

Welche Zukunft für Energie und Klima?

Folgenabschätzungen für
Energie- und Klimastrategien

Die Werkzeuge

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 unterstützenden Werkzeuge für die Analysen vom Juni 2019,

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, D. Österreicher, R. Grüner, R. Lang, M. Mühlberger, K. Steininger, C. Hofer (2017). Welche Zukunft für Energie und Klima? Folgenabschätzungen für Energie und Klimastrategien. 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 Sustainserv 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.

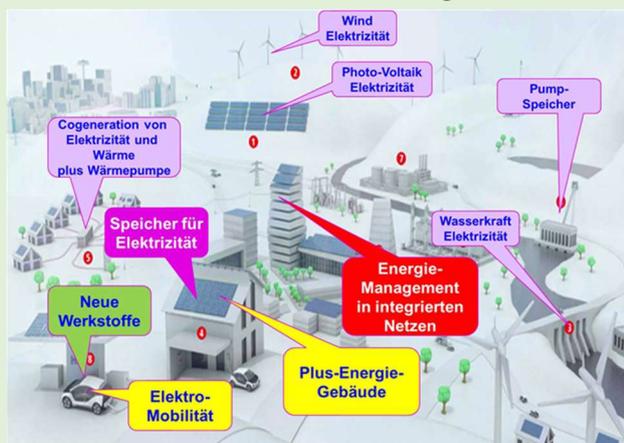
Diese Trends können durch Energie- und Klimastrategien für eine Transformation zu hoher Energieproduktivität und niedrigen Treibhausgasemissionen verstärkt werden.

- **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 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.

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	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.
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	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.
	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	

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-Éxupéry

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.

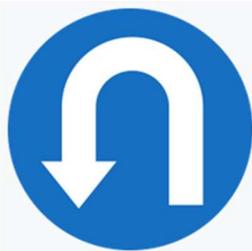
- **Anwendungs- und Transformationstechnologien**

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-

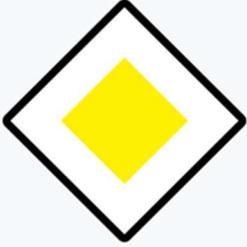
	<p>nen werden, die neue Netzstrukturen motivieren. Dadurch werden viele der bisherigen Abgrenzungen zwischen Anbietern und Nachfragern von Energie obsolet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inversion sichern Damit ist der Fokus auf die Funktionalitäten als Ausgangspunkt und Messpunkt für die Beurteilung 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

	<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. • 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. • 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. <p>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.</p>
---	---

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> <ul style="list-style-type: none">• 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.
--	---

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 Anergie-Netze), 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 Energie-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 Regelenergie 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 unidirektional) 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.

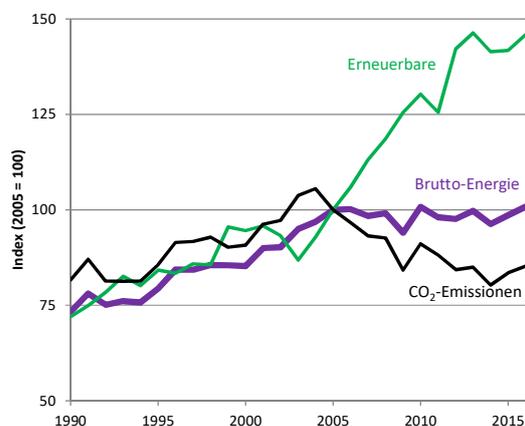
Die Herausforderung der disruptiven Veränderungen

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.

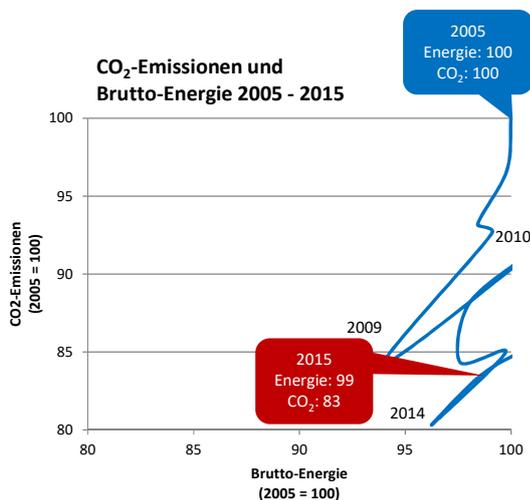
Für Österreich zeichnet sich im Rahmen der EU-Klimapolitik für 2030 ein Reduktionsziel von 36 Prozent gegenüber 2005 für die nicht dem EU-Emissionshandel zugeordneten Emissionen ab. Die EU-Roadmaps streben bis 2050 mindestens Reduktionen von 80 Prozent gegenüber 1990 an. Der im November 2016 in Kraft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

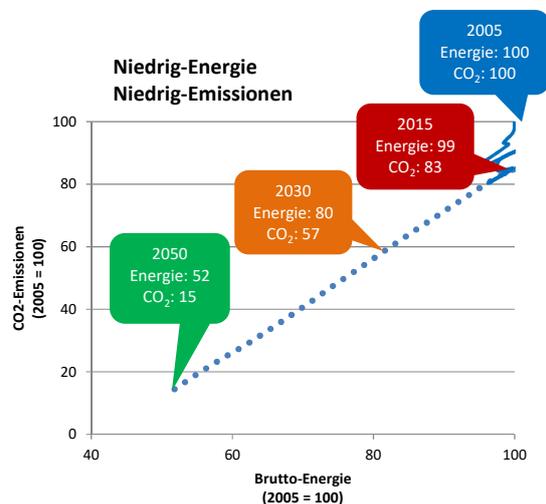
In Abbildung C ist zu erkennen, welcher Entwicklungspfad schließlich bis 2050 die energetisch bedingten CO₂-Emissionen auf 15 Prozent des Wertes von 2005 reduzieren würde.

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

ken. 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.

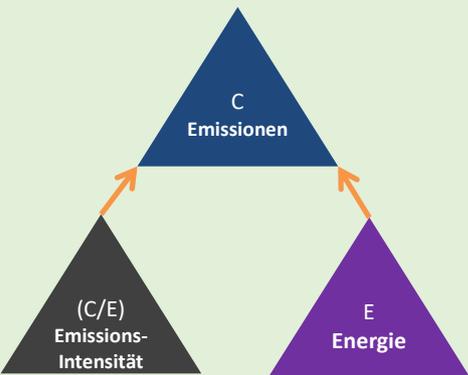
Einige Hinweise verdienen deshalb beim Design von Zielen Beachtung:

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

Mit dem 3i-Mindset zukunftsfähige Strukturen finden

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

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

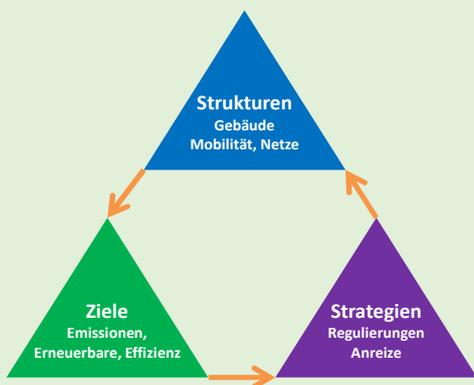
den Leitlinien gebündelt werden:

- **AUFBRÜCHE ermöglichen**
Barrieren, die Innovationen behindern, beispielsweise viele kontraproduktive Regulierungen bei Netzen, wären abzuschaffen.
- **AKTIVITÄTEN ermutigen**
Von innovativen Gebäuden bis zu einer Mobilität mit weniger Verkehr und integrierten Netzen öffnen sich Potentiale für die Transformation des Energiesystems.
- **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
		Barrieren durch bestehende Regulierungen werden beseitigt	Unternehmen und Haushalte übernehmen neue Rollen	Zielorientierte Anreize für Entscheidungen werden gesetzt
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 <ul style="list-style-type: none"> Wohnanlagen, Krankenhäuser, Bürogebäude werden energetisch autonom Pilot-Regionen experimentieren mit neuen Lebens- und Wirtschaftsstilen Urban Labs suchen nach neuen Designs für Städte 	Schlüssel-Technologien verändern radikal die Energiesysteme <ul style="list-style-type: none"> Digitalisierung ermöglicht diese Transformationen Speicher für Elektrizität und Wärme werden lokal verfügbar Gebäude werden aktiver Teil des Energiesystems 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 <ul style="list-style-type: none"> Elektrizität strukturiert sich neu Wärme/Kälte wird in Anergie-Netzen rezykliert Mikro-Wärme-Kraft-Kopplung ergänzt Erneuerbare 	Neue Netzstrukturen ermöglichen kostensparende Synergien <ul style="list-style-type: none"> Alle Netze werden bidirektional 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	<ul style="list-style-type: none"> Märkte für Energiedienstleistungen lösen den Verkauf von Energie ab 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:

- **Multifunktionale Gebäude**
mit den thermischen Standards von Niedrigst-Energie werden mit ihren Komponenten zur Energiebereitstellung zu Plusenergie-Gebäuden.
- **Verschränkte Mobilität**
beachtet alle Verkehrsträger und Kommunikationstechnologien für den Zu-

Multifunktionale Gebäude
Verschränkte Mobilität
Integrierte Netze

gang zu Personen, Gütern und Orten.

- **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 Bestandes 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 dienstlich/geschäftlich	36,3	0,4	0,7	22,8	3,5	8,3	0,6
Schule/Ausbildung	11,3	0,1	0,1	7,4	1,5	1,3	1,0
Bringen/Holen/Begleiten	7,7	0,2	0,1	0,7	2,3	4,3	0,1
Einkauf	5,6	0,1	0,0	4,0	1,0	0,4	0,0
private Erledigung	7,7	0,3	0,2	4,2	2,2	0,9	0,0
sonstige Freizeit	10,9	0,2	0,2	5,2	3,2	1,7	0,3
privater Besuch	11,6	0,5	0,4	4,1	4,2	1,8	0,6
	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.

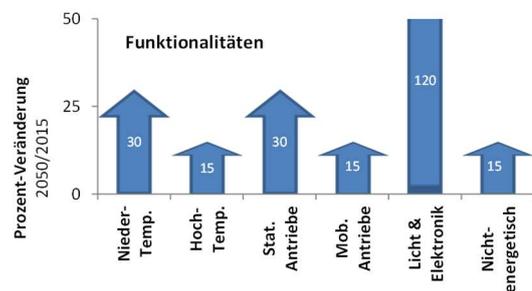
Allen diesen Szenarien ist gemeinsam, dass bis 2030 ein Reduktionsziel von 36 Prozent gegenüber 2005 für CO₂-Emissionen im nicht dem EU Emissionshandel (EU ETS) zugeordneten Bereich erreicht werden soll.

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



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

Denn ein Schiff erschaffen heißt nicht die Segel hissen, die Nägel schmieden, die Sterne lesen, sondern die Freude am Meer wachrufen.

Antoine de Saint-Éxupéry

Inhalt

1	Inversion, Integration, Innovation: Ein neues Mindset für den Umgang mit Energie	1
	Das bisher gewohnte Mindset hat ein Ablaufdatum erreicht	1
	Wie ein zukunftsfähiges Mindset aussehen könnte	1
1.1	Auf der Suche nach einem Mindset mit besserer Kompetenz zur Problemlösung	2
1.2	INVERSION: Funktionalitäten als Fokus des Energiesystems	3
1.3	INTEGRATION: Synergien durch Verbindung der Komponenten	4
1.4	INNOVATION: Radikale Veränderungen bei Technologien, Nutzungsverhalten und Geschäftsmodellen	5
1.5	Disruptive Entwicklungen verändern den Kontext des Energiesystems	6
1.6	Eine Checklist für das Energiesystem im Wandel	7
	Klimawandel	7
	Unsicherheit bei Erdöl und Erdgas	7
	Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit	7
	Dezentralisierung und Eigenversorgung	8
	Digitalisierung	8
	Nutzung statt Besitz	8
	Aktive KonsumentInnen als „Prosumer“	9
1.7	Die Transformation im Energiesystem hat längst begonnen	10
2	Multifunktionale Gebäude werden ein Bestandteil des Energiesystems	11
	Relevante Fragestellungen	11
	Mögliche Antworten	11
2.1	Stadt- und Raumplanung	12
2.2	Gebäudebestand	13
2.3	Neu errichtete Gebäude	15
2.4	Innovative Nutzungskonzepte	17
2.5	Gebäude als aktive Komponenten im Energiesystem	18
2.6	Die Rolle der Gebäude in den Energienetzen	19
2.7	Verknüpfung von Gebäuden und Mobilität	20
	Die Etikette „Smart“	21
3	Verschränkte Mobilität statt isolierte Verkehrsträger	23
3.1	Mobilität ist mehr als Verkehr	23

3.2	Inversion – der Mobilitätsbedarf im Fokus	24
	Einflussfaktoren auf den künftigen Mobilitätsbedarf	24
3.3	Innovation – disruptive Technologien im Verkehr	27
3.4	Integration – Verkehr als Teil des Energiesystems	29
4	Exkurs: Elektrofahrzeuge	31
4.1	Die Driver für Elektromobilität	31
4.2	Elektrofahrzeuge für den Personenverkehr	31
4.3	Elektrofahrzeuge im Güterverkehr	32
4.4	Die Schlüsselrolle der Batteriespeicher	33
4.5	Ladeinfrastruktur	34
4.6	Technologische Perspektiven	35
5	Werkstoffe für eine Low-carbon und Low-energy Wirtschaft	37
5.1	Werkstoffe im Kontext von Energie und Klima	37
5.2	Die Verknüpfung von Materialien und Energie	37
5.3	Carbon Management ist mehr als Dekarbonisierung	38
5.4	Polymerwerkstoffe in einer „all-circular economy“	40
6	Integrierte Netze überwinden Sektorgrenzen und verändern die bisherigen Strukturen	43
6.1	Die vollständige Integration aller Komponenten	43
6.2	Wärme-Kraft-Kopplung - Die Integration von Wärme und Elektrizität	44
6.3	Anergie-Netze – Die neuen thermischen Netze	44
6.4	Die neuen Strukturen bei Elektrizität	45
	Die Integration der Prosumer	45
	Der Übergang zu flexiblen und dezentralen Strukturen	46
	Konsequenzen für die Netze für Elektrizität	47
7	Design der Analyse von Entwicklungspfaden und Szenarien	51
7.1	Analysen des künftigen Energiesystems erfordern neue Werkzeuge	51
	Abschied vom konventionellen Mindset: Das Energiesystem ist keine Black Box	51
	Abschied von nicht beantwortbaren Fragen über die Zukunft des Energiesystems	52
7.2	Design von Werkzeugen zur Analyse künftiger Energiesysteme	53
	Ein neues Mindset: Die Black Box des Energiesystems wird geöffnet	53
	Die Fundamente dieses neuen Mindsets	54
	Einbettung des Energiesystem in das ökonomische System	54
	Wie dieses vertiefte Verständnis von Energiesystemen Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien ermöglicht	55

Welche Fragen dieses vertiefte Verständnis von Energiesystemen beantwortbar macht	56
7.3 Die Implementierung der neuen Werkzeuge	56
7.4 Eine vergleichbare Analyse von künftigen Szenarien	58
7.5 Gemeinsamkeiten der Szenarien	59
7.6 Drei spezifische Szenarien für 2030	60
8 Orientierung an einem Transformationspfad mit zielorientierter Innovation	61
8.1 Design	61
8.2 Verwendung von Energie	62
Nieder-Temperatur	63
Hoch-Temperatur	63
Stationäre Antriebe	64
8.3 Strukturen mit zielorientierter Innovation zu Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen	65
8.4 Indikatoren von Strukturen mit zielorientierter Innovation zu Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen	67
9 Fokus Gebäude und Raumordnung – „Szenario Schönberg“	69
9.1 Die Storyline	69
9.2 Strukturen mit Fokus auf Gebäude - Szenario „Schönberg“	69
9.3 Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Gebäude	72
10 Fokus Mobilität - Szenario “Mozart”	73
10.1 Die Storyline	73
10.2 Strukturen mit Fokus auf Mobilität - Szenario „Mozart“	73
10.3 Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Mobilität	75
11 Fokus Wasserstoff-Technologien – „Szenario Beethoven“	77
11.1 Die Storyline	77
11.2 Strukturen mit Fokus auf Wasserstoff - Szenario „Beethoven“	77
11.3 Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Wasserstoff	80
12 Effekte auf energie- und klimapolitische Ziele	83
12.1 Wahl von energie- und klimapolitischen Zielen	83
12.2 Zielindikatoren für die einzelnen Szenarien	83
13 Effekte auf Energiemengen und Investitionen	85
13.1 Die Kosten der Funktionalitäten	85
Nutzungskosten von Funktionalitäten	85

Implikationen für Entscheidungen	86
13.2 Bewertungen von Investitionseffekten	86
14 Effekte auf die Leistbarkeit für Haushalte	87
14.1 Wie Energiekosten für Wohnen zu ermitteln sind	87
14.2 Einkommensspezifische Energiekosten für Wohnen	88
14.3 Einkommensspezifische Verkehrsausgaben	90
15 Effekte auf die Versorgungssicherheit	93
15.1 Die Auslandsabhängigkeit von Energie	93
15.2 Die Veränderungen bei den Preisen von Energie	95
16 Die Bewertung von Energie- und Klimastrategien: Behindernde Stolpersteine entfernen und zukunftsfähige Bausteine entdecken	97
16.1 Wie innovative Energie- und Klimastrategien sichtbar werden könnten	97
SafeEnergy - Energetisch krisensichere Krankenhäuser	97
MyTicket – Integriertes Ticketingsystem für die gesamte Mobilität	98
NewGrids – Integration und Kommunikation als neue Aufgabe der Netze für Energie	98
16.2 Energie 2.0 - Ein neue Mindset fundiert innovative Energie- und Klimastrategien	99
Energie 1.0 hat ein Ablaufdatum erreicht	99
Schritt eins zu Energie 2.0: Die volle energetische Wertschöpfungskette verstehen	99
Schritt zwei zu Energie 2.0: Innovation, Integration und Inversion	99
16.3 Energie 2.0 identifiziert neue Handlungsfelder	99
Multifunktionale Gebäude	100
Verschränkte Mobilität	100
16.4 Energie 2.0 braucht neue Werkzeuge zur Bewertung von Energie- und Klimastrategien	100
Tests für die Brauchbarkeit von Werkzeugen zur Bewertung von Energie- und Klimastrategien	100
17 Inputs für die Modellanalysen	105
17.1 Niedertemperatur	106
17.2 Hochtemperatur	107
17.3 Stationäre Antriebe	108
17.4 Mobile Antriebe	109
17.5 Beleuchtung und Elektronik	110
17.6 Nicht-energetische Verwendung	111
17.7 Verteilung von Energie	112
17.8 Transformation von Energie	116
18 Zusammenfassung der Modellanalysen	125

18.1	Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“	126
18.2	Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“	128
18.3	Fokus Wasserstoff-Technologien – Szenario „Beethoven“	130
18.4	Transformationspfad mit zielorientierter Innovation	132
19	Energiebilanzen	135
19.1	Verwendung von Energie	136
19.2	Bereitstellung von Energie	138
20	Emissionsbilanzen	141
20.1	Treibhausgasemissionen nach Gasen	142
20.2	Treibhausgasemissionen nach Sektoren	143
20.3	Sektoren und deren Treibhausgase	144
21	Weitere Quellen	145
	Das Projektteam	145
	Ein vertieftes Verständnis von Energiesystemen	145
	Österreichische Institutionen und Stakeholder	146
	Europäische Union	146
	Ausländische Quellen	146
	Multinationale Quellen	146
	Spezifische Sektoren	146
	Plattformen für Energie und Klima	147

Abbildungen

Abbildung 1-1: Inversion - Beginnend mit den Funktionalitäten, die kaskadische Struktur der energetischen Wertschöpfungskette verstehen	3
Abbildung 1-2: Integration - Synergien durch Verbindung aller Komponenten eines Energiesystems bei der Anwendung, Speicherung und Transformation von Energie	4
Abbildung 1-3: Innovation - Disruptive Technologien bei allen Komponenten des Energiesystems öffnen neue Möglichkeiten	5
Abbildung 1-4: Die künftigen Energiesysteme werden sich in einem alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft verändernden Umfeld bewegen	6
Abbildung 1-5: Die künftigen Energiesysteme werden sich in einem alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft verändernden Umfeld bewegen	9
Abbildung 2-1: Werterhaltung und Erneuerung - Instandhaltung, Sanierung, Restaurierung, Altbaumodernisierung und Umbau	13
Abbildung 4-1: Energieeffizienz von Elektrofahrzeugen	31
Abbildung 4-2: Der Kostenverfall für elektrische Speicher	33
Abbildung 5-1: Bedeutung unterschiedlicher Materialklassen in der zivilisatorischen Entwicklung	38
Abbildung 5-2: Auswirkungen eines hypothetischen Ersatzes von Kunststoffen durch die nächstbeste technisch-ökologische Nicht-Kunststoff Werkstoffoption	40
Abbildung 5-3: Kreislaufschließung durch „Carbon Management & Utilization“ in einem vollständig regenerativen Energie/Rohstoff-System mit Kohlenwasserstoffen als chemische Energiespeicher und als Rohstoff für die Chemie- und Kunststoffindustrie	41
Abbildung 6-1: Vollständige Integration aller Komponenten	43
Abbildung 6-2: Wärme-Kraft-Kopplung	44
Abbildung 6-3: Energie-Netze	45
Abbildung 6-4: Die Integration der Prosumer	46
Abbildung 6-5: Die Integration von Bereitstellung und Bedarf	46
Abbildung 7-1: Ein Mindset mit Ablaufdatum: Das Energiesystem als Black Box	51
Abbildung 7-2: Die EU-Projektionen für THG-Emissionen	52
Abbildung 7-3: Ein zukunftsfähiges Mindset: Die Black Box des Energiesystems wird geöffnet	53
Abbildung 7-4: Die Interaktion des Energiesystems mit dem ökonomischen System	55
Abbildung 7-5: Expansion der Funktionalitäten bis 2050	59
Abbildung 8-1: EU Reduktionsziele für Treibhausgase bis 2050	61
Abbildung 8-2: Transformationspfad mit zielorientierter Innovation	62
Abbildung 8-3: Funktionalitäten werden mit End-Energie und deren Produktivität erfüllt	62
Abbildung 8-4: Bereich Nieder-Temperatur – Funktionalität und Produktivität	63
Abbildung 8-5: Bereich Nieder-Temperatur – Energiemix	63
Abbildung 8-6: Bereich Nieder-Temperatur – Strukturen für zielorientierte Innovation	63
Abbildung 8-7: Bereich Nieder-Temperatur – End-Energie und CO ₂ -Emissionen	63
Abbildung 8-8: Bereich Hoch-Temperatur – Funktionalität und Produktivität	63
Abbildung 8-9: Bereich Hoch-Temperatur – Energiemix	64
Abbildung 8-10: Bereich Hoch-Temperatur – Strukturen für zielorientierte Innovation	64
Abbildung 8-11: Bereich Hoch-Temperatur – End-Energie und CO ₂ -Emissionen	64

Abbildung 8-12: Bereich Stationäre Antriebe – Funktionalität und Produktivität	64
Abbildung 8-13 Bereich Stationäre Antriebe – Energiemix	64
Abbildung 8-14 Bereich Stationäre Antriebe – Strukturen für zielorientierte Innovation	65
Abbildung 8-15: Bereich Stationäre Antriebe – End-Energie und CO ₂ -Emissionen	65
Abbildung 8-16: Zielorientierte Innovation - End-Energie und CO ₂ -Emissionen	65
Abbildung 8-17: Zielorientierte Innovation – Elektrizität und Fernwärme	66
Abbildung 8-18: Zielorientierte Innovation – Brutto-Energie	66
Abbildung 8-19: Zielorientierte Innovation – CO ₂ -Emissionen	66
Abbildung 9-1: Fokus auf Gebäude - End-Energie und CO ₂ -Emissionen	69
Abbildung 9-2: Fokus auf Gebäude – Elektrizität und Fernwärme	70
Abbildung 9-3: Fokus auf Gebäude – Brutto-Energie	70
Abbildung 9-4: Fokus auf Gebäude – CO ₂ -Emissionen	70
Abbildung 10-1: Fokus auf Mobilität - End-Energie und CO ₂ -Emissionen	73
Abbildung 10-2: Fokus auf Mobilität – Elektrizität und Fernwärme	74
Abbildung 10-3: Fokus auf Mobilität – Brutto-Energie	74
Abbildung 10-4: Fokus auf Mobilität – CO ₂ -Emissionen	74
Abbildung 11-1: Fokus auf Wasserstoff - End-Energie und CO ₂ -Emissionen	77
Abbildung 11-2: Fokus auf Wasserstoff – Elektrizität und Fernwärme	78
Abbildung 11-3: Fokus auf Wasserstoff – Brutto-Energie	78
Abbildung 11-4: Fokus auf Wasserstoff – CO ₂ -Emissionen	78
Abbildung 14-1: Energieausgaben für Wohnen nach Einkommensquintilen	89
Abbildung 14-2: Anteil der Heizausgaben an den Energieausgaben nach Einkommensquintilen und Energieträgern	90
Abbildung 14-3: Anteil der Verkehrsausgaben am Haushaltseinkommen nach Ausgabenkategorie und Einkommensquintilen	90
Abbildung 14-4: Anzahl der PKW je Haushalte nach Einkommensquintilen	91
Abbildung 14-5: Regionale Verteilung der Verkehrsausgaben der Haushalte 2014/2015	91
Abbildung 15-1: Außenhandel mit Energie als Anteil am BIP	94
Abbildung 15-2: Außenhandel mit Energie	94
Abbildung 15-3: Entwicklung des Erdölpreises	94
Abbildung 15-4: Entwicklung der Kosten für Elektrizität aus erneuerbaren Energien	95

Tabellen

Tabelle 7-1: Struktur der energetischen Wertschöpfungskette	57
Tabelle 8-1: Indikatoren der Strukturen mit zielorientierter Innovation	67
Tabelle 9-1: Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Gebäude	72
Tabelle 10-1: Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Mobilität	75
Tabelle 11-1: Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Wasserstoff	80
Tabelle 12-1: Gesamte Nutzenergie und Brutto-Inlandsverbrauch in den Szenarien für 2030	84
Tabelle 12-2: Erneuerbare Energie in den Szenarien für 2030	84
Tabelle 14-1: Monatliche Ausgaben für Heizen nach Einkommensquintilen und Energieträgern	89

Tabelle 14-2: Jährliche Heizausgaben der österreichischen Haushalte

89

Tabelle 15-1 Außenhandel mit Energie

93

Quellen

Alle Abbildungen und Tabellen stammen, soweit nicht anders ausgewiesen, von den AutorInnen.

Als Datenbasis dienen die von Statistik Austria veröffentlichte Gesamtenergiebilanz sowie die zugehörige Nutzenergiebilanz.

Warum Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien neue Orientierungen und neue Wege erfordern

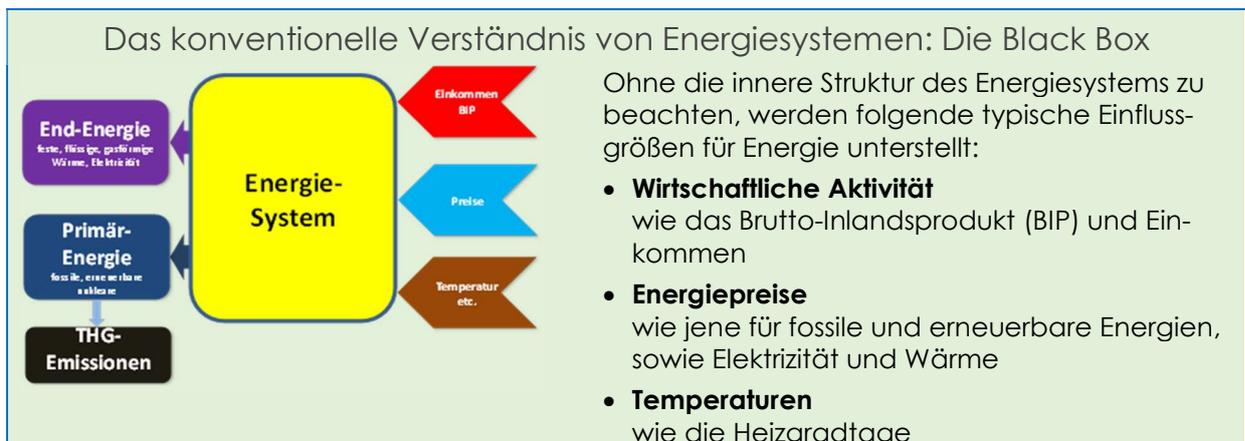
Entsprechend dem zugrunde liegenden Auftrag werden in dieser Studie die Folgen von unterschiedlichen Energie- und Klimastrategien für die Entwicklung des österreichischen Energiesystems bis 2030 und darüber hinaus evaluiert.

Das Projektteam hat dafür bewusst neue Wege eingeschlagen und erklärt die damit verbundene Motivation.

Warum das konventionelle Verständnis von Energiesystemen nicht mehr ausreicht

Geläufig ist das konventionelle Verständnis von Energiesystemen als eine Black Box. Dabei werden Beziehungen zwischen

Energiemengen und deren möglicherweise bestimmenden Ursachen unterstellt.



Solche Zusammenhänge können durchaus die kurzfristigen Schwankungen in den Energiemengen erklären, scheitern aber bei der Analyse von längerfristigen Entwicklungen, wie etwa für 2030 oder gar 2050. Das sind einige Gründe dafür:

- Die postulierten Zusammenhänge sind in den beobachteten Daten immer schwerer nachzuweisen.
- Die künftige Entwicklung von BIP und Preisen ist höchst unsicher.

- Das Energiesystem selbst ist radikalen Veränderungen ausgesetzt, die seine inneren Strukturen betreffen.

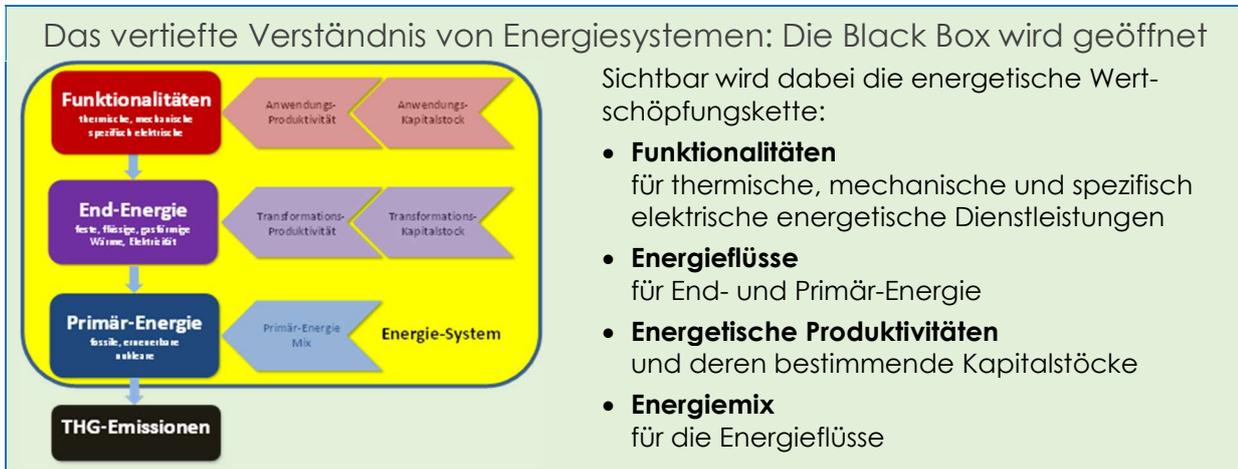
Mit einem vertieften Verständnis des Energiesystems, das gleichsam dessen Black Box öffnet, können viele dieser Beschränkungen überwunden werden.

Ein solches vertieftes Verständnis wird deshalb als Voraussetzung für eine tragfähige Analyse von Energie- und Klimastrategien gesehen.

Wie ein vertieftes Verständnis künftige Energiesysteme besser abschätzbar macht

Das Öffnen der Black Box zeigt die kaskadische Struktur der energetischen Wertschöpfungskette mit dem Fokus auf die vom Energiesystem zu erbringenden Funk-

tionalitäten, die damit verbundenen Energieflüsse, die von den Kapitalstöcken bestimmten energetischen Produktivitäten und den Energiemix.



Alle durch Energie- und Klimastrategien ausgelösten Veränderungen im Energiesystem lassen sich auf dieser energetischen Wertschöpfungskette darstellen. Beispiele wären die Beseitigung von re-

dundanten Funktionalitäten bei der Temperierung von Räumen durch verbesserte Steuerungen oder die Integration von elektrischen Speichern in Systemen mit Photovoltaik und Wärmepumpen.

Wie deshalb die Folgenabschätzungen durchgeführt werden

Konsequenterweise ergeben sich deshalb für die durchgeführten Folgenabschätzungen von Energie- und Klimastrategien vier Schritte.

Ausgangspunkt sind im ersten Teil die absehbaren disruptiven Veränderungen, die von Technologien bis zu Geschäftsmodellen reichen.

Mit dem vertieften Verständnis von Energiesystemen angepassten analytischen

Werkzeugen erfolgt im zweiten Teil eine Darstellung von ausgewählten Szenarien. Im dritten Teil werden die unterschiedlichen Strukturen der Szenarien Bewertungen hinsichtlich klima- und energiepolitischer Ziele sowie ökonomischer Effekte unterzogen.

Ein abschließender vierter Teil dokumentiert noch Daten und die Details der Modellanalysen.

WELCHE ZUKUNFT FÜR ENERGIE UND KLIMA? Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien			
Teil 1: DISRUPTIONEN Die Konturen der nächsten Energiesysteme und die Folgen für Energie- und Klimastrategien	Teil 2: ANALYSEN Werkzeuge und Entwürfe für künftige Strukturen des Energiesystems	Teil 3: BEWERTUNGEN Folgenabschätzungen von unterschiedlichen Strategien der Energie- und Klimapolitik	Teil 4: FUNDIERUNGEN Daten und Details zu den Analysen

TEIL 1: DISRUPTIONEN

Die Konturen der nächsten Energiesysteme und die Folgen für Energie- und Klimastrategien

Um klar zu sehen, genügt oft ein Wechsel der Blickrichtung.
Antoine de Saint-Éxupéry

1 Inversion, Integration, Innovation: Ein neues Mindset für den Umgang mit Energie

Derzeit Aussagen über Trends im Bereich Energie und die damit verbundenen Chancen und Risiken für ein Land und dessen Akteure zu machen, erfordert einen grundlegend anderen Zugang, als er vielleicht noch vor fünf bis zehn Jahren möglich war.

Im Bereich Energie ändern sich auf allen Skalen die bisher beobachtbaren Trends. Disruptive Technologien in den Schlüsselbereichen Gebäude, Mobilität und Produktion verändern grundlegend den Umgang mit Energie. Damit verbunden sind mindestens ebenso radikale Veränderungen bei der Verfügbarkeit von konventionellen und nicht-konventionellen Energieträgern.

Die potentiell ablaufenden Veränderungen im Energiesystems und dessen Umfeld erschweren alle prognostischen Aussagen. Es könnte mit einiger Wahrscheinlichkeit zu ähnlichen radikalen Veränderungen kommen, wie sie in der Vergangenheit im Bereich der Informatik beim Übergang vom Mainframe Computing zum Personal Computing und bei den Kommunikationstechnologien vom Festnetz zu integrierenden mobilen Plattformen erfahrbar waren.

Das bisher gewohnte Mindset hat ein Ablaufdatum erreicht

Jahrzehntlang bestimmten die Erschließung billiger Bezugsquellen für Energie und die Deckung der Energienachfrage der Konsumenten die Ausgestaltung der Energiesysteme: die Entscheidung über Energieträger, den Aufbau von Erzeugungs- und Verteilungskapazitäten, die Geschäftsmodelle und die Preisgestaltung.

Konzepte wie Demandside Management und Energy Service Companies blieben bis vor kurzem weitgehend vor der Anwendung stecken, weil weder die Rahmenbedingungen noch die maßgeblichen Akteure eine Umsetzung unterstützten.

Die Ergebnisse der unter der Überschrift Energiewende in Deutschland begonnenen Veränderungen zeigen jedoch, dass mit alten Konzepten die neuen Herausforderungen beim Umstieg von einem fossilen und nuklearen zu einem auf erneuerbaren Energieträgern basierenden Energiesystem

nicht gelöst werden können.

Stattdessen verschärfen die bisher gewohnten Vorstellungen über den Umgang mit Energie nur die vielen Unsicherheiten.

Wie ein zukunftsfähiges Mindset aussehen könnte

Wir schlagen deshalb ein neues Mindset vor, das mehr Lösungskompetenz zur Bewältigung der Transformation unserer jetzigen Energiesysteme aufweist.

Dieses neue Mindset basiert auf den 3i-Schlüsselbegriffen:

- INVERSION
- INTEGRATION und
- INNOVATION

Dahinter steckt ein erweitertes und vertieftes Verständnis von Energiesystemen. Damit sollen die sich abzeichnenden radikalen Änderungen bei Technologien und den Folgen für Wirtschafts- und Lebensstile besser abschätzbar und damit entscheidbar werden.

1.1 Auf der Suche nach einem Mindset mit besserer Kompetenz zur Problemlösung

Die Herausforderungen an ein neues Mindset im Umgang mit Energie sind offensichtlich: Einerseits sind es Zielsetzungen, wie die Reduktion der Schadstoffe bei Klima und Luftverschmutzung aber auch unerwünschte Abhängigkeiten bei Importen von Energie. Andererseits sind es die sich abzeichnenden neuen Optionen bei Nutzung und der Verfügbarkeit von Energien. Die Spannweite dieser Optionen reicht von energieautonomen Gebäuden über selbststeuernde Fahrzeuge bis zu immer lokaler verfügbaren erneuerbaren Energien.

Ein dafür vertieftes Verständnis und darauf aufbauende Lösungskompetenz liefern die 3i-Schlüsselbegriffe.

INVERSION: Funktionalitäten als Fokus des Energiesystems

Mit Inversion werden zwei Veränderungen im bisherigen Verstehen von Energiesystemen angesprochen.

Erstens wird die energetische Wertschöpfungskette um die Funktionalitäten ergänzt, die letztlich den Zweck und die Aufgabe eines Energiesystems ausmachen. Das sind die thermischen, mechanischen und spezifisch elektrischen energetischen Dienstleistungen.

Zweitens wird die Richtung jeder Argumentation umgedreht. Ausgangspunkt ist immer eine zu erfüllende Funktionalität und dann die Energieflüsse bei End- und Primär-Energie. Die gewohnte Praxis startet dagegen mit der Primär-Energie und negiert die Funktionalitäten.

Orientierungen für das Design künftiger Energiesysteme sind besser an diesen zu leistenden wohlstandsrelevanten Funktionalitäten in den Bereichen Wohnen, Mobilität sowie Produkten und Dienstleistungen zu finden. Diese Inversion im Verständnis

Ein Mindset mit besserer Kompetenz zur Problemlösung

und in der Argumentation ist eine Grundvoraussetzung für die Umsetzung integrierter, innovativer und somit hocheffizienter Strukturen mit den Eigenschaften von Niedrigst-Energie und Niedrigst-Emissionen.

INTEGRATION: Synergien durch Verbindung der Komponenten des Energiesystems

In den neuen, zunehmend dezentralen Strukturen des Energiesystems verschwimmen die Grenzen zwischen Bereitstellung und Verwendung von Energie. Bereitstellung und Verwendung von Energie verschmelzen zum Prosumer. In der Folge beginnt sich die traditionelle Spartenorientierung nach Energieträgern und nach den Aufgaben Erzeugung

und Verteilung aufzulösen.

Mit der Orientierung und den zu erbringenden Energiedienstleistungen beginnen sich Bereitstellung, Speicherung und Nutzung von Energie funktional und räumlich zu integrieren. Einzeltechnologien werden zu optimierten Systemen und neuen Wertschöpfungsketten kombiniert. Energieträger werden flexibel und bedarfsorientiert eingesetzt.

INNOVATION: Radikale Veränderungen bei Technologien, Nutzungsverhalten und Geschäftsmodellen

Auf allen Stufen der energetischen Wertschöpfungskette öffnen sich Optionen für radikale Innovationen.

Im Bereich Mobilität, beispielsweise, wird nicht immer mehr eine Verkehrsbewegung erforderlich sein, wenn Informationstechnologien den gewünschten Zugang zu Personen unterstützen. Neue Geschäftsmodelle werden sich vom Verkauf von Fahrzeugen zu einem Angebot für deren Nutzung verändern.

Viele der Innovationen kommen derzeit von außerhalb der traditionellen Energiebranche. Führende Unternehmen, die Digitalisierung und damit neue Geschäftsmodelle vorantreiben, bestimmen zunehmend die Transformation

1.2 INVERSION: Funktionalitäten als Fokus des Energiesystems

in den Energiesystemen beginnt sich ein klar erkennbarer Paradigmenwechsel abzuzeichnen, der in den nächsten Jahren die Versorgungslogik des fossilen Energiesystems weitgehend ablösen könnte.

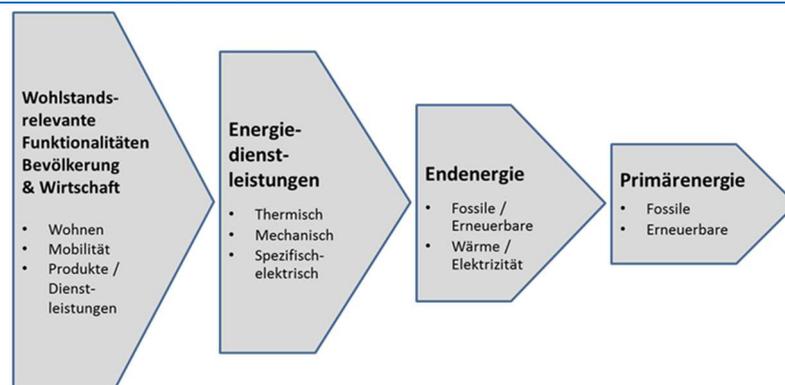
Indikator dafür sind die neuen Akteure, die die Transformation des Energiesystems mitgestalten mit ihren an den Kunden orientierten Geschäftsmodellen, mit den Möglichkeiten der Digitalisierung und den neuen Schlüsseltechnologien.

Der Ausgangspunkt für dieses neue

Mindset sind die wohlstandsrelevanten Funktionalitäten bei Haushalten und Unternehmen, die sich bei Anforderungen an Wohnen, Mobilität sowie Produkten und Dienstleistungen widerspiegeln.

Sichtbar werden diese Funktionalitäten in den Energiedienstleistungen (energy services), wie beispielsweise die Klimatisierung eines Gebäudes, die Erwärmung von Wasser, der Antrieb von Maschinen und Fahrzeugen, die Beleuchtung oder der Betrieb eines Computers. Je nach Art unterscheidet man thermische, mechanische und spezifisch elektrische Energiedienstleistungen wie Beleuchtung oder den Betrieb der elektronischen Komponenten.

Abbildung 1-1: Inversion - Beginnend mit den Funktionalitäten, die kaskadische Struktur der energetischen Wertschöpfungskette verstehen



In jedem Energiesystem, egal von welcher Größe, geht es darum, den sich durch die geforderten Funktionalitäten ergebenden Bedarf an Energiedienstleistungen so zu erfüllen, dass diese mit möglichst geringem Energieeinsatz und möglichst geringen Schäden, wie Emissionen, erbracht werden können. Dazu ist, wie in Abbildung 1-1 dargestellt, die gesamte kaskadische Struktur der energetischen Wertschöpfungskette zu beachten sowie die verfügbaren Optionen für Anwendungs- und Energieumwandlungstechnologien samt dem Mix der Energieträger auszuwählen und zu kombinieren. Das bedeutet auch, dass nicht nur die Energieeffizienz von Einzeltechnologien betrachtet wird, sondern

die von Systemen.

Wir bezeichnen diese neue Denk- und Herangehensweise für das Verständnis und die Analyse von Energiesystemen als Inversion, weil sie am anderen Ende der energetischen Wertschöpfungskette, nämlich bei den meist überhaupt nicht beachteten Funktionalitäten und dem damit verbundenen Energiedienstleistungen beginnt, statt wie traditionell bei der Primärenergie anknüpft.

Konsequenterweise steht dann die Frage im Mittelpunkt, wie die Funktionalität einer Energiedienstleistung am besten erbracht werden kann.

1.3 INTEGRATION: Synergien durch Verbindung der Komponenten

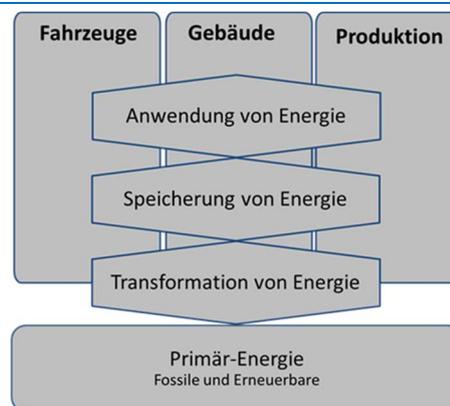
Mit den sich entfaltenden technologischen Optionen für die künftigen Energiesysteme öffnen sich Möglichkeiten für neue Strukturen, die sich nicht mehr um die traditionellen Abgrenzungen und Aufteilungen kümmern.

Neue Akteure beginnen die bisherigen Grenzen zwischen Bereitstellung und Verwendung von Energie aufzuheben. Die zu

erbringenden Dienstleitungen, die Bereitstellung und die Speicherung von Energie werden funktional und räumlich zunehmend integriert. Die jeweiligen Einzeltechnologien werden zu innovativen Systemen zusammengesetzt. Das ermöglicht neue Lösungen mit einer wesentlich höheren Systemeffizienz.

Ein Beispiel wären die thermischen Dienstleistungen in einem Gebäude mit baulichem Niedrigstenergie-Standard zusammen mit einer PV-Anlage, die eine Wärmepumpe zur Nutzung von Erdwärme betreibt.

Abbildung 1-2: Integration - Synergien durch Verbindung aller Komponenten eines Energiesystems bei der Anwendung, Speicherung und Transformation von Energie



Die funktionale und räumliche Integration über bisherige Sektorgrenzen hinaus ist Herausforderung und Chance zugleich, wenn sie als zentrales Designprinzip gedacht und angewendet wird.

Das Energiesystem der Zukunft braucht Integration. Die Energiebereitstellung aus Sonne und Wind ist volatil und nicht mehr auf Knopfdruck ein- und auszuschalten. Das erfordert über die Gewinnung von Elektrizität aus diesen Technologien hinaus auch Speicherung und Netzsteuerung mitzudenken.

Beispielsweise erlauben Photovoltaik und Solarthermie die Energiebereitstellung und -transformation dezentral und angepasst dort umzusetzen, wo auch die Energiedienstleistungen nachgefragt werden, also in Gebäuden, Produktionsanlagen und Fahrzeugen. Umgekehrt werden mit zunehmender Leistungsfähigkeit und Vernetzung die Batterien in Fahrzeugen auch

Stromspeicher für Energiedienstleistungen in anderen Bereichen, Abwärme aus Produktionsanlagen kühlt Wohnhäuser, Bürogebäude werden Mobilitätszentralen für Elektrofahrzeuge und kombinierte Mobilität.

Statt der traditionellen Energieversorgungsunternehmen können nun Haushalte und Unternehmungen auch selbst Energieproduzenten werden. Sie werden abwechselnd Anbieter und Nachfrager und sind über intelligente und selbststeuernde Netze miteinander verknüpft. Elektrizität als universeller Energieträger speist Wärmepumpen zur Warmwassererzeugung und treibt Elektrofahrzeuge an.

Das alles sind Hinweise, dass eine charakteristische Eigenschaft des künftigen Energiesystems eine immer stärkere funktionale und räumliche Integration aller Komponenten des Energiesystems sein wird.

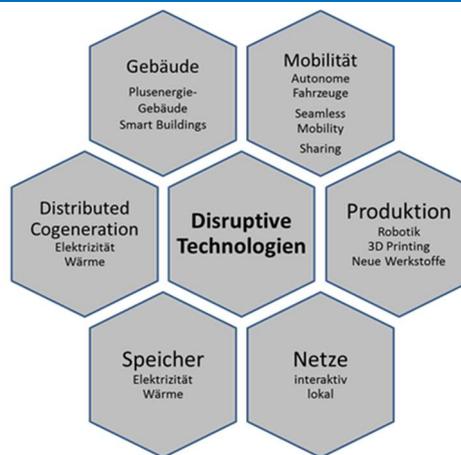
1.4 INNOVATION: Radikale Veränderungen bei Technologien, Nutzungsverhalten und Geschäftsmodellen

In allen Bereichen des Energiesystems werden radikale Veränderungen sichtbar. Diese betreffen Technologien, wie Gebäude mit Plus-Energiequalität, Fahrzeuge die vollelektrisch angetrieben und selbststeuernd sind, oder Produktionstechnolo-

gien auf der Basis von 3D-Printing.

Die schon heute absehbaren technologischen Innovationen werden die Transformation der Energiesysteme wesentlich prägen und zu markanten Technologiesprüngen führen. Dazu kommen noch zu erwartende radikale Änderungen in den Prozessen, wie Produkte und Dienstleistungen künftig bereitgestellt werden, beispielsweise durch die Entwicklung von Robotik und maschineller Intelligenz, womit wiederum starke Rückwirkungen auf die Energiesysteme entstehen können.

Abbildung 1-3: Innovation - Disruptive Technologien bei allen Komponenten des Energiesystems öffnen neue Möglichkeiten



Diese schon heute erkennbaren Innovationspotentiale machen sichtbar, wie breit der Gestaltungsraum künftiger Energiesysteme sein wird. Daraus entstehen einige naheliegende Handlungsstrategien. Auf allen Ebenen: von einzelnen Komponenten bis zum Gesamtsystem, öffnen sich Optionen für Innovationen für Technik, Institutionen, und Gesellschaft. Diese Optionen können von inkrementellen Schritten bis zu radikal verändernden Umbrüchen reichen.

Viele dieser Innovationen sind nicht mehr aufzuhalten, wie der Erfolg der erneuerbaren Energien oder die Fortschritte bei den elektrischen Speichern. Andere Innovationen werden bewusst zu gestalten sein, wie

die möglichen neuen dezentralen Netzstrukturen.

Inversion und Integration als Designprinzipien sind wichtige Innovationstreiber, die die Innovationskraft der Wirtschaft stimulieren und auf die wichtigen Fragestellungen fokussieren. Die kommenden Energieinnovationen werden die Transformation der Energiesysteme wesentlich prägen und zu markanten Technologiesprüngen führen. Darüber hinaus führen soziale und technologische Innovationen aus anderen Bereichen zu neuen Produkten, Prozessen und Dienstleistungen, die wiederum stark auf die Energiesysteme rückwirken können.

1.5 Disruptive Entwicklungen verändern den Kontext des Energiesystems

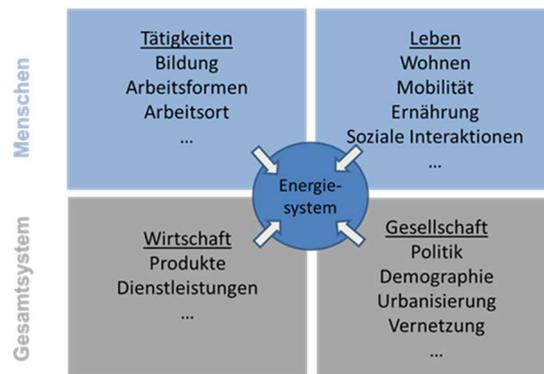
Weitreichende technologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Umbrüche prägen sowohl den Kontext als auch das

Energiesystem selbst.

Schlüsseltechnologien spielen dabei eine treibende Rolle) und die Digitalisierung wirkt als Beschleuniger von Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft und katalysiert die Transformationen.

Abbildung 1-4: Die künftigen Energiesysteme werden sich in einem alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft verändernden Umfeld bewegen

Der Kontext des Energiesystems ist im Wandel



Weitreichende Veränderungen betreffen sowohl den Kontext des Energiesystems, wie das Gefüge von Wirtschaft und Gesellschaft sowie wichtige Aspekte des Lebens und der Tätigkeiten von Menschen, als auch das Energiesystem im engeren Sinne, wie die Bereitstellung von Energie und deren Verwendung zur Erbringung von Dienstleistungen bei Gebäuden, Mobilität und Produktion.

Aus der individuellen Perspektive äußert sich die Veränderung beispielsweise durch zeitlich und räumlich flexiblere Arbeitsformen, neue Konzepte wie Sharing beim Wohnen und in der Mobilität, sich ändernde soziale Interaktionen dank sozialer Medien oder eine immer aktivere Freizeitgestaltung von Senioren dank steigender Lebenserwartung. In der Wirtschaft ändert sich sowohl die Produktion mit Industrie 4.0, Automatisierung, 3D Printing und die Art

der Produkte als auch die Art und Weise wie Dienstleistungen erbracht werden. Gesellschaftliche Veränderungen wie eine immer älter werdende Gesellschaft oder das kontinuierliche Bevölkerungswachstum und die Urbanisierung verändern ebenfalls maßgeblich den weiteren Kontext des Energiesystems.

Einerseits laufen die Entwicklungen in immer kürzerer Zeit ab. Andererseits können sich verschiedene disruptive Trends verstärken bzw. konkurrieren miteinander, was Aussagen über zukünftige Entwicklungen erschwert.

Jede Diskussion über Änderungen im Energiesystem sollte jedoch im Bewusstsein geführt werden, dass diese zu disruptiven Entwicklungen weitreichende Folgen für das Energiesystem haben können.

Disruptive Schlüsseltechnologien als ein wichtiger Treiber

Neue Technologien lösen alte ab – 12 potenziell disruptive Technologien	
 Mobiles Internet Immer preiswertere und ausgefeiltere mobile Geräte und Internetkonnektivität	 Genomik der nächsten Generation Schnelle, kostengünstige Gensequenzierung, Big-Data-Analysen und synthetische Biologie
 Automatisierung der Wissensarbeit Intelligente Softwaresysteme, die unstrukturierte und nuancierte Aufgaben ausführen können	 Energiespeicherung Geräte oder Systeme, die Energie zur späteren Nutzung speichern
 Internet der Dinge Netzwerke kostengünstiger Sensoren und Aktuatoren, z.B. für Datensammlung, Überwachung und Entscheidungsfindung	 3D-Druck Additive Fertigungsverfahren, bei denen schichtweise plastische Gegenstände hergestellt werden
 Cloud-Technologie Bereitstellung von Computerhard- und -software über ein Netzwerk	 Hochleistungswerkstoffe Werkstoffe mit überlegenen Eigenschaften oder Funktionalitäten
 Hoch entwickelte Robotik Hoch entwickelte Roboter mit verbesserter Sensorik, Geschicklichkeit und Intelligenz	 Lagerstättenexploration und -förderung Techniken zur Extraktion z.B. von unkonventionellem Gas und Öl
 Autonome/quasi-autonome Fahrzeuge Fahrzeuge, die ohne oder annähernd ohne menschliche Unterstützung funktionieren	 Erneuerbare Energien Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen mit besserer Klimabilanz

Disruptive Technologien spielen im Rahmen der disruptiven Entwicklungen eine besondere Rolle. Das McKinsey Global Institute hat in einer breit angelegten Untersuchung 12 Technologien mit enormem disruptiven Potenzial identifiziert. Diese Technologien haben zum Teil bereits begonnen, unser Leben und unsere Arbeit zu prägen. Dazu zählen das mobile Internet, die Automatisierung der Wissensarbeit, das Internet der Dinge, die Cloud-Technologie, hoch entwickelte Robotik, autonome und quasi-autonome Fahrzeuge, Genomik der nächsten Generation, die Energiespeicherung, der 3D-Druck, Hochleistungswerkstoffe, Lagerstättenexploration und -förderung sowie erneuerbare Energien. Viele der genannten Technologien stehen direkt mit dem Energiesystem in Verbindung.

1.6 Eine Checklist für das Energiesystem im Wandel

Das Energiesystem im engeren Sinne (Produktion von Energie und deren Anwendung zur Erbringung von Dienstleistungen bei Gebäuden, Mobilität und Produktion) ist von den disruptiven Entwicklungen im größeren Kontext massiv betroffen. In der Diskussion rund um den derzeit rasant stattfindenden Wandel des Energiesystems werden aber vor allem folgende Ausprägungen wahrgenommen:

Das Energiesystem ist von den erwarteten disruptiven Änderungen massiv betroffen

Klimawandel

Die wissenschaftliche Evidenz zu den Ursachen des Klimawandels, die das UN Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) regelmäßig aktualisiert und kommuniziert, zeigt mittlerweile ganz klar, dass die energiebedingten CO₂-Emissionen der Hauptverursacher des globalen Temperaturanstiegs sind und daher dessen Be-

schränkung auf die vielzitierten 2°C eine umfassendes Carbon Management des Energiesystems erfordert.

Unsicherheit bei Erdöl und Erdgas

Die Volatilität beim Ölpreis hat nicht nur die wirtschaftliche Verwundbarkeit durch die Energiepreise und die negativen Auswirkungen auf die Weltwirtschaft gezeigt, sondern auch die Versorgungsunsicherheit mit Gas und Erdöl in Europa aufgrund der geopolitischen Veränderungen

im Nahen Osten, in Nordafrika und Russland.

Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Generell hat sich das Bewusstsein für Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit deutlich gesteigert. Ressourceneffizienz und Versorgungssicherheit sind wesentliche Treiber für das Konzept der Kreislaufwirtschaft („Circular Economy“), bei dem es um eine radikale Reduktion des Ressour-

cenbedarfs auch bei Energie geht, und das von der EU Kommission als ein zentra-

les Konzept der wirtschaftlichen Gestaltung Europas gesehen wird.

Digitalisierung als Game Changer

Ein wesentlicher Game Changer ist die alles umfassende Digitalisierung. Sie ist mehr als die Verknüpfung von IT-Netzwerken, Internet und Computern. Dank der rasanten technologischen Entwicklung, wie die Ausstattung von Alltagsgegenständen mit interaktiver Mikroelektronik, der Flexibilisierung und Verlagerung von IT-Systemen in die Cloud, die rasante Verbreitung von Smartphones in der Konsum- und Arbeitswelt, der Wandel von wenig dynamischen Softwareprodukten zu personalisierten Apps sowie die digitale Vernetzung der Menschen wächst eine global vernetzte und grundlegend neue Infrastruktur heran. Eine Infrastruktur, die große Datenmengen generiert und den Aufbau neuer, flexibler und kundenorientierter, informationstechnischer Lösungen und Systeme erlaubt. Die Transformation verändert das Management und die Geschäftsmodelle etablierter Unternehmen oder stellt sie sogar in Frage. Das in 2015 neu gegründete Kompetenzzentrum „Geschäftsmodelle in der digitalen Welt“ untersucht Digitalisierung als „Transformation von Prozessen, Produkten, Dienstleistungen bis hin zur Transformation von kompletten Geschäftsmodellen/Institutionen unter Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien mit dem Ziel, effektiv und effizient Wert zu schaffen.“ Durch die neue Infrastruktur verändern sich Grenzen zwischen Branchen verbunden mit einer radikal veränderten Wettbewerbssituation. „Die kreative Zerstörung von etablierten Strukturen und Handlungsmustern durch Unternehmen wie Amazon, Apple, Uber, Google etc. sind hierfür symptomatisch“.

Die Studie „The digitisation of everything“ von Ernst & Young bringt die Herausforderung für die Unternehmen durch die Digitalisierung auf den Punkt: Der Kontrollverlust über die Kundenbeziehung, größere Konkurrenz und die Kommoditisierung ihrer Produkte steigt genauso wie die Notwendigkeit mit Stakeholdern, wie Lieferanten, Partnern, Mitarbeitenden und vor allem Kunden, digital zu interagieren. Für etablierte und neue Unternehmen, die Dienstleistungen bei Energie, Mobilität, Gebäude und Produktion anbieten, ist dies Chance und Risiko zugleich.

Dezentralisierung und Eigenversorgung

Eigenversorgung bis hin zur Autarkie-Diskussion hat als gesellschaftlicher Trend eine starke Breitenwirkung bekommen und manifestiert sich vom eigenen Gemüsegarten bis zur Solaranlage am Hausdach. Damit verbunden ist der Trend zur Dezentralisierung, die auf der persönlichen Ebene mehr Eigenständigkeit und etwa durch ein geringeres Mobilitätserfordernis auch mehr Lebensqualität bedeutet.

Digitalisierung

Ermöglicht wird die Dezentralisierung im besonderen Maße durch die umfassende Digitalisierung in allen Bereichen. Mit Internet und Smartphone ist sie bereits in viele Lebensbereiche vorgedrungen (social media, e-learning, online-shopping, sha-

ring etc.) und revolutioniert die Produktion (Stichworte „Industrie 4.0“ und „Internet der Dinge“).

Wirtschaft und Gesellschaft sind bereits am Weg ins postfossile Zeitalter. Die Transformation des Energiesystems hat bereits begonnen. Nationale und internationale Energie- und Klimaziele haben ihre Bedeutung als Ausdruck eines gesellschaftlichen Grundkonsenses, werden aber in ihrer Bedeutung für die Umgestaltung und als Innovationstreiber oft auch überschätzt. Hingegen werden neue Technologien und Geschäftsmodelle hinsichtlich ihres Potenzials für einen Umbruch eher unterschätzt. Die Transformation der Energiesysteme folgt nicht einem großen weltweiten Masterplan. Vieles entsteht durch „learning by doing“.

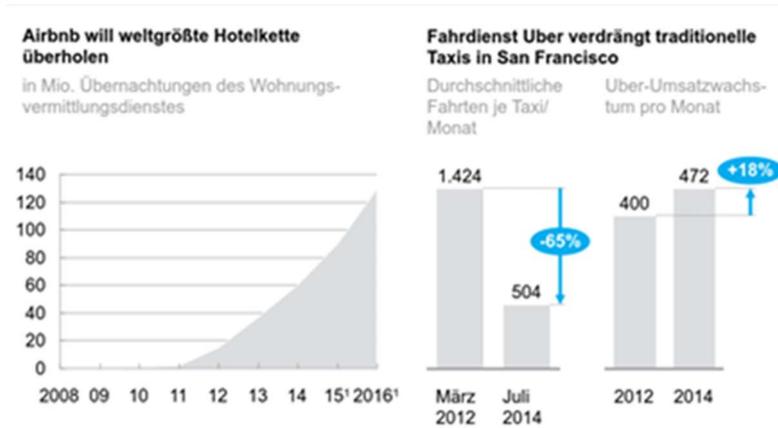
Nutzung statt Besitz

Generell rücken die Kunden immer mehr

ins Zentrum. Personalisierte, flexibel abrufbare Dienstleistungen mit hoher Qualität sind gefragt. Dies betrifft die Energiedienst-

leistungen etwa beim Wohnen, Arbeiten und Mobilität. Die Nutzung wird wichtiger als der Besitz.

Abbildung 1-5: Die künftigen Energiesysteme werden sich in einem alle Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft verändernden Umfeld bewegen



Aktive KonsumentInnen als „Prosumer“

Die Maxime „je grösser desto kostengünstiger“ wird durch neue Trends in Frage gestellt. Als Folge der fortschreitenden Digitalisierung von Industrie- und Energiesystem

sinken die Grenzkosten der Produktion teilweise drastisch. Auch die dezentrale Energieproduktion löst die Größenvorteile mancher Massenproduktion in großen Konzernen weiter auf.

Generation Y katalysiert die Transformation

Die Digitalisierung hat auch die Gesellschaft massiv verändert. Dies zeigt sich besonders an der Bedeutung der Generation Y, also von Menschen, die zur Jahrtausendwende im Teenageralter waren. Diese „digital natives“ sind den Umgang mit digitalen Medien gewohnt und nutzen deren Möglichkeiten in allen Alltagsbereichen. Ihr Anteil an der Gesamtbevölkerung wächst kontinuierlich und damit auch Ihr Einfluss auf die Arbeitswelt und den Konsum. Zudem beeinflusst das mit der Generation Y verbundene Mindset sowohl ältere als auch jüngere Generationen. Die Generation Y ist offen für die Transformation in der Geschäftswelt. Ihre Erwartungshaltung folgende Elemente:

- Kollaboratives Lernen im Netzwerk in Massive Open Online Courses (MOOCs)
- Schnelle, einfache und unterhaltsame Kommunikation
- Kaufentscheide basierend auf Empfehlungen statt Werbung
- Schnelle Feedbacks und Interaktionen
- Umweltbewusstsein
- Hohe Flexibilität

Natürlich prägt diese Erwartungshaltung die Entwicklung von Geschäftsmodellen und Produkten wesentlich mit. Eine wichtige Entwicklung ist die Personalisierung der Produkte und Services, die durch die digitalen Medien möglich wird. Dies schafft eine höhere Passgenauigkeit der angebotenen Leistungen mit den Präferenzen der Konsumenten, was deren Zahlungsbereitschaft erhöht

In einer „Null-Grenzkosten-Welt“ werden Kunden selbst zu Produzenten, zum „Prosumer“, und sichern sich einen Teil der Wertschöpfung, die normalerweise nur klassischen Unternehmen vorbehalten war. Diese Veränderungen schaffen Raum für neue, agile Anbieter, die bisherige Geschäftsmodelle unter Zugzwang setzen.

McKinsey kommt in seiner „Bayern 2025“-Studie von 2015 zum Schluss, „dass Unternehmen angesichts dieser Entwicklungen ihre etablierten Geschäftsmodelle überprüfen müssen. Andersfalls laufen sie Gefahr, in dieser (stillen) Revolution aus Digitalisierung und Sharing-Konzepten unterzugehen.“

1.7 Die Transformation im Energiesystem hat längst begonnen

Anfangs noch relativ unbemerkt, wird nun immer deutlicher sichtbar, dass die Umgestaltung der Energiesysteme längst begonnen hat. Die Veränderungen werden sehr weitreichend sein. Neue Kooperationen entwickeln sich. Die klassischen Sektorgrenzen in der Wirtschaft lösen sich auf. Der Energiesektor entwickelt sich immer mehr außerhalb der Energieversorgungsunternehmen.

Nicht die traditionell im Energiebereich tätigen Unternehmen und Organisationen sondern neue Akteure sind die Vorreiter und Gestalter der Transformation. Neue Geschäftschancen und -modelle entstehen, weil bestimmte Technologien rasch wirtschaftlich und breit verfügbar werden (z.B. Windturbinen, Photovoltaik, Batteriespeicher, intelligente Sensoren).

Alte Akteure kommen immer mehr unter Druck, etwa die traditionellen Energieversorgungsunternehmen, deren Kraftwerk-parks immer mehr unter wirtschaftlichem

Druck stehen, wie in Deutschland sichtbar. Schon die von der EU forcierte Liberalisierung der Energiemärkte hat für die an Planungssicherheit gewöhnte Elektrizitätswirtschaft massive Herausforderungen gebracht. Weitgehend offen ist der Umgang mit dem durch Subventionen forcierten, raschen Anstieg der erneuerbaren Energie. Insgesamt erhöht das aber auch hier den Druck, grundlegend die Perspektiven zu wechseln: von der „supply side“ zur „demand side“, von der Versorgungssicht hin zu den sich ändernden Kundenbedürfnissen.

Das Energiesystem ist aber nicht das einzige gesellschaftlich-ökonomische Subsystem, in dem ein weitreichender Wandel stattfindet. Das schafft insgesamt ein Umfeld, in dem die Vorhersagbarkeit der Entwicklung aufgrund der Erfahrungen in der Vergangenheit drastisch reduziert ist. Voraussagen im klassischen Sinne, die mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit zutreffen, sind kaum möglich. Umso wichtiger ist es, diese Entwicklungen zu verstehen, die Chancen zu erkennen und die Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass die Transformation in die gewünschte Richtung unterstützt wird.

2 Multifunktionale Gebäude werden ein Bestandteil des Energiesystems

Im Kontext der Gebäude liegen die Grenzen der Energieplanung in der Regel an der Grundstücksgrenze. Mit der Entwicklung und dem Ausbau von erneuerbaren Energien und intelligenten Netzen (Smart Grids) verschwimmen diese Grenzen zusehends. Gebäude verbrauchen nicht nur Energie, sie können diese auch bereitstellen, speichern und verschieben. Höchste Energieeffizienz und Einbindung von erneuerbaren Energie im Gebäude sind Grundvoraussetzungen. In den letzten zehn Jahren hat – bedingt durch nationale und internationale Klimaziele – die Energieeffizienz im Gebäudesektor bereits einen hohen Stellenwert erlangt.

Relevante Fragestellungen

- Welche technischen, sozialen, sozio-ökonomischen und legislativen Rahmenbedingungen im Bereich der Gebäude können eine Dekarbonisierung des Energiesystems unterstützen?
- Welche gebäuderelevanten Maßnahmen in den Bereichen Energieeffizienz, erneuerbare Energiesysteme, Lastverschiebung und Raumplanung können unter welchen Aspekten und in welchem Ausmaß zur Erreichung der Klimaziele beitragen?

Mögliche Antworten

Höchste Energieeffizienz und Einbindung von erneuerbaren Energiesystemen im Gebäude sind die grundsätzlichen Orientierungen.

Thermische Gebäudestandards

Der Stand der Technik ist bereits das Niedrigstenergie- bzw. Passivhaus mit über 25 Jahren erfolgreicher Umsetzung. Plus-Energie-Gebäude sind jedoch bislang nur vereinzelt auch im großvolumigen Bereich gebaut worden.

Europäische Verordnungen wie die Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) haben maßgeblich dazu beigetragen, dass Regulative im

Gebäude werden eine neue Rolle im nächsten Energiesystem übernehmen

Bauwesen hinsichtlich Reduktion von klimarelevanten Emissionen verschärft wurden. Die Verknüpfung von Energieeffizienz in der Architektur und Gebäudetechnik sowie die Einbindung von erneuerbaren Energietechnologien bilden bereits wesentliche Eckpunkte der legislativen Rahmenbedingungen.

Energiemanagement

Der Verbrauch der selbst erzeugten erneuerbaren Energie im Gebäude ist aus Gesamtsicht sinnvoll. Eine hohe Eigenbedarfsdeckung kann in erster Linie durch Lastverschiebung innerhalb der Gebäudengrenzen erzielt werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn das Gebäude eine hohe Energieeffizienz aufweist. Smart Buildings sollen über die Gebäudeleittechnik die unterschiedlichen Komponenten des Gebäudes effizient ansteuern und hinsichtlich vorgegebener Rahmenparameter optimieren. Dazu zählen z.B. Innenraumkomfort, Reduktion der CO₂ Emissionen, Energiekosten oder Energiepreisvergütung.

Prädiktive Regelungen (z.B. wettergestützte Prognosen, die ein Vorwärmung oder Vorkühlung der Gebäude ermöglichen) sowie nutzungsoptimierte Steuerungen (Räume oder Raumzonen werden erst dann konditioniert, wenn sie gebraucht werden) unterstützen darüber hinaus die Gesamtenergieeffizienz.

gieeffizienz. Über die System- und Gebäudengrenzen hinaus können damit signifikante Optimierungsprozesse stattfinden.

Integrierte Energiekonzepte

Anlagen, die thermische in elektrische Energie (oder vice versa) umwandeln können – wie Wärmepumpen oder Blockheizkraftwerke – spielen dabei eine zentrale Rolle. Das Gebäude mit seiner Speichermasse und die e-Mobilität fungieren mittels elektrischer und thermischer Netze als flexible Energiespeicher und erlauben Lastverschiebungen effizient umzusetzen.

Das übergeordnete Energiesystem kann

dabei vorrangig elektrisch sein, die Umwandlung von thermischer und elektrischer Energie findet regional bzw. lokal statt. So können auch kleinere thermische Energienetze auf lokaler Ebene effizient umgesetzt werden. Fernwärmenetze werden auf zukünftige Anforderungen hin adaptiert. Die Optimierung des Gesamtsystems – beginnend beim einzelnen Gebäude, über das Quartier bis zu Stadt und Umland – sollte als Ziel definiert werden.

Der Wirkungsbereich der Planung ändert sich damit und geht in Zukunft über die eigenen (Gebäude)Grenzen hinaus.

2.1 Stadt- und Raumplanung

Im SET Plan der Europäischen Kommission wurden 2011 Smart Cities als eigenes thematisches Feld definiert. Damit ist erstmals dem Umstand Rechnung getragen worden, dass die Verbesserung der einzelnen Technologiefelder höchst relevant ist, aber nur der zusätzliche Fokus auf das Gesamtsystem substantielle Umbrüche im Energie- und Ressourcenkreislauf bringen wird. Die Optimierung des Gesamtsystems an der Schnittstelle von Stadtplanung, Mobilität, Gebäude und Energiesystem eröffnet damit einen neuen Schwerpunkt der Energie- und Ressourceneffizienz.

Die Stadt- und Raumplanung schafft die grundlegenden Voraussetzungen für eine energieoptimierte Gebäude- und Verkehrsplanung. Relevant ist in diesem Kontext vor allem der Abgleich der Planungs- und Zeithorizonte von Verkehrs-, Energie- und Raumplanung.

Stadtplanung

Eine nachhaltige Stadtplanung muss vor allem auch die energetischen Optimierungspotentiale berücksichtigen. Dafür müssen Aspekte urbaner Morphologie gemeinsam mit den Aspekten der Energieversorgung, Infrastruktur und Mobilität in Einklang gebracht werden. Eine adäquate Ausrichtung der Gebäude unter Berücksichtigung der umgebenden Verschatt-

ung, um je nach Nutzung solare Potentiale auszuschöpfen oder solaren Eintrag im Sommer zu vermeiden, stellt dabei einen ersten wesentlichen Schritt in Richtung urbaner Energieeffizienz dar.

Eine ausgewogene Nutzungsmischung ist in diesem Kontext nicht nur für eine gute Erreichbarkeit der lokalen Versorgungseinrichtungen und einer damit verknüpften Reduzierung der Wegzeiten relevant, sondern auch, um Lastverschiebungspotentiale zwischen den Gebäude zu ermöglichen. So können beispielsweise auf lokaler Ebene Wärmelasten durch Abwärme aus umliegenden Gebäuden abgedeckt werden.

Raumplanung

Ebenso ist in einer übergeordneten Ebene der Raumplanung auf die Bebauungszonen und Nutzungsmischungen zu achten. Eine adäquate Dichte an Bebauung wirkt der Zersiedelung entgegen und ermöglicht eine effiziente Energieversorgung. Eine thermische Netzentwicklung (langfristige Planung von Nahwärme-, Nahkältenetzen) ist nur möglich, wenn eine adäquate Nutzungsmischung auch in den Bebauungsplänen für zukünftige Planungen festgelegt ist. Das Mobilitätsangebot in Verknüpfung mit lokaler Infrastruktur ist dabei von besonderer Relevanz, da vor allem im stadtnahen und ländlichen Raum flexible Transportinfrastrukturlösungen gefragt sind (mobility on demand).

2.2 Gebäudebestand

Generell kann im Gebäudebestand zwischen reiner Instandhaltung, Sanierung, Restaurierung (Denkmalschutz) und Altbaumodernisierung bzw. Umbau unterschieden werden.

Wenn sich die Rahmen und Nutzungsbedingungen verändern, kann durch die Anpassung an neue Bedürfnisse eine Werterhaltung oder Wertsteigerung des Bauwerks im Rahmen einer Altbaumodernisierung erzielt werden.

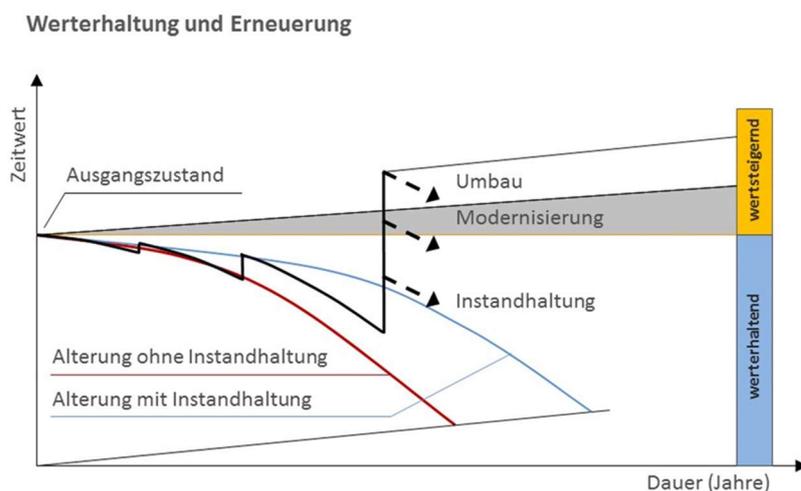
Lebenszyklus eines Gebäudes

Eine Betrachtung des gesamten Lebens-

zyklus des Gebäudes erlaubt eine differenzierte Kostenabwägung. Der durch eine energetische Sanierung gewonnene Innenraumkomfort stellt auch in volkswirtschaftlicher Perspektive (Erhöhung der Lebensqualität, Vermeidung von Energiearmut) einen zusätzlichen Nutzen und gesellschaftlichen Mehrwert dar. Dies ist bei Sanierungen in Zukunft zu bewerten und mehr in den Vordergrund zu rücken, um Sanierungsraten sukzessive zu erhöhen.

Die ökonomische Aufwertung des Gebäudebestands durch Betrachtung des gesamten Lebenszyklus spielt wie beim Neubau eine relevante Rolle.

Abbildung 2-1: Werterhaltung und Erneuerung - Instandhaltung, Sanierung, Restaurierung, Altbaumodernisierung und Umbau



Eigene Darstellung nach Treberspurg, M., Fechner, J. (Hrsg), *Altbaumodernisierung, der praktische Leitfad*, Springer Verlag, Wien-New York, 2002

Umfassende Sanierung

Sanierungen sollten generell umfassend und nicht ausschließlich mit Einzelmaßnahmen umgesetzt werden, da Einzeltechnologielösungen oft nicht die erforderlichen Energieeinsparungen bringen. Methodische und ganzheitliche Ansätze sind gefragt, wenn es um energieeffiziente Sanierungskonzepte geht. Da in vielen Fällen aus ökonomischen Gründen eine

umfassende Sanierung nicht möglich ist, sollte bei geförderten Sanierungsmaßnahmen die Erstellung eines Gesamtsanierungskonzepts zu Beginn der Planungsarbeiten verpflichtend eingeführt werden. Damit könnten auch mit schrittweise durchgeführten Sanierungsmaßnahmen langfristig adäquate sowie bau- und energetisch effiziente umfassende Sanierungen sichergestellt werden. Nachdem diese Gesamtsanierungskonzepte einen

langfristigen volkswirtschaftlichen Nutzen haben und die Qualität in der Umsetzung

sicherstellen, sollten diese als erster Schritt gesondert gefördert werden.

Totalsanierung Breitenfurter Straße 42, Wien, 2014



Das Wohnhaus wurde 1928 vom Architekten Leopold Schumm am Schnittpunkt zweier stark frequentierter Straßen und vis-à-vis eines kleinen Parks errichtet. Um die Jahrtausendwende war das Gebäude dringend sanierungsbedürftig und stand mit Ausnahme der Geschäfte in der Erdgeschoßzone leer. 2008 entschied sich Wiener Wohnen mit diesem Haus zum ersten Mal ein Gebäude auf Niedrigstenergiestandard zu sanieren. Im Zuge der Sanierung konnte der Heizwärmebedarf des Gebäudes auf 1/10 reduziert werden.

BAUJAHR 1928

BAUHERR Stadt Wien / Wiener Wohnen

PLANUNG Treberspurg & Partner ZT GmbH

UMFANG 9 Wohneinheiten, 2 Geschäftslokale

ENERGIEKENNZAHL (OIB)

alt: 204 kWh/(m²a),

neu: 22 kWh/(m²a); Reduktion: 90%

Bild Treberspurg & Partner Architekten ZT Ges.m.b.H

Umnutzung bei Sanierung

Anreizsysteme für Umnutzung im Rahmen der Sanierung bilden einen weiteren wesentlichen Aspekt in diesem Kontext. So könnten z.B. Gebäude, die für eine Wohnnutzung gewidmet sind, im Rahmen einer umfassenden Sanierung einen Teil der Nutzfläche (z.B. die Erdgeschoßzonen) für kommerzielle Zwecke nutzen, um damit eine Kofinanzierung von Sanierungskosten zu erzielen.

Legistische Rahmenbedingungen

Zu beachten sind jedoch bei Sanierungen vor allem die legistischen Rahmenbedingungen, die eine breite Anwendung oftmals erschweren. Hier sind neue Lösungsansätze (Mietrecht, Wohnungseigentumsrecht etc.) gefragt.

Netzanbindung

In der Netzanbindung ist die sukzessive

Vorbereitung und Anpassung des Gebäudebestands in Richtung Smart Buildings von Bedeutung. Die Ansteuerung der Gebäude, um Lastverschiebungen zu ermöglichen ist ein wesentlicher Schritt, um auf Quartiers- oder Stadtebene energetische Optimierungspotential auszuschöpfen. Damit kann z.B. thermische Abwärme aus gekühlten Bürogebäuden über die Smart Thermal Grids als Unterstützung der Wärmebereitstellung für Wohngebäude genutzt werden. Auch wenn die Nachrüstung bestehender Gebäude auf Grund von restriktiven Rahmenbedingungen (z.B. Ensemble- oder Denkmalschutz) nicht die gleichen Möglichkeiten wie neu zu errichtende Gebäude erlauben, sollte dennoch mit Minimalanforderungen eine Anbindung an die Energienetze als Voraussetzung jeder Sanierung gestellt werden.

Sanierung Wohnhochhaus Kajetan-Swethi-Straße 54, Innsbruck, 2012



In diesem Wohnhochhaus wurden im Rahmen der Sanierung die Loggien thermisch geschlossen und in erweiterte Wohnräume und Wintergärten umgewandelt. Alle Fenster wurden ausgetauscht und sind durch Holz-Alu-Fenster mit 3-Scheibenverglasung ersetzt worden. Die Spezialkonstruktion des Außenwandaufbaues der VÖEST wurde mit 16 cm Mineralwolle zusätzlich gedämmt, Windpapier und 4 cm Hinterlüftung sowie 4 mm Alucopond-Paneele kompletieren den Fassadenaufbau.

BAUJAHR 1976

BAUHERR Innsbrucker Immobilien Service GmbH

PLANUNG Gsottbauer architektur.werkstatt, Innsbruck

UMFANG 84 Wohneinheiten

ENERGIEKENNZAHL (OIB)

alt 77 kWh/(m²a)

neu 20 kWh/(m²a); Reduktion: 74%

Bilder Gsottbauer architektur.werkstatt

ETHOUSE Award - Der Preis für energieeffiziente Sanierungen



Der ETHOUSE Award zeichnet die besten unter den guten Sanierungen aus: Projekte, die das Thema Wärmeschutz um neue Ideen und innovatives Denken erweitern. Er würdigt Gebäudesanierungen, die eine kreative, auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Herangehensweise an das Thema Energieeffizienz im Wesentlichen mit Wärmedämmverbundsystemen unter Beweis stellen. Bewertungskriterien sind ebenso die Qualität in der Ausführung, der Umgang mit dem Altbestand und die architektonische Umsetzung. Für diesen Preis kann in den drei Kategorien öffentliche und gewerbliche Bauten sowie Wohnbau, inklusive privater Wohnbau, eingereicht werden.

Seit dem Beginn des Wettbewerbes hat sich die Qualität der eingereichten Projekte graduell verbessert, obwohl ambitionierte und weniger ambitionierte Projekte eingereicht worden sind. Der durchschnittliche Heizwärmebedarf aller Projekte nach der Sanierung betrug 32 kWh/(m²a) und bei den Preisträgern sogar 28 kWh/(m²a).

2.3 Neu errichtete Gebäude

Der Neubau sollte die drei Säulen der Smart Buildings der Zukunft erfüllen:

- Höchste Energieeffizienz (Niedrigstenergiegebäude, Passivhäuser)
- Einbindung von erneuerbaren Energiesystemen, sowie

- Lastverschiebungspotentiale im Gebäude bewerkstelligen

Smart Buildings

Die ersten beiden Anforderungen sind bereits in der EPBD abgedeckt und werden sukzessive verschärft. In einer weiteren Revision der EPBD wird die Erfassung der

Lastverschiebung im Gebäudebereich diskutiert. Um eine Einspeisung von Energie in die Netze zu ermöglichen ist eine bidirektionale Ansteuerung (Gebäude zum Netz / Netz zum Gebäude) essentiell.

Passiv-Wohnhausanlage, Kaisermühlenstraße 22-24, Wien, 2014



Die Passivhauswohnhausanlage stellt ein Vorzeigeprojekt in Bezug auf die Reduzierung von CO₂-Emissionen dar. Zentrales Element ist die kontrollierte, mechanische Wohnraumlüftung mit semizentralen Lüftungsgeräten und hocheffizienter Wärmerückgewinnung (mind.85%) für alle Wohnungen. Zur Deckung des Restwärmebedarfes der Raumheizung und der Gebrauchswarmwasserbereitung wird die Fernwärme genutzt. Am Dach der Objekte wurde eine Photovoltaikanlage zur Eigennutzung und zur Einspeisung von Strom ins Netz von Wienstrom errichtet.

BAUJAHR	2014
BAUHERR	BWS Gruppe
PLANUNG	Treberspurg & Partner ZT GmbH
UMFANG	264 Wohneinheiten, Büro+ Geschäftsflächen
ENERGIEKENNZAHL (OIB)	13 kWh/(m ² a)
Bild	Lukas Schaller

Lebenszyklus

Die Betrachtung des Gebäudes im gesamten Lebenszyklus (Errichtung / Betrieb / Entsorgung) stellt einen wesentlichen Schritt in Richtung effizienter Nutzung von Ressourcen dar. Die Deklaration von Baustoffen im Rahmen der EPD bildet gemeinsam mit der Abbildung der Life Cycle Assessments (LCA) und der Life Cycle Costs (LCC) weitere relevante Kenngrößen ab, um die Nachhaltigkeit von Baustoffen und Bauwerken zu bewerten. Anreizsysteme sollten nur über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes und dessen Lebenszykluskosten erfolgen. In diesem Kontext sind auch die Ressourcenoptimierung sowie die ökologische Kreislaufwirtschaft

(Upcycling / Downcycling) zu nennen.

Bioökonomie

Ziel ist es fossile Rohstoffe in den Gebäuden nachhaltig zu ersetzen und damit die Transformation von erdölbasierten Ressourcen zu nachwachsenden Rohstoffen zu erreichen. Ressourceneffizienz ist demnach nicht nur im Betrieb des Gebäudes relevant, sondern auch in der Herstellung (siehe Lebenszyklus).

Building Information Modeling

Building Information Modeling (BIM) sollte einen wesentlichen Aspekt des Planungsprozesses darstellen. Durch die umfassende Datenerfassung und Auswertung, die über den gesamten Lebenszyklus eines

Gebäudes gehen kann, können auch Potentiale im Bereich der Energieeffizienz adäquat und transparent abgebildet werden. Der Energiebedarf wird z.B. im BIM mitsimuliert. Im Betrieb wird der Energieverbrauch kontinuierlich dem Energie-

bedarf gegenübergestellt (Echtzeit-Monitoring, Vergleichs-Monitoring) um Schwankungen zu optimieren und Fehlerquellen zu vermeiden.

Passiv-Wohnhausanlage Young Corner, Leystraße 157+159, Wien, 2011



Das Passivhaus am Nordbahnhofgelände punktet energietechnisch mit einem kompakten Baukörper und baulichen Maßnahmen zur Reduzierung der Wärmebrücken. Der rechnerische Heizwärmebedarf liegt daher bei nur 6 kWh/(m²a) (OIB). Das Haustechnik-System basiert auf einer semizentralen, kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung. Der effektive Wärmebereitstellungsgrad der Lüftungsanlage beträgt 80%, die Zuluft wird mit mindestens 18°C in die Wohnungen eingeblasen. Jeder Aufenthaltsraum verfügt über einen kleinen Heizkörper, womit eine individuelle Raumtemperatur erzielt werden kann.

BAUJAHR 2011

BAUHERR Kallco Bauträger GmbH

PLANUNG Treberspurg & Partner ZT GmbH

UMFANG 61 Wohnungen, 50 Heimzimmer, 19 Kleinbüros, 1 Kindergarten

ENERGIEKENNZAHL (OIB)
) 6 kWh/(m²a)

Bild Roman Grüner

2.4 Innovative Nutzungskonzepte

Für Gebäude zeichnen sich neue Nutzungskonzepte ab, die auch Auswirkungen auf deren Bedarf an Energie haben werden.

Flexible Funktionalität

Nutzungsfunktionen, die nur temporär festgelegt sind, sowie Flexibilität in der Planung spielen eine relevante Rolle in der

langfristigen Nutzung von Gebäuden.

Wohnungsgrößen werden weiter reduziert (z.B. „Smarte Wohnungen“ des Wohnfonds Wien) und tragen mit kompakten Grundrissen und der Nutzung von Gemeinschaftsbereichen dazu bei, dass der pro-Kopf Wohnraum trotz steigender Einzelhaushalte nicht signifikant erhöht wird, was wiederum positiv zur Energiebilanz beiträgt. Dies ist insofern relevant als die prognostizierte Zahl der Haushalte von 2017 bis 2050 um rund 14% zunehmen könnten, die Zahl der Einpersonenhaushal-

te aber um 22%.

Dabei sind auch flexible Modelle zum „Wohnen über Generationen“ (Vergrößerung und Verkleinerung der Wohnungsgrößen) gefordert. Der Aging Community in den nächsten 20 – 50 Jahren muss vor allem mit einer altersgerechten Architektur begegnet werden. Eine adäquate Gestaltung der baulichen Umwelt kann Einschränkungen im Bereich der Gesundheit und der physischen Funktionalitäten teilweise unterstützen. Innenraumkomfort durch hoch-effiziente Gebäude sowie eine nachträgliche Adaptierung der Grundrisse bewirken, dass Menschen länger komfortabel in ihren eigenen Wohnungen leben können. Die Smart Buildings werden durch ihre Konnektivität auch zusätzliche Aufgaben im Bereich des Ambient Assisted Living (AAL) übernehmen können.

Sharing

Die Sharing Community hat sich in den letzten Jahren etabliert. Teilen statt kaufen gilt damit auch für private und öffentliche (Gebäude)flächen. Die Grenze zwischen privater Fläche / semi-privater Fläche und geteiltem Raum wird in Zukunft fließender. In den Mobilitätsangeboten ist dies bereits besonders stark zu erkennen. Der Einfluss der Sharing Community wird sich auch in den Gebäuden widerspiegeln, Wohnsituationen werden (langsam) aber auch entsprechend angepasst. Nutzungen von Gebäuden sollten in diesem Kontext auch in bestimmten Bereichen nach Bedarf abgerufen werden können. Dies ist wiederum ein Faktor, der im Bereich der prädiktiven und nutzungsabhängigen Regelung von Gebäuden (Räume werden z.B. erst dann konditioniert, wenn eine Nutzung bevorsteht) einen Einfluss auf die Gesamtenergieeffizienz hat.

2.5 Gebäude als aktive Komponenten im Energiesystem

Durch die stetige Weiterentwicklung von erneuerbaren Energietechnologien haben sich in den letzten Jahren neue Rollen für Gebäude bei der Bereitstellung von Energie eröffnet.

Gebäude werden in die Bereitstellung von Energie integriert

Vor allem im Bereich der Photovoltaik (PV) bieten sich neue Bereiche in der Gebäudeintegration an. Weiße und farbige PV als auch Nanomaterialien sowie eine Erhöhung der Effizienz und Reduktion der Kosten machen eine architektonisch adäquate Einbindung immer leichter. Nanomaterialien, die in Zukunft auf diverseste Materialien und Schichten aufgebracht werden können, werden maßgeblich dazu beitragen, dass die gesamte Gebäudehülle

le und damit das Potential der bereits verbauten Umwelt effizient zur Energiegewinnung genutzt werden kann.

Gebäude als Energiespeicher

Gebäude können in Zukunft aktive Komponenten im Energiesystem sein. Sie können als Energiespeicher fungieren und Lastverschiebungen auf Ebene des Gebäudes und des Quartiers / der Stadt erlauben.

Lastverschiebungspotential

Die Gebäude werden nach ihrem Lastverschiebungspotential über die Zeit bewertet, d.h. Lastverschiebung im Sekundenbereich, Stunden / Tagesbereich bis hin zu saisonaler Lastverschiebung sollten ebenso wie die Energieeffizienz für jedes Gebäude bestimmt werden können.

Dafür werden in Zukunft auf Geschäftsmodelle benötigt, die eine adaptive Preisgestaltung und „Non-Business“ Lösungen für private Energieversorger ermöglichen.

2.6 Die Rolle der Gebäude in den Energienetzen

Die für Gebäude relevanten Energienetze werden einerseits den zunehmend dezentraleren Strukturen und andererseits der bi-direktionalen Nutzung anzupassen sein.

Kommunikation

Die Kommunikation zwischen Netzbetreiber und Verbraucher wird in Zukunft zunehmend flächendeckend bi-direktional er-

folgen. Die Einbindung von multiplen Datenquellen zur (energetischen) Optimierung des Gesamtsystems sollte auf unterschiedlichen Hierarchieebenen (Gebäude / Quartier / Stadt) über prädiktive Regelungen die z.B. Wetter, Verkehrslage, Raumbelastung, Energiepreise, etc. berücksichtigen, erfolgen. Der Abgleich und die Ansteuerung der (Gebäude)Systeme sollte über intelligente Informations- und Kommunikationslösungen und Gebäudemanagement –Schnittstellen umgesetzt werden.

Building to Grid Wohnanlage, Rosa-Hoffmann-Straße, Salzburg, 2013



BAUJAHR 2013
BAUHERR Salzburger Siedlungswerk,
Lebenswelt Wohnen,
Ing. W. Steiner Baugesellschaft
PLANUNG Thalmeier Architektur ZT GmbH
UMFANG 129 Wohneinheiten
ENERGIEKENNZAHLE (OIB): HWB 32 kWh/(m²a)
Bild Christof Reich

Ein Leuchtturmprojekt mit zukunftsweisenden Ausprägungen sowohl aus sozialer als auch energietechnischer Perspektive: Gelebte Nachbarschaft, sozialer Zusammenhalt und das Erleben von Generationenbeziehungen gekoppelt mit einem zukunftsweisenden Energiekonzept. Die Smart Homes sind mit einem intelligenten Energiemanagementsystem ausgestattet, das Energieerzeugung und -verbrauch optimiert und Speichertechnologien effizient nutzt. Durch das Zusammenspiel von Elektromobilität, Photovoltaik und einem Blockheizkraftwerk können Energieverbrauch und Energieerzeugung bei höchstem Innenraumkomfort ständig optimal aufeinander abgestimmt werden. Building to Grid – die bidirektionale Anbindung und Kommunikation zwischen Gebäude und Netz – gewährleistet damit einerseits die effiziente Energieversorgung der Verbraucher und unterstützt andererseits die effiziente Netzauslastung.

Elektrische Netze

Smart Grids, die flexibel auf Lastspitzen reagieren und erneuerbare Energie einspeisen können, bestimmen die Zukunft des elektrischen Energiesystems. Flexibilisierung des Systems statt Netzausbau stehen dabei im Vordergrund.

Die zunehmende Elektrifizierung des Energiesystems bedingt multi-sektorale (Mobili-

tät, Gebäude, Industrie) und bi-direktionale Anknüpfungen (Energieverbraucher sind zugleich Energieproduzenten).

Thermische Netze

Die sukzessive Erhöhung der Energieeffizienz in Gebäuden, sowie die Einspeisung von erneuerbaren Energietechnologien in die Energienetze erfordert auch eine An-

passung der thermischen Netze.

In der Energiestrategie der Europäischen Kommission wird der Bedarf an hoch-effizienten Wärme- und Kältenetzen für das zukünftige Energiesystem betont. Die thermischen Netze der 4. Generation erlauben es sowohl zentrale als auch dezentrale Wärme- oder Kältequellen in das System zu integrieren. Dies inkludiert auch die direkte Einspeisung von im Gebäude generierter thermischer Energie in das Netz. Die Smart Thermal Grids stellen damit auf unterschiedlichen Temperaturebenen ein Netzwerk für die nächste Generation von Gebäuden zur Verfügung.

Gasnetze

Bestehende Gasnetze und Gasspeicher können für Power to Gas (P2G) aus erneuerbaren Energiequellen (Wind, Photovoltaik) gemeinsam mit Biomasse und Biogas genutzt werden. Die erneuerbare elektrische Energie, die klimatisch bedingt jah-

reszeitlich stark unterschiedlich ist, könnte damit auf Vorrat gespeichert werden. Bei einer entsprechenden Erhöhung der Wirkungsgrade kann durch das Überangebot im Sommerhalbjahr hier eine saisonale Speicherung für das Winterhalbjahr erzielt werden.

Anergienetze

Niedrigtemperaturnetze die (sonst nicht nutzbare) Umgebungs- und Abwärme von einer Wärmequelle zu einer Wärmesenke transportieren, können in Zukunft durch ihre relativ hohe Effizienz (geringe Verluste durch niedrige Temperaturen zwischen 8°C und 20°C) als kostengünstige Verteilnetze fungieren. Mit Hilfe von Wärmepumpen können in der Folge Gebäude mit einem Niedrigtemperaturbedarf (z.B. Passivhäuser, Niedrigstenergie-Gebäude) effizient versorgt werden.

2.7 Verknüpfung von Gebäuden und Mobilität

Bei einer zu erwartenden zunehmenden Dezentralisierung der Energiesysteme ist eine enge Integration von Gebäuden mit Mobilität naheliegend.

Verknüpfung mit Gebäuden

Die Mobilität der Zukunft ist elektrisch und stark mit dem Gebäude verknüpft. eCars oder eBikes fungieren auch als Energiespeicher im (Gebäude-)Energiesystem. Ladesysteme agieren intelligent und laden z.B. dann, wenn im Netz Überschuss-Energie zur Verfügung steht.

Regionale und überregionale (elektrische) Lastverschiebungspotentiale werden mit den lokalen e-Mobilitätsangeboten abgeglichen (Nutzung der Speicherfunktionen im Energiesystem).

Brennstoffzellen und die damit verbundene Speicherung von elektrischer Energie in Wasserstoff sind ebenso denkbare Entwicklungsoptionen.

Sharing

Mobilitätslösungen der Zukunft bauen auf dem Sharing und dem On-Demand Prinzip auf, d.h. Mobilität sollte nur dann zur Verfügung stehen, wenn der Bedarf unmittelbar gegeben ist.

Planung

Öffentliche und halb-öffentliche Mobilitätsangebote sollten mit den stadt- und raumplanerischen Zielen abgeglichen werden. Einheitliche Planungsziele in Energie-, Mobilitäts-, Stadt- und Raumplanung sind relevant, um z.B. Stadtentwicklungsgebiete adäquat mit nachhaltigen Mobilitätslösungen zu versorgen.

Logistik

Innerhalb der urbanen Infrastruktur werden in Zukunft zusätzliche Transportsysteme wie z.B. Drohnen oder neue Systeme im Bereich der Rohrpost entwickelt, die auch eine Auswirkung auf die Gebäudekonstruktion und Infrastruktur haben werden. Dies sollte in zukünftige Planungsaspekte miteinbezogen werden.

Die Etiketle „Smart“

Die Etiketle „Smart“ wird oft im Zusammenhang mit Gebäuden verwendet. Dazu deshalb einige Erklärungen.

Smart Buildings

Ein intelligentes Gebäude („Smart Building“) bietet für seine Bewohner höchste Lebensqualität bei minimalem Ressourcenverbrauch indem es Energieeffizienzmaßnahmen ausschöpft und intelligent interne und externe Gebäudesysteme und Infrastruktur auf verschiedenen Hierarchieebenen (Gebäudesystem, Gebäude, Quartier) miteinander vernetzt.

Smart Cities

Eine intelligente Stadt („Smart City“) bietet

für seine Bewohner höchste Lebensqualität bei minimalem Ressourcenverbrauch indem sie intelligent urbane Infrastruktur (Energienetze, Mobilität, Industrie, Kommunikation, Gebäude) auf verschiedenen Hierarchieebenen (Gebäudesystem, Gebäude, Quartier) miteinander vernetzt .

Smart Grids

Ein intelligentes Netz („Smart Grid“) bietet höchste Netzstabilität mit dem Ziel eines minimalen Ressourcenverbrauchs indem es intelligentes Lastmanagement durch aktive Kommunikation zwischen zentraler und dezentraler Energieerzeugung, Speicher, Konsumenten und dem Markt ermöglicht.

3 Verschränkte Mobilität statt isolierte Verkehrsträger

Mobilität gilt als ein Grundbedürfnis des Menschen und als ein zentraler Motor unseres Wirtschaftssystems. Mobilität ermöglicht den Zugang zu Personen, Gütern, Dienstleistungen und Orten für viele Zwecke, wie Arbeit, Bildung, Erholung und Versorgung. Dazu nutzen wir derzeit vor allem leistungsfähige Verkehrsträger. Aber diese Systeme sind nicht nachhaltig. Verkehr verbraucht große Mengen an Rohstoffen und Energie, ist wenig effizient und verursacht hohe Kosten: ökologisch, ökonomisch und sozial.

Mobilität wird daher in Zukunft anders zu gestalten sein und anders realisiert werden als heute. Die Digitalisierung wird den virtuellen Zugang zu Personen, Gütern, Dienstleistungen und Orten wesentlich vereinfachen. Elektrifizierung, Automatisierung, Systemintegration und Sharing könnten das derzeitige Verkehrssystem in relativ kurzer Zeit weitreichend verändern. Und nicht zuletzt wirken die sich abzeichnenden Veränderungen in Lebensstil und Wirtschaftsweise ebenso unmittelbar auf den Mobilitätsbedarf wie die Veränderungen unseren physischen Lebens- und Wirtschaftsräume.

3.1 Mobilität ist mehr als Verkehr

Ein vertieftes Verständnis des Energiesystems betont, dass Mobilität (viel) mehr ist als Verkehr.

Mobilität ist der Zugang zu Personen, Gütern, Dienstleistungen und Orten und zwar sowohl real in einem geographischen Raum als auch virtuell.

Verkehr ist nur eine Möglichkeit, Mobilität zu ermöglichen. So kann man mit irgendeinem Verkehrsmittel ins Museum fahren, was eine Verkehrsdienstleistung erfordert, oder die Objekte mit einer Virtual Reality Brille betrachten, also virtuell mobil sein. Zum Einkommenserwerb kann man eine Stunde mit dem Auto zur Arbeitsstätte fahren, um auf Daten und Informationen zugreifen zu können und mit KollegInnen zu kommunizieren, oder man kann sich dafür vom Heimarbeitsplatz ins Firmennetzwerk einloggen.

Entstanden ist die Verkehrsdominanz durch die immer stärkere räumliche Trennung und Entmischung der verschiedenen Funk-

tionen wie Versorgung, Ausbildung, Arbeit, Kultur, Erholung und Sozialkontakte und durch die globalisierte Güterproduktion. Ermöglicht wurde das wiederum durch den (immer höheren) Einsatz technischer Verkehrsmittel, Infrastrukturen (stocks) und (fossiler) Energie (flow). Insbesondere der motorisierten Straßenverkehr dominierte die Entwicklung der letzten hundert Jahre. Für Kraftfahrzeuge aller Art wurde und wird die Straßeninfrastruktur massiv ausgebaut. Da umgekehrt die gebaute Verkehrsinfrastruktur ganz wesentlich die Verkehrsmittelwahl beeinflusst, dominieren Kraftfahrzeuge sowohl in Personen- als auch im Güterverkehr.

Der motorisierte Straßenverkehr, der seit 1990 um 40% angestiegen ist, hat bei weitem den größten Anteil an der Verkehrsleistung im Personenverkehr. Der Güterverkehr hat sich in diesem Zeitraum verdoppelt.

Der Fokus bei Veränderungen lag und liegt auf der Optimierung des Verkehrssystems: beispielsweise durch effizientere und emissionsarme Verkehrsmittel, durch Beeinflussung der Verkehrsmittelwahl oder durch

Verkehrssteuerung. Hier bieten die Elektromobilität, autonome Fahrzeuge, Sharing von Fahrzeugen und Transportdienstleistungen und integrierte Mobilität künftig ein sehr hohes disruptives Potenzial, um die energetische Produktivität des Verkehrssektors stark zu erhöhen, das heißt, mit wesentlich weniger Energieeinsatz die ge-

wünschten Funktionalitäten zu realisieren. Die künftige Gestaltung von und die Nachfrage nach Mobilität ist eng verschränkt mit der Transformation in allen anderen Bereichen unseres Gesellschafts- und Wirtschaftssystems. Und diese könnte rascher erfolgen, als dies derzeit voraussehbar ist.

3.2 Inversion – der Mobilitätsbedarf im Fokus

Im Sinne der Inversion gilt es zuerst festzustellen, wie sich künftig der Bedarf an Mobilität als Zugang zu Personen, Gütern, Dienstleistungen und Orten verändern wird. Wesentliche Einflussfaktoren sind hier unter anderem sozioökonomische Entwicklungen, gesamtgesellschaftliche Trends, vorhandene und künftige Infrastrukturen, Technologien mit disruptiven Potenzial aus dem Bereich Mobilität aber auch aus anderen Bereichen.

Viele potenzielle Veränderungen sind bereits deutlich erkennbar und im Gange. Über die vielfältigen und komplexen Wechselwirkungen wissen wir aus System-sicht noch wenig. Ebenso wenig sind deren Ausmaß, Geschwindigkeit und Dauerhaftigkeit verlässlich prognostizierbar. Die künftige Entwicklung ist jedoch in hohem Ausmaß durch bewusst gewählte Strategien und Interventionen gestaltbar.

Einflussfaktoren auf den künftigen Mobilitätsbedarf

Die nachfolgenden Trends und Entwicklungen wirken potenziell auf den künftigen Mobilitätsbedarf und die entsprechenden Funktionalitäten im Personen- und Güterverkehr. Parallel dazu ändern sich auch die Nutzungsmuster und werden langfristig zu einem geänderten Mobilitätsverhalten führen.

Bevölkerungswachstum und Urbanisierung

Aufgrund starker Migrationsströme wächst die Bevölkerung in Österreich laufend, Prognosen für 2050 rechnen mit 9,8 bis 10,5 Millionen Einwohner. Den bei weitem

höchsten Zuwachs zeigen die Prognosen in und um die großen Städte, allen voran der Ostregion mit Wien im Zentrum. Schon 2022 könnte die Bevölkerung in Wien die Zwei-Millionen-Marke überschreiten, trotz des weiterhin anhaltenden Trends der Abwanderung von BewohnerInnen in das Umland („Suburbanisierung“). In der Wiener Metropolregion könnten laut Prognosen bis 2030 zusätzlich 700.000 Personen leben. Ähnliches gilt für die anderen urbanen Zentren. In den letzten Jahren zeigt sich auch eine zunehmende Reurbanisierung, der Zuzug bzw. die Rückkehr in die (Kern)Stadt. Gründe sind das stark verbesserte Image der Städte, veränderte Arbeitswelten und Lebenssituationen, Stadt-sanierungen, Ausbau des öffentlichen Verkehrsnetzes und dem Zurückdrängen des Autos insbesondere im dichten, innerstädtischen Bereich.

Bevölkerungswachstum bedeutet grundsätzlich, dass es mehr Personen gibt, die mobil sein wollen. Allerdings muss das nicht zwangsläufig zu einem erhöhten Verkehrsaufkommen führen. Der Großteil der österreichischen Bevölkerung wird künftig in Regionen mit hoher Bevölkerungsdichte leben. Hier können Siedlungsstrukturen mit einer attraktiven Funktionsmischung („Stadt der kurzen Wege“) von Wohnen, Ausbildung, Arbeiten, Einkaufen und Freizeit relativ rasch realisiert werden, wodurch sich der Mobilitätsbedarf deutlich verändert. In urbanen Räumen können durch neue Konzepte wie „Urban Production und Manufacturing“ Bevölkerungswachstum und Arbeitsplatzangebot zusammengeführt werden. Hier ist zudem ein dichtes und vielfältiges Angebot an öffentlich verfügbaren Verkehrsmitteln ökonomisch machbar ist. Das gilt eingeschränkt auch für das suburbane Umland

der großen Städte. Ein vielfältiges Verkehrsangebot der Umlandgemeinden wird

über die künftige Attraktivität entscheiden.

Sozioökonomische Trends und Entwicklungen	Mögliche Effekte	Einfluss auf benötigte Funktionalitäten	↑↓
Bevölkerungswachstum	Mehr Menschen brauchen mehr Funktionalitäten	Mehr Wege	↑
	Konsumwachstum	Mehr Einkaufs- und Güterverkehr	↑
Urbanisierung	Urbane Siedlungsstrukturen mit funktionaler Durchmischung, Stadt der kurzen Wege	Weniger und kürzere Wege für Alltagszwecke	↓
	Neue „saubere“ Technologien ermöglichen Produktionsstandorte in der Stadt	Weniger PendlerInnenverkehr, kürzere Wege	↓
	Angebotsausdünnung in ländlichen Gebieten in Folge von Abwanderung	Längere Wegedistanzen	↑
Neue Formen der Arbeitsorganisation	Flexible Arbeitsverhältnisse: Selbständig, Teilzeit, Jobhopping	Mehr Arbeitsverhältnisse benötigen mehr Arbeitswege	↑
	Zusammenarbeit in der Cloud, Online Kommunikation, Ferndiagnose- und steuerung von Anlagen	Weniger physische Arbeits- und Dienstwege, virtuelle ersetzt physische Mobilität	↓
Digitalisierung, Automatisierung und neue Produktionstechnologien	Online-Shopping	Weniger private Einkaufswege, mehr Lieferverkehr	↑↓
	3D-Druck ermöglicht Produktion nach Bedarf, flexibel, vor Ort in kleineren Einheiten, reduziert die Lagerhaltung und Ersatzteillogistik massiv	Weniger Gütertransporte	↓
	Re-Regionalisierung der Produktion	Kürzere Wegedistanzen, weniger Güterverteilung	↓
	Urbane Produktion	Kürzere Arbeitswege, Lieferlogistik	↓

In ländlichen Regionen verringern Bevölkerungsrückgänge und Schrumpfungprozesse die dortigen Funktionsangebote und

können zusätzlichen Verkehrsbedarf generieren, um in die städtischen Gebiete zu pendeln. Mit sinkender EinwohnerInnen-

zahl verringert sich die Auslastung und Rentabilität von klassischen öffentlichen Verkehrsangeboten.

Neue Formen der Arbeitsorganisation

Der schon seit längerer Zeit stattfindende Wandel von der Industrie- zur Dienstleistungsgesellschaft kombiniert mit der beginnenden umfassenden Digitalisierung wird Veränderungen in der Arbeitswelt mit Auswirkungen auf den Mobilitätsbedarf führen, wie neue räumliche und zeitliche Arbeitsrythmen, Prekarisierung, Flexibilisierung, Erosion des „Normalarbeitsverhältnisses“. Der Anteil der Selbstständigen, der flexibel oder Teilzeitbeschäftigten und der Job-Hopper könnte stark steigen. Das könnte den Verkehrsbedarf steigern, um zu verschiedenen Arbeitsplätzen und Kunden zu gelangen.

Gleichzeitig ermöglicht die Digitalisierung und Vernetzung den virtuellen Zugang zu Personen, aber auch zu Produktionsanlagen (Ferndiagnostik und Steuerung) auch ohne Ortsveränderung. Das flexible, ortsungebundene Arbeiten, etwa von zu Hause aus, hat großes Potenzial.

Veränderte Arbeitsverhältnisse können zu längeren Arbeitswegzeiten, einem höheren PendlerInnenaufkommen und damit einem höheren Verkehrsbedarf führen. Andererseits können virtuelle Mobilitätsangebote (Cloud-Lösungen, Fernzugriff, Online-Kommunikation und Konferenzen etc.) den physischen Mobilitätsbedarf stark verringern. Das gilt auch, wenn durch entsprechende raumplanerische Maßnahmen Arbeit, Freizeit und Wohnen mittelfristig wieder enger zusammenrücken (Funktionsmischung).

Digitalisierung, Automatisierung und neue Produktionstechnologien

Es zeichnet sich ab, dass Digitalisierung, Vernetzung und Robotik alle Lebens-, Arbeits- und Wirtschaftsbereiche durchdringen und diese zum Teil fundamental verändern wird. Die Digitalisierung befördert beispielsweise neue Formen der Arbeitsorganisation und verändert das Einkaufsverhalten („Online-Shopping“).

Neue Produktionstechnologien wie der 3D-

Druck und der Einsatz von Robotik ermöglichen eine vollautomatisierte Produktion on-demand vor Ort. Das könnte beispielsweise die gesamte Ersatzteillogistik völlig verändern. Dezentrale kleine Verkaufseinheiten mit geringem Flächenbedarf produzieren nach Bedarf statt der Bereithaltung in großen zentralen Verteilzentren.

Neue Technologien, Automatisierung und Robotik ermöglichen eine Rückkehr der Produktion aus Billiglohnländern nach Europa und Österreich bis hin zu neuen Fertigungsstätten in der Stadt (Urbane Produktion).

Die Reregionalisierung der Produktion wird gestützt durch den allgemeinen Trend zur Regionalität. Dieser zeigt sich unter anderem in neuen Konsummustern, die regionale Produkte bevorzugen, was wiederum die Rückkehr zu regionalisierten Wirtschaftskreisläufen unterstützt.

All das hat entsprechenden Auswirkungen auf die benötigten Transportleistungen sowohl im Güter- als auch im Personenverkehr. Die Digitalisierung verändert und verlagert sowohl den Mobilitätsbedarf als auch die Gestaltung und Realisierung von Mobilität. Smartphone und mobiles Internet sind auch für Mobilität mittlerweile breit verfügbare Schlüsseltechnologien, als Informationsmedium und als Zugangswerkzeug für ein breites Verkehrsangebot und für die Entwicklung vielfältiger neuer Angebote. Das Smartphone ist aber auch mobiler und damit immer verfügbarer Zugang für virtuelle Mobilitätsangebote, die den Verkehrsbedarf reduzieren können.

Veränderungen in den Lebensstilen

Individualisierung

Traditionelle Rollenvorgaben, Traditionen und Bindungen verlieren an Bedeutung für Verhalten prägende Strukturen. Die Individualisierung führt beispielsweise zur Differenzierung der Haushaltsformen, der entsprechenden Lebensstile und Konsummuster. Flexible statt Massenproduktion bedient individuelle Konsumwünsche.

Die Mobilitätsmuster (Zunahme „komplizierterer“ Wegeketten) und die zeitlichen Verkehrsmuster (Verschwinden von ausgeprägten Morgen- und Abendspitzen) verändern sich. Mobilitätsangebote wer-

den zunehmend bedarfsorientiert aus einer Vielzahl an „öffentlich verfügbaren“ Optionen ausgewählt (dazu gehören auch Carsharing, City-Bike, Taxi etc.). Die individuelle Verfügbarkeit ist ein wichtiges Kriterium.

Neue Akteure

Wie im Energiebereich insgesamt nutzen auch im Verkehrsbereich multinationale Unternehmen, aber auch innovative KMU und Start-ups die Chancen der Marktveränderung. Diese Unternehmen kommen immer öfter aus Bereichen außerhalb des Verkehrssektors (z.B. Google, Apple, UBER, Ola, Lyft, Tesla). Sie agieren oft anders als die bisherigen Akteure, bringen neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle und beeinflussen und verändern dadurch die Mobilitätsnachfrage.

Verändertes Mobilitätsverhalten junger Menschen

Anhand von Mobilitätsbefragungen wurden fünf Trends identifiziert, wobei diese

primär ein urbanes Phänomen darstellen:

- Abnahme des Führerscheinbesitzes,
- sinkende Pkw-Zulassungen und Pkw-Verfügbarkeit bei jungen Menschen,
- insgesamt abnehmende Pkw-Nutzung,
- zunehmend multimodales Verkehrsverhalten einhergehend mit einem Bedeutungszuwachs des öffentlichen Verkehrs,
- Erosion des Leitbilds der Automobilität vor allem bei Männern.

Diese Trends bei jungen Menschen werden auch in anderen internationalen Studien bestätigt. Ob daraus ein allgemeiner Trend im urbanen Raum wird, ist offen, aber durchaus möglich. Dafür sprechen gut ausgebauten ÖV-Netze, ein wachsendes Angebot an Verkehrsoptionen, eine wachsende Radinfrastruktur und limitierte Straßen- und Parkraumkapazitäten. Denn es gilt: (Infra-) Strukturveränderungen unterstützen Verhaltensveränderungen.

3.3 Innovation – disruptive Technologien im Verkehr

Die vier wesentlichen Innovationstreiber für die Neugestaltung des Verkehrssystems sind:

- Elektrifizierung
- Automatisierung
- Sharing
- Systemintegration

Die Bandbreite der möglichen Entwicklungen in allen diesen Bereichen ist sehr groß. Ein Beispiel: Das autonome Fahrzeug könnte ein Teil des öffentlichen Verkehrssystems werden, es könnte aber auch in weiten Teilen die Existenz des heutigen öffentlichen Nah- und Fernverkehrs in Frage stellen. Jedenfalls greifen die Entwicklungen in diesen Bereichen stark ineinander: Elektrische vollautomatische Fahrzeuge, die gemeinsam genutzt werden und voll in ein multimodales Verkehrsangebot integriert

sind.

Die Gefahr von Stranded Investments

Der Elektroantrieb ermöglicht eine weitgehende Dekarbonisierung des Verkehrsbereichs, neue Technologien und Systemintegration können die energetische Produktivität mindestens um den Faktor 3 erhöhen.

In allen Strategien für die Zukunft spielt Resilienz, die Krisenfestigkeit von Systemen, eine wichtige Rolle. Dazu gehört, sich rasch an veränderte Umweltbedingungen anpassen zu können. Infrastruktur-Investitionen, die auf der derzeitigen Systemlogik basieren, können die Resilienz beeinträchtigen, die Systemtransformation behindern und auch leicht zu „stranded investments“ werden. Wie schnell manche Veränderungen vor sich gehen, illustrieren die legendären Bilder von der Easter Parade in New York.

Easter morning 1900: 5th Ave, New York City. Spot the automobile. **Spot Easter morning 1913: 5th Ave, New York City. Spot the horse.**



Source: US National Archives.



Source: George Grantham Bain Collection.

Sharing - Nutzen statt besitzen

Gemessen an der generierten Wertschöpfung spielt die sogenannte „Sharing-Economy“ noch eine untergeordnete Rolle. Erkennbar ist jedoch ein gesellschaftlicher Trend wonach besitzen an Bedeutung verliert, nutzen und teilen aber wichtiger werden.

In der Mobilität war das klassische Auto-Teilen (Car-Sharing) der Anfang. Das Angebot von standortunabhängigen („free-floating“) Car-Sharing durch potente etablierte Anbieter hat das Wachstum stark befördert. In Wien ist hat sich die NutzerInnen-Zahl zwischen 2010 und 2015 auf 100.000 verzehnfacht. In Europa ist Car-Sharing zwischen 2010 und 2013 um 40 Prozent pro Jahr gewachsen, in Deutschland gab es Ende 2016 1,7 Millionen Car-Sharing Kunden. Neben großen kommerziellen Anbietern wie Car2go und DriveNow gibt viele kleine Anbieter und private Initiativen (peer-to-peer sharing) mit verschiedenartigen neuen Sharing-Konzepten:

- Elektronische Fahrtenvermittlung („e-hailing“) wie UBER, Lyft, die Fahrer und Passagiere zusammenbringt.
- „Ride-Sharing“, also die gemeinsame Nutzung eines Taxis, macht die Fahrt um 50 bis 60 Prozent billiger.
- Privates Carsharing („peer-to-peer“), bei dem das eigene Auto über eine Online-Plattform vermittelt wird.
- Car-Pooling a la BlaBlaCar, die elektroni-

sche, grenzüberschreitende neue Form der bekannten Mitfahrbörse.

- Parkplatz-Sharing, private Parkplätze etwa im Zentrum, die tagsüber nicht benötigt werden, werden an Personen vermietet, die dort einkaufen.
- Bike-Sharing mit verteilten Verleih- und Rückgabestationen. Citybike Wien hat mittlerweile 121 Stationen mit 3.115 Boxen aufgestellt. Mit den 1.500 Rädern wurden über eine Million Fahrten absolviert.
- Cargo-Sharing. Privatpersonen stellen anderen auf Privatfahrten Transportraum zur Verfügung, um Waren zu transportieren, die zum Beispiel online bestellt wurden. Vermittelt wird über Online-Plattformen. Ähnliches gibt es auch für freie LKW-Kapazitäten im kommerziellen Bereich.

Möglich wurden und werden all diese Angebote durch Smartphone, Internet und Online Kommunikation, mit dem Angebot und Nachfrage vernetzt werden, Echtzeit-Information bereitgestellt wird und alle Transaktionen bis zur Bezahlung abgewickelt werden.

Mittlerweile werden auch Elektrofahrzeuge für Car-Sharing eingesetzt (siehe Elektrofahrzeuge für den Personenverkehr, Seite 31), deren Nutzen sich hier durch die intensive Verwendung deutlich erhöht.

In den nächsten Jahren wird auch das autonome Fahren Carsharing signifikant beeinflussen. Zunächst werden Autos selbstständig in Parkhäuser einparken, später

autonom zum Kunden vordringen. Anbieter wie car2go haben sich schon jetzt das Wissen angeeignet, wann wo genau welcher Mobilitätsbedarf in Städten besteht – eine Voraussetzung, um autonome Car-sharing-Flotten in Zukunft noch effizienter zu steuern. Das hat nicht nur positive Folgen für den Nutzer, sondern auch für die Städte: Weil die Auslastung pro Fahrzeug erhöht wird, werden mit autonomen Car-sharing-Fahrzeugen im Vergleich zu heute nur noch die Hälfte der Flottengrößen notwendig sein, um den gleichen Bedarf zu decken.

Möglicher Nutzen Sharing-Angebote:

- Bessere Ressourcennutzung durch intensivere Nutzung von Fahrzeugen
- Weniger Fahrzeuge notwendig – Flächengewinne
- Fahrerlose Fahrzeuge können die notwendigen Carsharing-Flotten halbieren
- Höhere Besetzungsgrade der Fahrzeuge bei „Ride-Sharing“
- Fördert die multimodale Verkehrsmittelwahl nach Bedarf und reduziert individuelle Autofahrten

Systemintegration - Integrierte Mobilität

Neben der Entwicklung der Einzeltechnologien entscheidet deren Systemintegration, inwieweit deren Nutzen-Potenziale für die Gestaltung des künftigen Mobilitätssystems

genutzt werden können. Ziel wäre die Integration zu einem vielfältigen multimodalen Verkehrsangebot, das nahtlos verknüpft und einfach zugänglich ist.

Die NutzerInnen können bedarfsorientiert aus einer Vielzahl öffentlich verfügbarer und eigener Verkehrsmittel wählen und sie zu individuellen Transportketten kombinieren. Die Herausforderung liegt in den möglichst nahtlosen Verknüpfungen der verschiedenen Verkehrsmodi, die oft unterschiedlichen Systemlogiken und Geschäftsmodellen folgen.

Vernetzung, Digitalisierung und Online-Zugang haben auch hier eine zentrale Hebelwirkung. Digitale Mobilitäts-Plattformen verknüpfen die verschiedenen Anbieter und ihre Software-Systeme und kombinieren diese zu individuellen Vorschlägen, die von den NutzerInnen über Smartphone-Apps jederzeit und überall genutzt werden können. Bestellung, Reservierung und Bezahlung erfolgt ebenfalls direkt über die Smartphone-App. Eine solche integrierte Mobilitätsplattform wurde im Forschungsprojekt SMILE für Österreich entwickelt.

Möglicher Nutzen der Systemintegration

- Effizientere Verkehrsmittelwahl
- Verstärkte Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel
- Neue öffentlich verfügbare Mobilitätsangebote ersetzen private

3.4 Integration – Verkehr als Teil des Energiesystems

Elektrizität wird künftig als der dominierende Energieträger gesehen, der die Sektorkopplung der verschiedenen Teile des Energiesystems wesentlich erleichtert. Elektrisch angetriebene Fahrzeuge würden gleichzeitig eine rasche Umstellung auf erneuerbare Energieträger und eine weitreichende Integration in ein dezentral organisiertes solares Niedrigst-Energiesystem ermöglichen. Über vernetzte, steuerbare Ladestellen können Fahrzeugbatterien als

Flexibilitäten (Laden und Speichern) im Stromnetz für den Ausgleich der Fluktuation erneuerbarer Energieerzeugung genutzt und die benötigten Ladeleistungen netzverträglich gesteuert werden.

Das Angebot von standortunabhängigen („free-floating“) Car-Sharing durch potente etablierte Anbieter hat das Wachstum stark befördert. In Wien ist die NutzerInnen-Zahl zwischen 2010 und 2015 auf 100.000 verzehnfacht. Ansonsten sind hohe dysfunktionale Lastspitzen sehr wahrscheinlich.

4 Exkurs: Elektrofahrzeuge

Seit dem Siegeszug des Verbrennungsmotors über den Elektroantrieb der ersten Generation von Automobilen vor über hundert Jahren haben sich elektrisch angetriebene Transport- und Verkehrsmittel nur im öffentlichen Fern- und Nahverkehr (Zug, Straßenbahn, U-Bahn, O-Busse) behaupten können. Die weltweite Autoflotte von über einer Milliarde Fahrzeuge wird dagegen fast ausschließlich von Benzin und Diesel angetrieben, mit entsprechendem CO₂ Ausstoß. Dessen geplante Reduzierung im Kampf gegen den Klimawandel hat aber dazu geführt, dass Elektrofahrzeuge in den letzten Jahren stark an Aufmerksamkeit gewonnen haben. Verglichen mit der Gesamtzahl an PKW sind eine Million Elektro-PKW, die derzeit weltweit zugelassen sind, ein verschwindend geringer Anteil. Aber die Zahl steigt ebenso rasch an wie die Akzeptanz bei KundInnen und Herstellern

4.1 Die Driver für Elektromobilität

Drei Themen sind für die weitere Marktentwicklung in der Elektromobilität entscheidend:

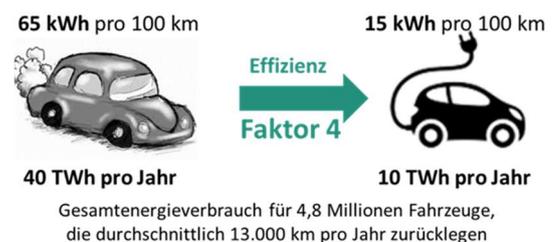
- die Speicher-/Batterietechnologie
- die Ladeinfrastruktur
- die Akzeptanz durch die NutzerInnen

Darüber hinaus sind die regulatorischen, ökonomischen und organisatorischen Rahmenbedingungen wichtig, die bei entsprechender Gestaltung eine raschere Diffusion von Elektrofahrzeugen unterstützen können, beispielsweise die Benutzung von Busspuren, exklusive Zufahrtsgenehmigung bzw. die Ausnahme von Fahrverboten, Befreiung von Park- und Mautgebühren, Steuerentfall und Förderungen. Niedrige CO₂-Grenzwertvorgaben beschleunigen den Umstieg auf Elektrofahrzeuge, je nachdem, welche Fortschritte bei den konventionellen Antrieben erzielt werden.

Durch die höhere Effizienz (90 - 95 Prozent) und die Energierückgewinnung sind Elektroantriebe im Endenergieverbrauch wesentlich energieeffizienter als Verbrennungsmotore (20 Prozent Effizienz). Im Betrieb emittieren sie keine Schadstoffe und bei niedrigen Geschwindigkeiten sind sie wesentlich leiser. Die Treibhausgasbilanz wird durch den Energiemix in der Stromer-

zeugung bestimmt.

Abbildung 4-1: Energieeffizienz von Elektrofahrzeugen



4.2 Elektrofahrzeuge für den Personenverkehr

Rund 10.000 batterieelektrische Autos (Battery Electric Vehicle BEV) sind im März 2017 in Österreich zugelassen. Im Vergleich zu den insgesamt 4,8 Millionen PKW ist das noch eine sehr geringe Zahl. Setzt sich aber das exponentielle Wachstum in den Zulassungszahlen fort, könnte der Anteil der BEV schnell deutlich zunehmen. 2016 stieg der Anteil bei den Neuzulassungen von 0,9 (2015) auf 1,5 Prozent, im Vorreiterland Norwegen liegt der Anteil bei rund 30 Prozent, in den Niederlanden bei knapp 10 Prozent. Beide Länder überlegen, ab 2025 nur noch rein elektrische Neuwagen zu erlauben. Die größten Märkte in absoluten Zahlen sind derzeit die USA und China (2016 über 500.000 Neuzulassungen).

Exemplarisch für die rasche Entwicklung in den letzten Jahren steht der US-Elektroautobauer Tesla Motors. Wurden 2015 rund 50.000 Tesla gebaut, waren es ein Jahr später bereits 100.000 Stück. Für den neuen kleinen Tesla 3 gibt es rund 400.000 Vorbestellungen, die Produktion startet 2017. Das gesamte Fertigungsvolumen von Tesla soll im Laufe des Jahres 2018 bereits bei 500 000 Fahrzeugen liegen. Vorreiter unter den etablierten Autobauern ist Nissan-Renault. Nissan hat bis Dezember 2016 weltweit über 250.000 Leafs ausgeliefert. Es ist damit das meistverkaufte Elektroauto weltweit. Vom Renault Zoe wurden mittlerweile über 50.000 Stück verkauft. Von den deutschen OEMs hat bislang nur BMW mit dem i3 ein eigenes Elektroauto auf den Markt gebracht. Mittlerweile sind viele Automobilhersteller auf die Elektromobilität eingeschwenkt. Beim Daimler-Konzern stehen die Werke Bremen und Sindelfingen vor dem Umbruch Richtung Elektroauto. VW peilt für 2025 einen Absatz von 2 bis 3 Millionen BEV an, der geplante Marktanteil soll bei 20 bis 25 Prozent liegen. VW repositioniert sich zudem und will sich vom Autobauer zum Mobilitätsanbieter wandeln. Im Bereich Taxis und Carsharing kommen vermehrt Elektrofahrzeuge zum Einsatz. Das

Car-Sharing Unternehmen von Daimler „car2go“ setzt in Stuttgart, Amsterdam und Madrid insgesamt 1.300 elektrische smart fortwo ein. „autolib“ in Paris betreibt mittlerweile 3.000 „bluecar“ Elektrofahrzeuge und hat mit Unterstützung der Stadt 4.500 Ladesäulen errichtet, die auch von Privaten gegen Entgelt genutzt werden können. DriveNow und einige andere, vor allem kleine private Carsharer haben Elektroautos in ihrer Flotte. Taxi Electric in den Niederlanden ist das erste reine e-Taxiunternehmen, das den Amsterdamer Flughafen Schiphol bedient, der nur mehr mit e-Taxis angefahren werden darf. Die London Taxi Company hat ein neues Werk in Coventry eröffnet, das jährlich 5.000 Elektro „Black Cabs“ produzieren soll.

Elektrobusse kommen zumindest teilweise in mehreren europäischen Städten, in Österreich beispielsweise in Wien und Graz, im Nahverkehr zum Einsatz. Der bei weitem größte Markt ist China mit über 115.000 verkauften Elektrobussen 2016. Verschiedene Systeme für eine einfache und schnelle Aufladung werden getestet, darunter Induktionsschleifen bei den Haltestellen und Kondensatoren als Speicher. Es zeichnet sich auch hier eine rasche Massentauglichkeit ab.

4.3 Elektrofahrzeuge im Güterverkehr

Der Schwerpunkt der Elektrifizierung im Güterverkehr liegt zuerst in der Stadtlogistik. In Wien sollen Wirtschaftsverkehre mit Quelle und Ziel innerhalb des Stadtgebietes bis 2030 weitgehend CO₂-frei abgewickelt werden. Amsterdam will dieses Ziel bereits 2025 erreichen. Die dortige Stadtverwaltung schätzt, dass bis zu 30 Prozent aller Transportfahrten auf Fahrräder und kleine E-Mobile umgestellt werden könnten.

Die deutsche Post hat mit dem Streetscooter einen eigenen Kleintransporter entwickelt, der bis zu 80 km/h schnell ist und 50 bis 80 Kilometer weit fahren kann. Rund 2.000 davon hat die Post bereits im Einsatz.

Mittelfristig sollen bis zu 70.000 Fahrzeuge für den Markt produziert werden. Bei der Österreichischen Post sind bereits über 1.300 Elektrofahrzeuge in Betrieb, davon ein Viertel Autos, der Rest Mopeds und e-Bikes.

MAN (VW-Gruppe) in Steyr hat mit der Vorserien-Produktion von e-LKW begonnen, die ab Herbst 2017 von Handelsfirmen in der Lieferlogistik getestet werden. Der Bund fördert das 10 Millionen Projekt mit rund 3 Mio. €. Ab 2021 soll die Serienproduktion beginnen.

Im LKW-Fernverkehr werden derzeit verschiedene Konzepte getestet. Auf einem kurzen Autobahnabschnitt nördlich von Stockholm wurde ein Oberleitungssystem eingerichtet in das sich Diesel-Hybrid-LKW einklinken können.

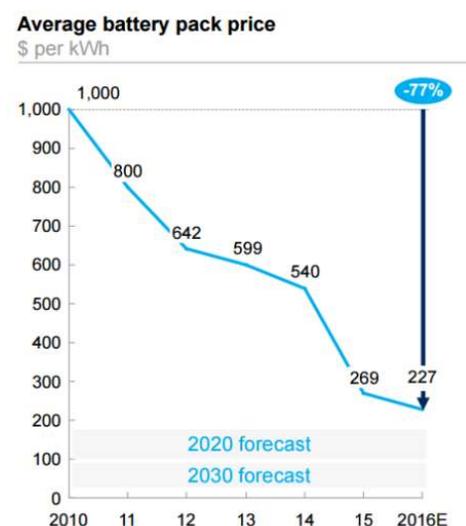
4.4 Die Schlüsselrolle der Batteriespeicher

Der Batteriespeicher definiert die Reichweite von Elektrofahrzeugen und ist der bedeutendste Kostenfaktor in der Herstellung.

Die Kosten für die Batteriepakete (besteht aus Batteriezellen, Kühlsystem, Batteriemanagement und Gehäuse) sind von \$ 1.000 pro Kilowattstunde im Jahr 2010 auf \$ 227 (Mittelwert der größten Hersteller) Ende 2016 gesunken. Laut dem US Institute for Energy Research kostet das Tesla Batteriepaket derzeit \$ 190 pro kWh.

Die Kosten der Batterie machen rund ein Drittel der Gesamtkosten eines elektrisch betriebenen Fahrzeuges aus. Allgemein gilt, dass mit einem Batteriepreis von \$ 100 pro kWh Elektroantriebe mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren bei den Nutzungskosten gleichziehen können. Erwartet wird dieses Preisniveau zwischen 2020 und 2030. Ab dann sollten die weltweiten Verkaufszahlen von E-Fahrzeugen drastisch ansteigen.

Abbildung 4-2: Der Kostenverfall für elektrische Speicher



Etwas langsamer als beim Preis ist die Entwicklung bei der Energiedichte der Batterien. 2012 lag Sie bei 86 Wattstunden pro

Kilogramm, 2015 bei 94 Wh/kg. Die größere Batterie des neuen Renault Zoe schafft bereits 131 Wh/kg, das technische Potenzial der Lithium-Ionen Technologie geht bis zu 300 Wh/kg.

Technologisch zeichnen sich weitere Durchbrüche ab, die die Entwicklung zusätzlich beschleunigen könnten. Beispielsweise hat 3M eigenen Angaben zufolge ein Material entwickelt, das die Speicherkapazität von Lithium-Ionen-Batterien um bis zu 40 Prozent steigern könnte. Samsung präsentierte bei der Detroit Auto Show eine neue Batterie mit bis zu 600 Kilometer Reichweite. Die Schnellladung soll in 20 Minuten möglich sein, die Ladung auf 80% in einer kurzen Kaffeepause. Samsung arbeitet auch an einer höheren Speicherdichte der Zellen, was Gewicht spart. Die österreichische Firma Kreisel hat ein neues Kühlsystem und Batterie-Design entwickelt, das hohe Energiedichten und eine kompakte Bauweise ermöglicht.

Der Skaleneffekt führt ebenfalls zu einer starken Kostenreduktion. Tesla hat fünf Milliarden Dollar in die weltgrößte Batteriefabrik in Reno im US-Bundesstaat Nevada investiert, Derzeit läuft bereits die Suche nach dem Standort für die Gigafactory 2, vornehmlich in Europa. Auch der Volkswagen-Konzern will zehn Milliarden Euro in den Bau einer eigenen Batteriefabrik für Elektromobilität stecken und strebt Technologieführerschaft an.

Derzeit werden die Kostenreduktion und die höheren Energiedichten genutzt, um die Reichweite zu erhöhen. In den neuen Modellen von Nissan, Renault und GM/Opel kommen statt 25 kWh Batterien nun 40 bis 60 kWh Batterien zum Einsatz (entspricht 280 bis 380 km Reichweite nach WLTP-Zyklus), die auch mit höherer Leistung aufgeladen werden können. Die „Reichweiten-Angst“ ist ein wesentlicher psychologischer Hemmschuh bei den Kunden, obwohl in Österreich vier von zehn Autofahrten an Werktagen kürzer als fünf Kilometer, acht von zehn kürzer als 20 Kilometer sind. 95 Prozent der alltäglichen Autofahrten sind kürzer als 50 Kilometer, also leicht innerhalb der Reichweite aktueller E-Fahrzeugbatterien.

Vom Entwicklungsschub bei den Batterien,

der durch die Elektroautos ausgelöst wurde, profitieren auch die Angebote für dezentrale Speicherlösung, die sich ebenfalls deutlich verbilligen. Zudem können alte

Autobatterien weiter genutzt werden. Nissan bietet alte Auto-Akkus bereits als Heimspeicher an.

Technologien für Elektromobilität aus Österreich



Die oberösterreichische Firma Kreisel Electric hat sich innerhalb kurzer Zeit im Batteriebereich einen Namen gemacht. Durch eine spezielle Fertigungstechnik soll die spezifische Montagezeit pro kWh von 2 Minuten auf 30 Sekunden sinken. Kreisel Batteriezellen basieren auf Lithium-Ionen Akkus, haben aber eine sehr hohe Energiedichte von 4,1 kg/kWh und 1,95 dm³/kWh, sind daher sehr leicht und kompakt. Durch die Anordnung und Umman- telung wird jede Zelle mit einer nicht leitfähigen Flüssigkeit umspült, wodurch diese effizient gekühlt oder beheizt werden. Ladezeiten werden dadurch verkürzt und die Lebensdauer erhöht.

4.5 Ladeinfrastruktur

Von zentraler Bedeutung für die Nutzung von E-Fahrzeugen ist der Aufbau der Ladeinfrastruktur. Wesentliche Parameter sind hier die Verfügbarkeit und die Ladedauer. Ladestellen werden je nach Aufstellungsort unterschieden in private und öffentliche Ladestellen und in Abhängigkeit von der Leistung in Normal- und Schnellladestellen (über 22 Kilowatt Leistung, Gleichstrom). Eine Ladestelle kann mehrere Ladepunkte umfassen. Die Anzahl der Ladepunkte gibt an, wie viele Fahrzeuge gleichzeitig an der Ladestelle aufgeladen werden können.

E-Fahrzeugen werden in erster Linie am Parkplatz am Wohnort, am zweithäufigsten am Arbeitsplatz an privaten Ladestellen aufgeladen. Hier kann das Fahrzeug während der Nacht oder der Arbeitszeit lange am Stromnetz angeschlossen sein. Organisatorisch und technisch sind Ladepunkte im Einfamilienhaus einfach zu realisieren, in den Garagen von Mehrfamilienhäusern fehlt die entsprechende Stromversorgung meist noch. Zudem gibt es derzeit noch

rechtlich-organisatorische Hürden. Einige Bauordnungen schreiben mittlerweile vor, dass bei Neubauten zumindest eine entsprechende Leerverrohung vorzusehen ist. Die Ladeleistung privater Ladepunkte liegt zwischen 2,4 und 22 Kilowatt, die technische Realisierung reicht von der einfachen Schukosteckdose bis zur vernetzten, steuerbaren Wandladestation. Wird eine Ladestelle von mehreren BewohnerInnen genutzt, muss diese über ein elektronisches Abrechnungssystem verfügen. Entsprechende Wallboxen sind am Markt verfügbar, ebenso wie Dienstleister, die die Abrechnung übernehmen.

Für eine optimale Einbindung ins Energiesystem ist die Steuerbarkeit der Ladestelle je nach Lastsituation im Netz wichtig. Um künftig das Potenzial von Elektroautos als Energiespeicher zu nutzen, ist es umgekehrt notwendig, dass diese möglichst ans Netz angeschlossen sind, wenn sie nicht genutzt werden. Das kann fast nur mit privaten Ladepunkten (Wohnort, Arbeitsplatz) realisiert werden.

4.6 Technologische Perspektiven

Derzeit im Fokus steht die Erhöhung der Ladeleistung bei den Schnell-Ladestationen. Standard ist derzeit 50 Kilowatt Gleichstrom, bei Tesla 120 kW. 2017 werden sowohl Fahrzeuge als auch Ladestellen mit 150 kW verfügbar sein. Erste Anlagen von Ultra-Fast-Chargern mit 350 kW sind in Planung. Wie schnell sie sich als Standard etablieren, hängt neben der Finanzierung auch davon ab, wie rasch die entsprechende elektrische Architektur im Fahrzeug realisiert wird und wie die Energieversorger die benötigten Ladeleistungen bereitstellen können.

Noch im Entwicklungsstadium befindet sich kabelloses, induktives Laden über magnetische Spulen im Boden. Derzeit sind Ladeleistungen von 3,4 bis 7 kW erzielbar. Standardisierungen fehlen noch, die Bodenplatten für das induktive Laden sind aufwändig zu verlegen und damit teuer. Mit der Verbreitung autonomer Elektro-Fahrzeuge wird der Bedarf an kabellosen Ladestellen jedenfalls signifikant ansteigen. Bereits erprobt werden Induktionsschleifen in den Haltestellen von Elektrobussen.

Derzeit wenig diskutiert werden Batterie-

wechselsysteme. Pilotprojekte des israelischen Elektromobilitätspioniers Better Place waren kommerziell nicht erfolgreich. In China werden Batteriewechselsysteme für Elektrobusse erprobt bzw. waren bereits während der Olympiade im Einsatz.

Ebenfalls erst in einigen Smart-Grid Pilotprojekten erprobt ist die Einbindung von Elektrofahrzeugen als aktive Elemente im Stromnetz, einerseits um Überschuss-Strom zu speichern und andererseits um im Bedarfsfall Strom ins Netz einspeisen zu können sowie die Batterie und ihre Ladezeiten an den Lastverlauf anpassen zu können. Hier ist die Anzahl der Fahrzeuge ein wichtiger Treiber für die Entwicklung.

Die mit Wasserstoff betriebene Brennstoffzelle ist eine potenzielle Alternative zum Batteriespeicher in Fahrzeugen. Toyota und Hyundai haben erste Fahrzeuge auf den Markt gebracht, die Zulassungszahlen sind jedoch gering. Einige große Wasserstoff-Akteure bündeln ihre Aktivitäten im Hydrogen Council. Derzeit liegen die gemeinsamen F&E Investitionen bei rund 1,4 Milliarden Euro. Anwendung von Wasserstoff im künftigen solaren Niedrigst-Energiesystem zeichnet sich deutlich klarer in der stationären Anwendung ab (power-to-gas, BHKW).

5 Werkstoffe für eine Low-carbon und Low-energy Wirtschaft

Werkstoffe wurden bisher in der Diskussion um Energie und Klima eher unterschätzt. Ein besonderes Attraktivitätsfeld für Innovationen im Kontext mit Werkstoffen existiert im Bereich der für die Befriedigung von Funktionen und Dienstleistungen notwendigen Produkte und Güter erforderlichen Materialien.

5.1 Werkstoffe im Kontext von Energie und Klima

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 Eco-nomy“-Strategie.

Hier spielen neue Werkstoffe und Werkstofftechnologien mit besonderer Hebelwirkung auf Energieeffizienz aber auch für die Weiterentwicklungen bei erneuerbaren Energietechnologien (Photovoltaik, Wind, Solarthermie) und deren Marktdurchdringung eine wichtige Rolle. Ein weiterer Bereich sind Innovationen sowohl bei elektrischen als auch bei thermischen Speichern, die wiederum in integrierte Energiesysteme eingebunden werden. Auch Polymerwerkstoffe eröffnen über ihre

Kohlenwasserstoff-Basis für integrierte Ansätze regenerativer Energie/Stoff-Technologien und damit für eine „all-circular economy“ neue Möglichkeiten und Perspektiven. Diese betreffen aus erneuerbaren Energieüberschüssen gespeiste „power-to-feedstock“-Technologien (Herstellung gasförmiger oder flüssiger Kohlenwasserstoffe als chemische oder energetische Rohstoffe). Ein besonderer Vorteil dieser Technologien besteht u.a. in der Nutzbarkeit bestehender Infrastruktur (z.B. Gasnetz) für die Feedstock-Speicherung. Bei Miteinbeziehung und Bündelung existierender Kompetenzen von zum Beispiel vier der umsatzstärksten Unternehmen in Österreich wie OMV (Petrochemie-Kompetenz), voestalpine (CO₂-Emitter und Hochtemperatur-Prozesstechnik), Borealis (chemische Prozesstechnik und Katalyse) und allenfalls Verbund (Bereitstellung erneuerbarer Energie in Form von Strom), könnte Österreich eine internationale Vorreiterrolle einnehmen, mit dem klaren Ziel einer Standortstärkung für energieintensive Industriesektoren.

5.2 Die Verknüpfung von Materialien und Energie

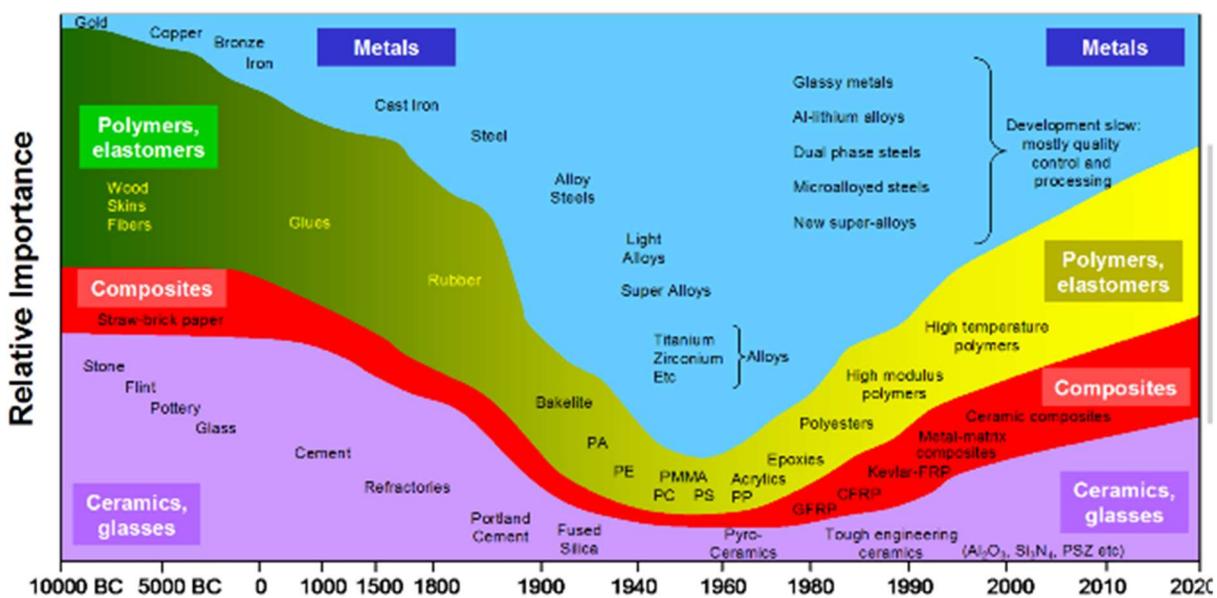
Für alle Materialklassen gilt, dass die für die Befriedigung von Funktionen und Dienstleistungen notwendigen Produkte und Güter erforderlichen Materialien immer auch eine Verknüpfung zu Energie aufweisen (Bolt et al., 2017). Dies gilt sowohl für

die Herstellung der Materialien und Produkte, deren Nutzung und Anwendung, einer allfälligen Wiederaufbereitung (Rezyklierung) oder kaskadischen Nutzung bis hin zur Entsorgung.

Bei den chemisch-synthetischen Polymerwerkstoffen („Kunststoffen“) ist das besonders offensichtlich, 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 (Öl, Gas) (Lang, 2016 und 2017a). So steht auch die erste Wachstumsphase bei synthetischen Poly-

meren im letzten Jahrhundert in engem Zusammenhang mit dem Wachstum der Nutzung fossiler Energieträger. Die Entwicklung von Kunststoffen begann zwar schon vor rund 100 Jahren, ihr industrieller Aufschwung setzte aber erst nach dem 2. Weltkrieg ein (siehe Abbildung 5-1). Mittlerweile gelten moderne Polymerwerkstoffe sowie polymerbasierende Verbund- und Hybridmaterialien als zentrale Bausteine der zivilisatorischen Entwicklung. Sie zeichnen sich zu-dem durch ihr enormes Innovationspotential, nicht zuletzt auch im Hinblick auf die Transformation des Energiesystems, aus (Lang, 2013).

Abbildung 5-1: Bedeutung unterschiedlicher Materialklassen i der zivilisatorischen Entwicklung



Quelle: Ashy (2011)

5.3 Carbon Management ist mehr als Dekarbonisierung

Bei den Werkstoffen wird sichtbar, dass es nicht einfach um Dekarbonisierung geht sondern um ein umfassendes Carbon Management

Damit stellt sich die Frage: Wieweit kann man ein Energiesystem dekarbonisieren, und welche Auswirkungen hätte dies auf Werkstoffe, insbesondere auf Kunststoffe als volumenbezogen größte, moderne

Werkstoffklasse? Ein Optimum könnte möglicherweise sein, dass wir auch im Energiesystem auf regenerative („kreislauf-fähige“) chemische Speicher zurückgreifen, die durchaus auch kohlenstoff-behaftet sein können, wie Methan oder Methanol, somit flüssig oder gasförmig.

So wie das Stoffsystem Kunststoffe in der Vergangenheit engstens verknüpft war mit dem Energiesystem fossiler Rohstoffe, wird das Stoffsystem Kunststoffe auch in der Zukunft engstens verbunden bleiben mit der Dekarbonisierung des Energiesystems. Beide Bereiche werden deshalb in ein auf

das Gesamtsystem abgestelltes Carbon Management zu integrieren sein (Lang, 2017a und 2017b). Analoge Überlegungen lassen sich auch für andere große Werkstoffklassen wie Stahl und Beton (Zement) anstellen und in Richtung einer integrativen Betrachtung aller Werkstoffklassen erweitern.

Die nächste Frage lautet: Wie können wir die hohen Stoff-Intensitäten und die hohen Energieumsatz-Intensitäten reduzieren, und zwar sowohl im Stoff- als auch im Energiebereich.

Wir haben in manchen Bereichen Restriktionen der Verfügbarkeit, der Funktionalitäten bzw. der Funktionseffizienz und der Kreislauffähigkeit, die gegebenenfalls gegeneinander abzuwägen sind. Betreffend Verfügbarkeits-Restriktionen ist bei der Biomasse beispielsweise die Flächennutzung zu nennen. Bei metallischen Rohstoffen könnten es Restriktionen im Rohstoffbereich sein. Bei Beton und Zement könnte es Grenzen bei der Verfügbarkeit von spezifischen Sandarten sein, wie erste Erfahrungen etwa in Dubai zeigen. Der hohe Sandbedarf für die vielen Bauvorhaben führt zum Verschwinden von Ufer- und Landbereichen nicht nur in den Emiraten sondern über Sandimporte auch in Süd/Ost-Asien, mit massiven Folgewirkungen.

Als wichtiger Bereich im Sinne potentieller Restriktionen für das Stoffsystem Kunststoffe wird häufig deren mangelnde (werk)stoffliche Kreislauffähigkeit angesehen. Dies betrifft einerseits die in vielen Ländern geringen Wiederverwertungsquoten von Polymerwerkstoff-Abfällen nach Gebrauch ("post-use plastics waste"), andererseits die Anreicherung von Kunststoffabfällen an Land und in Gewässern, mit mittlerweile gravierenden globalen Folgewirkungen (z.B. "marine litter"). Hier stellt sich die Frage nach adäquaten Lösungsansätzen für deren Wiederverwertung auch vor dem Hintergrund der Energie- und Stoffeffizienz in einem künftigen Energiesystem.

Zur umfassenden ökologischen Bewertung der durch werkstoffliche Produkte erbrachten Funktionen und Services gibt es mittlerweile eine Reihe von Ansätzen und Me-

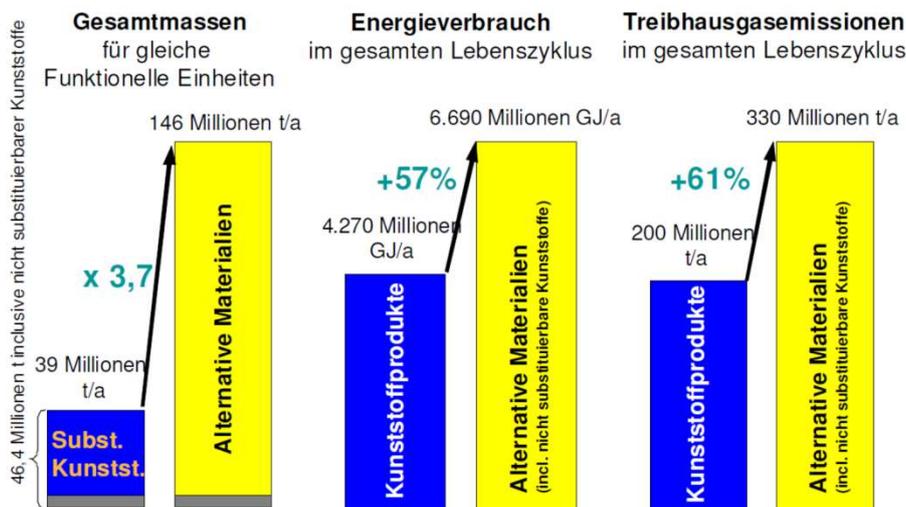
thoden für sogenannte „Lebenszyklusanalysen“ (life cycle analysis, LCA) (Asby, 2013). Diese erlauben auch quantitative Rückschlüsse bezüglich einer energetischen Bewertung von Produkten (funktionsbezogener Gesamtlebenszyklus-Energiebedarf) und der zugehörigen Treibhauswirksamkeit über CO₂-Emissionen, die eine wichtige Voraussetzung für künftige Carbon Management Strategien sind.

Von zentraler Bedeutung für die rasche Transformation des Energiesystems und künftige Carbon Management Strategien, inkl. der damit verbundenen Rolle von Werkstoffen, ist demnach das Aufspüren und Ableiten von Werkstoffanforderungsprofilen mit besonderer Hebelwirkung auf Energieeffizienz und das Marktwachstumspotential von regenerativen Energie/Stoff-Technologien (Lang, 2017a). Dies gilt natürlich generell für alle Werkstoffklassen, wobei der Wettbewerb zwischen den Werkstoffklassen zunehmend durch Aspekte der Energieeffizienz und der Kreislauffähigkeit bei gesamtsystemischer Betrachtung mitbestimmt wird.

Was die Energieeffizienz anbetrifft zeigt sich, dass Kunststoffprodukte im Vergleich zu alternativen Werkstofflösungen für äquivalente Funktionen bei umfassender Betrachtung des Produktlebenszyklus schon heute einen erheblichen Beitrag zu Energieeffizienz und zur Reduktion von CO₂-Emissionen leisten. Besondere Energieeffizienz- und damit CO₂ Reduktionspotentiale mit Kunststoffen gibt es im Bau- und Infrastrukturbereich (z.B. Wärmehaushalt von Gebäuden) sowie im Mobilitäts- und Transportbereich (z.B. Leichtbauweisen mit Kunst- und Hybridwerkstoffen).

Neue, verbesserte Werkstoffe und Werkstofftechnologien sind nicht nur im Bereich Energieeffizienz von Bedeutung, sondern spielen auch für Weiterentwicklungen bei erneuerbaren Energietechnologien (Photovoltaik, Wind, Solarthermie) und deren Marktdurchdringung eine wichtige Rolle. Ein weiterer Bereich sind Innovationen sowohl bei elektrischen als auch bei thermischen Speichern, die wiederum in integrierte Energiesysteme eingebunden werden.

Abbildung 5-2: Auswirkungen eines hypothetischen Ersatzes von Kunststoffen durch die nächstbeste technisch-ökologische Nicht-Kunststoff Werkstoffoption



Quelle: Pilz et al., 2010

5.4 Polymerwerkstoffe in einer „all-circular economy“

Polymerwerkstoffe eröffnen für integrierte Ansätze regenerativer Energie/Stoff-Technologien und damit für eine „all-circular economy“ besondere Möglichkeiten und Perspektiven.

Vor dem Hintergrund einer deutlich gesteigerten Energie- und Stoffeffizienz eines künftigen Energiesystems stellt sich für Kunststoffe aufgrund ihrer überwiegend auf Kohlenstoff/Wasserstoff/Sauerstoff (CHO) basierenden Rohstoffe einerseits die Frage nach adäquaten Lösungsansätzen für deren Wiederverwertung nach Gebrauch, andererseits die Frage nach der Herstellung neuartiger Polymere auf Basis regenerativer Ressourcen [Lang, 2017a und 2017b].

Aus energetisch-entropischer Sicht und aufgrund von Ökoeffizienz-Überlegungen ist für die sinnvolle „werkstoffliche“ Wiederverwertung von Kunststoffen nach Gebrauch ein oberer Grenzwert bei etwa 30-40% des Kunststoffabfallvolumens zu erwarten [Stein, 1998; Pilz, 2014; Lang, 2016 und 2017a]. Da die Deponie von Kunststoffabfällen als Option längerfristig ausscheidet, kommen für die Verwertung der restlichen

Polymerabfallfraktion „chemisch-rohstoffliche“ und „energetisch-thermische“ Verfahren (Verbrennung), d.h. eine kaskadische Stoff/Energie-Nutzung in Frage.

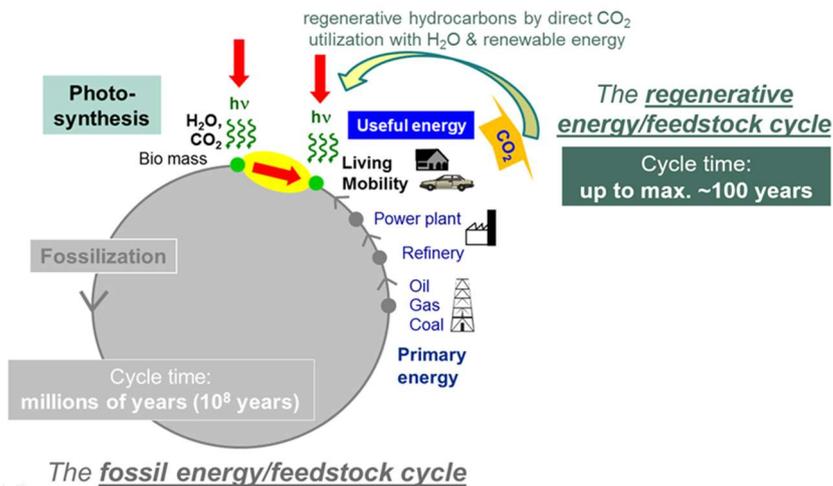
Mittlerweile existieren weltweit intensive Forschungsanstrengungen zur Nutzung von CO₂ als Baustein für unterschiedlichste organische Synthesen (Liu et al., 2015). Damit eröffnet sich eine realistische, den Leitprinzipien und Kriterien einer Nachhaltigen Entwicklung („Sustainable Development“) entsprechende Perspektive für künftig aus erneuerbaren Energieüberschüssen energetisch gespeiste „power-to-feedstock“-Technologien (Herstellung gasförmiger/flüssiger Kohlenwasserstoffe) und somit für einen vollständig regenerativen Energie/Stoff-Kreislauf für Polymerwerkstoffe („all-inclusive, full-circular economy for polymeric materials via CO₂ utilization“; siehe Abbildung 5-3). Ein besonderer Vorteil dieser Technologien besteht u.a. in der Nutzbarkeit bestehender Infrastrukturen (z.B. Gasnetz) für die Feedstock-Speicherung (Lang, 2016, 2017a und 2017b).

Auffällig an einer Orientierung in Richtung von Kreisläufen ist, dass der Kohlenstoffzyklus auch evolutionär einer der besten Kreisläufe ist. Betrachtet man den „evolutionären“ Kohlenstoffzyklus näher, dann erkennt

man ebenfalls viele Facetten der gekoppelten bzw. integrierten stofflichen und

energetischen Nutzung.

Abbildung 5-3: Kreislaufschließung durch „Carbon Management & Utilization“ in einem vollständig regenerativen Energie/Rohstoff-System mit Kohlenwasserstoffen als chemische Energiespeicher und als Rohstoff für die Chemie- und Kunststoffindustrie



Quelle: Lang, 2017b)

Was bedeutet das insgesamt für ein neues Energie/Stoff-System? Für das Stoffsystem wird ein ähnlicher Aspekt relevant, wie für das Energiesystem: Beim Energiesystem beginnen wir mit den mit Energie verbundenen Funktionalitäten und überlegen in der Folge, welche adäquaten Technologien und Primär-Energieträger sinnvoll sind. Das Gleiche kann man über die Funktio-

nen von Werkstoffen machen.

Diese Übereinstimmung in der methodischen Betrachtung und Herangehensweise erlaubt und erleichtert gleichzeitig eine integrative Behandlung von Technologien in den wesentlichen energetischen und stofflichen Dimensionen und Beschränkungen hinsichtlich Verfügbarkeit, Funktionseffizienz und Kreislauffähigkeit.

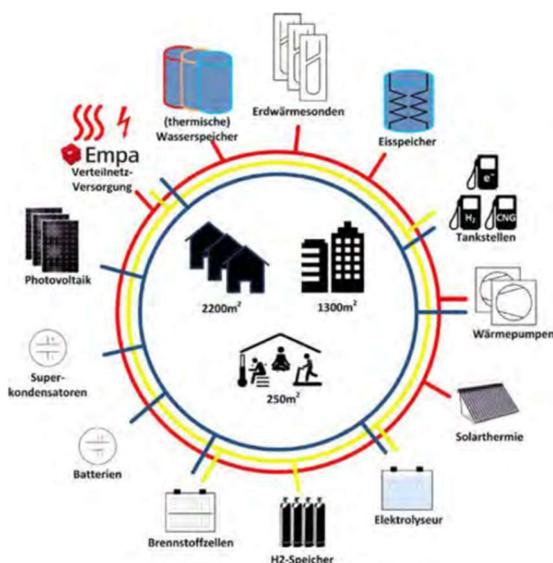
6 Integrierte Netze überwinden Sektorgrenzen und verändern die bisherigen Strukturen

Neben den disruptiven Innovationen bei allen Komponenten des Energiesystems, die Anwendung, Transformation und Bereitstellung von Primär-Energie betreffen, bekommt die Integration dieser Komponenten in neuen Netzstrukturen eine Schlüsselrolle. Damit sind auch weitreichende Konsequenzen für die bisherigen Geschäftsmodelle der in der Energiewirtschaft tätigen Unternehmungen verbunden.

6.1 Die vollständige Integration aller Komponenten

Wie sich eine Integration aller Komponenten des Energiesystems darstellt, wird aus Abbildung 6-1 ersichtlich.

Abbildung 6-1: Vollständige Integration aller Komponenten



Quelle: Schweizer Energiefachbuch (2017)

Zu erbringen sind die energetischen Funktionalitäten, nämlich die thermischen, mechanischen sowie spezifisch elektrischen Energie-Dienstleistungen für Gebäude, die teils zum Wohnen und teils für geschäftli-

che Zwecke Verwendung finden.

Neben dem tendenziell abnehmenden Bezug aus dem Verteilnetz für Elektrizität nimmt die lokale Bereitstellung von Energie über Photovoltaik und Solarthermie zu. Speicher unterschiedlicher Art für Elektrizität und Wärme werden über lokale Netze integriert. Wärmepumpen bringen thermische Energie auf das gewünschte Temperaturniveau. Über Erdwärmesonden wird zusätzliche Umgebungswärme gewonnen. Denkbar ist sogar die lokale Erzeugung von Wasserstoff aus überschüssiger Elektrizität und dessen Verwendung in Fahrzeugen.

Eine solche weitgehende Integration aller Komponenten eines Energiesystems hat zwei Motivationen. Erstens wird dadurch die energetische Produktivität der Primär-Energie bezogen auf die Funktionalitäten beachtlich erhöht. Zweitens lösen die damit verbundenen Synergieeffekte Kostenreduktionen aus. In der ökonomischen Interpretation ist das der Ersatz von Economies of Skale (Skalenerträge) durch die Gewinnung von Economies of Scope (Integrationserträge).

Die größten Hindernisse für die Restrukturierung der aktuellen Energiesysteme in Richtung einer vollständigen Integration sind die spartenorientierten Geschäftsmodelle und Barrieren beim Bau der neuen Netzstrukturen.

6.2 Wärme-Kraft-Kopplung - Die Integration von Wärme und Elektrizität

Eine hohe Priorität der Gewinnung von Synergien in Energiesystemen durch Integration von Komponenten kommt der Wärme-Kraft-Kopplung zu. Diese Wortwahl ist bewusst gewählt um zu unterstreichen, dass diese Technologie grundsätzlich nach dem Wärmebedarf dimensioniert wird. Begründet wird diese Kopplung durch die fundamentale Aussage der Thermodynamik, dass Energieträger nicht nur nach deren Wärmewert sondern auch nach deren Arbeitsfähigkeit zu beurteilen sind, womit der Begriff Exergie verbunden ist.

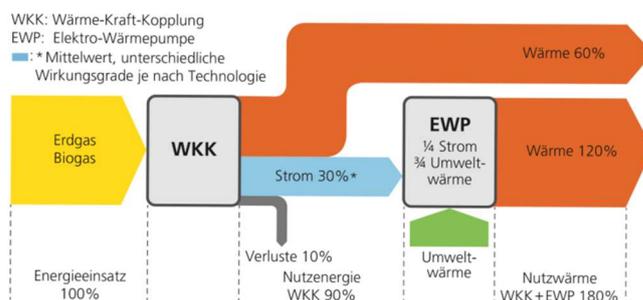
Besteht ein Interesse an einer Erhöhung der technischen Effizienz eines Energiesystems, was eigentlich unbestritten sein soll, dann sollte unbedingt auch die Arbeitsfähigkeit eines Energieträgers möglichst voll genutzt werden. Das bedeutet jedoch, dass beispielsweise die Nutzung von Gas

nur für die Bereitstellung von Niedertemperaturwärme einen Verlust bei der ebenfalls möglichen Nutzung der Arbeitsfähigkeit dieser Energie bedeutet.

Welche beachtlichen Potentiale die gemeinsame Bereitstellung von Wärme und Elektrizität beinhaltet, zeigt Abbildung 6-2. Grundsätzlich kann mit dieser Technologie die nutzbare Energie bezogen auf die eingesetzte Primär-Energie verdoppelt werden. Diese überraschende Aussage resultiert daraus, dass die Arbeitsfähigkeit der Primär-Energie verwendet wird, um Elektrizität zu erzeugen und diese wiederum über eine Wärmepumpe in der Lage ist, aus Umgebungswärme mit Niedertemperatur zusätzlich Wärme mit höherer Temperatur zu gewinnen.

Die Technologien der Wärme-Kraft-Kopplung werden auf immer kleineren Skalen verfügbar und sollten letztlich sogar in Wohnungen die Ersatztechnologie für bestehende Heizungen auf der Basis von Gas werden.

Abbildung 6-2: Wärme-Kraft-Kopplung



Quelle: Schweizer Energiefachbuch (2015)

6.3 Anergie-Netze – Die neuen thermischen Netze

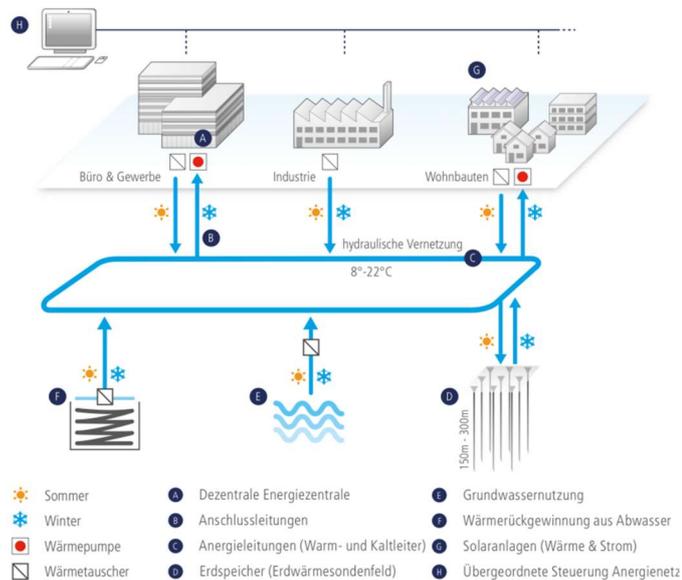
Eine relativ neue Entwicklung bei thermischen Netzen sind sogenannte Anergie-Netze. Damit wird die Nutzung von niederwertiger Energie, typischerweise Wärmeabfall etwa im Abwasser oder bei Lüftungen angesprochen.

Anergie-Netze haben im Gegensatz zu konventionellen Wärmenetzen ein niedriges Temperaturniveau, etwas im Bereich

von 12 bis 22 Grad. Für Abfallwärme, etwa aus dem Abwasser, ist dieses Netz eine Senke, d.h. diese Überschusswärme wird in das Netz eingespeist. Gibt es irgendwo im Netz einen Bedarf an höherwertiger Wärme, so wird diese über eine Wärmepumpe dem Anergie-Netz entnommen, das dann eine Quelle darstellt.

Abbildung 6-3 macht dieses Prinzip sichtbar. Solche Anergie-Netze können dann noch mit Erdspeichern verbunden werden, die dann als Saisonspeicher für Energie nutzbar sind.

Abbildung 6-3: Anergie-Netze



Quelle: Schweizer Energiefachbuch (2017)

6.4 Die neuen Strukturen bei Elektrizität

Im Bereich Elektrizität werden am deutlichsten die Konturen der neuen Netzstrukturen für die Veränderungen in den Geschäftsmodellen bei den als Energieversorgungsunternehmen (EVU) bezeichneten Firmen sichtbar.

Die Integration der Prosumer

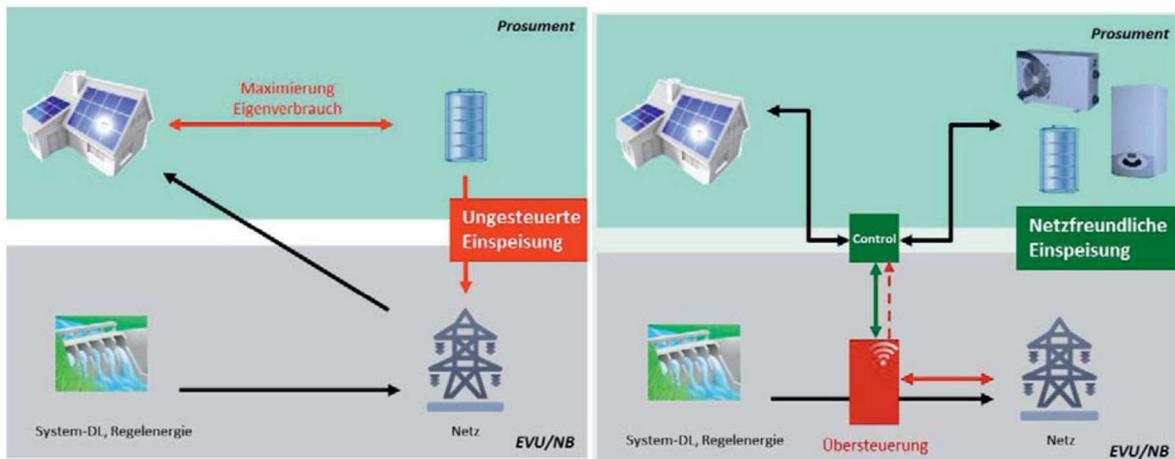
Sehr aufschlussreich ist der Umgang mit den als Prosumer bezeichneten Eigenerzeugern, die Elektrizität – meist über Photovoltaik (PV) - selbst erzeugen und diese Energie teilweise selbst verwenden und Überschüsse in die Netze einspeisen.

Die wirtschaftlichen Kriterien für diesen Split der Eigenerzeugung werden bestimmt durch die Kriterien Netzparität (grid parity) und Steckdosenparität (socket parity). Vergleichen werden dabei die Kosten der

Eigenerzeugung einerseits mit den erzielbaren Preisen im Netz und andererseits mit den Preisen des Fremdbezugs. Es stellt sich zunehmend heraus, dass gerade für PV bei richtiger Dimensionierung die Eigenverwendung der erzeugten Elektrizität attraktiver wird als der Fremdbezug und damit sich auch die Diskussion über die Einspeisung in die Netze und den dafür erwarteten Subventionen für Einspeisetarife relativieren.

Grundsätzlich sind bei der Integration der Prosumer, wie aus Abbildung 6-4 ersichtlich zwei Entwicklungsphasen feststellbar. In einem ersten Schritt findet eine ungesteuerte Einspeisung in die Netze statt. In einem weiteren Schritt reagiert aber auch der Prosumer einerseits durch Steuerung seiner Nachfrage und andererseits durch seine lokalen Speicher auf die Netzsituation und passt dementsprechend seine Einspeisung an.

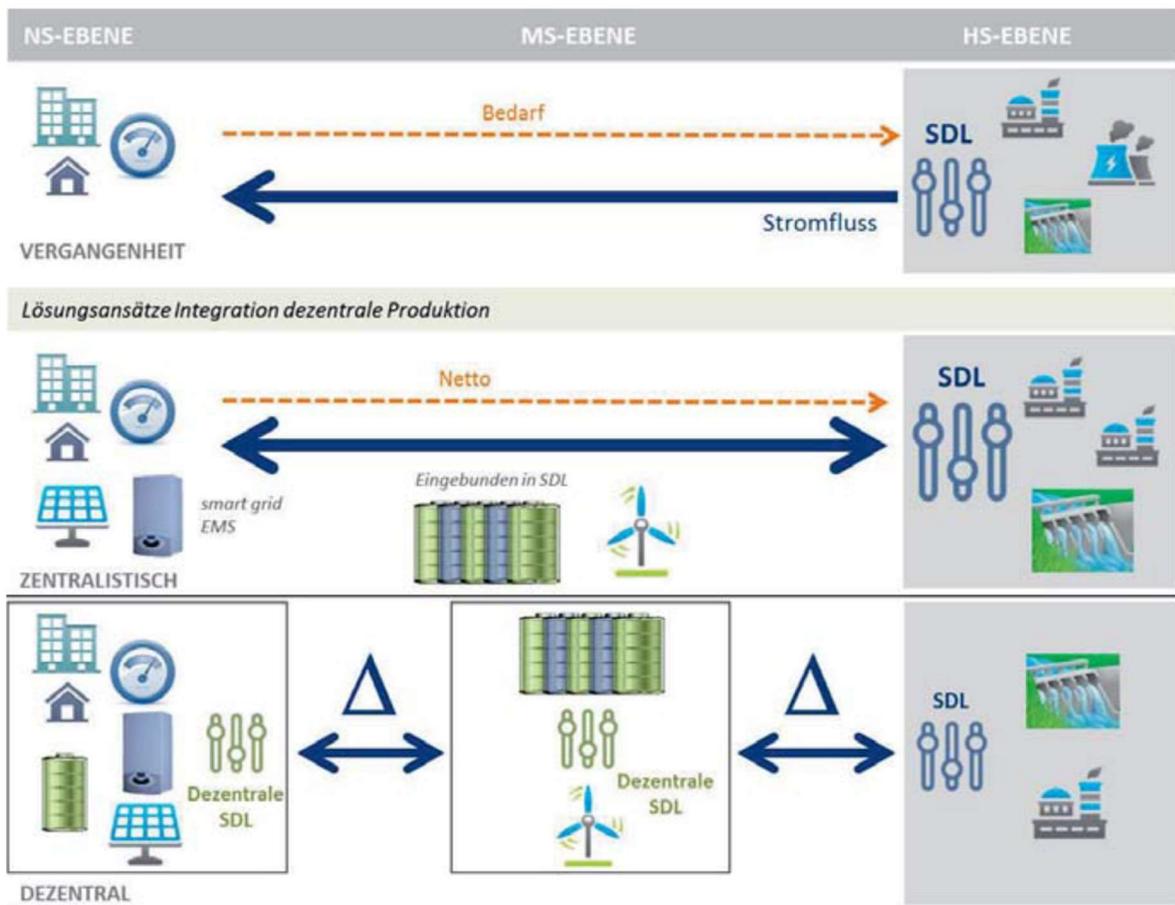
Abbildung 6-4: Die Integration der Prosumer



Quelle: Schweizer Energiefachbuch (2015)

Der Übergang zu flexiblen und dezentralen Strukturen

Abbildung 6-5: Die Integration von Bereitstellung und Bedarf



Quelle: Schweizer Energiefachbuch (2015)

Konsequenzen für die Netze für Elektrizität

Die Netz-Infrastruktur ist die Voraussetzung für das Gelingen einer integrierten Energie- und Klimastrategie: Erzeugung, Verbrauch und Netze sind als ein gemeinsames physikalisches System zu betrachten, das einer zentralen Steuerung bedarf.

Um bei einem steigenden Anteil von Erneuerbaren bei Elektrizität weiterhin ein stabiles Netz zu gewährleisten, müssen die nationale Verfügbarkeit von systemrelevanten Kraftwerken (Netzreserve) sowie der Ausbau der Übertragungsnetze sicher gestellt werden. Jedes Ausbau-Ziel der erneuerbaren Erzeugung darf daher nicht isoliert betrachtet werden. Nur wenn die Übertragungs- und auch Verteilernetze entsprechend ertüchtigt und modernisiert werden, sowie ausreichend systemrele-

vante Erzeugungsanlagen verfügbar sind, kommen die Vorteile der Erneuerbaren im Hinblick auf Versorgungssicherheit und Volkswirtschaft zum Tragen.

Wesentliche Voraussetzung für das Gelingen der Transformation des Energiesystems ist eine tragfähige Netzinfrastruktur. Es sollte das Bewusstsein dafür geschaffen werden, dass ein hohes Maß an Versorgungssicherheit, wie es in Österreich vorliegt, ausreichende Infrastrukturkapazitäten erfordert. Der Ausbau der erneuerbaren Energien reduziert zwar die bilanzielle Importabhängigkeit, führt aber auch zu erhöhtem Bedarf an Netz- und/oder Speicherkapazitäten um diese fluktuierenden Erzeugungen integrieren zu können. Daher ist es für den weiteren Ausbau der Erneuerbaren unerlässlich das Übertragungsnetz an diese Herausforderungen anzupassen..

TEIL 2: ANALYSEN

Werkzeuge und Entwürfe für künftige Strukturen des Energiesystems

Bei einer Kerze ist nicht das Wachs wichtig, sondern das Licht.
Antoine de Saint-Éxupéry

7 Design der Analyse von Entwicklungspfaden und Szenarien

Von den bereits sichtbaren und von den zu erwartenden disruptiven Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft ist in besonderem Maße das Energiesystem betroffen, für das sich viele mögliche Entwicklungspfade öffnen. Die Zukunft des Energiesystems wird somit nicht mehr eine Extrapolation der Vergangenheit sein sondern eine bewusste Wahl aus einem breiten Spektrum von möglichen Strukturen reflektieren. Nicht der Blick in den Rückspiegel sondern eine zielorientierte Steuerung sollten die mit der Nutzung von Energie verbundenen Entscheidungen prägen. Diese Einsicht hat auch einschneidende Folgen für die Analyse von Entwicklungspfaden und Szenarien.

7.1 Analysen des künftigen Energiesystems erfordern neue Werkzeuge

Mit welchen analytischen Werkzeugen sollen bzw. können disruptive Veränderungen erfasst werden, wie

- **multifunktionale Gebäude**, die Teile der Infrastruktur des Energiesystems werden,
- **verschränkte Mobilität**, die sich umfassender versteht als nur Verkehrsträger, oder
- **integrierte Netze**, die Nutzung, Bereitstellung und Speicherung von Energie integrieren?

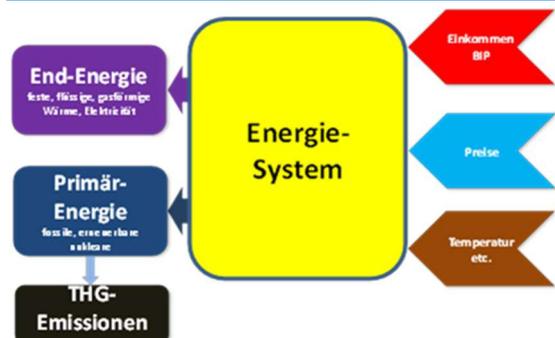
Warum diese disruptiven Veränderungen auch mindestens einen ebenso radikalen Umbau der analytischen Werkzeuge erfordern erfordert eine ausführliche Begründung.

Abschied vom konventionellen Mindset: Das Energiesystem ist keine Black Box

Bei weitem den meisten Analysen von Energiesystemen liegt ein Verständnis zugrunde, das plakativ als Black Box bezeichnet werden kann und dem, wie in Abbildung 7-1 dargestellt, folgende Annahmen zugrunde liegen:

- **Outputs** sind die Energieströme, von der Primär- bis zur End-Energie samt den damit verbundenen Emissionen.
- **Inputs** und als bestimmende Einflussgrößen dieser Outputs interpretiert sind insbesondere die wirtschaftliche Aktivität (von Produktionsmengen bis zum Brutto-Inlandsprodukt), Preise (vor allem jene von Energie in Relation zu anderen Preisen), sowie Sondereinflüsse, wie Umgebungstemperaturen.

Abbildung 7-1: Ein Mindset mit Ablaufdatum: Das Energiesystem als Black Box



Diese postulierten Zusammenhänge waren zumindest zeitweise in der Vergangenheit nachweisbar. Sie sind aber aus einer Reihe von Gründen für die absehbaren Transformationen des Energiesystems nicht mehr brauchbar:

Die meisten dieser Inputs sind für die Zeiträume bis 2030 oder gar 2050 nicht prognostizierbar

Die Erfahrung der letzten Jahre zeigt, dass nicht einmal das Brutto-Inlandsprodukt (BIP) für die nächsten Jahre abschätzbar ist. Noch schwieriger ist eine prognostische Aussage bei allen Preisen, vor allem jenen für fossile und nicht-fossile Energieträger.

Die in der Vergangenheit identifizierbaren statistischen Zusammenhänge beginnen sich aufzulösen

In allen Industriestaaten, aber auch Ländern wie China, beginnen sich die in der Vergangenheit nachweisbaren Zusammenhänge zwischen wirtschaftlicher Aktivität und Energieverbrauch zu entkoppeln. In Österreich, beispielsweise, hat seit 2005 das reale BIP bis 2015 um rund 12 Prozent zugenommen, der Energieverbrauch blieb aber annähernd konstant.

Es war immer schwierig, den Zusammenhang zwischen den Preisen für Energie und anderen Preisen auf die Nachfrage nach Energie statistisch nachzuweisen. Ein Grund liegt darin, dass vielen Endverbrauchern diese Preise gar nicht ausreichend bekannt sind, oder die für Modellanalysen verfügbaren Preisdaten von realen unternehmensspezifischen Gegebenheiten abweichen. Auch der Zusammenhang zwischen energierelevanten Investitionen, wie etwa jene für Gebäude, und aktuellen Energiepreisen ist nicht nachweisbar. Die energetische Qualität solcher Investitionen bestimmt aber maßgeblich den Energieverbrauch bei der Nutzung dieser Investitionen.

Prognostische Aussagen über das Energiesystem werden kaum mehr möglich

Mangelnde Prognostizierbarkeit der postulierten Inputs für die Black Box des Energiesystems und Entkoppelung der postulierten Zusammenhänge mit den Outputs bedingen ein Umdenken in den mit Energie verbundenen Analysen.

Betroffen sind davon nicht nur alle Versuche von prognostischen Aussagen sondern viele von der Wirtschaftspolitik oft

eingeforderte Aussagen über Wirkungen von wirtschaftspolitischen Instrumenten:

- **Der Anspruch der Prognostizierbarkeit** von Energiesystemen ist nicht mehr aufrecht zu erhalten.
- **Der Anspruch von kausalen Aussagen**, nämlich die Folgen von Änderungen in den Inputs der Black Box auf deren Outputs darstellen zu können, ist ebenfalls nicht mehr glaubwürdig.

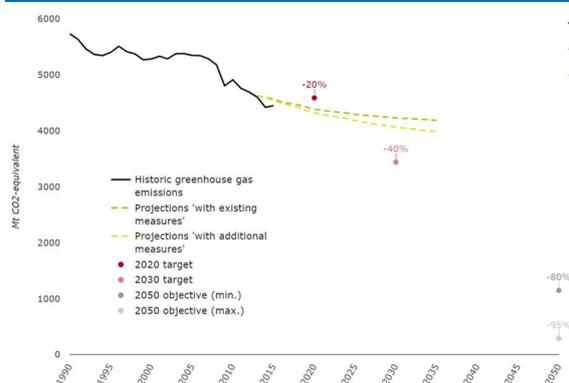
Werden diese Feststellungen über die zwei nicht erfüllbaren Ansprüche an Analysen für zukünftige Energiesysteme akzeptiert, so sind damit auch Implikationen für die damit verbundenen politischen Prozesse verbunden.

Diese Einsicht hat wiederum Folgen für viele in der Energiepolitik gestellte Fragestellungen, die vor allem die EU Energie- und Klimapolitik betreffen.

Abschied von nicht beantwortbaren Fragen über die Zukunft des Energiesystems

Für das Monitoring ihrer Energie und Klimapolitik legt die Europäische Union ein Berichtssystem zugrunde, das durch die Abbildung 7-2 visualisiert wird. Sichtbar sind darin der deutliche Rückgang der Treibhausgasemissionen seit 2005 sowie die Reduktionsziele für 2020 (minus 20 Prozent), für 2030 (mindestens minus 40 Prozent) und tentativ für 2050 (zwischen minus 80 und minus 95 Prozent), jeweils im Vergleich zu 1990.

Abbildung 7-2: Die EU-Projektionen für THG-Emissionen



Quelle: European Environment Agency (EEA) (2016).

Nach der oben geführten Argumentation stellt sich jedoch die Darstellung von Prognosepfaden „with existing measures“ (WEM) und „with additional measures“ (WAM) als prognostisch unbrauchbar, wenn nicht sogar irreführend, heraus.

Ein ähnliches und ebenso unzureichendes Mindset charakterisiert die aktuell diskutierte Governance für die Energie- und Klimaziele der EU für 2030.

Es ist verständlich, dass aus der Perspektive

der politischen Entscheidungsprozesse solche Fragen gestellt und solche Antworten erwartet werden. Es ist auch einsichtig, dass die dahinter liegenden Beschlüsse wegen der Schwerfälligkeit der Entscheidungsprozesse innerhalb der EU nicht einfach zu korrigieren sind. Das ändert aber nichts daran, dass auf solche Fragestellungen keine Antworten mehr gegeben werden sollten, weil dafür eben keine belastbaren Aussagen möglich sind.

7.2 Design von Werkzeugen zur Analyse künftiger Energiesysteme

Sind angesichts der radikalen Veränderungen und angesichts der aussichtslosen Prognoseversuche weitere Bemühungen um Aussagen über die Zukunft unserer Energiesysteme überhaupt sinnvoll?

Nachfolgend wird argumentiert, dass dies mit zwei innovativen Schritten durchaus möglich ist:

- Erstens durch **ein vertieftes Verständnis** der Energiesysteme, das gleichsam den Blick in das Innere der Black Box erfordert.
- Zweitens durch **andere Fragestellungen**,

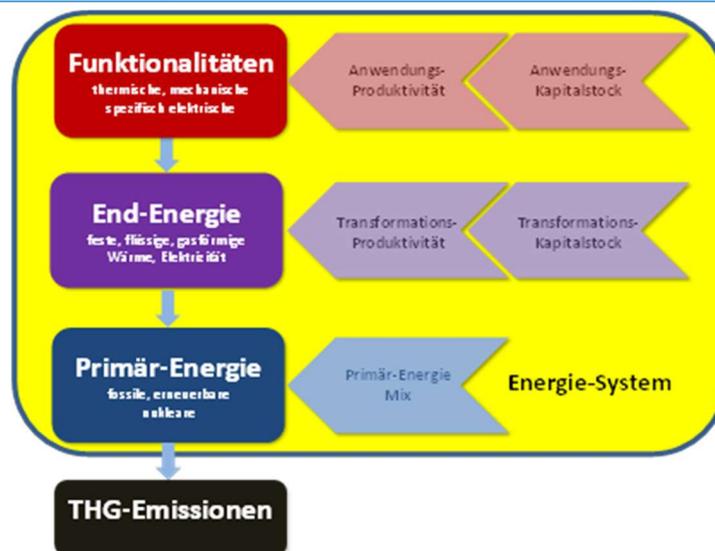
die sich nicht an Prognosen sondern an Gestaltungsmöglichkeiten ausrichten.

Dieser Zugang wird für die weiteren Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien aufbereitet.

Ein neues Mindset: Die Black Box des Energiesystems wird geöffnet

Essentiell für ein vertieftes Verständnis von Energiesystemen, mit dem auch radikale Veränderungen bei Technologien, Nutzung und Geschäftsmodellen behandelt werden können, ist eine detaillierte Darstellung der inneren Struktur dieser Systeme, d.h. die Black Box wird gleichsam geöffnet.

Abbildung 7-3: Ein zukunftsfähiges Mindset: Die Black Box des Energiesystems wird geöffnet



Die Fundamente dieses neuen Mindsets

Abbildung 7-3 macht die essentiellen Elemente der inneren Struktur eines Energiesystems sichtbar mit denen weitere Analysen über künftige Veränderungen in jedem gewünschten Detail durchführbar werden.

Die Kaskade der energetischen Wertschöpfungskette

Sichtbar wird eine kaskadische Struktur, die von den zu erfüllenden Funktionalitäten, nämlich den mit Energie verbundenen Dienstleistungen, über den Verbrauch an End-Energie bis zur Primär-Energie reicht.

Das sind die konstituierenden Komponenten dieser Wertschöpfungskette:

- **Funktionalitäten**
sind von thermischer Art (bei der Temperierung von Gebäuden), von mechanischer Art (bei stationären Motoren und Fahrzeugen) und spezifisch elektrischer Art (für Beleuchtung und Elektronik). Diese Funktionalitäten sind letztlich die eigentlichen Aufgaben eines Energiesystems an deren Erfüllung dessen Erfolg gemessen wird.
- **Energieflüsse**
vom Endverbrauch bis zur Quelle der Bereitstellung werden für die Erfüllung dieser Funktionalitäten benötigt und reflektieren Transformationen (wie zu Elektrizität und Wärme) aber auch Speicheraktivitäten (wie hydraulische, thermische oder elektrische).
- **Anwendungs- und Transformations-Technologien**
entscheiden über das Volumen dieser Energieflüsse. So sind Gebäude, Fahrzeuge und Maschinen Anwendungstechnologien und Anlagen für die Konversion von fossiler und erneuerbarer Primär-Energie zu Energieträgern des Endverbrauchs (wie Treib- und Heizstoffe, Wärme und Elektrizität) Transformations-Technologien..

Die Gestaltungsmöglichkeiten des Energiesystems

- In Abbildung 7-3 werden auch die Möglichkeiten für die Gestaltung und Verän-

derung in einem Energiesystem deutlich:

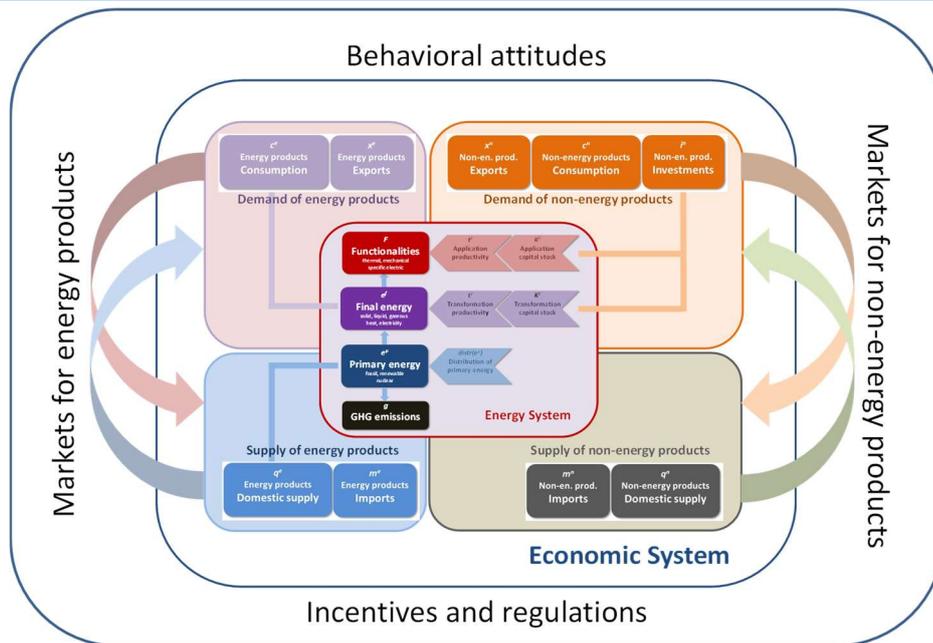
- **Funktionalitäten**
sind dahingehend zu prüfen, ob sie den Ansprüchen in Haushalten und Unternehmen genügen, aber auch ob Redundanzen vorliegen.
- **Energetische Produktivitäten**
bestimmen auf jeder Ebene der energetischen Wertschöpfungskette mit wieviel Energie letztlich die gewünschten Produktivitäten erreicht werden können. Dafür sind das Volumen und die Qualität der damit verbundenen Kapitalstöcke verantwortlich, wie die thermische Qualität von Gebäuden, die gewählte Technologie für Antriebe, Beleuchtung und Elektronik sowie für die Transformation von Energie.
- **Energie-Mix**
eröffnet ebenfalls eine auf allen Ebenen der energetischen Wertschöpfungskette zumindest teilweise Gestaltungsmöglichkeit. Bei Primär-Energie ist dabei die Verfügbarkeit von Erneuerbaren und Fossilen relevant. Bei End-Energie ist auch die in Arbeitsfähigkeit gemessene Qualität bei den jeweiligen Anwendungen zu beachten sowie die exklusive Rolle von Elektrizität bei Beleuchtung und Elektronik.

Einbettung des Energiesystem in das ökonomische System

Das Energiesystem ist – wie in Abbildung 7-4 dargestellt – in das gesamte ökonomische System eingebettet und auf vielfältige Weise mit ihm verbunden.

Die engsten Verbindungen laufen über die konsumierten Energieflüsse von Haushalten und Unternehmungen, womit wiederum Budgets für Ausgaben verbunden sind. Dann bewirken Investitionen im Energiesystem mindestens zwei Effekte im ökonomischen System: Die Nachfrage nach (die energetische Produktivität erhöhenden) Investitionen löst weitere Impulse für wirtschaftliche Aktivität aus und führt möglicherweise zu reduzierten Energieflüssen. Weitere Effekte sind denkbar bezüglich Reaktionen auf den Märkten für Energie und andere Güter und den dort bestimmten Preisen.

Abbildung 7-4: Die Interaktion des Energiesystems mit dem ökonomischen System



Wie dieses vertiefte Verständnis von Energiesystemen Folgenabschätzungen für Energie- und Klimastrategien ermöglicht

Das im Kapitel 1 vorgeschlagene 3i-Mindset mit den Qualitäten Inversion, Innovation und Integration wird durch dieses vertiefte Verständnis eines Energiesystems unterstützt.

Inversion: Der Fokus auf die mit Energie verbundenen Funktionalitäten

Ausgangspunkt und Mittelpunkt aller Analysen ist die Erfüllung der für Haushalte und Unternehmungen relevanten energetischen Funktionalitäten. Das ist ein beachtlicher Fortschritt gegenüber konventionellen Analysen, denen dieses zentrale Element eines Energiesystems meist überhaupt fehlt.

Innovation: Die Erhöhung der energetischen Produktivitäten

Auf allen Ebenen der Kaskade der energetischen Wertschöpfung werden durch be-

wusste Innovation Erhöhungen bei den mit Energie verbundenen Produktivitäten identifizierbar. Auch dabei hilft dieses vertiefte Verständnis des Energiesystems.

Integration: Synergien durch Kopplung der Komponenten des Energiesystems

Alle Veränderungen in der beschriebenen energetischen Wertschöpfungskette werden hinsichtlich ihrer Wirkung auf die zu erfüllenden Funktionalitäten bezogen. Dabei werden die durch Synergien erreichbaren Verbesserungen in den energetischen Produktivitäten sichtbar, wie Co- und Tri-Generation von Elektrizität, Wärme und Kälte oder die Rolle von Gebäuden als thermische Speicher und Infrastruktur für Komponenten des Energiesystems.

Sichtbar werden unter dem Aspekt der Integration aller Komponenten des Energiesystems die Anforderungen an neue Netzstrukturen. Der Übergang von den traditionell unidirektionalen Netzen zu bidirektionalen Netzen mit internetähnlichen Strukturen eröffnet völlig neue Möglichkeiten für das Netzmanagement und überwindet dabei die bisherige Trennung der Netze für Elektrizität, Wärme und Gas.

Welche Fragen dieses vertiefte Verständnis von Energiesystemen beantwortbar macht

Mit diesem vertieften Zugang zur Analyse von Energiesystemen können Fragestellungen geklärt werden, die hohe Relevanz für die Beurteilung von Energie- und Klimastrategien haben:

- Statt der nicht mehr bestehenden Prognostizierbarkeit werden **Optionen für die Gestaltbarkeit** der künftigen Strukturen des Energiesystems sichtbar.
- Statt in der Vergangenheit gegoltenen Kausalitäten werden **Folgen von Veränderungen bei Funktionalitäten, energetischen Produktivitäten und Energie-Mix** abschätzbar samt dem damit verbundenen Investitionsbedarf und den Ver-

änderungen bei den Energieflüssen.

- Statt vager Vermutungen können in beliebigem Detail auch **radikale Änderungen in den Strukturen** des Energiesystems analysiert werden.

Die analytische Implementierung dieses vertieften Verständnisses von Energiesystemen erfolgt auf der Basis von nachvollziehbaren Parametern, wie Funktionalitäten, energetischen Produktivitäten und Energie-Mix.

Veränderungen bei diesen Parametern beschreiben die Transformationen des Energiesystems.

Womit gewünschte Änderungen bei diesen Parametern erreicht werden, sind Fragestellungen für weitere Analysen, die nicht immer einfach zu beantworten sind.

7.3 Die Implementierung der neuen Werkzeuge

Die Umsetzung dieses vertieften Zugangs zur Analyse von Energiesystemen erfolgt nach folgenden Prinzipien:

- Die dafür verwendeten **analytischen Modelle** sollen **transparent** sein.
- Die **resultierenden Aussagen** sollen von interessierten Personen **nachvollziehbar** sein.
- Die Wahl der **Transformationspfade** und Szenarien soll **begründet aber nicht präskriptiv** sein.

Die verwendete Datenbasis

Die modellmäßige Umsetzung dieses vertieften Verständnisses von Energiesystemen basiert auf der **Nutzenergieanalyse (NEA)** und der **Gesamtenergiebilanz (GEB)** von Statistik Austria. Damit wird die energetischen Wertschöpfungskette, ausgehend von Funktionalitäten bis zu den Emissionen, darstellbar.

Die Nutzenergieanalyse (NEA) teilt den Verbrauch an **End-Energie** (identisch mit dem Energetischer Endverbrauch) auf sieben Nutzungskategorien und zwanzig Energieträger auf. Für die modellmäßige Implementierung werden diese zu fünf

Bereichen zusammengefasst:

- **Nieder-Temperatur**
(Raumheizung und Kühlanlagen)
- **Hoch-Temperatur**
(Dampferzeugung, Industrieöfen und Elektrochemische Zwecke)
- **Stationäre Antriebe**
(Standmotoren)
- **Mobile Antriebe**
(Traktion)
- **Beleuchtung und Elektronik**
(Beleuchtung und EDV)

Diese Zuordnung erlaubt die Abbildung der mit den energetischen Funktionalitäten verbundenen direkten Energieflüssen.

Der Energetische Endverbrauch bildet jedoch nicht den gesamten Energiefluss durch das sozio-ökonomische System ab. Deshalb wird noch der Verbrauch an **Nicht-energetischer Energie** zum Energetischen Endverbrauch addiert um den Verbrauch an **Netto-Endenergie** zu erhalten. Die Einbeziehung der **Verluste bei Transformation** (Umwandlungseinsatz minus Umwandlungsausstoß) und der **Verluste bei Verteilung** (inklusive Eigenverbrauch) ergibt schließlich die **Brutto-Energie** (identisch mit Brutto-Inlandsverbrauch).

Tabelle 7-1 zeigt diese Struktur der energetischen Wertschöpfungskette.

Tabelle 7-1: Struktur der energetischen Wertschöpfungskette

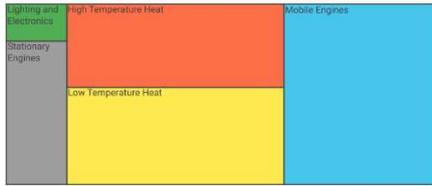
PJ	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Nutz-Energie	1.102	1.117	1.077	1.073	1.109	1.056	1.087
Nieder-Temperatur	328	337	306	312	327	287	302
Hoch-Temperatur	251	252	251	244	249	240	244
Stationäre Antriebe	103	119	120	121	121	122	123
Mobile Antriebe	389	379	371	365	380	376	387
Beleuchtung und Elektronik	32	30	30	31	32	31	31
End-Energie	1.102	1.117	1.077	1.073	1.109	1.056	1.087
Kohle und Abfall	34	32	32	29	28	28	29
Öl	496	434	414	406	415	403	413
Gas	193	198	188	187	191	176	182
Erneuerbare	119	160	155	157	173	160	168
Elektrizität	206	215	215	218	221	216	219
Wärme	54	77	73	77	81	73	77
Nicht-Energetischer Verbrauch	74	82	72	77	76	85	81
Kohle und Abfall	0	1	1	1	1	1	1
Öl	60	65	57	63	63	70	67
Gas	13	16	14	13	12	14	13
Netto-Endenergie	1.176	1.199	1.149	1.150	1.185	1.141	1.168
Kohle und Abfall	35	33	33	29	29	29	29
Öl	556	500	472	469	478	473	480
Gas	206	214	202	200	203	190	195
Erneuerbare	119	160	155	157	173	160	168
Elektrizität	206	215	215	218	221	216	219
Wärme	54	77	73	77	81	73	77
Verluste	263	255	259	248	239	234	242
Verteilung und Eigenverbrauch	148	143	150	146	148	148	145
Transformation	115	112	109	102	91	86	97
Brutto-Energie	1.439	1.454	1.408	1.398	1.425	1.374	1.409
Kohle und Abfall	184	171	177	165	165	154	166
Öl	611	549	514	504	515	508	508
Gas	339	340	321	307	296	270	288
Erneuerbare	296	386	366	413	423	409	411
<i>Biomass</i>	<i>158</i>	<i>239</i>	<i>235</i>	<i>244</i>	<i>257</i>	<i>244</i>	<i>256</i>
<i>Hydro</i>	<i>134</i>	<i>138</i>	<i>123</i>	<i>158</i>	<i>151</i>	<i>148</i>	<i>133</i>
<i>Wind, PV, ...</i>	<i>5</i>	<i>8</i>	<i>8</i>	<i>11</i>	<i>14</i>	<i>17</i>	<i>21</i>
Elektrizität	9	9	30	10	26	33	36
Wärme	0	0	0	0	0	0	0

Die Web-App: <http://energyfutures.net/>

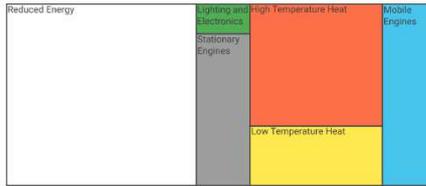
Welcome to EnergyFutures

Create your vision about the future of the Austrian energy system in a few simple steps

What for is energy used now



... and maybe in 2050



Um die quantitativen Analysen transparent und nachvollziehbar zu machen, ist unter diesem URL die Web-App des verwendeten formalen Modells erreichbar.

Dieses Werkzeug ist Teil der sGAIN Modellfamilie, mit der ein vertiefter Zugang zu Energiesystemen analysiert werden kann.

7.4 Eine vergleichbare Analyse von künftigen Szenarien

Grundsätzlich wird für die Analyse der Szenarien eine zielorientierte Vorgangsweise gewählt, die sich bewusst von den meist üblichen Projektionen aus der Vergangenheit abhebt.

Drei Szenarien, mit unterschiedlichem Fokus auf Gebäude, Mobilität und Wasserstoff-Technologien werden deshalb durch zwei Schritte vergleichbar gemacht:

- Alle Szenarien werden mit **gleichen Typen von Parametern** dargestellt, wie Funktionalitäten, energetischen Produktivitäten und Energie-Mix.
- Die dabei **verwendeten Parameterwerte** werden hinsichtlich des Aufwandes bei der Realisierung dadurch bewertbar gemacht, dass sie mit einem Entwicklungspfad **mit Strukturen für Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen verglichen** werden.

Entwicklungspfad für Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen

Dieser Entwicklungspfad zu Strukturen für Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen

wird unter folgenden Bedingungen erstellt:

- Bis 2050 soll eine **Reduktion der CO₂-Emissionen um 80 Prozent** gegenüber 2005 erreicht werden.
- **Weitere Ausweitungen bei den zu erfüllenden Funktionalitäten** sollen Vermutungen entkräften, dass solche Emissionsreduktionen nur durch Einschränkungen bei diesen Funktionalitäten erreichbar sind.
- Die unterstellten **Parameter** müssen auf **heute absehbaren Plausibilitäten** bei der Verfügbarkeit von Technologien und Ressourcen beruhen.

Es stellt sich bei den mit diesen Annahmen durchgeführten Modellanalysen heraus, dass ein solcher Entwicklungspfad zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen kaum Wahlmöglichkeiten offen lässt. Aus heutiger Sicht ist nämlich ein solcher Entwicklungspfad nur mit extremen Veränderungen sowohl bei den energetischen Produktivitäten als auch im Energie-Mix darstellbar.

Einbettung der behandelten Szenarien

Für die drei behandelten Szenarien wurden deshalb grundsätzlich nur die halben Anpassungsschritte gegenüber dem Entwicklungspfad für Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen gewählt, wie die halbe

Verbesserung von energetischen Produktivitäten oder die halbe Veränderung im Energie-Mix. Auch diese Veränderungen sind mit beachtlichen Anstrengungen verbunden.

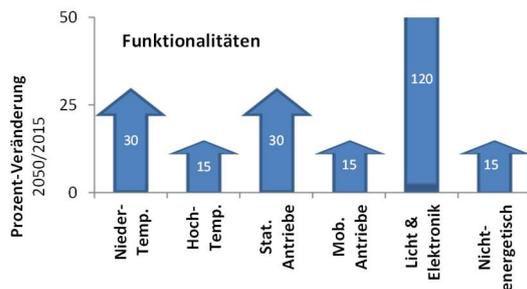
Mit dieser Vorgangsweise werden die dargestellten Szenarien nicht nur leichter nachvollziehbar, sondern auch in ihren Folgen vergleichbar.

7.5 Gemeinsamkeiten der Szenarien

Identische Funktionalitäten

In allen Szenarien werden großzügig die Funktionalitäten bis 2050 erhöht um zu prüfen, ob eine Ausweitung der wohlstandsrelevanten Ansprüche erreichbar ist. Die dabei getroffenen Annahmen sind in Abbildung 7-5 ausgewiesen.

Abbildung 7-5: Expansion der Funktionalitäten bis 2050



Identische Zielerreichung für CO₂ im Non-ETS-Bereich

Für den Bereich, der nicht dem EU Emissionshandelssystem unterworfen ist, wird als Emissionsziel für 2030 eine Absenkung um 36 Prozent gegenüber 2005 angenommen.

Identische Ambitionen bei den Transformationen

Die möglichen Transformationen des Energiesystems werden beschrieben durch drei transparente Parameter, nämlich die Veränderungen bei den Funktionalitäten, bei den energetischen Produktivitäten und beim Energie-Mix.

Die Funktionalitäten bleiben in allen Szenarien unverändert, wie in Abbildung 7-5 dargestellt.

Strukturelle Veränderungen für die künftigen Transformationen werden somit in den Anpassungen bei den energetischen Produktivitäten und beim Energie-Mix sichtbar. Bei den Szenarien wird unterstellt, dass im Vergleich zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen nur die Hälfte der Anpassung erfolgt.

Beispielsweise erfordert im Bereich Niedrigtemperatur der Übergang zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen eine Erhöhung der energetischen Produktivität um 300 Prozent bis 2050. In den Szenarien werden dagegen nur 150 Prozent angenommen.

Gleicherweise werden beim Rückgang des Anteils von Gas statt 20 Prozentpunkten bei den Strukturen für Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen in den Szenarien nur 10 Prozentpunkte verwendet.

Allerdings werden in den Szenarien mit einem besonderen Fokus auf Gebäude und Mobilität wieder die ambitionierteren Parameter für die Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen verwendet.

Die Vorteile dieser methodischen Vorgangsweise

Diese methodischen Schritte zur Entwicklung von vergleichbaren Szenarien haben eine Reihe von markanten Qualitäten:

- In allen Szenarien werden jene wohlstandsrelevanten energetischen Funktionalitäten erreicht, die auch für Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen angestrebt werden.
- In allen Szenarien wird 2030 das EU-Reduktionsziel bei CO₂ für den Nicht-ETS Bereich von 36 Prozent gegenüber 2005 erreicht.
- Alle Szenarien weisen identische Ambitionen bei der Veränderung von energetischen Produktivitäten und Energie-Mix aus.

- Sichtbar werden jedoch die unterschiedlichen Strukturen, die in den Szenarien durch eine Fokussierung auf Gebäude, Mobilität und Wasserstoff-Technologien ausgelöst werden.

Mit dieser Vorgangsweise werden somit alle Szenarien nicht nur unter sich ver-

gleichbar sondern auch in ihrem Bezug zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen dargestellt.

Diese Informationen liefern aufschlussreiche Hinweise für die Folgenabschätzung von unterschiedlichen Energie- und Klimastrategien.

7.6 Drei spezifische Szenarien für 2030

Um unterschiedliche Effekte von bestimmten Änderungen in den Strukturen des Energiesystems vergleichbar abschätzen zu können, werden drei Szenarien untersucht:

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.

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.

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.

8 Orientierung an einem Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Wie können angesichts der nicht mehr möglichen prognostischen Aussagen für Energiesystem dennoch Aussagen über deren künftige Entwicklungen gemacht werden, die wiederum Unterstützung für Entscheidungen über Energie- und Klimastrategien und deren Folgen geben können? Es stellte sich heraus, dass dies anhand eines Transformationspfades möglich ist, der mit zielorientierter Innovation zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen führt, denn ein solcher Pfad hat nur geringe Variationsmöglichkeiten und ist somit so etwas wie eine orientierende Trajektorie mit der andere Szenarien vermessen werden können.

8.1 Design

Energie- und Klimapolitik erfordern eine lange Perspektive. Der erste Grund betrifft die langfristigen Ziele für die Reduktion der Treibhausgase, der zweite die langfristigen Wirkungen von aktuell getätigten Entscheidungen vor allem bei Investitionen, die über Jahrzehnte die Infrastruktur des Energiesystems prägen.

Die Perspektive der EU für eine *low carbon economy* in 2050

Für diese lange Perspektive hat die Europäische Kommission in 2011 die Kommunikation *A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050* vorgelegt.

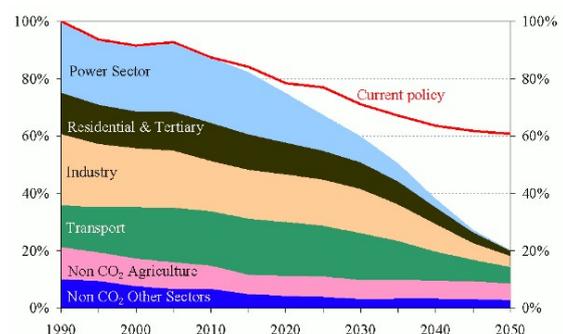
Demnach soll sich die EU folgende Emissionsziele setzen:

- **40 Prozent bis 2030** gegenüber 1990 (wie bereits 2015 als Mindestwert im Energie- und Klimapaket für 2030 beschlossen).
- **60 Prozent bis 2040**
- **80 Prozent bis 2050**

Diese Ziele sollen innerhalb der EU, also ohne anrechenbare Reduktionen außerhalb der EU erreicht werden.

Wie solche radikale Reduktionen erreicht werden könnten, zeigt Abbildung 8-1.

Abbildung 8-1: EU Reduktionsziele für Treibhausgase bis 2050



Quelle: European Commission. DG Climate Action.

Mit welchem Energiesystem wäre eine radikale Reduktion von CO₂-Emissionen für Österreich bis 2050 erreichbar?

Wie könnte unter Verwendung des derzeitigen Wissens über die Anforderungen bei Funktionalitäten und verfügbaren und absehbaren Technologien für Österreich eine radikale Reduktion bei Treibhausgasen erreicht werden?

Eine solche Fragestellung ist deshalb für das Design von Energie- und Klimastrategien relevant, weil aus den gewonnenen Antworten Orientierungen für die nächsten energierelevanten Entscheidungen gewonnen werden können.

Gesucht wird deshalb ein Entwicklungspfad bis 2050 unter folgenden Auflagen:

- Bis 2050 sollen die mit Energie verbundenen **CO₂-Emissionen um 80 Prozent** gegenüber 2005 **reduziert** werden.
- Alle bis dahin vorstellbaren Anforderungen an die **Funktionalitäten** des Energiesystems **sind zu erfüllen**.
- Die **energieintensive Industrie** soll durch Emissionsreduktionen **keinen Standortnachteil** erfahren.

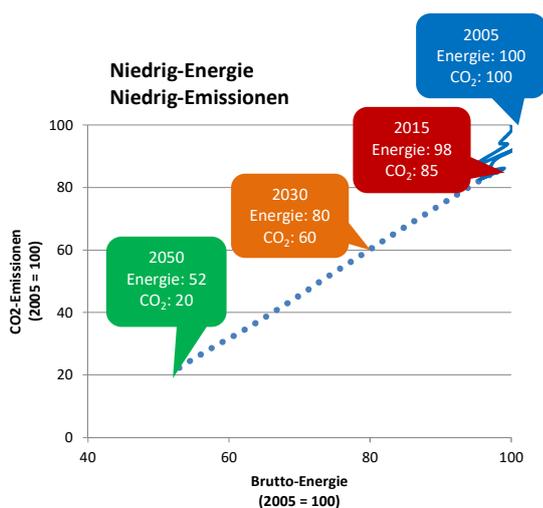
Ein Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Das Ergebnis der nachfolgend dazu im Detail beschriebenen Analysen ist überraschend eindeutig:

- Eine radikale Absenkung der Emissionen ist nur mit einer ebenso **radikalen Verringerung der Energiemengen** erreichbar.
- Dazu ist eine Ausschöpfung aller vorstellbaren Potentiale für die **Erhöhung der energetischen Produktivitäten** notwendig.
- Für einen solchen Transformationspfad gibt es nur **wenige Wahlmöglichkeiten**.

Ein solcher Transformationspfad hat somit die eng verbundenen Qualitäten von Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen, wie aus Abbildung 8-2 ersichtlich.

Abbildung 8-2: Transformationspfad mit zielorientierter Innovation



In dieser Abbildung sind für 2005 die Werte für CO₂-Emissionen und den Mengen an Brutto-Energie auf 100 normiert. Bis 2015 verringerten sich wohl die Emissionen um 15 Prozent, die Energiemengen jedoch nur um 2 Prozent.

Sollte Österreich eine radikale Verringerung der Emissionen bis 2050 anstreben, so wäre der Erhöhung der energetischen Produktivitäten mehr Gewicht zu geben. Diese Aussagen reflektieren die nachfolgend ausführlich beschriebenen Analysen.

8.2 Verwendung von Energie

Die Analysen behandeln die gesamte energetische Wertschöpfungskette, starten aber entsprechend dem Prinzip der Inversion mit den Funktionalitäten.

Abbildung 8-3 zeigt, dass für bestimmte Ansprüche an energetische Funktionalitäten die dafür erforderliche Menge an End-Energie von der Produktivität der dafür verwendeten Anwendungstechnologien abhängt, nämlich der Gebäude, Maschinen und Fahrzeuge.

Ausgehend von den in Abbildung 7-5 verwendeten Werten für die Expansion der Funktionalitäten sind somit für jede dieser Funktionalitäten Annahmen über die Entwicklung der energetischen Produktivitäten und dem Energie-Mix zu treffen. Für den Transformationspfad zu Niedrigenergie und Niedrig-Emissionen wurden dabei in einem iterativen Prozess diese Parameter so angepasst, dass die angestrebte radikale Reduktion bei den Emissionen bis 2050 erreicht wird. Dabei werden extreme Veränderungen sichtbar.

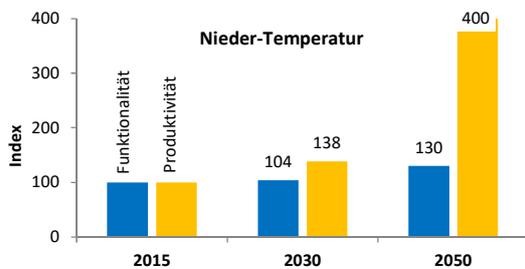
Abbildung 8-3: Funktionalitäten werden mit End-Energie und deren Produktivität erfüllt



Nieder-Temperatur

Für den Bereich Niedertemperatur zeigt Abbildung 8-4 die bis 2050 unterstellte Zunahme der Funktionalität um 30 Prozent und die Verdreifachung der energetischen Produktivität.

Abbildung 8-4: Bereich Nieder-Temperatur – Funktionalität und Produktivität



In Abbildung 8-5 wird der Energie-Mix sichtbar, dessen Anteile der Energieträger im Ausgangsjahr 2015 sich auf 100 summieren. Für 2030 betragen diese Summen 71 und 33 und zeigen damit die Rückgänge im Energieverbrauch an. Ausgewiesen werden auch die Veränderungen im Energie-Mix mit steigen Anteilen aber geringeren Mengen von Erneuerbaren, gefolgt von Elektrizität. Wärme über Netze wird wegen der erhöhten thermischen Qualität der Gebäude immer weniger gebraucht.

Abbildung 8-5: Bereich Nieder-Temperatur – Energiemix

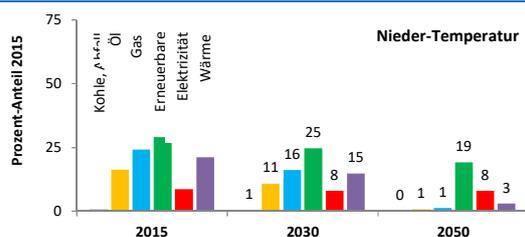
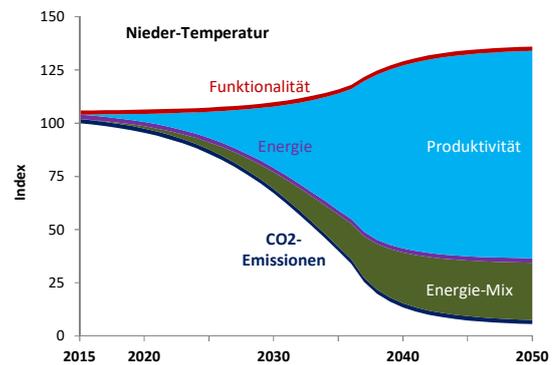


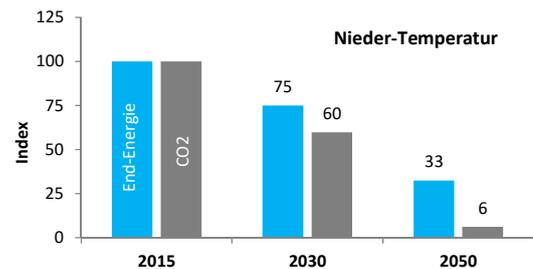
Abbildung 8-6 fasst den aus diesen Annahmen entstehenden Transformationspfad für den Bereich Nieder-Temperatur zusammen. Demnach bewirkt trotz Zunahme der Funktionalität die starke Nutzung des Potentials bei Produktivität und die Änderung im Energie-Mix eine Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2050 um fast 95 Prozent.

Abbildung 8-6: Bereich Nieder-Temperatur – Strukturen für zielorientierte Innovation



Eine zusammenfassende Darstellung der Veränderungen bei End-Energie und CO₂-Emissionen für den Bereich Niedrig-Energie gibt Abbildung 8-7.

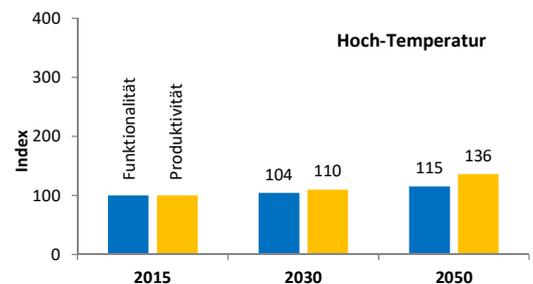
Abbildung 8-7: Bereich Nieder-Temperatur – End-Energie und CO₂-Emissionen



Hoch-Temperatur

Für den Bereich Hoch-Temperatur zeigt Abbildung 8-8 die verwendeten Annahmen zu Funktionalitäten und energetischen Produktivitäten.

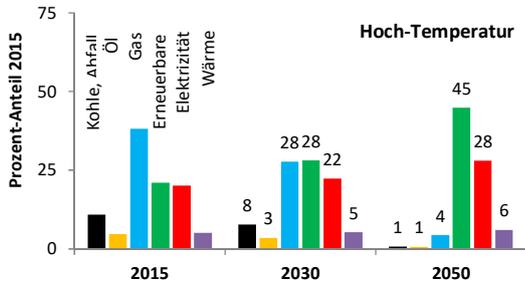
Abbildung 8-8: Bereich Hoch-Temperatur – Funktionalität und Produktivität



Beim Energie-Mix wird, wie in Abbildung

8-9 erkennbar, ein Potential für einen vermehrten Einsatz an Erneuerbaren, einerseits über Biomasse und andererseits über Umgebungswärme samt Wärmepumpen gesehen.

Abbildung 8-9: Bereich Hoch-Temperatur – Energiemix



Wegen der limitierten Potentiale bei Produktivität dominiert beim Rückgang der CO₂-Emissionen in diesem Bereich die Veränderung im Energie-Mix.

Abbildung 8-10: Bereich Hoch-Temperatur – Strukturen für zielorientierte Innovation

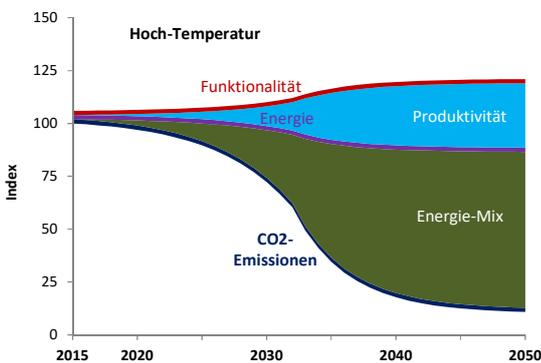
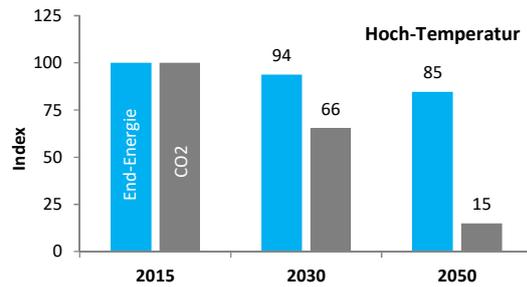


Abbildung 8-10 zeigt, wie auch bei Hoch-Temperatur trotz Ausweitung der Funktionalität bis 2050 ein Rückgang der CO₂-Emissionen auf 15 Prozent des Wertes für 2015 erreichbar wäre. Dabei hat die Änderung im Energie-Mix ein höheres Potential als eine Erhöhung der energetischen Produktivität.

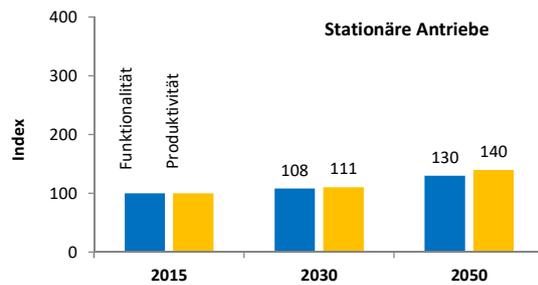
Abbildung 8-11: Bereich Hoch-Temperatur – End-Energie und CO₂-Emissionen



Stationäre Antriebe

Bei Stationären Antrieben werden bis 2050 sowohl bei der Funktionalität als auch bei der energetischen Produktivität Anstiege erwartet, die in Abbildung 8-12 ausgewiesen sind.

Abbildung 8-12: Bereich Stationäre Antriebe – Funktionalität und Produktivität



Beim Energiemix geht die weitere Elektrifizierung zulasten der Verbrennungsmotoren, wie aus Abbildung 8-13 zu ersehen.

Abbildung 8-13: Bereich Stationäre Antriebe – Energiemix

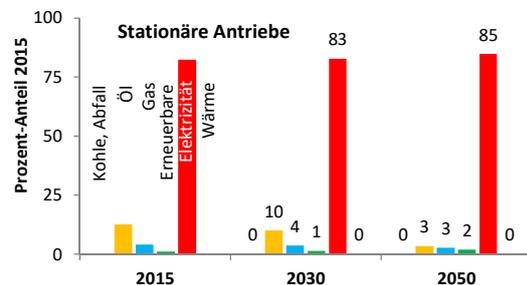


Abbildung 8-14 Bereich Stationäre Antriebe – Strukturen für zielorientierte Innovation

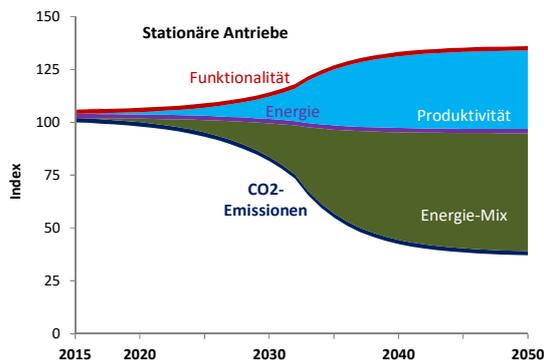
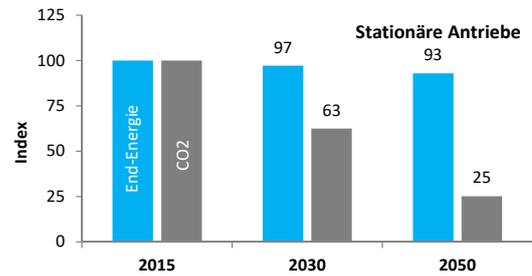


Abbildung 8-15: Bereich Stationäre Antriebe – End-Energie und CO₂-Emissionen



8.3 Strukturen mit zielorientierter Innovation zu Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen

Welche Transformation des Energiesystems ist nach derzeitigem Wissen über geforderte Funktionalitäten und verfügbare Technologien argumentierbar, um bis 2050 die CO₂-Emissionen um rund 80 Prozent zu

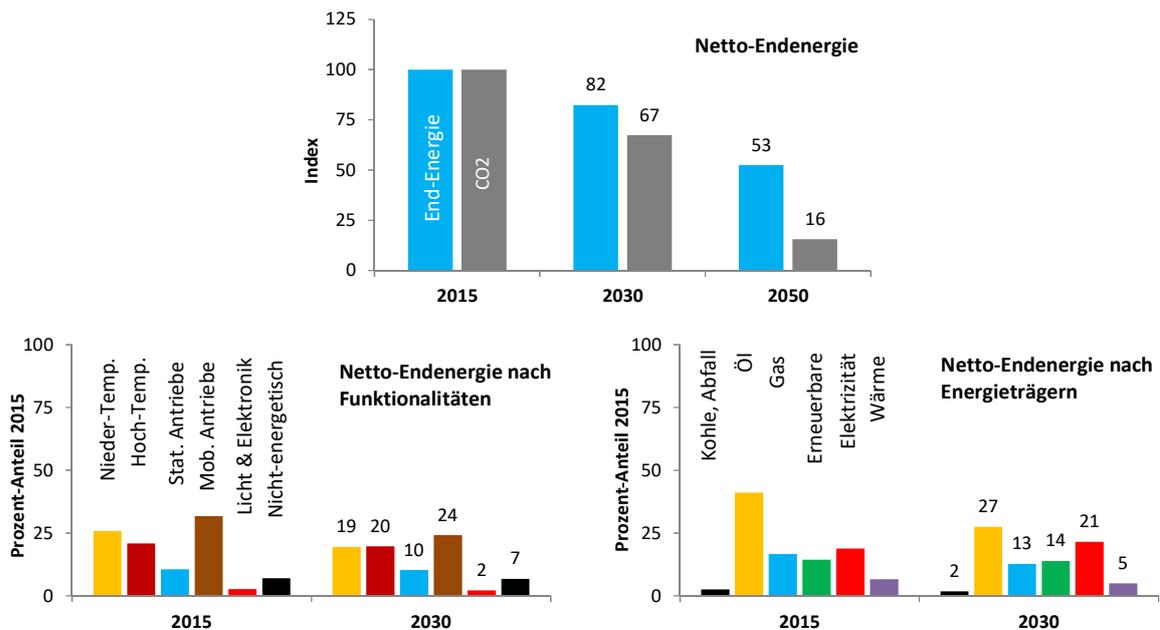
reduzieren?

Solche Strukturen haben, wie in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt, neben niedrigen Emissionen noch die zusätzliche Eigenschaft von niedrigen Energiemengen.

Demnach müssten sowohl die End-Energie als auch die Brutto-Energie bis 2050 fast um die Hälfte reduziert werden.

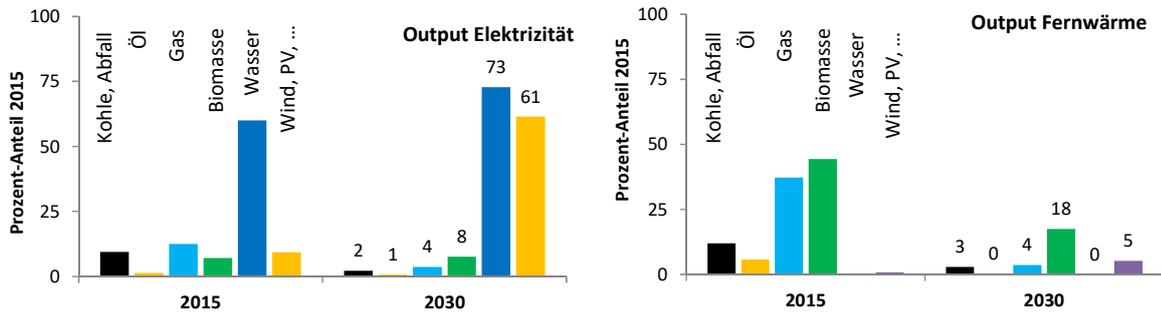
Verwendung von Energie

Abbildung 8-16: Zielorientierte Innovation - End-Energie und CO₂-Emissionen



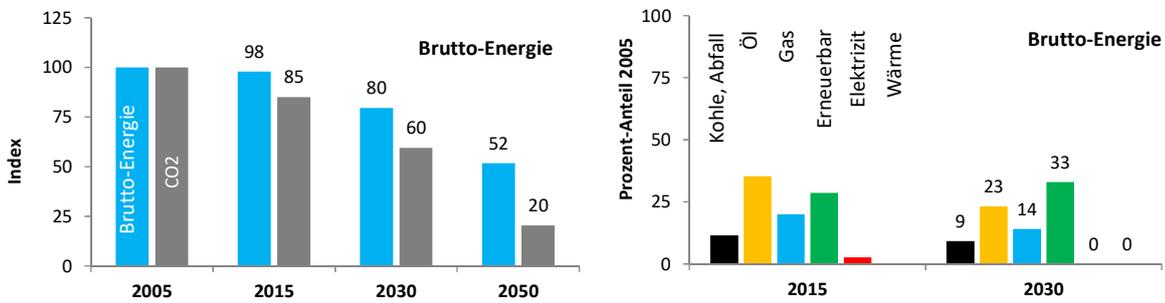
Transformation von Energie

Abbildung 8-17: Zielorientierte Innovation – Elektrizität und Fernwärme



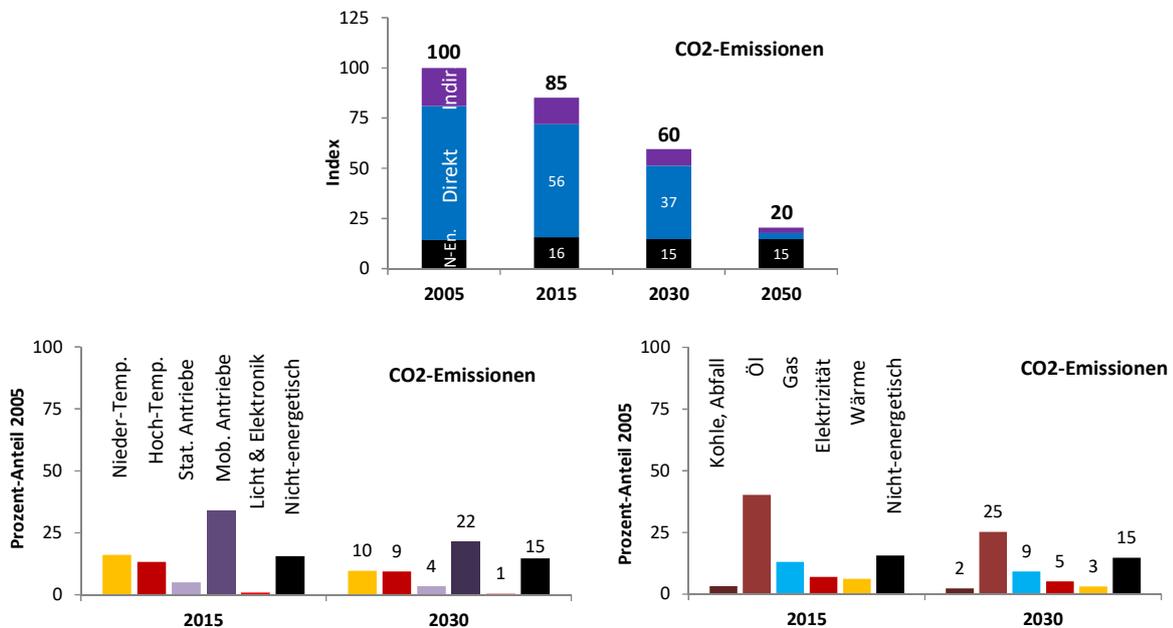
Bereitstellung von Energie

Abbildung 8-18: Zielorientierte Innovation – Brutto-Energie



CO₂-Emissionen

Abbildung 8-19: Zielorientierte Innovation – CO₂-Emissionen



8.4 Indikatoren von Strukturen mit zielorientierter Innovation zu Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen

Tabelle 8-1: Indikatoren der Strukturen mit zielorientierter Innovation

Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
Energetischer Endverbrauch	1.102	1.087	884	538
<i>Nieder-Temperatur</i>	328	302	226	98
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	244	231	206
<i>Stationäre Antriebe</i>	103	123	120	114
<i>Mobile Antriebe</i>	389	387	281	97
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	32	31	25	23
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	79	75
Netto-Energieverbrauch	1.176	1.168	963	613
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	21	3
<i>Erdöl</i>	556	480	321	54
<i>Erdgas</i>	206	195	149	57
<i>Erneuerbare</i>	119	168	163	169
<i>Elektrizität</i>	206	219	251	306
<i>Wärme</i>	54	77	58	24
Brutto-Energieverbrauch	1.439	1.409	1.145	744
Fossile	1.133	962	671	223
Erneuerbare	296	411	474	521
Netto-Import Elektrizität	9	36	0	0

Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen	2005	2015	2030	2050
	Index			
Energetischer Endverbrauch	100	99	80	49
Brutto-Energieverbrauch	100	98	80	52
Fossile	100	85	59	20
Erneuerbare	100	139	160	176
Indikatoren				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	41	70
<i>CO2 Insgesamt</i>	100	85	60	20
<i>CO2 ETS</i>	100	85	66	39
<i>CO2 Non-ETS</i>	100	85	53	2

9 Fokus Gebäude und Raumordnung – „Szenario Schönberg“

9.1 Die Storyline

Analysiert wird eine Strategie, die sich besonders die Innovationspotentiale von Gebäuden im Energiesystem beachtet. Gebäude werden dabei nicht isoliert sondern im Verbund betrachtet samt einer entsprechend abgestimmten Raumordnung.

Die Vorgaben

- Reduktionsziel für CO₂-Emissionen von 36 Prozent im Inland für den Non-ETS-Bereich
- Niedrigstenergie-Standards im Neubau und forcierte Sanierung des Gebäudebestands
- Unterstützende Aktivitäten der Raumordnung für die Zielsetzungen der Energie- und Klimapolitik

- Nutzung von Biomasse und Ausbau von Elektrizität mit Erneuerbaren

Die Implementierung

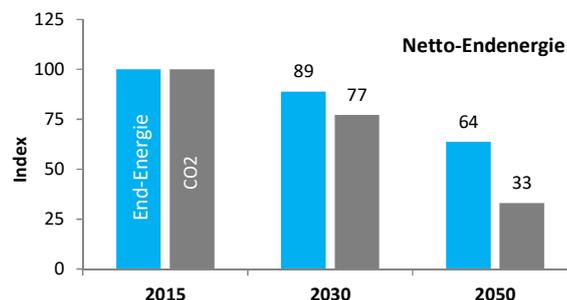
Bei der dafür relevanten Funktionalität Niedertemperatur wurden die ambitionierten Werte für die Erhöhung der energetischen Produktivität angenommen, was aus heutiger Sicht durch entsprechende thermischen Qualitäten im Neubau und in der Sanierung durchaus realisierbar ist. Der damit verbundene Investitionsaufwand wird im nächsten Analyseschritt behandelt.

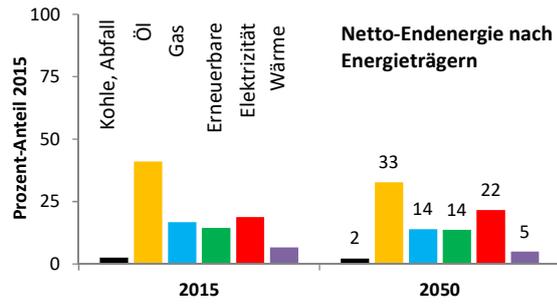
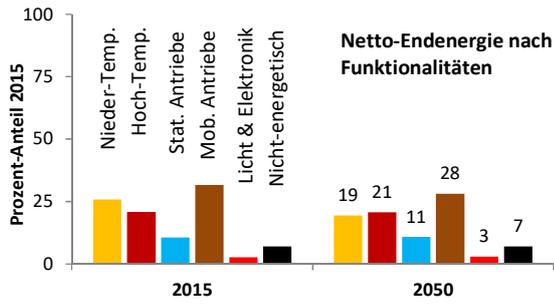
Wegen der relativ langsamen Emissionswirkung bei Maßnahmen im Gebäudebestand ist zusätzlich noch eine Anhebung der energetischen Produktivität Mobilität erforderlich, um das gewünschte Reduktionsziel für 2030 zu erreichen.

9.2 Strukturen mit Fokus auf Gebäude - Szenario „Schönberg“

Verwendung von Energie

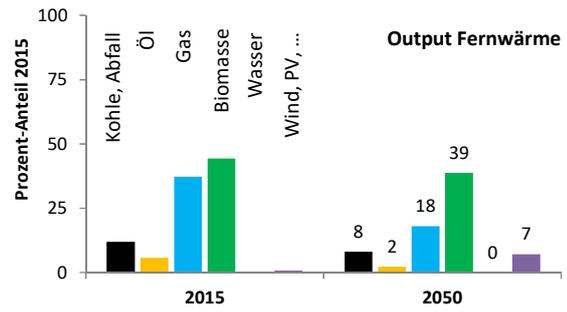
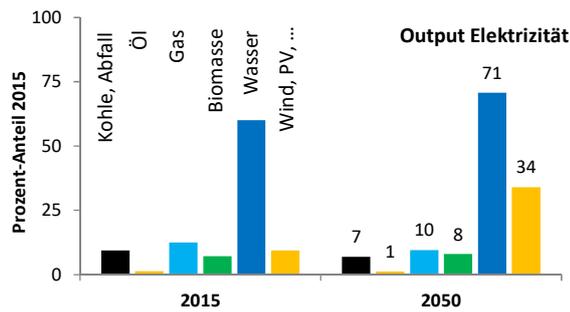
Abbildung 9-1: Fokus auf Gebäude - End-Energie und CO₂-Emissionen





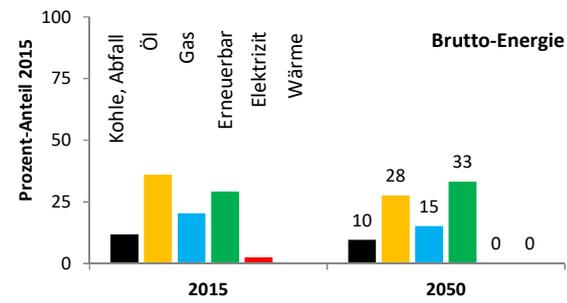
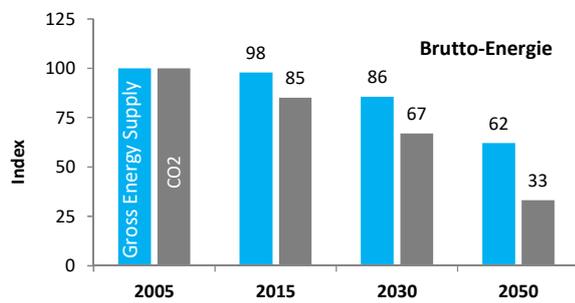
Transformation von Energie

Abbildung 9-2: Fokus auf Gebäude – Elektrizität und Fernwärme



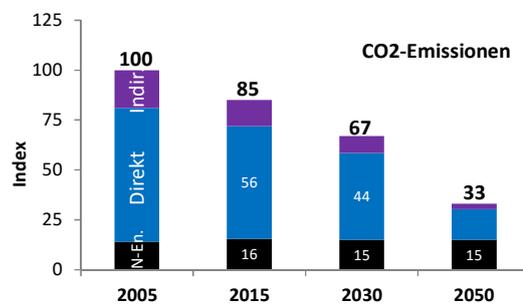
Bereitstellung von Energie

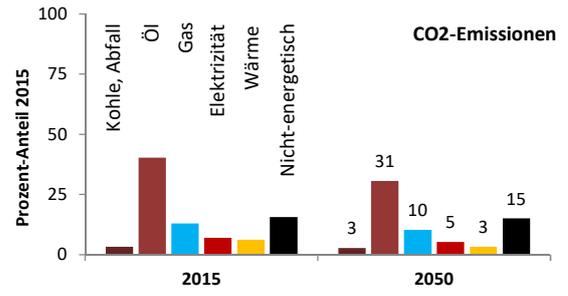
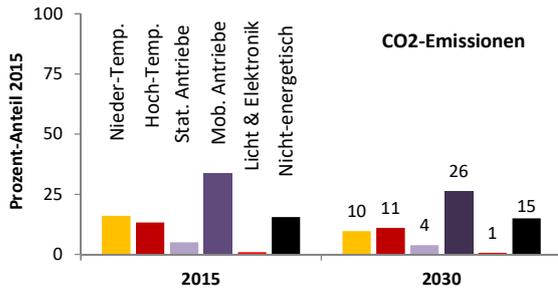
Abbildung 9-3: Fokus auf Gebäude – Brutto-Energie



CO₂-Emissionen

Abbildung 9-4: Fokus auf Gebäude – CO₂-Emissionen





9.3 Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Gebäude

Tabelle 9-1: Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Gebäude

Fokus Gebäude	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
Energetischer Endverbrauch	1.102	1.087	956	662
<i>Nieder-Temperatur</i>	328	302	226	98
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	244	242	237
<i>Stationäre Antriebe</i>	103	123	126	133
<i>Mobile Antriebe</i>	389	387	328	159
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	32	31	34	35
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	81	83
Netto-Energieverbrauch	1.176	1.168	1.037	745
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	25	15
<i>Erdöl</i>	556	480	382	151
<i>Erdgas</i>	206	195	162	93
<i>Erneuerbare</i>	119	168	159	153
<i>Elektrizität</i>	206	219	252	310
<i>Wärme</i>	54	77	58	24
Brutto-Energieverbrauch	1.439	1.409	1.232	893
Fossile	1.133	962	754	369
Erneuerbare	296	411	477	523
Netto-Import Elektrizität	9	36	0	0
Fokus Gebäude	2005	2015	2030	2050
	Index			
Energetischer Endverbrauch	100	99	87	60
Brutto-Energieverbrauch	100	98	86	62
Fossile	100	85	67	33
Erneuerbare	100	139	161	177
Indikatoren				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	39	59
<i>CO2 Insgesamt</i>	100	85	67	33
<i>CO2 ETS</i>	100	85	70	50
<i>CO2 Non-ETS</i>	100	85	64	17

10 Fokus Mobilität - Szenario "Mozart"

10.1 Die Storyline

Die Vorgaben

- Reduktionsziel für CO₂-Emissionen von 36 Prozent im Inland für den Non-ETS-Bereich
- Ambitionierter Ausbau der E-Mobilität
- Unterstützender Ausbau von Elektrizität mit Erneuerbaren
- Abbau des Kraftstoffexports

Die Implementierung

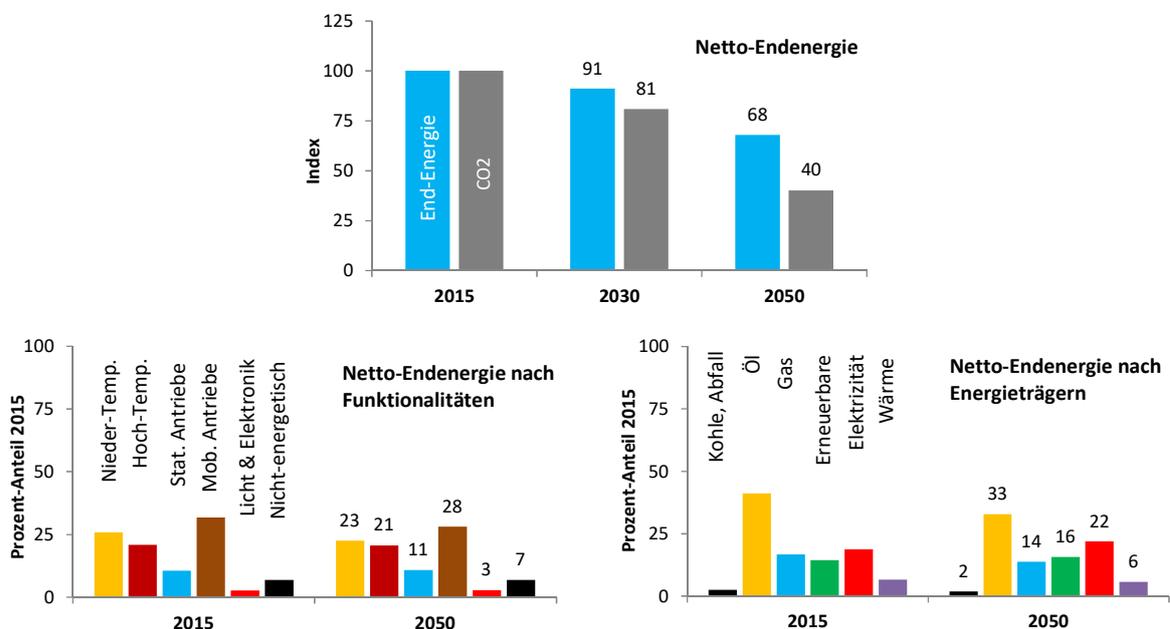
Entscheidend ist die Erhöhung der energetischen Produktivität, die durch ein umfangreiches Spektrum an strukturellen Veränderungen erfolgen kann, vom den Übergang auf elektrische Antriebe bis zu Veränderungen im Modal-Split und der Substitution von Verkehrsbewegungen zur Informationstechnologien.

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

10.2 Strukturen mit Fokus auf Mobilität - Szenario „Mozart“

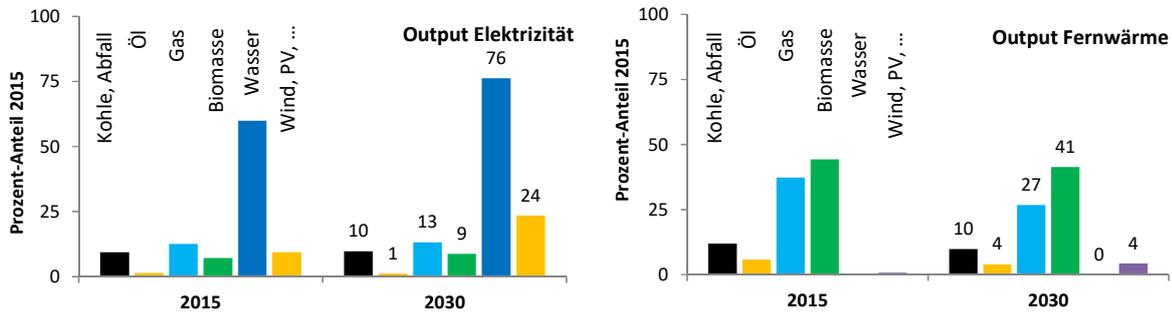
Verwendung von Energie

Abbildung 10-1: Fokus auf Mobilität - End-Energie und CO₂-Emissionen



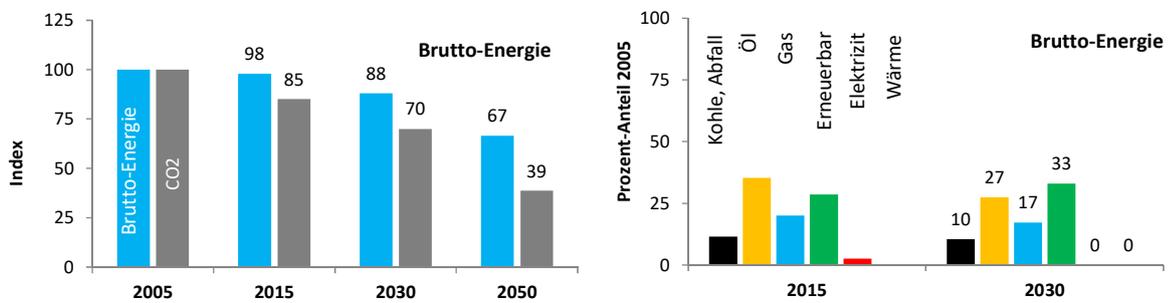
Transformation von Energie

Abbildung 10-2: Fokus auf Mobilität – Elektrizität und Fernwärme



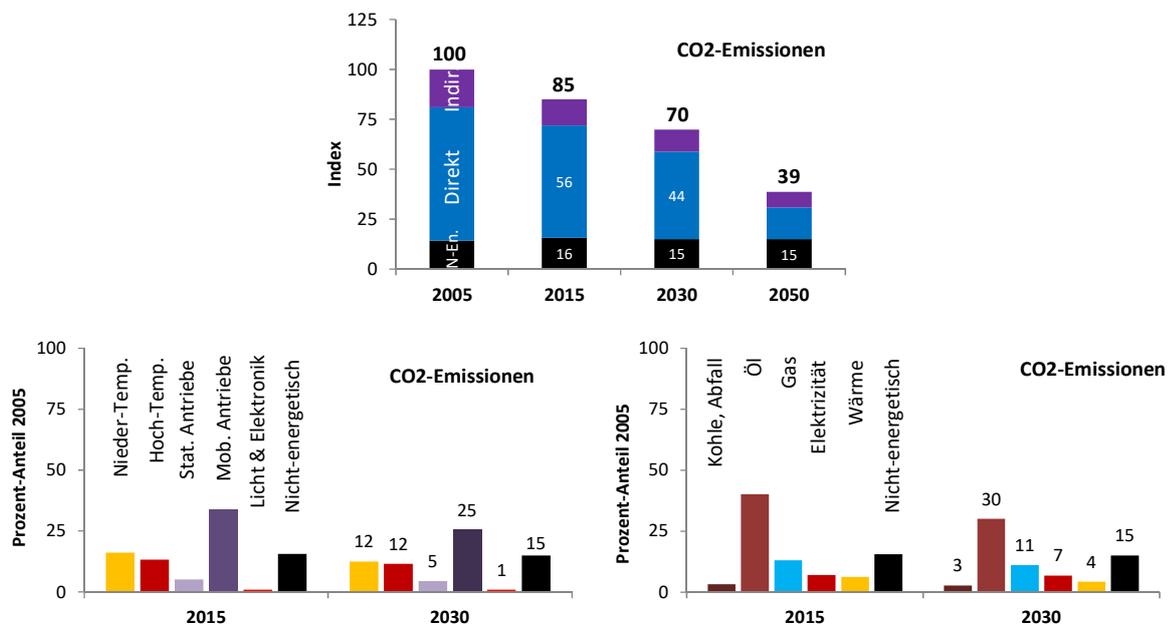
Bereitstellung von Energie

Abbildung 10-3: Fokus auf Mobilität – Brutto-Energie



CO₂-Emissionen

Abbildung 10-4: Fokus auf Mobilität – CO₂-Emissionen



10.3 Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Mobilität

Tabelle 10-1: Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Mobilität

Fokus Mobilität	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
Energetischer Endverbrauch	1.102	1.087	983	711
<i>Nieder-Temperatur</i>	328	302	263	157
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	244	242	237
<i>Stationäre Antriebe</i>	103	123	126	133
<i>Mobile Antriebe</i>	389	387	319	148
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	32	31	34	35
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	81	83
Netto-Energieverbrauch	1.176	1.168	1.065	794
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	26	16
<i>Erdöl</i>	556	480	376	144
<i>Erdgas</i>	206	195	173	111
<i>Erneuerbare</i>	119	168	166	165
<i>Elektrizität</i>	206	219	257	319
<i>Wärme</i>	54	77	67	38
Brutto-Energieverbrauch	1.439	1.409	1.266	958
Fossile	1.133	962	792	438
Erneuerbare	296	411	475	521
Netto-Import Elektrizität	9	36	0	0
Fokus Mobilität	2005	2015	2030	2050
	Index			
Energetischer Endverbrauch	100	99	89	64
Brutto-Energieverbrauch	100	98	88	67
Fossile	100	85	70	39
Erneuerbare	100	139	160	176
Indikatoren				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	37	54
<i>CO2 Insgesamt</i>	100	85	70	39
<i>CO2 ETS</i>	100	85	76	62
<i>CO2 Non-ETS</i>	100	85	64	16

11 Fokus Wasserstoff-Technologien – „Szenario Beethoven“

11.1 Die Storyline

Wasserstoff könnte in einem künftigen Energiesystem aus mehreren Gründen eine Rolle spielen. Erzeugt würde dieser Energieträger aus Überschuss-Elektrizität über Elektrolyse werden. Wasserstoff könnte einerseits vor allem im Hochtemperaturbereich Gas ersetzen und andererseits als Speicher, auch über saisonale Zeiträume, eingesetzt werden.

Die Vorgaben

- Reduktionsziel für CO₂-Emissionen von 36 Prozent im Inland für den Non-ETS-Bereich
- Aufrechterhaltung des Wachstumspotentials für die energieintensiven Industrien
- Forcierung von Wasserstoff als Speicher und industrieller Brennstoff
- Unterstützender Ausbau von Elektrizität

mit Erneuerbaren

Die Implementierung

Bezüglich der Wirkung ist diese Technologie identisch mit der Substitution von fossiler Energie durch Elektrizität, die für die Erzeugung von Wasserstoff benötigt wird. Angenommen wurde, dass ab 2021 in einem linearen Übergang bis 2050 rund 75 Prozent der fossilen Energie durch Wasserstoff ersetzt wird. Ein ähnlicher Übergang ist ab 2031 im Bereich der Hochofentechnologie unterstellt.

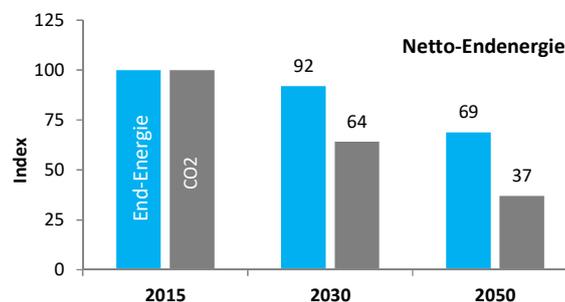
Damit allein kann jedoch nicht das für 2030 angestrebte Reduktionsziel bei CO₂ erreicht werden.

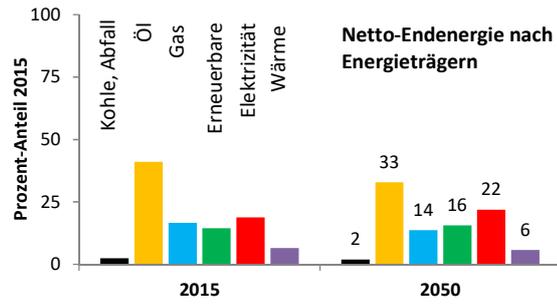
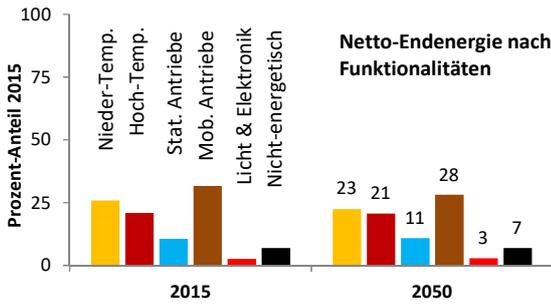
Derzeit ist noch schwer vorstellbar, wie die damit verbundenen zusätzlichen Mengen an Elektrizität im Inland durch Erneuerbare bereitgestellt werden können.

11.2 Strukturen mit Fokus auf Wasserstoff - Szenario „Beethoven“

Verwendung von Energie

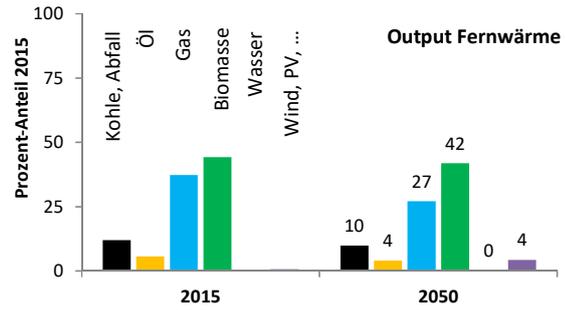
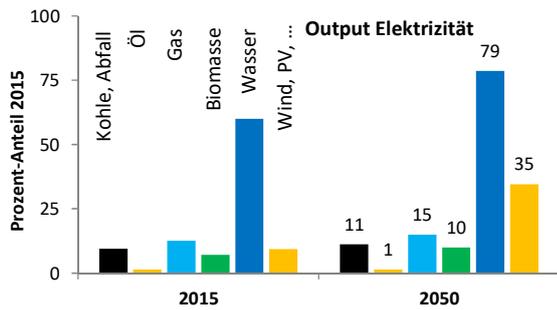
Abbildung 11-1: Fokus auf Wasserstoff - End-Energie und CO₂-Emissionen





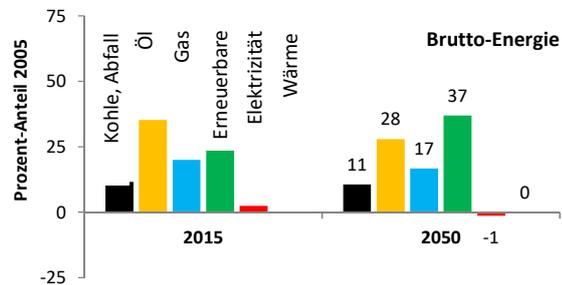
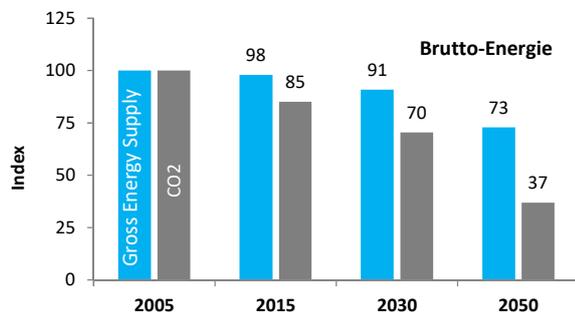
Transformation von Energie

Abbildung 11-2: Fokus auf Wasserstoff – Elektrizität und Fernwärme



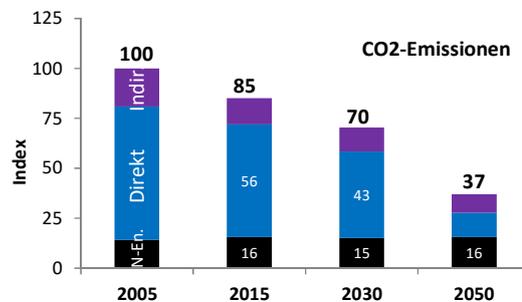
Bereitstellung von Energie

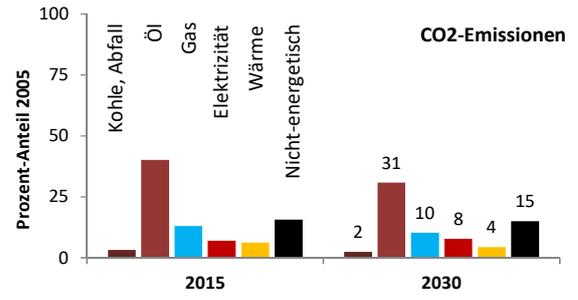
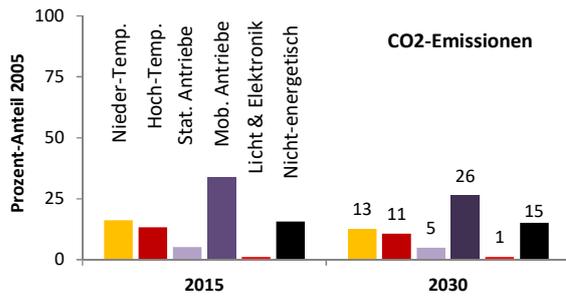
Abbildung 11-3: Fokus auf Wasserstoff – Brutto-Energie



CO₂-Emissionen

Abbildung 11-4: Fokus auf Wasserstoff – CO₂-Emissionen





11.3 Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Wasserstoff

Tabelle 11-1: Indikatoren der Strukturen mit Fokus auf Wasserstoff

Fokus Wasserstoff	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
Energetischer Endverbrauch	1.102	1.087	992	721
<i>Nieder-Temperatur</i>	328	302	263	157
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	244	242	237
<i>Stationäre Antriebe</i>	103	123	126	133
<i>Mobile Antriebe</i>	389	387	328	159
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	32	31	34	35
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	81	83
Netto-Energieverbrauch	1.176	1.168	1.074	804
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	22	4
<i>Erdöl</i>	556	480	384	149
<i>Erdgas</i>	206	195	161	66
<i>Erneuerbare</i>	119	168	183	219
<i>Elektrizität</i>	206	219	256	326
<i>Wärme</i>	54	77	67	41
Brutto-Energieverbrauch	1.439	1.409	1.308	1.049
Fossile	1.133	962	795	407
Erneuerbare	296	411	532	667
Netto-Import Elektrizität	9	36	-19	-25
Fokus Wasserstoff	2005	2015	2030	2050
	Index			
Energetischer Endverbrauch	100	99	90	65
Brutto-Energieverbrauch	100	98	91	73
Fossile	100	85	70	36
Erneuerbare	100	139	180	225
Indikatoren				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	41	64
<i>CO2 Insgesamt</i>	100	85	70	37
<i>CO2 ETS</i>	100	85	77	58
<i>CO2 Non-ETS</i>	100	85	64	16

TEIL 3: BEWERTUNGEN

Folgenabschätzungen von unterschiedlichen Strategien der Energie- und Klimapolitik

Denn nichts ist wahrer oder weniger wahr. Sondern nur mehr oder weniger wirksam.
Antoine de Saint-Éxupéry

12 Effekte auf energie- und klimapolitische Ziele

12.1 Wahl von energie- und klimapolitischen Zielen

Üblicherweise werden Energie- und klimapolitische Ziele meist für einzelne Sektoren, wie Gebäude, Industrie und Verkehr, formuliert.

Mit den Energiedienstleistungen korrespondierende Ziele

Es ist treffsicherer, Ziele für die mit der Nutzenergie verbundenen Energiedienstleistungen, wie Nieder- und Hochtemperatur, Mobile Antriebe sowie Beleuchtung, Elektronik und Stationäre Antriebe zu formulieren. Der Grund:

- Die einzelnen Nutzenergiekategorien haben sehr unterschiedliche Potentiale bezüglich der Verbesserung der Energieproduktivität und der Veränderung des Energiemixes.
- Die Sektoren enthalten aber unterschiedliche Nutzenergiekategorien, die bei nach Sektoren ausgerichteten Zielen nicht mehr differenziert werden.

Implementierung von Zielen für die mit der Nutzenergie verbundenen Energiedienstleistungen

Besonders relevant ist dabei das Ziel für Erneuerbare.

Dabei ist zu beachten, dass Erneuerbare nicht nur direkt über Brenn- und Treibstoffe im Endverbrauch sichtbar werden sondern auch indirekt über den Verbrauch von Elektrizität und Wärme.

In den nachfolgenden Tabellen werden für die einzelnen Szenarien deshalb neben den direkt im Endverbrauch und in der Nutzenergie enthaltenen Erneuerbaren auch die indirekten Mengen an Erneuerbaren entsprechend ihren Anteilen bei Elektrizität und Wärmediese sichtbar gemacht.

Formulierung der Ziele

CO₂-Emissionen im Non-ETS-Bereich

- Diese liegen bei allen Szenarien bei 36 Prozent unter dem Wert für 2005.
- Erneuerbare
- Sowohl Ziele für Anteile als auch für Mengen sind ausgewiesen.
- Effizienz
- Dieses Ziel kann sowohl mit End- als auch Brutto-Verbräuchen formuliert werden.

12.2 Zielindikatoren für die einzelnen Szenarien

In den nachfolgenden Tabellen werden die für die einzelnen Szenarien resultierenden Zielindikatoren dargestellt.

Gesamter Verbrauch an Energie

Tabelle U macht sichtbar, dass sich sowohl bei der Endenergie als auch beim Brutto-Inlandsverbrauch bis 2015 kaum Änderungen gegenüber 2005 ereignet haben.

In den einzelnen Szenarien werden bis 2030 durchwegs Rückgänge bei den Energiemengen ausgewiesen, die beim Fokus auf Gebäude („Schönberg“) gegenüber 2005 rund 15 Prozent ausmachen.

Erneuerbare Energien

Bei Erneuerbaren Energien ist sowohl deren Menge als deren Anteil im gesamten Energieverbrauch zu beachten.

Mengenmäßig zeigen die Szenarien, wie aus Tabelle V ersichtlich, durchwegs Steigerungen bei den Erneuerbaren, die aber deutlicher beim Brutto-Inlandsverbrauch als bei der Endenergie sichtbar werden, weil Erneuerbare eine stärkere Rolle bei deren indirekten Nutzung Elektrizität und Wärme im Vergleich zur direkten Nutzung erhalten.

Die in Tabelle W ausgewiesenen Anteile für Erneuerbare in den Kategorien der Nutzenergie verweisen auf zwei Besonderheiten. Erstens erhöhen sich die Anteile aufgrund der über die zunehmende Energieproduktivität reduzierten Energiemengen. Zweitens werden bei den Nutzenergiekategorien neben den direkten Anteilen von

Erneuerbaren auch die indirekten Anteile über Elektrizität und Wärme beachtet.

Diese noch neue aber sehr informative Darstellung über die Rolle von Erneuerbaren bei den einzelnen Kategorien der Nutzenergie wird für die einzelnen Szenarien in den Tabellen X sichtbar.

Tabelle 12-1: Gesamte Nutzenergie und Brutto-Inlandsverbrauch in den Szenarien für 2030

Erneuerbare Energie	2005	2015	2030			2030		
			Gebäude	Mobilität	Wasserstoff	Gebäude	Mobilität	Wasserstoff
	TJ		Index [2015 = 100]			Tera Joule		
Niedertemperatur	100.151	136.663	89,8	95,5	95,5	122.701	130.539	130.539
Hochtemperatur	77.080	94.044	121,7	117,9	133,5	114.494	110.890	125.515
Mobile Antriebe	10.205	36.212	146,0	151,5	157,3	52.873	54.879	56.962
Stat. Antriebe, Beleuchtung, Elektronik	74.347	102.886	118,3	112,0	112,0	121.715	115.200	115.200
Nutzenergie / Energet. Endverbrauch	261.783	369.805	111,4	111,3	115,8	411.783	411.509	428.217
Brutto-Inlandsverbrauch	296.469	411.150	116,0	115,4	129,5	477.116	474.656	532.364

Tabelle 12-2: Erneuerbare Energie in den Szenarien für 2030

Erneuerbare Energie	2005	2015	2030			2030		
			Gebäude	Mobilität	Wasserstoff	Gebäude	Mobilität	Wasserstoff
	TJ		Index [2015 = 100]			Tera Joule		
Niedertemperatur	100.151	136.663	89,8	95,5	95,5	122.701	130.539	130.539
Hochtemperatur	77.080	94.044	121,7	117,9	133,5	114.494	110.890	125.515
Mobile Antriebe	10.205	36.212	146,0	151,5	157,3	52.873	54.879	56.962
Stat. Antriebe, Beleuchtung, Elektronik	74.347	102.886	118,3	112,0	112,0	121.715	115.200	115.200
Nutzenergie / Energet. Endverbrauch	261.783	369.805	111,4	111,3	115,8	411.783	411.509	428.217
Brutto-Inlandsverbrauch	296.469	411.150	116,0	115,4	129,5	477.116	474.656	532.364

13 Effekte auf Energiemengen und Investitionen

Die Übertragung von Veränderungen im Energiesystem auf die ökonomische Ebene erfolgt exemplarisch für unterschiedliche Schwerpunkte, wie z.B. Gebäude oder quantifizierbare Veränderungen im Mobilitätsbereich. Veränderungen wirken sich einerseits durch Investitionsimpulse aus und andererseits durch eine Veränderung der laufenden Energiekosten.

Die Effekte der exemplarisch erfassten Investitionsimpulse in den Bereichen Gebäude und Mobilität werden im Rahmen einer Input- Output Struktur untersucht und bilden die ausgelösten Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte ab.

13.1 Die Kosten der 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.

Diese Vorgangweise macht aufmerksam, dass Bewertungen allein durch Energiekosten sehr irreführend und sogar kontraproduktiv sein können.

Nutzungskosten von Funktionalitäten

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 notwendig, 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 **Investitions-**

kosten vernachlässigen Handlungsalternativen und Folgekosten und führen zu **kontraproduktiven Entscheidungen**.

Implikationen für 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.

13.2 Bewertungen 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.

14 Effekte auf die Leistbarkeit für Haushalte

Das Zielquartett für die integrierte Energie- und Klimastrategie enthält als eine Dimension "Leistbarkeit". Gemäß der Schwerpunktsetzung der Szenarien für die vorliegende Folgenabschätzung von Energie- und Klimastrategien wird eine quantitative Analyse der Energieausgaben für Wohnen und Mobilität vorgenommen.

14.1 Wie Energiekosten für Wohnen zu ermitteln sind

Energiekosten für Wohnen (Heizen, Warmwasser, Kochen, etc.) stellen eine Ausgabenkomponente für Haushalte dar und erreichen laut EU-SILC (Community Statistics on Income and Living Conditions) im Durchschnitt aller Haushalte knapp 30 Prozent an den Wohnkosten. Im Zusammenhang mit der integrierten Energie- und Klimastrategie sind insbesondere potentielle Änderungen der Ausgaben für Raumwärme von Interesse.

Energiekosten belasten die niedrigen Einkommen

Die Ausgaben für Energie stellen für manche Haushalte, insbesondere jene im untersten Einkommensquintil, eine hohe finanzielle Belastung dar, sodass beispielsweise eine als angenehm empfundene Temperierung von Räumen oder andere energierelevante Dienstleistungen nicht immer gewährleistet sind. Um dem entgegenzuwirken, wird in Diskussionen die Forderung nach "leistbarer Energie" geäußert. Oftmals gibt es auch die Zielsetzung, Wohngebäude mit möglichst niedrigen Errichtungskosten zu bauen, wodurch die Folgekosten für die Nutzung in den Hintergrund rücken können.

Nutzungskosten sind die relevante Kostenkategorie für Gebäude

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 (vgl. EnergyTransition, Köppl et al. 2011; ClimTrans2050, Köppl et al. 2016). Insbesondere ist der Zusammenhang zwischen der Investitionsphase und dem laufenden Betrieb, also der (thermischen) Qualität der Gebäude und deren 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). Für einkommensschwächere Haushaltsgruppen ist es jedoch von besonders hoher Bedeutung, ob bzw. wie sich höhere (thermische) Gebäudestandards in den Investitionskosten bzw. in laufenden Wohnungsausgaben (einerseits Mieterhöhungen, andererseits niedrigere Energiekosten) niederschlagen. Die im Rahmen dieser Untersuchung geschätzten Zusatzkosten für eine Umsetzung ambitionierter Standards in der Gebäudeinfrastruktur liegen zwischen 0% und 6% der Investitionskosten (siehe Kapitel 2). Den höheren Investitionskosten steht ein geringerer Bedarf an Energieflüssen für die Raumtemperierung gegenüber, der sich in geringere Energiekosten über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes überträgt.

Um den Zusammenhang zwischen Investitions- und Betriebsphase stärker in Entscheidungen hinsichtlich der Qualität der Gebäudeinfrastruktur zu verankern, wäre

eine Orientierung an den Nutzungskosten erforderlich. Nutzungskosten enthalten einerseits die annuisierten Investitions- und Finanzierungskosten, die über die Abschreibungsdauer auch die angenommene Lebensdauer des Gebäudes ausdrücken, und andererseits die laufenden Ausgaben für die Gebäudeerhaltung und für Energie. Da höhere Standards einen geringeren Energiebedarf bedeuten, ist davon auszugehen, dass die laufenden Kosten umso niedriger sind, je besser die Qualität der Gebäude ist.

Das potentielle Versagen von Märkten und Förderungen

Um langfristig eine qualitativ hochwertige Gebäudeinfrastruktur mit geringem Energiebedarf im laufenden Betrieb sicherzustellen, kommt der Regulierung eine herausragende Rolle zu. Dies folgt unter anderem daraus, dass der Wohnungsmarkt oder Immobilienmarkt in vielen Fällen eine Trennung von Investor (oder Eigentümer) und Nutzer aufweist, die unterschiedliche Interessen haben. Während Nutzer von niedrigen Energiekosten profitieren würden, fehlen entsprechende Anreize für Investoren zusätzliche Investitionen zur Steigerung der Energieeffizienz zu tätigen. An bereits bestehenden Regulierungsinstrumenten bieten sich die Wohnbauförderung und die Bauordnungen als Anknüpfungspunkte an. In diesem Zusammenhang wäre es auch sinnvoll die länderspezifischen Bestimmungen auf förderliche oder hinderliche Wirkungen auf die Effizienz von Gebäuden hin zu prüfen. Beobachtbare Tendenzen, bewusst billiger und damit qualitativ schlechter zu bauen, sind jedoch kontraproduktiv im Sinne der Zielsetzungen von Energie- und Klimastrategien.

14.2 Einkommensspezifische Energiekosten für Wohnen

Die Analyse zu den potentiellen Auswirkungen einer integrierten Energie- und Klimastrategie auf die Energiekosten für Haushalte, stützt sich auf unterschiedliche Datenbasen:

(1) Die jährliche EU-weite Erhebung der Lebensbedingungen der Privathaushalte (Community Statistics on Income and Living Conditions, EU-SILC) liefert Daten zu den Energieausgaben der Haushalte nach Energieträgern. EU-SILC enthält darüber hinaus Daten zu den Haushaltseinkommen, sodass die Energieausgaben nach Einkommensgruppen dargestellt werden können. EU-SILC beinhaltet jedoch keine Angaben über konsumierte Energiemengen.

(2) Im Mikrozensus "Energieeinsatz der Haushalte 2013/1014" der Statistik Austria ist der Energieeinsatz in Mengen nach Energieträgern erfasst, der auf durchschnittliche monatliche Einsatzmengen je Haushalt umgerechnet werden kann. Verknüpft mit den EU-SILC Daten kann daraus ein impliziter Preis je Energieträger und Energieeinheit errechnet werden.

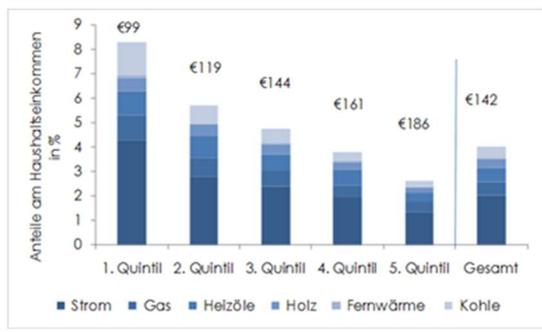
(3) Die Nutzenergieanalyse der Statistik Austria wiederum liefert die Aufteilung des Energieverbrauchs nach Nutzungskategorien und Energieträgern. Mit diesen Daten wird der Energieeinsatz der Haushalte für Raumwärme bestimmt. Hierbei wird aufgrund von Datenrestriktionen vereinfachend unterstellt, dass die Anteile der Nutzenergiekategorien am Energieverbrauch über alle Einkommensgruppen gleich sind.

Gesamte Energieausgaben für Wohnen

Abbildung 14-1 zeigt den Anteil der monatlichen Energieausgaben für Wohnen am Einkommen nach Energieträgern und Einkommensquintilen. Zusätzlich enthält die Abbildung die absoluten monatlichen Ausgaben. Die Energieausgaben umfassen hier alle mit dem Wohnen zusammenhängenden Energieausgaben.

Anteilmäßig machen Energieausgaben am Haushaltseinkommen im untersten Quintil mehr als das Dreifache der Ausgabenanteile des obersten Quartils aus. Die absoluten Ausgaben sind im obersten Quintil jedoch nur knapp doppelt so hoch wie bei der einkommenschwächsten Gruppe.

Abbildung 14-1: Energieausgaben für Wohnen nach Einkommensquintilen



Q: Statistik Austria, EU-SILC.

Der Blick auf die einkommensspezifischen Energieausgaben belegt die Relevanz dieser Ausgabenkategorie für die unteren Einkommensgruppen: Mehr als 8 Prozent des Haushaltseinkommens wird im untersten Quintil für Energie aufgewendet.

Im Zusammenhang mit einer integrierten Energie- und Klimastrategie ist zu betonen,

dass eine Entlastung grundsätzlich auf unterschiedliche Weise zu erreichen ist: Durch eine Reduktion des Bedarfs an Energiemenge durch eine qualitativ hochwertige Gebäudeinfrastruktur oder durch das Anstreben niedriger Energiepreise.

Energieausgaben für Raumwärme

Ausgehend von den gesamten Energieausgaben für Wohnen werden im Folgenden in Übereinstimmung mit der Schwerpunktsetzung im Rahmen dieser Studie die Ausgaben für Raumwärme abgeschätzt.

Einkommensspezifischen Energieausgaben für Raumwärme je Haushalt und Energieträger werden über die Verknüpfung von EU-SILC Daten mit dem Mikrozensus und der Nutzenergieanalyse geschätzt und sind in Tabelle 14-1 dargestellt, wobei jeweils nur jene Haushalte herangezogen werden, die den entsprechenden Energieträger tatsächlich für Heizen verwenden.

Tabelle 14-1: Monatliche Ausgaben für Heizen nach Einkommensquintilen und Energieträgern

in €/HH und Monat	Gas	Strom	Heizöle	Holz	Kohle	Fernwärme	Heizen Gesamt
1. Quintil	9,6	10,3	10,6	7,0	0,9	13,6	52,0
2. Quintil	13,3	11,6	16,5	11,4	1,0	12,6	66,2
3. Quintil	15,9	14,3	18,9	14,2	1,0	14,8	79,1
4. Quintil	17,8	16,4	22,6	16,8	0,9	13,3	87,8
5. Quintil	22,9	19,3	24,0	19,3	0,9	13,6	100,1
Gesamt	15,9	14,4	18,5	13,7	0,9	13,6	77,0
Insgesamt in Mio. €	726	657	848	628	43	620	3.522

Q: Statistik Austria: Nutzenergieanalyse 2015, Mikrozensus 2013/14, EU-SILC 2015, WIFO-Berechnungen.

Ergänzend werden in Tabelle 14-2 die jährlichen Heizausgaben der österreichischen Haushalte hochgerechnet, die 3,5 Mrd. € erreichen.

Die energieträgerspezifischen Ausgaben pro Haushalt und Monat spiegeln die breite Spreizung der Ausgabenhöhe nach Einkommen. Rückschlüsse auf die Ursachen, wie Energieeffizienzstandards, Wohnungsgröße, aber auch Verhalten lassen sich daraus nicht ziehen.

Tabelle 14-2: Jährliche Heizausgaben der österreichischen Haushalte

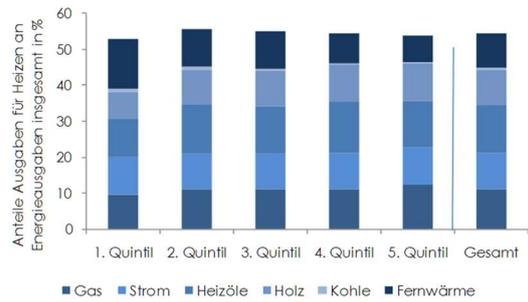
Energieträger	in Mio. €.a
Gas	726
Strom	657
Heizöle	848
Holz	628
Kohle	43
Fernwärme	620
Heizen Gesamt	3.522

Q: Statistik Austria: Nutzenergieanalyse 2015, Mikrozensus 2013/14, EU-SILC 2015, WIFO-Berechnungen

Abbildung 14-2 illustriert, dass gemäß der Näherungsschätzung der Anteil der Ausgaben für Raumwärme an den gesamten

Energieausgaben der Haushalte nach Einkommensquintilen relativ wenig schwankt, was auch mit der Annahme der Gleichverteilung der Nutzenergiekategorien über alle Einkommensgruppen zusammenhängt. Die dennoch beobachtbaren Schwankungen sind auf Unterschiede im Energieträgermix zurückzuführen.

Abbildung 14-2: Anteil der Heizausgaben an den Energieausgaben nach Einkommensquintilen und Energieträgern



Q: Statistik Austria: Nutzenergieanalyse 2015, Mikrozensus 2013/14, EU-SILC 2015, WIFO-Berechnungen

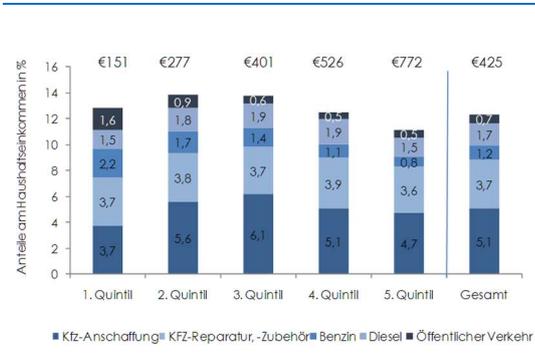
14.3 Einkommensspezifische Verkehrsausgaben

Für den Mobilitätsbereich stellt sich die Datenlage in Hinblick auf Aussagen zur Leistbarkeit dürrtiger dar als für den Raumwärmebereich. Mobilität ist in EU-SILC nicht erfasst. Als statistische Grundlage für einkommensspezifische Verkehrsausgaben nach Ausgabenkategorien bietet sich die Konsumerhebung von Statistik Austria an.

Verkehrsausgaben und Einkommensverteilung

Die in Abbildung 14-3 ausgewiesene Gliederung der Verkehrsausgaben nach Kategorien bezieht sich auf die Konsumerhebung 2014/2015.

Abbildung 14-3: Anteil der Verkehrsausgaben am Haushaltseinkommen nach Ausgabenkategorie und Einkommensquintilen



Quelle: Konsumerhebung 2014/2015

Grundsätzlich kann man die Verkehrsausgaben in fixe und in variable Ausgabenkategorien differenzieren. Laut Konsumerhebung 2014/2015 schwankt der Anteil der Verkehrsausgaben am Einkommen relativ wenig, im Durchschnitt erreichen sie 12,3 Prozent des Einkommens. Nach Einkommensquintilen liegen die absoluten Verkehrsausgaben im obersten Quintil um mehr als das Viereinhalbfache über den Ausgaben der untersten Einkommenskategorie. KFZ-Anschaffungen machen im 3. Quintil den höchsten Anteil am Einkommen aus. Die Ausgaben für Benzin und Diesel bleiben anteilmäßig in den unteren drei Einkommenskategorien relativ stabil und gehen anteilmäßig im 4. und 5. Quintil zurück. Absolut gemessen gibt ein Haushalt im obersten Einkommensquintil jedoch etwa viermal so viel für Treibstoffe aus, als ein einkommensschwacher Haushalt.

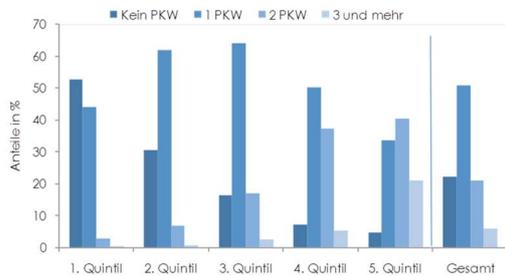
Autobesitz und Einkommensverteilung

Der Besitz eines Autos trägt wesentlich zu den Verkehrsausgaben eines Haushalts und zur Spreizung der Verkehrsausgaben nach Quintilen bei.

Entsprechend Abbildung 14-4 haben im untersten Quintil etwa mehr als 50 Prozent der Haushalte kein Auto. Dieser Anteil der Haushalte reduziert sich drastisch mit steigendem Einkommen. Gleichzeitig steigt der Anteil der Haushalte mit mehr als einem Auto mit dem Einkommen. In der höchsten Einkommensklasse sind nur etwa

5 Prozent der Haushalte ohne Auto, mehr als ein Fünftel verfügt aber über mehr als drei Autos.

Abbildung 14-4: Anzahl der PKW je Haushalte nach Einkommensquintilen

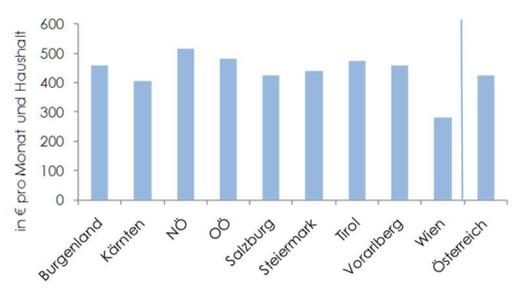


Quelle: Konsumerhebung 2014/2015

Verkehrsausgaben nach Bundesländern

Verkehr und Mobilitätsbedarf werden sehr stark von Raumstrukturen beeinflusst. Eine Auswertung der Verkehrsausgaben nach Bundesländern ist in Abbildung X ausgewiesen.

Abbildung 14-5: Regionale Verteilung der Verkehrsausgaben der Haushalte 2014/2015



Quelle: Konsumerhebung 2014/2015.

Das Bundesland mit den höchsten Verkehrsausgaben je Haushalt ist Niederösterreich. Pro Monat hat ein Haushalt in Niederösterreich 2013/2014 mehr als 500 € ausgegeben, ein durchschnittlicher österreichischer Haushalt 425 €. Mit 280€ gibt ein Wiener Haushalt etwa zwei Drittel vom Österreichdurchschnitt für Verkehr aus. Dies könnte als Hinweis darauf interpretiert werden, dass die Verfügbarkeit von öffentlichem Verkehr bzw. geringeren Weglängen mit geringeren Verkehrsausgaben verbunden sind

Ausgabeneffekte von Energie- und Klimastrategien

Ausgabeneffekte auf den Mobilitätsbereich durch eine integrierte Energie- und Klimastrategie hängen von spezifischen Umsetzungsmaßnahmen ab, die im Verkehrsbereich eine hohe Heterogenität aufweisen. Gemäß einer Orientierung an energierelevanten Dienstleistungen könnten Maßnahmen, die den Bedarf an physischer Mobilität reduzieren, die Ausgaben für Verkehr reduzieren. Dazu zählen Raumordnungsmaßnahmen ebenso wie Tele-Working oder Video-Konferenzen.

15 Effekte auf die Versorgungssicherheit

Energiepolitik und Klimaschutz sind eng mit den Begriffen Wettbewerbsfähigkeit und Versorgungssicherheit verbunden, wobei häufig potentielle Zielkonflikte in den Vordergrund gerückt werden. Im vorliegenden Kontext kommt neben der Mehrdimensionalität der Ziele als weitere Komplexität die zeitliche Dimension hinzu.

Eine Beurteilung von Synergien und Konflikten zwischen den unterschiedlichen Zieldimensionen würde aber auch eine klare Definition der Begrifflichkeiten voraussetzen, was nicht in dem Maße eindeutig ist, wie dies die öffentliche Diskussion nahelegt. Im Zusammenhang mit Wettbewerbsfähigkeit wird häufig Kostenwettbewerbsfähigkeit verstanden bzw. im Zusammenhang mit Energie niedrige Energiepreise.

Für eine Beurteilung der Versorgungssicherheit kommt Argumenten wie Ressourcenverfügbarkeit, Stabilität im Versorgungssystem und Resilienz hohe Bedeutung zu.

Für beide Zieldimensionen spielen im Zusammenhang mit einer integrierten Ener-

gie- und Klimastrategie die in den vorangegangenen Kapiteln diskutierten technologischen veränderungspotentiale sowie eine konsequente Orientierung an der höchstmöglichen Energieproduktivität auf allen Stufen des Energiesystems eine bestimmende Rolle.

Im Folgenden wird aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive der Außenhandel mit Energie dargestellt sowie auf die Preiseffekte durch fossile und erneuerbare Energien verwiesen.

15.1 Die Auslandsabhängigkeit von Energie

Österreich hat im Außenhandel mit Energie im Jahr 2016 ein Defizit von nominell 6,6 Mrd. €. Im Vergleich zu 2010 fällt der Außenhandelsaldo geringer aus, was vor allem auf die Preisschwankungen des Erdölpreises zurückzuführen ist, da die Energieimportmengen zwischen 2010 und 2015 nicht in gleichem Maße zurückgegangen sind.

Tabelle 15-1 Außenhandel mit Energie

Er	Exporte		Importe		Saldo	
	2010	2016	2010	2016	2010	2016
in Mio. €						
Kohle	3	1	719	440	-716	-439
Erdöl	0	0	3.049	2.178	-3.049	-2.178
Heizöl	67	100	111	27	-44	72
Benzin	274	362	689	427	-415	-65
Diesel	432	383	3.342	2.177	-2.909	-1.793
Erdgas	728	285	2.867	2.332	-2.140	-2.047
Strom	1.154	786	810	910	345	-124
Insgesamt	2.658	1.916	11.586	8.491	-8.928	-6.574

Für elektrische Energie illustriert Tabelle 15-1 dass Österreich von einem Nettoexporteur zu einem Nettoimporteur geworden ist.

Insgesamt liegt 2016 das Außenhandelsdefizit im Bereich Energie bei 1,3 % des nomi-

nellen Bruttoinlandsprodukts

Die Außenhandelsabhängigkeit für Energie insgesamt und für die fossilen Energieträger ist aus Abbildung 15-2 ersichtlich.

Abbildung 15-1: Außenhandel mit Energie als Anteil am BIP

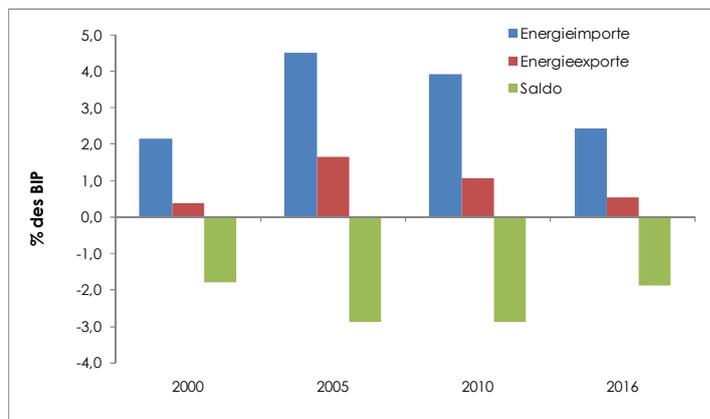


Abbildung 15-2: Außenhandel mit Energie

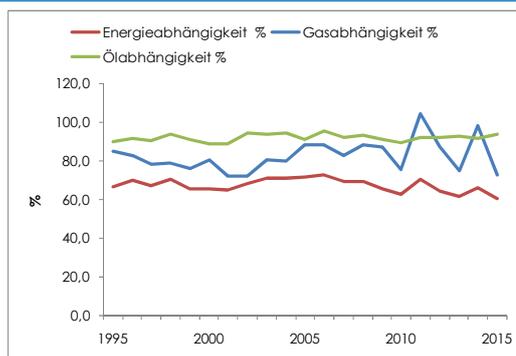
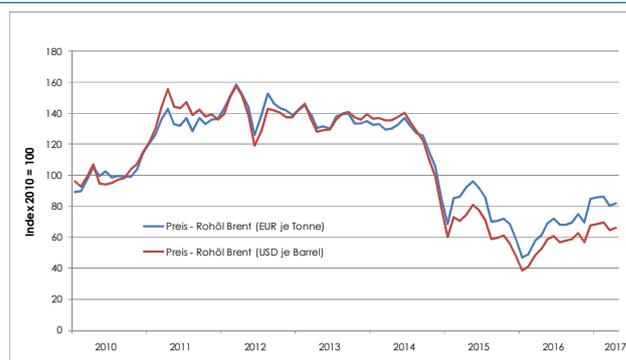


Abbildung 15-3: Entwicklung des Erdölpreises

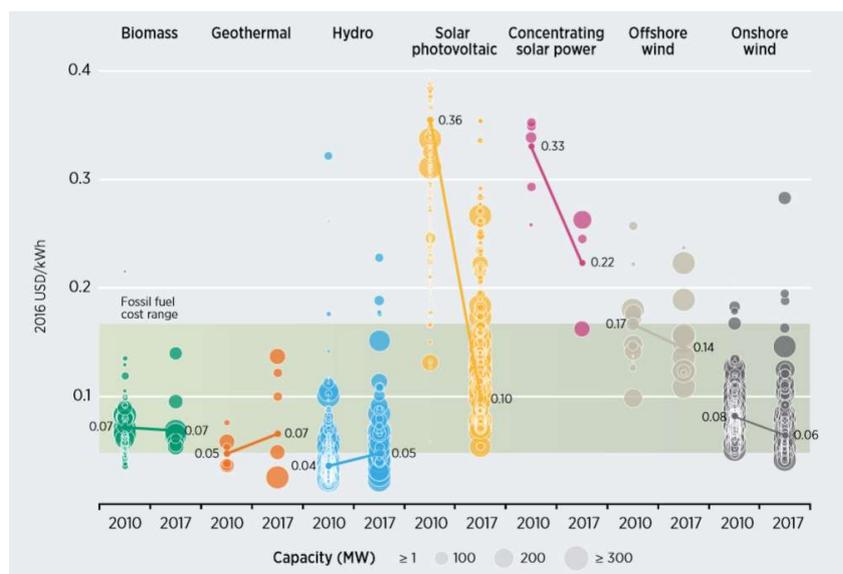


15.2 Die Veränderungen bei den Preisen von Energie

Versorgungssicherheit wird auch mit den Preisen für Energie in Beziehung gebracht. Bei fossiler Energie ist der Preis von Erdöl bestimmend, der weiterhin hohe Volatilität aufweist, wie aus Abbildung 15-3 ersichtlich.

Zu einem Game Changer in der Versorgung wurden die neuen erneuerbaren Energien Wind, Sonne und Biomasse einerseits durch Förderprogramme, andererseits aber durch den weitgehend unerwarteten Kostenverfall, der in Abbildung 15-4 zu sehen ist.

Abbildung 15-4: Entwicklung der Kosten für Elektrizität aus erneuerbaren Energien



Quelle: IRENA (2017)

16 Die Bewertung von Energie- und Klimastrategien: Behindernde Stolpersteine entfernen und zukunftsfähige Bausteine entdecken

Energie- und Klimastrategien haben letztlich den Test der Wirksamkeit zu bestehen. Die dafür vorgelegten in einem politischen Prozess entstandenen Pläne sind hinsichtlich ihrer sichtbaren Umsetzung zu bewerten. Welche möglichen Projekte dabei entstehen könnten, soll anhand von Beispielen illustriert werden.

Auch die Werkzeuge für die Bewertung von Energie- und Klimastrategien sind unter dem Aspekt der Angemessenheit und Wirksamkeit zu beurteilen. Der verwendete Bewertungsrahmen und die verwendeten Analyseinstrumente haben Einfluss auf die Analyseergebnisse. Mängel bei den Werkzeugen schlagen sich in Mängeln bei den Produkten nieder. Das gilt auch für viele Aussagen, die mit nicht mehr adäquaten Analysen für Energie- und Klimastrategien getroffen werden.

Zusammenfassend werden deshalb am Ende dieses Kapitels Aspekte für eine Bewertung von Energie- und Klimastrategien vorgelegt, die sich aus der vorliegenden Analyse ableiten. Damit soll einerseits sichtbar werden, dass viele derzeit verwendete Methoden und daraus abgeleitete Aussagen ihr Ablaufdatum erreicht haben und andererseits die hier gewählte Vorgangsweise für die Bewertung von Energie- und Klimastrategien nochmals begründet werden.

16.1 Wie innovative Energie- und Klimastrategien sichtbar werden könnten

Eine durch einen politischen Prozess generierte Energie- und Klimastrategie könnte durch einige wenige Projekte mit einer starken Signalwirkung eine zusätzliche Ori-

entierung bekommen. Die Politik versteht sich dabei als Enabler. Im Folgenden werden beispielgebend drei mögliche Projekte skizziert.

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 Regelenergie 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 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.

Diese Beispiele für 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 solche integrierten Netzstrukturen betreibt

16.2 Energie 2.0 - Ein neues Mindset fundiert innovative Energie- und Klimastrategien

Diese beispielhaft formulierten Projekte für innovative Energie- und Klimastrategien sind durch ein entsprechendes innovatives Mindset fundiert, das plakativ mit Energie 2.0 etikettiert wird.

Energie 1.0 ist nicht mehr ausreichend

Dieser Level der Energiediskussion ist an den damit verbundenen e-Vokabeln, nämlich **Erneuerbare, Effizienz und Energiewende**, identifizierbar.

Dieser Fokus erweist sich aber als nicht ausreichend, um auf die künftigen Chancen aber auch Bedrohungen in unserem Energiesystem zu reagieren.

Schritt eins zu Energie 2.0: Die volle energetische Wertschöpfungskette verstehen

Die bereits absehbaren radikalen Veränderungen im Energiesystem erfordern vor allem ein vertieftes Verständnis der vollen energetischen Wertschöpfungskette mit drei essentiellen Komponenten:

- **Funktionalitäten**, nämlich die benötigten thermischen, mechanischen und spezifisch elektrischen Dienstleistungen, sind die zur erfüllenden Aufgaben eines Energiesystems.
- **Anwendungs- und Transformations-Technologien**, wie Gebäude, Maschinen, Fahrzeuge, sowie Komponenten für Beleuchtung, Elektronik und Kommuni-

kation, sind der relevante Kapitalstock des Energiesystems.

- **Energieflüsse**, von der End- bis zur Primärenergie und von der Menge bis zu deren Energieträger-Mix, werden von den gewählten Anwendungs- und Transformations-Technologien bestimmt.

Schritt zwei zu Energie 2.0: Innovation, Integration und Inversion

Diese i-Vokabel sind viel besser geeignet, die möglichen Transformationen unserer Energiesysteme auszuloten:

- **Innovation** ist der Schlüssel für Veränderungen bei allen Elementen und auf allen Ebenen der energetischen Wertschöpfungskette. Oft ist damit ein Zusatznutzen für Wettbewerbsfähigkeit und Leistbarkeit verbunden.
- **Integration** erkennt Synergien, die aus der Verschränkung unterschiedlicher Elemente des Energiesystems entstehen.
- **Inversion** startet jede Analyse des Energiesystems bei den Funktionalitäten und folgt entlang der Energiekette über die Wahl der Technologien bei Anwendung und Transformation bis zu End- und Primärenergie. Damit wird die geläufige Praxis gleichsam umgekehrt, die energiepolitische Diskussionen meist bei der Primärenergie eröffnet.

16.3 Energie 2.0 identifiziert neue Handlungsfelder

Während das Mindset von Energie 1.0 vor allem die Bereitstellung von Energie in den Vordergrund rückt, betont Energie 2.0 integrierte und auf die zu erfüllenden Funkti-

onalitäten fokussierte Handlungsfelder. Dieser Zugang macht auch die Optionen für Erneuerbare und Emissionsreduktionen transparent und macht die Erreichbarkeit

der damit verbundenen Ziele sichtbar. Drei prioritäre Handlungsfelder werden dabei sichtbar:

Multifunktionale Gebäude

In einem zukunftsfähigen Energiesystem haben Gebäude nicht nur höchste energetische Standards sondern sie übernehmen auch eine aktive Rolle bei der Bereitstellung von Energie.

- Der Standort dieser Gebäude wird entsprechend einer ressourcenschonenden Raumplanung gewählt.
- Die Gebäudehülle übernimmt auch eine Rolle für die Bereitstellung von Energie mit Priorität für Erneuerbare 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

In einem zukunftsfähigen Energiesystem werden alle Verkehrsträger verbunden, vollelektrische Antrieben erlangen Priorität, aber auch Kommunikationstechnologien bekommen eine zunehmend wichtige Rolle.

- Zugrunde liegt ein neues Verständnis von Mobilität, die sich als Zugang zu Personen, Gütern und Orten versteht.
- Aufgrund der immer attraktiver werdenden Kommunikationstechnologien sind für diese Aufgabenstellung nicht mehr immer Transportbewegungen erforderlich.
- Das ganze Spektrum der Verkehrsträger von Fußwegen über den öffentlichen bis zum Individualverkehr wird verschränkt.

Mit diesen Veränderungen sind neue Geschäftsmodelle verbunden, da Nutzungsmodelle auf der Basis von Sharing gerade im Bereich Mobilität besonders attraktiv werden.

16.4 Energie 2.0 braucht neue Werkzeuge zur Bewertung von Energie- und Klimastrategien

Die meisten für die Bewertung von Energie- und Klimastrategien weltweit verwendeten analytischen Werkzeuge sind Modellkonzepte, die vom Mindset Energie 1.0 geprägt sind.

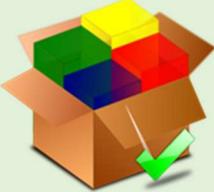
Die Herausforderung für die analytischen Modellkonzepte, die für ein Mindset von Energie 1.0 entwickelt wurden, liegt in einer Weiterentwicklung oder Neuentwicklung der Modelle, um die skizzierten Handlungsfelder eines sich grundlegend ändernden Verständnisses von Energiesyste-

men abbilden zu können.

Noch zeigt allerdings die Praxis ein Verharren in der alten Modellgeneration. Zwei Erklärungen sind für diese Mängel bei der Entwicklung von analytischen Werkzeugen möglich: Einerseits läuft die Geschwindigkeit der Umbrüche in den Energiesystemen unerwartet rasch ab; andererseits sind Modellentwicklungen mit sogenannten Sunk Costs verbunden, die sich als Hemmnisse für Innovationen erweisen.

Wie die Brauchbarkeit von Werkzeugen zur Bewertung von Energie- und Klimastrategien beurteilt werden kann

Das Verständnis des Energiesystems	
BIP und Preise (von Energie bis zu Carbon) sind die do-	Der Einfluss der ökonomischen Größen BIP und Preise ist, wie in der Vergangenheit, klarer identifizierbar,

<p>X</p>	<p>minanten Treiber des Energiesystems</p> 	<p>wenn es im Energiesystem wenig strukturelle Veränderungen gibt</p> <p>Zunehmend werden diese Variablen immer weniger für den Energieverbrauch bestimmend und langfristig wird überhaupt eine Entkoppelung von wirtschaftlicher Aktivität angestrebt.</p> <p>Zu beachten ist auch, dass es nicht möglich ist belastbare Aussagen über diese Variablen für Zeiträume bis 2030 oder gar 2050 zu machen.</p>
<p>✓</p>	<p>Funktionalitäten und die Technologien der gesamten energetischen Wertschöpfungskette sind die Treiber des Energiesystems</p> 	<p>Das bedeutet gleichsam ein Öffnen der Black Box mit der Betonung, dass es die Funktionalitäten für die thermischen, mechanischen und spezifisch elektrischen energetischen Dienstleistungen sind, die letztlich den Wert eines Energiesystems bestimmen.</p> <p>Sichtbar wird auch die gesamte energetische Wertschöpfungskette, denn ausgehend von den Funktionalitäten wird die gesamte Struktur der Anwendungsbis zu den Transformationstechnologien analysiert samt den damit verbundenen Energieflüssen von der Endbis zur Primär-Energie.</p> <p>Dieses vertiefte Verständnis von Energiesystemen erlaubt die erwarteten massiven Veränderungen in der Struktur von Energiesystemen nachvollziehbar abzubilden. Damit werden langfristige Aussagen zu den möglichen Transformationen von Energiesystemen nachvollziehbar.</p>

<p>Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Aussagen</p>		
<p>X</p>	<p>Die Black Box Konzepte: Bestimmende Parameter sind Elastizitäten für Einkommen, wirtschaftliche Aktivität und Preise</p>	<p>Die dominierenden Parameter bei Black Box Modellen sind entweder statistisch oder aus anderen Überlegungen festgelegte Parameter für die Reaktion von wirtschaftlicher Aktivität und Preisen auf den Energieverbrauch.</p> <p>Meist sind die numerischen Werte dieser Parameter schwer nachvollziehbar. Das bedingt aber nicht nur Unsicherheit, sondern letztlich eingeschränkte Aussagefähigkeit für Aussagen über jene langen Zeiträume, die für die Beurteilung von Energie- und Klimastrategien in diesem Modellkonzept erforderlich sind.</p>
<p>✓</p>	<p>Die auf der gesamten energetischen Wertschöpfungskette basierenden Konzepte: Bestimmende Parameter sind Funktionalitäten, die Produktivitäten der Technologien bei Anwendung und Transformation sowie die</p>	<p>Diese nach dem Öffnen der Black Box erforderlichen Parameter zur Abbildung der energetischen Wertschöpfungskette – nämlich Funktionalitäten, energetische Produktivitäten und Energie-Mix – sind nachvollziehbar und geben den damit verbundenen Aussagen Transparenz.</p> <p>Der Bedarf an Funktionalitäten für die mit Energie abzudeckenden Wohlstandserfahrungen ist in der Regel leichter verständlich zu machen als langfristige BIP-</p>

	Wahl des Energie-Mixes	<p>Schätzungen.</p> <p>Energetische Produktivitäten sind bestimmt durch die Wahl von Anwendungs-Technologien von Gebäuden über Maschinen bis zu Fahrzeugen und Transformationstechnologien von Turbinen bis zu Wärme-Kraft-Maschinen. Alle damit verbundenen Innovationen bedeuten letztlich Veränderungen dieser Parameter für energetische Produktivität. Die für technologische aber auch institutionelle Innovationen relevanten Parameter sind damit transparent und in den gewonnenen Aussagen nachvollziehbar.</p> <p>Schließlich ist auch die Wahl des Energie-Mixes von der End- bis zur Primär-Energie ebenfalls ein transparenter und in den Aussagen zu Emissionswirkungen nachvollziehbarer Parameter.</p>
--	-------------------------------	---

TEIL 4: FUNDIERUNGEN

Daten und Details zu den Analysen

Ein Text ist nicht dann vollkommen, wenn man nichts mehr hinzufügen, sondern nichts mehr weglassen kann.

Antoine de Saint-Éxupéry

17 Inputs für die Modellanalysen

17.1 Niedertemperatur

Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Nieder-Temperatur			2015	TJ	301.904	2.088	48.937	72.866	87.718	26.141	64.154
2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	1%	16%	Startperiode Energie-Mix 24%	29%	9%	21%	
Veränderung	30	300	Index	-68	0%	-14%	Veränderung Energie-Mix -20%	21%	25%	-12%	
2050	130	400	Index	33	1%	2%	Endperiode Energie-Mix 4%	50%	34%	9%	
			2030	TJ	226.495	1.567	32.653	48.865	71.898	26.862	44.650
			2050	TJ	98.119	679	2.168	4.058	49.113	33.025	9.076

Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Nieder-Temperatur			2015	TJ	301.904	2.088	48.937	72.866	87.718	26.141	64.154
2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	1%	16%	Startperiode Energie-Mix 24%	29%	9%	21%	
Veränderung	30	150	Index	-48	0%	-7%	Veränderung Energie-Mix -10%	15%	8%	-6%	
2050	130	250	Index	52	1%	9%	Endperiode Energie-Mix 14%	44%	17%	15%	
			2030	TJ	262.988	1.819	40.272	60.106	81.462	25.465	53.864
			2050	TJ	156.990	1.086	14.458	22.191	69.162	26.152	23.941

Fokus Wasserstoff aus Erneuerbaren – Szenario „Beethoven“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Nieder-Temperatur			2015	TJ	301.904	2.088	48.937	72.866	87.718	26.141	64.154
2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	1%	16%	Startperiode Energie-Mix 24%	29%	9%	21%	
Veränderung	30	150	Index	-48	0%	-7%	Veränderung Energie-Mix -10%	15%	8%	-6%	
2050	130	250	Index	52	1%	9%	Endperiode Energie-Mix 14%	44%	17%	15%	
			2030	TJ	262.988	1.819	40.272	60.106	81.462	25.465	53.864
			2050	TJ	156.990	1.086	14.458	22.191	69.162	26.152	23.941

Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Nieder-Temperatur			2015	TJ	301.904	2.088	48.937	72.866	87.718	26.141	64.154
2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	1%	16%	Startperiode Energie-Mix 24%	29%	9%	21%	
Veränderung	30	300	Index	-68	0%	-14%	Veränderung Energie-Mix -20%	30%	16%	-12%	
2050	130	400	Index	33	1%	2%	Endperiode Energie-Mix 4%	59%	25%	9%	
			2030	TJ	226.495	1.567	32.653	48.865	74.509	24.252	44.650
			2050	TJ	98.119	679	2.168	4.058	57.944	24.195	9.076

17.2 Hochtemperatur

Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Hoch-Temperatur			2015	TJ	243.539	26.630	11.553	93.040	51.094	48.838	12.383
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	11%	5%	Startperiode Energie-Mix 38% 21%		20%	5%
		15	18	Index	-3	-5%	-2%	Veränderung Energie-Mix -16% 16%		6%	1%
	2050	115	118	Index	97	6%	3%	Endperiode Energie-Mix 22% 37%		26%	6%
			2030	TJ	241.644	23.137	10.149	81.800	61.213	52.402	12.943
			2050	TJ	237.347	14.086	6.512	52.699	87.771	61.837	14.441

Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Hoch-Temperatur			2015	TJ	243.539	26.630	11.553	93.040	51.094	48.838	12.383
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	11%	5%	Startperiode Energie-Mix 38% 21%		20%	5%
		15	18	Index	-3	-5%	-2%	Veränderung Energie-Mix -16% 16%		6%	1%
	2050	115	118	Index	97	6%	3%	Endperiode Energie-Mix 22% 37%		26%	6%
			2030	TJ	241.644	23.137	10.149	81.800	61.213	52.402	12.943
			2050	TJ	237.347	14.086	6.512	52.699	87.771	61.837	14.441

Fokus Wasserstoff in der Industrie – Szenario „Beethoven“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Hoch-Temperatur			2015	TJ	243.539	26.630	11.553	93.040	51.094	48.838	12.383
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	11%	5%	Startperiode Energie-Mix 38% 21%		20%	5%
		15	18	Index	-3	-10%	-4%	Veränderung Energie-Mix -33% 32%		13%	2%
	2050	115	118	Index	97	1%	1%	Endperiode Energie-Mix 5% 53%		33%	7%
			2030	TJ	241.644	19.850	8.834	70.626	71.730	57.003	13.601
			2050	TJ	237.347	2.219	1.765	12.350	125.746	78.452	16.815

Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Hoch-Temperatur			2015	TJ	243.539	26.630	11.553	93.040	51.094	48.838	12.383
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	11%	5%	Startperiode Energie-Mix 38% 21%		20%	5%
		15	36	Index	-15	-10%	-4%	Veränderung Energie-Mix -33% 32%		13%	2%
	2050	115	136	Index	85	1%	1%	Endperiode Energie-Mix 5% 53%		33%	7%
			2030	TJ	230.868	18.965	8.440	67.476	68.531	54.461	12.994
			2050	TJ	205.933	1.925	1.532	10.716	109.103	68.068	14.589

17.3 Stationäre Antriebe

Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Stationäre Antriebe			2015	TJ	123.156	0	15.591	4.921	1.312	101.333	0
2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	13%	4%	1%	82%	0%	
Veränderung	30	20	Index	8	0%	-4%	-1%	1%	4%	0%	
2050	130	120	Index	108	0%	9%	3%	2%	86%	0%	
			2030	TJ	126.333	0	14.618	4.705	1.689	105.322	0
			2050	TJ	133.419	0	11.553	3.997	2.755	115.114	0

Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Stationäre Antriebe			2015	TJ	123.156	0	15.591	4.921	1.312	101.333	0
2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	13%	4%	1%	82%	0%	
Veränderung	30	20	Index	8	0%	-4%	-1%	1%	4%	0%	
2050	130	120	Index	108	0%	9%	3%	2%	86%	0%	
			2030	TJ	126.333	0	14.618	4.705	1.689	105.322	0
			2050	TJ	133.419	0	11.553	3.997	2.755	115.114	0

Fokus Wasserstoff in der Industrie – Szenario „Beethoven“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Stationäre Antriebe			2015	TJ	123.156	0	15.591	4.921	1.312	101.333	0
2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	13%	4%	1%	82%	0%	
Veränderung	30	20	Index	8	0%	-4%	-1%	1%	4%	0%	
2050	130	120	Index	108	0%	9%	3%	2%	86%	0%	
			2030	TJ	126.333	0	14.618	4.705	1.689	105.322	0
			2050	TJ	133.419	0	11.553	3.997	2.755	115.114	0

Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Stationäre Antriebe			2015	TJ	123.156	0	15.591	4.921	1.312	101.333	0
2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	13%	4%	1%	82%	0%	
Veränderung	30	40	Index	-7	0%	-9%	-1%	1%	9%	0%	
2050	130	140	Index	93	0%	4%	3%	2%	91%	0%	
			2030	TJ	120.135	0	12.267	4.474	1.606	101.788	0
			2050	TJ	114.359	0	4.185	3.426	2.361	104.387	0

17.4 Mobile Antriebe

Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Mobile Antriebe			2015	TJ	387.043	5	336.960	11.236	27.646	11.195	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	87%	Startperiode Energie-Mix 3%	7%	3%	0%
		15	180	Index	-59	0%	-40%	Veränderung Energie-Mix 1%	1%	38%	0%
	2050	115	280	Index	41	0%	47%	Endperiode Energie-Mix 4%	8%	41%	0%
			2030	TJ	327.909	4	260.353	10.147	24.051	33.354	0
			2050	TJ	158.964	2	74.809	6.204	12.944	65.004	0

Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Mobile Antriebe			2015	TJ	387.043	5	336.960	11.236	27.646	11.195	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	87%	Startperiode Energie-Mix 3%	7%	3%	0%
		15	220	Index	-64	0%	-50%	Veränderung Energie-Mix 1%	-3%	52%	0%
	2050	115	320	Index	36	0%	37%	Endperiode Energie-Mix 4%	4%	55%	0%
			2030	TJ	307.775	4	248.244	9.329	20.802	29.396	0
			2050	TJ	139.093	2	51.548	5.429	5.763	76.352	0

Fokus Wasserstoff in der Industrie – Szenario „Beethoven“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Mobile Antriebe			2015	TJ	387.043	5	336.960	11.236	27.646	11.195	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	87%	Startperiode Energie-Mix 3%	7%	3%	0%
		15	180	Index	-59	0%	-46%	Veränderung Energie-Mix -2%	10%	38%	0%
	2050	115	280	Index	41	0%	41%	Endperiode Energie-Mix 1%	17%	41%	0%
			2030	TJ	327.909	4	256.584	8.263	29.704	33.354	0
			2050	TJ	158.964	2	65.271	1.435	27.251	65.004	0

Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Mobile Antriebe			2015	TJ	387.043	5	336.960	11.236	27.646	11.195	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	87%	Startperiode Energie-Mix 3%	7%	3%	0%
		15	360	Index	-75	0%	-80%	Veränderung Energie-Mix 1%	2%	77%	0%
	2050	115	460	Index	25	0%	7%	Endperiode Energie-Mix 4%	9%	80%	0%
			2030	TJ	281.103	3	208.734	8.610	20.979	42.776	0
			2050	TJ	96.761	1	6.831	3.777	8.847	77.305	0

17.5 Beleuchtung und Elektronik

Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Beleuchtung und Elektronik			2015	TJ	31.421	0	0	0	0	31.421	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	0%	0%	0%	100%	0%
		120	100	Index	10	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	2050	220	200	Index	110	0%	0%	0%	0%	100%	0%
			2030	TJ	33.574	0	0	0	0	33.574	0
			2050	TJ	34.563	0	0	0	0	34.563	0

Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Beleuchtung und Elektronik			2015	TJ	31.421	0	0	0	0	31.421	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	0%	0%	0%	100%	0%
		120	100	Index	10	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	2050	220	200	Index	110	0%	0%	0%	0%	100%	0%
			2030	TJ	33.574	0	0	0	0	33.574	0
			2050	TJ	34.563	0	0	0	0	34.563	0

Fokus Wasserstoff in der Industrie – Szenario „Beethoven“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Beleuchtung und Elektronik			2015	TJ	31.421	0	0	0	0	31.421	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	0%	0%	0%	100%	0%
		120	100	Index	10	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	2050	220	200	Index	110	0%	0%	0%	0%	100%	0%
			2030	TJ	33.574	0	0	0	0	33.574	0
			2050	TJ	34.563	0	0	0	0	34.563	0

Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Beleuchtung und Elektronik			2015	TJ	31.421	0	0	0	0	31.421	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	0%	0%	0%	0%	100%	0%
		120	200	Index	-27	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	2050	220	300	Index	73	0%	0%	0%	0%	100%	0%
			2030	TJ	25.007	0	0	0	0	25.007	0
			2050	TJ	23.042	0	0	0	0	23.042	0

17.6 Nicht-energetische Verwendung

Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Nicht-energet. Verbrauch			2015	TJ	80.837	600	66.815	13.421	0	0	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	1%	83%	17%	0%	0%	0%
		15	12	Index	3	0%	-15%	15%	0%	0%	0%
	2050	115	112	Index	103	1%	68%	32%	0%	0%	0%
			2030	TJ	81.475	605	64.019	16.852	0	0	0
			2050	TJ	83.002	616	56.155	26.231	0	0	0

Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Nicht-energet. Verbrauch			2015	TJ	80.837	600	66.815	13.421	0	0	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	1%	83%	17%	0%	0%	0%
		10	10	Index	0	0%	-15%	15%	0%	0%	0%
	2050	110	110	Index	100	1%	68%	32%	0%	0%	0%
			2030	TJ	80.837	600	63.517	16.720	0	0	0
			2050	TJ	80.837	600	54.690	25.547	0	0	0

Fokus Wasserstoff in der Industrie – Szenario „Beethoven“

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Nicht-energet. Verbrauch			2015	TJ	80.837	600	66.815	13.421	0	0	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	1%	83%	17%	0%	0%	0%
		15	12	Index	3	0%	-15%	15%	0%	0%	0%
	2050	115	112	Index	103	1%	68%	32%	0%	0%	0%
			2030	TJ	81.475	605	64.019	16.852	0	0	0
			2050	TJ	83.002	616	56.155	26.231	0	0	0

Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Funktionalitäten und Nutz-Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme		
Nicht-energet. Verbrauch			2015	TJ	80.837	600	66.815	13.421	0	0	0
Veränderung	2015	Funktionalität 100	Produktivität 100	Index	100	1%	83%	17%	0%	0%	0%
		15	24	Index	-7	0%	-30%	30%	0%	0%	0%
	2050	115	124	Index	93	1%	53%	47%	0%	0%	0%
			2030	TJ	78.979	586	58.835	19.558	0	0	0
			2050	TJ	74.969	556	39.475	34.938	0	0	0

17.7 Verteilung von Energie

Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Verteilung von Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme
Netto-Endenergie	2015	TJ	1.167.899	29.328	479.856	195.484	167.766	218.928	76.537
	2030	TJ	1.037.430	25.312	381.792	162.368	158.851	251.514	57.593
	2050	TJ	745.414	15.383	151.197	93.190	152.583	309.544	23.517
Verluste aus Vert. und Eigenv.	2015	TJ	144.933	69.033	13.421	15.593	0	39.632	7.255
	2030	TJ	128.485	64.786	8.587	11.971	0	38.394	4.748
	2050	TJ	116.552	66.325	2.647	6.359	0	39.544	1.677
Anteil der Verluste aus Verteilung und Eigenv.	2015	%	11	70%	3%	7%	0%	15%	9%
	Veränderung	%	2	11%	-1%	-1%	0%	-4%	-2%
	2050	%	14	81%	2%	6%	0%	11%	7%
Brutto-Endenergie	2015	TJ	1.312.832	98.360	493.277	211.077	167.766	258.560	83.791
	2030	TJ	1.165.915	90.098	390.378	174.339	158.851	289.907	62.341
	2050	TJ	861.966	81.707	153.844	99.548	152.583	349.089	25.194
Brutto-Endenergie Untransf.	2015	TJ	524.962	16.053	105.493	211.077	156.130	36.209	0
	2030	TJ	415.055	11.418	81.453	174.339	147.834	12	0
	2050	TJ	280.541	7.616	31.363	99.548	142.000	14	0
Anteil von untransformierter Brutto-Endenergie	2015	%	67	16%	21%	100%	93%	14%	0%
	Veränderung	%	-18	-7%	-1%	0%	0%	-14%	0%
	2050	%	48	9%	20%	100%	93%	0%	0%
Brutto-Endenergie Transf.	2015	TJ	787.870	82.308	387.784	0	11.636	222.351	83.791
	2030	TJ	750.860	78.680	308.926	0	11.018	289.895	62.341
	2050	TJ	581.425	74.092	122.481	0	10.583	349.074	25.194

Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Verteilung von Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme
Netto-Endenergie	2015	TJ	1.167.899	29.328	479.856	195.484	167.766	218.928	76.537
	2030	TJ	1.064.841	25.564	376.091	173.328	166.402	256.647	66.808
	2050	TJ	793.687	15.790	143.663	110.910	165.489	319.454	38.382
Verluste aus Vert. und Eigenv.	2015	TJ	144.933	69.033	13.421	15.593	0	39.632	7.255
	2030	TJ	130.456	64.534	8.459	12.779	0	39.177	5.507
	2050	TJ	119.549	65.918	2.515	7.568	0	40.810	2.738
Anteil der Verluste aus Verteilung und Eigenv.	2015	%	11	70%	3%	7%	0%	15%	9%
	Veränderung	%	2	10%	-1%	-1%	0%	-4%	-2%
	2050	%	13	81%	2%	6%	0%	11%	7%
Brutto-Endenergie	2015	TJ	1.312.832	98.360	493.277	211.077	167.766	258.560	83.791
	2030	TJ	1.195.297	90.098	384.550	186.107	166.402	295.825	72.315
	2050	TJ	913.236	81.707	146.178	118.477	165.489	360.264	41.120
Brutto-Endenergie Untransf.	2015	TJ	524.962	16.053	105.493	211.077	156.130	36.209	0
	2030	TJ	432.634	11.418	80.236	186.107	154.861	12	0
	2050	TJ	309.919	7.616	29.800	118.477	154.011	15	0
Anteil von untransformierter Brutto-Endenergie	2015	%	67	16%	21%	100%	93%	14%	0%
	Veränderung	%	-15	-7%	-1%	0%	0%	-14%	0%
	2050	%	51	9%	20%	100%	93%	0%	0%
Brutto-Endenergie Transf.	2015	TJ	787.870	82.308	387.784	0	11.636	222.351	83.791
	2030	TJ	762.663	78.680	304.313	0	11.541	295.813	72.315
	2050	TJ	603.317	74.092	116.378	0	11.478	360.249	41.120

Fokus Wasserstoff in der Industrie – Szenario „Beethoven“

Verteilung von Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme
Netto-Endenergie	2015	TJ	1.167.899	29.328	479.856	195.484	167.766	218.928	76.537
	2030	TJ	1.073.924	22.278	384.327	160.551	183.238	256.065	67.465
	2050	TJ	804.285	3.922	149.202	66.205	218.635	325.565	40.755
Verluste aus Vert. und Eigenv.	2015	TJ	144.933	69.033	13.421	15.593	0	39.632	7.255
	2030	TJ	158.096	65.147	8.644	11.837	6.937	59.970	5.561
	2050	TJ	192.320	72.240	2.612	4.517	16.456	93.588	2.907
Anteil der Verluste aus Verteilung und Eigenv.	2015	%	11	70%	3%	7%	0%	15%	9%
	Veränderung	%	8	25%	-1%	-1%	7%	7%	-2%
	2050	%	19	95%	2%	6%	7%	22%	7%
Brutto-Endenergie	2015	TJ	1.312.832	98.360	493.277	211.077	167.766	258.560	83.791
	2030	TJ	1.232.020	87.425	392.971	172.387	190.176	316.035	73.026
	2050	TJ	996.605	76.162	151.814	70.723	235.091	419.153	43.662
Brutto-Endenergie Untransf.	2015	TJ	524.962	16.053	105.493	211.077	156.130	36.209	0
	2030	TJ	423.496	11.079	81.993	172.387	176.985	-18.949	0
	2050	TJ	302.424	7.099	30.949	70.723	218.785	-25.132	0
Anteil von untransformierter Brutto-Endenergie	2015	%	67	16%	21%	100%	93%	14%	0%
	Veränderung	%	-23	-7%	-1%	0%	0%	-20%	0%
	2050	%	44	9%	20%	100%	93%	-6%	0%
Brutto-Endenergie Transf.	2015	TJ	787.870	82.308	387.784	0	11.636	222.351	83.791
	2030	TJ	808.524	76.346	310.977	0	13.190	334.984	73.026
	2050	TJ	694.182	69.063	120.865	0	16.306	444.285	43.662

Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Verteilung von Energie			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme
Netto-Endenergie	2015	TJ	1.167.899	29.328	479.856	195.484	167.766	218.928	76.537
	2030	TJ	962.587	21.121	320.930	148.983	163.015	250.894	57.644
	2050	TJ	613.184	3.161	54.191	56.914	169.425	305.828	23.665
Verluste aus Vert. und Eigenv.	2015	TJ	144.933	69.033	13.421	15.593	0	39.632	7.255
	2030	TJ	118.245	65.364	7.218	10.094	0	31.514	4.056
	2050	TJ	102.219	72.691	949	3.241	0	24.183	1.156
Anteil der Verluste aus Verteilung und Eigenv.	2015	%	11	70%	3%	7%	0%	15%	9%
	Veränderung	%	3	26%	-1%	-2%	0%	-8%	-4%
	2050	%	14	96%	2%	5%	0%	7%	5%
Brutto-Endenergie	2015	TJ	1.312.832	98.360	493.277	211.077	167.766	258.560	83.791
	2030	TJ	1.080.832	86.486	328.148	159.077	163.015	282.408	61.700
	2050	TJ	715.403	75.852	55.140	60.155	169.425	330.010	24.821
Brutto-Endenergie Untransf.	2015	TJ	524.962	16.053	105.493	211.077	156.130	36.209	0
	2030	TJ	387.070	7.805	68.468	159.077	151.708	12	0
	2050	TJ	230.843	1.760	11.241	60.155	157.674	14	0
Anteil von untransformierter Brutto-Endenergie	2015	%	67	16%	21%	100%	93%	14%	0%
	Veränderung	%	-19	-14%	-1%	0%	0%	-14%	0%
	2050	%	48	2%	20%	100%	93%	0%	0%
Brutto-Endenergie Transf.	2015	TJ	787.870	82.308	387.784	0	11.636	222.351	83.791
	2030	TJ	693.762	78.680	259.679	0	11.307	282.396	61.700
	2050	TJ	484.560	74.092	43.899	0	11.751	329.997	24.821

17.8 Transformation von Energie

Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Transformation von Energie				Insgesamt						
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Output Elektrizität	2015	TJ	222.351		21.106	3.102	28.015	15.873	133.402	20.853
Energie-Mix Elektrizität	2015	Index	100	Startperiode Output-Anteil Elektrizität						
	Veränderung	Index	57	Veränderung des Anteils						
	2050	Index	157	Endperiode Output-Anteil Elektrizität						
	2050	TJ	289.895	15.431	2.685	21.268	17.674	157.308	75.529	
	2050	TJ	349.074	5.208	1.729	8.725	17.939	171.032	144.441	
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Output Wärme	2015	TJ	83.791		9.998	4.753	31.237	37.156	0	647
Energie-Mix Wärme	2015	Index	100	Startperiode Output-Anteil Wärme						
	Veränderung	Index	-70	Veränderung des Anteils						
	2050	Index	30	Endperiode Output-Anteil Wärme						
	2030	TJ	62.341	6.789	1.912	15.119	32.517	0	6.004	
	2050	TJ	25.194	2.502	169	3.094	14.951	0	4.478	
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse		
Output Sonstige Transform.	2015	TJ	481.727		82.308	387.784	0	11.636		
	2030	TJ	398.624		78.680	308.926	0	11.018		
	2050	TJ	207.156		74.092	122.481	0	10.583		

			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Transf.-Verluste El. & Wä.	2015	TJ	88.094	32.538	2.753	17.600	35.203	0	0
	2030	TJ	60.634	21.769	1.566	8.291	29.008	0	0
	2050	TJ	27.553	6.602	565	2.755	17.631	0	0
Anteil der Transformationsverl. bei Elektrizität & Wärme	2015	%	22	Startperiode Transformationsverluste Elektrizität & Wärme 51% 26% 23% 40% 0% 0%					
	Veränderung	%	-15	Veränderung des Anteils -5% -3% -4% -5% 0% 0%					
	2050	%	7	Endperiode Transformationsverluste Elektrizität & Wärme 46% 23% 19% 35% 0% 0%					
Input Elektrizität & Wärme	2015	TJ	394.236	63.641	10.608	76.853	88.232	133.402	21.500
	2030	TJ	412.869	43.989	6.163	44.678	79.198	157.308	81.534
	2050	TJ	401.821	14.312	2.464	14.574	50.520	171.032	148.918

			Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse
Input Koks und Hochofen	2015	TJ	86.383	86.383	0	0
	2030	TJ	82.534	82.534	0	0
	2050	TJ	77.721	77.721	0	0
Input Erdöl-Raffinerie	2015	TJ	392.029	0	392.029	0
	2030	TJ	309.821	0	309.821	0
	2050	TJ	121.623	0	121.623	0
Input Agro-Raffinerie	2015	TJ	11.886	0	0	11.886
	2030	TJ	11.243	0	0	11.243
	2050	TJ	10.799	0	0	10.799

			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Input Transformation	2015	TJ	884.535	150.024	402.638	76.853	100.118	133.402	21.500
	2050	TJ	816.467	126.523	315.984	44.678	90.441	157.308	81.534
	2050	TJ	611.964	92.033	124.086	14.574	61.319	171.032	148.918

			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme
Brutto-Energie	2015	TJ	1.409.497	166.077	508.131	287.931	411.150	36.209	0
		Anteil		12%	36%	20%	29%	3%	0%
	2030	TJ	1.231.522	137.941	397.436	219.017	477.116	12	0
		0		11%	32%	18%	39%	0%	0%
	2050	TJ	892.505	99.649	155.449	114.122	523.271	14	0
		Anteil		11%	17%	13%	59%	0%	0%

Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Transformation von Energie			Insgesamt						
			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Output Elektrizität	2015	TJ	222.351	21.106	3.102	28.015	15.873	133.402	20.853
Energie-Mix Elektrizität	2015	Index	100	Startperiode Output-Anteil Elektrizität					
				9%	1%	13%	7%	60%	9%
	Veränderung	Index	62	Veränderung des Anteils					
				-4%	-1%	-5%	-1%	-5%	16%
	2050	Index	162	Endperiode Output-Anteil Elektrizität					
				5%	0%	7%	6%	55%	25%
	2030	TJ	295.813	21.912	2.740	29.409	19.576	169.768	52.406
	2050	TJ	360.249	19.785	1.784	27.017	22.115	198.123	91.425
<hr/>									
			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Output Wärme	2015	TJ	83.791	9.998	4.753	31.237	37.156	0	647
Energie-Mix Wärme	2015	Index	100	Startperiode Output-Anteil Wärme					
				12%	6%	37%	44%	0%	1%
	Veränderung	Index	-51	Veränderung des Anteils					
				-1%	-2%	-12%	7%	0%	8%
	2050	Index	49	Endperiode Output-Anteil Wärme					
				11%	4%	25%	51%	0%	9%
	2030	TJ	72.315	8.251	3.348	22.437	34.705	0	3.573
	2050	TJ	41.120	4.495	1.510	10.395	21.112	0	3.607
<hr/>									
			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse		
Output Sonstige Transform.	2015	TJ	481.727	82.308	387.784	0	11.636		
	2030	TJ	394.535	78.680	304.313	0	11.541		
	2050	TJ	201.948	74.092	116.378	0	11.478		

			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse		
Output Sonstige Transform.	2015	TJ	481.727	82.308	387.784	0	11.636		
	2030	TJ	394.535	78.680	304.313	0	11.541		
	2050	TJ	201.948	74.092	116.378	0	11.478		

			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Transf.-Verluste El. & Wä.	2015	TJ	88.094	32.538	2.753	17.600	35.203	0	0
	2030	TJ	66.191	26.071	1.906	10.225	27.989	0	0
	2050	TJ	42.081	16.272	821	6.551	18.436	0	0

Anteil der Transformationsverl. bei Elektrizität & Wärme	2015	%	22	Startperiode Transformationsverluste Elektrizität & Wärme					
	Veränderung	%	-13	-11%	-6%	-8%	-10%	0%	0%
		2050	%	9	40%	20%	15%	30%	0%

			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Input Elektrizität & Wärme	2015	TJ	394.236	63.641	10.608	76.853	88.232	133.402	21.500
	2050	TJ	434.319	56.235	7.994	62.072	82.270	169.768	55.980
	2050	TJ	443.450	40.552	4.115	43.964	61.664	198.123	95.032

				Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse		
Input Koks und Hochofen	2015	TJ	86.383	86.383	0	0	0		
	2030	TJ	82.534	82.534	0	0	0		
	2050	TJ	77.721	77.721	0	0	0		

				Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse		
Input Erdöl-Raffinerie	2015	TJ	392.029	0	392.029	0	0		
	2030	TJ	305.162	0	305.162	0	0		
	2050	TJ	115.458	0	115.458	0	0		

				Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Input Agro-Raffinerie	2015	TJ	11.886	0	0	0	11.886		
	2030	TJ	11.777	0	0	0	11.777		
	2050	TJ	11.712	0	0	0	11.712		

			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Input Transformation	2015	TJ	884.535	150.024	402.638	76.853	100.118	133.402	21.500
	2030	TJ	833.792	138.769	313.156	62.072	94.047	169.768	55.980
	2050	TJ	648.341	118.273	119.573	43.964	73.376	198.123	95.032

			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme
Brutto-Energie	2015	TJ	1.409.497	166.077	508.131	287.931	411.150	36.209	0
		Anteil		12%	36%	20%	29%	3%	0%
	2030	TJ	1.266.426	150.187	393.393	248.179	474.656	12	0
Anteil			12%	31%	20%	37%	0%	0%	
2050	TJ	958.260	125.889	149.373	162.441	520.542	15	0	
	Anteil		13%	16%	17%	54%	0%	0%	

Fokus Wasserstoff in der Industrie – Szenario „Beethoven“

Transformation von Energie				Insgesamt						
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Output Elektrizität	2015	TJ	222.351		21.106	3.102	28.015	15.873	133.402	20.853
Energie-Mix Elektrizität	2015	Index	100	Startperiode Output-Anteil Elektrizität						
				9%	1%	13%	7%	60%	9%	
	Veränderung	Index	100	Veränderung des Anteils						
				-4%	-1%	-5%	-1%	-5%	16%	
	2050	Index	200	Endperiode Output-Anteil Elektrizität						
				5%	0%	7%	6%	55%	25%	
	2030	TJ	334.984		24.814	3.103	33.304	22.169	192.249	59.346
	2050	TJ	444.285		24.400	2.200	33.320	27.274	244.339	112.752
<hr/>										
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Output Wärme	2015	TJ	83.791		9.998	4.753	31.237	37.156	0	647
Energie-Mix Wärme	2015	Index	100	Startperiode Output-Anteil Wärme						
				12%	6%	37%	44%	0%	1%	
	Veränderung	Index	-48	Veränderung des Anteils						
				-1%	-2%	-12%	7%	0%	8%	
	2050	Index	52	Endperiode Output-Anteil Wärme						
				11%	4%	25%	51%	0%	9%	
	2030	TJ	73.026		8.333	3.381	22.658	35.046	0	3.609
	2050	TJ	43.662		4.773	1.603	11.038	22.418	0	3.830
<hr/>										
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse		
Output Sonstige Transform.	2015	TJ	481.727		82.308	387.784	0	11.636		
	2030	TJ	400.513		76.346	310.977	0	13.190		
	2050	TJ	206.234		69.063	120.865	0	16.306		

			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Transf.-Verluste El. & Wä.	2015	TJ	88.094	32.538	2.753	17.600	35.203	0	0
	2030	TJ	71.218	28.649	2.030	11.037	29.502	0	0
	2050	TJ	49.460	19.552	948	7.767	21.193	0	0
Anteil der Transformationsverl. bei Elektrizität & Wärme	2015	%	22	Startperiode Transformationsverluste Elektrizität & Wärme 51% 26% 23% 40% 0% 0%					
	Veränderung	%	-13	Veränderung des Anteils -11% -6% -8% -10% 0% 0%					
	2050	%	9	Endperiode Transformationsverluste Elektrizität & Wärme 40% 20% 15% 30% 0% 0%					
Input Elektrizität & Wärme	2015	TJ	394.236	63.641	10.608	76.853	88.232	133.402	21.500
	2030	TJ	479.228	61.796	8.514	66.999	86.716	192.249	62.955
	2050	TJ	537.408	48.725	4.752	52.125	70.885	244.339	116.582

			Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse
Input Koks und Hochofen	2015	TJ	86.383	86.383	0	0
	2030	TJ	80.085	80.085	0	0
	2050	TJ	72.446	72.446	0	0
Input Erdöl-Raffinerie	2015	TJ	392.029	0	392.029	0
	2030	TJ	311.959	0	311.959	0
	2050	TJ	120.133	0	120.133	0
Input Agro-Raffinerie	2015	TJ	11.886	0	0	11.886
	2030	TJ	13.460	0	0	13.460
	2050	TJ	16.638	0	0	16.638

			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Input Transformation	2015	TJ	884.535	150.024	402.638	76.853	100.118	133.402	21.500
	2050	TJ	884.732	141.881	320.473	66.999	100.176	192.249	62.955
	2050	TJ	746.625	121.171	124.885	52.125	87.524	244.339	116.582

			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme
Brutto-Energie	2015	TJ	1.409.497	166.077	508.131	287.931	411.150	36.209	0
		Anteil		12%	36%	20%	29%	3%	0%
	2030	TJ	1.308.228	152.960	402.466	239.386	532.364	-18.949	0
		0		12%	31%	18%	41%	-1%	0%
	2050	TJ	1.049.049	128.270	155.834	122.847	667.230	-25.132	0
		Anteil		12%	15%	12%	64%	-2%	0%

Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Transformation von Energie				Insgesamt						
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Output Elektrizität	2015	TJ	222.351		21.106	3.102	28.015	15.873	133.402	20.853
Energie-Mix Elektrizität	2015	Index	100	Startperiode Output-Anteil Elektrizität						
	Veränderung	Index	48	Veränderung des Anteils						
	2050	Index	148	Endperiode Output-Anteil Elektrizität						
	2030	TJ	282.396		15.032	2.616	20.717	17.217	153.238	73.575
	2050	TJ	329.997		4.924	1.634	8.249	16.958	161.685	136.547
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Output Wärme	2015	TJ	83.791		9.998	4.753	31.237	37.156	0	647
Energie-Mix Wärme	2015	Index	100	Startperiode Output-Anteil Wärme						
	Veränderung	Index	-70	Veränderung des Anteils						
	2050	Index	30	Endperiode Output-Anteil Wärme						
	2030	TJ	61.700		6.719	1.892	14.964	32.182	0	5.943
	2050	TJ	24.821		2.465	167	3.048	14.730	0	4.411
				von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse		
Output Sonstige Transform.	2015	TJ	481.727		82.308	387.784	0	11.636		
	2050	TJ	349.666		78.680	259.679	0	11.307		
	2050	TJ	129.742		74.092	43.899	0	11.751		

			von	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Transf.-Verluste El. & Wä.	2015	TJ	88.094	32.538	2.753	17.600	35.203	0	0
	2030	TJ	59.525	21.310	1.535	8.131	28.550	0	0
	2050	TJ	26.482	6.326	537	2.633	16.986	0	0
Anteil der Transformationsverl. bei Elektrizität & Wärme	2015	%	22	Startperiode Transformationsverluste Elektrizität & Wärme					
	Veränderung	%	-15	51%	26%	23%	40%	0%	0%
		%	7	Veränderung des Anteils					
2050	%	7	46%	23%	19%	35%	0%	0%	
			Endperiode Transformationsverluste Elektrizität & Wärme						
Input Elektrizität & Wärme	2015	TJ	394.236	63.641	10.608	76.853	88.232	133.402	21.500
	2030	TJ	403.621	43.060	6.043	43.812	77.949	153.238	79.518
	2050	TJ	381.300	13.715	2.338	13.930	48.674	161.685	140.958

			Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse
Input Koks und Hochofen	2015	TJ	86.383	86.383	0	0
	2030	TJ	82.534	82.534	0	0
	2050	TJ	77.721	77.721	0	0
Input Erdöl-Raffinerie	2015	TJ	392.029	0	392.029	0
	2030	TJ	260.077	0	260.077	0
	2050	TJ	42.247	0	42.247	0
Input Agro-Raffinerie	2015	TJ	11.886	0	0	11.886
	2030	TJ	11.537	0	0	11.537
	2050	TJ	11.991	0	0	11.991

			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Biomasse	Wasser	Wind, PV, ...
Input Transformation	2015	TJ	884.535	150.024	402.638	76.853	100.118	133.402	21.500
	2030	TJ	757.770	125.595	266.120	43.812	89.487	153.238	79.518
	2050	TJ	513.258	91.436	44.584	13.930	60.665	161.685	140.958

			Insgesamt	Kohle, Abf.	Öl	Gas	Erneuerbare	Elektrizität	Wärme
Brutto-Energie	2015	TJ	1.409.497	166.077	508.131	287.931	411.150	36.209	0
		Anteil		12%	36%	20%	29%	3%	0%
2030	TJ	1.144.840	133.400	334.588	202.888	473.951	12	0	
	0			12%	29%	18%	41%	0%	0%
2050	TJ	744.101	93.196	55.825	74.084	520.982	14	0	
	Anteil			13%	8%	10%	70%	0%	0%

18 Zusammenfassung der Modellanalysen

18.1 Fokus Gebäude und Raumordnung – Szenario „Schönberg“

Fokus Gebäude	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
Energetischer Endverbrauch	1.102	1.087	956	662
<i>Nieder-Temperatur</i>	328	302	226	98
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	244	242	237
<i>Stationäre Antriebe</i>	103	123	126	133
<i>Mobile Antriebe</i>	389	387	328	159
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	32	31	34	35
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	81	83
Netto-Energieverbrauch	1.176	1.168	1.037	745
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	25	15
<i>Erdöl</i>	556	480	382	151
<i>Erdgas</i>	206	195	162	93
<i>Erneuerbare</i>	119	168	159	153
<i>Elektrizität</i>	206	219	252	310
<i>Wärme</i>	54	77	58	24
Output Transformierte Energie	771	788	751	581
<i>Elektrizität</i>	231	222	290	349
<i>Wärme</i>	59	84	62	25
<i>Kokerei und Hochofen</i>	86	85	81	76
<i>Erdöl-Raffinerie</i>	393	385	307	120
<i>Agro-Raffinerie</i>	1	12	11	11
Brutto-Energieverbrauch	1.439	1.409	1.232	893
Fossile	1.133	962	754	369
<i>Kohle und Abfall</i>	184	166	138	100
<i>Erdöl</i>	611	508	397	155
<i>Erdgas</i>	339	288	219	114
Erneuerbare	296	411	477	523
Netto-Import Elektrizität	9	36	0	0

Fokus Gebäude	2005	2015	2030	2050
	Index			
Energetischer Endverbrauch	100	99	87	60
<i>Nieder-Temperatur</i>	100	92	69	30
<i>Hoch-Temperatur</i>	100	97	96	95
<i>Stationäre Antriebe</i>	100	120	123	130
<i>Mobile Antriebe</i>	100	99	84	41
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	100	99	106	109
Nicht-energetischer Verbrauch	100	109	110	112
Netto-Energieverbrauch	100	99	88	63
<i>Kohle und Abfall</i>	100	85	73	44
<i>Erdöl</i>	100	86	69	27
<i>Erdgas</i>	100	95	79	45
<i>Erneuerbare</i>	100	141	134	128
<i>Elektrizität</i>	100	106	122	150
<i>Wärme</i>	100	142	107	44
Brutto-Energieverbrauch	100	98	86	62
Fossile	100	85	67	33
<i>Kohle und Abfall</i>	100	90	75	54
<i>Erdöl</i>	100	83	65	25
<i>Erdgas</i>	100	85	65	34
Erneuerbare	100	139	161	177
Indikatoren				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	39	59
<i>CO2 Insgesamt</i>	100	85	67	33
<i>CO2 ETS</i>	100	85	70	50
<i>CO2 Non-ETS</i>	100	85	64	17

18.2 Fokus Mobilität – Szenario „Mozart“

Fokus Mobilität	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
Energetischer Endverbrauch	1.102	1.087	983	711
<i>Nieder-Temperatur</i>	328	302	263	157
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	244	242	237
<i>Stationäre Antriebe</i>	103	123	126	133
<i>Mobile Antriebe</i>	389	387	319	148
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	32	31	34	35
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	81	83
Netto-Energieverbrauch	1.176	1.168	1.065	794
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	26	16
<i>Erdöl</i>	556	480	376	144
<i>Erdgas</i>	206	195	173	111
<i>Erneuerbare</i>	119	168	166	165
<i>Elektrizität</i>	206	219	257	319
<i>Wärme</i>	54	77	67	38
Output Transformierte Energie	771	788	763	603
<i>Elektrizität</i>	231	222	296	360
<i>Wärme</i>	59	84	72	41
<i>Kokerei und Hochofen</i>	86	85	81	76
<i>Erdöl-Raffinerie</i>	393	385	302	114
<i>Agro-Raffinerie</i>	1	12	12	11
Brutto-Energieverbrauch	1.439	1.409	1.266	958
Fossile	1.133	962	792	438
<i>Kohle und Abfall</i>	184	166	150	126
<i>Erdöl</i>	611	508	393	149
<i>Erdgas</i>	339	288	248	162
Erneuerbare	296	411	475	521
Netto-Import Elektrizität	9	36	0	0

Fokus Mobilität	2005	2015	2030	2050
	Index			
Energetischer Endverbrauch	100	99	89	64
<i>Nieder-Temperatur</i>	100	92	80	48
<i>Hoch-Temperatur</i>	100	97	96	95
<i>Stationäre Antriebe</i>	100	120	123	130
<i>Mobile Antriebe</i>	100	99	82	38
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	100	99	106	109
Nicht-energetischer Verbrauch	100	109	110	112
Netto-Energieverbrauch	100	99	91	67
<i>Kohle und Abfall</i>	100	85	74	46
<i>Erdöl</i>	100	86	68	26
<i>Erdgas</i>	100	95	84	54
<i>Erneuerbare</i>	100	141	140	139
<i>Elektrizität</i>	100	106	125	155
<i>Wärme</i>	100	142	124	71
Brutto-Energieverbrauch	100	98	88	67
Fossile	100	85	70	39
<i>Kohle und Abfall</i>	100	90	82	68
<i>Erdöl</i>	100	83	64	24
<i>Erdgas</i>	100	85	73	48
Erneuerbare	100	139	160	176
Indikatoren				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	37	54
<i>CO2 Insgesamt</i>	100	85	70	39
<i>CO2 ETS</i>	100	85	76	62
<i>CO2 Non-ETS</i>	100	85	64	16

18.3 Fokus Wasserstoff-Technologien – Szenario „Beethoven“

Fokus Wasserstoff	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
Energetischer Endverbrauch	1.102	1.087	992	721
<i>Nieder-Temperatur</i>	328	302	263	157
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	244	242	237
<i>Stationäre Antriebe</i>	103	123	126	133
<i>Mobile Antriebe</i>	389	387	328	159
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	32	31	34	35
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	81	83
Netto-Energieverbrauch	1.176	1.168	1.074	804
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	22	4
<i>Erdöl</i>	556	480	384	149
<i>Erdgas</i>	206	195	161	66
<i>Erneuerbare</i>	119	168	183	219
<i>Elektrizität</i>	206	219	256	326
<i>Wärme</i>	54	77	67	41
Output Transformierte Energie	771	788	809	694
<i>Elektrizität</i>	231	222	335	444
<i>Wärme</i>	59	84	73	44
<i>Kokerei und Hochofen</i>	86	85	78	71
<i>Erdöl-Raffinerie</i>	393	385	309	119
<i>Agro-Raffinerie</i>	1	12	13	16
Brutto-Energieverbrauch	1.439	1.409	1.308	1.049
Fossile	1.133	962	795	407
<i>Kohle und Abfall</i>	184	166	153	128
<i>Erdöl</i>	611	508	402	156
<i>Erdgas</i>	339	288	239	123
Erneuerbare	296	411	532	667
Netto-Import Elektrizität	9	36	-19	-25

Fokus Wasserstoff	2005	2015	2030	2050
	Index			
Energetischer Endverbrauch	100	99	90	65
<i>Nieder-Temperatur</i>	100	92	80	48
<i>Hoch-Temperatur</i>	100	97	96	95
<i>Stationäre Antriebe</i>	100	120	123	130
<i>Mobile Antriebe</i>	100	99	84	41
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	100	99	106	109
Nicht-energetischer Verbrauch	100	109	110	112
Netto-Energieverbrauch	100	99	91	68
<i>Kohle und Abfall</i>	100	85	64	11
<i>Erdöl</i>	100	86	69	27
<i>Erdgas</i>	100	95	78	32
<i>Erneuerbare</i>	100	141	154	184
<i>Elektrizität</i>	100	106	124	158
<i>Wärme</i>	100	142	126	76
Brutto-Energieverbrauch	100	98	91	73
Fossile	100	85	70	36
<i>Kohle und Abfall</i>	100	90	83	70
<i>Erdöl</i>	100	83	66	26
<i>Erdgas</i>	100	85	71	36
Erneuerbare	100	139	180	225
Indikatoren				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	41	64
<i>CO2 Insgesamt</i>	100	85	70	37
<i>CO2 ETS</i>	100	85	77	58
<i>CO2 Non-ETS</i>	100	85	64	16

18.4 Transformationspfad mit zielorientierter Innovation

Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
Energetischer Endverbrauch	1.102	1.087	884	538
<i>Nieder-Temperatur</i>	328	302	226	98
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	244	231	206
<i>Stationäre Antriebe</i>	103	123	120	114
<i>Mobile Antriebe</i>	389	387	281	97
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	32	31	25	23
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	79	75
Netto-Energieverbrauch	1.176	1.168	963	613
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	21	3
<i>Erdöl</i>	556	480	321	54
<i>Erdgas</i>	206	195	149	57
<i>Erneuerbare</i>	119	168	163	169
<i>Elektrizität</i>	206	219	251	306
<i>Wärme</i>	54	77	58	24
Output Transformierte Energie	771	788	694	485
<i>Elektrizität</i>	231	222	282	330
<i>Wärme</i>	59	84	62	25
<i>Kokerei und Hochofen</i>	86	85	81	76
<i>Erdöl-Raffinerie</i>	393	385	257	42
<i>Agro-Raffinerie</i>	1	12	11	12
Brutto-Energieverbrauch	1.439	1.409	1.145	744
Fossile	1.133	962	671	223
<i>Kohle und Abfall</i>	184	166	133	93
<i>Erdöl</i>	611	508	335	56
<i>Erdgas</i>	339	288	203	74
Erneuerbare	296	411	474	521
Netto-Import Elektrizität	9	36	0	0

Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen	2005	2015	2030	2050
	Index			
Energetischer Endverbrauch	100	99	80	49
<i>Nieder-Temperatur</i>	100	92	69	30
<i>Hoch-Temperatur</i>	100	97	92	82
<i>Stationäre Antriebe</i>	100	120	117	111
<i>Mobile Antriebe</i>	100	99	72	25
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	100	99	79	73
Nicht-energetischer Verbrauch	100	109	107	101
Netto-Energieverbrauch	100	99	82	52
<i>Kohle und Abfall</i>	100	85	61	9
<i>Erdöl</i>	100	86	58	10
<i>Erdgas</i>	100	95	72	28
<i>Erneuerbare</i>	100	141	137	142
<i>Elektrizität</i>	100	106	122	148
<i>Wärme</i>	100	142	107	44
Brutto-Energieverbrauch	100	98	80	52
Fossile	100	85	59	20
<i>Kohle und Abfall</i>	100	90	73	51
<i>Erdöl</i>	100	83	55	9
<i>Erdgas</i>	100	85	60	22
Erneuerbare	100	139	160	176
Indikatoren				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	41	70
<i>CO2 Insgesamt</i>	100	85	60	20
<i>CO2 ETS</i>	100	85	66	39
<i>CO2 Non-ETS</i>	100	85	53	2

19 Energiebilanzen

19.1 Verwendung von Energie

Energy Use	TJ	2005	2010	2015
Useful Energy		1.102.093	1.117.305	1.087.062
Low Temperatur Heat		327.665	337.341	301.904
High Temperature Heat		250.787	251.858	243.539
Stationary Engines		102.710	118.840	123.156
Mobile Engines		389.313	379.030	387.043
Lighting and Electronigs		31.618	30.237	31.421
Low Temperatur Heat		327.665	337.341	301.904
<i>Coal and Waste</i>		4.832	4.142	2.088
<i>Oil</i>		90.729	66.535	48.937
<i>Gas</i>		83.674	87.309	72.866
<i>Renewables</i>		69.868	84.368	87.718
<i>Electricity</i>		30.986	27.794	26.141
<i>Heat</i>		47.577	67.192	64.154
High Temperature Heat		250.787	251.858	243.539
<i>Coal and Waste</i>		29.344	28.348	26.630
<i>Oil</i>		20.792	15.768	11.553
<i>Gas</i>		102.087	97.599	93.040
<i>Renewables</i>		46.670	53.130	51.094
<i>Electricity</i>		45.716	47.634	48.838
<i>Heat</i>		6.177	9.379	12.383
Stationary Engines		102.710	118.840	123.156
<i>Coal and Waste</i>		0	0	0
<i>Oil</i>		16.498	15.384	15.591
<i>Gas</i>		783	4.726	4.921
<i>Renewables</i>		2	1.317	1.312
<i>Electricity</i>		85.426	97.413	101.333
<i>Heat</i>		0	0	0
Mobile Engines		389.313	379.030	387.043
<i>Coal and Waste</i>		10	6	5
<i>Oil</i>		368.110	336.546	336.960
<i>Gas</i>		6.488	8.733	11.236
<i>Renewables</i>		2.369	21.379	27.646
<i>Electricity</i>		12.336	12.366	11.195
<i>Heat</i>		0	0	0
Lighting and Electronics		31.618	30.237	31.421
<i>Coal and Waste</i>		0	0	0
<i>Oil</i>		0	0	0
<i>Gas</i>		0	0	0
<i>Renewables</i>		0	0	0
<i>Electricity</i>		31.618	30.237	31.421
<i>Heat</i>		0	0	0

Verwendung von Energie

TJ	2005	2010	2015
Final Energy Consumption	1.102.093	1.117.306	1.087.062
<i>Coal and Waste</i>	34.191	32.500	28.728
<i>Oil</i>	496.129	434.233	413.041
<i>Gas</i>	193.033	198.367	182.063
<i>Renewables</i>	118.904	160.190	167.766
<i>Electricity</i>	206.083	215.444	218.928
<i>Heat</i>	53.754	76.572	76.537
Non-energetic Energy Consumption	73.892	81.861	80.837
<i>Coal and Waste</i>	496	605	600
<i>Oil</i>	60.162	65.477	66.815
<i>Gas</i>	13.233	15.779	13.421
<i>Renewables</i>	0	0	0
<i>Electricity</i>	0	0	0
<i>Heat</i>	0	0	0
Net Final Energy	1.175.985	1.199.167	1.167.899
<i>Coal and Waste</i>	34.687	33.105	29.328
<i>Oil</i>	556.291	499.710	479.856
<i>Gas</i>	206.266	214.146	195.484
<i>Renewables</i>	118.904	160.190	167.766
<i>Electricity</i>	206.083	215.444	218.928
<i>Heat</i>	53.754	76.572	76.537

19.2 Bereitstellung von Energie

Energy Supply	TJ	2005	2010	2015
Net Final Energy		1.175.985	1.199.167	1.167.899
<i>Coal and Waste</i>		34.687	33.105	29.328
<i>Oil</i>		556.291	499.710	479.856
<i>Gas</i>		206.266	214.146	195.484
<i>Renewables</i>		118.904	160.190	167.766
<i>Electricity</i>		206.083	215.444	218.928
<i>Heat</i>		53.754	76.572	76.537
Distribution losses		148.161	143.051	144.933
<i>Coal and Waste</i>		59.440	59.434	69.033
<i>Oil</i>		31.564	26.382	13.421
<i>Gas</i>		17.089	12.159	15.593
<i>Renewables</i>		0	0	0
<i>Electricity</i>		34.814	37.887	39.632
<i>Heat</i>		5.253	7.189	7.255
Gross Final Energy		1.324.146	1.342.217	1.312.832
<i>Coal and Waste</i>		94.128	92.539	98.360
<i>Oil</i>		587.855	526.093	493.277
<i>Gas</i>		223.355	226.305	211.077
<i>Renewables</i>		118.904	160.190	167.766
<i>Electricity</i>		240.897	253.331	258.560
<i>Heat</i>		59.007	83.761	83.791

Bereitstellung von Energie

TJ	2005	2010	2015
Untransformed Final Energy	671.455	727.095	681.091
<i>Coal and Waste</i>	11.059	9.010	16.053
<i>Oil</i>	191.816	182.163	105.493
<i>Gas</i>	223.355	226.305	211.077
<i>Renewables</i>	117.891	150.423	156.130
<i>Biomass</i>	117.891	150.423	156.130
<i>Electricity</i>	9.444	8.772	36.209
<i>Heat</i>	0	0	0
Transformed Final Energy	770.582	765.545	787.870
<i>Coal and Waste</i>	83.069	83.528	82.308
<i>Oil</i>	396.039	343.930	387.784
<i>Gas</i>	0	0	0
<i>Renewables</i>	1.014	9.767	11.636
<i>Electricity</i>	231.453	244.559	222.351
<i>Heat</i>	59.007	83.761	83.791
Input Transformation	885.585	877.690	884.535
<i>Coal and Waste</i>	172.866	162.182	150.024
<i>Oil</i>	418.965	366.395	402.638
<i>Gas</i>	115.175	113.787	76.853
<i>Renewables</i>	178.578	235.327	255.020
<i>Biomass</i>	39.702	88.818	100.118
<i>Hydro</i>	133.542	138.108	133.402
<i>Wind, PV, ...</i>	5.334	8.400	21.500
Gross Energy Supply	1.439.149	1.454.362	1.409.497
<i>Coal and Waste</i>	183.925	171.192	166.077
<i>Oil</i>	610.781	548.557	508.131
<i>Gas</i>	338.530	340.091	287.931
<i>Renewables</i>	296.469	385.749	411.150
<i>Biomass</i>	157.592	239.241	256.248
<i>Hydro</i>	133.542	138.108	133.402
<i>Wind, PV, ...</i>	5.334	8.400	21.500
<i>Electricity</i>	9.444	8.772	36.209
<i>Heat</i>	0	0	0

20 Emissionsbilanzen

20.1 Treibhausgasemissionen nach Gasen

	Insgesamt	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F-Gase
		CO ₂ equiv.			
1990	78.805	62.293	10.514	4.342	1.656
1991	82.631	65.900	10.415	4.504	1.812
1992	75.925	60.432	10.122	4.198	1.173
1993	75.968	60.788	10.024	4.113	1.043
1994	76.501	61.191	9.729	4.322	1.259
1995	79.815	64.207	9.640	4.425	1.543
1996	83.031	67.674	9.358	4.317	1.682
1997	82.494	67.454	8.981	4.341	1.718
1998	81.790	67.055	8.803	4.388	1.544
1999	80.171	65.702	8.628	4.377	1.464
2000	80.534	66.346	8.447	4.354	1.387
2001	84.584	70.457	8.278	4.230	1.619
2002	86.251	72.199	8.125	4.232	1.695
2003	91.908	77.861	8.056	4.221	1.770
2004	91.674	78.165	8.050	3.633	1.826
2005	92.642	79.369	7.808	3.633	1.832
2006	89.798	76.684	7.674	3.630	1.810
2007	87.072	74.028	7.547	3.644	1.853
2008	86.923	73.805	7.410	3.824	1.884
2009	80.249	67.646	7.313	3.599	1.691
2010	85.059	72.547	7.211	3.399	1.902
2011	82.697	70.287	7.000	3.489	1.921
2012	80.038	67.721	6.883	3.449	1.985
2013	80.150	67.956	6.788	3.440	1.966
2014	76.381	64.204	6.650	3.507	2.020
2015	78.851	66.724	6.575	3.517	2.035

20.2 Treibhausgasemissionen nach Sektoren

	Insgesamt	Energie	Prozesse	Landwirtschaft	Abfall	LULUCF
	CO ₂ equiv.					
1990	78.805	53.028	13.663	8.189	3.925	-12.139
1991	82.630	56.725	13.696	8.215	3.994	-16.779
1992	75.924	52.138	12.054	7.786	3.946	-11.826
1993	75.968	52.395	12.005	7.647	3.921	-12.184
1994	76.501	52.039	12.739	7.900	3.823	-12.109
1995	79.815	54.520	13.606	8.038	3.651	-13.405
1996	83.032	58.722	13.057	7.790	3.463	-10.852
1997	82.495	57.219	14.220	7.741	3.315	-19.228
1998	81.789	57.021	13.865	7.708	3.195	-17.362
1999	80.171	55.847	13.647	7.602	3.075	-19.492
2000	80.533	55.422	14.642	7.506	2.963	-16.227
2001	84.583	59.746	14.523	7.449	2.865	-19.156
2002	86.250	60.885	15.166	7.336	2.863	-14.300
2003	91.908	66.544	15.308	7.189	2.867	-4.902
2004	91.674	66.711	14.863	7.170	2.930	-9.264
2005	92.641	67.134	15.612	7.104	2.791	-10.733
2006	89.798	63.798	16.252	7.077	2.671	-5.381
2007	87.072	60.470	16.941	7.118	2.543	-5.723
2008	86.923	59.992	17.274	7.226	2.431	-4.521
2009	80.249	56.771	13.948	7.245	2.285	-4.396
2010	85.059	59.881	15.926	7.094	2.158	-5.887
2011	82.698	57.424	16.085	7.146	2.043	-6.187
2012	80.037	55.321	15.697	7.077	1.942	-5.633
2013	80.151	55.285	15.978	7.059	1.829	-4.513
2014	76.382	51.326	16.133	7.184	1.739	-4.885
2015	78.851	53.351	16.676	7.168	1.656	-4.824

20.3 Sektoren und deren Treibhausgase

Treibhausgase	Insgesamt	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	F-Gase
CO ₂ equiv.					
2005 [kt]	92.642	79.369	7.808	3.633	1.832
2015 [kt]	78.851	66.724	6.575	3.517	2.035
Energie	53.351	52.124	640	587	0
Prozesse	16.676	14.414	47	180	2.035
Landwirtschaft	7.168	109	4.564	2.495	0
Abfall	1.656	77	1.324	255	0

21 Weitere Quellen

Das Projektteam

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

<http://www.wifo.ac.at/>

Sustainserv Zürich – Boston

<https://www.sustainserv.com/de/>

ETA Wien

<http://www.eta.at/>

Wegener Center für Klima und Globalen Wandel an der Karl-Franzens-Universität Graz

<https://wegcenter.uni-graz.at/>

Universität für Bodenkultur - Institut für konstruktiven Ingenieurbau

<https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.p>

[er-
son_uebersicht?id_in=5854&menue_id_in=101&sprache_in=de](https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.p)

Johannes Kepler University Linz - Institute of Polymeric Materials and Testing

<http://www.jku.at/ipmt/content>

Ein vertieftes Verständnis von Energiesystemen

Forschungsprojekt Energieperspektiven 2030

Schleicher, S. und A. Köppl (2013). Energieperspektiven für Österreich. Zielorientierte Strukturen und Strategien für 2020 und 2030.

https://www.bmwf.gv.at/EnergieUndBergbau/EnergiestrategieUndEnergiepolitik/Documents/EnergiePerspektiven2020_WIFO-WEGC_20131021_mit_disclaimer.pdf.

Forschungsprojekt EnergyTransition

Köppl, A., C. Kettner, D. Kletzan-Slamanig, S. Schleicher, A. Damm, K. Steininger, B. Wolking, H. Schnitzer, M. Titz, H. Artner, A. Karner (2014). Energy Transition in Austria: Designing Mitigation Wedges. Energy and Environment, 25(2) 281-304.

Forschungsprojekt ClimTrans

Köppl, A., C. Kettner-Marx, S. Schleicher, C.

Hofer, K. Köberl, J. Schneider, I. Schindler, T. Krutzler, T. Gallauner, G. Bachner, T. Schinko, K. W. Steininger, M. Jonas, P. Zebrowski (2016). Modelling Low Energy and Low Carbon Transformations. The ClimTrans2050 Research Plan.

<https://climtrans2050.wifo.ac.at/>.

Schleicher, S., C. Hofer, T. Schinko, K.W. Steininger, M. Jonas, P. Zebrowski (2016). Energy modeling that matters for reality. http://climtrans2050.wifo.ac.at/assets/documents/Annex_B2.pdf

Schinko, T., G. Bachner, S. Schleicher, K.W. Steininger (2016). Assessing current modeling practices.

http://climtrans2050.wifo.ac.at/assets/documents/Annex_B1.pdf

Schinko, T., G. Bachner, S. Schleicher, K. W. Steininger (2017). Modeling for insights not numbers: The long-term low-carbon transformation. Atmosphere 30(2), 137-161.

Policy Briefs

Köppl, A., S. Schleicher, K.W. Steininger (2016). Energie umfassend verstehen. Die energetische Wertschöpfungskette - Von den Funktionalitäten zur Primär-Energie. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.

http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=59049&mime_type=application/pdf

Köppl, A., S. Schleicher, K.W. Steininger (2017). Energie radikal verändern – Die Niedrig-Strukturen: Energie, Emissionen und Netze. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.

http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=59275&mime_type=application/pdf

Weitere Publikationen

Schleicher, S. (2016). Deepening the Scope of the "Economic Model": Functionalities, Structures, Mechanisms and

Institutions. In B. Bednar-Friedl and J. Kleinert (Eds.). Dynamic Approaches to Global Economic Challenges. Springer.

Schleicher, S. (2017). Deepened Structural <http://www.erneuerbare-energie.at/archiv-pressemitteilungen/2017/11/23/appell-der-wirtschaft-fur-energie-wende-und-klimaschutz.html> und Klimaschutzly (Ed.). Global Economic Modeling: A Volume in Honor of Lawrence R. Klein.

Österreichische Institutionen und Stakeholder

Vereinigung der Österreichischen Industrie (IV)

INNOVATIV. EFFIZIENT. NACHHALTIG. Österreichs Industrie für Energie und Klima der Zukunft.

https://www.iv.at//media/filer_public/86/a7/86a7aa42-b0c1-4d92-bca0-020446ca95a9/innovativ-effizient-nachhaltig_12102016-lr.pdf

Oesterreichs Energie

Die Stromstrategie „Empowering Austria“ <https://oesterreichsenergie.at/die-stromstrategie-von-oesterreichs-energie.html>

Erneuerbare Energie Österreich

Appell der Wirtschaft für Energiewende und Klimaschutz <http://www.erneuerbare-energie.at/archiv-pressemitteilungen/2017/11/23/appell-der-wirtschaft-fur-energie-wende-und-klimaschutz.html>

Statistik Österreich (2017). Haushaltsenergie und Einkommen mit besonderem Fokus auf Energiearmut. Wien.

Statistik Österreich (2017). Gesamtenergiebilanz.

Statistik Österreich (2017). Nutzenergiebilanz.

Europäische Union

European Union. DG Clima Action. 2050 low-carbon economy. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en

European Environment Agency (EEA) (2016). 2. Progress of the European Union

towards its greenhouse gas emission targets.

Ausländische Quellen

Schweiz

Schweizer Energiefachbuch (laufende Jahrgänge). Verlag Koemedia.

USA

MIT Energy Initiative (2016). Utility of the Future.

U.S. Energy Information Administration (EIA) <https://www.eia.gov/>

Multinationale Quellen

International Energy Agency (IEA)

International Energy Agency (IEA) (2017). Energy Technology Perspectives 2017.

International Energy Agency (IEA) (2017). World Energy Outlook 2017.

BP

BP Energy Outlook (2017). <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html>

Spezifische Sektoren

Werkstoffe

Ashby M. F., Materials Selection in Mechanical Design; Fourth Edition; Elsevier Ltd.; 2011

Ashby, M. F. Materials and the Environment; 2nd edition; Elsevier Inc.; 2013

Bolt H., Arzberger I., Berger C. (Hrsg.), Werkstoffe und Materialien für die Energiewende (acatech MATERIALIEN), München: Herbert Utz Verlag; 2017

Lang R. W., Die Energiewende – Welchen Beitrag leisten Kunststoffe, Jahresmagazin Ingenieurwissenschaften, S. 70-73, ALPHA IgmbH; Okt. 2013

Lang R. W., Polymer-Werkstoffe in einer "Sustainable Circular Economy, Jahresmagazin Ingenieurwissenschaften, S. 90-93, ALPHA IgmbH; Okt. 2016

Lang R. W., Polymerwerkstoffe für Energieeffizienz und regenerative Energie/Stoff-Technologien, in Bolt et al. (Hrsg.), Werkstoffe und Materialien für die Energiewende (acatech MATERIALIEN), München: Herbert Utz Verlag; 2017a

Lang R. W., The Role of Resource Efficiency

and Eco-Innovation for a Sustainable Circular Economy of Plastic, Int. Conference IdentiPlast 2017, Feb. 22-23; 2017, Vienna; 2017b

Liu Q., Wu L., Jackstell R., Beller M., Using carbon dioxide as a building block in organic synthesis; Review in Nature Communications, DOI: 10.1038/ncomms6933; 2015

H. Pilz, B. Brandt, R. Fehringer, Die Auswirkungen von Kunststoffen auf Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen in Europa; Bericht, denkstatt GmbH, Wien/Austria (Juni 2010)

Pilz H. (Project Leader), Criteria for eco-efficient (sustainable) plastic recycling and waste management, Report by denkstatt GmbH, Vienna/Austria; 2014

Stein R. S., Polymer Recycling: Thermodynamics and Economics, Macromol. Symp. 135, 295-314; 1998

Plattformen für Energie und Klima

Bloomberg New Energy Finance.

<https://about.bnef.com/>

Climate Policy Initiative

<https://climatepolicyinitiative.org/>

Clean Technica

<https://cleantechnica.com/>

Energy Post

<http://energypost.eu/>

GreenBiz

<https://www.greenbiz.com/>

MIT Technology Review

<https://www.technologyreview.com/>

World Economic Forum

<https://www.weforum.org/>

Energy Innovation Austria.

<https://www.klimafonds.gv.at/service/broschueren/energy-innovation-austria/>

Multifunktionale Gebäude

Aktivitäten

Anreize

Energie

Innovation

Inversion

Integrierte Netze

Zukunft

Aufbrüche

Integration Klima

Verschränkte Mobilität