



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz im Sektor Energie

Beitrag des Bundesamtes für Energie zur Anpassungsstrategie des Bundesrates

Inhalt

1. Ausgangslage.....	2
2. Die wichtigsten Handlungsfelder bei der Anpassung	2
2.1. Identifikation der relevanten Bereiche.....	2
2.2. Beurteilung der relevanten Bereiche.....	4
2.2.1. Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft	4
2.2.2. Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken.....	6
2.2.3. Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen	7
2.2.4. Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden.....	8
2.2.5. Übersicht: Beurteilung der potenziell relevanten Bereiche	10
2.3. Bestehende Unsicherheiten und Wissenslücken.....	10
2.4. Wichtige Handlungsfelder	11
3. Anpassungsstrategie Energie.....	12
3.1. Strategische Ziele	12
3.2. Handlungsoptionen und bestehende Anknüpfungspunkte zur Zielerreichung.....	12
3.3. Wichtige gesetzliche Grundlagen	14
4. Literatur	15

Kontaktpersonen Bundesamt für Energie BFE:

- Beat Goldstein, Abteilung Energiewirtschaft
- Lukas Gutzwiller, Abteilung Energiewirtschaft
- Adrian Grossenbacher, Abteilung Energieeffizienz und Erneuerbare Energien

Redaktion: M. Nauser, Publizack GmbH, Biel/Ittigen

Stand: 23. Februar 2012

1. Ausgangslage

Ziel der schweizerischen Energiepolitik ist die ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung. Im Energiegesetz sind darüber hinaus die sparsame und rationelle Energienutzung sowie die verstärkte Nutzung von einheimischen und erneuerbaren Energien als Ziele verankert.

Im Rahmen der Nationalen Anpassungsstrategie an den Klimawandel ist zu prüfen, ob die Erreichung der oben genannten Ziele durch die erwarteten Auswirkungen beeinträchtigt wird. Steigende Temperaturen, ein sich veränderndes Niederschlagsregime und das Auftreten neuartiger Witterungsextreme können das Energieerzeugungspotenzial, den Betrieb von Produktions- und Transportinfrastrukturen sowie die Nachfrage nach Energie beeinflussen. Die Frage stellt sich, ob die Versorgungssicherheit und die Anlagensicherheit auch unter veränderten Klimabedingungen weiterhin gewährleistet sind. Gleichzeitig ist zu klären, ob klimabedingte Veränderungen oder Anpassungen bei der Bereitstellung von Energie zu potenziellen Konflikten mit anderen durch den Klimawandel betroffenen Bereichen führen können.

Vor diesem Hintergrund hat das BFE, u.a. im Zusammenhang mit der Erarbeitung von Szenarien zur zukünftigen Energieversorgung der Schweiz (Energieperspektiven 2035 und 2050), die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels und den sich ergebenden Handlungsbedarf anhand von Studien Dritter und eigener Analysen evaluiert. Zusätzlich wurden im vorliegenden Zusammenhang verfügbare Materialien aus dem europäischen Umland (insbes. Deutschland: IÖW 2009, Österreich: Haas et al. 2008, Kranzl et al. 2010) gesichtet, um ergänzende Hinweise auf potenzielle Handlungsfelder zu erhalten. Als weiteres Element wurden wichtige laufende Forschungsprojekte mit engem Bezug zur Teilstrategie Energie einbezogen. Die Energiestrategie 2050¹ konnte in den Grundzügen bereits berücksichtigt werden. Ihre weitere Konkretisierung wird wiederum Anpassungen der hier vorliegenden Teilstrategie bedingen.

Während energierelevante Auswirkungen und Anpassungsmassnahmen im Gebäudebereich berücksichtigt werden, ist der Bereich Mobilität nicht Gegenstand des vorliegenden Papiers.

2. Die wichtigsten Handlungsfelder bei der Anpassung

Identifikation der relevanten Bereiche

Die Teilstrategie Energie geht in Übereinstimmung mit OcCC (2007) davon aus, dass der Klimawandel in der Schweiz mittel- bis langfristig signifikante Auswirkungen auf die Durchschnittstemperaturen sowie auf das saisonale und regionale Niederschlags- und Abflussregime haben wird. Auch wird mit vermehrten Extremwetterlagen (Hitze, Intensivniederschlag, Trockenheit) gerechnet. Bei der Sturmak-

¹ Siehe Medienmitteilung vom 25. Mai 2011 (<http://www.bfe.admin.ch/energie/00588/00589/00644/index.html?lang=de&msgid=39337>)

tivität sind die Unsicherheiten über die Auswirkungen des Klimawandels noch zu gross, um daraus einen Handlungsbedarf ableiten zu können. Entsprechende Risiken, z.B. im Bereich der Versorgungssicherheit, sollten evaluiert werden, sobald verlässlichere Beurteilungsgrundlagen vorliegen.

Unter Berücksichtigung der spezifischen Voraussetzungen der Schweiz als Gebirgsland ohne eigene fossile Ressourcenbasis können die folgenden Bereiche als für die Anpassungsstrategie im Energiesektor potenziell relevant erachtet werden:

- **Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft:** Die Wasserkraft hat einen grossen Stellenwert für die Energieerzeugung in der Schweiz. Die Nutzung der Wasserkraft ist eng an das Niederschlags- und Abflussregime gekoppelt. Auch Extremwetterperioden (insbes. Trockenheit, Hochwasser) sowie temperaturbedingte Veränderungen im Hochgebirge (Rückzug der Gletscher, Auftauen des Permafrosts) können sich auf das Produktionspotenzial, die Sicherheit und den Betrieb der Kraftwerkanlagen auswirken. Zudem ist infolge des Klimawandels mit einer verschärften Konkurrenz um die Ressource Wasser und zusätzlichen Ansprüchen an die Bewirtschaftung von Wasserspeichern (z.B. im Interesse des Hochwasserschutzes oder der Niedrigwasseraufhöhung) zu rechnen. Der Beitrag der **Energieerzeugung aus weiteren erneuerbaren Energiequellen** (Sonne, Holz/Biomasse, Wind) ist gegenwärtig noch klein. Mittel- und längerfristig dürfte sich der Klimawandel auch auf das Produktionspotenzial und die Wirtschaftlichkeit dieser Energiequellen auswirken. Aufgrund der auf längere Sicht noch sehr grossen Unsicherheiten über den Einfluss des Klimawandels und des künftigen Beitrags dieser Energieträger zur Energieversorgung in der Schweiz wird auf diesen Aspekt im Rahmen der vorliegenden Strategie nicht weiter eingegangen.
- **Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken:** Auch die thermischen Kraftwerke – heute insbesondere die Kernkraftwerke – spielen für die Energieerzeugung in der Schweiz eine grosse Rolle. Ein Handlungsbedarf kann sich bei steigenden Temperaturen in zweierlei Hinsicht ergeben: Einerseits ist der Wirkungsgrad thermischer Kraftwerke von der Umgebungstemperatur abhängig, andererseits muss die Kraftwerksleistung reduziert werden, wenn keine ausreichenden Möglichkeiten zur Kühlung bestehen.
- **Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen:** Wichtige Transitleitungen für Elektrizität und Gas zwischen Nord- und Südeuropa führen durch die Schweiz. Diese liegen punktuell in Gebieten, wo bei steigenden Temperaturen mit einer Destabilisierung des Untergrunds sowie mit vermehrten Massenbewegungen (Murgänge, Felsstürze) gerechnet werden muss. Es stellt sich die Frage, ob zusätzliche Vorkehrungen getroffen werden müssen, um die Sicherheit dieser Leitungen zu gewährleisten.
- **Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden:** Steigende Durchschnitts- und Maximaltemperaturen führen zu einer Zunahme des Kühlbedarfs in Gebäuden. Der verbreitete Einsatz von Installationen und Geräten für Lüftung, Kühlung und Klimatisierung ist ein Szenario, welches zu einer markanten Zunahme der Nachfrage nach Elektrizität führen dürfte. Die Herausforderung besteht darin, behagliche Wohn- und Arbeitsbedingungen zu gewährleisten und gleichzeitig die energiepolitische Zielsetzung einer sparsamen und rationellen Energienutzung zu erreichen.

Beurteilung der relevanten Bereiche

Nachstehend wird eine Beurteilung der relativen Bedeutung der oben identifizierten Bereiche innerhalb der Teilstrategie Energie vorgenommen. Die Beurteilung erfolgt anhand von drei Dimensionen:

- **Einfluss des Klimawandels:** Wie stark wirkt sich die Veränderung des Niederschlagsregimes, der Temperaturen, der Witterungsextreme und daran gekoppelter Naturgefahren auf den Bereich aus?
- **Relative Wichtigkeit:** Welche Bedeutung haben die erwarteten, klimabedingten Veränderungen im betrachteten Bereich aus der Sicht des Gesamtsektors?
- **Handlungsbedarf:** Wie gross ist der (Zusatz-)Aufwand, um angemessen auf neue, klimabedingte Risiken und Herausforderungen zu reagieren?

2.1.1. Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft

- **Einfluss des Klimawandels:**
 - Niederschläge, Abflüsse, nutzbare Wassermenge: Die zukünftige Entwicklung der Niederschläge, der Abflüsse und der nutzbaren Wassermenge ist für das Produktionspotenzial und die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerkbetriebs von erheblicher Bedeutung. In den vergangenen 10 Jahren war die zukünftige Entwicklung der Niederschläge, der Verdunstung und der Abflussmengen Gegenstand verschiedener Untersuchungen. Die Einschätzungen haben sich im Zeitverlauf z.T. markant geändert und von einer ursprünglich neutralen bis positiven zu einer eher negativen Beurteilung geführt (vgl. die Übersicht in NWB 2009, p.28f). Im Rahmen der Hauptstudie des NWB-Projektes "Klimaänderung und Wasserkraftnutzung" wird neu von einer mittelfristig weniger starken Reduktion der jährlichen Gesamtniederschlagsmenge und entsprechend etwas günstigeren Voraussetzungen für die Wasserkraftproduktion ausgegangen, wobei eine differenzierte Betrachtung pro Kraftwerktyp notwendig ist (vgl. Schädler 2010, Kap. 1.3 / Anhang I sowie SGHL 2011). Die Bildung neuer Seen durch die Gletscherschmelze stellt eine mögliche Chance für die Wasserkraftnutzung dar. Die Unsicherheit über die effektive, auf einzelne Einzugsgebiete und Kraftwerke bezogene Entwicklung bleibt indessen gross.
 - Trockenheit, Niedrigwasser: Perioden anhaltender Trockenheit mit niedrigen Wasserständen in den Fliessgewässern dürften in Zukunft vermehrt auftreten. Dies wird sich insbesondere auf die Produktion von Elektrizität aus Laufwasserkraftwerken auswirken und zu einer stärkeren Beanspruchung von Speicherkraftwerken führen. Zu berücksichtigen ist, dass sich mit der Veränderung des Temperatur- und Niederschlagsregimes auch der durchschnittliche jahreszeitliche Füllstand von Speicherseen ändert.
 - Geschiebe, Feststoffeintrag in Stauräume: Verschiedene Infrastrukturen der Wasserkraftnutzung (insbes. Speicherseen, Wasserfassungen) befinden sich im Einflussbereich von Gletschern und Permafrost. Aufgrund steigender Temperaturen und intensiverer Niederschläge ist in diesen Gebieten mit der vermehrten Mobilisierung von Lockermaterial, potenziell zu-

nehmenden Felssturfrisiken und einer Zunahme der Geschiebe- und Schwebstofffracht zu rechnen (vgl. Schleiss et al. 2010 sowie die Teilstrategie Naturgefahren).

Insgesamt ist der Einfluss des Klimawandels auf die Wasserkraftnutzung aufgrund des heutigen Kenntnisstands als mittel bis gross zu bezeichnen.

- **Bedeutung der Veränderung für den Energiesektor:** Die erwarteten, klimabedingten Veränderungen des Gewässerregimes sind von potenziell erheblicher Bedeutung für die Wasserkraft. Die Elektrizitätserzeugung aus Wasserkraft hat einen hohen Stellenwert für die Energieversorgung. Die Wichtigkeit der Veränderungen für den Energiesektor wird darum als mittel bis gross eingestuft.
- **Handlungsbedarf:**
 - Grundlagen: Zahlreiche für die Wasserkraftnutzung relevante Forschungsarbeiten sind im Gang (vgl. Kap. 2.3). Eine Neubeurteilung der klimarelevanten Aussagen in den Energieperspektiven 2035 und eines allfälligen regulatorischen Handlungsbedarfs ist vorzunehmen, sobald die Ergebnisse dieser Arbeiten vorliegen.
 - Regulierung (Gesetzliche Grundlagen/Vollzug): Die Versorgungssicherheit ist auch bei witterungsbedingt örtlich eingeschränkten Produktionsbedingungen (z.B. anhaltende Trockenheit) in hohem Mass gewährleistet, da der Ort von Produktion und Verbrauch weitgehend voneinander unabhängig sind. Allerdings ist eine allzu grosse Abhängigkeit von ausländischen Produktionskapazitäten zur Deckung von Verbrauchsspitzen im Inland zu vermeiden, da dies zur systematischen Überlastung des Netzes führen kann. Zudem dürften die erwarteten Veränderungen des Abflussregimes (Veränderung des Q_{347} -Werts²) mittelfristig die Überprüfung der geltenden Bestimmungen im Bereich der Restwasserdotierung von Fliessgewässern notwendig machen. Den veränderten Rahmenbedingungen ist bei Konzessionierungsverfahren und in Vereinbarungen/Regelungen zur Wasserbewirtschaftung (Rolle der Speicherseen für Hochwasserschutz und Niedrigwasseraufhöhung) Rechnung zu tragen. Mögliche zusätzliche Risiken für die Sicherheit von Talsperren sind im Rahmen der Aufsichtstätigkeit des Bundes zu berücksichtigen. Alle grossen Anlagen unterstehen der Sicherheitsaufsicht des Bundes. Die übrigen (kleineren) Stauanlagen, die für Personen oder Sachwerte eine besondere Gefahr darstellen, stehen unter der Aufsicht der Kantone. Die Inhaber von Stauanlagen müssen diese während ihrer ganzen Lebensdauer überwachen, der Aufsichtsbehörde periodisch Bericht erstatten und über ein Notfallkonzept verfügen. Als Konsequenz eines im Auftrag des UVEK 2009 durchgeführten 'Sicherheitsaudits' soll das BFE zur verbesserten Wahrnehmung seiner Aufsichtsfunktion ein Sicherheits- sowie ein Risikomanagementsystem einführen. Diese Massnahme soll auch die Identifikation neuer Risiken und die frühzeitige Planung von Massnahmen erleichtern.
 - Anpassung seitens der Betreiber: Veränderungen in den Einzugsgebieten (Gletscherschmelze), die sich saisonal verändernde Wasserführung in Fliessgewässern sowie das

² Der Q_{347} -Wert ist definiert als die Abflussmenge, die, gemittelt über zehn Jahre, durchschnittlich während 347 Tagen des Jahres erreicht oder überschritten wird und die durch Stauung, Entnahme oder Zuleitung von Wasser nicht wesentlich beeinflusst ist.

häufigere Auftreten von Extremwetterperioden werden sich auf die Bewirtschaftung der Speicherseen auswirken. Die Zunahme der Geschiebe- und Schwebstofffracht in Gebirgsbächen dürfte sich insbesondere auf den Unterhaltsaufwand (Geschieberückhalt, Ausbaggung/Deponierung; Abnutzung der Turbinen) auswirken und die häufigere Spülung von Stauseen erforderlich machen.

Aufgrund dieser Ausgangslage wird der aktuelle Handlungsbedarf als mittel eingestuft.

- **Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft – zusammenfassende Beurteilung:**
 - Einfluss des Klimawandels mittel-gross
 - Relative Wichtigkeit mittel-gross
 - Handlungsbedarf mittel

2.1.2. Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken

- **Einfluss des Klimawandels:** Höhere Umgebungstemperaturen verringern den Wirkungsgrad thermischer Kraftwerke. So besteht heute temperaturbedingt ein Unterschied von 5 bis 8 Prozent zwischen der Sommer- und der Winterleistung der Kernkraftwerke.³ Die Leistung thermischer Kraftwerke variiert auch in Abhängigkeit von Tageszeit und Temperatur des Kühlmediums um bis zu 15% (BFE 2007b). Aufgrund der klimabedingten Erhöhung des durchschnittlichen Temperaturniveaus ist in Zukunft mit einer Reduktion der durchschnittlichen Jahresleistung dieser Kraftwerke zu rechnen.

Bei wassergekühlten Kraftwerken stellt sich zusätzlich das Problem, dass der Einleitung von zur Kühlung genutztem Wasser in die Fließgewässer aus ökologischen Gründen rechtliche Grenzen gesetzt sind. Mit parallel zur Lufttemperatur steigenden Gewässertemperaturen dürften diese Grenzen im Sommer in Zukunft häufiger erreicht werden. Eingeschränkte Kühlungsmöglichkeiten bedingen ihrerseits eine Reduktion der Kraftwerksleistung, was wiederum eine geringere Produktion zur Folge hat.

Aufgrund des relativ hohen Stellenwerts von Klimaparametern für die Elektrizitätserzeugung in thermischen Kraftwerken wird der Einfluss des Klimawandels als mittel bis gross eingestuft.

- **Bedeutung der Veränderung für den Energiesektor:** Die erwarteten Veränderungen bei den Luft- und Wassertemperaturen sind von potenziell erheblicher Bedeutung für die thermischen Kraftwerke. Angesichts des hohen Stellenwerts dieser Kraftwerke für die Elektrizitätserzeugung ist auch die Wichtigkeit der Veränderungen für den gesamten Energiesektor als mittel bis gross zu bewerten.
- **Handlungsbedarf:** Aus Sicht der Anpassung an den Klimawandel und der bestehenden Interessenkonflikte mit dem Schutz der Gewässerökologie steht bei den thermischen Kraftwerken die Optimierung bzw. Vermeidung von Anlagen mit offenem Kühlwasserkreislauf sowie die allfällige Überprüfung der rechtlichen Bestimmungen zur Einleitung von Kühlwasser in die Fließgewässer im Vordergrund.

³ Persönliche Mitteilung von K. Wiederkehr/VSE an L. Gutzwiller/BFE vom 2.8.2010.

Der Handlungsbedarf im Bereich Kühlwassereinleitung ist insofern zu relativieren, als kritische Situationen, welche zur Einhaltung der geltenden Gesetzesbestimmungen eine aktive Drosselung der Kraftwerksleistung erforderlich machen könnten, während der voraussichtlichen Restlaufzeit der heute im Betrieb stehenden, wassergekühlten Kernkraftwerke selten erwartet werden (BFE 2007a, p.38). Zudem wird heute bei der Planung von Kraftwerken auf Technologien gesetzt, mit welchen die Abhängigkeit von Kühlwasser massgeblich reduziert werden kann (Hybridkühltürme). Aufgrund dieser Voraussetzungen wird der Handlungsbedarf als mittel eingeschätzt.

- **Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken – zusammenfassende Beurteilung:**
 - Einfluss des Klimawandels mittel-gross
 - Relative Wichtigkeit mittel-gross
 - Handlungsbedarf mittel

2.1.3. **Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen**

- **Einfluss des Klimawandels:** In der Schweiz führen verschiedene Übertragungsleitungen für Elektrizität sowie eine wichtige Transitleitung für Gas durch hoch gelegene Gebiete (bis über 2'000 m.ü.M.). Hier muss aufgrund der steigenden Temperaturen örtlich mit einer Destabilisierung des Untergrunds (Auftauen von Permafrostböden) sowie mit vermehrten Massenbewegungen (Murgänge, Felsstürze), welche auch tiefer gelegene Bereiche beeinträchtigen können, gerechnet werden. Damit kann sich die Risikoexposition für Infrastrukturen verändern und der Unterhaltsaufwand erhöhen.

In Lagen oberhalb 1'800 Meter werden zudem aufgrund der tendenziell zunehmenden Niederschlagsmenge im Winter grössere Schneemengen und damit verbunden ein erhöhtes Risiko für Lawinenabgänge erwartet.

Aufgrund dieser Rahmenbedingungen wird der Einfluss des Klimawandels auf die Übertragungs- und Transitleitungen als mittel eingestuft.

- **Bedeutung der Veränderung für den Energiesektor:** Der Einfluss des Klimawandels auf die Übertragungsleitungen für Elektrizität sowie die Nord-Süd-Transitleitung beschränkt sich auf wenige, aber relativ wichtige Stellen. Dem störungsfreien Betrieb der Transportleitungen kommt ein hoher Stellenwert für die Versorgungssicherheit zu. Allerdings kann die Versorgung bei Unterbrüchen in der Regel durch alternative Transportverbindungen sichergestellt werden. Die Wichtigkeit der Veränderungen für den gesamten Energiesektor wird darum als mittel eingestuft.
- **Handlungsbedarf:**
 - Übertragungsleitungen für Elektrizität: Der Bau und die Änderung von Leitungen des Höchstspannungsnetzes werden durch das Eidg. Starkstrominspektorat EStI überwacht. Die Kontrolle einmal erstellter und abgenommener Leitungen liegt gemäss gängiger Praxis in den Händen der Betreiber, eine informelle Überwachung durch das EStI erfolgt im Rahmen der bestehenden regelmässigen Kontakte zu den Höchstspannungsnetzinhabern (Merker / Rey 2003, p.4f).

Der Klimawandel wirkt sich primär auf die Instandhaltung bestehender Anlagen aus. Folglich ist zu gewährleisten, dass diesen Auswirkungen seitens der Betreiber hinreichend Rechnung getragen wird und seitens des EStI die notwendige Sensibilität für einen möglichen, neu entstehenden Überwachungs- und Kontrollbedarf besteht.

Um neue Risiken aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels frühzeitig zu erkennen, hat das BFE in Zusammenarbeit mit dem ARE bereits im Zeitraum 2000/2001 eine erste Bestandesaufnahme zur potenziellen Relevanz des Permafrostschwunds für Übertragungsleitungen gemacht. Eine Aktualisierung mittels neuer Grundlagen und Methoden (GIS) ist ab 2011 geplant. Die Ergebnisse werden dem EStI und den Betreibern von Übertragungsleitungen zur Verfügung gestellt. Die Verantwortung für allfällige Folgemaßnahmen zur Gewährleistung der Anlagensicherheit liegt bei den jeweiligen Betreibern.

- Gas-Leitungen: Das Eidg. Rohrleitungsinspektorat ERI beaufsichtigt die Projektierung, den Bau und den Betrieb von Transit-Gasleitungen. In seinen Geschäftsberichten weist das ERI auch durch Unwetter bedingte Schäden an Rohrleitungsanlagen aus (siehe z.B. ERI 2009, p.9/12). Aktuelle Beispiele im Einflussbereich des Permafrosts sind die Murgänge vom Spätsommer 2009 sowie vom Sommer 2010 bei Guttannen, welche jeweils zu einem Unterbruch der Nord-Süd-Transitleitung geführt haben (vgl. die Dokumentation in Transitgas AG 2010). Solche Ereignisse dürften zu einer Sensibilisierung für klimabedingte Risiken, sowohl bei der Aufsichtsbehörde als auch bei der betroffenen Betreibergesellschaft, geführt haben.

Der Handlungsbedarf im Bereich der Transportinfrastrukturen wird als mittel beurteilt.

- **Unterhalt/Sicherheit von Transportinfrastrukturen – zusammenfassende Beurteilung:**

- Einfluss des Klimawandels mittel
- Relative Wichtigkeit mittel
- Handlungsbedarf mittel

2.1.4. **Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden**

- **Einfluss des Klimawandels:** Die Energieperspektiven 2035 (BFE 2007a) zeigen auf, dass bei einer Zunahme der Durchschnittstemperatur in der Schweiz um rund 2,5 Grad Celsius zwischen 1990 und 2050 und gleich bleibenden Bau-, Anlage- und Gerätestandards einerseits mit einer deutlichen Abnahme des Heizwärmebedarfs im Winterhalbjahr, andererseits mit einer Verdoppelung des Kühlleistungsbedarfs im Sommerhalbjahr zu rechnen ist. Brunner et al. (2008), welche die Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudesektor einer vertieften Analyse unterzogen haben, bestätigen diese Prognose. Es besteht folglich eine grosse Klimasensitivität der Energienachfrage.
- **Bedeutung der Veränderung für den Energiesektor:** Der erwartete Einfluss des Klimawandels auf die saisonale Energienachfrage ist relativ gross. Die ohne Gegenmassnahmen absehbare, deutliche Zunahme des Elektrizitätsverbrauchs im Sommerhalbjahr widerspricht den Zielsetzungen einer sparsamen und rationellen Energienutzung. Sich abzeichnende technische Entwicklun-

gen dürften allerdings einen positiven Einfluss haben: Künftig werden für die Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen vermehrt Photovoltaikanlagen eingesetzt, deren Strom während der Sommermonate für die Kühlung eingesetzt werden kann. Die Bedeutung der Veränderungen für den Energiesektor wird daher als klein bis mittel eingestuft.

- **Handlungsbedarf:** Die Auswirkungen des Klimawandels bedingen, dass Rahmenbedingungen definiert werden, welche behagliche Bedingungen im Wohn- und Bürobereich unter Ausschöpfung bauplanerischer, technischer und organisatorischer Potenziale möglichst ohne Zunahme des Energieverbrauchs gewährleisten. Umfangreiche Grundlagen für die Beurteilung von Handlungsbedarf und Handlungsoptionen liegen vor. Brunner et al. (2008) verdeutlichen, dass durch entsprechende Planung und den Einsatz energieeffizienter Technologien der erwartete Zusatzverbrauch mehr als kompensiert werden kann (p.81). In die gleiche Richtung weisen laufende Arbeiten im Auftrag des deutschen Umweltbundesamtes (Ecofys, 2010).

Die Realisierung der identifizierten Einsparmöglichkeiten erfordert vorausschauendes Handeln auf verschiedenen Ebenen (Gebäudehülle, Gebäudegeometrie / interne Wärmelasten, Klimatisierungstechnik). Brunner et al. (2008, p.83ff) formulieren Massnahmenpakete und Empfehlungen für gesetzliche und normative Anpassungen für den Neubau- sowie für den Altbaubereich. Die Zuständigkeiten des Bundes liegen dabei insbesondere bei den Mindestanforderungen an Geräte, im Beschaffungswesen und bei der Förderung der Aus- und Weiterbildung. In weiteren Bereichen kann er subsidiär aktiv werden.

Aufgrund der Relevanz für die Entwicklung des Elektrizitätsverbrauchs, der Bedeutung behaglicher Temperaturen für die Gesundheit und die Produktivität am Arbeitsplatz (vgl. Teilstrategie Gesundheit) sowie der grossen Anzahl der einzubindenden Akteure wird von einem grossen Handlungsbedarf ausgegangen.

- **Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden – zusammenfassende Beurteilung:**
 - Einfluss des Klimawandels gross
 - Relative Wichtigkeit klein-mittel
 - Handlungsbedarf gross

2.1.5. Übersicht: Beurteilung der potenziell relevanten Bereiche

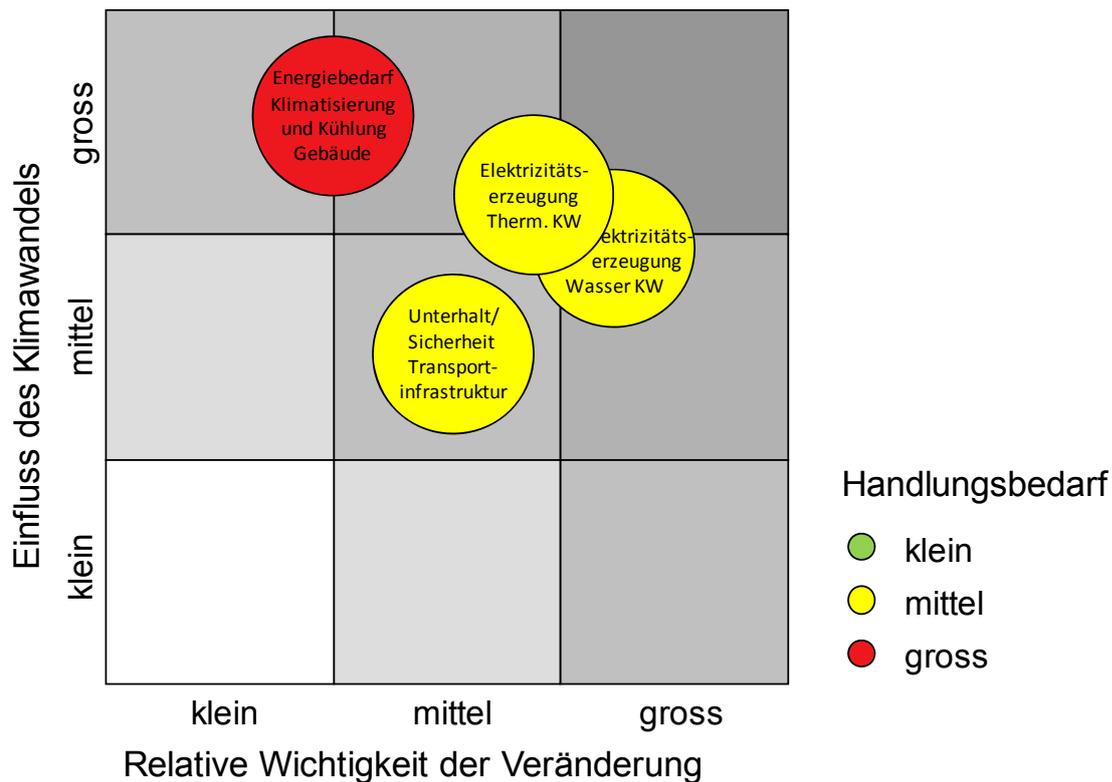


Abbildung 1: Beurteilung der relevanten Bereiche des Sektors Energie bezüglich Einfluss des Klimawandels, relativer Wichtigkeit der Veränderungen und des sich daraus ergebenden Handlungsbedarfs.

Wichtige Interaktionen und gegenseitige Abhängigkeiten: Einerseits können sich bei Extremwetterperioden mit hohen Temperaturen und geringen Niederschlägen die Auswirkungen auf die Elektrizitätsproduktion aus thermischen Kraftwerken und aus Wasserkraftwerken überlagern. Gleichzeitig sind dies Perioden, in welchen aufgrund des zusätzlichen Kühlbedarfs mit Nachfragespitzen zu rechnen ist. Andererseits steigen mit der Integration der Schweiz in den EU-Binnenmarkt für Elektrizität die technischen Anforderungen an die Versorgungssicherheit. Dadurch verbessern sich die Voraussetzungen für die Bewältigung von klimabedingten Einschränkungen des Kraftwerkbetriebs.

Bestehende Unsicherheiten und Wissenslücken

Während Aussagen zur zukünftigen Temperaturentwicklung generell als relativ verlässlich einzustufen sind, sind Angaben zur Niederschlagsentwicklung sowie zur Häufigkeit und Intensität von Extremwetterlagen und Schadenereignissen mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Die in der Teilstrategie Wasserwirtschaft genannten Unsicherheiten und Wissenslücken (Schädler 2010, Kap. 2.3) zu klimatischen und hydrologischen Parametern sind auch für die Teilstrategie Energie – insbesondere im Bereich der Wasserkraftnutzung – von hoher Relevanz. Ähnliches gilt für offene Fragen im Zusammenhang mit der Betroffenheit des Energiesektors durch Naturgefahren, wo die Teilstrategie Naturgefahren eine vertiefte Analyse der bestehenden Informationsdefizite vornimmt.

Unabhängig davon gilt, dass im für die Auswirkungen des Klimawandels relevanten Zeithorizont (mehrere Jahrzehnte) die nationalen und internationalen Entwicklungen der Energiepolitik (z.B. Förderung bzw. Regulierung einzelner Energieträger) und der Energiemärkte zu weitreichenden Veränderungen des Energiesektors führen werden. Damit unterliegen auch die Rahmenbedingungen, unter welchen die Auswirkungen des Klimawandels und der damit verbundene Bedarf an Entscheidungsgrundlagen zu beurteilen sind, grossen Unsicherheiten.

Nachstehend sind Forschungsaktivitäten und Projekte aufgeführt, von welchen relevante Beiträge zur Reduktion von Unsicherheiten bzw. zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen zu erwarten sind.

- **Projekte/Programme mit Relevanz für die Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft:**
 - "Klimaänderung und Wasserkraftnutzung" (www.netzwerkwasser.ch)
 - "CCHydro" (www.bafu.admin.ch/wasser/01444/01991/10443/index.html?lang=de)
 - Nationales Forschungsprogramm 61 "Nachhaltige Wassernutzung" (www.nfp61.ch)
 - EU-Forschungsprogramm ACQWA (www.acqwa.ch).
- **Projekte/Programme mit Relevanz für den Schutz von Infrastrukturen im Gebirge:**
 - "PERMOS" (www.permos.ch)
 - GIS-Projekt des BFE zur Kopplung kartografischer Informationen zur Permafrostverbreitung mit Energieinfrastrukturen (ab 2011)
 - weitere relevante Projekte siehe Teilstrategie Naturgefahren
- **Projekte/Programme mit Relevanz für Anpassungsmassnahmen in Gebäuden:**
 - "Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudeklimatisierung" (Ecofys im Auftrag des deutschen Umweltbundesamts UBA; geplanter Abschluss: 31.8.2010; weitere Informationen unter <http://doku.uba.de/> > UFORDAT)
 - "Solarthermie2000plus: Wissenschaftliche Programmbegleitung und Begleitforschung Solarthermische Gebäude-Klimatisierung" (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme im Auftrag des deutschen Umweltbundesamts UBA; weitere Informationen unter <http://doku.uba.de/> > UFORDAT sowie <http://www.solarthermie2000plus.de/>)

Wichtige Handlungsfelder

Aufgrund der Beurteilung der potenziell relevanten Bereiche (Kap. 2.2) stehen in der Teilstrategie Energie folgende Handlungsfelder im Vordergrund:

Priorität 1:

- E1 Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden
- E2 Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft

Priorität 2:

- E3 Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken
- E4 Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen

3. Anpassungsstrategie Energie

Strategische Ziele

Handlungsfelder Priorität 1:

E1 Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden

- Sicherstellung effizienter Lösungen zum Umgang mit steigenden Temperaturen (Bereiche Gebäude, Gebäudetechnik und Gebäudebegrünung; Phasen Planung, Ausführung und Betrieb)

E2 Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft

- Sicherstellung des Beitrags der Wasserkraft zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit
- Optimale Nutzung des Wasserkraftpotenzials unter sich verändernden hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen
- Berücksichtigung neuer, klimabedingter Risiken im Rahmen der Sicherheitsaufsicht des Bundes (z.B. aufgrund des Rückzugs des Permafrosts)

Handlungsfelder Priorität 2:

E3 Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken

- Sicherstellung des Beitrags der thermischen Kraftwerke zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit

E4 Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen

- Risikogerechte Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels in der Aufsichts- und Kontrolltätigkeit des Bundes

Handlungsoptionen und bestehende Anknüpfungspunkte zur Zielerreichung

Handlungsfelder Priorität 1:

E1 Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden

- Umsetzung (bzw. Förderung der Umsetzung) der Massnahmen/Empfehlungen gemäss Brunner *et al.*, 2008, p.83ff bzw. p.90.; Anpassung der einschlägigen Baunormen des SIA.
- Förderung der Bekanntheit der bestehenden Energieetikette für Raumklimageräte und Schaffung von Effizienzkriterien für Klima- und Kälteanlagen.
- Festlegung von Mindestanforderungen für Anlagen und Geräte zur Kühlung, Klimatisierung und Lüftung (Erlass von Effizienzvorschriften im Rahmen der Energieverordnung); dynamische Anpassung an den Stand der Technik.
- Integration des Themas 'Klimabedingte Zunahme der Elektrizitätsnachfrage' in die Aktivitäten des BFE im Bereich Energieeffizienz (insbes. Forschung, Energienutzung in Gebäuden, Effizienzvorschriften, Prozessoptimierung) sowie in das Programm EnergieSchweiz (ver-

stärkte Thematisierung im Rahmen der Zusammenarbeit mit Kantonen, Städten und Gemeinden sowie Unternehmen).⁴

- Sensibilisierung sowie Aus- und Weiterbildung von Gebäudeplanern, Architekten, Gebäudebetreibern, Immobilienverwaltungen und -eigentümern.
- Sensibilisierung der Vollzugsbehörden im Bereich Baugesuche mit den Zielen, Gesuche vertieft bezüglich effizienter Klimatisierung zu prüfen und erweiterte Stichproben nach der Umsetzung durchzuführen.
- Schaffung vermehrter Anreize und Lenkungsmaßnahmen für eine umfassende Gebäudebegrünung und für energetisch sinnvolle Gehölzpflanzungen im Siedlungsbereich.

E2 Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft

- Begleitung/Evaluation einschlägiger Forschungsaktivitäten zur Veränderung der Rahmenbedingungen der Wasserkraftnutzung; Analyse der Ergebnisse hinsichtlich
 - Anpassungs-/Aktualisierungsbedarf energiepolitischer Planungsgrundlagen (vgl. BFE 2007b: Gewährleistung der Versorgungssicherheit während Extremwetterperioden),
 - Anpassungs-/Aktualisierungsbedarf relevanter Regulierungen (z.B. Festlegung der Mindestrestwassermenge gemäss GSchG Art.31),
 - Anpassungs-/Aktualisierungsbedarf im Bereich der staatlichen Aufsicht über sicherheitsrelevante Aspekte (z.B. bezüglich Risiken für Talsperren im Gebirge),
 - Sensibilisierung der Betreiber von Wasserkraftanlagen und der Erteiler von Konzessionen für relevante Befunde (z.B. Ausweitung von Stauseen zur Überbrückung von Extremereignissen).
- Erarbeitung von Grundprinzipien zur Bewirtschaftung der Wasserressourcen und Gewässer (siehe z.B. Wasser-Agenda21: www.wa21.ch) unter Berücksichtigung der Ziele von Versorgungssicherheit, Umwelt und Erholung. Koordination der Wasserverteilung über die Landesgrenzen hinweg (z.B. bei Knappheit, Überschwemmungen).

Handlungsfelder Priorität 2:

E3 Erzeugung von Elektrizität in thermischen Kraftwerken

- Überprüfung der rechtlichen Bestimmungen zur Einleitung von Kühlwasser in die Fließgewässer.

E4 Unterhalt und Sicherheit von Transportinfrastrukturen

- Sensibilisierung der Betreiber von Transportinfrastrukturen für neue Risiken. Prüfung von neuen Versicherungsmodellen, Ausgleichszahlungen, o.ä.
- Überprüfung des Anpassungsbedarfs im Bereich der staatlichen Aufsichtstätigkeit.
- Überprüfung der Krisenorganisation (auch international) im Hinblick auf klimabedingte Ereignisse.

⁴ Im Sommer 2010 wurde die Kampagne "Effiziente Kälte" gestartet, welche durch EnergieSchweiz und Partner aus der Kältebranche lanciert wurde. Die Kampagne hat unter anderem zum Ziel, Kälteanlagen effizienter zu planen, zu bauen und zu betreiben.

Wichtige gesetzliche Grundlagen

Nachstehend sind gesetzliche Grundlagen und zugehörige Ausführungserlasse aufgeführt, soweit sie im Zusammenhang mit den potenziellen Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor und im Rahmen der hier diskutierten Handlungsfelder von erheblicher Bedeutung sind.

• Übergreifende Grundlagen

- Energiegesetz (EnG)
 - Energieverordnung (EnV)
- Energiegesetze der Kantone
 - Energieverordnungen der Kantone

E1 Energiebedarf für die Klimatisierung und Kühlung von Gebäuden

Zusätzlich zu Energiegesetz, Energieverordnung und den kantonalen Energie- und Baugesetzgebungen sind die Normen des SIA von besonderer Relevanz; nachstehend ausgewählte, relevante Normen zum Wärmeschutz sowie zu energie-, lüftungs- und klimatechnischen Anforderungen im Gebäudebereich (die Normen werden laufend weiterentwickelt):

- Norm SIA 180 Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau
- Norm SIA 380/1 Thermische Energie im Hochbau
- Norm SIA 380/4 Elektrische Energie im Hochbau
- Norm SIA 382 Lüftungs- und Klimaanlage
- Merkblatt SIA 2021 Gebäude mit hohem Glasanteil
- Merkblatt SIA 2040 Effizienzpfad Energie

E2 Erzeugung von Elektrizität aus Wasserkraft

- Bundesgesetz über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte (Wasserrechtsgesetz, WRG)
 - Verordnung über die Nutzbarmachung der Wasserkräfte (Wasserrechtsverordnung, WRV)
 - Verordnung über die Abgeltung von Einbussen bei der Wasserkraftnutzung (VAEW)
- Bundesgesetz über den Wasserbau
 - Verordnung über die Sicherheit der Stauanlagen (Stauanlagenverordnung, StAV)
- Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG)
 - Gewässerschutzverordnung (GSchV)

E4 Unterhalt und Schutz von Transportinfrastrukturen

- Bundesgesetz über Rohrleitungsanlagen zur Beförderung flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe (Rohrleitungsgesetz, RLG)
 - Rohrleitungsverordnung (RLV)
- Bundesgesetz betreffend die elektrischen Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz, EleG)
 - Verordnung über elektrische Leitungen (Leitungsverordnung, LeV)

4. Literatur

- Baumer, A. (2010): Versandung Stausee Malvaglia: Ursache, politischer Rahmen, Lösungen. Präsentation anlässlich der Fachtagung 'Stauanlagen im Spannungsfeld von Umwelt und Gesellschaft' des Schweizerischen Talsperrenkomitees vom 17./18. Juni 2010, Locarno.
<http://www.swissdams.ch/Locarno%202010/Zusammenstellung%20Pr%C3%A4sentationen.pdf>
- BFE (2007a): Energieperspektiven 2035 – Band 4, 3. Exkurs: Einfluss der Klimaerwärmung auf das Energiesystem, Bern
- BFE (2007b): Energieperspektiven 2035 – Band 4, 12. Exkurs: Kälte- und Hitzewellen, Bern
- Brunner *et al.* (2008): Bauen, wenn das Klima wärmer wird. Faktor Verlag, Zürich
- Ecofys (2010): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudeklimatisierung. Zwischenbericht April 2010 (unveröffentlicht)
- Eidg. Rohrleitungsinspektorat ERI (2010): Tätigkeitsbericht 2009 vom 12. April 2010, Wallisellen
http://www.svti.ch/fileadmin/svti/ERI/Jahresbericht_ERI_2009.pdf
- Haas *et al.* (2008): Identifikation von Handlungsempfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel in Österreich, 1. Phase, 2008. Bericht im Auftrag des Lebensministeriums. Klagenfurt/Wien
- IÖW (2009): Stakeholder-Dialog zur Anpassung an den Klimawandel: Energiewirtschaft. Dokumente zum Workshop vom 30.06.2009, Dessau
<http://www.ioew.de/?id=475>
- Kranzl *et al.* (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem und notwendige Adaptionsmaßnahmen. Vorläufige Ergebnisse aus dem Projekt KlimAdapt. Präsentation anlässlich des 11. Österreichischen Klimatags, 11./12. März 2010, Wien
- Merker, M. und Rey, A. (2003): Aufsicht des Eidgenössischen Starkstrominspektorates (EStI) über die Betreiber von Höchstspannungsnetzen. Gutachten. 10. November 2003, Baden
- Michellod, P. (2010): Changements climatiques – Impact sur la production hydroélectrique à l'exemple du Valais. Präsentation anlässlich der Fachtagung 'Stauanlagen im Spannungsfeld von Umwelt und Gesellschaft' des Schweizerischen Talsperrenkomitees vom 17./18. Juni 2010, Locarno.
<http://www.swissdams.ch/Locarno%202010/Zusammenstellung%20Pr%C3%A4sentationen.pdf>
- NWB / Netzwerk Wasser im Berggebiet (2009): Projekt Klimaänderung und Wasserkraftnutzung. Schlussbericht der Vorstudie (2. Auflage), Davos
- Schädler, B. (2010): Anpassung an den Klimawandel. Teilstrategie Wasserwirtschaft. Entwurf im Auftrag des BAFU, 5. Juni 2010, Bern
- Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie SGHL (2011): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung. Beiträge zur Hydrologie der Schweiz Nr. 38, September 2011, Bern
- Transitgas AG (2010): Summary Note about Spreitlauri Events and Actions. Published 24th August 2010 (<http://www.transitgas.ch/docs/Summary%20Note%20Spreitlauri%20Events%20and%20Actions.pdf>)