

100 % ERNEUERBARE ENERGIE FÜR ÖSTERREICH – IST DAS MÖGLICH?

Wolfgang Sanz, Philipp Mandl

Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik
Technische Universität Graz

Inffeldgasse 25, 8010 Graz, Tel.: +43 (0)316 873-7226

wolfgang.sanz@tugraz.at, www.ttm.tugraz.at

Kurzfassung: Um zur Begrenzung der globalen Erderwärmung auf maximal 2 Grad Celsius gegenüber den vorindustriellen Werten beizutragen, hat sich die österreichische Bundesregierung in ihrem Regierungsprogramm 2020-2024 als Ziel gesetzt, Österreich bis zum Jahre 2040 klimaneutral zu machen. In dieser Arbeit wurde dazu untersucht, was es bedarf, um den fossilen Endverbrauch vollständig durch erneuerbare Energie aus Wind oder Sonne zu ersetzen. Dazu wurde der Verbrauch in die drei Sektoren Verkehr, Stromerzeugung und Wärmebereitstellung aufgeteilt und für drei verschiedene Szenarien, die sich durch die Anforderung an Energiespeicherung in den einzelnen Sektoren unterscheiden, der Bedarf an Windkraft- bzw. Solaranlagen untersucht.

Je nach Szenario beträgt bei alleiniger Windenergienutzung die zukünftig zu installierende Leistung das 20–40fache der derzeit vorhandenen Leistung bzw. bei alleiniger Sonnenenergienutzung das 90–180fache der derzeit installierten PV-Leistung. Auch die benötigten Flächen sind sehr groß und liegen für die Windkraft beim Szenario mit Speicherung von 35 % des erzeugten Stroms bei 10 % der Fläche Österreichs bzw. 65 % des Ackerlands. Bei Aufbringung der Energie nur durch Photovoltaik liegt der Flächenbedarf beim 4,5fachen der für PV geeigneten Gebäudeflächen von 191 km². Auch die benötigten Investitionen nur für die Energieerzeugungsanlagen liegen bei ca. 2 % des jährlichen Bruttoinlandsprodukts für die nächsten 20 Jahre.

Diese grobe Abschätzung zeigt die großen Herausforderungen der Klimaneutralität, und dass sie nur durch gewaltige politische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Anstrengungen erreicht werden kann.

Keywords: Klimaneutralität, Windenergie, Solarenergie

1 Einleitung

Bei der 21. UN-Klimakonferenz in Paris 2015 hat sich die Staatengemeinschaft darauf geeinigt, dass die globale Erderwärmung auf maximal 2 Grad Celsius gegenüber den vorindustriellen Werten begrenzt werden soll [1]. Dazu müssen die weltweiten Emissionen an Treibhausgasen mit ca. 40 Gt im Jahre 2020 ihren Höhepunkt erreichen und bis 2050 auf nahezu null sinken. Dies bedeutet, dass sich der Anteil der CO₂-freien Energiequellen alle 5 – 7 Jahre verdoppeln muss, was aber der historischen Entwicklung der erneuerbaren Energien im vergangenen Jahrzehnt entspricht.

Die EU hat sich bis 2030 das Ziel gesetzt, den Ausstoß von Treibhausgasen um mindestens 40 Prozent gegenüber 1990 zu senken. Die österreichische Bundesregierung hat in ihrem Regierungsprogramm 2020-2024 vereinbart, Österreich bis zum Jahre 2040 klimaneutral zu

machen. Dazu soll ab 2020 ein Phase-out aus fossilen Energieträgern in der Raumwärme beginnen und bis 2030 Strom zu 100% aus erneuerbaren Energiequellen stammen [2].

Um ein Gefühl dafür zu bekommen, wie groß der Bedarf an erneuerbaren Energiequellen in den nächsten Jahrzehnten sein wird, wird in dieser Studie eine sehr grobe Abschätzung versucht, was es bedeuten würde, den gesamten Energiebedarf Österreichs durch Wind- oder Solarenergie abzudecken. In dieser Studie wurde vom aktuellen Verbrauch an fossilen Energieträgern ausgegangen, und es wurden keine möglichen Energieeinsparungen durch verbesserte Technologien, Gebäudeisolierungen, Umstellungen beim Verbrauch oder in der Landwirtschaft, usw. berücksichtigt.

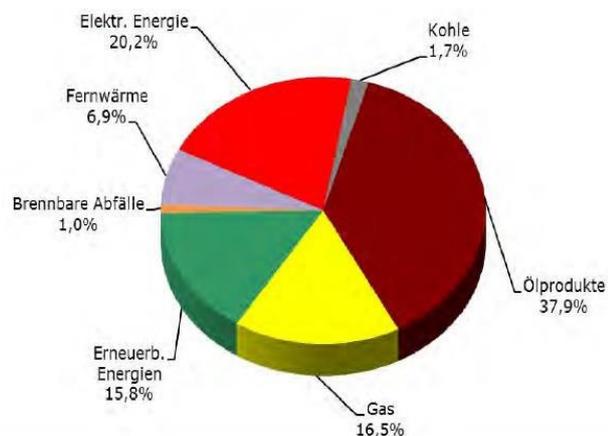
2 Fossile Energiebereitstellung in Österreich

Ausgangspunkt für diese Studie ist der derzeitige Einsatz fossiler Energieträger in den einzelnen Sektoren in Österreich. Dazu wurde der Energiestatus 2016, herausgegeben durch das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft [3], herangezogen, in dem der energetische Endverbrauch für Österreich, aufgelistet nach Energieträgern und Sektoren, für das Jahr 2014 angegeben ist. Alle folgenden Zahlen gelten daher für das Jahr 2014.

Tabelle 1 und Abb. 1 zeigen für einen österreichischen Gesamtverbrauch 2014 von 1063 PJ die Anteile der einzelnen Energiearten, wobei Ölprodukte, Erdgas und Kohle mehr als 50 % aufbringen. Für das Jahr 2018 gibt die aktuelle Energiebilanz für Österreich [4] einen leicht gestiegenen energetischen Endverbrauch von 1122.5 PJ an, wobei sich die grundlegende Struktur kaum geändert hat.

Tabelle 1/ Abb.1: Aufteilung des energetischen Endverbrauchs 2014 [3]

Gesamtverbrauch 2014		1063,2 PJ	
Aufteilung des energetischen Endverbrauchs im Jahr 2014			
Energieart	%	PJ	
Ölprodukte	37,9%	402,95	
Elektr. Energie	20,2%	214,77	
Gas	16,5%	175,43	
Erneuerbare Energien	15,8%	167,99	
Fernwärme	6,9%	73,36	
Kohle	1,7%	18,07	
Brennbare Abfälle	1,0%	10,63	
	100,0%	1063,20	



Für den Sektor elektrische Energie beträgt der Anteil der Wasserkraft lt. Statistik Austria [5] 67%, der gesamte erneuerbare Anteil 77.3 %, sodass nur 49 PJ über fossile Energieträger aufgebracht werden müssen. Für Fernwärme beträgt der erneuerbare Anteil 52.4 %.

Tabelle 2 und Abb. 2 zeigen die Struktur des energetischen Endverbrauchs aufgeteilt nach wirtschaftlichen Sektoren. Der Verkehr hat mit 34.5 % den größten Anteil am energetischen Endverbrauch, wobei der Anteil noch immer steigend ist.

Tabelle 2/ Abb. 2: Aufteilung des energetischen Endverbrauchs nach Sektoren 2014 [3]

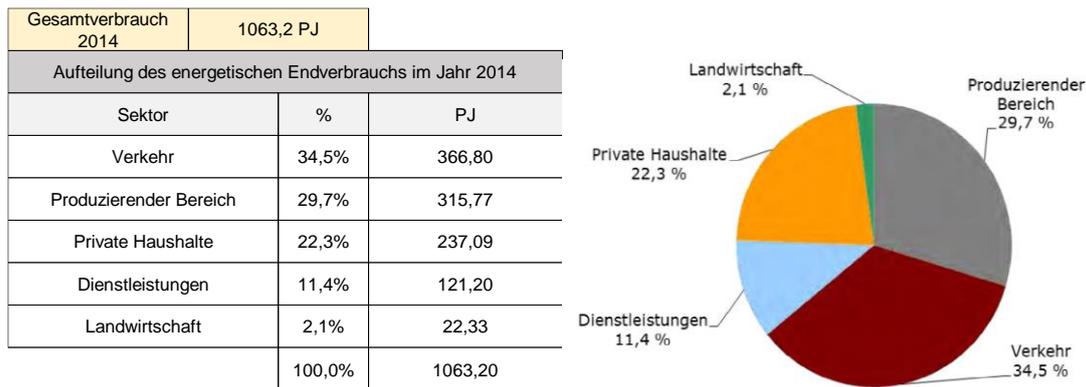


Abb. 3 zeigt dazu für die einzelnen Sektoren die Aufteilung aufgrund der Energieaufbringung. In der Industrie zeigt sich eine hohe Bedeutung von Gas und Strom, im Verkehrssektor dominieren die Ölprodukte, der fossile Anteil beträgt 91 %. Strom und Fernwärme haben im Dienstleistungssektor die größten Anteile, während in der Landwirtschaft Ölprodukte sowie die erneuerbaren Energien den Vorzug haben. Private Haushalte nutzen größtenteils die dominierenden erneuerbaren Energien, gefolgt von Öl und Gas, welche am meisten für die Raumheizung und Warmwasseraufbereitung verwendet werden. Energie aus Kohle hat nur im Bereich der Industrie eine große Bedeutung.

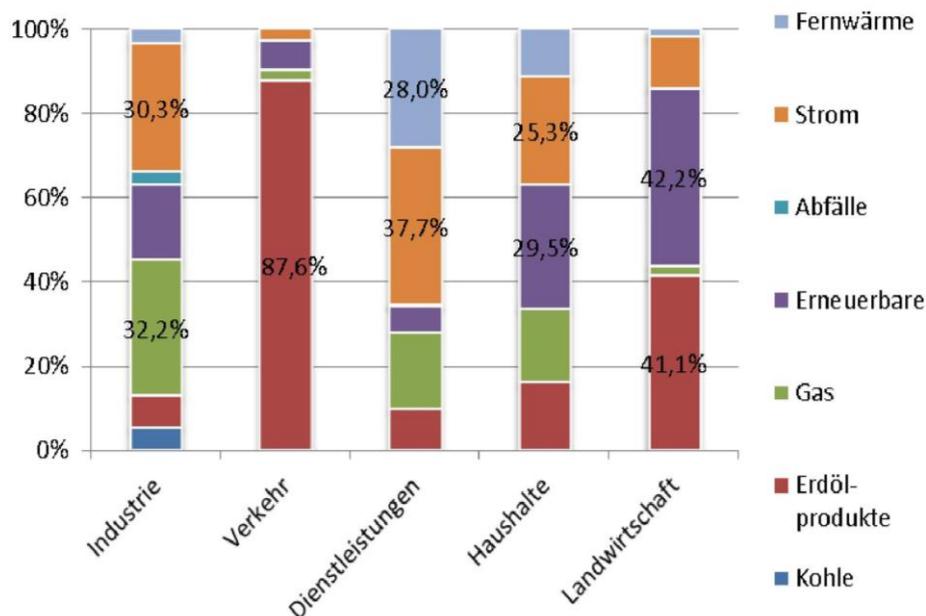
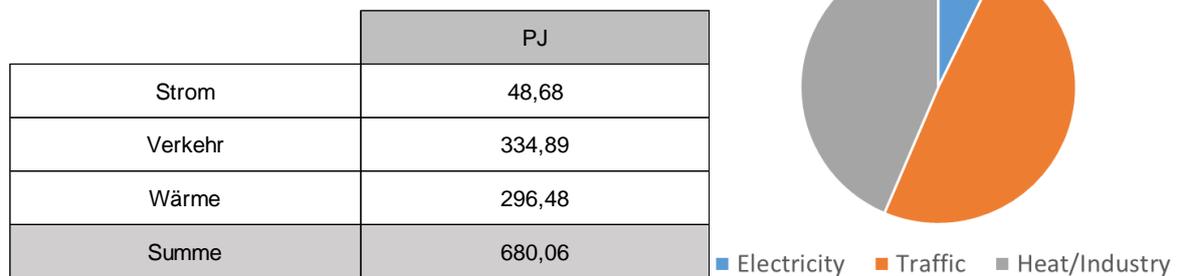


Abb. 3: Energetischer Endverbrauch nach Sektoren und Energieträgern [5]

Nach Abzug der Energieverbräuche in Form von Strom (Tabelle 1) und durch Verkehr (Tabelle 2) ergibt sich ein restlicher Energieverbrauch von 481 PJ, wobei davon ausgegangen wird, dass er in Form von Wärme für Heizung und Industrieprozesse konsumiert wird. Aus der Gegenüberstellung von Tabelle 1 und 2 sowie Abb. 3 lässt sich ein fossiler Anteil von 61.5 % für die Wärmebereitstellung ermitteln. Mit den oben genannten Anteilen fossiler Energieträger bei Strom und Verkehr kann ein fossiler Anteil von 64 % am gesamten energetischen Endverbrauch ermittelt werden, was 680 PJ im Jahre 2014 entspricht. Dieser fossile

Endverbrauch kann den Sektoren Strom, Verkehr und Wärme entsprechend Tabelle 3 bzw. Abb. 4 zugeordnet werden.

Tabelle 3/ Abb. 4: Aufteilung des fossilen Endverbrauchs in die Sektoren Strom, Verkehr und Wärme 2014



3 Untersuchte Szenarien und Annahmen

Ausgehend vom ermittelten Primärenergieverbrauch an fossilen Energieträgern auf Basis 2014 soll untersucht werden, wie groß der Bedarf an erneuerbarer Energieerzeugung ist, wenn diese nur über Strom aus Windkraft und/oder Photovoltaik erfolgt. Dabei werden positive Effekte durch energiesparende Maßnahmen und neue Technologien genauso wenig berücksichtigt wie z.B. ein verstärkter Einsatz von Biomasse in der Wärmeerzeugung. Folgende Szenarien wurden für diese vereinfachte Abschätzung angenommen:

1. Der gesamte fossile Energieverbrauch wird durch Strom aus Windkraft und/oder Photovoltaik ersetzt, wobei die optimistische Annahme getroffen wurde, dass das Stromangebot sofort genutzt werden kann, sodass keine Speicherung notwendig ist.
2. Im zweiten, pessimistischen Szenario wird ein großer Teil des erneuerbar erzeugten Stroms in Form von Wasserstoff gespeichert, um die Unterschiede zwischen Erzeugung und Verbrauch auszugleichen. Der Verkehr wird zu 100% auf Wasserstoff umgestellt, Wärme wird zu 50% durch die Verbrennung von Wasserstoff bereitgestellt und Strom wird zur Hälfte in Wasserstoffkraftwerken erzeugt, um Angebot und Bedarf in Einklang zu bringen.
3. Im dritten, optimistischen Szenario wird der Verkehr zu 20% mit Wasserstoff betrieben, der Rest erfolgt direkt über Strom aus erneuerbarer Energie. Wärme wird zu 20% durch die Verbrennung von Wasserstoff bereitgestellt und Strom muss nur zu 10% in Wasserstoffkraftwerken erzeugt werden, um Spitzen im Strombedarf auszugleichen.

Tabelle 4 zeigt die Annahmen, die für diese Studie getroffen wurden. Im Jahr 2014 betrug die Energiebereitstellung durch Windenergieanlagen 13,7 PJ bei einer durchschnittlich installierten Leistung von 1,93 MW. Die berechneten Volllaststunden waren 1925 h, was auch hier angenommen wurde. Als repräsentative Windturbine wurde die Siemens SWT-3.4-108 mit einer mittleren Leistung von 3,4 MW und einem Rotordurchmesser $D = 108$ m angenommen. Der Flächenbedarf bei Anordnung in einer Windfarm wird mit $2n^2D^2$ angesetzt, wobei für n ein günstiger Wert von $n=4$ angenommen wird [6]. Damit ergibt sich eine zu erwartende spezifische Jahresarbeit von 17,53 kWh/m².

Für die Stromerzeugung mit Hilfe von Photovoltaik wurden Hochleistungszellen mit 170 Wp/m² angenommen und eine für Österreich realistische Volllaststundenzahl von 1000 h. Die zu erwartende Jahresarbeit beträgt mit 170 kWh/m² ungefähr das Zehnfache der Windenergie, wobei aber im Gegensatz zu Photovoltaik die für Windturbinen benötigte Fläche großteils für andere Verwendungen herangezogen werden kann, z.B. für Ackerbau.

Für die Szenarien mit Wasserstoff als Speichermedium wurde ein günstiger Wirkungsgrad von 75 % für Elektrolyse und notwendige Verdichtung zur Speicherung angenommen. Für die Rückverstromung in einem GuD-Kraftwerk wurde ein elektrischer Nettowirkungsgrad von 60 % angesetzt, für die Wärmeerzeugung ein Verbrennungswirkungsgrad von 95 %. Beim Verkehr wurde berücksichtigt, dass bei elektrischem Antrieb nur 1/3 der Energie eines mit Verbrennungsmotor angetriebenen Fahrzeugs benötigt wird. Zusätzliche Untersuchungen für einen anderen Windturbinentyp von 2.3 MW Leistung, einen Flächenfaktor von 5 und PV-Module geringerer Leistung wurden ebenfalls von Mandl durchgeführt [7].

Tabelle 4: Technische und wirtschaftliche Parameter der Simulation

Windturbine	Siemens SWT-3.4-108
Leistung [MW]	3.4
Rotordurchmesser D [m]	108
Volllaststunden [h]	1925
Flächenfaktor n [-]	4
Leistung je m ² [W/m ²]	9.11
Erzielbare Jahresarbeit je m ² [kWh/m ²]	17.53
Spezifische Investitionskosten [€/kW]	1500
Photovoltaik	Hochleistungsmodul
Leistung je m ² [Wp/m ²]	170
Volllaststunden [h]	1000
Erzielbare Jahresarbeit je m ² [kWh/m ²]	170
Spezifische Investitionskosten [€/kWp]	1000
Energiespeicher	Wasserstoff
Wirkungsgrad von Elektrolyse und Verdichtung [%]	75
Wirkungsgradverhältnis E-Motor/Verbrennungsmotor [-]	3
Nettowirkungsgrad der Verstromung im Kraftwerk [%]	60
Wirkungsgrad Wärmeerzeugung [%]	95

4 Ergebnisse und Diskussion

Basierend auf den angenommenen Parametern wurden für die verschiedenen Szenarien die Anzahl der Windturbinen bzw. PV-Module sowie der notwendige Flächenbedarf ermittelt.

4.1 Szenario 1 ohne Speicherung

Bei diesem Szenario wird angenommen, dass aller durch Sonne und Wind erzeugte Strom sofort verwendet wird, und der Ausgleich zwischen Anbot und Nachfrage durch Pumpspeicherkraftwerke abgedeckt werden kann.

Tabelle 5 zeigt die sich ergebende notwendige Anzahl von Windturbinen bzw. PV-Modulen, um eine Energiemenge von 457 PJ zu erzeugen, und den dafür notwendigen Flächenbedarf. Die Werte werden der Anzahl von bereits existierenden Anlagen bzw. möglichen nutzbaren Flächen gegenübergestellt. Die im Vergleich zu dem oben berechneten fossilen Energieverbrauch geringere Menge ergibt sich durch den erhöhten Wirkungsgrad der Elektromotoren.

Tabelle 5: Benötigte Anlagen und Leistungen für Szenario 1 ohne Speicherung

Benötigte Jahresenergiemenge [PJ]	457
Windkraftanlagen	
Anzahl Windturbinen	19 390
Zu installierende Leistung [GW]	65,9
Installierte Anlagen (2018) [8]	1 340
Installierte Leistung (2018) [GW] [4]	3,1
Theoretisch max. mobilisierbares Potential [GW] [9]	23,8
Flächenbedarf [km ²]	7 238
Gesamtfläche Österreichs [km ²]	83 879
Ackerfläche in Österreich [km ²] [10]	13 517
Photovoltaik	
Zu installierende Leistung PV [GWp]	126,9
Installierte Leistung (2018) [GWp] [4]	1,4
An Gebäuden installierbare Leistung [GWp] [11]	23
Flächenbedarf [km ²]	742
Geeignete Gebäudeflächen in Österreich [km ²] [11]	191

Die notwendige Anzahl an Windturbinen entspricht mit 19390 Anlagen nahezu das 15fache der derzeit installierten Anlagen. Die zu installierende Leistung von 65,9 GW beträgt sogar das 20fache der derzeitigen. Im Vergleich dazu beträgt das „theoretisch maximal mobilisierbare Potential“ für 2030 [9] nur ein Drittel dieses Leistungsbedarfs. Auch die benötigte Fläche ist

sehr groß und beträgt in Windfarm-Anordnung 7238 km², was 8,7 % der Fläche Österreichs bzw. 53,5 % des Ackerlands entspricht. Dabei muss aber bedacht werden, dass bei Errichtung auf Ackerflächen diese weitgehend weiter bearbeitbar bleiben.

Bei PV-Anlagen wäre die notwendige installierte Leistung von 126,9 GWp ungefähr das Doppelte der Windturbinenleistung aufgrund der geringeren Volllaststundenzahl und das 90fache der derzeit installierten Leistung von 1,4 GWp. In einer Studie aus dem Jahre 2011 [11] wurde die auf Dachflächen und an Fassaden installierbare Leistung mit 23 GWp ermittelt, sodass große zusätzliche Flächen benötigt würden. Der benötigte Flächenbedarf ist mit 742 km² ungefähr das 4fache der für Photovoltaik geeigneten Gebäudeflächen. Diese Zahlen zeigen, dass eine einzige Technologie nicht zielführend sein kann.

4.2 Pessimistisches Szenario 2 mit hohem Speicherbedarf

Aufgrund der hohen Volatilität der erneuerbaren Energieträger Wind und Sonne werden die Pumpspeicherkraftwerke allein nicht in der Lage sein, die Unterschiede zwischen Bedarf und Anbot auszugleichen. Dies soll durch die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse und anschließende Druckspeicherung erfolgen.

Bei diesem Szenario wird angenommen, dass:

- der Verkehr vollständig auf Wasserstoff umgestellt wird, wobei der Wirkungsgrad wieder dem von Verbrennungsmotoren gleichgesetzt wird
- die Energiebereitstellung für Wärme zu 50 % durch Wasserstoff erfolgt, zu 50 % aus direktem Stromangebot
- Strom zu 50 % sofort genutzt wird, und 50 % des Stroms durch Rückverstromung von Wasserstoff bereitgestellt wird.

Tabelle 6 zeigt die notwendige Anzahl von Windturbinen bzw. PV-Modulen für dieses Szenario. Aufgrund der schlechteren Wirkungsgrade im Verkehr und der Umwandlungsverluste ist eine Jahresenergiemenge von 881 PJ aus Wind oder Sonne zu erzeugen, was deutlich über dem derzeitigen fossilen Energiebedarf von 680 PJ liegt. 80 % des erzeugten Stroms, d.h. 706 PJ, müssten für die Erzeugung von Wasserstoff bereitgestellt werden.

Tabelle 6: Benötigte Anlagen und Leistungen für Szenario 2 mit hohem Speicherbedarf

Benötigte Jahresenergiemenge [PJ]	881
Windkraftanlagen	
Anzahl Windturbinen	37 408
Zu installierende Leistung [GW]	127,2
Flächenbedarf [km ²]	13 953
Photovoltaik	
Zu installierende Leistung PV [GWp]	244,8
Flächenbedarf [km ²]	1432

Im Vergleich zu Szenario 1 ist nahezu die doppelte Anzahl an Windkraftanlagen bzw. Photovoltaik-Modulen notwendig. Bei Windkraft beträgt die zu installierende Leistung das 41fache der Ende 2018 bereits installierten Leistung. Der notwendige Flächenbedarf übersteigt sogar den aller bestehenden Ackerflächen und beträgt 1/6 der Fläche Österreichs. Bei alleiniger Bereitstellung dieser Energiemenge durch Photovoltaik wäre die zu installierende Leistung das 180fache der bestehenden und die notwendige Fläche betrüge 1432 km².

Abb. 5 zeigt die benötigten Flächen unter der Annahme, dass die Hälfte der Ackerfläche Österreichs mit Windturbinen ausgestattet werden könnte, wodurch dort 48 % der benötigten Energie bereitgestellt würden. Dann wären noch zusätzlich 738 km² an Fläche für Photovoltaik-Anlagen notwendig, was den geeigneten Gebäudeflächen von 191 km² gegenübergestellt ist.

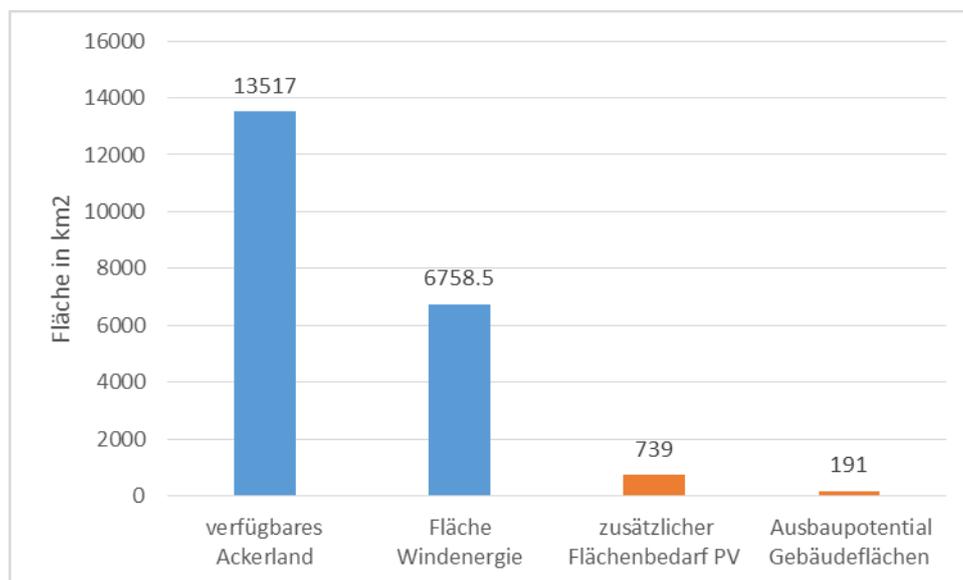


Abb. 5: Benötigte Flächen für gemeinsamen Ausbau von Wind- und PV-Anlagen (Szenario 2)

4.3 Optimistisches Szenario 3 mit geringem Speicherbedarf

Bei diesem Szenario wird angenommen, dass:

- 80 % des Bedarfs im Verkehr direkt durch Strom abgedeckt wird und nur 20 % erfolgt über Wasserstoff
- die Energiebereitstellung für Wärme zu 20 % durch Wasserstoff erfolgt, zu 80 % aus direktem Stromangebot
- Strom zu 90 % sofort genutzt wird, und nur 10 % des Stroms durch Rückverstromung von Wasserstoff bereitgestellt wird.

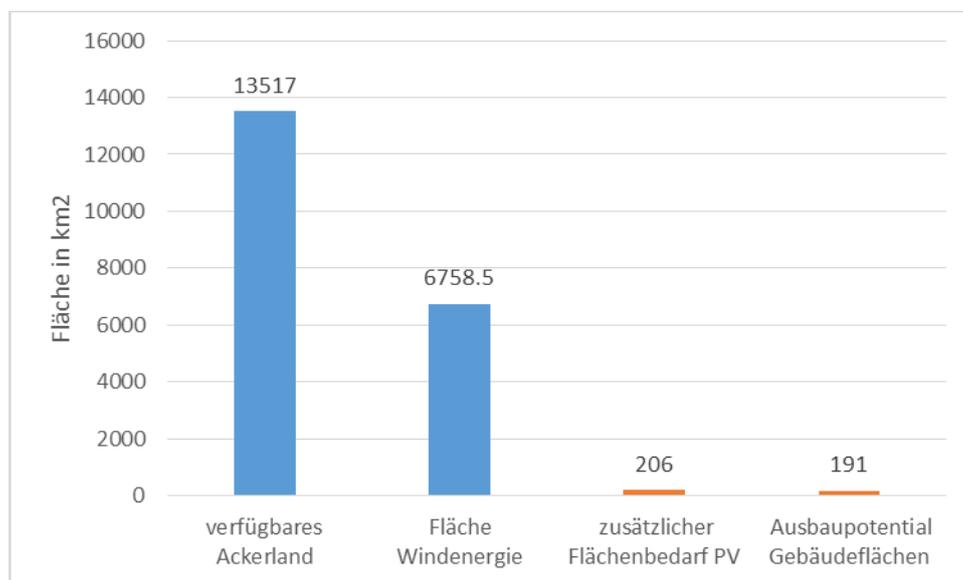
Tabelle 7 zeigt die notwendige Anzahl von Windturbinen bzw. PV-Modulen für dieses optimistischere Szenario. Die benötigte Jahresenergiemenge ist mit 554 PJ sogar deutlich geringer als beim fossilen Ausgangsfall aufgrund der Ausnutzung der besseren Wirkungsgrade in der Elektromobilität. Hier müssten nur 35 % des erzeugten Stroms, d.h. 194 PJ, für die Erzeugung des Wasserstoffs bereitgestellt werden.

Tabelle 7: Benötigte Anlagen und Leistungen für Szenario 3 mit geringem Speicherbedarf

Benötigte Jahresenergiemenge [PJ]	554
Windkraftanlagen	
Anzahl Windturbinen	23 501
Zu installierende Leistung [GW]	79,9
Flächenbedarf [km ²]	8 774
Photovoltaik	
Zu installierende Leistung PV [GWp]	153,8
Flächenbedarf [km ²]	900

Der höhere Anteil des sofort verwendbaren Stroms aus Wind- und Sonnennutzung führt zu deutlich günstigeren Werten. Im Vergleich zu Szenario 1 sind ca. 20 % mehr an Windturbinen bzw. Solarfläche notwendig. Aber auch für dieses Szenario muss die Zahl der installierten Leistung bei den Windturbinen auf das 25fache bzw. im Falle der Photovoltaik auf das 110fache der derzeitigen installierten Leistung erhöht werden.

Abb. 6 zeigt wiederum die benötigten Flächen unter der Annahme, dass die Hälfte der Ackerfläche Österreichs mit Windturbinen ausgestattet werden könnte, wodurch dort 77 % der benötigten Energie bereitgestellt würden. Dann wären noch zusätzlich 206 km² an Fläche für Photovoltaik-Anlagen notwendig, was nahezu den geeigneten Gebäudeflächen von 191 km² entspricht.

**Abb. 6:** Benötigte Flächen für gemeinsamen Ausbau von Wind- und PV-Anlagen (Szenario 3)

5 Investitionsbedarf

Die Abschätzungen über die zu installierenden Leistungen bzw. Flächen für die vollständige Substitution der fossilen Energieträger in Österreich haben gezeigt, dass dies nur unter sehr

großem Aufwand möglich ist. Die hohen Stückzahlen verlangen auch große Investitionen, die in einem relativ kurzen Zeitraum von 20 Jahren aufzubringen sind.

In einer Studie über die Kostensituation der Windenergie in Deutschland 2013 wurde ein Wert von 1520 €/kW für Windturbinen mittlerer Nabenhöhe (100 – 120 m) angegeben, der alle Nebenkosten, wie Planung und Erschließung miteinbezieht [12]. In einer wirtschaftlichen Bewertung der Windkraft anhand des Windparks Großhofen in Niederösterreich [13] mit sechs 2.3 MW Turbinen wurden spezifische Gesamtkosten von 1600 €/kW ermittelt. Ausgehend davon wurden für diese Studie spezifische Kosten von 1500 €/kW angesetzt, wobei angenommen werden kann, dass dieser Wert bei deutlich gesteigerten Stückzahlen noch weiter sinken wird.

Für Photovoltaik-Anlagen wurde eine Studie des Fraunhofer Instituts [14] für Deutschland herangezogen, in der durchschnittliche Investitionskosten von € 1200/kW für Anlagen von 10 – 100 kWp ermittelt wurden. Gleichzeitig wurden deutliche Reduktionen bei steigender installierter Gesamtleistung prognostiziert, sodass in dieser Studie ein Wert von 1000 €/kWp angesetzt wurde.

Die mit diesen Annahmen ermittelten Kosten für die drei Szenarien sind in Abb. 7 dargestellt. Im günstigsten Szenario 1, bei dem keine Speicherung des erzeugten elektrischen Stroms notwendig ist, ergeben sich je nach Technologie Kosten zwischen 99 und 127 Mrd. €. Deutlich höher sind die Kosten bei Energieerzeugung nur durch Wind- bzw. PV-Anlagen bei Szenario 2, bei dem 80 % der erzeugten elektrischen Energie in Form von Wasserstoff gespeichert werden müssen, mit 190 – 245 Mrd. €, wobei die Kosten für die Speicherung nicht berücksichtigt wurden. Im optimistischen Szenario 3, bei dem 35 % des erzeugten Stroms gespeichert werden, sind die Kosten noch immer zwischen 120 und 154 Mrd. €. Im Vergleich dazu betrug das Bruttoinlandsprodukt Österreichs im Jahre 2018 385.7 Mrd. €. Wenn man z.B die Investitionskosten des günstigsten Szenarios 3 mit dem Mittelwert von 137 Mrd. € ansetzt, müssten ca. 1.8 % der jährlichen Wirtschaftsleistung von 2020 – 2040 für diese Investitionen aufgewendet werden.

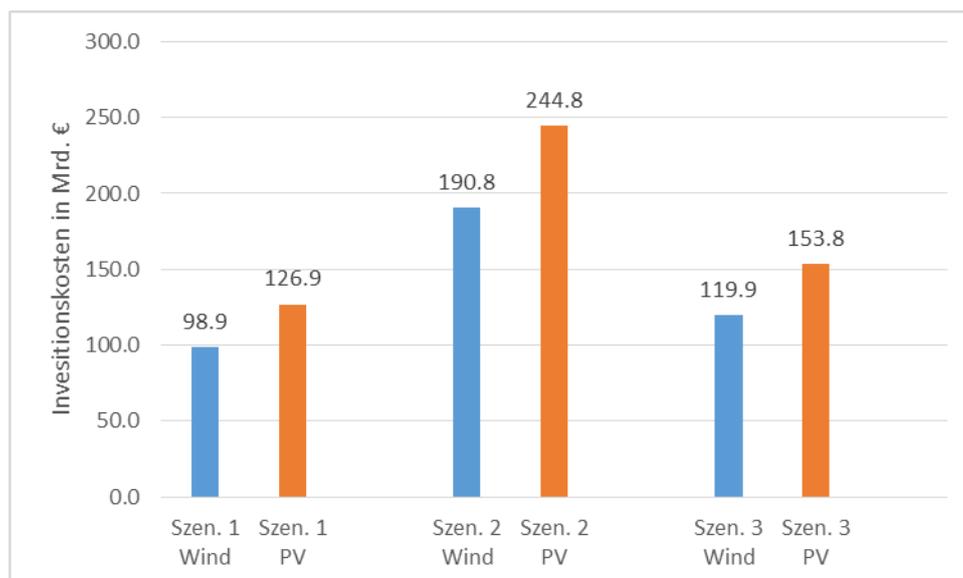


Abb. 7: Notwendige Investitionen für den Aufbau von Windkraft- und Solaranlagen zum Ersatz der fossilen Energieträger

6 Fazit und Ausblick

In dieser Studie wurde versucht, den Bedarf an Windenergie- bzw. PV-Anlagen abzuschätzen, die notwendig sind, um die fossilen Energieträger in Österreich vollständig zu ersetzen. Dazu wurden drei Szenarien untersucht, die sich im Anteil des erzeugten elektrischen Stroms, der in Form von Wasserstoff zum Ausgleich zwischen Angebot und Bedarf gespeichert werden muss, unterscheiden.

Je nach Szenario beträgt bei alleiniger Windenergienutzung die zukünftig zu installierende Leistung das 20-40fache der derzeit vorhandenen Leistung bzw. bei alleiniger Sonnenenergienutzung das 90–180fache der derzeit installierten PV-Leistung. Auch die benötigten Flächen sind sehr groß und liegen z.B. im optimistischen Szenario 3 mit Speicherung von 35 % des regenerativ erzeugten Stroms bei 10 % der Fläche Österreichs bzw. 65 % des Ackerlands für Windkraftanlagen. Bei Photovoltaik liegt der Flächenbedarf in diesem Fall beim 4,5fachen der für PV geeigneten Gebäudeflächen von 191 km². Auch die benötigten Investitionen nur für die Energieerzeugungsanlagen liegen bei ca. 2 % des jährlichen Bruttoinlandsprodukts für die nächsten 20 Jahre.

Um diese riesigen Herausforderungen zu meistern, müssen rasch Maßnahmen ergriffen werden, um Österreichs Ziel der Klimaneutralität bis 2040 erreichen zu können. Trotz technologischer Verbesserungen und Nutzung aller Potenziale zur Energieeinsparung ist eine vollständige erneuerbare Abdeckung des Energiebedarfs Österreichs nur mit sehr großem Aufwand möglich, und es ist fraglich, ob die notwendigen finanziellen Mittel und Herstellungskapazitäten bereitgestellt werden können. Es sollten daher auch andere Möglichkeiten, wie Carbon Capture and Storage (CCS), als Übergangstechnologie in Betracht gezogen werden.

7 Literatur

- [1] BMKUEMIT, 2020, "https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/klimaschutz/1/Seite.1000325.html", Stand 01/2020
- [2] Österreichische Bundesregierung, 2020, "Aus Verantwortung für Österreich – Regierungsprogramm 2020-2024", online verfügbar unter <https://gruene.at/themen/demokratie-verfassung/regierungsuereinkommen-tuerkis-gruen/regierungsuereinkommen-kurzfassung.pdf>
- [3] BMWFW Abt. III/2, 2016, "Energiestatus 2016", online verfügbar unter <https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:d5045da0-5192-4afb-9985-d38140c317c5/BMWFW-Energiestatus%20%C3%96sterreich%202016.pdf>
- [4] BMNT, 2019, "Energie in Österreich – Zahlen, Daten, Fakten", online verfügbar unter https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:756edbc1-12c1-44e3-8e80-04ead759ff75/BMNT_Energie_in_OE2019_Barrierefrei_final.pdf
- [5] Statistik Austria, 2016, "energiedaten_oesterreich_2014. Änderung wichtiger Kennzahlen und Einflussfaktoren im Vergleich zum Vorjahr"

- [6] R. A. Dietrich, 2008, "Abschätzung des Flächenbedarfs bei Windenergieanlagen". Neues Land 26, 21522 Hohnstorf/Elbe. Online verfügbar unter <http://www.rudolf-adolf-dietrich.de/IN007/B-15.pdf>
- [7] P. Mandl, 2017, "Future Energy Supply of Austria by a Hydrogen Energy System", Bachelorarbeit an der Fakultät für Maschinenbau, TU Graz
- [8] windkraft.at, 2020, "Windenergie in Österreich", <https://www.igwindkraft.at/fakten/>
- [9] Energiewerkstatt, 2014, "Das realisierbare Windpotential Österreichs für 2020 und 2030", online verfügbar unter http://www.windatlas.at/downloads/Follow_Up_Bericht_2014.pdf.
- [10] Statistik Austria, 2016, "Anbau auf dem Ackerland 2006-2015. Auswertung der Mehrfachanträge-Flächen der Agrarmarkt Austria", https://www.statistik.at/web_de/statistiken/wirtschaft/land_und_forstwirtschaft/agrarstruktur_flaechen_ertraege/bodennutzung/020292.html
- [11] TU Wien et al., 2011, "Super-4-Micro-Grid – Nachhaltige Energieversorgung im Wandel", Endbericht, online verfügbar unter https://www.ea.tuwien.ac.at/fileadmin/t/ea/projekte/super-4-micro-grid/Super-4-Micro-Grid_-_FFG-Nr._818954_-_Approbierter_Endbericht.pdf
- [12] Deutsche WindGuard GmbH, 2016, "Kostensituation der Windenergie an Land in Deutschland", online verfügbar unter <https://www.energie-cluster.ch/admin/data/files/file/file/1129/2016-02-27-kosten-windenergie-onshore.pdf?lm=1456508411>.
- [13] TU Wien, 2014, "Windige Energie? Ökonomie der Windkraft. Saubere Energie auf Kosten der Landschaft? – Endbericht AG2: Ökonomische Bewertung der Windkraft am Beispiel des Windparks Großhofen", online verfügbar unter https://www.diplomarbeitsboerse.info/wp-content/uploads/%C3%96konomische-Bewertung-der-Windkraft_Bsp-Gro%C3%9Fhofen.pdf
- [14] Fraunhofer ISE, 2020, "Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland", Fassung vom 7.1.2020, Download von www.pv-fakten.de