

# EINFLUSS EINER LAUFZEITVERLÄNGERUNG VON KERNKRAFTWERKEN AUF DIE ABREGELUNG ERNEUERBARER ENERGIEN AM BEISPIEL FRANKREICHS

KURZSTUDIE

Berlin, April 2022

Im Auftrag der Green Planet Energy eG

M. Claußner, F. Huneke, J. Bogner



## INHALTSVERZEICHNIS

1. Hintergrund .....	1
2. Annahmen der Sensitivitätsanalyse.....	3
3. Ergebnisse.....	4
4. Fazit.....	6
5. Anhang .....	7
Quellenverzeichnis.....	12
Kurzportrait Energy Brainpool.....	13

## 1. HINTERGRUND

---

Im Februar 2022 kündigte die französische Regierung öffentlich eine „Renaissance“ der französischen Atomkraft an. Neben Ankündigungen bezüglich des Baus neuer Atomkraftwerke ist der teilstaatliche französische Stromkonzern Électricité de France (EDF) unter anderem angewiesen worden, eine Laufzeitverlängerung bestehender Atomkraftwerke auf über 50 Jahre zu prüfen (Tagesschau, 2022). Die russische Invasion der Ukraine Ende Februar und die damit einhergehenden Forderungen nach einer beschleunigten Unabhängigkeit von Importen fossiler Brennstoffe haben der Diskussion um Laufzeitverlängerungen weiter an Gewicht verliehen.

Würde man die Laufzeiten verlängern, so würde der bisher vorgesehene Rückgang der insgesamt installierten Leistung französischer Kernkraftwerke deutlich verlangsamt. Diese Entwicklung geschähe gleichzeitig mit dem Zubau erneuerbarer Energien (EE) in Europa, insbesondere von Wind- und Photovoltaikanlagen. Aufgrund der besonders geringen Lastflexibilität von Kernkraftwerken im Allgemeinen und Altkraftwerken im Besonderen, erhöht eine Laufzeitverlängerung den Anteil des inflexiblen Mindesterzeugungssockels im europäischen Stromsystem in den betroffenen Zeiträumen spürbar.<sup>1</sup> Mit Lastflexibilität ist hier insbesondere die Fähigkeit von Kraftwerken gemeint, oft, schnell und zu geringen Kosten die Stromerzeugung an die schwankende Nachfrage anzupassen. Auch in Stunden mit hoher Einspeisung aus fluktuierenden erneuerbaren Energien (Wind- und Solarenergie) bliebe dieser Mindesterzeugungssockel bisher am Netz, weil die Kosten für die Abregelung von Kernkraftwerken unter ihre Mindestlast sehr hoch sind – während Maßnahmen zur temporären Reduktion von Solar- und Windanlagen nahezu kostenneutral sind. Dies kommt de facto einem Einspeisevorrang für Kernkraftwerke gleich und führt unweigerlich zu einer vermehrten Abregelung von EE-Anlagen. Das widerspricht dem übergeordneten Ziel einer kosteneffizienten Transformation des europäischen Energiesystems, denn die technischen Eigenschaften bezüglich ihrer Flexibilität machen die Technologien Solar- und Windenergie mit ihrer Wetterabhängigkeit und Volatilität auf der einen Seite und Kernkraftwerke mit sehr gering ausgeprägten Möglichkeiten zur Lastreduktion auf der anderen Seite weitgehend inkompatibel.

Dieser Zusammenhang gilt durch das gekoppelte europäische Stromsystem über die Grenzen der Marktgebiete hinweg. Der Austausch von Solarstrom zwischen Spanien, Frankreich und

---

<sup>1</sup> Dieser umfasst den Teil der Erzeugungskapazität des Kraftwerksparks, der nicht flexibel an Angebot und Nachfrage am Strommarkt angepasst werden kann und als „starre“ Sockelerzeugung läuft. Für französische Kernkraftwerke schätzen wir diesen Wert auf rund 80 Prozent der installierten Leistung.

Deutschland beispielsweise ist durch die geringe Lastflexibilität von Kernkraftwerken eingeschränkt.

Mittels stundenscharfer Modellierung des europäischen Strombinnenmarkts untersucht Energy Brainpool in dieser Kurzstudie die Auswirkungen einer potenziellen Laufzeitverlängerung von französischen Atomkraftwerken auf die Vermarktungsmengen erneuerbarer Energien im Jahr 2030. Dies geschieht unter der Annahme, dass die durch die nationalen Regierungen Europas bereits festgelegten Ausbauziele für erneuerbare Energien erreicht, aber die Laufzeiten französischer Kernkraftwerke dennoch wie von der französischen Regierung beabsichtigt auf 50 Jahre verlängert werden. Aufgrund seines hohen Kernkraftanteils an der Stromerzeugung eignet sich Frankreich besonders gut als Beispielobjekt für eine solche Untersuchung.

Aktuelle Ankündigungen bzw. Diskussionen zur weiteren Beschleunigung des EE-Zubaus bzw. zur Verlangsamung von Kernkraftausstiegen in Europa, die seit Beginn des Kriegs in der Ukraine im Hinblick auf die angestrebte Reduktion der Energieimportabhängigkeit Europas entstanden sind, sind in dieser Untersuchung noch nicht berücksichtigt, dürften die analysierten Effekte jedoch verstärken.<sup>2</sup> Ferner beschränkt sich diese Untersuchung auf die marktgetriebenen Abregelungen von Strom aus erneuerbaren Energien. Je nach Fortschritt des Netzausbaus kommen heute nicht vorhersehbare, netzbedingte Abregelungen hinzu, etwa Einspeisemanagement- oder Redispatchmaßnahmen zur Beseitigung oder Vermeidung von Netzengpässen.

---

<sup>2</sup> Vgl. neues Ziel der Vollversorgung Deutschlands mit 100% Strom aus erneuerbaren Energien bereits bis 2035 (Spiegel, 2022), aktuelle Diskussionen zur Anhebung der EE-Ziele im EU-Parlament (Euractiv, 2022) oder der Aufschub des Kernkraftausstiegs in Belgien (Euronews, 2022)

## 2. ANNAHMEN DER SENSITIVITÄTSANALYSE

Zur Bewertung des Effekts einer Laufzeitverlängerung französischer Kernkraftwerke auf die Vermarktungsmengen erneuerbarer Energien werden zwei Strommarktszenarien miteinander verglichen. Beiden Szenarien gemein sind die Annahmen zur Entwicklung der Commodity-Preise, des Ausbaus der Grenzkuppelleitungen und ihrer Auslastung, der Entwicklung der Stromnachfrage sowie des Kraftwerksparks in Europa.<sup>3</sup> Der einzige Unterschied beider Szenarien liegt in der modellierten Kernkraftwerkskapazität Frankreichs. Abbildung 1 vergleicht hierzu beide Szenarien. Ausgangspunkt ist ein Referenzszenario, das auf dem Szenario „N1“ des französischen Übertragungsnetzbetreibers RTE (Réseau de Transport d'Electricité) beruht (RTE, 2021). In diesem Szenario reduziert sich die installierte Kernkraftleistung in Frankreich bis 2030 auf knapp 40 GW.

Demgegenüber wird im Szenario „Nuklear50“ für alle bestehenden Kernkraftwerke im entsprechenden Alter eine Laufzeitverlängerung auf 50 Jahre angenommen, insofern vonseiten des Betreibers nicht bereits öffentlich publizierte Pläne für eine frühere Abschaltung bestehen. Dies führt im Jahr 2030 zu einer um 19 GW erhöhten Kernkraftleistung in Frankreich.

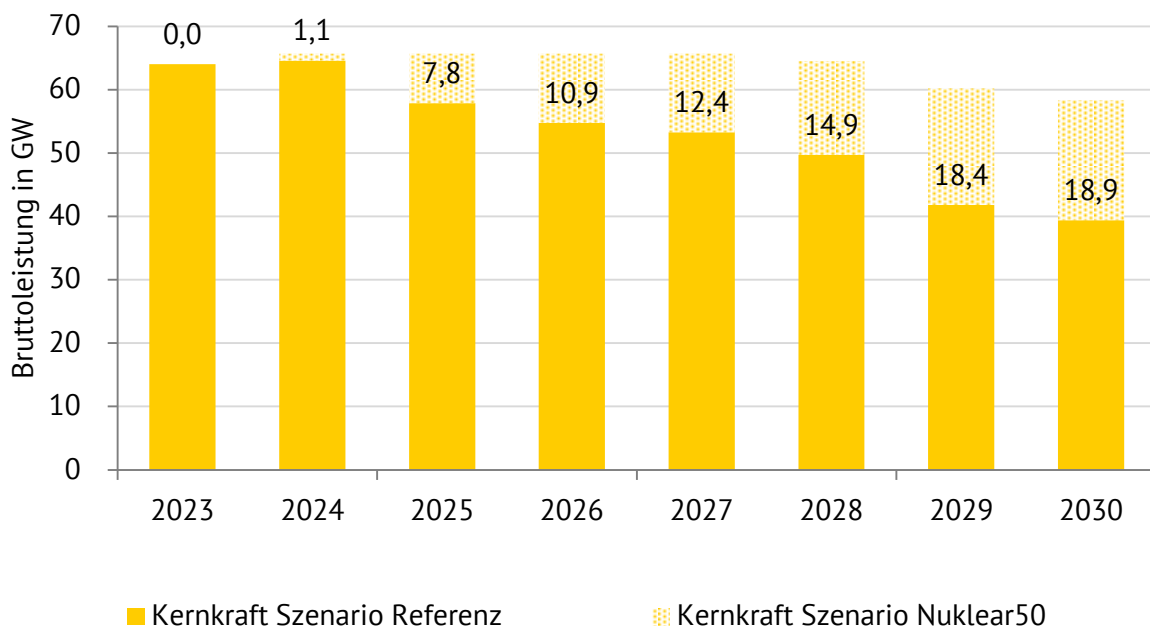


Abbildung 1: Entwicklung der Kernkraftkapazität mit (Szenario „Nuklear50“) und ohne Laufzeitverlängerung (Szenario „Referenz“); angegeben ist die jährliche Differenz zwischen beiden Szenarien in GW [Quelle: Eigene Darstellung nach RTE, 2021]

<sup>3</sup> Weitere Angaben hierzu sowie eine Modellbeschreibung sind im Anhang zu finden

### 3. ERGEBNISSE

Abbildung 2 zeigt die Auswirkungen der Laufzeitverlängerung französischer Kernkraftwerke auf die Vermarktungsmengen erneuerbarer Energien in Frankreich und ausgewählten Nachbarländern auf. In den drei Kernländern Frankreich, Deutschland und Spanien steigt der Umfang abgeregelter EE-Erzeugung im Szenario „Nuklear50“ um 2,1 TWh (12 Prozent mehr Abregelung als im Szenario „Referenz“). Diese drei Länder sind mitunter aufgrund ihres hohen Marktanteils fluktuierender erneuerbarer Energien in 2030 am stärksten von der inflexiblen Mindesterzeugung der länger am Netz bleibenden Kernkraftwerke betroffen. Die Auswirkung der beschränkten Grenzkuppelkapazitäten zwischen den Nachbarländern ist im Modell bereits explizit berücksichtigt. Je stärker die Marktkopplung ist, desto größer ist der Effekt starrer Kernkraftmindesterzeugung von Nachbarländern auf zusätzliche Abregelungen erneuerbarer Energien.

Das Stichjahr 2030 wurde zur Untersuchung dieses Effekts herangezogen, da es als oft verwendetes Zieljahr für Klima- und EE-Ausbauziele eine einfache Orientierung bietet. Eine Laufzeitverlängerung der Kernkraftwerke hätte jedoch auch nach 2030 einen Effekt auf die Abregelungen erneuerbarer Energien. Der grundsätzliche Mechanismus führt im Falle hoher Kernkraftleistungen und hoher EE-Leistungszuwächse zu einer Intensivierung der Abregelungen, im Falle fallender Kernkraftleistungen oder weniger EE zu einer Abschwächung des Effekts.

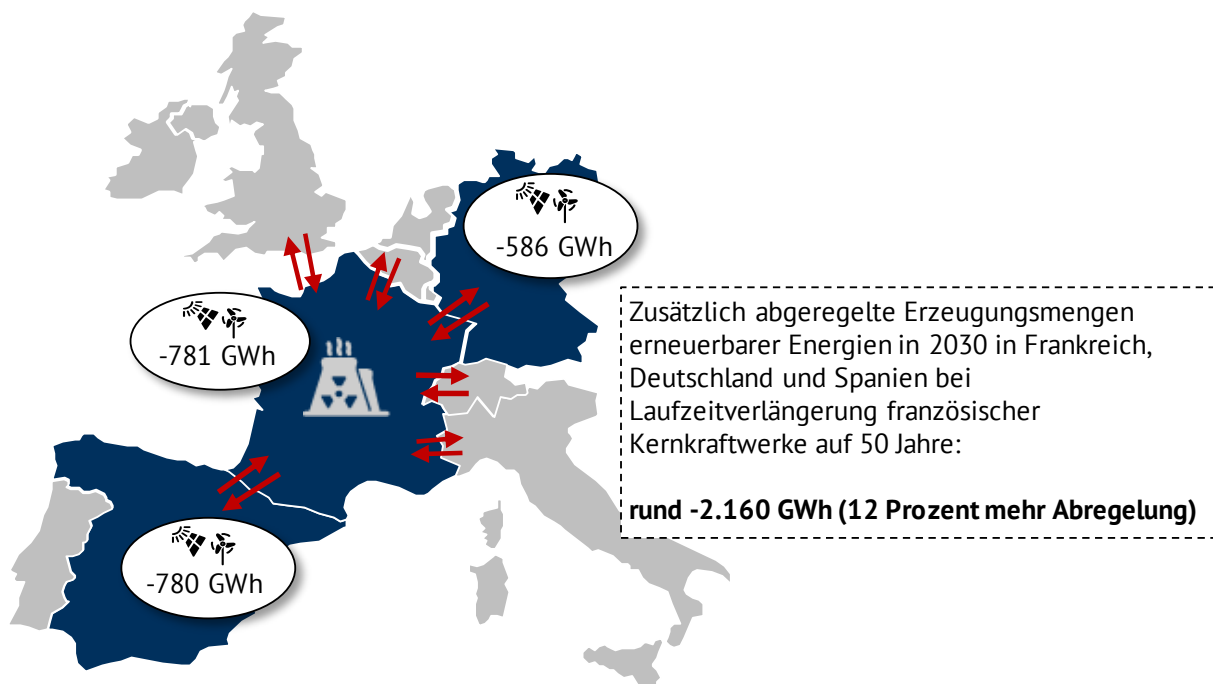


Abbildung 2: Kumulierte Abregelung erneuerbarer Energien in TWh in Frankreich, Deutschland und Spanien im Szenario „Nuklear50“ verglichen mit dem Referenz-Szenario (ohne Laufzeitverlängerung) [Quelle: Szenariomodellierung Energy Brainpool]

**Beispielhafte Illustration: Wie entstehen die kernkraftbedingten Abregelungen?**

Das Zusammenspiel des grenzüberschreitenden Stromausstausches zwischen Frankreich und Deutschland ist in Abbildung 3 exemplarisch für eine Beispielwoche im Jahr 2030 dargestellt. So ist am Nachmittag des 03. und 04. September zu erkennen, dass die Kernkraftwerke ihre Erzeugungsleistung auf ihr Mindestlastniveau senken (rund 80 Prozent der installierten Leistung). In diesen Zeiträumen kommt es verstärkt zu Abregelungen der Wind- und Solarstromerzeugung sowohl am französischen als auch am deutschen Markt. Ohne eine Laufzeitverlängerung französischer Kernkraftwerke und der damit einhergehenden, um 19 GW erhöhten installierten Kernkraftleistung in 2030, würde die starre Mindestlast in diesen Zeiträumen um rund 15 GW niedriger ausfallen.<sup>4</sup>

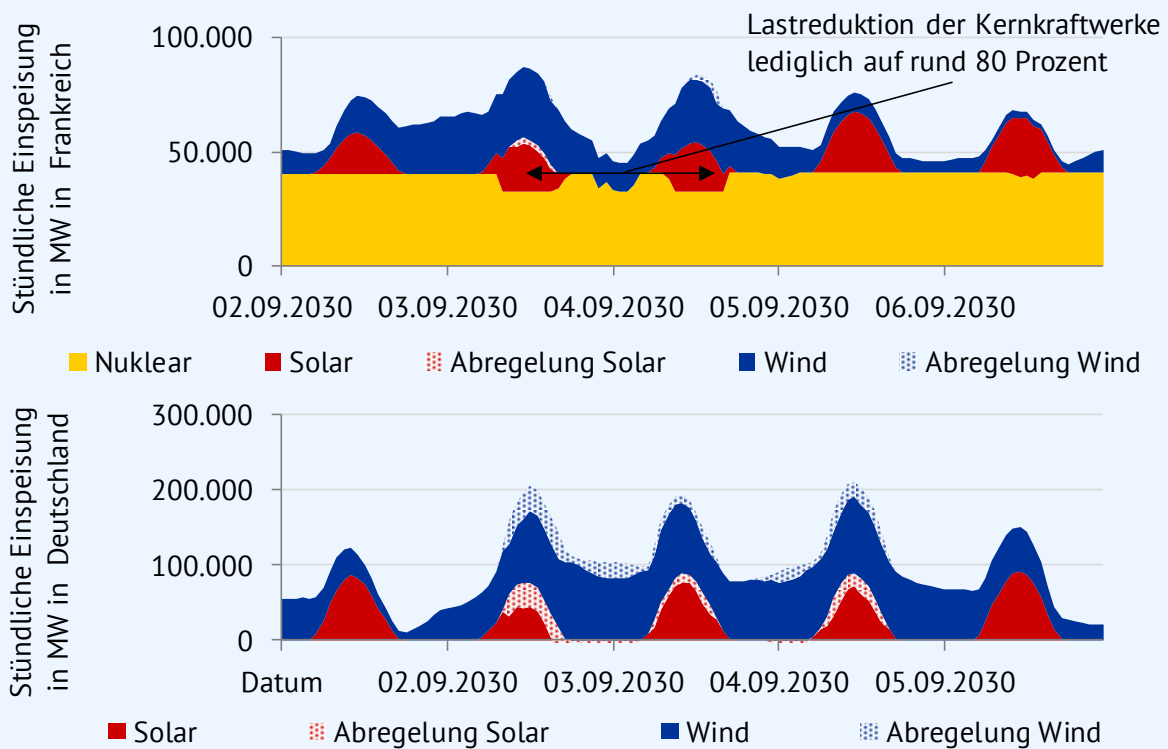


Abbildung 3: Illustration des Einflusses des inflexiblen Mindesterzeugungssockels der französischen Kernkraftwerke auf die Abregelung von Wind- und Solaranlagen in Deutschland und Frankreich anhand einer Beispielwoche in 2030 für das Szenario „Nuklear50“ [Quelle: Szenariomodellierung Energy Brainpool]

<sup>4</sup> in etwa: 80% \* 19 GW = 15 GW

## 4. FAZIT

---

Die Szenarioanalyse zeigt, dass die angekündigte Laufzeitverlängerung der französischen Kernkraftwerke auf 50 Jahre einen signifikanten Einfluss auf die abzuregelnden EE-Erzeugungsmengen hat. In Frankreich, Deutschland und Spanien zusammen steigt der Umfang der Abregelung im Jahr 2030 als Ergebnis einer stundenscharfen, europäischen Strommarktmodellierung um 2.160 GWh bzw. 12 Prozent. Das entspricht in etwa dem durchschnittlichen Jahresverbrauch von 720.000 Elektroautos oder rund 617.000 deutschen Haushalten.<sup>5</sup> Dies ist genau derjenige Anteil der Abregelung, der direkt auf die Verlängerung der Laufzeit der französischen Kernkraftwerke zurückgeführt werden kann. Frankreich dient dabei in dieser Kurzanalyse als Beispielmarkt, die untersuchten Effekte wären grundsätzlich auch im Falle von Laufzeitverlängerungen in anderen EU-Staaten zu erwarten. Die technischen Eigenschaften bezüglich ihrer Flexibilität machen die Technologien Solar- und Windenergie mit ihrer Wetterabhängigkeit und Volatilität auf der einen Seite und Kernkraftwerke mit sehr gering ausgeprägten Möglichkeiten zur Lastreduktion auf der anderen Seite weitgehend inkompatibel.

---

<sup>5</sup> Annahmen: Haushalte mit durchschnittlich 3.500 kWh/a; Elektroauto mit durchschnittlichem Stromverbrauch von 20 kWh / 100km und 15.000 km Fahrleistung pro Jahr



## 5. ANHANG

---

### *Kurzbeschreibung des Fundamentalmodells Power2Sim*

Für die Berechnung der Szenarien wird das Strommarktmodell Power2Sim eingesetzt.

Power2Sim ist eine von Energy Brainpool entwickelte Fundamentalsoftware zur Modellierung der europäischen Strommärkte. Die Basis bildet eine simulierte Merit-Order-Kurve, anhand derer die Großhandelsstrompreise für die einzelnen europäischen Länder stundenscharf berechnet werden. Im Schnittpunkt von Angebots- und Nachfragekurve ergibt sich der Strompreis. Das am teuersten produzierende Kraftwerk, welches zur Deckung der Nachfrage noch benötigt wird, bestimmt somit den Marktpreis.

Die kurzfristigen Grenzkosten der Stromproduktion von Erzeugungsanlagen, die verfügbare Erzeugungskapazität sowie die Nachfrage sind damit die Haupteinflussfaktoren auf die Strompreise. Im Power2Sim wird dabei nach konventionellen und erneuerbaren Erzeugungsanlagen unterschieden. Bevor die verschiedenen konventionellen Kraftwerke anhand ihrer kurzfristigen Grenzkosten als Merit-Order in die Berechnung eingehen, wird die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien berücksichtigt. Der aus erneuerbaren Energien erzeugte Strom wird von der Gesamtnachfrage abgezogen, die verbleibende Strommenge (Residuallast) muss folglich von konventionellen Kraftwerken produziert werden. Erneuerbare Energien werden im Modell je nach Technologie unterschiedlich berücksichtigt. Grundlage sind dabei stets historische Erzeugungsdaten, um die vorhandene Erzeugungssystematik möglichst genau abzubilden. Der gesamte konventionelle Kraftwerkspark ist im Power2Sim inklusive der jeweiligen Spezifika, d. h. Brennstoff, Effizienz, Verfügbarkeit etc., aus denen ein Merit-Order-Gebotspreis abgeleitet wird, hinterlegt.

Im Lastmodell wird auf Basis von Typtagprofilen, einem Ferien- und Feiertagskalender sowie dem Szenariotrend die Stromnachfrage für jedes einzelne Land stundenscharf für die Zukunft modelliert. Das Im- und Exportmodell ersetzt feste Zeitreihen des Stromaustauschs und lässt die grenzüberschreitenden Stromflüsse iterativ berechnen. Durch Einbeziehung grenzüberschreitender Lastflüsse in das System können die Strompreise im zusammenhängenden europäischen Stromübertragungsnetz so wesentlich genauer ermittelt werden. Immer beginnend mit der größten Preisdifferenz zwischen zwei Nachbarstaaten wird eine vorher festgelegte Transfermenge in Megawatt pro Stunde ausgetauscht. Dies führt zu einer Preisangleichung zwischen den beiden Ländern, hieraus ergeben sich neue Preisdifferenzen zwischen den Ländern und es

wird wieder bei der höchsten Differenz Strom ausgetauscht. Dieser Prozess wird so lange durchgeführt, bis sich alle Preise angeglichen haben oder die Grenzkupplungskapazitäten ausgeschöpft sind.

Die Strompreisbildung auf dem europäischen Energiemarkt wird folglich von zahlreichen Faktoren beeinflusst, welche bei der Entwicklung von Strompreisszenarien zu berücksichtigen sind. Diese Faktoren werden im Power2Sim anhand der bereits erwähnten Untermodelle eingebracht. Abbildung 4 zeigt den Aufbau des Power2Sim und das Zusammenwirken zwischen den verschiedenen Untermodellen.

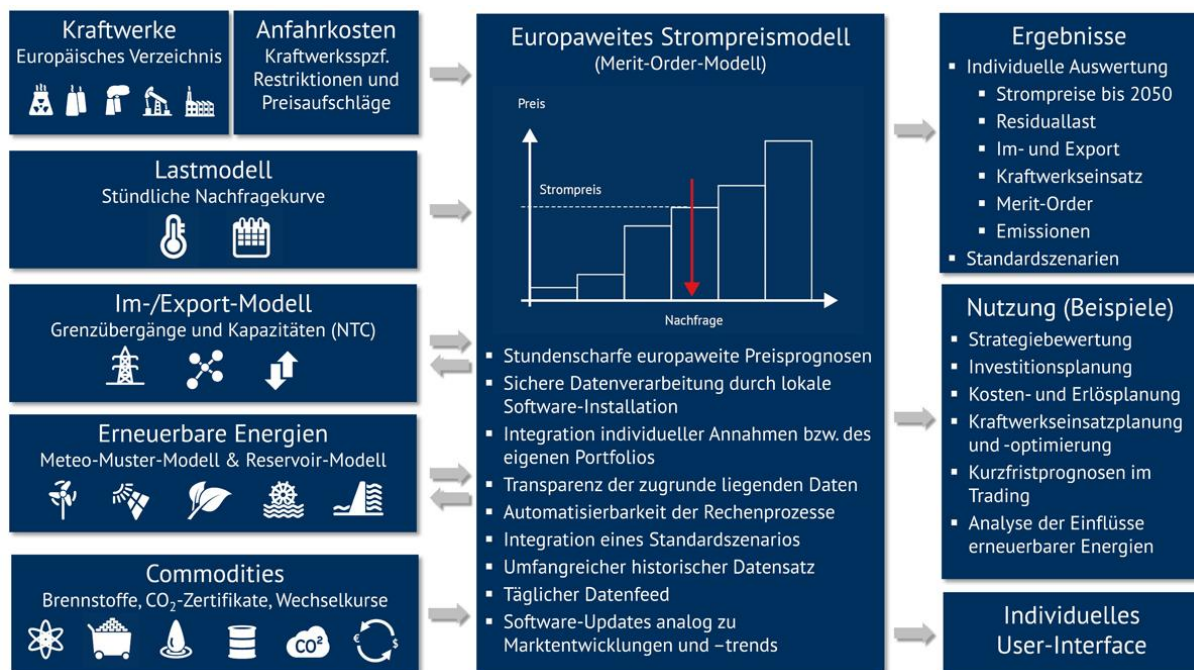


Abbildung 4: Funktionsschema Power2Sim

Die grundlegende historische Datenbasis ergibt sich aus öffentlich verfügbaren Quellen, wie z. B. Eurostat und ENTSO-E. Anhand der historischen Strompreise, Erzeugungs- und Stromaus-tauschmengen sowie Emissionen wird das Modell kalibriert.

#### *Annahmen zum Kraftwerkspark*

In den Szenarien werden alle vorgesehenen EE-Ausbauziele und Kohleausstiegspläne gemäß nationaler Energie- und Klimapläne der europäischen Staaten erreicht. In Deutschland werden die im Koalitionsvertrag der Ampel-Koalition verankerten Ziele erreicht und der Kohleausstieg bis 2030 abgeschlossen.

*Annahmen zu Commodity-Preisen*

Alle im Modell verwendeten Terminpreise datieren vom 08.02.2022. Historische Spot- und Terminpreise sind Nominalpreise. Alle im Modell verwendeten Szenariowerte entstammen dem Szenario „Sustainable Development“ des World Energy Outlook 2021 der International Energy Agency und sind real<sub>2020</sub>-Preise.

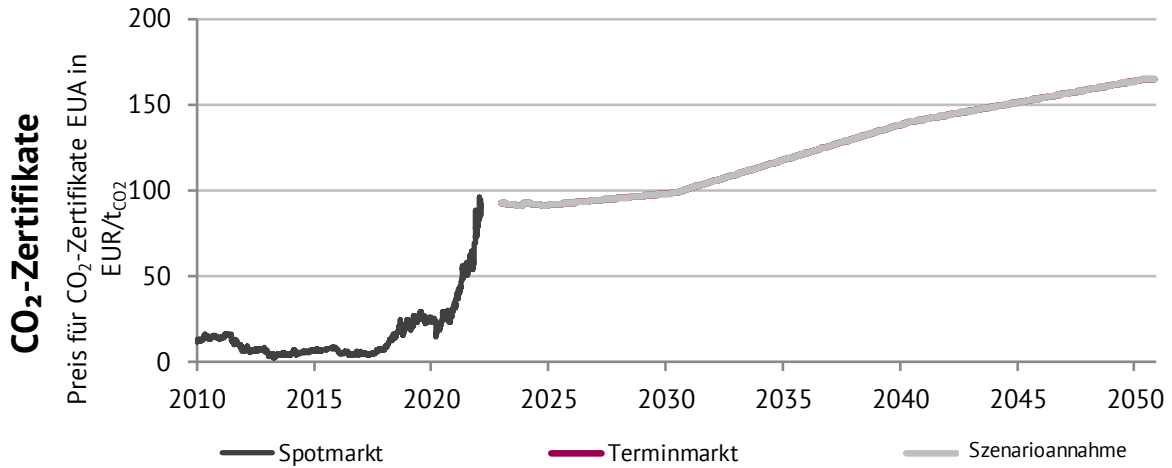


Abbildung 5: Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Preise in Europa in den Szenarien „Referenz“ und „Nuklear50“

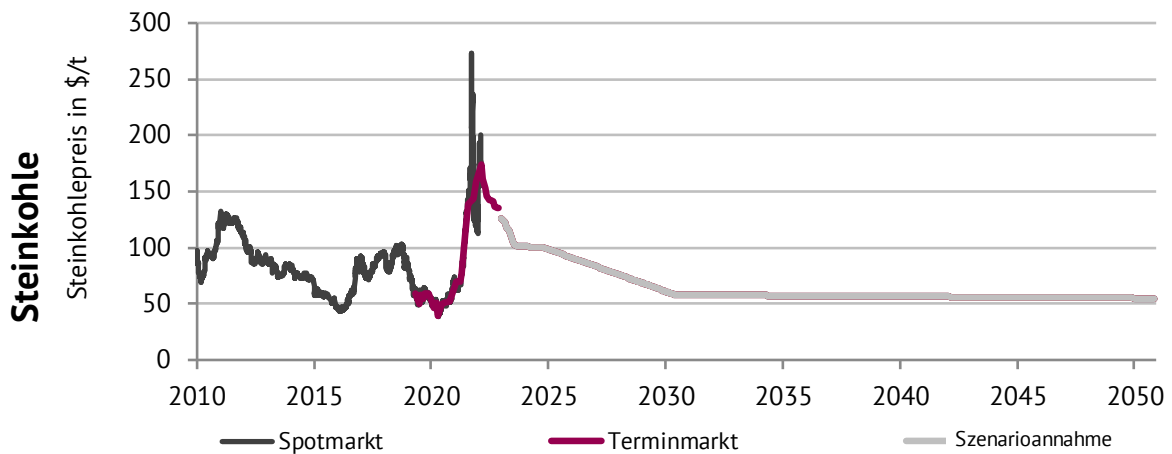


Abbildung 6: Entwicklung der Steinkohle-Preise in Europa in den Szenarien „Referenz“ und „Nuklear50“

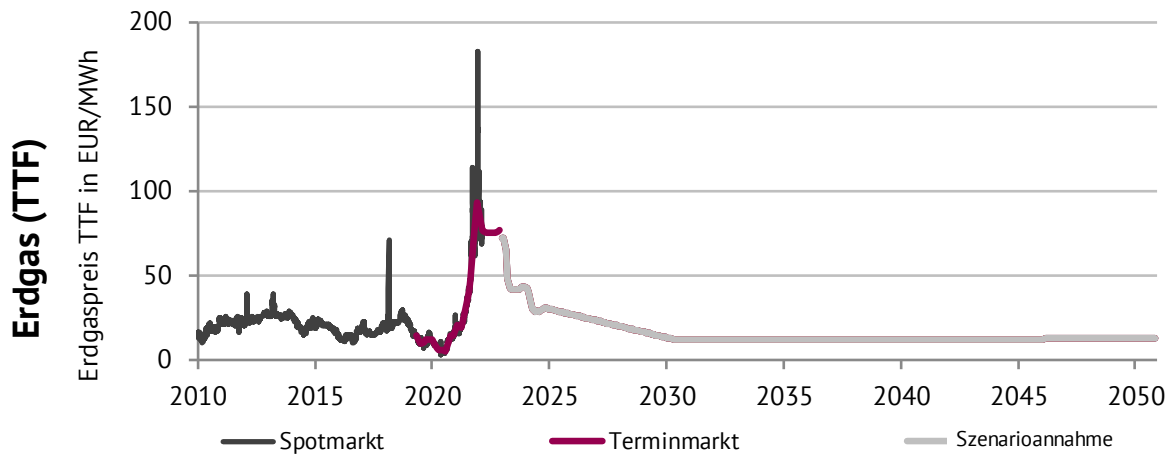


Abbildung 7: Entwicklung der Erdgaspreise in Europa (niederländischer Hub TTF) in den Szenarien „Referenz“ und „Nuklear50“

*Annahmen zu Grenzkuppelleitungen Frankreichs*

Nachfolgende Abbildung zeigt die im Modell angenommene Entwicklung der französischen Import- und Exportkapazitäten für den Stromaustausch mit seinen Nachbarländern. Diese orientiert sich an den Plänen der zuständigen Übertragungsnetzbetreiber. Beispielsweise beträgt die Gesamtkapazität für den Stromimport aus Frankreich in alle netztechnisch verbundenen Nachbarländer im Jahr 2030 rund 28 GW. Ein aufgrund technischer und wirtschaftlicher Einflussgrößen variierender Anteil hiervon steht dem Strommarkt dabei tatsächlich zum Import zur Verfügung.

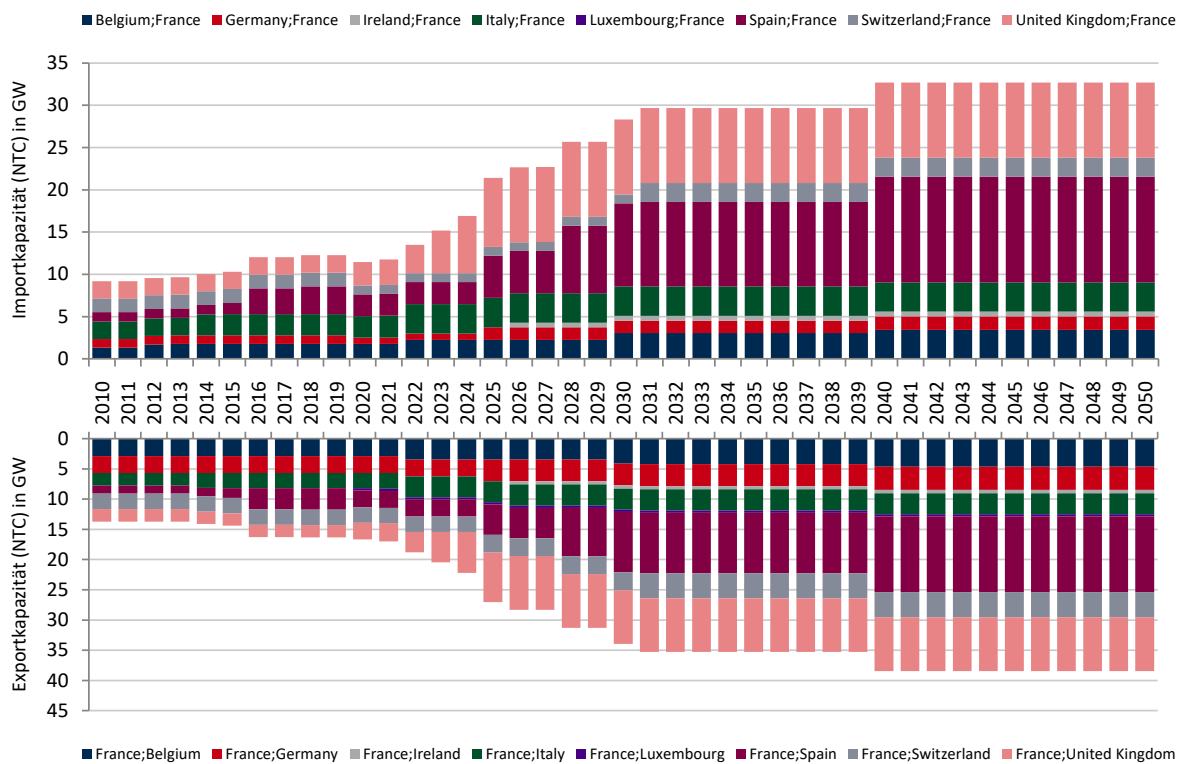


Abbildung 8: Entwicklung der Grenzkuppelkapazitäten Frankreichs mit seinen Nachbarländern in den Szenarien „Referenz“ und „Nuklear50“

## QUELLENVERZEICHNIS

---

Euractiv (2022): Widespread support in EU Parliament for 45% renewable energy target, [online] <https://www.euractiv.com/section/energy/news/widespread-support-in-eu-parliament-for-45-renewable-energy-target/> [16.03.2022]

Euronews (2022): Nuclear energy: Belgium postpones phase-out by 10 years due to Ukraine war, [online] <https://www.euronews.com/2022/03/19/nuclear-energy-belgium-postpones-phase-out-by-10-years-due-to-ukraine-war> [04.04.2022]

RTE (2021): Futurs énergétiques 2050, [online] [https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-10/Futurs-Energetiques-2050-principaux-resultats\\_0.pdf](https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-10/Futurs-Energetiques-2050-principaux-resultats_0.pdf) [25.02.2022]

Spiegel (2022): Regierung will 100 Prozent Ökostrom bis 2035, [online] <https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/oekostrom-regierung-will-vollversorgung-bis-2035-a-7b55d5fb-91ef-4c20-9c2e-4f11c3517417> [16.03.2022]

Tagesschau (2022): Renaissance der französischen Atomkraft, [online] <https://www.tagesschau.de/ausland/europa/frankreich-windparks-101.html> [25.02.2022]

## 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:

M. Claußner, F. Huneke, J. Bogner

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)

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

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

April 2022 © 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.