

POLICY BRIEF

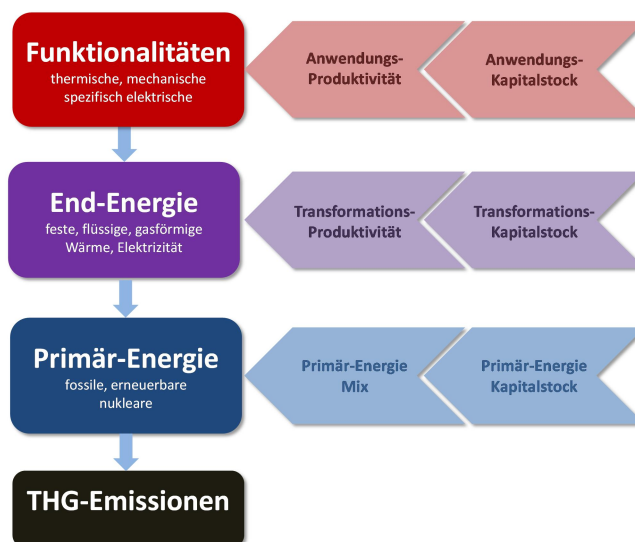
Energie umfassend verstehen

Die energetische Wertschöpfungskette: Von den Funktionalitäten zur Primär-Energie

Innovative Perspektiven für Energie- und Klimastrategien
Teil 1

Oktober 2016

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.koepl@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.steining@uni-graz.at

+43 (316) 380-8441

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.

Der 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 (WIFO), Jürgen Schneider, Ilse Schindler, Thomas Krutzler, Thomas Gallauer (UBA), Gabriel Bachner, Thomas Schinko, Karl W. Steininger (Wegener Center), Matthias Jonas, Piotr Zebrowski (IIASA).

1 Warum das Energiesystem eine neue Perspektive braucht

Disruptive Veränderungen werden sichtbar

Der Umgang mit Energie, so wie wir ihn bisher kannten, könnte sich in wenigen Jahren radikal verändern. Das sind einige sichtbare Konturen:

- **Gebäude** werden nicht nur weitgehend energetisch autonom, sondern bekommen eine Rolle als Teil der Infrastruktur für das nächste Energiesystem.
- **Mobilität**, die als Erfüllung des Zugangs zu Personen und Gütern verstanden wird, erfordert nicht immer Verkehrsbewegungen.
- **Mikronetze** können auf immer kleineren Skalen mit Energie verbundene Funktionalitäten erfüllen.
- **Geschäftsmodelle** entstehen, die mit konventionellen Energieversorgungsunternehmen kaum Ähnlichkeit haben und mit Begriffen wie Sharing und Blockchain aufhorchen lassen.

Die E-Vokabel – nämlich Erneuerbare, Effizienz und Energiewende – sind nicht ausreichend

Das bisher im Umgang mit Energie dominierende Verständnis und das damit verbundene E-Vokabular - nämlich Erneuerbare, Effizienz und Energiewende – ist nicht ausreichend und möglicherweise sogar kontraproduktiv für einen konstruktiven Umgang mit disruptiven Veränderungen.

Beispiele dafür sind Beschränkungen auf das Angebot einzelner Energieträger oder Forderungen nach bestimmten Anteilen im Energiemix.

Ein neues Mindset, das konstruktiv mit den künftigen Veränderungen im Energiesystem umgehen kann, tragen die nachfolgenden Elemente.

Die volle energetische Wertschöpfungskette – von den Funktionalitäten bis zur Primär-Energie – verstehen

Die eigentliche Aufgabe eines jeden Energiesystems, nämlich wohlstandsrelevante energetische **Funktionalitäten** für Wohnen, Mobilität und Produkte zu erfüllen, wird im konventionellen Verständnis, mit einem starken Fokus auf die Energiebereitstellung, kaum sichtbar.

Welche Funktionalitäten mit welchen Technologien und Energieflüssen erfüllt werden sollen, sollte aber die zentrale Fragestellung für Perspektiven über zukunftsfähige Energiesysteme sein.

Mit den I-Strategien – nämlich Inversion, Innovation und Integration – zukunftsfähige Strukturen für Energie suchen

Auf die gesamte energetische Wertschöpfungskette wird dann eine Argumentation angewandt, die mit I-Vokabeln etikettiert ist:

- **Inversion** bedeutet die Umkehr der Argumentations- und Analyseschritte, nämlich immer ausgehend von den energetischen Funktionalitäten und nicht von der Primärenergie.
- **Innovation** bedeutet die Überwindung von Pfadabhängigkeiten durch die Bereitschaft zur Suche, Entwicklung und Implementierung von neuen Technologien und Geschäftsmodellen.
- **Integration** bedeutet die Realisierung von Synergien durch neue systemische Designs.

2 Wie das Energiesystem neu verstanden werden soll

2.1 Funktionalitäten

Die Erfüllung von energierelevanten Funktionalitäten ist der Zweck eines jeden Energiesystems

Die Aufgabe jeder Verwendung von Energie ist die Erfüllung der damit verbundenen Dienstleistungen, die wir als energierelevante Funktionalitäten bezeichnen.

Die Fokussierung auf diese Funktionalitäten bei der Analyse ist ein entscheidender Schritt zu einem besseren Verständnis im Umgang mit Energie.

Energierrelevante Funktionalitäten beinhalten folgende Kategorien

- **Thermische Funktionalitäten** erfassen den Bedarf von auf einem gewünschten Niedertemperaturniveau zu haltende Räume und Gebäude oder von auf unterschiedlichen Hochtatemperaturniveaus zu haltende Produktionsprozesse.
- **Mechanische Funktionalitäten** beschreiben den Bedarf an Antrieben für mobile Anwendungen im Transport und stationäre Anwendungen in Haushalten und Unternehmen.
- **Spezifisch elektrische Funktionalitäten** betreffen den Bedarf an Beleuchtung und den Betrieb der Elektronik in allen Geräten.

Der mit den energierelevanten Funktionalitäten verbundene Kapitalstock und die Flüsse an End-Energie

Energierrelevante Funktionalitäten sind keine Energieflüsse sondern das Ergebnis der Wechselwirkung zwischen Kapitalstöcken, Nutzungsverhalten und Energieflüssen.

Näherungsweise werden diese Funktionalitäten durch Indikatoren beschrieben, wie das Volumen oder die Fläche der zu temperierenden Räume, die zu transportierende Menge an Personen und Gütern, die mit einer bestimmten Lichtintensität zu beleuchtenden Flächen oder die Zahl der zu betreibenden Computer.

Die mit den energetischen Funktionalitäten verbundenen Energieflüsse, bezeichnen wir vereinfacht als End-Energie.

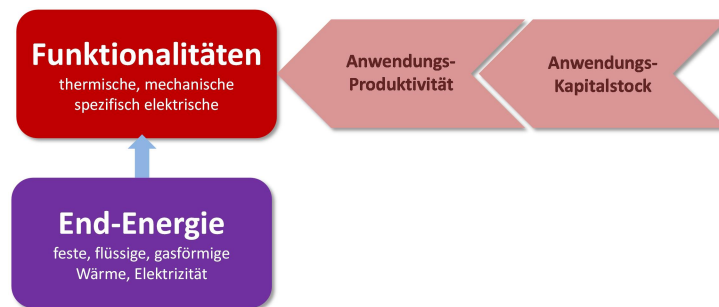
Welche Menge an End-Energie für eine bestimmte Menge an Funktionalitäten erforderlich ist, hängt von der Produktivität der damit verbundenen Anwendungstechnologien ab, die die Qualität des zugehörigen Kapitalstocks abbildet.

Ein Beispiel ist die energierelevante Funktionalität oder die energetische Dienstleistung der Temperierung eines Gebäudes. Die thermische Gebäudequalität bestimmt die Produktivität der für ein bestimmtes Temperaturniveau eingesetzten End-Energie.

Abbildung 1 zeigt diese fundamentale Beziehung im Verständnis eines Energiesystems:

Eine bestimmte Funktionalität kann durch unterschiedliche Kombinationen von Flüssen von End-Energie und Beständen an Kapital erfüllt werden.

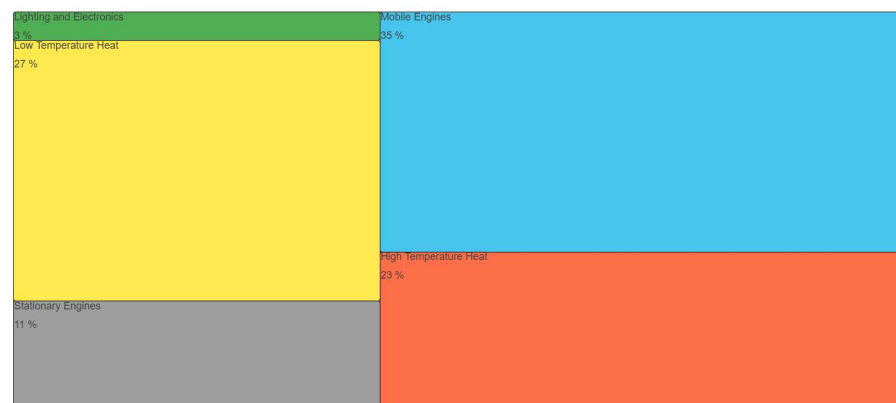
Abbildung 1 Energierelevante Funktionalitäten und die zugehörigen Kapitalstöcke und End-Energie

**End-Energie nach Funktionalitäten**

Den Funktionalitäten können – wie in Abbildung 2 dargestellt – Mengen von End-Energie zugeordnet werden. Die Darstellung entspricht der aktuellen Aufteilung (2014) für Österreich:

- 36 % für mobile Antriebe
- 27 % für Niedertemperatur
- 23 % für Hochtemperatur
- 11 % für stationäre Antriebe
- 3 % für Beleuchtung und Elektronik

Abbildung 2 Energierelevanten Funktionalitäten zuordenbare End-Energie (2014)



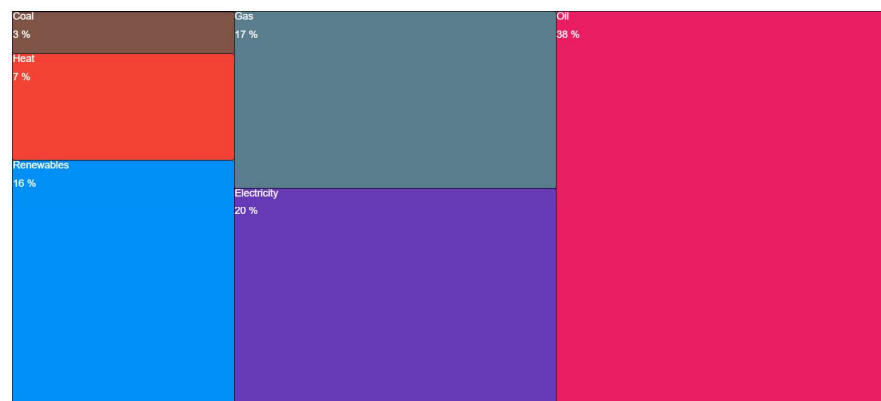
2.2 End-Energie

End-Energie nach Energieträgern

Geläufiger ist die Aufteilung der End-Energie nach Energieträgern, mit folgenden – aus Abbildung 3 ersichtlichen – derzeitigen Anteilen:

- 37 % Ölprodukte
- 20 % Elektrizität
- 17 % Gas
- 16 % Erneuerbare
- 7 % Fern- und Nahwärme
- 3 % Kohle

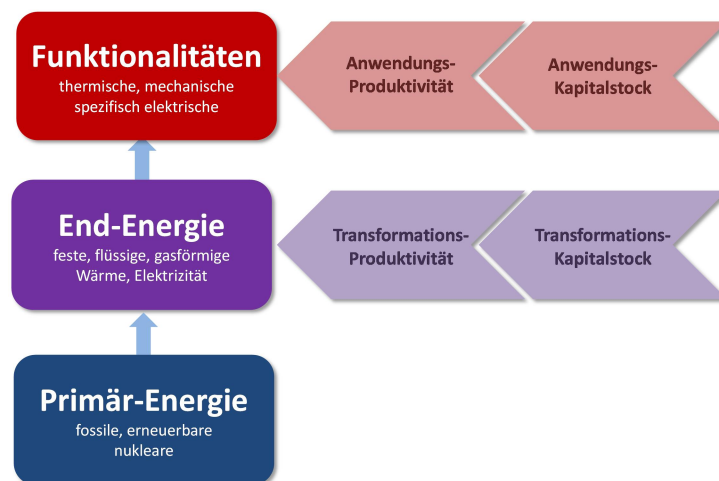
Abbildung 3 Den Energieträgern zuordenbare End-Energie (2014)



End-Energie entsteht durch Transformationsprozesse aus Primärenergie oder direkt eingesetzte Primär-Energie und wird in der Regel über Verteilungsnetze verfügbar.

Dabei ist – wie in Abbildung 4 dargestellt – die Qualität und die Menge des dabei eingesetzten Kapitalstocks für die Produktivität der Transformationsvorgänge relevant.

Abbildung 4 End-Energie und die zugehörigen Kapitalstöcke und Primär-Energie



2.3 Primär-Energie

Für die Bereitstellung von Primärenergie ist – wie in Abbildung 5 angedeutet – sowohl der gewünschte Energie-Mix (Erneuerbare, Fossile, Nukleare) als auch der damit verbundene Kapitalstock, wie z.B. die Fördereinrichtungen für Erdöl und Erdgas, relevant.

Abbildung 5 Die Bereitstellung von Primär-Energie

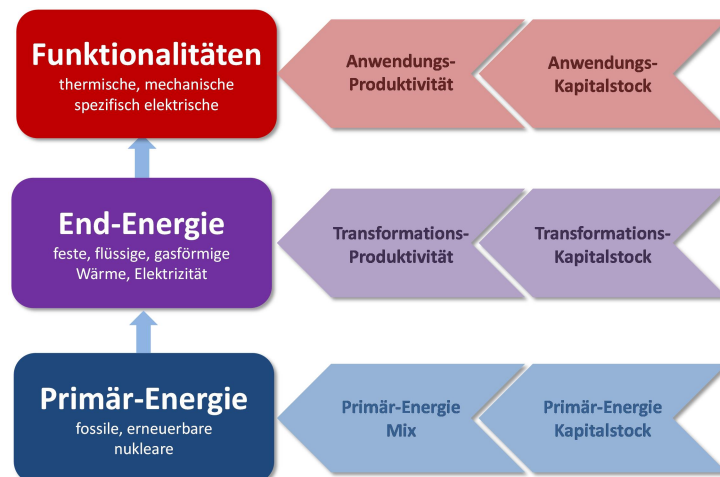
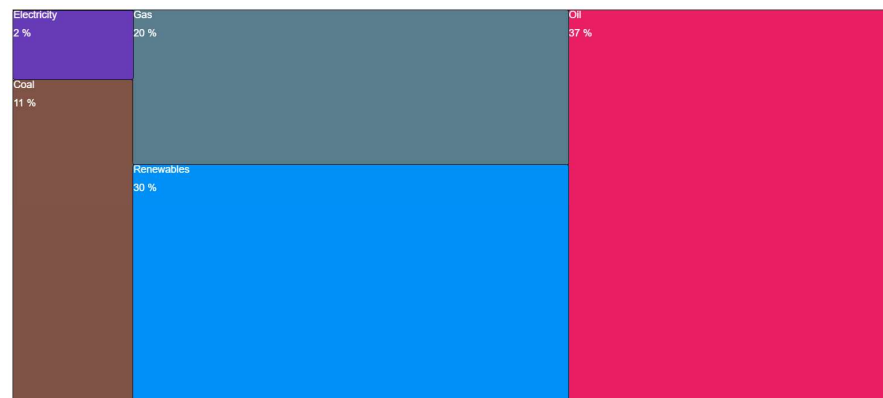


Abbildung 6 zeigt die nach Energieträgern aufgeschlüsselte Brutto-Energie für Österreich als Annäherung an die Struktur der Primär-Energie mit folgenden Anteilen für 2014:

- 37 % Erdöl und Erdölprodukte
- 30 % Erneuerbare
- 20 % Gas
- 11 % Kohle
- 2 % Netto-Importe an Elektrizität

Abbildung 6 Nach Energieträgern aufgeschlüsselte Brutto-Energie



2.4 Treibhausgasemissionen

In Hinblick auf die internationale Klimapolitik und die nationalen Reduktionserfordernisse sind die mit der Verwendung von Energie verbundenen Treibhausgasemissionen von besonderem Interesse.

Grundsätzlich sind diese Emissionen mit der Menge an fossiler Primär-energie verbunden, wie in Abbildung 7 dargestellt. Relevant ist dabei die Emissionsintensität von fossilen Energieträgern bzw. der Mix aus Kohle, Erdöl und Erdgas.

Abbildung 7 Treibhausgasemissionen aus der Verwendung fossiler Energieträger

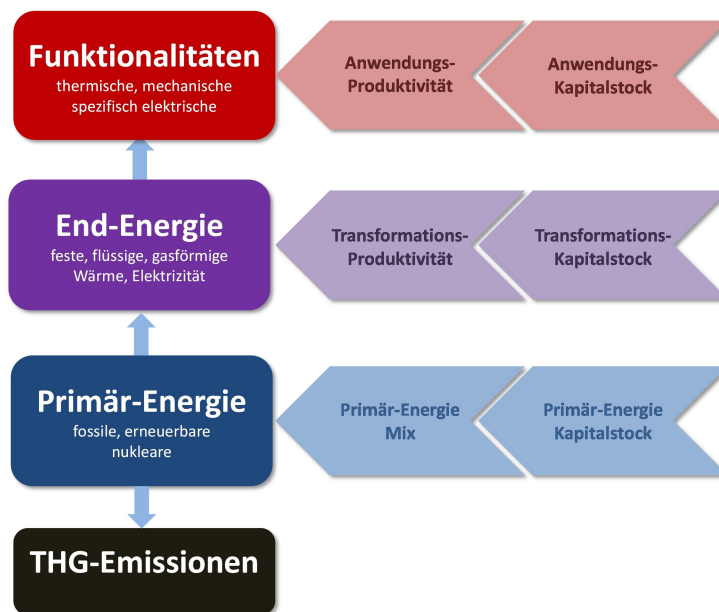
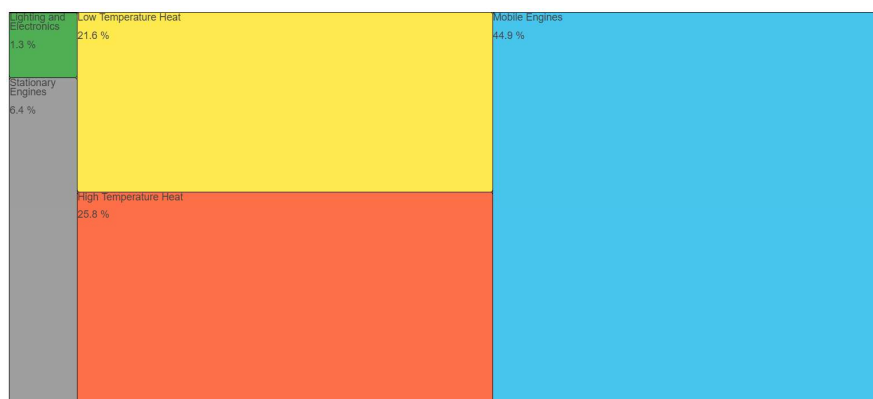


Abbildung 8 gibt Aufschluss über den Anteil der CO₂-Emissionen im Jahr 2014 nach energetischen Funktionalitäten, die sich wie folgt nach Verursachung verteilen:

- 45 % aus mobilen Antrieben im Transport
- 26 % aus Hochtemperatur-Anwendungen
- 22 % aus Niedertemperatur-Anwendungen
- 6 % aus stationären Antrieben
- 1 % aus Anwendungen bei Beleuchtung und Elektronik

Abbildung 8 Anteil der energiebedingten CO₂-Emissionen nach den energetischen Funktionalitäten



3 Mit einem neuen Verstehen des Energiesystems dessen Zukunft argumentieren

Das vorgestellte umfassende Verständnis der Komponenten eines Energiesystems ist eine tragfähige Basis für eine weitere Argumentation bezüglich der künftigen Strukturen und der damit verbundenen Strategien. Zwei Orientierungen helfen diese Argumentation effektiv zu führen.

3.1 Die volle energetische Wertschöpfungskette – von den Funktionalitäten bis zur Primär-Energie – verstehen

Die Orientierung an der energetischen Wertschöpfungskette und die Umkehr oder Inversion der Argumentation

Die bei jeder Analyse des Energiesystems zuerst zu stellenden Fragen

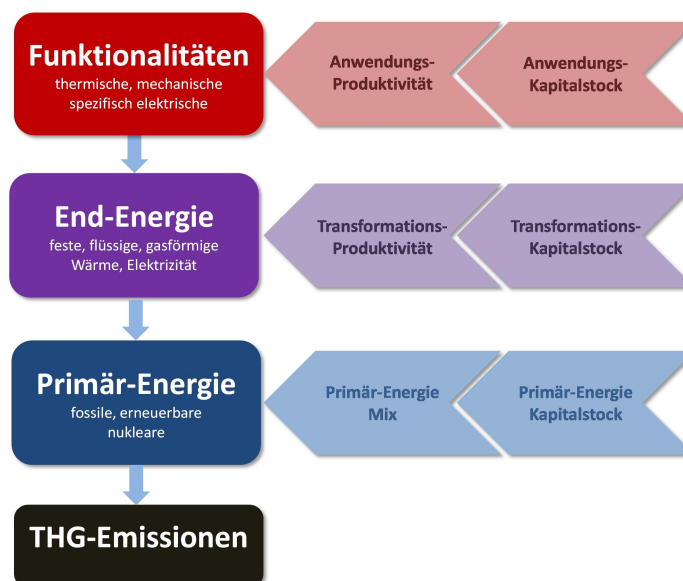
Die erste Orientierung liefert die volle energetische Wertschöpfungskette, die für eine Abschätzung möglicher Transformationsoptionen des Energiesystems: Die weitere Analyse erfolgt aber ausgehend von den energierelevanten Funktionalitäten, wie in Abbildung 9 ersichtlich.

Diese Umkehr oder Inversion der Argumentation ist essentiell für die Entwicklung von zukunftsorientierten Perspektiven des Energiesystems und unterscheidet sich fundamental von konventionellen Analysen, die mit der Primär-Energie starten.

Daraus wird sichtbar, dass jede konstruktive Analyse über künftige Strukturen des Energiesystems sich zuallererst folgenden Fragen stellen muss:

- In welchen Unsicherheitsintervallen könnten sich die energierelevanten Funktionalitäten bei Gebäuden, Mobilität und Produktion in welchen zeitlichen Dimensionen verändern?
- Welche Optionen bezüglich der Erfüllung dieser Funktionalitäten sind durch Verbesserungen der Produktivität bei der Anwendung und der Transformation von Energie verfügbar oder noch zu entwickeln?
- Welche Möglichkeiten gibt es nach Ausnutzung der Produktivitätspotentiale für die Wahl des Energie-Mixes?

Abbildung 9 Die Inversion der energetischen Wertschöpfungskette



Diesen Fragen stellen sich konventionelle Analysen des Energiesystems schon deshalb nicht, weil der Begriff der energierelevanten Funktionalitäten nicht wahrgenommen wird. Damit wird aber die Belastbarkeit solcher Analysen entscheidend verringert.

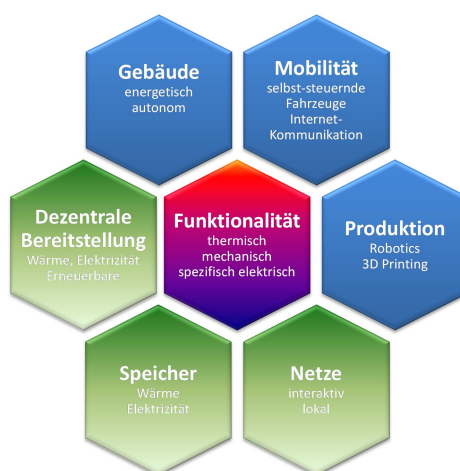
3.2 Mit den I-Strategien – nämlich Inversion, Innovation und Integration – zukunftsfähige Strukturen für Energie suchen

Erfüllung der energierelevanten Funktionalitäten durch Innovation und Integration

Eine zweite Orientierung für eine konstruktive Bewältigung der absehbaren Veränderungen in unseren Energiesystemen wird sichtbar in Abbildung 10: Für die Erfüllung der energierelevanten Funktionalitäten entwickelt sich ein Umfeld, das durch radikale Innovationen und neue Möglichkeiten für Synergien durch Integration markiert ist.

Die energierelevanten Funktionalitäten sind einerseits eingebettet durch sich immer deutlicher abzeichnende Innovationen bei Gebäuden, bei Mobilität und bei der Produktion von Sachgütern und andererseits durch ähnlich radikale Innovationen bei der Bereitstellung von Energie, beginnend mit immer stärker dezentraleren Strukturen, neuen Speichern und darauf reagierende Netzstrukturen.

Abbildung 10 Das innovative Umfeld für energierelevante Funktionalitäten



Das Beispiel der Mikronetze

Deutliche Signale liefern z.B. noch vor wenigen Jahren unvorstellbare Mikronetze, etwa für den Campus einer Universität, neue Wohnviertel oder Krankenhäuser. Diese Mikronetze sind fokussiert auf zu erbringende energierelevante Funktionalitäten und beginnen sukzessive alle Komponenten der Energiebereitstellung – von hocheffizienter Cogeneration von Elektrizität und Wärme, elektrischen und thermischen Speichern bis zu Windturbinen und Photovoltaik – mit den Komponenten der Energieverwendung über digitale Informationstechnologien zu integrieren. Das Ergebnis sind Energiesysteme, die wesentlich resilienter und emissionsärmer und dabei sogar kostengünstiger als konventionelle Lösungen sein können.

Die Evolution von den E-Strategien zu den I-Strategien

Für den Umgang mit diesem hohen und für das Energiesystem relevanten Innovationspotential, das für Energiesysteme sichtbar wird, haben sich drei Empfehlungen für Strategien herauskristallisiert. Sie sind die knappe Formulierung eines neuen Mindsets im Umgang mit Energie:

- **Inversion** betont die Notwendigkeit, jede Analyse und jede Aussage über Veränderungen im Energiesystem mit den energierelevanten Funktionalitäten zu beginnen und dann entlang der energetischen Wertschöpfungskette bis zur Primär-Energie zu verfolgen. Das ist die Umkehr oder Inversion der üblichen Argumentation, die sich weitgehend auf die Bereitstellung von Energie beschränkt.
- **Innovation** erfordert eine hohe Bereitschaft, sich einerseits den schon sichtbaren radikalen Änderungen entlang allen Komponenten der energetischen Wertschöpfungskette auszusetzen aber zusätzlich noch proaktiv zu betreiben. Diese Innovation erfasst nicht nur Technologien

und Geschäftsmodelle sondern auch Lebens- und Wirtschaftsstile und soziale Beziehungen.

- **Integration** entdeckt immer mehr Möglichkeiten für neue Verknüpfungen der Komponenten des Energiesystems, um damit Synergien zu realisieren, die wiederum die Qualität der zu erfüllenden energierelevanten Funktionalitäten, nicht zuletzt durch geringere Kosten und Emissionen, erhöht.

Diese I-Strategien verstehen sich als Evolution der bisher geläufigen E-Strategien mit dem Vokabular Erneuerbare, Effizienz und Energiewende. Mit den I-Strategien wird ein vertieftes Verständnis und den damit verbundenen Gestaltungsmöglichkeiten für das Energiesystem eröffnet.

3.3 Ein neues Mindset für den Umgang mit Energie

Dieses Policy Brief argumentiert mit einem neuen Mindset für den Umgang mit Energie, das im Vergleich zu konventionellen Analysen besser zur Bewältigung der sich abzeichnenden radikalen Veränderungen in unseren Energiesystemen eignen sollte.

Die tragenden Fundamente dieses neuen Mindsets können durch zwei Abbildungen visualisiert werden:

- die an die energierelevanten Funktionalitäten anknüpfende energetische Wertschöpfungskette wie in Abbildung 9 dargestellt und
- das innovative Umfeld zur Erfüllung dieser Funktionalitäten wie in Abbildung 10 illustriert.

Darauf aufbauend können die I-Strategien von Inversion, Innovation und Integration ausgelotet werden.

Erst nach diesen Vorbereitungen wird es möglich, anhand von verbesserten Maßen für Ziele und Kosten die denkbaren Entwicklungspfade für das Energiesystem zu bewerten, wie in weiteren Policy Briefs argumentiert werden wird.