

Welche Zukunft für Energie und Klima?

Folgenabschätzungen für
Energie- und Klimastrategien

Die Aussagen

Die Partner dieses Projektes



Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Dr. Angela Köppl
Univ.-Prof. DI Dr. Stefan Schleicher
Mag. Mark Sommer



Sustainserv Zürich - Boston

Dr. Stephan Lienin



Universität für Bodenkultur Wien

Univ.-Prof. DI Dr. Martin Treberspurg
Arch. DI Dr. Doris Österreicher
DDI Roman Grüner



Johannes Kepler Universität Linz

Univ.-Prof. DI Dr. Reinhold W. Lang



Wegener Center an der Universität Graz

Univ.-Prof. DI Dr. Stefan Schleicher
Univ.-Prof. Mag. Dr. Karl Steininger
Christian Hofer, BSc MSc



ETA Umweltmanagement Wien

Dipl.-Ing. Manfred Mühlberger

Die zusammenfassenden Aussagen vom Mai 2018,
basierend auf dem Gesamtbericht mit den unterstützenden Werkzeugen.

Das Titelbild zeigt die Struktur von Graphen-Atomen und symbolisiert die zu erwartende radikale Transformation der jetzigen Energiesysteme.

Graphen ist ein neuer Werkstoff mit einer Wabenstruktur aus Kohlenstoff, die nur die Dicke eines Atoms aufweist. Obwohl somit nur ein Millionstel eines Haars dick, sind Strukturen aus Graphen um zweihundertmal stärker als Stahl und von höchster Leitfähigkeit für Elektrizität und Wärme bei Raumtemperatur. Das Anwendungspotential für Energie reicht von Batterien für Elektrizität mit hoher Speicherdichte bis zu extrem leichten Komponenten für Fahrzeuge.

<http://www.graphene.manchester.ac.uk/explore/what-can-graphene-do/>

<http://www.newyorker.com/magazine/2014/12/22/material-question>

Vorgeschlagene Zitierung:

Schleicher, S., A. Köppl, S. Lienin, M. Treberspurg, Österreicher, R. Grüner, R. Lang, M. Mühlberger, K. Steininger, C. Hofer (2018). Welche Zukunft für Energie und Klima? Folgenabschätzungen für Energie und Klimastrategien. Die Aussagen. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung (WIFO).

WELCHE ZUKUNFT FÜR ENERGIE UND KLIMA? Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien

Das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft, nunmehr Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, hat das Österreichische Institut für Wirtschaftsforschung mit einer Folgenabschätzung für Energie- und Klimastrategien beauftragt. Gemeinsam mit Projektpartnern der Universität Graz, der Universität für Bodenkultur, der Universität Linz sowie den Beratungsunternehmen Sustainerv Zürich-Boston und ETA Wien wurden dazu Analysen mit folgenden zusammenfassenden Aussagen durchgeführt.

Die sich abzeichnende Transformation der Energiesysteme

Aussagen zu treffen, welche Folgen mit welchen Strategien für Energie und Klima verbunden sind, erfordert ein vertieftes Verständnis über mögliche Transformationen des derzeitigen Energiesystems.

Das künftige Energiesystem ist einem radikal veränderten Umfeld ausgesetzt

Ausgangspunkt sind die Schlüsseltechnologien der Digitalisierung und der damit verbundenen Automatisierung mit immer selbständiger agierenden Maschinen. Sichtbar werden schon jetzt Produktionsprozesse mit immer weniger menschlicher Arbeit und in absehbarer Zeit selbststeuernde vollelektrische Fahrzeuge.

In den Energiesystemen verschwimmt die gewohnte Trennung von Bereitstellung und Verwendung von Energie. Daraus entwickeln sich radikal neue Strukturen.

Das künftige Energiesystem ist kaum prognostizierbar, sehr wohl aber gestaltbar

Das hohe Potential für disruptive Veränderungen betrifft die Nutzung von Energie mit dafür sorgfältig gewählten Technologien, den Ausstieg aus fossilen Energien aber auch neue Geschäftsmodelle. Dieses weite Spektrum an möglichen Veränderungen macht das künftige Energiesystem kaum prognostizierbar, bietet aber große Möglichkeiten für eine aktive Gestaltung.

Sichtbar wird das bei der neuen Rolle von Gebäuden, die bei Niedrigst-Energiestandards auch Infrastruktur für erneuerbare Energien sowie für thermische und elektrische Speicher anbieten.

Gleicherweise zeigt ein neues Verständnis von Mobilität, wie der Zugang zu Personen, Gütern und Orten nicht immer zusätzliche Verkehrsleistungen erfordert und alle Verkehrsträger verschränkt.

Aus Entscheidungen über künftige Energiestrukturen folgen erreichbare Ziele

Viele der geläufigen Ziele zur Beurteilung von Energiesystemen – wie geringe Treibhausgas-Emissionen, mehr Energieeffizienz und ein höherer Anteil von Erneuerbaren im Energiemix – haben Mängel: Sie werden meist isoliert gewählt und machen nicht ausreichend sichtbar, mit welchen Strukturen des Energiesystems diese Ziele erreichbar sind. Davon betroffen sind auch die diskutierten Ziele und die Governance der EU-Energie- und Klimapolitik.

Deshalb wird für die beauftragte Folgenabschätzung von Energie- und Klimastrategien bewusst ein umgekehrter Weg eingeschlagen: Zuerst wird nach möglichen Strukturen künftiger Energiesysteme gesucht und dann werden die damit verbundenen Zielindikatoren für Emissionen, Energieverbrauch und Erneuerbare für Handlungsstrategien ermittelt.

Die erwarteten Folgen von Energie- und Klimastrategien

Innovation stimuliert Transformationen

Im Vergleich zu den letzten Jahrzehnten verändern sich die Schlüsselbereiche des Energiesystems markant.

Diese Trends können durch Energie- und Klimastrategien für eine Transformation zu hoher Energieproduktivität und niedrigen Treibhausgasemissionen verstärkt werden.

) **Multifunktionale Gebäude** haben nicht nur höchste energetische Standards sondern übernehmen eine aktive Rolle bei der Bereitstellung von Energie. Der Standort dieser Gebäude wird entsprechend einer ressourcenschonenden Raumplanung gewählt. Die Gebäudehülle wird für die Bereitstellung von Energie mit Priorität für Erneuerbare verwendet und beherbergt elektrische Speicher. Die Gebäudemasse wird als thermischer Speicher genutzt. Gebäude werden somit zu einem aktiven Teil der Infrastruktur für das Energiesystem indem sie in die Bereitstellung und Speicherung von Energie eingebunden werden und eine aktive Rolle im Lastmanagement bei Elektrizität und Wärme übernehmen.

) **Verschränkte Mobilität** verbindet alle Verkehrsträger und forciert den Übergang zu vollelektrischen Antrieben. Ein neues Verständnis von Mobilität, die sich als Zugang zu Personen, Gütern und Orten versteht, erfordert aufgrund der

immer attraktiver werdenden Kommunikationstechnologien nicht mehr immer Transportbewegungen. Diese sind jedoch durch mindestens zwei Verschränkungen charakterisiert: Einerseits über das ganze Spektrum der Verkehrsträger von Fußwegen über den öffentlichen bis zum Individualverkehr und andererseits durch Nutzungsmodelle auf der Basis von Sharing.

) **Integrierte Energienetze** lukrieren Synergien durch Verbindung aller Komponenten bei der Verwendung und Bereitstellung von Energie mit einer tragenden Rolle für erneuerbare Energien. Vier Netze – nämlich für Elektrizität, Wärme, Gas und Kommunikation – werden die Synergiepotentiale durch immer bessere Integration der Komponenten des Energiesystems erschließen. Im Gegensatz zu den bisherigen unidirektionalen von Versorgern zu Abnehmern geführten Leitungen, werden diese neuen Netze durch zwei Eigenschaften charakterisiert sein: Sie werden bidirektional arbeiten, d.h. die Rolle von Bereitstellern und Verwendern von Energie wird laufend wechseln, und die Netze der Energieträger werden über ein Energiemanagement verbunden sein.

Die Fronius-Vision: Integrierte Netze auf der Basis von Erneuerbaren



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf www.fronius.com

Diese Grafik – adaptiert nach einer der weltweit präsenten österreichischen Firma Fronius – visualisiert die Zukunft der Energiesysteme:

-) Alle Komponenten bei Verwendung und Bereitstellung sind durch ein Energiemanagement integriert.
-) Intermittierende Erneuerbare werden durch Speicher und Demand-Side-Management ergänzt.
-) Alle Elemente des Energiesystems haben höchste energetische Produktivität.

Ziele folgen aus künftigen Strukturen

Ein verändertes österreichisches Energiesystem mit diesem Fokus auf Innovationen könnte Strukturen bei der Verwendung und Bereitstellung von Energie erreichen, die voll den EU-Zielsetzungen für 2030 entsprechen.

Nach den derzeit beobachtbaren Trends verfehlt Österreich diese Ziele. Nur mit einem Fokus auf eine deutliche Erhöhung der Energieproduktivität und daraus resul-

tierenden Rückgängen beim Energieverbrauch können sowohl ambitionierte Emissionsziele als auch ein hoher Anteil von Erneuerbaren im österreichischen Energiesystem erreicht werden.

Nachfolgend wird sichtbar gemacht, welche Strukturen des österreichischen Energiesystems die für 2030 absehbaren EU-Ziele erreichbar machen.

| Zielwerte für die Transformation des österreichischen Energiesystems bis 2030 | | | | |
|---|-------|-------------------|-------|---------------------------|
| Indikatoren für Zielsetzungen | | Historische Werte | | Zielkompatible Strukturen |
| | | 2005 | 2015 | 2030 |
| Treibhausgasemissionen | | | | |
| Insgesamt | Index | 100 | 85 | 67 bis 70 |
| Non-ETS Bereich | Index | 100 | 83 | 64 |
| ETS Bereich | Index | 100 | 88 | 70 bis 77 |
| Erneuerbare | | | | |
| Brutto-Inlandsverbrauch Erneuerbare | PJ | 293 | 416 | 475 bis 532 |
| | Index | 100 | 142 | 160 bis 180 |
| Anteil der Erneuerbaren (nach EU RL 2009/28/EG) am Brutto-Endverbrauch | % | 23 | 33 | 40 bis 44 |
| Energie-Verbrauch | | | | |
| Brutto-Inlandsverbrauch Insgesamt | PJ | 1,436 | 1,415 | 1.232 bis 1.308 |
| | Index | 100 | 99 | 86 bis 91 |

Mit Strukturen, die in den dargestellten Energieverbräuchen sichtbar werden, sind die erwarteten EU-Ziele für 2030 erreichbar.

Demnach würden - entsprechend den hier vorgelegten Analysen - bis 2030 gegenüber 2005 die Treibhausgasemissionen im nicht dem Emissionshandel zugeordneten Bereich (Non-ETS) um 36 Prozent sinken, die Erneuerbaren um rund 60 Prozent ansteigen und der Brutto-Inlandsverbrauch um bis zu 15 Prozent reduziert werden.

Für die Beurteilung der Wirkung von unterschiedlichen Energie- und Klimastrategien wird ein dafür entwickeltes analytisches

Werkzeug verwendet, das über <http://energyfutures.net/> zugänglich ist.

Folgen der innovativen Strategien

Eine solche Neuorientierung der Energie- und Klimastrategien in Richtung umfassender Innovation von der Verwendung bis zur Bereitstellung von Energie bewirkt eine Reihe von positiven Effekten, die weit über das Energiesystem im engeren Sinn hinaus reichen.

Wirtschaftliche Aktivität

wird vor allem durch Neubau und Sanierung von Gebäuden stimuliert, wo eine Investitionssumme von 100 Mio. € mindestens mit einer zusätzlichen Wertschöpfung von 120 Mio. € und 1.300 Beschäftigten verbunden ist.

Alle Maßnahmen zur Verbesserung des

Gebäudebestandes verdienen nicht nur wegen der langfristigen energetischen Wirkungen, sondern auch wegen der kurzfristigen stimulierenden Effekte auf die wirtschaftliche Aktivität hohe Priorität.

Leistbarkeit

von Energie erfordert speziell für einkommensschwächere Schichten eine höhere energetische Effizienz um die laufenden Ausgaben für Energie zu verringern.

Da die Ausgaben für Energie für Wohnen für Haushalte im unteren Einkommensbereich eine hohe finanzielle Belas-

tung darstellen, sind dafür besondere Aktivitäten zur Entlastung bei den Energiekosten erforderlich. Priorität haben dafür Programme zur Sanierung oder Ersatz von Gebäuden mit besonders schlechten thermischen Standards und der damit verbundenen Suche nach kostensenkenden Finanzierungsmodellen.

) **Versorgungssicherheit**

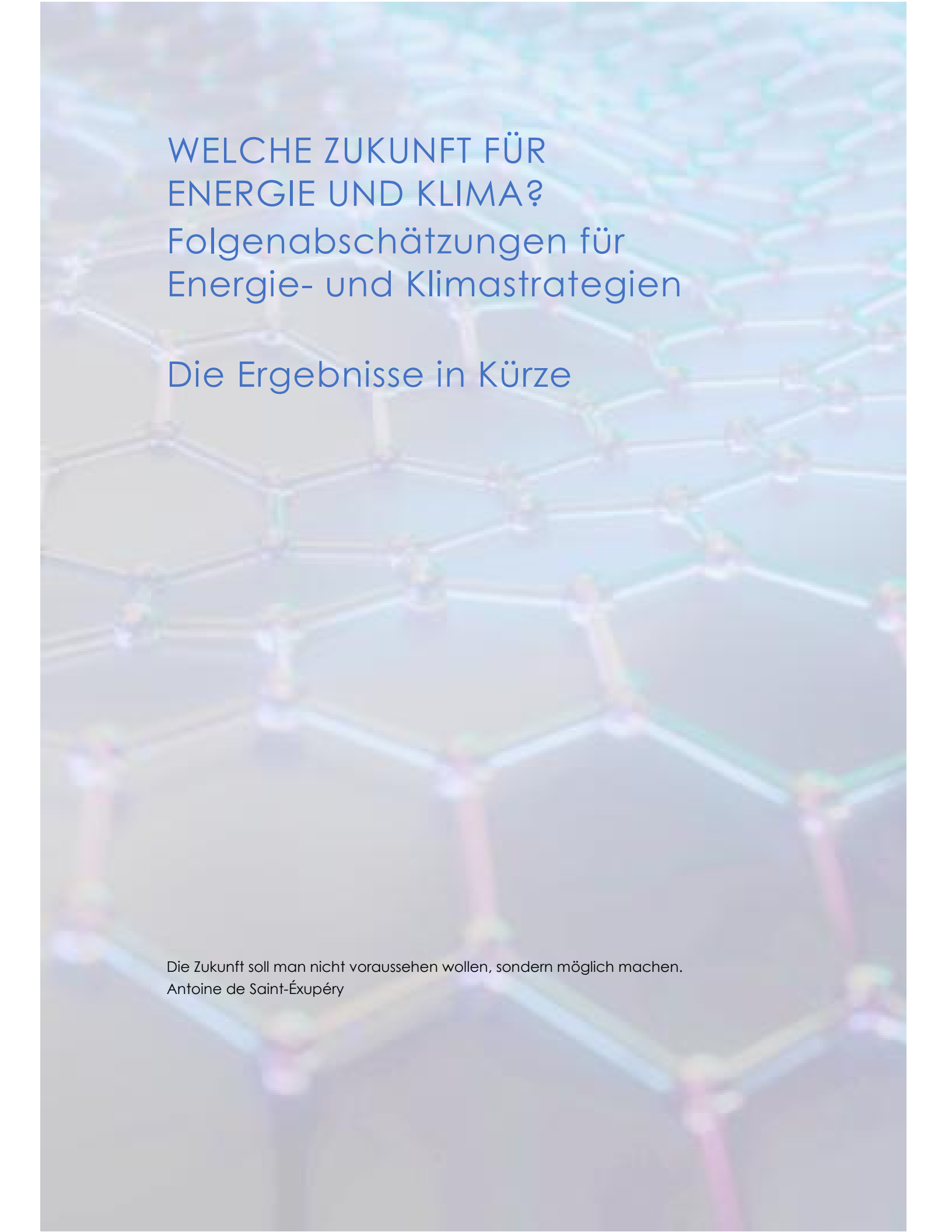
und die dafür erforderliche Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen auf den Energiemärkten bedingt neue Anforderungen an die Netz-Infrastruktur. Diese Forderung nach resilienten Netzen wird durch den Trend zu dezentralen Strukturen und integrierten Netzen für

Elektrizität und Wärme unterstützt.

) **Wettbewerbsfähigkeit**

wird immer mehr durch die Fähigkeit zur Innovation entschieden, wofür sich bei Energie hohe Potentiale öffnen. Produkte und Technologien, die Strukturen mit höherer energetischer Produktivität und niedrigen Emissionen unterstützen, können dabei einen First Mover Advantage lukrieren.

Förderinstrumente und Abgaben sind zu überprüfen, ob sie innovative Strukturen unterstützen. Allenfalls wären behindernde Regulierungen auszusetzen.



WELCHE ZUKUNFT FÜR ENERGIE UND KLIMA? Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien

Die Ergebnisse in Kürze

Die Zukunft soll man nicht voraussehen wollen, sondern möglich machen.
Antoine de Saint-Exupéry

Roadmap, Checklists und Projekte

Zehn Orientierungen einer Roadmap für das Design von Energie- und Klimastrategien

Die Energiesysteme beginnen sich weltweit in einem Ausmaß zu verändern, wie es vor wenigen Jahren noch nicht vorstellbar war.

Die für den Umgang mit Energie und den damit verbundenen Emissionen erforderlichen Entscheidungsprozesse sind in Ge-

fahr, mit diesen Veränderungen nicht Schritt zu halten.

Nachfolgend wird deshalb im Stil einer Roadmap eine Orientierungshilfe für das Design von Energie- und Klimastrategien dargestellt, die proaktiv diese umfassenden Veränderungen unterstützt.

(1) Ein vertieftes Verständnis des Energiesystems

ist die Basis für belastbare Energie- und Klimastrategien



Dafür ist die volle **energetische Wertschöpfungskette** mit folgenden essentiellen Komponenten zu beachten:

) **Funktionalitäten**

Das sind die letztlich zu erbringenden thermischen, mechanischen und spezifisch-elektrischen Dienstleistungen, an denen die Erfüllung der Aufgaben des Energiesystems gemessen wird.

) **Anwendungs- und Transformationstechnologien**

Die Gebäude, Maschinen und Fahrzeuge sowie die Anlagen für die Transformation von Primär-Energie bestimmen mit ihren Qualitäten die Energieflüsse.

) **Energie-Mix von End-Energie bis zur Primär-Energie**

Die quantitative Verfügbarkeit und die qualitativen Anforderungen der benötigten Energie beeinflussen die Zusammensetzung der Energieträger.

(2) Das 3i-Mindset – Innovation, Integration und Inversion –

hilft zukunftsfähige Strukturen zu finden



Jede Energie- und Klimastrategie versucht Perspektiven über die künftigen Strukturen des Energiesystems zu entwerfen. Dazu sind kaum mehr prognostische Aussagen möglich, sehr wohl aber Hinweise für eine aktive Gestaltung. Drei Leitlinien erweisen sich für das Auffinden von anzustrebenden Strukturen als besonders geeignet:

) **Innovation stimulieren**

Bei allen Komponenten der energetischen Wertschöpfungskette öffnen sich **Potentiale für Innovationen**, die von der Vermeidung redundanter Funktionalitäten über höhere energetische Produktivitäten und Änderungen im Energie-Mix reichen und ganz neue Geschäftsmodelle ermöglichen.

) **Integration suchen**

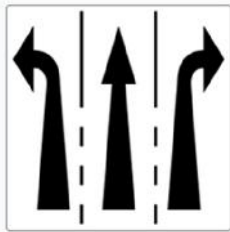
Durch **Kombination einzelner Komponenten** des Energiesystems, wie der Verbindung von Wärme und Elektrizität oder Nutzung von elektrischen und thermischen Speichern, können Synergien gewon-

nen werden, die neue Netzstrukturen motivieren. Dadurch werden viele der bisherigen Abgrenzungen zwischen Anbietern und Nachfragern von Energie obsolet.

J **Inversion sichern**

Damit ist der Fokus auf die **Funktionalitäten als Ausgangspunkt und Messpunkt** für die Beurteilung von allen Änderungen auf der energetischen Wertschöpfungskette gemeint. Damit wird die bisher gewohnte Argumentation, die auf das andere Ende der energetischen Wertschöpfungskette, nämlich der Primär-Energie, fixiert ist, gleichsam auf den Kopf gestellt. Nur so werden jedoch die Potentiale für Veränderungen sichtbar.

(3) Drei prioritäre Handlungsfelder – Gebäude, Mobilität und Netze – sind bestimmend für die strukturellen Veränderungen



Wegen ihrer hohen Potentiale für Innovation und ihrer tragenden Rolle beim Übergang zu Strukturen mit niedrigem Energiebedarf und niedrigen Treibhausgasemissionen verdienen drei Handlungsfelder besondere Aufmerksamkeit:

J **Multifunktionale Gebäude**

Das sind nicht nur Gebäude mit geringem Energiebedarf, sondern auch Bauten, die zu einem aktiven Teil der Infrastruktur für das Energiesystem werden indem sie in die Bereitstellung und Speicherung von Energie eingebunden werden und eine aktive Rolle im Lastmanagement bei Elektrizität und Wärme übernehmen.

J **Verschränkte Mobilität**

Ein neues Verständnis von Mobilität, die sich als Zugang zu Personen, Gütern und Orten versteht, erfordert aufgrund der immer attraktiver werdenden Kommunikationstechnologien nicht mehr immer Verkehrsbewegungen. Diese sind jedoch durch mindestens zwei Verschränkungen charakterisiert: Einerseits über das ganze Spektrum der Verkehrsträger und andererseits durch Nutzungsmodelle auf der Basis von Sharing im Individualverkehr.

J **Integrierte Netze**

Vier Netze – nämlich für Elektrizität, Wärme, Gas und Kommunikation – werden die Synergiepotentiale durch immer bessere Integration der Komponenten des Energiesystems erschließen. Im Gegensatz zu den bisherigen unidirektional, von Versorgern zu Abnehmern geführten Leitungen, werden diese neuen Netze durch zwei Eigenschaften charakterisiert sein: Sie werden bidirektional arbeiten, d.h. die Rolle von Bereitstellern und Verwendern von Energie wird laufend wechseln, und die Netze der Energieträger werden über ein Energiemanagement verbunden sein.

Diese drei Prioritäten vernachlässigen nicht einen vierten Bereich, nämlich die Verwendung von Energie im Bereich der **energieintensiven Produktion** von Gütern, der zwei Sondereinflüssen ausgesetzt ist. Bei der energetischen Nutzung von Energie ergeben sich allein aus der Wettbewerbssituation Anreize zur Ausschöpfung von Produktivitätspotentialen. Bei den prozessbedingten Emissionen, die beispielsweise bei Stahl und Zement anfallen, sind weitreichende Innovationen in den Prozessabläufen erforderlich, um die Emissionen von Treibhausgasen zu reduzieren.

Bezüglich der **erneuerbaren Energien** liefern diese drei Prioritäten gleichsam maßgeschneiderte Aussagen, wie Erneuerbare von der End-Energie bis zur Primär-Energie in den prioritären Handlungsfeldern integriert werden können.

(4) Die 3a-Strategien – Aufbrüche, Aktivitäten und Anreize – unterstützen den Übergang zu zukunftsfähigen neuen Strukturen



Die mit dem 3i-Mindset identifizierten prioritären Handlungsfelder sind mit Strategien für deren Implementierung zu versehen. Das wären dafür drei Schwerpunkte aus dem breiten Spektrum an Möglichkeiten:

) Aufbrüche ermöglichen

Viele Innovationen werden durch bestehende Regulierungen behindert. Betroffen sind davon beispielsweise neue Netzstrukturen, die direkte Lieferungen zwischen Anbietern und Nachfragern von Energie erlauben.

) Aktivitäten ermutigen

Unternehmungen und Haushalte können in den Strukturen der nächsten Energiesysteme neue Rollen übernehmen, wie an den Energiedienstleistungen ausgerichtete integrierte Netze und Mobilitätskonzepte auf der Basis von Sharing.

) Anreize setzen

Zur Unterstützung von zielorientierten Restrukturierungen werden Anreize zu setzen sein, die vor allem die nächsten Investitionen für Infrastruktur mit den angestrebten Restrukturierungen des Energiesystems kompatibel machen.

(5) Verbindliche Ziele – für Emissionen, Erneuerbare und Energieverbrauch - erfordern die Darstellung der damit angestrebten Strukturen und der dafür beabsichtigten Strategien



Das wären beispielsweise einige der möglichen Zielsetzungen für Österreich:

| Indikatoren für Zielsetzungen | | Historische Werte | | Zielkompatible Strukturen |
|--|-------|-------------------|--------------|---------------------------|
| | | 2005 | 2015 | 2030 |
| Treibhausgasemissionen | | | | |
| Insgesamt | Index | 100 | 85 | 67 bis 70 |
| <i>Non-ETS Bereich</i> | Index | 100 | 83 | 64 |
| <i>ETS Bereich</i> | Index | 100 | 88 | 70 bis 77 |
| Erneuerbare | | | | |
| Brutto-Inlandsverbrauch Erneuerbare | PJ | 293 | 416 | 475 bis 532 |
| | Index | 100 | 142 | 160 bis 180 |
| Anteil der Erneuerbaren (nach EU RL 2009/28/EG) am Brutto-Endverbrauch | % | 23 | 33 | 40 bis 44 |
| Energie-Verbrauch | | | | |
| Brutto-Inlandsverbrauch Insgesamt | PJ | 1,436 | 1,415 | 1.232 bis 1.308 |
| | Index | 100 | 99 | 86 bis 91 |

| | |
|--|---|
| | <p>Solche Zielsetzungen für die Energie- und Klimapolitik werden erst dann belastbar, wenn die damit verbundenen Restrukturierungen des Energiesystems dargestellt und mit den für die Implementierung vorgesehenen Strategien verbunden werden.</p> <p>Zugrunde liegen diesen Zielen deshalb detaillierte Analysen über mögliche strukturelle Änderungen für die Bereiche des Energiesystems anhand folgender Fragestellungen:</p> <ul style="list-style-type: none">) Funktionalitäten Welche thermischen, mechanischen spezifisch-elektrischen Dienstleistungen werden in welchem Zeithorizont zu erfüllen sein?) Anwendungs- und Transformationstechnologien Welche innovative Technologien bei Gebäuden, Maschinen und Netzen sind dabei zu erwarten bzw. bewusst zu forcieren?) Energie-Mix von End-Energie bis zur Primär-Energie Welche Möglichkeiten gibt es für die Veränderung beim Energie-Mix auf allen Stufen der energetischen Wertschöpfungskette? |
|--|---|

(6) Vielfach gebrauchte Zielgrößen – wie Erneuerbare, Effizienz und Energiewende – geben nicht ausreichende Orientierungen

| | |
|--|---|
|  | <p>Diese E-Begriffe unterstützen aus einer Reihe von Gründen nicht ausreichend jene Transformation des Energiesystem, wie es ein vertieftes Verständnis mit dem 3i-Mindset nahelegt:</p> <ul style="list-style-type: none">) Erneuerbare Sowohl die Erfahrungen in Deutschland als auch in Österreich zeigen, dass auch bei Erneuerbaren der Standort, die Verwendbarkeit und die Einbindung in das Energiesystem zu evaluieren ist. Eine bedingungslose Empfehlung, dass jeder Ausbau von Erneuerbaren zu unterstützen ist, kann kontraproduktive Effekte haben.) Effizienz Nicht immer werden Forderungen nach mehr Effizienz ausreichend argumentiert, weil dafür die beiden Hauptsätze der Thermodynamik heranzuziehen sind. Zu prüfen ist sowohl die mengenmäßige Effizienz (im Sinne der energetischen Produktivität) als auch die arbeitsmäßige Effizienz (im Sinne der Nutzung der Arbeitsfähigkeit eines Energieträgers). Demnach bedeutet die Verwendung eines Energieträgers (erneuerbar oder fossil) mit hoher Arbeitsfähigkeit nur zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme einen hohen Verlust wegen der Nichtnutzung der Arbeitsfähigkeit. Zusätzlich wäre bei der Anwendung dieser Maße für Effizienz die gesamte energetische Wertschöpfungskette zu beachten.) Energiewende Damit wird meist auf die Energiewende Deutschlands verwiesen, die sich inzwischen aber als keineswegs nur vorbildhaft für andere Staaten herausgestellt hat. Wohl hat Deutschland unter dieser Strategie den Einstieg bei Erneuerbaren und den Ausstieg bei Atomenergie eingeleitet, das Gesamtsystem weist aber weiterhin sowohl bei Emissionen als auch beim Energieverbrauch kaum Fortschritte auf. |
|--|---|

(7) Häufig verwendeten Zielindikatoren – wie Anteile für Erneuerbare oder Energiemengen für Effizienz – erfassen nicht ausreichend das gesamte System



Einige bisher verwendete Zielindikatoren erweisen sich – wenn sie isoliert vom gesamten Energiesystem verwendet werden – als nicht ausreichend als Orientierungen für die Energie- und Klimapolitik.

Indikatoren für Erneuerbare

Wird der Fortschritt bei der Nutzung von erneuerbaren Energien am Anteil vom Energieverbrauch gemessen (wie bei den Zielen der EU), so ist dieser Indikator hoch sensibel bezüglich der verwendeten Bezugsgröße.

Indikatoren für Effizienz

In gleicher Weise ist eine Energiemenge nicht für die Messung von Energieeffizienz (wie ebenfalls Praxis bei den EU-Zielen) ausreichend, weil einerseits ein Bezug zur damit verbundenen Aktivität fehlt und andererseits keine Aussage über das zweite Effizienzmaß, nämlich die Nutzung der Arbeitsfähigkeit eines Energieträgers erfolgt.

Konsistenz der Indikatoren

Wird zu den angesprochenen Indikatoren für Erneuerbare und Effizienz noch ein weiterer Indikator für Emissionen als Zielgröße postuliert, dann wird meist nicht berücksichtigt, dass aus zweien dieser drei Indikatoren der dritte folgt und somit Probleme hinsichtlich der Konsistenz der Indikatoren auftreten können.

(8) Jede strukturelle Änderung im Energiesystem ist hinsichtlich der Folgen umfassenden Bewertungen auszusetzen



Strukturelle Veränderungen – wie der Bau von multifunktionalen Gebäuden oder eine App für ein umfassendes Mobilitätsmanagement – betreffen die gesamte energetische Wertschöpfungskette und werden sichtbar in Veränderungen bei den wohlstandsrelevanten Funktionalitäten, den energetischen Produktivitäten und im Energie-Mix.

Zur Unterstützung der solchen Veränderungen zugrunde liegenden Entscheidungen sind vergleichbare Indikatoren hilfreich. Solche Indikatoren sind sowohl für die **Investition** als auch für die **Nutzung** über die gesamte Nutzungsdauer darzustellen und betreffen folgende Bewertungen:

Energie- und Emissions-Effekte

Welche Veränderungen werden in welchen Zeitschritten bei Energie und Emissionen erwartet?

Wirtschaftliche Aktivität

Welche Effekte sind bei Produktion, Beschäftigung, Importen und Exporten mit dieser strukturellen Veränderung verbunden?

Leistbarkeit

Welche Haushalte werden in welcher Einkommenskategorie in welchem Ausmaß von dieser strukturellen Veränderung begünstigt oder belastet?

Standort und Innovation

Verringert die strukturelle Änderung die Importabhängigkeit, wird das Potential für Innovationen unterstützt und sind mit dieser strukturellen Änderung Wettbewerbsvorteile absehbar?

(9) Struktureller Wandel durch zielorientierte Innovation im Bereich Energie ist eine Chance für die gesamte Wirtschaft



Die immer deutlicher sichtbar werdenden disruptiven Veränderungen im Energiesystem sind eingebettet in möglicherweise ähnlich radikale Transformationen in den restlichen Bereichen der Wirtschaft. Solche sich abzeichnenden Entwicklungen sind:

)] **Digitalisierung**

Das ist die Basistechnologie für weitreichende und radikale Veränderungen im Wirtschaftsstil und in der Folge auch im Lebensstil.

)] **Automatisierung und Robotik**

Eine neue Generation von Maschinen hat das Potential, weitgehend die Produktion von Sachgütern zu übernehmen und auch Dienstleistungen anzubieten.

)] **Artificial Intelligence**

Zusätzlich zeichnet sich ein weiterer Entwicklungssprung ab, der Maschinen immer autonomer entscheidungsfähig macht, wie am Beispiel der selbststeuernden Fahrzeuge bereits absehbar.

Die absehbaren radikalen Veränderungen im Energiesystem können als Vorboten von ähnlichen Umbrüchen verstanden werden, die das gesamte Wirtschaftssystem betreffen werden. Das gesamte Wirtschaftssystem wird gleichsam eine Baustelle, die sich einer zielorientierten Innovation für zukunftsfähige Strukturen auszusetzen hat. Das wären einige damit verbundenen Fragestellungen:

)] **Circular Economy**

Wie wären mit einem viel geringeren Bedarf aller Ressourcen – nicht nur der mit Energie verbundenen – die angestrebten Wohlstandsziele zu erreichen?

)] **Infrastruktur und Ressourcen**

Was bedeutet ein solcher struktureller Wandel für die Infrastruktur von Gebäuden, Maschinen aber auch die Nutzung der Landflächen und das Design von Städten und Dörfern?

)] **Wirtschafts- und Geschäftsmodelle**

Welche Folgen könnten diese möglicherweise abrupten Änderungen für den Wirtschaftsstil und die Geschäftsmodelle haben?

(10) Unsicherheiten und Radikalität der erforderlichen Veränderungen für die Erreichung zukunftsfähiger Strukturen sollen bewusst kommuniziert werden



Sollen die Ziele des Pariser Klimaabkommens erreicht werden, dann würde für Österreich ein nach globaler Fairness zugeteiltes Emissionsbudget bei Fortsetzung der aktuellen Emissionsmengen nur bis zum Beginn der dreißiger Jahre reichen. Wie die Verfügbarkeit dieses Emissionsbudgets bis 2050 gestreckt werden könnte, ist derzeit noch schwer darstellbar, aber in den Anforderungen erkennbar:

)] **Die Radikalität der erforderlichen Veränderungen kommunizieren**

Bis 2050 müssten die gesamte Infrastruktur von Gebäuden, Mobilität und Anlagen erneuert oder verändert, emissionsintensive Produktionsprozesse durch emissionsarme ersetzt und die Landwirtschaft völlig umgestellt werden.

)] **Carbon Management für ein verbleibendes Carbon Budget starten**

Besser als die Forderung nach singulären Emissionszielen für 2030

| | |
|--|--|
| | <p>oder 2050 ist deshalb ein überlegtes Carbon Management, das sich an den Reduktionspotentialen orientiert und deshalb multifunktionalen Gebäuden, verschränkter Mobilität und integrierten Netzen hohe Priorität gibt.</p> <p>) Die Bereitschaft für disruptiven Wandel wecken Betroffen sind die für die Infrastruktur von Wohnen, Produktion und Mobilität relevanten Investitionen, die schon jetzt sorgfältig danach abzuwägen wären, ob sie mit den sich abzeichnenden disruptiven Veränderungen in allen Bereichen der Wirtschaft und speziell bei den mit Energie verbundenen Aktivitäten auch in den kommenden Jahrzehnten noch kompatibel sein werden.</p> |
|--|--|

Checklists für Folgenabschätzungen von energie- und klimarelevanten Entscheidungen

Wie können energie- und klimarelevante Entscheidungen so getroffen werden, dass deren Folgen abschätzbar und zielorientiert angepasst werden können?

Solche Entscheidungen, die vom persönlichen Lebensstil über wirtschaftliche Aktivitäten bis zu den Ebenen der Politik reichen, brauchen hinsichtlich der Abschätzung ihrer Folgen eine Fundierung.

Die nachfolgenden Checklists können dazu als zusätzliche Entscheidungshilfen herangezogen werden.

Mit dem 3i-Mindset das Energiesystem umfassend verstehen

-) **INNOVATION** stimulieren
-) **INTEGRATION** suchen
-) **INVERSION** sichern

Mit den 3a-Strategien Transformationen gestalten

-) **AUFBRÜCHE** ermöglichen
-) **AKTIVITÄTEN** ermutigen
-) **ANREIZE** entwickeln

Auf drei Handlungsfelder die Entscheidungen fokussieren

-) **Multifunktionale GEBÄUDE**
-) **Verschränkte MOBILITÄT**
-) **Integrierte NETZE**

Multifunktionale Gebäude

| Checklist Multifunktionale Gebäude | |
|---|---|
| 1. Funktionalität und Standort | Kann sich das Gebäude an einen veränderten Bedarf der Funktionalitäten anpassen, wie bei Wohngebäuden Möglichkeiten für berufliche Tätigkeiten? Welche Folgen hat der gewählte Standort für den Bedarf an zusätzlicher Infrastruktur, wie für Mobilität? |
| 2. Thermische Qualität | Gibt es Potentiale, die thermische Gebäudequalität zu verbessern? Mit welchen zusätzlichen Investitionskosten könnten um wieviel der Energiebedarf reduziert werden? |
| 3. Bauteilaktivierung | Kann eine Bauteilaktivierung für Regelung der Raumtemperatur und Speicherung von Wärme und Kälte genutzt werden? |
| 4. Energie-Infrastruktur | Kann das Gebäude Teil der Bereitstellung und Speicherung im Energiesystem werden, wie durch gebäudeintegrierte PV, Wärmepumpen und Geothermie? |
| 5. Netz-Einbindung | Wieweit ist das Gebäude bidirektional eingebunden in die Netze für Elektrizität, Wärme/Kälte (wie Energienetze), Gas und Information? |
| 6. Energie-Management | Ist ein integriertes Energie-Management aller Komponenten des betrachteten Gebäudes und im Verbund mit benachbarten Gebäuden über die angebundenen Netze vorhanden oder nachrüstbar? |

Verschränkte Mobilität

| Checklist Verschränkte Mobilität | |
|--|---|
| 1. Anforderung an die Funktionalität | Welche mobile Funktionalität bezüglich des Zugangs zu Personen, Gütern und Orten ist zu erfüllen? Welche Anforderungen sind damit verbunden, wie zu überwindende Distanz und verfügbare Zeit? |
| 2. Information und Organisation | Kann der Mobilitätsbedarf zumindest teilweise auch durch Informations-Technologien erfüllt werden? Lässt sich der Mobilitätsbedarf durch eine andere Organisation der Aufgaben, wie bessere Auslastung der Transportkapazitäten oder gemeinsame Zustelldienste statt Einzelfahrten reduzieren? |
| 3. Verfügbarer Modal-Split | Sind die Möglichkeiten zur Wahl des Verkehrsträgers ausreichend, wie Fußwege, Radwege, Zugang zum öffentlichen Verkehrsnetz? |
| 4. Möglichkeiten für Elektro-Mobilität | Ist entsprechende Infrastruktur, wie Ladestationen, für den Umstieg auf Elektro-Mobilität - sowohl für private, geschäftliche und öffentliche Fahrzeuge - vorhanden? |
| 5. Mobilitäts-Management | Wieweit bestehen Informationsmöglichkeiten zur verschränkten Nutzung der vorhandenen Verkehrsträger? Welche Vorsorge ist getroffen, um durch ein bewusstes Mobilitäts-Management die Infrastruktur für den Modal-Split zu verbessern? |
| 6. Sharing-Nutzungsmodelle | Kann die mobile Funktionalität auch durch innovative Geschäftsmodelle, wie Sharing, erfüllt werden? |

Integrierte Netze

| Checklist Integrierte Netze | |
|------------------------------------|---|
| 1. Verfügbarkeit | Welche Netze für Elektrizität, Gas, Wärme/Kälte und Information sind für ein bestimmtes Gebäude, einen Cluster von Gebäuden und geografische Orte aller Dimensionen verfügbar? |
| 2. Elektrisches Netz | Welche Strukturen hat das elektrische Netz auf den unterschiedlichen Netz-Ebenen? In welchem Ausmaß werden welche erneuerbaren Energien für die Bereitstellung von Elektrizität verwendet und wie findet deren Einbindung in das elektrische Netz statt? Welche Aufgaben für das Netz-Management sind auf welcher Netz-Ebene zu erfüllen und wieweit wird dazu neben Kapazitäten bei der Bereitstellung und Speicherung auch Demand-Side-Management verwendet? Wieweit haben diese Netze bidirektionale Strukturen zur Integration von lokalen Komponenten für die Bereitstellung, Speicherung und Nutzung von Elektrizität? |

| | |
|--|---|
| <p>3. Thermisches Netz</p> | <p>Durch welche Komponenten für die Bereitstellung, Speicherung und Nutzung von Wärme/Kälte ist das vorhandene thermische Netz beschrieben? Kann dieses Netz auch bidirektional, etwa nach dem Konzept der Anergie-Netze betrieben werden, um Wärme/Kälte zu rezyklieren?</p> |
| <p>4. Gas-Netz</p> | <p>Mit welcher Art von Gas - wie Erdgas, Biogas, Syngas, Wasserstoff – wird das Gasnetz gespeist und kann es auch bidirektional betrieben werden? Ist mit dem Gasnetz eine flächendeckende Versorgung vorgesehen oder der Übergang zu speziellen Anlagen, wie hocheffizienter Cogeneration von Wärme und Elektrizität auf kleinen Skalen?</p> |
| <p>5. Informations-Netz</p> | <p>Wieweit sind alle Komponenten der Verwendung, Speicherung und Bereitstellung in den Netzen für Elektrizität, Gas und Wärme/Kälte über ein gemeinsames Informations-Netz verbunden?</p> |
| <p>6. Integriertes Netz-Management</p> | <p>Werden die Möglichkeiten eines die einzelnen Energieträger übergreifenden integrierten Netz-Managements genutzt und über welche zeitliche Intervalle - von Sekunden bis zu Saisonen – findet das statt?</p> |

Orientierung gebende Projekte als Leuchttürme für innovative Energie- und Klimastrategien

Einige Orientierung gebende Projekte können gleichsam als Leuchttürme die Realisierung von innovativen Energie- und Klimastrategien stimulieren.

Nachfolgend drei Beispiele für die prioritä-

ren Handlungsfelder

-)] Multifunktionale Gebäude,
-)] Verschränkte Mobilität und
-)] Integrierte Netze.

SafeEnergy - Energetisch krisensichere Krankenhäuser

Die österreichischen Krankenhäuser werden ausgehend von den derzeitigen Notstromeinrichtungen energetisch auf folgende Standards gebracht:

-)] Ersatz der für den Notfall vorgesehenen Aggregate durch neue Wärme-Kraft-Anlagen, die im Dauerbetrieb eingesetzt werden.
-)] Die Dimensionierung erfolgt nach dem Wärmebedarf unter Bedachtnahme auf den Eigenverbrauch an Elektrizität, mit der zusätzlich Regelernergie für das öffentliche Netz angeboten werden kann.
-)] Diese Basisausstattung wird schrittweise erweitert durch Erneuerbare, Wärmepumpen und Anergienetze.
-)] Im Krisenfall sind diese Anlagen in der Lage, eine Notversorgung bei Elektrizität nicht nur für den Eigenbedarf sondern auch für essentielle Einrichtungen, wie die Netze für Kommunikation und Wasser, wahrzunehmen.

Dies wäre ein Beispiel für die neuen Cluster-Strukturen bei Elektrizität und Wärme mit dem zusätzlichen Aspekt der Versorgungssicherheit im Krisenfall.

MyTicket – Integriertes Ticketingsystem für die gesamte Mobilität

Die gesamte der Mobilität dienende Infrastruktur wird mit einem integrierenden Ticketing-System zugänglich gemacht. Die Plattform dazu kann eine Karte mit Near-Field-Communication Funktionen sein oder/und eine entsprechende App für Smartphones.

-)] Gestartet wird MyTicket mit einer Integration von bestehenden Jahreskarten im Verkehrsverbund mit der ÖBB-Vorteilscard.
-)] Damit sind grundsätzlich alle öffentlichen Verkehrsträger erreichbar, allerdings mit unterschiedlichen Tarifen (entsprechend dem Gültigkeitsbereich der Jahreskarten).
-)] Dieses Ticketsystem ist erweiterbar nach Geltungsbereichen des öffentlichen Verkehrs bis zu einer Österreich-Card.
-)] Inkludierbar sind Car Sharing Netze, Straßenmauten und sogar der Individualverkehr über teilnehmende Betreiber von Tankstellen. Für die Nutzer würde die Abrechnung Auskunft über deren gesamte Ausgaben für Mobilität geben.
-)] Damit lassen sich hoch flexible Tarife (differenziert nach Zeit, Ort und Intensität der Nutzung) mit entsprechenden Anreizwirkungen installieren.

Ein solche, schrittweise mit öffentlichen und privaten Partnern entwickelte Ticketing-Plattform könnte starke Anreize für neue Strukturen bei Mobilität schaffen.

NewGrids – Integration und Kommunikation als neue Aufgabe der Netze für Energie

Vier Netze mit hoher Integration bilden das Rückgrat eines hocheffizienten Energiesystems, nämlich die Netze für Elektrizität, Wärme, Gas und Kommunikation. Zwei Eigenschaften kennzeichnen diese neuen Netzstrukturen: Ihr Betrieb erfolgt bi-direktional (derzeitig uni-direktional) und gekoppelt (derzeitig entkoppelt). In einem neuen Wohngebiet erfolgt deshalb im Rahmen eines Forschungsschwerpunkts die Integration dieser Netze:

-) Das Netz für Elektrizität reagiert nicht nur auf deren Bereitstellung aus immer lokaleren Quellen sondern steuert auch deren Verwendung, ohne damit die Funktionalitäten (bei thermischen, mechanischen und spezifisch elektrischen Dienstleistungen) zu beeinträchtigen, und integriert elektrische Speicher.
-) Das Netz für Wärme hat die technischen Eigenschaften eines Anergie-Netzes, nämlich niedrige Temperaturen, Aufnahme von Abfallwärme (etwa aus dem Abwasser), Verbindung mit Wärmespeichern, Wärmepumpen und der Bereitstellung der Energie für Wärme und Elektrizität.
-) Das Netz für Gas erreicht nicht mehr jede Wohneinheit, wird aber für den Betrieb immer lokalerer und hocheffizienter Wärme-Kraft-Anlagen verwendet. Transportiert wird auf einige Zeit noch Erdgas, das zunehmend durch biogenes Gas und in absehbarer Zeit möglicherweise auch durch Wasserstoff ergänzt wird.
-) Das Netz für Kommunikation ist die Basis für die Kopplung der Netze und für die Einbindung von immer mehr Komponenten des Verbrauchs.

Beispiele für solche neue Strukturen der Netze gibt es schon in der Schweiz, wo die ETH Zürich schrittweise ihre Gebäude mit Anergie-Netzen für Wärme verbindet und die mit der ETH verbundene Forschungseinrichtung EMPA Forschungsprogramme für diese integrierten Netzstrukturen betreibt.

Motivation, Methodik und Aussagen

Unsere Energiesysteme sind eingebettet in jene Strukturen und Abläufe, die den Wirtschafts- und Lebensstil prägen. Gerade dieses Umfeld wird aber in den nächsten Jahren radikalen Änderungen ausgesetzt sein. Robotik und 3D-Printing werden Produktion und die Rolle der menschlichen Arbeit verändern. Gebäude werden genauso zum Bestandteil der Infrastruktur der nächsten Energiesysteme wie die Batterien der Elektrofahrzeuge.

Folgenabschätzungen von möglichen Energie- und Klimastrategien können nur dann eine unterstützende Entscheidungsfunktion für Personen, Unternehmen und alle Ebenen der Politik anbieten, wenn dieses zu erwartende neue Umfeld für Wirtschaft und Gesellschaft ausreichend wahrgenommen wird.

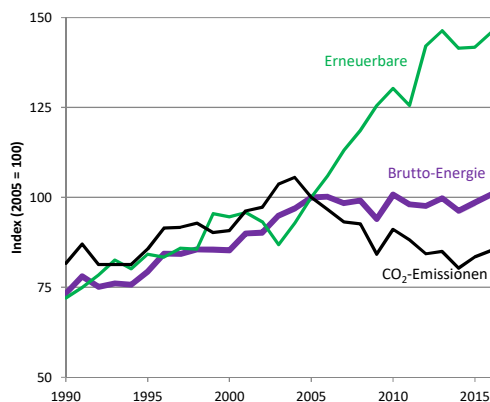
Die Herausforderung der disruptiven Veränderungen

Im österreichischen Energiesystem zeichnen sich Herausforderungen ab, die weit über eine Transformation in Richtung Substitution durch erneuerbare Energien hinausgehen.

Fakten zu den aktuellen Trends

Abbildung A zeigt, wie sich das österreichische Energiesystem in den vergangenen 25 Jahren verändert hat.

Abbildung A: Energie und Emissionen



- Der **Brutto-Energieverbrauch**, also der als Brutto-Inlandsverbrauch bezeichnete Input in das Energiesystem, ist bis 2005 expandiert, danach stabil geblieben und steigt allerdings wieder seit 2015.
- Die Menge an **erneuerbaren Energien** im Brutto-Energieverbrauch nahm seit 2005 um rund 45 Prozent zu.

- Damit verbunden ist seit 2005 ein Rückgang der mit Energie verbundenen **CO₂-Emissionen** von rund 15 Prozent, die seit 2015 wieder ansteigen.

In diesem Zeitraum erhöhte sich das Brutto-Inlandsprodukt (BIP) um 14 Prozent. Der Energieverbrauch beginnt sich somit vom BIP zu entkoppeln, das deshalb immer weniger als Treiber für den Energieverbrauch anzusehen ist.

Orientierungen für 2030 und 2050

Für die Entwicklung des österreichischen Energiesystems bis 2030 und 2050 sind die aktuellen Trends nicht mehr verwendbar.

- Disruptive Veränderungen** bei der Verwendung und Bereitstellung von Energie beginnen sich bereits jetzt abzuzeichnen.
- Eine **zielorientierte Gestaltung** des österreichischen Energiesystems eröffnet viele attraktive Optionen.

Abgeleitet aus den internationalen Verpflichtungen ist für die Transformation des Energiesystems eine Orientierung an einer radikalen Reduktion der Treibhausgasemissionen naheliegend.

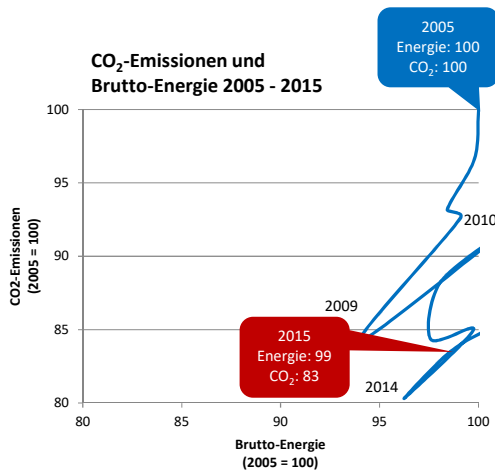
Für Österreich zeichnet sich im Rahmen der EU-Klimapolitik für 2030 ein Reduktionsziel von 36 Prozent gegenüber 2005 für die nicht dem EU-Emissionshandel zugeordneten Emissionen ab. Die EU-Roadmaps streben bis 2050 mindestens Reduktionen von 80 Prozent gegenüber 1990 an. Der im November 2016 in Kraft getretene Pariser

Klimavertrag geht von einer Emissionsreduktion aus, die mit einem globalen Temperaturanstieg von deutlich unter 2°C kompatibel ist.

Abbildung B macht die gemeinsame Veränderung von Emissionen und Energieverbrauch sichtbar. Demnach erreichte Österreich seit 2005 den Rückgang der energetisch bedingten CO₂-Emissionen praktisch ohne Verringerung der Energiemengen. Bei weitgehend unverändertem Brutto-Energieverbrauch sanken die Emissionen um rund 15 Prozent, somit also fast nur durch eine Substitution von Fossilen durch Erneuerbare.

Ambitionierte Emissionsziele erfordern deutlich höhere energetische Produktivität

Abbildung B: Österreichs Energiesystem von 2005 bis 2015



Fokus auf deutlich höhere Energieproduktivität

Analysen zeigen, dass dieser Fokus auf Erneuerbare durch einen zusätzlichen Fokus auf eine deutlich höhere Energieproduktivität zu ergänzen wäre, wenn die angestrebten Emissionsreduktionsziele erreicht werden sollen.

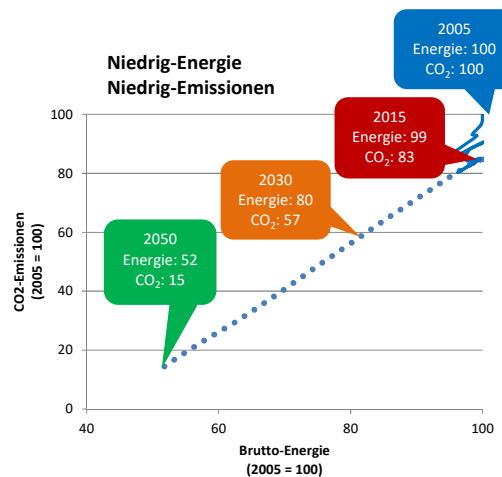
In Abbildung C ist zu erkennen, welcher Entwicklungspfad schließlich bis 2050 die energetisch bedingten CO₂-Emissionen auf 15 Prozent des Wertes von 2005 reduzieren würde.

Demnach müsste der Energieverbrauch gegenüber 2005 bis 2030 um rund 20 Prozent und bis 2050 um fast 50 Prozent absinken.

Erreichbar wäre damit eine Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2030 um 43 Prozent und bis 2050 um 85 Prozent.

Allerdings ist festzuhalten, dass aus heutiger Sicht eine solche Reduktion nur mit extremen Veränderungen möglich erscheint. Diese betreffen vor allem eine umfassende Erneuerung der Gebäudeinfrastruktur sowie des Mobilitätssystems.

Abbildung C: Perspektiven für Energie und Emissionen bis 2030 und 2050



Ziele auf Konsistenz prüfen

In der nachfolgenden Box wird argumentiert, dass ein enger Zusammenhang zwischen Emissionen sowie dem Volumen von Erneuerbaren und Gesamtenergie besteht.

Beide Größen sind oft Zielwerte für angestrebte Transformationen eines Energiesystems, wie etwa im Rahmen der EU-Klima- und Energiepakete. Es besteht jedoch die Gefahr, dass diese Ziele – wenn sie unabhängig voneinander festgelegt werden – nicht konsistent sind.

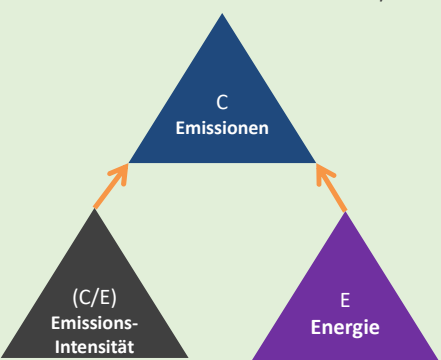
Einige Hinweise verdienen deshalb beim Design von Zielen Beachtung:

- J Aus einem Ziel für Emissionen und Erneuerbare (in absoluten Mengen oder in Anteilen am Gesamtenergieverbrauch) folgt ein damit konsistentes Volumen an Gesamtenergie.
- J Da das Volumen an verfügbaren Erneuerbaren wohl kaum unbeschränkt ist, ergibt sich bei einem bestimmten Emissionsziel das mit diesen Limitierungen kompatible Volumen an Gesamtenergie.
- J Andererseits zeigen die Potentiale zur

Erhöhung der energetischen Produktivität die Möglichkeiten auf, den Gesamtenergieverbrauch deutlich zu reduzieren, was bei beschränkten Emissionen wiederum einen deutlich geringeren Bedarf an zusätzlichen Erneuerbaren sichtbar macht.

Die in den nachfolgenden Analysen sichtbaren Ziele für Emissionen, Erneuerbare und Gesamtenergie erfüllen diesen Anspruch auf Konsistenz aufgrund des dafür verwendeten analytischen Werkzeuges.

Emissionen, Erneuerbare und Energieverbrauch



Diese drei Größen können nicht unabhängig gewählt werden, da folgender Zusammenhang zwischen Emissionen (C), Emissions-Intensität (C/E) und Gesamtenergie (E) besteht:

$$C = (C/E) \times E$$

Da sich die Gesamtenergie aus Erneuerbaren (E^{erneu}) und Fossilen (E^{foss}) zusammensetzt

$$E = E^{erneu} + E^{foss}$$

und die Emissionen proportional dem Emissionsfaktor (f) für Fossile sind,

$$C = f \times E^{foss}$$

ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen Emissionen, Gesamtenergie und Erneuerbaren:

$$C = f \times (E - E^{erneu})$$

Somit wird sichtbar, dass bei einem vorgegebenen Reduktionsziel für Emissionen und einer Beschränkung der Verfügbarkeit von Erneuerbaren ein Zielwert für den Gesamtenergieverbrauch folgt.

Dieser Zusammenhang besteht auch, wenn statt dem Volumen von Erneuerbaren deren Anteil am Gesamtenergieverbrauch (E^{erneu}/E) gewählt wird:

$$C = f \times (1 - (E^{erneu}/E)) \times E$$

Ein neues Mindset für ein vertieftes Verständnis von Energiesystemen

Die Herausforderung, das Energiesystem mit einem zusätzlichen Fokus auf höchste energetische Produktivität zu versehen, bedingt ein vertieftes Verständnis der Strukturen dieses Systems.

Disruptive Veränderungen werden sichtbar

Schon in wenigen Jahren könnte sich unser Umgang mit Energie radikal verändern.

-) **Multifunktionale Gebäude** werden nicht nur weitgehend energetisch autonom, sondern bekommen eine Rolle als Teil der Infrastruktur für das nächste Energiesystem.
-) **Verschränkte Mobilität**, die als Erfüllung des Zugangs zu Personen, Gütern und Orten verstanden wird, erfordert nicht immer mehr Verkehrsbewegungen.
-) **Integrierte Netze** können auf immer kleineren Skalen die mit Energie verbundenen Funktionalitäten erfüllen.
-) **Innovative Geschäftsmodelle** entstehen, die mit konventionellen Energieversorgungsunternehmen kaum Ähnlichkeit haben und mit Begriffen wie Sharing und Blockchain aufmerksam machen.

Mit dem **3i-Mindset** – nämlich **Inversion, Innovation und Integration** – zukunftsfähige Strukturen für Energie und Klima suchen

Zwei Schritte führen zu einem vertieften Verständnis von Energiesystemen, um die zu erwartenden radikalen Veränderungen konstruktiv zu bewältigen.

Zuerst ist gleichsam die Black Box der Energiesysteme zu öffnen, damit die gesamte energetische Wertschöpfungskette sichtbar wird, die mit den Funktionalitäten des Energiesystems, also den Energie-Dienstleistungen beginnt und bei der Primär-Energie endet.

Darauf aufbauend können die 3i-Vokabel eine Orientierung für Entscheidungen ent-

lang dieser Kaskade des Energiesystems bieten:

-) **INNOVATION stimulieren**
Die Suche, Entwicklung und Implementierung von neuen Technologien, Geschäftsmodellen und Nutzungen überwindet bestehende Blockaden.
-) **INTEGRATION suchen**
Synergien durch immer bessere Verbindung der Bestandteile eines Energiesystems reduzieren Ressourcen und Kosten.
-) **INVERSION sichern**
Ausgehend von den energetischen Funktionalitäten und nicht von der Primär-Energie erfolgt eine Umkehr in der Argumentation und Analyse.

Mit dem 3i-Mindset zukunftsfähige Strukturen finden

Auf der Basis dieses 3i-Mindset werden Optionen für die Transformation des österreichischen Energiesystems für die Zeithorizonte 2030 und 2050 bewertet.

Die Suche nach zukunftsfähigen Strukturen

Die Aufgabe, Aussagen über die Folgen von bestimmten Energie- und Klimastrategien zu gewinnen, ist mit einer Reihe von methodischen Herausforderungen konfrontiert:

-) **Disruptive Vorgänge** werden in den nächsten Jahren fast alle Bereiche der Wirtschaft erfassen und das Energiesystem wird in diese Veränderungen eingebunden sein.
-) **Neue methodische Ansätze** sind deshalb erforderlich, um die Optionen und Folgen dieser disruptiven Entwicklungen besser abschätzen zu können.
-) **Folgen und Sensitivitäten** von möglichen strukturellen Veränderungen im Energiesystem sollen faktenbasiert analysiert und kommuniziert werden.

Für diese Herausforderungen liefert das 3i-Mindset konstruktive Unterstützungen.

Strukturen mit den Qualitäten Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen

Die Transformation der Energiesysteme erfordert einen langen Zeithorizont. Analysen über mögliche Strukturen für 2030 sind deshalb einzubetten in eine Perspektive, die mindestens bis 2050 reicht.

Wie die Strukturen eines Energiesystems aussehen könnten, die bis 2050 die Qualitäten von Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen aufweisen, zeigt Abbildung D. Verwendet wurde dafür ein analytisches Werkzeug, das die volle Wertschöpfungskette des Energiesystems, ausgehend von den Funktionalitäten der zu erbringenden energetischen Dienstleistungen bis zur Primär-Energie, mit den dafür verfügbaren Optionen für Transformationen darstellt. Unterstellt wurden dabei auch deutliche Anstiege dieser Funktionalitäten für energetische Dienstleistungen, etwa zusätzlich 30 Prozent an Raumfläche bis 2050.

Ausgangspunkt ist das Jahr 2015. Für dieses Jahr wird der Gesamtverbrauch an Energie auf 100 normiert. Sichtbar wird, dass rund 16 Prozent der Energie durch Verluste bei der Transformation und Verteilung verloren gehen und Mobilität mit 27 Prozent und Niedertemperatur mit 21 Prozent die wichtigsten Verwendungen von Energie für die damit verbundenen Funktionalitäten sind.

ten sind.

Unter Abschätzung der schon jetzt verfügbaren und absehbaren Potentiale für Verbesserungen in der energetischen Produktivität könnte trotz deutlicher Ausweitung der Funktionalitäten bis 2050 der Energieverbrauch fast halbiert werden. Die größten Reduktionspotentiale werden bei Mobilität und Niedertemperatur erwartet.

Mit einem solchen Transformationspfad wäre in der Variante 2050 A auch eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 80 Prozent gegenüber 2005 erreichbar. Dafür müsste das derzeitige Volumen an Erneuerbaren, sichtbar im hellgrünen Bereich, noch um rund ein Drittel ausgebaut werden.

Orientierung an bis 2050
erreichbaren Strukturen

Diese Abbildung illustriert auch einen alternativen Entwicklungspfad, die Variante 2050 B. Demnach könnte der gesamte Energieverbrauch unverändert bleiben. Geht man von einem gleichbleibenden Anteil von Erneuerbaren wie für die Transformationsoption 2050 A eines reduzierten Energievolumens aus, müsste die Menge an Erneuerbaren mehr als verdoppelt werden. Trotzdem würde das Reduktionsziel bei den CO₂-Emissionen nicht erreicht werden.

Abbildung D: Mögliche Strukturen des österreichischen Energiesystems bis 2050



Die Suche nach zielkompatiblen Strategien

Aus Perspektiven über die Strukturen des künftigen Energiesystems lassen sich Zielindikatoren für Emissionen, Gesamtenergieverbrauch und Erneuerbare ableiten.

Aus diesen Zielen lassen sich wiederum Strategien entwickeln, die Transformationspfade zu den gewünschten Strukturen unterstützen.

Mit den **3a-Strategien** – nämlich **Aufbrüchen, Aktivitäten und Anreizen** – die Transformation des Energiesystems bewältigen

Die bisher geläufigen Strategien, wie die Förderung von Erneuerbaren oder von Energieeffizienz sowie anreizschaffende Subventionen und Abgaben sind allerdings nicht ausreichend, um langfristig erforderliche radikale strukturelle Änderungen zu realisieren.

Strategien zur Erreichung von zielkompatiblen Strukturen sind umfassender zu verstehen und könnten in folgen-

Aus erreichbaren Strukturen folgen Ziele und Strategien

den Leitlinien gebündelt werden:

J **AUFBRÜCHE ermöglichen**

Barrieren, die Innovationen behindern, beispielsweise viele kontraproduktive Regulierungen bei Netzen, wären abzuschaffen.

J **AKTIVITÄTEN ermutigen**

Von innovativen Gebäuden bis zu einer Mobilität mit weniger Verkehr und integrierten Netzen öffnen sich Potentiale für die Transformation des Energiesystems.

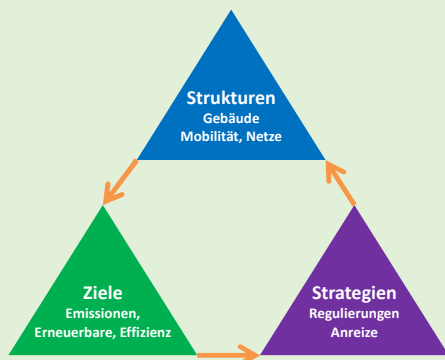
J **ANREIZE entwickeln**

Vom Entdecken von Synergien durch bessere Integration aller Komponenten bis zur treffsicheren Gestaltung von Förderinstrumenten ist das institutionelle Umfeld des Energiesystems neu zu gestalten.

Mit diesen als 3a-Strategien formulierten Leitlinien für Entscheidungen werden die als zukunftsfähig eingeschätzten Strukturen

unseres Energiesystems gestaltbar.

Die Interaktion von Strukturen, Zielen und Strategien



Strukturen des Energiesystems, werden durch die Nutzung der Infrastruktur von Gebäuden, Mobilität und Netzen beschrieben.

Indikatoren, die diese Strukturen beschreiben, wie Emissionen, Erneuerbare und Effizienz, können als **Ziele** formuliert werden.

Aus diesen Zielen resultieren **Strategien** in Bezug auf Regulierungen und Anreize, die wiederum auf die Strukturen rückwirken.

Ziele werden somit erst glaubwürdig, wenn sie mit realisierbaren Strukturen verbunden sind.

Das 3i-Mindset motiviert zu 3a-Strategien

In welchem Zusammenhang das mit dem **3i-Mindset** verbundene vertiefte Verständnis von Energiesystemen mit den unter

3a-Strategien zusammengefassten Leitlinien für Entscheidungen steht, wird in der nachfolgenden Übersicht visualisiert.

| | | Die 3a-Strategien | | |
|-----------------------|---|--|--|---|
| | | AUFBRÜCHE ermöglichen | AKTIVITÄTEN ermutigen | ANREIZE entwickeln |
| Das 3i-Mindset | INNOVATION stimulieren Disruptive Veränderungen bei allen Komponenten des Energiesystems werden zielorientiert unterstützt | Blockierende Regulierungen für Innovationen bei Technologien, Geschäftsmodellen und Nutzungsverhalten werden aufgehoben | Neue energetische Infrastrukturen für Gebäude und Mobilität beginnen sich zu entwickeln J Wohnanlagen, Krankenhäuser, Bürogebäude werden energetisch autonom J Pilot-Regionen experimentieren mit neuen Lebens- und Wirtschaftsformen J Urban Labs suchen nach neuen Designs für Städte | Schlüssel-Technologien verändern radikal die Energiesysteme J Digitalisierung ermöglicht diese Transformationen J Speicher für Elektrizität und Wärme werden lokal verfügbar J Gebäude werden aktiver Teil des Energiesystems J Mobilität propagiert Informationstechnologien, elektrische Antriebe und erweiterten Modal-Split |
| | INTEGRATION suchen Synergien entstehen durch Vernetzung aller Komponenten bei der Verwendung und Bereitstellung von Energie | Die traditionelle Trennung zwischen Bereitstellung und Verbrauch von Energie sowie zwischen Elektrizität und Wärme beginnt sich aufzulösen | Integrierte Energiesysteme entstehen auf immer kleineren Skalen J Elektrizität strukturiert sich neu J Wärme/Kälte wird in Anergie-Netzen rezykliert J Mikro-Wärme-Kraft-Kopplung ergänzt Erneuerbare | Neue Netzstrukturen ermöglichen kostensparende Synergien J Alle Netze werden bidirektional J Internet of Things integriert alle Komponenten des Systems, ermöglicht lastabhängige Tarife und Demand-Side-Management |
| | INVERSION sichern Funktionalitäten der Energiedienstleistungen werden zum Fokus der energetischen Wertschöpfungskette | Die gesamte energetische Wertschöpfungskette wird sichtbar gemacht Die thermischen, mechanischen und spezifisch elektrischen Funktionalitäten bestimmen alle Entscheidungen | Unternehmungen beginnen sich nach den energetischen Dienstleistungen umzustrukturieren Die Infrastruktur bei Netzen und Bereitstellung wird dementsprechend angepasst | J Märkte für Energiedienstleistungen lösen den Verkauf von Energie ab J Integriertes Ticketing erlaubt die Nutzung vom öffentlichen Verkehr bis zu Car Sharing |

Drei Handlungsfelder für strukturelle Veränderungen

Das neue Verständnis von Energiesystemen mit dem **3i-Mindset**, das zu den **3a-Strategien** führt, macht **drei prioritäre Handlungsfelder** sichtbar, wenn eine Transformation zu Strukturen mit den Qualitäten von Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen erzielt werden soll:

1) Multifunktionale Gebäude

mit den thermischen Standards von Niedrigst-Energie werden mit ihren Komponenten zur Energiebereitstellung zu Plusenergie-Gebäuden.

2) Verschränkte Mobilität

beachtet alle Verkehrsträger und Kommunikationstechnologien für den Zu-

Multifunktionale Gebäude
Verschränkte Mobilität
Integrierte Netze

gang zu Personen, Gütern und Orten.

3) Integrierte Netze

Überwinden die Sektorgrenzen von Elektrizität, Wärme und Gas und inkludieren im Netzmanagement auch die Verwendung und Speicherung von Energie.

In dieser Aufzählung fehlt der Bereich der Produktion von Sachgütern und Dienstleistungen.

Auf diesen Bereich wirken andere Einflüsse.

Bei den Dienstleistungen werden die Gebäudestrukturen relevant. Bei der energieintensiven Sachgüterproduktion, sind es vor allem Kosten, die inhärent zu effizienteren Strukturen führen.

Multifunktionale Gebäude

Wie hoch das Potential für die energetische Verbesserung des vorhandenen Be-

standes an Wohngebäuden ist, zeigt die Tabelle A.

Tabelle A: Reduktion von Energie in Wohngebäuden durch energetische Sanierung

| Senkung des jährlichen Heizwärmebedarfs (HWB) durch Sanierung | Senkung des HWB pro m ² [kWh] | | | Bestand Mio. m ² | Anteil am Bauvolumen % |
|---|--|-----|-----|--------------------------------|---------------------------|
| | von | auf | um | | |
| Ein- und Zweifamilienhäuser | | | | 203,2 | 54% |
| vor 1919 | | | | | |
| Saniert | 70 | 43 | 27 | 3,9 | 1% |
| Ursprünglicher thermischer Standard | 295 | 43 | 252 | 18,3 | 5% |
| 1919 - 1991 | | | | | |
| Saniert | 70 | 43 | 27 | 20,6 | 5% |
| Ursprünglicher thermischer Standard | 194 | 43 | 151 | 97,0 | 26% |
| nach 1991 | | | | | |
| Ursprünglicher thermischer Standard | 71 | 43 | 28 | 63,5 | 17% |
| Mehrfamilienhäuser | | | | 175,4 | 46% |
| vor 1919 | | | | | |
| Saniert | 58 | 26 | 32 | 6,3 | 2% |
| Ursprünglicher thermischer Standard | 155 | 26 | 129 | 25,3 | 7% |
| 1919 - 1991 | | | | | |
| Saniert | 58 | 26 | 32 | 28,6 | 8% |
| Ursprünglicher thermischer Standard | 121 | 26 | 95 | 74,4 | 20% |
| nach 1991 | | | | | |
| Ursprünglicher thermischer Standard | 57 | 26 | 31 | 40,9 | 11% |
| Gesamtbestand | | | | 378,6 | 100% |

Bei Wohngebäuden, die rund drei Viertel der gesamten Gebäudeflächen ausmachen, sind – wie aus Tabelle A ersichtlich – hohe Potentiale für thermische Verbesserungen vor allem bei den Ein- und Zweifamilienhäusern erkennbar, die mehrheitlich den Bestand an Wohngebäuden ausmachen.

Im Neubau sind sofort die ab 2020 geltenden EU-Standards für Gebäude zu empfehlen.

Die nächsten Designs, die Gebäuden eine multifunktionale Dimension über Wohnen,

Arbeiten und sonstigen Tätigkeiten hinausgeben, betreffen:

-)] Infrastruktur für Photovoltaik und Solarthermie
-)] Thermische Bauteilaktivierung
-)] Thermischer Speicher über die Gebäudemasse
-)] Einbindung in ein Anergie-Netz
-)] Nutzung der Erdwärme über die Fundamente mit Wärmepumpen

Verschränkte Mobilität

Für ein vertieftes Verständnis des Bereichs Mobilität ist der Ausgangspunkt der derzeitige Modal-Split von Verkehrsmitteln. Deren

Verwendung nach Wegezweck zeigt Tabelle B.

Tabelle B: Modal-Split nach Verkehrsmitteln und Verkehrsleistung

| Modell-Split nach Wegelänge in Prozent | Anteil an allen Verkehrsmitteln | Anteil je Hauptverkehrsmitteln an der Verkehrsleistung pro Wegezweck | | | | | |
|--|---------------------------------|--|------------|-----------------|--------------------|------------------|-------------------------|
| | | zu Fuß | Fahrrad | MIV LenkerInnen | MIV MitfahrerInnen | Öffentl. Verkehr | Sonstige Verkehrsmittel |
| zur Arbeit | 36,3 | 0,4 | 0,7 | 22,8 | 3,5 | 8,3 | 0,6 |
| dienstlich/geschäftlich | 11,3 | 0,1 | 0,1 | 7,4 | 1,5 | 1,3 | 1,0 |
| Schule/Ausbildung | 7,7 | 0,2 | 0,1 | 0,7 | 2,3 | 4,3 | 0,1 |
| Bringen/Holen/Begleiten | 5,6 | 0,1 | 0,0 | 4,0 | 1,0 | 0,4 | 0,0 |
| Einkauf | 7,7 | 0,3 | 0,2 | 4,2 | 2,2 | 0,9 | 0,0 |
| private Erledigung | 10,9 | 0,2 | 0,2 | 5,2 | 3,2 | 1,7 | 0,3 |
| sonstige Freizeit | 11,6 | 0,5 | 0,4 | 4,1 | 4,2 | 1,8 | 0,6 |
| privater Besuch | 9,0 | 0,2 | 0,2 | 4,3 | 3,1 | 1,2 | 0,1 |
| Wegelängenverteilung je Verkehrsm | 100,0 | 2,0 | 1,8 | 52,7 | 20,9 | 19,9 | 2,6 |
| davon Stadt-/Regionalbus | | | | | | 3,6 | |
| Straßenbahn/U-Bahn | | | | | | 4,2 | |
| Eisenbahn/Schnellbahn | | | | | | 10,7 | |
| Reisebus | | | | | | 1,3 | |
| durchschn. Weglängen [km] | | 1,4 | 3,5 | 15,7 | 16,1 | 17,3 | 45,2 |

Demnach dominiert der motorisierte Individualverkehr (MIV) mit einem Anteil von fast drei Vierteln den öffentlichen Verkehr, dessen Anteil kaum ein Fünftel an den zurückgelegten Weglängen ausmacht.

Daraus werden eine Reihe von Optionen für die Transformation zu Strukturen mit den Qualitäten Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen sichtbar:

-)] Vermeidung von redundanter oder erzwungener Mobilität wegen Mängeln in der Logistik sowie in der Raumplanung.
-)] Übergang zu voll-elektrischen Antrieben.
-)] Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs.
-)] Vermeidung von Verkehrsbewegungen durch Nutzung von fortgeschrittenen Kommunikationstechnologien.

Integrierte Netze

Weitreichende Änderungen zeichnen sich bei den Strukturen der Netze ab, die Bereitstellung, Verwendung und Speicherung von Energie verbinden.

In einer **ersten Transformationsphase** werden die bisherigen in einer Richtung, also uni-direktional, geführten Netze für Elektrizität, Wärme und Gas, zu bi-direktional geführten Netzen verändert.

Diese Entwicklungen reflektieren die Auflösung der bisherigen Trennung von Bereitstellung und Verwendung in den Energiesystemen durch sogenannte Prosumer, also Endverbraucher von Energie, die zumindest teilweise auch selbst diese lokal bereitstellen. Die dafür relevanten Technologien sind neben Solartechnologien und Wärmepumpen auch Wärme-Kraft-Kopplungen auf immer kleineren Skalen.

Die **zweite Transformationsphase** bei Netzen integriert Elektrizität und Wärme bei allen thermischen Transformationen und betreibt innovative Energie-Netze, die als Weiterentwicklung der bestehenden Wärmenetze zu verstehen sind.

Charakteristisch für diese Netze sind relativ niedrige Temperaturen und deren Nutzung einerseits als Quelle für Wärme über Wärmepumpen und andererseits als Senke für

Überschusswärme über Wärmetauscher. Zusätzlich ist in einem weiteren Entwicklungsschritt die Konversion von Überschusselektrizität in Wasserstoff und synthetisches Erdgas denkbar. Diese Vorgänge werden auch als Sektorkopplung charakterisiert.

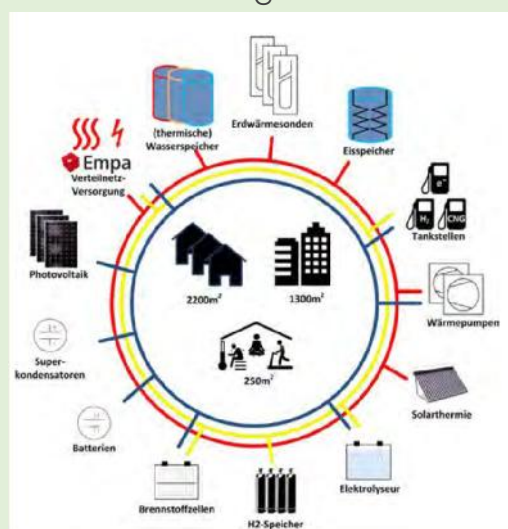
In einer **dritten Transformationsphase** werden über digitale Kommunikation alle Komponenten der Energieverwendung, vor allem jene für Elektrizität und Wärme, mit den Komponenten der Energiebereitstellung und den Komponenten für thermische und elektrische Speicher über ein integriertes Management verbunden.

Insgesamt werden mit diesen integrierten Netzen hohe Synergien bei der Nutzung von beiden Qualitäten von Energie erzielt, nämlich deren mechanischer und deren thermischer Kapazität.

In diesen integrierten Netzen werden auch die Rolle von Erneuerbaren und zumindest temporär die dazu komplementäre Rolle von Fossilen besser verständlich.

Wie solche hoch integrierten Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen aussehen könnten, zeigt die nachfolgende Box von EMPA, einem prominenten Schweizer Forschungsinstitut.

Integrierte Netzstrukturen nach der Vision von EMPA



Quelle: Schweizer Energiefachbuch 2017

Die EMPA, ein prominentes Schweizer Forschungsinstitut des ETH-Bereichs, versucht Handlungsspielräume für Prosumer, Energieunternehmen und Regulatoren aufzuzeigen.

Charakteristisch für die neuen Strukturen ist die Vernetzung vieler Komponenten über Elektrizität, Wärme und Gas in Form von Wasserstoff oder synthetischem Gas.

Für die kurzfristige Regelung von Wärme und Kälte erfolgt über Wärmepumpen. Erdsonden und Eisspeicher übernehmen langfristige Speicherfunktionen.

Bei Elektrizität dienen Batterien und Superkondensatoren für kurzfristige Speicherung. Langfristige Speicherung von Elektrizität erfolgt über Wasserstoff, der über Brennstoffzellen in Fahrzeugen genutzt oder zu Synthetic Natural Gas konvertiert werden kann.

Ausgewählte Szenarien für die Transformation des österreichischen Energiesystems

Welche Wege das österreichische Energiesystem bis 2030 einschlagen könnte, soll anhand von drei Szenarien beispielhaft dargestellt werden.

Allen diesen Szenarien ist gemeinsam, dass bis 2030 ein Reduktionsziel von 36 Prozent gegenüber 2005 für CO₂-Emissionen im nicht dem EU Emissionshandel (EU ETS) zugeordneten Bereich erreicht werden soll.

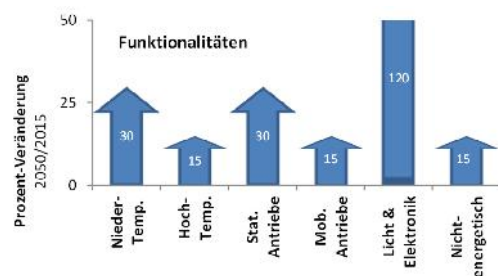
In allen Szenarien wird die in Abbildung E sichtbare Ausweitung der energetischen Funktionalitäten angenommen, beispielsweise bei der Temperierung von Gebäuden, also bei der Funktionalität Niedertemperatur, um 30 Prozent mehr Flächen.

Mit diesen durchwegs großzügig bemessenen Werten für die Funktionalitäten sollen zwei Aussagen angesprochen werden: Erstens die zentrale Rolle dieser Funktionalitäten beim Design von künftigen Energiesystemen und zweitens die Erwartung, dass

es bei deren Erfüllung keine Beschränkung geben soll.

Alle Szenarien decken das gesamte Energiesystem ab, setzen aber spezifische Schwerpunkte bei Gebäuden, Mobilität und Wasserstoff-Technologien.

Abbildung E: Annahmen über die Ausweitung der energetischen Funktionalitäten bis 2050



Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Angenommen werden dabei Niedrigst-Energie-Standards im Neubau und eine forcierte Sanierung des Gebäudebestands. Zusätzlich werden noch unterstützende Maßnahmen in der Raumordnung für kompaktere Bauweisen und einem geringeren Mobilitätsbedarf gesetzt.

In Hinblick auf die für die relevante Funktionalität Niedertemperatur verfügbaren Technologien werden die aus heutiger Sicht besten Werte für die Erhöhung der energetischen Produktivität angenommen. Bereits realisierte Projekte im Neubau und in der Sanierung demonstrieren die Realisierbarkeit dieser Gebäudestandards. Der dafür erforderliche Investitionsaufwand und die damit verbundene Stimulierung von BIP und Beschäftigung ist allerdings beachtlich und müsste durch innovative Finanzierungsmodelle bewältigt werden.

Da eine Verbesserung des gesamten Gebäudebestands über mehrere Jahrzehnte abläuft, ist die erzielbare Emissionswirkung erst relativ langsam wirksam. Das gesetzte Reduktionsziel für 2030 erfordert deshalb zusätzlich eine Anhebung der energetischen Produktivität bei Mobilität.

Fokus Mobilität - Szenario „Mozart“

In diesem Szenario wird ein ambitionierter Ausbau der E-Mobilität mit einem unterstützenden Ausbau von Elektrizität aus Erneuerbaren angenommen. Ergänzend wird von einem Rückgang des Exports von in Österreich getankten Treibstoffen ausgegangen.

Entscheidend für die Ergebnisse ist die Erhöhung der energetischen Produktivität, die durch ein umfangreiches Spektrum an strukturellen Veränderungen erfolgen kann, vom Übergang auf elektrische Antriebe bis zu Veränderungen im Modal-Split und der Substitution von Verkehrsbewegungen durch Informationstechnologien.

Sehr wirksam sind Maßnahmen zur Reduktion des Kraftstoffexports, für den ab 2020 über fünf Jahre jeweils eine Reduktion um drei Prozentpunkte angenommen wird.

Fokus Wasserstoff-Technologien - Szenario „Beethoven“

Zugrunde liegt diesem Szenario die Annahme einer Forcierung von Wasserstoff als Speicher und industrieller Brennstoff. Dafür ist ein unterstützender Ausbau von Elektrizität mit Erneuerbaren erforderlich. Bezüglich der Wirkung im Energiesystem ist diese Technologie identisch mit der Substitution von fossiler Energie durch Elektrizität, die für den Wasserstoff benötigt wird. Angenommen wurde, dass ab 2021 in einem Übergang bis 2050 rund 75 Prozent der fossilen Energie in der Industrie durch Wasserstoff ersetzt wird. Ein ähnlicher

Übergang wird nach 2030 im Bereich der Hochofentechnologie unterstellt.

Vergleich der Szenarien

Die nachfolgende Tabelle C vergleicht für das Jahr 2030 jene Indikatoren der Szenarien, die auch als Zielwerte für die Energie- und Klimapolitik Verwendung finden.

Allen Szenarien ist gemeinsam die Reduktion der CO₂-Emissionen im Nicht-ETS Bereich um 36 Prozent gegenüber 2005.

Wegen der erhöhten energetischen Produktivität erfordern die Szenarien mit dem Fokus auf Gebäude und Mobilität geringere Energiemengen als das Szenario mit Wasserstoff-Technologien.

Sichtbar wird somit die enge Verbindung zwischen energetischer Effizienz und dem Bedarf an Erneuerbaren zur Erreichung der Emissionsziele.

Tabelle C: Indikatoren der ausgewählten Szenarien

| Indikatoren für Zielsetzungen | | Historische Werte | | Gebäude "Schönberg" | Mobilität "Mozart" | Wasserstoff "Beethoven" |
|---|-------|-------------------|--------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|
| | | 2005 | 2015 | 2030 | 2030 | 2030 |
| Treibhausgasemissionen | | | | | | |
| Insgesamt | Index | 100 | 85 | 67 | 70 | 70 |
| Non-ETS Bereich | Index | 100 | 83 | 64 | 64 | 64 |
| ETS Bereich | Index | 100 | 88 | 70 | 76 | 77 |
| Erneuerbare | | | | | | |
| Brutto-Inlandsverbrauch Erneuerbare | PJ | 293 | 416 | 477 | 475 | 532 |
| | Index | 100 | 142 | 163 | 162 | 182 |
| Anteil der Erneuerbaren (nach EU RL 2009/28/EG) am Brutto-Endverbrauch | % | 23 | 33 | 42 | 40 | 44 |
| Energie-Verbrauch | | | | | | |
| Energetischer Endverbrauch Insgesamt | PJ | 1,101 | 1,091 | 956 | 983 | 992 |
| | Index | 100 | 99 | 87 | 89 | 90 |
| Brutto-Endenergie Insgesamt | PJ | 1,321 | 1,319 | 1,166 | 1,195 | 1,232 |
| | Index | 100 | 100 | 88 | 90 | 93 |
| Elektrizität | PJ | 241 | 259 | 290 | 296 | 316 |
| | Index | 100 | 107 | 120 | 123 | 131 |
| Fernwärme | PJ | 59 | 84 | 62 | 72 | 73 |
| | Index | 100 | 143 | 106 | 122 | 124 |
| Brutto-Inlandsverbrauch Insgesamt | PJ | 1,436 | 1,415 | 1,232 | 1,266 | 1,308 |
| | Index | 100 | 99 | 86 | 88 | 91 |

Wirtschaftliche Effekte und Bewertungen

Entscheidungen über die Wahl der künftigen Strukturen des Energiesystems sind auf deren wirtschaftliche Effekte bei Haushalten, Unternehmen und den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen zu überprüfen. Die dafür notwendigen Bewertungen sind nicht immer einfach durchzuführen.

Bewertung anhand der erreichten Funktionalitäten

Die korrektesten Maße bei der Bewertung von Aktivitäten in Energiesystemen knüpfen an die zu erfüllenden thermischen, mechanischen oder spezifisch elektrischen Dienstleistungen an, also an die Funktionalitäten des Energiesystems.

Ein bestimmtes Raumvolumen auf einem angenehmen Temperaturniveau zu halten, kann entweder durch eine gute thermische Gebäudequalität mit geringen Energieflüssen oder durch vermehrte Energieflüsse über ein Heiz- und Kühlsystem bei schlechter Gebäudequalität erfolgen.

Die relevanten Nutzungskosten für die Erfüllung einer bestimmten Funktionalität für einen bestimmten Zeitraum (beispielsweise ein Jahr), setzen sich zusammen aus den auf diesen Zeitraum umgelegten Kapitalkosten und den Betriebskosten:

$$(1) \quad \text{Nutzungskosten} = \text{Kapitalkosten} + \text{Betriebskosten}$$

Die Kapitalkosten (etwa pro Jahr) ergeben sich aus den auf einen bestimmten Zeitraum umgelegten Investitionskosten (samt Kapitalverzinsung und Abschreibungen):

$$(2) \quad \text{Kapitalkosten} = \text{Investitionskosten} \times (\text{Zinssatz} + \text{Abschreibungsrate})$$

Die Betriebskosten setzen sich zusammen aus Energie- und sonstigen laufenden Kosten:

$$(3) \quad \text{Betriebskosten} = \text{Energiekosten} + \text{Sonst. Kosten}$$

Die Energiekosten reflektieren wiederum Energiemengen und Energiepreise:

$$(4) \quad \text{Energiekosten} = \text{Energiemenge} \times \text{Energiepreis}$$

Alle diese vier Rechenschritte wären not-

wendig, um eine korrekte Bewertung der Kosten einer bestimmten Funktionalität zu erreichen. Daraus folgen Leitlinien für strategische Entscheidungen im Bereich der Energie- und Klimapolitik.

⌋ Alle Veränderungen im Energiesystem, etwa beim Energiemix oder den Technologien, sind auf deren **Kosten bei den energetischen Funktionalitäten** zu überprüfen.

⌋ Bei der Erfüllung von Funktionalitäten sind sowohl alternative Optionen bei Investitionen in der Anwendung als auch bei der Bereitstellung einzubeziehen.

⌋ Isolierte Beurteilungen etwa nur anhand der **Energiepreise** oder der **Investitionskosten** vernachlässigen Handlungsalternativen und Folgekosten und führen zu **kontraproduktiven Entscheidungen**.

Eine Bewertung anhand der Kosten für energetische Funktionalitäten hat weitreichende Implikationen.

Beispielsweise dürfen Projekte für den Neubau oder die Sanierung von Gebäuden nicht allein nach den Investitionskosten beurteilt werden sondern wären einer Kalkulation auf der Basis von Nutzungskosten zu unterziehen. Hier werden sowohl Mängel bei der Wohnbauförderung als auch auf dem Markt für Immobilien sichtbar, die sich beide vor allem an den Investitionskosten orientieren.

Projekte für die Bereitstellung von Energie sollten somit auch mit Alternativen bei der Verwendung von Energie verglichen werden. In vielen Fällen ist die Verbesserung der energetischen Produktivität billiger als der Bau von Anlagen zur Energiebereitstellung.

Energie- und Klimastrategien kommt deshalb die Aufgabe zu, in Haushalten und Unternehmen durch Beseitigung von verzerrenden Regulierungen oder nicht ausreichenden Märkten korrekte Anreize für kostenbasierte Entscheidungen zu setzen.

Für die Realisierung eines an den Nutzungskosten gewählten Investitionsprojektes ist allerdings noch der Zugang zu Finanzierungsmöglichkeiten erforderlich und

allenfalls durch entsprechende Regulierungen möglich zu machen.

Bewertungen anhand von Investitionseffekten

Die meisten Aktivitäten bei der Transformation der Energiesysteme sind mit Investitionen verbunden, die weitere Effekte in der Wirtschaft generieren.

Investitionen sind somit nicht nur aus der Sicht von Haushalten oder Unternehmen mit deren Nutzungskosten zu bewerten sondern auch noch auf deren gesamtwirtschaftliche Auswirkungen zu überprüfen.

Am stärksten sind die Effekte von Investitionen im Bereich der Gebäude, weil ein relativ großer Investitionsaufwand erforderlich ist, der allerdings auch über Jahrzehnte anhaltende Wirkungen hat.

Analysen auf der Basis der Input-Output-Tabellen zeigen, dass bei einem Investitionsvolumen von 100 Mio. € eine Erhöhung des Brutto-Inlandsproduktes bis zu 120 Mio. € zu erwarten ist. Damit verbunden sind 1.300 Beschäftigte.

Diese Effekte sind abhängig von der aktuellen Kapazitätsauslastung der Unternehmen, von eventuellen Importanteilen sowie vom Sparverhalten der Haushalte und der Unternehmen. Höhere Beschäftigungswirkungen werden bei der Gebäudesanierung erwartet, weil diese mit arbeitsintensiveren Tätigkeiten verbunden ist.

Alle Maßnahmen zur Verbesserung des Gebäudebestandes verdienen nicht nur wegen der langfristigen energetischen Wirkungen sondern auch wegen der kurzfristigen stimulierenden Effekte auf die wirtschaftliche Aktivität hohe Priorität.

Bewertungen anhand der Leistbarkeit von Energie

Für Haushalte ist die Leistbarkeit der gewünschten energetischen Dienstleistungen relevant. Dabei sind die unterschiedlichen Einkommensgruppen zu beachten.

Zwei Ausgabenbereiche von Haushalten, Wohnen und Mobilität, werden nach einkommensspezifischen Unterschieden analysiert.

Die **Ausgaben für Energie für Wohnen** stellen für manche Haushalte, insbesondere

Haushalte im untersten Einkommensquintil, eine hohe finanzielle Belastung dar, sodass z.B. eine als angenehm empfundene Temperierung von Räumen oder andere energierelevante Dienstleistungen nicht immer gewährleistet sind.

Im Zusammenhang mit einer integrierten Energie- und Klimastrategie ist es angebracht, das wichtige Thema der Leistbarkeit von Energie in einen etwas größeren Zusammenhang zu stellen und die Relevanz von Energiedienstleistungen und der Qualität der Gebäudeinfrastruktur zu betonen. Insbesondere ist der Zusammenhang zwischen der Investitionsphase und dem laufenden Betrieb, also der (thermischen) Qualität eines Gebäude und dessen Energiebedarf über die gesamte Lebensdauer, hervor zu streichen. Die Langlebigkeit der Gebäudeinfrastruktur bestimmt die laufenden Ausgaben über mehrere Jahrzehnte. Ambitionierte Standards für die Gebäudeinfrastruktur übersetzen sich damit über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes in einen geringeren Energiebedarf für Raumwärme (und -kühlung).

Anteilmäßig machen Energieausgaben für Wohnen und Mobilität am Haushaltseinkommen im untersten Quintil mehr als das Dreifache der Ausgabenanteile des obersten Quintils aus. Die absoluten Ausgaben sind im obersten Quintil jedoch nur knapp doppelt so hoch wie bei der einkommensschwächsten Gruppe.

Die jährlichen Heizausgaben der österreichischen Haushalte erreichen hochgerechnet rund 3,5 Mrd. €. Die energieträgerspezifischen Ausgaben pro Haushalt und Monat spiegeln die breite Spreizung der Ausgabenhöhe nach Einkommen. Die Unterschiede reflektieren Energieeffizienzstandards, Wohnungsgröße, Energiepreise aber auch Verhalten im Umgang mit Energie.

Der Blick auf die einkommensspezifischen Energieausgaben belegt die Relevanz dieser Ausgabenkategorie für die unteren Einkommensgruppen. Eine Entlastung ist grundsätzlich auf unterschiedliche Weise zu erreichen: Durch das Anstreben niedriger Energiepreise oder durch eine Reduktion des Bedarfs an Energiemengen durch

eine qualitativ hochwertige Gebäudeinfrastruktur. Langfristig wirksam geschützt können niedrige Einkommensschichten eher durch einen Zugang zu energetisch hochwertigen Gebäuden und eine gute Infrastruktur für kostensparende Mobilität werden.

Der **Mobilitätsbereich** weist ebenfalls eine breite Spannweite bei den Ausgaben nach Einkommensgruppen auf.

Laut Konsumerhebung 2014/2015 schwankt der Anteil der Verkehrsausgaben am Einkommen über die Einkommensgruppen relativ wenig. Im Durchschnitt erreichen sie 12,3% des Einkommens. Die absoluten Verkehrsausgaben zeigen hingegen nach Einkommensquintilen große Unterschiede. Im obersten Quintil liegen die absoluten Verkehrsausgaben um mehr als das Viereinhalbfache über den Ausgaben der untersten Einkommenskategorie.

Der Besitz eines Autos trägt wesentlich zu den Verkehrsausgaben eines Haushalts und zur Spreizung der Verkehrsausgaben nach Quintilen bei. Im untersten Quintil etwa haben mehr als 50% der Haushalte kein Auto. Dieser Anteil der Haushalte reduziert sich drastisch mit steigendem Einkommen.

Bewertungen anhand von Innovationspotentialen

Die meisten Aktivitäten zu einer Transformation der bestehenden Energiesysteme haben ein hohes Innovationspotential. Meistens sind das technische Potentiale, die von innovativen Gebäuden bis zu innovativen Produktionsprozessen reichen. Grundsätzlich stärken diese Innovationen die internationale Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

Besondere Beachtung verdient die **energieintensive Grundstoffindustrie**. Langfristige Perspektiven für neue Technologien eröffnen sich auf der Basis von **Wasserstoff**, der aus erneuerbaren Energien gewonnen

wird, was für die Stahlindustrie aber auch andere Industrien relevant werden könnte. Ein weiterer Bereich sind Innovationen sowohl bei **elektrischen als auch bei thermischen Speichern**, die wiederum in integrierte Energiesysteme eingebunden werden.

Neue **Werkstoffe und Werkstofftechnologien** haben eine besondere Hebelwirkung auf Energieeffizienz aber auch für die Weiterentwicklungen bei erneuerbaren Energietechnologien (Photovoltaik, Wind, Solarthermie) und deren Marktdurchdringung. Ein weiterer Bereich sind Innovationen sowohl bei elektrischen als auch bei thermischen Speichern, die wiederum in integrierte Energiesysteme eingebunden werden.

Beginnend mit der Rohstoffgewinnung und Herstellung der Materialien und Produkte, über deren Nutzung und Anwendung, einer allfälligen Wiederaufbereitung (Rezyklierung) oder kaskadischen Nutzung bis hin zur Entsorgung weisen Werkstoffe immer auch eine Verknüpfung zu Energie auf.

Bei den chemisch-synthetischen Polymerwerkstoffen („Kunststoffen“) ist das besonders augenscheinlich, da diese über ihre Kohlenwasserstoff-Rohstoffbasis von Beginn an nicht nur energetisch, sondern auch stofflich eng verknüpft sind mit den gegenwärtig dominierenden fossilen Primärrohstoffen des Energiesystems. Hier wird auch sichtbar, dass es nicht einfach um Dekarbonisierung geht, sondern um ein umfassendes Carbon-Management im Sinne einer stoff/energie-integrierten „Circular Economy“-Strategie.

Neben den technischen Innovationen verdienen die Möglichkeiten für **innovative Geschäftsmodelle** Beachtung. Die schon jetzt sichtbar werdenden Beispiele betreffen die mit Sharing verbundenen Konzepte bei der Nutzung von Fahrzeugen und die entstehenden Prosumer-Modelle bei der Nutzung von Energie.

Energie und Emissionen in Zahlen

Das österreichische Energiesystem

| PJ | 2005 | 2010 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 |
|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Nutz-Energie | 1.101 | 1.110 | 1.109 | 1.057 | 1.091 | 1.121 |
| Nieder-Temperatur | 328 | 336 | 322 | 282 | 295 | 306 |
| Hoch-Temperatur | 249 | 246 | 253 | 248 | 265 | 274 |
| Stationäre Antriebe | 103 | 119 | 123 | 118 | 110 | 112 |
| Mobile Antriebe | 389 | 378 | 380 | 377 | 387 | 395 |
| Beleuchtung und Elektronik | 32 | 31 | 32 | 32 | 33 | 34 |
| End-Energie | 1.101 | 1.110 | 1.109 | 1.057 | 1.091 | 1.121 |
| Kohle und Abfall | 34 | 29 | 29 | 30 | 30 | 30 |
| Öl | 496 | 434 | 415 | 403 | 413 | 425 |
| Gas | 193 | 198 | 191 | 176 | 185 | 192 |
| Erneuerbare | 117 | 156 | 177 | 164 | 172 | 178 |
| Elektrizität | 206 | 216 | 221 | 217 | 220 | 223 |
| Wärme | 54 | 76 | 76 | 68 | 71 | 73 |
| Nicht-Energetischer Verbrauch | 74 | 82 | 76 | 85 | 81 | 85 |
| Kohle und Abfall | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Öl | 60 | 65 | 63 | 70 | 67 | 70 |
| Gas | 13 | 16 | 12 | 14 | 13 | 14 |
| Netto-Endenergie | 1.175 | 1.192 | 1.185 | 1.142 | 1.172 | 1.206 |
| Kohle und Abfall | 35 | 30 | 30 | 30 | 31 | 31 |
| Öl | 556 | 500 | 478 | 473 | 480 | 495 |
| Gas | 206 | 214 | 204 | 190 | 199 | 206 |
| Erneuerbare | 117 | 156 | 177 | 164 | 172 | 178 |
| Elektrizität | 206 | 216 | 221 | 217 | 220 | 223 |
| Wärme | 54 | 76 | 76 | 68 | 71 | 73 |
| Verluste | 261 | 255 | 247 | 240 | 243 | 240 |
| Verteilung und Eigenverbrauch | 146 | 143 | 154 | 153 | 147 | 148 |
| Transformation | 115 | 112 | 93 | 87 | 96 | 93 |
| Brutto-Energie | 1.436 | 1.447 | 1.432 | 1.382 | 1.415 | 1.447 |
| Kohle und Abfall | 184 | 168 | 166 | 156 | 168 | 170 |
| Öl | 611 | 549 | 515 | 508 | 508 | 522 |
| Gas | 339 | 340 | 296 | 270 | 288 | 293 |
| Erneuerbare | 293 | 382 | 429 | 415 | 416 | 428 |
| <i>Biomasse</i> | <i>154</i> | <i>235</i> | <i>263</i> | <i>250</i> | <i>261</i> | <i>269</i> |
| <i>Wasser</i> | <i>134</i> | <i>138</i> | <i>151</i> | <i>148</i> | <i>133</i> | <i>136</i> |
| <i>Wind, PV, ...</i> | <i>5</i> | <i>8</i> | <i>14</i> | <i>17</i> | <i>22</i> | <i>23</i> |
| Elektrizität | 9 | 9 | 26 | 33 | 36 | 34 |

Österreichs Treibhausgas-Emissionen

| Tausend Tonnen CO ₂ Äquivalente | 1990 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2016 |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Treibhausgase | 92,655 | 78,856 | 92,655 | 84,831 | 78,856 | 79,673 |
| THG nach Gasen | | | | | | |
| CO ₂ | 62,293 | 66,346 | 79,367 | 72,383 | 66,704 | 67,402 |
| CH ₄ | 10,514 | 8,447 | 7,830 | 7,255 | 6,632 | 6,567 |
| N ₂ O | 4,342 | 4,354 | 3,627 | 3,391 | 3,527 | 3,614 |
| F-Gase | 1,656 | 1,387 | 1,831 | 1,802 | 1,993 | 2,090 |
| THG nach Sektoren | | | | | | |
| Energie | 53,028 | 55,422 | 67,150 | 59,752 | 53,352 | 54,336 |
| CO ₂ | 51,197 | 53,906 | 65,779 | 58,318 | 51,979 | 52,990 |
| Sonstige Gase | 1,831 | 1,516 | 1,371 | 1,434 | 1,373 | 1,346 |
| Prozesse | 13,663 | 14,642 | 15,610 | 15,926 | 16,669 | 16,468 |
| CO ₂ | 10,872 | 12,082 | 13,312 | 13,772 | 14,449 | 14,162 |
| <i>Eisen und Stahl</i> | 6,610 | 8,420 | 9,544 | 10,198 | 10,781 | 10,418 |
| <i>Sonstige Sektoren</i> | 4,262 | 3,662 | 3,768 | 3,574 | 3,668 | 3,744 |
| Sonstige Gase | 2,791 | 2,560 | 2,298 | 2,154 | 2,220 | 2,306 |
| Landwirtschaft | 8,189 | 7,506 | 7,104 | 7,095 | 7,178 | 7,286 |
| Abfall | 3,925 | 2,963 | 2,791 | 2,058 | 1,657 | 1,583 |
| THG nach Bereichen | | | | | | |
| EU-Emissionshandel (EU ETS) | | | 33,373 | 30,920 | 29,492 | 29,000 |
| Nicht-EU-Emissionshandel (Non EU ETS) | | | 59,282 | 53,911 | 49,364 | 50,673 |

Quelle: Umweltbundesamt, eigene Darstellung

| Treibhausgase | Insgesamt | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O | F-Gase |
|-------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|------------------|------------|
| Mio. T. CO ₂ Äquivalente | | | | | |
| 2005 | 92.7 | 79.4 | 7.8 | 3.6 | 1.8 |
| Energie | 67.2 | 65.6 | 0.8 | 0.7 | 0.0 |
| Prozesse | 15.6 | 13.3 | 0.0 | 0.4 | 1.8 |
| Landwirtschaft | 7.1 | 0.4 | 4.4 | 2.2 | 0.0 |
| Abfall | 2.8 | 0.0 | 2.5 | 0.2 | 0.0 |
| 2016 | 79.7 | 67.4 | 6.6 | 3.6 | 2.1 |
| Energie | 54.3 | 53.1 | 0.7 | 0.6 | 0.0 |
| Prozesse | 16.5 | 14.2 | 0.0 | 0.2 | 2.1 |
| Landwirtschaft | 7.3 | 0.2 | 4.5 | 2.6 | 0.0 |
| Abfall | 1.6 | 0.0 | 1.3 | 0.3 | 0.0 |

Quelle: Umweltbundesamt, eigene Darstellung

Multifunktionale Gebäude

Aktivitäten

Anreize

Energie

Innovation

Inversion

Aufbrüche

Integrierte Netze

Zukunft

Integration

Klima

Verschränkte Mobilität