

München // 15. Juni 2023

Sinnvoller Einsatz von Wasserstoff im Verkehr

[Dr.-Ing. Simon Herzog \(LinkedIn\)](#)
herzog@unternehmertum.de

BY
UNTER
NEHMER
TUM



Munich
Urban
Colab

Frage: Wie weit käme ein elektrischer Airbus?

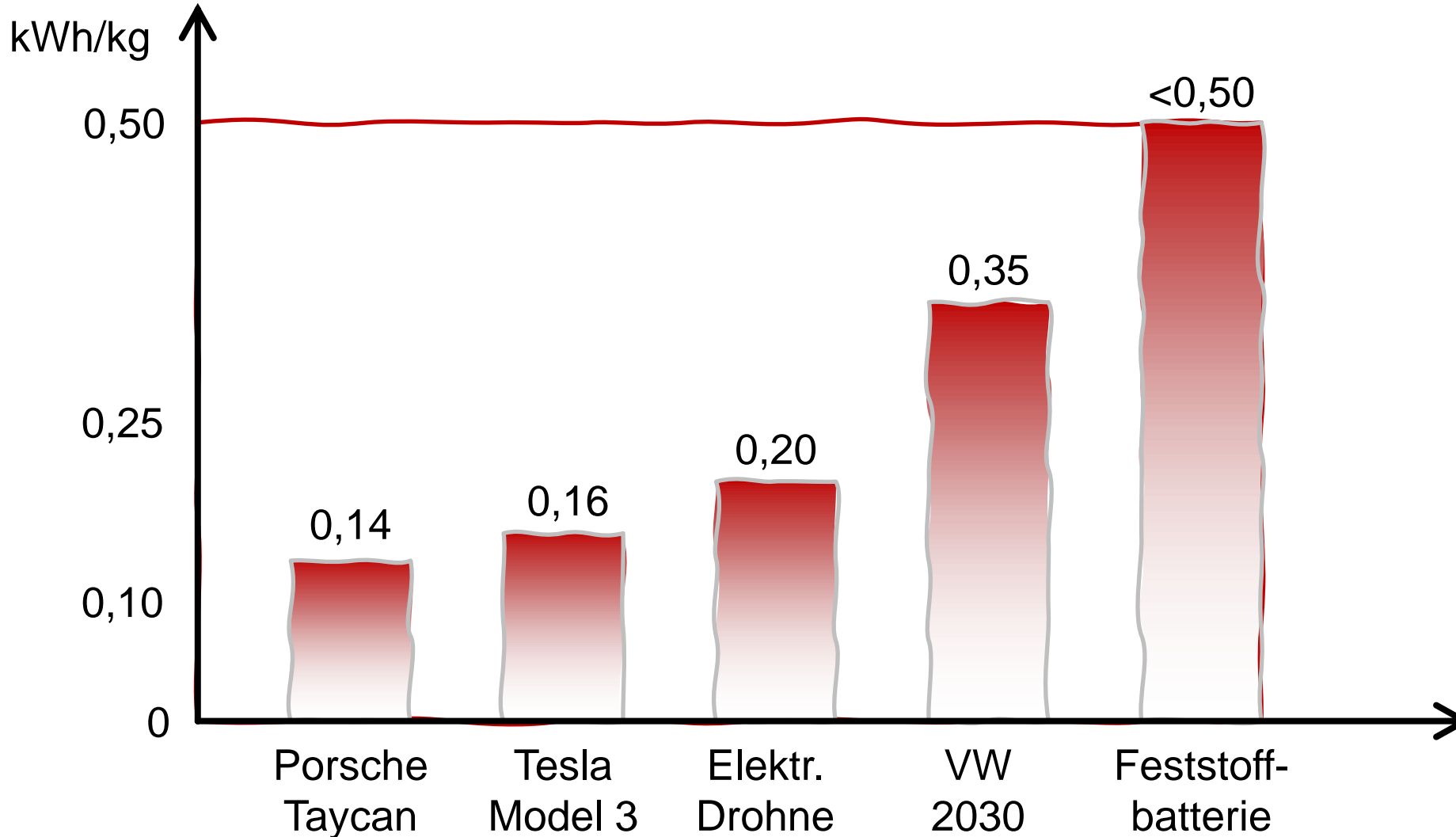


*mit der besten
Batterie des
Jahres 2030?*

Energiedichte von Batterien

Gravimetrisch (bezogen auf das Gewicht)

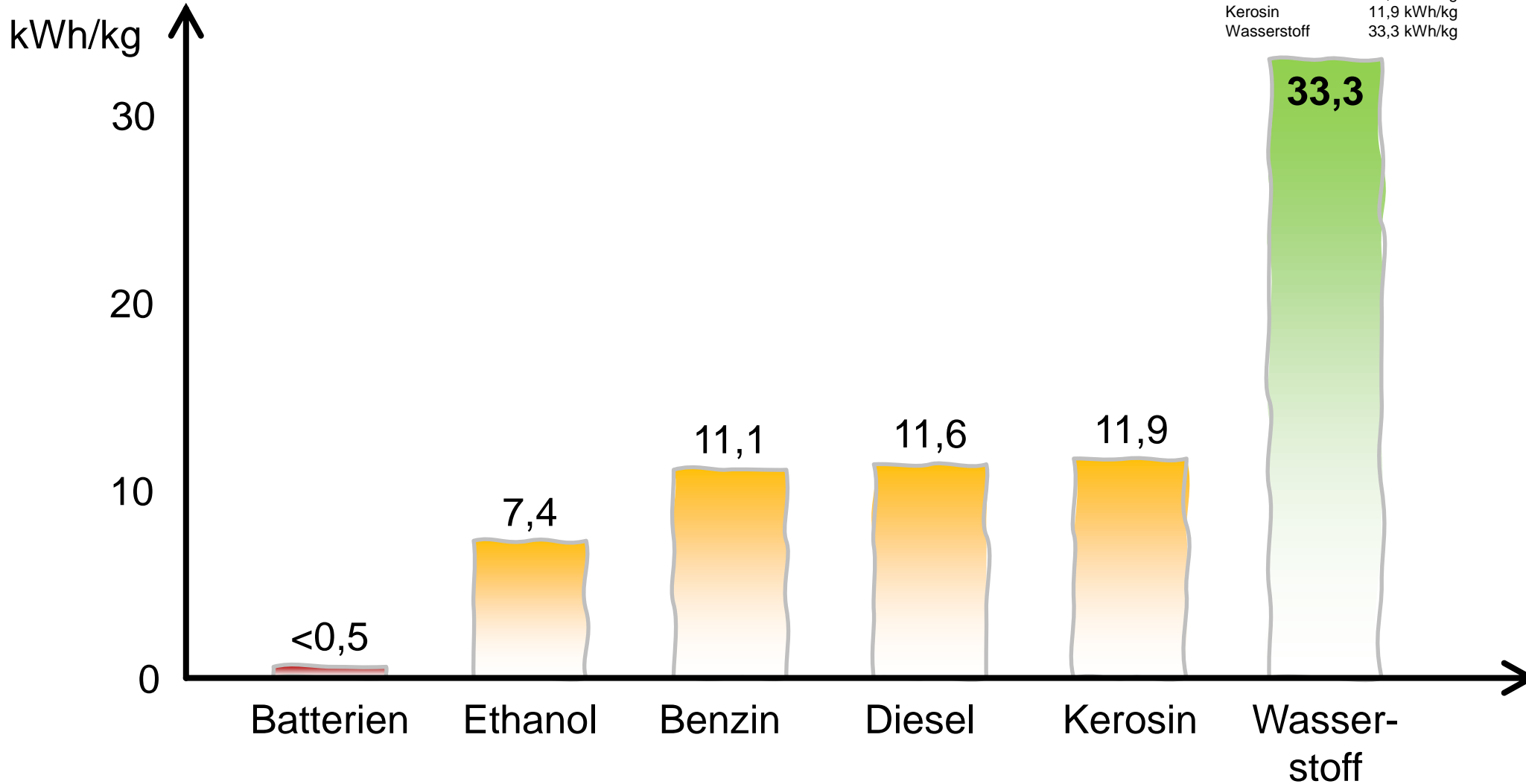
Speicher	Energiedichte pro Masse	Quelle
---	---	---
Porsche Taycan	93 kWh/650 kg = 0,143 kWh/kg	ADAC
Tesla Model 3	75 kWh/478 kg = 0,157 kWh/kg	auto motor sport
Drohne	0,18 – 0,23 kWh/kg	S. 9 in WD8-3000-090/20
VW in 2030	0,350 kWh/kg	Volkswagen Newsroom
Feststoffbatterien	<0,500 kWh/kg	Marm Dixit et al.



Energiedichte im Vergleich

Gravimetrisch (bezogen auf das Gewicht)

Speicher	Energiedichte pro Masse	Quelle
---	---	---
Porsche Taycan	93 kWh/650 kg = 0,143 kWh/kg	ADAC
Tesla Model 3	75 kWh/478 kg = 0,157 kWh/kg	auto motor sport
Drohne	0,18 – 0,23 kWh/kg	S. 9 in WD8-3000-090/20
VW in 2030	0,350 kWh/kg	Volkswagen Newsroom
Feststoffbatterien	<0,500 kWh/kg	Marm Dixit et al.
Ethanol	7,4 kWh/kg	Energiedichte
Benzin	11,1 kWh/kg	
Diesel	11,6 kWh/kg	
Kerosin	11,9 kWh/kg	
Wasserstoff	33,3 kWh/kg	



Reichweite Airbus A350

im Vergleich mit hypothetischen Batterief Flugzeug



A350e
gibt es
nicht!

Airbus A350 der Lufthansa

Tank	138.000 Liter
Masse Treibstoff	116.000 kg
max. Startgewicht	268.000 kg

Energiedichte Kerosin	11,9 kWh/kg
Energieinhalt	1.380 MWh

Fiktiver A350e mit Batterie so schwer wie max. Treibstoffmenge

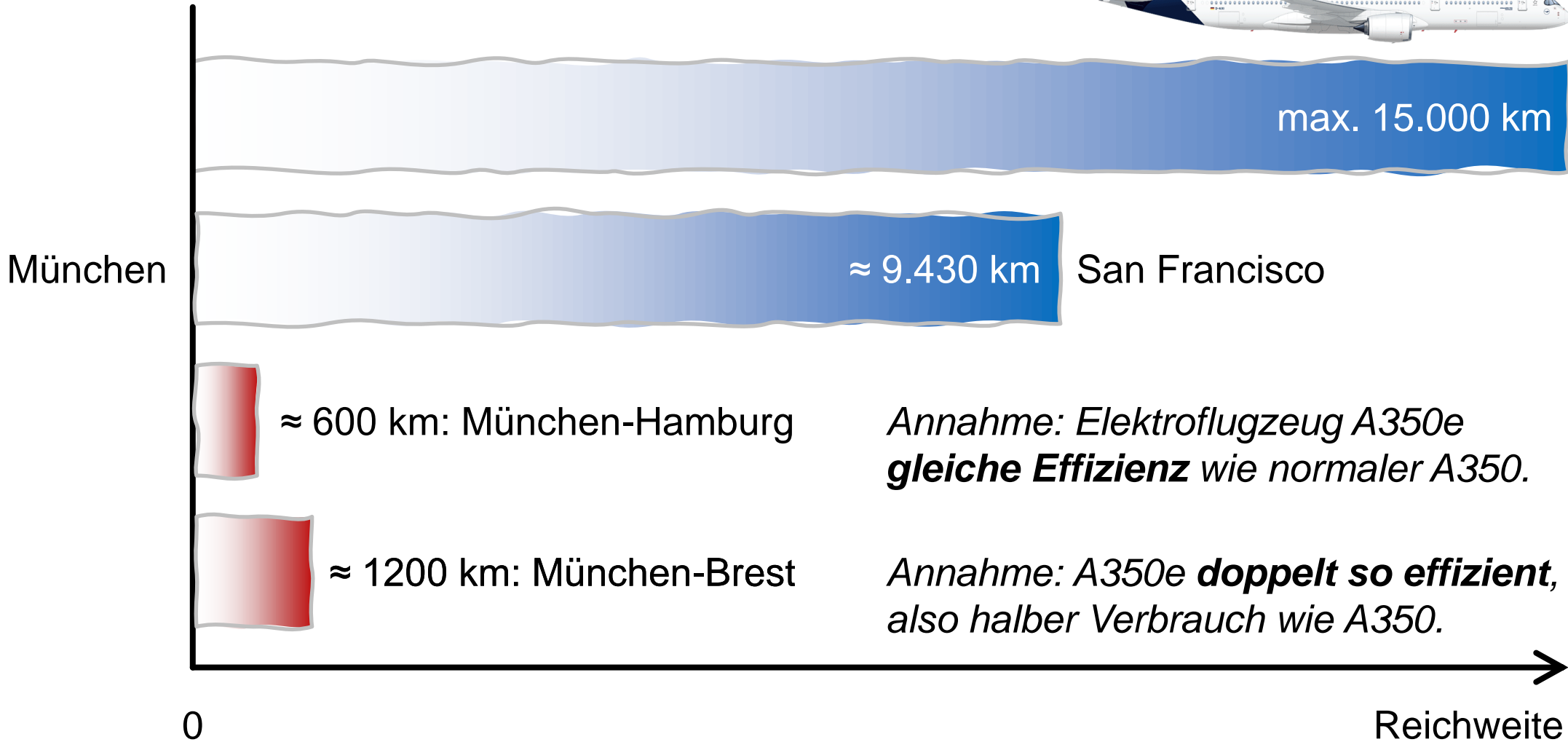
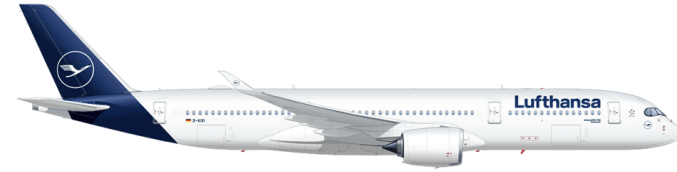
=Masse Batterie	116.000 kg
=max. Startgewicht	268.000 kg

Energiedichte Batterie	<0,5 kWh/kg
Energieinhalt	58 MWh

24x
weniger
Energie!

Reichweite Airbus A350

im Vergleich mit hypothetischen Batterief Flugzeug



Entfernung MUC, Schwai... → SFO, CA, USA

Entfernung: 9.427,28 km
Fahrstrecke: --



MUC, Schwaig, Bayern, DEU

SFO, CA, USA

ENTFERNUNG BERECHNEN! BULK

San Francisco

9.430 km

Brest

München

1.200 km

Vom Interkontinental- zum Regionalflieger

Trotz optimistischer Annahmen für Elektroflugzeug:

- Beste Batterie, die es noch lange nicht gibt
- Doppelte Effizienz gegenüber A350-900
- Keine Reserve für Umwege

Lösung: Flugzeuge mit Wasserstoff?

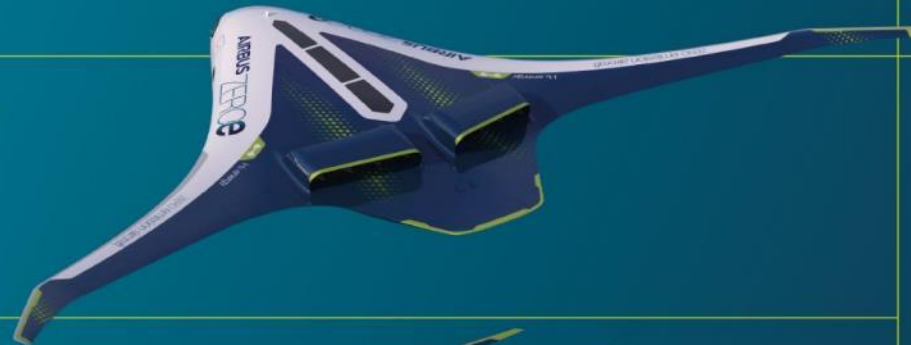
Introducing Airbus ZEROe

Airbus:
Wir bringen erstes
kommerzielles H2-
Flugzeug 2035 (!)
in den Dienst!

Turboprop



Blended-Wing Body



Turbofan



<200

Passengers



Hydrogen
Hybrid Turbofan
Engines (x 2)



2,000+nm

Range



Liquid Hydrogen
Storage & Distribution
System

Fragen:

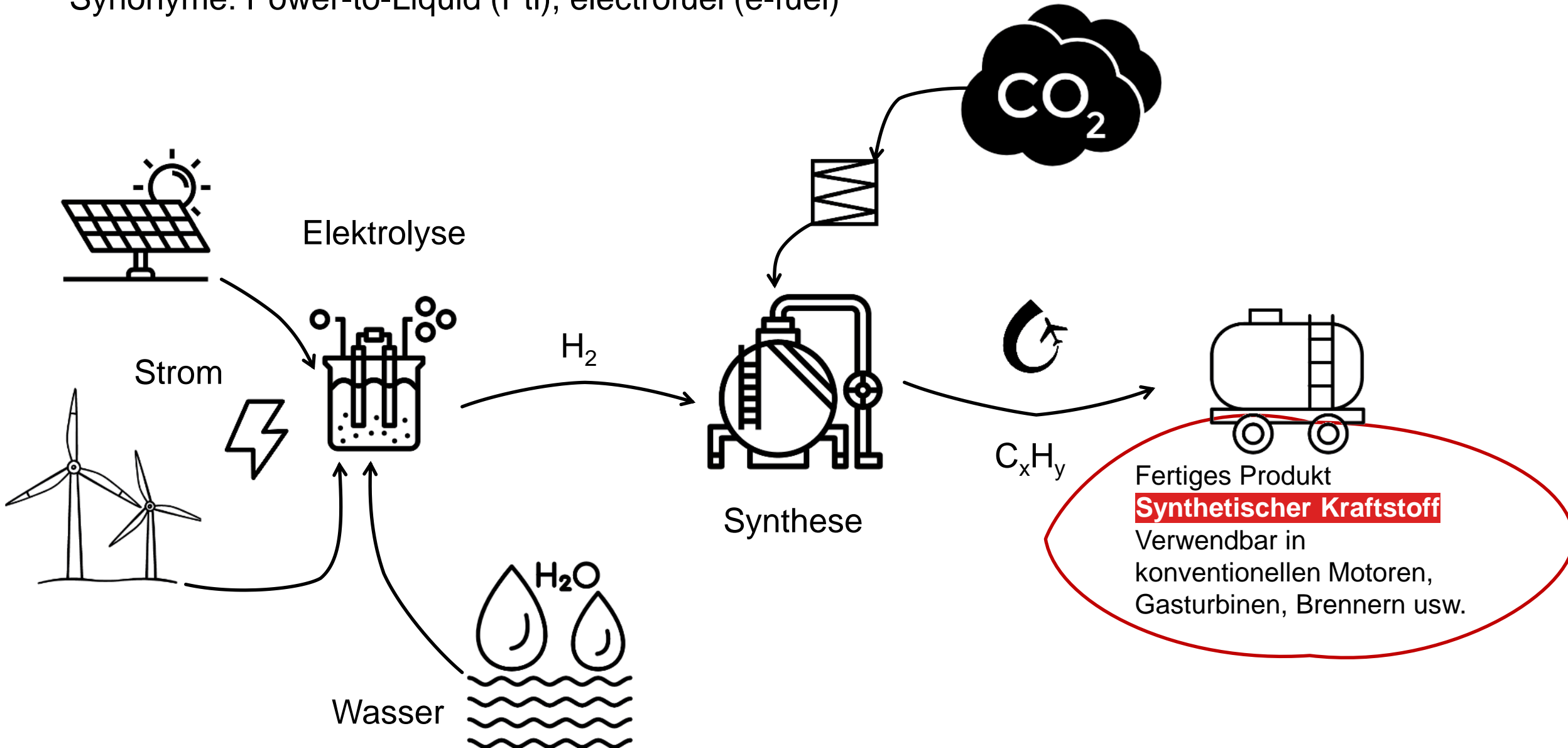
1. *Wie Luftfahrt unabhängig von fossilen Kraftstoffen machen?*
2. *Wie CO₂-Emissionen der Luftfahrt senken?*

Antwort:

Nicht über die Änderung der Flugzeuge, sondern über den Kraftstoff ...
→ **Synthetischer Kraftstoff**

Synthetischer Kraftstoff: Was ist das?

Synonyme: Power-to-Liquid (PtL), electrofuel (e-fuel)

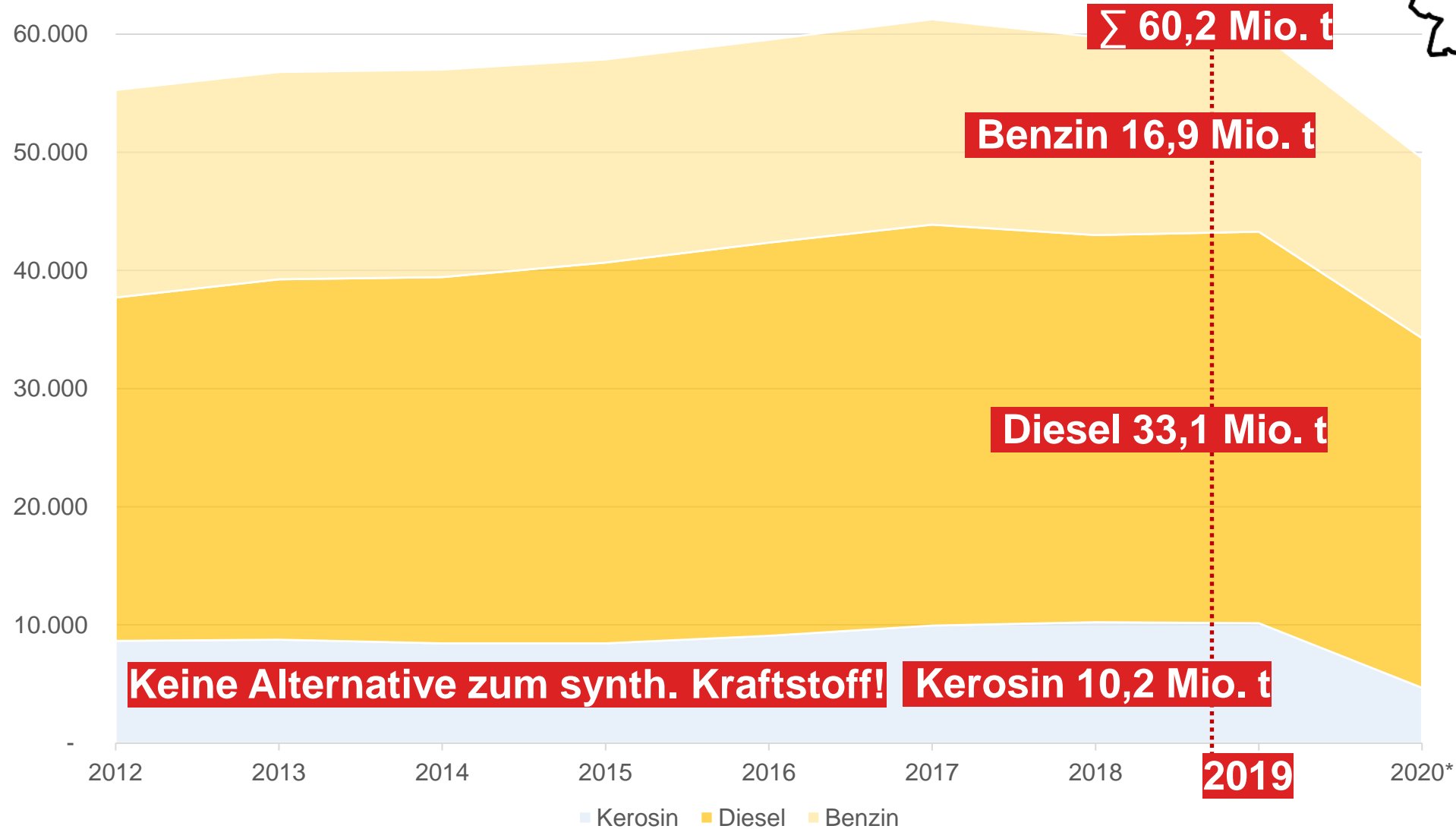


Frage:

Wie groß ist der Markt für synthetischen Kraftstoff in Deutschland?

Kraftstoffverbrauch in Deutschland

Von 2012 bis 2020



83 Mio.

275 Liter

475 Liter

146 Liter

**Verbrauch pro
Einwohner**

Synthetischer Kraftstoff: Gibt es das schon?

Synonyme: Power-to-Liquid (PtL), electrofuel (e-fuel)

FLUGREVUE vom 04.10.2021



WELTWEIT ERSTE ANLAGE FÜR POWER-TO-LIQUID-KRAFTSTOFFE

atmosfair produziert strombasiertes Kerosin in Werlte

Die laut Betreiber atmosfair weltweit erste industrielle Anlage, die CO₂-neutrales strombasiertes Kerosin herstellt, ist heute in Werlte/Emsland offiziell eröffnet worden.

KS • 04.10.2021

8 Barrel Kerosin
≈ **1.272 Liter**
pro Tag



Airbus A350-900
reicht für gut 10 Minuten
Bei Verbrauch von 2,9 Litern
pro Passagier und 100 km
ca. 8.000 Liter/Stunde

Synthetischer Kraftstoff: Gibt es das schon?

Synonyme: Power-to-Liquid (PtL), electrofuel (e-fuel)

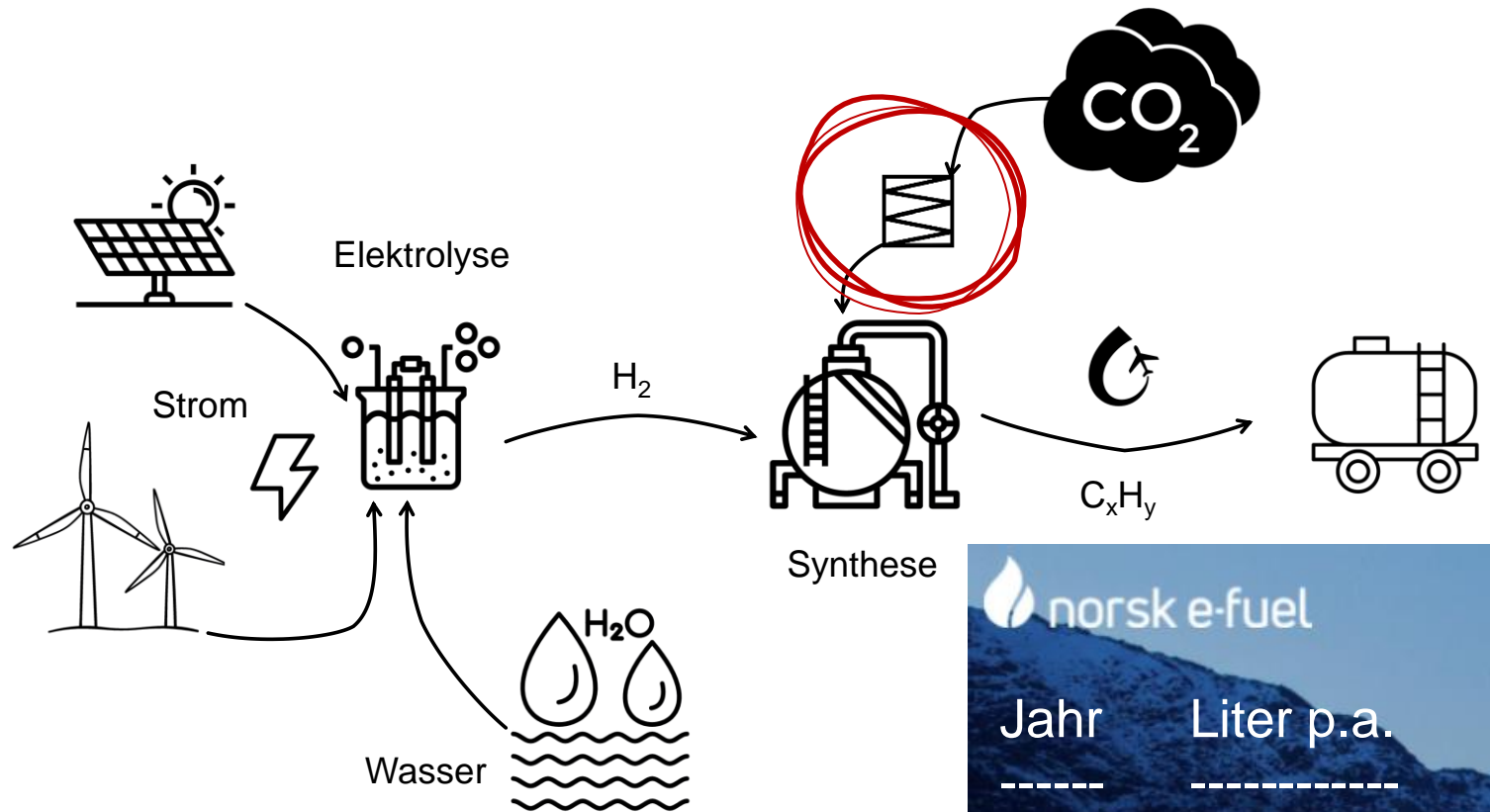
Handelsblatt

GREENTECH

CO₂-Filter für die Atmosphäre:
Finanzierungsrunde in Höhe von **590 Millionen Euro** für Climeworks



vom 05.04.2022



Jahr	Liter p.a.
-----	-----
2023	10 Mio.
2025	100 Mio.

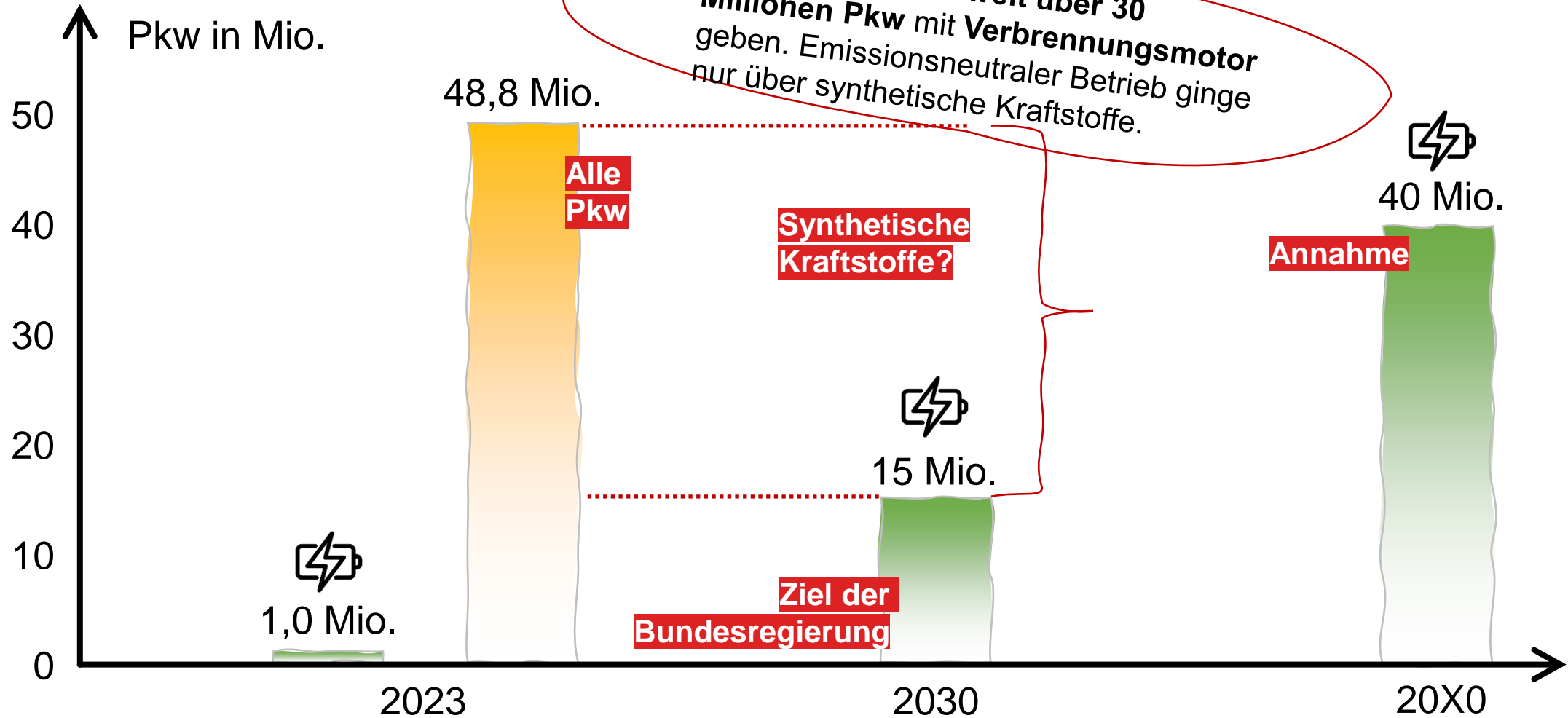
Geplante Produktion

Fazit:

- Zur (Langstrecken-)Luftfahrt gibt es auf die Sicht von mindestens 10 Jahren **keine Alternative** zu konventionellen Flugzeugen
- Allein in Deutschland **ca. 10 Mio. Tonnen Luftkraftstoff pro Jahr benötigt**
→ **Massenmarkt**
- Massenproduktion wird kommen und zu **Kostensenkung** führen
- **Synthetischer Kraftstoff** steht dann **auch für andere Sektoren** neben der Luftfahrt zur Verfügung

E-Autos 2023, 2030 und „in Zukunft“

Welcher Kraftstoff für Bestand?



Leistungsbedarf für eine rein elektrische Zukunft

10 % der Pkw laden zur gleichen Zeit

Annahmen

- 40 Mio. Fahrzeuge
- 10% der Fahrzeuge Laden zur gleichen Zeit, z.B. vor den Weihnachtsfeiertagen
- 11 kW Ladeleistung (wie bei vielen Stadtwerken)
- ...

Gesamter Leistungsbedarf

$$= 0,1 \times 40 \cdot 10^6 \times 11 \text{ kW} = 44 \cdot 10^6 \text{ kW}$$
$$= 44 \text{ GW}$$

Wie viel sind **44 GW?**

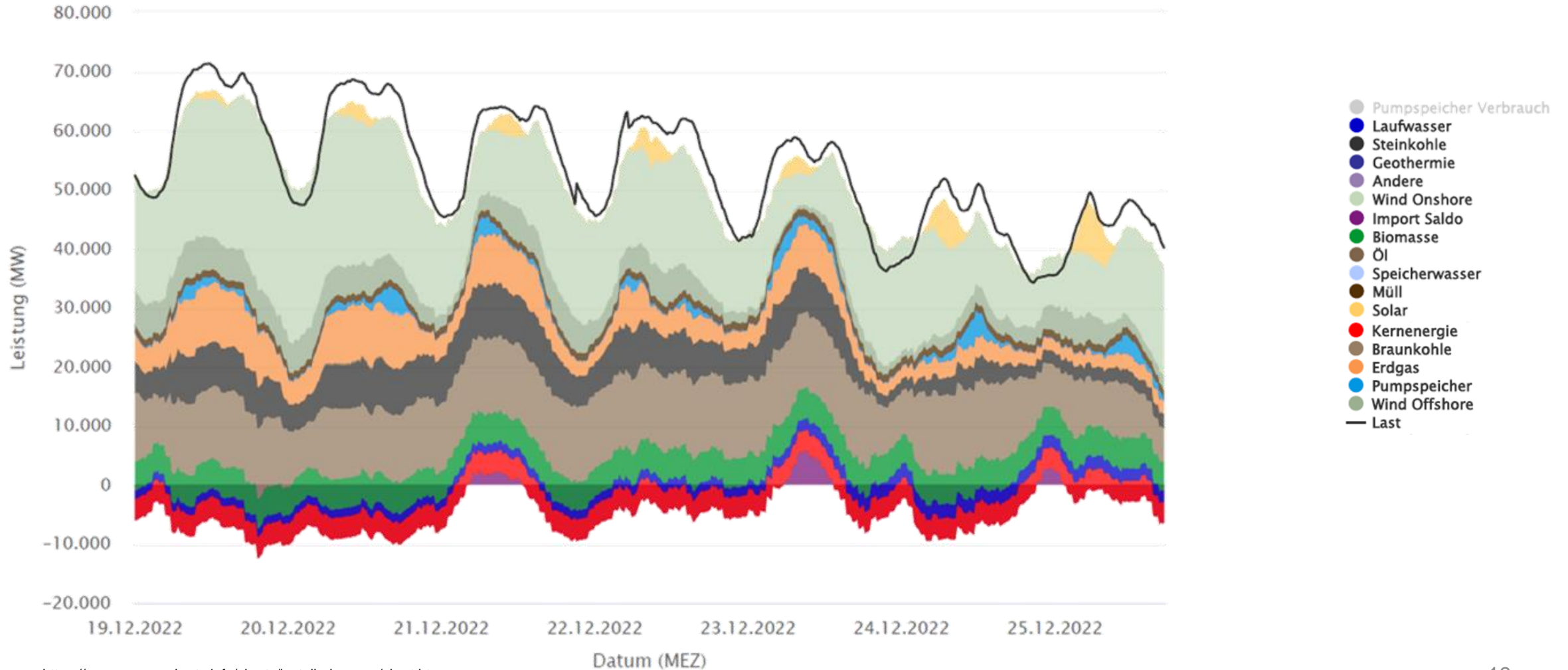
≈ 30x Isar 2

$P_{el} \approx 1,4 \text{ GW}$



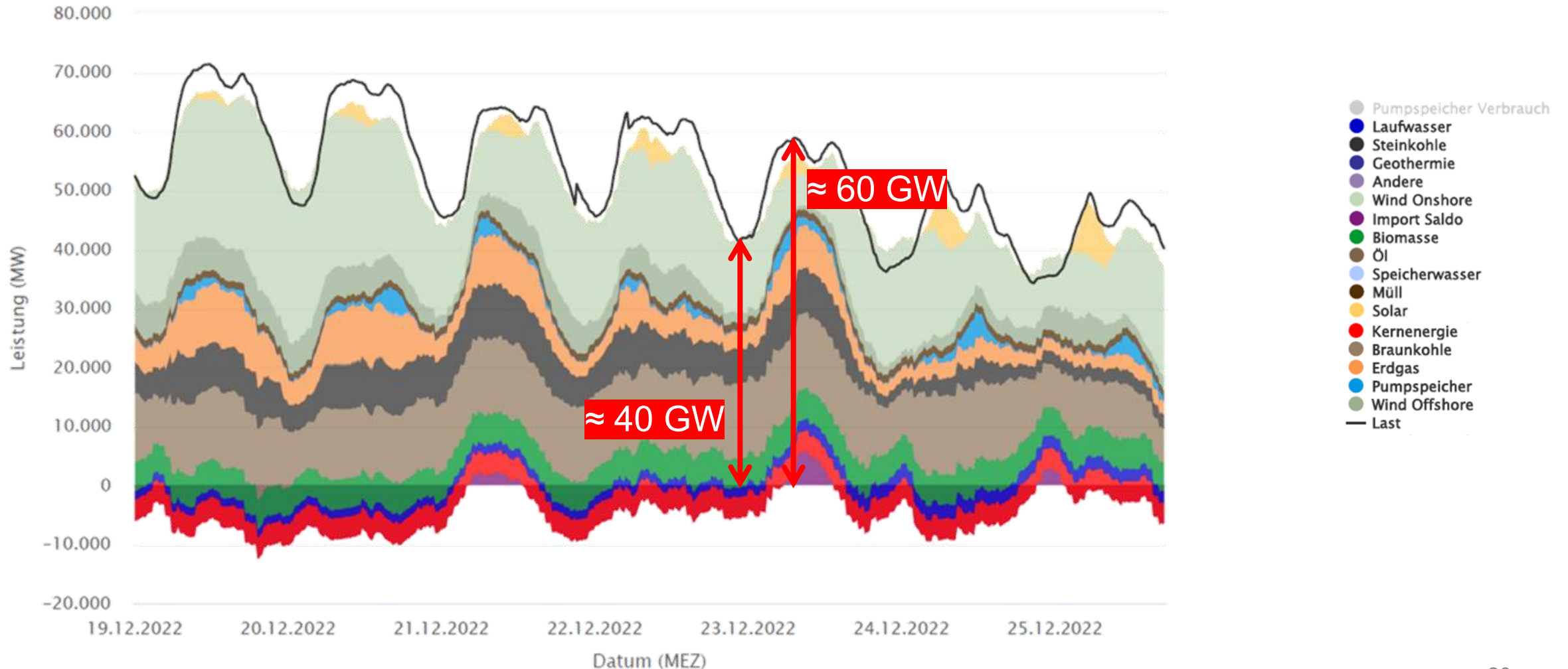
23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022



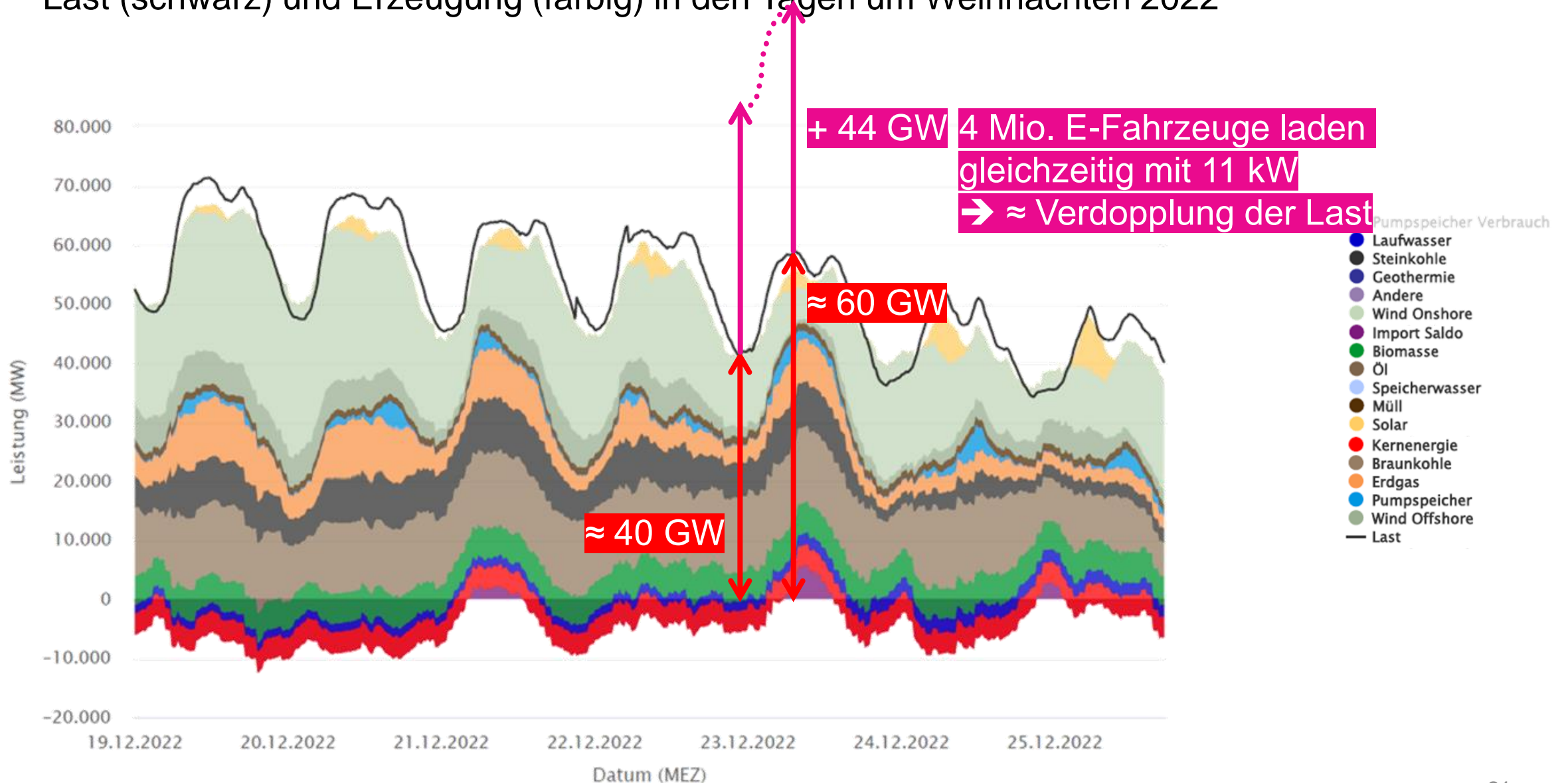
23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022



23. Dezember 2022: Strom in Deutschland

Last (schwarz) und Erzeugung (farbig) in den Tagen um Weihnachten 2022



Importierter Wasserstoff hinter Ladeinfrastruktur

Mögliche Lösungen



**Elon Musk May Not Like It
But Plug Power Plans
Hydrogen-Fueled
EV Charging Stations**
Forbes, 1. Mai 2023

Unsere Angebote

Damit Ideen in die Praxis kommen.

UNTER
NEHMER
TUM



Landeshauptstadt
München

Prototypen | Netzwerk | Venture Capital |
Werkstatt | Veranstaltungen | Mentoren

**Munich
Urban
Colab**

Danke.

Dr.-Ing. Simon Herzog
herzog@unternehmertum.de

P +49 89 541 987 0055

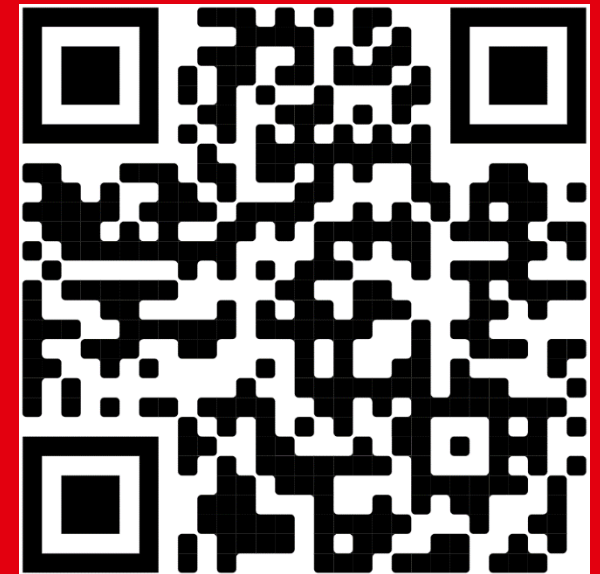
M +49 151 644 21 930

mobility.unternehmertum.de

UnternehmerTUM GmbH
Lichtenbergstr. 6
85748 Garching bei München

Munich Urban Colab
Freddie-Mercury-Str. 5
80797 Munich, Germany

Scan
& connect



Simon Herzog