

Warum Wind und Sonne gemeinsam stärker sind – Die Vorteile der Wind+Solar-Kombination in Deutschland

Kurzfassung:

Die **gleichzeitige Nutzung von Windenergie und Solarenergie bietet klare Vorteile** gegenüber dem alleinigen Einsatz einer der beiden Technologien. Wind und Sonne **ergänzen sich im Jahres- und Tagesverlauf**, wodurch die Stromerzeugung **gleichmäßiger**, die **Versorgungssicherheit** höher und das **Stromnetz stabiler** wird^{1 2}. Aktuelle Daten und Studien aus Deutschland bestätigen, dass ein **Mischsystem aus Wind und Photovoltaik (PV) verlässlichere und insgesamt höhere Erträge** liefert, als wenn man nur auf Wind **oder** nur auf Sonne setzen würde³. Nachfolgend werden die wichtigsten Aspekte von Erzeugungsprofilen über Netzstabilität bis hin zu konkreten Zahlen unter Angaben der Quellen erläutert.

Dieser Text wurde mit Hilfe von KI recherchiert und teilweise verfasst.

Gegensätzliche Erzeugungsprofile: Wind & PV – eine ideale Ergänzung

Wind und Sonne zeigen versetzte Muster in ihrer Stromerzeugung. **Windparks** liefern besonders **im Herbst und Winter** viel Strom. Dann ist die Sonneneinstrahlung gering, aber atlantische Tiefdruckgebiete bringen kräftigen Wind. **Solaranlagen** hingegen produzieren fast ausschließlich **tagsüber** und am **stärksten im Frühling und Sommer**, wenn die Sonne hoch am Himmel steht. Diese **antizyklischen Ertragskurven** führen zu einem **glatteren Gesamtprofil**, wenn man beide Quellen kombiniert⁴. Einfacher gesagt: **Weht mal kein Wind, scheint oft die Sonne – und umgekehrt.**

Im **Jahresverlauf** gleichen sich die zwei Energieträger deutlich aus. Windstrom deckt im Winter viele Bedarfsspitzen ab, während PV-Strom im Sommer die langen Tage nutzt. Eine **Studie des Deutschen Wetterdienstes (DWD)** hat über 20 Jahre Wetterdaten analysiert und festgestellt, dass die **durchschnittlichen monatlichen Auslastungen (Kapazitätsfaktoren) von Wind und PV in Deutschland exakt entgegengesetzt schwanken** – aber die gemischte

¹<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

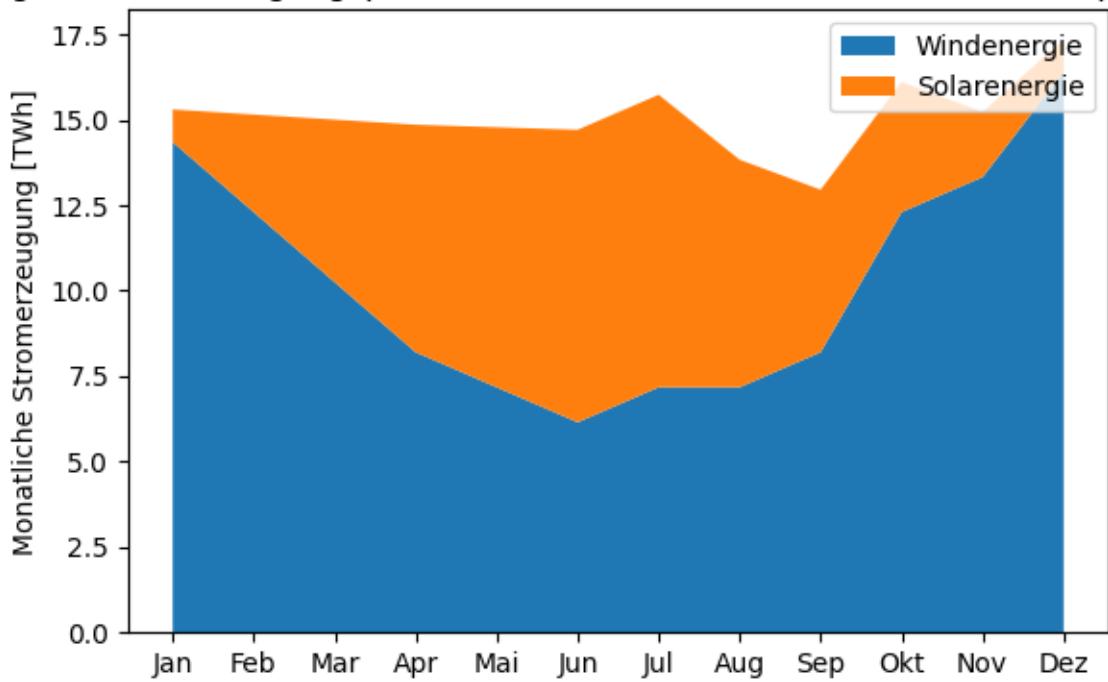
²<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

³<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

⁴<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

Wind+Solar-Kurve bleibt fast konstant hoch⁵. Die folgende Grafik veranschaulicht dieses Prinzip mit den realen **Monatsmitteln** der Stromerzeugung 2022:

Ergänzende Erzeugungsprofile von Wind und Solar (Deutschland, Beispiel)



⁶ Abb. 1: Schematische Darstellung der **monatlichen Stromerzeugung** aus Windenergie (blau) und Photovoltaik (orange) in Deutschland (Datenbeispiel für 2022, basierend auf [Fraunhofer ISE]^{7 8}). Deutlich erkennbar ist, wie das solare Sommermaximum das windschwache Halbjahr ausgleicht und vice versa. Die Kombination (Gesamthöhe der farbigen Flächen) zeigt ein relativ gleichmäßiges Niveau.

Auch im **Tagesgang** wirken die „grünen Zwillinge“ zusammen. **Windräder** liefern oft **nachts** und bei Schlechtwetter weiterhin Strom, während **PV-Anlagen** verlässlich in **Mittagsstunden** einspeisen, wenn der Wind tagsüber mitunter abflaut. Ein *Forschungsteam der TU Delft*

⁵<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

⁶https://eu-prod.asyncgw.teams.microsoft.com/v1/objects/0-weu-d1-01b23f8e0fa027b8a341365afbcd1100/views/original/wind_solar_monthly.png

⁷<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2023/nettostromerzeugung-in-deutschland-2022-wind-und-photovoltaik-haben-deutlich-zugelegt.html>

⁸<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2023/nettostromerzeugung-in-deutschland-2022-wind-und-photovoltaik-haben-deutlich-zugelegt.html>

konnte jüngst demonstrieren, dass ein **geschickter Mix aus Windparks und ost-westlich ausgerichteten Solaranlagen die Tagesschwankungen der Gesamtproduktion minimiert**: Indem Wind- und PV-Leistung räumlich verteilt und zeitlich abgestimmt werden, ließ sich in Simulationen eine *nahezu konstante Gesamtleistung* über 24 Stunden erreichen – der **Bedarf an Speichern und Reservekraftwerken sank um über ein Drittel**⁹. Dieses Konzept intelligenter „Erzeugungsprofile“ macht es möglich, **rund um die Uhr** grünen Strom anzubieten und so die **Grundlastfähigkeit** von Erneuerbaren erheblich zu erhöhen.

Fazit Teil 1: Wind und Solar passen **wie Schlüssel und Schloss** zusammen. Ihre Produktionsmuster sind so gegensätzlich, dass sie sich **gegenseitig stützen und Schwächen ausbügeln**. Damit bildet eine *Solar-Wind-Kombination* ein **Rückgrat für die Energieversorgung**: Sie liefert das ganze Jahr über zuverlässiger Strom als jede der beiden Quellen allein.

Ausgleich von Schwankungen & höhere Versorgungssicherheit

Erneuerbare Energiequellen sind naturgemäß **volatile** – doch in Kombination glätten Wind und Sonne die **Leistungsschwankungen** erheblich. Gibt es bei der einen Quelle eine Delle, springt oft die andere ein. Die „**Wetterlaunen**“ gleichen sich also aus, was dem Stromnetz Stabilität bringt.

Weniger „Dunkelflauten“: Unter einer *Dunkelflauge* versteht man eine Wetterlage mit sehr geringem Wind **und** wenig Sonne über einen längeren Zeitraum, typischerweise **mehrere Tage**. Solche Situationen sind für eine rein erneuerbare Stromversorgung kritisch. Die gute Nachricht: **In einem Wind+PV-System kommen sie dank des Komplementär-Effekts weitaus seltener vor als bei nur einer Technologie**^{10 11}. Eine **DWD-Analyse (Kaspar et al., 2019)** hat z. B. errechnet, dass sich die Zahl mehrtägiger *Niedrigerzeugungs-Ereignisse* (z. B. <10 % der installierten Leistung für mindestens 48 Stunden) in Deutschland **beim Wechsel von reinem Windbetrieb zur gemischten Wind+Solar-Versorgung halbiert**^{12 13}. Insbesondere durch weiträumige Verteilung *und* Kombination beider Energieträger sinkt die Häufigkeit solcher Engpässe deutlich (siehe **Abb. 2**).

⁹<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

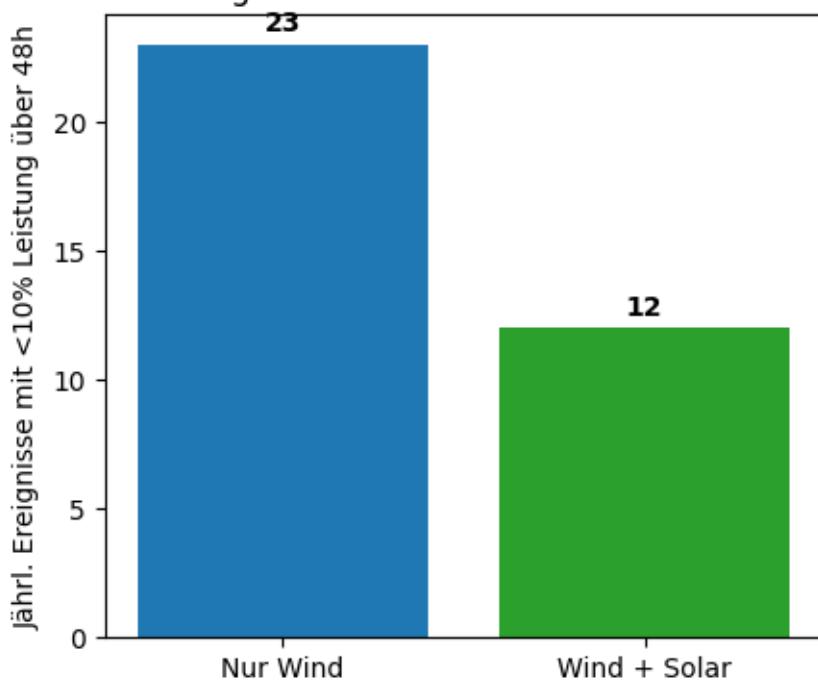
¹⁰<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

¹¹<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

¹²<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

¹³<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

Seltener lange Flauten bei kombiniertem Wind+So



¹⁴ Abb. 2: **Häufigkeit mehrtägiger „Energie-Flauten“** in Deutschland bei ausschließlicher Windstromversorgung (links) vs. kombinierter Wind+Solar-Versorgung (rechts). Dargestellt ist die durchschnittliche Anzahl jährlicher Ereignisse, in denen die gesamte Erzeugungsleistung **mindestens 48 Stunden unter 10 %** der installierten Kapazität bleibt (basierend auf DWD-Studie 1995–2015¹⁵ ¹⁶). Die Kombination reduziert die Auftretenshäufigkeit solcher kritischen Versorgungsengpässe um rund 40–50 %. (Datenquelle: Kaspar et al. 2019)

Zudem sind Wind und PV an unterschiedlichen Orten in Deutschland (und Europa) ausbaubar – das **streut das Risiko**: Selten liegt überall gleichzeitig eine Windstille *und* Dunkelheit vor. So wirkte sich z. B. die bekannte Januar-Dunkelflaute 2017 (eine windstille Hochdruckwetterlage über Mitteleuropa) weniger drastisch aus, **weil gleichzeitig in Südeuropa die Sonne schien und per europäischem Verbundnetz Strom nach Deutschland floss**¹⁷. Innerhalb Deutschlands kann der **Mix aus Offshore- und Onshore-Wind plus PV**

¹⁴https://eu-prod.asyncgw.teams.microsoft.com/v1/objects/0-weu-d10-79aa8ded33ddc9a3aeb3834184becc24/views/original/flauten_events.png

¹⁵<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

¹⁶<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

¹⁷<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

ähnliche Pufferwirkungen erzielen¹⁸ ¹⁹. Wo in Norddeutschland Windparks flautehalber pausieren, produzieren PV-Freiflächenanlagen im Süden ggf. weiterhin – und an der Küste drehen sich womöglich Offshore-Rotoren auch bei Windstille im Binnenland. **Die Folge:** Die Gesamteinspeisung aus Wind+Solar fällt sehr viel *seltener* auf gefährliche Minimalwerte, als es bei *einzelner* Technologie der Fall wäre²⁰. Damit steigt die **Versorgungssicherheit** in einem erneuerbaren Energiesystem erheblich.

Weniger extreme Lastspitzen: Umgekehrt werden auch **Überangebot-Spitzen geglättet**. So tritt z. B. an einem sonnigen, windigen Sonntagmittag im Sommer mit hohem PV-Anteil häufig **gleichzeitig** eine Flaute bei der Windkraft auf – oder im stürmischen Herbst, wenn die **Windräder brummen**, ist die Sonne oft schwach. Die höchste *gleichzeitige* Einspeisespitze beider Technologien zusammen bleibt daher begrenzt. Dies reduziert **teure Überkapazitäten**: Man muss Reservekraftwerke seltener „drosseln“ (Abregelung von Überschussstrom) und kostspielige Speicheranlagen weniger stark beanspruchen²¹.

Kompensation von Nacht- und Tagesschwankungen: Photovoltaik fällt nachts komplett aus, liefert aber jeden Mittag viel Strom; Windkraft hat ein variableres, wettergeprägtes Muster und erreicht teilweise auch nachts Spitzen. In einem Hybrid-System kann **nachts und in den frühen Morgenstunden der Windstrom die Grundversorgung aufrechterhalten, während tagsüber die Sonne die Hauptlast übernimmt**²² ²³. So entstehen **rund um die Uhr** kleinere Fluktuationen. *Unterm Strich* muss das restliche Energiesystem – etwa durch Batterie- oder Gaskraftwerkseinsatz – **wesentlich seltener eingreifen**, um Schwankungen auszugleichen²⁴. In Modellrechnungen hat sich gezeigt, dass der **Speicher- und Reservebedarf um teils über 30 % sinkt**, wenn Wind & Solar zusammengedacht statt isoliert geplant werden²⁵.

Grenzen: Vollständig **gegen alle** Wetterrisiken immun macht die Wind-Solar-Kombination das Energiesystem nicht. In ganz seltenen Fällen kommt es vor, dass eine ausgedehnte **Hochdruckwetterlage im Winter** über mehrere Tage praktisch windstill ist *und* gleichzeitig dichte Wolkendecken kaum Sonne durchlassen. Solche Ausnahmesituationen (**kalt-dunkle**

¹⁸<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

¹⁹<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

²⁰<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

²¹<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

²²<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/met.2141>

²³<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

²⁴<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

²⁵<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

Flauten) bleiben auch im kombinierten Szenario eine Herausforderung²⁶. Für hundertprozentige Versorgungssicherheit braucht es daher weiterhin **Backups**: z. B. **Speicher** (Batteriespeicher für Stunden, Wasserstoff für lange Flauten) und **flexible Reservekraftwerke** (etwa mit *grünem* Gas oder Biomasse)^{27 28}. Die deutlich geringere Frequenz und Kürze der Engpässe erleichtert jedoch die Dimensionierung solcher Reserve-Systeme erheblich.

Bessere Integration ins Stromnetz & effizientere Nutzung von Infrastruktur

Netzanschlüsse effizienter nutzen: Wind- und Solaranlagen können häufig denselben **Netzanschlusspunkt verwenden**, anstatt getrennte Leitungen ins nächsthöhere Netz zu benötigen. Das liegt daran, dass ihre **Erzeugungsspitzen zeitlich selten zusammenfallen**. Zum Beispiel liefert PV ihren höchsten Leistungswert um **Mittag**, während Onshore-Wind oft eher abends oder nachts zur Höchstform aufläuft. **Wenn nun beide über einen gemeinsamen Einspeisepunkt ins Netz gehen, steigt dessen durchschnittliche Auslastung deutlich**. Eine aktuelle **Kurzstudie des Energiewirtschaftlichen Instituts (EWI) Köln (2025)** hat berechnet, dass durch solche „Überbauung“ von *Netzanschlüssen jährlich bis zu 1,8 Mrd. € an Netzausbaukosten eingespart* werden könnten²⁹. Denn die bestehende Leitung muss dann **weniger oft nur zur Hälfte** genutzt vorgehalten werden – im gemeinsamen Betrieb fließt entweder Wind- oder Solarstrom und füllt die Leitung, sodass ihre **Transportkapazität optimal ausgelastet** ist³⁰. Gleichzeitig **sinkt die Abregelung** (Wegwerfen von Überschusstrom): Bei getrennten Anschlüssen *allein* für PV oder *allein* für Wind müssen Netzbetreiber deutlich häufiger Anlagen drosseln, wenn die jeweilige Einzel-Spitzenleistung das Leistungsmaximum übersteigt. Im Hybrid-Betrieb treten solche seltenen Maximalsituationen viel seltener auf, was bedeutet, dass mehr **Ökostrom ohne Abstriche den Verbraucher erreicht**.

Stromnetz stabilisieren: Große **Hybrid-Kraftwerke** aus Wind und PV können gemeinsam auch **Systemdienstleistungen** erbringen, um das Netz stabil zu halten. In einem **Forschungsprojekt („PV-Wind-Symbiose“, 2015–2019)** untersuchte das *Fraunhofer ISE*

²⁶<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

²⁷<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/met.2141>

²⁸<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/met.2141>

²⁹https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf

³⁰https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf

zusammen mit der TU Braunschweig, wie ein kombinierter Wind+Solar-Park **Spannung und Frequenz im Netz besser stützen kann**³¹. Hintergrund: Früher lieferten vor allem Großkraftwerke sogenannte **Blindleistung** (notwendig zur Spannungshaltung) und Regelleistung (für kurzfristigen **Ausgleich von Schwankungen**). Mit dem Abschalten dieser Kraftwerke müssen **erneuerbare Anlagen solche Aufgaben mitübernehmen**, um einen stabilen Netzbetrieb zu gewährleisten. *Direkt an Hochspannung angeschlossene Solar- und Windparks besitzen bereits heute die Fähigkeit, begrenzt Regel- und Blindleistung bereitzustellen*³². Das Projekt „PV-Wind-Symbiose“ zeigte, dass im **kombinierten Betrieb** durch intelligente Steuerung diese Leistungen noch **effizienter erbracht** werden können³³. Beispielsweise lässt sich mit einem Hybridpark auf derselben Fläche ein *sogenanntes „Flächenkraftwerk“* realisieren, das je nach Bedarf **mehr Solaranlagen oder mehr Windräder einspeist**, um die Netzspannung lokal stabil zu halten³⁴. Durch **Messungen an einer Pilotanlage** wurde bestätigt, dass solche **Hybrid-Systeme technische Netzanforderungen (Stabilität, Spannung, Frequenz)** ähnlich gut erfüllen können wie traditionelle Kraftwerke³⁵. Diese Fähigkeiten werden in Zukunft immer wichtiger, um bei zunehmendem Anteil von Wind- und Solarstrom *die Frequenz im Stromnetz konstant* und *die zuverlässige Versorgung* aufrechtzuerhalten.

Zusammenfassung: Gegenüberstellung Wind vs. Solar vs. Kombination

Die folgende Tabelle fasst die wichtigsten Unterschiede zwischen alleiniger Windkraft, alleiniger Photovoltaik und dem **Mischsystem Wind+PV** zusammen:

Aspekt	Nur Windenergie (DE)	Nur Solarenergie (PV) (DE)	Kombination Wind + PV (DE)
Jahreszeitliches Profil	Stark: Hoch im Winter (v. a. Nov.–Feb.), Minimum Sommer ³⁶ . Beispiel 2022: Jan	Entgegengesetzt: Hoch im Sommer (Mai–Aug.), quasi Null im	Ausgewogen: Über Jahr nahezu konstante Gesamtproduktion

³¹<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-wind-symbiose.html>

³²<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-wind-symbiose.html>

³³<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-wind-symbiose.html>

³⁴<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-wind-symbiose.html>

³⁵<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-wind-symbiose.html>

³⁶<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

	~14 TWh, Jul ~7 TWh.	Winter ³⁷ .2022: Jun/Juli je ~9 TWh; Dez ~1 TWh.	³⁸ – Wind füllt PV- Winterlücke, PV füllt Wind- Sommerflaute. 2022: Kombiniert ~15 TWh/Monat im Schnitt (Abb. 1) – halb so hohe Saisonschwankung wie einzelne Quellen.
Tagesgang & Verfügbarkeit	24 h-Betrieb , auch nachts (sofern Wind weht), jedoch unregelmäßig; tagweise Flauten möglich.	Nur tagsüber (ca. 8–18 Uhr), nachts 0 % Produktion. Starke Leistungsspitze um Mittag , morgens/abends steiler Abfall.	Rund um die Uhr Stromerzeugung: nachts oft Windstrom, tagsüber PV- Spitzen. Deutlich kontinuierlicherer Lastverlauf – weniger abrupte Einbrüche oder Überschüsse ^{39 40} .
Schwankungen (Volatilität)	Hohe kurzfristige Fluktuationen durch Böen vs. Flauten.	Hohe tägliche Fluktuation durch Tag/Nacht und Wolken.	Geringere Gesamt- Volatilität : Kurzfristige Schwankungen gleichen sich z.T. aus. Weniger steile Änderungen der Gesamtleistung ⁴¹ .
Versorgungssicherheit(<i>Dunkelflauten-Risiko</i>)	Verletzlich bei längeren Windflauten: Mehrtägige windarme Perioden erfordern viel	Regelmäßig nächtliche Totalausfälle: Jede Nacht (und an trüben Tagen) kaum PV-Strom –	Robusteres System : Wahrscheinlichkeit extremer <i>Dunkelflauten</i> (länger als 2 Tage <5–10 % Leistung)

³⁷<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

³⁸<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

³⁹<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/met.2141>

⁴⁰<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

⁴¹<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

	Reserve-Energie (Speicher, andere Kraftwerke).	Versorgung muss vollständig anderweitig sichergestellt werden.	sinkt drastisch ^{42 43} . Ereignisse geringer Gesamterzeugung treten seltener auf (Abb. 2). Dennoch können längere kalte Dunkelflauten () auch hier vorkommen – Backup nötig. ⁴⁴
Anteil am deutschen Strommix(Stand 2022)	≈26 % (Haupt-Einzelerzeuger des Jahres)^{45 46}.	≈12 % (stärkste einzelne EE-Quelle nach Wind) ⁴⁷ .	≈38 % gemeinsam (Wind+Solar decken $>\frac{1}{3}$ der öffentlichen Stromerzeugung) ⁴⁸ .
Netzanschluss & Auslastung	Niedrige mittlere Auslastung je Anschluss: Muss für seltene Sturm-Spitzen groß dimensioniert	Niedrige Auslastung zu Nicht-Mittagszeiten: PV-Anschluss trägt mittags Volllast, die restlichen	Hohe Auslastung gemeinsamer Anschlüsse: PV- und Windspitzen treten zeitversetzt auf, ergänzen

⁴²<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

⁴³<https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

⁴⁴<https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/met.2141>

⁴⁵<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2023/nettostromerzeugung-in-deutschland-2022-wind-und-photovoltaik-haben-deutlich-zugelegt.html>

⁴⁶<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2023/nettostromerzeugung-in-deutschland-2022-wind-und-photovoltaik-haben-deutlich-zugelegt.html>

⁴⁷<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2023/nettostromerzeugung-in-deutschland-2022-wind-und-photovoltaik-haben-deutlich-zugelegt.html>

⁴⁸<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2023/nettostromerzeugung-in-deutschland-2022-wind-und-photovoltaik-haben-deutlich-zugelegt.html>

	sein, liegt die meiste Zeit aber brach (hohe Reservekapazität notwendig).	~20 Stunden am Tag aber nichts; somit ebenfalls viel ungenutzte Kapazität.	einander ⁴⁹ . Gemeinsame Einspeisung erhöht <i>durchschnittliche</i> Leitungsnutzung deutlich, spart Netzausbau & senkt <i>Abregelungsverluste</i> ⁵⁰ .
Netzdienste (Stabilität)	Moderne Windparks können z. B. Frequenzregelung und begrenzt Blindleistung bereitstellen, jedoch fluktuiert ihre Einspeisung stark.	PV-Wechselrichter stützen Spannung (tagsüber), mangels Einspeisung aber keine <i>Frequenzhaltung</i> nachts möglich.	Synergien im Hybrid-Park: Kombinierte Wind+PV-Kraftwerke können durch Steuerung beide Anlagen so einsetzen, dass sie Netzspannung & frequenz stabilisieren ⁵¹ . Pilotprojekte (z. B. Fraunhofer ISE, 2019) zeigen: ein <i>koordiniertes</i> Wind+Solar-System kann effizienter Regelenergie & Blindleistung liefern und so herkömmliche Kraftwerke in diesen Funktionen ersetzen ⁵² .

⁴⁹https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf

⁵⁰https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf

⁵¹<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-wind-symbiose.html>

⁵²<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pv-wind-symbiose.html>

Abschließend lässt sich festhalten, dass Wind- und Solarenergie *zusammen* deutlich mehr leisten, als beide allein. Sie **steigern die Planbarkeit und Zuverlässigkeit** der erneuerbaren Stromproduktion erheblich und sind somit zentrale Pfeiler einer klimafreundlichen, aber gleichzeitig sicheren Energieversorgung. Dank ihrer Komplementarität werden Schwankungen geglättet, **Netze und Speicher entlastet** und der Übergang zu 100 % Erneuerbaren realistisch. Dabei sind Wind & PV längst keine „Nebenquellen“ mehr, sondern tragen bereits heute fast **40 % zum deutschen Strommix** bei⁵³ ⁵⁴ – mehr als alle fossilen Energieträger. Und je mehr wir diese beiden **natural Power-Paare** gemeinsam nutzen, desto **stabiler und effizienter** wird unser Energiesystem in Zukunft.

Quellen

1. **Fraunhofer ISE (2023)** – „*Nettostromerzeugung in Deutschland 2022: Wind und Photovoltaik haben deutlich zugelegt*“, Presseinformation vom 03.01.2023. Veröffentlicht auf der Website des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme ISE. ([Link](#))
2. **Kaspar, F. et al. (2019)** – “*A climatological assessment of balancing effects and shortfall risks of photovoltaics and wind energy in Germany and Europe*”, in *Advances in Science & Research*, vol. 16, S. 119–128 (2019). Langzeit-Analyse des Deutschen Wetterdienstes zum Ergänzungspotenzial von Wind und PV und zur Häufigkeit von Dunkelflauten. ([Open Access PDF](#))
3. **Czock, B. et al. (2025)** – „*Optimierte Netzanschlüsse von Wind und PV – Wie sich durch Überbauung Netzausbaukosten einsparen lassen*“, Kurzstudie des Energiewirtschaftlichen Instituts (EWI) an der Universität Köln, Juni 2025. Zeigt u. a., dass Co-Location von Wind+PV die Netzauslastung verbessert und bis zu 1,8 Mrd. € jährliche Netzausbau-Kosten spart. ([Download PDF](#))
4. **Eichler, B. et al. (2025)** – „*Hybridprojekte aus Windenergie und Photovoltaik – Chancen und Herausforderungen der Doppelnutzung*“, Bericht des Umweltbundesamts (UBA) in der Reihe *Climate Change*, Nr. 41/2025. Gibt Überblick zu Hybridprojekten Wind+PV, inkl. gemeinsamer Netzanschluss, Planungsrecht, Wirtschaftlichkeit und Praxisbeispiele. ([UBA-Publikation](#))

⁵³<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2023/nettostromerzeugung-in-deutschland-2022-wind-und-photovoltaik-haben-deutlich-zugelegt.html>

⁵⁴<https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2023/nettostromerzeugung-in-deutschland-2022-wind-und-photovoltaik-haben-deutlich-zugelegt.html>

5. **Kittel, M. & Schill, W.-P. (2024)** – „*Quantifying the Dunkelflaute: An Analysis of Variable Renewable Energy Droughts in Europe*“, Diskussionspapier (Preprint, DIW Berlin / arXiv 2410.00244, Okt 2024). Analysiert 38 Jahre Wetterdaten in Europa; zeigt u. a., dass die **Komplementarität von Wind und PV** die Häufigkeit und Dauer gleichzeitiger Erzeugungsflauten deutlich verringert (*Portfolio-Effekt*). (<https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.00244>)
6. **Fraunhofer ISE (2019)** – *Forschungsprojekt „PV-Wind-Symbiose“* (BMWi-gefördert, Laufzeit 2015–2019). Untersuchte den kombinierten Betrieb eines Wind- und Solarparks zur Bereitstellung von Blindleistung und anderer Systemdienstleistungen im Hochspannungsnetz. Zeigte, dass ein Hybridpark durch koordinierte Regelung **effizienter** zur Netzstabilität beitragen kann als getrennte Anlagen. ([Projektseite ISE](#))