



Das Energiesystem der Zukunft.

Photo by gonz-ddl on Unsplash

# 100 %

## Erneuerbare Energien für Deutschland bis 2030

Klimaschutz – Versorgungssicherheit – Wirtschaftlichkeit

### Executive Summary

Thure Traber\*

Hans-Josef Fell\*\*

Franziska Simone Hegner°

\* EWG, [traber@energywatchgroup.org](mailto:traber@energywatchgroup.org)

\*\* EWG, [fell@hans-josef-fell.de](mailto:fell@hans-josef-fell.de)

° Technical University of Munich (TUM), James-Franck-Straße 1, 85748 Garching, Germany.

# Executive Summary

Die Bundesrepublik Deutschland hat – völkerrechtlich verpflichtend – das Klimaschutzabkommen von Paris unterzeichnet. Der Beschluss des Bundesverfassungsgerichts vom April 2021 zur Unzulässigkeit des Klimaschutzgesetzes von 2019 beanstandet eine mit dem Klimaabkommen von Paris nicht vereinbare Zeitplanung der Emissionsreduktion durch die Bundesregierung. Der Beschluss wies damit auch indirekt auf die Notwendigkeit der Entwicklung einer schnelleren und anspruchsvolleren Klimapolitik hin. So wäre mit der derzeit zulässigen Emissionsmenge das vom Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) ausgewiesene, für Deutschland verbleibende nationale Restbudget an CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2030 weitestgehend aufgebraucht.

Die Einhaltung des 1,5 °C-Ziels erfordert daher ein Ende aller Treibhausgasemissionen bis etwa 2030. Der Kern dieser notwendigen Jahrhundertaufgabe besteht in der Umstellung auf 100 % Erneuerbare Energien über alle Sektoren hinweg. Denn die Weiterentwicklungen konventioneller Technologien im Bereich der fossilen und nuklearen Energien ist nach der deutlichen Mehrheit gängiger Kostenrechnungen energetisch ineffizient, zu teuer und im Ausbau zu langsam, um einen Beitrag zum Klimaschutz leisten zu können.

Bislang sind uns keine Untersuchungen bekannt, weder im Energiesektor noch über alle emissionsrelevanten Sektoren hinaus, die ein Szenario aufzeigen, welches bis 2030 auf 100 % Erneuerbaren Energien basiert. Die EWG legt somit das erste umfassende Energie-Szenario vor, das den Weg zu 100 % Erneuerbaren Energien bis 2030 sektorenübergreifend, techno-ökonomisch umsetzbar und mit vollständiger Bedarfsdeckung auch in winterlichen Dunkelflauten stundengenau gewährleistet.

Ergebnis der Berechnungen ist die Vorstellung eines kostengünstigen Energiesystems, welches den deutschen Anteil des völkerrechtlich verbindlich vereinbarten Klimaziels von 1,5 °C durch eine Energieversorgung mit 100 % Erneuerbaren Energien ermöglicht. Wesentliches Ergebnis unserer Untersuchung ist die Quantifizierung des erforderlichen Ausbaubedarfs an Erzeugungs-, Umwandlungs- und Nord-Süd-Übertragungskapazitäten, mit der eine vollständige Umstellung in den nächsten zehn Jahren möglich ist.

Die vorliegende Untersuchung zeigt auf, mit welchem Zielsystem an Erzeugungs-, Sektorenkopplungs- und Speichertechnologien die Umstellung auf 100 % Erneuerbare Energien in allen Energiesektoren – Strom, Wärme, Mobilität, industrieller Energieverbrauch mit Bedarfsdeckung zu jeder Stunde – klimaschutzökonomisch und zeitnah bis 2030 gelingen kann.

Dazu wurden, im Kontext der (1) regional unterschiedlichen politischen Rahmenbedingungen zum EE-Ausbau und (2) der Debatten um den Stromnetzausbau, drei Szenarien einer kostenminimierten Nullemissionsenergiewirtschaft mit vollständiger Elektrifizierung erstellt, die zu 100% auf erneuerbaren Energiequellen beruht:

**Szenario 1:** Vollständiger Verzicht auf Windkraftausbau im Süden\*

**Szenario 2:** Nutzung des Potentials zum Windkraftausbau im Süden zu 50 % (24 GW)

**EWG-Szenario 3:** Nutzung des Potentials zum Windkraftausbau im Süden zu 100 % (37 GW)

## Netze

Das EWG-Szenario 3 ergibt eine vergleichsweise geringe Notwendigkeit für einen Ausbau der Übertragungsnetze von Nord nach Süd. Die heutigen Nord-Süd-Transportkapazitäten werden in der Studie auf 8,9 GW geschätzt. Für das Szenario 3 wird ein weiterer Ausbau um 7,6 GW auf 16,5 GW nötig sein. Dies entspricht ungefähr den jetzt in Planung und Bau befindlichen Nord-Süd-Übertragungsleitungen. Ohne einen weiteren Ausbau der Windenergie im Süden Deutschlands müssten die Übertragungsleitungen auf 21,3 GW massiv weiter ausgebaut werden.

## Erneuerbare Energien

Was den Ausbau der Onshore-Windenergie betrifft, schwankt der notwendige jährliche Ausbau zwischen 3 GW (Szenario 1) und 5 GW (EWG-Szenario 3). Der Ausbau der Solarenergie liegt im Szenario 3 bei 85 GW jährlich. Für alle weiteren EE-Technologien und Sektorenkopplungstechnologien bleiben die Ausbaumengen in der gleichen Größenordnung, unabhängig vom jeweiligen Szenario. Im erforderlichen Jahresdurchschnitt bis 2030 liegen der Ausbau der Offshore-Windenergie bei 3 GW, der Ausbau der Bioenergie bei 4 GW, der Ausbau an Wärmepumpen bei 15 GW und der Ausbau der Elektro-Heizungen bei 3 GW.

## Erneuerbare Energien – Fokus Solar

Durch einen vollständigen oder teilweisen Verzicht auf Windkraftausbau in Süddeutschland (Szenarien 1 und 2) erhöht sich der notwendige Ausbau an PV-Anlagen gleichzeitig auf 120 GW bzw. 100 GW gegenüber dem bereits anspruchsvollen Bedarf an durchschnittlichem Jahreszubau in Höhe von 85 GW in Szenario 3. Der momentane Ausbau der Windkraft im Süden liegt nur wenig über dem des Szenarios 1.

Diese Mengen, insbesondere bei der PV, können nicht bereits im kommenden Jahr hinzugebaut werden. Ein möglicher Ausbau erfolgt daher nicht mit konstantem jährlichem Ausbau, sondern entlang einer S-Kurve mit zunächst rasch ansteigendem Ausbau von Neuanlagen, bis die Vollnutzung existierender Errichtungskapazitäten erreicht wird. Mit einem schnellen Aufbau weiterer, auch heimischer, PV-Fertigungskapazität im Umfang mehrerer Gigafabriken wird dann ein nochmals deutlich schnellerer Ausbau in der zweiten Hälfte dieses Jahrzehnts ermöglicht.

## Speicher

Neben den erneuerbaren Energien muss auch die Speicherkapazität bis 2030 in erheblichem Maße ausgebaut werden. Da sich die zeitlichen Anwendungen der Speichertechnologien unterscheiden, sind hierfür zwei Größen relevant. Zum ersten liegt die insgesamt zu installierende Speicherkapazität im Szenario 3 bei ca. 20 TWh, sie ist nahezu gleichmäßig zwischen Nord- und Süddeutschland verteilt für einen zeitlichen Ausgleich zwischen Energieverbrauch und EE-Verfügbarkeit. Je mehr Windenergie im Süden fehlt, desto größer wird der Bedarf an saisonaler Speicherung, vor allem im Süden. Für Szenario 1 würde dies einen Zuwachs um 50 % auf ca. 30 TWh bedeuten. Zum zweiten gilt: Während saisonale Speicherkapazitäten mit Wasserstoff gedeckt werden, spielen Wärme-, Batterie- und Pumpspeicher bei der Endenergiebereitstellung mit insgesamt ca. 60 % eine wesentlich größere Rolle. Denn Batterien und Wärmespeicher werden im nahezu täglichen Zyklus be- und entladen, daher ist die bereitgestellte Energie aus Wärme- und Batteriespeichern vergleichbar mit der Energiebereitstellung durch Wasserstoff. So spielen Batterie- und Wärmespeicher im Energiesystem aller drei Szenarien eine vergleichbare Rolle wie die saisonale Speicherung durch Wasserstoff. Auch in Bezug auf die Endenergiebereitstellung führt der Verzicht auf den Ausbau der Windenergie im Süden zu einem deutlich erhöhten Speicherbedarf (+79 %).

## Effizienz

Neben dem Ausbau an EE- und Speicherkapazitäten erfordert die Umstellung auf 100 % Erneuerbare Energien und Nullemissionen eine deutliche Zunahme der Effizienz im energetischen Bereich. Der Anstieg der jährlichen Gebäudesanierungsrate von jetzt 1 % auf 6 % bis 2030 und ein jährlicher Zuwachs der Prozesswärmeeffizienz um 1 % sind dabei maßgebliche Faktoren, um die mögliche Nutzungseffizienz – verglichen mit 2018 – im Wärmesektor und insbesondere im Gebäudesektor um insgesamt 217 TWh zu erhöhen. Erhebliche Effizienzpotentiale gibt es auch in anderen Bereichen, wie im Verteil- und Übertragungsnetz oder im Verkehrssektor, wo durch umfassende Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung und Neugestaltung (regionaler Güterverkehr, ÖPNV, Fahrrad und Fußgänger:innen) der Energieverbrauch reduziert werden kann und sollte.

### **Kosten**

Die Energiegestehungskosten von durchschnittlich 76 Euro pro MWh liegen im günstigsten Szenario 3 auf ähnlichem Niveau wie 2018; die jährlichen Gesamtkosten für Energie betragen zwischen 155 Milliarden (Szenario 3) und 191 Milliarden Euro (Szenario 1) gegenüber 189 Milliarden Euro im Jahr 2018.

### **Elektrifizierung**

Vor allem die Elektrifizierung des Transport- und des Wärmesektors erbringt im Vergleich mit dem 2018 noch weitgehend auf fossilen Energieträgern beruhenden System erhebliche Effizienzverbesserungen, insbesondere in Szenario 3. Diese führen zu einem deutlich gesunkenen Endenergiebedarf von 2069 TWh gegenüber 2500 TWh Endenergiebedarf in 2018, der einen Primärenergiebedarf von insgesamt 3500 TWh verursacht hatte. Um das Ziel eines 100 % erneuerbaren Energiesystems zu erreichen, wird eine Mischung aus vielen verschiedenen EE-Technologien benötigt werden, wobei szenarienübergreifend Wind- und Sonnenenergie (PV) etwa 80 % ausmachen und Batteriestrom, Geothermie sowie Wasserkraft bundesweit einen weiteren Anteil von etwa 12 % beisteuern. Die voranschreitende Elektrifizierung sorgt zudem dafür, dass Strom den weitaus größten Anteil am gesamten Energiesystem haben wird, geschätzt 80 – 95 % des Gesamtenergiebedarfs.

In der Untersuchung wurden nur Anwendungsmöglichkeiten Erneuerbarer Energien mit zumindest gewissen Anteilen der Stromerzeugung untersucht. Gleichwohl werden im Rahmen einer 100 % erneuerbaren Energieversorgung auch nachhaltig angebaute Biokraftstoffe, Biogas und feste Biomasse sowie Solarthermie oder Geothermie ohne Stromerzeugung eine wichtige Rolle spielen müssen. Für die Abbildung aller Treibhausgasquellen sind zeitnah – zusätzlich zu den hier berücksichtigten Energiesektoren – weitere Sektoren wie Zementherstellung, Metallproduktion und die chemische Industrie zu berücksichtigen, die ebenfalls Flexibilität ermöglichen und den Speicherbedarf begrenzen können. Neben der notwendigen Treibhausgasvermeidung der Energie- und Industriesektoren muss die Land- und Forstwirtschaft nicht nur durch die Bereitstellung von Bioenergie das Stromsystem stützen, sondern auch durch die Speicherung von Kohlenstoff im Boden einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz leisten, der in zukünftigen, vollständigeren Untersuchungen zu berücksichtigen ist.

### **Flächendeckender Ausbau aller erneuerbaren Technologien erforderlich**

Es zeigt sich, dass der notwendige Umbau aller Energiesektoren mit gleichmäßigem Ausbau der Erneuerbaren Energien kostengünstig bis 2030 möglich ist. Ein „Weiter so“ in der Energiepolitik stellt sich hierbei als sehr teuer heraus, insbesondere wegen des im Süden Deutschlands fehlenden Windkraftausbaus. Zudem wird durch den Verzicht auf diesen Ausbau von Windkraft im Süden ein hoher zusätzlicher Netzausbau- und Speicherbaubedarf entstehen. Schon die gegenwärtige Netzplanung ist ökonomisch kaum zu rechtfertigen und stößt an die Grenzen einer schnellen Umsetzung, wie sie zur Einhaltung des 1,5 °C-Ziels notwendig wäre.