

Bauten und Infrastrukturen

Autoren

Dörte Aller	Aller Risk Management
Thomas Frank	Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA
Beat Gasser	Ingenieurbüro Basler & Hofmann
Willi Gujer	Professur für Siedlungswasserwirtschaft, ETH Zürich
Christoph Hartmann	Novatlantis
Alain Jeanneret	Bundesamt für Strassen (ASTRA)
Martin Jakob	CEPE – Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich
Hansjürg Leibundgut	Institut für Hochbautechnik, ETH Zürich
Andreas Meier	SBB, Fachbereich Naturrisiken
Simon Meier	Siemens Building Technologies AG
Eberhard Parlow	Institut für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung
Christoph Ritz, Chair	ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz
Hans-Rudolf Schalcher	Institut für Bauplanung und Baubetrieb
Roland Stulz	Novatlantis
Esther Thalmann	Redaktion, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz



1. Einleitung

Einbettung

Für den Bereich Bauten und Infrastrukturen sind die Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklung sowie das Mobilitätsverhalten wichtige Einflussgrößen. Während der letzten Jahrzehnte hat die Verstärkung des Mittellandes deutlich zugenommen. Manche Agglomerationen vergrößern sich nicht nur, sondern wachsen mit anderen zusammen. Deutlich zugenommen hat auch die Mobilität (Fahrleistung). Die räumliche Trennung von Wohn- und Arbeitswelt führt nicht nur zu einer stetigen Zunahme beim Verkehr, sondern erhöht gleichzeitig den Anspruch an eine funktionierende Infrastruktur. Der Wohnraum dehnt sich in Zonen am Rande oder ausserhalb des bisherigen Siedlungsraums aus, welche risikoreicher sind im Hinblick auf ausserordentliche Wetterereignisse. Insgesamt ergibt sich aus diesen Entwicklungen ein komplexes System, das zunehmend empfindlicher wird. Gleichzeitig steigen die Kosten, wenn Systemelemente zusammenbrechen oder ausfallen. Um Schäden zu reduzieren oder zu verhindern, müssen die Risiken der Klimaänderung frühzeitig abgeschätzt und berücksichtigt werden. Aufgrund der langen Lebensdauer von Bauten und Infrastrukturen ist es wichtig, architektonische, raumplanerische, baukonzeptionelle und gebäudetechnische Entscheide frühzeitig an stattfindende und künftige klimatische Veränderungen anzupassen. Erstens können dadurch Zusatzkosten für spätere Massnahmen vermieden werden. Zweitens reduziert eine angepasste Bauweise mögliche wetter- und klimabedingte Schäden. Drittens erhöhen sich die Sicherheit und der Komfort in der Wohn- und Arbeitswelt sowie die Betriebssicherheit im Transportbereich.

Die in diesem Kapitel betrachteten Siedlungselemente beinhalten die Bauten der Wohn- und

Arbeitswelt, Transport- und Verkehrswege sowie die Siedlungswasserwirtschaft (vgl. Abb. 1, blau hinterlegte Bereiche). Die übrigen Aspekte des Wassers wie natürliche Gewässer, Wasser als Naturgefahr, Wasserdargebot und -bedarf sowie Wassernutzung sind im Kapitel Wasserwirtschaft enthalten. Der Bereich Energie wird in einem separaten Kapitel diskutiert. Als übergeordnete Ebene wird im Kapitel Bauten und Infrastrukturen zudem die Siedlung als Ganzes betrachtet, wobei lediglich die städtischen Siedlungen diskutiert werden.

Folgende Aspekte der Klimaänderung sind für den Bereich Bauten und Infrastrukturen von besonderer Bedeutung:

- Temperaturanstieg / Zunahme von Hitzeperioden
- Veränderungen im Wasserhaushalt
- Zunahme von winterlichen Starkniederschlägen
- Zunahme von Winterstürmen
- Zunahme von Gewittern mit Hagel, Starkregen und Böen

Bei der Betrachtung der Auswirkungen auf Siedlungselemente und Siedlungen als Ganzes liegt der Schwerpunkt auf zwei Aspekten: (1) Lebens- und Arbeitsqualität, (2) Stabilität und Werterhaltung von Bauten und Infrastrukturen.

Überblick

Siedlungselemente: Gebäude

Raumklima

Neuere Gebäude verfügen in der Regel über einen guten Wärmeschutz, welcher während der kalten Jahreszeit den Heizbedarf vermindert. Im Sommer dringt die Wärme während Hitzeperioden zwar etwas langsamer ein, kann aber auch schlechter nach aussen abgegeben werden. Die Sonnenstrahlung sowie die zusätz-

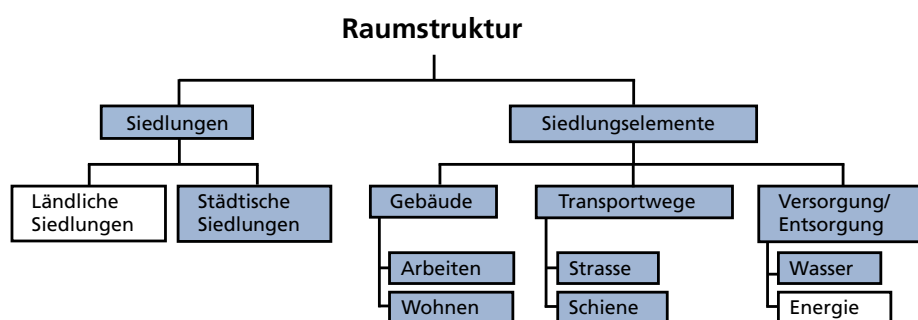


Abbildung 1: Überblick über die im Kapitel Bauten und Infrastrukturen behandelten Bereiche (blau hinterlegt). Die Raumstruktur wird aufgrund der starken Vernetzung mit anderen Themenbereichen als Syntheseaspekt diskutiert (vgl. Kapitel Urbane Schweiz). Die ländlichen Siedlungen werden nicht speziell berücksichtigt, dem Thema Energie widmet sich ein separates Kapitel.

lich durch Geräte, Beleuchtung und Personen produzierte Wärme kann insbesondere in Büro- und anderen Dienstleistungsgebäuden sowie Industriebetrieben eine Kühlung erforderlich machen. Mit der Klimaerwärmung nimmt die Länge der Kühlperiode zu und ebenso die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen. Vorausschauende Massnahmen wie die Verwendung energieeffizienter Geräte und geregelter Beleuchtungen und Sonnenschutzanlagen, eine gute (Fenster-) Lüftung sowie hocheffiziente Gebäudekühlsysteme können einen wirksamen Beitrag zu einem besseren Raumklima leisten.

Gebäudehüllen und ganze Bauten

In Bezug auf die Gebäudehüllen ist die frühzeitige Anpassung von Baunormen besonders wichtig. Diese beruhen derzeit auf Mittelwerten vergangener Beobachtungsperioden, sollten jedoch dringend auf das künftige Klima ausgerichtet werden.

Die Bedrohung ganzer Bauten resultiert primär aus der erwarteten Zunahme bei den extremen Wetterereignissen. Solche Ereignisse können grosse finanzielle Schäden zur Folge haben, welche jedoch nicht nur auf die Klimaänderung zurückzuführen sind. Einen wesentlichen Einfluss haben auch die zunehmende Wertekonzentration, die wachsende Schadenempfindlichkeit sowie die Ausdehnung von Wohnbauten in Gebiete, die früher als zu risikoreich galten. Die Raumplanung hat daher ebenfalls eine wichtige Funktion zu erfüllen: Eine Minimierung der Kosten erfordert in gefährdeten Gebieten die optimale Ergänzung von Zonenplanung und Schutzmassnahmen.

Schienen- und Strassennetz

Bei den Auswirkungen der Klimaänderung auf das Schienen- und Strassennetz sind die grössten Probleme durch die Veränderungen im Terrain, insbesondere als Folge der Zunahme von Starkniederschlägen zu erwarten. Murgänge, Hangmuren und Rutschungen können grosse Schäden an der Infrastruktur bewirken. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass Naturrisiken unabhängig von klimatischen Veränderungen allein durch die zunehmenden Infrastrukturwerte mit der Zeit grösser werden. Lösungsstrategien sind in vielen Fällen vorhanden und müssen in einem angemessen erweiterten Umfang angewendet werden. Gerade im Strassenverkehr verlangt die Beurteilung der Notwendigkeit von Massnahmen

auch einen Vergleich mit anderen Risiken, insbesondere der Gefährdung durch Verkehrsunfälle.

Siedlungswasserwirtschaft

Für die Siedlungswasserwirtschaft sind die Konsequenzen der Klimaänderung nur zum Teil abschätzbar. Die Wasserversorgung wird mit grosser Wahrscheinlichkeit trotz veränderter Nachfrage (z.B. erhöhter Bedarf im Sommer) mit einem optimierten Wassermanagement gesichert sein. Bei der Abwasserentsorgung können steigende Temperaturen, Trockenperioden, aber auch intensive Niederschläge möglicherweise Anpassungen im Betrieb von Kläranlagen erfordern.

Städtische Siedlungen

Die Temperaturzunahme sowie das vermehrte Auftreten von Hitzewellen oder Hitzeperioden werden in städtischen Siedlungen die Wärmebelastung besonders erhöhen. Im Hinblick auf die gesundheitlichen Folgen ist eine Berücksichtigung in der Raumplanung dringend erforderlich. Geeignete Massnahmen zur Reduktion der Wärmebelastung können als zusätzlicher positiver Effekt auch die Luftqualität verbessern.

Verknüpfung mit anderen Themen **Energie**

Die Einsparungen bei der Heizenergie werden durch einen erhöhten Bedarf an Elektrizität für Raumkühlung teilweise kompensiert.

Gesundheit

Vor allem in städtischen Siedlungen kann die erhöhte Wärmebelastung zu gesundheitlichen Problemen führen.

Landwirtschaft

Der erhöhte Wasserbedarf von Landwirtschaft und Haushalten kann zu Konflikten führen.

Tourismus

Der Tourismus ist stark abhängig von einer zuverlässig funktionierenden Infrastruktur.

Versicherung

Naturgefahren können zu mehr Schäden führen. Anpassungsstrategien an die Klimaänderung können die Schadenempfindlichkeit mindern (z.B. bruchsichere Dachverglasungen) oder erhöhen (z.B. Sonnenschutz).

2. Gebäude

Raumklima

Mit der Erwärmung des Klimas wächst der Bedarf nach Raumkühlung. Eine entsprechende Bauweise bei Neubauten respektive die angepasste Erneuerung bereits bestehender Bauten ermöglichen eine energieeffiziente Gebäudekühlung und damit die Minimierung der Kosten.

Neuere und erneuerte Wohn- und Bürobauten verfügen heute über eine gute bis sehr gute Wärmeisolation, welche im Winter den Wärmebedarf durch Raumheizung reduziert. Gleichzeitig vermindert die bessere Dämmung der Gebäudehüllen im Sommer die Abgabe der ins Gebäude eindringenden sowie der im Gebäude produzierten Wärme an die Aussenwelt. Bei grossen Wärmequellen im Gebäude selbst und hohen Energieeinträgen durch Sonnenstrahlung führt dies zu einem Wärmestau und somit vor allem in Nutzbauten zu einem Kühlbedarf (vgl. Kapitel Energie, Abschnitt 2). Mit der Klimaerwärmung wird die jährliche Kühlperiode länger und bei Hitzeperioden kann die Raumtemperatur zur Belastung werden. Als Folge davon, aber auch aufgrund steigender Komfortansprüche, wird die Bedeutung der Raumkühlung zunehmen.

Bürogebäude und andere Nutzbauten

Wärmelast und Arbeitsproduktivität

In Bürobauten führen hohe Aussentemperaturen, interne Wärmelasten sowie die Sonnenstrahlung häufig zu besonders unangenehmen Bedingungen. Viele Gebäude verfügen über grosse Glasfronten, über welche Licht und Solarenergie eindringen können. Im Raum und in der Verglasung wird das Licht teilweise in Wärme umgewandelt. Zusätzliche Wärme wird durch elektronische Geräte wie Computer, Kopierer, Drucker etc. produziert. Eine hohe Personendichte in Bürogebäuden und die Beleuchtung tragen gleichermaßen zur Wärmebelastung bei. Bei gutem Wärmeschutz, der im Hinblick auf einen geringen Heizwärmebedarf und aus Komfortgründen selbst bei wärmerem Klima unabdingbar ist, kann diese Wärme jedoch durch die Fenster und die übrige Gebäudehülle kaum entweichen. Dies führt an sonnenreichen und warmen Tagen zu hohen Raumtemperaturen, welche nicht nur unangenehm sind, sondern auch die Arbeitsproduktivität reduzieren. Untersuchungen zeigen, dass im Sommer bei Temperaturen über 26 °C die Arbeitsproduktivität bei Büroarbeiten abnimmt.^{1,2,3} Im Hitzesommer 2003 stieg die

Temperatur in einem durchschnittlichen, nicht aktiv gekühlten Büroraum trotz Nutzung einer Nachtauskühlung an 22 Tagen über 26 °C (vgl. Abb. 2), und zwar innerhalb eines Zeitraums von vier Wochen. In einem durchschnittlichen Sommer ist dies an sieben Tagen der Fall. Bei Bürobauten ohne Nachtauskühlung, wie es heute noch die Regel darstellt, wird die Komfortgrenze noch wesentlich häufiger überschritten.⁴ Folglich beschränkt sich der Kühlbedarf nicht auf ausserordentliche Hitzeperioden, sondern entsteht auch im Verlaufe eines durchschnittlichen Sommers.

Anpassung bestehender Bauten

Bei bestehenden Bauten kann die Problematik der Wärmebelastung mit einem guten Sonnenschutz, energieeffizienten und geregelten (z.B. tageszeit- und präsenzorientierten) Geräten und Beleuchtungen, der Möglichkeit der Fensteröffnung sowie dem Einbau von Kühlanlagen gelöst werden. Durch eine Optimierung der Technik und durch Synergieeffekte mit der Raumwärmebereitstellung lassen sich sowohl die Investitions- wie die laufenden Kosten minimieren. Bei Neubauten kann eine entsprechende Bauweise den Einbau von Klimageräten überflüssig machen. So genannte Free-Cooling-Systeme oder hocheffiziente Kühlanlagen verbrauchen im Vergleich zum heutigen Standard von Kühlgeräten und -anlagen einen Bruchteil an Energie⁶. Solche Systeme nutzen für die Kühlung so weit als möglich die freie Kälte (z.B. niedrige Aussentemperaturen in der Nachtzeit, Verdunstung, Wärmepumpen-Erdsonden) zur Kühlung der Decken, Böden und Wände, welche am folgenden Tag wieder Wärme aus der Raumluft aufnehmen können. Einen wesentlichen Beitrag können architektonische Massnahmen leisten wie zum Beispiel Sonnenschutz (wobei eine Zunahme der Gefährdung durch Hagel und Sturm zu berücksichtigen ist, vor allem bei hohen Gebäuden, vgl. Abschnitt Gebäudehülle), Raumtiefe, Fenstergrösse und -ausrichtung sowie landschaftsarchitektonische Elemente wie Bäume, Grünflächen und Wasseranlagen.

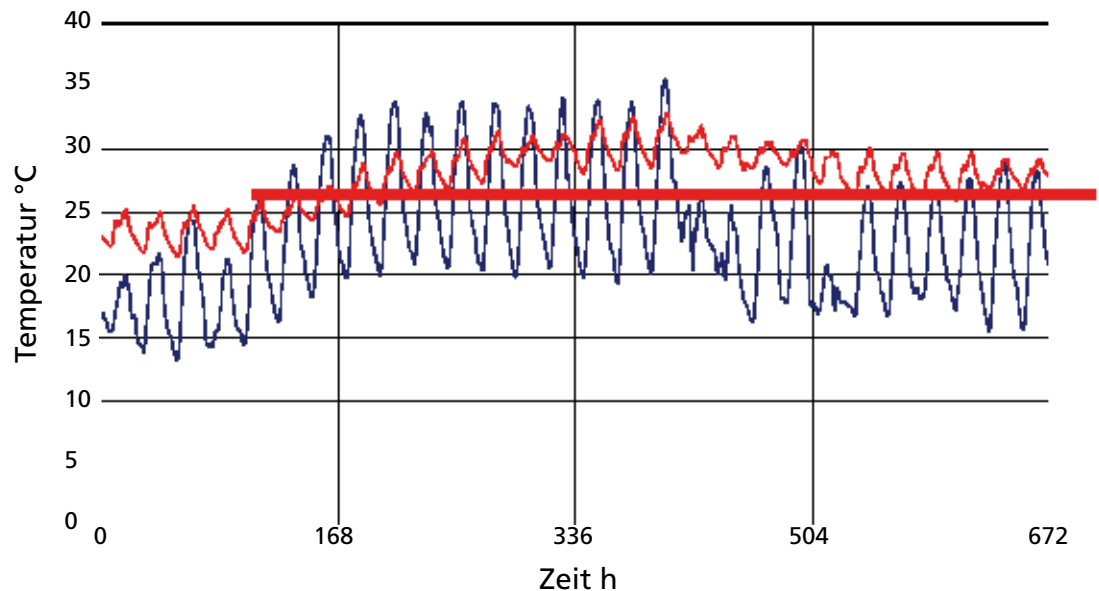


Abbildung 2: Berechneter Temperaturverlauf während 4 Wochen im Hitzesommer 2003, Standort MeteoSchweiz Zürich. Aussentemperatur (blau) sowie Innentemperatur (rot) in einem Bürogebäude mit hohem Glasanteil (80%), gutem Sonnenschutz ($g=0.10$), mässigen internen Lasten (15W/m^2), Komfortlüftung am Tag und intensiver Nachtlüftung ($nL=0.3\text{h}^{-1}$). Während mehrerer Tage wird die Komfortgrenze von 26 °C (roter Balken) überschritten, oberhalb welcher die Produktivität am Arbeitsplatz rasch abnimmt. (Quelle: Frank 2006)⁵

Effizienz und Energiebedarf

Sofern beim künftigen Bauen die genannten kritischen Punkte berücksichtigt werden, wird insgesamt erwartet, dass die Einsparungen bei der Heizenergie grösser sein werden als der zusätzliche Energiebedarf für das Kühlen. Allerdings bedeutet diese Veränderung eine Verlagerung der Nachfrage von den Brennstoffen zu Strom (vgl. Kapitel Energie, Abschnitt 2). Wirtschaftliche und ressourcenpolitische Gründe sprechen für eine möglichst effiziente Gebäudekühlung (vgl. Kapitel Energie, Abschnitt 5), insbesondere auch angesichts der enorm grossen Energieeinsparungen im Vergleich zu ineffizienten Kühlmassnahmen. Eine besondere Herausforderung ist in dieser Hinsicht, dass eine effiziente Gebäudekühlung die sorgfältige Abstimmung verschiedener Elemente (z.B. Isolation, Ventilation, Beschattung, Fenster) bedingt. Eine solche integrale Konzeption und Planung stellt heute jedoch noch den Ausnahmefall dar. Auf jeder Ebene werden primär die Investitionsanstelle der Lebenszykluskosten minimiert, was die Realisierung sorgfältig aufeinander abgestimmter Systeme verhindert. Dringender Handlungsbedarf besteht daher in der Energiepolitik, auf der gesetzgeberischen Ebene, bei den betroffenen Branchen sowie bei den Bauherren und Gebäudebesitzern, -betreibern und -nutzenden.

Anpassungskosten

Für die Anpassung von bereits bestehenden Bürogebäuden und anderen Nutzbauten wie Einkaufszentren, Spitäler, Heime, Schulen ist mit zusätzlichen Kosten zu rechnen, wobei Klimaanlage, Klimaanlageanierungen und ein verbesserter Sonnenschutz den grössten Kostenanteil ausmachen werden. Gemäss einer Untersuchung im Auftrag des Bundesamts für Energie⁷ wird allein der Überhitzungsschutz Kosten von 10 Franken pro Quadratmeter und Jahr verursachen. Die Bürofläche umfasst heute rund 40 Mio. m^2 ; insgesamt beträgt die beheizte und beleuchtete Fläche des Dienstleistungssektors über 150 Mio m^2 . Die Kühlung von zwei Dritteln dieser Fläche würde jährliche Kosten von 1 Mrd. Franken pro Jahr verursachen. Der Nutzen in Form von höherer Arbeitsproduktivität und Arbeitsplatzattraktivität wird allerdings als noch höher eingeschätzt, weshalb die Gebäudekühlung zum Thema der kommenden Jahre werden wird.

Wohnbauten

Bei Wohnbauten kann bei angepasster Bauweise in der Regel auf Kühlgeräte verzichtet werden, insbesondere wegen der Nachtauskühlung durch Fensteröffnung. Ein guter und eventuell geregelter Sonnenschutz reduziert die externe

Wärmelast. Eine geeignete Lüftung, z.B. über Erdregister, sowie eine Fenster- und Nachtlüftung durch entsprechende Klappen und Schlitze führen die Wärme ab. Beide Massnahmen – Reduktion der Wärmelast sowie Abführung vorhandener Wärme – tragen zu einem komfortablen Innenraumklima bei. Die Wirkung der

Nachtauskühlung kann durch die Nutzung des Speichervermögens im Innern, beispielsweise durch sichtbare Betondecken, Bodenbeläge ohne Teppiche und die Verstärkung der Dachräume durch Gipsplatten, erhöht werden. Zu nennen ist auch die Nutzung von Erdsonden als relativ energieeffiziente Kühlquelle.

Gebäudehülle

Die erwartete Zunahme von Intensität und Häufigkeit extremer Wetterereignisse gefährdet empfindliche Elemente der Gebäudehülle. Die heutigen Baunormen, welche auf Klimamittelwerten vergangener Beobachtungsperioden beruhen, müssen dem künftigen Klima angepasst werden.

Die Verletzlichkeit von Bauelementen am Äusseren von Bauten könnte in Zukunft möglicherweise ansteigen. Einerseits wird tendenziell mit einer Zunahme der Häufigkeit und/oder Intensität von ausserordentlichen Wetterereignissen (z.B. Starkniederschläge, Winterstürme) gerechnet. Gleichzeitig wird die Zahl an leicht schadenanfälligen Konstruktionen vermutlich zunehmen. Dies können Beschattungsanlagen zum Schutz vor der Klimaerwärmung, Dämmungen und Anlagen zur Energieersparnis oder -erzeugung (z.B. Solaranlagen) sein. Die Vielfalt der eingesetzten Materialien bei Dächern und Fassaden hat zugenommen. Insbesondere bei Büro- und Industriegebäuden werden oft Materialien mit mangelnder Hagelresistenz eingesetzt. Es sind dies lichtdurchlässige Kunststoffe, Bleche und Sonnenschutzrichtungen (vgl. Abb. 3).

Bisher stützen sich die Anforderungen an die Sicherheit von Bauelementen am Äusseren von Bauten auf Mittelwerte vergangener Beobachtungsperioden des Klimas, die in Baunormen festgeschrieben sind. Nicht nur technische Bauten (z.B. Masten und Türme, weitgespannte Brücken, Treibhäuser) und Bauten an extremen Lagen (z.B. Hochgebirge, Flussnähe), sondern auch normale Bauten sind von stärkeren Witterungseinflüssen betroffen. Die Befestigungen von Leichtfassaden und Dachbelägen, die Bruchsicherheit von Dachverglasungen, die Witterungsbeständigkeit von Beschattungs- und Solaranlagen müssen bei bestehenden Bauten überprüft und bei Neubauten auf das künftige Klima ausgerichtet werden.



Abbildung 3: Hagelschaden an Kunststofffassade, Wetzikon 2004.
(Quelle: Thomas Egli)

Extremereignisse und Bedrohung ganzer Bauten

Die mögliche Zunahme von Hochwassern, Starkniederschlägen, Stürmen und Hagelereignissen kann Bauten gefährden und zu grossen finanziellen Schäden führen. Die sich verändernden Risiken erfordern die Anpassung von Bauvorschriften.

Hochwasser

Wenn Hochwasser heute auftreten, haben sie im Bereich der Infrastrukturen in der Regel grosse finanzielle Schäden zur Folge. Dies ist nicht auf die Klimaänderung, sondern auf die enorme Wertekonzentration zurückzuführen, d. h. durch den kontinuierlichen Ausbau von Strassen- und Schienennetzen, den Bau von Brücken und Häusern nimmt das Risiko von Schäden zu. Überdies haben sich im Vergleich zu früher Bauten in Gebiete ausgedehnt, die früher als zu risikoreich erachtet und gemieden wurden.

Die Frage, ob Hochwasser mit der Klimaänderung häufiger werden, kann die Wissenschaft heute noch nicht endgültig beantworten (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft, Abschnitt 3). Eine Zunahme der Häufigkeit scheint insbesondere im Winter und in den Übergangsjahreszeiten wahrscheinlich. Betroffen wären vermutlich primär das Mittelland, die Voralpen sowie das Tessin. Um zu verhindern, dass sich mit der Klimaänderung das Schadenmass von Hochwasserereignissen erhöht, ist der Hochwasserschutz ständig zu überprüfen. Die flexible Strategie, welche die Schweiz dabei verfolgt (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft, Abschnitt 3), zielt darauf ab, in erster Linie Schäden zu vermeiden und nicht unbedingt Überschwemmungen zu verhindern.⁸

Stürme

Besonders exponierte Gebäude wie zum Beispiel Sendetürme werden in Stürmen von der Intensität eines Lothars (Dezember 1999) bis nahe an die Stabilitätsgrenze belastet. Nehmen solche Stürme zu, erfordert dies eine Verschärfung der Bauvorschriften.

Starkregen

Die erwartete Zunahme intensiver Starkniederschläge ist bei der Bemessung der Liegenschaftsentwässerung zu berücksichtigen. Betroffen hiervon sind Erd- und Untergeschosse von Gebäuden angrenzend an Hanglagen und in Muldenlagen. Auch in Stadtzentren kann diese Gefährdung vermehrt auftreten, da die Entwässerungen oft auf wenig intensive Niederschläge bemessen sind.⁹

Hagel

Zwischen 1983 und 2003 hat sich die Anzahl grosser Hagelzüge in der Schweiz (Zugbahnlänge > 100 km) verdoppelt.^{10,11} Die grossen Hagelzüge verursachen Hagelkörner mit grossem Durchmesser. Diese schädigen empfindliche Dach- und Fassadenmaterialien wie zum Beispiel Kunststoffe, Bleche und Aussendämmungen. Die Beschattungselemente sind allgemein sehr empfindlich gegenüber der Einwirkung durch Hagel.⁹



Abbildung 4: Schneedruck verursacht Hallendacheinsturz, Waldstatt 2006. (Quelle: Thomas Egli)

Schneelasten

Die erwartete Zunahme bei den Winter-niederschlägen kann in Höhenlagen, wo dieser Niederschlag als Schnee fällt, statische Probleme bei Dächern zur Folge haben. Bei zu hoher Schneelast drohen massive Beschädigungen und im schlimmsten Fall sogar der Einsturz des Daches. Besonders gefährdet sind Hallen mit grösseren Spannweiten aus leichteren Baumaterialien wie beispielsweise Holz oder Stahl. In solchen Fällen ist die Schneelast im Verhältnis zum Eigengewicht gross. Gefährdet sind auch Flachdächer, insbesondere wenn infolge schlechter Wärmedämmung der früher gefallene Schnee auf dem Dach zu Eis geworden ist und neue Schneefälle die Belastung noch erhöhen. Um das Risiko von Dacheinstürzen zu minimieren, muss bei der Planung privater und öffentlicher Gebäude die zukünftig möglicherweise erhöhte Schneelast berücksichtigt werden.

Lawinen

Die Gefahr von Lawinen kann sich mit der Erwärmung des Klimas verändern. Ob Lawinen häufiger oder seltener werden, ist heute unklar. Unabhängig von einer Veränderung der gesamten Anzahl von Lawinen kann sich auch deren Häufigkeit für bestimmte Regionen verändern. In jedem Fall verlangt eine Minimierung der Kosten eine Risikoabschätzung und entsprechende Massnahmen (Zonenplanung, Schutzmassnahmen)⁸. Der Lawinenwinter 1999 hat gezeigt, welches Schadensausmass Schneemassen zur Folge haben können.

Unsicherheiten / Offene Fragen

Um das Temperatur- und Feuchteverhalten von Räumen sowie deren Einfluss auf die Behaglichkeit und Produktivität abschätzen zu können, sind verbesserte Modelle erforderlich. Auch sollte die Frage des thermischen Komforts nicht gesondert betrachtet, sondern ganzheitlich zusammen mit mikroklimatischen und energetischen Fragestellungen untersucht werden.

3. Transportwege

Schiennetz

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf das Schiennetz sind vor allem auf die mögliche Zunahme von extremen Wetterereignissen zurückzuführen. Starke Niederschlagsereignisse gefährden die Trassenstabilität, Stürme und Hitzeperioden können zu Beeinträchtigungen bei Fahrleitungen und Schienen führen. Entsprechende Gegenmassnahmen verhindern einen exponentiellen Anstieg der Schadensumme.

Trassenstabilität und -sicherheit

Die Bahntrassen sind bereits heute regelmässig Naturgefahren ausgesetzt, primär durch ausserordentliche Wetterereignisse wie beispielsweise lange Regenperioden oder starken Schneefall. So wurden im Zusammenhang mit dem Augusthochwasser 2005 zahlreiche Bahnhöfe überschwemmt (vgl. Abb. 5). Starke Niederschläge können nicht nur Überschwemmungen zur Folge haben, sondern auch zu Rutschungen und Hangmuren führen. Stauungen und Nässungen im Geleisebereich sowie Ufererosion und Murgänge aus Gerinnen sind weitere mögliche Folgen.



Abbildung 5: Hochwasser August 2005, Dornibach/SZ (Quelle: SBB)

Niederschlag

Mit der prognostizierten Zunahme beim Winterniederschlag, der überdies in tieferen Lagen vermehrt als Regen fallen wird, sowie der erwarteten Zunahme von winterlichen Starkniederschlägen nimmt die Gefährdung der Trassenstabilität zu. Insbesondere ist die Stabilität von Böschungen und Hängen vermehrt in Frage gestellt. Starke Niederschläge können auch zur Unterspülung von Trassen führen.

Die zukünftige Häufigkeit von Instabilitäten und Entwässerungsproblemen ist nicht nur von der Niederschlagsmenge und -intensität abhängig. Wichtige Einflussfaktoren sind auch die Bodenfeuchte und das Wasserspeichervermögen von Böden und Lockergestein sowie der Wasserabfluss in naheliegenden Gerinnen. Dies gilt insbesondere für den Sommer, wo die Gesamtniederschlagsmengen zwar tendenziell abnehmen, der Regen aber vermehrt auf ausgetrockneten Boden fällt.

Es scheint wahrscheinlich, dass die Instabilität von Böschungen und Hängen mit zunehmenden Niederschlägen ansteigt. Abgesehen von nahe an Abhängen verlaufenden Eisenbahnlinien, bergen insbesondere im Mittelland und Voralpenbereich

künstlich angelegte Böschungseinschnitte ein nicht zu unterschätzendes Abrutschpotenzial. Auch dort können starke Niederschläge zu Vernässung, Instabilität und in der Folge zu Rutschungen führen.

Über der Schneefallgrenze können die grösseren Niederschlagsmengen im Winter zu einer Zunahme der Lawinengefahr oder Behinderungen der Infrastruktur (Weichenblockierung, Sichtbeschränkungen, Schneehöhen auf Trasse) führen. In Bezug auf Lawinenniedergänge verfügen die Bahnen über ein Kataster der relevanten Lawinenzüge. Kritische Gebiete sind bereits heute mit Schutzgalerien gesichert oder werden während starken Schneefällen besonders überwacht. Die Sicherung zusätzlicher Lawinenzüge liesse sich bei einem entsprechenden Bedarf relativ direkt realisieren.

Temperatur

Die Folgen der durchschnittlichen Temperaturzunahme ebenso wie jene der vermutlich häufiger auftretenden Hitzewellen werden in Bezug auf die Trassenstabilität und -sicherheit primär indirekter Natur sein. Auswirkungen sind als Folge des tauenden Permafrosts sowie eventuell über Veränderungen in Tau- und Frostprozessen möglich.

Der Hitzesommer 2003 hat die Auswirkungen hoher Temperaturen auf die Hangstabilität gezeigt. Während dieses ausserordentlich heissen Sommers wurde eine grosse Zahl von Steinschlägen und Felsstürzen im gesamten Alpenraum, insbesondere in den oberen Höhenlagen und an nordexponierten Hängen, beobachtet. Diese ausserordentliche Felssturzaktivität wird als Hinweis darauf gedeutet, dass die Destabilisierung aufgrund extremer Hitze als fast sofortige Reaktion erfolgt. Da die Gebiete mit Permafrost sehr häufig ausserhalb der Siedlungs- und Infrastrukturgebiete liegen, ist auch die zukünftige Gefährdung begrenzt. In kritischen Gebieten können Risiken und Schäden durch einen Ausbau der absichernden Massnahmen (z. B. Sicherheitsnetze, Schutzwälle, Überwachung) minimiert werden.

In tieferen Lagen, die aufgrund der Temperaturzunahme zukünftig vermehrt positiven Temperaturen ausgesetzt sind, ist möglicherweise eine Reduktion der Sturzprozesse denkbar.

Ingenieurbauwerke

Bei Ingenieurbauwerken wie Brücken, Tunnels, und Durchlässen sind keine baulichen Probleme im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung zu erwarten. Die Grössenordnung der Temperaturzunahme kann von den Bauwerken im Normalfall ohne Konsequenzen aufgenommen werden. Auch bei Stürmen sind keine statischen Probleme zu erwarten. Eine Zunahme der Kolkerscheinungen und der Durchflussprobleme bei Brücken und Durchlässen infolge grösserer Hochwassermengen ist möglich.

Fahrleitungen und Schienen

Winterstürme

Aufgrund der erwarteten Zunahme von Winterstürmen ist vermehrt mit umstürzenden Bäumen zu rechnen (vgl. Abb. 6). Fallen solche Bäume auf Fahrleitungen oder Bahngleise, führt dies in der Regel zu Verspätungen und Unterbrechungen des Bahnbetriebs und zu Schäden an der Infrastruktur. Vom rund 3000 km langen Streckennetz der SBB ist rund ein Drittel ein- oder zweiseitig bewaldet.

Die SBB strebt auf allen bewaldeten Strecken ein definiertes Waldprofil an. In der Nähe der Geleise werden kleinere Büsche und Sträucher bevorzugt und mit zunehmender Distanz auch höher wachsende Bäume, so dass ein klares Profil entsteht. Umstürzende Bäume können somit kaum mehr Schäden verursachen. Dieses Vorgehen ist vorteilhaft in Bezug auf die Verfügbarkeit und Sicherheit bei Sturm, jedoch wenig günstig hinsichtlich der Beschattung der Böschungen bei Hitzeperioden (Mikroklima der Bahnböschungen).

Temperaturtrend / Hitzeextreme

Der Anstieg der Sommertemperaturen hat Auswirkungen auf das Schienennetz. Über Tage anhaltende hohe Temperaturen können Gleisverwerfungen zur Folge haben. Diese entstehen, weil die Ausdehnung der Schienen durch die Wärme infolge der nahtlosen Verschweissung verhindert ist. Die dadurch entstehenden Druckkräfte können zum lateralen Verschieben der Geleise (Verwerfung) führen. Beim Verlegen der Schienen werden Massnahmen getroffen, um diese Druckkräfte zu vermindern und um den seitlichen Widerstand des Geleises zu erhöhen.



Abbildung 6: Baum auf Fahrbahn, Wiggen
(Bild: SBB)

Während des Hitzesommers 2003 traten Verwerfungen rund 50% häufiger auf als dies bei einem Durchschnittssommer der Fall ist. Um keine Entgleisungen zu riskieren, müssen die Züge bei Gleisverwerfungen die Geschwindigkeit drosseln oder können im Extremfall die entsprechenden Strecken nicht mehr befahren. Im Hinblick darauf, dass bis zum Jahre 2050 Hitzeperioden wesentlich wahrscheinlicher werden, müssen die Bahnbetreiber häufigeren Verwerfungen vorbeugen. Das Bauverfahren kann mit einem gewissen Mehraufwand so angepasst werden, dass die Schienen höhere Temperaturen schadlos überstehen. So gelten für das Tessin bereits heute strengere Anforderungen. Die Schienen werden beim Einbau einer höheren Temperatur ausgesetzt, um späteren Verformungen vorzubeugen.

Zunahme bei Sommerstürmen?

Ein potenzielles Risiko für die Fahrleitungen stellen auch sommerliche Wärmegewitter dar, da Blitzeinschläge zu Betriebsstörungen und Beschädigung der Fahrleitungsanlagen führen können. Da in Bezug auf Sommerstürme jedoch bisher keine Prognosen gemacht werden können, ist zurzeit nicht abschätzbar, ob sich dieses Risiko verändert.

Entwicklung der Schadensumme

Gemäss einer Untersuchung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), welche die Entwicklung der Schadensumme von 1972–2005 zeigt, sind die kumulativen Kosten für Schäden durch Hochwasser, Rutschungen und Murgänge in den vergangenen 30 Jahren nahezu zeitlinear angestiegen (vgl. Abb. 7). Der Bericht weist darauf hin, dass der Anstieg der kumulierten Schadenkosten im Vergleich zum Anstieg der Bevölkerung, der Fläche des Siedlungsraumes und der Wertdichte deutlich unterproportional ist. Das Ausmass an Naturereignisschäden ist demnach kleiner als aus der Wertentwicklung effektiv zu erwarten wäre. Diese Entwicklung wird nicht zuletzt auf die Wirkung der ergriffenen Schutzmassnahmen zurückgeführt. Angesichts der erwarteten Veränderungen scheint es wahrscheinlich, dass durch eine vorausschauende Planung und der Umsetzung entsprechender Massnahmen eine exponentielle Zunahme der Sachschadensummen weitgehend verhindert werden kann.

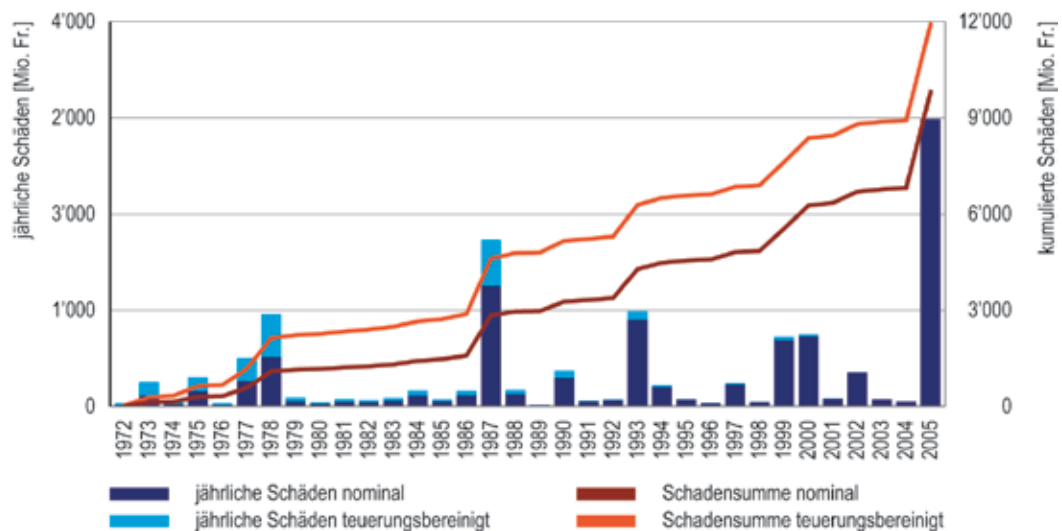


Abbildung 7: Schadensumme 1972 – 2005. Hochwasser. Rutschungen. Murgänge.
(Quelle: Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2007)

Strassennetz

Wie das Schienennetz ist auch das Strassennetz primär durch Extremereignisse gefährdet. Mit Gegenmassnahmen aufgrund neuer Gefährdungen und Anpassungen im Strassenbau bleiben Beeinträchtigungen und Risiken im Strassenverkehr weitgehend konstant.

Die Klimaänderung wird sich auf das Strassennetz in ähnlicher Weise auswirken wie auf das Schienennetz. Grundsätzlich wird erwartet, dass die Folgen bei den Strassen geringeren Ausmasses sein werden, da das Strassennetz vom Bau her in der Regel weniger sensibel ist. Andere Faktoren, beispielsweise eine weitere Erhöhung der Gewichtslimite bei Lastwagen oder eine deutlich höheres Aufkommen schwerer Fahrzeuge, hätten mit grosser Wahrscheinlichkeit schwerwiegendere Folgen als die erwartete Klimaänderung. Das sehr dichte Strassennetz hat gegenüber dem Schienennetz überdies den Vorteil der Flexibilität: Wenn ein Streckenabschnitt gefährdet oder nicht mehr passierbar ist, so sind häufig alternative Fahrtrouten vorhanden.

Der Strassenbau wird sich in Bezug auf verwendete Materialien für und Aufbau des Strassenkörpers den veränderten Bedingungen wo nötig anpassen. Die wichtigsten klimatischen Einflüsse auf das Strassennetz werden Hochwasser und Hanginstabilitäten sein. Im Weiteren können Lawinen, Winterstürme und Hagel Beeinträchtigungen im Strassenverkehr zur Folge haben.

Starkniederschlag/Überschwemmungen

Hochwasser können Strassenabschnitte ebenso betreffen wie Bahnlinien. Ausserordentliche Wassermassen können zu Unterspülungen oder in flacheren Gebieten zu Überschwemmungen führen (siehe Abb. 8), wenn Flüsse und Seen über die Ufer treten. In Bergregionen haben starke Niederschläge häufig Erdrutsche und Murgänge zur Folge. Andererseits könnten sich schneeärmere Winter im Strassenverkehr positiv auswirken: Das Unfallrisiko nimmt ab und der Aufwand für Strassenunterhaltsarbeiten sinkt.

Hanginstabilitäten

Das Risiko für Murgänge (Rüfen) und Felsstürze besteht im Strassenverkehr ebenso wie im Schienenverkehr. Gefährdet sind vor allem Strassen in höheren Lagen oder an exponierten Stellen. Felsstürze sind nicht zwangsläufig auf die Klimaänderung zurückzuführen, sondern können unterschiedliche Ursachen haben. Als auslösende Faktoren

kommen in Frage: die Verwitterung des Gesteins, grössere Wassermengen, welche als Schmiermittel wirken, Frost-/Taueffekte, welche zur Lockerung des Gesteinsverbandes führen oder das Auftauen des Permafrosts aufgrund steigender Temperaturen (vgl. Trassenstabilität und -sicherheit). Auch eine Kombination verschiedener Faktoren ist möglich. Die Empfindlichkeit des Verkehrssystems gegenüber Störungen ist aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens und dem Selbstverständnis einer fast unbeschränkten Mobilität bereits heute sehr gross.

Lawinen

Ebenso wie beim Schienennetz kann auch der Strassenverkehr durch Lawinen oder Lawinengefahr beeinträchtigt werden. Im Zusammenhang mit der Klimaänderung wird dieses Risiko in höheren Lagen, wo die grösseren Niederschlagsmengen im Winter als Schnee fallen können, eventuell zunehmen.

Winterstürme

Aufgrund der erwarteten Zunahme von Winterstürmen ist vermehrt mit umstürzenden Bäumen zu rechnen. Fallen solche Bäume auf die Strasse, besteht eine direkte Gefahr für die Strassenbenützer und es kann zu Unterbrechungen des Verkehrs kommen. Allerdings ist das Risiko zurzeit gering und sollte auch in Zukunft nicht wesentlich steigen.



Abbildung 8: August 2005, N8, zwischen Interlaken Ost und Interlaken West. (Quelle: Muriel Kleist)

4. Siedlungswasserwirtschaft

Um die Wasserversorgung sicherzustellen, erfordern wärmere und trockenere Sommer einerseits und Veränderungen beim Wasserbedarf andererseits die Optimierung des Wassermanagements. Die Abwasserentsorgung muss an die veränderten Anforderungen aufgrund höherer Temperaturen sowie vermehrten Auftretens von Trockenperioden und intensiven Niederschlagsereignissen angepasst werden.

Wasserversorgung

Mit der Klimaerwärmung wird der Bedarf an qualitativ hochstehendem Wasser (Trinkwasserqualität) zunehmen. Dies wird ein verbessertes Wassermanagement erfordern, insbesondere weil die Variation des Verbrauchs grösser wird. Zusätzliche Verbrauchsspitzen könnten entstehen, wenn in den Sommermonaten mehr Personen ihre Ferien in der Schweiz statt im zukünftig heisseren Süden verbringen.

Trockene Sommer werden den Bedarf nach Wasser für die Gartenbewässerung stark erhöhen. Dafür kann Wasser von geringerer Qualität verwendet werden. Allerdings fehlen heute entsprechende Infrastrukturen. Einen Anhaltspunkt für die Höhe des zu erwartenden Bedarfs gibt der Hitzesommer 2003. Da heute das Grundwasser in der Schweiz nur selten bis an die Kapazitätsgrenzen genutzt wird und in den grösseren Seen genügend Wasserreserven vorhanden sind, wird es bei einer entsprechenden Vernetzung der Wasserversorgungsinfrastruktur möglich sein, zusätzliche Bedarfsspitzen zu decken. Allerdings ist lokal und temporär mit sinkenden Grundwasserspiegeln zu rechnen. Die Belastung des Grundwassers durch Einleitung vorgereinigter Oberflächenwässer in den Untergrund wird häufiger werden. Möglicherweise müssen Grundwasserschutzzonen vergrössert werden. Dies ist mit einem grossen finanziellen Aufwand verbunden, da die Ausscheidung von Schutzzonen Enteignungsverfahren mit sich zieht.

Die Wasserbeschaffung aus Quellen ist in ländlichen, schlecht vernetzten Karstgebieten (Jura, Voralpen) kritisch, wenn während längerer Trockenperioden oberflächlich gespiesene Quellen mit kleinen Einzugsgebieten versiegen. Um auch hier die Wasserversorgung sicherzustellen, ist eine stärkere Vernetzung erforderlich, welche mit Kosten verbunden sein wird.

Mit den Temperaturen werden sich auch die Wassertemperaturen erhöhen. Dies könnte in der Schweiz möglicherweise unangenehm, wenn auch noch nicht kritisch werden. Die Qualität des Rohwassers, welches zu 20% aus den Seen und zu 80% aus Grund- und Quellwasser stammt,

könnte sich in gewissen Fällen verschlechtern. Eine Veränderung der Algenpopulationen und damit der Sauerstoffverhältnisse würde neue Aufbereitungsverfahren erfordern. In den Verteilungen nimmt die Gefahr der Wiederverkeimung zu.

Abwasserentsorgung Kanalisation

Höhere Temperaturen in der Kanalisation aufgrund erhöhter Aussentemperaturen führen zu vermehrter Betonkorrosion und erhöhen damit den Unterhaltsbedarf. Die Wahl geeigneter Materialien kann dieses Problem verhindern. Geruchsprobleme könnten möglicherweise häufiger auftreten.

Wenn während Trockenperioden der Grundwasserspiegel absinkt, verringert sich das Eindringen (Infiltration) von Grundwasser. Gleichzeitig nimmt das Auslaufen (Exfiltration) von Abwasser zu. Dies erhöht die Sedimentation in den Kanälen und belastet möglicherweise auch das Grundwasser. Trockene Phasen haben auch einen Einfluss auf die Behandlung von Mischwasser, d.h. mit Abwasser vermisches Regenwasser, welches die Kläranlage wegen Kapazitätsgrenzen nicht aufnehmen kann. Wenn die Verdünnung in kleineren Fliessgewässern aufgrund geringer Wasserführung oder Austrocknung nicht mehr gewährleistet ist, können die Anforderungen an die Mischwasserbehandlung zunehmen. Zudem verringert sich mit abnehmendem Fremdwasseranteil die Schleppkraft in den Abwasserleitungen, was zu einem erhöhten Risiko von Verstopfungen führt und Anpassungen im Betrieb von Kläranlagen erfordert.

Intensive Niederschläge können andererseits zu Rückstau in Abwasserkanälen und somit zu Überschwemmungen von Kellerräumen oder ganzen Quartieren führen. Mit der erwarteten Zunahme an Starkniederschlägen wird dieses Problem häufiger auftreten und erfordert in kritischen Fällen das Verlegen von grösser dimensionierten Abwasserleitungen und die Installation von Rückstausicherungen.

Abwasserreinigung

Die Klimaänderung wird den Betrieb der Abwasserreinigung kaum gefährden. Es werden jedoch gewisse Anpassungen erforderlich sein. So beschleunigen sich bei steigenden Temperaturen die biologischen Prozesse, wodurch sich der Sauerstoffbedarf erhöht. Da gleichzeitig der Sauerstoffeintrag erschwert wird, bedingt dies eine Nachrüstung der Anlagen.

Höhere Gewässertemperaturen, Niedrigwasser als Folge zunehmender Trockenheit sowie der vermehrte Bedarf an Bewässerungswasser werden zusätzliche Anforderungen an die Abwasserreinigung zur Folge haben. Solche Investitionen könnten auch aufgrund höherer Ansprüche an die Badewasserqualität ausgelöst werden.

Hausanschlüsse

Bei der Kanalisation wie auch bei der Wasserversorgung treten Probleme primär bei den Hausanschlüssen auf. In der Stadt Zürich sind heute 50% der Leitungsbrüche in der Wasserversorgung in diesem Bereich. Wenn der Grundwasserspiegel als Folge der Klimaerwärmung sinkt, hat dies Setzungen zur Folge, aus welchen vermehrt Rohrbrüche resultieren können.

Unsicherheiten / Offene Fragen

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Siedlungswasserwirtschaft sind nur zum Teil abschätzbar. Um genauer zu beurteilen, wo tatsächlich Handlungsbedarf besteht, sind zusätzliche hydrologische Informationen erforderlich, insbesondere über die Entwicklung der Grundwasserstände, die Häufigkeit von kurzen, intensiven Regenereignissen, die zukünftige Wasserführung, die Häufigkeit von Extremen und über den Jahresgang.

5. Städtische Siedlungen

Die Wärmebelastung ist in Städten aufgrund des grossen Anteils versiegelter Flächen, des geringen Grünflächenanteils, der Abwärme durch Gebäude, Industrie und Verkehr sowie der schlechten Durchlüftung grösser als im Umland. Mit der Klimaänderung verstärkt sich das Problem der städtischen Wärmeinseln.

Die Stadt ist am Tag meistens kühler als das Umland, aber während der Nacht bedeutend wärmer. Verschiedene Faktoren tragen zum so genannten Wärmeinseleffekt und damit einer generell höheren Wärmebelastung in Städten bei: Gebäude und versiegelte Flächen absorbieren die Wärme stärker als nicht überbauter Boden. Die während des Tages eingetragene Wärme wird durch Strassen und Gebäude gespeichert, und der Kühlungseffekt durch Verdunstung ist im Vergleich zur ländlichen Umgebung gering, da Grünflächen und Pflanzen rar sind. Zusätzliche Wärme entsteht durch den Ausstoss von Abwärme durch Gebäude, Industrie und Verkehr. Schliesslich ist die Durchlüftung in Städten aufgrund der reduzierten Windgeschwindigkeit im Vergleich zur Umgebung schlechter.

Die Temperaturzunahme sowie vermehrt auftretende Hitzewellen oder Hitzeperioden verstärken das Problem der städtischen Wärmeinseln. So hatte der Hitzesommer 2003 in den Städten deutlich gravierendere Auswirkungen als in den ländlichen Gebieten.¹² Die Temperaturen erreichten besonders

hohe Werte und hatten zur Folge, dass die Bewohner und Bewohnerinnen von Städten von den zusätzlichen Todesfällen besonders betroffen waren.¹³ In Bezug auf die gesundheitlichen Auswirkungen sind nicht nur die Tageshöchstwerte, sondern auch die hohen nächtlichen Temperaturen von Bedeutung. Im Hinblick auf die erwartete Entwicklung, dass mit der Klimaänderung die nächtlichen Temperaturen stärker ansteigen werden als die Tagestemperaturen, sind Gegenmassnahmen besonders wichtig. Da die Nachttemperaturen in den Städten bereits heute grundsätzlich höher sind, werden sich mit der Klimaänderung die negativen gesundheitlichen Auswirkungen noch verstärken.

Die erhöhte Wärmebelastung in Städten wurde in der Schweiz im Städtebau bisher vernachlässigt. Damit sich die Wärmebelastung für die städtischen Bewohner mit der Klimaänderung nicht noch verstärkt, muss dieser Aspekt in der Raumplanung berücksichtigt werden. So kann beispielsweise die Begrünung und Beschattung von Gehsteigen und Fussgängerzonen die Wärmebelastung reduzieren.

Literatur und Anmerkungen

- 1 DP. Wyon. Indoor environmental effects on productivity. Indoor Air Quality Conference Baltimore, USA, 1996.
- 2 O. Seppänen, WJ. Fisk. A conceptual model to estimate the cost effectiveness of indoor environment improvements. Healthy Buildings Conference, Singapore, 2003.
- 3 B.W. Olesen. Indoor environment – Health-comfort and productivity. Climate 2005 Conference, Lausanne, Switzerland, 2005.
- 4 Th. Frank. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. Energy and Buildings, 37, 11, 2005, 1175–1185.
- 5 Th. Frank. (2006). Was wenn es wärmer wird – Die Schweiz im Klimawandel. 28. Wissenschaftsapéro, EMPA Akademie Dübendorf, Schweiz, 2006.
- 6 B. Wellig, B. Kegel B. et al. Verdoppelung der Jahresarbeitszahl von Klimakälteanlagen durch Ausnützung eines kleinen Temperaturhubs. Ernst Basler + Partner, Zürich, i.A. Forschungsprogramm UAW, Bundesamt für Energie, Bern, 2006.
- 7 M. Jakob, E. Jochem E., A. Honegger, A. Baumgartner, U. Menti, I. Plüss. Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten. Bundesamt für Energie, Bern, 2006.
- 8 Th. Egli. Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern, 115 S, 2006.
- 9 Th. Egli. Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern, 110 S., Vernehmlassungsversion (www.vkf.ch), 2006.
- 10 H.H. Schiesser et al. Klimatologie der Stürme und Sturmsysteme anhand von Radar- und Schadendaten. Projektschlussbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, NFP 31, vdf Hochschulverlag an der ETH, Zürich, 1997.
- 11 H.H. Schiesser. Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrößen – eine Abschätzung. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern, 2006.
- 12 C.U. Brunner, U. Steinmann, M. Jakob. Adaptation of Commercial Buildings to Hotter Summer Climate in Europe. Proceedings of the Conference Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings (IEECB'06), 26 – 27 April 2006, Frankfurt, 2006.
- 13 O. Thommen Dombois & C. Braun-Fahrlander. Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG), 2004.