



Wegener Center



# ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

## **Policy Brief:**

## **Energie radikal verändern – Die Niedrig-Strukturen: Energie, Emissionen und Netze**

**Angela Köppl (WIFO),  
Stefan Schleicher (WIFO und Wegener Center),  
Karl W. Steininger (Wegener Center)**

## Policy Brief:

# Energie radikal verändern – Die Niedrig-Strukturen: Energie, Emissionen und Netze

Angela Köppl (WIFO), Stefan Schleicher (WIFO und Wegener Center),  
Karl W. Steininger (Wegener Center)

Jänner 2017

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel

### Inhalt

"Energie radikal verändern" ist das zweite Policy Brief, das ein vertieftes Verständnis über das österreichische Energiesystem vermittelt. Auf Basis eines neuen Mindsets sollen die Potentiale für künftige Strukturen des Energiesystems aufbereitet werden. Österreich hat in den letzten zehn Jahren wohl auf erneuerbare Energie, vergleichsweise aber kaum auf energetische Produktivität gesetzt. Damit sind aber ambitionierte Ziele für 2030 oder gar 2050 nicht erreichbar. Die Zukunft des Energiesystems kann langfristig nicht prognostiziert werden (weil BIP oder Energiepreise ebenfalls nicht vorauszusehen sind), sondern weisen ein hohes Potential an Gestaltbarkeit durch Innovationen in den einzelnen Komponenten und deren Integration auf (wie Gebäude, die als Infrastruktur für lokal integrierte Energiesysteme dienen). Eher können die Funktionalitäten des Energiesystems eingeschätzt werden, nämlich die mit der Nutzung von Energie verbundenen thermischen, mechanischen und spezifisch elektrischen Energiedienstleistungen. In der Folge kann die Rolle von schon heute verfügbaren Anwendungs- und Transformationstechnologien auf den Energieverbrauch und den Energie-Mix dargestellt werden.

Rückfragen: [angela.koeppel@wifo.ac.at](mailto:angela.koeppel@wifo.ac.at)

2017/021/S/WIFO-Projektnummer: 6814

© 2017 Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel

Medieninhaber (Verleger), Herausgeber und Hersteller: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung,  
1030 Wien, Arsenal, Objekt 20 • Tel. (+43 1) 798 26 01-0 • Fax (+43 1) 798 93 86 • <http://www.wifo.ac.at/> • Verlags- und Herstellungsort: Wien

Verkaufspreis: 20,00 € • Kostenloser Download: <http://www.wifo.ac.at/wwa/pubid/59275>

## POLICY BRIEF

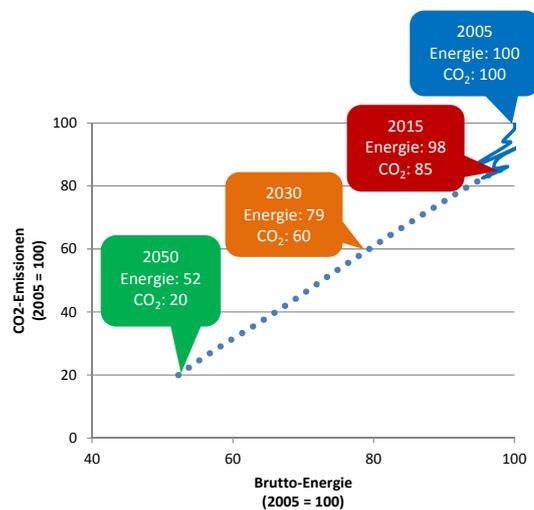
# Energie radikal verändern

## Die Niedrig-Strukturen: Energie, Emissionen und Netze

### Innovative Perspektiven für Energie- und Klimastrategien Teil 2

Jänner 2017

Angela Köppl  
Stefan Schleicher  
Karl Steininger



Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung  
(WIFO)  
+43 (1) 798-2601-268



Wegener Center an der Karl-Franzens-Universität Graz  
(WegCenter)  
+43 (316) 380-7512

**Angela Köppl**                    **Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung**  
angela.koeppel@wifo.at  
+43 (1) 798-2601-268

**Stefan Schleicher**            **Wegener Center an der Karl-Franzens-Universität Graz**  
stefan.schleicher@uni-graz.at  
+43 (316) 380-7512

**Karl Steininger**                **Wegener Center an der Karl-Franzens-Universität Graz**  
karl.steininger@uni-graz.at  
+43 (316) 380-8441

Der erste Teil dieser Folge von Policy Briefs

*Energie umfassend verstehen – Die energetische Wertschöpfungskette: Von den Funktionalitäten zur Primär-Energie*

ist verfügbar unter

[http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person\\_dokument/person\\_dokument.jart?publikationsid=59049&mime\\_type=application/pdf](http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=59049&mime_type=application/pdf)

Die derzeit in Ausarbeitung befindliche integrierte Energie- und Klimastrategie für Österreich erweckt den Eindruck, dass grundlegende Zusammenhänge im Energiesystem nicht ausreichend Berücksichtigung finden, um eine konstruktive und langfristig tragfähige Perspektive zu entwickeln.

Mit einer Folge von Policy Briefs möchten wir zum Entstehen einer zukunftsfähigen Energie- und Klimastrategie für Österreich beitragen.

Das vorliegende Policy Brief ist bewusst knapp gehalten. Weiterführende Information über zukunftsfähige Energiesysteme und Modellierungsansätze sind im Projekt ClimTrans2050 dokumentiert:

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

Das Projektkonsortium bestand aus Angela Köppl, Claudia Kettner-Marx, Stefan Schleicher, Christian Hofer, Katharina Köberl (alle WIFO), Jürgen Schneider, Ilse Schindler, Thomas Krutzler, Thomas Gal-launer (alle Umweltbundesamt), Gabriel Bachner, Thomas Schinko, Karl W. Steininger (alle Uni Graz, Wegener Center), Matthias Jonas, Piotr Zebrowski (beide IIASA).

Das diesem Policy Brief zugrunde liegende Modell des Energiesystems stammt aus den von Stefan Schleicher entwickelten sGAIN-Modellen und wird gemeinsam mit Christian Hofer als Web-Applikation unter <http://energyfutures.net> sowie als Excel-Applikation implementiert und öffentlich verfügbar gemacht.

# 1 Warum ein künftiges Energiesystem anders als bisher zu entwerfen ist

## Das zukünftige Energiesystem ist nicht prognostizierbar, aber gestaltbar

Schon jetzt brauchen wir Orientierungen für das künftige Energiesystem

Aussagen über die Strukturen des Energiesystems für 2030 und 2050 werden aus vielen Gründen gesucht.

- Beobachtbare und erwartete radikale **technologische Änderungen** zeichnen sich für fast alle mit Energie verbundenen Anwendungen ab.
- Die derzeit zu tätigen **Investitionen** – wie Gebäude, Fahrzeuge und Maschinen aber auch Netze für Transport und Energie – sind deshalb der Gefahr von Stranded Investments ausgesetzt.
- Gesellschaftspolitisch motivierte **Zielsetzungen**, nicht nur jene der Klimapolitik, empfehlen eine radikale Reduktion von fossiler Energie.

Welche Orientierungen helfen können

Dieses Policy Brief möchte dazu folgende Orientierungen in die Diskussion einbringen:

- Es ist **nicht möglich**, für einen Zeithorizont von 2030 oder gar 2050 **prognostische Aussagen** zum Energieverbrauch im Sinne einer mit Wahrscheinlichkeiten verbundenen Festlegung zu machen.
- Es ist auch **irreführend**, Aussagen über das künftige Energiesystem mit den **mit den in der Vergangenheit beobachteten Kausalitäten** zu begründen, wie wirtschaftlicher Aktivität oder den Preisen für Energie.
- Es ist **eher möglich**, Abschätzungen über die **Funktionalitäten** des Energiesystems, nämlich die mit der Nutzung von Energie verbundenen thermischen, mechanischen und spezifisch-elektrischen Energiedienstleistungen, zu machen und in der Folge die Rolle von schon heute verfügbaren **Anwendungs- und Transformationstechnologien** auf den Energieverbrauch und den **Energie-Mix** darzustellen.

Mit diesem Mindset kann sehr wohl die Spannweite von möglichen künftigen Strukturen des Energiesystems ausgeleuchtet werden.

## Wie die Zukunft des Energiesystems entworfen werden kann

Ein dafür adäquates analytisches Werkzeug

Zur Abschätzung verschiedener Entwicklungspfade bieten wir ein Werkzeug an, das jenem neuen Verständnis folgt, das im Policy Brief *Energie umfassend verstehen* präsentiert wurde:

- **Die gesamte energetische Wertschöpfungskette** – von den Funktionalitäten bis zur Primär-Energie – wird sichtbar gemacht.
- **Die resultierenden Strukturen des Energiesystems folgen aus nachvollziehbaren Parametern**, wie Veränderungen bei
  - energetischen Funktionalitäten,
  - energetischen Produktivitäten der Technologien sowie
  - Zusammensetzung des Energie-Mix.

EnergyFutures

Durch eine Änderung der Parameterwerte können unterschiedliche Entwicklungspfade für das österreichische Energiesystem dargestellt werden. Dieses Werkzeug ist sowohl als Web-Applikation verfügbar unter <http://energyfutures.net/> als auch als Excel-Anwendung.

## Welche Zukunft des Energiesystems realisierbar wäre

### Beispiel für einen möglichen Entwicklungspfad

Für das österreichische Energiesystem sind unterschiedliche Entwicklungspfade für die Zeithorizonte 2030 und 2050 denkbar. Wir stellen beispielhaft einen Entwicklungspfad vor, dessen Details ausführlich erläutert werden und der folgende Eigenschaften aufweist:

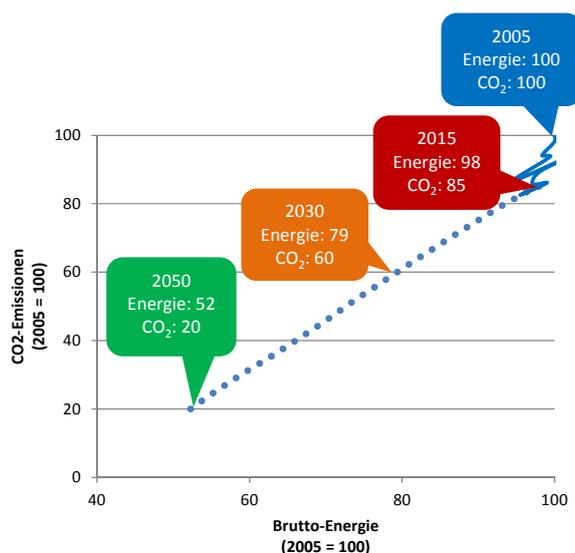
- Für die wohlstandsrelevanten **energetischen Funktionalitäten**, wie den thermischen, mechanischen und spezifisch-elektrischen Energiedienstleistungen, sind eher großzügige Ausweitungen angenommen.
- Für die **energieintensiven Industrie** wird keine Beschränkung des Produktionsvolumens und keine radikale Veränderung in den Prozesstechnologien vorausgesetzt.
- Die angenommenen Verbesserungen bei der **energetischen Produktivität** der Anwendungs- und Transformationstechnologien entsprechen den derzeit bekannten und erwarteten Potentialen.
- Der **Energie-Mix** wird entsprechend der erforderlichen Qualitäten bei der Verwendung, wie Temperatur und Arbeitsfähigkeit, weitgehend auf erneuerbare Energien umgestellt.
- Angestrebt wird eine **Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen** bis 2050 gegenüber 2005 um 80 Prozent.

### Ein Entwicklungspfad zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen

Neben den unterstellten Anforderungen an die energetischen Funktionalitäten hängt jeder Entwicklungspfad von den Veränderungen in der **Energieintensität** (Energienmenge pro Funktionalität) und **Emissionsintensität** (Emissionen pro Funktionalität) ab.

Die gesetzten Annahmen hinsichtlich der Entwicklung der Funktionalitäten, energetischen Produktivitäten sowie der Zusammensetzung des Energie-Mix ergibt den in Abbildung 1 dargestellten Entwicklungspfad, der die Merkmale von **Niedrig-Energie** (fast 50 Prozent Rückgang im Energieeinsatz bis 2050) und **Niedrig-Emissionen** (80 Prozent Reduktion bis 2050) aufweist..

Abbildung 1: Entwicklungspfad zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen



Dieser Entwicklungspfad in Abbildung 1 unterstreicht auch die Erkenntnis, dass ein Ziel von Niedrig-Emissionen nur gemeinsam mit einer radikalen Absenkung der Energiemengen erreichbar ist. Die beobachtbare tatsächliche Entwicklung seit dem Jahr 2005 hat zwar die Emissionen, nicht aber gleichermaßen die Energiemengen reduziert.

## 2 Energetische Funktionalitäten und Endverbrauch an Energie

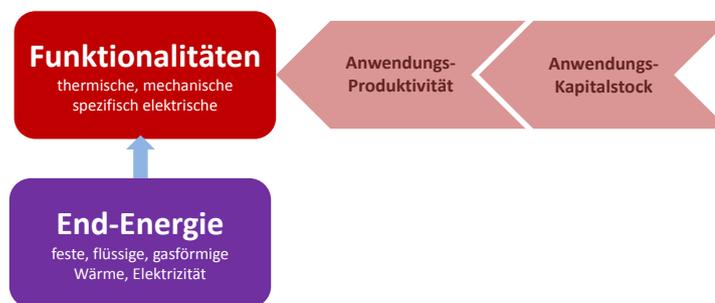
Im Folgenden wird schrittweise das analytische Werkzeug zur Abschätzung von Entwicklungspfaden für unterschiedliche Strukturen beschrieben und zahlenmäßig mit dem Beispiel für einen Entwicklungspfad mit den Qualitäten Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen verbunden.

Dargestellt wird die gesamte energetische Wertschöpfungskette ausgehend von den energetischen Funktionalitäten bis zur Primär-Energie.

### 2.1 Funktionalitäten, Anwendungs-Technologien und End-Energie

Abbildung 2 zeigt, dass die Aufgaben eines Energiesystems, nämlich die zu erbringenden Funktionalitäten zu erfüllen, durch die Anwendungs-Technologien, wie Gebäude und Maschinen und End-Energieflüsse bestimmt werden. Eine Erhöhung der Anwendungs-Produktivität vermindert die für einen bestimmten Umfang an Funktionalitäten erforderliche End-Energie.

Abbildung 2: Energetische Funktionalitäten und die zugehörigen Kapitalstöcke und End-Energie



Dieser in Abbildung 2 dargestellte Zusammenhang ist die Basis für alle weiteren Analysen eines Energiesystems, weil er die fundamentalen Einflussgrößen sichtbar macht:

- **Energetische Funktionalitäten**  
sind hinsichtlich ihres Umfangs und möglicher Redundanzen beeinflussbar.
- **Technologien**  
bestimmen durch ihre Kapitalstöcke die energetische Produktivität.
- **Energie-Mix der End-Energie**  
ist weitgehend wählbar mit der Einschränkung, dass damit gewünschte Temperaturniveaus oder Arbeitsleistungen erzielbar sind.

### 2.2 Energetische Funktionalitäten

#### Die Aufteilung der Funktionalitäten

Entsprechend der Kategorisierung der Nutzenergiebilanz werden folgende Funktionalitäten der mit Energie verbundenen Dienstleistungen für die energetische Verwendung unterschieden

- **Nieder-Temperatur**  
um in Gebäuden ein angenehmes Temperaturniveau aufrecht zu erhalten.
- **Hoch-Temperatur**  
um in Produktionsprozessen die dafür erforderlichen Temperaturniveaus verfügbar zu haben.
- **Stationäre Antriebe**  
um mit Motoren mechanische Leistungen zu erbringen
- **Mobile Antriebe**  
um damit Fahrzeuge zu betreiben.
- **Beleuchtung und Elektronik**

um gewünschte Leistungen für Licht und elektronische Komponenten zu erhalten.

sowie für die nicht-energetische Verwendung die

- **Nicht-energetischen Funktionalitäten**

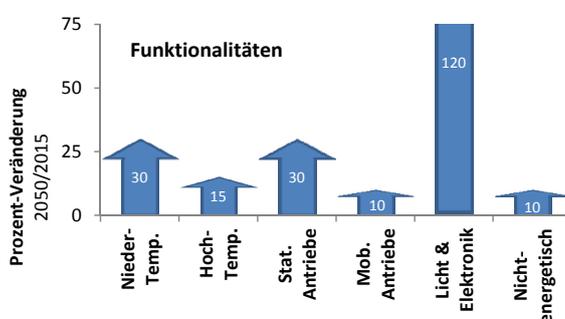
um damit chemische Prozesse für Werkstoffe zu ermöglichen.

Funktionalitäten sind keine Energiemengen und werden beispielsweise am temperierten Gebäudevolumen für Nieder-Temperatur oder oder dem Zugang zu Personen und Gütern für Mobile Antriebe gemessen.

#### Die unterstellten Veränderungen der Funktionalitäten bis 2050

Für den zu analysierenden Entwicklungspfad wird von den in Abbildung 3 ausgewiesenen Veränderungen der Funktionalitäten bis 2050 ausgegangen. Dabei sind durchwegs Ausweitungen vorgesehen, vor allem bei Nieder-Temperatur (erhöhter Komfort und Bedarf bei Gebäuden) und Stationären Antrieben (vermehrter Einsatz von Maschinen). Besonders hoch ist die Expansion bei der Funktionalität Beleuchtung und Elektronik wegen der besonderen Rolle von Informations-Technologien.

Abbildung 3: Entwicklung der energetischen Funktionalitäten bis 2050

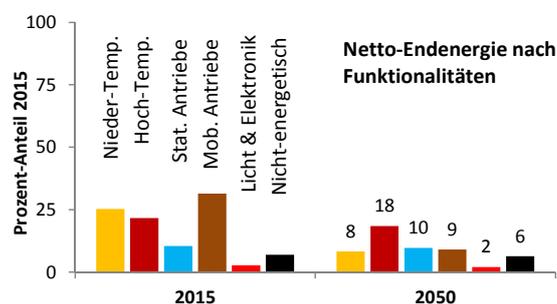


#### Den Funktionalitäten zuzuordnende Energieflüsse

Welche Energieflüsse den einzelnen Funktionalitäten zugeordnet sind, wie aus Abbildung 4 deutlich.

Derzeit werden die höchsten Energiemengen für die Funktionalität Mobile Antriebe mit den dort verbuchten Fahrzeugen verwendet. Der zweitgrößte Bedarf kommt von der Funktionalität Nieder-Temperatur für die Temperierung der Gebäude. Nicht unerheblich ist in Österreich der Energieeinsatz für die Funktionalität *Nicht-energetische Anwendungen* für die stark vertretene Grundstoff-industrie.

Abbildung 4: End-Energie für die energetischen Funktionalitäten



#### Die möglichen Veränderungen bis 2050

Abbildung 4 enthält auch eine Darstellung der Verteilung des Energieverbrauchs nach Funktionalitäten für 2050 für einen Entwicklungspfad mit Parameterwerten für Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen.

Insgesamt entspricht dieser Entwicklungspfad einer Reduktion der Energiemengen auf fast die Hälfte des Ausgangswertes, wobei die stärksten Rückgänge bei Nieder-Temperatur (wegen der Niedrigst-Energiestandards der Gebäude) und bei Mobilien Antrieben (wegen der höheren Bedeutung von Elektro-Mobilität) erwartet werden. Im Restenergiebedarf dominieren die Energiemengen für die energieintensive Produktion.

## 2.3 End-Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen

### End-Energie nach Funktionalitäten

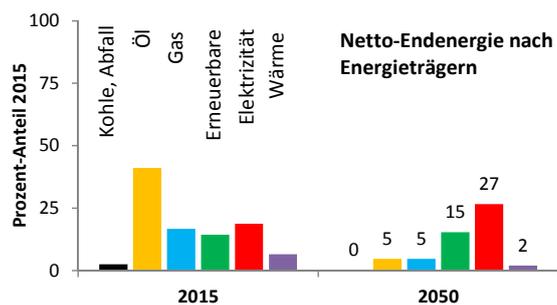
Den Funktionalitäten werden – wie in Abbildung 4 dargestellt – Mengen von End-Energie zugeordnet. Nach der Größe der Anteile ergibt sich für 2015 folgende Reihung:

- 33 % Mobile Antriebe
- 25 % Nieder-Temperatur
- 22 % Hoch-Temperatur
- 10 % Stationäre Antriebe
- 7 % Nicht-energetische Verwendung
- 3 % Beleuchtung und Elektronik

### 2.3.1 Die gesamte End-Energie

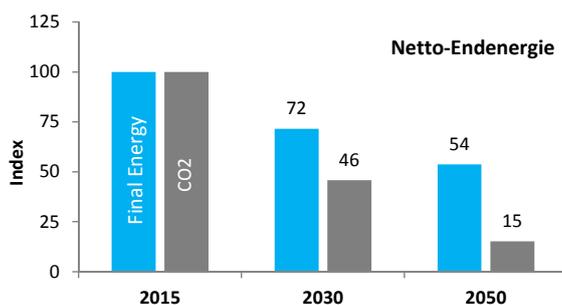
Die gesamte End-Energie setzt sich zusammen aus dem energetischen und dem nicht-energetischen Verbrauch. Aufgespalten nach Energieträgern sieht man in Abbildung 5, dass bis 2050 nach dem gewählten Entwicklungspfad für Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen Elektrizität der dominierende Energieträger wird, gefolgt von Erneuerbaren im Endverbrauch. Die verbliebenen Mengen für Fossile finden sich hauptsächlich bei den Funktionalitäten Hoch-Temperatur und Nicht-energetischer Verbrauch.

Abbildung 5: End-Energie nach Energieträgern



Wie die Dynamik bei End-Energie und den CO<sub>2</sub>-Emissionen im gewählten Entwicklungspfad aussieht, wird aus Abbildung 6 ersichtlich. Demnach sinkt bis 2030 das Volumen der End-Energie rund um ein Viertel und bis 2050 fast auf die Hälfte. Die zugehörigen CO<sub>2</sub>-Emissionen fallen bis 2030 fast auf die Hälfte und bis 2050 auf weniger als ein Fünftel. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhalten sowohl die direkten, den fossilen Energieträgern im Endverbrauch zuordenbaren Werte, als auch die indirekten Emissionen über die Verwendung von Elektrizität und Wärme und den dort bei der Transformation von fossiler Energie anfallenden Emissionen.

Abbildung 6: End-Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen



Welche Annahmen bei Technologien und Energie-Mix diesem Entwicklungspfad zugrunde liegen, wird nachfolgend erläutert.

### 2.3.2 Die den Funktionalitäten zuordenbare End-Energie

Entsprechend der nachfolgend beschriebenen Annahmen ergeben sich für das Beispiel einer Struktur mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen sehr unterschiedliche Veränderungen bei den einzelnen, den Funktionalitäten zugeordneten End-Energiemengen.

#### Nieder-Temperatur

Dieser thermischen Funktionalität kommt bei strukturellen Änderungen im Energiesystem aus mindestens drei Gründen eine Schlüsselrolle zu: Erstens, wird derzeit für diese Funktionalität rund ein Viertel der End-Energie aufgewendet; zweitens, wären durch die Nutzung neuer Gebäudetechnologien radikale Verminderungen der Energiemengen möglich; drittens, haben Gebäudeinvestitionen langfristige Wirkungen auf jede Zielerreichung bei Energiemengen und bei Emissionen.

Trotz einer unterstellten deutlichen Ausweitung der Funktionalität für Nieder-Temperatur erscheint aufgrund schon jetzt realisierter Projekte im Neubau und in der Sanierung bis 2050 eine Absenkung der Energiemengen – einschließlich der Warmwasserbereitung – auf ein Drittel und aufgrund von Änderungen im Energie-Mix eine Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 95 Prozent möglich.

#### Hoch-Temperatur

Für die mit energieintensiven Produkten erforderliche Funktionalität Hoch-Temperatur wird eine eher geringe Ausweitung angenommen, verbunden mit mittleren Steigerungspotentialen bei der Energieproduktivität. Relevant für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ist die Ausweitung von Erneuerbaren im Energie-Mix im unteren Hochtemperaturbereich. Unter diesen Annahmen wird eine Reduktion der Energiemengen um 15 Prozent und der CO<sub>2</sub>-Emissionen um mehr als 85 Prozent möglich.

#### Stationäre Antriebe

Ver mehrt ist eine Zunahme der mechanischen Funktionalität von stationären Motoren zu erwarten, weil vor allem in der Sachgüterproduktion eine Ausweitung der Mechanisierung und Robotik wahrscheinlich ist. Langfristig werden nur in Ausnahmefällen dafür Verbrennungsmotoren eingesetzt werden, weil die Vorteile von elektrischen Antriebe überwiegen.

#### Mobile Antriebe

Neben der thermischen Funktionalität Nieder-Temperatur in Gebäuden ist die Funktionalität Mobile Antriebe der zweite Schlüsselbereich für jede Transformation des Energiesystems. Mindestens drei Gründe sprechen dafür: Erstens kann Mobilität – verstanden als Zugang zu Personen, Gütern und Dienstleistungen – markant durch Änderungen im Wirtschafts- und Lebensstil beeinflusst werden; zweitens können einen Teil diese Aufgabe Informationstechnologien übernehmen und somit Verkehrsbewegungen redundant machen; drittens bringt die Elektrifizierung von Fahrzeugen, sowohl für den Individual- als auch für den Güterverkehr, hohe Steigerungen bei der energetischen Produktivität.

Unter diesem Verständnis für die Erfüllung der mit Mobilität verbundenen Funktionalitäten sollte es deshalb möglich sein – auch bei einer weiteren leichten Expansion der Funktionalität – aufgrund der besonders hohen Potentiale bei der energetischen Produktivität von elektrischen Antrieben die Energiemengen um fast drei Viertel und die CO<sub>2</sub>-Emissionen um gut 95 Prozent zu reduzieren. Die strukturellen Änderungen für eine solche Entwicklung reichen von einer besseren Integration aller Verkehrsträger bis zu einer Reduktion der Zahl und Distanzen der Verkehrswege.

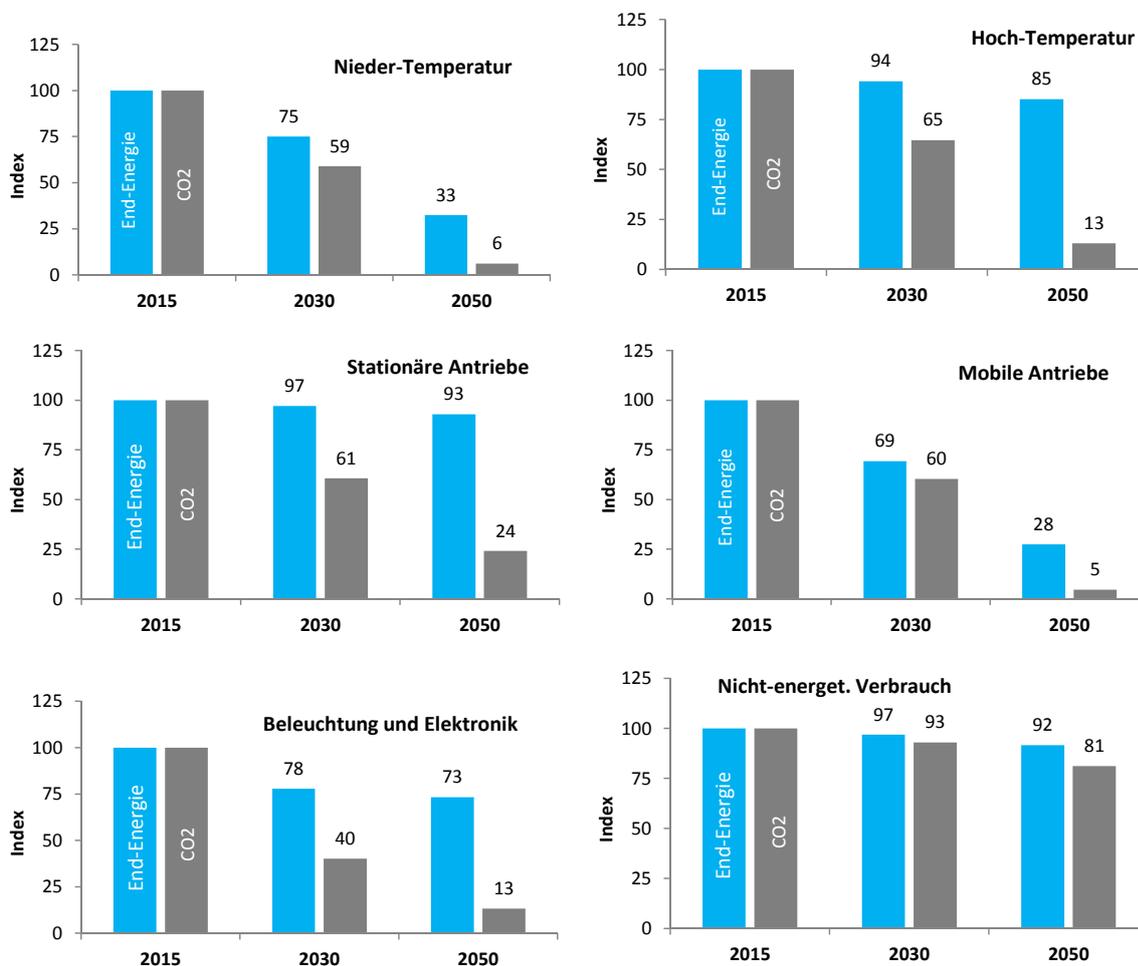
**Beleuchtung und Elektronik**

Obwohl für die Funktionalität Beleuchtung und Elektronik nur rund drei Prozent der End-Energie aufgewendet werden ist dieser Bereich deshalb relevant, weil einerseits dessen Funktionalitäten vor allem im Bereich der Elektronik starke Ausweitungen erfahren werden und andererseits beachtliche Potentiale für die Vervielfachung der energetischen Produktivitäten vorliegen. Insgesamt sollte es möglich sein, langfristig auch für diese Funktionalität eine Reduktion der Energiemengen um rund ein Viertel und der CO<sub>2</sub>-Emissionen um fast 90 Prozent zu erreichen.

**Nicht-energetischer Verbrauch**

Diese Funktionalitäten betreffen Energie als Rohstoff in chemischen Prozessen, wie der Polymerchemie. Angenommen werden eine leichte Ausweitung der Produktion, die Nutzung von mittleren Potentialen bei der energetischen Produktivität sowie eine vermehrte Verwendung von Gas zulasten von Öl. Das resultiert in einer leichten Abnahme der Energiemengen und einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um fast ein Fünftel.

Abbildung 7 Den Funktionalitäten zuordenbare Energiemengen und deren CO<sub>2</sub>-Emissionen



## 2.4 Energetische Produktivitäten

Entsprechend dem in Abbildung 2 dargestellten Zusammenhang wird der Bedarf an End-Energie von der von der Menge an nachgefragten Funktionalitäten und dem zugehörigen Kapitalstock bestimmt, dessen Qualität und Menge wiederum für die energetischen Produktivität der End-Energie relevant ist.

Die Annahmen für die energetischen Produktivitäten für die einzelnen Funktionalitäten des Entwicklungspfad *Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen* zeigt Abbildung 8.

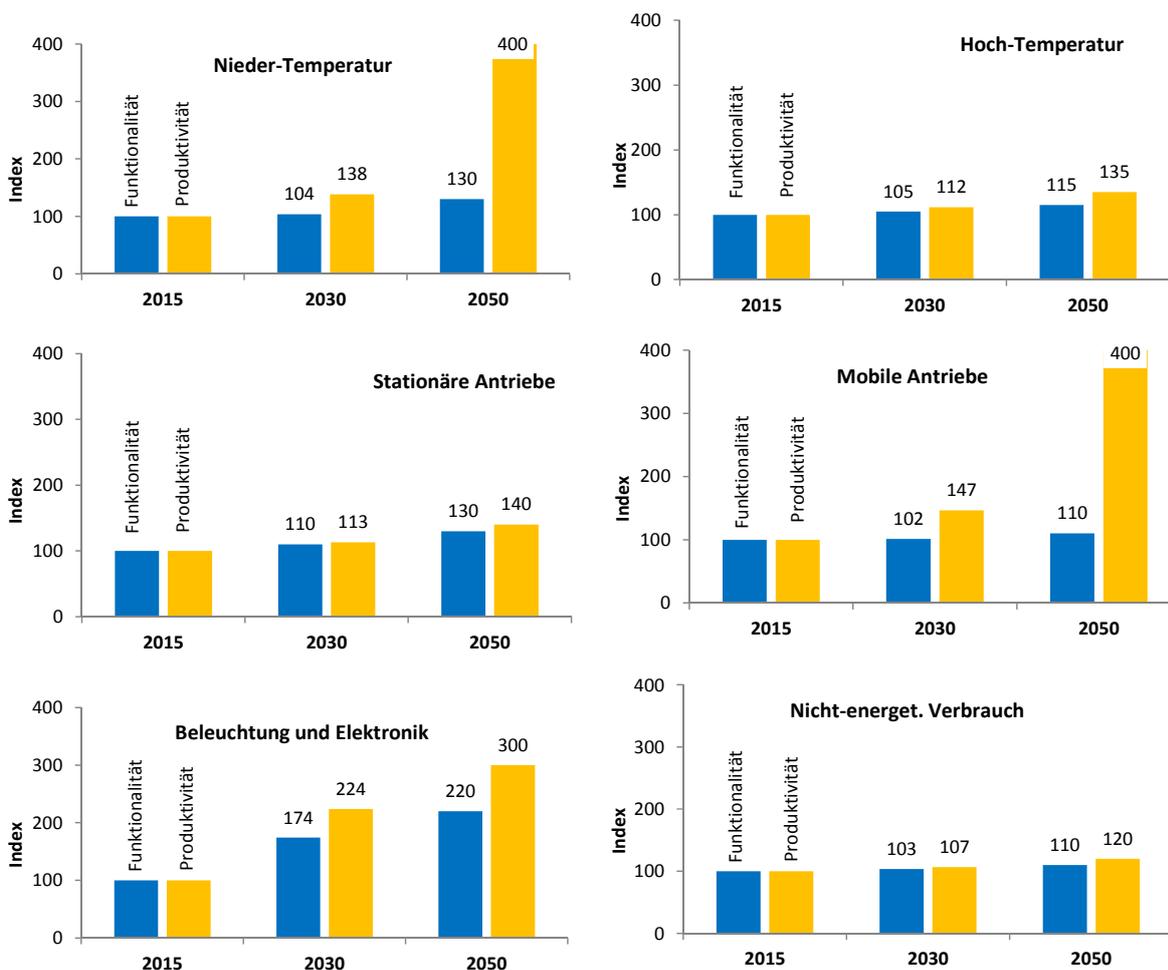
Grundsätzlich sind Verbesserungen bei der energetischen Produktivität mit unterschiedlich intensiven Investitionserfordernissen verbunden. Diese sind beispielsweise bei der Verbesserung von Steuerungen gering, können aber beachtlich werden, wenn etwa industrielle Prozesse umfassend zu erneuern sind.

Das hohe Potential für eine Vervielfachung der derzeitigen energetischen Produktivitäten bei Nieder-Temperatur reflektiert den Übergang zu Niedrigst-Energie Standards im Neubau und entscheidenden Verbesserungen der thermischen Gebäudequalität im Altbestand der Gebäude.

Ähnlich radikale Verbesserungen in der energetischen Produktivität würde der Übergang zu voll-elektrischen Antrieben bei Fahrzeugen bringen. Auch im Bereich Beleuchtung und Elektronik sind bereits jetzt ähnlich hohe Sprünge bei der energetischen Produktivität absehbar, wie etwa die LED-Technologie zeigt.

**Die Potentiale für eine Erhöhung der energetischen Produktivität**

Abbildung 8 Energetische Produktivitäten für die Funktionalitäten



## 2.5 Energie-Mix der End-Energie

Die letzte Einflussmöglichkeit bei der Nachfrage nach End-Endenergie betrifft den Energie-Mix, die Zusammensetzung der Energieträger für ein bestimmtes Volumen an End-Energie.

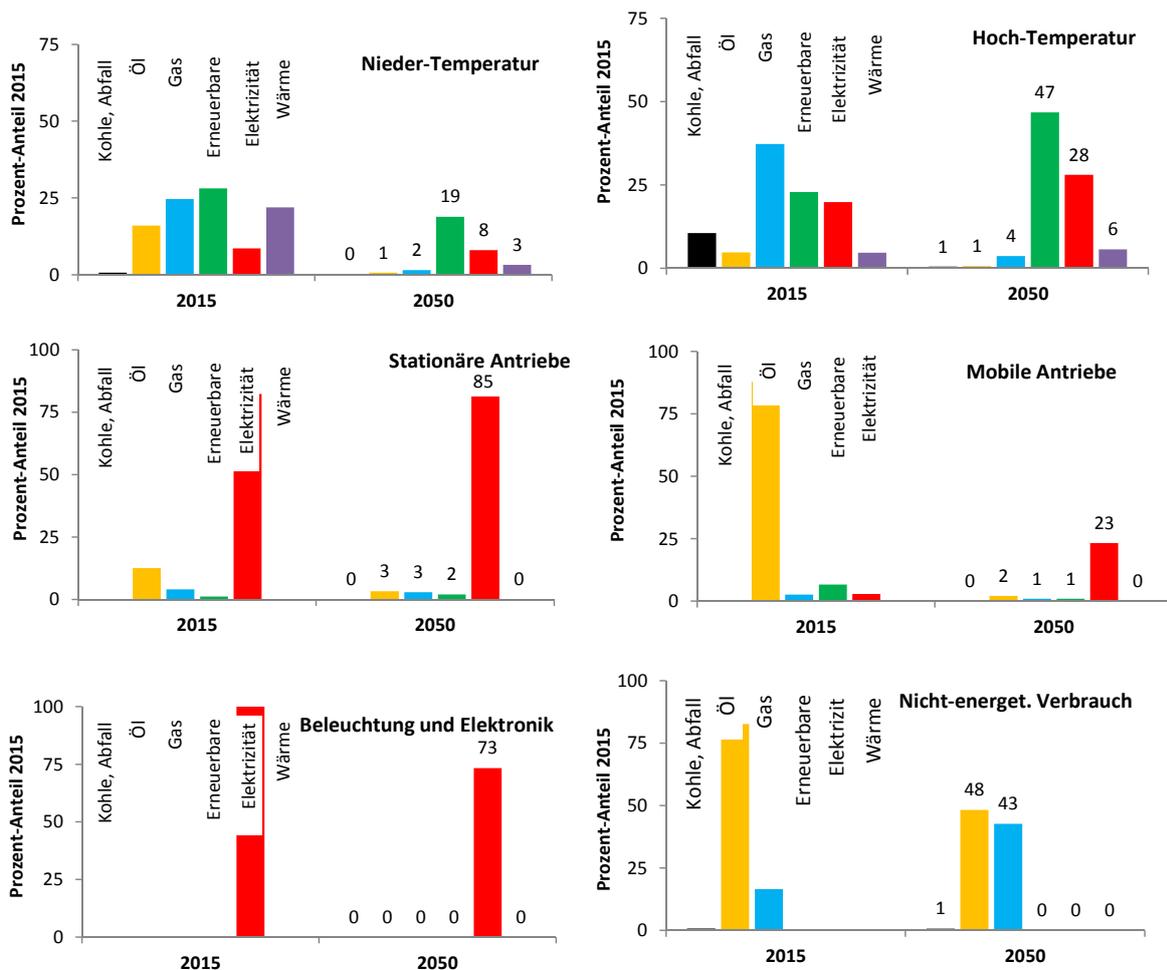
Welchen Veränderungen im Energie-Mix bis 2050 für die einzelnen Funktionalitäten angenommen wurden, ist in Abbildung 9 dargestellt.

### Grenzen für Erneuerbare im Endverbrauch

Für einen Entwicklungspfad zu Strukturen mit Niedrig-Energie- und Niedrig-Emissionen wird grundsätzlich ein möglichst hoher Einsatz von Erneuerbaren angestrebt, der aber im Endverbrauch an Grenzen stößt, wo hohe Temperaturen und hohe Arbeitsfähigkeit erforderlich sind. Das ist ein Grund, warum der Bedarf an Elektrizität im Endverbrauch tendenziell bei Niedrig-Energie deutlich zunimmt, weil diese Strukturen Energieträger mit hoher Arbeitsfähigkeit erfordern.

Im Mix der End-Energie werden Erneuerbare wohl weiter anteilmäßig bei Nieder-Temperatur dominieren, volumsmäßig aber aufgrund der hohen energetischen Produktivität der Gebäude zurückgehen. Unterstellt wurde, dass Erneuerbare aber auch zunehmend im unteren Bereich bei Hochtemperatur zum Einsatz kommen.

Abbildung 9 Energie-Mix für die Funktionalitäten

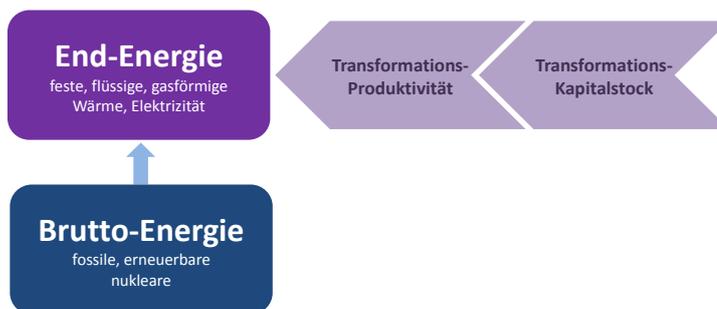


### 3 Transformation von Energie

Fast zwei Drittel des als Brutto-Energie bezeichneten Inputs des österreichischen Energiesystems wird weiteren Transformationen für die Bereitstellung von End-Energie unterzogen, wie in Abbildung 10 dargestellt.

Die vor allem bei den thermischen Transformationen auftretenden Verluste öffnen ein beachtliches Potential zur Erhöhung der Produktivität der Transformationstechnologien.

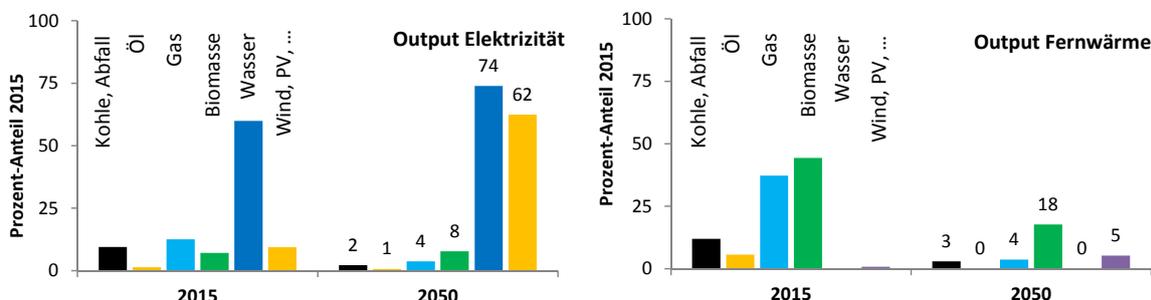
Abbildung 10 Transformation von Brutto-Energie zu End-Energie



Wir betrachten die folgenden Transformationsvorgänge:

- Anlagen für Elektrizität und Wärme aus Fossilen und Erneuerbaren
- Kokerei und Hochofen für die Erzeugung von Eisen und Stahl
- Erdöl-Raffinerie für Treib- und Heizstoffe aus Erdöl
- Agro-Raffinerie für Treibstoffe aus biogenen Rohstoffen

Abbildung 11 Transformation von Primär-Energie zu Elektrizität und Wärme



**Elektrizität und Wärme**

Besondere Aufmerksamkeit verdient die Transformation von Primär-Energie zu Elektrizität und Wärme, weil bei thermischen Anlagen die gemeinsame Transformation in Cogeneration-Technologien anzustreben ist. Der Grund ist die höhere Gesamt-Produktivität bei der Transformation und die Nutzung der Arbeitsfähigkeit der eingesetzten Primärenergie, um damit wieder den hochwertigen Energieträger Elektrizität zu erhalten.

Derzeit wird mehr als drei Viertel der Elektrizität aus Erneuerbaren bereitgestellt, wie aus Abbildung 11 ersichtlich ist. Die dem Entwicklungspfad entsprechende Expansion der Elektrizitätsnachfrage wird hauptsächlich bei den neuen Erneuerbaren Wind, Photovoltaik und Umgebungswärme erwartet.

Abbildung 11 zeigt auch die abnehmende Rolle von Fernwärme, die sich aus dem deutlich verringerten Bedarf ergibt, wenn der Gebäudebestand zunehmend Niedrigst-Energie-Standard aufweist.

**Verluste bei der Verteilung**

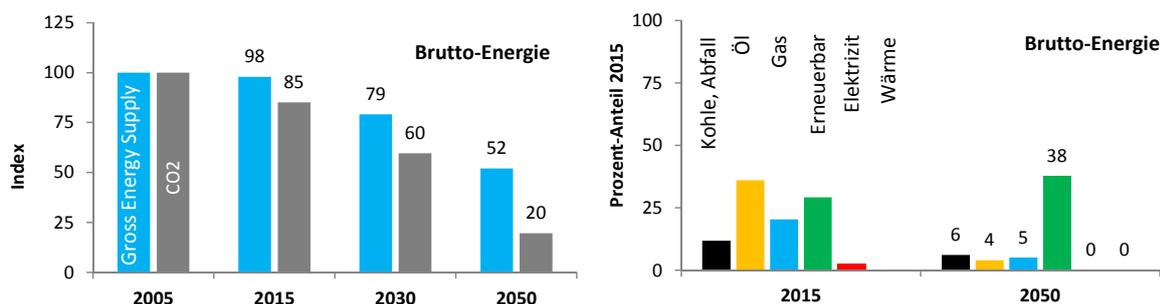
Neben den Transformationen von Energie treten noch Verluste bei der Verteilung auf, die wiederum durch bessere Verteilungsnetze und bessere Integration von Transformation und Endverbrauch reduzierbar sind.

## 4 Brutto-Energieverbrauch

Mit der Bestimmung der Brutto-Energiemenge durch den Bedarf an transformierter und untransformierter Energie ist nun die unterste Stufe der energetischen Wertschöpfungskette erreicht.

Welchen Verlauf der Bedarf an Brutto-Energie im Übergang zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen nehmen könnte, demonstriert Abbildung 12. Demnach würde sich gegenüber 2005 die Energiemenge fast halbieren und die CO<sub>2</sub>-Emissionen würden auf 20 Prozent absinken. Diese radikalen Veränderungen spiegeln sich auch im Energie-Mix, wo im verbleibenden Energiebedarf der Anteil der Erneuerbaren mehr als 70 Prozent erreichen würde.

Abbildung 12 Brutto-Energie, deren Emissionen und Energie-Mix

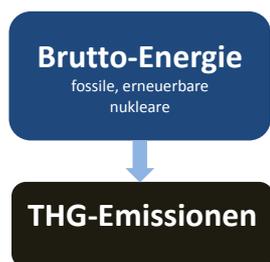


## 5 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die aus einer bestimmten Struktur des Energiesystems resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen können, wie aus Abbildung 13 zu entnehmen, über das Volumen und den Energie-Mix der Brutto-Energie ermittelt werden.

Diese Analyse erlaubt, die österreichischen CO<sub>2</sub>-Emissionen erstmals aus drei unterschiedlichen Perspektiven darzustellen.

Abbildung 13 Brutto-Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen



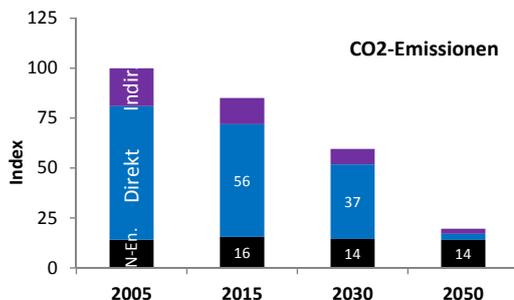
### Zuordnung der Emissionen auf direkte und indirekte Quellen

Für den beispielhaft dargestellten Entwicklungspfad zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen ist in Abbildung 14 neben dem Reduktionsverlauf bis 2050 auch eine Aufspaltung nach direkten Emissionen aus Fossilen im Endverbrauch und indirekten Emissionen über die Elektrizitäts- und Fernwärmeerzeugung enthaltenen Emissionen ersichtlich. Zur bisher behandelten nicht-energetischen Verwendung von Energieträgern kommt noch der Input für die Kokerei der voest, um die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der nicht-energetischen Verwendung zu berechnen.

Über die Annahmen im gewählten Entwicklungspfad sind sowohl die direkten als auch die indirekten Emissionen durch forcierte Erhöhung der energetischen Produktivitäten und Veränderung des Energie-Mixes radikal reduzierbar. Relativ unverändert bleiben – entsprechend den zugrunde

liegenden Überlegungen – die Emissionen aus der nicht-energetischen Verwendung, solange dafür keine völlig neuen Technologien verfügbar sind. Teilweise sind dafür auf Wasserstoff basierende Produktionsprozesse in Entwicklung. Die weiteren strukturellen Veränderungen durch solche Technologien können mit dem verwendeten Analyse-Werkzeug gut abgebildet werden. Beispielsweise würde eine Wasserstoff-Technologie für die voestalpine möglicherweise ein Drittel des derzeitigen Volumens an Elektrizität erfordern.

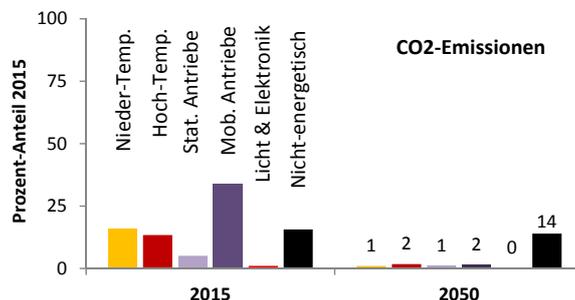
Abbildung 14 CO<sub>2</sub>-Emissionen nach direkten und indirekten Quellen



Zuordnung der Emissionen auf die Funktionalitäten

In Abbildung 15 wird das Volumen der CO<sub>2</sub>-Emissionen den Funktionalitäten zugeordnet. Dabei ist zu erkennen, dass die strukturellen Veränderungen in Richtung Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen eine extreme Reduktion in der energetischen Verwendung erfordern. Die verbleibenden Emissionen betreffen mehrheitlich die nicht-energetische Verwendung.

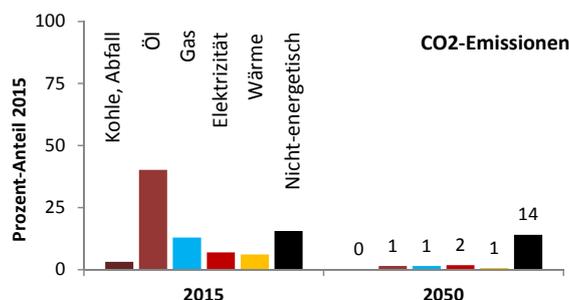
Abbildung 15 CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgeteilt auf Funktionalitäten



Zuordnung der Emissionen auf Energieträger und nicht-energetische Verwendung

In Abbildung 16 erfolgt die Aufteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die Energieträger für die energetische Verwendung und auf den nicht-energetischen Einsatz. Nochmals wird sichtbar, dass die radikal reduzierten Emissionen hauptsächlich aus der nicht-energetische Verwendung resultieren.

Abbildung 16 CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgeteilt auf energetische und nicht-energetische Verwendung



## 6 Warum nicht nur die Energiesysteme sondern auch deren Analyse eine neue Perspektive braucht

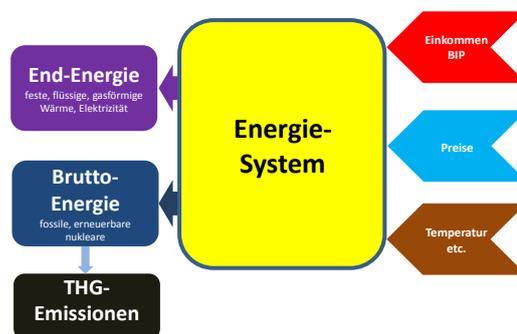
### Analysen mit Ablaufdatum

Die meisten Werkzeuge, die bei Analysen für Energie verwendet werden, behandeln das Energiesystem – wie in Abbildung 17 visualisiert – als eine geschlossene Black Box. Dabei werden aber Kausalitäten unterstellt, wie beispielsweise aus wirtschaftlicher Aktivität, Energiepreisen und Temperaturen auf Energieflüsse geschlossen werden kann.

Dieses Mindset hat vor allem bei langen Zeithorizonten wie 2030 und 2050 aus vielen Gründen ein Ablaufdatum erreicht:

- Es ist immer schwieriger kurzfristige, völlig unmöglich aber belastbare langfristige Aussagen über wirtschaftliche Aktivität und Energiepreise zu machen.
- Auf diesen Größen aufbauende Zusammenhänge mit dem Energieverbrauch sind nicht nur immer weniger für die Vergangenheit nachzuweisen, für zukünftige Strukturen schlagen viele energie- und klimapolitische Zielsetzungen eine bewusste Entkopplung von diesen Einflüssen vor.
- Ein auf solchen Kausalitäten aufbauendes, simplifizierendes Verständnis von Energiesystemen ist nicht in der Lage mit den erwarteten disruptiven Veränderungen umzugehen.

Abbildung 17 Das Energiesystem als geschlossene Black Box



Dennoch dominiert dieses obsolete Mindset als Entscheidungsgrundlage für viele energiepolitische Vorgänge, nicht zuletzt auf der Ebene der Europäischen Union, wo beispielsweise prognostische Aussagen von den Mitgliedsstaaten eingefordert werden, die auf diesem eingeschränkten Verständnis basieren.

Ein häufig genutztes Analyseinstrument für energiepolitische Aussagen und Diskussionen ist beispielsweise das unter dem Namen von PRIMES bekannte Modellprojekt, dessen Annahmen und daraus resultierende Ergebnisse häufig nur unzureichend nachvollziehbar sind.,

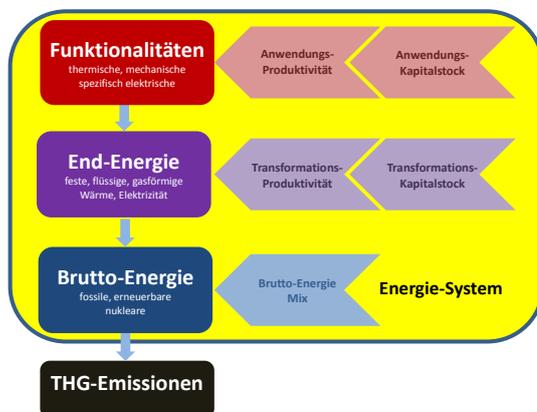
### Analysen entlang der vollen energetischen Wertschöpfungskette

Alternativ dazu bietet sich ein vertieftes Verständnis der inneren Struktur eines Energiesystems an, gleichsam ein Öffnen der Black Box, wie in Abbildung 18 dargestellt, und mit mehreren Vorteilen:

- Alle Komponenten auf der sichtbar werdenden energetischen Wertschöpfungskette sind von den möglichen künftigen Veränderungen des Energiesystems betroffen.
- Die nachvollziehbaren Veränderungen der Parameterwerte, wie der

Veränderung der Nachfrage nach energetischen Funktionalitäten, den energetischen Produktivitäten sowie im Energie-Mix können in allen gewünschten Details analysiert werden.

Abbildung 18 Das Energiesystem als geöffnete Black Box



Dieser erste Schritt einer detaillierten Analyse von künftigen Strukturen des Energiesystems ist noch um weitere Schritte zu ergänzen:

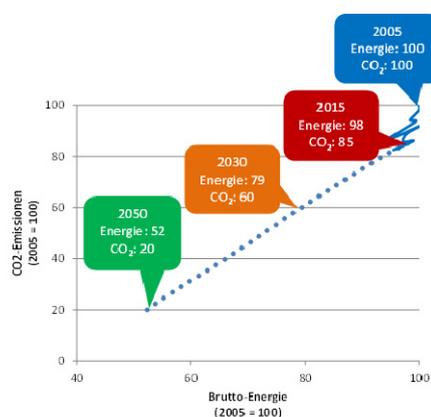
- In einem zweiten Schritt ist zu untersuchen, wie eine Veränderung bei Funktionalitäten, energetischen Produktivitäten und Energie-Mix möglicherweise Investitionen und Änderungen in den Energiefüßen auslöst.
- In einem dritten Schritt ist dann zu überlegen, welche Rolle institutionelle Rahmenbedingungen, wie Marktmechanismen und Regulierungen, für energierelevante Entscheidungen in Haushalten und Unternehmen haben.

Diese bewusste Trennung der Analyse zwischen der physischen Struktur des Energiesystems, dessen Interaktion mit dem ökonomischen System und der Wirkung von institutionellen Rahmenbedingungen ist ein weiteres Qualitätsmerkmal dieser vertiefenden Methodik.

**Analysen zur Erreichung von gewünschten Zielen**

In diesem Policy Brief wird mit dem präsentierten vertiefenden Werkzeug zur Analyse von Energiesystemen beispielhaft ein Entwicklungspfad demonstriert, der zu Strukturen mit der Qualität Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen führt, auf den nochmals in Abbildung 19 verwiesen wird.

Abbildung 19 Entwicklungspfad zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen



**Wie ein Entwicklungspfad** Der dabei sichtbare Entwicklungspfad ist das Ergebnis eines aufwendigen

**zustande kommt**

iterativen Prozesses. Die zugrunde liegende Analyse basiert auf folgenden Leitlinien:

- **Orientierung an Zielen,**  
im konkreten Beispiel die Erreichung einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 um 80 Prozent gegenüber 2005.
- **Beachtung von Restriktionen,**  
wie die Aufrechterhaltung der Produktionsmöglichkeiten für die energieintensive Industrie.
- **Verwendung von plausiblen Parametern,**  
wie die erwarteten Ansprüche an Funktionalitäten, die absehbaren Potentiale bei energetischen Produktivitäten sowie die Möglichkeiten für eine Umschichtung im Energie-Mix.

**Einige aufschlussreiche Erkenntnisse**

Der als Beispiel für diesen innovativen Zugang zu Energiesystemen vorgelegte Entwicklungspfad liefert einige aufschlussreiche Erkenntnisse:

- Die Erreichung der ambitionierten Zielsetzung von minus 80 Prozent der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 ist nur durch eine ebenso ambitionierte Erhöhung bei den energetischen Produktivitäten möglich.
- Bis 2050 müssten sich deshalb die Energieflüsse entlang diesem Pfad halbieren, ohne damit die geforderten Funktionalitäten des Energiesystems zu beeinträchtigen.
- Insgesamt zeigt sich, dass ein solcher Entwicklungspfad eine außerordentliche Anstrengung für eine Kurskorrektur im aktuellen Energiesystem erfordert, die derzeit noch nicht erkennbar ist.
- Die Weichenstellungen für diese radikale Änderung der Strukturen des Energiesystems müssten jedoch sofort erfolgen, vor allem dort, wo aktuelle Investitionen langfristige Auswirkungen generieren.

Die resultierende Struktur weist somit drei **Niedrig-Eigenschaften** auf, nämlich für

- **Energie**  
wegen der Halbierung der Energiemengen,
- **Emissionen**  
aufgrund der Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 80 Prozent,
- **Netze**  
weil die resultierenden Strukturen sich auf immer lokalere Skalen konzentrieren und kaum mehr eine Auslandsabhängigkeit aufweisen.

## 7 Appendix: Entwicklungspfad zu Strukturen mit Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen

Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen	2005	2015	2030	2050
	Peta Joule			
<b>Energetischer Endverbrauch</b>	<b>1.102</b>	<b>1.087</b>	<b>888</b>	<b>554</b>
<i>Nieder-Temperatur</i>	327	295	222	96
<i>Hoch-Temperatur</i>	251	252	240	215
<i>Stationäre Antriebe</i>	104	122	119	113
<i>Mobile Antriebe</i>	389	385	282	106
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	31	32	25	23
Nicht-energetischer Endverbrauch	74	81	79	74
<b>Netto-Energieverbrauch</b>	<b>1.176</b>	<b>1.168</b>	<b>967</b>	<b>628</b>
<i>Kohle und Abfall</i>	35	29	21	2
<i>Erdöl</i>	556	480	330	55
<i>Erdgas</i>	206	195	149	56
<i>Erneuerbare</i>	119	168	166	180
<i>Elektrizität</i>	206	219	244	311
<i>Wärme</i>	54	77	58	24
Verluste und Eigenverbrauch	263	242	172	121
Output Transformierte Energie	771	788	691	487
<i>Elektrizität</i>	231	222	274	336
<i>Wärme</i>	59	84	62	25
<i>Kokerei und Hochofen</i>	86	85	78	71
<i>Erdöl-Raffinerie</i>	393	385	265	43
<i>Agro-Raffinerie</i>	1	12	12	12
Input Transformierte Energie	886	885	747	510
Untransformierte Energie	554	525	391	239
<b>Brutto-Energieverbrauch</b>	<b>1.439</b>	<b>1.409</b>	<b>1.138</b>	<b>749</b>
Fossile	1.133	962	672	215
<i>Kohle und Abfall</i>	184	166	127	87
<i>Erdöl</i>	611	508	344	57
<i>Erdgas</i>	339	288	201	72
Erneuerbare	296	411	467	534
Netto-Import Elektrizität	9	36	0	0

Niedrig-Energie und Niedrig-Emissionen	2005	2015	2030	2050
	Index			
<b>Energetischer Endverbrauch</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>81</b>	<b>50</b>
<i>Nieder-Temperatur</i>	100	90	68	29
<i>Hoch-Temperatur</i>	100	101	96	86
<i>Stationäre Antriebe</i>	100	118	115	109
<i>Mobile Antriebe</i>	100	99	72	27
<i>Beleuchtung, Elektronik</i>	100	103	82	76
Nicht-energetischer Verbrauch	100	109	107	100
<b>Netto-Energieverbrauch</b>	<b>100</b>	<b>99</b>	<b>82</b>	<b>53</b>
<i>Kohle und Abfall</i>	100	85	60	7
<i>Erdöl</i>	100	86	59	10
<i>Erdgas</i>	100	95	72	27
<i>Erneuerbare</i>	100	141	140	151
<i>Elektrizität</i>	100	106	118	151
<i>Wärme</i>	100	142	107	44
Verluste und Eigenverbrauch	100	92	65	46
<b>Brutto-Energieverbrauch</b>	<b>100</b>	<b>98</b>	<b>79</b>	<b>52</b>
Fossile	100	85	59	19
<i>Kohle und Abfall</i>	100	90	69	47
<i>Erdöl</i>	100	83	56	9
<i>Erdgas</i>	100	85	59	21
Erneuerbare	100	139	157	180
Netto-Import Elektrizität	100	383	0	0
<b>Indikatoren</b>				
<i>Erneuerbare / Brutto-Energie [%]</i>	21	29	41	71
<i>CO2 [2015=100]</i>	118	100	70	23
<i>CO2 [2005=100]</i>	100	85	60	20