

## Erneuerbare Energien: Überschüsse sind ein lösbares Problem



**Bericht** von Wolf-Peter Schill

Integration von Wind- und Solarenergie:  
Flexibles Stromsystem verringert Überschüsse 3

**Interview** mit Wolf-Peter Schill

»Langfristig werden Speicher wichtig« 15

**Bericht** von Dietmar Edler und Alexander Eickelpasch

Die Industrie – ein wichtiger Treiber der Nachfrage  
nach Dienstleistungen 16

**Am aktuellen Rand** Kommentar von Gert G. Wagner

Nach dem Zensus ist vor dem Zensus 24



DIW Berlin – Deutsches Institut  
für Wirtschaftsforschung e. V.  
Mohrenstraße 58, 10117 Berlin  
T +49 30 897 89 -0  
F +49 30 897 89 -200  
80. Jahrgang  
21. August 2013

#### Herausgeber

Prof. Dr. Pio Baake  
Prof. Dr. Tomaso Duso  
Dr. Ferdinand Fichtner  
Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.  
Prof. Dr. Peter Haan  
Prof. Dr. Claudia Kemfert  
Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.  
Dr. Kati Schindler  
Prof. Dr. Jürgen Schupp  
Prof. Dr. C. Katharina Spieß  
Prof. Dr. Gert G. Wagner

#### Chefredaktion

Sabine Fiedler  
Dr. Kurt Geppert

#### Redaktion

Renate Bogdanovic  
Sebastian Kollmann  
Dr. Richard Ochmann  
Dr. Wolf-Peter Schill

#### Lektorat

Prof. Karsten Neuhoff, Ph.D.  
Dr. Vanessa von Schlippenbach

#### Textdokumentation

Lana Stille

#### Pressestelle

Renate Bogdanovic  
Tel. +49-30-89789-249  
presse@diw.de

#### Vertrieb

DIW Berlin Leserservice  
Postfach 74  
77649 Offenburg  
leserservice@diw.de  
Tel. (01806) 14 00 50 25  
20 Cent pro Anruf  
ISSN 0012-1304

#### Gestaltung

Edenspiekermann

#### Satz

eScriptum GmbH & Co KG, Berlin

#### Druck

USE gGmbH, Berlin

Nachdruck und sonstige Verbreitung –  
auch auszugsweise – nur mit Quellen-  
angabe und unter Zusendung eines  
Belegexemplars an die Serviceabteilung  
Kommunikation des DIW Berlin  
(kundenservice@diw.de) zulässig.

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier.



Jede Woche liefert der Wochenbericht einen unabhängigen Blick auf die Wirtschaftsentwicklung in Deutschland und der Welt. Der Wochenbericht richtet sich an Führungskräfte in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft – mit Informationen und Analysen aus erster Hand.

Wenn Sie sich für ein Abonnement interessieren, können Sie zwischen den folgenden Optionen wählen:

**Jahresabo zum Vorzugspreis:** Der Wochenbericht zum Preis von 179,90 Euro im Jahr (inkl. MwSt. und Versand), gegenüber dem Einzelpreis von 7 Euro sparen Sie damit mehr als 40 Prozent.

**Studenten-Abo:** Studenten können den Wochenbericht bereits zum Preis von 49,90 Euro im Jahr abonnieren.

**Probe-Abo:** Sie möchten den Wochenbericht erst kennenlernen? Dann testen Sie sechs Hefte für nur 14,90 Euro.

**Bestellungen** richten Sie bitte an den

DIW Berlin Leserservice  
Postfach 74, 77649 Offenburg  
Tel. (01806) 14 00 50 25,  
20 Cent/Anruf aus dem dt. Festnetz,  
60 Cent maximal/Anruf aus dem Mobilnetz  
leserservice@diw.de

Abbestellungen von Abonnements  
spätestens sechs Wochen vor Laufzeitende

#### Weitere Fragen?

DIW Kundenservice:

Telefon (030) 89789-245  
kundenservice@diw.de

## RÜCKBLENDE: IM WOCHENBERICHT VOR 50 JAHREN

### Der Beitrag des Bergbaus zur wirtschaftlichen Entwicklung Israels

Den jungen Staat Israel wird man schwerlich zu den eigentlichen Bergbauländern rechnen können, d. h. zu den Ländern, in deren Wirtschaftslage der Bergbau eine wesentliche Rolle spielt. Immerhin haben die eifrigen Bemühungen der israelischen Wissenschaftler und Techniker in den letzten Jahren erwiesen, daß Israel der mineralischen Bodenschätze keineswegs völlig ermangelt; die rasch und sorgfältig eingeleitete Erschließung läßt schon jetzt erkennen, daß der Bergbau berufen ist, einen Beitrag zur Lösung der beiden wirtschaftlichen Grundprobleme des Landes zu liefern: Der Beschäftigung der immer noch wachsenden Zahl der Einwanderer und der Verringerung des bedenklichen Leistungsbilanzdefizits.

Auf einer Fläche von 21 000 km<sup>2</sup>, von denen einstweilen kaum ein Viertel als Kulturland benutzbar ist, leben 2,3 Mill. Menschen, die jährlich 20 000 Zuwanderer aufnehmen müssen; die Bevölkerungsdichte ist schon jetzt siebenmal höher als im benachbarten Jordanien. Die Wareneinfuhr erreichte 1961 517 Mill. \$, die Ausfuhr dagegen nur 245 Mill. \$, und die Differenz, die noch durch ein Defizit in der Dienstleistungsbilanz vergrößert wird, kann lediglich durch die in ihrer Dauer unsichere Nettokapitaleinfuhr ausgeglichen werden.

Im Einfuhrbedarf an mineralischen Rohstoffen nimmt vor allen Dingen Mineralöl einen wichtigen Raum ein. Die rasch wachsende industrielle Erzeugung bedarf ferner auch erheblicher Mengen von Metallen und Industriemineralien der verschiedensten Art. Die mineralische Rohstoffbilanz ist infolgedessen für Israel einstweilen in erheblichem Ausmaß passiv. Einen gewissen Ausgleich schafft allerdings der stofflich hier einzubeziehende Veredlungsverkehr in Diamanten; Israel hat 1961 Rohdiamanten im Werte von 51 Mill. \$ ein- und geschliffene Diamanten im Werte von 70 Mill. \$ ausgeführt.

Wochenbericht Nr. 34 vom 23. August 1963

# Integration von Wind- und Solarenergie: Flexibles Stromsystem verringert Überschüsse

Von Wolf-Peter Schill

Die Umsetzung der Energiewende erfordert einen weiteren Ausbau von Windkraft und Photovoltaik in Deutschland. Die Stromerzeugungsmöglichkeiten beider Technologien schwanken stark je nach Wetterlage, Tages- und Jahreszeit. So kann es dazu kommen, dass temporär mehr Strom produziert wird, als zu diesem Zeitpunkt verbraucht werden kann. Das DIW Berlin hat anhand ausgewählter Zukunftsszenarien untersucht, wie groß diese Überschüsse sein werden, und wie mit ihnen umgegangen werden sollte.

Die Simulationen zeigen, dass eine Flexibilisierung des Stromsystems die Entstehung von Überschüssen deutlich verringert. Derzeit bleiben viele Kraftwerke aus technischen, ökonomischen und systembedingten Gründen auch in Schwachlastphasen am Netz. Durch die Abschaffung dieses *Must-Run*-Sockels und eine flexible Biomasseverstromung könnte der Stromüberschuss aus Wind- und Solarenergie im Jahr 2032 von über 18 Prozent auf unter zwei Prozent der möglichen Jahreserzeugung gesenkt werden. Die Flexibilisierung des Kraftwerksbetriebs sollte daher ein wichtiges Ziel der deutschen Energiepolitik sein. Darüber hinaus ließe sich das System durch den Export von Stromüberschüssen und andere Maßnahmen weiter flexibilisieren. Eine Aufnahme der gesamten verbleibenden Überschüsse durch zusätzliche Speicher ist jedoch ökonomisch nicht sinnvoll. Stattdessen können die größten Erzeugungsspitzen *abgeregelt* werden. Die Mengen wären in einem flexiblen System relativ gering: Im Jahr 2032 müssten nicht einmal zwei Prozent der potenziellen Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie verworfen werden.

Mittel- und langfristig werden verschiedene Energiespeicher nicht nur zur Aufnahme von Überschüssen, sondern auch zur Spitzenlastdeckung, zur Flexibilisierung der thermischen Stromerzeugung und zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen benötigt. Dazu gehören nicht nur Stromspeicher, sondern auch Wärme- und Gasspeicher. Aus energiepolitischer Sicht ist daher die weitere Förderung von Forschung und Entwicklung in diesen Bereichen geboten.

Im Jahr 2012 lag der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung bei knapp 23 Prozent des Bruttostromverbrauchs. Dem Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 zufolge soll dieser Anteil bis zum Jahr 2020 auf mindestens 35 Prozent steigen. Danach soll er bis 2030 auf 50 Prozent und bis 2050 auf 80 Prozent anwachsen.<sup>1</sup> Aufgrund begrenzter technisch-ökonomischer Ausbaupotentiale für Wasserkraft und Biomasse in Deutschland muss zur Erreichung dieser Ziele insbesondere die Stromerzeugung aus Windkraft und Photovoltaik (PV) weiter ausgebaut werden.

Wind- und Sonnenkraft unterscheiden sich von konventionellen Kraftwerken in Hinblick auf die Regelbarkeit ihrer Stromerzeugung, da ihre Produktionsmöglichkeiten starken wetterbedingten sowie tages- und jahreszeitlichen Schwankungen unterliegen.<sup>2</sup> Während die Abregelung erneuerbarer Stromerzeugung (auch Einspeisemanagement genannt) grundsätzlich immer möglich ist, kann ihre maximale Produktion nicht über das zum jeweiligen Zeitpunkt gegebene natürliche Wind- beziehungsweise Sonnenenergieangebot hinaus ausgeweitet werden. So werden bei einem weiteren Ausbau von Windkraft und Photovoltaik zunehmend Ausgleichsmaßnahmen beziehungsweise Flexibilitätsoptionen im Stromsystem erforderlich, damit Stromerzeugung und Nachfrage jederzeit in Einklang gebracht werden können.

Einerseits muss sichergestellt werden, dass die Last auch im Fall geringer Einspeisung aus erneuerbaren

<sup>1</sup> Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2010): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 28. September 2010. Das Energiekonzept wurde ergänzt durch die Beschlüsse des Energiepakets vom 6. Juni 2011 zum vollständigen Ausstieg aus der Atomkraft bis 2022.

<sup>2</sup> Weitere Merkmale der Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie sind regelmäßige Abweichungen der tatsächlichen Stromerzeugung von Prognosen und eine geographische Verteilung der Stromerzeuger, die nur teilweise der historisch gewachsenen Netzstruktur entspricht.

Energien jederzeit gedeckt werden kann;<sup>3</sup> andererseits sollten temporäre Stromüberschüsse aus erneuerbaren Energien soweit möglich vermieden oder sinnvoll genutzt werden. Zur Vermeidung von Überschüssen trägt insbesondere die Flexibilisierung der Stromerzeugung aus thermischen Kraftwerken bei.<sup>4</sup> Derzeit besteht in Deutschland eine systemweite Mindesterzeugung (sogenannter Must-Run) konventioneller Kraftwerke in der Größenordnung von 20 GW. Dieser Must-Run ist einerseits auf die Bereitstellung von Systemdienstleistungen zurückzuführen. Dazu gehört insbesondere die Vorhaltung von Regelleistung zur Stabilisierung der Netzfrequenz im Fall ungeplanter Erzeugungs- oder Nachfrageschwankungen. Andererseits können bei wärmegeführter Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung gewisse Mindesterzeugungsniveaus erforderlich sein. Darüber hinaus können Betreiber unflexibler Kraftwerksblöcke aufgrund hoher anfahrbedingter Kosten in Verbindung mit technischen Mindestlasten ökonomische Anreize zur überhöhten Stromerzeugung in Schwachlastphasen haben. Neben einer Verringerung dieses technischen oder ökonomischen Must-Runs konventioneller Kraftwerke kann auch eine Flexibilisierung der Biomasseverstromung zu einer Verringerung der Stromüberschüsse führen. In der Vergangenheit wurden die meisten Biogas- und Biomasseanlagen mit dem Ziel einer möglichst hohen Auslastung geplant und betrieben. Anreize zur bedarfsgerechten Stromerzeugung solcher Anlagen ergeben sich erst seit kurzem durch die sogenannte Flexibilitätprämie und durch die Direktvermarktung im Rahmen der jüngsten Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG).

Weitere Flexibilitätsoptionen sind der weiträumige Übertragungsnetzausbau, der die Nutzung der Überschüsse in anderen Regionen erlaubt, in denen zum jeweiligen Zeitpunkt beispielsweise ein geringeres Windangebot herrscht, sowie nachfrageseitige Maßnahmen insbesondere im Wärmebereich, beispielsweise durch Wärmepumpen.<sup>5</sup> Die verbleibenden Überschüsse kön-

nen durch verschiedene Arten von Stromspeichern<sup>6</sup> aufgenommen und zu einem späteren Zeitpunkt genutzt werden (Kasten 1).

Als weitere Option verbleibt die temporäre Abregelung erneuerbarer Überschusserzeugung. Sie kann aus Systemkostensicht optimal sein, wenn keine ökonomisch sinnvollen Möglichkeiten zur Nutzung des Stroms bestehen. Aus umweltpolitischen oder gesellschaftlichen Gründen kann die Abregelung erneuerbarer Stromerzeuger aber problematisch sein. So kann das Verwerfen CO<sub>2</sub>-freier Elektrizität aus klimapolitischer Perspektive kritisiert werden, insbesondere wenn zur gleichen Zeit noch Strom durch Kohlekraftwerke erzeugt wird. Zudem können zukünftige Abregelungen die Rentabilität erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen verringern. Unsicherheit über die mögliche Größenordnung der Abregelungen würde die Finanzierungskosten erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen erhöhen, sofern die Einnahmeausfälle nicht kompensiert werden. Umgekehrt sind Kompensationszahlungen für die Nicht-Produktion politisch schwer vermittelbar. In Deutschland wird die abgeregelte Energie im Rahmen des EEG derzeit grundsätzlich kompensiert.<sup>7</sup>

### Simulationen zeigen: Stromüberschüsse insgesamt gering

Im Rahmen eines Forschungsprojekts hat das DIW Berlin für ausgewählte Zukunftsszenarien eine Simulation der Residuallast vorgenommen.<sup>8</sup> Dazu wurde von der stündlichen Stromnachfrage die durch Solar- und Windenergie erzeugte Strommenge abgezogen. Je nach Szenario wurden auch die Must-Run-Erzeugung konventioneller Kraftwerke sowie unflexible Biomasseverstromung berücksichtigt. Somit verbleibt die Residuallast als die Strommenge, die durch andere, regelbare Stromerzeuger gedeckt werden muss.

Es zeigt sich, dass die Leistung, die Häufigkeit und die Gesamtenergie der zu erwartenden temporären Strom-

**3** Im Folgenden liegt der Fokus der Betrachtung auf den Überschussituationen, da in den hier untersuchten Szenarien keine Spitzenlastdeckungsprobleme auftreten. Zur Debatte um die Vorhaltung ausreichender gesicherter Erzeugungskapazitäten vergleiche EWI (2012): Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign. Endbericht. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, März 2012; sowie Öko-Institut, LBD Beratungsgesellschaft und Raue LLP (2012): Fokussierte Kapazitätsmärkte. Ein neues Marktdesign für den Übergang zu einem neuen Energiesystem. Berlin, 8. Oktober 2012.

**4** Vgl. VDE (2012): Erneuerbare Energie braucht flexible Kraftwerke – Szenarien bis 2020. ETG-Task Force Flexibilisierung des Kraftwerksparks, Frankfurt.

**5** Vgl. VDE (2012): Ein notwendiger Baustein der Energiewende: Demand Side Integration. Lastverschiebungspotenziale in Deutschland. ETG-Task Force Demand Side Management, Frankfurt.

**6** Vgl. VDE (2012): Energiespeicher für die Energiewende. Speicherungsbedarf und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz für Szenarien bis 2050. ETG-Task Force Energiespeicherung, Frankfurt; sowie BET (2013): Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus Erneuerbaren Energien. Studie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie, BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH, Bochum, April 2013.

**7** Vgl. auch Jacobsen, H.K., Schröder, S.T. (2012): Curtailment of renewable generation: Economic optimality and incentives. Energy Policy 49, 663–675.

**8** Die Arbeiten wurden im Rahmen eines vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Forschungsprojekts durchgeführt: Stromspeicher als zentrales Element der Integration von Strom aus erneuerbaren Energien (StoRES – Storage for Renewable Energy Sources), FKZ 0325314. Vgl. Schill, W.-P. (2013): Residual Load, Renewable Surplus Generation and Storage Requirements in Germany. DIW Discussion Paper Nr. 1316, Berlin, im Erscheinen. Die Studie enthält weitere methodische Details und Sensitivitätsanalysen.

Kasten 1

**Energiespeicher für die Systemintegration erneuerbarer Energien**

Energiespeicher können unter anderem nach der Energieform ihrer Ein- und Ausspeicherung, ihrem Einsatzzweck und nach ihrer Leistungs- und Energiedimensionierung kategorisiert werden.<sup>1</sup> In Hinblick auf die ein- und ausgespeicherte Energieform können Stromspeicher im eigentlichen Sinne definiert werden als Anlagen, die Elektrizität vom Netz oder direkt von einem Stromerzeuger aufnehmen und sie zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgeben. In einer weiteren Definition umfassen Energiespeicher auch solche Technologien, die Elektrizität aufnehmen, in eine andere Energieform umwandeln und diese für eine spätere Verwendung speichern, ohne dass eine Rückverstromung erfolgt. Dazu gehören beispielsweise Wärmespeicher (Power-to-Heat) oder die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse mit möglicher nachgeschalteter Methanisierung (Power-to-Gas).<sup>2</sup> Zu den für die Systemintegration erneuerbarer Energien relevanten Energiespeichern gehören außerdem Wärmespeicher, die der Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung dienen, sowie Biogasspeicher, die eine bedarfsgerechte Verstromung von Biogas ermöglichen.<sup>3</sup>

Die Einsatzzwecke von Speichern sind vielfältig; dazu gehören die Sicherung der Systemstabilität,<sup>4</sup> klassische Arbitragegeschäfte zwischen Hoch- und Niedrigpreisphasen, die eine Verringerung der Gesamtkosten des Kraftwerkseinsatzes bewirken können, die Sicherung der Spitzenlastdeckung und nicht zuletzt die Systemintegration großer Anteile variabler erneuerbarer Energien.<sup>5</sup> Je nach Einsatzzweck können vielfältige Speichertechnologien zum Einsatz kommen, die allerdings unterschiedlich ausgereift sind. So haben sich beispielsweise Pumpspeicher jahrzehntelang bewährt, während sich adiabate Druckluftspeicher, verschiedene Batteriespeicherkonzepte und chemische Speicher teilweise noch in der Entwicklung befinden.

In Hinblick auf die Leistungs- und Energiedimensionierung von Speichern wird oftmals zwischen Kurzzeitspeichern, Tagespeichern und Saisonspeichern unterschieden. Hierfür ist ihre maximale Entladedauer beziehungsweise das Verhältnis von Energieinhalt des Speichers (beispielsweise in Megawattstunden) und Entladeleistung (in Megawatt) relevant.<sup>6</sup>

1 Vgl. Fuchs, G., Lunz, B., Leuthold, M., Sauer, D.U. (2012): Technology Overview on Electricity Storage: Overview on the potential and on the deployment perspectives of electricity storage technologies. Juni 2012.  
 2 Vgl. Sterner, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Dissertation, Universität Kassel.  
 3 Vgl. Østergaard, P.A. (2012): Comparing electricity, heat and biogas storages' impacts on renewable energy integration. Energy 37(1), 255-262.

4 Vgl. efzn (2013): Eignung von Speichertechnologien zum Erhalt der Systemsicherheit. FA 43/12, Abschlussbericht, Energie-Forschungszentrum Niedersachsen, Goslar, 8. März 2013.  
 5 Denholm, P., Ela, E., Kirby, B., Milligan, M. R. (2010): The role of energy storage with renewable electricity generation. Tech. Rep. NREL/TP-6A2-47187, National Renewable Energy Laboratory; sowie Eyer, J. M., Corey, G. (2010): Energy storage for the electricity grid: Benefits and market potential assessment guide. Sandia National Laboratories.  
 6 Vgl. Fuchs, G. et al. (2012), a.a.O.

überschüsse aus erneuerbaren Energien in allen Szenarien relativ gering ist, wenn keine Must-Run-Erzeugung konventioneller Kraftwerke erforderlich ist und Biomasse bedarfsgerecht verstromt werden kann.

Außerdem wurde der Speicherbedarf zur Aufnahme dieser Überschüsse simuliert unter der Annahme, dass Stromüberschüsse entweder gespeichert oder in unterschiedlichem Maße abgeregelt werden können. Die hier vorgenommenen Simulationen basieren auf den Stromerzeugungskapazitäten definierter Szenarien. In allen verwendeten Szenarien sind ausreichende Investitionen in Erzeugungskapazitäten vorgesehen, sodass die Nachfrage jederzeit gedeckt werden kann. Im Modell wird nicht gefordert, dass alle Stromerzeugungskapazitäten ihre langfristigen Grenzkosten decken müssen. Somit treten keine Knappheitspreise auf, und Stromspeicher können keine Zusatzerlöse aus der Bereitstellung gesicherter Leistung generieren. Auch werden mögliche Zusatzerlöse aus der Bereitstellung von Regelleistung nicht berücksichtigt. In einem optimierten Gesamtsystem

würde der Zubau von Stromspeichern so erfolgen, dass ihr Gesamtwert für das System über alle Teilbereiche (Arbitrage, Leistungsvorhaltung, Systemdienstleistungen) maximiert würde. Dabei dürfte es gegenüber den Szenarioannahmen auch zu einem Rückbau beziehungsweise reduzierten Ausbau von konventionellen Erzeugungskapazitäten kommen. Vor diesem Hintergrund können die Simulationsergebnisse nicht interpretiert werden als ideale Speicherkapazitäten in einem optimierten Gesamtsystem. Jedoch ermöglicht der Ansatz eine Fokussierung auf die Rolle von Speichern zur Aufnahme von Produktionsüberschüssen, auf die sich die Untersuchung im Folgenden konzentriert.

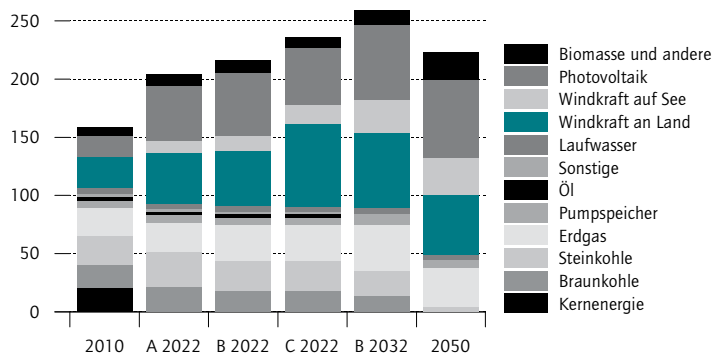
**Eingangsparameter:  
Szenarien für die Jahre 2022, 2032 und 2050**

Die zugrundeliegenden Szenarien orientieren sich stark am Netzentwicklungsplan Strom 2012 (NEP) der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), der in das Bundes-

Abbildung 1

**Stromerzeugungskapazitäten in verschiedenen Szenarien<sup>1</sup>**

Installierte Nettoleistungen in Gigawatt



<sup>1</sup> Die Szenarien für die Jahre 2022 und 2032 sind dem Netzentwicklungsplan Strom entnommen. Das Szenario für 2050 ist an die Leitstudie 2011 angelehnt (Szenario Leit 2011 A). Die Pumpspeicherleistung bleibt unverändert auf dem Stand von 2010, da der Zubau simuliert wird.

Quellen: 50 Hertz et al. (2012), a. a. O.; DLR et al. (2012), a. a. O.

© DIW Berlin 2013

Die Leistung von Windkraft und Photovoltaik steigt in allen Szenarien deutlich.

bedarfsplangesetz 2013 einging.<sup>9</sup> Für das Jahr 2022 werden im NEP die drei Szenarien A, B und C entworfen. Szenario A setzt die energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung um; Szenario B berücksichtigt höhere Erzeugungsleistungen von erneuerbaren Energien sowie von Gaskraftwerken; Szenario C sieht noch höhere Anteile erneuerbarer Energien vor. Szenario B, das im NEP als Leitszenario gilt, wird bis zum Jahr 2032 fortgeschrieben.

Zudem wird ein langfristiger Ausblick auf das Jahr 2050 gegeben. Dazu wird das Szenario Leit 2011 A der aktuellen Leitstudie des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit herangezogen.<sup>10</sup> Diese Studie entwirft einen mit den Beschlüssen der Bundesregierung zur Umsetzung der Energiewende langfristig konsistenten Entwicklungspfad. Im Jahr 2050 wird demnach ein Anteil erneuerbarer Energien an der Bruttostromerzeugung von ungefähr 85 Prozent erreicht.

Für die NEP-Szenarien wird in allen Simulationen eine Nachfrage in der Höhe des Jahres 2010 angenom-

<sup>9</sup> 50Hertz et al. (2012): Netzentwicklungsplan Strom 2012. 2. Überarbeiteter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber. 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH. 15. August 2012. Vgl. auch Gerbaulet, C., Kunz, F., von Hirschhausen, C., Zerrahn, A. (2013): Netzsituation in Deutschland bleibt stabil. DIW Wochenbericht Nr. 20+21/2013.

<sup>10</sup> Vgl. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE) (2012): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global. Schlussbericht. 29. März 2012. Die Studie wird oft auch als „Leitstudie 2011“ bezeichnet.

men.<sup>11</sup> Der jährliche Nettostromverbrauch zuzüglich Netzverlusten liegt bei 562 TWh mit einer Spitzenlast von 92 GW. Das Szenario 2050 sieht unter der Annahme langfristig deutlicher Einsparererfolge eine geringere Nachfrage von lediglich 413 TWh vor. Die Spitzenlast beträgt in diesem Fall 67 GW.

**Stromerzeugungskapazitäten wachsen in allen Szenarien**

Abbildung 1 zeigt die installierten Erzeugungskapazitäten aller Szenarien. Kernenergie ist entsprechend der gültigen Gesetzeslage in keinem der Szenarien mehr berücksichtigt. Die Gesamtleistung der konventionellen Gas- und Kohlekraftwerke ist in allen NEP-Szenarien ähnlich. Im Szenario 2050 ist die konventionelle Kraftwerksleistung aufgrund der hohen Anteile erneuerbarer Energien und der niedrigeren Gesamtnachfrage deutlich geringer und besteht fast nur noch aus Gaskraftwerken. Als Startwert für die Leistung der Pumpspeicherkraftwerke geht in allen Szenarien der Wert des Jahres 2010 in das Modell ein; der darüber hinausgehende Zubau an Speichern wird dann im Modell bestimmt.

Die erneuerbaren Stromerzeugungskapazitäten steigen aufgrund ihrer relativ geringen Auslastung in allen Szenarien deutlich stärker als die konventionellen Kapazitäten zurückgehen. Damit steigt die installierte Gesamtleistung in allen Szenarien, trotz der in den NEP-Szenarien gleichbleibenden und im Szenario 2050 sinkenden Stromnachfrage.

In den Simulationen wird die Flexibilität der Stromerzeugung aus thermischen Kraftwerken (fossil oder mit Biomasse befeuert) variiert, indem von unterschiedlichen Mindesterzeugungsniveaus thermischer Kraftwerke ausgegangen wird. Systemdienstleistungen könnten künftig zunehmend von erneuerbaren Energien oder anderen Technologien<sup>12</sup> erbracht werden, auch die Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung könnte flexibilisiert werden; somit dürfte es möglich sein, den Must-Run-Sockel mittel- und langfristig abzusichern (Kasten 2).

**Einspeisung erneuerbarer Energien hochgerechnet aus historischen Daten**

Zur Simulation der Stromerzeugung aus Windkraft und Photovoltaik in den Zukunftsszenarien wird auf

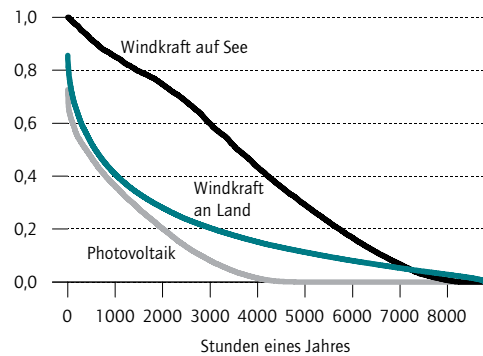
<sup>11</sup> Damit wird zur Verbesserung der Vergleichbarkeit von den – nur eingeschränkt nachvollziehbaren – Annahmen des NEP abgewichen. Eine stagnierende Nachfrage erscheint angesichts der mäßigen Erfolge im Bereich Energieeffizienz und der zunehmenden Elektrifizierung unterschiedlicher Anwendungen im Wärme- und Verkehrsbereich nicht unplausibel. Schill, W.-P. (2013), a. a. O. enthält zusätzlich Sensitivitätsanalysen für die NEP-Szenarien, in denen die Nachfrage um 10 oder 20 Prozent zurückgeht.

<sup>12</sup> Hier können auch Energiespeicher eine Rolle spielen, vgl. efzn (2013), a. a. O.



Abbildung 2

**Verfügbarkeitsfaktoren<sup>1</sup> für Windkraft und Photovoltaik**



<sup>1</sup> Dargestellt sind Mittelwerte für alle verfügbaren Wind- und PV-Zeitreihen.  
 Quellen: Daten der Übertragungsnetzbetreiber; Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2013

Windkraft an Land und Photovoltaik weisen hohe Leistungsspitzen aber relativ geringe Volllaststunden auf.

stündliche historische Einspeisedaten zurückgegriffen, die von den vier deutschen Übertragungsnetzbetreibern bereitgestellt werden. Dabei werden alle verfügbaren Daten genutzt. Für die Windkraft an Land liegen komplette Zeitreihen der Jahre 2006 bis 2012 vor; für die Windkraft auf See existieren lediglich Daten für die Jahre 2010 bis 2012.<sup>13</sup> Für die Photovoltaik liegen Daten für die Jahre 2011 und 2012 vor.

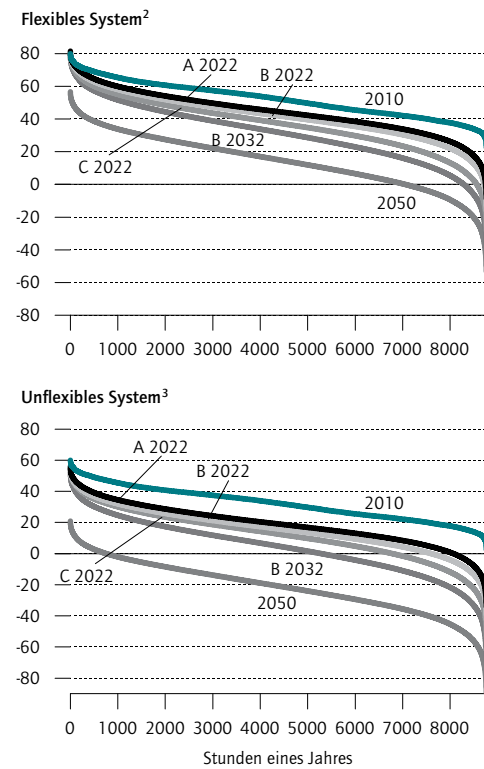
Die stündlichen ÜNB-Daten werden zunächst mit der tatsächlichen jährlichen technologiespezifischen Gesamtenergie korrigiert.<sup>14</sup> Danach werden mit Hilfe einer linearen Interpolation der am jeweiligen Jahresende installierten Gesamtkapazitäten stündliche Verfügbarkeitsfaktoren für Windkraft an Land und auf See sowie Photovoltaik berechnet (Abbildung 2). Die durchschnittliche Auslastung für Windkraft an Land war im Jahr 2010 mit 16 Prozent am niedrigsten und 2007 mit 21 Prozent am höchsten. Windkraft auf See erreichte 2011 und 2012 deutlich höhere Auslastungen von ungefähr 43 Prozent. Dabei zeigt sich eine deutlich gleichmäßigere Stromproduktion als bei der Windkraft an Land. Die Photovoltaik kam in den Jahren 2011 und 2012 auf wesentlich niedrigere Auslastungen zwischen zehn und elf Prozent, die durch nächtliche und winterliche Produktionsunterbrechungen erklärt werden können.

<sup>13</sup> Die Qualität der Offshore-Einspeisezeitreihe ist deutlich schlechter einzuschätzen als die der Windkraft an Land. Im Jahr 2010 beinhalten die Einspeisedaten größtenteils nur den kleinen Demonstrationswindpark alpha ventus in der Nordsee, ab Ende 2010 zusätzlich den – sukzessive angeschlossenen – größeren Windpark Bard Offshore I.

<sup>14</sup> Hierzu werden die Publikationen Erneuerbare Energien in Zahlen des BMU verwendet.

Abbildung 3

**Residuallast in verschiedenen Szenarien<sup>1</sup>**  
 In Gigawatt



<sup>1</sup> Ergebnisse basieren auf Mittelwerten für alle verfügbaren Wind- und PV-Zeitreihen.

<sup>2</sup> Kein Must-run, bedarfsgerechte Stromerzeugung aus Biomasse.

<sup>3</sup> 20 GW Must-run, konstante Stromerzeugung aus Biomasse.

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2013

Die residuale Schwachlast nimmt stark ab, während sich die Spitzenlast kaum verändert. In einem unflexiblen System ist die Residuallast häufiger negativ.

**Ergebnis der Simulation:  
 Flexibler Systembetrieb reduziert Wind- und Solarüberschuss**

Die Stromeinspeisung aus Windkraftanlagen und Photovoltaik bewirkt eine Verringerung der residualen Last. Aufgrund der Variabilität von Wind- und Sonnenstrom und aufgrund ihrer begrenzten Korrelation mit dem stündlichen Verlauf der Nachfrage sinkt die Residuallast aber nicht in allen Stunden des Jahres gleichmäßig ab. Vielmehr ist ein besonders starker Effekt in den Schwachlaststunden zu beobachten. Am rechten Rand der Last-Dauer-Kurve verschiebt sich die Residuallast in allen betrachteten Szenarien in den negativen Bereich (Abbildung 3). Dies bedeutet, dass die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien die Nachfrage in diesen Stunden übersteigt. Je höher die installierte Windkraft- und PV-Leistung, desto weiter verschiebt

Kasten 2

**Methodik der Simulation**

Der Speicherbedarf zur Aufnahme der Überschüsse wird mit einem linearen Optimierungsmodell bestimmt.<sup>1</sup> Dabei handelt es sich um ein vereinfachtes, kostenminimierendes Kraftwerks- und Speichereinsatzmodell. Entscheidungsvariablen der Optimierung sind stündliche Erzeugungsniveaus von sechs thermischen Kraftwerkstypen, die Nutzung bestehender Pumpspeicher sowie der Zubau und die Nutzung dreier stilisierter Speichertechnologien (Tabelle 1). Dabei handelt es sich um echte Stromspeicher, die Elektrizität aus dem Netz beziehen und auch wieder in das Netz zurückspeisen.<sup>2</sup> Die Parametrisierung der Kurzzeitspeicher bildet eine Lithium-Ionen-Batterie ab, Tagesspeicher repräsentieren neue Pumpspeicherkraftwerke und Saisonspeicher orientieren sich an der sogenannten Power-to-Gas-Technologie mit Rückverstromung. Da es sich um stilisierte Speichertypen handelt, werden in der Optimierung keine Ausbaubeschränkungen für die einzelnen Technologien vorgesehen. Somit ergibt sich in Bezug auf Stromüberschüsse eine Entscheidung zwischen Abregelung und Speicherezubau. Es wird unterstellt, dass eine Abregelung ohne zusätzliche Investitions- oder Betriebskosten möglich ist.<sup>3</sup> Im Fall flexibler Biomasseverstromung stellt die Strom-

erzeugung dieser Technologie im Rahmen einer stündlichen Kapazitäts- und einer jährlichen Energierestriktion ebenfalls eine endogene Variable dar.

Ein wichtiger exogener Parameter für das Modell ist die stündliche Last. Maßgebende Größe ist dabei der Nettostromverbrauch zuzüglich Netzverlusten. Die Nachfrage wird auf Basis historischer stündlicher Nachfragedaten des Verbands Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (ENTSO-E) hergeleitet, die entsprechend der Methodik des NEP 2012 um einen nicht beobachteten Anteil korrigiert werden.<sup>4</sup> Daneben gehen die Stromerzeugungskapazitäten der verschiedenen Szenarien sowie Brennstoff- und CO<sub>2</sub>-Preise, die an Projektionen der internationalen Energieagentur angelehnt sind, als Parameter in das Modell ein (Tabelle 2). Die Stromerzeugung unterliegt grundsätzlich keinen Anfahr- oder Laständerungsrestriktionen. Diese systemweite Mindesterzeugung thermischer Kraftwerke wird vereinfacht durch eine aggregierte Must-run-Bedingung abgebildet. Das deutsche Stromsystem wird isoliert von den Nachbarländern betrachtet. Von Netzengpässen innerhalb Deutschlands wird abstrahiert; dies entspricht der Annahme, dass ein hinreichender Ausbau der Übertragungs- und Verteilnetze erfolgt.

- 1 Eine ausführliche Modellbeschreibung bietet Schill, W.-P. (2013), a. a. O.
- 2 Die mögliche Nutzung anderer Energiespeicherformen wird implizit berücksichtigt: Die Annahme eines langfristig entfallenden Must-run-Sockels sowie einer flexibilisierten Biomasseverstromung könnte beispielsweise plausibilisiert werden durch die Flexibilisierung der Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung und aus Biogasanlagen durch Wärme- oder Biogasspeicher sowie durch die zumindest teilweise Erbringung von Systemdienstleistungen durch unterschiedliche Energiespeichertechnologien.
- 3 Diese Annahme weicht von der gegenwärtigen Gesetzeslage ab, wonach Betreiber von erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen für abregelungsbedingte Erlösausfälle kompensiert werden.

Die vereinfachte, lineare Optimierung ermöglicht die Erstellung umfangreicher Sensitivitätsanalysen. Variiert werden

- 4 Vergleiche 50Hertz et al. (2012), a. a. O., 38 ff. Im ebenfalls von den ÜNB erstellten Bericht der deutschen Übertragungsnetzbetreiber zur Leistungsbilanz 2012 nach EnWG § 12 Abs. 4 und 5, Stand 28. September 2012, wird eine abweichende Methodik verwendet, die nicht konsistent zum im NEP beschriebenen Vorgehen ist, und zu einer anderen Spitzenlast führt.

Tabelle 1

**Stilisierte Speichertechnologien<sup>1</sup>**

	Verhältnis Energie/Leistung in Stunden	Wirkungsgrad	Spezifische Investitionen in Euro/kW	Lebensdauer	Annuität <sup>2</sup> in Euro/kW
Kurzzeitspeicher (Lithium-Ionen-Batterie)	2	0,89	665	15	78
Tagesspeicher (Pumpspeicher)	8	0,79	850	30	76
Saisonspeicher (Power-to-Gas) <sup>3</sup>	500	0,35	1 500	20	153

1 Die Parameter stellen Mittelwerte für den Zeitraum zwischen heute und 2030 dar.  
 2 Angenommener Zinssatz von 8 Prozent.  
 3 Power-to-Gas inklusive Rückverstromung.

Quelle: Fuchs, G. et al. (2012), a. a. O.; Berechnungen des DIW Berlin.



- die installierten Kapazitäten konventioneller und erneuerbarer Stromerzeuger entsprechend den Szenarien;
- die auf historischen Daten beruhenden jährlichen Einspeisezeitreihen erneuerbarer Energien: Windkraft an Land 2006–2012, Windkraft auf See 2010–2012, Photovoltaik 2011–2012. Im Vergleich zu anderen Studien<sup>5</sup> werden somit alle verfügbaren historischen Einspeisezeitreihen für Windkraft und Photovoltaik in Deutschland verwendet. Es zeigt sich, dass unterschiedliche Wind- und PV-Jahre einen großen Einfluss auf die zu erwartenden Überschüsse haben können;
- der Must-run thermischer Kraftwerke: 20, 10 oder 0 GW;
- die zulässige Abregelung erneuerbarer Energien in Höhe von 100, 1, 0,1 oder 0 Prozent der maximal möglichen Jahresarbeit von Windkraft an Land und auf See, Photovoltaik und Laufwasser;
- die Flexibilität der Biomasseverstromung, entweder als konstante Durchschnittserzeugung oder als freie Variable im Rahmen der genannten Restriktionen.

Unter Annahme, dass die Korrelation der onshore- und offshore-Windjahre sowie der PV-Jahre vernachlässigbar ist, ergeben sich bei sonst gleichen Annahmen allein in Bezug auf die Einspeisung erneuerbarer Energien 42 mögliche Kombinationen. In der Langfassung wird für die NEP-Szenarien zusätzlich die Höhe der Last variiert (100, 90 oder 80 Prozent des Jahres 2010). Somit ergeben sich für jedes NEP-Szenario über 3 000 unterschiedliche Modellläufe, für das Szenario 2050 zusätzlich über 1 000 weitere.

#### Einfluss wichtiger Modellannahmen auf die Ergebnisse

Die für die Simulation getroffenen Annahmen verzerren die ermittelten Überschüsse und den Speicherbedarf in unterschiedliche Richtungen. Tendenziell unterschätzt werden die Überschüsse aufgrund der Vernachlässigung von Anfahr- und Laständerungsrestriktionen konventioneller Kraftwerke sowie aufgrund der Nichtberücksichtigung lokaler oder regionaler Netzengpässe. Bereits im Jahr 2010 kam es durch solche Engpässe zu einer Ausfallarbeit der Windkraft von 74 GWh; in den Jahren 2011 und 2012 wuchs dieser Wert auf 126 GWh

<sup>5</sup> Vergleiche beispielsweise Agora Energiewende (2012): Erneuerbare Energien und Stromnachfrage im Jahr 2022. Analyse, Berlin, Juni 2012.

Tabelle 2

### Annahmen zu variablen Stromerzeugungskosten<sup>1</sup>

	Brennstoffpreise in Euro/MWh <sub>thermisch</sub>			Variable Kosten in Euro/MWh <sub>elektrisch</sub>		
	2022	2032	2050 <sup>3</sup>	2022	2032	2050 <sup>3</sup>
Braunkohle	2	2	–	20	26	–
Steinkohle	12	13	32	44	47	136
Erdgas <sup>2</sup>	25	25	54	68	72	131
Öl	53	62	–	166	202	–
Sonstige	7	7	–	33	37	–

<sup>1</sup> Berechnung der variablen Kosten unter Berücksichtigung durchschnittlicher Wirkungsgrade und unter Annahme von CO<sub>2</sub>-Preisen von 20 Euro/Tonne 2022, 30 Euro/Tonne 2032 und 75 Euro/Tonne 2050.

<sup>2</sup> Mittelwert für offene Gasturbinen, Dampfturbinen und kombinierte Gas- und Dampfturbinen.

<sup>3</sup> Keine Stromerzeugung aus Braunkohle, Öl oder Sonstigen.

Quelle: DIW Berlin.

© DIW Berlin 2013

beziehungsweise 421 GWh.<sup>6</sup> Unterschätzt wird der optimale Speicherezubau weiterhin dadurch, dass der Systemnutzen von Speichern in Hinblick auf die Bereitstellung von gesicherter Leistung und Systemdienstleistungen nicht berücksichtigt wird.

Tendenziell überschätzt wird dagegen die Entstehung von Überschüssen durch die lineare Skalierung der historischen Wind- und PV-Einspeiseprofile, die künftige Änderungen der Standortwahl erneuerbarer Stromerzeuger oder der Anlagenkonfigurationen nicht berücksichtigt, die zu einer bedarfsgerechteren Stromerzeugung führen könnten. Außerdem würde der Bedarf zur Speicherung oder Abregelung weiter sinken, wenn die Austauschmöglichkeiten mit dem europäischen Ausland<sup>7</sup> sowie weitere Flexibilitätsoptionen berücksichtigt würden. Dazu gehören die Nutzung von Stromüberschüssen im Wärmesektor (Power-to-Heat), die Lastverschiebung in verschiedenen Industrieprozessen und langfristig möglicherweise auch die Elektromobilität durch zumindest temporär mit dem Stromnetz verbundene Elektrofahrzeuge.

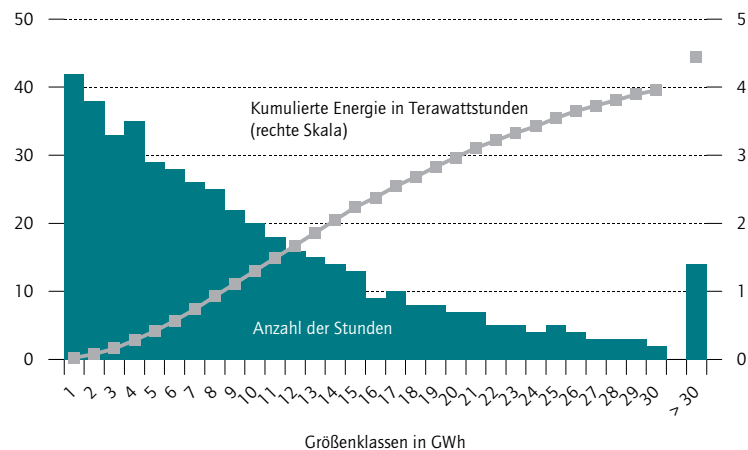
<sup>6</sup> Bundesnetzagentur (2012): Monitoringbericht 2011. Bonn; sowie Bundesnetzagentur und Bundeskartellamt (2013): Monitoringbericht 2012. Stand: 5. Februar 2013, Bonn.

<sup>7</sup> Die durch Net Transfer Capacities approximierte gleichzeitige Exportkapazität von Deutschland in die Niederlande, Frankreich und die Schweiz lag nach Angaben von ENTSO-E im Jahr 2010 im Mittel bei 8,5 GW. Der in einzelnen Stunden tatsächlich für den Handel nutzbare Wert kann jedoch deutlich abweichen.

Abbildung 4

### Häufigkeitsverteilung der Überschussenergie (Einzelstunden)

Exemplarisch dargestellt für Szenario B 2032<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Dargestellt sind Durchschnittswerte der Überschussenergien der Einzelstunden unter Nutzung aller verfügbarer Wind- und PV-Zeitreihen und unter Annahme eines flexiblen Systems.

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2013

Die Überschüsse einzelner Stunden liegen meist im Bereich weniger GWh.

sich die Residuallast nach unten. Im Jahr 2032 kommt es in der Spitze zu einer Überschussleistung von rund 41 GW. Im Gegensatz dazu verändert sich die Spitzenlast (linke Seite der Kurve) nur wenig. Dies veranschaulicht, dass variable erneuerbare Energien über das Jahr betrachtet zwar erhebliche Mengen Strom erzeugen, aber vergleichsweise wenig zur Deckung der Spitzenlast beitragen können.

Die Abbildung zeigt auch den Unterschied zwischen einem flexiblen und einem unflexiblen Stromsystem, hier simuliert durch unterschiedliche Annahmen zur thermischen Mindestlast (0 oder 20 GW) und zur Stromerzeugung aus Biomasse (flexibel oder unflexibel). Bei Annahme unflexibler Stromerzeuger würde sich die Residuallast in allen Szenarien deutlich in den negativen Bereich verschieben.<sup>15</sup> Besonders extrem ist dieser Befund beim 2050-Szenario; allerdings erscheint die Annahme eines derart unflexiblen Systems im Jahr 2050 unplausibel.

Durch den Ausbau variabler erneuerbarer Energien steigen außerdem die sogenannten Gradienten der Residuallast stark an. Diese beschreiben die positive oder ne-

<sup>15</sup> Der gleiche Effekt tritt auf, wenn unter ansonsten gleichen Annahmen die Stromnachfrage sinkt. Vergleiche Schill, W.-P. (2013), a. a. O.

gative Änderung der residualen Last von einer Stunde zur nächsten. Die maximalen positiven Gradienten steigen von +11,4 GW im Jahr 2010 auf +21,9 GW im Szenario B 2032, während die minimalen negativen Gradienten von -7,2 GW auf -26,5 GW sinken. Dies bedeutet, dass der Bedarf an Flexibilität im konventionellen Kraftwerksbereich stark steigt.

### Überschussenergie in den meisten Szenarien gering

Abbildung 4 zeigt, in wie vielen Stunden verschieden große Überschussenergien durchschnittlich pro Jahr auftreten (Häufigkeitsverteilung). Exemplarisch sind die Simulationsergebnisse für alle Wind- und PV-Zeitreihen des Szenarios B 2032 dargestellt unter Annahme eines flexiblen Systems. In 471 von 8760 Stunden des Jahres treten Überschüsse auf, wobei sich ein Großteil im Bereich von wenigen Gigawattstunden bewegt. In nur 14 Stunden tritt ein Überschuss von mehr als 30 GWh auf, diese machen aber rund zehn Prozent der gesamten Überschussenergie aus. Insgesamt ergibt sich ein Überschuss von 4,4 TWh. Dies entspricht weniger als zwei Prozent der maximal möglichen jährlichen Gesamterzeugung aus Wind- und Solarenergie. Wenn allerdings die Flexibilisierungsoptionen im Stromsystem nicht umgesetzt werden, dann steigt die gesamte Überschussenergie im Jahr 2032 auf 18 Prozent der Jahreserzeugung aus Wind- und Sonnenenergie. In den NEP-Szenarien für das Jahr 2022 ergeben sich kleinere Überschüsse als in der Abbildung gezeigt, im Szenario 2050 dagegen größere.

In Hinblick auf die mögliche Nutzung der Überschussenergie durch Stromspeicher, aber auch durch Nachfragemanagement oder im Wärmebereich (Power-to-Heat), ist von Interesse, welches Gesamtvolumen an Überschussenergie sich in aufeinanderfolgenden Stunden ansammelt. Dazu wurde in Abbildung 5 die Energie zusammenhängender Stunden mit negativer Residuallast summiert und wieder in Größenklassen sortiert.<sup>16</sup> Insgesamt gibt es im Durchschnitt aller zugrunde gelegten Wind- und PV-Einspeisezeitreihen 71 zusammenhängende Überschusssituationen im Szenario B 2032. Es zeigt sich eine große Häufung von relativ kleinen Überschüssen, während große Überschussenergien nur sehr selten auftreten. Die meisten zusammenhängenden Überschüsse sind kleiner als 40 GWh und liegen

<sup>16</sup> Falls zwischen zwei Überschussperioden eine oder mehrere positive Residuallaststunden liegen, wird überprüft, ob die kumulierte positive Residualenergie am Ende der positiven Periode größer ist als die vorherige Überschussenergie. Ist dies nicht der Fall, wird auch die Energie der positiven Residuallastphase sowie der danach folgenden Überschussphase mit betrachtet. Dieses Verfahren vermeidet eine potenzielle Unterschätzung der zusammenhängenden Überschussenergie und passt daher gut zur folgenden Analyse des Speicherbedarfs für temporäre Überschüsse.

damit unterhalb der Größenordnung der existierenden deutschen Pumpspeicherkapazitäten. Größere Überschüsse sind selten, machen jedoch den Hauptteil der gesamten Überschussenergie aus. Demnach müssten die Speicherkapazitäten sehr groß dimensioniert sein, wenn sie auch den sehr selten auftretenden, maximalen zusammenhängenden Überschuss aufnehmen sollen. In einem unflexiblen System würden die Energien zusammenhängender Überschüsse erheblich ansteigen. Im Durchschnitt aller Wind- und PV-Zeitreihen für das Szenario B 2032 wären ungefähr zehn Prozent aller Überschüsse größer als 1000 GWh beziehungsweise eine TWh.

### Speicherbedarf zur Aufnahme von Überschüssen

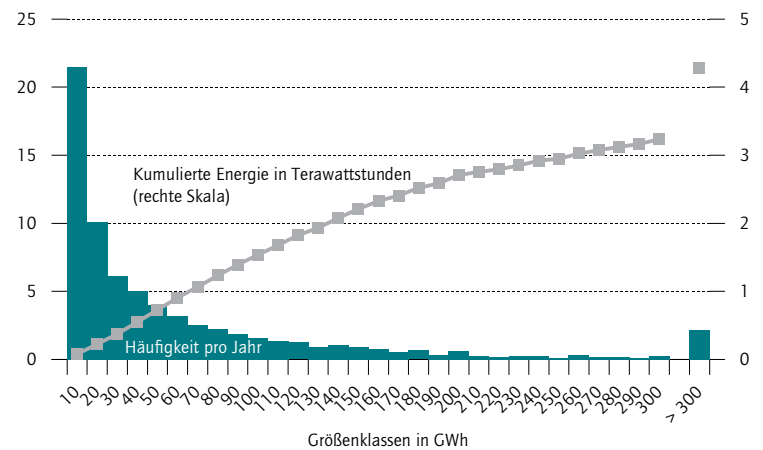
Schon die Simulationen der Residuallast zeigen, dass die Überschusserzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien in den Szenarien relativ selten, aber in der Spitze mit hoher Leistung auftritt. Dementsprechend können spezifische Maßnahmen, die zur Integration dieser Überschüsse ergriffen werden, nur auf geringe Volllaststunden kommen. Sind diese Maßnahmen mit hohen Investitionen verbunden, könnte eine Abregelung der Stromerzeugungsspitzen aus erneuerbaren Energien aus Systemkostensicht gegebenenfalls die kostengünstigere Alternative darstellen. Die Simulationsergebnisse legen nahe, dass dieser Befund grundsätzlich auch für Stromspeicher gilt, obwohl diese nicht nur zur Aufnahme von Überschüssen eingesetzt werden können, sondern auch für Ausgleichszwecke zwischen sonstigen Stark- und Schwachlastphasen, wann immer die Kostenersparnis der Arbitrage den Energieverlust des Speichers übersteigt. Im Modell wird allerdings der Wert von Stromspeichern für das Gesamtsystem unterschätzt, da ihr potenzieller Beitrag zur Bereitstellung von gesicherter Erzeugungsleistung und von Systemdienstleistungen nicht honoriert wird. In einem optimierten Gesamtsystem dürfte der Speicherzubaу somit tendenziell höher liegen als hier ermittelt.

### Volle Überschussintegration durch zusätzliche Speicher nicht optimal

Unter der Annahme eines auch künftig unflexiblen Stromsystems (20 GW Must-Run, unflexible Biomasseverstromung) ergibt sich ohne Abregelung und bei Abwesenheit anderer Flexibilitätsoptionen ein erheblicher Speicherbedarf. In den NEP-Szenarien für 2022 und 2032 müssten 32 bis 74 GW zugebaut werden. Für das Jahr 2050 ergibt sich ein extrem hoher Speicherzubaу von 93 GW, wenn alle Überschüsse durch Speicher integriert werden müssen. Aufgrund der großen

Abbildung 5

### Häufigkeitsverteilung der zusammenhängenden Überschussenergie Exemplarisch dargestellt für Szenario B 2032<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Dargestellt sind Durchschnittswerte der zusammenhängenden Überschussenergien unter Nutzung aller verfügbarer Wind- und PV-Zeitreihen und unter Annahme eines flexiblen Systems.

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

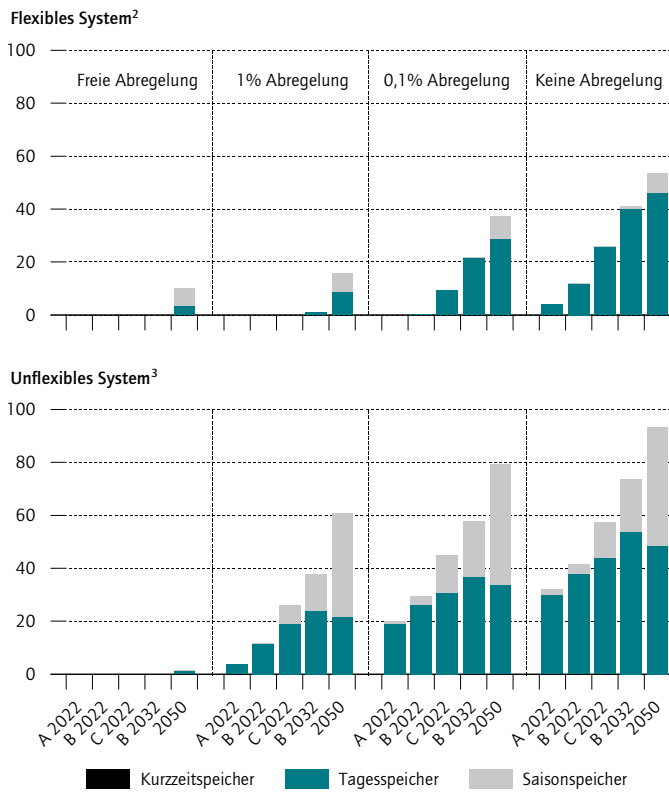
Sehr große zusammenhängende Überschüsse sind selten, haben aber einen hohen Anteil an der gesamten Überschussenergie.

zusammenhängenden Überschussenergien werden dabei auch in nennenswertem Umfang Saisonspeicher benötigt. Wird die Abregelung von Erzeugungsspitzen zugelassen, sinkt der Speicherbedarf deutlich. Wird nur ein Prozent der möglichen Jahresarbeit von Wind und PV abgeregelt, sinkt der Speicherbedarf in den NEP-Szenarien auf vier (A 2022) bis 38 GW (B 2032) und im Jahr 2050 auf 61 GW. Bei unbeschränkter Abregelung werden praktisch gar keine Speicher mehr zugebaut. In diesem Fall würden allerdings erhebliche Mengen erneuerbaren Stroms abgeregelt. Im Szenario B 2032 wären es 15 Prozent der möglichen Jahreserzeugung von Wind- und Solarenergie. Es erscheint aus heutiger Sicht unplausibel, dass ein von variablen erneuerbaren Stromerzeugern dominiertes System derart unflexible Stromerzeuger aufweisen würde; dennoch veranschaulicht die Simulation, wie wichtig die Flexibilisierung des Stromsektors beim weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien ist.

Unter der Annahme eines flexiblen Systems (kein Must-Run, flexible Biomasseverstromung) ergibt sich ein deutlich geringerer Speicherbedarf. Er liegt für den Fall, dass alle Überschüsse durch Speicher aufgenommen werden müssen, in den NEP-Szenarien zwischen vier (A 2022) und 41 GW (B 2032), im Jahr 2050 bei knapp 54 GW. Die Abregelung erneuerbarer Einspei-

Abbildung 6

**Investitionen in Stromspeicher<sup>1</sup>**  
In Gigawatt



1 Dargestellt sind Mittelwerte für alle simulierten Wind- und PV-Zeitreihen. Berücksichtigt wurde nicht der Beitrag von Speichern zur Spitzenlastdeckung, zur Flexibilisierung der thermischen Stromerzeugung und zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen.

2 Kein Must-run, bedarfsgerechte Stromerzeugung aus Biomasse.

3 20 GW Must-run, konstante Stromerzeugung aus Biomasse.

Quelle: Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2013

Je geringer die mögliche Abregelung, desto höher ist der erforderliche Speicherzubaу. In einem unflexiblen System steigt der Speicherbedarf stark an.

sespitzen senkt den Speicherzubaу noch stärker als in einem unflexiblen System. Selbst im Fall, dass nur ein Prozent der möglichen Jahreserzeugung verworfen werden darf, wird in den NEP-Szenarien praktisch kein zusätzlicher Speicher benötigt. Im Szenario 2050 verbleibt bei einer solchen Abregelung ein Speicherbedarf von 16 GW, im Fall freier Abregelung sinkt er weiter auf zehn GW.<sup>17</sup> In einem flexiblen System werden aufgrund der geringeren Überschussenergien fast ausschließlich Tagesspeicher mit einem Energie-Leistungs-

17 Weitere Sensitivitätsrechnungen zeigen, dass die zusätzlichen Speicherkapazitäten auch hier nicht erforderlich für die Spitzenlastdeckung sind; die Gesamtkosten eines Systems ohne zusätzliche Speicher wären jedoch höher.

Verhältnis von acht Stunden zugebaut. Kurzspeicher spielen in keinem Szenario eine nennenswerte Rolle.<sup>18</sup>

Während Abbildung 6 aus illustrativen Gründen nur Mittelwerte über alle Wind- und PV-Jahre zeigt, gibt es zwischen einzelnen Simulationsläufen starke Variationen des optimalen Speicherzubaу. Der Unterschied zwischen dem größten und dem kleinsten Speicherzubaу beträgt unter Annahme eines flexiblen Systems bis zu 27 GW (B 2032), in einem unflexiblen System sogar bis zu 40 GW (C 2022). Dies zeigt, dass Analysen zum zukünftigen Speicherbedarf nicht auf Einspeise- beziehungsweise Wetterdaten einzelner Jahre basieren sollten.

**Hohe Kosten der vollständigen Überschussintegration durch Speicher**

Den Modellergebnissen zufolge werden in den NEP-Szenarien keine Speicher zugebaut, sofern die Abregelung erneuerbarer Stromerzeuger nicht eingeschränkt wird. Dies bedeutet, dass die Systemkosten ohne Speicherzubaу am niedrigsten liegen, obwohl erneuerbarer Strom mit Grenzkosten von Null Euro pro Megawattstunde verworfen wird. Die Investitionskosten eines Speichers können also nicht gerechtfertigt werden durch die eingesparten Kosten der alternativen Stromerzeugung in denjenigen Perioden, in denen der Speicher entladen würde.<sup>19</sup> Dies zeigt sich deutlich, wenn man die Kosten des Speicherzubaу auf die – durch diese zusätzlichen Speicher – vermiedene Energieabregelung bezieht. In den flexiblen NEP-Szenarien, in denen durch Abregelungsverbot der Speicherausbau forciert wird, stellen sich bei voller Überschussintegration durch Speicher je nach Szenario spezifische Speicherinvestitionen von hunderten bis tausenden Euro pro MWh vermiedener Abregelung ein; dieser Wert liegt deutlich über dem durchschnittlichen Marktwert des Stroms und auch über der durchschnittlichen EEG-Vergütung von Windstrom. In einem unflexiblen System, in dem Überschussituationen deutlich häufiger auftreten und Speicher demnach stärker ausgelastet sind, sinkt dieser Wert; in den NEP-Szenarien ergeben sich aber durchweg immer noch spezifische Investitionen von über hundert Euro pro MWh vermiedener Abregelung. Im

18 Dies dürfte daran liegen, dass viele Überschüsse länger als zwei Stunden andauern und dass die Annuität des Kurzspeichers etwas höher liegt als die des Tagesspeichers; dieser komparative Nachteil kann durch den höheren Wirkungsgrad des Kurzspeichers nicht ausgeglichen werden. Kurzspeicher dürften für die Bereitstellung kurzfristiger Systemdienstleistungen eine deutlich höhere Relevanz haben als für die mengenmäßige Verschiebung erneuerbarer Stromerzeugung.

19 Einschränkend wird allerdings noch einmal darauf hingewiesen, dass der mögliche weitere Nutzen von Stromspeichern in einem optimierten Gesamtsystem in Hinblick auf die Bereitstellung von gesicherter Leistung oder von Systemdienstleistungen hier nicht berücksichtigt wird.

2050-Szenario liegen die Werte etwas niedriger, da die Speicher noch häufiger genutzt werden.

### Auswirkungen auf Anteile erneuerbarer Energien in flexiblem System gering

In Bezug auf die Anteile erneuerbarer Energien am Stromverbrauch<sup>20</sup> zeigen sich in den Szenarien mit flexiblem Kraftwerkspark nur geringe Änderungen zwischen Abregelung und Speicherung, da die jährliche Überschussenergie in der Regel klein ist. Unter den NEP-Szenarien sind die Effekte im Szenario 2032 am größten. Aber selbst hier steigt der Erneuerbaren-Anteil bei maximalem Speicherzubaue im Vergleich zur Abregelung nur um ein Prozent; in einem unflexiblen System kann der Anteil im Jahr 2032 dagegen durch Stromspeicher um sieben Prozent gesteigert werden. Im 2050-Szenario sind die speicherbedingten Steigerungsmöglichkeiten des Anteils erneuerbarer Energien am Stromverbrauch größer, da hier höhere Überschüsse auftreten. Vergleichsmaßstab ist hier jedoch nicht die volle Abregelung der Überschüsse, sondern der in der Optimierung bestimmte Speicherzubaue, der selbst bei freier Abregelung aufgrund von Arbitragemöglichkeiten zustande kommen würde. In einem flexiblen System ist im Jahr 2050 durch einen gegenüber dieser Referenz forcierten Speicherzubaue eine Steigerung um gut ein Prozent möglich, in einem unflexiblen System dagegen um über 40 Prozent. Anders ausgedrückt: Ohne Systemflexibilisierung und den Einsatz von Stromspeichern lassen sich langfristig sehr hohe Anteile erneuerbarer Energien nicht erreichen.

### Fazit und energiepolitische Schlussfolgerungen

Um die Energiewende in Deutschland zu verwirklichen, muss die Stromerzeugung aus Windenergie und Photovoltaik weiter deutlich ausgebaut werden. Aufgrund ihrer variablen Erzeugungsmöglichkeiten verändert sich bei steigenden Anteilen dieser Technologien die von den übrigen Stromerzeugern zu deckende Residuallast in Deutschland deutlich, wobei verstärkt Überschusssituationen auftreten können. Die szenariobasierte Analyse des DIW Berlin zeigt, dass die erneuerbare Überschusserzeugung stark sinkt, wenn die Must-Run-Erzeugung konventioneller Kraftwerke vermindert und die Biomasseverstromung flexibilisiert wird. Dann treten im Jahr 2032 in 471 Stunden Überschüsse auf, deren Energie meist im Bereich weniger Gigawattstunden liegt. In der Spitze kommt es

aber zu sehr hohen Überschussleistungen von rund 41 GW. Insgesamt beträgt der Überschuss im Jahr 2032 bei einem flexiblen System weniger als zwei Prozent der maximal möglichen jährlichen Gesamterzeugung aus Wind- und Solarenergie. Ohne eine Flexibilisierung der thermischen Stromerzeugung steigt dieser Anteil jedoch auf 18 Prozent.

Die Analyse zeigt, dass eine volle Speicherung aller erneuerbaren Stromüberschüsse in Deutschland grundsätzlich nicht optimal sein dürfte, da die resultierende Auslastung der Speicher sehr gering wäre. In Bezug auf die gesamte mögliche Stromerzeugung aus variablen erneuerbaren Energien kann schon durch sehr kleine temporäre Abregelungen von Leistungsspitzen der notwendige Zubau von Speichern deutlich reduziert werden. Wenn auch nur ein Prozent der Energie abgeregelt werden kann, reduziert sich der Speicherbedarf zur Aufnahme der Überschussenergie im Jahr 2032 von 74 auf 38 GW in einem unflexiblen System und von 41 GW auf praktisch Null in einem flexiblen System. Würde der Beitrag berücksichtigt, den Speicher zur Abdeckung der Spitzenlast und zur Bereitstellung von Systemdienstleistungen leisten können, steigt das Volumen der optimalen Speicherinvestitionen. Die genaue Höhe der künftig optimalen Abregelung lässt sich aus heutiger Sicht kaum bestimmen, da sie von der relativen Kostenentwicklung unterschiedlicher Technologien und der Umsetzung verschiedener Flexibilitätsoptionen abhängt. In Hinblick auf die geringen Gesamtüberschüsse in einem flexiblen System ist aber davon auszugehen, dass die Kosten einer Weiterführung der gegenwärtigen Praxis, abregelungsbedingte Einnahmeausfälle zu kompensieren, auch künftig überschaubar bleiben dürften, insbesondere dann, wenn das Stromsystem flexibel ist. Kompensationszahlungen können sich positiv auf die Finanzierungsmöglichkeiten von Investoren erneuerbarer Stromerzeugungsanlagen auswirken, da Unsicherheiten über das Volumen möglicher Abregelungen vermieden werden.

Der Bedarf an Stromspeichern sinkt, wenn weitere Flexibilitätsoptionen in die Betrachtung einbezogen werden, die teilweise deutlich geringere Kapitalkosten als Stromspeicher aufweisen. Vor allem der Export temporärer Erzeugungsspitzen sowie die Nutzung von Strom im Wärmesektor erscheinen als geeignete und vergleichsweise kostengünstige Optionen zur sinnvollen Verwendung großer Teile künftiger Überschussenergien in Deutschland. Somit dürfte es sich beim – ohnehin geringen – Niveau der Abregelung in der vorliegenden Analyse um eine obere Grenze handeln. Die Bestimmung eines optimalen Mixes verschiedener Flexibilitätsoptionen bleibt Gegenstand der Forschung.

<sup>20</sup> Hier bezogen auf den Nettostromverbrauch zuzüglich Netzverlusten.



Da die Flexibilität der thermischen Stromerzeugung einen großen Einfluss auf die Entstehung temporärer Überschüsse und damit auch auf den Bedarf an Integrationsmaßnahmen hat, sollte ihre Steigerung höchste energiepolitische Priorität bekommen. Hierbei können neben anderen Maßnahmen auch unterschiedliche Energiespeichertechnologien eine Rolle spielen, beispielsweise bei der Verringerung des Must-Run-Sockels durch die Bereitstellung von Systemdienstleistungen (Stromspeicher), bei der Flexibilisierung der Kraft-Wärme-Kopplung (Wärmespeicher) sowie bei der Flexibilisierung der Biomasseverstromung (Biogasspeicher).

WolfPeter Schill ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin | [wschill@diw.de](mailto:wschill@diw.de)

### INTEGRATION OF WIND AND SOLAR ENERGY: FLEXIBLE ENERGY SYSTEM REDUCES SURPLUSES

---

**Abstract:** The implementation of the energy transition in Germany requires the further expansion of wind and solar power. With both of these technologies, electricity generation is subject to strong seasonal and weather-related variations. In consequence, temporary situations may arise where more power is generated than can be consumed at that point in time. In the present study, DIW Berlin uses selected future scenarios to estimate the potential scale of these surpluses and to examine how they should be tackled.

The aforementioned simulations indicate that increasing the flexibility of the energy system can drastically reduce the occurrence of surpluses. Currently, many power plants remain producing even in situations of low demand due to technical, economic and systemic reasons. If this must run requirement of conventional power plants is abandoned, and if power generated by biomass is tailored to demand, it would be possible to reduce the forecast power surplus from wind and solar energy for 2032 from over 18 percent to less than two percent of their potential annual production. The more flexible operation of Germany's fleet of power stations should, therefore, be an important aim for

In Hinblick auf die derzeit diskutierte Notwendigkeit der Förderung von Energiespeichern ist die Energiepolitik aufgerufen, die in der Vergangenheit vernachlässigte Technologieentwicklung weiter zu unterstützen, damit die mittel- und langfristig für verschiedene Anwendungszwecke erforderlichen Speicher auch tatsächlich zur Verfügung stehen. Die von den Bundesministerien für Bildung und Forschung, Wirtschaft und Technologie sowie Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit ins Leben gerufene Förderinitiative Energiespeicher ist mit einem Fördervolumen von 200 Millionen Euro ein guter Ansatz, der ausgebaut und verstetigt werden sollte.

the country's energy policy. Exporting power surpluses or using them in heating or demand-side measures will further increase system flexibility. Power storage devices can absorb some of the remaining surplus. Storage of all surplus power might not be economically viable. If storage capacity is merely constructed to capture such surplus, then it would be more cost efficient to curtail some of the peak renewable energy production. The size of the surplus that would need to be curtailed is in fact relatively small: based on a flexible system, in 2032, only less than two percent of potential power generated by wind and solar energy would need to be discarded.

In the medium and long term, various forms of energy storage will be required, not only to absorb surpluses, but also to cover peak load periods, to improve the flexibility of thermal electricity production, and to supply frequency control and other ancillary services. Apart from electricity storage devices, these can also comprise thermal energy and gas storage systems. From an energy policy perspective, therefore, it is advisable to continue support for research and development in these areas.

JEL: Q40; Q42; Q48

**Keywords:** renewable energy; residual load; power storage; Germany





Wolf-Peter Schill ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin

## FÜNF FRAGEN AN WOLF-PETER SCHILL

# »Langfristig werden Speicher wichtig«

1. Herr Schill, in einer aktuellen Studie haben Sie insbesondere die temporären Stromüberschüsse durch erneuerbare Energien untersucht. Unter welchen Bedingungen entstehen Stromüberschüsse und wie groß sind sie? Solche Stromüberschüsse treten immer dann auf, wenn die mögliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, insbesondere aus Windkraft und Photovoltaik, die zu diesem Zeitpunkt vorherrschende Stromnachfrage übersteigt. Das geschieht in den Szenarien, die wir hier betrachten, bis zum Jahr 2032 in der kurzfristigen Spitze in einer Größenordnung von 40 Gigawatt. Das ist fast die Hälfte der gesamten Spitzenlast. Allerdings muss man zwischen Überschüssen im Gesamtsystem und Überschüssen, die lokal auftreten können, differenzieren. Aufgrund solcher lokaler Übertragungsnetzengpässe an einzelnen Netzknoten ist es in den letzten Jahren bereits passiert, dass die Erzeugung erneuerbarer Energien abgeregelt werden musste.
2. Ist das nicht eine unnötige Verschwendung von wertvoller Energie? Grundsätzlich ist es natürlich richtig, den erneuerbaren Strom, den man erzeugen könnte, auch möglichst sinnvoll zu verwenden. Das ist zu niedrigen Grenzkosten erzeugter Strom, der auch noch CO<sub>2</sub>-frei ist, insofern möchte man den natürlich auch aus energie- und klimapolitischer Sicht vollständig verwenden. Die Frage ist, ob man diesen Strom in dem Moment, wo keine Möglichkeit mehr zur Verfügung steht, ihn sinnvoll zu nutzen, nicht lieber abregelt. Vorher gibt es aber vielfältige Möglichkeiten, dies zu verhindern.
3. Wie ließen sich denn die Stromüberschüsse am besten vermeiden? Die beste Möglichkeit, Überschüsse zu vermeiden, ist zunächst einmal die Systemflexibilisierung und auch die flexible Stromerzeugung aus Biomasseanlagen. Mit dem Rest der Überschüsse kann dann auf verschiedene Arten umgegangen werden. Stromspeicher sind eine wichtige Möglichkeit, aber eben auch der Export in benachbarte Regionen. Unsere Simulationen

zeigen, dass die Stromüberschüsse, sowohl was ihre Leistung betrifft, aber vor allem auch was ihre Gesamtenergie betrifft, stark davon abhängen, wie flexibel das Gesamtsystem ist. Wenn der Must-run, also das Mindesterzeugungsniveau der konventionellen Kraftwerke, auch in Zukunft ähnlich hoch bleibt wie er heute ist, dann wird die Gesamtenergie der Überschüsse in Zukunft dramatisch ansteigen.

4. Wie könnte die Flexibilisierung des Stromsystems am besten gestaltet werden? Das geht zum Beispiel durch ein Nachrüsten von konventionellen Kraftwerken. So können sie sich flexibler an die aktuelle Lage im Stromsystem anpassen, indem sie beispielsweise schneller an- und abfahren oder ihre technische Mindestlast verringern. Außerdem geht es um die Flexibilisierung von Kraftwerken in Kraft-Wärme-Kopplung, beispielsweise durch Wärmespeicher, und in Bezug auf Biomasseverstromung um eine andere Dimensionierung der Anlagen mit einer höheren Spitzenleistung und einem vorge-schalteten Biogasspeicher, sodass diese bedarfsgerecht Strom erzeugen können.
5. Was wäre aus wirtschaftlicher Sicht die optimale Lösung? Wir haben in unseren Berechnungen nicht untersucht, wie ein kostenoptimiertes Gesamtsystem aussehen würde. Aber viele Studien zeigen, dass die Flexibilisierung des Kraftwerksparks relativ kostengünstig bewerkstelligt werden kann, wohingegen Energiespeicher mit vergleichsweise hohen Investitionskosten verbunden sind. Wir würden sagen, dass zunächst das Gesamtsystem flexibilisiert werden sollte. Danach werden zunehmend Stromspeicher und andere Flexibilitätsoptionen eine Rolle spielen. Langfristig betrachtet, wenn man sehr hohe Anteile an erneuerbaren Energien erreichen will, hin zu einer Vollversorgung mit Erneuerbaren, werden insbesondere Stromspeicher noch einmal an Gewicht gewinnen.

Das Gespräch führte Erich Wittenberg.



Das vollständige Interview zum Anhören finden Sie auf [www.diw.de/interview](http://www.diw.de/interview)

# Die Industrie – ein wichtiger Treiber der Nachfrage nach Dienstleistungen

Von Dietmar Edler und Alexander Eickelpasch

Das Verarbeitende Gewerbe ist ein wichtiger Abnehmer von Dienstleistungen und hat damit einen wesentlichen Einfluss auf das Wachstum des Dienstleistungssektors. Umgekehrt sind die Impulse, die von Dienstleistungen auf das Verarbeitende Gewerbe ausgehen, geringer. Im Jahr 2009 induzierte die Industrieproduktion Beschäftigung im Dienstleistungsbereich in einem Umfang von rund 3,8 Millionen Erwerbstätigen induziert. Besonders hoch sind die Beschäftigungseffekte bei den unternehmensnahen Dienstleistungen.

In der wirtschaftspolitischen Debatte sollten diese Zusammenhänge stärker als bisher beachtet werden. Eine eindimensionale Beurteilung der Triebfedern des wirtschaftlichen Wachstums allein auf der Basis der Wirtschaftsstruktur einer Volkswirtschaft greift zu kurz. Sie unterschätzt die Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes und überschätzt diejenige des Dienstleistungssektors.

Wandeln sich die hoch entwickelten Volkswirtschaften zu reinen Dienstleistungsgesellschaften? Wird die Industrie künftig bedeutungslos? Ein Blick in die amtliche Statistik scheint diese Fragen zu bejahen: In allen hoch entwickelten Volkswirtschaften – so auch in Deutschland – lässt sich ein langfristiger Trend zur Tertiarisierung feststellen.

## Langfristige Trends im sektoralen Strukturwandel

So ist in den 70er und 80er Jahren im früheren Bundesgebiet die reale Bruttowertschöpfung im Produzierenden Gewerbe (Verarbeitendes Gewerbe, Baugewerbe, Bergbau, Energie, Wasser) jahresdurchschnittlich um rund 1,5 Prozent gewachsen. Im Dienstleistungssektor lag das Wachstum dagegen deutlich darüber – in den 70er Jahren bei 4,0 und in den 80er Jahren bei 3,4 Prozent. Auch in den Jahren nach der deutschen Vereinigung wuchs das Produzierende Gewerbe mit 0,1 Prozent nur noch sehr wenig, während das Wachstum des Dienstleistungssektors mit jahresdurchschnittlich 2,6 Prozent (1991 bis 2000) und 1,5 Prozent (2000 bis 2010) deutlich darüber lag.

Als Folge dieser Entwicklung ging der Anteil des Produzierenden Gewerbes an der gesamten Bruttowertschöpfung zurück: von 48,3 Prozent (Verarbeitendes Gewerbe: 36,5 Prozent) Anfang der 70er Jahre auf 36,9 Prozent (Verarbeitendes Gewerbe: 28,7 Prozent) Anfang der 90er Jahre (Abbildung 1). Der Anteil des Dienstleistungssektors stieg von 48,3 auf 61,9 Prozent. Auch nach der deutschen Vereinigung hielt dieser Trend an: 2012 wurden nur noch 30,6 Prozent der Wertschöpfung im Produzierenden Gewerbe (Verarbeitendes Gewerbe: 22,4 Prozent) erwirtschaftet, dagegen 68,4 Prozent im Dienstleistungssektor. Seit Mitte der 90er Jahre hat sich der Anteil des Verarbeitenden Gewerbes an der gesamten Wertschöpfung auf ein Niveau von etwas mehr als einem Fünftel eingependelt.

Verglichen mit den Verschiebungen bei der Bruttowertschöpfung war der Strukturwandel bei der Beschäftigung deutlich ausgeprägter. Dies liegt zu einem wesentlichen Teil an der unterschiedlichen Entwicklung der Arbeitsproduktivität; sie stieg im Dienstleistungssektor spürbar langsamer als im Produzierenden Gewerbe.

Studien zum sektoralen Strukturwandel verweisen auf die sehr große Heterogenität des Dienstleistungssektors und zeigen, dass sich die verschiedenen Dienstleistungssparten ganz unterschiedlich entwickelt haben. So handelt es sich bei der zunehmenden Tertiarisierung vor allem um eine Zunahme von Informationsdienstleistungen und von unternehmensnahen Dienstleistungen wie Forschung und Entwicklung, technische Dienste, Finanzierung, Rechts- und Steuerberatung, Werbung und Marktforschung, Handel und Verkehr (Abbildung 2). Diese differenzierte Betrachtung legt die Vermutung nahe, dass das Wachstum im Dienstleistungssektor nicht unerheblich von der Nachfrage der Industrie getrieben wird. Anders als die einfache Betrachtung des sektoralen Strukturwandels suggeriert, lässt sich die Bedeutung der Industrie für moderne Volkswirtschaften nur beurteilen, wenn auch deren indirekter Einfluss betrachtet wird.

Die Verflechtungen zwischen Industrie und Dienstleistungen lassen sich auf Basis von Input-Output-Tabellen (Kasten) näher untersuchen. Vorliegende Untersuchungen<sup>1</sup> bestätigen die Hypothese, dass das Wachstum des Dienstleistungsbereichs zu einem großen Teil auf die steigende Nachfrage der Unternehmen (Industrie- und Dienstleistungsunternehmen) zurückzuführen ist und weniger auf die Nachfrage von privaten Haushalten. Einige Studien zeigen zudem, dass nicht nur der Dienstleistungsbereich an das Produzierende Gewerbe liefert, sondern auch Vorleistungsverflechtungen in die umgekehrte Richtung bestehen. Allerdings übersteigen die Dienstleistungsvorleistungen die industriellen Vorleistungen deutlich.

**Verflechtungen können jetzt differenzierter betrachtet werden**

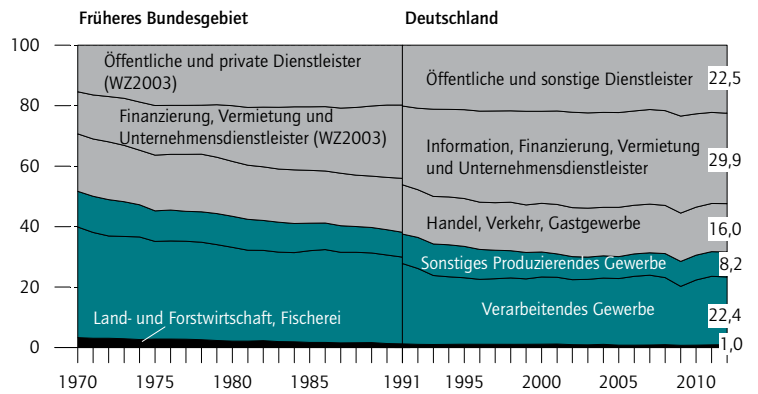
Die aktuelle, am 6. August 2013 veröffentlichte Input-Output-Tabelle des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2009<sup>2</sup> folgt in ihrer Gliederung nach 73 Gütergruppen der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe

<sup>1</sup> Ein Literaturüberblick bietet Eickelpasch, A. (2012): Industrienahe Dienstleistungen. Bedeutung und Entwicklungspotenziale. Expertise im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung, Bonn. WISO-Diskurs - Arbeitskreis Nachhaltige Strukturpolitik, library.fes.de/pdffiles/wiso/09101.pdf.

<sup>2</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2013): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, Input-Output-Rechnung 2008, Fachserie 18 Reihe 2, Wiesbaden.

Abbildung 1

**Bruttowertschöpfung in jeweiligen Preisen nach Wirtschaftssektoren**  
Struktur in Prozent



Quelle: Statistisches Bundesamt.

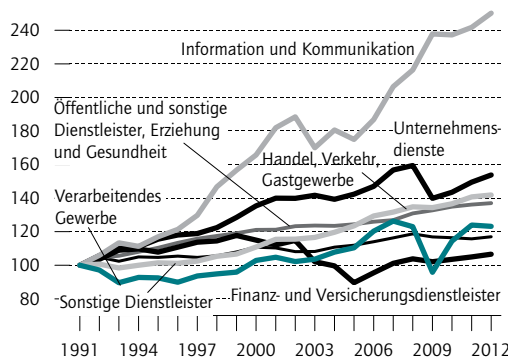
© DIW Berlin 2013

Der Industrieanteil schrumpft in Deutschland auf nur noch ein Fünftel.

Abbildung 2

**Preisbereinigte Bruttowertschöpfung nach Wirtschaftsbereichen**

Index 1991 = 100



Quelle: Statistisches Bundesamt.

© DIW Berlin 2013

Am stärksten wachsen die unternehmensnahen Dienstleistungen.

2008 (WZ 2008). Mit der Gliederung der Gütergruppen nach der WZ 2008 ist es in der Input-Output-Rechnung möglich, die Verflechtungsbeziehungen für verschiedene Dienstleistungsbereiche weitaus differenzierter zu analysieren als in der älteren, bis zum Berichtsjahr 2007 gebräuchlichen Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2003).<sup>3</sup> Nunmehr kann zum Beispiel bei den

<sup>3</sup> Allerdings sind deshalb die aktuellen Ergebnisse nur eingeschränkt mit den Ergebnissen auf Basis der Input-Output-Tabellen bis zum Jahr 2007 vergleichbar, sodass auf Vergleiche im Zeitablauf verzichtet wurde.

Kasten

**Input-Output-Analyse**

Die Standardmethode zur Untersuchung von Vorleistungsverflechtungen auf der Ebene von Wirtschaftsbereichen ist die Input-Output-Analyse. Input-Output-Tabellen zeigen die Bezugs- und Lieferverflechtungen zwischen den Sektoren einer Volkswirtschaft und mit dem Ausland. Damit kann sowohl untersucht werden, in welchem Umfang ein Sektor von anderen Sektoren oder aus dem Ausland seine Vorleistungen bezieht (Input- oder Kostenstruktur), als auch, in welchem Umfang ein Sektor seine Leistungen an den Endverbraucher oder an andere Sektoren liefert (Output- oder Lieferstruktur). Bei der Letzten Verwendung von Gütern (Endnachfrage oder Endverbrauch) wird danach unterschieden, ob die produzierten Güter in den privaten Konsum gehen, ob sie für Investitionen verwendet oder ob sie exportiert werden. Mit Hilfe der *Leontief-Inversen* können zusätzlich zu den in der Input-Output-Tabelle dargestellten direkten Verflechtungen auch die indirekten Verflechtungsbeziehungen in einer Volkswirtschaft berechnet werden.<sup>1</sup>

Die Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes stellen konzeptionell die wirtschaftlichen Verflechtungen aus technologischer Sicht dar. Dies bedeutet, dass nur solche Güter einem Sektor zugeordnet werden, die für die Herstellung eines Produktes unmittelbar benötigt werden. Dementsprechend werden die Verflechtungstabellen auch Produktionsverflechtungstabellen genannt. Dabei stehen die Produktionsfaktoren in der Zeitperiode einer Tabelle (üblicherweise ein Jahr) in einem festen Verhältnis zueinander (sogenannte linear-limitationale oder Leontief-Produktionsfunktion). Nebentätigkeiten werden einem anderen Sektor zugeordnet. Beispielsweise sind die Transportdienste, die ein Chemieunternehmen erbringt, eine Nebentätigkeit, da diese Leistungen nicht unmittelbar notwendig sind für die Produktion eines chemischen Produktes. Transportleistungen werden in der Input-Output-Analyse folglich dem Verkehrssektor zugerechnet. Diese Zuordnung gilt allerdings nicht für Hilfstätigkeiten wie Verwaltung, Reparatur etc. Diese Tätigkeiten verbleiben buchungstechnisch bei der Haupttätigkeit. Dies bedeutet, dass auch bei der funktionalen

<sup>1</sup> Kuhn, A. (2010): Input-Output-Rechnung im Überblick. Wiesbaden.

Gliederung, wie sie in der Input-Output-Analyse gebräuchlich ist, die intrasektorale Tertiarisierung industrieller Prozesse nicht vollständig erfasst wird. Auch die Wohnungsvermietung ist funktional abgegrenzt. Das Grundstücks- und Wohnungswesen umfasst also außer der gewerblichen Wohnungsvermietung als Haupttätigkeit auch die gewerbliche Wohnungsvermietung als Nebentätigkeit. Einheiten, die nach dem Schwerpunkt ihrer wirtschaftlichen Tätigkeit anderen Bereichen zugeordnet sind, sowie die nichtgewerbliche Wohnungsvermietung einschließlich der Nutzung von Eigentümerwohnungen sind somit im Grundstücks- und Wohnungswesen enthalten.

Die technologisch orientierten wirtschaftlichen Verflechtungstabellen des Statistischen Bundesamtes lassen sich nicht unmittelbar aus den vorhandenen amtlichen Statistiken erzeugen. Letztere sind nach dem institutionellen Konzept aufgebaut, das heißt die erfassten Unternehmen werden nach dem Schwerpunktprinzip einer einzelnen Branche zugeordnet, auch wenn sie mehrere ganz verschiedene Produkte herzustellen beziehungsweise anbieten. Darauf weist die amtliche Statistik selbst hin: „Im Gegensatz zu den Aufkommens- und Verwendungstabellen, die empirisch beobachtbare Produktionsprozesse und Güterströme abbilden, ermöglichen Input-Output-Tabellen eine eher analytisch-idealtypische Betrachtung von Produktionsprozessen, die in dieser reinen Form in der realen Wirtschaftswelt nur selten auftreten.“<sup>2</sup>

Weil in der Vorleistungsverflechtung nur jene Güterströme dargestellt werden, die in der Beobachtungsperiode in den Produktionsprozess einfließen, werden Investitionen in der Input-Output-Rechnung der Endnachfrage zugeordnet. Damit kann mit den vorliegenden Daten nicht untersucht werden, in welchem Umfang Investitionsgüter aus der Industrie an den Dienstleistungsbereich geliefert werden. Dazu wären Investitionsverflechtungstabellen notwendig, die für Deutschland aktuell nicht vorliegen.

<sup>2</sup> Statistik Austria (Hrsg.) (2012): Standard-Dokumentation. Metainformationen (Definitionen, Erläuterungen, Methoden, Qualität) zur Input-Output-Statistik, Wien.

unternehmensnahen Dienstleistungen differenzierter zwischen wissensintensiven und weniger wissensintensiven Bereichen unterschieden werden.

In der Abgrenzung der Input-Output-Rechnung beträgt der Anteil der Dienstleistungen an der Letzten Verwendung von Gütern (Endverbrauch) 58,4 Prozent, das größte Gewicht kommt dabei den konsumnahen und öffentlichen Dienstleistungen zu (Abbildung 3). Betrachtet man die Bruttoproduktion, so beträgt der An-

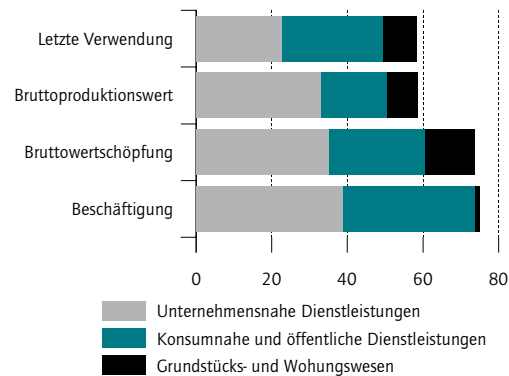
teil der Dienstleistungen an der gesamten Produktion nur etwas mehr (58,8 Prozent). Hier haben die unternehmensnahen Dienstleistungen ein deutlich größeres Gewicht, da sie vor allem als Vorleistungen in anderen Branchen, auch in der Industrie, eingesetzt werden. Bezogen auf die Wertschöpfung beträgt der Dienstleistungsanteil 73,6 Prozent.<sup>4</sup> Die größte Bedeutung ha-

<sup>4</sup> Der Wertschöpfungsanteil der Dienstleistungen in Abgrenzung der Input-Output-Rechnung weicht methodisch von der Darstellung nach VGR ab.

Abbildung 3

### Anteil von Dienstleistungen an der Volkswirtschaft nach dem Konzept der Input-Output-Rechnung 2009

In Prozent



Quellen: Statistisches Bundesamt; Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2013

Die größte Bedeutung haben die Dienstleistungen bei der Beschäftigung.

ben die Dienstleistungen bei der Beschäftigung, mit 74,9 Prozent arbeiten drei Viertel aller Beschäftigten in der Volkswirtschaft im Dienstleistungsbereich.

### Industrie ein wichtiger Kunde für die Dienstleistungsbranche

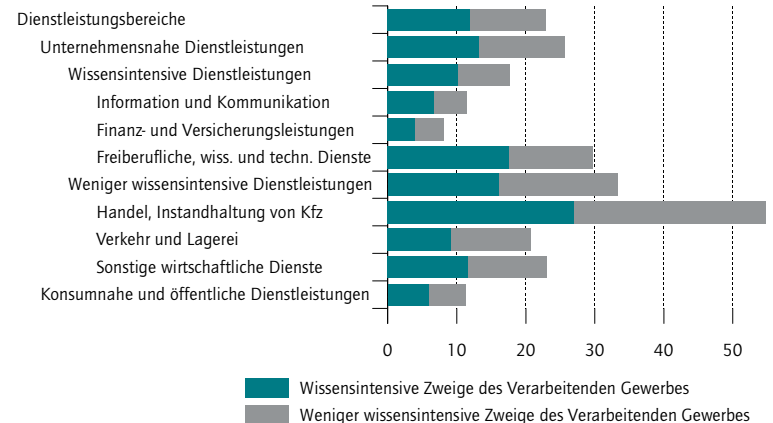
Die Produktion von Dienstleistungen belief sich im Jahr 2009 insgesamt auf 2 637 Milliarden Euro (in laufenden Preisen) (Tabelle 1). Die größten Dienstleistungsproduzenten sind mit 1 478 Milliarden Euro die unternehmensnahen Dienstleistungen (56,0 Prozent der Dienstleistungen insgesamt).<sup>5</sup> Auf die konsumnahen und öffentlichen Dienstleistungen (einschließlich Gastgewerbe) entfallen die restlichen 44,0 Prozent. Bei den unternehmensnahen Dienstleistungen bildet der Handel die größte Gruppe, ein Bereich, der hier zusammen mit Verkehr/ Lagerei und sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen (Vermietung von beweglichen Sachen, Arbeitskräfteüberlassung, Reisebüros etc.) zu den weniger wissensintensiven Dienstleistungen gezählt wird; insgesamt entfällt auf diese knapp die Hälfte der unternehmensnahen Dienstleistungen (53,9 Prozent). Innerhalb der wissensintensiven Dienstleistungen bilden die freiberuflichen, technischen und wissenschaftlichen Dienste die größte Gruppe.

<sup>5</sup> Ohne Berücksichtigung des Grundstücks- und Wohnungswesens. Das Gastgewerbe wird hier ebenfalls nicht berücksichtigt, sondern zu den konsumnahen Dienstleistungen gezählt.

Abbildung 4

### Anteil der Dienstleistungen, die vom Verarbeitenden Gewerbe nachgefragt werden, 2009

In Prozent der Dienstleistungen, die als Vorleistungen eingesetzt werden



Quelle: Statistisches Bundesamt; Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2013

Die Nachfrage nach weniger wissensintensiven Dienstleistungen ist besonders hoch.

Nicht überraschend ist, dass mit 1 517 Milliarden Euro der überwiegende Teil der Produktion des gesamten Dienstleistungsbereichs (57,7 Prozent) unmittelbar in die Letzte Verwendung und hier vor allem in den Konsum fließt. 42,5 Prozent der Dienstleistungen gehen als Vorleistung in die gesamtwirtschaftliche inländische Produktion ein. Zum Vergleich: Im Verarbeitenden Gewerbe sind nur 39,9 Prozent der Produktion Vorprodukte. Dies liegt vor allem an der deutlich höheren Exportquote des Verarbeitenden Gewerbes.

### Wissensintensive Industrie wichtigster Abnehmer von wissensintensiven Diensten

An welche Bereiche Dienstleistungen geliefert werden, zeigt die Differenzierung nach Produktionsbereichen. Zunächst fällt auf, dass die meisten Dienstleistungen, die als inländische Vorleistung nachgefragt werden – also ohne die Nachfrage aus Konsum, Investitionen oder dem Ausland – an den Dienstleistungsbereich selbst gehen (68,9 Prozent). 30,2 Prozent der Dienstleistungen sind Vorleistungen für das Produzierende Gewerbe. Hierunter ist das Verarbeitende Gewerbe mit 22,9 Prozent der größte Nachfrager nach Dienstleistungen. Auf die wissensintensiven Branchen (Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Maschinenbau, chemische und pharmazeutische Industrie) entfallen mit 11,9 Prozent etwa gleich viel wie mit 11,0 Prozent auf die weniger wissensintensiven Branchen (Nahrungsmittelerzeugung, Textil, Bekleidung, Papier, Druck, Metallerzeugung etc.).

Tabelle 1

## Input-Output-Tabelle 2009

	Produktion insgesamt	Letzte Verwendung	Vorleistungen	Produzierendes Gewerbe			
				Insgesamt	Verarbeitendes Gewerbe		
					Insgesamt	Wissensintensive Zweige <sup>1</sup>	Weniger wissensintensive Zweige <sup>2</sup>
In Milliarden Euro							
Land- und Forstwirtschaft, Fischerei	48,0	18,0	30,0	67,2	67,1	0,0	67,1
Produzierendes Gewerbe	1 800,7	1 063,4	737,3	79,5	63,7	36,1	27,6
Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden	16,4	2,7	13,7	96,9	41,9	20,6	21,3
Verarbeitendes Gewerbe	1 391,7	837,1	554,6	85,9	75,9	44,7	31,2
Wissensintensive Zweige <sup>1</sup>	724,9	500,4	224,5	91,1	85,9	77,5	8,5
Weniger wissensintensive Zweige <sup>2</sup>	666,8	336,7	330,1	82,4	69,1	22,5	46,6
Energie	112,6	39,1	73,5	75,3	36,4	11,3	25,2
Wasser, Abwasser	45,8	26,0	19,8	61,9	50,2	22,4	27,9
Baugewerbe	234,2	158,5	75,7	37,9	8,1	3,4	4,7
Dienstleistungsbereiche	2 637,3	1 517,0	1 120,3	30,2	22,9	11,9	11,0
Unternehmensnahe Dienstleistungen	1 477,8	592,6	885,2	31,9	25,6	13,2	12,4
Wissensintensive Dienstleistungen	680,3	245,2	435,1	22,2	17,6	10,2	7,5
IuK	205,5	95,5	110,0	14,6	11,5	6,8	4,7
Finanz- und Versicherungsleistungen	235,9	85,7	150,1	12,5	8,1	4,0	4,1
Freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienste	238,9	63,9	175,0	35,2	29,7	17,6	12,2
Weniger wissensintensive Dienstleistungen	797,5	347,5	450,1	41,4	33,3	16,2	17,2
Handel, Instandhaltung von Kfz	408,7	251,6	157,1	65,9	54,8	27,0	27,8
Verkehr und Lagerei	219,7	73,2	146,5	23,9	20,7	9,1	11,6
Sonstige wirtschaftliche Dienste	169,1	22,7	146,5	32,5	23,0	11,6	11,4
Konsumnahe und öffentliche Dienstleistungen	793,4	690,7	102,7	21,7	11,3	6,1	5,2
Gastgewerbe	72,7	67,5	5,2	27,5	20,6	13,7	7,0
Öffentliche Verwaltung	213,1	186,5	26,6	50,5	18,4	8,5	9,9
Erziehung und Unterricht	129,4	115,2	14,3	9,9	9,4	7,7	1,7
Gesundheits- und Sozialwesen	234,2	219,1	15,1	3,5	3,4	2,7	0,7
Kunst, Unterhaltung und Erholung	46,9	32,5	14,4	2,3	2,1	0,6	1,5
Sonstige Dienste	90,2	63,1	27,2	19,2	12,8	6,1	6,7
Private Haushalte	6,9	6,9	0,0				
Grundstücks- und Wohnungswesen	366,1	233,6	132,5	25,3	13,9	7,6	6,3
Input der Produktionsbereiche insgesamt	4 486,0	2 598,3	1 887,6	50,0	39,6	21,2	18,4

1 Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Maschinenbau, chemische und pharmazeutische Industrie.

2 Nahrungsmittelerzeugung, Textil, Bekleidung, Holz, Papier, Druck, Mineralerzeugung, Gummi, Kunststoff, Glas, Keramik, Metallerzeugung, Möbel, Reparaturen.

Quellen: Statistisches Bundesamt; Berechnungen des DIW Berlin.

In den einzelnen Zweigen des Dienstleistungsbereiches ist die Vorleistungsverflechtung mit dem Verarbeitenden Gewerbe unterschiedlich stark ausgeprägt (Abbildung 4). Bei den unternehmensnahen Dienstleistungen ist sie mit 25,6 Prozent erwartungsgemäß sehr groß, bei den konsumnahen und öffentlichen Dienstleistungen sehr niedrig (11,3 Prozent). Innerhalb der Gruppe der unternehmensnahen Dienste werden von den wissensintensiven Diensten (Verlage, Information und Kommunikation, freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienste, Rechts- und Steuerberatung, Werbung, Marktforschung, Finanzdienste etc.) von der Industrie 17,6 Prozent nachgefragt, von den weniger wissensintensiven Dienstleistungen mit 33,3 Prozent deutlich mehr. Bemerkenswert ist, dass die wissensin-

tensiven Dienste überwiegend von den wissensintensiven Industriezweigen wie Fahrzeugbau, Elektrotechnik, Maschinenbau, pharmazeutische und chemische Industrie nachgefragt werden. Unterschiede zwischen den Zweigen gibt es sowohl bei den wissensintensiven als auch bei den weniger wissensintensiven Branchen:

- Als typische wissensintensive unternehmensnahe Dienstleistungen gelten die freiberuflichen, technischen und wissenschaftlichen Dienstleistungen. Knapp 30 Prozent dieser Dienstleistungen werden vom Verarbeitenden Gewerbe nachgefragt. Bei den Werbe- und Marktforschungsleistungen, die dieser Gruppe zugerechnet werden, liegt der Anteil sogar bei knapp 55 Prozent. Bei den Forschungs- und Ent-



## DIENSTLEISTUNGSNACHFRAGE

Vorleistungen an die Bereiche										
Dienstleistungsbereiche										
Insgesamt	Unternehmensnahe Dienstleistungen									Konsumnahe und öffentliche Dienstleistungen insgesamt
	Insgesamt	Wissensintensive Dienstleistungen				Weniger wissensintensive Dienstleistungen				
		Insgesamt	IuK	Finanz- und Versicherungsleistungen	Freiberufliche, wiss. und techn. Dienste	Insgesamt	Handel, Instandhaltung von Kfz	Verkehr und Lagerei	Sonstige wirtschaftliche Dienste	
In Prozent der Vorleistungen										
6,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	3,1
17,8	9,4	3,4	2,1	0,5	0,8	5,9	3,2	2,2	0,6	6,7
4,8	0,7	0,1	0,0	0,0	0,1	0,6	0,3	0,0	0,2	2,1
13,1	7,9	3,0	2,2	0,2	0,5	5,0	2,6	2,0	0,4	5,0
8,3	5,0	2,2	1,9	0,0	0,2	2,9	1,6	1,1	0,2	3,3
16,3	9,9	3,5	2,4	0,4	0,7	6,4	3,3	2,7	0,5	6,2
27,9	14,0	3,9	1,4	1,3	1,2	10,1	7,3	2,1	0,7	8,9
49,2	13,4	4,8	1,4	1,3	2,0	8,6	5,1	1,4	2,1	20,3
37,0	15,8	6,5	2,5	1,7	2,4	9,3	3,5	4,0	1,9	13,9
68,9	49,9	25,7	7,1	11,0	7,6	24,1	11,8	7,6	4,7	14,1
67,0	52,6	27,3	7,5	12,5	7,3	25,3	11,0	9,1	5,3	10,2
77,4	60,2	47,1	11,6	22,9	12,6	13,0	5,8	3,1	4,1	9,5
85,3	69,8	57,3	37,6	6,2	13,5	12,4	5,0	3,6	3,9	14,8
86,8	64,9	54,7	1,6	50,7	2,5	10,1	4,5	3,8	1,9	8,4
64,3	50,1	34,2	3,9	9,7	20,7	15,9	7,5	2,1	6,3	7,0
57,0	45,3	8,1	3,6	2,3	2,2	37,2	16,0	14,9	6,3	11,0
32,1	16,1	5,4	3,0	0,6	1,8	10,7	6,4	3,3	1,0	15,9
75,9	71,3	5,3	2,6	1,3	1,4	66,0	31,9	33,5	0,6	4,5
64,9	50,7	13,7	5,1	5,3	3,3	36,9	10,5	8,8	17,7	12,2
77,9	27,1	18,3	5,7	3,4	9,1	8,8	4,3	2,3	2,2	48,4
72,5	53,0	18,6	6,5	8,4	3,7	34,3	13,3	17,3	3,7	18,8
48,6	27,9	17,2	2,4	1,4	13,4	10,7	3,8	2,2	4,7	14,0
90,0	18,5	16,3	5,3	5,3	5,7	2,2	0,2	1,5	0,6	68,9
96,4	3,5	1,2	0,0	0,2	1,0	2,2	1,7	0,0	0,5	92,9
97,7	26,4	25,9	19,9	5,5	0,5	0,6	0,2	0,1	0,3	71,2
80,3	39,4	25,8	4,8	4,2	16,9	13,6	8,7	2,5	2,4	40,1
74,4	49,3	21,3	5,7	7,4	8,2	28,0	23,3	2,1	2,6	13,1
48,0	33,3	16,6	5,1	6,8	4,8	16,7	8,3	5,4	3,0	11,0

© DIW Berlin 2013

wicklungsleistungen und bei den Ingenieurbüros, die auch dazu gehören, ist der Anteil mit 45 und 40 Prozent ebenfalls sehr hoch. Wissensintensive Industriebranchen sind die Hauptabnehmer dieser Dienste. Von den Leistungen des Informations- und Kommunikations-Bereiches (IuK) wird vergleichsweise wenig an industrielle Abnehmer geliefert (11,5 Prozent). Von den IT-Leistungen, einer Untergruppe des IuK-Bereiches, ist es mit knapp 18 Prozent auch nur wenig. Die geringe Verflechtung verdeutlicht zugleich den Querschnittscharakter der IuK-Branche.

- Bei den weniger wissensintensiven Bereichen ist der Handel besonders stark mit der Industrie verbunden, und zwar sowohl der Groß- als auch der Einzelhandel. Unter den sonstigen wirtschaftlichen Dienstleistungen

wird vor allem die Vermittlung von Arbeitskräften besonders stark von der Industrie nachgefragt (66,1 Prozent).

Unbekannt ist, ob die Dienstleistungsexporte im Ausland konsumiert oder investiert werden oder ob sie Vorleistungen für die Produktion im Ausland sind. Wenn man jedoch für die Nachfrage aus dem Ausland eine ähnliche Nachfragestruktur wie für das Inland unterstellt, dass nämlich rund zwei Fünftel der exportierten Dienstleistungen Vorleistungen sind, so bedeutet dies, dass die gesamte in- und ausländische Vorleistungsverflechtung der Dienstleistungen deutlich höher zu veranschlagen ist. Insbesondere für den Bereich Handel, Verkehr etc. und für den Bereich IuK und für die

Tabelle 2

**Durch die Nachfrage nach Industriegütern induzierte Beschäftigung**

	Nachfrage nach Industriegütern insgesamt <sup>1</sup>	darunter:			Nachfrage insgesamt
		Privater Verbrauch	Ausrüstungen	Export	
<b>In 1 000 Personen</b>					
<b>Dienstleistungsbereiche</b>	<b>3 840</b>	<b>968</b>	<b>369</b>	<b>2 660</b>	<b>29 793</b>
Unternehmensnahe Dienstleistungen	3 518	891	340	2 431	15 669
Wissensintensive Dienstleistungen	1 027	243	96	731	4 897
Weniger wissensintensive Dienstleistungen	2 491	648	244	1 700	10 772
Konsumnahe und öffentliche Dienstleistungen	322	77	29	229	14 124
<b>Andere Wirtschaftsbereiche</b>	<b>6 308</b>	<b>1 521</b>	<b>673</b>	<b>4 364</b>	<b>10 577</b>
Verarbeitendes Gewerbe	5 681	1 245	649	4 029	6 543
Übrige Bereiche	626	276	23	335	4 034
<b>Wirtschaft insgesamt</b>	<b>10 148</b>	<b>2 488</b>	<b>1 041</b>	<b>7 024</b>	<b>40 370</b>
<b>Sektorale Anteile in Prozent</b>					
<b>Dienstleistungsbereiche</b>	<b>37,8</b>	<b>38,9</b>	<b>35,4</b>	<b>37,9</b>	<b>73,8</b>
Unternehmensnahe Dienstleistungen	34,7	35,8	32,6	34,6	38,8
Wissensintensive Dienstleistungen	10,1	9,8	9,2	10,4	12,1
Weniger wissensintensive Dienstleistungen	24,5	26,1	23,4	24,2	26,7
Konsumnahe und öffentliche Dienstleistungen	3,2	3,1	2,8	3,3	35,0
<b>Andere Wirtschaftsbereiche</b>	<b>62,2</b>	<b>61,1</b>	<b>64,6</b>	<b>62,1</b>	<b>26,2</b>
Verarbeitendes Gewerbe	56,0	50,0	62,4	57,4	16,2
Übrige Bereiche	6,2	11,1	2,2	4,8	10,0
<b>Wirtschaft insgesamt</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>
<b>Anteil der durch die Nachfrage nach Industriegütern induzierten Beschäftigung an der Beschäftigung insgesamt in Prozent</b>					
<b>Dienstleistungsbereiche</b>	<b>12,9</b>	<b>3,2</b>	<b>1,2</b>	<b>8,9</b>	<b>100,0</b>
Unternehmensnahe Dienstleistungen	22,5	5,7	2,2	15,5	100,0
Wissensintensive Dienstleistungen	21,0	5,0	2,0	14,9	100,0
Weniger wissensintensive Dienstleistungen	23,1	6,0	2,3	15,8	100,0
Konsumnahe und öffentliche Dienstleistungen	2,3	0,5	0,2	1,6	100,0
<b>Andere Wirtschaftsbereiche</b>	<b>59,6</b>	<b>14,4</b>	<b>6,4</b>	<b>41,3</b>	<b>100,0</b>
Verarbeitendes Gewerbe	86,8	19,0	9,9	61,6	100,0
Übrige Bereiche	15,5	6,8	0,6	8,3	100,0
<b>Wirtschaft insgesamt</b>	<b>25,1</b>	<b>6,2</b>	<b>2,6</b>	<b>17,4</b>	<b>100,0</b>

<sup>1</sup> Die ausgewiesenen Komponenten der induzierten Beschäftigung können den Wert für insgesamt übersteigen, da der nicht ausgewiesenen Komponente Vorratsveränderungen ein negativer Wert der induzierten Beschäftigung zugerechnet werden kann.

Quellen: Statistisches Bundesamt; Berechnungen des DIW Berlin.

© DIW Berlin 2013

freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Dienste ist dies von Belang, da hier die Exportquoten sehr hoch sind.

### Dienstleistungsbereich ist als Absatzmarkt für die Industrie weniger bedeutend

Die Entwicklung der Industrie wird in weitaus geringerem Maße von der Nachfrage aus dem Dienstleistungsbereich bestimmt als das Wachstum der Dienstleistungen von der Industrie. Gleichwohl stellen die Nachfrageeffekte des Dienstleistungsbereiches eine nicht zu vernachlässigende Größe dar. So gehen von den inländisch verwendeten industriellen Vorprodukten nur 13,1 Prozent in die Dienstleistungsproduktion ein. Dies

ist deutlich weniger als die industrielle Nachfrage nach Dienstleistungen (22,9 Prozent).

Die Frage, ob sich die Bedeutung der Industrie als Abnehmer von Dienstleistungen im Zeitablauf verändert hat, kann mit den vorliegenden Daten nicht beantwortet werden, da die Input-Output-Tabellen nur schwer mit denen der Vorjahre vergleichbar sind. Allerdings zeigt der Vergleich der Jahre 2007 und 2000,<sup>6</sup> dass der Anteil der Dienstleistungen, die als Vorleistungen in die gesamtwirtschaftliche Produktion eingehen, praktisch gleich geblieben ist: Im Jahr 2000 belief er sich

<sup>6</sup> Für diesen Zeitraum liegen methodisch vergleichbare Input-Output-Tabellen des Statistischen Bundesamtes in der nunmehr veralteten Wirtschaftszweigsystematik WZ 2003 vor.

auf 40,6 Prozent, 2007 waren es 41,0 Prozent. Auch für die einzelnen Dienstleistungsarten hat sich nicht viel geändert.<sup>7</sup>

### Exporte der Industrie wichtiger Impulsgeber für die Beschäftigung im Dienstleistungsbereich

Die Endnachfrage nach industriellen Gütern induziert wegen der beschriebenen Verflechtungen in erheblichem Umfang Produktion, Wertschöpfung und Beschäftigung in den Dienstleistungsbereichen. So hat die Nachfrage nach industriellen Gütern im Jahr 2009 eine Dienstleistungsproduktion von 365 Milliarden Euro angestoßen, damit sind eine Wertschöpfung von 205 Milliarden Euro sowie eine induzierte Dienstleistungsbeschäftigung von rund 3,8 Millionen Personen verbunden. Von der gesamten Beschäftigung, die durch die Nachfrage nach Industriegütern angestoßen wird (10,2 Millionen Personen), entfallen damit 37,8 Prozent auf Dienstleistungsbeschäftigung (Tabelle 2).

Herausragende Bedeutung bei der durch die Industriegüternachfrage ausgelösten Beschäftigung hat der Export. Auf ihn gehen allein 2,7 Millionen Beschäftigte im Dienstleistungsbereich zurück, das sind knapp 70 Prozent der so angestoßenen Beschäftigung. Dahinter fallen der private Verbrauch (968 000 Beschäftigte) und die Ausrüstungsinvestitionen (369 000 Beschäftigte) deutlich zurück.

Die Nachfrage nach Industriegütern strahlt vor allem auf die unternehmensnahen Dienstleistungen aus. 22,5 Prozent der Beschäftigung in diesen Bereichen wird durch die Industrie ausgelöst. In Teilbereichen ist der Anteil sogar höher, bei den sonstigen wirtschaftlichen Diensten beträgt er 33,9 Prozent, bei den freiberuflichen, wissenschaftlichen und technischen Diensten 29,4 Prozent. Auch Verkehr und Lagerei profitieren mit 27,3 Prozent ihrer Beschäftigung überdurchschnittlich von der Indus-

<sup>7</sup> Eickelpasch, A. (2012), a. a. O.

Dietmar Edler ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Innovation, Industrie, Dienstleistung am DIW Berlin | dedler@diw.de

trie. Dagegen werden nur 2,3 Prozent der Beschäftigung in konsumnahen und öffentlichen Dienstleistungen von der Industriegüternachfrage beeinflusst. Es sind also die besonders dynamisch wachsenden unternehmensnahen Dienstleistungen, die in erheblichem Umfang von der industriellen Entwicklung getrieben werden.

### Fazit

Das Verarbeitende Gewerbe ist ein wichtiger Abnehmer von Dienstleistungen und hat damit einen wesentlichen Einfluss auf das Wachstum des Dienstleistungssektors. Demgegenüber sind die Impulse, die von Dienstleistungen auf das Verarbeitende Gewerbe ausgehen, geringer. Im Dienstleistungsbereich wurde 2009 mit der Industrieproduktion Beschäftigung in einem Umfang von 3,8 Millionen Erwerbstätigen induziert, das sind 12,9 Prozent der Erwerbstätigen im Dienstleistungsbereich. Besonders hoch sind die Beschäftigungseffekte bei den unternehmensnahen Dienstleistungen; dies sind 22,5 Prozent der in diesen Bereichen Tätigen.

In der wirtschaftspolitischen Diskussion sollten diese Zusammenhänge stärker als bisher berücksichtigt werden. Eine eindimensionale Beurteilung der Triebfedern des wirtschaftlichen Wachstums allein auf der Basis der Wirtschaftsstruktur einer Volkswirtschaft greift zu kurz. Sie unterschätzt – wie gezeigt – die Bedeutung des Verarbeitenden Gewerbes und überschätzt den Dienstleistungssektor.

Die Verzahnung von Industrie und Dienstleistungen dürfte künftig noch weiter zunehmen. Dafür sprechen etwa die zunehmende Bedeutung produktbegleitender Dienstleistungen,<sup>8</sup> verstärkte Anstrengungen in Forschung, Entwicklung und Innovation sowie die zunehmende Digitalisierung der Fertigungsprozesse und Arbeitsabläufe in Industrieunternehmen.

<sup>8</sup> Beispielsweise: Schröter, M. et al. (2010): Nutzen statt kaufen. Verbreitung und Effekte neuer ProduktDienstleistungs-Konzepte im deutschen verarbeitenden Gewerbe. Modernisierung der Produktion, Ausgabe 53, Karlsruhe.

Alexander Eickelpasch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Innovation, Industrie, Dienstleistung am DIW Berlin | aeickelpasch@diw.de

## MANUFACTURING—A KEY DRIVER OF DEMAND FOR SERVICES

**Abstract:** The manufacturing sector is a major purchaser of services and therefore has a significant impact on growth in the service sector. Conversely, there is not as much impetus generated by services to the manufacturing sector. In 2009, industrial production led to the creation of a further 3.8 million jobs in the service sector. The impact on employment in support services to enterprises was particularly high.

JEL: L80, L16, C67

**Keywords:** Services, Structural change, Input-output-models, Germany

In the economic policy debate, these relationships should be stronger than has been the case to date. A one-dimensional assessment of the drivers of economic growth based solely on the economic structure of an economy falls short. It both underestimates the importance of the manufacturing sector and overestimates that of the service sector.



Gert G. Wagner ist Vorstandsmitglied des DIW Berlin und Vorsitzender der Zensuskommission. Der Beitrag gibt die Meinung des Autors wieder.

# Nach dem Zensus ist vor dem Zensus

Viele Städte und Gemeinden in Deutschland sind in heller Aufregung: Sie sind laut Volkszählung kleiner als es ihre Melderegister ausweisen. Und damit fließt weniger Geld aus dem Finanzausgleich, der sich nach der Einwohnerzahl bemisst. Deswegen bezweifeln viele Städte und Gemeinden die statistischen Zahlen.

Was ist passiert? Die mit der Volkszählung amtlich festgestellte Zahl von 80,2 Millionen Einwohnern in Deutschland (2011) beruht auf einem neuartigen Konzept. Der Zensus verzichtet auf eine Befragung aller Einwohner in Deutschland und verwendet stattdessen in erster Linie Informationen der Einwohnermeldeämter und der Bundesanstalt für Arbeit. Deren Datenbanken wurden statistisch ausgewertet und mit Hilfe von Befragungen von etwa einem Drittel der Menschen in Deutschland korrigiert und ergänzt. Dieses neue Konzept hat viel Geld gespart und trotzdem ein sehr gutes Ergebnis erzielt. Ein Ergebnis, das auch keineswegs überrascht: Jeder weiß, dass es in Einwohnermeldeämtern Karteileichen gibt. Aufgrund des Zensus-Tests im Jahr 2002, dessen Ergebnisse alle Verantwortlichen beim Bund und in Ländern und Gemeinden kannten, hat das Statistische Bundesamt mit 80,4 Millionen Einwohnern gerechnet. Also nur 200 000 mehr, als jetzt festgestellt wurden. Niemand sollte also überrascht sein. Da aber jeder einzelne Einwohner mit ein paar Tausend Euro zu Buche schlägt und es somit teilweise um Millionenbeträge geht, die Gemeinden und Städte jährlich verlieren werden, gibt es freilich Klagedrohungen.

Haben sich die Statistiker verrechnet? In der Tat kennen wir auch nach dem Zensus die Einwohnerzahlen der einzelnen Städte und Gemeinden nicht hundertprozentig genau. Das war aber auch bei traditionellen Volkszählungen keineswegs der Fall, für die zehntausende von Zählern unterwegs waren, die – wie man sich leicht vorstellen kann – in Einzelfällen hochgradig fehlerhaft gearbeitet haben. Der registergestützte Zensus ist heutzutage die vernünftige Methode, denn die Qualität der Melderegister ist heute besser als früher.

Klagen gegen das Zensus-Ergebnis werden wenig bringen. Denn im Zensus-Gesetz wird ja keineswegs versprochen, dass die 100-prozentig wahre Einwohnerzahl ermittelt wird. So gibt es neben Karteileichen auf der einen Seite auch illegal in Städten lebende Ausländer auf der anderen Seite, die eigentlich auch gezählt werden müssten, wenn man den Finanzbedarf einer Stadt ermitteln will. Und wenn das Grundsatz-Argument angeführt wird, dass der Finanzausgleich anhand der amtlich festgestellten Einwohnerzahl finanztechnisch unzureichend sei, muss man feststellen: Darum geht es hier nicht. Das Zensus-Gesetz hat eine bestimmte Zählungsmethode vorgegeben. Und diese wurde umgesetzt. Kein Grund zur Klage. Wie mit den Mindereinnahmen einzelner Gemeinden, Städte und Bundesländer umgegangen wird, ist eine rein politische Frage, die nicht mit einer Klage gegen das Zensusergebnis entschieden werden kann. Vielmehr sollte ab sofort diskutiert werden, ob künftig ein aufwendiger Zensus, der mehrere hundert Millionen Euro kostet, eingespart und stattdessen in datenschutzrechtlich einwandfreier Weise auf Knopfdruck die Einwohnerzahl ermittelt werden kann.

Wie das Schweizer Beispiel zeigt, ist dazu kein zentrales Einwohner-Meldeamt für ganz Deutschland notwendig, sondern nur eine zentrale Statistik-Datenbank. Auch das Zensus-Ergebnis für Rheinland-Pfalz weist in diese Richtung: Dort gibt es ein zentrales Melderegister, das trotz seiner Zentralität den Datenschutz nicht verletzt. In keinem Bundesland weichen Zensus-Ergebnis und die aus dem Melderegister stammende Bevölkerungszahl so wenig voneinander ab wie in Rheinland-Pfalz. Und gäbe es den Zensus auf Knopfdruck, müssten Städte und Gemeinden auch nicht zehn Jahre und mehr warten, bis es mal wieder neue amtlich beglaubigte Einwohnerzahlen gibt. Es könnte jährlich oder gar vierteljährlich gezählt werden. Im Zeitalter einer großen Skepsis bezüglich „Big Data“ ist es politisch sicherlich nicht einfach, über eine zentrale Statistik-Datenbank zur Ermittlung der Einwohnerzahlen zu reden. Aber es ist notwendig, wenn man einen zeitnahen Finanzausgleich will.