

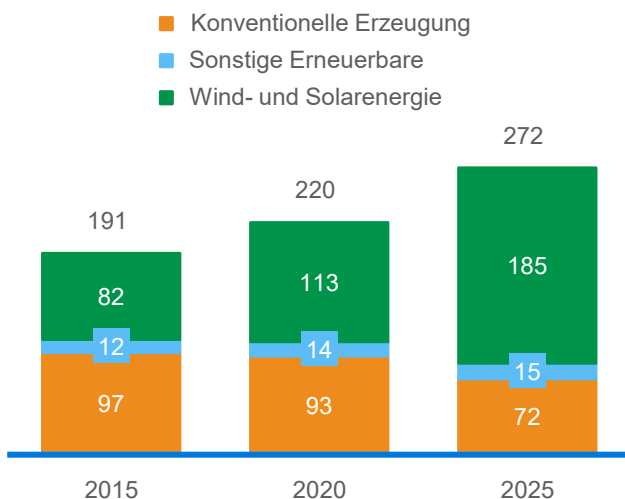


Dunkelflauten: Struktureller Bestandteil des deutschen Stromsystems

Dauer und Häufigkeit von Dunkelflauten in Deutschland und die Konsequenzen für das Stromsystem – Zeitreihenanalyse von Wind- und Solarstromerzeugung (2016–2025)

Durch den massiven Zubau erneuerbarer Kapazitäten, hat sich der Charakter des deutschen Stromsystems grundlegend verändert. 2025 stammten allein 46 Prozent der öffentlichen Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie. Diese sind sehr wetterabhängig, wodurch die Erzeugung heute deutlich volatil ist als noch vor einem Jahrzehnt (siehe Abbildung 1). Diese Volatilität sorgt dafür, dass Phasen sehr geringer Erzeugung aus Wind und Sonne – die sogenannten Dunkelflauten – systemrelevanter werden.

Abbildung 1: Installierte Leistung in Deutschland in GW (2015-2025).



Quelle: Eigenen Darstellung nach Fraunhofer ISE, Energy-Charts.

Dabei treten Dunkelflauten regelmäßig auf und dauern häufig länger, als es das öffentliche Bild vermuten lässt. Diese Ereignisse sind kein Randphänomen, sondern ein strukturelles Muster. Häufigkeit, Dauer und Intensität solcher Phasen bestimmen maßgeblich, welche Anforderungen künftig an Speicher, Flexibilitäten und gesicherte Kapazitäten gestellt werden müssen.

Das vorliegende Papier untersucht, wie häufig und wie lange Dunkelflauten zwischen 2016 und 2025 auftraten, welche strukturellen Muster erkennbar sind

und welche Schlüsse sich daraus für die Gestaltung eines verlässlichen Energiesystems ziehen lassen.

Methodik

Die Analyse stützt sich auf Erzeugungsdaten für Wind- und Solarstrom der vergangenen zehn Jahre. Da es bislang keine einheitliche Definition von Dunkelflauten gibt, betrachten viele bestehende Studien Dunkelflauten als Phasen, in der die Erzeugung von Wind- und Solarenergie für eine Mindestanzahl an aufeinanderfolgenden Stunden unter einem gewissen Schwellenwert liegt. In diesen Ansätzen gilt eine Dunkelflaute bereits als beendet, sobald die Erzeugung kurzfristig während einer Stunde den Schwellenwert überschreitet. Aus systemischer Perspektive ist dieses Verfahren jedoch unzureichend: Solche kurzzeitigen Spitzen haben keinen substantiellen Einfluss auf die Versorgungslage und ermöglichen weder das Laden von Speichern noch eine verlässliche Stabilisierung des Systems. Dadurch werden strukturelle Unterdeckungen systematisch unterschätzt.

Zur Vermeidung dieses methodischen Defizits wird in dieser Analyse jede Stunde innerhalb eines gleitenden 6-Stunden-Durchschnitts betrachtet, um kurzfristige, systemisch irrelevante Schwankungen herauszufiltern. Dieser in der wissenschaftlichen Analyse als Mean-Below-Threshold (MBT) bezeichnete Ansatz ermöglicht eine realitätsnahe Identifikation jener Phasen, in denen das Stromsystem dauerhaft auf gesicherte Erzeugung angewiesen ist. Als Dunkelflaute gilt ein Zeitraum von mindestens zehn aufeinanderfolgenden Stunden, in denen die Erzeugung durch Wind- und Solarenergie unter 10 % der installierten Leistung dieser Technologien liegt.

Ergebnisse

In den vergangenen zehn Jahren traten 1.435 Dunkelflauten auf, die länger als 10 Stunden dauerten (siehe Abbildung 2). Damit kommt es im Mittel jeden dritten Tag zu einer Dunkelflaute. Im Durchschnitt dauerten die Dunkelflauten im Zeitraum

2016-2025 12,9 Stunden und damit länger als einen halben Tag.

Neben der Häufigkeit und der durchschnittlichen Dauer interessieren aber natürlich vor allem die Extrema, denn auf diese muss das Stromversorgungssystem letztlich vorbereitet sein. Länger andauernde Ereignisse sind zwar seltener, treten dennoch regelmäßig auf. Eine 24-stündige Dunkelflaute tritt fast jeden Monat auf, dreitägige Dunkelflauten rund zweimal pro Jahr. Extreme Dunkelflauten von mehr als fünf Tagen sind zwar die Ausnahme, dennoch muss die Versorgungssicherheit auch in diesen Phasen garantiert werden. Im Schnitt treten diese immerhin alle dreieinhalb Jahre auf.

Im Jahr 2023 kam es sogar zu einer fast einwöchigen Dunkelflaute (161 Stunden). Die Ergebnisse zeigen: Dunkelflauten von mindestens 10 Stunden sind ein regelmäßig wiederkehrendes Phänomen.

Schlussfolgerungen

Die Analyse bestätigt, dass Phasen sehr geringer Wind- und Solarstromproduktion ein strukturelles Merkmal des deutschen Energiesystems darstellen. Diese Ereignisse sind weder Ausnahmefälle noch zufällige Extremereignisse, sondern treten mit hoher Regelmäßigkeit auf. Für die Versorgungssicherheit bedeutet dies, dass Dunkelflauten als Normalfall in der Planung der künftigen Erzeugungs- und Speicherinfrastruktur berücksichtigt werden müssen. Auch Speicher übernehmen eine wichtige Funktion in der Transformation des Energiesystems. Da aber lediglich konventionelle Kraftwerke jederzeit und unabhängig von Wetterbedingungen oder Ladezyklen Strom erzeugen können, bleiben gesicherte und flexible Kapazitäten zur Überbrückung längerer Dunkelflauten auch langfristig unverzichtbar.

Autor: Christian Brose, Lead Meteorologist bei Uniper

Abbildung 2: Anzahl Dunkelflauteereignisse mit min. 10 Std.

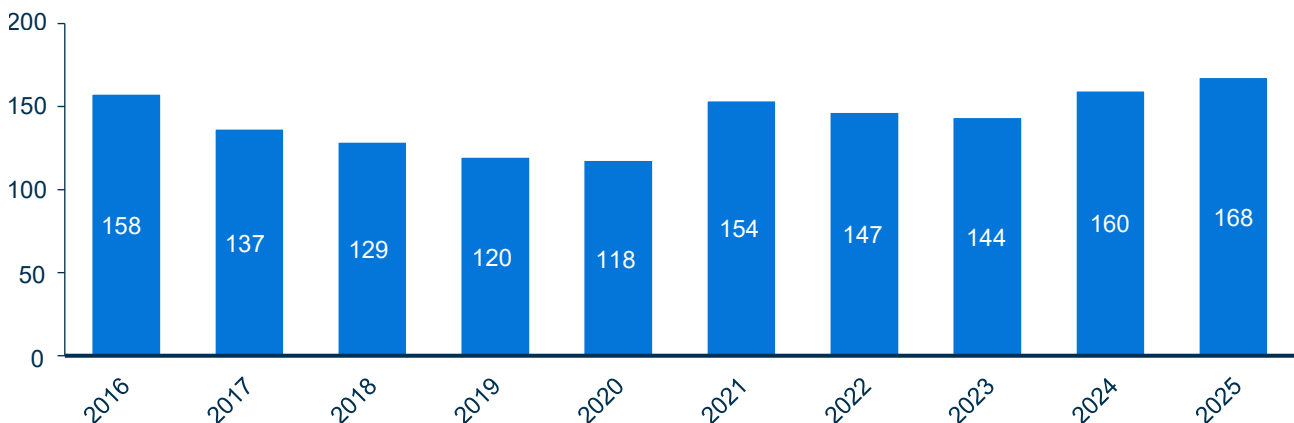
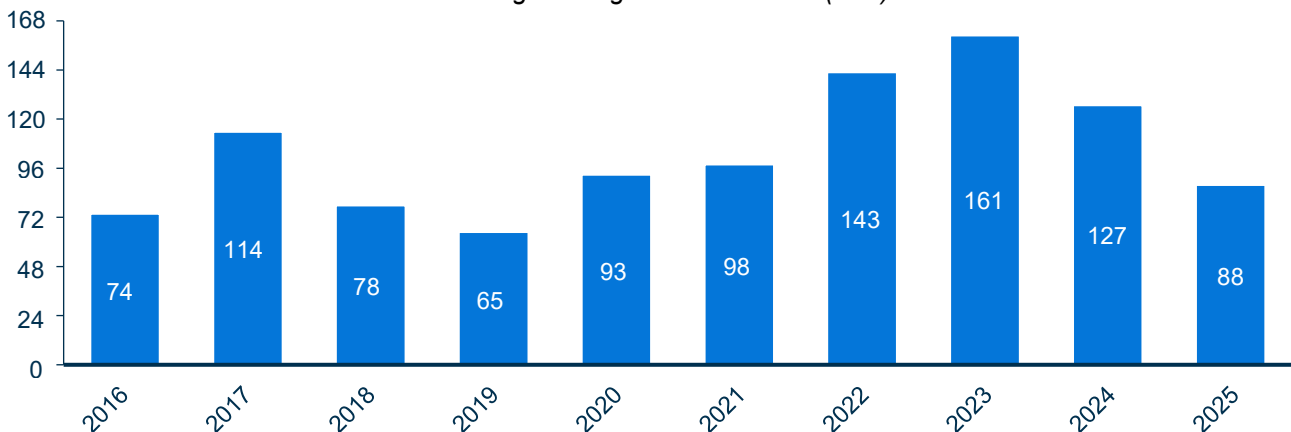


Abbildung 3: Längste Dunkelflaute (Std.)





Christian Brose ist Meteorologe und Experte für den Energiesektor mit über 18 Jahren Erfahrung im Commodity Trading. Er studierte Landschaftsökologie an der Universität Münster. Nach seinem Einstieg in die Medien- und Agrarmeteorologie bei Meteomedia wechselte er 2008 zu E.ON Sales & Trading, wo er meteorologische Dienstleistungen aufbaute und Prognosen für erneuerbare Energien sowie Wasserkraft in europäischen Märkten etablierte. Heute leitet er das Meteorologie-Team bei Uniper. Brose ist Fellow der Royal Meteorological Society und interessiert sich besonders für mittel- und langfristige Wetterprognosen, tropische Wirbelstürme und die Auswirkungen des Klimawandels auf Energiemärkte.

Uniper SE
Holzstraße 6
40221 Düsseldorf

Christian Brose
Lead Meteorologist

christian.brose@uniper.energy
www.uniper.energy