

Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

ENERGIESPEICHER

Forschungsinitiative der Bundesregierung



Szenarioauswahl und Metaanalyse

PROJEKTBERICHT zum Arbeitspaket 1
Regenerative Stromversorgung und Speicherbedarf in
2050 – RESTORE 2050

Forschungsvorhaben gefördert durch das
Bundesministerium für Bildung und For-
schung (FKZ 03SF0439B)

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Projektbericht

Autoren:

Sascha Samadi, Frank Merten (Wuppertal Institut)

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der „Strategischen Förderinitiative Energiespeicher“ gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Wuppertal, 1. Oktober 2013

Ansprechpartner:

Dipl.-Phys. Frank Merten

Forschungsgruppe 1 „Zukünftige Energie- und Mobilitätsstrukturen“

*Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie
Postfach 10 04 80
42004 Wuppertal*

*Tel.: (0202) 2492 - #121 / -126
Fax: (0202) 2492 - 198
E-Mail: frank.merten@wupperinst.org
Internet: www.wupperinst.org*

Gliederung

1. Einleitung.....	5
2. Überblick über aktuelle Europa-Energieszenarien.....	5
3. Kriterien-gestützte Auswahl besonders geeigneter Szenarien.....	10
4. Vergleich der auf Basis der "Muss-Kriterien" grundsätzlich geeigneten Szenarien..	15
5. Auswahl von bis zu drei im weiteren Projektverlauf zu verwendenden Szenarien..	16
6. Nähere Betrachtung der beiden ausgewählten Szenarien.....	18
6.1. Methodik der Szenarioerstellung.....	19
6.2. Installierte Kapazität nach Technologien.....	20
6.3. Entwicklung der Stromnachfrage.....	24
6.4. Entwicklung des Stromnetzes.....	27
6.5. Entwicklung des Stromspeicherbedarfs.....	29
6.6. Annahmen zum zukünftigen Einsatz von Demand-Side-Management (DSM).....	30
7. Literatur	32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteile erneuerbarer Energien an der Deckung des Strombedarfs in Europa im Jahr 2050 nach verschiedenen Szenarien	12
Abbildung 2: Stromerzeugung nach Energieträger bzw. Technologie in Europa (inkl. Importe) im Jahr 2050 nach verschiedenen Szenarien (in TWh).....	15
Abbildung 3: Stromerzeugungsanteile nach Energieträger bzw. Technologie in Europa (inkl. Importe) im Jahr 2050 nach verschiedenen Szenarien (in %).....	16
Abbildung 4: Stromerzeugungskapazitäten nach Energieträger bzw. Technologie in der EU 27 im Jahr 2050 nach den zwei ausgewählten Szenarien (in GW).....	21
Abbildung 5: Stromerzeugungskapazitäten nach Energieträger bzw. Technologie in den Ländern der EU 27+2 im Jahr 2050 nach „Szenario B“ (in GW).....	23
Abbildung 6: Entwicklung der Stromnachfrage (Endenergie) in der EU 27 zwischen 2009 und 2050 nach den beiden ausgewählten Szenarien	25
Abbildung 7: Entwicklung der Stromnachfrage (Endenergie) in der EU 27 zwischen 2009 und 2050 nach Sektoren im Szenario energy [r]evolution.....	27
Abbildung 8: Entwicklung der Transferkapazität in der EU 27+2 zwischen 2008 und 2050 in „Szenario B“	28
Abbildung 9: Transferkapazität zwischen den Ländern der EU 27+2 im Jahr 2050 in „Szenario B“	29
Abbildung 10: Entwicklung der Stromspeicherkapazität in der EU 27+2 zwischen 2008 und 2050 in „Szenario B“	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die Szenariostudien mit quantitativer Betrachtung des europäischen Stromsystems bis 2050 (in absteigender Reihenfolge ihres Erscheinens).....	6
Tabelle 2: Übersicht über Erfüllung der Mindest-Kriterien derjenigen Szenarien, die das Kriterium des Mindestanteils erneuerbarer Energien an der Deckung des Strombedarfs erfüllen	13
Tabelle 3: Übersicht über Erfüllung der Wunsch-Kriterien derjenigen Szenarien, die das Kriterium des Mindestanteils erneuerbarer Energien an der Deckung des Strombedarfs erfüllen	14
Tabelle 4: Stromerzeugungskapazitäten nach Energieträger bzw. Technologie in der EU 27 im Jahr 2050 nach den zwei ausgewählten Szenarien (in GW).....	22
Tabelle 5: Stromerzeugungskapazitäten nach Energieträger bzw. Technologie in den Ländern der EU 27+2 im Jahr 2050 nach „Szenario B“ (in GW).....	24
Tabelle 6: Entwicklung der Stromnachfrage (Endenergie plus Verluste in nationalen Stromnetzen) in den Ländern der EU 27+2 zwischen 2008 und 2050 nach „Szenario B“ (in TWh)	26

1. Einleitung

Ziel des laufenden Projektes ist die Generierung belastbarer Handlungsempfehlungen für eine zielorientierte politische Steuerung der Transformation des deutschen Stromsystems im europäischen Kontext unter der Annahme einer möglichst vollständig auf erneuerbarer Energien beruhenden deutschen und europäischen Stromversorgung. Die im Rahmen des Projektes erfolgenden Untersuchungen zur Ableitung dieser Handlungsempfehlungen sollen dabei auf den vielen bereits bestehenden Vorstellungen (Szenarien) über die zukünftige Entwicklung des europäischen Stromsystems aufbauen. Dadurch sollen zum einen die Erkenntnisse aus vorliegenden Arbeiten genutzt und zum anderen eine gute Anschlussfähigkeit an bestehende Vorstellungen und Diskussionen zur Transformation des europäischen Energiesystems gewährleistet werden können.

Entsprechend ist es das Ziel in diesem ersten Arbeitspaket, vorliegende Szenarien zur Entwicklung des europäischen Stromsystems hin zu nahezu 100 % erneuerbaren Energien zu ermitteln und auf ihre Nutzbarkeit für die vorgesehenen Untersuchungen des laufenden Forschungsprojekts zu prüfen. Die in diesem Arbeitspaket ausgewählten Szenarien werden anschließend als Ausgangspunkte ("Basisszenarien") betrachtet, von denen aus weitere Untersuchungen zum kostenminimalen Anlagenmix (AP 2), zu der Vorteilhaftigkeit eines Strombezugs aus Nordafrika (AP 3), zum Potenzial von Lastverschiebungen (AP4 und AP 5) sowie zum Bedarf an Speichertechnologien (AP 6) vorgenommen werden.

2. Überblick über aktuelle Europa-Energieszenarien

In einem ersten Schritt wurden vorliegende Europa-Energieszenarien recherchiert, deren Studien die folgenden beiden Kriterien erfüllen:

- **Veröffentlichung 2009 oder später**
Dies soll verhindern, dass veraltete Annahmen und damit auch überholte Fortschreibungen des europäischen Stromsystems berücksichtigt werden
- **Quantitative Darstellung zentraler Größen des Stromsystems für das Jahr 2050**
Das laufende Forschungsprojekt untersucht mit Hilfe quantitativer Modellierung nach optimalen Ausgestaltungen eines europäischen Stromsystems nach einem zumindest weitgehend abgeschlossenen Transformationsprozess hin zu einer (nahezu) CO₂-freien Stromerzeugung im Jahr 2050. Folglich ist es unerlässlich, dass auch die als Grundlage gewählten Szenarien zum einen quantitative Aussagen über zentrale Kenngrößen des europäischen Stromsystems treffen und zum anderen auch eine Entwicklung dieses Systems (mindestens) bis zum Jahr 2050 beschreiben.

Die Recherche der Studien erfolgte dabei:

- auf Basis vorheriger Arbeiten des Wuppertal Instituts (z. B. SEFEP 2012),
- unter Rückgriff auf bekannte Szenario-Metastudien (Prognos 2011, EC 2011),
- über eine gezielte Suche auf den Internetseiten von einschlägigen Forschungsinstituten (IIASA, JRC, PIK) und von Vereinigungen bzw. Institutionen mit direktem Bezug zum europäischen Stromsystem (IEA, ENTSO-E, JRC, EREC, Eurelectric, EU)
- sowie über eine allgemeinen Internet-Recherche.

Auf diese Weise wurden elf Studien mit insgesamt 32 Szenarien bzw. Varianten ermittelt und in der folgenden Tabelle 1 im Überblick zusammengefasst:

Tabelle 1: Überblick über die Szenariostudien mit quantitativer Betrachtung des europäischen Stromsystems bis 2050 (in absteigender Reihenfolge ihres Erscheinens)

Name der Studie	Auftraggeber/ Herausgeber	Hauptauf- tragnehmer	Verwende- tes Kürzel	Szenarien	EE-Anteil in 2050 (Strom)
energy [r]evolution – A Sustainable EU 27 Energy Outlook	Greenpeace/ EREC	DLR	GP/EREC (2012)	Reference	40 %
				energy [r]evolution	96 %
2050 Desert Power – Perspectives on a Sustainable Power System for EU-MENA	Dii	Fraunhofer ISI	Dii (2012)	Reference	ca. 87 %
				Connected	ca. 87 %
Energy Technology Perspectives 2012 – Pathways to a Clean Energy System	IEA	-	IEA (2012)	6DS	k. A.
				4DS	ca. 49 %
				2DS	ca. 67 %
Energy Roadmap 2050	Europäische Kommission	Nat. Techni- sche Universi- tät Athen	EC (2011)	Reference	40 %
				CPI	49 %
				Diversified Supply	59 %
				Energy Efficiency	64 %
				High RES	86 %
				Low Nuclear	65 %
Roadmap 2050 – a closer look – Cost-efficient RES-E penetration and the role of grid extensions	EWI	-	EWI (2011)	A	80 %
				B	80 %
Tangible ways towards climate protection in the European Union (EU Long-term scenarios 2050)	BMU	Fraunhofer ISI	Fh-ISI (2011)	A	93 %
				B	94 %
RE-thinking 2050 – A 100% Renewable Energy Vision for the European Union	EREC	-	EREC (2010)	2050	100 %
				Aggressive Efficiency	100 %
Roadmap 2050 – A Practical Guide to a Prosperous, Low-Carbon Europe	ECF	McKinsey & Company	ECF (2010)	Baseline	34 %
				40% RES	40 %
				60% RES	60 %
				80% RES	80 %
				100% RES	100 %
Europe's Share of the Climate Challenge – Domestic Actions and International Obligations to Protect the Planet	SEI	-	SEI (2009)	Baseline	ca. 28 %
				Mitigation	100 %
Power Choices - Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe by 2050	Eurelectric	Nat. Techni- sche Universi- tät Athen	Eurelectric (2009)	Baseline 2009	33 %
				Power Choices	38 %
ADAM 2-degree scenario for Europe – policies and impacts	Europäische Kommission	Fraunhofer ISI	Fh-ISI u. a. (2009)	Reference	28 %
				450ppm	33 %
				400ppm	40 %

Quelle: Eigene Darstellung nach den Quellenangaben in Spalte 4

Die Studie "**energy [r]evolution – A Sustainable EU 27 Energy Outlook**" (GP/EREC 2012) wurde im Wesentlichen vom Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) erarbeitet und stellt eine Aktualisierung vorheriger Studien zum europäischen Energiesystem aus 2008 und 2010 dar. In den vergangenen Jahren sind ähnliche Szenariostudien in Auftrag von Greenpeace und dem Europäischen Industrieverband für erneuerbare Energien (EREC) auch für das globale Energiesystem sowie die Energiesysteme einzelner Länder erstellt worden. In den Szenarien dieser Studie, wie auch der anderen Studien in dieser Reihe, wird eine schnelle Entwicklung hin zu einem CO₂-armen Energiesystem beschrieben, das bis 2050 zu hohen Anteilen auf erneuerbaren Energien beruht. Die Nutzung der von den Auftraggebern als riskant eingestuften Technologien der CO₂-Abscheidung und Speicherung (CCS) sowie der Atomenergie findet dabei nicht statt (CCS) bzw. läuft noch vor 2050 vollständig aus (Atomenergie). Einem ambitioniertes Klimaschutzenszenario, in dem die energiebedingten CO₂-Emissionen bis 2050 um 95 % gegenüber 1990 reduziert werden, wird ein Referenzszenario gegenübergestellt. In diesem Szenario wird unterstellt, dass keine klimapolitischen Initiativen ergriffen werden.

Die Szenarien in der Studie "**2050 Desert Power – Perspectives on a Sustainable Power System for EUMENA**" (Dii 2012) wurden im Auftrag von Dii¹ von Fraunhofer ISI (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung) erstellt. Die Studie beschreibt ausführlich die technischen Möglichkeiten und ökonomischen Vorteile einer engen Verknüpfung zwischen den Stromsystemen Europas, Nordafrikas und des Mittleren Ostens. Bis 2050 kann der Studie zufolge die Stromerzeugung dieser Regionen überwiegend (zu rund 90 %) auf erneuerbaren Energien basieren. In dem hauptsächlich in der Studie diskutierten Szenario "Connected" werden in 2050 knapp 20 % des europäischen Strombedarfs aus Nordafrika und dem Mittleren Osten importiert, da dies eine kostengünstige Option zur Reduktion der CO₂-Emissionen der europäischen Stromversorgung sei. Diesem in der Studie bevorzugten Szenario wird ein weiteres Szenario namens "Reference" gegenübergestellt, in dem kein Stromaustausch zwischen Europa und dem Mittleren Osten sowie Nordafrika unterstellt wird. In 16 zusätzlichen Sensitivitätsanalysen werden die Folgen von Abweichungen wesentlicher Annahmen der beiden Hauptszenarien untersucht, beispielsweise die Folgen eines verzögerten Netzausbaus oder einer im Zeitverlauf weniger ausgeprägten Kostenreduktion bei den Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Die Studie "**Energy Technology Perspectives (ETP) 2012 – Pathways to a Clean Energy System**" (IEA 2012) wurde von der Internationalen Energieagentur (IEA) erstellt und veröffentlicht und ist Teil einer seit 2006 in zweijährigem Abstand erscheinenden Publikationsreihe, in der verschiedene Szenarien des globalen Energiesystems bis 2050 entwickelt werden. In ETP 2012 werden drei Szenarien beschrieben: In dem "6°C Szenario" (6DS) werden die gegenwärtigen Tendenzen im Energiesystem fortgeschrieben, ohne dass für die Zukunft Bemühungen zur Reduktion von Emissionen angenommen werden. Langfristig sei in diesem Szenario daher mit einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur um 6°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu rechnen. Zwei alternative Szenarien beschreiben mögliche Entwicklungen des globalen Energiesystems, in denen deutliche Minderungen der energiebedingten Emissionen moderatere Anstiege der globalen Temperatur von 4°C (4DS) bzw. 2°C (2DS) erreichbar machen könnten. Die ETP-Studien legen einen Schwerpunkt auf die

¹ Dii ist ursprünglich als Desertec Industrial Initiative gegründet worden und ist ein Zusammenschluss von Unternehmen, die die Umsetzung einer nachhaltigen Stromversorgung Europas und anderer Teile der Welt mit Hilfe großer Anteile von Strom aus Wüstengebieten vorantreiben möchte.

Beschreibung der für ambitionierten Klimaschutz notwendigen technologischen Entwicklungen. Während die Ergebnisse für das globale Energiesystem im Vordergrund stehen, werden in begrenztem Umfang auch Szenarioergebnisse für die Europäische Union dargestellt.

Die Studie "**Energy Roadmap 2050**" (EC 2011) soll eine zentrale Grundlage für die Diskussionen über die mittel- bis langfristige Energiepolitik der EU darstellen. Die Szenarien der Studie zur Entwicklung des europäischen Energiesystems wurden durch ein Team der Nationalen Technischen Universität Athen erstellt. Neben zwei unterschiedlichen Referenzszenarien², die beide die langfristigen Emissionsreduktionsziele der EU verfehlen, werden auch sechs verschiedene Klimaschutzszenarien beschrieben, die sich überwiegend durch Abweichungen im Stromerzeugungsmix voneinander unterscheiden. Während in einem der sechs Klimaschutzszenarien (im Szenario "Diversified Supply") alle verfügbaren CO₂-armen Erzeugungstechnologien im Rahmen ihrer Wirtschaftlichkeit in uneingeschränktem Maße zum Einsatz kommen, wird in anderen Szenarien der Einsatz bestimmter Technologien eingeschränkt (CCS im Szenario "Delayed CCS" und Atomenergie im Szenario "Low Nuclear") bzw. besonders gefördert (Erneuerbare im Szenario "High RES"). Zudem werden in einem weiteren Szenario ("Energy Efficiency") besonders große Effizienzverbesserungen unterstellt.

Die Studie "**Roadmap 2050 – a closer look – Cost-efficient RES-E penetration and the role of grid extensions**" (EWI 2011), die gemeinsam vom Energiewirtschaftlichen Institut an der Universität zu Köln (EWI) und Energynautics erarbeitet wurde, erstellt und vergleicht zwei Szenarien, die beide bis 2050 einen Anteil erneuerbarer Energien an der europäischen Stromerzeugung von 80 % erreichen. In einem "Szenario A" wird dabei unterstellt, dass das europäische Stromnetz und speziell die Kuppelstellen zwischen den einzelnen europäischen Ländern zügig für eine kostenminimale Stromversorgung ausgebaut werden. In einem "Szenario B" hingegen werden die Kapazität der Kuppelstellen gegenüber heute nur in geringerem Umfang erweitert. Die Studie diskutiert anschließend den Anstieg der Systemkosten sowie die Änderungen im europäischen Stromerzeugungsmix, die sich in "Szenario B" aufgrund der Einschränkungen im länderübergreifenden Stromaustausch gegenüber "Szenario A" ergeben.

In der Studie "**Tangible ways towards climate protection in the European Union (EU Long-term scenarios 2050)**" (Fh-ISI 2011) werden vom Fraunhofer ISI im Auftrag des Bundesumweltministeriums zwei Szenarien für ein bis 2050 im Wesentlichen auf erneuerbaren Energien beruhendes europäisches Stromsystem erstellt. Aufgrund der politischen, ökonomischen und technischen Unsicherheiten, die mit Atomenergie und CCS verbunden seien, werden diese Technologien in beiden Szenarien nicht (weiter) zugebaut. Während "Szenario A" weitgehende Verbesserungen bei der Energieeffizienz und folglich eine relativ geringe Stromnachfrage annimmt, werden in "Szenario B" nur moderate Effizienzverbesserungen unterstellt. Einer der Schwerpunkt der Studie ist die Analyse der Abweichungen, die sich infolge der unterschiedlich hohen Stromnachfrage bezüglich der notwendigen Infrastruktur, des Strommixes sowie der Systemkosten ergeben.

² Neben dem "klassischen" Referenzszenario ("Reference") lässt sich auch das Szenario "Current Policy Initiatives" (CPI) als Referenzszenario bezeichnen, in dem angenommen wird, dass die zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie auf energiepolitischer Ebene konkret diskutierten Initiativen (z. B. die Energieeffizienzrichtlinie der EU) umgesetzt werden, jedoch keine weitere Klimaschutzpolitik betrieben wird.

Die Studie "**RE-thinking 2050 – A 100% Renewable Energy Vision for the European Union**" (EREC 2010) beschreibt eine Entwicklung des europäischen Energiesystems hin zu einer vollständig auf erneuerbaren Energien beruhenden Energieversorgung. Dabei werden die technischen und ökonomischen Potenziale der erneuerbaren Energien in den unterschiedlichen Bereichen des Energiesystems (Strom, Wärme/Kühlung, Verkehr) der unter der Annahme deutlicher Effizienzfortschritte ermittelten Energienachfrage gegenübergestellt. Bei der Diskussion des Stromsystems werden für das Jahr 2050 zwei Nachfrageszenarien mit unterschiedlich hoher Stromnachfrage unterstellt. Je nach Höhe der Nachfrage könnten der Studie zufolge 100 bis 143 % des Strombedarfs – ohne Importe aus der MENA-Region – über erneuerbare Energien gedeckt werden.

Die Studie "**Roadmap 2050 – A Practical Guide to a Prosperous, Low-Carbon Europe**" (ECF 2010) möchte verschiedene technisch und wirtschaftlich mögliche Entwicklungspfade für das europäische Stromsystem aufzeigen, die allesamt bis 2050 eine Reduktion der gesamten Treibhausgasemissionen um mindestens 80 % gegenüber 1990 erreichbar machen würden. Dabei nimmt die Studie an, dass das Stromsystem, das über vergleichsweise günstige Reduktionspotenziale verfügt, seine Emissionen im gleichen Zeitraum um mindestens 95 % reduzieren muss. Die Studie beschreibt detailliert neben einem Referenzszenario ("Baseline"), in dem keine zusätzlichen Reduktionsmaßnahmen umgesetzt werden und in dem folglich das Reduktionsziel deutlich verfehlt wird, drei Klimaschutzszenarien mit sehr unterschiedlichen Zusammensetzungen der Stromerzeugung. Die Anteile der erneuerbaren Energien erreichen in 2050 je nach Klimaschutzszenario 40 %, 60 % oder 80 %. Die verbleibenden Stromerzeugungsanteile werden jeweils zur Hälfte durch Atomenergie und CCS-Kraftwerke bereitgestellt. Ein viertes Klimaschutzszenario mit 100 % erneuerbaren Energien in 2050 wird in der Studie außerdem (in geringerem Detailgrad) in Bezug auf Versorgungssicherheit und Systemkosten diskutiert.

In der Studie "**Europe's Share of the Climate Challenge – Domestic Actions and International Obligations to Protect the Planet**" (ISI 2009) werden neben einem Referenzszenario, in dem keine aktive Klimaschutzpolitik angenommen wird, ein Szenario "Mitigation" erstellt. In diesem Klimaschutzszenario werden die gesamten energiebedingten Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 (gegenüber 1990) um 90 % reduziert. Neben weitgehenden Verbesserungen der Energieeffizienz wird die Emissionsreduktion durch einen Ausbau der erneuerbaren Energien erreicht. Neue Atomkraftwerke werden in dem Szenario nicht erbaut und auf den Einsatz von CCS-Technologie wird verzichtet. Im Gegensatz zu den meisten anderen Szenariostudien werden im Szenario "Mitigation" außerdem Lebensstiländerungen hin zu einem weniger materialistischen Konsumstil unterstellt, wodurch das Wirtschaftswachstum etwas schwächer ausfällt als im Referenzszenario.

Die Studie "**Power Choices - Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe by 2050**" (Eurelectric 2009) erstellt sowohl ein Referenzszenario als auch ein Klimaschutzszenario für das europäische Stromsystem. Ziel der Studie ist es aufzuzeigen, wie das europäische Stromsystem "kosteneffektiv" zum Erreichen der europäischen Klimaschutzziele beitragen kann. In dem "Power Choices" genannten Klimaschutzszenario werden die Emissionen der europäischen Stromerzeugung bis 2050 um rund 90 % gegenüber 1990 reduziert. Der Anteil der erneuerbaren Energien erreicht bis Mitte des Jahrhunderts aber lediglich einen Anteil von 38 %. Die restliche Stromerzeugung findet überwiegend in CCS- und Atomkraftwerken statt. Neben den beiden Hauptszenarien werden in Bezug auf das "Power Choice"-Szenario auch Sensitivitätsberechnungen durchgeführt. So werden beispielsweise die Folgen einer stärker-

ren Nutzung der Atomenergie oder einer späteren Verfügbarkeit von CCS-Technologien auf den kostenminimalen Stromerzeugungsmix, die durchschnittlichen Strompreise und die Systemkosten untersucht.

Die Studie "**ADAM 2-degree scenario for Europe – policies and impacts**" (Fh-ISI u. a. 2009) wurde im Rahmen des sechsten Rahmenprogramms der EU gefördert und von einem Forschungskonsortium unter Leitung des Fraunhofer ISI erstellt. Ziel der Studie ist die Modellierung vorhandener Einsparpotenziale bei den Treibhausgasemissionen des europäischen Energiesystems sowie der Kosten, die mit der Erschließung dieser Potenziale zusammenhängen. Neben einem Referenzszenario, das die Klimaschutzziele der Europäischen Union deutlich verfehlen würde, werden zwei Klimaschutzszenarien (400 ppm und 450 ppm) beschrieben, die beide – je nach Annahme zur Sensitivität des Klimasystems – kompatibel mit einer Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf maximal 2°C sein könnten. Eine Besonderheit dieser Studie ist es, dass die entsprechenden Szenarien mit mehreren Energiemodellen berechnet werden und die Modellergebnisse für die jeweiligen Szenarien miteinander verglichen werden. Der Großteil der CO₂-freien bzw. -armen Stromerzeugung in Europa wird in 2050 in den beiden Klimaschutzszenarien der hauptsächlich diskutierten Varianten (basierend auf dem Energiemodell POLES) durch Atom- und CCS-Kraftwerke erzeugt, der Anteil der erneuerbaren Energien beträgt in beiden Szenarien Mitte des Jahrhunderts lediglich rund 33 bzw. 40 %.

3. Kriterien-gestützte Auswahl besonders geeigneter Szenarien

Aus den 32 recherchierten und im vorherigen Abschnitt dargestellten Energieszenarien aus elf Studien werden als Nächstes diejenigen Szenarien identifiziert, die gut als Grundlage für die geplanten weiteren Analysen des laufenden Forschungsprojektes geeignet sind. Dazu werden die einzelnen Szenarien zunächst anhand der folgenden zwei „Auswahl“-Kriterien bewertet, ob sie generell in Frage kommen.

- **Hoher Anteil (≥ 80 %) erneuerbarer Energien an Deckung des Stromverbrauchs**
Wie die Kurzbeschreibungen der verschiedenen Szenariostudien und ihrer Szenarien im vorangegangenen Abschnitt verdeutlicht haben, weisen die unterschiedlichen Klimaschutzszenarien in der Literatur im Hinblick auf den Mitte des Jahrhunderts zum Einsatz kommenden Technologiemix eine große Bandbreite auf. Neben erneuerbaren Energien wird in einigen Szenarien auch in großem Umfang auf andere CO₂-freie bzw. -arme Erzeugungstechnologien Atomenergie und CCS gesetzt. Im laufenden Forschungsvorhaben sollen jedoch explizit die Gestaltungsmöglichkeiten und Herausforderungen eines (nahezu) vollständig auf erneuerbaren Energien beruhenden Stromsystems untersucht werden, weshalb ein Mindestanteil erneuerbarer Energien von 80 % festgelegt wird.
- **Installierte Kapazität nach Erzeugungstechnologie wird aufgeführt**
Für die geplanten weiteren Analyseschritte im laufenden Forschungsprojekt ist die Zusammensetzung der Erzeugungskapazität innerhalb Europas im Jahr 2050 von zentraler Bedeutung. Auf Grundlage des Erzeugungsmixes werden beispielsweise Möglichkeiten der Standortoptimierung und der Optimierung des Verhältnisses zwischen Windenergie- und PV-Anlagen untersucht sowie der Bedarf an Speichertechnologien im Detail analysiert. Folglich ist es für den Nutzen eines Szenarios im Pro-

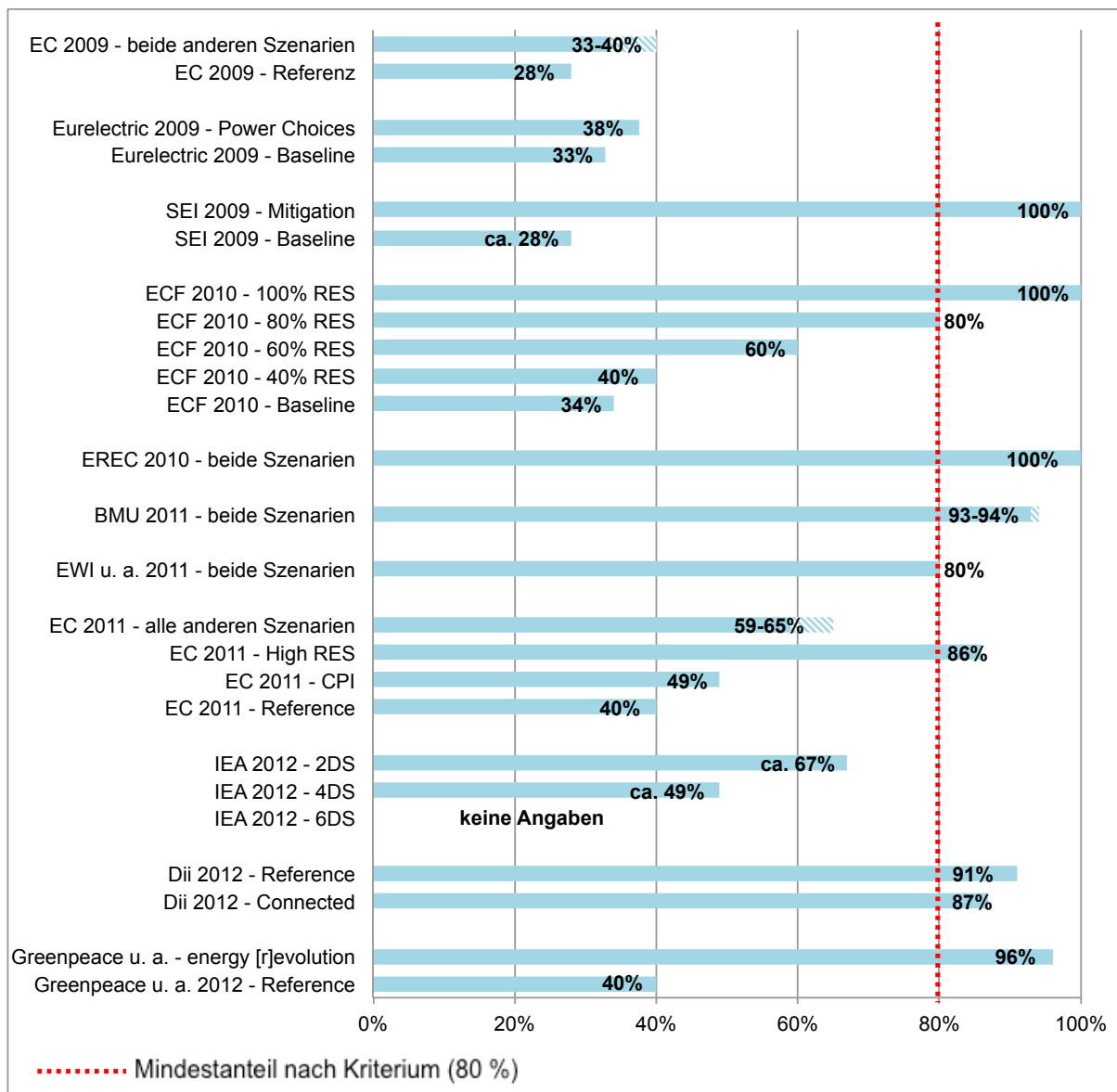
jektverlauf unerlässlich, dass es technologiescharfe Angaben über die installierte Stromerzeugungskapazität im europäischen Stromsystem liefert.

Zudem wäre es wünschenswert, wenn auch nicht unbedingt notwendig, wenn die Szenarien weitere Kriterien erfüllen. Sollten die folgenden Kriterien in einzelnen Szenarien nicht erfüllt werden, so könnten durch das Projektteam eigene Annahmen getroffen werden, ggf. orientiert an vorliegenden Angaben in anderen Szenarien. Auch wenn diese Kriterien somit keine Muss-Kriterien darstellen, wird bei der endgültigen Auswahl der als Grundlage zu verwendenden Szenarien (s. Abschnitt 4) dennoch auch auf die Erfüllung dieser Kriterien geachtet:

- **Länderscharfe Angaben zur Stromerzeugungskapazität oder zur Stromerzeugung nach Energieträger**
Im laufenden Forschungsprojekt wird eine länder- bzw. ländergruppenscharfe Modellierung der Erzeugung vorgenommen. Folglich wären entsprechend länderscharfe Angaben in den Szenarien als Grundlage für die weiteren Analysen im Projektverlauf von Vorteil. Im Idealfall liegen in den Szenarien länderscharfe Angaben zur Erzeugungskapazität vor, sollten jedoch nur Angaben zur Stromerzeugung gemacht werden, könnte die Kapazität auch über plausible Annahmen zu den Volllaststunden der jeweiligen Technologien abgeschätzt werden.
- **Länderscharfe Angaben zur Stromnachfrage**
Analog zur Stromerzeugung wird im laufenden Projekt auch die Stromnachfrage bzw. der Lastgang in einzelnen europäischen Ländern oder zumindest Ländergruppen modelliert (AP 4). Hierfür wären länderscharfe Angaben in den Szenarien hilfreich.
- **Quantitative Angaben zu (angenommenen) Lastmanagement-Maßnahmen**
Auch (möglichst) quantitative Aussagen in den Szenarien zur den angenommenen Lastmanagement-Maßnahmen könnten mit den eigenen Potenzialabschätzungen (AP 5) verglichen werden.
- **Quantitative Angaben zur benötigten Speicherkapazität**
Angaben in den Szenarien zur benötigten Speicherkapazität eines jeweils beschriebenen Stromsystems könnten als Vergleich für eigene Berechnungen zur nötigen Speicherkapazität (AP 6) genutzt werden.
- **Quantitative Angaben zu den Stromnetzen/Kuppelstellen**
Auf Grundlage einer länderscharfen Modellierung der Stromerzeugung und des Lastgangs soll unter Berücksichtigung von Lastmanagementpotenzialen der Bedarf an Speicherkapazität abgeleitet werden (AP 6). Dieser Bedarf hängt unter anderem vom Ausbau des Stromnetzes bzw. der Kapazität der Kuppelstellen zwischen einzelnen Ländern ab (AP 7). Angaben zu den entsprechenden Annahmen in den vorliegenden Szenarien wären folglich hilfreich.
- **Mindestens stundenscharfe Berechnung von Last und Erzeugung**
Sollte Last und Erzeugung des in einem Szenario beschriebenen Stromsystems mit Hilfe eines mindestens stundenscharf auflösenden Stromsystemmodells berechnet worden sein, so würde dies dafür sprechen, dass das beschriebene System tatsächlich technisch umsetzbar wäre. Die Verwendung eines solchen in Bezug auf die Versorgungssicherheit "geprüften" Szenarios könnte die im Laufe des Projektes durchzuführenden eigenen Modellierungsschritte vereinfachen, da sichergestellt sein sollte, dass sie auf grundsätzlich plausiblen Systemdaten aufbauen.

Die folgende Abbildung 1 prüft die recherchierten Szenarien in Hinblick auf das "Muss"-Kriterium des Mindestanteils erneuerbarer Energien an der Deckung des Strombedarfs.

Abbildung 1: Anteile erneuerbarer Energien an der Deckung des Strombedarfs in Europa im Jahr 2050 nach verschiedenen Szenarien



Quelle: Eigene Darstellung

Die folgende Tabelle 2 fasst diejenigen Szenarien zusammen, die in 2050 einen Anteil der erneuerbaren Energien an der Deckung des Strombedarfs von mindestens 80 % realisieren. Die Tabelle zeigt zum einen den genauen Anteil und zum anderen wird für jedes der zwölf Szenario geprüft, ob bzw. wie genau in der jeweiligen Studie Angaben zur installierten Kapazität nach Technologie gemacht werden.

Tabelle 2: Übersicht über Erfüllung der Mindest-Kriterien derjenigen Szenarien, die das Kriterium des Mindestanteils erneuerbarer Energien an der Deckung des Strombedarfs erfüllen

Szenarien	Muss-Kriterien	
	Anteil erneuerbarer Energien an der Deckung des europäischen Strombedarfs in 2050	Angaben zur installierten Kapazität nach Technologie
energy [r]evolution (GP/EREC 2012)	96%	ja
Reference (Dii 2012)	ca. 87%	ungefähr
Connected (Dii 2012)	ca. 87%	ungefähr
High RES (EC 2011)	86%	ja
Scenario A (EWI 2011)	80%	ja
Scenario B (EWI 2011)	80%	ja
Scenario A (Fh-ISI 2011)	93%	ja
Scenario B (Fh-ISI 2011)	94%	ja
80% RES (ECF 2010)	80%	ungefähr
100% RES (ECF 2010)	100%	ungefähr
2050 Scenario (EREC 2010)	100%	ja
Mitigation Scenario (SEI 2009)	100%	ja

Quelle: Eigene Darstellung

In allen diesen Szenarien werden auch technologiescharfe Angaben zur installierten Stromerzeugungskapazität gemacht. In der Studie der ECF (2010) sind diese Angaben jedoch unvollständig und müssten mit Hilfe der angegebenen Stromerzeugung nach Technologie schätzungsweise vervollständigt werden. In der Studie in Auftrag der Dii (2012) sind hingegen nur genaue Angaben für den gesamten Bereich Europa (inkl. Türkei), Nordafrika und Mittlerer Osten zu finden. Angaben für den Bereich "EU 27+2" ließen sich aus den publizierten Angaben nur grob abschätzen. (Möglicherweise können genauere Daten über die Autorinnen und Autoren erfragt werden.)

Die folgende Tabelle 3 gibt schließlich einen Überblick, welche der "Wunsch-Kriterien" jeweils von den zwölf Szenarien, die auch die "Muss-Kriterien" einhalten, erfüllt werden. Dabei wird ersichtlich, dass die beiden Szenariostudien von Fraunhofer ISI (2011) und vom EWI (2011) viele der gewünschten Angaben enthalten, während einige der anderen Szenarien

(insbesondere die in GP/EREC 2012, EREC 2010 und SEI 2009) hingegen keine oder nahezu keine dieser Angaben liefern.

Tabelle 3: Übersicht über Erfüllung der Wunsch-Kriterien derjenigen Szenarien, die das Kriterium des Mindestanteils erneuerbarer Energien an der Deckung des Strombedarfs erfüllen

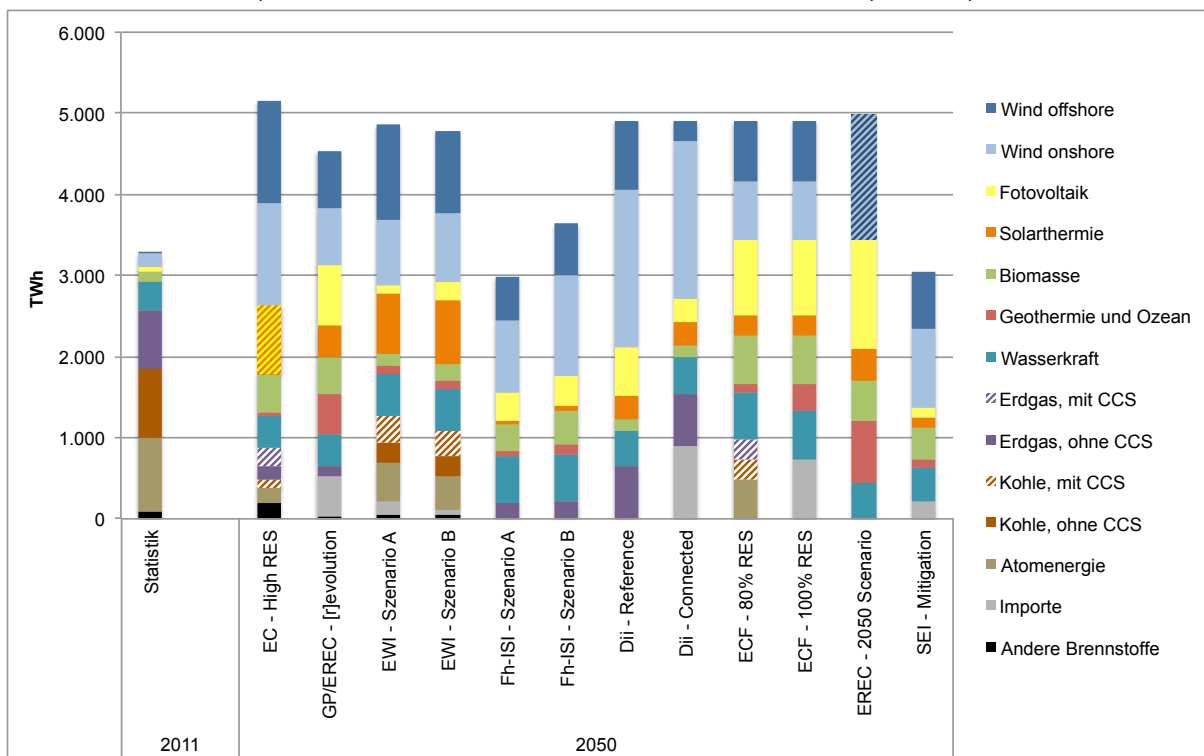
Szenarien	Wunsch-Kriterien					
	Länderscharfe Angaben zu Kapazität oder Erzeugung nach Energieträger	Länderscharfe Angaben zur Stromnachfrage	quantitative Angaben zu den Stromnetzen/ Kuppelstellen	quantitative Angaben zur benötigten Speicherkapazität	quantitative Angaben zu Lastmanagement-Maßnahmen	stundenscharfe Berechnung von Last und Erzeugung
energy [r]evolution (GP/EREC 2012)	nein	nein	nein	teilweise	nein	nein
Reference (Dii 2012)	ungefähr	ungefähr	ja	ja	nicht berücksichtigt	ja
Connected (Dii 2012)	ungefähr	ungefähr	ja	ja	nicht berücksichtigt	ja
High RES (EC 2011)	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Scenario A (EWI 2011)	ja	ja	ja	ja	nein	ja
Scenario B (EWI 2011)	ja	ja	ja	ja	nein	ja
Scenario A (Fh-ISI 2011)	ja	ja	ja	ja	nicht berücksichtigt	ja
Scenario B (Fh-ISI 2011)	ja	ja	ja	ja	nicht berücksichtigt	ja
80% RES (ECF 2010)	nein	nein	ja	teilweise	nein	ja
100% RES (ECF 2010)	nein	nein	ja	teilweise	nein	ja
2050 Szenario (EREC 2010)	nein	nein	nein	nein	nein	nein
Mitigation Szenario (SEI 2009)	nein	nein	nein	sehr vereinfacht	nein	nein

Quelle: Eigene Darstellung

4. Vergleich der auf Basis der "Muss-Kriterien" grundsätzlich geeigneten Szenarien

Die folgenden zwei Abbildungen zeigen die europäische³ Stromerzeugung nach Energieträger bzw. Technologie im Jahr 2050 in den zwölf näher betrachteten Szenarien. Abbildung 2 zeigt die absolute Erzeugung (in TWh), während Abbildung 3 die relative Erzeugung darstellt und dabei die besonders fluktuierende Stromerzeugung aus Wind (Onshore und Offshore) sowie Fotovoltaik oben abbildet, so dass die Anteile der fluktuierenden Stromerzeugung in den einzelnen Szenarien einfach abgelesen und verglichen werden können.

Abbildung 2: Stromerzeugung nach Energieträger bzw. Technologie in Europa (inkl. Importe) im Jahr 2050 nach verschiedenen Szenarien (in TWh)⁴



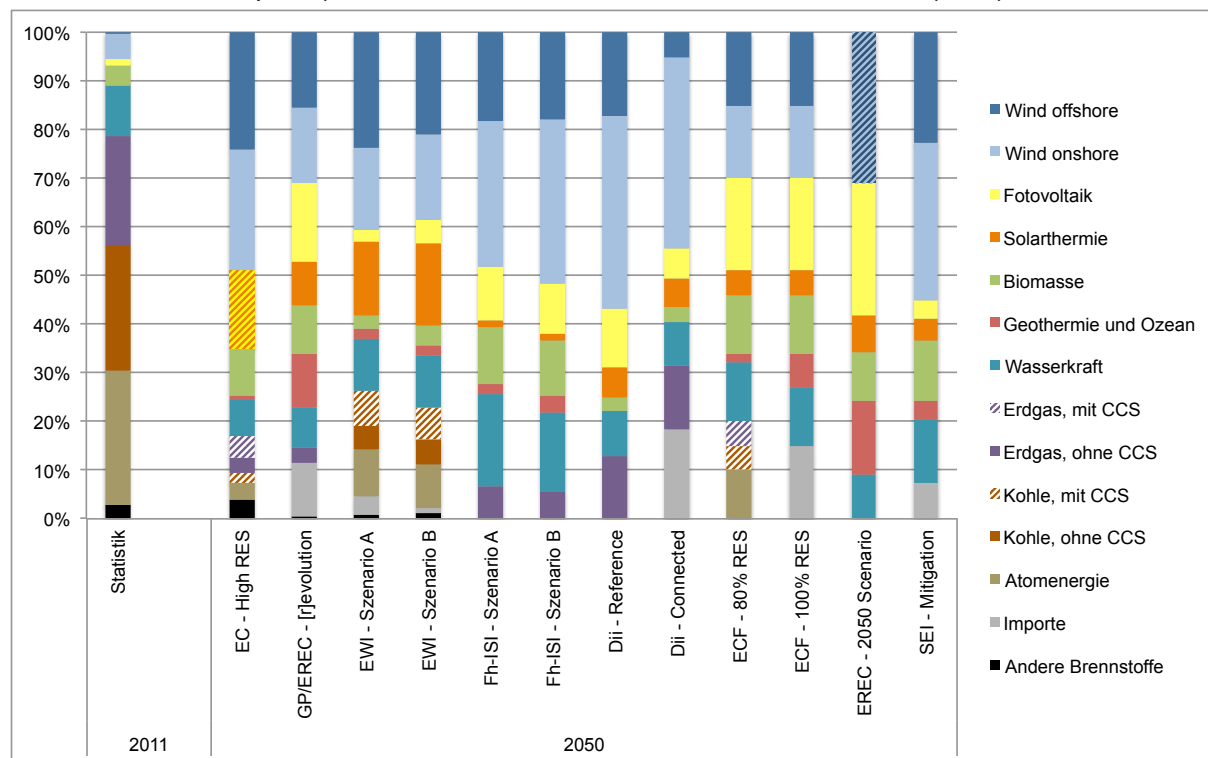
Quelle: Eigene Darstellung

Neben den jeweiligen Stromerzeugungsmixen werden aus Abbildung 2 auch die unterschiedlichen Annahmen zur Höhe des europäischen Strombedarfs im Jahr 2050 deutlich. Die notwendige Stromerzeugung liegt in den Szenarien zwischen etwa 3.000 TWh/a und 5.000 TWh/a, wobei die meisten der Szenarien am oberen Ende dieser Spanne liegen.

³ Dabei ist zu bemerken, dass die Angaben aus den Studien sich teilweise nur auf die EU-27-Länder beziehen, während teilweise aber neben diesen Ländern zusätzlich auch noch Norwegen und die Schweiz betrachtet wurden.

⁴ Die Statistik-Daten für 2010 basieren auf Angaben von Eurostat (2013) und beziehen sich auf die Bruttostromerzeugung in der EU-27. Bei den Angaben der Szenarien handelt es sich zumeist ebenfalls um die Bruttostromerzeugung, wobei die Stromerzeugung aus Speichern nicht aufgeführt wird. In einzelnen Szenariostudien wird jedoch entweder nur die Nettostromnachfrage (Fraunhofer ISI 2011) oder aber die Deckung der Stromnachfrage (Endenergie) nach Energieträger bzw. Technologie (ECF 2010 und EREC 2010) angegeben. Entsprechend ist bei dieser Abbildung zu beachten, dass aufgrund der unterschiedlichen Bezugsgrößen nur ein eingeschränkter Vergleich der Höhe der Stromerzeugung und -nachfrage zwischen den verschiedenen Szenarien möglich ist.

Abbildung 3: Stromerzeugungsanteile nach Energieträger bzw. Technologie in Europa (inkl. Importe) im Jahr 2050 nach verschiedenen Szenarien (in %)



Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 3 verdeutlicht, dass – mit Ausnahme des "2050 Szenario" von EREC (2010) – alle Szenarien die Windenergie als die dominierende Stromerzeugungsquelle in Europa im Jahr 2050 ansehen, mit Anteilen zwischen rund 30 und 55 %. Die Aufteilung zwischen Onshore- und Offshore-Erzeugung unterscheidet sich dabei je nach Szenario zum Teil deutlich. Die Solarenergie ist in den meisten Szenarien die zweitwichtigste Stromerzeugungsquelle, mit Anteilen zwischen knapp 10 und bis zu 35 %. Auch hier ist die Aufteilung zwischen Fotovoltaik und Solarthermie von Szenario zu Szenario teilweise deutlich abweichend. Wird (ausschließlich) die Wind- sowie die Fotovoltaik-Stromerzeugung als fluktuierend angesehen⁵, so liegt der Anteil der fluktuierenden Erzeugung in Europa im Jahr 2050 nach den meisten Szenarien bei etwa 50 bis 60 %. Es gibt jedoch mit den Szenarien des EWI (2011) auf der einen Seite (Anteil nur knapp über 40 %) und einem der Szenarien der Studie im Auftrag der Dii (2012) auf der anderen Seite (Anteil knapp 70 %) zwei "Ausreißer" in dieser Kategorie.

5. Auswahl von bis zu drei im weiteren Projektverlauf zu verwendenden Szenarien

Laut Angebot soll eine Auswahl von bis zu drei für die Modellierung innerhalb des Projekts besonders geeigneter Szenarien (in Absprache mit Auftraggeber) erfolgen. Die folgenden Kriterien wurden dabei für die Auswahl aus den zwölf grundsätzlich in Frage kommenden Szenarien zugrunde gelegt:

⁵ Der in einigen Szenarien vorgesehene Stromimport stammt den Szenarien zufolge entweder vollständig oder überwiegend aus solarthermischen Kraftwerken mit Wärmespeichern, so dass der Importstrom hier vereinfacht als nicht-fluktuierend angesehen wird.

- Der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung im Jahr 2050 sollte möglichst deutlich über 80 % liegen.
- Die jeweiligen Stromerzeugungsmixe in den ausgewählten Szenarien unterscheiden sich wesentlich voneinander:
 - Zum einen in Bezug auf fluktuierende vs. regelbare erneuerbare Energien
 - Zum anderen in Bezug auf Stromerzeugung aus Windenergie vs. Solarenergie
- Die Szenarien weisen in 2050 eine deutlich voneinander abweichende Stromnachfrage auf.
- Die Szenarien weisen (z. B. in Bezug auf länderscharfe Angaben, Aussagen zu Infrastruktur-/Speicherbedarf, siehe "Wunsch-Kriterien" oben) einen möglichst hohen Detailgrad auf.
- Die Szenarien wurden unter Nutzung eines Stromsystemmodells mit einer hohen zeitlichen Auflösung erstellt (siehe ebenfalls "Wunsch-Kriterien" oben).

Unter Berücksichtigung bzw. unter Abwägung dieser Kriterien, hat sich das Projektteam schließlich dafür entschieden, zunächst die folgenden beiden Szenarien als Grundlage für die eigene Modellierung im Projektverlauf zu verwenden:

- **Szenario B (Fh-ISI 2011)**
 - Hoher Anteil erneuerbarer Energien an Stromversorgung (94 % in 2050)
 - Vergleichsweise hoher Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien an der gesamten Stromerzeugung (> 60 % in 2050)
 - Eher niedrige Stromnachfrage (verglichen mit den anderen Szenarien)
 - Hoher Detailgrad in Bezug auf einzelne Länder und das Stromnetz
 - Verwendung eines Stromsystemmodells mit stündlicher Auflösung
- **energy [r]evolution (GP/EREC 2012)**
 - Hoher Anteil erneuerbarer Energien an Stromversorgung (96 % in 2050)
 - Geringerer Wind-Anteil (und höherer Solar-Anteil) als in den meisten anderen Szenarien und als in Szenario B der Studie von Fraunhofer ISI (2011)
 - Mittlere bis hohe Stromnachfrage im Vergleich zu den anderen Szenarien

Das Projektteam hat sich dazu entschieden, sich als Grundlage für die eigenen Modellierungsschritte zunächst nicht auf die Wahl eines weiteren, dritten Szenarios festzulegen. Ob schließlich ein zusätzliches Szenario aus der Literatur berücksichtigt wird und falls ja welches, soll zunächst noch offengelassen werden, um im späteren Projektverlauf mit den dann erlangten Kenntnissen und den sich möglicherweise bis dahin herauskristallisierenden wichtigen verbleibenden Fragen eine sinnvolle Entscheidung fällen zu können.

Nach derzeitiger Einschätzung erscheinen insbesondere die folgenden Szenarien für eine spätere Auswahl interessant:

- Szenario A und Szenario B (EWI 2011)
 - Vergleichsweise geringer Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien an der gesamten Stromerzeugung (ca. 45 % in 2050)
 - Vergleichsweise großer Anteil Wind-Offshore gegenüber Wind-Onshore
 - Durch eine Gegenüberstellung der beiden Szenarien liegt eine Analyse der Folgen eines unterschiedlich weitgehenden Netzausbaus vor
 - Hoher Detailgrad in Bezug auf einzelne Länder und das Stromnetz
 - Aber: vergleichsweise geringer Anteil erneuerbarer Energien (80 % in 2050)

- High RES (EC 2011)
 - Politisch sehr relevantes Szenario, da die Roadmap-Studie (EC 2011) auf EU-Ebene die Diskussionen um das zukünftige Energiesystem wesentlich prägt
 - Hohe Stromnachfrage im Vergleich zu anderen Szenarien
 - Aber:
 - Leider keine Unterscheidung zwischen Fotovoltaik und Solarthermie
 - Bezüglich Stromnetz und Fragen des Ausgleichs von Last und Erzeugung nur geringer Detailgrad
 - Keine länderscharfen Angaben
- Reference und Connected (Dii 2012)
 - Sehr hoher Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien (bis zu 70 % in 2050)
 - Durch eine Gegenüberstellung der beiden Szenarien liegt eine Analyse der Folgen eines hohen Imports aus der MENA-Region vor (z. B. auf die innereuropäische Stromerzeugung)
 - Aber:
 - Ebenfalls (wie eines der für die weitere Analyse vorgeschlagenen Szenarien) von Fraunhofer ISI erarbeitet und
 - Sofern keine entsprechenden Daten von den Autorinnen und Autoren gestellt werden sollten, sind nur ungefähre Angaben zum EU-27 (+2)-Stromsystem möglich

Es wird hiermit also dem Auftragnehmer vorgeschlagen, zunächst das Szenario B (Fh-ISI 2011) sowie das Szenario energy [r]evolution von GP/EREC (2012) als Grundlagen bzw. als Basisszenarien für die eigenen Modellierungen im weiteren Projektverlauf zu nutzen. Nachdem mit der Verwendung dieser Szenarien Erfahrungen gesammelt wurden, kann zu gegebener Zeit im Projektverlauf entschieden werden, ob weitere Szenarien als Grundlage für eigene Analyseschritte genutzt werden sollen und falls ja, welche.

Die Nutzung der gewählten Szenarien im weiteren Projektverlauf wird wie folgt geschehen:

- Die verschiedenen Kapazitätsmixe und Nachfragehöhen (jeweils länderscharf, sofern durch die Szenarien zur Verfügung gestellt) werden dem AP 2 für die Berechnung des Basisszenarios sowie des optimierten Basisszenarios zur Verfügung gestellt.
- Aussagen aus den Szenarien zu möglichen EE-Importen (AP 3), möglichen Lastmanagement-Maßnahmen (AP 5) und dem Stromspeicherbedarf/-potenzial (AP 6) werden den späteren Arbeitspaketen als Input zur Verfügung gestellt.

6. Nähere Betrachtung der beiden ausgewählten Szenarien

In diesem Abschnitt werden die zwei zunächst ausgewählten Szenarien in Hinblick auf die folgenden Aspekte näher ausgewertet, um die notwendigen Informationen für die Verwendung dieser Szenarien im weiteren Projektverlauf zu erhalten:

- Methodik der Szenarioerstellung
- Installierte Kapazität nach Technologien
- Stromnachfrage nach Sektoren
- Angaben bzw. Aussagen zu Anpassungen des Stromnetzes/der Kuppelstellen
- Angaben bzw. Aussagen zu Speicherkapazitäten
- Angaben bzw. Aussagen zu DSM-Maßnahmen

6.1. Methodik der Szenarioerstellung

Im Folgenden wird die Methodik der Erstellung der Szenarien „energy [r]evolution“ (Greenpeace/EREC 2012) und „Szenario B“ (Fraunhofer ISI 2011) anhand der folgenden Punkte erläutert:

- Geografische und systemische Abgrenzung
- Stromnachfrage
- Stromerzeugung
- Stromnetz und Lastdeckung

„energy [r]evolution“ (Greenpeace/EREC 2012)

Geografische und systemische Abgrenzung

In der Studie für Greenpeace/EREC (2012) wird das gesamte Energiesystem der EU 27 betrachtet, also nicht nur das Stromsystem.

Stromnachfrage

Auf Basis einer Studie der Universität Utrecht werden für die verschiedenen Sektoren („Industrie“, „Verkehr“, „Haushalt und Gewerbe“) Effizienzpotenziale identifiziert, die im Zeitverlauf als realisierbar angesehen werden. Neben diesen Effizienzpotenzialen, die anhand der besten derzeit verfügbaren Technologien abgeleitet werden, wird die Stromnachfrage (wie auch die sonstige Energienachfrage) insbesondere in Abhängigkeit von der Bevölkerungs- sowie der BIP-Entwicklung fortgeschrieben.

Stromerzeugung

Wie in den vorangegangenen „energy [r]evolution“-Studien wird die Energieangebotsseite unter Verwendung des Simulationsmodells MESAP/PlaNet erstellt. Dabei wird angenommen, dass alle zu angemessenen Kosten verfügbaren Potenziale erneuerbarer Energien für die Stromerzeugung (sowie auch für die Wärme- und Kraftstofferzeugung) nach und nach genutzt werden. Entsprechend des Lernratenkonzepts wird unterstellt, dass sich die spezifischen Kosten für die Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien im Zeitverlauf in Abhängigkeit von ihrem jeweiligen Ausbau und von ihrer jeweiligen Kostensenkungsdynamik verringern. Bei den Annahmen zum Ausbau der erneuerbaren Energien wurden überdies aktuelle Projektionen der Erneuerbare-Energien-Industrie berücksichtigt.

Stromnetz und Lastdeckung

Die Studie modelliert offenbar nicht das Stromnetz und eine zeitlich aufgelöste Lastdeckung. Es wird lediglich erwähnt, dass es die angenommene schnelle Einführung elektrischer Autos in Kombination mit der Implementierung von „Smart Grids“ sowie einem zügigen Ausbau des transeuropäischen Stromnetzes ermöglichen würde, einen hohen Anteil der fluktuierenden erneuerbaren Energien Wind und Fotovoltaik in das Stromsystem zu integrieren.

„Szenario B“ (Fraunhofer ISI 2011)

Geografische Abgrenzung

Betrachtet wird das Stromsystem der EU 27+2 (EU 27 plus Norwegen und Schweiz)

Stromnachfrage

Die Entwicklung der Stromnachfrage in Europa ist zwei verschiedenen Literaturquellen entnommen. Für „Szenario A“ mit seiner relativ niedrigen Stromnachfrage wurde auf Jochem und Schade (2009) zurückgegriffen, während „Szenario B“ mit seiner relativ hohen Strom-

nachfrage auf DLR (2006) basiert. Die Stromnachfrage wird dabei in den beiden Szenarien länderscharf angegeben.

Stromerzeugung

Für die Berechnung der Stromerzeugung wird das Optimierungsmodell PowerACE von Fraunhofer ISI verwendet. Das Modell berücksichtigt die Kosten der Stromerzeugung und der transnationalen Hochspannungsleitungen (die rein nationalen Hochspannungs- und Verteilnetze werden in dem Modell hingegen nicht abgebildet) und minimiert diese Kosten unter Berücksichtigung vorgegebener Restriktionen⁶. Dabei werden Einsatzreihenfolge und Bau von konventionellen Kraftwerken, Speichern und transnationalen Hochspannungsleitungen optimiert. Der Ausbau der Erneuerbaren Energien erfolgt bis zum Jahr 2020 basierend auf den Angaben der NREAPs der verschiedenen Länder. Nach 2020 wird der Ausbau mit dem agentenbasierten Modell PowerACE-ResInvest simuliert. Investitionen in Erneuerbaren-Anlagen basieren in dem Modell auf detaillierten Kosten-Potenzial-Kurven und angenommenen politischen Fördermechanismen.⁷ Dazu werden detaillierte Informationen zu den Potenzialen erneuerbarer Energien und den Kosten ihrer Nutzung verwendet.

Stromnetz und Lastdeckung

Das Modell stellt sicher, dass in jedem Land zu jeder Stunde des Jahres die Stromnachfrage gedeckt werden kann (stündliche Auflösung des Modells). Jedes Land wird dabei als ein einzelner Knotenpunkt des Stromnetzes betrachtet und es werden dem Modell Annahmen zur Entwicklung der Stromnachfrage und des Lastverlaufs sowie Angaben zu den landesspezifischen Potenzialen und Erzeugungsmustern erneuerbarer Energien vorgegeben. Außerhalb des Analyserahmens des verwendeten Modells und damit auch der Studie liegt hingegen das Verteilnetz, inklusiver der dort installierten kleinen Erzeugungsanlagen und der dezentralen Stromspeicher. Die Autorinnen und Autoren der Studie erwähnen als eine weitere Restriktion der Modellierung, dass die zeitliche Auflösung nicht unterhalb von einer Stunde liegt, und daher keine Aussagen zur Entwicklung des Bedarfs und der Deckung von Regelenergie oder sonstigen Dienstleistungen der Primär-, Sekundär- und Tertiärregelung getroffen werden können.

6.2. Installierte Kapazität nach Technologien

Die Höhe der installierten Kapazität an Stromerzeugungsanlagen in der EU 27 im Jahr 2050 ist in den beiden Szenarien sehr ähnlich (s. Abbildung 4 und Tabelle 4) und beträgt rund 1.550 GW („energy [r]evolution“) bzw. etwas über 1.600 GW („Szenario B“).⁸ Die Zusammensetzung unterscheidet sich jedoch deutlich. Die größten Unterschiede liegen in den Kapazitäten der Solarenergie auf der einen Seite und denen der Windenergie auf der anderen Seite. Im Szenario „energy [r]evolution“ sind im Jahr 2050 rund 650 GW an Fotovoltaik- und CSP-Anlagen installiert, während dieser Wert in „Szenario B“ mit rund 330 GW kaum mehr

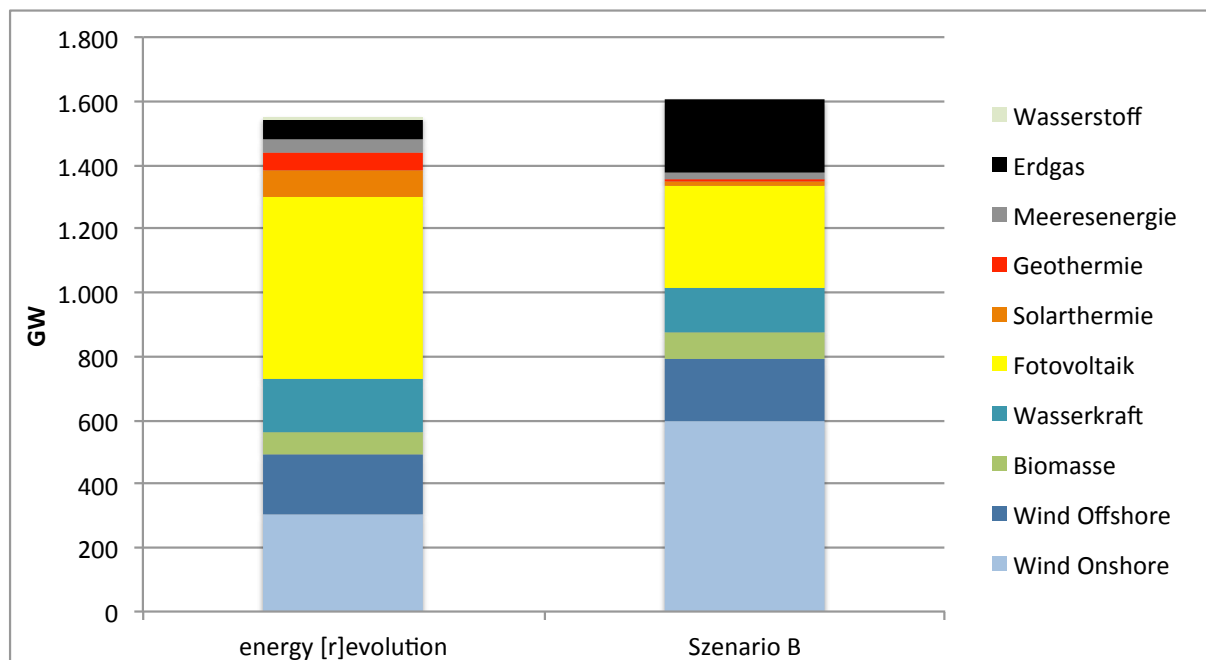
⁶ Eine wesentliche Restriktion im Modell ist die Begrenzung der CO₂-Emissionen.

⁷ Daraus folgt, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien in den Szenarien dieser Studie nicht nach rein kostenoptimierenden Kriterien verläuft.

⁸ Diese Kapazitätsangaben beziehen sich auch in Hinblick auf „Szenario B“ auf die EU 27, da dank der länderscharfen Angaben in der Studie (Fraunhofer ISI 2011) die beiden Länder Schweiz und Norwegen ausgeklammert werden konnten, um eine gute Vergleichbarkeit zwischen „Szenario B“ und dem Szenario „energy [r]evolution“ gewährleisten zu können. (Da die Kapazität von Erdgaskraftwerken nicht länderscharf angegeben wird, wurde hier angenommen, sich dass der gleiche Anteil an Erdgaskraftwerkskapazität in der Schweiz und Norwegen befindet wie der ausgewiesene Anteil an Kraftwerkskapazität zur Nutzung erneuerbarer Energien.)

als die Hälfte so hoch liegt. Im Gegensatz dazu liegt die Windenergiekapazität (Onshore plus Offshore) in „Szenario B“ mit fast 800 GW 60 % höher als im Szenario „energy [r]evolution“ mit knapp 500 GW. In dem letztgenannten Szenario kommen im Jahr 2050 zudem die heute noch technisch unausgereiften bzw. teuren Technologien zur Nutzung von Meeresenergie und Geothermie in stärkerem Maße zum Einsatz als in „Szenario B“. In „Szenario B“ ist hingegen eine deutlich größere Kapazität an Erdgas-Kraftwerken installiert (228 GW gegenüber 64 GW im Szenario „energy [r]evolution“). Neben einer insgesamt höheren Stromerzeugung aus diesen Kraftwerken liegt der Grund hauptsächlich in den deutlich niedrigeren jährlichen Volllaststunden der Erdgaskraftwerke im Jahr 2050 (unter 900 gegenüber rund 2.150 im Szenario „energy [r]evolution“). Die in beiden Szenarien – besonders aber in „Szenario B“ – gegenüber heute sehr niedrigen Volllaststunden für Erdgaskraftwerke ergeben sich als Konsequenz aus dem überwiegenden Einsatz dieser Kraftwerke zur Deckung von (Residual-) Lastspitzen.

Abbildung 4: Stromerzeugungskapazitäten nach Energieträger bzw. Technologie in der EU 27 im Jahr 2050 nach den zwei ausgewählten Szenarien (in GW)



Quelle: Eigene Darstellung nach (GP/EREC 2012) und (Fh-ISI 2011)

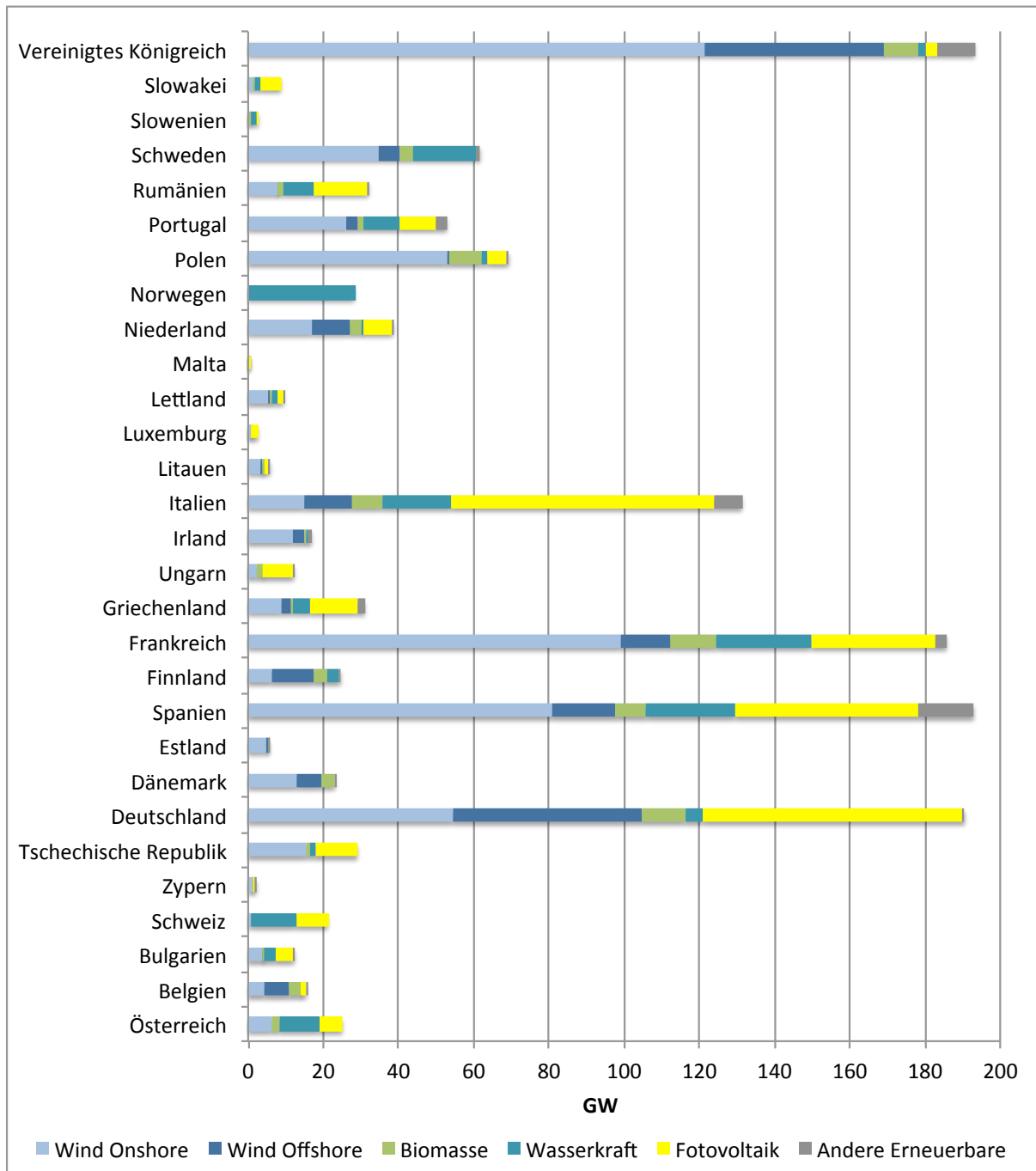
Tabelle 4: Stromerzeugungskapazitäten nach Energieträger bzw. Technologie in der EU 27 im Jahr 2050 nach den zwei ausgewählten Szenarien (in GW)

	energy [r]evolution	Szenario B
Erneuerbare Energien	1.480	1.378
<i>Wind Onshore</i>	306	598
<i>Wind Offshore</i>	186	191
<i>Biomasse</i>	72	85
<i>Wasserkraft</i>	165	142
<i>Fotovoltaik</i>	570	316
<i>Solarthermie</i>	81	18
<i>Geothermie</i>	56	2
<i>Meeresenergie</i>	44	26
Fossil und synthetisch	69	236
<i>Erdgas</i>	64	236
<i>Wasserstoff</i>	5	0
SUMME	1.549	1.614

Quelle: Eigene Darstellung nach (GP/EREC 2012) und (Fh-ISI 2011)

Im Gegensatz zum Szenario „energy [r]evolution“ liegen für „Szenario B“ Kapazitäten der verschiedenen Erneuerbare-Energie-Technologien auch in länderscharfer Abgrenzung vor. Die folgende Abbildung 5 sowie Tabelle 5 zeigen die Verteilung der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien in „Szenario B“ im Jahr 2050 auf die 29 in der Studie berücksichtigten europäischen Länder. Die mit Abstand höchste Windenergiekapazität (Onshore plus Offshore) ist demnach im Vereinigten Königreich installiert (169 GW), gefolgt von Frankreich (112 GW), Deutschland (105 GW) und Spanien (98 GW). Italien (70 GW) hat die höchste installierte Fotovoltaik-Kapazität, gefolgt von Deutschland (69 GW), Spanien (49 GW) und Frankreich (33 GW).

Abbildung 5: Stromerzeugungskapazitäten nach Energieträger bzw. Technologie in den Ländern der EU 27+2 im Jahr 2050 nach „Szenario B“ (in GW)



Quelle: Eigene Darstellung nach (Fh-ISI 2011)

Tabelle 5: Stromerzeugungskapazitäten nach Energieträger bzw. Technologie in den Ländern der EU 27+2 im Jahr 2050 nach „Szenario B“ (in GW)

	Wind Onshore	Wind Offshore	Biomasse	Wasserkraft	Fotovoltaik	Andere Erneuerbare
Österreich	6	0	2	10	6	0
Belgien	4	7	3	0	1	0
Bulgarien	4	0	0	3	5	0
Schweiz	1	0	0	12	9	0
Zypern	1	0	0	0	1	0
Tschechische Republik	16	0	1	1	11	0
Deutschland	54	50	12	5	69	0
Dänemark	13	7	3	0	0	0
Estland	5	0	0	0	0	0
Spanien	81	17	8	24	49	15
Finnland	6	12	3	3	0	1
Frankreich	99	13	12	25	33	3
Griechenland	9	3	1	5	12	2
Ungarn	2	0	2	0	8	0
Irland	12	3	0	0	0	1
Italien	15	13	8	18	70	8
Litauen	4	0	1	0	1	0
Luxemburg	1	0	0	0	2	0
Lettland	5	0	0	2	1	0
Malta	0	0	0	0	0	0
Niederland	17	10	3	0	8	0
Norwegen	0	0	0	28	0	0
Polen	53	1	9	1	5	1
Portugal	26	3	1	10	10	3
Rumänien	8	0	2	8	14	0
Schweden	35	5	3	17	0	1
Slowenien	0	0	0	2	1	0
Slowakei	1	0	1	2	5	0
Vereinigtes Königreich	122	47	9	2	3	10
SUMME	599	191	85	179	325	47

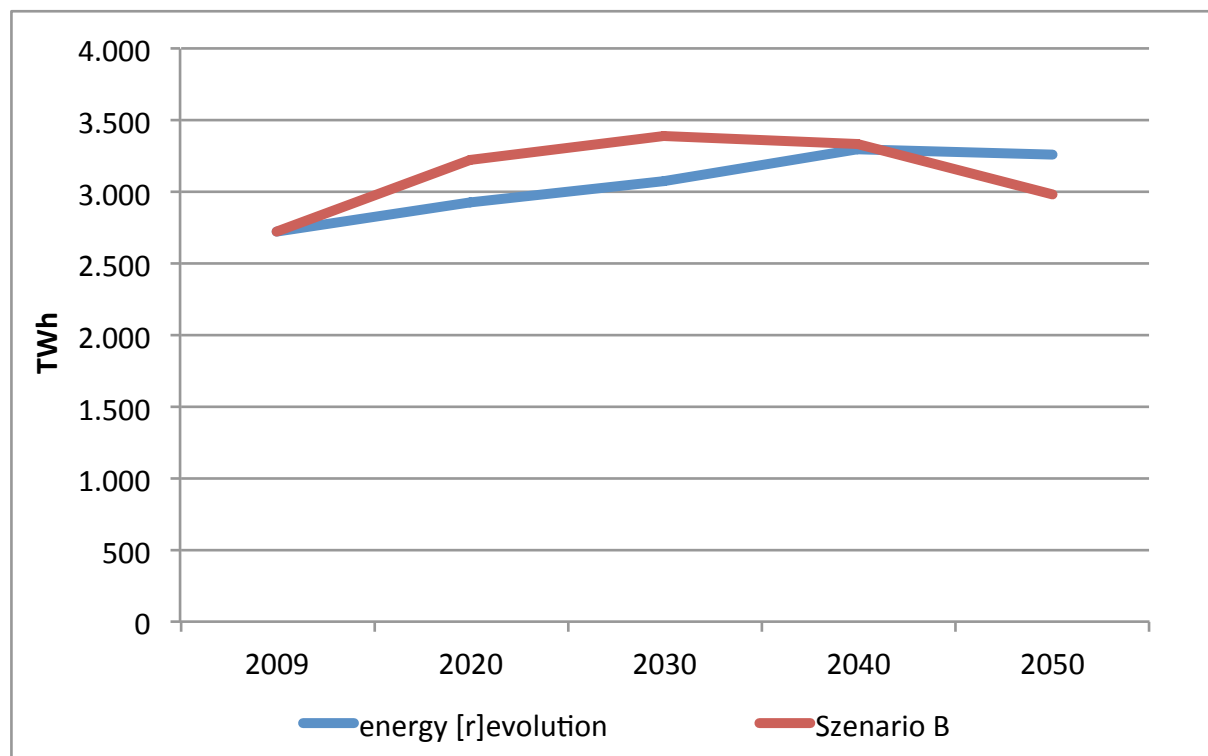
Quelle: Eigene Darstellung nach (Fh-ISI 2011)

6.3. Entwicklung der Stromnachfrage

Die Stromnachfrage (Endenergie) in der EU 27 steigt in beiden Szenarien zunächst an, allerdings stärker in „Szenario B“ als im Szenario „energy [r]evolution“. So liegt die Stromnachfrage im erstgenannten Szenario im Jahr 2030 bei knapp 3.400 TWh, während sie im Szenario „energy revolution“ im gleichen Jahr bei knapp 3.100 TWh liegt. Allerdings steigt die Stromnachfrage nach 2030 im Szenario „energy revolution“ weiter an (auf 3.300 TWh im Jahr 2040), während sie in „Szenario B“ in der Folge auf rund 3.300 TWh (2040) bzw. etwas unter 3.000 TWh (2040) zurückgeht. Die unterschiedlichen Verläufe erklären sich in erster Linie durch unterschiedliche Annahmen bezüglich der zukünftigen Fortschritte bei der Ener-

gieeffizienz sowie durch unterschiedliche Annahmen zur zukünftigen Rolle der Elektromobilität und (wahrscheinlich) auch der Wärmepumpen.

Abbildung 6: Entwicklung der Stromnachfrage (Endenergie) in der EU 27 zwischen 2009 und 2050 nach den beiden ausgewählten Szenarien



Quelle: Eigene Darstellung nach (GP/EREC 2012) und (Fh-ISI 2011)

Im Szenario „energy [r]evolution“ werden von Beginn an deutliche Fortschritte bei der Energieeffizienz unterstellt, die die insbesondere infolge des angenommenen fortgesetzten Wirtschaftswachstums bestehende Tendenz eines steigenden Strombedarfs abschwächt. In Szenario B werden hingegen explizit nur moderate Effizienzverbesserungen unterstellt, so dass die Stromnachfrage dort zunächst stärker steigt. Nach 2030 sinkt die Stromnachfrage dann jedoch, da von nun an das sich abschwächende Wirtschaftswachstum kaum mehr einen nachfragesteigernden Einfluss hat und dieser durch die moderaten Effizienzverbesserungen überkompensiert wird. Im Szenario „energy [r]evolution“ wird hingegen – im Unterschied zu Szenario B – angenommen, dass insbesondere die Elektromobilität in Europa zu einer bedeutenden zusätzlichen Stromnachfrage führen wird. Zwischen 2030 und 2040 nimmt der Strombedarf im Transportsektor in diesem Szenario besonders stark zu (um nahezu 390 TWh/a), so dass in diesem Jahrzehnt auch ein starker Anstieg des gesamten Strombedarfs zu beobachten ist und erst zwischen 2040 und 2050 die fortschreitenden Effizienzverbesserungen den durch Wirtschaftswachstum und Elektrifizierungsstrategien im Verkehrs- und Wärmeversorgungsbereich fortgesetzten Effekt einer steigenden Stromnachfrage kompensieren können.

Trotz der moderaten Unterschiede in der Höhe der Stromnachfrage im Jahr 2050 verbergen sich also hinter den beiden Szenarien durchaus unterschiedliche Stromnachfragestrukturen – soweit das auf Grundlage der teilweise nur qualitativen Aussagen der Studien bewertet werden kann: Die Energieeffizienz der „traditionellen“ Stromverbraucher ist im Szenario „energy [r]evolution“ deutlich höher, während gleichzeitig (im Gegensatz zu „Szenario B“) ein

bedeutender Anstieg des Strombedarfs infolge der Substitution fossiler Energieträger im Verkehrsbereich und in der Wärmeversorgung erfolgt.

Für „Szenario B“ liegt die Entwicklung der Stromnachfrage für die einzelnen europäischen Länder vor und wird in Tabelle 6 wiedergegeben.

Tabelle 6: Entwicklung der Stromnachfrage (Endenergie plus Verluste in nationalen Stromnetzen) in den Ländern der EU 27+2 zwischen 2008 und 2050 nach „Szenario B“ (in TWh)

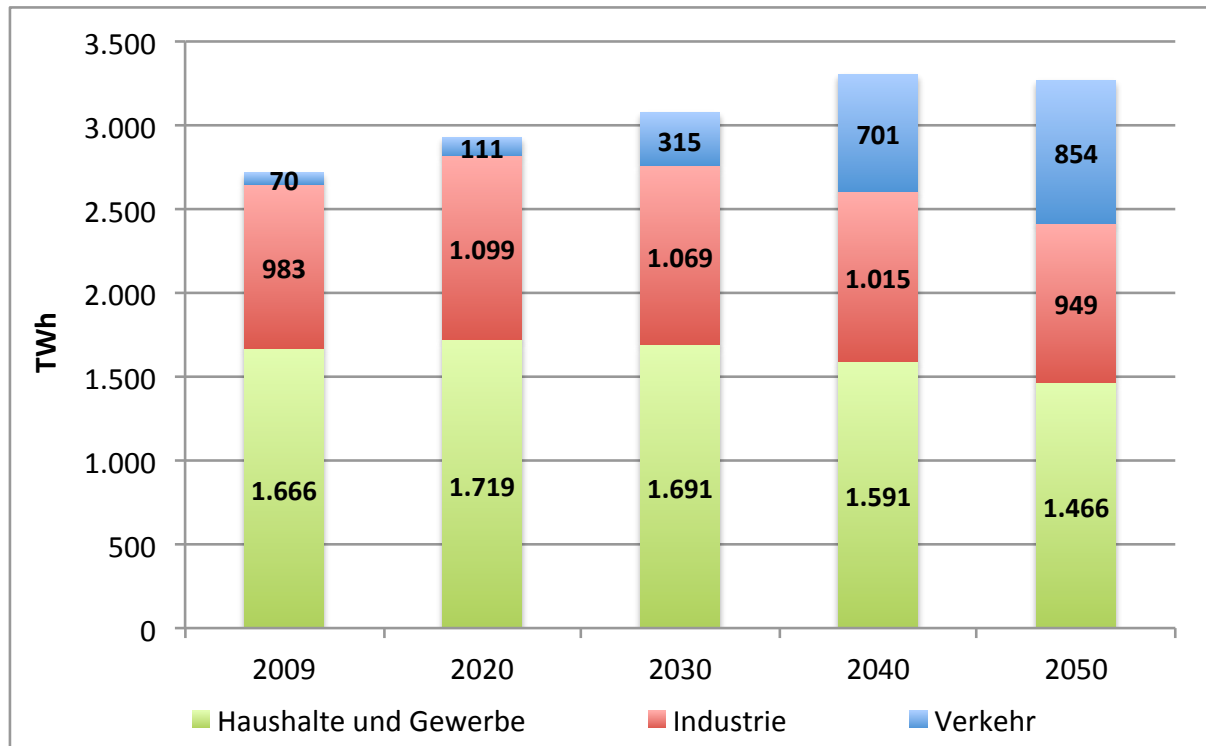
	2008	2020	2030	2040	2050
Österreich	68	66	66	60	49
Belgien	90	93	91	82	67
Bulgarien	34	28	29	29	27
Schweiz	64	64	61	52	39
Zypern	5	5	5	5	5
Tschechische Republik	65	60	61	59	52
Deutschland	556	639	654	624	549
Dänemark	36	49	52	53	51
Estland	8	8	9	10	9
Spanien	270	298	335	345	320
Finnland	87	84	85	82	76
Frankreich	493	541	550	512	426
Griechenland	56	62	68	68	62
Ungarn	41	40	45	47	44
Irland	29	35	38	38	34
Italien	339	372	383	362	311
Litauen	12	10	11	12	12
Luxemburg	7	10	11	11	11
Lettland	8	7	8	9	9
Malta	2	3	3	3	2
Niederland	120	131	137	132	116
Norwegen	129	132	131	124	112
Polen	142	153	178	196	191
Portugal	52	54	61	64	62
Rumänien	55	58	75	91	96
Schweden	144	160	164	161	154
Slowenien	13	12	12	11	9
Slowakei	28	28	30	31	29
Vereinigtes Königreich	366	476	507	500	451
SUMME	3.318	3.677	3.861	3.774	3.376

Quelle: Eigene Darstellung nach (Fh-ISI 2011)

Das Szenario „energy [r]evolution“ stellt die Stromnachfrage der EU 27 nach den drei Sektoren „Haushalte und Gewerbe“, „Industrie“ und „Verkehr“ dar. Aus der Aufteilung der Stromnachfrage nach Sektoren (s. Abbildung) wird die steigende Bedeutung des Verkehrssektors ersichtlich. Gegenüber 2009 steigt in diesem Szenario der Strombedarf des Verkehrs von 70 TWh (ganz überwiegend für den Zugverkehr) auf rund 850 TWh im Jahr 2050 an. Eine genaue Angabe für den Strombedarf der Elektromobilität wird zwar nicht gemacht, es ist jedoch

aufgrund des geringen Ausgangsniveaus des Strombedarfs im Verkehrssektors und des erwarteten nur begrenzten Anstiegs der Fahrleistung im Zugverkehr davon auszugehen, dass nahezu der gesamte Zuwachs des Strombedarfs im Verkehrssektor zwischen 2009 und 2050 auf den angenommenen Durchbruch der straßenbasierten Elektromobilität zurückzuführen ist.⁹ In den anderen beiden Sektoren kommt es zunächst noch bis zum Jahr 2020 zu einem Anstieg der Stromnachfrage, in der Folge jedoch aufgrund einer gegenüber der Vergangenheit deutlich beschleunigten Verbesserung der Energieeffizienz zu einem Rückgang des Strombedarfs um jeweils rund 15 % zwischen 2020 und 2050.

Abbildung 7: Entwicklung der Stromnachfrage (Endenergie) in der EU 27 zwischen 2009 und 2050 nach Sektoren im Szenario energy [r]evolution



Quelle: Eigene Darstellung nach (GP/EREC 2012)

6.4. Entwicklung des Stromnetzes

Im Rahmen der Studie in Auftrag von Greenpeace und EREC (2012) wurde offenbar keine detaillierte Modellierung des europäischen Stromnetzes durchgeführt. Es finden sich in der Studie keine quantitativen Aussagen in Bezug auf den Umfang der notwendigen Anpassungen bzw. Erweiterungen des europäischen Netzes sowie des Ausbaus der Verbindungen zwischen Europa und Nordafrika zum Zwecke des Stromaustauschs. Es wird in der Studie jedoch betont, dass Investitionen sowohl in kleine und intelligente Netze („micro grids“ und „smart grids“) als auch in großräumige Übertragungskapazitäten („super grid“) notwendig sein werden, um große Mengen an Strom nicht zuletzt von Offshore-Windenergieanlagen und CSP-Anlagen effizient zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern transportieren.

Die Stromnetzinfrastruktur benötigt neue Technologien sowie neue Managementstrukturen, um auch in Zukunft die Balance zwischen Stromnachfrage und zunehmend schwankender

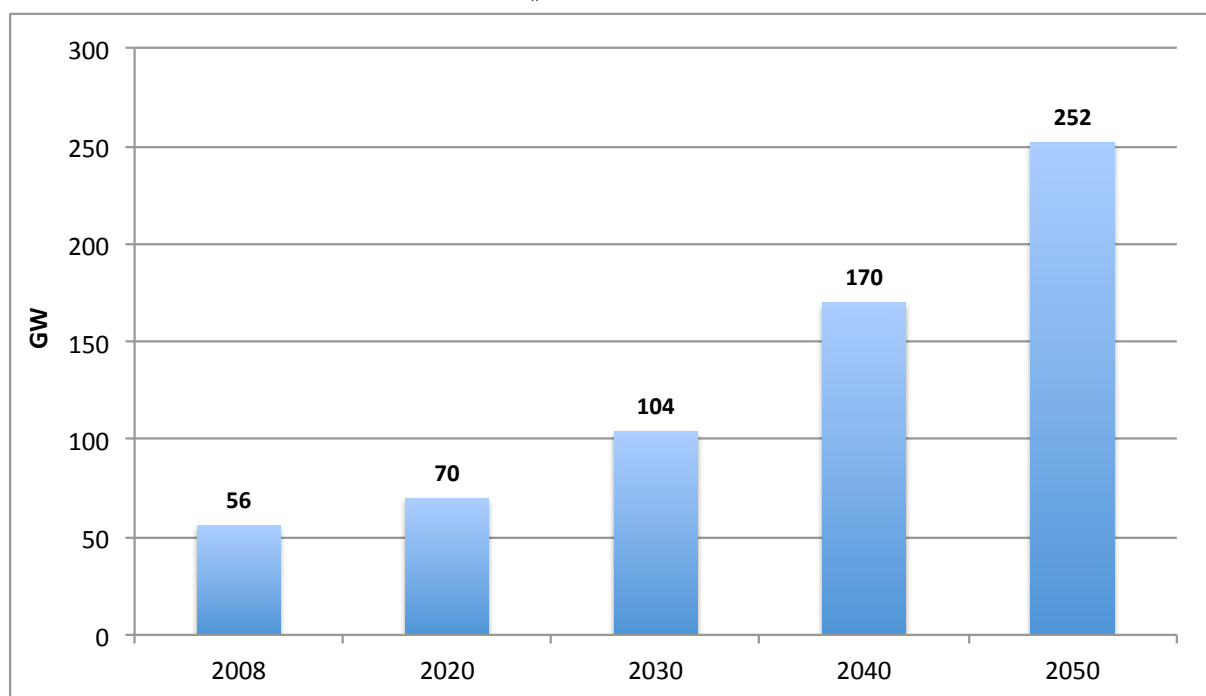
⁹ Auch andere Europa-Energieszenarien nehmen an, dass die Elektromobilität in Europa bis zum Jahr 2050 zu einem zusätzlichen Strombedarf von rund 800 TWh führen könnte.

Stromerzeugung gewährleisten zu können. Smart Grid-Technologien und bessere Wettervorhersagen sollen dabei helfen, Stromnachfrage und Stromerzeugung in Einklang zu bringen und dabei den Netzausbaubedarf zu reduzieren.

Im Gegensatz zu der Studie in Auftrag von Greenpeace und EREC (2012) wird in der Studie von Fraunhofer ISI (2011) das europäische Stromnetz – in vereinfachter Form – modelliert und es werden quantitative Aussagen über den notwendigen Ausbaubedarf der Transferkapazität *zwischen* den einzelnen europäischen Ländern getroffen. Die Länder der EU 27+2 wurden dabei jeweils als ein Knotenpunkt im Stromnetz modelliert, das heißt die Stromnetze der einzelnen Länder wurden aufgrund der hohen Komplexität und teilweise unzureichender Datenlage nicht modelliert.

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der Transferkapazität (*net transfer capacity*, NTC) zwischen den Ländern der EU 27+2 in „Szenario B“. Die Kapazität steigt im Betrachtungszeitraum auf das 4,5-fache, von 56 GW in 2008 auf 252 GW in 2050. Sie liegt damit in „Szenario B“ im Jahr 2050 um nahezu 40 % höher als in „Szenario A“ der gleichen Studie. Dieser deutlich höhere Kapazitätsbedarf wird damit erklärt, dass gegenüber „Szenario A“ aufgrund des höheren Strombedarfs zusätzliche (fluktuierende) Stromerzeugung aus Wind- und Solaranlagen benötigt wird, die in das Stromsystem integriert werden muss.

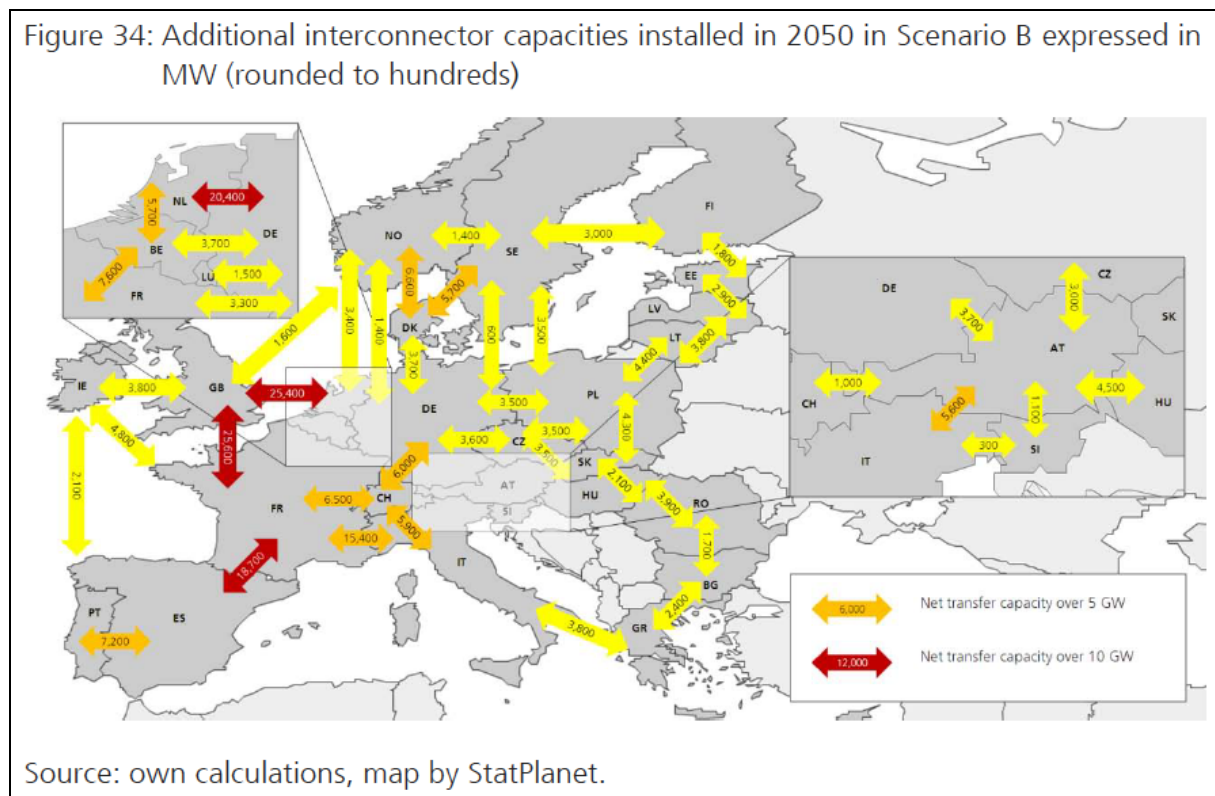
Abbildung 8: Entwicklung der Transferkapazität in der EU 27+2 zwischen 2008 und 2050 in „Szenario B“



Quelle: Eigene Darstellung nach (Fh-ISI 2011)

Ein besonders starker Kapazitätsausbau findet zwischen Großbritannien und Kontinentaleuropa statt, da in Großbritannien das große Windpotenzial genutzt werden soll, was in windstarken Zeiten einen hohen Export nach und in windschwachen Zeiten einen hohen Import aus Kontinentaleuropa notwendig macht. Analog hat die iberische Halbinsel mit Spanien und Portugal ein hohes Potenzial fluktuierender erneuerbarer Energien – und lediglich Frankreich als angrenzendes europäisches Land, so dass in dem Szenario auch zwischen Spanien und Frankreich ein hoher Ausbau der Transferkapazitäten erfolgt. Die folgende Abbildung zeigt die jeweiligen Transferkapazitäten zwischen den verschiedenen europäischen Ländern auf.

Abbildung 9: Transferkapazität zwischen den Ländern der EU 27+2 im Jahr 2050 in „Szenario B“



Quelle: Fraunhofer ISI (2011), S. 104.

Die Studie von Fraunhofer ISI (2011) erwähnt, dass andere Studien, insbesondere das Sondergutachten des SRU (2011) einen deutlich höheren Ausbau der Transferkapazitäten – unter anderem zwischen Deutschland, Dänemark und Norwegen – berechnen. Eine konkrete Erklärung für diese Diskrepanz wird nicht angeboten, allerdings wird darauf hingewiesen, dass beispielsweise die Studie des SRU (2011) ein Stromsystem beschreibt, das 2050 zu 100 % auf erneuerbaren Energien beruht, nicht „nur“ zu 94 % wie in „Szenario B“.

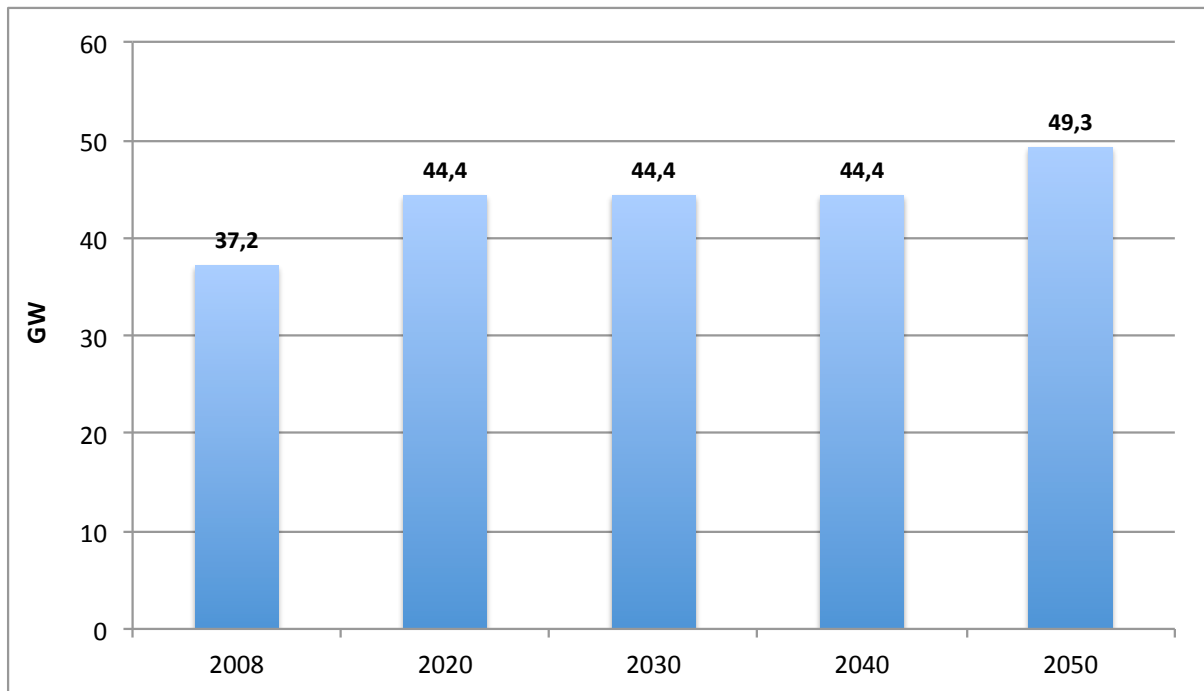
6.5. Entwicklung des Stromspeicherbedarfs

In der Studie für Greenpeace und EREC (2012) finden sich keine quantitativen Aussagen bezüglich der insgesamt in dem Szenario „energy [r]evolution“ im Jahr 2050 in Europa betriebenen Speicherkapazitäten. Es wird jedoch erwähnt, dass in dem Szenario die Erzeugung von Wasserstoff u. a. zum Zwecke der Speicherung von Strom erfolgt und dass die Kraftwerkskapazität für die Rückverstromung von Wasserstoff im Jahr 2050 in Europa 5 GW beträgt. Die in dem Szenario unterstellte Zwischenspeicherung von Wasserstoff sei jedoch nur als eine Option für die zukünftige chemische Speicherung von erneuerbar erzeugtem Strom zu verstehen. Aus heutiger Sicht sei nicht absehbar, ob zukünftig beispielsweise eher eine Zwischenspeicherung über Methan erfolgen wird.

Zudem wird in der Studie betont, dass die aufgrund des hohen Anteils fluktuierender Stromerzeugung notwendigen (aber nicht quantifizierten) zusätzlichen Speicherkapazitäten bei einem starken Bedeutungsgewinn der Elektromobilität teilweise auch durch Batterien der Elektroautos bereitgestellt werden könnten.

Im Gegensatz zu der Studie in Auftrag von Greenpeace und EREC (2012) wird in der Studie von Fraunhofer ISI (2011) der Bedarf an Speicherkapazitäten modelliert und es werden quantitative Aussagen über den notwendigen Ausbaubedarf der Speicherkapazitäten in der EU 27+2 getroffen. Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Speicherkapazitäten in „Szenario B“ zwischen 2008 und 2050, es kommt zu einem Anstieg von 37,2 GW auf 49,3 GW (+33 %). Dabei wird in der Studie nicht genau spezifiziert, welche Art von Speichern ausgebaut werden, die in dem Modell hinterlegte Charakteristik der Speicheroption decke sich sowohl mit kleinen Pumpspeicherkraftwerken als auch mit größeren adiabaten Druckluftspeichern (*advanced adiabatic compressed air energy storages*, AA-CAES).

Abbildung 10: Entwicklung der Stromspeicherkapazität in der EU 27+2 zwischen 2008 und 2050 in „Szenario B“



Quelle: Eigene Darstellung nach (Fh-ISI 2011)

Die Studie erläutert, dass es in dem verwendeten Stromsystemmodell nur dann zu einem Zubau von Speicherkapazitäten kommt, wenn die folgenden beiden Bedingungen erfüllt sind: Es kommt in einem Land bzw. einer Region in vielen Stunden des Jahres zu einer dort überschüssigen Stromerzeugung und diejenigen europäischen Länder, die diesen Strom zu diesen Zeiten abnehmen könnten, sind zu weit entfernt, so dass ein Ausbau des Stromnetzes nicht sinnvoll ist. In „Szenario B“ kommt es für Spanien und Großbritannien zu dieser Situation, in der der Bau neuer Speicherkapazitäten wirtschaftlicher ist als die Abregelung des überschüssigen Stroms bzw. seine Weiterleitung mit Hilfe des Ausbaus der Transferkapazitäten. Dabei wird betont, dass Sensitivitätsberechnungen gezeigt hätten, dass der Speicherkapazitätsbedarf im Falle einer 100 %-igen Stromversorgung aus erneuerbaren Energien deutlich höher liegen würde. Genau spezifiziert wird er allerdings nicht, es wird nur erwähnt, dass er auch dann noch handhabbar („manageable“) sei.

6.6. Annahmen zum zukünftigen Einsatz von Demand-Side-Management (DSM)

In der Studie für Greenpeace/EREC (2012) finden sich keine detaillierten, quantitativen Aussagen zu dem Potenzial und dem angenommenen Einsatz von DSM-Maßnahmen. Es wird

lediglich erwähnt, dass DSM neben dem Ausbau intelligenter Netze und dem Zubau von Speicherkapazitäten dafür sorgen wird, dass die hohen Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien in das zukünftige Stromsystem integriert werden könnten.

Bei der Modellierung der Szenarien in der Studie von Fraunhofer ISI (2011) wurden explizit keine möglichen zukünftigen DSM-Maßnahmen berücksichtigt. Aufgrund des sich ohnehin ergebenden vergleichsweise niedrigen Ausbaubedarfs für Speicherkapazitäten sei dies nicht als notwendig erachtet worden. Gleichwohl sei davon auszugehen, dass der Speicherbedarf weiter reduziert werden könnte, sollte zusätzliche zeitliche Flexibilität in der Stromnachfrage erschlossen werden können. Auch die Kapazität konventioneller Kraftwerke sowie die Transferkapazität könnten durch entsprechende DSM-Maßnahmen reduziert werden. Somit könnten erfolgreiche DSM-Aktivitäten die Kosten der beiden Szenarien der Studie reduzieren. Berechnungen hierzu wurden jedoch nicht durchgeführt bzw. zumindest nicht dokumentiert.

7. Literatur

- Dii (2012): 2050 Desert Power – Perspectives on a Sustainable Power System for EUMENA, http://www.dii-eumena.com/fileadmin/Daten/Downloads/Desert%20Power%202050/dp2050_study_web.pdf.
- EC (2011): Energy Roadmap 2050, http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/doc/sec_2011_1565_part2.pdf.
- ECF (2010): Roadmap 2050 - A Practical Guide to a Prosperous, Low-Carbon Europe, http://www.roadmap2050.eu/attachments/files/Volume1_fullreport_PressPack.pdf.
- EREC (2010): RE-thinking 2050 – A 100% Renewable Energy Vision for the European Union, http://www.rethinking2050.eu/fileadmin/documents/ReThinking2050_full_version_final.pdf.
- Eurelectric (2009): Power Choices – Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe by 2050, <http://www.eurelectric.org/Download/Download.aspx?DocumentFileID=63875>.
- Eurostat (2013): Datenbank - Supply, transformation, consumption – electricity – annual data [nrg_105a], http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_105a&lang=en.
- EWI (2011): Roadmap 2050 – a closer look – Cost-efficient RES-E penetration and the role of grid extensions, http://www.ewi.uni-koeln.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Studien/Politik_und_Gesellschaft/2011/Roadmap_2050_komplett_Endbericht_Web.pdf.
- Fh-ISI (2011): Tangible ways towards climate protection in the European Union (EU Long-term scenarios 2050), http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/x/de/publikationen/Final_Report_EU-Long-term-scenarios-2050_FINAL.pdf.
- Fh-ISI u. a. (2009): ADAM 2-degree scenario for Europe – policies and impacts, http://www.isi.fraunhofer.de/isi-media/docs/n/de/publikationen/project_ADAM.pdf.
- GP/EREC (2012): energy [r]evolution – A Sustainable EU 27 Energy Outlook, <http://www.greenpeace.org/eu-unit/Global/eu-unit/reports-briefings/2012%20pubs/Pubs%203%20Jul-Sep/E%5bR%5d%202012%20lr.pdf>.
- IEA (2012): Energy Technology Perspectives 2012 – Pathways to a Clean Energy System, Paris.
- Prognos (2011): Analysis and comparison of relevant mid- and long-term energy scenarios for EU and their key underlying assumptions, http://ec.europa.eu/energy/nuclear/forum/opportunities/doc/competitiveness/prognos_final_11_04_27.pdf.
- SEI (2009): Europe's Share of the Climate Challenge – Domestic Actions and International Obligations to Protect the Planet, http://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/Climate-mitigation-adaptation/europes_share_heaps_09.pdf.pdf.
- SEFEP (2012): Power Sector Decarbonisation: Metastudy, <http://www.sefep.eu/activities/projects-studies/metastudy-full.pdf>.