

Jährliche Erzeugungsschwankungen regenerativer Einspeiser

Christoph Groß¹, Martin Boxleitner

Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe,
Gußhausstraße 25/370-1, 1040 Wien, Austria
Tel.: +43 | (0)1 | 58801 | 370126, Fax: +43 | (0)1 | 58801 | 37399
e-Mail: groiss@ea.tuwien.ac.at, boxleitner@ea.tuwien.ac.at
Web: <http://www.ea.tuwien.ac.at>

Kurzfassung:

Mit steigendem Anteil regenerativer Erzeuger, wird deren schwankende Einspeisung weiter an Bedeutung gewinnen. Die hier untersuchte Situation beschreibt die regenerative Vollversorgung Österreichs mit den Erzeugungsformen Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik. Dabei wird der Fokus auf die jährlichen Schwankungen der Einspeisung gelegt.

Es gilt die Frage zu beantworten mit welcher regenerativen Jahreserzeugung gerechnet werden kann. Weiters wird der Nutzen der regionalen und überregionalen Vernetzung der Erzeugungsanlagen bewertet. Neben den geographischen Ausgleichseffekten wird auch der Effekt des Erzeugungsmix untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass nicht global von einem „guten“ bzw. „schlechten“ Jahr gesprochen werden kann, da häufig im gleichen Jahr eine Region über und eine andere Region unter ihrem langjährigen Mittel liegt.

Der Vergleich zwischen Laufwasserkraft, Windkraft und Photovoltaik zeigt, dass die solare Stromerzeugung über das Jahr betrachtet die „verlässlichste“ Erzeugungsform darstellt.

Die geringste Schwankung der Jahreserzeugung wird erzielt, wenn sowohl die Ausgleichseffekte der überregionalen Vernetzung als auch jener der Mischung der Erzeugungsformen ausgenutzt wird.

Keywords: Regenerative Erzeugung, Ausgleichseffekte, Volatilität, Jahreserzeugung

1 Einleitung

Im Forschungsprojekt „Super-4-Micro-Grid – Nachhaltige Energieversorgung im Klimawandel“, welches vom Klima- und Energiefonds gefördert wird, wird die Situation einer rein regenerativen Vollversorgung für Österreich im Bereich der Elektrizität untersucht.

Die hier untersuchten Erzeugungsformen beschränken sich auf Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik. Aufgrund des volatilen Dargebots weisen diese Einspeiser dementsprechende Schwankungen auf. Im Bereich der Wasserkraft ist der Erzeugungskoeffizient ein gebräuchliches Maß für die Schwankungen der Monats- bzw. Jahresstromerzeugung. Diese

¹ Jungautor

Auswertung wird hier ebenfalls für die Windkraft und Photovoltaik angewendet. Für die durchgeführte Untersuchung wird Österreich in acht Regionen unterteilt.

Für jede Region werden die Schwankungen der Jahreserzeugungen aufgeschlüsselt nach Erzeugungsform berechnet. Damit soll zunächst die Frage beantwortet werden, wie stark die regionalen Erzeugungsschwankungen durch überregionale Vernetzung vermindert werden können. Weiters wird in diesem Paper der Frage nachgegangen, ob die Mischung der drei dargebotsabhängigen Erzeugungsformen einen positiven Einfluss auf die Schwankung der Gesamterzeugung besitzt.

2 Methodik

Grundlage dieser Analyse bilden meteorologische Daten der ZAMG für den Zeitraum von 1994 bis 2008 in stündlicher Auflösung. Diese Stationsmesswerte von Globalstrahlung und Windgeschwindigkeiten wurden in Zeitreihen elektrischer Erzeugung umgerechnet. Anhand der Verteilung der österreichischen Potenzialflächen für Photovoltaik- und Windkraftstandorte wurde eine Gewichtung der jeweiligen Stationen vorgenommen. [1], [2]

Die Wasserkrafterzeugung wurde anhand von Niederschlags-Abflussdaten der TU-Wien (Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie) berechnet. Diese Daten stehen für den Zeitraum 1976 bis 2006 zur Verfügung.

Österreich wurde in acht Regionen unterteilt, welche hinsichtlich der Globalstrahlungs- und Windcharakteristik homogene Eigenschaften aufweisen. Für jede dieser Regionen wurde eine Zeitreihen der gewichteten stündlichen Erzeugungswerte der einzelnen Stationen berechnet. Diese Wertereihen bilden die Basis für die weitere Analyse. In Abbildung 1 ist die Unterteilung in die acht Regionen dargestellt.

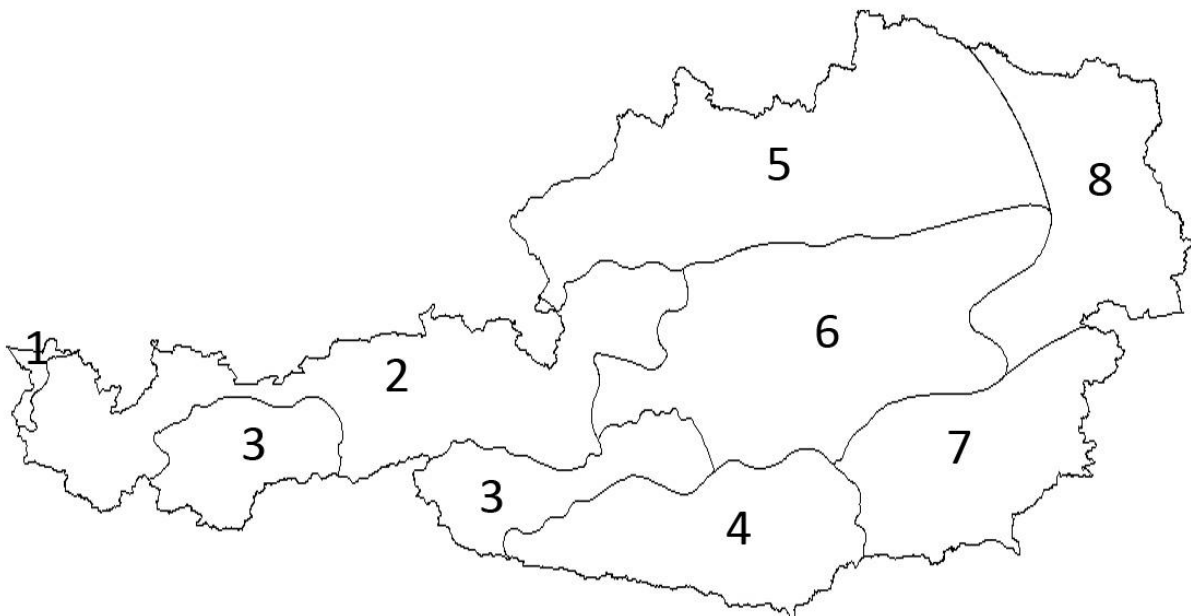


Abbildung 1: Österreich in homogene Regionen bezüglich Wind- und Solardargebot unterteilt

Aus der Analyse der österreichweiten Erzeugungspotenziale wurde für jeden Standort eine maximal mögliche installierbare Leistung ermittelt. [1], [2] Die Standorte wurden nach ihrer Volllaststundenzahl gereiht. Für eine vorgegebene Gesamterzeugung lässt sich aus der zuvor beschriebenen Reihung sowohl die Nutzung nach Erzeugungsform als auch nach regionaler Verteilung beschreiben. In Abbildung 2 ist diese Reihung dargestellt. Dabei ist die Abnahme der Volllaststundenzahl mit steigender installierter Leistung zu sehen. Die Fläche unter der Kurve entspricht genau der mittleren Jahreserzeugung.

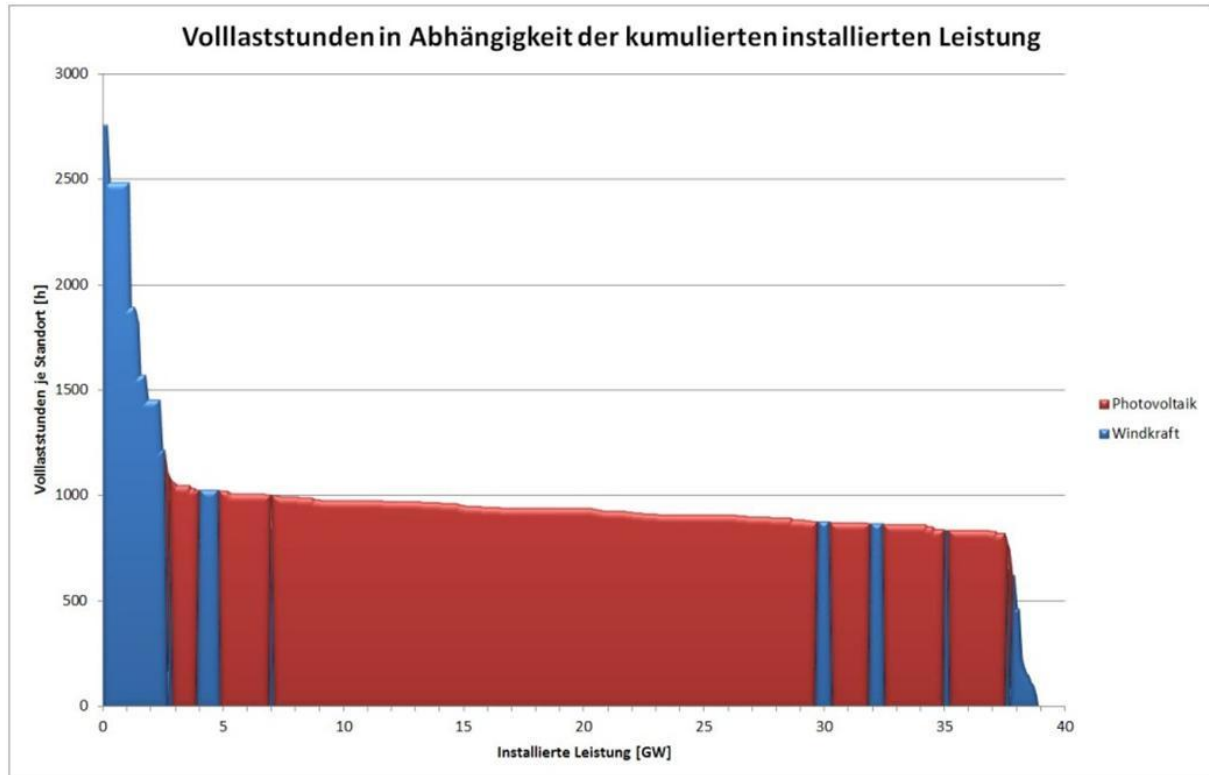


Abbildung 2: Volllaststunden in Abhängigkeit der kumulierten installierten Leistung

Das in weiterer Folge beschriebene Szenario geht von einer exakten Deckung des Jahresstromverbrauchs durch die drei Erzeugungsformen Wasserkraft, Windkraft und Photovoltaik aus. Mit der zuvor beschriebenen Reihung der Potenziale nach Volllaststunden ergibt sich, dass zunächst das Potenzial an Laufwasserkraft ausgeschöpft wird. In weiterer Folge werden größtenteils die Potenziale an Windkraft herangezogen. Die verbleibende Differenz aus Erzeugung und Verbrauch wird über Photovoltaikerzeugung abgedeckt.

In Abbildung 2 ist nun die hier hinterlegte Verteilung der Erzeugung zur Aufbringung des österreichischen Inlandsstromverbrauchs von 68.646 GWh/a (Verbrauch aus dem Jahr 2008 [3]) dargestellt.

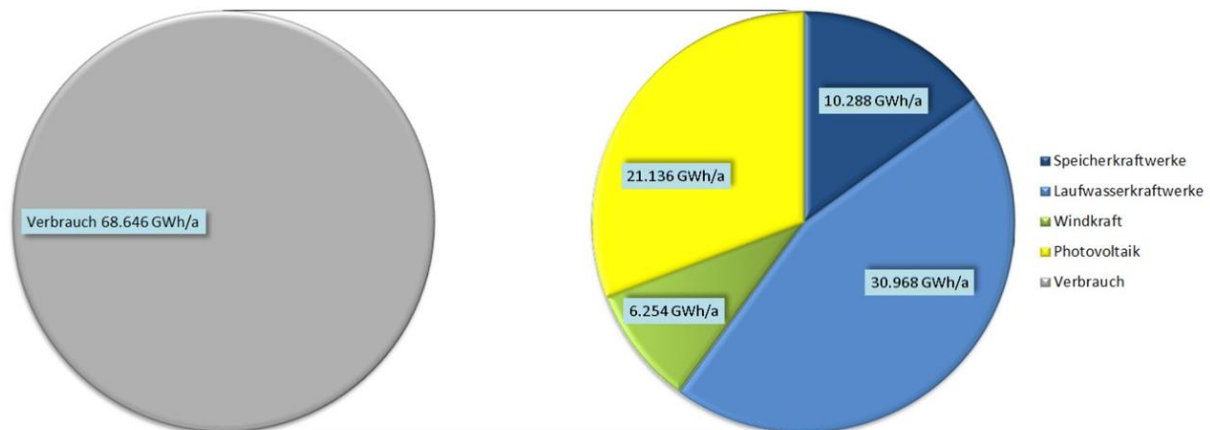


Abbildung 3: Verbrauch und Erzeugung im Vergleich

3 Schwankungen der Jahreserzeugungen

In Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 sind die jährlichen Schwankungen der österreichischen Wasserkraft-, Windkraft- und Photovoltaikerzeugung dargestellt. Die Schwankungen der österreichischen Gesamterzeugung sind anhand der durchgezogenen Linie abzulesen. Der Wert in Prozent beschreibt die Abweichung vom Mittelwert über die gesamte Periode.

Neben dem österreichischen Jahresertrag sind **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** die minimalen und maximalen Abweichungen der einzelnen Regionen für jedes Jahr dargestellt. Die Schwankungen der Regionen beziehen sich jeweils auf den langjährigen Mittelwert der entsprechenden Region.

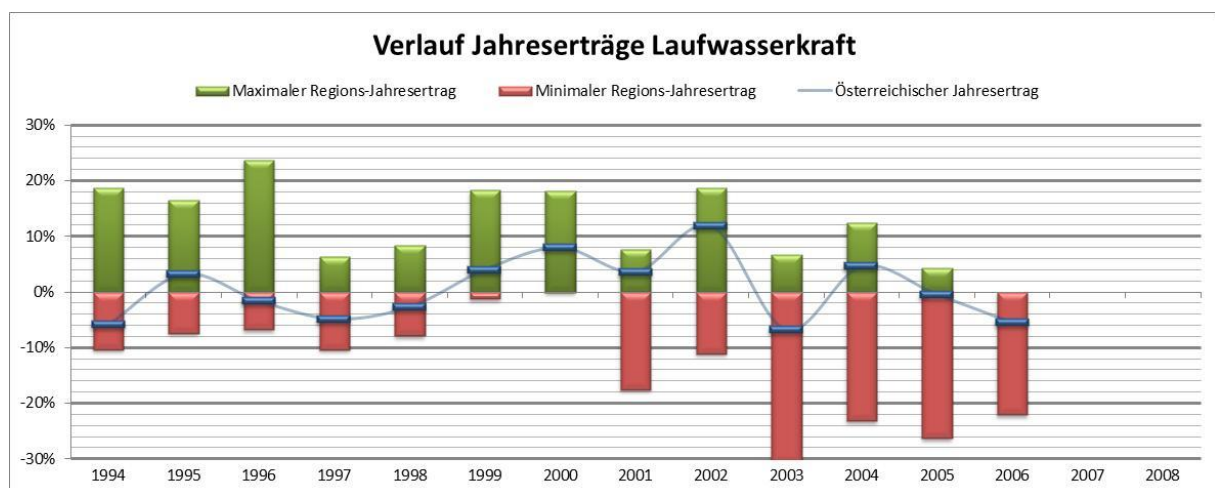


Abbildung 4: Schwankungen der Wasserkraft- Jahreserzeugung

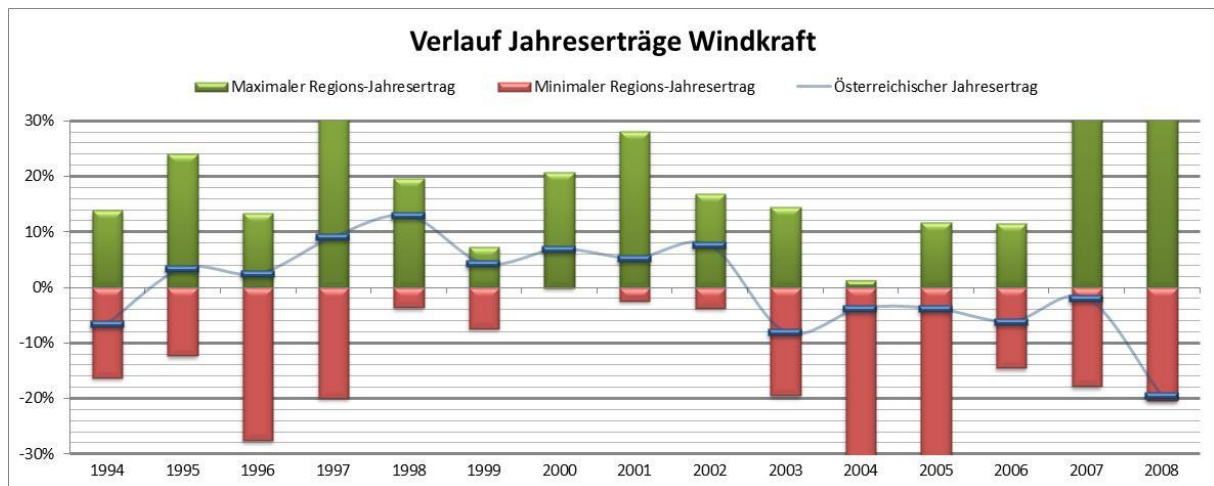


Abbildung 5: Schwankungen der Windkraft- Jahreserzeugung

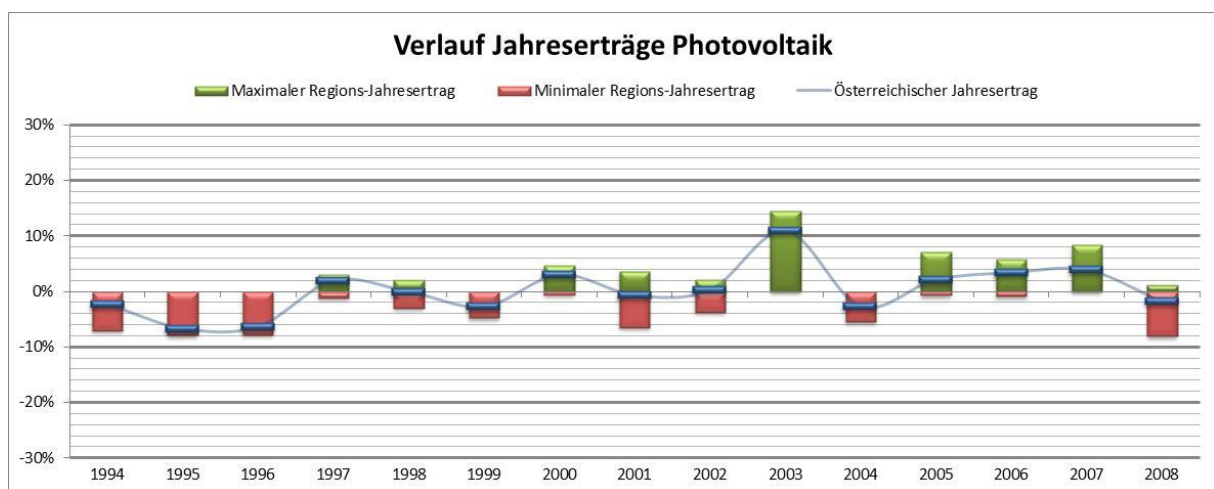


Abbildung 6: Schwankungen der Photovoltaik- Jahreserzeugung

Vergleicht man Abbildung 4, Abbildung 5 und Abbildung 6 so lässt sich gerade beim Verlauf der Wasserkraft und Windkraft erkennen, dass in fast jedem Jahr eine Region über ihrem langjährigen Durchschnitt und gleichzeitig eine andere Region unter ihrem Mittelwert liegt. Es kann somit nicht global von einem „guten“ bzw. „schlechten“ Jahr gesprochen werden. Hierzu muss eine regional differenzierte Betrachtung durchgeführt werden.

Anhand der Schwankung des österreichischen Mittelwerts lässt sich für jede der drei Erzeugungsformen der Sinn der überregionalen Vernetzung erkennen. So kann die Schwankungsbreite der Jahreserzeugung, welche innerhalb einer Region auftreten kann, deutlich gesenkt werden.

Weiters ist entsprechend der drei gleich skalierten Abbildungen ersichtlich, dass in Bezug auf die Jahreserzeugung die Photovoltaik die sicherste Erzeugungsform darstellt. Besonders deutlich ist dies an den maximalen Regionsabweichungen abzulesen, welche sich bis auf eine Ausnahme immer im $\pm 10\%$ Bereich bewegen.

Entsprechend der Reihung der Erzeugungsstandorte nach Volllaststunden ergibt sich die in Abbildung 3 dargestellte energetische Zusammensetzung. In Abbildung 7 sind nun die jährlichen Schwankungen dieses Erzeugungsmix dargestellt.

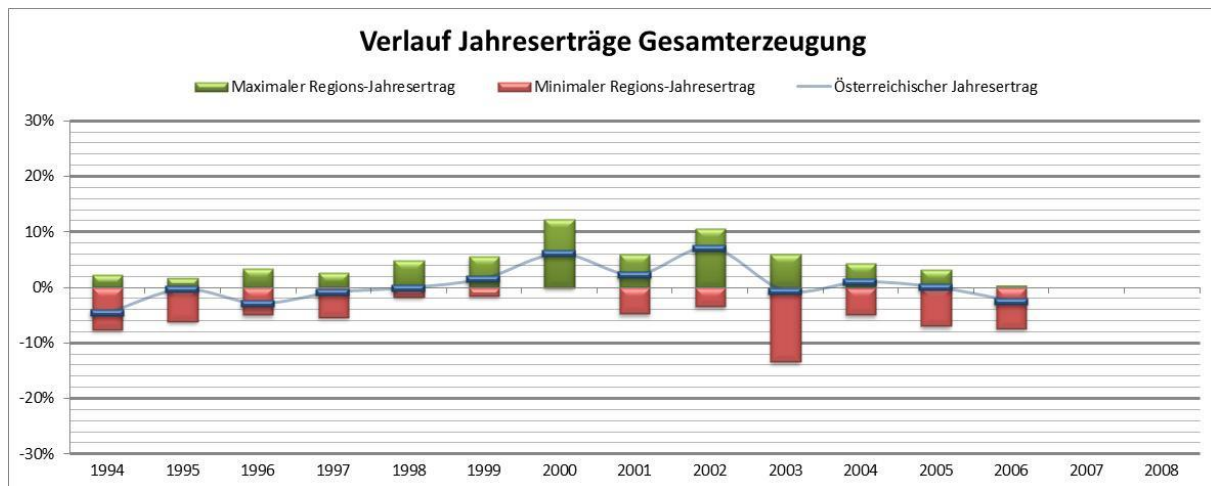


Abbildung 7: Schwankungen der gesamten österreichischen Jahreserzeugung

Die maximalen Regionsschwankungen liegen in einer ähnlichen Größenordnung wie bei der Photovoltaik und sind somit deutlich geringer als bei der Windkraft und der Wasserkraft. Der österreichische Jahresertrag mit diesem Erzeugungsmix liegt in jedem der untersuchten Jahre im $\pm 10\%$ Bereich, was bei keiner der einzelnen Erzeugungsformen der Fall ist. Somit lässt sich hieraus der Nutzen eines Erzeugungsmix für die österreichische Energieversorgung erkennen.

In Tabelle 1 sind die Standardabweichungen der Jahreserzeugungsunterschiede dargestellt. Die Berechnung erfolgt entsprechend folgender Formel. Dabei stellt der Term in Klammer die relative Abweichung der Station in Bezug auf ihren langjährigen Mittelwert dar.

$$\sigma_{\text{Station}} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{\text{Jahre}} \sum_{i=1}^{\text{Stationen}} \left(\frac{E_{ij} - \bar{E}_i}{\bar{E}_i} \right)^2}{\text{Jahre} \cdot \text{Stationen}}}$$

Die ersten drei Wertespalten beschreiben die Schwankungen der drei Erzeugungsformen „Laufwasserkraft“, „Windkraft“ und „Photovoltaik“. Entsprechend des zuvor beschriebenen Erzeugungsmix ist in der letzten Spalte die Schwankung der Gesamterzeugung dargestellt.

Die erste Zeile beschreibt die Standardabweichung der Jahreserzeugung auf Stationsbasis. Die Erzeugungswerte der Laufwasserkraft liegen nicht auf Stationsbasis vor. Somit kann auf hier auch keine Aussage über einen Erzeugungsmix getroffen werden. Die zweite Zeile beschreibt die Schwankungen der Regionserzeugungen. Die dritte Zeile beschreibt die Standardabweichungen für eine österreichweite Vernetzung sowohl für die einzelnen Erzeugungsformen als auch für den Mix entsprechend der zuvor beschriebenen energetischen Zusammensetzung.

Tabelle 1: Standardabweichungen der Jahreserzeugungen

Jahresschwankung	Laufwasserkraft	Windkraft	Photovoltaik	Erzeugungsmix
σ Station	-	19,5 %	7,8 %	-
σ Region	10,4 %	15,5 %	4,6 %	5,0 %
σ Österreich	5,6 %	8,4 %	4,4 %	3,3 %

Der Effekt der Vernetzung wirkt sich bei der Windkraft und Photovoltaik unterschiedlich aus. Während bei der Photovoltaik das Zusammenschalten der einzelnen Stationserzeugungen die Standardabweichung von 7,8% auf 4,6% reduziert werden kann, wirkt sich die überregionale Vernetzung mit einer Reduktion auf 4,4% vergleichsweise gering aus. Bei der Windkraft hingegen fällt der Effekt der österreichweiten Vernetzung mit einer Reduktion von 15,5% auf 8,4% stärker aus als jene der Stationsvernetzung.

Bei Wasserkraft und dem Gesamterzeugungsmix ist durch die überregionale Vernetzung jeweils ein deutlicher Rückgang der Schwankung der Jahreserzeugung zu erkennen.

Betrachtet man den Übergang der einzelnen Erzeugungswertreihen hin zur Gesamterzeugung, so lässt sich der Effekt des Energiemix erkennen. Bei der österreichischen Gesamterzeugung liegt die Streuung des Energiemix unterhalb jener der Photovoltaik, welche hier die sicherste Erzeugungsform darstellt.

Die Auswertung hat gezeigt, dass die Photovoltaik sowohl regional als auch bezüglich der österreichischen Jahreserzeugung die geringsten Schwankungen aufweist. Die Wasserkraft und die Windkraft weisen speziell regional deutlich höhere Unsicherheiten auf. Trotz dieser höheren Schwankungen führt das Hinzumischen dieser beiden Erzeugungsformen zur verhältnismäßig gesicherten Erzeugung aus Photovoltaik zu einem insgesamt noch sichereren Erzeugungsmix.

4 Schwankungen der Jahresdauerlinien

Im Folgenden wird beschrieben, wie sich ein Jahr mit hoher Erzeugung von einem Jahr mit niedriger Erzeugung unterscheidet. In Abbildung 8, Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11 sind die Jahresdauerlinien der Erzeugungsformen Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik sowie des Erzeugungsmix dargestellt.

Die Jahresdauerlinien der Wasserkraft lassen erkennen, dass in jedem untersuchten Jahr der maximale Einspeisewert nahezu der installierten Leistung gleicht. Die Dauerlinien weisen zu jedem Zeitpunkt in etwa die gleiche Schwankungsbreite auf. Der Verlauf der Jahresdauerlinien ist insofern nicht einheitlich, da das Jahr welches im Bereich 100% bis 60% der installierten Leistung schlechtere Erzeugungswerte aufweist, anschließend im Bereich 60% bis 40% deutlich überdurchschnittlich ist (siehe dunkelgrüne Linie). Weiters lässt sich aus diesem Diagramm ablesen, dass die Wasserkrafterzeugung je nach Jahr immer mindestens 30% bis 40% der installierten Leistung beträgt.

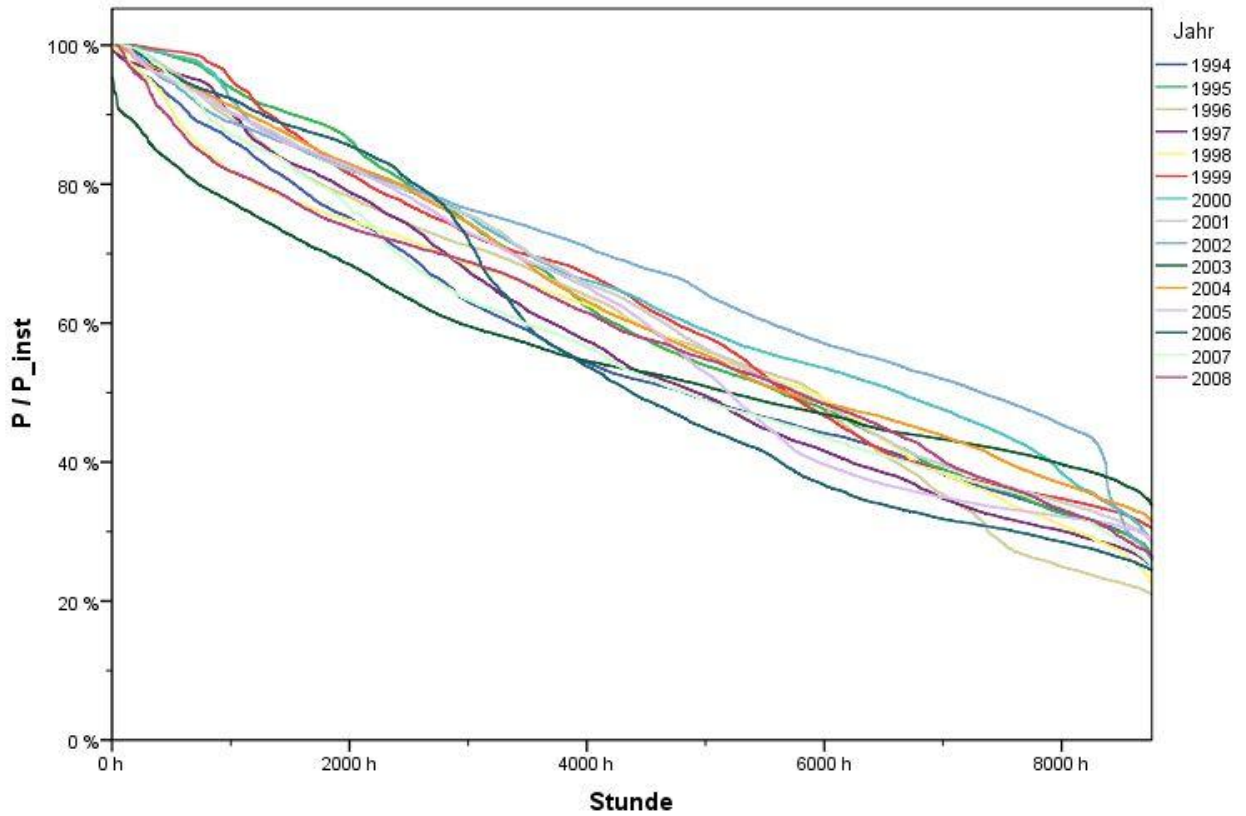


Abbildung 8: Jahresdauerlinien der Wasserkraft

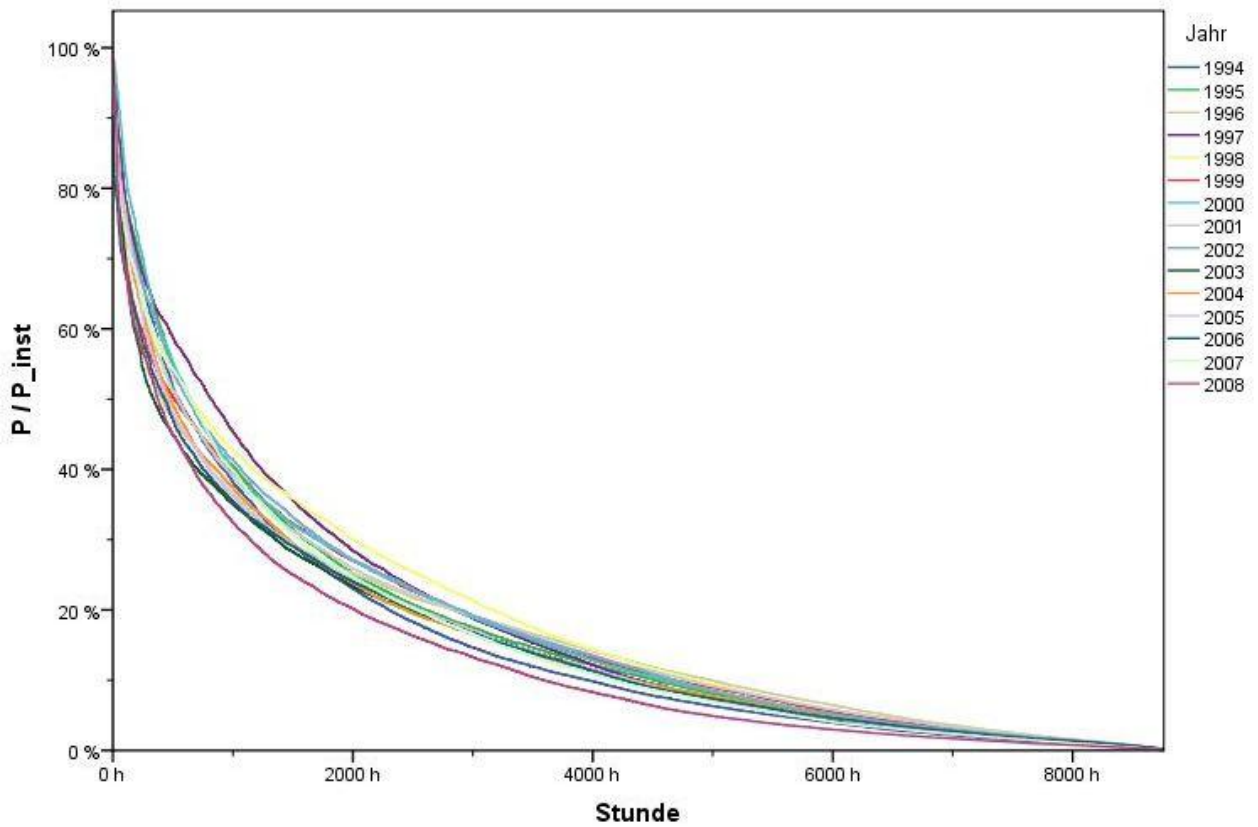


Abbildung 9: Jahresdauerlinien der Windkraft

Wie bei der Wasserkraft, gibt es bei der Windkraft ebenfalls in jedem Jahr eine maximale Einspeisung welche nahezu gleich der installierten Leistung ist (siehe Abbildung 9). Allerdings ist diese Zeit hier kürzer. Die Unterschiede zwischen den Jahren sind deutlich bei ca. 1000h abzulesen. Für diese Stundenangabe schwankt die Erzeugungsleistung in etwa zwischen 35% und 50% der installierten Leistung. Weiters ist aus den Kurven abzulesen, dass es relativ selten zur Situation einer österreichweiten Windeinspeisung gleich Null kommt. Dafür ist aber der Zeitbereich rund um 10% der installierten Leistung verhältnismäßig groß. Im Gegensatz zur Wasserkraft weisen die Kurven eine einheitliche Form auf. Die Kurven kreuzen sich seltener.

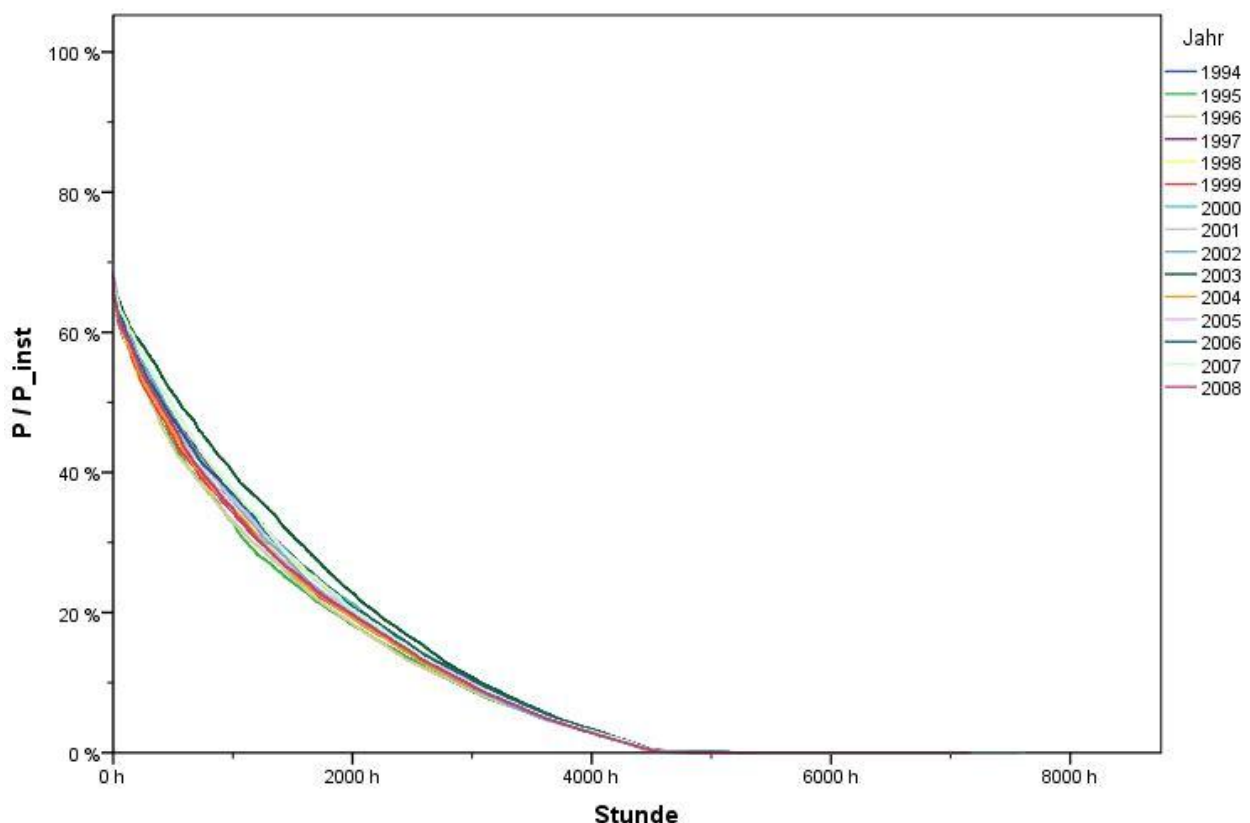


Abbildung 10: Jahresdauerlinien der Photovoltaik

Die dargestellten Jahresdauerlinien der Photovoltaik (Abbildung 10) lassen erkennen, dass die maximal eingespeiste Leistung in etwa bei 70% der installierten Leistung liegt. Dieser Wert ist über den beobachteten Jahren sehr konstant. Ebenso liegt der Wert der gesamten Betriebsstunden sehr gleichmäßig bei etwa 4500h. Somit unterscheiden sich Jahre mit hoher Erzeugung von jenen mit niedriger Erzeugung genau durch die Zeitdauer des mittleren Leistungsbereichs.

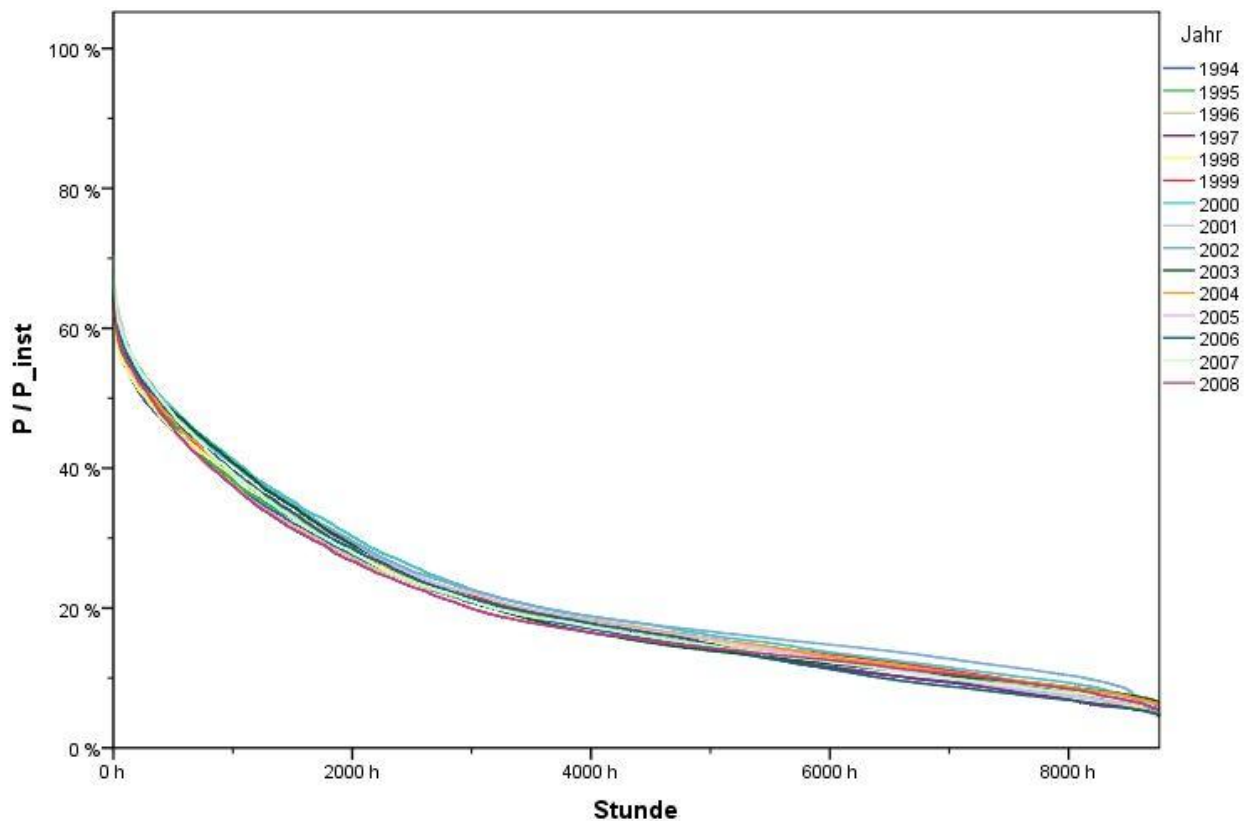


Abbildung 11: Jahresdauerlinien des Erzeugungsmix

In Abbildung 11 sind die Jahresdauerlinien des Erzeugungsmix dargestellt. Dieser weist die Kombination der zuvor beschriebenen Eigenschaften auf. So liegt die maximale Einspeisung bei etwa 60% der installierten Leistung, was über den Photovoltaikanteil begründet werden kann. Bis etwa 4000h ist der abfallende Verlauf der Windkraft und Photovoltaik zu sehen. Danach gleichen die Dauerlinien stark jenen der Wasserkraft.

Das Projekt „Super-4-Micro-Grid“ wird aus den Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „NEUE ENERGIEN 2020“ durchgeführt.



Literatur

- [1] Groß, Christoph: *Photovoltaik-Erzeugung für eine regenerative Vollversorgung Österreichs*, EnInnov 2010, Graz
- [2] Boxleitner, Martin: *Super-4-Micro-Grid und das Österreichische Windpotenzial*, EnInnov 2010, Graz
- [3] Energie-Control GmbH: *Statistikbroschüre 2009*, Energie-Control GmbH, Rudolfsplatz 13a, A-1010 Wien