



Von Modellen zu Visionen: Ansätze zur Ergänzung von quantitativen Energieszenarien



1. Szenarien und Perspektiven in der Energiepolitik

Die Schweiz will bis 2050 klimaneutral (eigentlich: treibhausgasneutral) werden. Um dieses Ziel zu erreichen ist es sinnvoll, Massnahmen und Teilziele in eine langfristige Strategie einzubetten. Szenarien, zum Beispiel für die Entwicklung des Schweizer Energiesystems, stellen hierfür eine relevante Informationsquelle dar und sind wichtig für die politische und gesellschaftliche Debatte.

In der Schweizer Energiepolitik werden solche Szenarien seit mehr als 50 Jahren eingesetzt. Die Szenarienbildung ist dabei zunehmend detaillierter und umfassender geworden. So schätzen zum Beispiel die kürzlich erstellten «Energieperspektiven 2050+» (s. Prognos et al. 2020) die Entwicklung der Energienachfrage in verschiedenen Sektoren ein und entwickeln Szenarien, wie das Energiesystem zum Ziel einer klimaneutralen Schweiz beitragen kann. Hierfür werden mit Hilfe von Bottom-Up-Modellen detaillierte Entwicklungspfade für die Nutzung einzelner Technologien in verschiedenen Bereichen (wie Mobilität, Strom etc.) erarbeitet.

Diese Vorgehensweise ist international weit verbreitet. Wichtige Bottom-Up-Modelle wie TIMES oder MARKAL werden von mehr als 150 Institutionen in 63 Ländern verwendet (Luderer et al. 2014). Viele Industrieländer haben detaillierte Szenarien für die Reduktion der Treibhausgasemissionen und den Umbau des Energiesystems erstellt.

Jeder Szenarioprozess basiert auf Annahmen über künftige gesellschaftliche Entwicklungen und (oftmals) auf einer Auswahl von Zielvorgaben. So werden zum Beispiel in den Energieperspektiven 2050+ Annahmen über wichtige Treiber der Entwicklung der Energienachfrage (wie z.B. Wohnungsbestand, wirtschaftliche Entwicklung) oder zur Akzeptanz verschiedener Umwandlungstechnologien verwendet (Prognos 2020). Als Ziele dienen zum Beispiel die Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie Kosteneffizienz. Aspekte wie Versorgungssicherheit oder mangelnde gesellschaftliche Akzeptanz einzelner Technologien werden als Nebenbedingungen vorgegeben. Andere Aspekte, wie mögliche Änderungen des Alltagsverhaltens, gehen nicht in die Szenarien ein. Diese Vorgaben drücken in abstrakter Form Annahmen darüber aus, wie wir in Zukunft leben

werden und welche Ziele gesellschaftlich wichtiger sind als andere.

Welche Flächen sollen zur Energiegewinnung bereitgestellt werden? In welchem Umfang werden Menschen ihr Alltagsverhalten ändern, um Energiekonsum und Treibhausgasemissionen zu reduzieren? Welches Niveau an Versorgungssicherheit soll in welcher Weise (Alleingang oder europäische Zusammenarbeit) angestrebt werden? Um gesellschaftlich tragfähige Antworten auf solche Fragen zu finden, ist eine breit abgestützte und gut informierte Diskussion notwendig. Zudem sind diese Antworten selbst stark von gesellschaftlichen Entwicklungen abhängig. Die Energiezukunft kann nicht isoliert betrachtet werden, weil sie mit wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und sozialen Fragen untrennbar verwoben ist. Wenn rein technische Überlegungen unsere Vorstellungen von der Energiezukunft prägen, gehen fundamentale Aspekte der Wünschbarkeit und Gerechtigkeit einer Energiewende verloren. Von vielen möglichen Entwicklungspfaden werden dabei nur wenige betrachtet, wobei unsicher bleibt, ob die gesellschaftlich wünschenswertesten noch dabei sind. Gleichzeitig werden für die Planung und Umsetzung der Energiewende aber belastbare Erkenntnisse über plausible Entwicklungspfade benötigt, die auf «robusten» Datengrundlagen beruhen.

Vor diesem Hintergrund hat der SCCER CREST Visionsprozess Erkenntnisse aus techno-ökonomisch orientierten Energiemodellen mit sozialwissenschaftlichen Methoden kombiniert. In zwei separaten Szenarienbildungsprozessen wurden techno-ökonomische Szenarien so ergänzt, dass zusätzliche Erkenntnisse über die mögliche Ausgestaltung der Energiezukunft sowie deren Verflechtung mit gesellschaftlichen Entwicklungen gewonnen werden konnten. Es ging dabei nicht darum, alternative Energieszenarien zu entwickeln, sondern darum aufzuzeigen, welche zusätzlichen Chancen für die Energiewende bei einer breiter abgestützten Szenarientwicklung sichtbar werden.

Folgende zentrale Einsichten haben sich aus diesem Prozess ergeben:

Es ist wichtig, die Rollen verschiedener AkteurInnen in der Energiewende zu erfassen. Bei gleicher technologi-

schers Basis und gleichem langfristigem Ziel lassen sich unterschiedliche Entwicklungspfade erzeugen. Die Ausbaucharakteristiken Erneuerbarer (z.B. Kleinstanlagen vs. Quartierkonzepte) und Folgen für das Alltagsleben («unsichtbare» Energiewende vs. viele Prosumer) hängen davon ab, welche AkteurInnen Treiber der Energiewende sind.

Verhaltensänderungen bieten Chancen. In unseren Arbeiten haben vor allem diejenigen Entwicklungen zu Klimaneutralität bei gleichzeitiger Haltung des Lebensstandards geführt, bei denen deutliche Änderungen im Alltagsverhalten (z.B. Mobilitätsgewohnheiten) erreicht wurden. Ein zu starker Fokus auf technische Aspekte der Energiewende verstellt leicht den Blick auf die erheblichen Chancen, die sich durch verändertes Verhalten und andere Lebensstile ergeben.

Energieszenarien in den Kontext gesellschaftlicher Entwicklungen zu setzen hilft, Chancen zu erkennen, die sich aus Entwicklungen und Massnahmen ausserhalb des Energiesystems ergeben. Für die Entwicklung des Energiesystems sind neben Klimaneutralität und einer kostengünstigen Energieversorgung viele Ziele relevant, die von verschiedenen AkteurInnen unterschiedlich gewichtet werden. Beispielhaft können hier Verteilungsaspekte, Raumnutzungskonflikte und Unabhängigkeit von der Entwicklung in Nachbarländern genannt werden. Szenarien, die eine Abwägung zwischen verschiedenen Zielen ermöglichen, könnten helfen, rascher realistische Entwicklungspfade zu entdecken und eine besser fundierte gesellschaftliche und politische Diskussion zu führen.

Jeder dieser Punkte bietet Chancen, die Energiewende rascher und in einer gesellschaftlich wünschenswerten Weise umzusetzen. Im Folgenden beleuchten wir anhand eines Beispiels zunächst die gängige Methodik zur Entwicklung von Szenarien für das Energiesystem (Abschnitt 2), diskutieren fehlende Elemente (Abschnitt 3) und stellen zwei Beispiele für ergänzende Szenarientwicklungen vor (Abschnitt 4). Auf dieser Basis erläutern wir anschliessend im Detail, welche zusätzlichen Chancen für die Energiewende durch eine breiter abgestützte Entwicklung von Szenarien potentiell erfasst werden könnten und leiten daraus Handlungsempfehlungen ab.

2. Energiesystemmodellierung heute

Entwicklungspfade für das Energiesystem basieren in der Schweiz fast ausschliesslich auf techno-ökonomischen Modellen. Dabei werden Teile des Energiesystems computergestützt dargestellt. Insbesondere werden verschiedene Energieumwandlungstechnologien mit Produktionscharakteristiken, Potentialen, Kosten und Emissionen erfasst, ebenso wie die erwartete Entwicklung der Nachfrage nach verschiedenen Energiedienstleistungen (Raumwärme, Mobilität etc.). Je nach Modelltyp werden unterschiedliche zeitliche und räumliche Auflösungen verwendet und weitere Beschränkungen integriert (z.B. beschränkte Übertragungskapazitäten in Gas- oder Stromnetzwerken).

Die Berechnung von Szenarien erfolgt typischerweise durch eine Minimierung der Systemkosten unter Berücksichtigung von Zielvorgaben, wie etwa einer deutlichen Absenkung der Treibhausgas-Emissionen.

Die Modellierung versucht, die technische Basis des komplexen Energiesystems möglichst genau darzustellen. Darauf aufbauend können Berechnungen für verschiedene Zielvorgaben oder für verschiedene Annahmen über Massnahmen (z.B. CO₂-Steuern) durchgeführt und miteinander verglichen werden. Diese Informationen sind sowohl für die Politik und Verwaltung als auch für InvestorInnen nützlich: Politik und Verwaltung gewinnen Einsichten darüber, wie sich zum Beispiel Klimapolitik auf Emissionen und Energiepreise auswirkt, und InvestorInnen erhalten Anhaltspunkte, welche Technologien in einem zukünftigen Energiesystem Bedeutung einnehmen könnten.

Ein gutes Beispiel für die genannte Vorgehensweise stellt die Modellierung im Rahmen der Joint Activity Scenarios & Modelling (JASM) dar, welche acht Modellierungsgruppen aus den verschiedenen SCCERs zusammengebracht hat und damit die aktuell wahrscheinlich breiteste Modellbasis in der Schweiz für die Entwicklung von Energieszenarien bietet (JASM 2020).

Die JASM ist ein Konsortium von acht Modellierungsgruppen, die ihre (mehrheitlich als Bottom-up konzipierten) Modelle in die gemeinsame Arbeit einbringen. Jedes dieser acht Modelle kann unterschiedliche Teile

des Energiesystems mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad erfassen.

Jede der Gruppen in JASM hat sich auf einen Aspekt des Schweizer Energiesystems spezialisiert: Stromproduktion, Gebäude, Mobilität, industrielle Energienutzung, Netzwerke, Biomasse, Energiespeicherung und Energiemärkte. Die Verbindung dieser Modelle erlaubt es, für die Energiewende wesentliche Fragen zu beantworten:

- Wie viel Wind- und Solarenergie kann profitabel eingesetzt werden, wenn man verschiedene Annahmen zu Kostenentwicklungen und politische Massnahmen berücksichtigt?
- Wie gross müssen CO₂-Speicher unter verschiedenen Szenarien sein?
- Wie entwickeln sich die Gesamtkosten des Energiesystems für verschiedene Klimaziele?
- Was kostet die vermiedene Tonne CO₂ in den verschiedenen Szenarien?

Die Ergebnisse von JASM stellen für die im nächsten Abschnitt beschriebene Szenarientwicklung im Projekt

«Vision 2050» des SCCER CREST eine wichtige Grundlage dar.

3. Welche Aspekte und Chancen werden verpasst?

Techno-ökonomische Modelle erfassen das Energiesystem in Form von Energieflüssen, die mit Energieerzeugung und dem Energieverbrauch verbunden sind und von Energiemärkten koordiniert werden. Die Modelle stellen damit die Energiesystemperspektive in den Vordergrund. Dies wird auch in den entwickelten Szenarien deutlich: Sie beschreiben eine Entwicklung, die aus der Perspektive eines zentralen Planers optimiert ist und auf den Kontext des Energiesystems beschränkt bleibt.

Damit gehen zwei für das Gelingen der Energiewende wesentliche Punkte verloren: Die AkteurlInnenperspektive sowie die Tatsache, dass das Energiesystem in weitaus umfassendere gesellschaftliche Strukturen eingebettet ist (Li et al. 2015).

Die Akteursperspektive ist aus zwei Gründen interessant. Zum einen setzt sich das Energiesystem aus einer Vielzahl gesellschaftlicher, politischer, wirtschaftlicher und institutioneller AkteurlInnen zusammen (Geels et al. 2017), die sich deutlich voneinander unterschei-

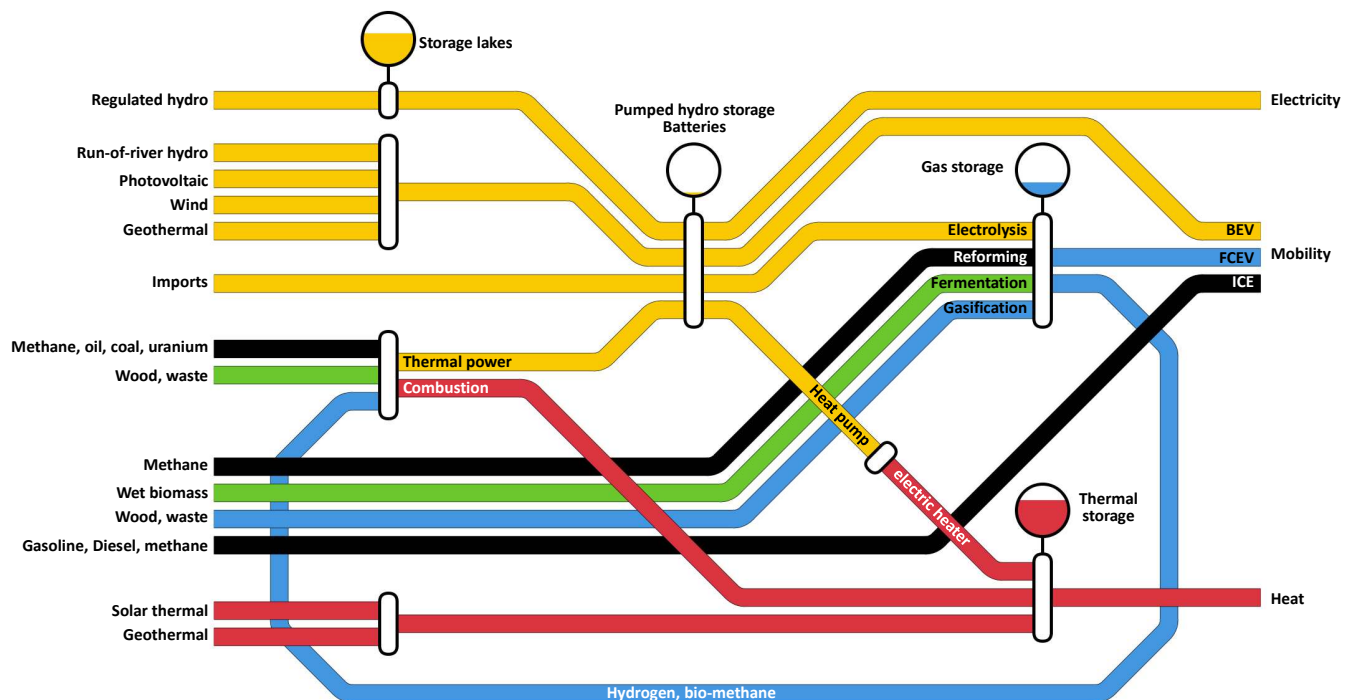


Abbildung 1: Konzeptionelles Gerüst vieler Energiesystemmodelle (JASM 2020)

den. Beispiele solcher Unterschiede finden sich in ihrem Vermögen, zur Energiewende beizutragen (Cherp et al. 2018; Li und Strachan 2019), aber auch in ihrer Vulnerabilität für Nebeneffekte der Energiewende oder politischer Massnahmen. Diese Heterogenität kann durchaus genutzt werden, um wesentliche Ziele der Energiewende rascher und kostengünstiger zu erreichen (vgl. White Paper 4, 7, 8 und 9). Sie ist damit für die Entwicklung von Szenarien für die Energiezukunft relevant.

Zweitens bietet die AkteurInnenperspektive eine wichtige Basis, um Verhaltensänderungen oder Änderungen von Lebensstilen zu erfassen. Zum Beispiel erfassen gängige Energieszenarien unterschiedliche und nuancierte Annahmen zur Verbreitung von Elektrofahrzeugen, berücksichtigen jedoch oft nicht die Änderungen im Mobilitätsverhalten (z.B. modale Verlagerungen in Richtung Fuss- oder Radverkehr). Ebenso zeigt die Forschung eindrücklich, dass dem Verhalten im Hinblick auf die Nachhaltigkeit eine grosse Bedeutung zukommt. Gerade soziale Normen und Informationen können einen erheblichen Einfluss auf das Verhalten von KonsumentInnen haben (z.B. Allcott 2011; Ferraro et al. 2011; Ferraro und Price 2013; Ayres et. al. 2013; Velvart et al. 2021). Dies gilt auch für die Angebotsseite, für die solche Faktoren relevant sein können, um damit die Auswahl an Produkten beeinflussen zu können, zwischen denen die KonsumentInnen wählen können.

Verhaltensaspekte in der Entwicklung von Energieszenarien nicht zu berücksichtigen, führt leicht dazu, viele mögliche Entwicklungen auszublenden und damit erhebliche Chancen für die Energiewende zu verpassen. Am Beispiel der Energieperspektiven 2050⁺ und vielen anderen modellbasierten Szenarioprozessen wird dies deutlich: In den Bereichen Mobilität und Raumwärme liegt der Fokus oft fast ausschliesslich auf technischen Lösungen (vorwiegend Elektrifizierung). Die Daten zur Nachfrage (z.B. Energiebezugsflächen, Personenkilometer) werden als gegeben angesehen. Es scheint offensichtlich, dass hier erhebliche Chancen für die Energiewende ausgeblendet werden.

Die Einbettung des Energiesystems in gesellschaftliche Strukturen ist ebenfalls aus zwei Gründen für die Energiewende interessant. Zum einen sind Energiesysteme

stark von sozialen, wirtschaftlichen und politischen Entwicklungen abhängig, welche wiederum von sich verändernden Energiesystemen beeinflusst werden (Miller et al. 2015). Ein typisches Beispiel ist der Pendelverkehr: Gesellschaftliche und wirtschaftliche Entwicklungen (z.B. Anteil der Berufstätigen) prägen die Nachfrage nach Mobilität. Diese hat Auswirkungen auf den Aufbau von Infrastruktur, welche wiederum gesellschaftliche Entwicklungen (wie die Wohnortwahl) und die Raumentwicklung beeinflussen. Diese Wechselwirkungen bieten Chancen, da gesellschaftliche Entwicklungen gezielt für die Energiewende genutzt werden können und auf ein breiteres Spektrum an Massnahmen (auch ausserhalb der Energiepolitik) zurückgegriffen werden kann.

Zudem sollten gesetzgeberische Handlungsoptionen berücksichtigt werden. Wird etwa der Strommarkt vollständig liberalisiert, könnten sich dadurch Strompreise und, damit verbunden, das Verbrauchsverhalten verändern. Gleiches gilt für die Möglichkeit von Elektrizitätstarifen, die stärker von der Leistung statt dem Verbrauch abhängig sind. Der Aufbau von Speicherkapazität (und damit die Integration fluktuierender erneuerbarer Energieerzeugung) wird dadurch beeinflusst, ob der Speicherbetrieb ähnlich der Erzeugung im wettbewerblich organisierten Markt stattfindet oder ob der Gesetzgeber diesen der regulierten Netzinfrastruktur zuordnet. Schliesslich könnte die gesetzliche Einführung einer weitergehenden CO₂-Bepreisung oder einer emissionsabhängigen Besteuerung vielfältige Auswirkungen auf das Verhalten der MarktakteurInnen haben.

Zweitens kann die Berücksichtigung von Zielen ausserhalb des Energiesystems helfen, gesellschaftlich bessere oder zumindest besser umsetzbare Entwicklungspfade zu identifizieren. Momentan liegt der Fokus überwiegend darauf, die vorgegebenen Klimaziele auf dem kostengünstigsten Weg zu erreichen, allenfalls unter Beachtung von Restriktionen, wie mangelnder Akzeptanz für einzelne Technologien. Dadurch wird ein breites Spektrum an Entwicklungspfaden vernachlässigt, die vielleicht höhere Kosten verursachen, dafür aber aus anderen Gründen gesellschaftlich wünschenswert wären. Beispiele wären hier Entwicklungen, die andere gesellschaftliche Ziele unterstützen (wie z.B. ausgedrückt in der Vielfalt der Sustainable Development Goals (SDGs)

oder in den Nachhaltigkeitsstrategien des Bundes) oder neben Kosten- insbesondere auch Verteilungsfragen berücksichtigen.

Dies ist insbesondere wichtig, da Energiepolitik in komplexen Governance-Konstellationen (Beteiligung verschiedener Ebenen und AkteurInnen, wie Gemeinden, Kantone und Bund) auf einer Aushandlung divergierender Interessen und Ideen basiert (Meadowcroft 2011; Schreuer et al. 2010; Meadowcroft 2009; Patterson et al. 2017). Energieszenarien, die Zielkonflikte und denkbare Kompromisse zwischen verschiedenen Werten und Nachhaltigkeitsaspekten in der Gesellschaft aufzeigen, können für solche Aushandlungen eine bessere Grundlage bieten.

4. Szenarien ergänzen:

Zwei Beispiele aus dem Projekt «Vision 2050»

Die oben beschriebenen Punkte sind in der internationalen Literatur umfassend diskutiert und anerkannt (Krysiak und Weigt 2015; Nikas et al. 2020; Xexakis et al. 2020; Hirt et al. 2020). Trotzdem wird oft an bestehenden Verfahren zur Szenarienbildung festgehalten, da für diese eine über Jahrzehnte aufgebaute Datengrundlage existiert und die Methoden weitgehend garantieren, dass die Entwicklungsszenarien technisch machbar und ökonomisch berechenbar sind.

Diesem Argument sind zwei Punkte entgegenzuhalten. Erstens sind Entwicklungsszenarien, die wesentliche Bereiche der Energiewende nur unzureichend beleuchten (z.B. Änderungen der Energienachfrage jenseits des Einsatzes effizienterer Technologien oder anderer Energieträger, Verteilungsaspekte oder Investitionsanreize), zwar technisch konsistent, sie reichen jedoch nicht aus, um zu diskutieren, in welcher Energiezukunft wir leben wollen. Zum Zweiten geht es auch nicht darum, bestehende Verfahren zu ersetzen, sondern sie zu ergänzen.

Zu diesem Zweck haben Forschungsgruppen des SCCER CREST im Rahmen des Projekts «Vision 2050» mit zwei sehr unterschiedlichen Ansätzen Szenarien generiert, welche techno-ökonomische Szenarien ergänzen können. Diese Arbeiten illustrieren allgemeine Einsichten aus der Fachliteratur konkret am Anwendungsfall Schweiz. Sie sind in finanzieller und zeitlicher Hinsicht

weitaus weniger umfangreich als Grossprojekte – wie die Energieperspektiven 2050⁺ oder JASM – illustrieren aber deutlich, welche Chancen eine breiter abgestützte Entwicklung von Zukunftsperspektiven für das Schweizer Energiesystem bieten könnte.

Beide Beispiele hatten zum Ziel, bestehende quantitative Szenarien aus techno-ökonomischen Modellen durch einen qualitativen Ansatz zu ergänzen. Qualitative Szenarien beschreiben Strukturen, Zusammenhänge und Entwicklungen ohne eine Quantifikation, zum Beispiel in Form von Storylines oder Narrativen (wie das erste Beispiel) oder in Form von nicht-quantitativen Ausprägungen von Systemzuständen (wie das zweite Beispiel). Der Vorteil dieses Ansatzes ist die Möglichkeit, nicht quantifizierbare Systemzustände (z.B. internationale Integration der Schweiz) sowie eine breitere Datenbasis (z.B. Expertenwissen) in die Szenarienbildung einzubeziehen.

4.1 Erstes Beispiel:

AkteurInnen und ihre Rollen im Energiesystem

Die erste Szenarienbildung aus dem CREST Vision 2050 Projekt fokussiert auf die Einbeziehung von AkteurInnen und deren Rollen in der Energiewende in die Szenarienbildung.

Ausgangspunkt für den hierbei verwendeten Backcastingprozess¹ waren die Erkenntnisse aus JASM-Modellen bezüglich der techno-ökonomischen Ausgestaltung eines dekarbonisierten, sicheren und bezahlbaren Schweizer Energiesystems im Jahr 2050. Daraus liessen sich fünf Gemeinsamkeiten über ein transformiertes Schweizer Energiesystem ableiten, die in allen techno-ökonomischen Modellen eine zentrale Rolle spielen. Diese Gemeinsamkeiten bilden aus Sicht der JASM-Modelle die Grundpfeiler eines erfolgreich transformierten Schweizer Energiesystems:

¹ *Backcasting* (manchmal auch als «normative Szenarioanalyse» oder «normative Prognose» bezeichnet) ist ein im Energiebereich gut etablierter Ansatz (siehe z.B. Giurco et al. 2011; Kishita et al. 2017; Neuvonen et al. 2014; Vergragt und Quist 2011; Wiek und Iwaniec 2014), der von einem gewünschten Zielzustand in der Zukunft ausgeht und die Frage beantwortet: «Was muss passieren, damit diese Zukunft eintritt?» Backcasting eignet sich gut, um Wege in eine Zukunft zu entwickeln, die sich deutlich vom Status quo unterscheidet. Insbesondere hat es sich bewährt als Methode, um die Expertise und die Perspektiven verschiedener Interessengruppen abzuholen und zu synthetisieren.

- Sektorübergreifende Elektrifizierung des Schweizer Energiesystems: Durch Elektrifizierung des Energiebedarfs für Heizung und individuelle Mobilität soll der Verbrauch an fossilen Brennstoffen gegenüber 2015 um mehr als 90 % reduziert werden. Massiver Ausbau erneuerbarer Energien zur Stromerzeugung (v.a. PV, Wind und Geothermie) auf mehr als 25 TWH/a, um die wegfallende nukleare Grundlast zu ersetzen. Pro-Kopf-Reduktion der Endenergienachfrage von 30-50 %, welche vornehmlich durch Minderverbrauch und Effizienzsteigerungen im Mobilitäts- und Haushaltssektor erreicht werden soll, während die Nachfrage im Industrie- und Dienstleistungssektor dem heutigen Stand entspricht.
- Starke Erhöhung der Kapazitäten zur Energiespeicherung und der Flexibilität beim Energieverbrauch.
- Import von Energie: Es werden insgesamt rund 10 % des jährlichen Verbrauchs importiert, wobei dies mit erheblichen saisonalen Schwankungen verbunden sein wird.

Diese techno-ökonomischen Annahmen über ein er-

folgreich transformiertes Schweizer Energiesystem bildeten den Startpunkt für einen partizipativen und interdisziplinären Workshop mit 20 Energieforschenden aus der Schweiz im Sommer 2019. Das Ziel des Workshops war es, besser zu verstehen, wie unterschiedliche, aber erfolgreiche Transformationspfade des Schweizer Energiesystems aussehen könnten. Die Teilnehmenden entwickelten mögliche Transformationspfade, welche die Erreichung der in Tabelle 2 aufgeführten Energiesystem-Charakteristiken zur Folge hätten.

Diese Transformationsfade divergieren in Bezug auf ihre Dynamik und insbesondere in Bezug auf die unterschiedlichen Rollen verschiedener AkteurlInnen stark. Dies verdeutlicht, dass dieselben Energiesystem-Charakteristiken auf ganz unterschiedliche Art und Weise zustande kommen, welche mit jeweils verschiedenen oder gar gegensätzlichen Auswirkungen für unterschiedliche AkteurlInnen verbunden sein können.

Im Workshop wurden drei verschiedene Transformationspfade entworfen. Im Transformationspfad «Grüne Welle» sind aktive BürgerInnen und VerbraucherInnen die wichtigsten Triebkräfte für den Wandel hin zu einem

	Grüne Welle	Versteckte Evolution	Welt der Dienstleistungen
Leitidee	Aktive KonsumentInnen	Umbau des Energiesystems hinter den Kulissen	Welt der (Energie-) Dienstleistungen
Infrastruktur-Eigentümerschaft	Meist dezentral, auch der Ausbau findet zunehmend dezentral und in lokalen Energiegenossenschaften statt	Zentral, EVUs als wichtigste Investoren, Anreize werden durch langfristig angelegte Subventions- und Marktmechanismen geschaffen	Sehr heterogene Eigentümerschaft (Privatpersonen, neue Unternehmen, Energiegenossenschaften, EVUs etc.)
Treiber der Transformation	BürgerInnen, Landwirtschaft	EVUs, grosse IKT Unternehmen	Dienstleistungsanbieter (Startups und etablierte Unternehmen, viele davon von ausserhalb des Energiesektors)
Rolle und Auswirkungen auf Lebensrealität der Bevölkerung	Bevölkerung treibt Transformation aktiv an, z.T. via politische Akteure aber auch über eigene Investitionen (Prosumer) und Konsumverhalten; Lebensgewohnheiten und Werte ändern sich stark	Weitgehend passive Rolle für Konsumentinnen und Konsumenten, wenig gesamtgesellschaftliche Auseinandersetzung mit dem Umbau des Energiesystems	Grosse Varianz innerhalb der Bevölkerung, da sich die neu entstehenden Energie-Dienstleistungen an sehr unterschiedliche Segmente richten
Transformationsdynamik	Schockmomente (z.B. Hitzewellen) lösen Proteste und politische Forderungen aus, Energietransformation vollzieht sich in mehreren Wellen, auch getrieben durch politische Umwälzungen	Graduell, getrieben von EVU sowie technologischen Entwicklungen (z.B. sinkende Preise für Batterie- und PV-Lösungen)	Regulatorische Liberalisierung (z.B. in Bezug auf Versorgungsqualität sowie bei Datenschutzthemen), dies ermöglicht neue Geschäftsmodelle und trägt zur Diversifizierung von Energie-Dienstleistungen bei

Tabelle 1: Drei mögliche Transformationspfade des Schweizer Energiesystems im Überblick

dezentralisierten, demokratisierten und zunehmend autarken Energiesystem. Als Gegenpol wird die Energiewende im Transformationspfad «Versteckte Evolution», von grossen Versorgungsunternehmen und internationalen IKT-Firmen gestaltet. In diesem Transformationspfad spielen die BürgerInnen keine aktive Rolle, da sich aus KonsumentInnen-sicht alle Veränderungen im Hintergrund abspielen. Im dritten Transformationspfad «Welt der Dienstleistungen» profitieren KonsumentInnen von neuartigen Geschäftsmodellen und Energie-Dienstleistungen, welche durch gelockerte Datenschutzbestimmungen und eine rasch fortschreitende Digitalisierung ermöglicht werden.

Die Ergebnisse dieser Szenarienbildung zeigen: Welche AkteureInnen die Energiewende vorantreiben, kann erhebliche Auswirkungen auf die politischen, gesellschaftlichen und technologischen Auswirkungen einer Energiesystemtransformation haben. So kann allein der Aspekt der zukünftigen Energieinfrastruktur-Eigentümerschaft (BürgerInnen, Grossunternehmen, Public-Private Partnerships) deren geographische Platzierung, zu

erwartende Akzeptanz und mögliche Geschäftsmodelle beeinflussen. Ebenso weisen die drei Transformationspfade unterschiedliche Dynamiken aus, die von einer stetigen Entwicklung bis zu wechselnden Phasen von Stagnation und Entwicklungsschüben reichen.

4.2 Zweites Beispiel: Die Bedeutung gesellschaftlicher Entwicklungen

Der Fokus der zweiten Szenarienbildung im Rahmen der CREST Vision 2050 ist die Einbettung des Energiesystems in das grössere gesellschaftliche System. Dementsprechend stellt das Energiesystem für den zweiten Szenarienbildungsprozess nur einen Teil des zu betrachtenden Systems dar. Zwar flossen die im ersten Beispiel aufgeführten technischen Kriterien dabei auch in die Modellierung ein, im Vordergrund stand aber eine «ganzheitliche Perspektive», d.h. die nachhaltige Entwicklung der Schweizer Gesellschaft.

Zwei Ziele wurden gefordert: die Erreichung der Ziele des Pariser Klimaabkommens sowie die Erhaltung oder Steigerung von Lebensqualität. Als Methode wurde eine

Gesellschaftssystem CH	Beschreibung
Internationaler Kontext	Die EU ist demokratisch organisiert und reformfähig. International besteht ein breites Bewusstsein gegenüber dem globalen Umweltwandel.
Umwelt	Die mit der Energiewende verbundene Umgestaltung der Landschaft ist breit akzeptiert.
Ökonomie	Die Wirtschaft ist primär dienstleistungs- und nicht industrieorientiert ausgerichtet. Der Wohnort fällt zunehmend mit dem Arbeitsort zusammen, es gibt nur wenig arbeitsbedingten Pendelverkehr.
Politik	Verschiedene Politikbereiche arbeiten sektorübergreifend zusammen. Es besteht ein breites öffentliches Bewusstsein für die Notwendigkeit der Energiewende. Die Schweizer Bevölkerung versteht sich als Teil einer integrierten / globalisierten Welt und nicht nur als autonomer Nationalstaat. Es bestehen Strukturen zur erfolgreichen Zusammenarbeit der Schweiz mit der EU.
Gesellschaft	Die Lebensqualität misst sich für viele an Suffizienz und nicht primär am Niveau des Konsums. Soziale Ungleichheit hat sich über die Jahre deutlich reduziert. Der Anteil der informellen Arbeit hat gegenüber dem Anteil der formellen Arbeit über die Jahre zugenommen.
Energiesystem	Der motorisierte Individualverkehr hat über die Jahre deutlich abgenommen und E-Mobilität und kollektive Lösungen sind etabliert. Der Energiebedarf hat sich über die Jahre deutlich reduziert, sowohl in verschiedenen Bereichen der Wirtschaft als auch auf Haushaltsebene. Verschiedene politische Mechanismen und Instrumente zur Zielerreichung sind etabliert und wirksam in der Steuerung von Energienachfrage und -angebot. Der Energiebedarf ist zu 90% über erneuerbare Energiequellen gedeckt, und das Energiesystem ist sektorübergreifend elektrifiziert.

Tabelle 2: Ausgewählte Dimensionen des Gesellschaftssystems und deren mögliche Ausprägungen für 2050

formative Szenarioanalyse durchgeführt, die wiederum auf einem Systemmodell aufbaute².

Tabelle 2 stellt einige dieser Dimensionen bzw. deren Ausprägungen in jenen Szenarien vor, in denen beide der genannten Ziele erreicht worden sind:

In den Szenarien mit der Erreichung der CO₂-Ziele und einer höheren Lebensqualität zeigen sich in allen Dimensionen markante Änderungen gegenüber dem heutigen Zustand. Beispiele sind ein Rückgang des Anteils der formellen Arbeit (hin zu informelleren Tätigkeiten wie Pflegearbeit oder Teilnahme an zivilgesellschaftlichen oder politischen Aktivitäten), Diffusion neuer Verkehrsmittel (z.B. autonome, geteilte Taxifahrten in einem Mix verschiedener Verkehrsmittel), die Überwindung der Trennung von Wohn- und Arbeitsort (Reduktion des Pendelverkehrs) und ein geringeres Mass an sozialer Ungleichheit in der Schweiz.

Die Energienachfrage in den Haushalten und in der Wirtschaft hat sich verringert, auch aufgrund individueller Wertesysteme im Sinne stark dematerialisierter Lebensqualitätserwartungen sowie einer stärkeren Orientierung in Richtung Dienstleistung. Die Senkung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen CO₂-Emissionen und die Erhöhung der Lebensqualität sind dieselbe Seite der Medaille geworden. Nicht nur sind alle Lebensbereiche stark elektrifiziert und intersektional gekoppelt (z.B. Transport und Nutzung von Hausenergiedienstleistungen, auch unterstützt durch entsprechende verknüpfte Governance-Systeme), die Gesamtenergieversorgung ist mit einem Anteil von 90 % erneuerbarer (und kohlenstoffarmer) Quellen gesichert, und die Energiedienstleistungen sind stark digitalisiert (Smart Homes), was einen effizienten Energieverbrauch unterstützt.

Im Einklang mit dem starken internationalen Druck zum Klimaschutz gibt es einen hohen gesellschaftlichen Konsens und dementsprechend kaum Veto-AkteurInnen,

² Formative Szenarienanalysen bestehen in der Regel aus zwei Schritten, einer Repräsentation der Charakteristiken des zu untersuchenden Systems (Systemparameter und deren wechselseitige Abhängigkeiten), sowie der Festlegung möglicher kohärenter Entwicklungen des Systems basierend auf festgelegten künftigen Zuständen der einzelnen Systemparameter. Bei dieser Methode geht es um das Aufzeigen von Zukunftsmöglichkeiten, die Bewertung der Wünschbarkeit ist immer ein dritter Schritt (vgl. Scholz & Tietje 2002; Burger & Zierhofer 2005; Weimar-Jehle 2006; Weimar-Jehle et al. 2016).

auch nicht bei starken politischen Mechanismen zur Veränderung der Angebots- und Nachfragestruktur, wie eine hohe CO₂-Abgabe von 350 CHF/t CO₂, die von allen relevanten politischen AkteurInnen voll unterstützt wird. Auffallend ist, dass sich eine solche Energiezukunft in zwei ganz unterschiedlichen, globaleren politischen Umfeldern entfalten kann: entweder in einer Welt der ständig wachsenden Zusammenarbeit im Sinne der Agenda 2030 (insbesondere die Reduktion der globalen CO₂-Emissionen, um die globale Erwärmung unter 1,5 °C zu halten) und einer Integration des Schweizer Strommarktes in die kooperativen internationalen Systeme oder auch in einer nach Gruppen strukturierten Welt, in der die Schweiz Mitglied einer reformierten und demokratisierten EU ist.

Demgegenüber zeigen die Szenarien, in denen die gesetzten CO₂- und Lebensqualitätsziele nicht erreicht werden, die Fallstricke innerhalb einer Energietransformation auf. In den Szenarien «*National Economy First*» führt business-as-usual-Politik mit einer Schwerpunktsetzung auf heimische Industrie zu einer Nichterreichung erneuerbarer Energieproduktion und reduzierter Energienachfrage. Besonders interessant sind auch Szenarien, die durchaus Anstrengungen der Politik zu einem Gelingen der Energietransformation erkennen lassen, dies aber nicht mit der notwendigen Durchschlagskraft tun (z.B. halbherzig ausgestaltete Anreizsysteme für erneuerbare Energien oder Reduktion der Energienachfrage) oder bestimmte Bereiche ausklammern und so die gesetzten Ziele nicht erreichen. Zum einen ist das der Fall, wenn energiepolitische Massnahmen ergriffen werden, aber andere gesellschaftliche Bereiche nicht berücksichtigt werden (z.B. Work-Life-Balance und soziale Ungerechtigkeiten wie im Szenario «*Switzerland goes halfway*»). Als nicht zielführend bezüglich CO₂-Emissionen zeigen sich auch Szenarien, in denen die sozialpolitischen Themen erfolgreich auf die Agenda gesetzt sind, aber nur moderate energiepolitische Massnahmen ergreifen (Szenario «*Bright Social but Black Environmental Future*»).

Diese Analyse hebt hervor, wie wichtig es ist, die Entwicklung der Gesellschaft und des Energiesystems integriert zu betrachten. Eine starke Dekarbonisierung wird nur in Szenarien erreicht, die auch substanzielle

gesellschaftliche Veränderungen beinhalten. Eine Priorisierung des Sozialen gegenüber der Umwelt ist ebenso wenig zielführend wie eine Priorisierung der Umwelt gegenüber dem Sozialen. Ebenso ist eine starke Politik notwendig, die sowohl Angebot und Nachfrage als auch neue institutionelle Designs für die Multi-Level-Governance (White Paper 7) umfasst, und auf einer intensiven internationalen Zusammenarbeit basiert. Eine solche Politik wird wesentlich über die sektorielle Politik hinausgehen müssen, wie sie heute typisch ist.

4.3 Zentrale Einsichten aus den Beispielen

Folgende Einsichten lassen sich aus den beiden Beispielen ziehen:

- Für die Entwicklung des Energiesystems ist es wichtig, welche AkteurInnen die Energiewende vorantreiben. Dies beeinflusst sowohl die Akzeptanz und Diffusion neuer Technologien und erneuerbarer Energien als auch die Dynamik der Energiewende.
- Die Sichtbarkeit der Energiewende im Alltagsleben unterscheidet sich ebenfalls stark, je nach den Rollen, die verschiedene AkteurInnen einnehmen. Die Energiewende kann dabei weniger sichtbar ablaufen oder mit starkem Einbezug von BürgerInnen.
- Die Zusammenhänge zwischen gesellschaftlicher Entwicklung und der Entwicklung des Energiesystems sind bedeutsam. Eine starke Dekarbonisierung gelingt nur mit substanziellen gesellschaftlichen Veränderungen.
- Ein Gelingen der Energiewende basiert auf einer über den Energiesektor hinausweisenden Politik. Die Transformation des Energiesystems wird eine Transformation der Gesellschaft sein müssen.

Diese Punkte machen deutlich, dass eine Ergänzung bestehender Szenarien (wie den Energieperspektiven 2050+ oder die JASM-Szenarien) helfen könnte, die Energiewende voranzubringen, indem bislang kaum beleuchtete Chancen und Hindernisse strukturiert erfasst werden.

5. Handlungsempfehlungen

Szenarien für die Entwicklung des Energiesystems, wie die Energieperspektiven 2050⁺ oder die Szenarien von JASM, stellen eine wichtige Grundlage für gesellschaftliche Diskussionen und politische Entscheidungen dar. Es ist unbestritten, dass techno-ökonomische Modelle in einer solchen Szenarienbildung eine zentrale Rolle einnehmen, da sie in der Lage sind, die technische Machbarkeit und die minimal zu erwartenden Kosten verschiedener möglicher Entwicklungen auf einer soliden wissenschaftlichen Basis einzuschätzen.

Allerdings blendet dieses Vorgehen Aspekte aus, die für die Energiewende relevant sind. Damit werden potentiell wesentliche Chancen übersehen (s. Zusammenfassung auf S. 1). Daher empfehlen wir bestehende Szenarien für die Entwicklung des Energiesystems gezielt zu ergänzen:

- 1) Im Rahmen der heute vorrangigen Entwicklung quantitativer Szenarien sollte verstärkt auf Modelle gesetzt werden, die heterogene AkteurInnen, deren Handlungen und soziale Beziehungen beschreiben (anstelle des vorherrschenden Kostenminimierungsansatzes).
- 2) Quantitative Szenarien sollten durch qualitative Szenarien ergänzt werden, welche es ermöglichen, bislang nicht-quantifizierbare, aber für eine erfolgreiche Transformation des Energiesystem höchst relevante Faktoren in grösserem Umfang als bisher in die Analyse einzubinden und die «Blind Spots» bestehender Szenarien zu identifizieren und zumindest teilweise zu schliessen.
- 3) Szenarien sollten im Kontext eines grösseren Zielsystems entwickelt und analysiert werden («going beyond cost minimization»): Sie sollten die Trade-Offs zwischen verschiedenen Zielen darstellen und damit die Diskussion über die Entwicklung des Energiesystems informieren.
- 4) Zentrale Interdependenzen von Energiesystem und anderen Teilsystemen der Gesellschaft sollten berücksichtigt werden («going beyond energy»): Schnittstellen zu gesellschaftlichen Entwicklungen sollten erfasst und gesellschaftliche Entwicklungen als Chancen begriffen werden statt als «Sand im Getriebe».
- 5) Szenarien sollen in Entscheidungsprozesse von wichtigen AkteurInnen besser integriert werden. Dies hilft nicht zuletzt, bessere Annahmen treffen zu können und die Erkenntnisse aus den Analysen zielgerichteter zu kommunizieren.

Es ist offensichtlich, dass diese Empfehlungen sowohl praktische als auch wissenschaftliche Herausforderungen beinhalten. Aus unserer Sicht ist es aber notwendig, sich diesen Herausforderungen zu stellen, damit Energieszenarien auch in einem zukünftig komplexeren Energiesystem relevante Informationen liefern können.

SCCER CREST

Das Competence Center for Research in Energy, Society and Transition (CREST) trägt zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 bei, indem es detaillierte, forschungsbasierte Handlungsempfehlungen erarbeitet. Diese Empfehlungen sollen helfen, die Energienachfrage zu reduzieren, Innovationen zu fördern und den Anteil der regenerativen Energieerzeugung in einer kosteneffizienten Weise zu erhöhen.

In CREST arbeiten Forschungsgruppen aus neun grossen Schweizer Forschungsinstitutionen zusammen, die gemeinsam die Handlungsfelder Wirtschaft, Umwelt, Recht und Verhalten abdecken.

CREST ist eines der acht von Innosuisse geförderten Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER). Weitere Informationen zu unseren Forschungs- und Transfer-Aktivitäten finden Sie auf www.sccer-crest.ch.

Kontakt

Andrea Ottolini
Geschäftsführerin SCCER CREST
Universität Basel
andrea.ottolini@unibas.ch

Autorinnen und Autoren

Frank C. Krysiak, Universität Basel (Lead)
Paul Burger, Universität Basel
Yann Blumer, ZHAW
Lukas Braunreiter, ZHAW
Claudio Cometta, ZHAW
Rony Emmenegger, Universität Basel
Rebecca Lordan-Perret, Universität Basel
Adriana Marcucci, ETHZ
Catherine Roux, Universität Basel
Annika Sohre, Universität Basel

Redaktion

Michael Schär, SCHWINDL SCHÄR GmbH

Layout und Gestaltung

Noëlle Fricker, Universität Basel

Referenzen

- Allcott, H. (2011) Social norms and energy conservation. *Journal of Public Economics*, 95(9-10), 1082-1095.
- Ayres, I., Raseman, S., Shih, A. (2013) Evidence from two large field experiments that peer comparison feedback can reduce resi-dential energy usage. *The Journal of Law, Economics, and Organization*, 29(5), 992-1022.
- Burger, P., & Zierhofer, W. (2005) On the reliability of formative scenario analysis. Some epistemological reflections. In: *Proceedings Papers Symposium on Transdisciplinary Case Study Research for Sustainable Development*, A. Wiek et al. (eds.), ETHZ.
- Cherp, A., Vinichenkoa, V., Jewell, J., Brutschind, E., & Sovacool, B. (2018) Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework. *Energy Research & Social Science*, 37, 175-190.
- Ferraro, P. J., Miranda, J. J., Price, M. K. (2011) The persistence of treatment effects with norm-based policy instruments: evidence from a randomized environmental policy experiment. *American Economic Review*, 101(3), 318-322.
- Ferraro, P. J., Price, M. K. (2013) Using nonpecuniary strategies to influence behavior: evidence from a large-scale field experiment. *Review of Economics and Statistics*, 95(1), 64-73.
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017) The socio-technical dynamics of low-carbon transitions. *Joule*, 1(3), 463-479.
- Giurco, D., Cohen, B., Langham, E., & Warnken, M. (2011) Backcasting energy futures using industrial ecology. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(5), 797-818.
- Hirt, L. F., Schell, G., Sahakian, M., & Trutnevyte, E. (2020) A review of linking models and socio-technical transitions theories for energy and climate solutions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 35, 162-179.
- JASM (2020) Transformation of the Swiss energy system towards net-zero greenhouse gas emissions - Results from the Joint Activity Scenario & Modelling.
- Kishita, Y., McLellan, B. C., Giurco, D., Aoki, K., Yoshizawa, G., & Handoh, I. C. (2017). Designing backcasting scenarios for resilient energy futures. *Technological Forecasting and Social Change*, 124, 114-125.
- Krysiak, F. C., & Weigt, H. (2015) The demand side in economic models of energy markets: the challenge of representing con-sumer behavior. *Frontiers in Energy Research*, 3(24).
- Li, F. G. N., Trutnevyte, E., & Strachan, N. (2015) A review of socio-technical energy transition (STET) models. *Technological Forecasting & Social Change*, 100, 290-305.
- Li, F. G. N., & Strachan, N. (2019) Take me to your leader: Using socio-technical energy transitions (STET) modelling to explore the role of actors in decarbonisation pathways. *Energy Research & Social Science*, 51, 67-81.
- Luderer, G., Krey, V., Calvin, K., Merrick, J., Mima, S., Pietzcker, R., Van Vliet, J., & Kenichi, W. (2014) The role of renewable energy in climate stabilization: results from the EMF27 scenarios. *Climatic Change* 123, 427-441.
- Meadowcroft, J. (2009) What about the politics? Sustainable development, transition management, and long term energy transitions. *Policy sciences*, 42, 323.
- Meadowcroft, J. (2011) Engaging with the politics of sustainability transitions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 1(1), 70-75.
- Miller, C. A., Richter, J., & O'Leary, J. (2015) Socio-energy systems design: a policy framework for energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 6, 29-40.
- Neuvonen, A., Kaskinen, T., Leppänen, J., Lähteenoja, S., Mokka, R., & Ritola, M. (2014) Low-carbon futures and sustainable lifestyles: A backcasting scenario approach. *Futures*, 58, 66-76.
- Nikas, A., Lieu, J., Sorman, A., Gambhir, A., Turhan, E., Vienni Baptista, B., & Doukas, H. (2020) The desirability of transitions in demand: Incorporating behavioural and societal transformations into energy modelling. *Energy Research & Social Science*, 70.

- Patterson, J., Schulz, K., Vervoort, J., Van Der Hel, S., Widerberg, O., Adler, C., Hurlbert, M., Anderton, K., Sethi, M. & Barau, A. (2017) Exploring the governance and politics of transformations towards sustainability. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 24, 1-16.
- Prognos, TEP Energy, Infrac, Ecoplan. (2020) Energieperspektiven 2050+ Kurzbericht, im Auftrag des Bundesamts für Energie. Bern.
- Scholz, R., & Tietje, O. (2002) *Embedded Case Study Methods*. Sage: Thousand Oaks.
- Schreuer, A., Rohrer, H., & Späth, P. (2010) Transforming the energy system: the role of institutions, interests and ideas. *Technology Analysis & Strategic Management*, 22(6), 649-652.
- Velvar, J., Dato, P., & Kuhlmeier, F. (2021) Tailored interventions in a major life decision: A home relocation discrete choice experiment. Working Paper.
- Vergragt, P. J., & Quist, J. (2011) Backcasting for sustainability: Introduction to the special issue. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(5), 747-755.
- Weimar-Jehle, W. (2006). Cross-impact balances: A system-theoretical approach to cross-impact analysis. *Technological Forecasting & Social Change*, 73, 334-361.
- Weimar-Jehle, W., Buchgeister, J., Hauser, W., Kosow, H., Naegler, T., Poganietz, W.-R., Pregger, T., Prehofer, S., von Recklinghausen, A., Schippl, J., & Vögele, S. (2016) Context scenarios and their usage for the construction of socio-technical energy scenarios. *Energy*, 111, 956-970.
- Wiek, A., & Iwaniec, D. (2014) Quality criteria for visions and visioning in sustainability science. *Sustainability Science*, 9, 497-512.
- Xexakis, G., Hansmann, R., Volken, S. P., & Trutnevyte, E. (2020) Models on the wrong track: Model-based electricity supply scenarios in Switzerland are not aligned with the perspectives of energy experts and the public. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 134.

SCCER CREST White Papers

- White Paper #9/2020: Erfolg durch Partnerschaft: Neue Kollaborationsmodelle für einen Energiemarkt im Wandel, SCCER CREST.
- White Paper #8/2019: Politische Maßnahmen zur Reduzierung der Energieeffizienzlücke, SCCER CREST.
- White Paper #7/2019: Schweizer Energiepolitik zwischen Bund, Kantonen und Gemeinden: Zentralisieren, dezentralisieren oder koordinieren?, SCCER CREST.
- White Paper #4/2018: Reduktion der Energienachfrage von Haushalten - erfolgversprechende Schritte auf einem langen Weg, SCCER CREST.