

## MONATLICHE FESTLEGUNG VON STUNDENPREISEN ZUM ANREIZ EINER ENERGIEWENDEDIENLICHEN FAHRWEISE VON ELEKTROLYSEUREN

Ein wichtiger Baustein für die Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Energiesektor ist die effiziente Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien (eE). Hier besteht wachsender Handlungsbedarf: Im Jahr 2017 wurden laut Monitoringbericht der Bundesnetzagentur 5,3 TWh<sub>el</sub> aus Windenergieanlagen abgeregelt, im ersten Quartal 2018 waren es 1,9 TWh<sub>el</sub>. Solcher erneuerbarer Überschussstrom tritt aktuell nur lokal in Netzgebieten mit hohen eE-Anteilen auf, auf dem Weg zu hohen Anteilen von Wind- und Solarstrom werden diese überschüssigen erneuerbaren Energiemengen großflächig auftreten. Elektrolyseure gelten als vielversprechende Technologie, um diese Überschüsse in Form von Wasserstoff speicherbar und auch für andere Sektoren nutzbar zu machen. Um energiewendedenliche Einsatzstunden für Elektrolyseure monatsscharf zu ermitteln, wird im Folgenden das Instrument eines „Elektrolyse-Triggerpreises“ vorgestellt.

In Stunden mit einem hohen europäischen Anteil erneuerbarer Energien und niedrigen europäischen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Elektrizitätssektor ist der Strompreis gering. Dieses Signal ergibt sich aus der Merit-Order der Kraftwerke, denn bei niedrigen Strompreisen lohnt sich nur der Betrieb von solchen Technologien mit geringen kurzfristigen Grenzkosten, insbesondere den erneuerbaren Energien. Der stündliche Strompreis ist daher ein zweckmäßiger Parameter, energiewendedenliche Einsatzstunden für Elektrolyseure zu bestimmen.

### METHODE EINES ELEKTROLYSE-TRIGGERPREISES

Monatlich wird ein Triggerpreis festgelegt. Alle Stunden, die einen geringeren stündlichen Preis aufweisen, sind voraussichtlich a) energiewendedenliche Einsatzzeitpunkte für Elektrolyseure und stellen b) eine gegebene Anzahl von Benutzungsstunden langfristig sicher.

Ein Triggerpreis, der diesen beiden Kriterien gleichzeitig gerecht wird, berechnet sich erstens aus einem repräsentativen, aktuellen Kurs eines Grundlast-Frontmonatsfutures, zweitens einem monatsscharfen Preisstrukturfaktor und drittens einem rollierend festzulegenden Anpassungsfaktor zum Ausgleich von Monaten mit Mehr- oder Minderstunden.

#### Trigger – Preis<sub>M1</sub>

$$= \text{FutureMonatspreis}_{M1} * \text{Monatlicher Preisstrukturfaktor}_{M1} * \text{Anpassungsfaktor}_{M1}$$

Der Future-Monatspreis kann beispielsweise die Fünf- oder Zehntageslinie der Settlementpreise des Grundlast-Monatsfutures der EEX sein [a]. Diese repräsentiert eine verlässliche aktuelle Einschätzung des Marktes über die durchschnittlichen Strompreise in dem Monat. Der Berechnungstag soll möglichst nah am Monatsbeginn liegen, die Berechnung ist bis zur Neuberechnung für den nächsten Monat gültig.

Monat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2018	0,809	0,864	0,887	0,907	0,903	0,896	0,890	0,893	0,875	0,882	0,867	0,857
2019	0,833	0,888	0,900	0,915	0,928	0,908	0,919	0,904	0,882	0,907	0,868	0,900

Der monatliche Preisstrukturfaktor berechnet sich auf Grundlage der EPEX-Day-Ahead-Preise und berücksichtigt die typische, relative stündliche Preisstruktur des gegebenen Monats. Im Folgenden erfolgen Rechnungen auf Basis der Preise der letzten 3 Kalenderjahre für jährlich 3.000 bzw. monatlich etwa 250 Vollbenutzungsstunden, andere Parameter sind auch denkbar [b]. Der Faktor drückt aus, wie hoch der Triggerpreis in den letzten drei Jahren war, der die günstigsten 250 Stunden des Monats bestimmt hat. Die Berechnung erfolgt über den Quotienten aus dem 250.-kleinsten Stundenwert eines jeden Monats und dem durchschnittlichen Strompreis des jeweiligen Monats. Die monatlichen Preisstrukturfaktoren, die sich für die Jahre 2018 und 2019 gemäß dieses Prinzips aus den jeweils drei letzten Jahren ergeben haben, stehen in obenstehenden Tabelle.

$$\mathbf{Anpassfaktor}_{M0} = \frac{SollStunden_{M-1}}{SollStunden_{M-1} + \frac{Akkumulierte\ Differenz_{M-1}}{12}}$$

Der Anpassungsfaktor hat den Zweck, die Abweichung von den langfristig gewünschten Vollbenutzungsstunden durch die Preisstruktur des Vormonats fortgehend auszugleichen. In einem Monat mit ungewöhnlich viel Wind- oder PV-Einspeisung ergeben sich zu einem Triggerpreis mehr als 250 kleinere Strompreise (z. B. 400 „Ist-Stunden“). Bei sehr wenig niedrigen Strompreisen hingegen sinken die monatlichen Einsatzstunden unter den langfristig anzustrebenden Wert (hier 250 „Soll-Stunden“). Der Faktor ergibt sich aus dem Quotient der Soll-Stunden im Zähler und 1/12 [c] der akkumulierten Differenz der bisherigen Monate aus Sollstunden und Ist-Stunden zuzüglich der Sollstunden im Nenner. Die akkumulierte Differenz ist negativ, wenn in den Vormonaten mehr Ist-Stunden als Soll-Stunden auftraten und vice versa. Dadurch ist der Faktor kleiner eins und reduziert den Triggerpreis, wenn in der Vergangenheit mehr Ist-Stunden als Soll-Stunden auftraten und vice versa – das System gleicht sich aus. Die Formel für den Anpassfaktor gleicht Abweichungen von Soll-Vollbenutzungsstunden kontinuierlich aus. Je nach Wettersituation und Preisverteilung können für ein Kalenderjahr geringe Abweichungen der gewünschten jährlichen Vollbenutzungsstunden auftreten. Diese Anpassungsfähigkeit an die Wetterbedingungen ist vorteilhaft, denn in einem überdurchschnittlichen Windjahr sind auch überdurchschnittlich viele Elektrolyseur-Vollbenutzungsstunden sinnvoll.

Eine Beispielrechnung für 2018 und 2019 bei 250 Sollstunden:

Berechnung Anpassfaktor							
Jahr	Soll-Stunden	Monat	Trigger-Preis je MWh	Ist-Stunden	Differenz	Differenz Akkumuliert	Anpassfaktor
2018	250	1	30,37 €	316	66	66	1,0000
	250	2	33,06 €	143	-107	-41	0,9785
	250	3	32,62 €	235	-15	-56	1,0139
	250	4	32,04 €	339	89	33	1,0190
	250	5	28,05 €	210	-40	-7	0,9891
	250	6	36,64 €	168	-82	-89	1,0023
	250	7	41,79 €	102	-148	-237	1,0306
	250	8	49,33 €	206	-44	-281	1,0858
	250	9	56,41 €	402	152	-129	1,1033
	250	10	52,82 €	365	115	-14	1,0449
	250	11	48,34 €	227	-23	-37	1,0047
	250	12	46,35 €	242	-8	-45	1,0125
2019	250	1	49,58 €	315	65	20	1,0152
	250	2	48,20 €	452	202	222	0,9934
	250	3	31,58 €	294	44	266	0,9311
	250	4	30,32 €	101	-149	117	0,9186
	250	5	34,60 €	226	-24	93	0,9625
	250	6	32,71 €	151	-99	-6	0,9699
	250	7	34,98 €	0	0	-6	1,0020
	250	8	34,33 €	0	0	-6	1,0020
	250	9	36,48 €	0	0	-6	1,0020
	250	10	40,27 €	0	0	-6	1,0020
	250	11	43,63 €	0	0	-6	1,0020
	250	12	42,14 €	0	0	-6	1,0020

## ZUSÄTZLICHE DISKUSSIONSPUNKTE

Einige Parameter und zusätzliche Fragestellungen in diesem Modell werden im Folgenden diskutiert, die konkrete Wahl der Parameter ist als Vorschlag zu verstehen.

**[a]** Der Futurepreis bildet den durchschnittlichen Erwartungswert der StromhändlerInnen für den Liefermonat ab. Die Wahl des Bezugszeitraums kann unter folgenden Kriterien erfolgen: Zunächst sollte der Bezugszeitraum nah genug am Beginn des Liefermonats liegen, um aktuelle Preisbewegungen durch Kraftwerksausfälle, Commodity-Preise, meteorologische Trends etc. zu berücksichtigen. Andererseits benötigt der Veröffentlichungsprozess des jeweils gültigen Triggerpreises eine gewisse Bearbeitungszeit. Für eine Berücksichtigung mehrerer Abrechnungspreise (z. B. Fünf- oder Zehntageslinie) spricht die geringere Anfälligkeit für kurzfristige von HändlerInnen getriebene Kursschwankungen und Resilienz gegen eine Manipulation des Systems.

**[b]** Die Anzahl von 3.000 Vollbenutzungsstunden für Elektrolyseure und die Frage nach einer saisonalen Strukturierung ist als Kompromiss zu verstehen aus einer ausreichenden Auslastung einerseits und einer sehr flexiblen und auf die Stunden mit hohem Anteil erneuerbarer Energien

konzentrierten Fahrweise andererseits. Die gemeinsame Einspeisung von PV und Wind hat bei gleichem Leistungsverhältnis der Technologien in Deutschland eine nur noch geringe Saisonalität, die zudem stark vom Wetterjahr abhängt. Die Erhöhung der Berechnungskomplexität mit saisonalen Vollbenutzungsstunden oder mit an der Monatsdauer in Tagen angepasste Vollbenutzungsstunden ist vor diesem Hintergrund möglich, aber nicht notwendig. Die konkrete Wahl von 250 Vollbenutzungsstunden im Monat bzw. 3.000 im Jahr wird im Folgenden näher an der erwünschten energiewendedenlichen Betriebsweise erläutert:

I) Die Zeitpunkte mit ausreichend erneuerbaren Energien zum Decken der gesamten deutschen Stromnachfrage werden im Zuge des Zubaus von erneuerbaren Energien immer häufiger. Ausreichend häufig für den Betrieb von Elektrolyseuren treten diese Zeiträume aktuell nur in bestimmten Verteilnetzen auf, wo genau, ändert sich mittelfristig durch den Netzausbau. Elektrolyseure können in dieser Phase die Menge an über Einspeisemanagement abgeregelten Strom und die Netzkosten verringern. In dieser Phase geht aus einer Analyse der Struktur der EinsMan-Abregelung erneuerbarer Energien aus 2017<sup>1</sup> hervor, dass bei einem Zubau von 100 MW bis 500 MW Elektrolyseure 3.731 bzw. 2.672 Volllaststunden möglich sind.

II) Mit dem weiteren Zubau erneuerbarer Energien werden dann auch die globalen Überschüsse erneuerbarer Energien häufiger, dann eignen sich viele Netzanschlusspunkte für Elektrolyseure. Für ein Energiesystem mit 80 % erneuerbaren Energien ergaben sich über eine Residuallastanalyse bei Elektrolyseleistungen von 1 bis 20 GW bei reiner Nutzung der nationalen erneuerbaren Stromüberschüsse zwischen 2.700 und 1.900 Vollbenutzungsstunden. Bei bilanziell 100 % erneuerbaren Energien ergaben sich in der gleichen Modellrechnung 3.600 bis 2.800 Vollbenutzungsstunden für den Elektrolyseur.

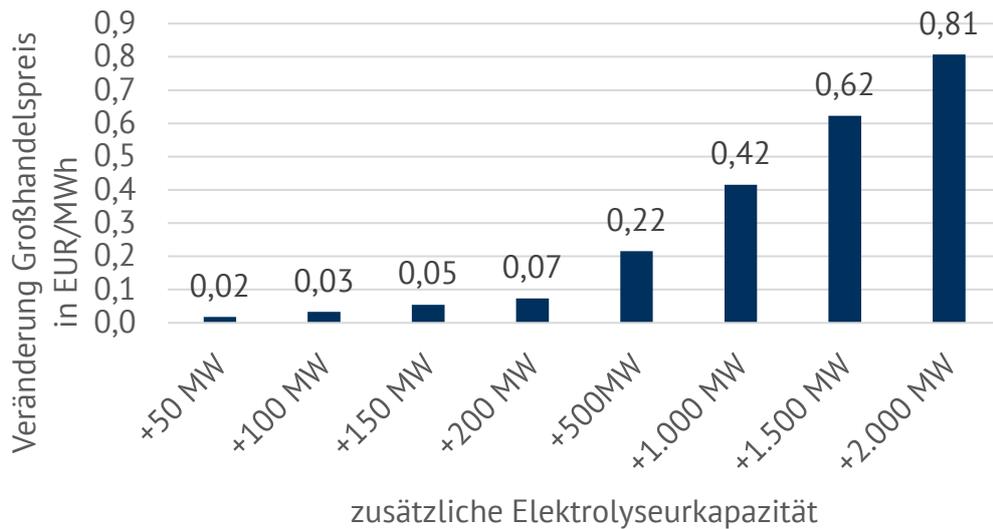
**[c]** In der Formel für den Anpassfaktor spielt für die Verteilung der akkumulierten Differenz der Faktor  $1/12$  eine Rolle. Das Modell wurde mit  $1/3$ ,  $1/6$  und  $1/12$  getestet, dies entspricht dem Ziel, Überschüsse oder Fehlmengen innerhalb eines Quartals, eines Halbjahres oder eines Jahres abzubauen. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass in aufeinander folgenden Monaten mit über- oder unterdurchschnittlichen Anteilen von erneuerbaren Energien und damit niedrigen Strompreisen die quartalsweise oder halbjährliche Modellvariante zu wenig energiewendedenliche Flexibilität lässt. Die Variante mit  $1/12$  zeigte diesbezüglich die höchste Performanz.

#### **[d] Welchen Einfluss hat die preisabhängige Erhöhung der Stromnachfrage unterhalb einer definierten Strompreisstufe?**

Erfolgt ein Zubau von Elektrolyseuren, die unterhalb eines Triggerpreises die Stromnachfrage erhöhen, so erhöht dies den Strompreis. Zur Einschätzung der Höhe dieses Effektes dient eine fundamentale Strompreismodellierung des aktuellen Stromsystems unter Variation der Stromnachfrage in Abhängigkeit des Triggerpreises mittels des europäischen Fundamentalmodells Power2Sim. Die Analyse zeigt bei zusätzlichen Elektrolyseurkapazitäten bis 2 GW eine Erhöhung des Strompreises in Höhe von 0,81 EUR/MWh. Dies entspricht in etwa 0,3 Prozent des Haushaltskundenstrompreises von rund 29 ct/kWh.

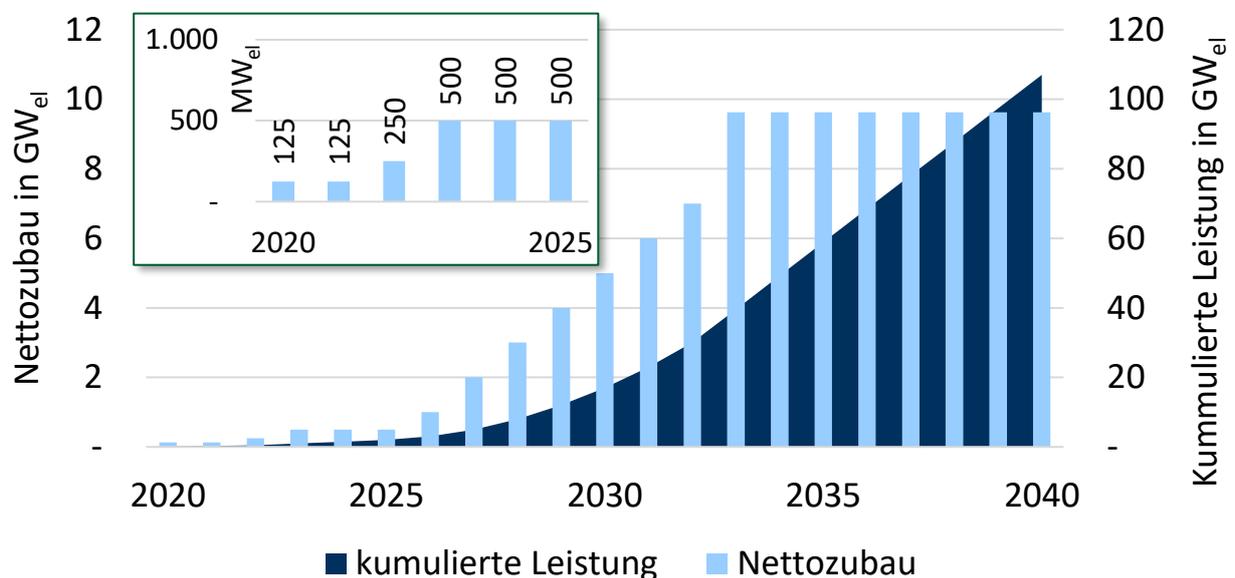
---

<sup>1</sup> Energy Brainpool (2017): Impulspapier Experimentierklausel Power-to-Gas.



**[e] Welcher Ausbaupfad für Elektrolyseure ist 1,5°-Limit-kompatibel?**

In einem defossilisierten und sektorengesetzten Energiesystem können sich in Deutschland mehr als 107 GW an Elektrolyseuren ohne finanzielle Förderung am Markt finanzieren (Energy Brainpool, 2019)<sup>2</sup>. In Zusammenhang mit einem sehr deutlichen klimapolitisch notwendigen Anstieg der Zubauraten für Wind- und PV-Anlagen in der Größenordnung von über jeweils 10 GW/a Bruttozubau ist in o. g. Studie eine vollständige Defossilisierung im Jahr 2035 erreicht. Unter Inkaufnahme eines steigenden Risikos, das 1,5°-Ziel zu verfehlen, sollte dieses Ziel spätestens 2040 erreicht werden.



Ein möglicher Zubaupfad für Elektrolyseurkapazitäten ist hier beschrieben: In einer ersten Phase bis 2025 reichen vergleichsweise niedrige Zubauraten aus, damit Forschung und Industrie die Technologie weiterentwickeln und Produktionskapazitäten aufbauen können. Diese Phase ist im Strommarkt vom Ausstieg aus der Kernkraft und dem Rückbau älterer Kohlekraftwerke begleitet,

<sup>2</sup> Energy Brainpool (2019): Erneuerbar in allen Sektoren.

wodurch das Stromsystem flexibler wird und per se mehr Wind- und PV-Strom aufnehmen kann. Danach müsste der Zubau an Fahrt aufnehmen, der konkrete jährliche Zubau sollte dann bei Kenntnis des tatsächlichen PV- und Wind-Zubaus, Kohleausstiegs, der Flexibilisierung der Nachfrage und des Netzausbaus festgelegt werden. Beim Standort der Elektrolyseure können technische Kriterien, wie Nähe zur Stromerzeugung, geeignetem Gasnetz und Regionen hoher Abregelung von Wind- und PV-Strom ebenso eine Rolle spielen wie die Förderung von Regionen, die vom Kohleausstieg betroffen sind.

## KURZPORTRAIT ENERGY BRAINPOOL

Die Energy Brainpool GmbH & Co. KG bietet unabhängige Energiemarkt-Expertise mit Fokus auf Marktdesign, Preisentwicklung und Handel in Deutschland und Europa. 2003 gründete Tobias Federico das Unternehmen mit einer der ersten Spotpreisprognosen am Markt. Heute umfasst das Angebot Fundamentalmodellierungen der Strompreise mit der Software Power2Sim ebenso wie vielfältige Analysen, Prognosen und wissenschaftliche Studien. Energy Brainpool berät in strategischen und operativen Fragestellungen und bietet seit 2008 Experten-Schulungen und Trainings an. Das Unternehmen verbindet Wissen und Kompetenz rund um Geschäftsmodelle, Digitalisierung, Handels-, Beschaffungs- und Risikomanagement mit langjähriger Praxiserfahrung im Bereich der steuerbaren und fluktuierenden Energien.

### IMPRESSUM

Autoren:

Fabian Huneke

Herausgeber:

Energy Brainpool GmbH & Co. KG

Brandenburgische Straße 86/87

10713 Berlin

[www.energybrainpool.com](http://www.energybrainpool.com)

[kontakt@energybrainpool.com](mailto:kontakt@energybrainpool.com) mailto:

Tel.: +49 (30) 76 76 54 - 10

Fax: +49 (30) 76 76 54 - 20

September 2019

© Energy Brainpool GmbH & Co. KG, Berlin

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne die Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt vor allem für Vervielfältigungen in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrokopie oder ein anderes Verfahren), Übersetzung und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte findet eine Haftung ohne Rücksicht auf die Rechtsnatur des Anspruchs nicht statt. Sämtliche Entscheidungen, die auf Grund der bereitgestellten Informationen durch den Leser getroffen werden, fallen in seinen Verantwortungsbereich.