutz vor Überwärmung. Letzteres gewinnt zwar an Bedeutung, besitzt aber noch erhebliche Entwicklungspotenziale.

Lüftung und Klimatisierung durch raumluftechnische Anlagen

Aus Gründen des Klimaschutzes ist die Nutzung natürlicher Lüftungs- und Ventilationsysteme zur Minderung von Überwärmung in Gebäuden unbedingt vorzuziehen (Voss et al. 2005, BMVBS & BBR 2007). Die derzeitigen Entwicklungen in den mediterranen Regionen zeigen, dass sowohl als Reaktion auf die zunehmende Wärmebe-

lastung als auch aus Gründen des Komfortanspruch die Verwendung von Klimageräten in Wohngebäuden in den letzten Jahren sprunghaft angestiegen ist. In Italien ist die Zahl der installierten Klimaanlage von etwas über 4 Millionen im Jahre 2000 auf mehr als 10 Millionen im Jahr 2004 angewachsen. Die installierten Klimaanlage haben zudem eine überaus schlechte Energieeffizienz (Silvestrini & D'Apato 2006). Einer derartigen Entwicklung sollte auf jeden Fall vorgebeugt werden.

Die Nachtlüftung, die die nächtliche Abkühlung der Außenluft ausnutzt und die tags aufgespeicherte Wärme aus dem Gebäude abführt, stellt ein sehr einfaches, jedoch wirkungsvolles Prinzip dar. Darüber hinaus existieren besonders für Bürogebäude neben konventionellen Klimaanlage vielfältige Systeme, um Wärmelasten abzuführen bzw. zu reduzieren wie Kühldecken, Kühlbetonkerne etc. Das Grundproblem ist, dass diese Anlagen meist einen hohen zusätzlichen Energieverbrauch haben. Deshalb ist anzustreben, dass diese Techniken sich auf besondere Situationen beschränken sollten.

Als weitere Alternative bietet es sich an, die kontrollierte Wohnungslüftung zur Kühlung zu benutzen. Neben einem kontrollierten Luftwechsel in der Nacht besteht die Möglichkeit Erdwärmetauscher zu verwenden, mit denen Kühleffekte auch am Tag erreicht werden können, indem die warme sommerliche Frischluft zunächst durch das Erdreich geleitet wird und mit Hilfe der dort tieferen Temperaturen um einige Grade kühler im Haus ankommt. Aufgrund des geringen Luftvolumenstroms sind die Verbesserungen jedoch begrenzt.

Der standardisierte Büro- und Wohnungsbau sollte auch in Zukunft durch robuste, einfach anzupassende und nutzerfreundliche Gebäudetechniken gekennzeichnet sein, ohne dabei aber komfortverbessernde Maßnahmen zu vernachlässigen.

Reduzierung innerer Wärmequellen

Haushaltsgeräte, Lampen, Unterhaltungselektronik und Computer sollten aus diesem Grund auch nur wenig Abwärme produzieren. Angesichts der rechnerintensiven Arbeitsprozesse in Bürogebäuden, die schon in derzeitigen Sommerhitzephase unter Kühlungsproblemen bis hin zu Rechnerausfällen leiden, stellt sich die Frage, ob Bürogebäude zukünftig überhaupt ohne eine Klimaanlage auskommen können. An dieser Stelle zeigt sich die Komplexität des Themas: Rechner werden leistungsfähiger und produzieren dabei immer mehr Abwärme, die bereits heute ein Problem darstellt. Vermutlich wird es für die Temperierung von Büro- und Wohngebäuden auch wesentlich sein, ob die Technikhersteller Mittel und Wege finden, das Abwärmeproblem von Rechnern und Haushaltsgeräten zu lösen, ohne den Energiehaushalt von Gebäuden zu belasten.

4.2 Starkregenereignisse

Problembeschreibung

Prognose Klimawandel

Die Verteilung und das Ausmaß von Starkregenereignissen sind schwer prognostizierbar. Es bestehen Voraussagen, dass diese Ereignisse vor allem im Winter zunehmen werden und dass es dadurch zu einer Zunahme von hohen Niederschlags-

summen im Winter kommt (UBA 2005). Einige regionalisierte Prognosen kommen zu leicht widersprüchlichen Aussagen bezüglich einer Zunahme im Winter bzw. Sommer (Enke et al. 2007, Enke 2003 u. 2004).

Die Varianz von Niederschlagsereignissen nimmt offensichtlich mit dem Klimawandel zu, das schließt die Zunahme der Eintrittswahrscheinlichkeit von extrem hohen Niederschlägen (Schwellendefinition > 30 mm pro 24 h) ein. Das bedeutet, es steigt nicht die Anzahl – nach heutiger Klassifizierung – extremer Niederschläge, sondern die Zahl von extremsten Niederschlägen nimmt zu (z. B. Regenmengen > 120 mm pro 24 h).

Auswirkungen

Starkregenereignisse können direkt (z. B. Schlagregen) oder indirekt (z. B. Hochwasser) zu Bauschäden beitragen. Es lassen sich verschiedene Wirkungsbereiche unterscheiden, wie Schlagregen, Dachentwässerung, Rückstau Kanalisation, kurzfristig anstauendes Oberflächenwasser, Hochwasser, Grundwasseranstieg und Erdbeben. Die letzten drei werden weiter unten behandelt, nur die ersten vier Wirkungsbereiche werden im Folgenden berücksichtigt.

Bei allen Problemen mit Starkregen geht es auch um die drohende Durchfeuchtung im Sockelbereich und Keller. Regen und fließendes Wasser können an Natursteinen und steinartigen Baustoffen über mechanische Abtragungen oder durch Quellung von Bindemitteln zu Schäden führen. Fortwährende Wechsel von Durchfeuchtung und Trocknung sind Beanspruchungen, die zu einer Zermürbung führen (Weber 1994). Insbesondere historische Gebäude sind gefährdet, da z. B. bei Sandsteinmauern im Kellerbereich durch die steigende Wasserbelastung im Erdreich (ausgelöst z. B. durch oberflächennahe wasserführende Bodenschichten, versickerungsfähige Straßenbeläge am Sockel bei gleichzeitig nicht ausreichender Oberflächenwasserableitung, schadhafte Kanäle oder Regenleitungen) Bauschäden bis hin zur Einsturzgefährdung entstehen können.

Unterschiedliche Wassersättigung durch einen schwankenden Grundwasserpegel kann bei schweren Böden Hebungs- und Senkungsbewegungen im Baugrund bewirken. Je nach statischem System (z. B. verhält sich Stahlbeton in diesem Fall gutmütiger als Mauerwerk) kann dies zu Setzungsrisen führen.

- *Schlagregen*

Je nach Gebäudehöhe und -form ergeben sich besondere Strömungsverhältnisse und Schlagregenbeanspruchungen. Die dem Wind zugewandte Seite – insbesondere die Gebäudeecken – sind besonders belastet. Der Sockelbereich ist durch Spritzwasser und kurzfristig rückstauendes Oberflächenwasser (s. unten) gefährdet.

Fugen, Risse und Öffnungen sind bei Schlagregen besonders gefährdet. Bauteile werden durch eindrückendes Wasser durchfeuchtet. Mechanische und chemische Folgewirkungen führen zu weiteren Zerstörungen der Bauteile (Frost, Ausblühungen etc.).

Darüber hinaus wird der Wärmeschutz reduziert, das Innenklima belastet, die Entwicklung bauschädigender Pilze und Insekten gefördert etc.

Eine Zunahme von Feuchtebelastungen zum Beispiel durch Schlagregen, der zwischen Holzkonstruktion und Ausfachungen eindringen kann, kann speziell für Fachwerkhäuser ein Problem darstellen. Fachwerkhäuser nehmen mit ca. 2,4 Millionen Gebäuden eine herausragende Bedeutung innerhalb der Gruppe der historischen Gebäude ein.

- *Dachentwässerung*

Sind die Regenrinnen und das Regenfallrohr nicht in der Lage die anfallenden Wassermengen aufzunehmen, dies tritt meist bei Verstopfungen und Brüchen von Rinne und Fallrohr auf, dann schwappt das Regenwasser über und wird „ungeordnet“ abgeleitet. Überlaufende Regenrinnen führen zum einen zu Durchfeuchtungen von Wänden und zum anderen zu Belästigungen von Personen, die unterhalb der Regenrinne das Haus passieren. Bei gut instand gehaltenen Außenwänden sind keine besonderen bauschädigenden Probleme zu erwarten. Bei Fugen und Rissen entstehen Folgewirkungen wie oben unter Schlagregen aufgeführt. Bei Flachdächern kann ein Rückstau zu hohen statischen Lasten führen, so dass leichte Dachkonstruktionen, z. B. Trapezbleche, eingedrückt werden können.

- *Rückstau von der Kanalisation*

Bei Mischsystemen kann durch Rückstau im Kanalnetz Wasser über die Abflussleitungen bis ins Gebäudeinnere, in der Regel Keller bzw. Untergeschoss, zurückgedrückt werden. Bei Trennsystemen staut das Regenwasser im überfüllten Kanal zurück bis über die Rückstauenebene, d. h. es fließt über Straßen, Hofflächen, Wege etc. in tiefer gelegene Areale ab, sammelt sich in Geländemulden oder dringt durch Kellerfenster und -türen in die Gebäude ein. Stehendes Wasser im Keller oder Untergeschoss führt zur Durchfeuchtung von Boden und Wänden, ggf. Ausblühungen und schränkt die Nutzfunktion des Kellers als Lagerraum extrem ein, indem es die dort lagernden Waren und Gegenstände schädigt oder sogar unbrauchbar macht. Da die meisten Kanäle in Deutschland als Mischsystem ausgelegt sind, handelt es sich bei dem Rückstau um entsprechend verschmutztes Wasser. Der Sockelbereich kann bei unzureichender Austrocknung oder bei Frost-Tau-Wechsel nachhaltig geschädigt werden. Nicht nur Putz oder äußere Schichten, sondern auch die Verbundfestigkeit des Mauerwerks können erheblich beeinträchtigt werden.

- *Kurzfristig anstauendes Oberflächenwasser*

Eine besondere Problematik betrifft die Schnittstelle zur Oberflächenentwässerung. Bei Starkregen können neben dem Kanalnetz auch versickerungsfähige Flächenbeläge die anfallenden Mengen häufig nicht schnell genug aufnehmen und abführen, so dass kurzfristige Überflutungen mit zum Teil dramatischen Folgewirkungen auftreten können. Unter dem Aspekt ‚häufige Frost-Tau-Wechsel im Winter‘ ist ein mangelndes Wasseraufnahmevermögen auch bei gefrorenen Böden oder infolge anhaltender Regenfälle stark wassergesättigter Böden denkbar. Durch diese kurzfristigen Überflutungen kann es zu Wassereintritt in Kellerfenster und Türen kommen, wenn diese dagegen nicht ausreichend gesichert sind.

Bewertung

Prinzipiell betrifft das Problem Starkregen alle Gebiete Deutschlands und alle Gebäude. Allerdings sind regional Regenstaugebiete und Ballungsräume besonders gefährdet, da in diesen Gebieten bereits heute überproportional Starkregenereignisse stattfinden. Wie erwähnt wird nicht die absolute Zahl, sondern die Heftigkeit der Ereignisse das Problem sein. Direkte Gefahrpotenziale bestehen nicht (außer in Verbindung mit Stürmen und Dachabdeckungen), jedoch sind Bauschäden in erheblichem Maße möglich. Betroffene Bauteile sind Dach mit Regenrinne und Fallrohr sowie Außenwände und bei Rückstau der Kellerbereich.

Klimafaktor	Besondere Klimateffekte	Besonders betroffene Gebäudekomponenten	Adaptationsbedarf	Bedeutung
Niederschläge	Zunahme von extremen Starkregenereignissen (Schlagregen, > 40 mm pro 24 h)	Außenhülle Dach Außenwand Fenster/Türen Erdreichnahe oder im Erdreich liegende Bauteile Sockelbereich Keller	Verhinderung des Eindringens von Wasser und Feuchtigkeit Dichtigkeit Entwässerung	hoch

Handlungsvorschläge

- *Schlagregen*

Die Schlagregenbeanspruchung wird in drei Klassen eingeteilt, bei der regionale Regen- und Windverhältnisse zu Grunde gelegt werden:

Gruppe 1: unter 600 mm Jahresniederschlagsmenge sowie in windgeschützten Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen

Gruppe 2: 600 bis 800 mm Jahresniederschlag. In windgeschützten Lagen auch in Gebieten mit größeren Niederschlagsmengen gültig.

Gruppe 3: über 800 mm Jahresniederschlag sowie in windreichen Gebieten mit geringeren Niederschlägen

In den Küstenregionen wird wegen der höheren Windgeschwindigkeiten schon ab 700 mm die Gruppe 3 angesetzt. Häuser in exponierter Lage und Hochhäuser werden jeweils eine Beanspruchungsklasse höher angesetzt. Diese Klassifizierung und die Ausweisung der Regengebietszonen sind sowohl im Hinblick auf die Beachtung

der Zunahme potenzieller extremer Einzelereignisse als auch vor dem Hintergrund von klimatischen Verschiebungen zu überarbeiten. Mittelfristige Prognosen sollten die Ausweisung der Zonen mit beeinflussen.

Hinweise für ein klimaangepasstes Bauen bei Schlagregenproblemen können, wie in den Eingangskapiteln erwähnt, von den traditionellen Bauweisen aufgegriffen und angepasst übertragen werden. Traditionelle Gebäude in Gebieten mit vielen Niederschlägen sind zum Beispiel durch weit ausladende oder tief heruntergezogene Dächer mit kleinen Giebelflächen gekennzeichnet. Ebene Verkleidungen und äußere Wandverkleidungen, die das Wasser schnell ablaufen lassen, verringern die Belastung der Fassade.

In Merkblättern über Beschichtungen von Außenverkleidungen, insbesondere auch von Holz-Außenverkleidungen, wird explizit auf das Problem Klimabeanspruchung eingegangen. Es ist auch hier zu überprüfen, ob die regional üblichen Einteilungen (normale und extreme Klimabeanspruchung) in diesen Regionen weiterhin Gültigkeit haben werden. In Regionen, die zukünftig mit höheren Schlagregenbelastungen zu rechnen haben, sind sowohl für Neubau als auch für Erneuerungsmaßnahmen Hinweise und Informationen für eine entsprechende Baukultur zu verbreiten.

Für Fachwerkhäuser, die sich ebenfalls in Regionen mit zukünftig hohen Schlagregenbelastungen befinden, sind spezielle Schutzmaßnahmen zu entwickeln und umzusetzen.

- *Dachentwässerung*

Die Bemessungsgrundlagen für Regenwasserableitungen sind regional ausgelegt. Regenwasserableitungen können in den meisten Fällen jederzeit und mit relativ geringem Kostenaufwand verändert werden, z. B. durch die Wahl größerer Rinnen- und Fallrohrdurchmesser oder durch Anbringung zusätzlicher Speier und Fallrohre, so dass nachsorgende Anpassungen in der Regel unproblematisch sind. Überdimensionierte Rohrdurchmesser sollten vermieden werden, um eine ausreichende Spülung der Rohre gewährleisten zu können. Allerdings ist auch in diesem Fall zu überprüfen, ob eine vorausschauende Bemessung möglich ist, indem bei den Angaben über die örtliche Regenspende auch Prognosewerte berücksichtigt werden. Nach derzeitigem Verfahren werden, wie üblich, die geltenden Werte nur aus den zurückliegenden Regenerereignissen ermittelt.

Eine Möglichkeit, auch mit ‚normalen‘ Fallrohrdimensionierungen intensive Regenspenden zu bewältigen, ist die Pufferung des Regenwassers durch Dachbegrünungen. Dies bietet sich aus konstruktiven, ökologischen, ästhetischen und zum Teil auch aus Kostengründen insbesondere bei Flachdächern an.

Wichtig ist in jedem Fall, dass eine regelmäßige Wartung der Wasser abführenden Systeme erfolgt, um Verstopfungen oder Brüche der Rinnen- und Rohrsysteme und bei Flachdächern übermäßige statische Belastungen zu verhindern, denn das sind die Hauptentstehungsfaktoren für Schäden. Mit der Zunahme von Extremereignissen erhält Wartung und Instandhaltung auch eine zunehmende Gewichtung.

- *Rückstau aus der Kanalisation*

Für kurzfristige Einzelereignisse nach oder während eines Starkregens reichen Rückstauklappen aus, um ein Eindringen von Wasser aus der Kanalisation zu verhindern. In hochwassergefährdeten Gebieten mit längeren Einstauzeiten empfehlen sich weitere Maßnahmen (s. BMVBS 2006).

- *Kurzfristig anstauendes Oberflächenwasser*

Eine gut funktionierende Straßenentwässerung ist zunächst einmal die Grundvoraussetzung, dass Probleme mit kurzfristig anstauendem Oberflächenwasser erst gar nicht entstehen. Die Situation hat sich insofern erschwert und wird sich unter Umständen weiter erschweren, sodass derartige Ereignisse „plötzlich“ an überraschenden Orten und Straßenzügen auftreten, wie Pressemitteilungen in den letzten Jahren zu entnehmen ist.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine gute Vorsorge ist, zu klären, ob vor dem Hintergrund der Veränderung der Regenereignisse – große Regenmengen in kurzer Zeit – örtliche Risikogebiete abgegrenzt werden können. In diesen Gebieten sollten dann, wenn die Straßenentwässerung nur unzureichend angepasst werden kann, Informationen an die Bauherren über Schutz gegen kurzfristige Wasserangriffe verbreitet werden. Kommunale Förderprogramme, Entlastung bei den Erschließungskosten u. Ä. könnten Vorsorgemaßnahmen unterstützen. An gefährdeten Punkten sollte der Grundsatz, Regenwasser aus ökologischen Gründen vor Ort zu versickern, modifiziert werden, indem Notüberläufe mit Anschluss an die Kanalisation generell zugelassen werden und die Rückstauhöhe so auf an Gebäude angrenzende Flächen auf ein verträgliches Maß begrenzt wird.

Für die möglichen Eintrittspunkte Fenster und Türen gibt es entsprechende Angebote auf dem Markt, die kurzfristigen Wasserdruck abwehren können. Gegebenfalls sollte auf eingeschränkte Nutzungen in den Untergeschossen hingewiesen werden.

4.3 Wind

Problembeschreibung

Prognose Klimawandel

Das Klimatelement Wind ist nicht in der gleichen Art und Weise analysierbar, wie es bei der Temperatur und dem Niederschlag der Fall ist. Wind ist hochvariabel auf unterschiedlichsten Zeitskalen, und die Windmessung ist großen Messfehlern unterworfen (UBA 2005).

Die mittleren Windgeschwindigkeiten werden wahrscheinlich nicht zunehmen, sondern die Stärke der Einzelstürme. Das bedeutet, dass Winterstürme in der Qualität wie „Lothar“ (Dezember 1999) und „Kyrill“ (Januar 2007) mit Windgeschwindigkeiten im Flachland von mehr als 100 Stundekilometern und im Küstenbereich um die 150 Stundenkilometer vermehrt auftreten werden.

Hinzu kommen örtliche Tornados. Tornados sind Wirbelstürme, die entstehen, wenn kalte Luft in der Höhe und feuchtwarme Luft am Boden zusammentreffen und eine Windscherung hinzutritt (Unterschiede der Windrichtung und Windgeschwindigkeit bei den unterschiedlichen Luftschichten). 20 bis 30 Tornados werden jährlich auch in Deutschland gemeldet. Es wird eine zunehmende Tendenz wahrgenommen (Focus 17.01.2007).

Auswirkungen

Sturmereignisse mit hohen Windgeschwindigkeiten können zur Abdeckung von Dächern mit nachfolgenden Zerstörungen der obersten Stockwerke und zur Beschädigung von Außenverkleidungen bzw. -anlagen führen. Sturmschäden an Fassadenverkleidungen (anders bei Hagelschäden s. unten) stellen eher die Ausnahme dar und sind in der Regel auf fehler- oder schadhafte Befestigungen zurückzuführen.

Der durchschnittliche Schaden für einzelne Gebäude durch Sturmereignisse beträgt zwischen 1.000 und 2.000 Euro (Münchener Rückversicherung – persönliche Mitteilung). Die Schäden treten meist an der Außenhülle auf: Dachziegel ggf. Dachstuhl, Fassaden, Fenster, Rollläden und Außenanlagen, wie Satellitenschüsseln und Antennen. Strukturelle Schäden oder der Zusammenbruch von ganzen Gebäuden sind in Deutschland auf Grund der vorherrschenden Massivbauweisen äußerst selten (CEDIM 2007).

Windgeschwindigkeiten auf der einen und Qualität und Instandhaltung der Gebäudeteile auf der anderen Seite spielen eine wesentliche Rolle, ob Schäden auftreten und in welchem Ausmaß diese vorkommen. Auswertungen von Sturmschäden aus dem United Kingdom kommen zu dem Ergebnis (Loss Prevention Council 1998), dass in Schottland bei gleichen und höheren Windgeschwindigkeiten weniger Schäden eintreten als im Süden von England. Auch für Deutschland wurde festgestellt, dass in Regionen, die traditionell hohen Windbelastungen ausgesetzt sind, auch bei extremen Sturmereignissen geringere Schäden festzustellen sind (Heneka 2006). Diese Ergebnisse werden mit der dem Windklima angepassten Bauweise erklärt.

Bewertung

Zunehmende Sturmbelastungen und Sturmschäden stellen ein hohes Gefährdungspotenzial nicht nur für Gebäude, sondern auch für Bewohner und Personen im Umfeld der Gebäude dar. Die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Sturmstärken in unseren Regionen und damit die Entwicklung des Gefährdungspotenzials sind noch nicht gut darstellbar.

Wie oben erwähnt, sind vor allem die Gebäudeteile des Daches und sonstige Zusatzeinrichtungen und Auskragungen am Gebäude betroffen. Es kommt häufig auch zu Kettenwirkungen. Das heißt zum Beispiel, dass Ausgangspunkt des Windangriffes die Satellitenschüssel ist, die sich dann aus der Verankerung löst und dabei Dachziegel über die Verankerung oder durch Aufschlag mit zerstört. In der Folge kann der Wind weitere Dachziegel abheben und so weiter und so fort.

Da von einer Zunahme der Anzahl und Stärke insbesondere von Winterstürmen im gesamten Raum Deutschland ausgegangen wird, ist dieses Thema von großer Bedeutung. In Gebieten, in denen bereits jetzt relativ häufig hohe Windgeschwindigkeiten vorkommen, dürfte die Schadenswahrscheinlichkeit nicht wesentlich ansteigen (Loss Prevention Council 1998). Problematisch dürften die bisher wenig winterprobten Regionen und Örtlichkeiten sein, bei denen es bezüglich dieses Klimafaktors zu größeren Veränderungen kommt. Voraussagen sind hierzu, wie oben erwähnt, nur schwer zu treffen.

Klimafaktor	Besondere Klimateffekte	Besonders betroffene Gebäudekomponenten	Adaptationsbedarf	Bedeutung
Wind	Zunahme starker Winterstürme	Außenhülle Dach Außenanlagen (Satellitenschüsseln, Jalousien, Pergolen u. ä.) Fassadenverkleidung	Windfestigkeit von Dächern und Außenanlagen zum Teil Windfestigkeit von Fassaden	mittel bis hoch
	Lokale Tornados			unklar und nur lokal begrenzt

Handlungsvorschläge

Einflüsse auf die Windlasten eines Gebäudes haben:

- Lage des Bauwerks
- Gebäudehöhe
- Gebäudeform
- Luftdurchlässigkeit der Gesamtkonstruktion
- Gebäudeöffnungen
- Struktur der Dachfläche
- örtliche Windverhältnisse

Deutschland ist in vier Windlastzonen unterteilt, für die unterschiedliche Annahmen über die Windlasten gelten (ZDVH 2001). Es existieren einfache Berechnungshilfen und Tabellen für eine Prüfung, ob unter den derzeitigen Bedingungen und bei Zuordnung zu den entsprechenden Windlastzonen Befestigungen notwendig sind oder nicht. Zum Beispiel sind diese Berechnungshilfen in den Fachregeln für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen in dem Kapitel „Zusatzmaßnahmen zur Windsogsicherung“ des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) zu finden. Einzelne Hersteller von Dachziegeln bieten einfache EDV-Programme hierzu an. Kritische Punkte am Gebäude sind die Windsogbelastungen

an den Ecken und Kanten von Dächern. Kompakte Bauweisen bieten in der Regel weniger Angriffsflächen für den Wind.

Auf Grund der Zunahme von Sturmereignissen liegen bereits Vorschläge für eine Neuaufteilung der Windlastzonen vor, z. B. vom ZDVH. Allerdings handelt es sich auch hier um statische Festlegungen auf Basis zurückliegender Ereignisse. Es fehlt eine Ausrichtung auf eine auf solide Prognosen gestützte Auslegung unter Beachtung möglicher zukünftiger Entwicklungen. In diesem Fall müssen die kleinräumigen Prognosen für den Klimafaktor „Wind“ in ihren Aussagen stabil und über hohe Wahrscheinlichkeiten abgesichert sein. Dies ist für Umsetzung möglicher und sinnvoller Vorsorgemaßnahmen von entscheidender Bedeutung.

Die Befestigung der Dachziegel und Dachsteine mit Sturmklammern bzw. deren Verschraubung stellen einfache und wirkungsvolle Sicherungsmaßnahmen vor Sturmschäden dar. Bei Neubau und Dachsanierung sollte dies, da die Zusatzkosten hierfür gering sind, gleich von vornherein in den Gebieten vorgesehen werden, die nicht nur aktuell, sondern auch mittelfristig – am besten orientiert am üblichen Erneuerungszyklus von Dachdeckungen – unter zunehmenden Sturmbelastungen zu leiden haben werden. Entsprechende prognosebezogene Zonierungen müssten als Informationshilfe angeboten werden.

Einbauteile, wie dachintegrierte Photovoltaikanlagen oder Thermokollektoren, sind dann am wenigsten windgefährdet, wenn sie im Grundprofil der Dachdeckung besonders ähnlich und in diese gut integriert sind.

Sturmschäden sind vor allem dann aufgetreten, wenn bei bestehenden Gebäuden Qualität und Wartung der gegenüber Windangriffen sensiblen Gebäudeteile nicht hinreichend waren. Aus diesem Grunde ist verstärkt auf diesen Zusammenhang hinzuweisen und durch Informationshilfen Bauherren darauf aufmerksam zu machen, den Zustand der Dachziegel, Fassaden etc. regelmäßig auf Windfestigkeit zu überprüfen und festgestellte Mängel sofort zu beheben.

Auch sollte auf die Windanfälligkeit von Außenanlagen, wie Satellitenschüsseln hingewiesen und Informationshilfen für eine windgeschützte Installation gegeben werden. Techniker, die derartige Anlagen installieren, sollten entsprechend geschult werden.

Regionalisierte Risikokarten, die über die groben Darstellungen der Windlastzonen hinausgehen, können die Informationsqualität noch wesentlich verbessern. Für Baden-Württemberg liegt beispielsweise eine differenzierte Risikokarte für Gebäudeschäden vor (Heneka 2006). Es ist zu prüfen, inwieweit solche Risikokarten flächendeckend erstellt werden können (z. B. auch mit Unterstützung der Versicherungswirtschaft) und mit regionalisierten Klimaprognosen verknüpft werden können.

4.4 Hagel

Problembeschreibung

Prognose Klimawandel

Zwischen 1983 und 2003 hat sich die Anzahl großer Hagelzüge zum Beispiel in der Schweiz (Zugbahnlänge > 100 km) verdoppelt. Die großen Hagelzüge verursachen Hagelkörner mit großem Durchmesser. Prognosen über die Entwicklung von Hagelzügen sind bisher nicht zu finden. Einzelne Regionen, zum Beispiel in Baden-Württemberg, melden ein vermehrtes Auftreten von extremen Hagelschlagereignissen.

Auswirkungen

Hagelkörner schädigen empfindliche Dach und Fassadenmaterialien wie zum Beispiel Kunststoffe, Bleche und Außendämmungen. Beschattungselemente, insbesondere Markisen, sind allgemein sehr empfindlich gegenüber der Einwirkung durch Hagel. Bei starkem Hagelschlag kommt es neben Ziegelschäden zu Zerstörungen von Dachfenstern, in wenigen Fällen auch von Solaranlagen und zum Teil sind wetterseitige Fenster betroffen.

In der Regel ist die kinetische Energie der Hagelkörner so gering, dass nur leichte Schäden, zum Beispiel Abplatzen von Farbe, auftreten. Da auch beim Hagelschlag mit zunehmenden Extremereignissen zu rechnen ist und Hagelkorngrößen mit deutlich über 1 cm Durchmesser vermehrt auftreten können, ist auch mit stärkeren Schäden zu rechnen.

Bewertung

Durch eine zunehmende Hagelschlagfähigkeit können in einzelnen Regionen Häufungen von Schäden auftreten. Die Schäden sind bei Extremereignissen zwar regional begrenzt, dort aber erheblich. Versicherungen übernehmen in der Regel nach wiederholtem Hagelschlag nicht mehr die Schadenskosten.

Klimafaktor	Besondere Klimateffekte	Besonders betroffene Gebäudekomponenten	Adaptationsbedarf	Bedeutung
Niederschläge	Zunahme von starkem Hagelschlag	Außenhülle Dachdeckung Dachanlagen Fassade Fenster	Schlag- bzw. Bruchfestigkeit	lokal und regional hoch

Handlungsvorschläge

In der Schweiz konnte das Ausmaß der Schadensfälle durch Neubestimmung der Hagelschlagzonen und Heraufsetzung von Schwellenwerten deutlich abgesenkt werden. Einsatz von widerstandsfähigen Fassaden, schlagfestem Glas bei Dachfenstern, Vermeidung von empfindlichen Auskragungen und regelmäßige Wartung vermindern das Risiko von Schäden erheblich.

Auch hier gilt es, durch rechtzeitige Informationsbereitstellung sowie durch eine Erarbeitung von Hagelzonenkarten, sofern berechenbare Hagelzonierungen für Deutschland möglich sind, und durch eine regelmäßige Anpassung der Hagelzonen an aktuelle und zukünftige Entwicklungen, vorsorgende Maßnahmen bei Planung und Instandhaltung anzuregen.

5 Entwicklungen mit noch unklaren Folgen

5.1 Zunahme von feuchten Wintern

Problembeschreibung

Prognose Klimawandel

Eine Zunahme der winterlichen Niederschläge um 30 % wird prognostiziert. In bestimmten Regionen kommt es sogar zu Zunahmen von 70 – 80 %. Hiervon sind vor allem die Mittelgebirgsregionen betroffen. Allerdings bedeutet dies nicht, dass die Anzahl von Niederschlagstagen zunimmt, sondern dass vor allem die Stärke einzelner Regenfälle zu diesem Anstieg beiträgt. Der Rückgang von Eis- und Frosttagen bedeutet gleichzeitig, dass die Zahl trockener, kalter Wintertage zurückgehen wird und die Winter durch eher gleichbleibend feuchte und milde Witterung charakterisiert sein werden.

Die Wahrscheinlichkeit, dass es mit dieser Entwicklung auch zu einer Erhöhung der durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit im Winterhalbjahr kommt, wird eher als gering beurteilt. Die derzeitigen Prognosen erlauben keine sicheren Aussagen in die eine oder andere Richtung.

Auswirkungen

Es ist noch vollständig unklar, welche Folgen diese Verschiebung auf Baumaterialien und Gebäudetypen, zum Beispiel auf Holzhäuser und auf die historische Bausubstanz (z. B. Fachwerkhäuser) haben wird, da nicht abzusehen ist, ob es auf Grund dieser klimatischen Veränderungen letztendlich zu einer stärkeren und länger anhaltenden Durchfeuchtung von Gebäuden kommen kann oder nicht. Es ist denkbar, dass es in einzelnen bisher noch froststarken Regionen in Bezug auf die oben genannten Gebäudetypen zu erheblichen Problemen kommen kann.

Diese Probleme könnten insbesondere bei organischen Baustoffen zu spüren sein, in erster Linie wäre hier der Baustoff Holz zu nennen. Untersuchungen an Beispielen aus Regionen, in denen vergleichbare klimatische Entwicklungen bereits jetzt nachvollzogen werden können (Südchile, Teile von Russland), weisen auf mögliche Problemsituationen hin. Demzufolge würden unverträgliche, aus einer Zunahme der relativen Luftfeuchte resultierende Feuchtebelastungen, zu Fäulnisschäden führen. Die Anforderungen an die biologische Beständigkeit von Holz und den konstruktiven und chemischen Holzschutz müssten erhöht werden. Gegebenenfalls wären traditionell verwendete Holzarten langfristig nur noch bedingt einsatzfähig und müssten durch Alternativen ersetzt werden. Alte Fassadenkonstruktionen mit Holzanteil, wie z. B. Fachwerk, wären voraussichtlich besonders betroffen (Ergebnisse eigener Expertenbefragungen).

Frost-Tau-Wechsel greifen das Material ‚Stein‘ an. Eine Verlängerung der Perioden mit häufigen Frost-Tau-Wechseln wird den Verschleiß von Steinmaterialien beschleunigen. Wenn Wände durchfeuchten und dann gefrieren, entstehen Frostschäden in Form von Rissen, die die Verbundfestigkeit des Mauerwerks herabsetzen bis hin zur Verminderung der Standfestigkeit des Gebäudes. Betroffen sind vor allem

Sockelzonen von Gebäuden, die nicht ausreichend gegen Feuchtigkeit geschützt sind.

Bewertung

Das Problem ist in seinen Auswirkungen noch nicht abschätzbar, kann aber durchaus und nicht nur regional zu einem gewichtigen Problemfeld werden.

Holz ist ein Werkstoff, der in historischen Gebäuden vielfach und seit einigen Jahren auch vermehrt wieder für moderne Wohngebäude eingesetzt wurde bzw. wird. Der Baustoff wird vielseitig neben Fenstern, Türen, Balkonen, Decken-, Wand- und Dachgebälk auch als Fassadenbekleidung zum Einsatz gebracht. Das Verhalten dieses zentralen Baustoffes unter den Bedingungen des Klimawandels ist sorgfältig zu beobachten.

Klimafaktor	Besondere Klimateffekte	Besonders betroffene Gebäudekomponenten	Adaptationsbedarf	Bedeutung
Luftfeuchtigkeit	Zunahme feuchter milder Winter	Feuchteempfindliche Bauteile und Baumaterialien Holzbauweisen Historische Bausubstanz	Konstruktiver Bauteilschutz oder Oberflächenschutz Holzbauteile	unklar, zurzeit eher gering wenn Anstieg relativer Luftfeuchte, dann hoch bei historischer Bausubstanz u. U. hoch

Handlungsvorschläge

Konkrete baubezogene Handlungsvorschläge lassen sich zurzeit nicht näher darstellen. Da auf der einen Seite die möglichen Auswirkungen und Gefährdungspotenziale noch nicht abschätzbar sind, aber auf der anderen Seite ein hohes Schadenspotenzial bei Eintreten von möglichen Folgewirkungen besteht, sollte dieser Problembereich einer genauen Beobachtung und weiteren wissenschaftlichen Analyse ausgesetzt werden. Gegebenenfalls können Untersuchungen in Ländern mit entsprechenden Klimabedingungen zur Klärung der zu erwartenden Schäden und der Entwicklung von Gegenmaßnahmen beitragen. Im Gegensatz zu den meisten oben genannten Handlungsfeldern kann in diesem Feld weniger auf bereits vorhandenes Erfahrungswissen und auch vorhandene gute Bauqualitäten und Bautechniken in Deutschland verwiesen werden.

5.2 Längere Sonneneinstrahlung im Sommer

Problembeschreibung

Prognose Klimawandel

Eine Zunahme der Strahlungstage im Sommerhalbjahr auf Grund geringerer Bewölkungen ist wahrscheinlich. Allerdings bewegt sich diese Zunahme auf einem geringen Niveau, das heißt, die Gesamtzahl der Sonnenstunden erhöht sich nur um sehr wenige Stunden.

Auswirkungen

Dem Sonnenlicht exponierte Bauteile werden einer erhöhten Einstrahlung ausgesetzt und sind diese ungeschützt, kommt es zu frühzeitigen Schädigungen der verwendeten Materialien. Die mit der erhöhten Sonnenscheindauer einhergehende Hitzebelastung bei Bewohnern und Nutzern von Gebäuden ist oben im Kapitel „Hitzewelle“ betrachtet worden. Da nur mit einer geringen Zunahme der Sonnenstunden zu rechnen ist, dürften auch keine besonderen Folgewirkungen zu erwarten sein. Durch diese Zunahme kann als positiver Effekt die Leistungsfähigkeit von Solaranlagen zunehmen. Entscheidend ist jedoch hierbei die ganzjährige Strahlungsbilanz von direkter Einstrahlung und diffusem Licht.

Bewertung

Auf Grund der geringen Zunahme an Sonnenstunden gibt es keine wesentlichen Auswirkungen.

Klimafaktor	Besondere Klimateffekte	Besonders betroffene Gebäudekomponenten	Adaptationsbedarf	Bedeutung
Sonnenscheindauer	Sommerliche Einstrahlung	Lichtempfindliche Bauteile und Baumaterialien der Außenhülle Außenwand Dach	Licht- bzw. UV- Beständigkeit	gering

Handlungsvorschläge

Es sind beim derzeitigen Stand der Prognosen keine besonderen Vorsorge- und Anpassungsmaßnahmen notwendig.

6 Veränderungen lokaler und regionaler Bedingungen

Im Folgenden werden nicht direkte Wirkungen des Klimawandels betrachtet, sondern Wirkungen, die erst über klimabedingte Veränderungen von Standortverhältnissen, genauer ausgedrückt des Baugrundes, zum Tragen kommen. Es handelt sich eigentlich nur um einen Wirkungsweg, nämlich Modifikationen des Bodenwasserhaushalts und der Bodenstruktur auf Grund veränderter Niederschlags- und Grundwasserverhältnisse. Dabei sind folgende Standorte im besonderen Maße betroffen

- Hanglagen,
- Gebiete mit quellfähigen Böden (Tonböden),
- Gebiete unter Grundwassereinfluss,

für die dann plötzlich „neuartige“ Probleme, nämlich Instabilitäten des Baugrundes festgestellt werden. Diese Standortprobleme sind im Wesentlichen auf der raumordnerischen und stadtplanerischen Ebene zu bewältigen. Allerdings gibt es auch immer wieder lokal sehr begrenzte Einzelercheinungen. Aus diesem Grunde wird hier kurz auf diese Problematik eingegangen.

Problembeschreibung

Prognose Klimawandel

Der Klimawandel führt zu lokalen Veränderungen der Niederschlagsverhältnisse. Hohe Niederschlagsmengen oder starker Wechsel von wassergesättigten zu stark trockenen Böden und umgekehrt können an Standorten auftreten, für die bisher nur moderate Niederschlagsverhältnisse und relativ gleich bleibende Bodenverhältnisse bekannt waren. Erst eine Verschneidung regionaler kleinräumiger Klimaprognosen mit lokalen besonderen Standortverhältnissen ermöglicht die Identifikation entsprechender Risikostandorte. Diese sehr kleinräumigen Prognosen und Verknüpfungen liegen bisher kaum vor.

Auswirkungen

Die Gefährdungen beschränken sich auf lokale Besonderheiten. Besonders dramatisch sind Instabilitäten von natürlichen oder künstlich erzeugten Hangsituationen (Vivian et al. 2005), die zu Totalzerstörungen einzelner Gebäude führen können (große Erdbeben werden hier nicht betrachtet). Entstehen bei quellfähigen Böden starke Bodenbewegungen, treten Setzungsrisse auf. Letztlich kann durch Entstehung oder Zunahme von Schichtwasser und Anstieg des Grundwasserspiegels Wasser in Keller- und Untergeschosse eindringen bzw. das Mauerwerk durchfeuchtet werden.

Bewertung

Begrenzte lokale Wirkungen, die aber in Einzelfällen erhebliche Schäden verursachen können. Unklar ist, ob Meldungen der Presse oder Anfragen von Betroffenen an Ingenieurbüros über derartige Schäden zugenommen haben oder nicht.

Klimafaktor	Besondere Klimateffekte	Besonders betroffene Gebäudekomponenten	Adaptationsbedarf	Bedeutung
Niederschläge	Veränderungen des Bodenwasserhaushalts	Bauteile im Erdreich Fundamente Keller	Standfestigkeit Dichtigkeit	Allgemein gering bei Sonderstandorten u. U. hoch

Handlungsvorschläge

Der Bedarf und die Notwendigkeit nach derartigen kleinräumigen Verschneidungen von Klimaprognosen und besonderen Standorten sind noch zu prüfen.

Bei der Ausweisung von Baugebieten sollte grundsätzlich auf die Erschließung gefährdeter Standorte verzichtet werden – alte Flurnamen weisen oft darauf hin, welchen natürlichen Belastungen das betreffende Areal in der Vergangenheit einmal ausgesetzt war. Bei Neubauten an solchen potenziellen Risikostandorten sollten grundsätzlich ausreichende Dränagen vorgesehen und Fundament und Mauerwerk des Kellergeschosses entsprechend ausgelegt und geschützt werden. Dabei kann sich nicht, wie bereits erwähnt, auf bisherige Erfahrungen verlassen werden. Dann bleiben Bauherren Überraschungen erspart wie: „Das war ja in den letzten 30 Jahren noch nie der Fall gewesen, seit dieses Gebiet Baugebiet ist“.

Bei bestehenden Gebäuden ist in der Regel, bezogen auf alle drei Gefährdungssituationen, über nachträgliche Dränagen und Abdichtungen das Problem zu lösen. Dies ist zwangsläufig kostenträchtiger, als wenn eine entsprechende Vorsorge bereits beim Bauen getroffen worden wäre. In Hangsituationen sind unter Umständen zusätzliche bautechnische Maßnahmen der Hangsicherung (z. B. Einbau von Rutschschwellen) zu ergreifen.

7 Zwischenzeitliche Effekte des Klimawandels: Veränderung von Schneelasten

Problembeschreibung

Prognose Klimawandel

Die erhöhten Winterniederschläge werden trotz steigender Temperaturen teilweise weiterhin als Schnee fallen. Dabei ist der Effekt zu beachten, dass feuchter Neuschnee ein vierfach höheres Eigengewicht aufweist, als trockener Pulverschnee (s. folgende Tab.). Auf Grund der Temperaturentwicklung ist gerade in der mittelfristigen Entwicklung – bevor die Winter „wirklich“ warm werden - in bisher kalten Regionen mit hohen Schneefallraten feuchten Schnees und damit deutlich höheren Schneelasten zu rechnen, die insbesondere bei einer Akkumulation und Verdichtung des Schnees zu Lastproblemen führen können.

Auswirkungen

Die Akkumulation und Verdichtung des Schnees kann zu Lastproblemen bei Dächern und damit zu Dacheinstürzen führen. Zusätzliche Effekte wie zwischenzeitliche Eisbildung – insbesondere bei schlecht wärmedämmten Dächern - unterhalb der Schneedecke durch dem Schneefall vorangegangene Regenfälle können die Lasten für das Dach weiter erhöhen. Wie der Winter 2005/2006 zeigte, können trotz normengerechten Bauens Hallendacheinstürze mit Todesfolgen die Folge sein (Bad Reichenhall, Waldstatt).

Veränderung der Schneedichte

	Dichte [in Kilogramm pro Kubikmeter]
trockener Pulverschnee	30 bis 50
normaler Neuschnee	50 bis 100
feuchter Neuschnee	100 bis 200
trockener Altschnee	200 bis 400
feuchter Altschnee	300 bis 500
Firn	500 bis 800

Bewertung

Das Problem kann regional begrenzt in Gebieten auftreten, in denen starker Schneefall üblich ist, zum Beispiel im Bayerischen Wald. Hinreichend genaue Prognosen über die zeitliche Entwicklung von Menge und Konsistenz von Schneefällen liegen sowohl kleinräumig als auch großräumig nicht vor, so dass über die Dimension des Problems keine Aussagen möglich sind.

Klimafaktor	Besondere Klimateffekte	Besonders betroffene Gebäudekomponenten	Adaptationsbedarf	Bedeutung
Niederschläge	Zwischenzeitliche Zunahme feuchter Schneefallmengen	Dach	Schneelastsicherheit	In den nächsten Jahrzehnten in einzelnen Regionen hoch

Handlungsvorschläge

Die zu erwartende Schneelast ist ein wichtiger Faktor bei der statischen Berechnung von Gebäuden und insbesondere von Dachkonstruktionen. In Deutschland hängt die anzusetzende Schneelast von drei Faktoren ab (DIN 1055-5):

- Lokale Klimazone: Die lokalen Klimazonen werden über die so genannte Schneelastzonenkarte erfasst. Diese Karte soll die historisch maximale Schneeintensität widerspiegeln. Für Deutschland werden vier Schneelastzonen unterschieden.
- Topografische Höhe: Um auch der wachsenden Schneegefährdung in höheren Lagen gerecht zu werden, ist die topografische Höhe als weitere Einflussgröße zu berücksichtigen.
- Dachneigung: Weiterer modifizierender Einflussfaktor ist die Dachneigung, die über einen Formbeiwert in die Ermittlung der Schneelast auf einem Dach eingeht. Je flacher das Dach, desto höher muss die Tragfähigkeit des Gebäudes sein.

Die Karten und Annahmen müssen gerade in Bezug auf die mittelfristige Klimaentwicklung angepasst werden.

Das Beispiel des Dacheinsturzes in Bad Reichenhall zeigt, dass Materialverwendung (Leim, der bei Feuchtigkeit an Klebefähigkeit verliert) und ausreichende Instandhaltung wichtige Faktoren sind, um Sicherheit zu gewährleisten. Die Münchener Rück hält in ihrem Bericht 2006 fest: „Dies passt zu den Erkenntnissen aus den zahlreichen Gutachten anderer Halleneinstürze und weiterer vom Einsturz bedrohter Gebäude. Die Überlasten aus Eis und Schnee waren zwar Auslöser, jedoch liegen die wirklichen Schadenursachen meist in Konstruktions-, Ausführungs- und Materialfehlern oder in mangelhafter Wartung der Hallen.“

Neuralgische Punkte in Tragwerken müssen regelmäßig kontrolliert werden. Dies setzt voraus, dass die zu prüfenden Elemente sichtbar bleiben und nicht eingebaut bzw. verkleidet werden, was bei zukünftigen Planungen stärker berücksichtigt werden sollte.

8 Schlussfolgerungen

Allgemein

Bauplanung, -technik und -ausführung haben in Deutschland einen hohen Standard und sind für unterschiedlichste Klimabeanspruchungen ausgelegt bzw. können an diese angepasst werden. Viele Effekte des bereits aktuell stattfindenden als auch des bevorstehenden Klimawandels auf den Bereich Bauen lassen sich innerhalb dieses Standards bewältigen. Dennoch besteht besonders für die Zunahme von heute noch als Extremereignisse angesehene Klimafolgen Anpassungsbedarf. Zu diesen heute noch besonderen und in Zukunft wahrscheinlich regulären Ereignissen gehören: ausgeprägte Hitzewellen im Sommer, Starkniederschläge im Winterhalbjahr, Zunahme von Winterstürmen und beides mit Begleiterscheinungen wie extremer Schlagregen, Hagel und ungewöhnliche Windböenstärke.

Das Klima in Deutschland wird auch in Zukunft durch einen Wechsel der Jahreszeiten bestimmt sein. Im Winterhalbjahr wird weiterhin Heizungsbedarf bestehen, auch wenn sich dieser Bedarf auf Grund steigender Temperaturen wahrscheinlich leicht verringern wird. Dagegen wird in der Gebäudeplanung und Gebäudetechnik eine stärkere Anpassung an höhere durchschnittliche Sommertemperaturen und zwischenzeitlich längere Hitzeperioden notwendig sein.

Sofern ein guter Wärmeschutz, Einplanung von Verschattungselementen, 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 vorliegen, werden Überwärmungsprobleme in Gebäuden weitgehend vermieden und technische Anlagen zur Klimatisierung, vor allem im Wohnungsbau, nicht benötigt. Klimaschutz und Anpassungsstrategie ergänzen sich in diesem Fall. Bei einem guten Wärme- bzw. „Kälte“schutz und den oben genannten weiteren Maßnahmen gibt es auch keine ausgeprägten Temperaturzonierungen innerhalb des Gebäudes. Der Grundriss ist vielseitig nutzbar.

Kontrollierte Lüftungssysteme werden neben der Sicherstellung einer ausreichenden Luftwechselrate in Zukunft eine darüber hinausgehende doppelte Funktion übernehmen müssen. Es besteht wahrscheinlich der zukünftige Bedarf, dass die Frischluft, z. B. über Erdwärmetauscher, im Winterhalbjahr nicht nur erwärmt, sondern im Sommer bei Hitzeperioden herabgekühlt werden kann.

Die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit von Baustoffen gegenüber extremeren Witterungsbedingungen wird vermutlich in Zukunft stärker zur Entscheidung für oder gegen bestimmte Konstruktionen und Materialien beitragen. Beim Neubau sind zukunftsorientierte Planungen mit neuen Materialien und Konstruktionen umsetzbar. Beim Bestand ist dieses nicht so ohne weiteres möglich. Der Bestand ist sehr heterogen und die Bewältigung der klimabedingten Probleme komplexer. Historische Gebäude stellen dabei ein besonders schwieriges Problemfeld dar.

Auch im Bestand werden die meisten klimabedingten Probleme mit Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen bewältigt werden können. Möglicherweise werden Faktoren wie ‚Anfälligkeit bezüglich Regen und Feuchte‘ oder ‚Schadenspotenzial bei Stürmen‘ neben Aspekten wie ‚Wärmedämmstandard‘, ‚Standort‘, ‚Grundrissqualität‘

etc. für Bestandsgebäude zu Wert bestimmenden Merkmalen werden, die über ‚Verkauf oder Nichtverkauf‘ bis hin zu ‚Erhalt oder Abriss‘ entscheiden. Welche Auswirkungen dies z. B. auf den Werterhalt und Fortbestand historischer Gebäude – insbesondere der Fachwerkbauten – haben wird, bleibt zu erkunden.

Vorsorge und Kontrolle

Normen im Bauwesen und diesen Normen zu Grunde liegenden Bemessungshilfen, zum Beispiel Karten mit Schlagregenzonierungen, orientieren sich im Wesentlichen an Erfahrungswerten. Das heißt, diesen Bemessungshilfen liegen in der Vergangenheit vorgekommene und nicht zukünftige Ereignisse zu Grunde. Die Dynamik des Klimawandels verstärkt die Notwendigkeit, Prognosen in das Normenwesen einzubeziehen, denn Gebäude werden nicht für wenige Jahre, sondern für Jahrzehnte geplant, gebaut und erneuert.

Durch eine Häufung von so genannten Extremereignissen kommt der erhaltenden Bauvorsorge ein hoher Stellenwert zu. Regelmäßige Kontrollen und sachgerechte Wartung insbesondere der Außenhülle, also Außenfassade und Dach, erweisen sich als dringend erforderlich, um unverhältnismäßige Gebäudeschäden und Gefährdung von Leib und Leben abzuwenden. Dies gilt auch für Standorte, an denen durch Klimaänderungen stärkere Beeinflussungen der Bodenverhältnisse zu erwarten sind. Hier geht es um die Bauteile im Erdreich. Monitoringsysteme als Informationsgrundlagen und aktorsgerechte Leitfäden als Handlungshilfen werden benötigt.

Bestimmte Gebäudebestände können sich für einzelne Klimafolgen als besonders sensibel herausstellen. Zum Beispiel Fachwerkgebäude im Zusammenhang mit anhaltender Durchfeuchtung im Winterhalbjahr oder das Verhalten des Baustoffs Holz unter sich verändernden Bedingungen.

Es sind Adaptationsstrategien – nicht nur im Gebäudebereich – zu bevorzugen, die gleichzeitig den Klimaschutz unterstützen. Ein Beispiel hierfür ist der Wärmeschutz, der gleichzeitig vorteilhaft als Schutz gegen Überhitzung wirken kann.

Verlässliche Entscheidungsgrundlagen

Prognosesicherheit und Bereitschaft zur Vorsorge gehen Hand in Hand. Hohe Unsicherheiten erhöhen das Risiko, dass Vorsorgekosten getätigt werden, die sich als unnötig oder als nicht zielführend erweisen. Hinzu kommt, dass sich bei sich widersprechenden oder offensichtlich unsicheren Aussagen nicht die Einstellung entwickeln und verbreiten kann, frühzeitig und vorausschauend Vorsorge zu betreiben.

Für die Entwicklung in den nächsten 20 Jahren liegen relativ gesicherte Prognosen vor. Über diesen Zeitraum hinaus werden die Aussagen immer unsicherer. Eine ausreichende Vorsorge kann sich im Augenblick an Extremereignissen orientieren, die mit hoher Wahrscheinlichkeit in Zukunft regelmäßiger auftreten werden (z. B. Hitzeperioden), oder es werden Gebäude geplant, die im Zyklus von ca. 20 Jahren an weitere potenzielle Klimaveränderungen anpassungsfähig sind. Bei Erneuerung und Sanierung kann dieser 20- ggf. 30-Jahreszyklus ebenfalls zu Grunde gelegt werden.

Kleinräumige regionale und lokale Gegebenheiten sind bei diesen dynamischen Klimaänderungen besonders zu beachten. Das Informationswesen für Investoren, Bau-

herren, Planer, Architekten, Ingenieure und Fachhandwerk ist darauf auszurichten. Kommunale Planungen und Aktivitäten (z. B. Ausweisung von Bauland), Kenntnisse aus Ergebnissen laufender Umweltbeobachtung und ökologischer Risikoanalyse sowie Planungen bzw. Bauaktivitäten von Bauherren sind aufeinander abzustimmen.

In lokalen oder regionalen Modellvorhaben könnte erprobt werden, wie regionale Prognosen des Klimawandels, die Ausarbeitung von ortsbezogenen Risikokarten und Zonierungen mit der Umsetzung in die Bauplanung und -durchführung in Zusammenhang gebracht werden könnten.

Planer, Fachingenieure und Bauhandwerk sind vorzeitig weiterzubilden und auf die durch den Klimawandel verursachten Entwicklungen vorzubereiten.

9 Forschungsbedarf

Die folgende Liste stellt eine Augenblicksbetrachtung dar, die um einzelne Vorschläge der befragten Experten ergänzt worden ist:

- Entwicklung von Prinzipien, Kriterien und Indikatoren für den Aufbau geeigneter Monitoringsysteme zur Beobachtung des Verhaltens des Gebäudebestandes unter den derzeitigen und zukünftigen Klimaveränderungen.
- Ermittlung kritischer Gebäudebestände, die beim Klimawandel mit besonderen Problemen behaftet sind. Initiierung gezielter Untersuchungsprogramme bezüglich dieser Bestände zur Ermittlung der konkreten Schwachpunkte und für die Entwicklung von Verbesserungsmaßnahmen. Nutzung der heute verfügbaren Erfahrungen mit Gebäuden in entsprechenden Klimaten.
- Entwicklung von Methoden zur Prognose über das Verhalten von Bauteilen und Materialien der Außenhülle unter veränderten Klimabedingungen und unter Berücksichtigung von Extremwetterbedingungen.
- Analyse, Auswertung und Empfehlung von Konzepten, Instrumentarien und Strategien zur Beeinflussung von Bauherren und Nutzern, damit auf technische Klimatisierung während der Sommerzeiten weitgehend im „normalen“ Büro- und Wohnungsbau verzichtet werden kann.
- Entwicklung geeigneter regionaler und nationaler systematischer Auswertungsverfahren von Schadensfällen, z. B. in Zusammenarbeit mit der Versicherungswirtschaft, zur Ermittlung von bautechnischen Schwachpunkten unter Berücksichtigung regionaler Baukulturen.
- Entwicklung von Modellen für an den Klimawandel anpassungsfähige Gebäude sowohl im Neubau als auch bei Sanierungen im Bestand.
- Initiierung regionaler Modellvorhaben, um den Nutzen der Verknüpfung von regionalen und lokalen Klimaprognosen mit der Bauplanung und -durchführung praxisnah zu demonstrieren und die Möglichkeiten bzw. Grenzen dieses Vorgehens zu testen. Begleituntersuchungen sollten den Zusammenhang zwischen Prognosequalität und vorsorgender Risikovermeidung im Baubereich näher analysieren und auswerten.

Literatur

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittel: Klimaveränderungen in Bayern. Gesundheitliche Folgen und Perspektiven. überarbeitete Version Juli 2006, 47 S., 2006

Bezirksregierung Arnsberg – Arbeitsschutzverwaltung: Raumtemperaturen bei Hitzewellen. Arbeitsschutz in NRW, Informationsschrift Raumtemperaturen, 36 S., Online-Publikation (http://www.arbeitsschutz.nrw.de/staefa/dortmund/downloads/Informationsschrift_Raumtemperaturen.pdf), o. J.

Bundesministerium für Verkehr, Bauwesen und Stadtentwicklung (BMVBS): Hochwasserschutzfibel. Bauliche Schutz- und Vorsorgemaßnahmen hochwassergefährdeten Gebieten. Berlin, 42 S., 2006

Bundesministerium für Verkehr, Bauwesen und Stadtentwicklung (BMVBS) / Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR): Energieeinsparung contra Behaglichkeit? Schriftenreihe Forschungen Heft 121, 92 S., 2007

Centre for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM): Universität Karlsruhe TH: www.cedim.de/1016.php. Aufgerufen 10.09.2007

Centre for Sustainable Heritage University College London: Noah's ark. Global climate change impact on built heritage and cultural landscapes. Freely available guidelines on adaptation of cultural heritage to climate change. Project no. SSPI-CT-2003-501837 Noah's ark. 87 pp., 2007

Deutscher Wetterdienst: Klimastatusbericht 2003. Der Hitzesommer 2003. Vier Milliarden Jahre Klimageschichte im Überblick. Aktuelle Ergebnisse des Klimamonitorings. 190 S., 2003

Eike-Hennig, W.: Glasarchitektur. Ergebnisse eines Großversuchs. Kalksandstein Bauseminar 2006, Düsseldorf, 16 S., 2006

Ellenberg, H.: Bauernhaus und Landschaft. In ökologischer und historischer Sicht. Stuttgart, 585 S., 1990

Enke, W., Spekat, A. & Kreienkamp, F.: Analyse und Projektion extremer Wettererscheinungen mit physikalisch-statistischen Methoden. Abschlussbericht zum Werkvertrag Nr. 4500165655 zwischen dem Landesamt für Umwelt und Geologie Hessen, 56 S. + Anh. XXIII, 2006

Enke, W.: Anwendung eines statistischen Regionalisierungsmodells auf das Szenario B2 des ECHAM4 OPYC3 Klima - Simulationslaufes, bis 2050 zur Abschätzung regionaler Klimaveränderungen für das Bundesland Hessen. Abschlussbericht zum Werkvertrag B.-Nr. 2003/00082 zwischen dem Landesamt für Umwelt und Geologie Hessen, 47 S., 2003

Enke, W.: Erweiterung des Simulationszeitraumes der wetterlagenbasierten Regionalisierungsmethode auf der Basis des ECHAM4-OPYC3 Laufes für die Dekaden

2011/2020 und 2051/2100, Szenario B2, Abschlussbericht zum Werkvertrag Nr.: 2004/09353876_1 zwischen dem Landesamt für Umwelt und Geologie Hessen, 29 S., 2004

Engineering and Physical Sciences Research Council Building knowledge for a changing climate (EPSRC): Collaborative research to understand and adapt to the impacts of climate change on infrastructure, the built environment and utilities. Newcastle University, 76 pp., 2007

HBV Immobilien: Gesundes Büro. Leitfaden für die Realisierung von nachhaltigen und gesunden Bürogebäuden. München, 86 S., 2002

Heneka, P.: Schäden durch Winterstürme – das Schadensrisiko von Wohngebäuden in Baden-Württemberg. Dissertationsreihe am Institut für Hydromechanik der Univ. Karlsruhe (TH), Heft 2006/4, Karlsruhe, 2006

Hennings, D.: Gemeinsame Optimierung von Tageslichtnutzung und thermischem Innenklima. Vortrag auf dem 13. Symposium Licht und Architektur, Kloster Banz, 2007

InVS, IAURIF, CSTB, INSERM: Facteurs de risque liés à l'habitat dans les décès des personnes âgées résidant à domicile durant la canicule d'août 2003. Vortrag Frankreich, 19 Folien, o. J.

IPCC: Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for policymakers working group II. IPCC, Geneva, 23 pp., 2007

IPCC: Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. Summary for policymakers working group III. IPCC, Geneva, 35 pp., 2007

IPCC: Fourth Assessment Report. The Physical Science Basis. Summary for policymakers working group I. IPCC, Geneva, 18 pp., 2007

Jonas, M.; Staeger, T. & Schönwiese, C.-D.: Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen. – Schwerpunkt Deutschland – Umweltbundesamt, Climate Change 07/05, Dessau, 250 S., 2005

KLARA-NET – Netzwerk zur KLimaAdaption in der Region StArkenburg: Protokolle der Themengruppe Bauwirtschaft, Wasserwirtschaft und Planung vom 11.11.2006, 05.12.2006, 05.02.2007 und 23.04.2007. <http://www.iwar.bauing.tu-darmstadt.de/umwr/Deutsch/forschung/lu-KLARA01.htm#Termine>, 2006, 2007

Knissel, J.: Energieeffiziente Bürogebäude mit reduzierten internen Wärmequellen und Wärmeschutz auf Passivhausniveau. Diss. Technische Universität Berlin, 214 S., 2002

Kommission der Europäischen Gemeinschaften: Grünbuch der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Anpassung an den Klimawandel in Europa - Optionen für Maßnahmen der EU: KOM(2007) 354, Brüssel, 31 S., 2007

Koppe, C. J. & Jendritzky, G.: Die Auswirkungen der Hitzewelle 2003 auf die Mortalität in Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, S. 1-81, Karlsruhe, 2004

Laschewski, G.: Gesundheitsaspekte bei der Berechnung von Klimatrends. Vortrag, Deutscher Wetterdienst, Medizin-Meteorologie, 88 Folien, 2005

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Jahresrückblick Naturkatastrophen 2003. Topics geo, 52 S., München, 2007

Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft: Naturkatastrophen 2006. Analysen, Bewertungen, Positionen. Edition Wissen, Topics Geo, 50 S., München, 2007

Nachtigall, W.: Vorbild Natur. Bionik-Design für funktionelles Gestalten. Berlin, 161 S., 1997

OcCC (Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung) und **ProClim** (Forum für Klima und Global Change): Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. OcCC/ProClim, Bern, 172 S., 2007

Roaf, S.: Adapting Buildings and Cities for Climate Change. Elsevier, Amsterdam et al. 363 pp., 2005

Roloff, J.: Formen des klimagerechten Bauens, Tradition und Wandel. Formensprache 6, Heft 2, 5 S., 2002

Schönwiese, C.-D., Staeger, T. & Trömel, S.: Klimawandel und Extremereignisse in Deutschland. In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg.), Klimastatusbericht 2005. S. 7-17, 2005

Schönwiese, C.-D.: Klimaänderungen. Daten, Analysen, Prognosen. Berlin u. a., 224 S., 1995

Schuster, H.: Tageslichtsysteme im Spiegel der Nutzer. Zur Nutzerakzeptanz von Sonnenschutz- und Lichtlenksystemen in Büroräumen. Dissertation Fakultät Bauwesen der Universität Dortmund, Dortmund, 212 S., 2006

Sivestrini, G. & D'Apote, L.: Likely evolution trends of energy performances of Italian buildings. Proceedings EEDAL 2006 (International Energy Efficiency in Domestic Appliances & Lighting Conference) London, Download: http://mail.mtprog.com/CD_Layout/Day_3_23.06.06/1115-1300/ID99_Silvestrini_final.pdf, 2006

Spekat, A., Enke, W. & Kreienkamp, F.: Neuentwicklung von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt, FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138, Dessau, 112 S. + Anhang XXVIII S., 2007

Tompkins, E. L. & Adger, W. N.: Building resilience to climate change through adaptive management of natural resources. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper 27, 19 pp., 2003

Umweltbundesamt: Neue Ergebnisse zu regionalen Klimaänderungen. Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG. Hintergrundpapier. Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt, Dessau, 27 S., 2007

Umweltbundesamt: Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland – Regionale Szenarien und nationale Aufgaben. Hintergrundpapier "Anpassung an Klimaänderungen in Deutschland". Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt, Dessau, 20 S., 2006

Universität Basel: Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag der Bundesämter für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und für Gesundheit (BAG). 85 S., Basel, 2004

Vivian, S.; Williams, N. & Rogers, W.: Climate change risks in building - an introduction. CIRIA, London, 84 pp., 2005

von Wichert, P.: Gefährdung durch atmosphärische Hitzewellen. Mitteilungen aus der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften - AWMF, 1; Doc 35, o. Seitenzahl, 2004

Voss, K. et al.: Bürogebäude mit Zukunft. Konzepte – Analysen – Erfahrungen. Köln, 282 S., 2004

Wagner, A.: Energieeffizientes Fenster und Verglasungen. BINE-Informationspaket. Köln, 3. Aufl., 144 S., Berlin, 2007

Weber, H.: Fassadenschutz und Bausanierung. Der Leitfaden für die Sanierung, Konservierung und Restaurierung von Gebäuden. 5. völlig Neubearb. u. erw. Aufl., Renningen-Malmsheim, 731 S., 1994

Wieland, D.: Bauen und Bewahren auf dem Lande. Deutsches Nationalkomitee für Denkmalschutz (Hrsg.), 10. Aufl., Bonn, 78 S., 2003

WHO Europe: Heat waves. Risks and responses. Health and Global Environmental Change, Series No. 2, Kopenhagen, 123 pp., 2004

Zebisch, M. et al.: Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltbundesamt, Climate Change 08/05, Dessau, 203 S., 2005

Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH): Deutsches Dachdeckerhandwerk. Regeln für Dächer mit Abdichtungen. Stand September 2001. Köln, 2001