



# **WASSERSPEICHERKRAFTWERK RURTALSPERRE**

**Energiewirtschaftliche Begründung**

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>	
1	Veranlassung	6
2	Politische Rahmenbedingungen	7
2.1	Energiekonzept der Deutschen Bundesregierung	7
2.2	Erneuerbare Energie als tragende Säule in der zukünftigen Stromversorgung	8
2.3	Herausforderungen an die Stromversorgung in Deutschland	11
3	Entwicklung und Ausbau des Stromversorgungssystems in Deutschland	13
3.1	Energieerzeugung	13
3.2	Energieverteilung	15
4	Alternative Möglichkeiten der Stromspeicherung	17
4.1	Speichertechnologien	17
4.2	Druckluftspeicher	19
4.2.1	Funktionsweise	19
4.2.2	Stand der Technik	20
4.3	Wasserstoffspeicher	20
4.3.1	Funktionsweise	20
4.3.2	Stand der Technik	21
4.4	Synthetische Erdgaserzeugung (SNG)	22
4.4.1	Funktionsweise	22
4.4.2	Stand der Technik	22
4.5	Elektrochemische Speicher (Batteriesysteme)	23
4.5.1	Funktionsweise der Redox-Flow – Batterie	23
4.5.2	Stand der Technik	23
4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse der Speichertechnologien	24
5	Einordnung der Speichertechnologien zur Bereitstellung von Regelenergie für erneuerbare Energien	24
5.1	Bedarf an Regelenergie	24
5.2	Bewertung der möglichen Systeme der Stromspeicherung im Hinblick auf die Bereitstellung von Regelenergie	24
6	Fazit	25

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1:	Entwicklung erneuerbarer Energien	6
Abbildung 2:	Struktur der Endenergieerzeugung in Deutschland 2010	9
Abbildung 3:	Struktur der Stromerzeugung in Deutschland	9
Abbildung 4:	Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland seit 1990	10
Abbildung 5:	Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2030	11
Abbildung 6:	Anteil der Energieträger an der Stromerzeugung in 2010	13
Abbildung 7:	Energieträger und ihre regionale Verteilung an der Stromerzeugung in 2010	14
Abbildung 8:	Installierte Leistung und Energiebeitrag regenerativer Energien bis 2030	16
Abbildung 9:	Möglichkeiten der Speicherung elektrischer Energie [7]	17
Abbildung 10:	Einteilung von elektrischen und elektro-chemischen Energiespeichern	17
Abbildung 11:	Speicherkapazitäten und Reichweite/Speicherzeit verschiedener Speicherarten	18

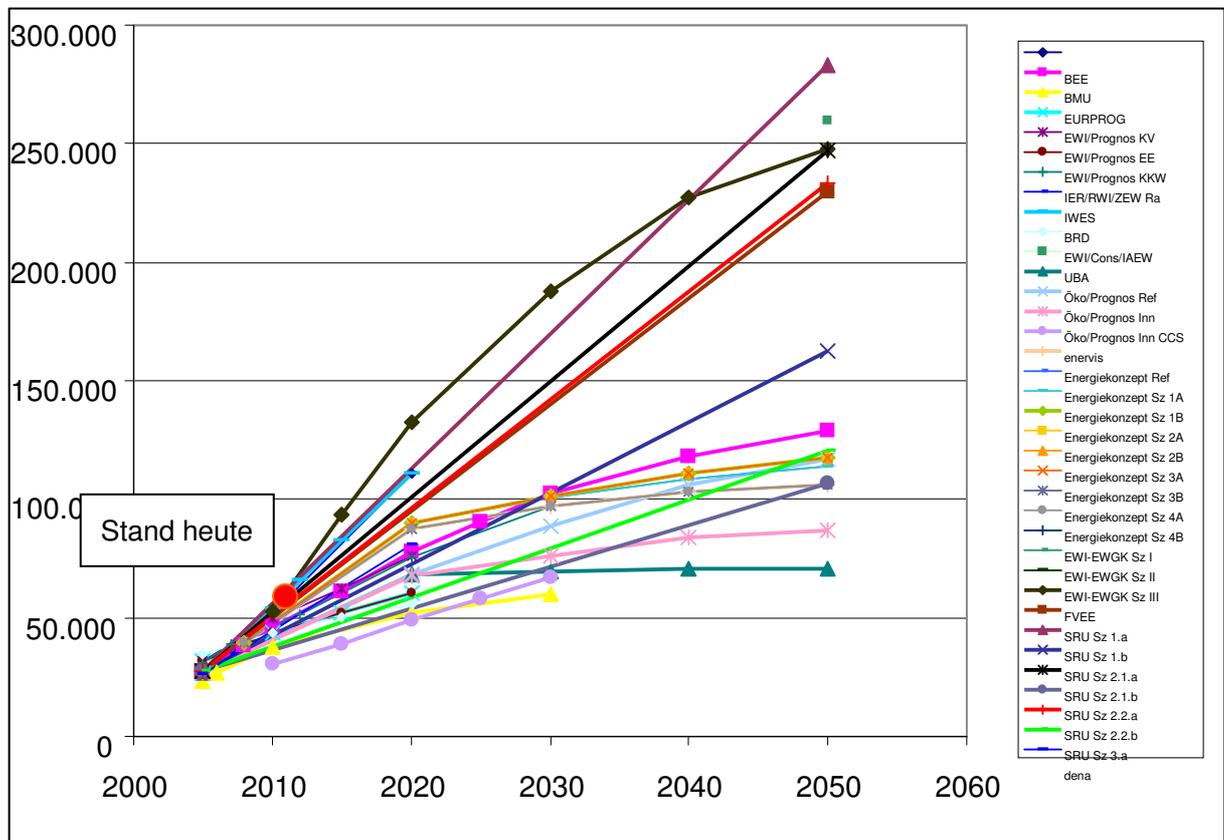
## Literatur

- [1] BMWi (Juli 2011)  
Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Das 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Herausgegeben von BMWi. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/6-energieforschungsprogrammder-bundesregierung,property=pdf,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.pdf>, zuletzt geprüft am 3.10.11.
- [2] Nitsch, Joachim; Pregger, Thomas; Scholz, Yvonne; Naegler, Tobias; Sterner, Michael Dr.-Ing.; Norman, Gerhardt et al. (Dezember 2010):  
Leitstudie 2010. Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Herausgegeben von D. IFnEL.R. IWES. Online verfügbar unter [http://www.bmu.de/erneuerbare\\_energien/downloads/doc/47034.php](http://www.bmu.de/erneuerbare_energien/downloads/doc/47034.php), zuletzt geprüft am 09.09.2011
- [3] VDE; ETG (11.05.2011):  
Politische Handlungsfelder im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Elektrizitätsversorgung in Deutschland und Europa. Herausgegeben von Elektronik Informationstechnik e.V Verband der Elektrotechnik. Online verfügbar unter <http://www.vde.com/de/verband/pressecenter/pressemappen/documents/stromuebertragung/etg%20empfehlung%20energiekonzept.pdf>, zuletzt geprüft am 04.07.2011.
- [4] UBA -Umweltbundesamt (Hg.) (22.09.11):  
Datenbank "Kraftwerke in Deutschland". Stand 9.9.2011. Online verfügbar unter [http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/kraftwerke\\_in\\_deutschland.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/energie/archiv/kraftwerke_in_deutschland.pdf), zuletzt aktualisiert am 22.09.11, zuletzt geprüft am 2.10.11.
- [5] VDE (Hg.) (2005):  
Elektrische Energieversorgung 2020 -Perspektiven und Handlungsbedarf. Online verfügbar unter <http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V1/Aktuelles/Oeffentlich/Seiten/VDE-StudieEIEnergieversorgung2020.aspx>, zuletzt geprüft am 3.10.11.
- [6] DENA (Hg.) (November 2010):  
dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.dena.de/infos/presse/studien/?no\\_cache=1&cid=5279&did=7791&sechash=9df145c9](http://www.dena.de/infos/presse/studien/?no_cache=1&cid=5279&did=7791&sechash=9df145c9), zuletzt geprüft am 2.10.11.
- [7] Fraunhofer-Institut für System-und Innovationsforschung:  
Energietechnologien 2050; Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung (2010). Karlsruhe, Hannover: Fraunhofer-Verl; Technische Informationsbibliothek u. Universitätsbibliothek (ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale).

- [8] Solarfuel:  
ZSW: SolarFuel baut für Audi Pilotanlage. Erneuerbares Methan „e-gas“ im Megawattmaßstab. Pressemitteilung vom 13.05.11. Online verfügbar unter [http://www.solarfuel.net/fileadmin/user\\_upload/pi-2011-SolarFuelZSW-bAnlageAudi.pdf](http://www.solarfuel.net/fileadmin/user_upload/pi-2011-SolarFuelZSW-bAnlageAudi.pdf), zuletzt geprüft am 2.10.11.
- [9] Energietechnische Gesellschaft im VDE (Hg.) (2009):  
Energiespeicher in Versorgungssystemen mit hohem Anteil erneuerbaren Energieträger. Bedeutung, Stand der Technik, Handlungsbedarf. VDE. Online verfügbar unter <http://www.vde.com/de/fg/ETG/Arbeitsgebiete/V1/Aktuelles/Oeffentlich/Seiten/Studie-Energiespeicher.aspx>, zuletzt geprüft am 3.10.11.

## 1 Veranlassung

Durch den kontinuierlichen Ausbau der erneuerbaren Energien, die gemäß der aktuellen EEG-Novelle einen Anteil von min. 35 % an der Stromversorgung im Jahre 2020 erreichen und in den Jahren bis 2050 auf min. 80 % ausgebaut werden sollen, wird das deutsche Stromversorgungssystem maßgeblich beeinflusst. Insbesondere die Einspeisung der fluktuierenden Erzeugungstechnologien Wind und Photovoltaik, die laut BMU-Leitstudie 2010 eine installierte Leistung von knapp 100.000 MW im Jahre 2020 aufweisen werden, stellt aufgrund ihrer Dargebotsabhängigkeit den konventionellen Kraftwerkspark vor große Herausforderungen. Dieser muss die Differenz zwischen der Nachfrage und der Einspeisung aus erneuerbaren Energien, die sogenannte Residuallast, bereitstellen. Da diese beiden Komponenten in ihrer Ausprägung mitunter stark schwanken, muss der konventionelle Kraftwerkspark zukünftig immer flexibler werden, um die resultierenden Gesamtschwankungen der Residuallast abdecken zu können.



**Abbildung 1: Entwicklung erneuerbarer Energien**

Die am häufigsten in Studien zitierte Möglichkeit zur Flexibilisierung des Kraftwerksparks ist der Einsatz von Speichertechnologien. Energiespeicher sind in der Lage, die Schwankungen der Einspeisung aus erneuerbaren Energien zu verstetigen, in dem sie überschüssig erzeugten Strom aus erneuerbaren Energiequellen einspeichern und diesen bei Bedarf, d. h. in Zeiten geringer Einspeisung aus erneuerbaren Energien, wieder dem System zur Verfügung stellen.

Die Trianel GmbH beabsichtigt vor diesem Hintergrund das Wasserspeicherkraftwerk Rurtalsperre (TWR) zu errichten. Für die anstehende Regionalplanänderung wird im Rahmen dieser Energiewirtschaftlichen Begründung der anstehende Umbau des Energieerzeugungssystems, die Notwendigkeit der Speicherung und die zur Verfügung stehenden Speichertechnologien beschrieben.

## **2 Politische Rahmenbedingungen**

### **2.1 Energiekonzept der Deutschen Bundesregierung**

Am 28.09.2010 hat die Bundesregierung ein umfassendes Energiekonzept beschlossen, das den Fahrplan auf dem Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien liefert. Darin sind in neun Handlungsfeldern insgesamt 60 Einzelmaßnahmen sowie ein Zehn-Punkte-Sofortprogramm definiert worden

Aufgabe des Energiekonzeptes ist es, eine zuverlässige, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung sicherzustellen. Deutschland soll in Zukunft bei wettbewerbsfähigen Energiepreisen und hohem Wohlstandsniveau eine der energieeffizientesten und umweltschonendsten Volkswirtschaften der Welt werden. Dabei ist es entscheidend, eine energiewirtschaftliche Gesamtstrategie zu erstellen. So muss beispielsweise im Strombereich der Ausbau der erneuerbaren Energien zusammen mit der Steigerung der Energieeffizienz, dem Ausbau der Stromnetze und dem Bau neuer Speicher angegangen werden. Auch im Gebäudebereich hat insbesondere der Einsatz von Effizienzmaßnahmen ein enormes Potenzial [1].

Entwickelt wurde das Energiekonzept auf Basis der wissenschaftlichen Ergebnisse der Energieszenarien (DNA, EWIS, etc.) und auf Basis der Ziele der Bundesregierung. Das Energiekonzept stellt einen Entwicklungspfad dar, an dem sich die Beteiligten orientieren sollen. Darüber hinaus werden durch eine zügige Umsetzung der im Energiekonzept genannten Maßnahmen klare Rahmenbedingungen für Wirtschaft und Verbraucher definiert.

Das Energiekonzept sieht vor, die CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020 um 40% und bis 2050 um mind. 80% zu senken (verglichen mit 1990). Auf diese Weise soll Deutschland seinen Beitrag leisten, das erklärte Ziel der Europäischen Union – ein maximaler Temperaturanstieg von 2°C – zu erreichen.

Im Energiekonzept wird davon ausgegangen, dass der Strombedarf gegenüber 2008 um bis zu 25%, im Verkehrssektor der Endenergiebedarf sogar um 40% (gegenüber 2005) sinkt. Die tatsächliche Entwicklung der gesteckten Ziele und der getroffenen Annahmen soll mittels regelmäßigem Monitoring erfasst werden, um dementsprechend reagieren und Maßnahmen ergreifen zu können.

Nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima hat die Bundesregierung die Restrisiken der Kernenergie neu bewertet und einen zügigen Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen. Auf der Grundlage des Energiekonzeptes von 2010 hat die Bundesregierung im Juni 2011 eine weitgehende Neuausrichtung ihrer Energiepolitik vorgenommen. Die Eckpunkte dieser Neuausrichtung lauten wie folgt:

- Beendigung der Kernenergienutzung spätestens Ende 2022
- dynamischer Ausbau der erneuerbaren Energien in allen Sparten
- zügiger Ausbau und die Modernisierung der Stromnetze, einschließlich geeigneter Speichertechnologien
- die Steigerung der Energieeffizienz insbesondere durch Gebäudesanierung
- Senkung des Stromverbrauchs mit modernen Technologien

Das zentrale Instrument zur Umsetzung der Ziele der deutschen Bundesregierung ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Seit seiner Einführung im Jahr 2000 hat das EEG sich als sehr erfolgreich erwiesen. So konnte beispielsweise der Anteil der erneuerbaren Energien seit dem Jahr 2000 (6,4%) auf 16,8% im Jahr 2010 ausgebaut werden. 25 BMU Mai 2008

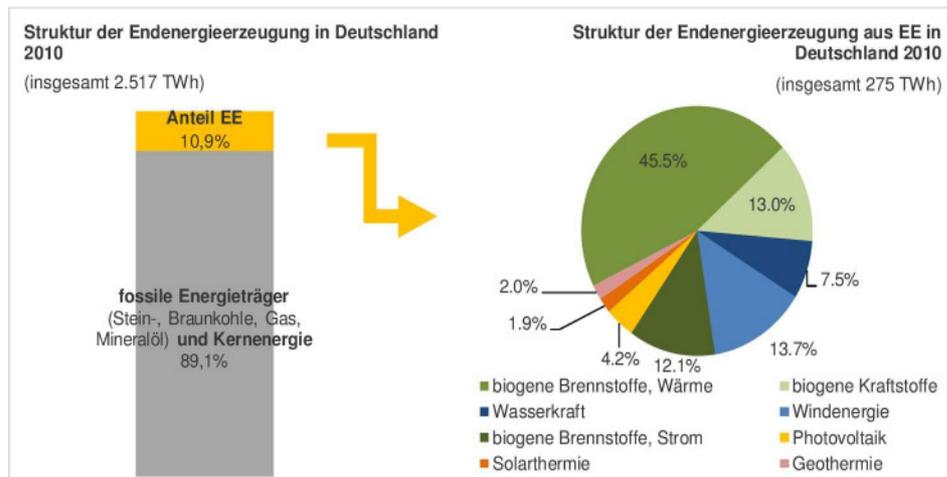
Grundlegende Strukturelemente des EEG, die den besagten Ausbau Erfolg ermöglichen sind:

- Verpflichtung der Netzbetreiber zum Netzanschluss von EEG Anlagen
- vorrangige Abnahme, Übertragung und Verteilung des Stroms aus erneuerbaren Energien
- ein in der Regel über 20 Jahre festgesetzter Vergütungssatz

Mit zunehmendem Anteil erneuerbarer Energien an der Energieversorgung entstehen jedoch neue Herausforderungen und machen eine Anpassung des EEG's notwendig. Ab Januar 2012 tritt die im Juni 2011 novellierte Auflage des EEG's in Kraft. Die genannten Grundstrukturen bleiben dabei bestehen.

## **2.2 Erneuerbare Energie als tragende Säule in der zukünftigen Stromversorgung**

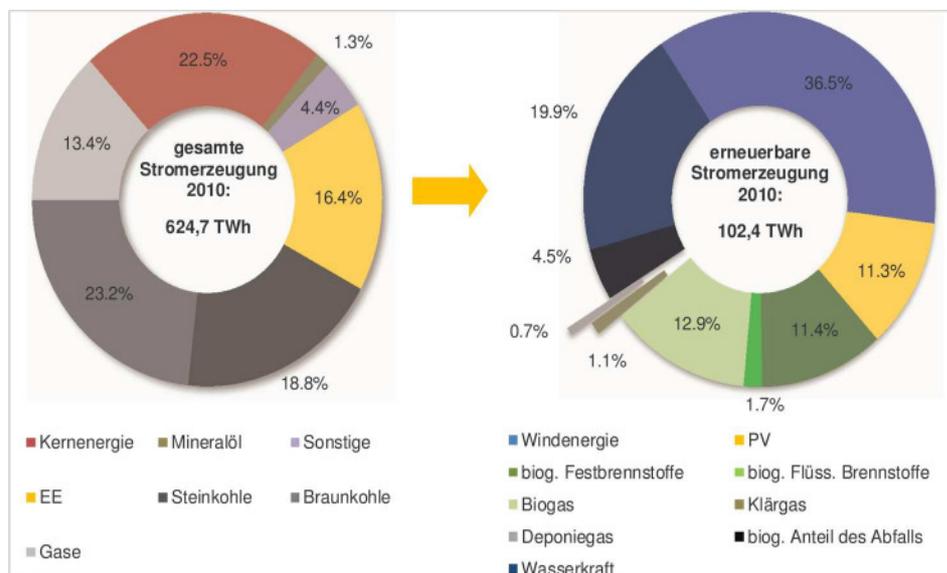
Um die im Energiekonzept der Bundesregierung gesetzten Ziele zu erreichen, soll der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2020 mind. 35% betragen. Darüber hinaus soll dieser Anteil bis 2050 schrittweise auf mind. 80% ausgebaut werden. Laut EEG-Erfahrungsbericht 2011 der Bundesregierung prognostiziert diese für das Jahr 2020 einen Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung von 38,6%. Die Anteile der unterschiedlichen Sparten der erneuerbaren Energien teilten entsprechend Abbildung 2 auf.



**Abbildung 2: Struktur der Endenergieerzeugung in Deutschland 2010**

Mit der bereitgestellten Endenergiemenge von 275 TWh in den Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoffe konnte der Trend eines kontinuierlich ansteigenden Anteils der erneuerbaren Energien beibehalten werden.

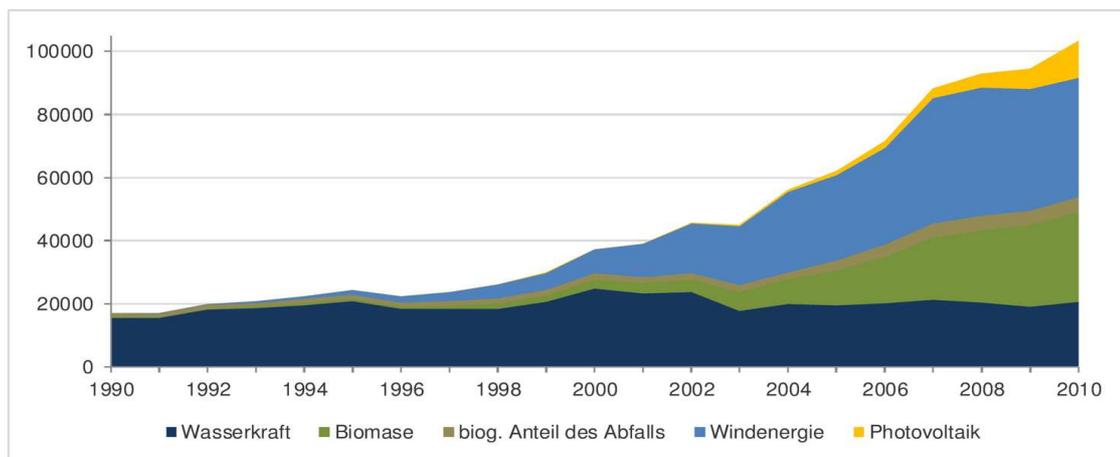
Den größten Anteil an der Bruttostromerzeugung in Deutschland leisten nach wie vor die konventionellen Kraftwerke (siehe Abbildung 3). Im Jahr 2010 wurden von insgesamt 624,7 TWh produzierten Stromes ca. 79% aus Kohle, Erdgas, Mineralöl und Kernenergie erzeugt. Die erneuerbaren Energieträger trugen mit einem Anteil von 16,4% (ca. 102 TWh, + 7,8% gegenüber 2009) zur Stromerzeugung bei.



**Abbildung 3: Struktur der Stromerzeugung in Deutschland**

Während der Zubau an Windenergie 2010 mit einem Leistungszubau von 1488 MW rückläufig gegenüber dem Vorjahr (1880 MW) war, konnten Biomassenutzung und Photovoltaik zulegen. Etwa 108 MW des Windenergiezubaues entfielen 2010 auf Offshore Windparks, für die im lau-

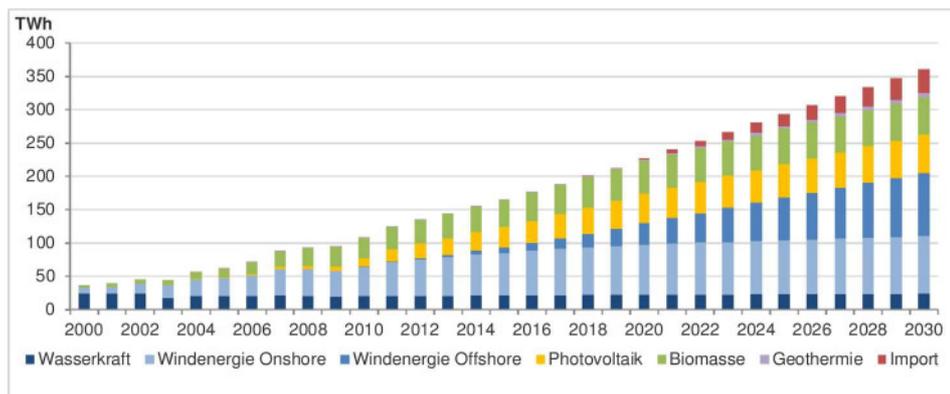
fenden Jahr ein deutlicher Aufwärtstrend erwartet wird. Die produzierte Strommenge blieb trotz des Zubaus hinter der bereitgestellten Strommenge von 2009 zurück, da 2010 ein sehr windschwaches Jahr war. Die erzeugte Strommenge erreichte mit 36,5 TWh den niedrigsten Wert seit 2006 (vgl. Abbildung 4). Im Bereich der Biomasse stieg besonders die Stromerzeugung aus Biogas an und erreichte eine produzierte Strommenge von 12,8 TWh. Insgesamt konnten 2010 aus Biomasse (feste und flüssige Biomasse, Biogas, Deponie- und Klärgas und biogener Anteil des Abfalls) 33,5 TWh Strom gewonnen werden. Eine besonders positive Entwicklung nahm 2010 die Photovoltaik. Mit einem Zubau von ca. 7400 MW war Deutschland 2010 weltweit Spitzenreiter im Ausbau der Photovoltaikleistung. Mit rund 12 TWh erreichte die Photovoltaik 2% des gesamten Strombedarfes.



**Abbildung 4: Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland seit 1990**

Den langfristigen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieversorgung beschreibt eine vom BMU in Auftrag gegebene „Leitstudie 2010“ [2]. Die Entwicklungspfade der Energieversorgung werden darin so beschrieben, dass die übergeordneten klima- und energiepolitischen Ziele in Deutschland erreicht werden. (Die jüngsten Veränderungen der Energiepolitik (s.o.) konnten in der Studie noch nicht eingearbeitet werden, so dass die Studie zunächst einen vorläufigen Charakter besitzt).

Aus den Entwicklungspfaden der Leitstudie 2010 resultiert u.a., dass der Stromverbrauch bis 2030 sinken wird (Annahme um 2,3%/a) und in den Jahren bis 2050, u.a. aufgrund der erhöhten Elektromobilität, wieder ansteigt. Im Jahr 2030 wird der Strom bereits zu einem Anteil von 65,5% aus regenerativen Energien erzeugt und steigt auf ca. 350 TWh/a an. Dieser Anteil wächst bis 2050 auf mind. 85% an.



**Abbildung 5: Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien bis 2030**

### 2.3 Herausforderungen an die Stromversorgung in Deutschland

Sollen die erneuerbaren Energien in der künftigen Energieversorgung eine tragende Säule darstellen, muss das gesamte System der Energieversorgung und -nutzung weiterentwickelt werden.

So veröffentlichte im Mai 2011 der Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. und die Energietechnische Gesellschaft (VDE/ETG) eine Studie, in der die im Energiekonzept genannten Ziele und Ausbaupotentiale mit den Ergebnissen von Referenzszenarien verglichen wurden. Aus den Ergebnissen wurden anschließend politische Handlungsempfehlungen im Hinblick auf die Weiterentwicklung der Elektrizitätsversorgung in Deutschland und Europa abgeleitet. Besonders kritisch betrachtete die Studie die Aussagen des Energiekonzeptes zum Rückgang des Energiebedarfs und zur erwarteten installierten Leistung erneuerbarer Energien.

Die Bundesregierung geht in ihrem Szenario von einem Rückgang des Strombedarfs bis 2050 um 25% aus (bezogen auf 2008), jedoch hat eine ETG Studie gezeigt, dass selbst bei deutlicher Forcierung der Anstrengungen zur Effizienzsteigerung aufgrund von Substitutionseffekten (z.B. Wärmepumpen und E-Mobility) und anderen gesellschaftlichen Entwicklungen bestenfalls mit einer Begrenzung des Anstiegs des elektrischen Energiebedarfs gerechnet werden kann. Die Entwicklung des Strombedarfes der letzten Jahrzehnte zeigt, dass der elektrische Energiebedarf zu keiner Zeit zurückgegangen ist – mit Ausnahme des durch die Wiedervereinigung hervorgerufenen Sondereffekts in der ersten Hälfte der 90er Jahre und die Jahre 2009 und 2010, die durch die größte weltweite Wirtschaftskrise aller Zeiten geprägt waren – und dies, obwohl zu allen Zeiten Bemühungen um Effizienzsteigerung stattgefunden haben.

Die im Energiekonzept dargelegten Maßnahmen führen im Wesentlichen aus der Sicht der ETG/VDE zu den folgenden zwei Herausforderungen für die elektrische Energieversorgung [3].

- Es müssen sehr hohe installierte Leistungen der erneuerbaren Energien integriert werden.

- Die wesentlichen (das System der elektrischen Energieversorgung betreffenden) verändernden Entwicklungen finden bereits im derzeitigen Jahrzehnt statt. Dies führt zu einer großen Dringlichkeit der anstehenden Aufgaben.

Die oben genannten Herausforderungen werden im Energiekonzept der Bundesregierung zwar berücksichtigt, die notwendigen Maßnahmen aber nur langsam umgesetzt. Die erhöhten installierten Leistungen der erneuerbaren Energien führen zum einen dazu, dass in Zeiten mit geringer Last und nicht genügend Speicherkapazitäten eine große Menge erneuerbarer Energien ungenutzt bliebe. Zum anderen muss für Zeiten, in denen keine erneuerbaren Energien zur Verfügung stehen, ausreichende Regelreserven bereitgehalten werden. Ein Speicherausbau in dem erforderlichen Umfang ist heute noch nicht zu.

Ein weiteres, bereits bekanntes Problem ist, dass die Netze (sowohl Übertragungs- als auch Verteilnetze) ausgebaut werden müssen, um die hohen Leistungen aufnehmen zu können. Jedoch reicht die derzeitige Ausbaugeschwindigkeit nicht aus, um mit dem Umbau der Erzeugungsseite Schritt zu halten.

Das wahrscheinlich wichtigste Ergebnis der ETG/VDE-Studie ist die Erkenntnis der Bedeutung des laufenden Jahrzehnts bis 2020. Der größte Anteil an Leistungszubau der erneuerbaren Energien wird kurzfristig bis 2020 erwartet. Darüber hinaus wird die installierte Leistung der erneuerbaren Energien bereits gegen Ende des laufenden Jahrzehnts die Spitzenlast übersteigen. Das bedeutet, dass das System bereits zu diesem Zeitpunkt in der Lage sein muss, mit vollständiger Lastdeckung durch die erneuerbaren Energien umzugehen.

Aufgrund der ambitionierten Ziele des Energiekonzeptes der Bundesregierung und aus den daraus resultierenden Herausforderungen ergeben sich nach u.a. folgende Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen:

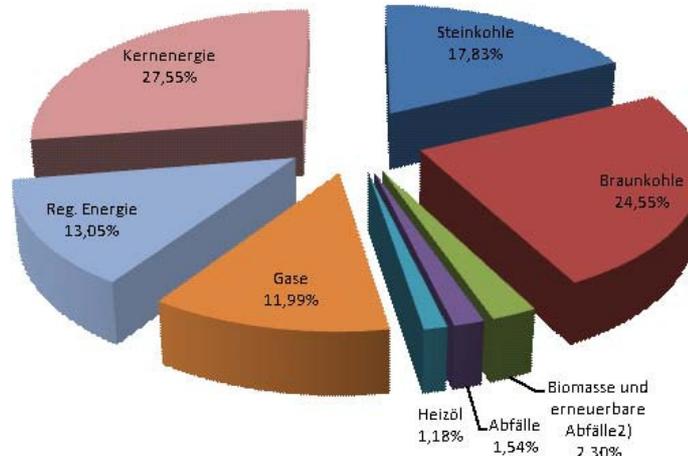
- Um Leistungsüberschüsse und -defizite ausgleichen zu können, ist ein enormer Ausbau der Speicherkapazitäten von Nöten.
- Um das elektrische Energiesystem weiterhin stabil betreiben zu können, müssen die üblichen Systemgrenzen erweitert werden. Das bedeutet, dass eine integrale Betrachtung der parallelen Systeme und Infrastrukturen für Strom, Gas, Wärme und Verkehr sowie in der horizontalen und vertikalen Systemintegration stattfinden muss.
- Forcierung der Forschungs- und Entwicklungsleistung in den Bereichen: Optimierungspotentiale des integrierten Gesamtsystems, Automatisierung der Verteilungsnetze, Entwicklung von Speichertechnologien auf allen Systemebenen und Realisierung eines leistungsstarken Overlay-Netzes
- Sollen die entscheidenden Entwicklungen bereits in diesem Jahrzehnt erfolgen, müssen die Grundlagen für das neue Systemkonzept schnell gelegt werden. Der gesamte Veränderungsprozess muss umgehend eingeleitet und stringent verfolgt werden.

Die Schlussfolgerungen des ETG/VDE belegen ebenso wie die anderer Studien die Notwendigkeit sich zeitnah mit geeigneten Speicherkonzepten auseinander zu setzen, da diese bereits innerhalb des nächsten Jahrzehnt notwendig werden, um den erneuerbaren Strom im Netz zu integrieren.

### 3 Entwicklung und Ausbau des Stromversorgungssystems in Deutschland

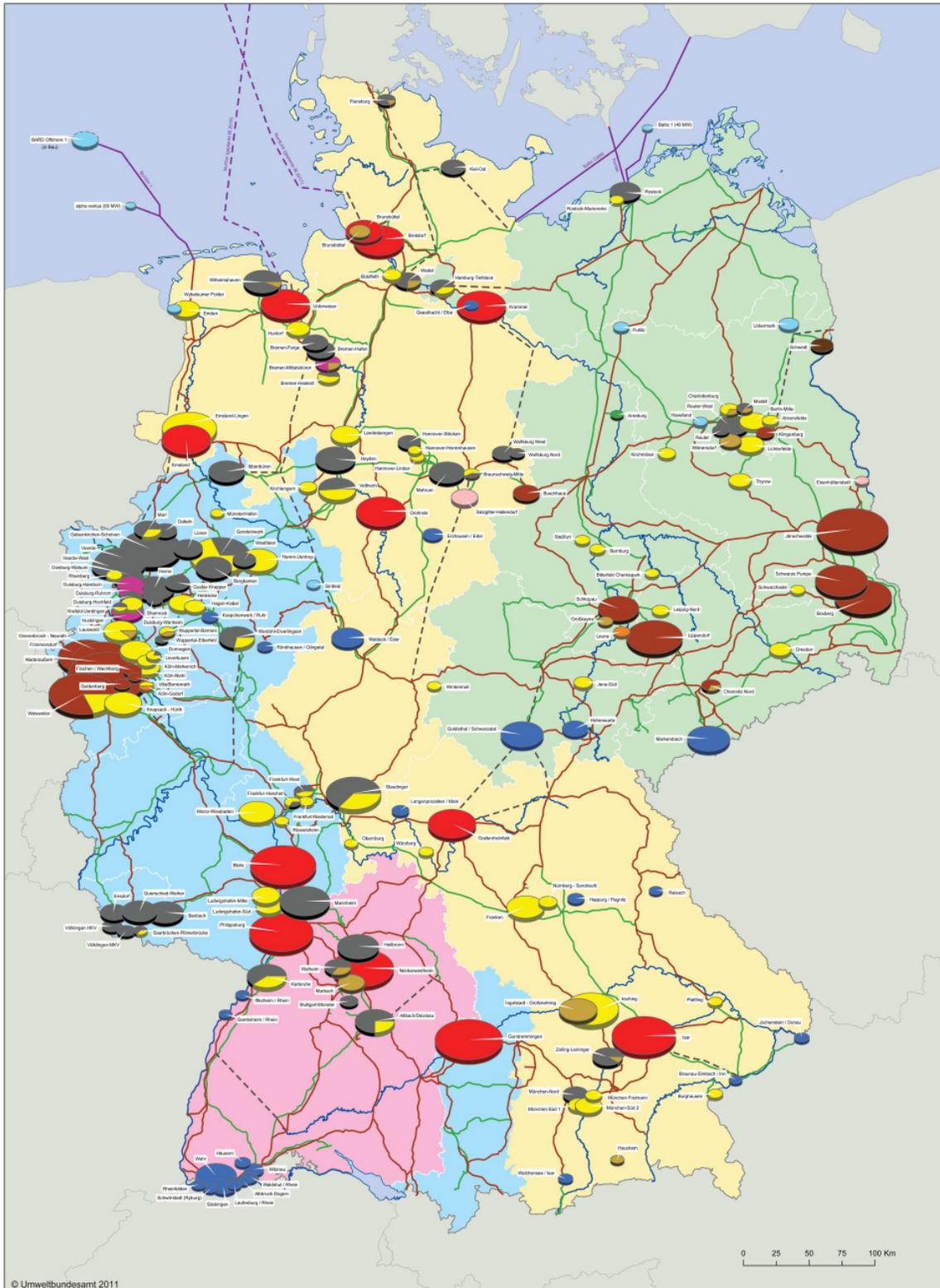
#### 3.1 Energieerzeugung

Der jährliche Bedarf an elektrischer Energie in Deutschland beträgt ca. 510 TWh (ohne Berücksichtigung von Eigenverbrauch der Kraftwerke und Netzverlusten). Wesentlicher Energieträger ist neben der Braun- bzw. Steinkohle mit zusammen ca. 42 % die Kernenergie mit fast 28 %. Die Stromerzeugung basiert entsprechend Abbildung 6 zu etwa 70 % auf diesen Energieträgern. Der absehbare Ausbau regenerativer Energieträger wird den Anteil dargebotsabhängiger Energieformen steigern und erfordert neue Denkweisen, die über eine bedarfs- und zeitgerechte Steuerung der Energieerzeuger hinausgehend auch deren örtliche, zeitliche und witterungsabhängige Verfügbarkeit berücksichtigen müssen.



**Abbildung 6: Anteil der Energieträger an der Stromerzeugung in 2010**

Die Energieträger sind regional unterschiedlich verteilt. Kernenergie findet sich bevorzugt in der räumlichen Nähe zu den Ballungszentren Ruhrgebiet, Rhein-Main- bzw. Rhein-Neckar-Raum sowie Hamburg und München. Kohlekraftwerke sind in der Lausitz bzw. im Rheinland und im Saarland wichtige Energieträger, Wind als Energieträger wird insbesondere in den küstennahen Regionen genutzt. Abb. 7 zeigt deutlich, dass Kraftwerkstandorte bevorzugt in der Nähe von Lastschwerpunkten gewählt wurden. Strukturschwache Regionen und damit Regionen mit geringer Nachfrage verfügen nur über geringe Kraftwerksleistungen [4].



Kraftwerke ab 100 Megawatt			
	Kernergie	Raffineriegas	Überseekabel
	Steinkohle	Gichtgas	Amprion
	Braunkohle	Ölrückstand	TenneT
	Erdgas	Wind	380-kV-Leitung
	Heizöl	Wasser	380-kV-Leitung (geplant)
	Hüttengas	Biomasse	220-kV-Leitung
			50 Hertz
			EnBW

Kraftwerke in Betrieb, Stand August 2011  
 Deutsches Höchstspannungsnetz, Stand August 2011  
 Kontakt: joerg.schneider@uba.de  
 Datenquelle: Umweltbundesamt  
 Bearbeitung: FG 1.2.5 - Energieversorgung und -daten  
 FG 1.1.5 - SG UBA-Grafik, GISU

Abbildung 7: Energieträger und ihre regionale Verteilung an der Stromerzeugung in 2010

Die installierte Kraftwerksleistung konventioneller Kraftwerke betrug in 2010 ca. 135 GW, die maximal nachgefragte elektrische Leistung ca. 75 GW. Der scheinbar große Leistungsüberschuss relativiert sich unter Berücksichtigung einer nicht einsetzbaren Leistung in Höhe von 27 GW, von Ausfällen in Höhe von 5 GW, Revisionen in Höhe von 3 GW und einer Reserve für Systemdienstleistungen in Höhe von 7 GW auf einen Wert von ca. 93 GW. Dieser Wert wird als gesicherte Leistung bezeichnet.

### 3.2 Energieverteilung

Die Last- und Erzeugungsschwerpunkte werden künftig weiter voneinander entfernt sein. Dies bedingt u.a. die Notwendigkeit eines Netzausbaus, um die erzeugte Energie in die Lastschwerpunkte transportieren zu können.

Abbildung 8 zeigt den wachsenden Anteil regenerativer Energieträger bis zum Jahr 2030. Darin wird unterschieden zwischen deren installierter Leistung (oben) und dem zu erwartenden Energieertrag (unten). Der Ausbau der stark fluktuierenden Erzeugungskapazitäten führt zwar zu einem in Summe ansteigenden Energiebeitrag, letztlich aber auch zu einer erhöhten Belastung der Netze infolge kurzfristig stark veränderlicher Energieerzeugung.

Bereits in 2005 stellte die von der Energietechnischen Gesellschaft innerhalb des VDE durchgeführte Studie fest [5]: *„Die bisher übliche direkte Netzeinspeisung ohne Speicher führt schon heute zu erheblichen Schwierigkeiten beim Netzbetrieb, da weder der zeitliche Verlauf der Leistung noch die örtliche Verteilung der Einspeisestellen mit dem Netzbedarf übereinstimmen. Mit dem geplanten Ausbau der off-shore-Erzeugung auf 20 GW und mehr werden diese Probleme erheblich zunehmen.“*

Die DENA-Netzstudie [6] ergänzt dazu: *„Stromspeicher unterstützen die Integration erneuerbarer Energien, indem sie nicht integrierbare Erzeugungsleistung aufnehmen, zur Residuallastglättung beitragen und flexibel Regelenergie bereitstellen können. In diesem Sinn wird sich in Zukunft die Bedeutung von Speichern bei der Integration erneuerbarer Energien noch verstärken.“*

Zusammenfassend wird in der vorgenannten dena-Netzstudie festgestellt: *„Die Veränderungen im Energieversorgungssystem müssen auch Berücksichtigung in den energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen finden, die die Ausgestaltung der Energiemärkte in Deutschland und Europa bestimmen. In diesem Zusammenhang müssen die notwendigen Modifizierungen der Rahmenbedingungen zur technisch-wirtschaftlichen Gesamtoptimierung der Energieversorgung schnellstmöglich geprüft und entwickelt werden. Dies betrifft sowohl die Flexibilisierung der Nachfrageseite durch entsprechende Tarifsysteme (in Verbindung mit dem Einsatz von Smart Metering und Lastmanagement) und die dafür notwendige Anpassung der Stromnetze auf der Übertragungs- und Verteilenebene sowie die Schaffung von möglichst marktnahen*

Anreizsystemen für die Errichtung und den Einsatz von Energiespeichern, insbesondere im Hinblick auf eine netzentlastende Wirkung.“

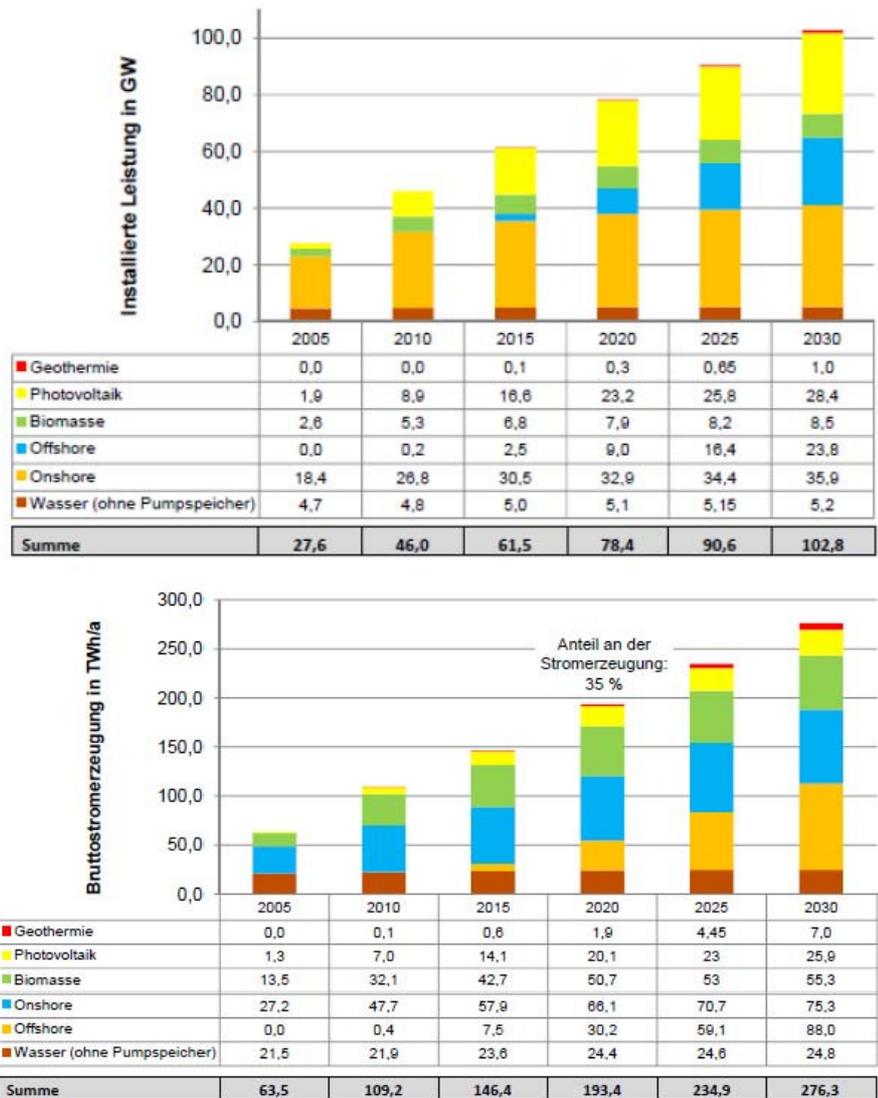


Abbildung 8: Installierte Leistung und Energiebeitrag regenerativer Energien bis 2030

Energiespeichern kommt somit im Hinblick auf die Netzentlastung eine wesentliche Bedeutung zu.

## 4 Alternative Möglichkeiten der Stromspeicherung

### 4.1 Speichertechnologien

In diesem Kapitel erfolgt eine Diskussion verschiedener Stromspeichertechnologien, deren Art der Speicherung nach Abbildung 9 eingeteilt werden kann. Neben der Einteilung der möglichen Art der Speicherung von elektrischer Energie werden die verschiedenen Technologien zusätzlich in Kurz- und Langzeitspeicher unterteilt, wie die Abbildung 10 zeigt.

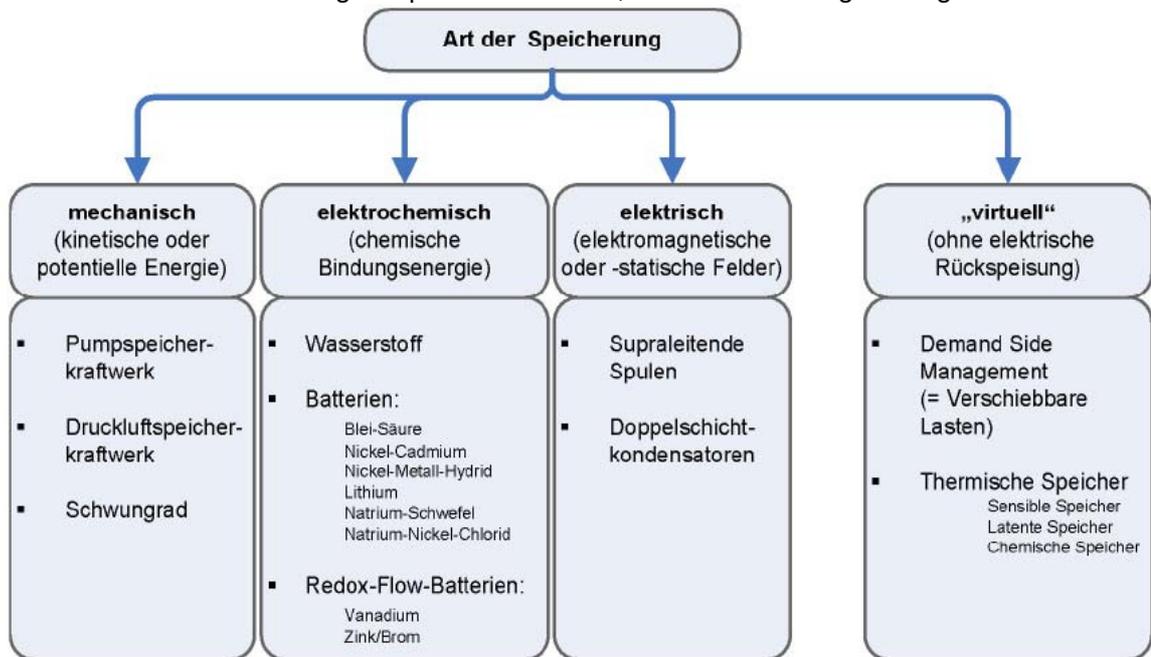


Abbildung 9: Möglichkeiten der Speicherung elektrischer Energie [7]



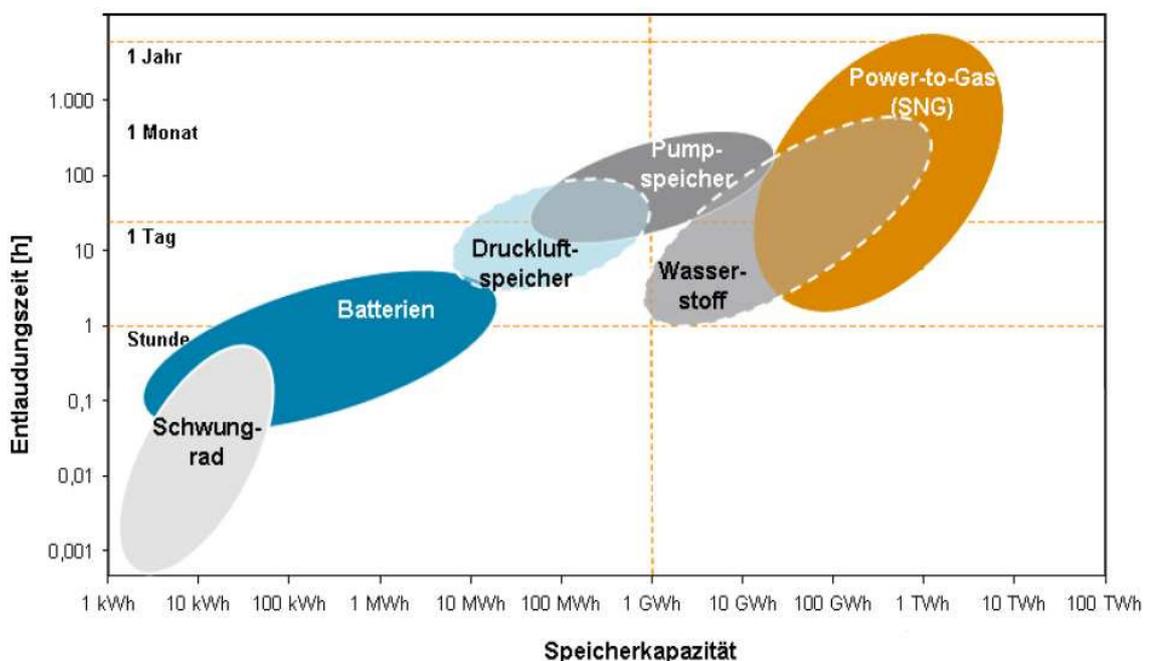
Abbildung 10: Einteilung von elektrischen und elektro-chemischen Energiespeichern

Bedeutung der Abkürzungen aus Abbildung 10:

- DSK: Doppelschicht Kondensator
- SMES: Supraleitende magnetische Energiespeicher
- NiCd: Nickel – Cadmium (Akkumulator)
- NiMH: Nickel – Metallhydrid (Akkumulator)
- Li: Lithium (Akkumulator)
- Pb: Blei (Akkumulator)
- NaNiCl: Natrium – Nickelchlorid (Akkumulator)
- NaS: Natrium – Schwefel (Akkumulator)

Aus Abbildung 10 ist zu erkennen, dass Kurzzeitspeicher dazu dienen in einer kurzen Zeitspanne eine hohe Leistung bereitzustellen. Sie tragen hierdurch zur Verbesserung der Netzqualität des Versorgungsnetzes bei. Ihr Lade- bzw. Entladedauer beträgt zwischen einigen Sekunden und einigen Minuten. Langzeitspeicher hingegen stellen den Bedarf an hoher Energiemenge sicher. Hierdurch eignen sich diese Technologien für das Energiemanagement. Die Lade – bzw. Entladedauer beträgt bei diesen Speichern mehrere Minuten bis zu einigen Stunden.

In Abbildung 11 werden zur Erläuterung die möglichen Kapazitäten sowie die Entladungszeit der einzelnen Speicherarten aufgezeigt. Hierdurch werden der Verwendungszweck und die mögliche Speicherdauer der einzelnen Speicherarten ersichtlich.



**Abbildung 11: Speicherkapazitäten und Reichweite/Speicherzeit verschiedener Speicherarten**

Aus Abbildung 11 ist ebenfalls ersichtlich, dass es mit neuen Speichertechnologien wie z. B. dem Wasserstoff und dem synthetischen Erdgas (SNG) theoretisch möglich ist, große Energiemengen über Monate zu speichern, und somit saisonale Schwankungen ausgleichen zu können.

Im Folgenden werden nur diejenigen Speichertechnologien näher untersucht und miteinander verglichen, die als Alternative oder Ergänzung zu dem geplanten Wasserspeicherkraftwerk eingesetzt werden können. Hierzu zählen im Wesentlichen die Speicherung von Druckluft, Wasserstoff und das synthetische Erdgas (SNG), eine Weiterverarbeitung des Wasserstoffes zu einer höherwertigen Kohlenwasserstoff-Verbindung. Als elektrochemische Energiespeicher kommen hierfür nur die Redox-Flow-Batterien in Frage.

## **4.2 Druckluftspeicher**

### **4.2.1 Funktionsweise**

Das Druckluftspeicherkraftwerk, oder auch CAES-Kraftwerk (Compressed Air Energy Storage) genannt, nutzt die Kompressibilität von Luft um elektrische Energie in Form von potenzieller Energie (Druckenergie) zu speichern. Der einzuspeichernde Strom, wird dazu genutzt, um über den Antrieb von Kompressoren ein Luftreservoir auf ein erhöhtes Druckniveau zu bringen. Für das Luftreservoir müssen große Speichervolumina zur Verfügung stehen, die z. B. durch ausgediente Salzkavernen bereitgestellt werden können. Die Ausspeicherung der komprimierten Luft erfolgt über die Entspannung in einer Turbine, mit Hilfe derer ein Generator angetrieben und elektrischer Strom erzeugt wird.

Bei der kommerziellen Ausführung diabater Druckluftspeicherkraftwerke muss die Kompressionswärme über Luftkühlung abgeführt und die bei der Luftexpansion benötigte Wärme wird über eine externe Wärmequelle, wie z. B. über eine Gasfeuerung, bereitgestellt werden.

Im Gegensatz zu dem diabaten Druckluftspeicherkraftwerk, bei dem Kompressionsabwärme nicht genutzt wird, wird bei dem adiabaten Druckluftspeicherkraftwerk (ACAES Kraftwerk) die abgeführte Wärme bei der Kompression in einem Wärmespeicher zwischengespeichert. Diese Wärme steht für die spätere Wärmezufuhr bei der Entspannung zur Verfügung und es kann somit auf eine Zusatzbefuerung verzichtet werden. In diesem Fall muss aber zusätzlich zu dem Druckluftspeicher ein Wärmespeicher bereitgestellt werden.

Druckluftspeicherkraftwerke, deren Leistungsbereich und Betriebscharakteristik dem Wasserspeicherkraftwerk sehr ähnlich sind, können zur Bereitstellung von Spitzenlaststrom und zur Speicherung von elektrischer Überschussenergie aus erneuerbaren Energiequellen eingesetzt werden. Durch ihre schnelle Reaktionszeit können sie positive bzw. negative Regelleistung bereitstellen und somit am Minutenreservemarkt teilnehmen. Sie sind schwarzstartfähig und können zur Verbesserung der Netzqualität ebenfalls Blindleistung bereitstellen. Durch die höheren Investitionskosten im Vergleich zu Wasserspeicherkraftwerken und wegen des mögli-

chen Druckverlustes eignen sich die Druckluftspeicherkraftwerke nicht für längerfristige Speicherung. Sie werden für den Spitzen- und Tagesausgleich eingesetzt.

#### **4.2.2 Stand der Technik**

Die diabaten Druckluftspeicherkraftwerke sind heutiger Stand der Technik. Es sind weltweit zwei CAES-Kraftwerke in Betrieb, wovon eines sich in Deutschland, in Huntorf, und ein Zweites in den USA, in McIntosh, Alabama befindet.

Die Nennleistung der Kraftwerke beträgt zwischen 100 MW und 400 MW pro Einheit (Motor mit Kompressor und Turbine mit Generator). Das Speichervermögen wird über das Druckniveau sowie durch das Volumen der Speicherkaverne bestimmt. Ihr Wirkungsgrad beträgt zwischen 40 % und 55 %, dies ist durch die erforderliche Zusatzbefuerung bedingt. Eine Weiterentwicklung der Technik zielt hier auf die Erhöhung des Wirkungsgrades hin, durch den Einsatz von Abgasrekuperatoren zur Vorwärmung der Entspannungsluft sowie durch die Optimierung des Turbinenstranges mit höheren Temperaturen und Drücken. Jedoch wird nach Angaben des Fraunhofer-Instituts ISI ein Wirkungsgrad höher als 60 % nicht erwartet.

Im Vergleich zu den CAES-Kraftwerken wurden bisher noch keine adiabaten Druckluftspeicherkraftwerke errichtet. Die nötige Technik zur Errichtung adiabater Druckluftspeicher gilt als weitgehend vorhanden, jedoch sind beim Kompressor aber auch im Bereich der Wärmespeicher und der Turbine noch Teil- und Weiterentwicklungen notwendig, um die Nutzung und Einbindung der Kompressionswärme zu optimieren. Der Wirkungsgrad beträgt bei adiabaten Druckluftspeichern 70 % und höher.

In dem Projekt ADELE, das seit 2010 gestartet wurde, haben sich RWE Power, General Electric, Züblin und das DLR der Aufgabe angenommen ein adiabates Druckluftspeicherkraftwerk zu errichten. Das Projekt umfasst eine Speicherkapazität von 360 MWh und eine Leistung von 90 MW. Nach DENA soll mit dem Bau der Demonstrationsanlage 2013 begonnen werden. Mit der Inbetriebnahme ist frühestens 2016 zu rechnen.

### **4.3 Wasserstoffspeicher**

#### **4.3.1 Funktionsweise**

Zurzeit entsteht der größte Teil der weltweiten Wasserstoffproduktion als Neben- oder Koppelprodukt in der chemischen Industrie. Wird jedoch der Wasserstoff als Speichermedium der elektrischen Überschussenergie verwendet, so kommt ausschließlich die Wasserelektrolyse in Frage. Bei der Wasserelektrolyse erfolgt die Zersetzung des Wassermoleküls ( $H_2O$ ) in ein Wasserstoffmolekül ( $H_2$ ) und ein Sauerstoffmolekül ( $O_2$ ) durch elektrischen Gleichstrom. Dieser kann über die elektrische Überschussenergie bereitgestellt werden. An der Kathode entsteht der Wasserstoff und an der Anode der Sauerstoff. Der dazu erforderliche Ladungsausgleich erfolgt in Form der Ionenleitung über einen Elektrolyten. Zwischen den Reaktions-

räumen der Elektroden ist ein Separator angeordnet, der die Trennung der Produktgase H<sub>2</sub> und O<sub>2</sub> sicherstellt. Durch die Wiederverstromung kann auf diese Weise auch Regelenergie bereitgestellt werden. Als Alternative zur Wiederverstromung könnte in Zukunft Wasserstoff als Kraftstoff im Verkehrssektor verwendet werden. Hierdurch könnte ein neuer Markt für die Nutzung von elektrischer Überschussenergie aus erneuerbaren Energien eröffnet werden.

#### 4.3.2 Stand der Technik

Die am weitesten verbreitete Elektrolyse-Technologie ist die alkalische Elektrolyse, sie ist Stand der Technik. Daneben befinden sich die PEM-Elektrolyse und die Hochtemperaturelektrolyse im Entwicklungs- bzw. im Laborstadium. Der Wirkungsgrad der alkalischen Elektrolyse beträgt heute zwischen 60 % und 70 %. Die heutigen Entwicklungsarbeiten zielen auf die Erhöhung des Wirkungsgrades sowie auf die Kopplung der Elektrolyse mit variablem Stromangebot hin. Der Elektrolysestrom und die Zellspannung können der von fluktuierenden Energieträgern vorgegebenen Leistungskurven verzögerungsfrei folgen. Allerdings sind die Zeitkonstanten von nachgeschalteten Systemkomponenten, wie z. B. der Laugenpumpe oder dem Druckregler im Vergleich zu den chemischen Vorgängen wesentlich höher. Der heutige Arbeitsbereich wird bei der alkalischen Elektrolyse mit einem Teillastbereich von 20 – 80 % angegeben. Dieser muss jedoch noch verbessert werden. Zielgröße ist hierbei ein Teillastbereich zwischen 0 – 100 %, der heute schon bei der PEM – Elektrolyse erreicht wird. Die PEM – Elektrolyse wird von ihrer Leistungsgröße her beschränkt bleiben, da die Herstellung von großflächigen Membranelektroden-Einheiten noch nicht absehbar ist. Daher wird angenommen, dass die alkalische Elektrolyse als großtechnische Elektrolyse in einem Wind-Wasserstoffsystem Anwendung findet.

Derzeit wird in Prenzlau bei Berlin das erste Hybridkraftwerk in Deutschland gebaut. Die Firmen ENERTAG A. G., die TOTAL Deutschland GmbH und Vattenfall Europe Innovation GmbH haben ein Pilotprojekt begonnen, das erstmalig die Vernetzung der Energiequellen Wind, Wasserstoff und Biogas in der Praxis in einem Verbund zusammenschließt. Ziel der Kooperation ist es, die Machbarkeit einer sicheren und nachhaltigen Energieversorgung und Speicherung mit einem Mix aus rein erneuerbaren Energiequellen im Praxistest nachzuweisen.

Durch Zumischungsgrenze von 5 Vol.-% nach den DVGW -Arbeitsblättern G260, G262 und G685, ist heute die Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz zur Speicherung begrenzt. Zudem besteht für die reine Wasserstoffverbrennung in Gasturbinen von großen Kraftwerken noch erheblicher Entwicklungsbedarf. Für kleinere Anwendungen könnte in Zukunft die Brennstoffzelle elektrische Energie aus Wasserstoff herstellen, jedoch sind diese ebenfalls noch in der Forschung und Entwicklung. Abschließend lässt sich feststellen, dass Wasserstoff als Speichermedium für die Langzeitspeicherung erst mittel- bis langfristig einsetzbar ist.

## 4.4 Synthetische Erdgaserzeugung (SNG)

### 4.4.1 Funktionsweise

Die synthetische Erdgaserzeugung (SNG, synthetic natural gas) ist im Prinzip eine Weiterverarbeitung von dem über die Wasserelektrolyse erzeugten Wasserstoff zu einer höherwertigen Kohlenwasserstoff-Verbindung. Der Gleichstrom für die Herstellung von Wasserstoff über die Elektrolyse, kommt aus der elektrischen Überschussenergie z.B. aus den erneuerbaren Energiequellen. Der hergestellte Wasserstoff kann optional in einem Wasserstofftank bzw. in einer Salzkaverne zwischengespeichert werden oder direkt bis zur Zumischungsgrenze in das Erdgasnetz eingeleitet werden. Bei Überschuss an Wasserstoff wird dieser der Methanisierung zugeführt. Über die Zuführung von Kohlenstoffmonoxid (CO) bzw. Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) erfolgt bei der Methanisierung durch den Sabatier – Prozesse die Herstellung von CH<sub>4</sub> (Methan). Bei der Methanisierung reagiert Wasserstoff mit CO<sub>2</sub> bzw. CO über einem Katalysator, unter einer stark exothermen Reaktion, d. h. unter hoher Wärmeabgabe, zu Methan und Wasser.

Das über die Methanisierung hergestellte Erdgas kann anschließend über eine Verbindung in das bestehende Erdgasnetz eingeleitet werden. Hierbei gibt es im Gegensatz zum reinen Wasserstoff keine Zumischungsgrenze. Das SNG besitzt wie Wasserstoff eine hohe volumetrische Energiedichte, und kann somit ebenfalls als Langzeitspeichermedium eingesetzt werden. Die Wiederverstromung erfolgt bei SNG ebenso wie beim Wasserstoff in GuD – Kraftwerken, Gasturbinen oder Gasmotoren, wobei für das SNG die heutige verfügbare Technik verwendet werden kann.

Zusätzlich zu der Nutzung von SNG als Stromspeichermedium, kann dieses im Wärmemarkt sowie als Kraftstoff für Mobilitätszwecke verwendet werden. Das SNG kann ohne Probleme als Brennstoff für Gaskessel oder als Kraftstoff für Erdgas-Autos eingesetzt werden.

### 4.4.2 Stand der Technik

Die einzelnen Techniken stehen heute schon zur Verfügung, wobei der Zusammenschluss der einzelnen vorhandenen Technologien noch im Demonstrationsstadium ist. Der Wirkungsgrad für die alkalische Elektrolyse beträgt heute zwischen 60 – 70 %. In Laborversuchen wurden bei großtechnisch eingesetzten Druckelektrolysen Wirkungsgrade von bis zu 80 % erreicht. Die Methanisierung wurde in den 70er Jahren zur industriellen Reife hin entwickelt, wodurch heute schon Wirkungsgrade zwischen 75 – 85 % erreicht werden. Durch die Nutzung der Reaktionswärme, die bei der Methanisierung anfällt, z. B. durch ORC-Anlagen kann der gesamte Wirkungsgrad zur Herstellung von SNG erhöht werden. Heute beträgt dieser ca. 50 %. Durch die Wirkungsgraderhöhung der alkalischen Druckelektrolyse, sind Wirkungsgrade von bis zu 65% möglich.

Soll das erzeugte synthetische Erdgas wieder verstromt werden, so kommen nur Gas- und Dampfturbinenkraftwerke (GuD-Kraftwerk), Gasturbinen (GT) sowie Gas-Blockheizkraftwerke

(Gas-BHKW) in Betracht. Bei Anwendung eines GuD-Kraftwerks beträgt der gesamtelektrische Systemwirkungsgrad zwischen 35 – 40 %. Bei Anwendung eines GasBHKW mit Kraftwärmekopplung (KWK) können elektrische Systemwirkungsgrade zwischen 50 – 60 % erreicht werden.

In einem Pilotprojekt der Firma juwi und Solar Fuel wird die Technologie in einer 25kW-Anlage in der Morbacher Energielandschaft demonstriert. Die entwickelte Technologie stammt aus den Forschungsinstituten Zentrum Sonnenenergie und Wasserstoff – Forschung (ZSW) und dem Fraunhofer – Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES). Des Weiteren wird für 2012 eine weitere Anlage geplant, mit der 10-fachen Leistung der Pilotanlage (250 kW Anschlussleistung). Für 2013 wird die Technologie dann für die industrielle Nutzung geplant. Eine 6,3 MW-Anlage soll aus überschüssiger elektrischer Windenergie, Kraftstoff für PKWs erzeugen [8].

## **4.5 Elektrochemische Speicher (Batteriesysteme)**

### **4.5.1 Funktionsweise der Redox-Flow – Batterie**

Die Redox-Flow-Batterie (RFB) nutzt wie andere Batteriesysteme die chemische Bindungsenergie zur Speicherung elektrischer Energie. Das Besondere an diesem Batteriesystem ist die Speicherung durch flüssige Elektrolyte, in Form gelöster Salze und die Trennung von Wandlungseinheit und Speichereinheit. Die Elektrolyte werden in Behältern gelagert und bei Bedarf einer zentralen Reaktionseinheit für den Lade- bzw. Entladevorgang mittels Pumpen zugeführt. Die Wandlungseinheit besteht aus den zwei energiespeichernden Elektrolyten, zwischen denen ein Elektronenaustausch durch eine Membran an Elektroden erfolgt. Durch die Trennung der Speichereinheit vom Leistungsteil kann die Leistung des Systems und die Speicherkapazität unabhängig voneinander dimensioniert werden. Dies ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber den konventionellen Batteriesystemen, bei denen die Elektrode und das Elektrolyt eine Einheit bilden. Durch ihre schnelle Reaktionszeit können Redox-Flow-Batterien für den Einsatz von Primär- und Sekundärregelenergie eingesetzt werden. Durch die Trennung der Speichereinheit und der Wandlereinheit kann die RFB in vielen Bereichen zur elektrischen Energiespeicherung und zur Verbesserung der Netzqualität verwendet werden, da die Leistungsgröße sowie die Speicherkapazität individuell bestimmt werden kann.

### **4.5.2 Stand der Technik**

Die Redox-Flow-Batterien wurden bereits in den 70er und 80er Jahren intensiv für stationäre Anwendung erforscht. Materialprobleme führten seiner Zeit zu Verzögerungen in der Entwicklung. Jedoch ist das Interesse an RFB in den letzten Jahren wieder deutlich gestiegen. Heute ist die Technologie in kleiner Bauform kurz vor der Marktreife. In Japan sind einige Anlagen bereits in Betrieb. Des Weiteren sind in Amerika größere Projekte in Planung, sodass Erfahrungen aus großtechnischen Anlagen bald zur Verfügung stehen dürften. Heute wird vorrangig die RFB auf Basis von Vanadium eingesetzt. Bei großtechnischen Prototypen wurden Wir-

kungsgrade zwischen 80 – 85% demonstriert. Unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs für die Pumpen und sonstiger Elektronik wird von Gesamtwirkungsgraden von bis 75% ausgegangen. Neben Vanadium werden noch die folgenden wichtige Kombinationen von Salzen erprobt und untersucht: Fe/Cr, Br<sub>2</sub>/Cr und NaBr+Na<sub>2</sub>S<sub>4</sub>/Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>+NaBr<sub>3</sub>.

#### **4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse der Speichertechnologien**

Im Ergebnis der o.a. Ausführungen lässt sich festhalten, dass derzeit lediglich die Wasserspeicherkraftwerke und die diabaten Druckluftspeicher als kommerziell verfügbare Speichertechnologien für größere Energiemengen zur Verfügung stehen. Dabei weisen die diabate Druckluftspeicher deutlich schlechtere Wirkungsgrade auf. Alle andere Speichertechnologien vergleichbarer Dimension sind noch im Entwicklungsstadium und noch nicht großtechnisch einsetzbar.

### **5 Einordnung der Speichertechnologien zur Bereitstellung von Regelenergie für erneuerbare Energien**

#### **5.1 Bedarf an Regelenergie**

Die Speicherfähigkeit von Elektrizität ist nur begrenzt möglich. Aus diesem Grund müssen auftretende Differenzen zwischen der Einspeisung von Elektrizität und der Nachfrage durch die Kunden kurzfristig ausgeglichen werden. Dieser Ausgleichsbedarf wird als Regelenergie bezeichnet. Der Ausgleichsbedarf wird durch Primärregelenergie, Sekundärregelenergie und die Minutenreserve bereitgestellt.

#### **5.2 Bewertung der möglichen Systeme der Stromspeicherung im Hinblick auf die Bereitstellung von Regelenergie**

Für den Umbau der Elektrizitätswirtschaft sind Energiespeicher erforderlich, die im Kraftwerksmaßstab hohe Leistungen im Megawatt-Bereich, hohe Energien im Bereich von GWh und große Entladezeitkonstanten von Wochen oder Monaten aufweisen. Gegenwärtig sind diesbezüglich Druckluftspeicherkraftwerke, Wasserspeicherkraftwerke und Wasserstoffspeicher als grundsätzlich in Frage kommende Technologien einzuschätzen.

Durchgeführte Analysen [9] im Übertragungsnetz der E.ON – Netz AG Anfang 2007 führten zur Schlussfolgerung, dass der Einsatz von Wasserspeicher- und Druckluftspeicher-Kraftwerken sich in erster Linie auf den Ausgleich von kurzzeitigen Prognoseabweichungen bzw. die Bereitstellung von Regelenergie beschränken werde. So sei für einen längerfristigen Ausgleich der fluktuierenden Windenergie deren Kapazität nicht ausreichend.

Dagegen würden Wasserstoffspeicher im geologischen Untergrund bei gleichem geometrischem Volumen einen Ausgleich über erheblich längere Zeiträume ermöglichen. Die technische Realisierbarkeit von Wasserstoffspeichern ist jedoch im Vergleich zu Wasserspeicherkraftwerken ungünstiger einzuschätzen. Nach dieser Darstellung wären Wasserspeicher und Druckluftspeicher diejenigen Speichertechnologien, denen eine kurzfristige Realisierbarkeit beigelegt ist.

## 6 Fazit

Infolge des Umbaus der Energieversorgung wird der Anteil der Erneuerbaren Energien und hierbei vor allem die Erzeugung aus Wind und Photovoltaik in den nächsten Jahren dramatisch zunehmen. Um den Ausgleich zwischen diese zeitlich variable Energieerzeugung in das deutsche Energieversorgungssystem einzubauen, muss ein Ausgleich zwischen den Zeiten mit zu viel und Zeiten mit zu wenig Energieerzeugung erfolgen. Dies kann nur mit Energiespeichern erfolgen.

Die technischen Möglichkeiten der Energiespeicherung sind vielfältig, allerdings stehen derzeit nur zwei Technologien in der großtechnischen Leistungsklasse bereits kommerziell zur Verfügung. Dies sind zum einen die diabaten Druckluftspeicher, von denen es weltweit nur 2 Stück gibt und zum anderen die Wasserspeicherkraftwerke. Vor dem Hintergrund des Wirkungsgrades von nahezu 80 % sind hier die Wasserspeicherkraftwerke zu bevorzugen. Im Hinblick auf die Erfordernis des massiven Ausbaus der Speichermöglichkeiten in den nächsten 10 Jahren, müssen die verschiedenen Technologien zügig voran getrieben werden. Für eine Umsetzung im großtechnischen Maßstab stehen dabei kurzfristig aber nur Wasserspeicherkraftwerke zur Verfügung.

Erstellt: November 2011

Björnsen Beratende Ingenieure