



Certified Program

Energie Autarkie Coach

Biomethan / Biomasse / Wasserstoff / Power to Gas

DI Dr. Bernhard Mayr

EnviCare® Engineering GmbH

Ingenieurbüro für Verfahrenstechnik

Graz, Österreich

Gliederung

Teil 1: Einleitung und Biomassepotenziale

Teil 2: Rechtliche Grundlagen

Teil 3: Holzbiomasse und Holzvergasung

**Teil 4: Biogas, Klärgas, Deponiegas,
Biomethan**

Teil 5: Wasserstoff - Power to Gas

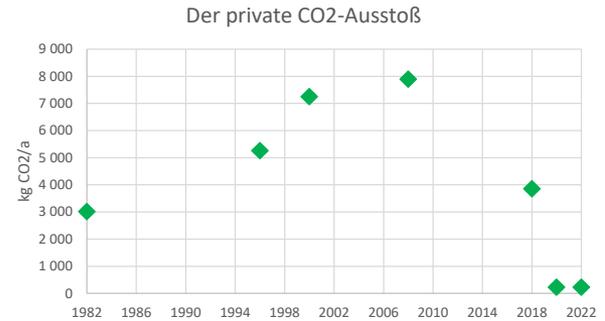
**Teil 6: Rechenbeispiel zur
Energieversorgung**

Zur Person

- ▶ Geboren am 5.12.1963 in Kirchdorf/OÖ
- ▶ Schule bis zur Matura ebendort
- ▶ 1982 – 1989: Studium Verfahrenstechnik in Graz
- ▶ 1990 – 1992: Doktorat Chemie/Biotechnologie
- ▶ 1992 – 1995: A.S.A. (heute: FCC)
Leitung Verfahrens- und Umwelttechnik
- ▶ 1996 Gründung des Ingenieurbüro EnviCare[®], Graz
- ▶ 2011: gerichtlich zertifizierter Sachverständiger

Zum persönlichen Fußabdruck

(ohne Urlaube und ohne Gewähr 😊)



| Jahr | Wohnen | Mobilität | CO ₂ [kg/a] |
|------|---|--|------------------------|
| 1982 | Studentenheimzimmer (Fernwärme aus Kohle) | 2CV – 15.000 km/a à 7,5 L/100km (Benzin) | 3.020 |
| 1996 | Wohnung zu 2. (Fernwärme aus Kohle) | Mercedes E - 20.000 km/a à 8,5 L/100km (Benzin) | 5.260 |
| 1999 | Haus zu 4. (Ölheizung, ungedämmt) | Ford Galaxy – 30.000 km/a à 7,2 L/100km (Diesel) | 7.250 |
| 2008 | Haus zu 4. (therm. saniert, therm. Solar- und Holzvergaserheizung) | Renault Espace – 40.000 km/a à 7,8 L/100km (Diesel) | 7.900 |
| 2018 | Haus zu 4., sonst ident, aber nun PV mit 3.200 kWh + 100% Ökostrom | Toyota Prius – 30.000 km/a à 5,5 L/100km (Benzin) | 3.860 |
| 2020 | Haus zu 2., sonst ident, PV auf 4.200 kWh/a erweitert, E-Auto lädt zu 95% zu Hause, | Tesla 3 - 17.000 km/a | 230 |
| 2022 | 100% Ökostrom | Tesla 3 - 10.000 km/a | 0 |

EnviCare® - Referenzen Allgemein, Auswahl

| | | |
|-------------------------|---|-----------|
| AWV Liezen | mechanisch-biologische Abfallbehandlungsanlage | 1997-2009 |
| Gemeinde St. Peter o.J. | 1. Österr. Kommunale Kläranlage mit Membrantechnik, 1.500 EGW, Beratung | 1998-2022 |



EnviCare® - Referenzen Allgemein, Auswahl

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| Saubermacher | MBR-Abwasserreinigung für Abfallbehandlung; F+E, Engineering, IBN | 2015-2018 |
| AWV Knittelfeld | Co-Fermentation und solare Klärschlamm-trocknung, Behördenprojekt – Inbetriebnahme, lfd. Beratung | 2006-2012 |



EnviCare® - Referenzen Allgemein, Auswahl

| | | |
|--------------------|---|---------------|
| LWG GmbH | BGA St. Veit/Glan 1 MW Behördenprojekt, Bauaufsicht | 2002– 2005 |
| Biopower | BGA Retz/Ziersdorf: 2 * 3 * 500 kW, Behördenprojekt - Inbetriebnahme | 2005– 2008 |
| Energie Steiermark | Renewable Gasfield Gabersdorf P2G – Wasserstoff + Methanisierung | 2021– lfd. |

Hier entsteht die
größte Biogasanlage Europas
auf Basis von nachwachsenden Rohstoffen.

Diese Biogasanlage wird ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen jährlich fast 8.000.000 kWh Ökostrom produzieren und damit ca. 4.000 Vier-Personen-Haushalte versorgen. Gleichzeitig reduziert sie die Emission des klimaschädlichen Treibhausgases Kohlendioxid um 1.800 t/a. Wirtschaftliche Grundlage dafür ist das neue Ökostromgesetz.

Die NAWAROS GmbH leistet dadurch einen wichtigen Beitrag für die politischen Klimaziele Österreichs.

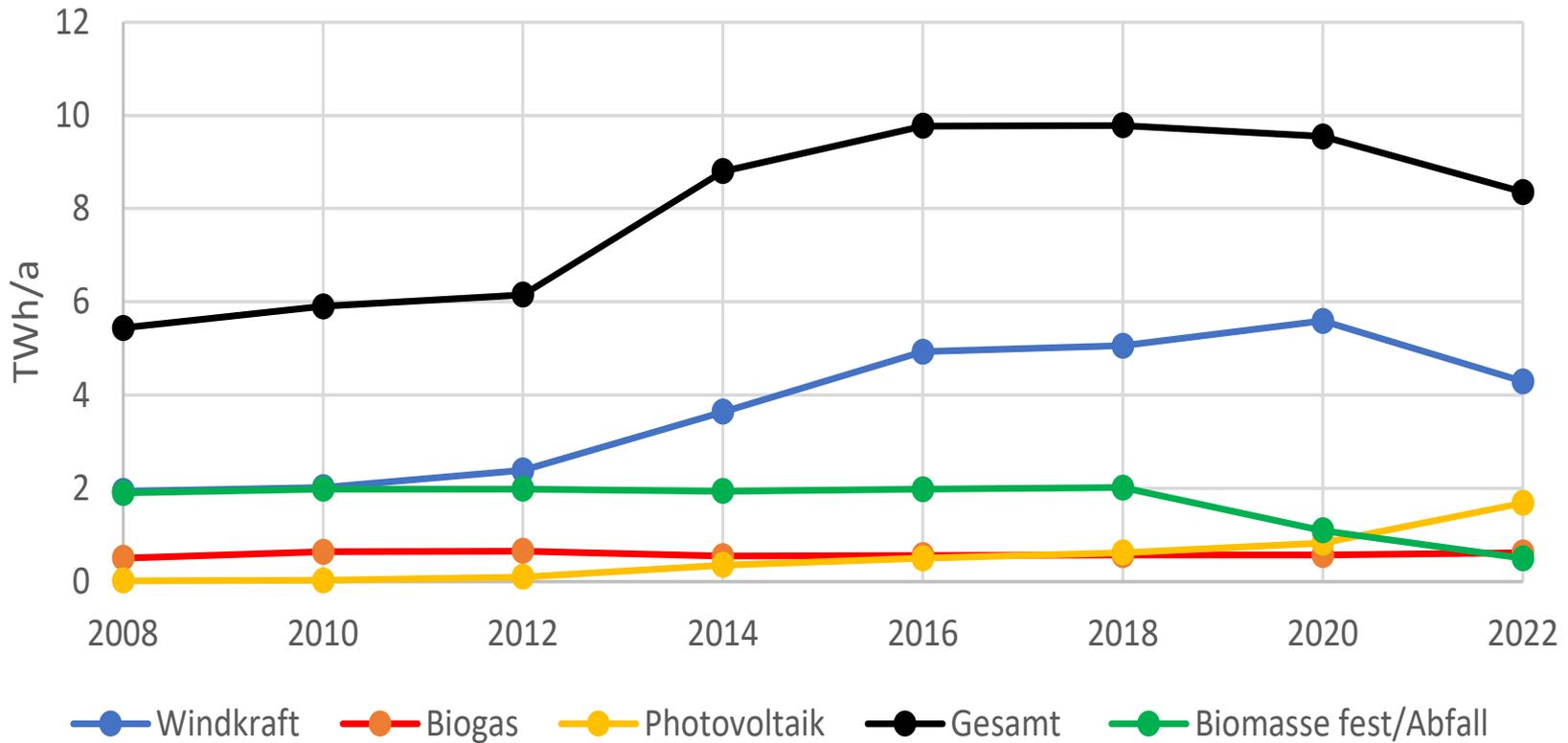
BAUHERR:
NAWAROS Bioenergie und Rohstoffproduktions GmbH
A-9300 St. Veit/Glan
Tel +43 4212 22 95-0, Fax: -54
Eine Tochter der HYPO ALPE-ADRIA-BANK und der Wärmebetriebe Gesellschaft mbH

PLANUNG, BAUAUFSICHT:
Ingenieurbüro für Verfahrenstechnik
DI Dr. techn. Bernhard S. Mayr
A-8010 Graz
Tel +43-316-38 10 38-0 • Fax -9
www.envicare.at



Traum und Wirklichkeit

Ökostromerzeugung Österreich



Quellen: www.energyagency.at und www.oem-ag.at

BIOMASSE IST TEIL DER LÖSUNG!

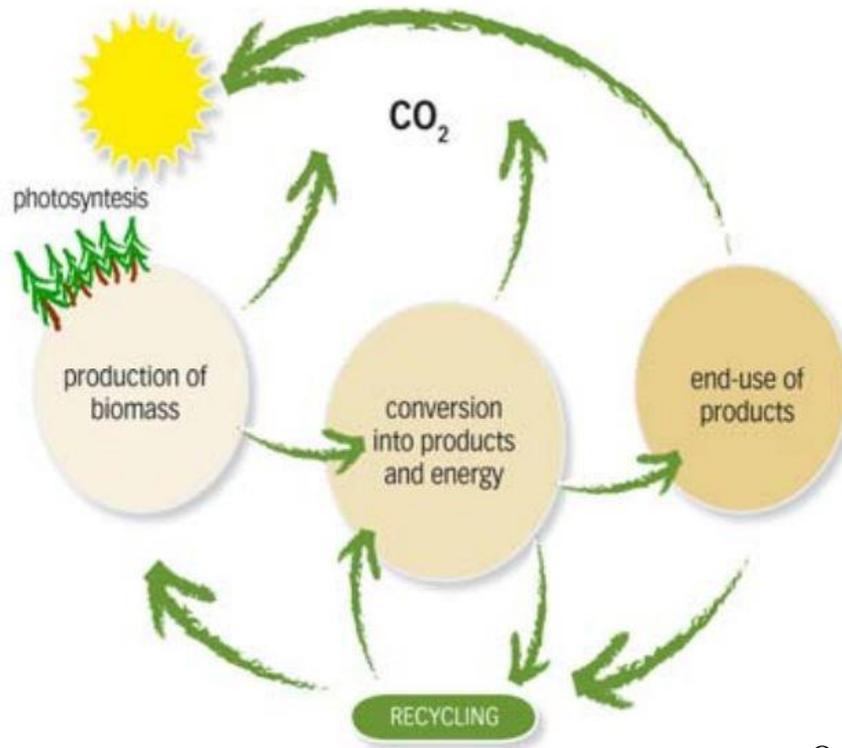
Begriffsklärung

„Als Biomasse wird die Stoffmasse von Lebewesen oder deren Körperteile bezeichnet.“

- Wikipedia, 14.10.2019

Teil 1: Biomassepotenziale

Der „unendliche“ Biomassekreislauf



Quelle: leider nicht mehr bekannt

Als Basis: der Gesamtbiomasseverbrauch in Österreich

(Quelle: Österreichische Energieagentur, 2016)

- ▶ Importe: 23,5 Mio to
- ▶ Ackerfrüchte: 29,8 Mio to
- ▶ Futtermittel für Tierhaltung: 68,5 Mio to
- ▶ Lebensmittelindustrie: 11,2 Mio to
- ▶ Kraftstoffe: 2,1 Mio to
- ▶ Papier und Zellstoffindustrie: 10,5 Mio to
- ▶ Energetische Nutzung: 17,1 Mio to
- ▶ Exporte: 20,4 Mio to

.... und der Waldbestand

(Quelle: Österreichische Energieagentur)

- ▶ Vorrat: 1.135 Mio FM
- ▶ Holzzuwachs: 30,4 Mio FM

FM = die Maßeinheit für einen Kubikmeter feste Holzmasse OHNE Luftzwischenräume, Dichte ca. 700 kg/m³

Teil 1: Biomassepotenziale

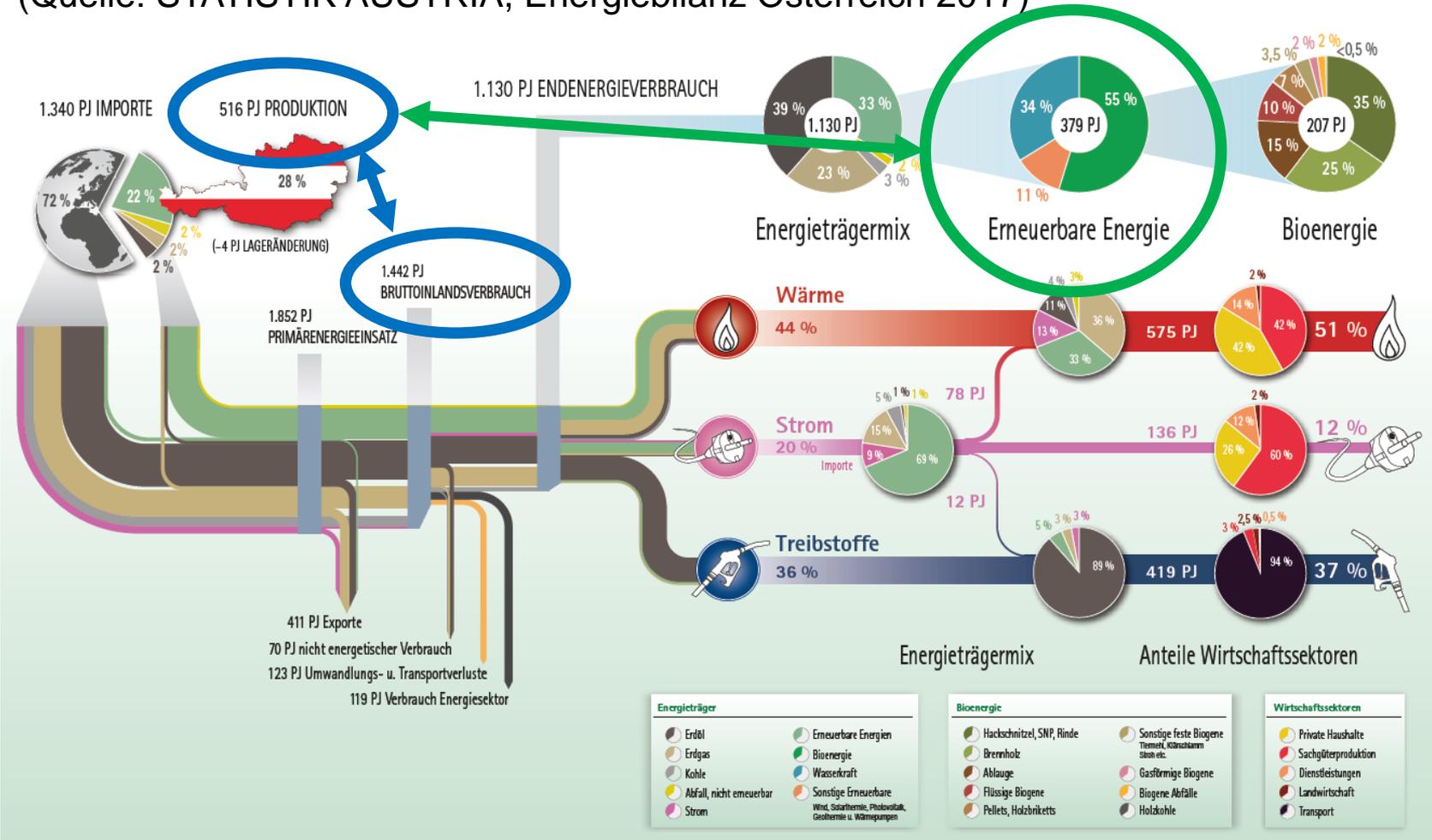
Als Basis: der Gesamtenergieverbrauch in Österreich (Quelle: STATISTIK AUSTRIA, Energiestatistik 2013)

| | | |
|------------------------------|--------------------|--------------|
| ▶ Umwandlungsverluste: | 90.166 GWh | 22,8 % |
| ▶ Elektrischer Strom u.ä.: | 87.290 GWh | 22,1% |
| ▶ Wärme: | 116.786 GWh | 29,6% |
| ▶ <u>Verkehr/Treibstoff:</u> | <u>100.421 GWh</u> | <u>25,4%</u> |
| ▶ <u>Summe:</u> | <u>394.663 GWh</u> | |
| | = 1.421 PJ | |

(zum Vergleich - 2021: 1.426 PJ)

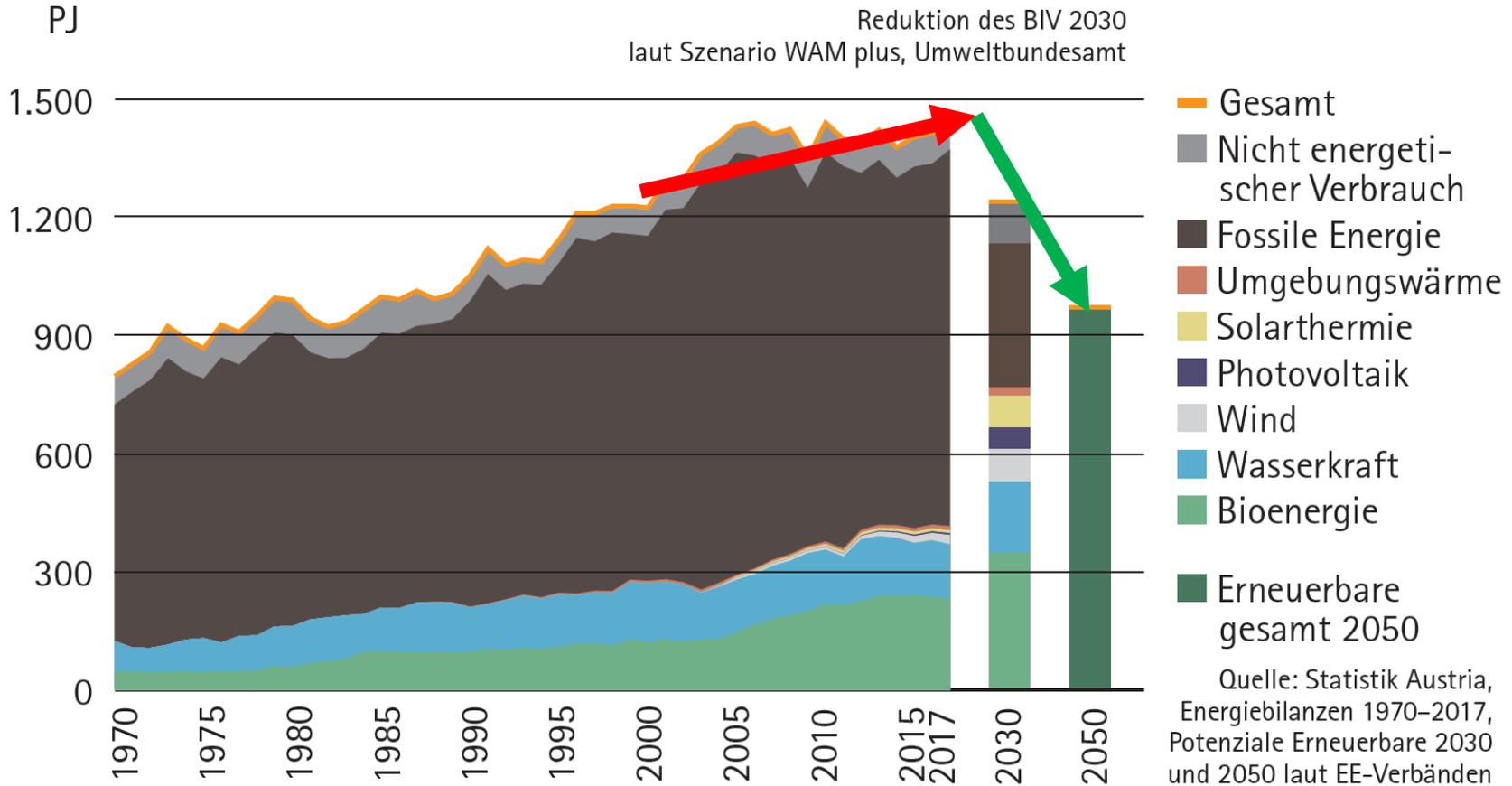
Dargestellt in Form eines Sankey Diagramms

(Quelle: STATISTIK AUSTRIA, Energiebilanz Österreich 2017)



$$1 \text{ PJ} / 3,6 = 1 \text{ TWh}$$

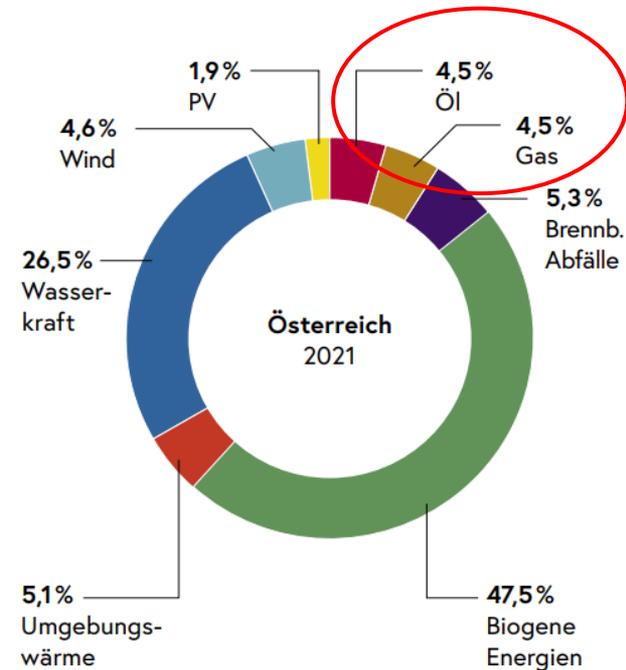
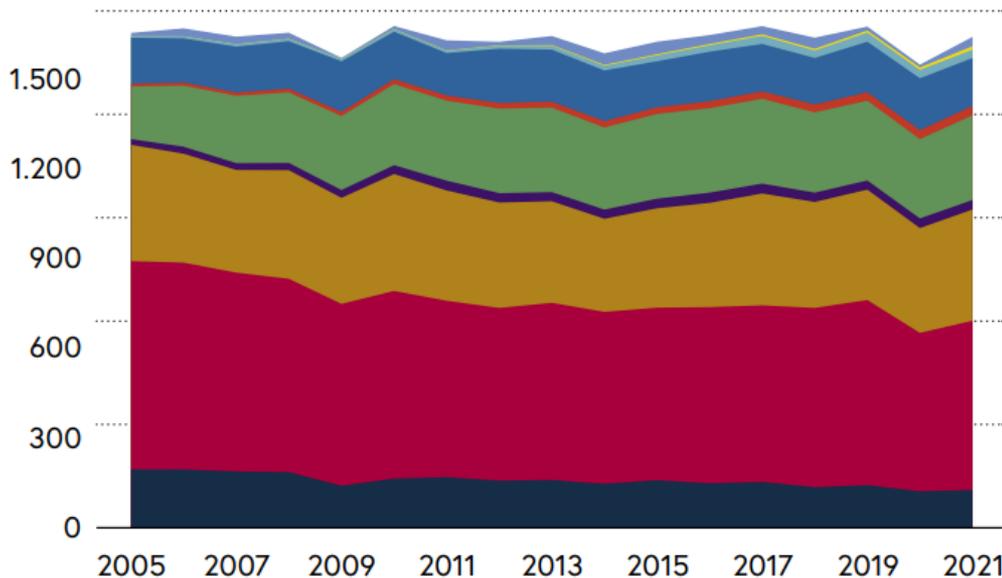
Entwicklung des Energieinlandsverbrauchs



Als Basis: der Gesamtenergieverbrauch in Österreich - 1.426,4 PJ = 396,2 TWh

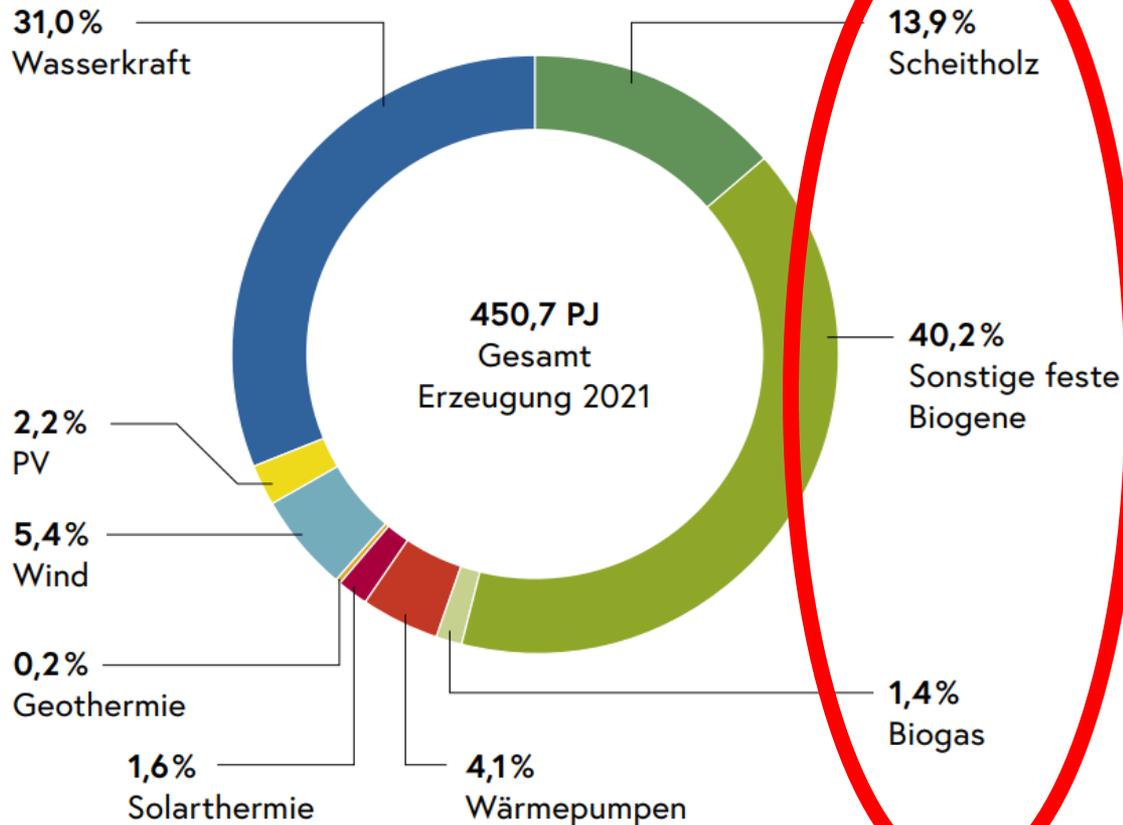
(Quelle: Energie in Österreich 2022, BMK)

- Kohle ■ Öl ■ Gas ■ Brennbare Abfälle ■ Biogene Energien
- Umgeb.wärme ■ Wasserkraft ■ Wind ■ PV ■ Nettostromimporte



Die Erzeugung der erneuerbaren Energie gliedert sich wie folgt

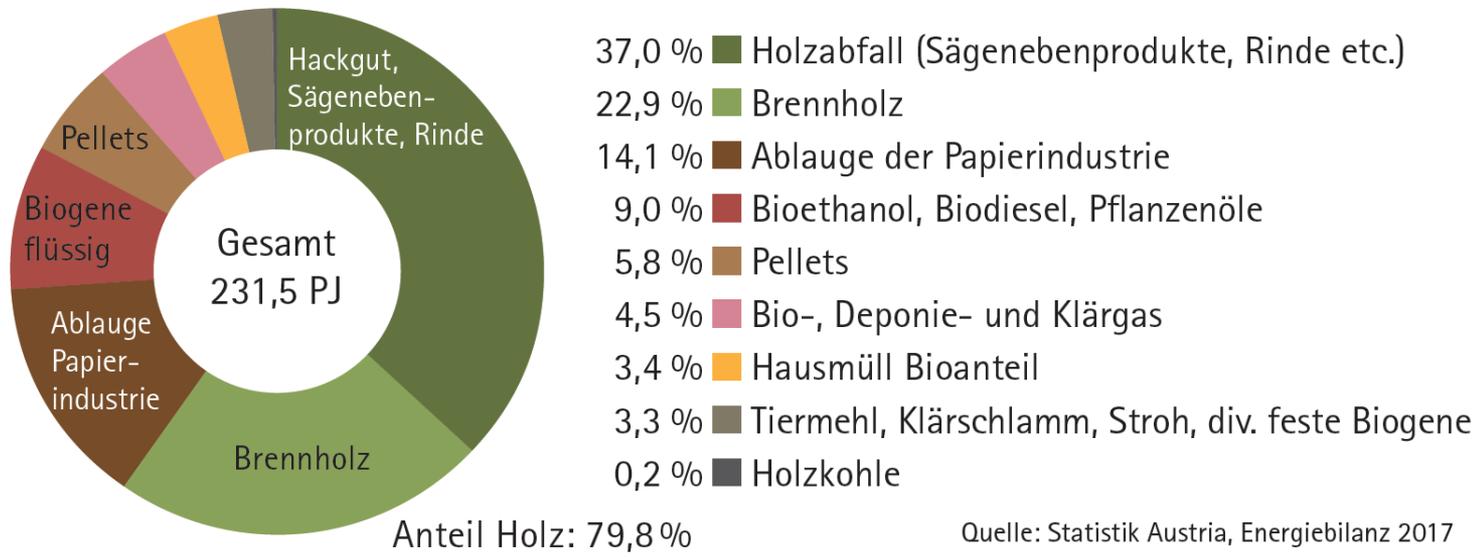
(Quelle: Energie in Österreich 2022, BMK)



2021:

Die ca. 56% Bioenergie an der erneuerbaren Energie (oder ca. 16% an der Gesamtenergie) gliedert sich wie folgt

(Quelle: STATISTIK AUSTRIA, Energiebilanz 2017)



2013: Gesamt 244,8 PJ (Anteil Holz: 81,5%)

Biogaspotenzial aus Abfall (Quelle: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017)

Getrennt gesammelte biogene Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen

Definition und Herkunft

Getrennt gesammelte biogene Abfälle bestehen aus Pflanzenresten und natürlichen, organischen Abfällen aus Hausgärten, wie beispielsweise Grasschnitt, Laub, Blumen, Fallobst bzw. sperrige Grünabfälle wie Strauch- und Baumschnitt, organischen Küchenabfällen wie insbesondere solche aus der Zubereitung und dem Verzehr von Nahrungsmitteln (Speisereste).

| | | |
|-----------------------------------|-----------|------------|
| Gesamtaufkommen in Tonnen (2015): | 935.900 t | 108 kg/EW |
| davon vergärbare (Biotonne): | 508.100 t | 58,6 kg/EW |

| | | |
|---------------------|------------------------|--------------|
| Biogasertrag (KTBL) | 40% TS (darin 50% oTS) | 615 l/kg oTS |
|---------------------|------------------------|--------------|

| | | |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Biogas-/Energiepotenzial | 7.130 Nm ³ Biogas/h | 42,9 MW |
| | | 375 GWh/a |
| | | (1 ‰ des österr. Verbrauchs) |

Biogaspotenzial aus Abfall (Quelle: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017)

Küchen- und Speiseabfälle

Definition und Herkunft

Diese Abfälle stammen aus Betrieben der Gastronomie, aus der Beherbergung, aus Catering-Einrichtungen sowie Großküchen von Schulen, Krankenhäusern, Kasernen, Heimen, etc.

| | | |
|----------------------------|--------------------------------|--|
| Gesamtaufkommen in Tonnen: | 117.700 t | 13,6 kg/EW |
| Biogasertrag (KTBL) | 16% TS (darin 87% oTS) | 680 l/kg oTS |
| Biogas-/Energiepotenzial | 1.270 Nm ³ Biogas/h | 7,6 MW |
| | | 67 GWh/a (0,2 ‰ des österr. Verbrauchs) |

Biogaspotenzial aus Abfall (Quelle: Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017)

Tierische Nebenprodukte

Definition und Herkunft

Tierische Nebenprodukte (TNP) sind ganze Tierkörper, Tierkörperteile oder Erzeugnisse tierischen Ursprungs, die nicht für den menschlichen Verzehr bestimmt sind.

TNP stammen aus >> der Milchverarbeitung; >> der Schlachtung; >> der Fleischverarbeitung; >> dem Lebensmittel-Einzelhandel (ehemalige Lebensmittel tierischen Ursprungs); >> Restaurants, Catering-Einrichtungen sowie Groß- und Haushaltsküchen (Küchen- und Speiseabfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs); >> der Landwirtschaft.

| | | |
|---|-----------|-----------|
| Vergärbar in Tonnen (Kat. 2 + 3): (ohne Gülle, Mist und Speisereste) | 892.700 t | 103 kg/EW |
|---|-----------|-----------|

| | | |
|---------------------------------|------------------|--------------|
| Biogasertrag (eigene Schätzung) | 15% TS (90% oTS) | 287 l/kg oTS |
|---------------------------------|------------------|--------------|

| | | |
|-----------------|--------------------------------|----------------------|
| Biogaspotenzial | 3.950 Nm ³ Biogas/h | 23,7 MW 208 GWh/a |
| | (0,5 ‰ des österr. Verbrauchs) | |

Biogaspotenzial aus Abwasser (Quelle: BAWP 2017)

Klärschlämme

Definition und Herkunft

Klärschlamm ist ein Gemisch aus Wasser und Feststoffen, das durch die Reinigung von Abwässern entsteht.

| | | |
|---------------------------------|------------------------------------|--|
| Kommunale Klärschlämme: | 234.900 t TS | 27,1 kg TS/EW |
| Industrielle Klärschlämme: | 178.000 t TS | 21,0 kg TS/EW |
| Biogasertrag (eigene Schätzung) | 70% oTS | 500 l/kg oTS |
| Energiepotenzial | 11.500 Nm ³ Biomethan/h | 115 MW 1.000 GWh/a (2,6‰ des österr. Verbrauchs) |

Biogaspotenzial aus nachwachsenden Rohstoffen

NaWaRos sind Energiepflanzen:

- ▶ hohe Biomasseerträge mit hoher Gasausbeute
- ▶ gute Lager- bzw. Silierfähigkeit
- ▶ schnelle und weitgehende Vergärbarkeit
- ▶ Beispiele:
 - Mais
 - Sonnenblumen
 - Getreide
 - Zuckerhirse
 - Sudangras, Triticale
 - Zuckerrüben
 - Grünland

Biogaspotenzial aus Nawaros

Laut AMON [2006] können ca. 20% (5-30%) der landwirtschaftlichen Fläche (3,26 Mio. Hektar) zur Energiepflanzenproduktion herangezogen werden.

In einem Fruchtfolgesysteme, das gleichzeitig der Nahrungs-, Futtermittel-, und Energieerzeugung dient, kann ein

Methanertrag von 3.500 m³ CH₄/ha bzw. 35.000 kWh/ha

erzielt werden.

Es können neben den Ackerflächen auch 20% des Wirtschaftsgrünlandes und 40% des extensiven Grünlandes für die Biogaserzeugung eingesetzt werden. Nach diesem Ansatz könnten mittels nachwachsender Rohstoffe

bis zu 4,8 Mrd. m³ Erdgas/a bzw. 48.000 GWh/a
= 12,2% des Gesamtenergiebedarfs oder 59% des Erdgasbedarfs

substituiert werden.

Biogaspotenzial aus Nawaros

Heute werden etwa 1,1% oder ca. 40.000 ha zur Energiepflanzenproduktion verwendet. Hierunter fallen Flächen, die dezidiert für den Anbau von Kulturen zur Erzeugung von Bioenergie ausgewiesen sind.

Der Großteil dieser Flächen wird zur Biogasproduktion genutzt, der Rest zur Ölsaatenproduktion (Ölsaatenanbau auf Stilllegungsflächen) und zum Anbau von Biomasspflanzen zur Wärmegewinnung (zum Beispiel Miscanthus).

Aktuell werden Nawaros zusammen mit anderen Substraten in etwa 250 Biogasanlagen (installierte elektrische Leistung - ca. 80 MW) verarbeitet. Es werden also

0,16 Mrd. m³ Erdgas/a (~ 2% des Erdgasverbrauchs) **oder**
3,4% des Potenzials

erzeugt.

Zusätzlich werden heute etwa 137 GWh/a (entspricht ca. 11.400 MWh/Monat oder ca. 1.550 Nm³/h) Biomethan ins Erdgasnetz eingespeist (~ 0,2% des Erdgasverbrauchs).

Biogaspotenzial aus der Nutztierhaltung

| | 100 Milch- kühe | 100 Mast- rinder | 100 Mast- schweine | 100 Zucht- schweine | 1 Hektar Grün- land | 1 Hektar Silomais (18 t TS) | 1 Hektar Luzerne (14 t TS) |
|---------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| m ³ Biogas/Tag | 210 | 60 | 15 | 20 | 14 | 32 | 20 |
| kW _{el} | 17 | 5,3 | 1,2 | 1,9 | 1,2 | 2,5 | 1,5 |
| kWh _{el} /Jahr | 150.000 | 46.000 | 10.500 | 16.500 | 10.000 | 21.000 | 13.500 |

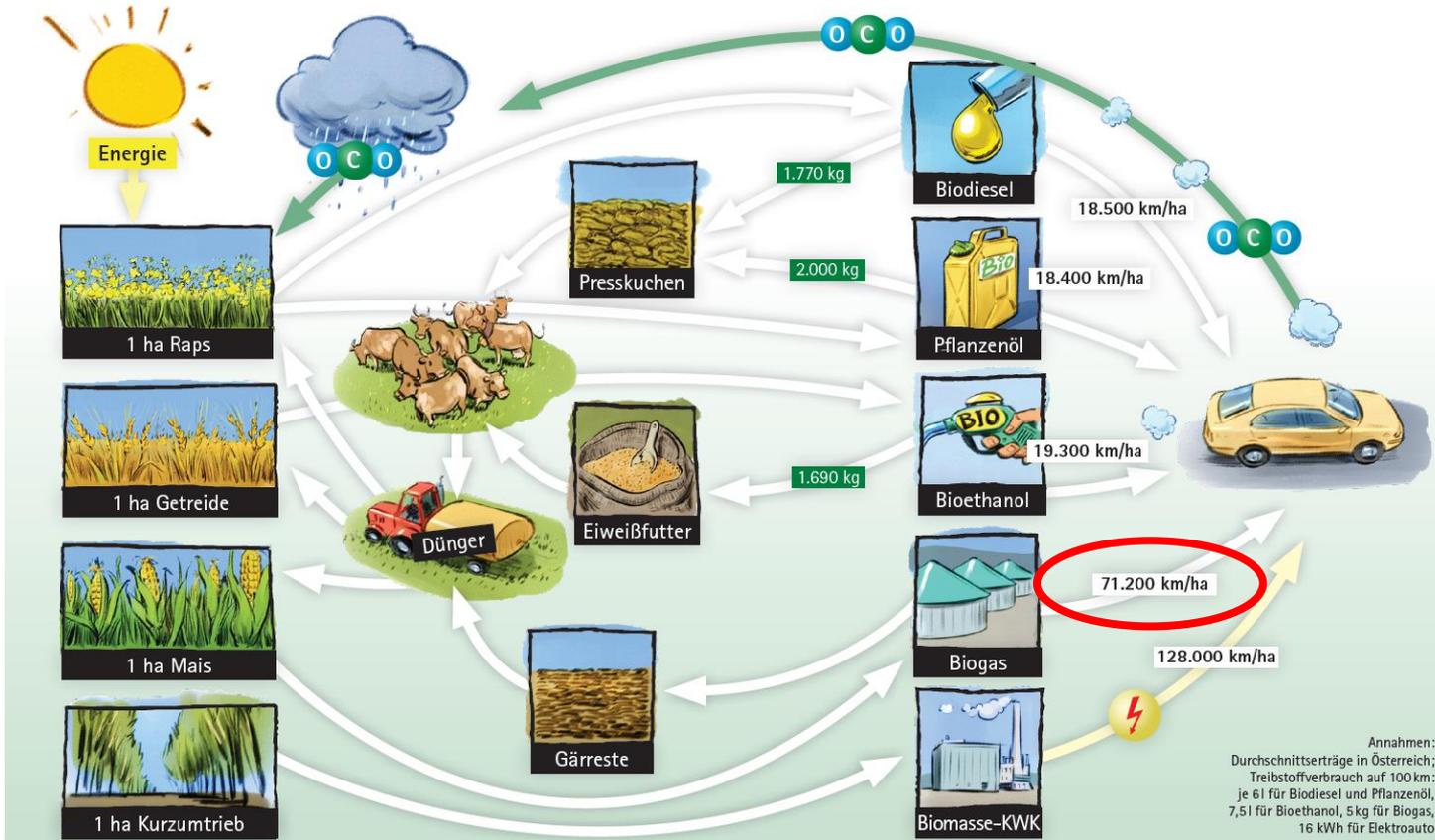
Durchschnittlicher Stromverbrauch je Haushalt 2012: 4.187 kWh

Quelle: Arge Kompost & Biogas,
Statistik Austria

Biogaspotenzial aus der Industrie

- ▶ Proteinreiche Abwässer
 - Brauerei, Molkerei
- ▶ Kohlenstoffreiche Abwässer
 - Zuckerindustrie, Schlempe, Biodiesel, Bioethanol
- ▶ Fett- u. proteinreiche Rückstände
 - Schlachtabfälle, Fettabscheiderrückstände

Potenzial der Biotreibstoffe



- ▶ oder umgelegt auf den österr. Bedarf: 560.000 ha (BM-KWK)
 (Ackerfläche: 1,35 Mio ha, ges. Nutzfläche: 2,73 Mio ha)

Wie weit fährt man zukünftig mit erneuerbarer Energie – bezogen auf 1 ha (10.000 m²) Nutzfläche?

- Als Vergleichsbasis:
...mit landwirtschaftlichen Treibstoffen max. 128.000 km
- E-Auto mit PV-Strom:
 - 10.000 m² Photovoltaik erzeugt etwa eine Leistung von 2.200 kW und damit jährlich eine Arbeit von 2.300.000 kWh/a (1.050 Volllaststunden)
 - Ein Mittelklasse E-Auto benötigt etwa 18 kWh/100 km
 - Damit kann ein E-Auto eine Strecke von 2.300.000 kWh / 0,18 kWh/km ~ 12.800.000 km/a bewältigen.
 - Das ist also 100 mal so weit, wie dies mit den am besten geeigneten landwirtschaftlichen Treibstoffen möglich ist!
- benötigt 5.600 ha
(Ackerfläche in Ö: 1,35 Mio ha, ges. Nutzfläche: 2,73 Mio ha;
Fahrleistung 2017: 71,5 Mrd. PKW-Km laut

<https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/20181206-autoverkehr-oesterreich-30-jahre>)

Wie weit fährt man zukünftig mit Wasserstoff – bezogen auf 1 ha Nutzfläche?

- Eine moderne PEM-Elektrolyse wandelt PV-Strom mit einem Wirkungsgrad von etwa 60% in Wasserstoff um. Dann sind noch mind. 10% für Druck- und Abtankenergien abzuziehen:
 - PV-Stromerzeugung: 1.760.000 kWh/a
 - Energie im Wasserstoff nach der Elektrolyse: 1.056.000 kWh/h
 - Wasserstoffenergie im Auto (Wirkungsgrad ca. 80% wegen Kompression und Verlusten): 850.000 kWh oder 25.600 kg H₂
 - Im H₂-Auto wird Wasserstoff optimal in einer Niedertemperatur-Brennstoffzelle umgesetzt. Diese weist einen Wirkungsgrad bis zu 60% auf.
 - Der Verbrauch eines Brennstoffzellen-KfZ liegt bei ca. 1 kg/100 km (Wasserstoffverbrennungsmotore für KfZ sind nicht mehr Stand der Technik)
- Damit ergibt sich, dass ein H₂-Auto eine Strecke von 25.600 kg/ha / 0,01 kg/km = 2.560.000 km/(ha.a) bewältigen kann
- benötigt 28.000 ha

Wie weit würde man mit E-Fuels in Verbrennungsmotoren fahren – bezogen auf 1 ha Nutzfläche?

- Zahlreiche Wirkungsgradverluste sind zu berücksichtigen:
 - PV-Stromerzeugung: 1.760.000 kWh/a
 - Energie im Wasserstoff nach der Elektrolyse: 1.056.000 kWh/h
 - Wasserstoffenergie, die der Methanisierung zugeführt wird (wegen Kompression und Verlusten): 950.000 kWh
 - Wirkungsgrad der Methanisierung, falls eine sehr gute und hoch konzentrierte CO₂-Quelle zur Verfügung steht: max. 80%
 - Energie, die letztlich im E-Fuel zur Verfügung steht: 760.000 kWh
 - Der Energieinhalt E-Fuels liegt bei etwa 10 kWh/kg
 - Menge an produzierten E-Fuels: 76.000 kg
 - Ein E-Fuel-Verbrenner-KfZ benötigt etwa 0,06 kg/km (7 L/100 km)
 - Das E-Fuel-Auto kann daher eine Strecke von 1.270.000 km/a bewältigen
- benötigt 56.000 ha
- E-Fuels fahren zwar 10 mal so weit wie dies mit den am besten geeigneten biobasierten Treibstoffen möglich ist, aber erreichen nur 10% der Fahrleistung eines E-Autos!

Potenzial der Zukunft: Algen

- ▶ CO₂-Fixierung aus Kraftwerkabgasen
- ▶ Erzeugung von Treibstoffen
- ▶ Wasserstoffproduktion
- ▶ Nahrungsmittel (hohe Mineralstoffanteile)



Literaturquellen

- ▶ www.biomasseverband.at
- ▶ Seite „Biomasse“. In: Wikipedia, URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Biomasse> (24.05.2018)
- ▶ <https://www.bmlfuw.gv.at/land/produktion-maerkte/pflanzliche-produktion/getreide/Getreide.html> (8.11.2016)
- ▶ B. Mayr et. al: Renewable Gasfield – A holistic power-to-gas approach with PEM electrolysis and catalytic methanation, 2nd INTERNATIONAL SUSTAINABLE ENERGY CONFERENCE, Graz, 2022
- ▶ Statistik Austria (<http://www.statistik.at>)
- ▶ Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017, nicht mehr aktuell! (https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/abfall/aws/bundes_awp/bawp2023.html)
- ▶ <https://www.biomethanregister.at/de/statistik/2022>
- ▶ Energie_in_OE2022_UA.pdf (BMK)

**Thank you for
your**

get your information @

Attention!

T: 0316 381038

office@envicare.at

www.envicare.at