

2.12 Bauten und Infrastrukturen

Technische Infrastrukturen wie Gebäude, Verkehrswege und Energieversorgungssysteme haben in der Regel Investitionszyklen von mehreren Jahrzehnten. Aber auch die sozialen Infrastrukturen wie Spitäler, Polizei oder Militär lassen sich nur langsam reorganisieren. Die Klimaänderung erfordert Anpassungen, reduziert aber gleichzeitig die Planungssicherheit. Die direkten Auswirkungen der Klimaänderung für die Schweiz bezüglich Bauten und Infrastrukturen dürften relativ gering sein, da die schweizerischen Bauten und Infrastrukturen im Vergleich zu anderen Ländern sehr gut an mögliche Klimaänderungen angepasst sind und teilweise auch von einer mässigen Erwärmung des Klimasystems profitieren könnten. Stärker als die direkten Auswirkungen werden uns voraussichtlich die indirekten Auswirkungen der Klimaänderung treffen. Die Schweiz ist eng verbunden mit der Weltwirtschaft, die in vielen Regionen grossen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen ausgesetzt sein wird. Diese Veränderungen können global wie auch in der Schweiz zu grossen Fehlinvestitionen führen und die Bauten und Infrastrukturen wesentlich stärker treffen als die direkten Folgen der Erwärmung des Klimasystems.

Christoph Ritz (ProClim/SCNAT), Mark Zimmermann (EMPA)

Globale Situation

Eine Jahresmitteltemperatur von 13 Grad Celsius wird in der Literatur als optimal für die wirtschaftliche Entwicklung angesehen (Burke et al. 2015). Diese Jahresmitteltemperatur dürfte auch für Bauten und viele Infrastrukturen günstige Voraussetzungen bieten, da die bauphysikalische Beanspruchung moderat ist und für hohe Wirtschaftsleistung und Komfort weder stark geheizt noch stark gekühlt werden muss (Wyon 2000). Die meisten heutigen Industrienationen liegen in klimatischen Gunstregionen mit Temperaturen unter oder nicht weit über 13 Grad Celsius Jahresmittel. Die Bauten und Infrastrukturen der Industrienationen weisen in der Regel relativ hohe Sicherheitsstandards und eine gute Bauqualität auf. Wie Abbildung 2.18 illustriert, dürften die nördlichen Industrienationen sogar unter dem Szenario ohne explizite Massnahmen zum Klimaschutz (kurz: Referenzszenario) RCP8.5 wirtschaftlich geschont bleiben, weniger aber die südeuropäischen Länder, Teile der USA und Chinas sowie Australien.

Viele Regionen in den Tropen und Subtropen weisen hingegen deutlich höhere Jahresmitteltemperaturen als 13 Grad Celsius auf. Zudem sind viele dieser Regionen bereits heute ungenügend an die natürlichen Schwankungen und Extreme angepasst. Es ist absehbar, dass bei einer Klimaänderung in diesen Entwicklungs- und Schwellenländern nicht nur die Gefährdung von Bauten und Infrastrukturen durch Klimaextreme steigt, sondern wegen der erwarteten Verringerung der Wirtschaftsleistung (Abb. 2.18) gleichzeitig auch die Anpassungsfähigkeit beziehungsweise die Kapazität für Prävention geringer wird. Im Vordergrund stehen dabei die Auswirkungen von Überschwemmungen und Stürmen, denen die Bauten oft nicht standhalten. Aber auch zunehmende Hitze und Trockenheit verursachen grosse Schäden und Beeinträchtigungen.

Nationale Situation

Im schweizerischen Mittelland beträgt die Jahresmitteltemperatur zirka 9,5 Grad Celsius. Die Schweiz kann somit wie die meisten gemässigten und nördlichen Klimazonen von einer mässigen Erwärmung des Klimasystems auch profitieren (Abb. 2.18). Das milder werdende Klima verringert den Heizenergiebedarf und das Ausmass der Frost- und Schneeschäden. Umgekehrt erhöhet sich der Bedarf für die sommerliche Kühlung. Allerdings wird dieser erst bei einer starken Erwärmung markant zunehmen. Ein erhohetes Bauschadenrisiko durch Wind undverstarkten Schlagregen (starker Regen bei hohen Windgeschwindigkeiten) ist denkbar, aber noch nicht schlüssig nachweisbar. Am kritischsten dürften Hochwasser und Murgänge sein, die mindestens lokal zu grossen Schäden führen können.

Die *technischen Infrastrukturen* der Schweiz wie Gebäude, Energiegewinnungs- und -transportinfrastruktur, Verkehrswege oder Kommunikationssysteme sind – im Vergleich zur Situation in den meisten Weltregionen – sehr gut an die *direkten Auswirkungen* der heutigen Klimaverhältnisse angepasst. Hinzu kommen gut ausgebaute Beobachtungssysteme, um gravierende Naturgefahren frühzeitig zu erkennen und Massnahmen einzuleiten.¹ Die Schweiz verzeichnete deshalb in den letzten Jahrzehnten nur wenige Todesfälle aufgrund extremer Wetterereignisse, mit Ausnahme der rund 1000 vorzeitigen Todesfälle während des Hitzesommers 2003. Die technischen Infrastrukturen dürften auch in Zukunft den klimatischen Herausforderungen weitgehend genügen oder können angepasst werden. Allerdings wurden beim Hochwasser 2005 doch Sachschäden von 3 Milliarden Franken registriert.

¹ Zum Beispiel das regelmässige Ausmessen von Gebirgshangen rund um Gebirgstaueisen oder fest installierte Messstellen für Erdbeben oder Steinschlag an gefährdeten Verkehrsachsen im Gebirge.

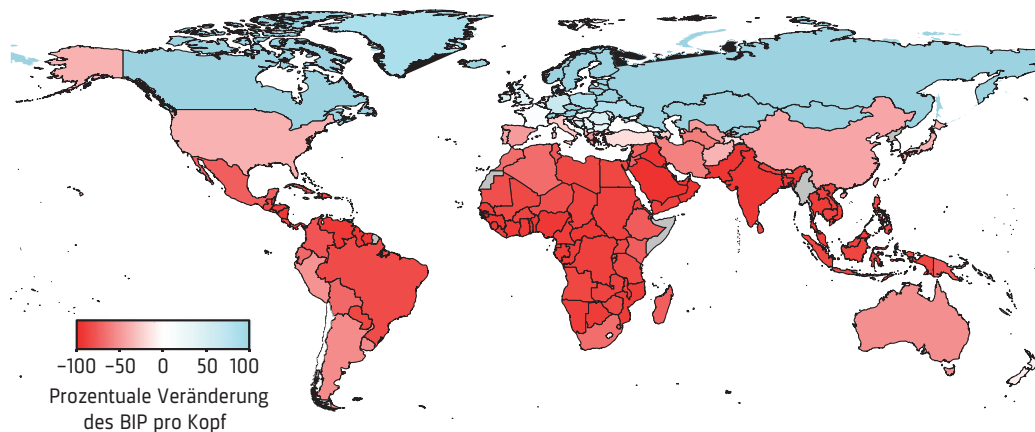


Abbildung 2.18: Projizierte Veränderung des Bruttoinlandsprodukts im Jahr 2100 für das Szenario RCP8.5 verglichen mit einer Entwicklung unter heutigem Klima. Die meisten Industrieländer mit ihren Bauten und Infrastrukturen liegen in gemässigten Gebieten mit mittleren Jahrestemperaturen in der Nähe der idealen 13 Grad Celsius. Sie dürften relativ geringe Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt BIP erfahren. Die erwarteten negativen Auswirkungen auf das BIP in den meisten Entwicklungsländern dürfte die Anpassung der Bauten und Infrastrukturen stark erschweren. (Quelle: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Burke et al. 2015, copyright [2015])

Weniger klar ist, wie gut die Schweiz bei den *sozialen Infrastrukturen* für zukünftige Klimaereignisse gewappnet ist: Das Gesundheitssystem mit Spitälern und Rettungsdiensten oder Sicherheitseinrichtungen wie Polizei, Militär, Zivilschutz wurden bisher kaum in Katastrophensituationen getestet. Der warme Sommer 2015 hat immerhin gezeigt, dass Lehren aus dem Hitzesommer 2003, beispielsweise Anpassungen in der Gesundheitsversorgung, die Verletzlichkeit sehr wahrscheinlich verringerte.

Aus verschiedenen sozioökonomischen Gründen besteht bei allen Infrastrukturen und Bauten der Schweiz trotzdem ein Anpassungsbedarf. Dieser wird durch die Folgen der Klimaänderung mindestens teilweise noch verstärkt:

- Mit wachsender Bebauungsdichte, Zersiedelung und zunehmender Mobilität nimmt die *Exposition* von Menschen, Gebäuden und Infrastrukturen gegenüber Naturereignissen zu, und das Risiko von Schäden steigt entsprechend. Zum Beispiel wächst das Personenschadensrisiko mit erhöhter Zugdichte und Anzahl beförderter Personen, auch wenn die Eintrittshäufigkeit des Naturereignisses (*Gefährdung*) gleich bleibt. Eine Erhöhung der Eintrittshäufigkeit aufgrund des Klimawandels erhöht die Gefährdung und damit das Risiko zusätzlich (s. a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77).
- Die Gesellschaft akzeptiert immer weniger Risiken – insbesondere wenn es externe Einwirkungen betrifft. Insbesondere nimmt die Akzeptanz von Risiken ab, wenn es um sehr seltene Ereignisse geht, die jedoch katastrophale Auswirkungen haben (Sunstein 2003). Eini-

ge Bauten liegen bereits heute in Gefahrenzonen, in denen nach heutigem Stand des Wissens und bei heutiger Risikoakzeptanz nicht mehr gebaut werden dürfte. Eine Verstärkung der Häufigkeit und Intensität von Ereignissen aufgrund des Klimawandels kann lokal zu einer Vergrößerung der Gefahrenzonen führen, womit zusätzliche bestehende Bauten und Infrastrukturen in Gefahrenzonen zu liegen kommen.

Schleichende Veränderungen, Extreme und Anpassung

Technische Infrastrukturen haben in der Regel Investitionszyklen von mehreren Jahrzehnten. Um unvorhergesehene Wertverluste zu vermeiden, muss beim Bau oder Umbau die zu erwartende Klimaänderung über den ganzen Investitionszyklus eingeplant werden.

Besonderes Augenmerk gilt den Infrastrukturen der *dicht besiedelten Gebiete* – der Städte und deren Agglomerationen – wo sich 80 Prozent der Arbeitsplätze befinden (Bundesrat 2015) und bei einem Extremereignis viele Menschen betroffen sind. Der IPCC-Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe II hat die Auswirkungen der Klimaänderung auf diese urbanen Gebiete gesondert untersucht. In Abbildung 2.19 sind die für die Schweiz wichtigsten Risikotypen aufgeführt, zusammen mit ihren klimatischen Ursachen.




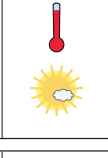


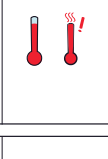
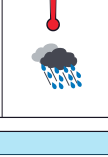







Urbane Regionen in der Schweiz		
Infrastruktur	Anpassungsbelange und Perspektiven	Klimatische Einflussfaktoren
Frischwasserversorgung	Die Wasserversorgung in der Schweiz ist für die meisten Städte gesichert. Für langanhaltende Hitzeperioden sind Korrekturen am Versorgungsnetz (z.B. grössere Verbünde), Massnahmen zur Reduzierung des Verbrauchs und ein integrales Verbrauchsmangement für Wasserkraft, Bewässerung und Trinkwasser erforderlich.	
Abwassersystem	Verschmutztes Abwasser aus Haushalten, Industrie und stark befahrenen Strassen wird meist nicht getrennt von unverschmutztem Abwasser (z. B. von Hausdächern). Die Bevölkerungszunahme und grössere Niederschlagspitzen führen zu überlasteten Systemen und zu direktem Überlauf in die Gewässer. Durch Neudimensionierung und Trennung lassen sich bei der Erneuerung von überalterten Systemen die Kosten optimieren.	
Energieversorgung	Die Energieversorgung von städtischen Gebieten mit ihren Industrien ist besonders während grossräumigen Hitzeperioden oder Kälteeinbrüchen gefährdet. Dies gilt insbesondere dann, wenn die 40 Prozent Stromerzeugung der KKW nicht durch erneuerbare Energien ersetzt wurden und der Verbrauch, trotz Effizienzmassnahmen zunimmt. Durch lokale Produktion (z. B. Photovoltaik) lassen sich Engpässe im Sommer minimieren.	
Nahrungsmittelversorgung	Die Nahrungversorgung der Schweizer Agglomerationen ist globalisiert und damit stark beeinflusst durch die globalen Preise und die lokale und nationale landwirtschaftliche Produktivität. Die Anpassung der städtischen Nahrungsmittelversorgung stellt eine grosse Herausforderung dar. Einschneidende Veränderungen in der Herstellung, Lagerung, Weiterverarbeitung und Transport von Nahrungsmitteln sowie die Reduktion von Abfall sind erforderlich.	
Transport und Kommunikation	Schweizer Agglomerationen und im Speziellen die grösseren urbanen Regionen verfügen über ein dichtes öffentliches Verkehrssystem und Kommunikationsnetz. Diese Netze sind zwar verwundbar, aber durch ihre gegebene Redundanz auch bei klimatischen Extremereignissen gut verfügbar. Bergregionen sind hier verletzlicher, da alle Transportwege und Kommunikationsinfrastrukturen in den Tälern nahe beieinander liegen.	
Behausung	Schweizer Agglomerationen bestehen aus einer grossen Zahl von alten (oft geschützten) Gebäuden mit schlechter Isolation im Sommer und Winter. Zudem stehen verschiedene Gebäude in Gefahrenzonen bezüglich Überschwemmungen. Während grössere Anstrengungen zur Reduktion des Heizenergieverbrauchs bereits unternommen werden, wird dem Hitzestau in Gebäuden durch ungenügenden Sonnenschutz noch wenig Beachtung geschenkt.	
Gesundheitssystem	Die Gesundheitsüberwachung und Pflege durch das Schweizer Gesundheitssystem ist reaktionsfähig. Während länger andauernden Hitzeperioden erfordern besonders ältere, chronisch kranke und sehr junge Menschen gezielte Hilfe.	
Hauptwirtschaftssektoren und Dienstleistungen	Die Schweizer Wirtschaft wird dominiert durch den Dienstleistungssektor und durch global tätige Firmen, welche abhängig sind von Klimarisiken der externen Märkte. Unterbrüche der essentiellen Infrastrukturen wie Transport- und Energienetzwerke haben kurzfristige Auswirkungen.	
Legende der klimatischen Einflussfaktoren		
 Erwärmung	 Extreme Temperaturen	 Niederschlag
 Extremer Niederschlag	 Schneebedeckung	 Austrocknung
 Hochwasser		

Abbildung 2.19: Klimarisiken auf Infrastrukturen in Städten und Agglomerationen der Schweiz. Dargestellt sind die Schlüsselrisiken und deren klimatische Ursachen. (Quelle: Design nach IPCC 2014/WGII/Chap.8/Tab.8-6 (London) und Tab.8-3 (generisch), Inhalt angepasst auf die Schweiz)

Das Abwassersystem als Beispiel (zweites Schlüsselrisiko in der Abbildung 2.9) ist besonders durch Klimagefahren aufgrund von Starkniederschlägen und Überflutungen gefährdet. Heute sind die Risiken an den meisten Orten noch gering. Sie können jedoch an exponierten Stellen (Schmutzwasser aus Kläranlagen, das bei Extremniederschlägen in die Flüsse gelangt) bereits heute mittelhoch sein.

In der Schweiz sind die *ländlichen Gebiete* mit wenigen Ausnahmen sehr eng mit den städtischen Räumen verwoben. Sie dienen als Wohnort für Menschen, die in den Städten arbeiten und werden von Personen aus den Agglomerationen als Naherholungsgebiet genutzt. Zudem sind die urbanen Räume abhängig von ländlichen Gebieten und deren Ressourcen wie Trinkwasser, Nahrungsmittel und Energie. Extremereignisse in den ländlichen Gebieten können damit auch die Versorgung der städtischen Gebiete empfindlich treffen.

In einigen ländlichen Räumen, insbesondere im Gebirge, kommen weitere spezifische Infrastrukturrisiken hinzu: Bei Unterbrüchen von Transportwegen gibt es oft keine Umfahrungsmöglichkeiten. Die Versorgungssicherheit ganzer Regionen – allerdings mit schwacher Besiedelung – kann so gefährdet sein. Alpenquerende Verkehrsachsen bergen daneben weitere Risiken. Oft befinden sich dort auf engem Raum in der Talsohle neben Bahn und Strasse auch Gas- oder Ölpipelines und Hochspannungsleitungen. Ein einzelnes Extremereignis kann zu Versorgungslücken führen, die weit über das Tal hinaus die Wirtschaft und die Bevölkerung betreffen.

Herausforderungen für die Schweiz

Teure zukünftige Investitionen aufgrund veränderter klimatischer Verhältnisse und ausserhalb der normalen Sanierungen von Gebäuden und Infrastrukturen lassen sich minimieren, indem die über den ganzen Lebenszyklus der Bauten zu erwartenden Klimaänderungen bereits bei deren Bau berücksichtigt werden. Voraussetzung sind verlässliche Klimaprojektionen, darauf basierende Gefahrenkarten und eine konsequente Umsetzung der Erkenntnisse durch konkrete und überprüfbare Gesetze und Regeln und/oder mit finanzieller Unterstützung (z. B. durch einen Fonds der öffentlichen Hand). Da der Lebenszyklus der Bauten und Infrastrukturen oft weit mehr als 50 Jahre beträgt, sind Anpassungsstrategien in zweifacher Hinsicht eine Herausforderung:

- Die heute nötigen Anpassungen bei einem Bau oder einer Erneuerung hängen vom Erfolg der weltweiten Klimaschutzmassnahmen ab: Die zu tätigenden Anpassungen an ein Klima mit einer Erwärmung von zwei Grad Celsius sind anders als diejenigen an ein Klima mit vier Grad Celsius Erwärmung.

- Die Beschränkung der Erwärmung auf zwei Grad Celsius setzt eine Dekarbonisierung voraus: Eine weitgehend CO₂-emissionsfreie Welt stellt andere Anforderungen an Bauten und Infrastrukturen (z. B. Strassenausbauten oder Flughäfen) als eine mehrheitlich auf fossiler Energieversorgung basierte Welt.

Wichtig ist deshalb, dass bei den Anpassungsanstrengungen auch berücksichtigt wird, welche Auswirkungen die nationalen und internationalen Massnahmen zur Eindämmung des Klimawandels – die je nach Klimapolitik grosse wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen auslösen können – haben werden. Die Schweiz ist den Folgen solcher Veränderungen aufgrund ihrer starken globalen Vernetzung massiv ausgesetzt. Die Planungssicherheit beim Bau oder Unterhalt von Infrastrukturen wird dadurch eingeschränkt. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt:

- Vor allem aufgrund veränderter Energiepreise (z. B. durch Lenkungsabgaben) oder einer veränderten Energienachfrage (z. B. durch grössere Effizienz oder bessere Nachfragesteuerung) können sich heutige Investitionen im Energiebereich im Nachhinein als unrentabel erweisen und Arbeitsplätze in wichtigen Bereichen gefährden. Bereits heute müssen beispielsweise grosse Investitionen in den Umbau des Stromnetzes getätigt werden,² um die durch Photovoltaik- und Windanlagen dezentral erzeugte erneuerbare Energie räumlich und zeitlich umverteilen zu können. Der benötigte Ausbaugrad hängt jedoch stark vom Ausbau beziehungsweise der Förderung der unterschiedlichen Energiequellen und von den technischen Entwicklungen bei der lokalen Energienachfrage (lokale Speicherung, Smart Grids etc.) ab.
- Veränderte Mobilitäts- und Tourismusbedürfnisse können neue Investitionen erfordern und gleichzeitig andere in Frage stellen. Der Tourismusbereich reagiert sehr sensibel auf Veränderungen des wirtschaftlichen Umfelds. Es ist absehbar, dass sich der Schweizer Tourismus aufgrund des Klimawandels neu ausrichten und dazu grosse Investitionen in Infrastrukturen tätigen muss, deren Rentabilität aufgrund ungewisser Entwicklungen im nationalen und globalen sozioökonomischen Umfeld mit einer grossen Unsicherheit behaftet ist (s. a. Kap. 2.11 Tourismus, S. 117).

Die schwierigste Aufgabe dürfte die Anpassung der sozialen Infrastrukturen sein. Das von unserem Wirtschaftssystem vorausgesetzte Wachstum von Konsum und Produktion und die zur Eindämmung des Klimawandels notwendigen Einschränkungen derselben stehen sich gegenüber und mindern durch die entsprechende, riesige

² Gemäss Schätzungen von Swissgrid werden rund 10 bis 16 Milliarden Franken für das Übertragungs- und Verteilnetz benötigt. Einige dieser Investitionen fallen auch im Rahmen der normalen Erneuerung an. Die Aufrüstung des lokalen Netzes mit Mess-, Steuer- und Regeltechnik zur Bewältigung der lokalen Stromeinspeisung dürfte gemäss den Bernischen Kraftwerken (BKW) den Investitionsbedarf gegenüber heute mehr als verdoppeln.

Bandbreite möglicher gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Entwicklungen die Planungssicherheit und erhöhen damit das Risiko von Fehlinvestitionen.

Forschungsbedarf

Vertiefte Systemanalysen sind nötig, um die komplexen Zusammenhänge zu verstehen zwischen Energiebereitstellung und Energienutzung, der veränderten Nutzung von Bauten und Infrastrukturen und deren Abhängigkeiten von Kosten, Marktregulierungen und Marktchancen. Nebst den technischen Risiken müssen auch die zukünftigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen verstärkt in Entscheidungen einbezogen werden. Es braucht dazu mehr als das Wissen zu saisonalen Temperatur- und Niederschlagsveränderungen und zur Häufigkeit und Dauer von intensiven Ereignissen (Gefährdung), um die Risiken für Infrastrukturen und die Möglichkeiten zur Anpassung abschätzen zu können. Weitere Parameter wie die Exposition, die Verletzlichkeit und Anpassungsfähigkeit der Infrastrukturen sind ebenfalls entscheidend. Zur Abschätzung der Verletzlichkeit und zur Wahl geeigneter Anpassungsmassnahmen sind Projektionen von Zeitreihen von Klimaparametern in täglicher oder stündlicher Auflösung erforderlich, die mit weiteren Risikoparametern gekoppelt werden können, wie dem Energiesystem und Transportsystem oder gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen.

Referenzen

- Bundesrat (2015) **Agglomerationspolitik des Bundes 2016+**. Für eine kohärente Raumentwicklung Schweiz. Bericht vom 18. Februar 2015, Bern.
- Burke M, Hsiang SM, Miguel E (2015) **Global non-linear effect of temperature on economic production**. *Nature* 527: 235–239.
- IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2
- IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 8 «Urban Areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2
- IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 9 «Rural Areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2
- Sunstein CR (2003) **Terrorism and Probability Neglect**. *The Journal of Risk and Uncertainty* 26: 121–136.
- Wyon DP (2000) **Enhancing Productivity While Reducing Energy Use in Buildings**. Proceedings of the conference «E-Vision 2000», Department of Energy, Washington DC: 11–13.