

# 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<sup>1 2</sup>. 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 würde<sup>3</sup>. 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 kombiniert<sup>4</sup>. 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

---

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

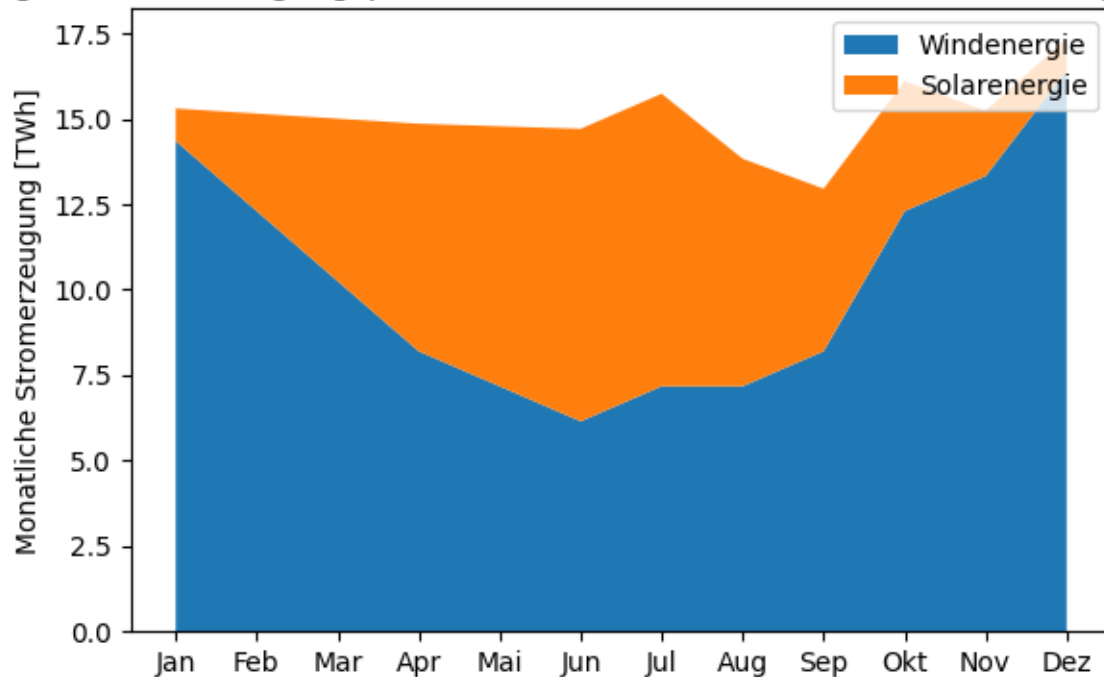
<sup>2</sup><https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

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

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

**Wind+Solar-Kurve bleibt fast konstant** hoch<sup>5</sup>. Die folgende Grafik veranschaulicht dieses Prinzip mit den realen **Monatsmitteln** der Stromerzeugung 2022:

Ergänzende Erzeugungsprofile von Wind und Solar (Deutschland, Beispiel)



<sup>!6</sup> Abb. 1: Schematische Darstellung der **monatlichen Stromerzeugung** aus Windenergie (blau) und Photovoltaik (orange) in Deutschland (Datenbeispiel für 2022, basierend auf [Fraunhofer ISE]<sup>7 8</sup>). 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*

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

<sup>6</sup>[https://eu-prod.asyncgw.teams.microsoft.com/v1/objects/0-weu-d1-01b23f8e0fa027b8a341365afbcd1100/views/original/wind\\_solar\\_monthly.png](https://eu-prod.asyncgw.teams.microsoft.com/v1/objects/0-weu-d1-01b23f8e0fa027b8a341365afbcd1100/views/original/wind_solar_monthly.png)

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

<sup>8</sup><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**<sup>9</sup>. 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 **volatil** – 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 *Dunkelflaute* 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**<sup>10 11</sup>. 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**<sup>12 13</sup>. Insbesondere durch weiträumige Verteilung *und* Kombination beider Energieträger sinkt die Häufigkeit solcher Engpässe deutlich (siehe **Abb. 2**).

---

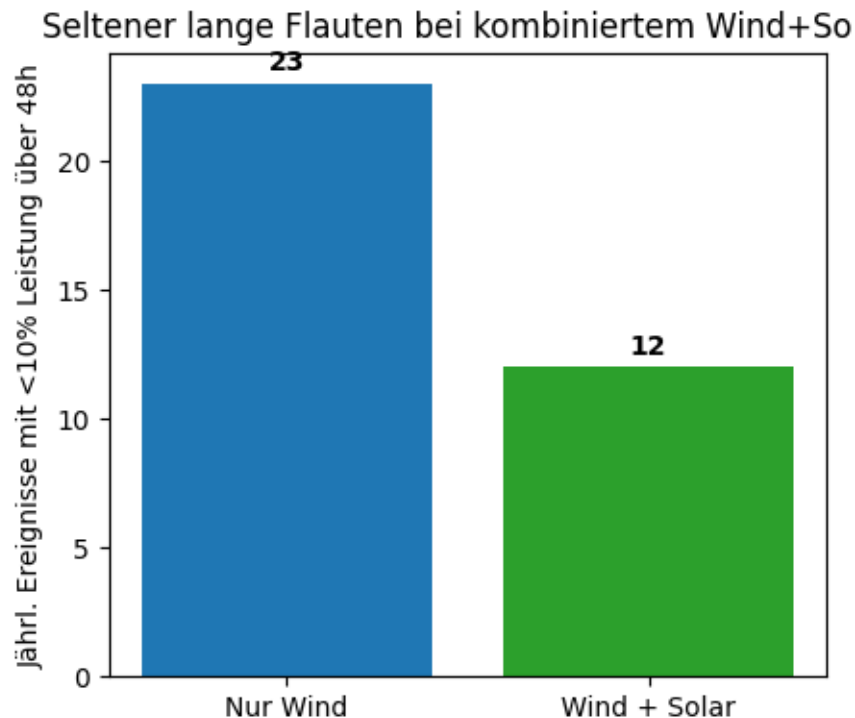
<sup>9</sup><https://asr.copernicus.org/articles/16/119/2019/asr-16-119-2019.pdf>

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

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

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

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



<sup>14</sup> 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 1995–2015<sup>15 16</sup>). 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**<sup>17</sup>. Innerhalb Deutschlands kann der **Mix aus Offshore- und Onshore-Wind plus PV**

<sup>14</sup>[https://eu-prod.asyncgw.teams.microsoft.com/v1/objects/0-weu-d10-79aa8ded33ddc9a3aeb3834184becc24/views/original/flauten\\_events.png](https://eu-prod.asyncgw.teams.microsoft.com/v1/objects/0-weu-d10-79aa8ded33ddc9a3aeb3834184becc24/views/original/flauten_events.png)

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

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

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

ähnliche Pufferwirkungen erzielen<sup>18 19</sup>. 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 wäre<sup>20</sup>. 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 beanspruchen<sup>21</sup>.

**Kompensation von Nacht- und Tagesschwankungen:** Photovoltaik fällt nachts komplett aus, liefert aber jeden Mittag viel Strom; Windkraft hat ein variables, 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**<sup>22 23</sup>. So entstehen **rund um die Uhr** kleinere Fluktuationen. *Unterm Strich* muss das restliche Energiesystem – etwa durch Batterie- oder Gaskraftwerkseinsatz – **wesentlich seltener eingreifen**, um Schwankungen auszugleichen<sup>24</sup>. In Modellrechnungen hat sich gezeigt, dass der **Speicher- und Reservebedarf um teils über 30 % sinkt**, wenn Wind & Solar zusammengedacht statt isoliert geplant werden<sup>25</sup>.

**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**

---

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

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

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

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

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

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

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

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

**Flauten**) bleiben auch im kombinierten Szenario eine Herausforderung<sup>26</sup>. 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)<sup>27 28</sup>. 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 könnten<sup>29</sup>. 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** ist<sup>30</sup>. Gleichzeitig **sinkt die Abregelung** (Wegwerfen von Überschussstrom): Bei getrennten Anschlüssen *allein* für PV oder *allein* für Wind müssen Netzbetreiber deutlich häufiger Anlagen drosseln, wenn die jeweilige Einzel-Spitzenleistung das Leitungsmaximum 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*

---

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

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

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

<sup>29</sup>[https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI\\_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf)

<sup>30</sup>[https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI\\_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf](https://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**<sup>31</sup>. 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**<sup>32</sup>. Das Projekt „PV-Wind-Symbiose“ zeigte, dass im **kombinierten Betrieb** durch intelligente Steuerung diese Leistungen noch **effizienter erbracht** werden können<sup>33</sup>. 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 halten<sup>34</sup>. Durch **Messungen an einer Pilotanlage** wurde bestätigt, dass solche **Hybrid-Systeme technische Netzanforderungen (Stabilität, Spannung, Frequenz)** ähnlich gut erfüllen können wie traditionelle Kraftwerke<sup>35</sup>. 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)
<b>Jahreszeitliches Profil</b>	<b>Stark:</b> Hoch im Winter (v. a. Nov.–Feb.), Minimum Sommer <sup>36</sup> . <i>Beispiel 2022:</i> Jan	<b>Entgegengesetzt:</b> Hoch im Sommer (Mai–Aug.), quasi Null im	<b>Ausgewogen:</b> Über Jahr nahezu konstante Gesamtproduktion

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

<sup>41</sup><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 <sup>42 43</sup> . Ereignisse geringer Gesamterzeugung treten seltener auf (Abb. 2). <b>Dennoch</b> können längere <i>kalte Dunkelflauten</i> () auch hier vorkommen – <i>Backup</i> nötig. <sup>44</sup>
<b>Anteil am deutschen Strommix(Stand 2022)</b>	≈ <b>26 %</b> (Haupt-Einzelerzeuger des Jahres) <sup>45 46</sup> .	≈ <b>12 %</b> (stärkste <i>einzelne</i> EE-Quelle nach Wind) <sup>47</sup> .	≈ <b>38 % gemeinsam</b> (Wind+Solar decken >⅓ der öffentlichen Stromerzeugung) <sup>48</sup> .
<b>Netzanschluss &amp; Auslastung</b>	<b>Niedrige mittlere Auslastung</b> je Anschluss: Muss für seltene Sturm-Spitzen groß dimensioniert	<b>Niedrige Auslastung</b> zu Nicht-Mittagszeiten: PV-Anschluss trägt mittags Volllast, die restlichen	<b>Hohe Auslastung gemeinsamer Anschlüsse:</b> PV- und Windspitzen treten zeitversetzt auf, <b>ergänzen</b>

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

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

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

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

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

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

<sup>48</sup><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 <sup>49</sup> . Gemeinsame Einspeisung erhöht <i>durchschnittliche</i> Leitungsnutzung deutlich, <b>spart</b> Netzausbau & senkt <i>Abregelungsverluste</i> <sup>50</sup> .
<b>Netzdienste (Stabilität)</b>	Moderne Windparks können z. B. Frequenzregelung und begrenzt <b>Blindleistung</b> bereitstellen, jedoch fluktuiert ihre Einspeisung stark.	PV-Wechselrichter stützen Spannung (tagsüber), mangels Einspeisung aber keine <i>Frequenzhaltung</i> nachts möglich.	<b>Synergien im Hybrid-Park:</b> Kombinierte Wind+PV-Kraftwerke können durch Steuerung beide Anlagen so einsetzen, dass sie <b>Netzspannung &amp; frequenz</b> stabilisieren <sup>51</sup> . Pilotprojekte (z. B. <i>Fraunhofer ISE, 2019</i> ) zeigen: ein <i>koordiniertes</i> Wind+Solar-System kann <b>effizienter Regelernergie &amp; Blindleistung liefern</b> und so herkömmliche Kraftwerke in diesen Funktionen ersetzen <sup>52</sup> .

<sup>49</sup>[https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI\\_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf)

<sup>50</sup>[https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI\\_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf](https://www.ewi.uni-koeln.de/cms/wp-content/uploads/2025/06/EWI_Optimierte-Netzanschluesse-von-Wind-und-PV.pdf)

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

<sup>52</sup><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** bei<sup>53 54</sup> – 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](#))

---

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

<sup>54</sup><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“* (BMW-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](#))