

# Teil 1 – notwendige EE-Erzeugerkapazitäten

## 1. Die beiden Grundfragen der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen.

Eine ausschließlich EE-basierte Energieversorgung stellt uns vor die Herausforderung, die dargebotsabhängige (diskontinuierliche) Erzeugung und die bedarfsgerechte Bereitstellung von Energie, vorzugsweise elektrischer, in Einklang zu bringen. Daraus lassen sich zwei grundlegende Fragen ableiten:

1. Wie viele Erzeugungsanlagen für EE benötigen wir insgesamt, um unseren Jahresbedarf zu decken?
2. Wie gehen wir mit zeitweiligen Überschüssen bzw. Defiziten um, die sich durch die volatile, vorwiegend auf Sonne und Wind basierende Stromerzeugung ergeben?

Wir behandeln im vorliegenden Text nur die erste Frage. Die qualitative Antwort darauf lautet: Weil der Wind nicht immer weht und die Sonne bekanntermaßen nur am Tage scheint, muss die in Gigawatt (GW) aufsummierte Erzeugerleistung von EE-Anlagen deutlich größer sein als die konventioneller, fossiler Kraftwerke, die, abgesehen von notwendigen Wartungen, kontinuierlich betrieben werden können.

Die Frage, wie wir überschüssigen EE-Strom nutzen bzw. Bedarfslücken ausfüllen, behandeln wir im zweiten Teil. Vorab auch hier die schnelle, ungenaue Antwort: Es sind Schwankungen im Tages- und Jahreslastgang zu betrachten, die zum Großteil nur durch Energiespeicher ausgeglichen werden können. Die berückichtigte, länger anhaltende Dunkelflaute verdient als Worst-Case-Szenario besondere Aufmerksamkeit bei der Ermittlung der notwendigen Speichergrößen.

## 2. Das Endscenario 2040 – 100% Energie aus erneuerbaren Quellen

Zur Beantwortung der Kapazitätsfrage (Frage Nr. 1) bedienen wir uns der Bedarfsschätzung aus dem [Orangebuch](#), S. 81, Tabelle 2.7. Demnach werden wir im Jahr 2050 ca. 1.000 TWh Energie in Form von elektrischem Strom benötigen. Diese Schätzung haben wir aus den uns zur Verfügung stehenden Rohdaten abgeleitet. Sie korreliert recht gut mit den von [einigen anderen Arbeitsgruppen gefundenen Werten](#). Abweichend davon, insbesondere zu unseren eigenen Aussagen im Orangebuch verlegen wir den Zeitpunkt für 100% EE um zehn Jahre nach vorne, einfach weil dies sowohl notwendig als auch möglich ist.

Die prognostizierten 1.000 TWh sollen über Sektorkopplung für den Verkehr (Elektro- bzw. Wasserstoffmobilität) sowie teilweise für die Wärmeerzeugung zur Verfügung stehen und **ausschließlich** aus erneuerbaren Quellen gewonnen werden. Zur Erinnerung: Gegenwärtig beträgt unser jährlicher Strombedarf ca. 550 TWh. Der Anteil der Erneuerbaren an der Stromerzeugung lag 2019 um die 44%. Die Strommengen, die direkt in Verkehr und Wärmeerzeugung fließen, sind bislang überschaubar (Elektromobilität, Wärmepumpen, Hochtemperatur-Industriewärme), weil die Grundversorgung der beiden Nicht-Strom-Energiesektoren noch immer überwiegend über fossile Energieträger erfolgt.

***Wenn wir die Energiewende hin zu 100% Erneuerbaren stemmen wollen, muss sich das ändern. Das ist die eigentliche Herausforderung!***

Reichen 1.000 TWh pro Jahr?

In der Frage, ob 1.000 TWh erzeugter Strom den Energiebedarf aller drei Energiesektoren (Strom, Verkehr und Wärme) decken können, sind wir sehr optimistisch.

Gemäß [unserer Berechnung](#) werden wir für den Verkehr, je nach Konversionspfad, grob zwischen 300 und 400 TWh Strom mehr benötigen als heute. Die Nieder-Temperatur-Wärmeversorgung kann zu einem erheblichen Teil ohne den Umweg über Strom durch Solarthermie und Wärmespeicherung sichergestellt werden ([ISE-Dokument](#), Seite 70). Strom zur Wärmeerzeugung wird nur für Industrie-Hochtemperaturwärme zwingend benötigt, die z.B. über Elektrolyse-Wasserstoff oder direkt über elektrische Schmelzöfen darstellbar ist. Im Orangebuch haben wir für die Wärmebereitstellung durch Strom 50 TWh p.a. angenommen. Selbst wenn wir die doppelte Menge benötigen sollten, ändert das nichts an der Tatsache, dass Wärme durch Strom in Zukunft eine eher untergeordnete Rolle spielen wird.

Wie gewinnen wir 1.000 TWh Strom unter kompletter Meidung fossiler Brennstoffe?

Vom Jahresbedarf an elektrischer Energie (physikalisch = elektrische Arbeit) können wir auf die Leistung schließen, die zu deren Erzeugung in 8.760 Jahresstunden notwendig ist:

$$1.000 \text{ TWh} / 8.760 \text{ h} = 114,2 \text{ GW}$$

Diese Zahl markiert das **Leistungsminimum**, das definitiv verfügbar sein muss, weil die Rechnung impliziert, dass diese Leistung das ganze Jahr über komplett bereit gestellt wird. Es müssen demnach mindestens 114,2 GW Kraftwerksleistung vorhanden sein. Da sich kein Kraftwerk, rein technisch bedingt, 8.760 Stunden mit seiner Nennleistung am Netz befinden kann, benötigen wir mehr als 114,2 GW Erzeugerleistung und unter EE-Bedingungen (prinzipbedingt diskontinuierlicher Betrieb von Photovoltaik- und Windenergieanlagen) **viel** mehr. Um zu ermitteln **wie** viel mehr, haben wir aus den installierten bzw. zukünftig notwendigen Leistungen die daraus resultierende elektrische Arbeit errechnet (Tabelle 1). Als Zielfunktion wurden dabei die von uns geschätzten 1.000 TWh für 2040 angenommen.

Diese, zu o.g. Abschätzung umgekehrte Rechnung (Leistung → Arbeit) gestaltet sich recht simpel. Man nehme die installierte Leistung der einzelnen EE-Erzeugersparten und multipliziere sie mit deren aus der Statistik der vergangenen Jahre geläufigen Volllaststunden, die als dämpfendes Element zusätzlich zu berücksichtigen sind.

Die zum Vergleich in Tabelle 1 enthaltenen realen Zahlen des Jahres 2019 liegen sogar etwas über den auf diese Weise berechneten. 2019 war offensichtlich etwas sonniger und windiger als ein Durchschnittsjahr. Viel wichtiger ist jedoch, dass sie nur geringfügig voneinander abweichen. Dies beweist die Zulässigkeit unserer Berechnung.

Die Zahlen in den grün hinterlegten 2040iger Spalten sorgen auf den ersten Blick für Ernüchterung. Wenn wir die angepeilten 1.000 TWh erreichen wollen, müssen Wind um den Faktor zwei und Photovoltaik um den **Faktor 17** ausgebaut werden. Ist das überhaupt möglich? Wir beantworten diese Frage mit einem klaren Ja.

Ob eine andere Wichtung der einzelnen EE-Erzeuger als in Tabelle 1 angegeben sinnvoller wäre – darüber kann man sicherlich streiten. Die Ansätze anderer Arbeitsgruppen unterscheiden sich darin von unserem z.T. erheblich.

**Entscheidend bleibt einzig und allein, dass das 100%-EE- Ausbauziel erreicht wird.**

Den Biomasseanteil würden wir im Übrigen deshalb etwas reduzieren, weil der mit vielen Biogasanlagen einhergehende Anbau sogenannter Energiepflanzen unökonomisch und überdies ökologisch schädlich ist. So liegt der Flächenverbrauch pro aus Energiepflanzen erzeugter Kilowattstunde im Vergleich zur Photovoltaik etwa um den Faktor 20 höher. Wichtigster Kritikpunkt der Energiepflanzen bleibt jedoch die Tatsache, dass sie in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen.

	Volllaststunden [h]	Installierte Leistung [GW]		Elektrische Arbeit [TWh]		
		Real 2019	Ziel 2050	Real 2019	Rechnerisch 2019	Ziel 2050
<b>Wasserkraft</b>	4.600	5,6	6	19,7	25,8	27,6
<b>Biomasse</b>	6.000	8,3	6	50,2	49,8	36,0
<b>Wind onshore</b>	1.600	53,3	100	102,3	85,3	160,0
<b>Wind offshore</b>	3.200	7,5	15	26,7	24,0	48,0
<b>Photovoltaik</b>	900	49,0	820	46,4	44,1	738,0
<b>Summe</b>		<b>123,7</b>	<b>947</b>	<b>245,3</b>	<b>229,0</b>	<b>1.009,6</b>

**Tabelle 1:** aktuelle und für vollständige Dekarbonisierung zukünftig notwendige installierte Leistungen von EE-Erzeugungsanlagen und daraus resultierende elektrische Energie

## Ausbau Windkraftleistung onshore, Faktor 2

Die bisher errichteten Windenergieanlagen (WEA) entsprechen oft nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik. Insofern müssen sie sukzessive durch modernere Anlagen ersetzt werden. Repowering hat Vorrang vor mit weiterem Flächenverbrauch verbundenem Neubau. Dies gilt auch für WEA, die auf Flächen errichtet wurden, die nach heutiger Gesetzeslage nicht als Vorrangflächen ausgewiesen sind. Wir halten den ersatzlosen Rückbau solcher WEA nur aus diesem juristischen Grund für nicht sinnvoll.

Allein mit Repowering ist Ausbaufaktor 2 jedoch nicht zu stemmen. Daher werden definitiv weitere Flächen für die onshore Windenergie benötigt. Diese sollten vor allem an Autobahnen und Bundesstraßen erschlossen werden, um als Grundlage einer Ladeinfrastruktur für E-Mobilität längs der viel befahrenen Verkehrswege zu dienen. WEA Strom in Verbindung mit Speichern ermöglicht u.a. dezentrale Schnellladestationen. Der dort an die Fahrzeuge übertragene Strom müsste dann nicht über unsere Netze transportiert werden. Geeignete Flächen für neue Windräder sind an den Autobahnen und Bundesstraßen immer noch reichlich vorhanden.

Ebenso bieten sich landwirtschaftliche Flächen an, die nicht oder nur eingeschränkt landwirtschaftlich nutzbar sind. Es besteht definitiv keine Notwendigkeit, Windkraftanlagen im Wald errichten, um die Windkraftleistung an Land zu verdoppeln.

Die Errichtung neuer Windkraftanlagen muss in jedem Fall mit der Durchsetzung höherer Sicherheitsstandards (u.a. Brandschutz) einhergehen.

## Ausbau Windkraftleistung offshore, Faktor 2

Mit dem [Windenergie-auf-See-Gesetz](#) (WindSeeG) hat die Bundesregierung im November 2020 einen Ausbaupfad von 20 GW bis 2030 und 40 GW bis 2040 beschlossen. Wir müssen uns also keine Sorgen machen, dass eine Verdopplung der Windkraftleistung auf dem Meer in irgendeiner Weise politisch infrage gestellt wird. Gleichwohl bewerten wir die Pläne dieses enormen Zubaus sowohl aus ökologischen als auch ökonomischen Gründen sehr kritisch ([Orangebuch](#), S. 119).

Mit der Entwicklung schwimmender Windkraftanlagen zeichnen sich jedoch neue Möglichkeiten ab. Diese Technik gewinnt in letzter Zeit deutlich an Fahrt. Unsere prinzipielle Kritik an offshore Windkraft könnte in Zukunft durchaus milder ausfallen. Die beiden Voraussetzungen dafür sind allerdings, dass die neue Technologie beim geplanten Ausbau die dominierende Rolle spielt und tatsächlich das hält, was sie verspricht.

Auf den ersten Blick entfallen einige der Nachteile konventioneller, im Meeresboden verankerter Anlagen. Weil keine starre Verankerung notwendig ist, sind schwimmende Windräder auch in küstenfernen Seegebieten einsetzbar. Eine Verkabelung zum Zwecke des Stromtransports wäre dort weder sinnvoll noch zwingend erforderlich. Der Strom könnte vor Ort in Wasserstoff konvertiert werden und würde die Übertragungsnetze nicht belasten. Summa summarum besitzt diese neue Technik erhebliches Potenzial. Da wir aber eine konservative Herangehensweise bevorzugen, würden wir vorerst bei der von uns avisierten Verdopplung der offshore-Erzeugerkapazität von derzeit 7,5 auf 15 GW bleiben.

## Ausbau Photovoltaik, Faktor 17

17 Mal mehr PV-Module auf die Dächer und in die Landschaft als heute – das klingt erst einmal wie ein sehr dickes Brett, das zu bohren wäre. Es tun sich Fragen auf wie:

Haben wir überhaupt genügend Ressourcen für die Produktion dieser Zellen? Ja haben wir – die dafür notwendigen Rohstoffe sind keine Mangelware und lassen sich vergleichsweise umweltschonend gewinnen. ([Orangebuch](#), S. 122)

Verschlingt die Produktion dieser Riesenmenge zusätzlicher Module nicht mehr Energie, als sie am Ende liefern? Nein, denn nach knapp zwei Jahren haben sich Solarmodule energetisch amortisiert. ([Orangebuch](#), S. 78) Bei einer Haltbarkeit von mindestens zwanzig Jahren ergibt sich demnach eine sehr positive energetische Gesamtbilanz.

Die eigentlich interessante Frage lautet jedoch: Haben wir in Deutschland genügend Flächen für einen solchen massiven PV-Ausbau? Fraunhofer ISE beschäftigt sich in seinem, hier schon mehrfach zitierten Dokument [„Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland“](#) ab Seite 38 sehr ausführlich mit diesem Problem.

Als Faustformel für alle weiteren Betrachtungen gilt: 1 km<sup>2</sup> Fläche entspricht etwa 71,5 MWP Solarleistung. Wir erlauben uns zunächst, die sehr treffenden Fraunhofer-Definitionen für PV-Potenziale wörtlich zu übernehmen.

*„Das **theoretische Potenzial** betrachtet die maximal mögliche Umsetzung einer Technologie auf Basis des gesamten Angebots (physikalische Überschlagsrechnung). Das **technische Potenzial** fällt geringer aus, weil es grundlegende technische Randbedingungen berücksichtigt (technische Überschlagsrechnung). Das **wirtschaftlich-praktische Potenzial** berücksichtigt alle relevanten Randbedingungen, insbesondere rechtliche (inkl. Naturschutz), ökonomische (inkl. Infrastruktur), soziologische (inkl. Akzeptanz), dazu bspw. konkurrierende Nutzung (bspw. Solarthermie und PV auf Dächern).“*

Unter dem theoretischen Potenzial könnte man in kühnster Annahme die Gesamtfläche Deutschlands abzüglich des vorhandenen knappen Drittels Waldfläche verstehen; also ca. 236.000 km<sup>2</sup>. Technisch sinnvoll lassen sich davon jedoch nur Teile des bebauten bzw. landwirtschaftlich genutzten Gebietes für PV nutzen.

Allein für Gebäude und Freiflächen weist die Statistikseite Deutschland in Zahlen ca. 25.000 km<sup>2</sup> aus. Davon sind laut einer von Fraunhofer zitierten Studie des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur 3.164 km<sup>2</sup> (entspricht nach unserer o.g. Faustformel 226 GWP) „restriktionsfrei nutzbar“. Eine in Druck befindliche Studie von Eggers et. al. weist für Gebäudehüllen, sprich Dächer und Fassaden ein technisches Potenzial von 900 GWP aus. 55 GWP bieten die Flächen stillgelegter und gefluteter Braunkohletagebaue über schwimmende PV-Anlagen (Floating PV), weitere 134 GWP versiegelte Siedlungsflächen (u.a. Verkehrswege).

Die landwirtschaftliche Nutzfläche betrug 2017 167.000 km<sup>2</sup>. Fraunhofer weist ausdrücklich auf die Möglichkeit hin, Teile dieser Fläche gleichzeitig für Photovoltaik als auch landwirtschaftliche Produktion zu nutzen und beschreibt diese Nutzungsmöglichkeiten detaillierter in einem [gesonderten Dokument](#). Agri-Photovoltaik (APV) funktioniert deshalb, weil es viele Nutzpflanzen gar nicht so sonnig mögen, wie sich die Jahre 2018 und 2019 in Deutschland präsentierten. APV würde für diese Pflanzen sogar höhere Erträge liefern. Freilich sind zur Realisierung solcher Installationen enorme Investitionen notwendig, so dass ihr wirtschaftlich-praktisches Potenzial ohne staatliche Förderung derzeit begrenzt ist. Ihr technisches Potenzial schätzt Fraunhofer jedoch auf enorme 1.700 GWP. Hinzu kommt ein technisches Potenzial von 700 GWP, würde man die Flächen, die derzeit für den Anbau von Energiepflanzen genutzt werden, komplett mit Solarmodulen bestücken.

Summiert man das von Fraunhofer festgestellte technische PV-Potenzial auf, ergeben sich mit 3.715 GWP gigantische Möglichkeiten der PV-Nutzung. Gemäß unserer Tabelle 1 würde ein Viertel davon genügen, damit die Technologie Photovoltaik ihren Beitrag zur 100%igen Dekarbonisierung der deutschen Wirtschaft leistet.

Das Fraunhofer-Dokument weist in seiner Flächenbetrachtung abschließend auf Folgendes hin:

*Grundsätzlich wird integrierte PV, die mit der Hülle von Gebäuden, Verkehrswegen und Fahrzeugen verschmilzt, Flächen gemeinsam mit der Landwirtschaft nutzt oder Wasserflächen in gefluteten Tagebauen belegt, etwas höhere Stromgestehungskosten aufweisen als einfache Freiflächen-Kraftwerke.*

Inwieweit wir das vorhandene technische Potenzial als wirtschaftlich-praktisch wahrnehmen und entsprechend handeln, hängt in erster Linie von uns selbst ab. Wir sollten bedenken, dass uns die Natur schon demnächst viel höhere Rechnungen präsentieren könnte.

Wir haben die Erhöhung der PV-Leistung um das 17-fache weiter oben als „dickes zu bohrendes Brett“ klassifiziert. An dieser Aussage gibt es nichts zu deuteln. Jedoch sollten die Skeptiker, die immer noch behaupten, man könnte mit Erneuerbaren schon rein rechnerisch unseren Bedarf nicht decken, angesichts der von Fraunhofer vorgelegten Zahlen zu PV endlich ihren Irrtum eingestehen. Um im sprachlichen Bild zu bleiben: Das vor uns liegende Brett ist über vier Mal dicker als nötig und wir müssen es mithin zu einem Viertel anbohren, um das Ziel zu erreichen.

Wir haben völlig neue Probleme zu lösen von denen Sie, sehr geehrte Politiker\*innen nicht das Geringste wissen oder wissen wollen. Gestatten Sie uns an dieser Stelle, ein bekanntes Shakespeare Zitat:

**„Es gibt mehr Dinge zwischen Himmel und Erde, als eure Schulweisheit sich träumen lässt.“**

## 2. Das Zwischenszenario für 2030

Wie bei unserem Endszenario der vollständigen Dekarbonisierung handelt es sich bei dem Zwischenszenario für 2030 um eine Beispielrechnung, die in ihren einzelnen Positionen angepasst werden kann. Allerdings sollte in allen hierbei möglichen Alternativen das angestrebte Ziel, der weitgehenden Abkehr von auf fossilen Brennstoffen basierender Stromerzeugung nicht verwässert werden. Wir würden daher u.a. ein Maximum fossiler Erzeugerleistung von 30 GW in 2030 anpeilen.

Für 2030 nehmen wir einen Strombedarf von 750 TWh an. Die Schätzung fußt auf der Erwartung einer deutlichen Zunahme der Elektromobilität in den nächsten Jahren. Zudem gehen wir von einer linearen Zunahme des Bedarfs bis 2040 aus.

Die folgende Tabelle 2 ergibt sich demnach aus den Werten von Tabelle 1. Gaskraftwerke mit 200 g CO<sub>2</sub> pro erzeugter Kilowattstunde dienen als einzig ökologisch vertretbare Brückentechnologie. [Braunkohle mit 340 g/kWh und Steinkohle mit 320 g/kWh](#) scheiden als solche aus. Die notwendigen Gaskraftwerkskapazitäten sind schon heute vorhanden. Laut [Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur](#) waren Stand Januar 2021 knapp 27 GW Gaskraftwerksleistung im Netz verfügbar. Nur 25 GW werden in unserem Szenario benötigt. Die Auslastung dieser Leistung müsste lediglich auf Werte erhöht werden, die heute für Kohlekraftwerke üblich sind.

Die Windleistung haben wir um etwa den Faktor 1,5 (Ziel 2040 Faktor 2), die der Photovoltaik um den Faktor 8,2 (Ziel 2040 Faktor 17) erhöht.

	Volllaststunden [h]	Installierte Leistung [GW]		Elektrische Arbeit [TWh]		
		Real 2019	Ziel 2030	Real 2019	Rechnerisch 2019	Ziel 2030
<b>Wasserkraft</b>	4.600	5,6	6	19,7	25,8	27,6
<b>Biomasse</b>	6.000	8,3	7	50,2	49,8	42,0
<b>Wind onshore</b>	1.600	53,3	75	102,3	85,3	120,0
<b>Wind offshore</b>	3.200	7,5	11	26,7	24,0	35,2
<b>Photovoltaik</b>	900	49,0	400	46,4	44,1	360,0
<b>Gaskraftwerke</b>	6.600 <sup>1)</sup>		<b>25</b>			<b>165,0</b>
<b>Summe</b>		<b>123,7</b>	<b>499+25</b>	<b>245,3</b>	<b>229,0</b>	<b>749,8</b>

**Tabelle 2:** aktuelle und für teilweise Dekarbonisierung (fossile Gaskraftwerke 25 GW) zukünftig notwendige installierte Leistungen von EE-Erzeugungsanlagen und daraus resultierende elektrische Energie

<sup>1)</sup> Annahme: Auslastung wie derzeit Braunkohlekraftwerke

Die Rechnung würde, betrachtet man die Zahlen von Tabelle 2, mit 25 GW fossiler Restleistung aufgehen. Der Ausbau der Erneuerbaren in diesem Tempo muss „nur“ politisch gewollt sein. Ist er das?

### 3. Ausbautempo der Erneuerbaren

Betrachten wir das Ausbautempo von Windkraft und Photovoltaik der letzten 9 Jahre, stellt sich Ernüchterung ein. Dieses zaghafte Voranschreiten wird definitiv nicht genügen, die für die beiden o.g. Szenarien notwendigen Bedingungen zu erfüllen. Steigert man die Kapazitäten der Windkraft im gleichen Tempo wie bisher, werden beide Ziele zwar annähernd erreicht, die Fortschreibung der bisherigen Zuwachsraten für Photovoltaik ist jedoch absolut indiskutabel. Selbst wenn man die damals recht beachtlichen ca. 8 GW per anno in den Jahren 2010 bis 2012 zugrunde legt, würden daraus nur 80 GW Zubau in den nächsten 10 Jahren resultieren. Benötigt werden bis 2030 aber um die 350 zusätzliche Gigawatt, sprich fast die dreieinhalbfache Menge.

Angaben in GW	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Summe
<b>Wind onshore</b>	28,5	30,7	33,0	37,6	41,3	45,3	50,2	52,3	53,2	
<b>Zuwachs</b>		2,2	2,3	4,6	3,7	4,0	4,9	2,1	0,9	<b>24,7</b>
<b>Wind offshore</b>	0,2	0,3	0,5	1,0	3,3	4,2	5,4	6,4	7,5	
<b>Zuwachs</b>		0,1	0,2	0,5	2,3	0,9	1,2	1,0	1,1	<b>7,3</b>
<b>Photovoltaik</b>	25,9	34,1	36,7	37,9	39,2	40,7	42,3	45,2	49,0	
<b>Zuwachs</b>		8,2	2,6	1,2	1,3	1,5	1,6	2,9	3,8	<b>23,1</b>

**Tabelle 3:** Zuwachs Kapazitäten Windkraft und Photovoltaik zwischen 2011 und 2019

Seit 2019 gehen wieder mehr PV-Anlagen ans Netz. Nach vorläufigen Angaben betrug der [Zuwachs für 2020](#) knapp 5 GW. Um insgesamt 350 GW Zubau bis 2030 zu erreichen, müsste die Zuwachskurve jedoch in den Folgejahren deutlich stärker ansteigen. Hier unser Vorschlag, der in den einzelnen Werten diskutiert werden kann, während die vorgegebene Summe nur wenig Spielraum nach unten zulässt.

Angaben in GW	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Summe
<b>notwendiger zukünftiger Zubau PV</b>	7	13	20	30	40	45	47	48	50	50	<b>350</b>

**Tabelle 4:** notwendiger Zuwachs Kapazitäten Photovoltaik zwischen 2021 und 2030 (Vorschlag)

Von 350 GW (2030) bis 820 GW (2040) fehlen weitere 470 GW, die man gleichmäßig auf die Jahre 2031 bis 2040 verteilen könnte. Auch hier geht es nur um die Gesamtsumme – den Blick in die Glaskugel, wie man diese auf die Jahre verteilen könnte, maßen wir uns nicht an.

Die Bundesregierung will nach eigenen Aussagen noch im ersten Quartal 2021 ihre Pläne zum Ausbau der Erneuerbaren verkünden. Wir sehen dieser Verlautbarung voller Spannung entgegen und hoffen, dass die politisch angepeilten Zahlen zu den nicht nur von uns errechneten Notwendigkeiten passen.

### 4. Kosten für EE-Erzeugungsanlagen

Um die Gesamtkosten für unsere beiden unter 1. und 2. beschriebenen Szenarien zu ermitteln, nutzen wir die Einheit Euro pro Megawatt Nennleistung. Die Beträge für die einzelnen Sparten EE-Erzeuger unterscheiden sich in einer relativ großen Spannweite voneinander. Als Faustregel gilt: Windkraft ist, auf die Erzeugerleistung normiert, preiswerter als Photovoltaik und liefert überdies mehr Volllaststunden. Auch deshalb kann auf die Windkraft nicht vollständig verzichtet werden, ggf. muss man sogar noch ein wenig mehr beimischen als von uns vorgeschlagen. Photovoltaik sollte dennoch die priorisierte Technologie bleiben.

Erzeuger	ca. Kosten [Tausend€/MW]
Wind onshore	700
Wind offshore	1.000
Photovoltaik Dach (5 bis 15 kWp)	1.700
Photovoltaik Dach (Industrie/ Gewerbegebäude)	1.000
Photovoltaik Freifläche	800
Neue Photovoltaik (AGV, Fassaden, Verkehrswege)	1.200

**Tabelle 5:** ungefähre Kosten für EE-Erzeuger in Tausend Euro pro Megawatt Nennleistung

Setzt man, den Werten aus Tabelle 5 folgend, für Wind durchschnittlich 900.000 Euro pro Megawatt und für Photovoltaik 1.300.000 an, ergeben sich für das Zwischenszenario 2030 etwa 480 Mrd. und für das Szenario vollständiger Dekarbonisierung 2040 ca. 1,1 Billionen Euro an Invest für die Installation neuer EE-Erzeugungsanlagen. Die Rechnung basiert auf aktuellen Preisen, die tendenziell stark sinken werden. Insofern erscheinen die notwendigen Investitionen, gestreckt über 10 bzw. 20 Jahre, recht einfach realisierbar. Vergleicht man diese Summen mit den zur Bankenrettung vor gut zehn Jahren und aktuell zur Pandemieeindämmung aufgewendeten Beträgen, erscheinen sie erst recht überschaubar.

Leider ist dort ein Aspekt noch nicht eingepreist – die Notwendigkeit der Zwischenspeicherung zeitweise überschüssiger erneuerbarer Energie. Insgesamt bestreiten wir deshalb nicht, dass die Energiewende hin zu vollständiger Dekarbonisierung mit enormen Investitionen verbunden ist. Wichtig ist uns hierbei die genaue Bedeutung des Begriffs. Es geht um nicht um **Rechnungen**, die wir zu bezahlen haben, wie von den Befürwortern der traditionellen Energiewirtschaft ständig behauptet, sondern tatsächlich um **Investitionen** in unsere und die Zukunft unserer Nachkommen. Investitionen, die im Übrigen mit der Schaffung sehr vieler neuer, sinnvoller Arbeitsplätze verbunden sind.

## 5. Ausblick

Im zweiten Teil werden wir uns dem immer mehr an Bedeutung gewinnenden Thema Energiespeicherung, zuwenden. Vorab formulieren wir schon hier eine Forderung:

**Jeder Neubau einer EE-Anlage muss mit der Bereitstellung eines adäquaten Energiespeichers einhergehen.**