

100 % erneuerbare Energie für Österreich – Ist das möglich?

Wolfgang Sanz und Philipp Mandl

Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik
Technische Universität Graz

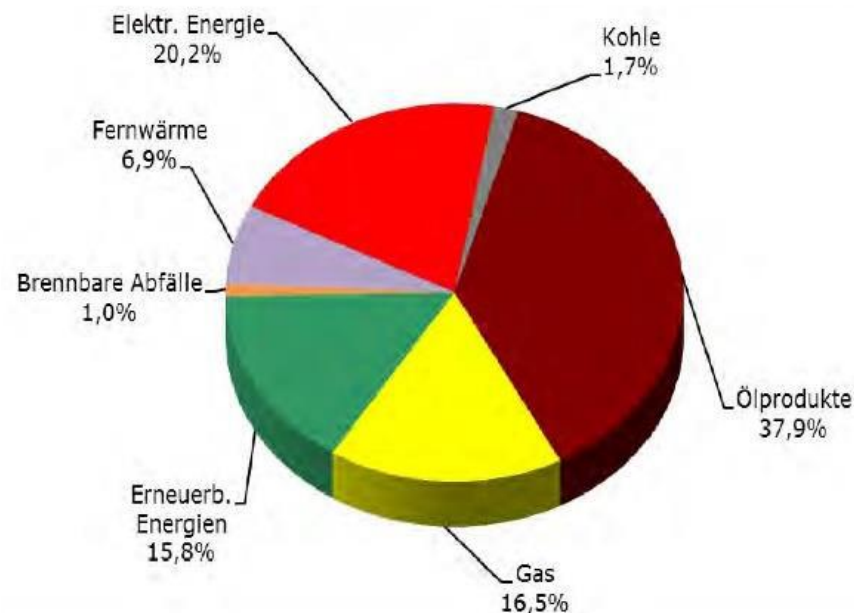
EnInnov2020

16. Symposium Energieinnovation | 12.02.–14.02.2020

- **21. UN-Klimakonferenz in Paris 2015: 2° Ziel**
- **Treibhausgase von derzeit 40 Gt auf null bis 2050**
- **Österreich: klimaneutral bis 2040**
- **Ab 2020 ein schrittweiser Ausstieg bei Raumwärme**
- **Bis 2030: Strom zu 100 % aus erneuerbaren
Energieträgern**

- **Was bedeutet es,
Österreich klimaneutral zu machen?**
- **Bachelorarbeit P. Mandl (2016):
“Kann Österreich vollständig durch Wind- oder
Solarkraft versorgt werden?”**
- **Ausgangspunkt: Energiedaten 2014**

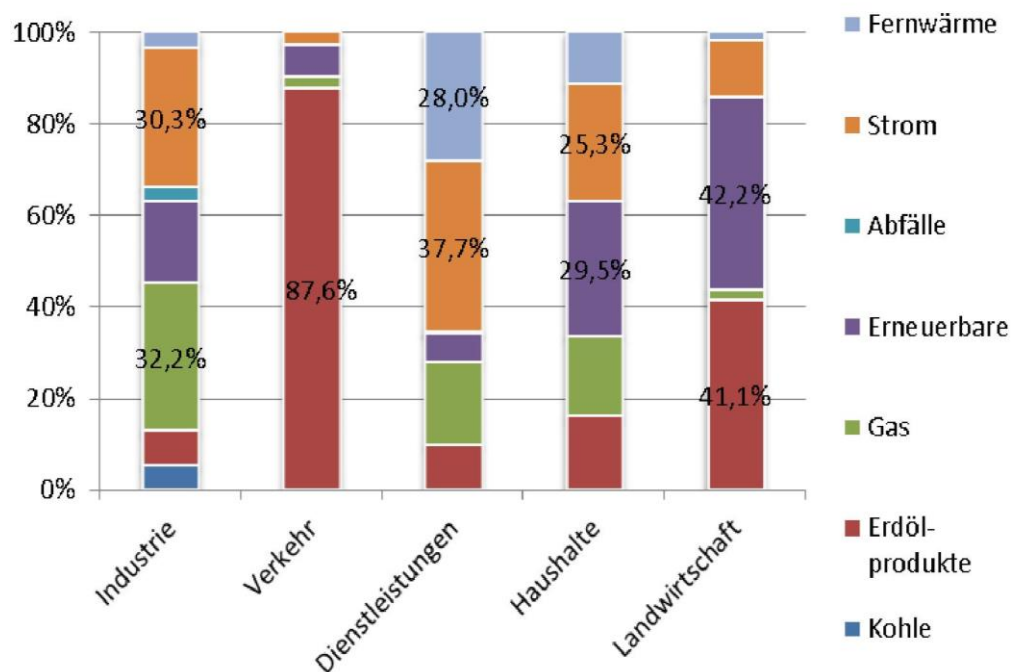
| Gesamtverbrauch 2014 | 1063,2 PJ | |
|---|-----------|---------|
| Aufteilung des energetischen Endverbrauchs im Jahr 2014 | | |
| Energieart | % | PJ |
| Ölprodukte | 37,9% | 402,95 |
| Elektr. Energie | 20,2% | 214,77 |
| Gas | 16,5% | 175,43 |
| Erneuerbare Energien | 15,8% | 167,99 |
| Fernwärme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



2014: 1063 PJ (2018: 1122 PJ)

| Gesamtverbrauch 2014 | 1063,2 PJ | |
|---|-----------|---------|
| Aufteilung des energetischen Endverbrauchs im Jahr 2014 | | |
| Sektor | % | PJ |
| Verkehr | 34,5% | 366,80 |
| Produzierender Bereich | 29,7% | 315,77 |
| Private Haushalte | 22,3% | 237,09 |
| Dienstleistungen | 11,4% | 121,20 |
| Landwirtschaft | 2,1% | 22,33 |
| | 100,0% | 1063,20 |

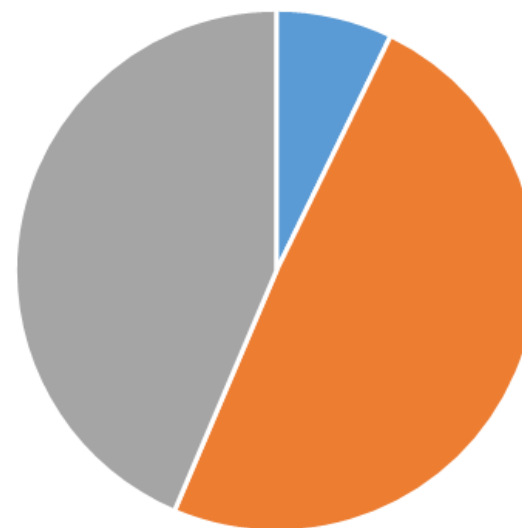
Strom 215 PJ (orange)
erneuerbarer Anteil 77 %



Fossiler Endverbrauch für die Sektoren

- Strom
- Verkehr
- Wärme

| | PJ |
|---------|--------|
| Strom | 48,68 |
| Verkehr | 334,89 |
| Wärme | 296,48 |
| Summe | 680,06 |



■ Electricity ■ Traffic ■ Heat/Industry

- I. Nur Strom aus Windkraft und/oder Photovoltaik, wobei das Stromangebot sofort genutzt wird
(Vergleichsszenario)

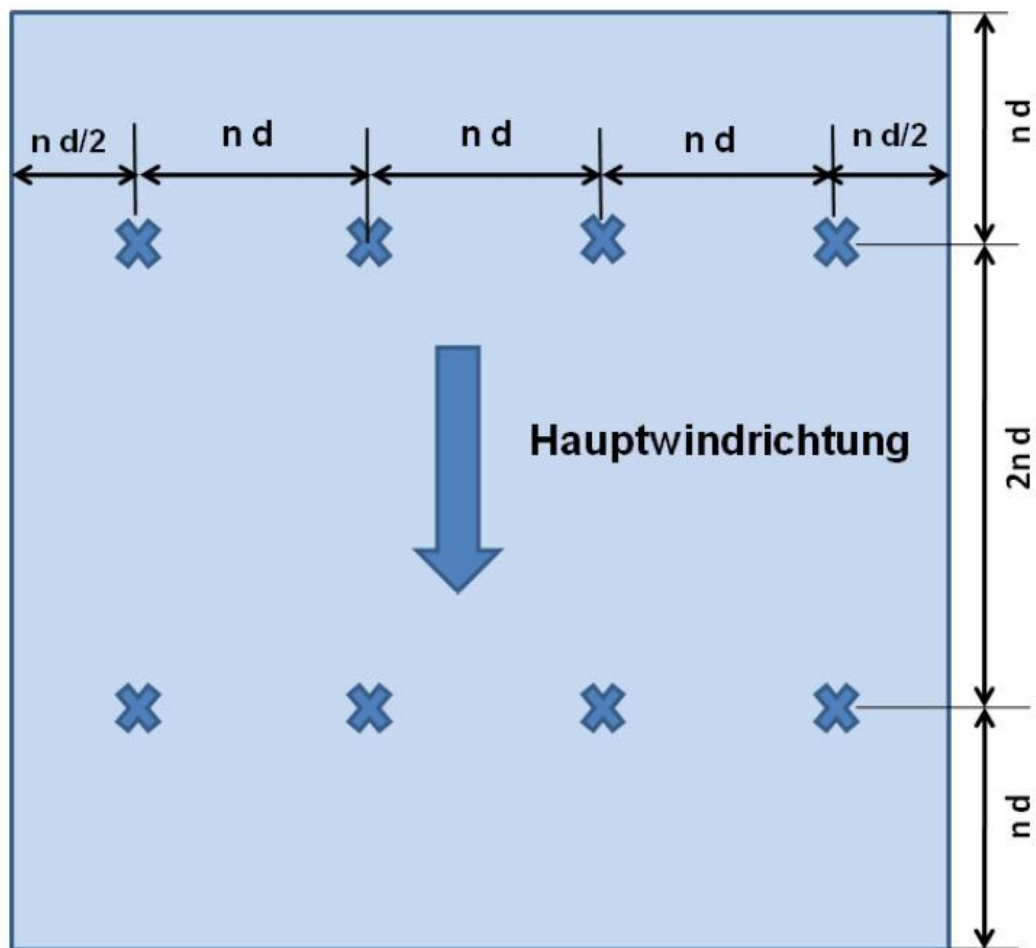
- II. **Pessimistisches Szenario:** Hoher Bedarf an Stromspeicherung durch Erzeugung von **Wasserstoff:**
 - Verkehr zu 100% mit Wasserstoff
 - Wärme zu 50% durch Wasserstoff
 - Strom zu 50% in GuD-Kraftwerken aus Wasserstoff

- III. **Optimistisches Szenario:**
 - Verkehr zu 20% mit Wasserstoff
 - Wärme zu 20% durch Wasserstoff
 - Strom zu 10% in GuD-Kraftwerken aus Wasserstoff

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

$$n = 4 - 5$$

$$A = 2n^2d^2$$



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

| | |
|--|--------|
| 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 |

Elektro-
motor

15fach
20fach

8% Österr.
54%
Ackerland

90fach

3,9fach

| | |
|--|------------|
| Benötigte Jahresenergiemenge [PJ] | 881 |
| Windkraftanlagen | |
| Anzahl Windturbinen | 37 408 |
| Zu installierende Leistung [GW] | 127,2 |
| Flächenbedarf [km²] | 13 953 |
| Photovoltaik | |
| Zu installierende Leistung PV [GWp] | 244,8 |
| Flächenbedarf [km²] | 1432 |

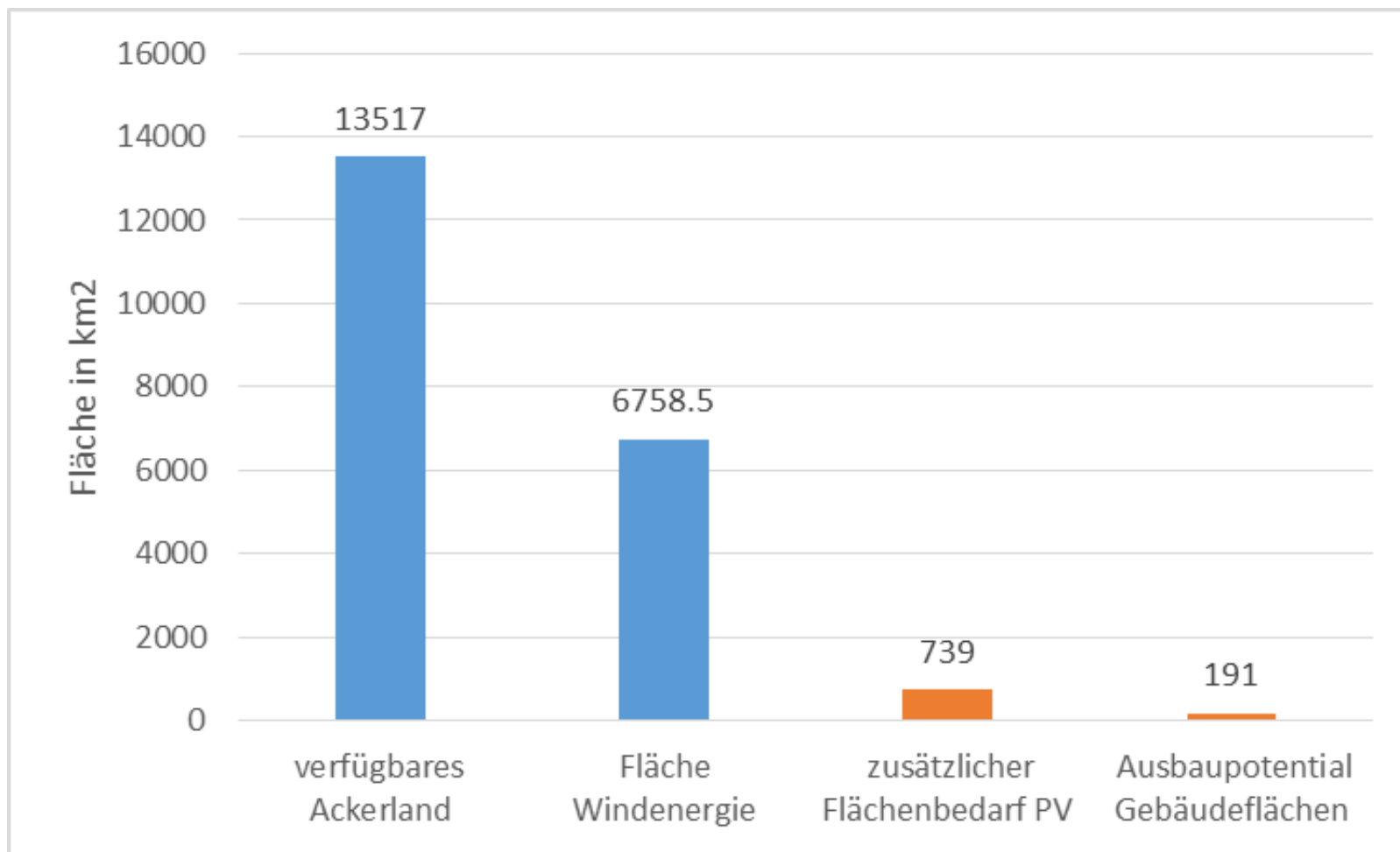
80 %
Elektrolyse

28fach
41fach

103%
Ackerland

180fach
7,5fach

Flächenbedarf bei Nutzung von 50% des Ackerlandes für Windenergie



| | |
|--|------------|
| Benötigte Jahresenergiemenge [PJ] | 554 |
| Windkraftanlagen | |
| Anzahl Windturbinen | 23 501 |
| Zu installierende Leistung [GW] | 79,9 |
| Flächenbedarf [km²] | 8 774 |
| Photovoltaik | |
| Zu installierende Leistung PV [GWp] | 153,8 |
| Flächenbedarf [km²] | 900 |

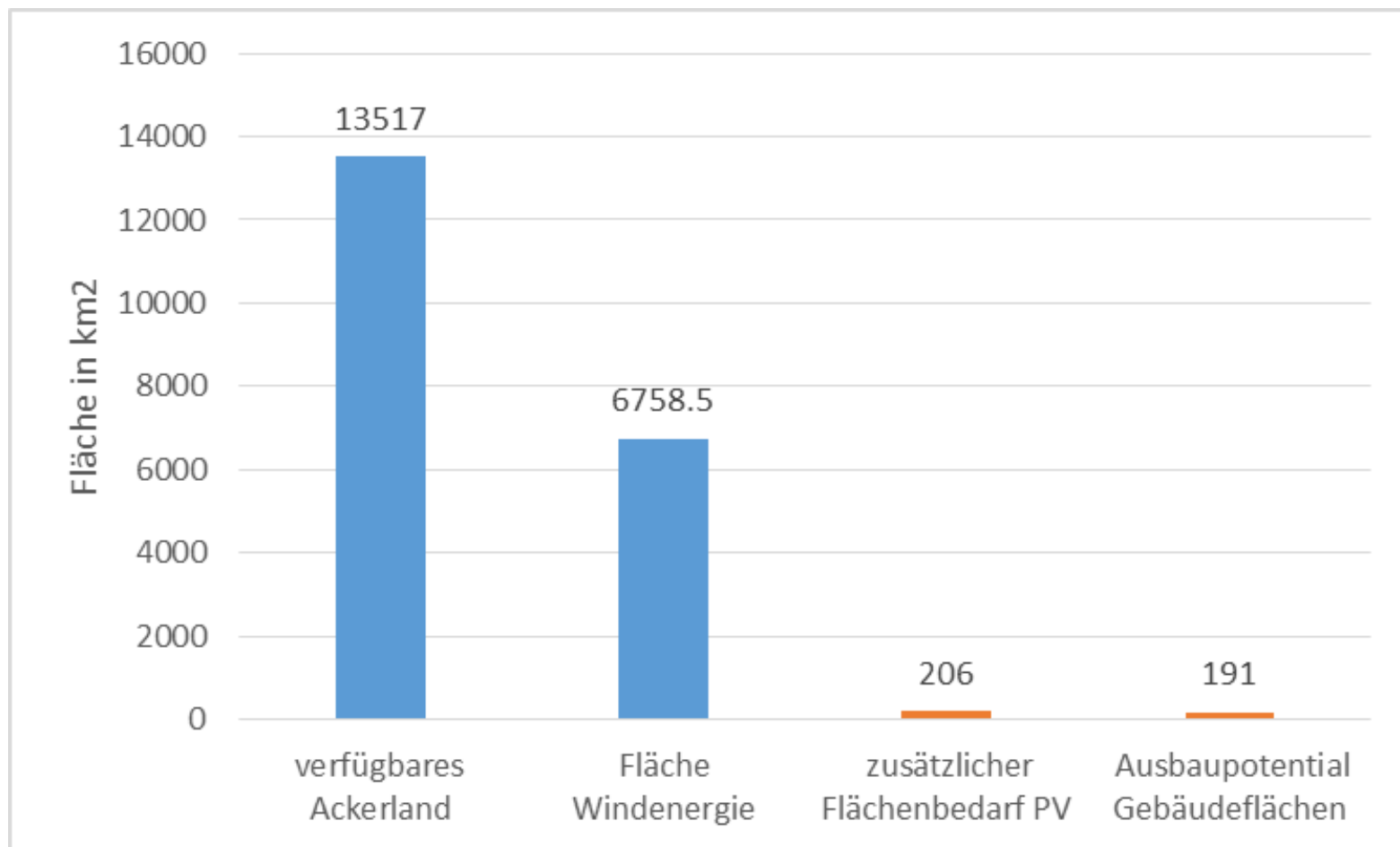
35 %
Elektrolyse

17,5fach
25fach

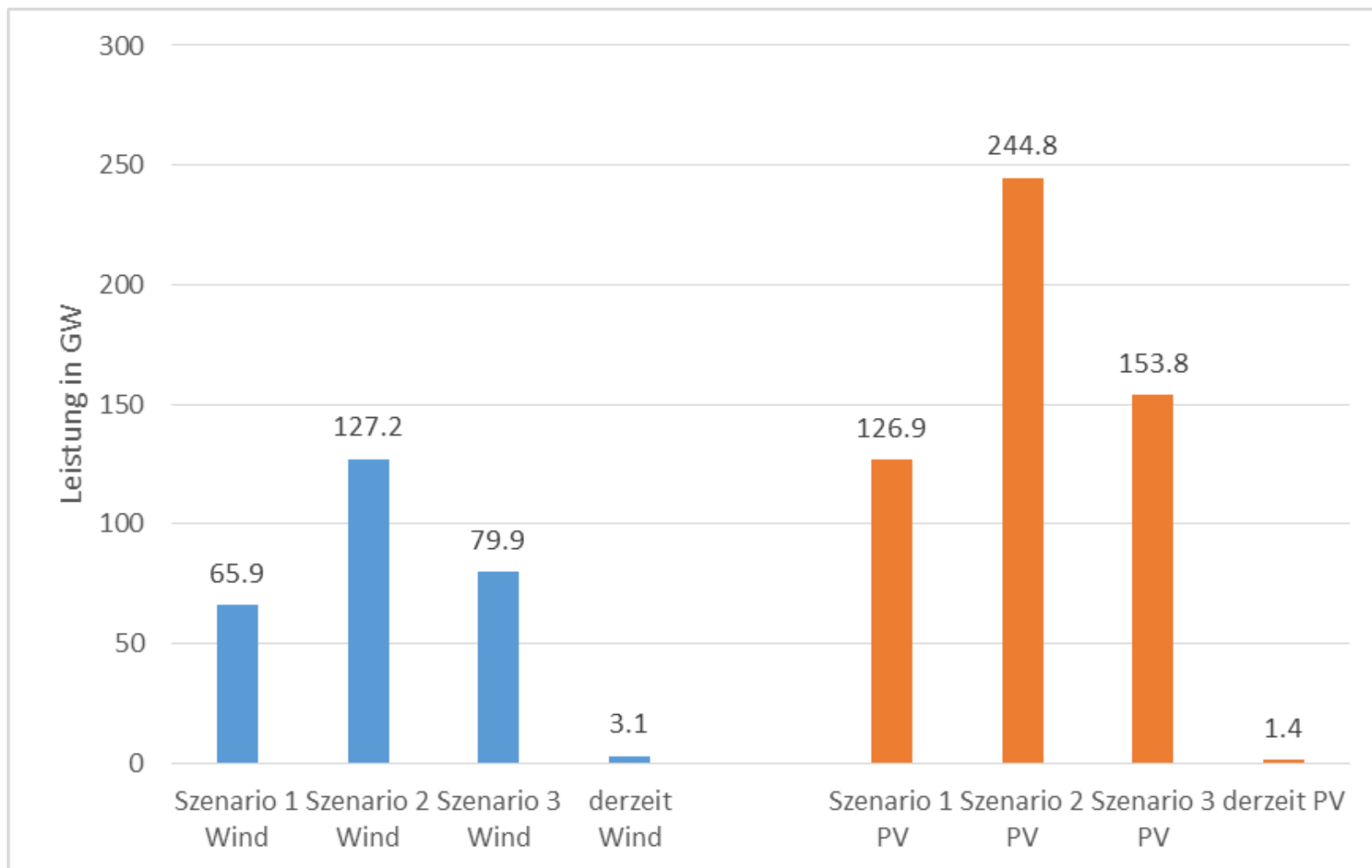
65%
Ackerland

110fach
4,7fach

Flächenbedarf bei Nutzung von 50% des Ackerlandes für Windenergie



Zu installierende bzw. installierte Leistung in GW



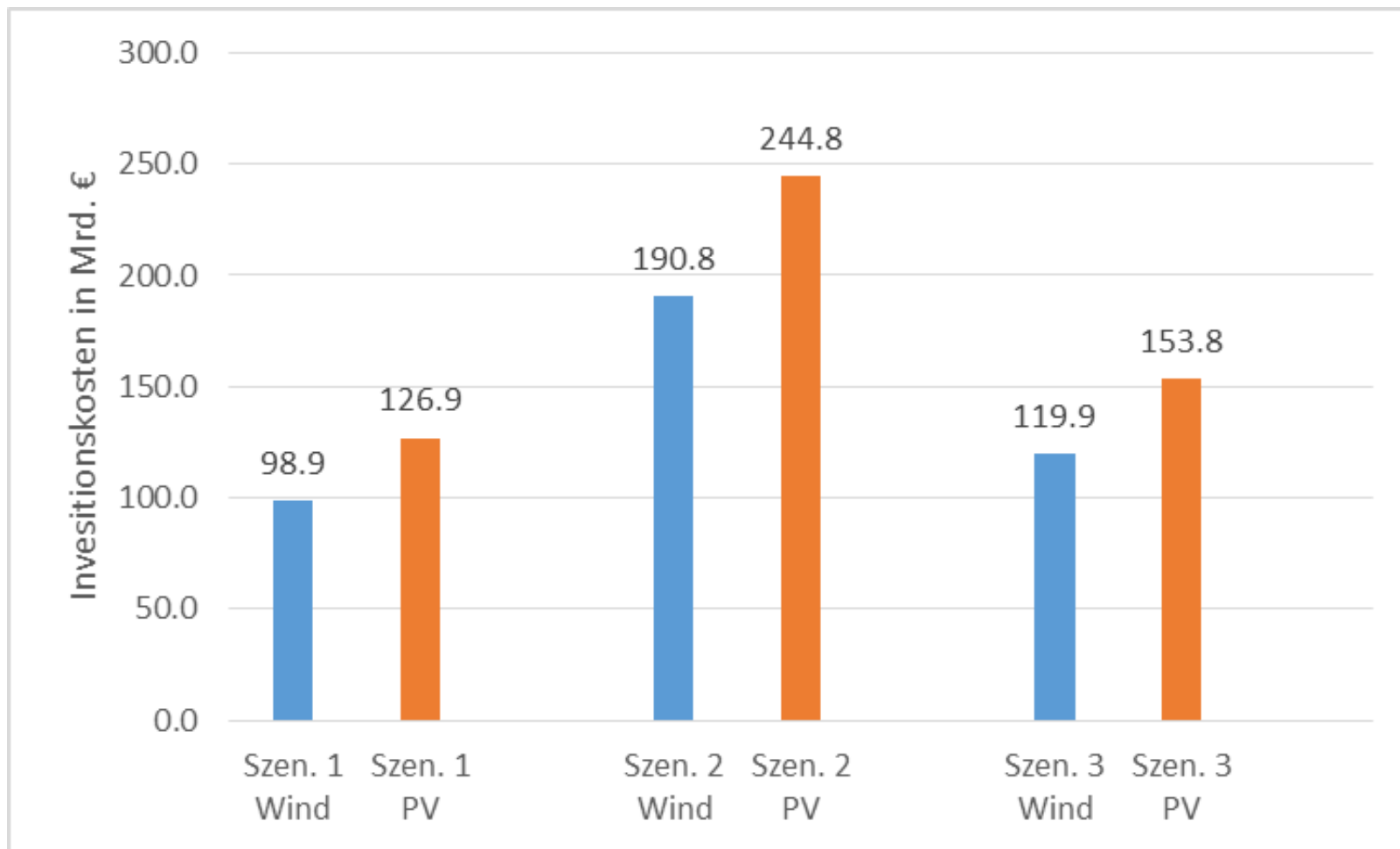
| | |
|---|---------------------|
| Windturbine | Siemens SWT-3.4-108 |
| Leistung [MW] | 3.4 |
| Spezifische Investitionskosten [€/kW] | 1500 |
| Photovoltaik | Hochleistungsmodul |
| Leistung je m ² [Wp/m ²] | 170 |
| Spezifische Investitionskosten [€/kWp] | 1000 |

- Wind: 2 Studien (D, A): 1520 – 1600 €/kW inkl. aller Nebenkosten
- PV: Studie D: 1200 €/kWp für Kleinanlagen, aber deutliche Reduktion bei steigender Gesamtleistung

BIP 2018: 386 Mrd. €



Szenario 3: ca. 1.8% / Jahr für 2020-2040



- **Was ist notwendig, wenn der bestehende Energiebedarf nur durch Wind- oder PV-Anlagen in Form von Strom bereitgestellt wird?**
- **Windkraft: 20-40fache der derzeit installierten Leistung**
- **PV: 90-180fache der derzeit installierten Leistung**
- **Flächenbedarf für Szenario III:
Wind: ca. 10% der Fläche Österreichs bzw. 65% des Ackerlandes
PV: 4,5fache der geeigneten Gebäudeflächen**
- **Klimaneutralität bis 2040 ist eine riesige Herausforderung**
- **Energieeinsparungen, Gebäudeisolierungen, Verhaltensänderungen, ... notwendig**
- **Evtl. Carbon Capture and Storage als Übergangstechnologie (Graz Cycle)**