

Wege zur CO₂-neutralen Energiewirtschaft, Hintergründe und Möglichkeiten

Wärmedämmung der Gebäude, Wärmepumpen und Elektromobilität bieten hohe Lebensqualität und können den Verbrauch stark reduzieren; Photovoltaik und Windenergie könnten die 200-jährige Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen beenden und so den Klimawandel begrenzen.

Referat vom 20.11.24 an der
St.Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft NWG

Universität St.Gallen, Raum A 01-111, 19.15-20:45

Ruedi Kriesi, dipl. Ing. ETH, Dr. sc. techn.
Kriesi Energie GmbH
8820 Wädenswil, info@kriesi-energie.ch

Inhalt

Einleitung

- Ziel und erwartete Realität weltweit und in der Schweiz

1. Reduktion CO₂-Emissionen von Bauten

- Von Null-Heizenergiesiedlung über Minergie zur Entwicklung aller Bauten CH
- Wärmepumpe als wichtigstes Element
- Thermische Sonnenenergie versus PV anh. Erneuerung Null-Heizenergiehaus

2. Reduktion CO₂-Emissionen des Verkehrs

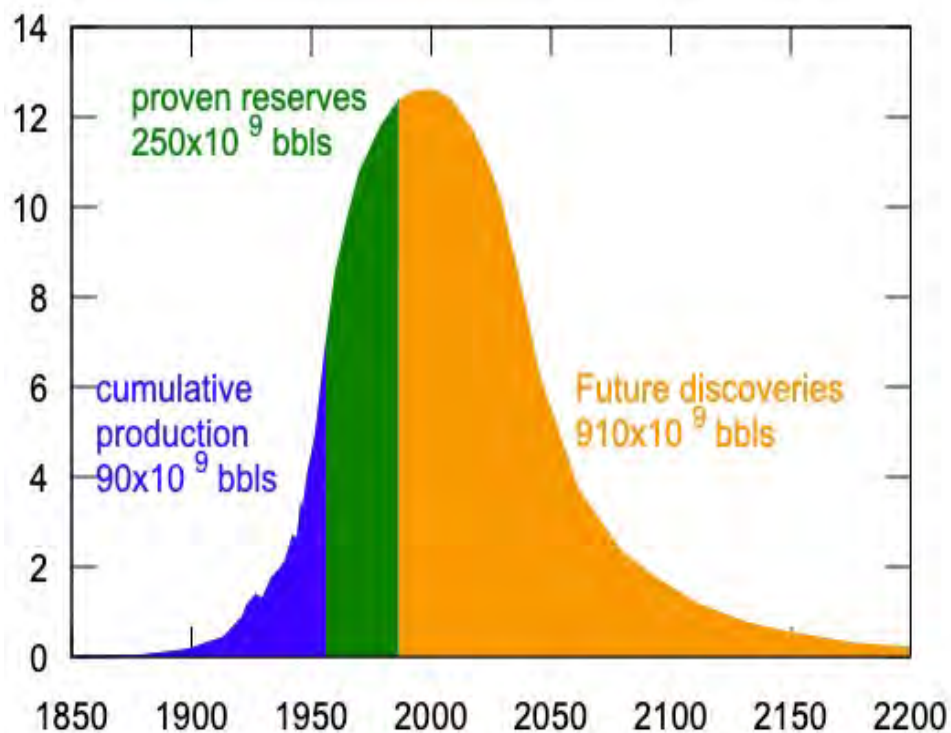
- Anteile Strassenverkehr weltweit und Schweiz
- Elektro- versus Wasserstoffauto
- Grüner Treibstoff

3. Reduktion CO₂-Emissionen der Versorgung

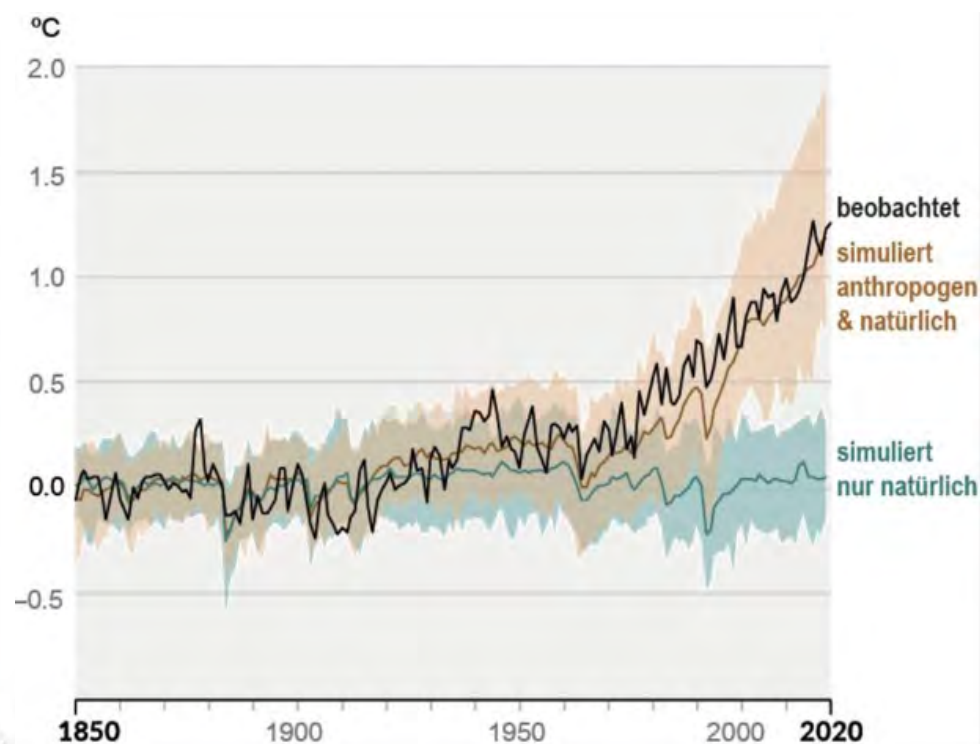
- Grünabfälle, Energiepflanzen, grüner Brennstoff (H₂, Methanol)
- Kurz- und Langzeitspeicher anhand PV in der Schweiz
- Veränderung der Umwelt, Wirtschaftlichkeit

Frage 1980: Ende der fossilen Brennstoffe wegen Quellen oder Folgen?

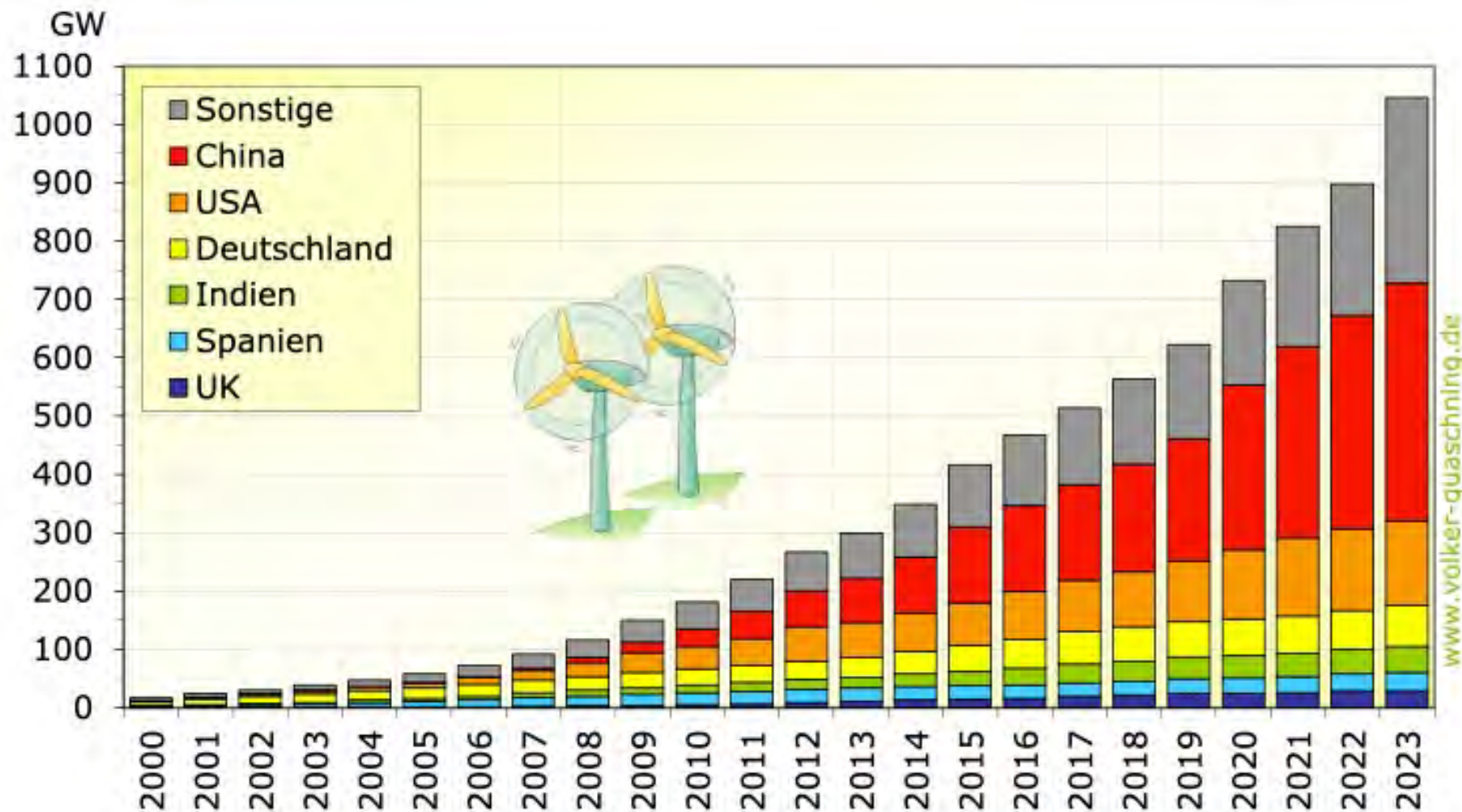
Ölfördermaximum (Peak Oil)



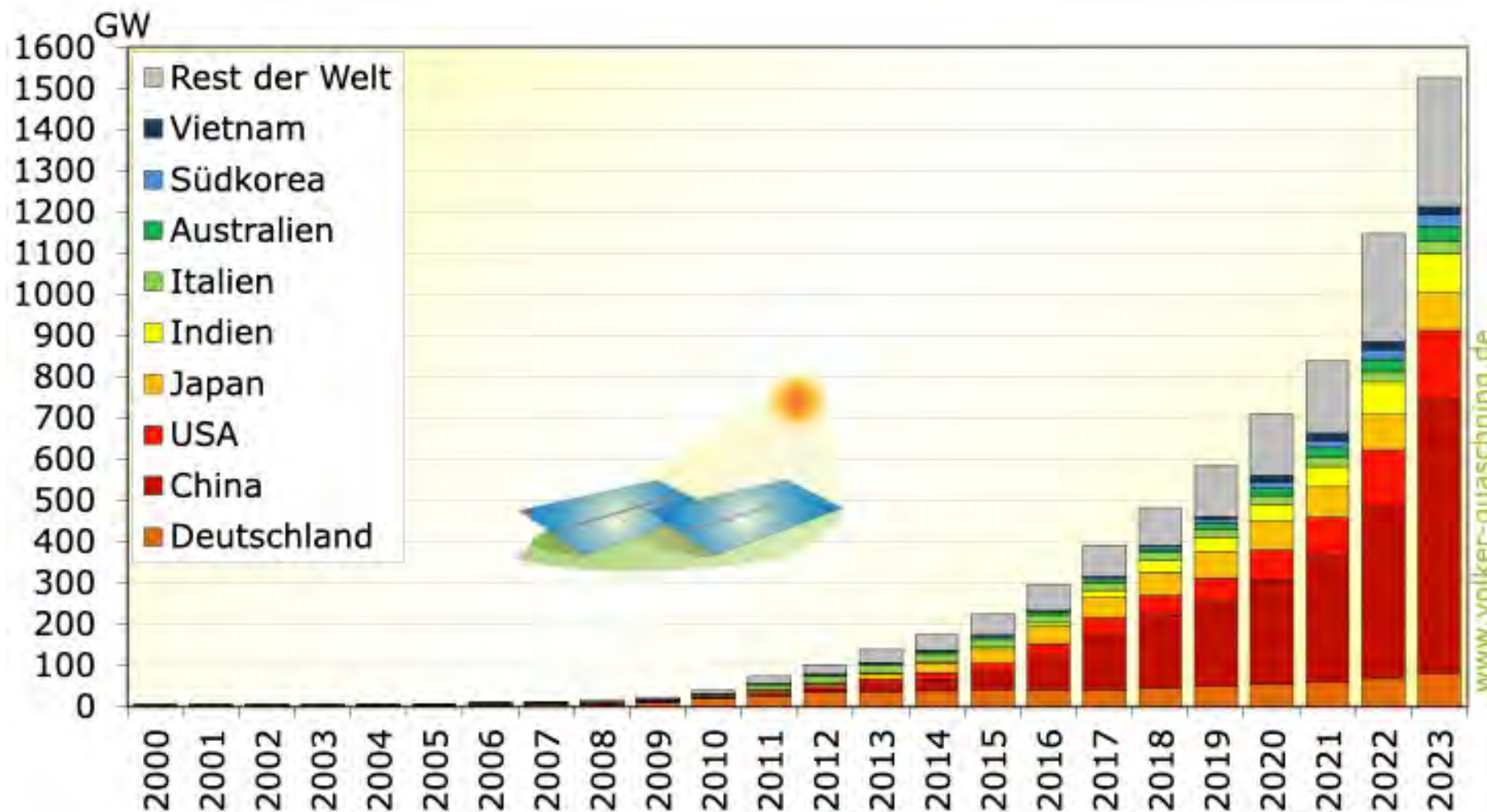
Treibhausgaseffekt



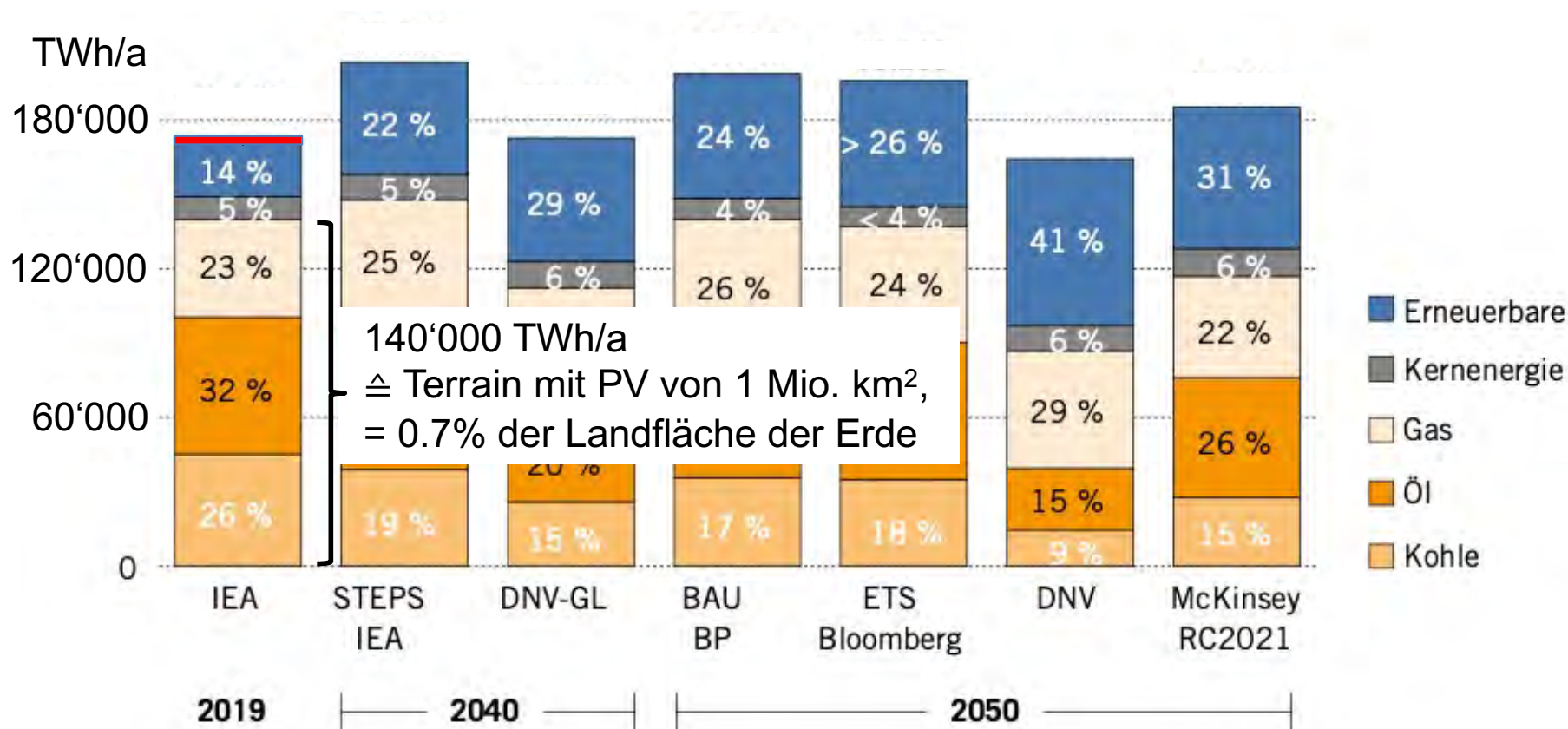
Erfreulicher Trend: Anstieg der Windenergie weltweit



Erfreulicher Trend: Anstieg der Solarenergie weltweit



Die Ernüchterung: Weltenergieertrag, Primärenergieverbrauch weltweit – Synopse der Projektionen von DNV, BloombergNEF, BP, IEA und McKinsey

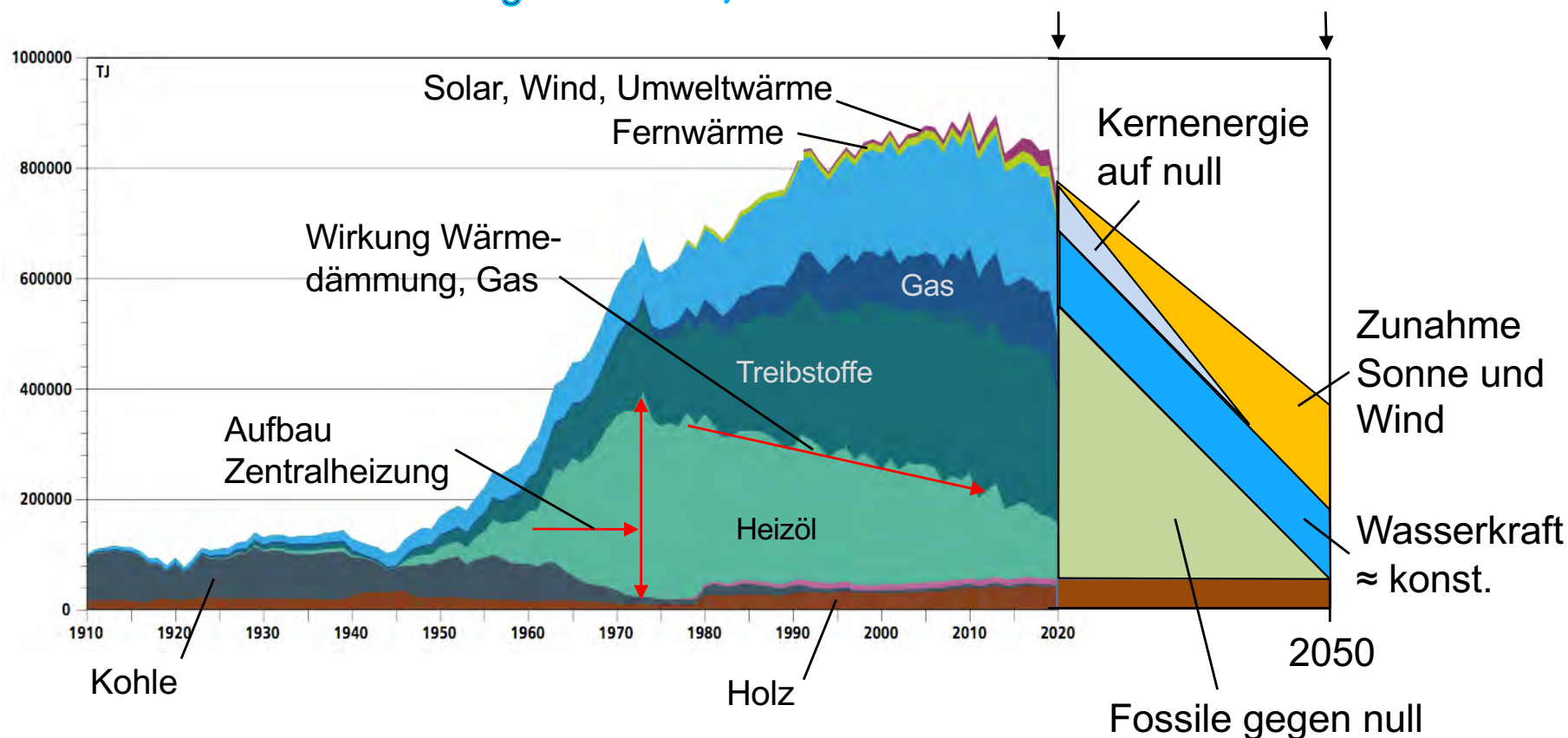


Stand Wind- und Solarenergie 2024: 3'600 TWh (davon 2/3 Windenergie)
 (= 16 x Energieverbrauch der Schweiz)
 (≅ 27'000 km² Terrain mit PV)

Ziel der Energiewende CH: CO₂- und Kernenergiefreie Energie für Heizung, Verkehr und Industrie

Fossile Energie 145 TWh, Elektrizität 60 TWh

Elektrizität ≈ 90 TWh



2020-50 primär enorme Reduktion des Verbrauchs – wie möglich?

Negativemissionstechnologien (CO₂-removal)

- Auch mit erfolgreichsten Massnahmen zu Netto-Null werden ca. 12 mio t der heute 60 mio t CO₂-Emissionen der Schweiz aus Abfällen, Industrie und Landwirtschaft verbleiben.
- Auch bei null CO₂-Emissionen, bliebe CO₂-Anteil in Atmosphäre sehr lange hoch, d.h. Eisschmelze in Grönland und Antarktis. Grönlandeis allein bedeutet 7m Anstieg des Meeresspiegels, d.h. viele überflutete Küstenstädte.



Beispiel Climeworks:

Grösste Anlage

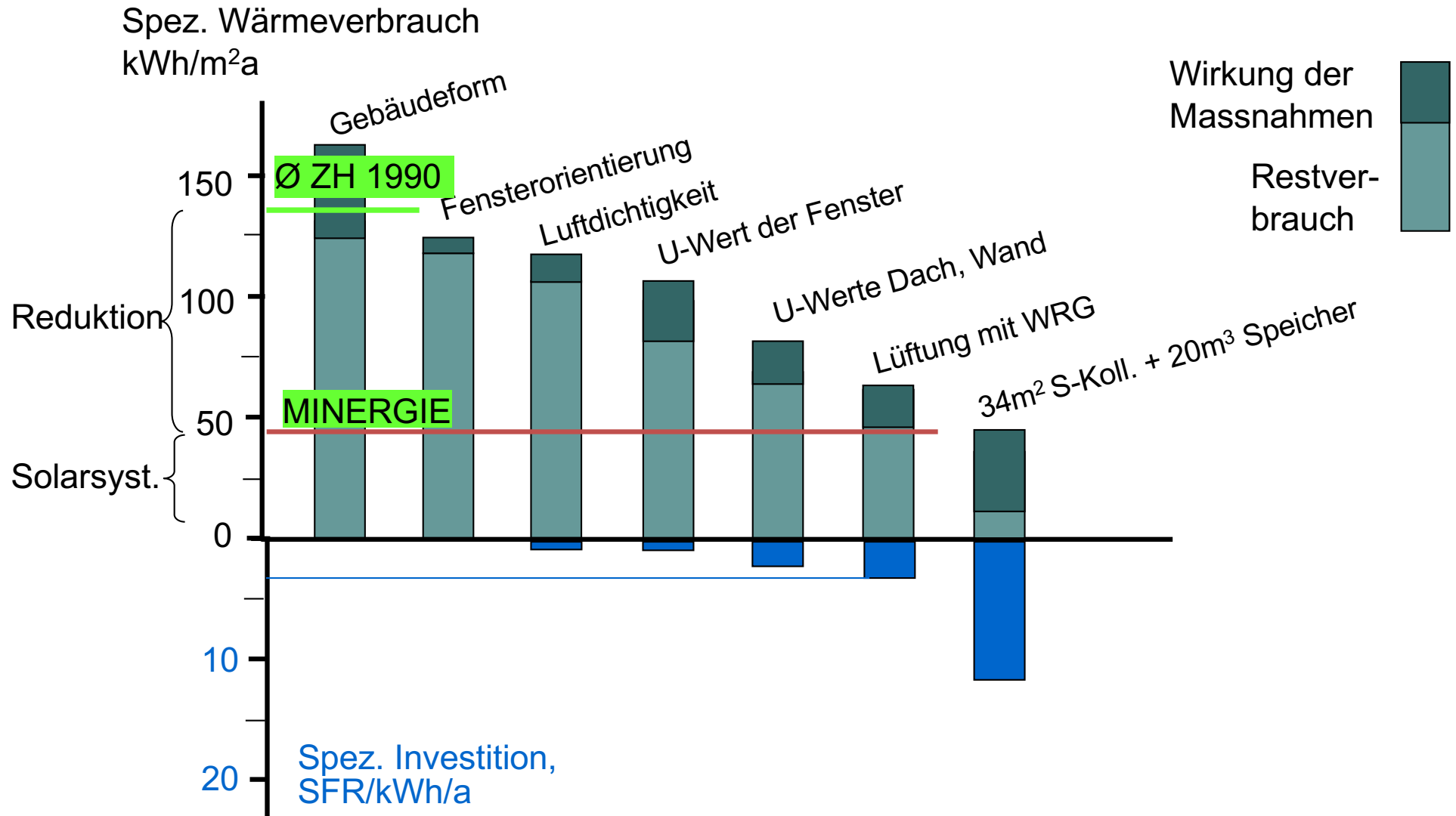
Mammoth entfernt

- 36'000 t/a zu
- 400 \$/t (erwartet 2030)
(d.h. ca. 1200 \$/t Öl)

Null-Energiesiedlung 1990 liefert technisches Wissen und Nutzervorteile für MINERGIE



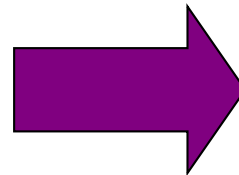
Grosse Reduktion mit geringen Investitionen



MINERGIE® war erfolgreich, weil es mit Nutzervorteilen warb statt mit Opfer zum Energiesparen

Wenn wir keine Energie sparen, werden wir bald einmal

1980 !



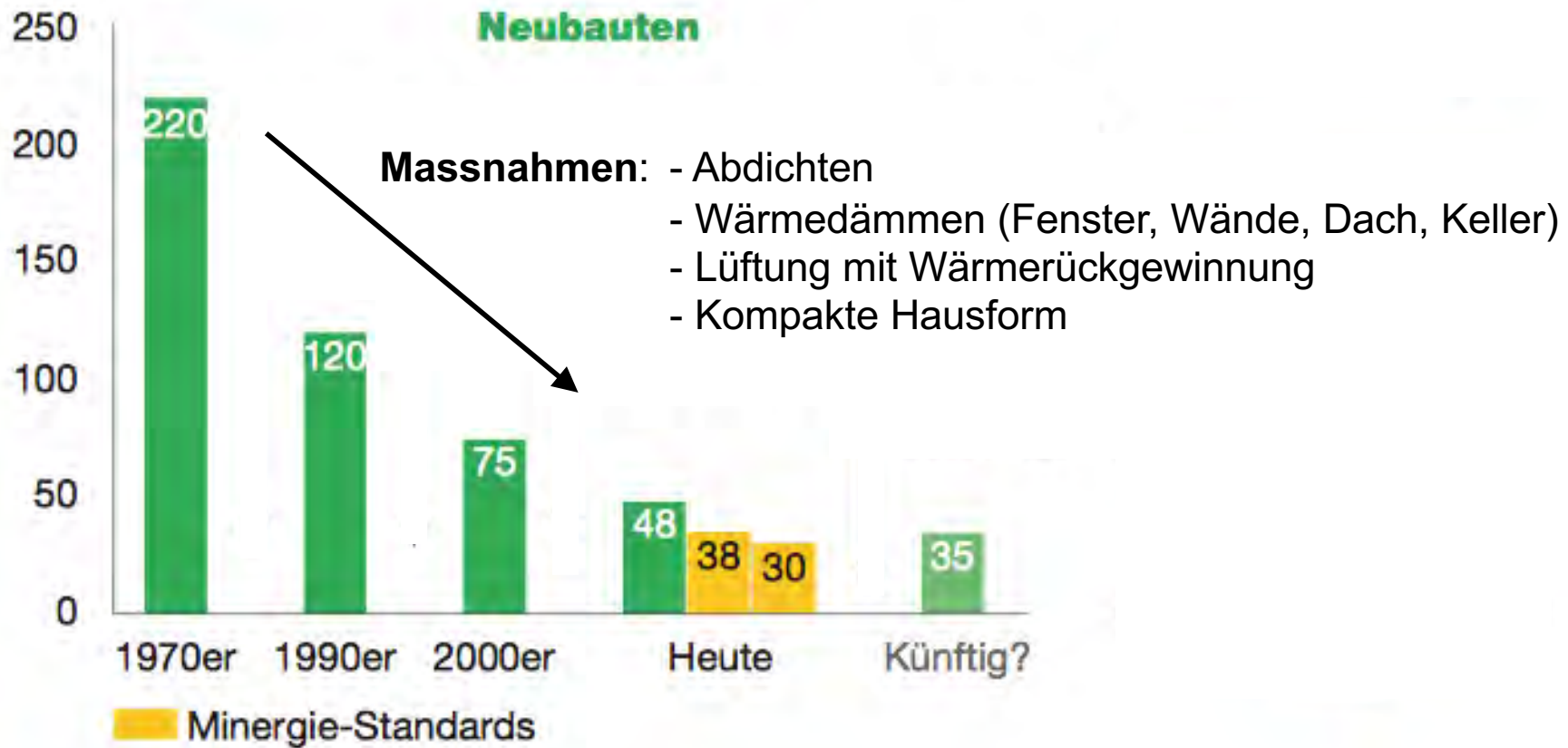
MINERGIE

Mehr Lebensqualität, tiefer Energieverbrauch
Meilleure qualité de vie, faible consommation d'énergie
Improved quality of life, low energy consumption

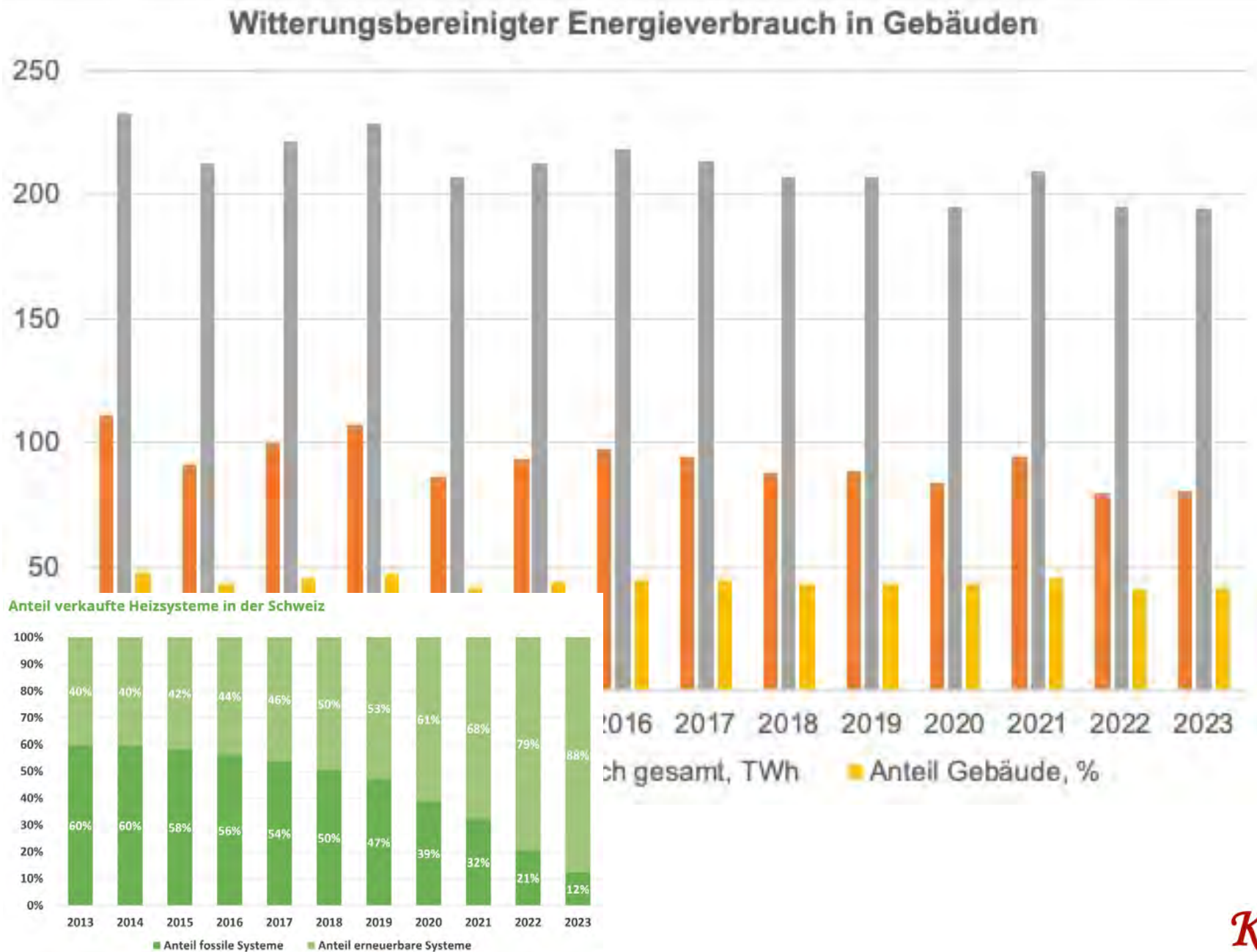
Schweiz: Verbrauchsanteil der Bauten 40%
Wärmebedarf des Neubaus ist heute 6mal tiefer als 1970

Typische Energiebedarfswerte für Heizung und Warmwasser in Wohnbauten

kWh/m²a



Entwicklung der CO2-Emissionen der Bauten in der Schweiz



Wärmepumpe wird wichtigstes Heizsystem, mit Wärmequellen Aussenluft und Boden

- Beispiel mit Quelle Aussenluft, MFH mit 22 Wohnungen;
Ventilatoren und Wärmetauscher auf dem Dach
- Geräusche
 - Wirkungsgrad $<$, wenn kalt



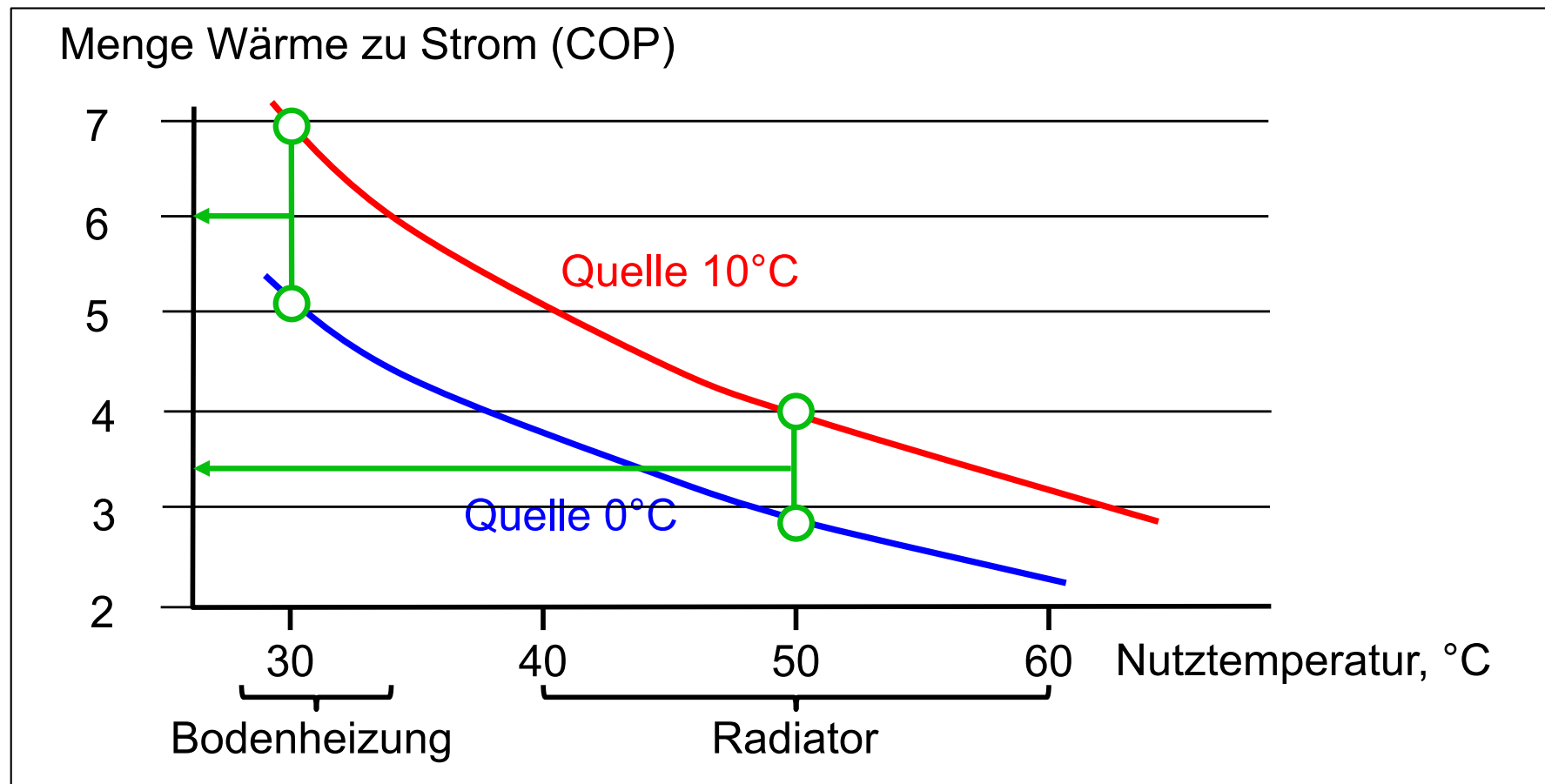
- Beispiel mit Quelle Erdsonden oder Grundwasser in kleinerem MFH;
- im Freien nichts sichtbar
 - Wirkungsgrad ca. konstant



Der Wirkungsgrad der Wärmepumpen sinkt rapide mit steigender Temperaturdifferenz zwischen Heizung und Quelle

Sind Radiatoren mit 60°C geeignet für eine Wärmepumpe?

- Ja, aber mit 2mal mehr Strom als mit einer Niedertemperatur-Bodenheizung !



Photovoltaik-Anlage und Wärmepumpe bedeutet Effizienzgewinn; Beispiel des 1990 gebauten Null-Heizenergiehauses

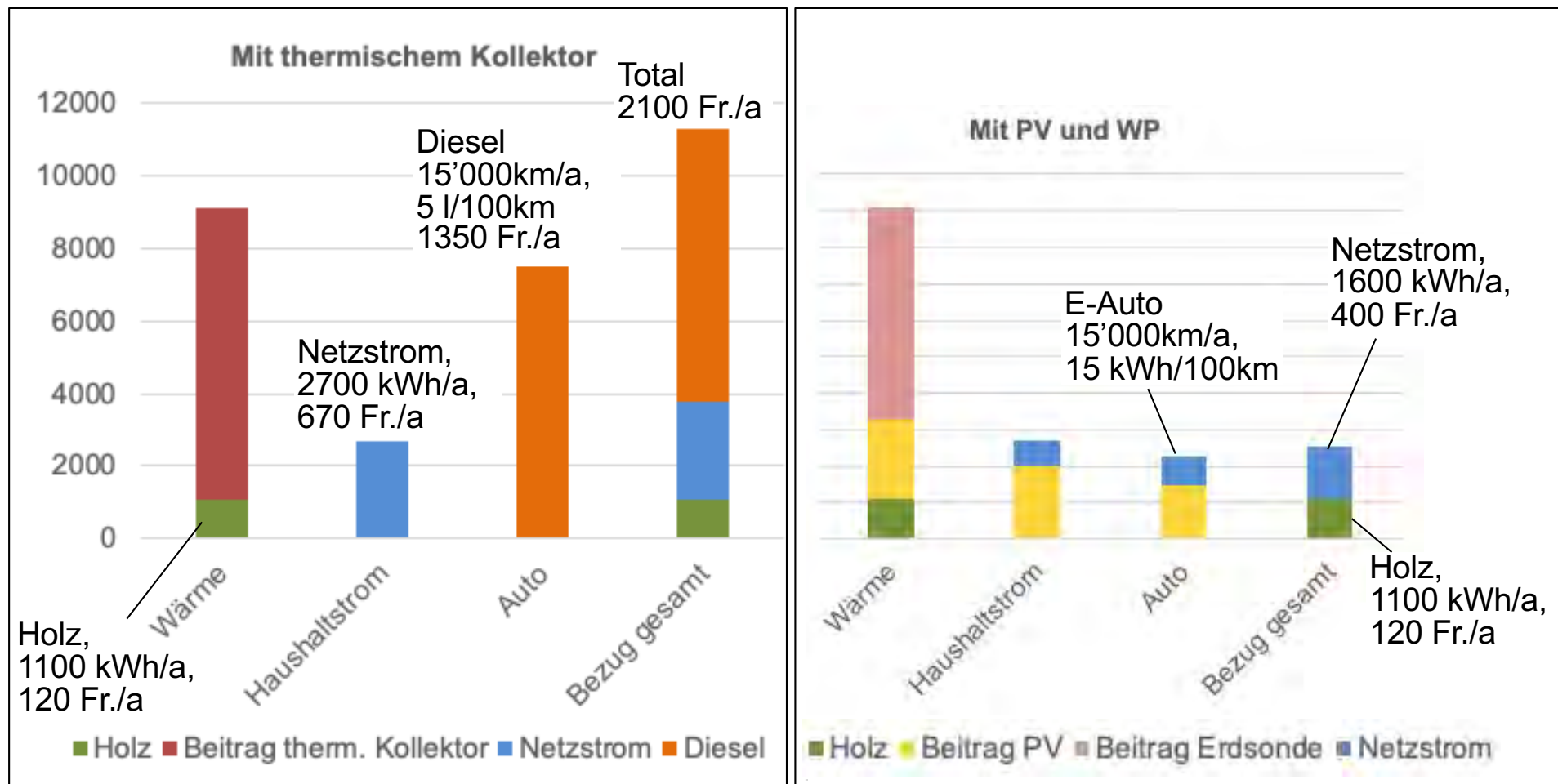


1990: Holzofen mit kleinstem Bedarf dank Hausform, Wärmedämmung, Dichtheit, Lüftung mit Wärmerückgewinnung und Sonnenkollektoren für Bodenheizung und Warmwasser.

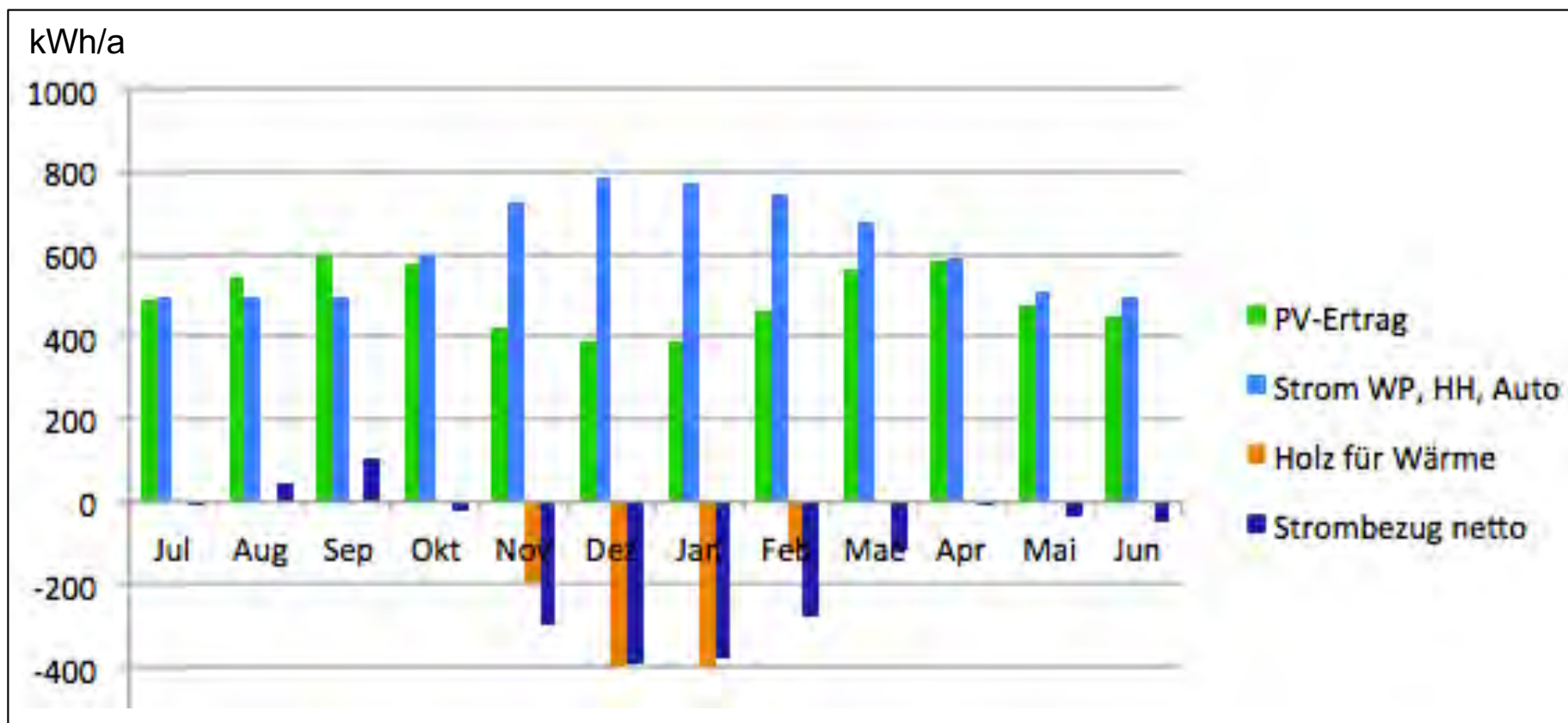


2021: Kleinste Wärmepumpe mit Erdsonden dank unverändert guter Gebäudehülle. Photovoltaikanlage für WP, Haushaltstrom und E-Auto. Holzofen wird Zusatz.

Bedarf im Minergie-Haus mit thermischem Kollektor versus Photovoltaik und Wärmepumpe



Auch im besten Haus besteht ein Bedarf vom Netz
November bis März, bei Hochnebel und Bewölkung



Der Wert der Gebäudefläche zum Wohnen ist viel höher als zur Energieerzeugung, d.h. Vorrang für Fenster, Terrassen geg. PV

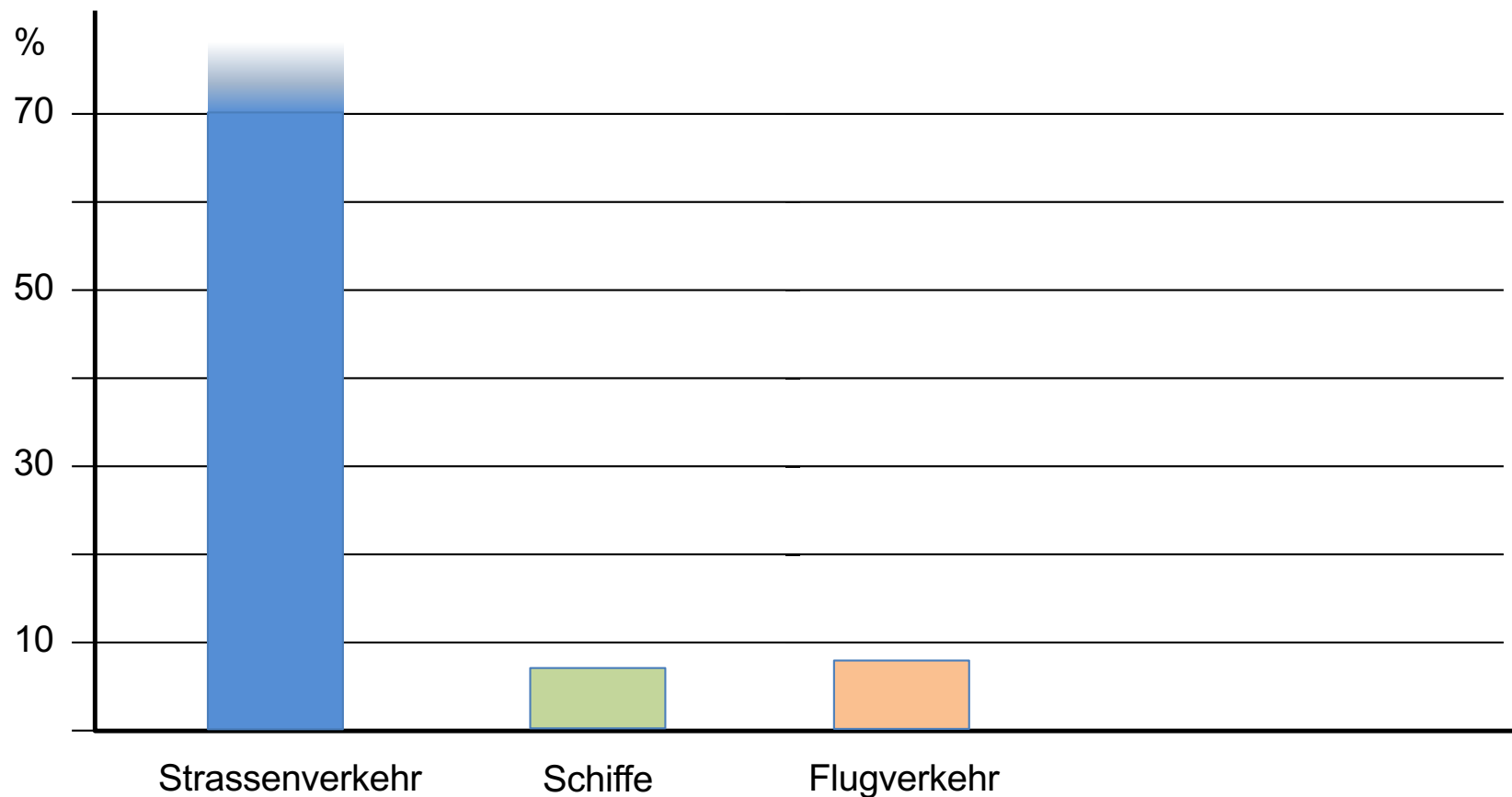


- Mietwert Dachwohnung 120m²
25'000 – 36'000 Fr./a



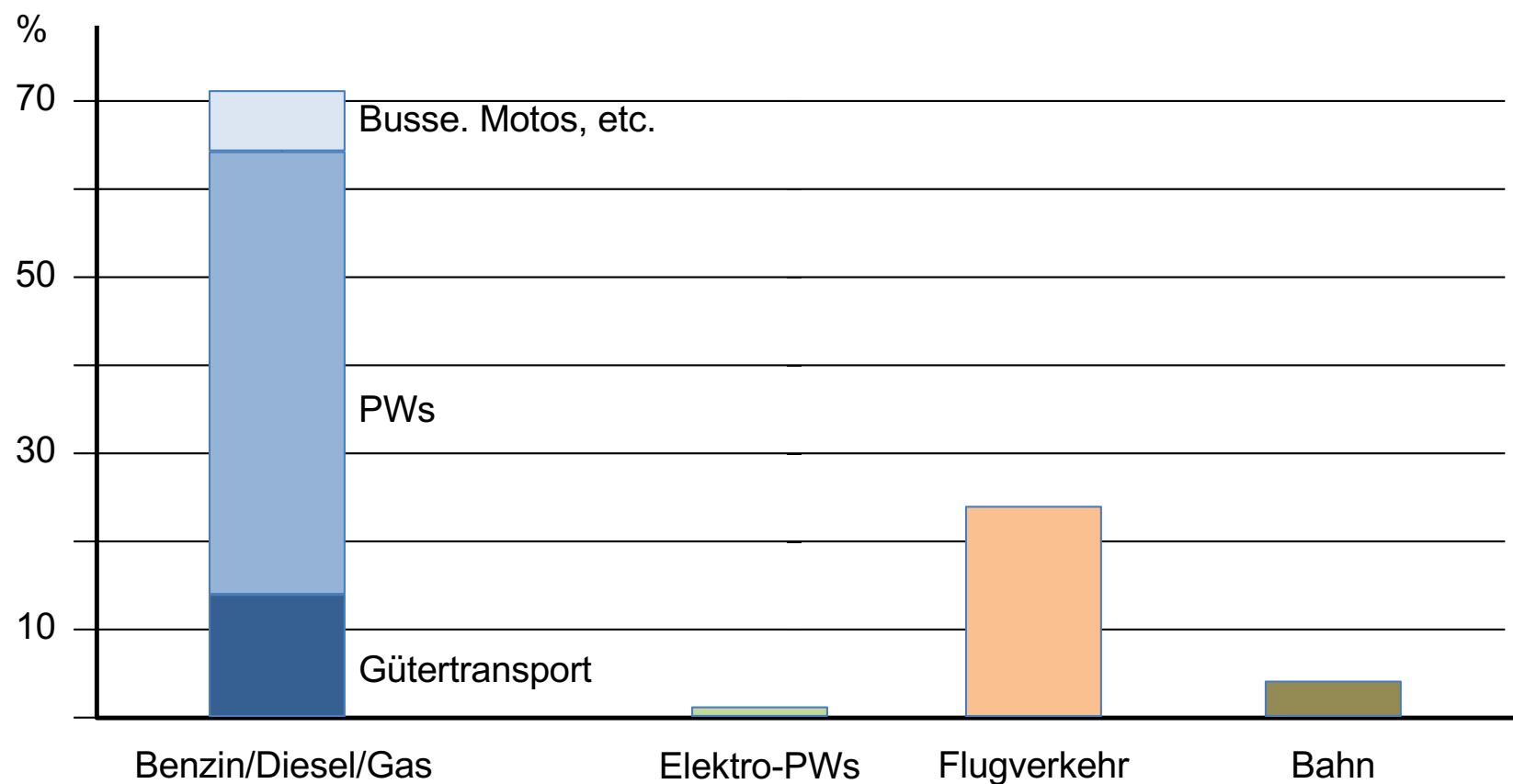
- Wert erzeugte Elektrizität 20kW_p /20'000kWh/a
= Fr. 5'000.-/a bei Eigenverbrauch 25 Rp./kWh
= 14 - 20% von Mietwert
= Fr. 3'000.- mit Rückliefertarif 15 Rp./kWh
= 8 - 12% von Mietwert

Weltweit: - Verkehr mit hohem Verbrauchsanteil 30%
- darin ist Strassenverkehr mit >70% dominant



Mit ca. 75% Anteil dominiert der Strassenverkehr den Energieverbrauch des Verkehrssektors

Schweiz: - Verkehr mit hohem Verbrauchsanteil 38%,
- darin ist Strassenverkehr mit 70% dominant



Elektroauto bedeutet enormen Effizienzgewinn gegenüber Diesel, selbst bei ungünstigster Stromerzeugung

Audi A4 Quattro

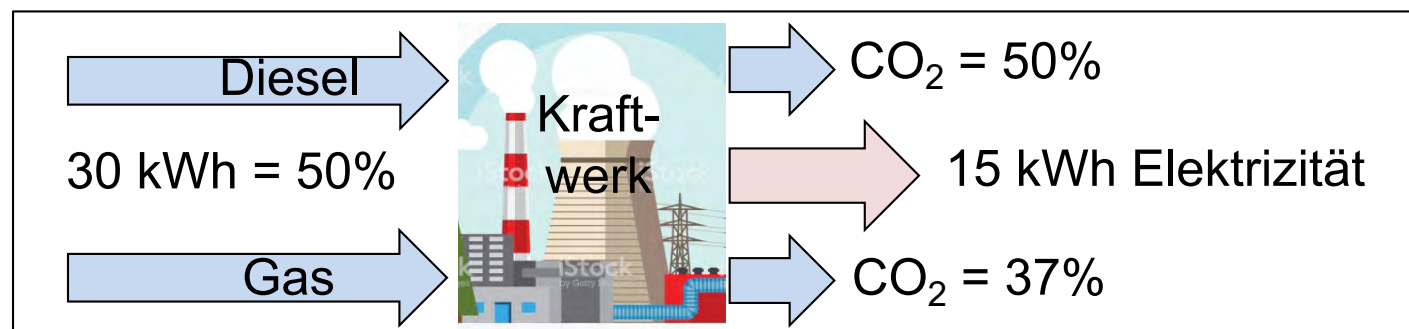


Tesla Model 3



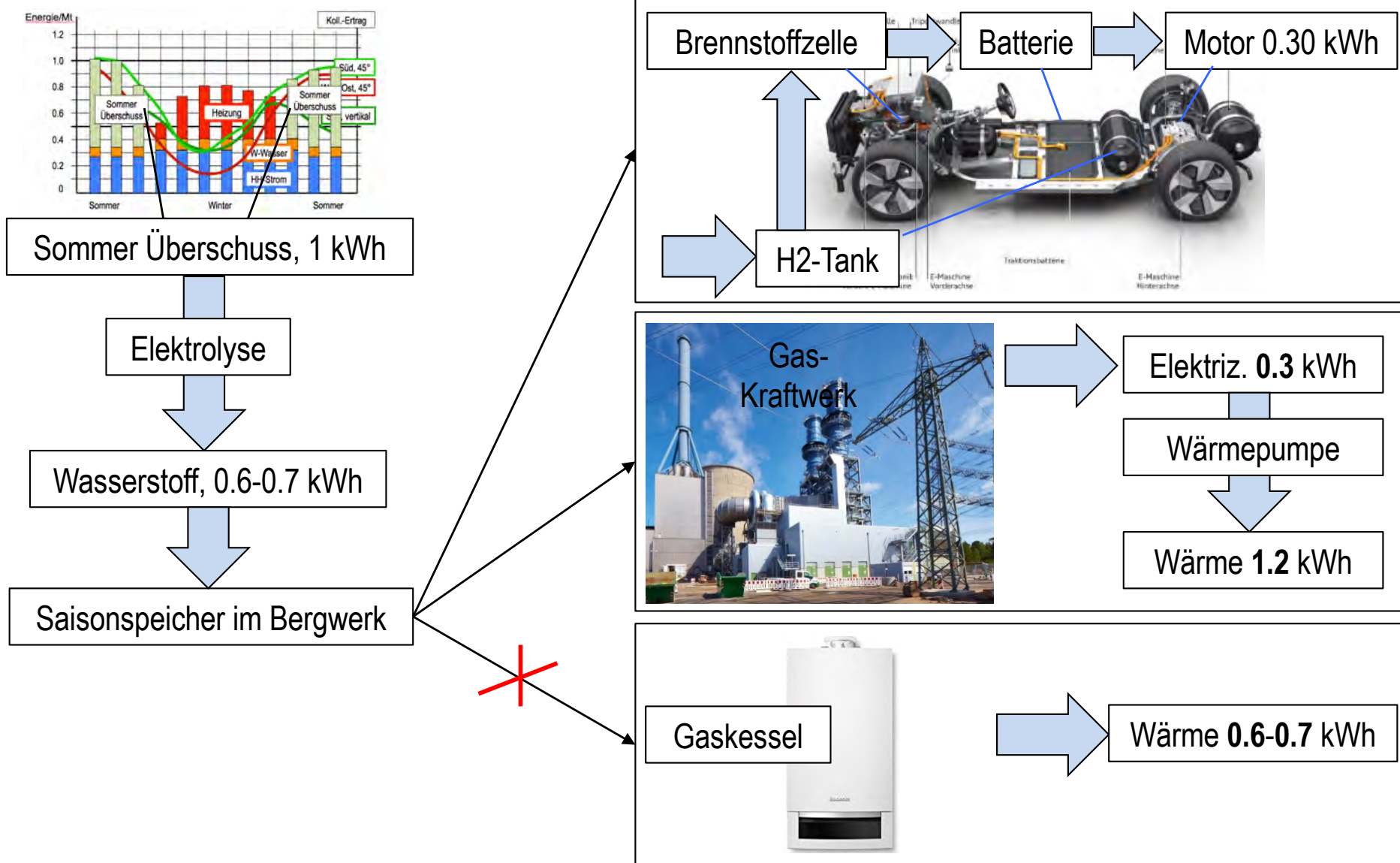
L/B/H:	476/185/144, 4WD	469/185/144, 4WD
Leistung:	140 kW/190 PS	350 kW/480 PS
Verbrauch/100km:	6 l Diesel = 62 kWh _{fossil} (100%)	15 kWh _{el} (25%)

Quelle der
Elektrizität im
ungünstigsten Fall



Model 3 halbiert Ölverbrauch geg. Audi A4 Quattro im ungünstigsten Fall, real wird wachsender Teil des Stroms erneuerbar erzeugt, 2023 in EU 43%

Power to gas – grüner Wasserstoff für Autos und Kraftwerke – als Langzeitspeicher, aber mit ganz tiefem Wirkungsgrad



Erneuerbarer Brennstoff als grüner Wasserstoff, bei Stromüberschuss aus Europa und aus Wüsten des Mittleren Ostens

aus Kompost (axpo-Kompogas, seit ca. 1995)
Wirkungsvoll, finanzierbar durch Abfallgebühr,
aber minimales Potential

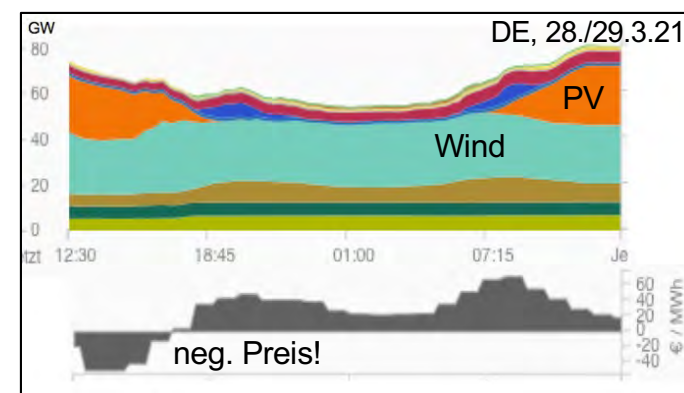
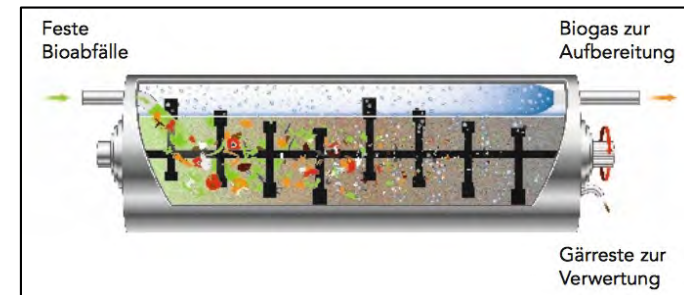
aus Energiepflanzen:

1 MWh/a Strom mit 5m² PV

1 MWh/a Wärme mit 750m² Rapsfeld

d.h. wirtschaftlich irrelevant

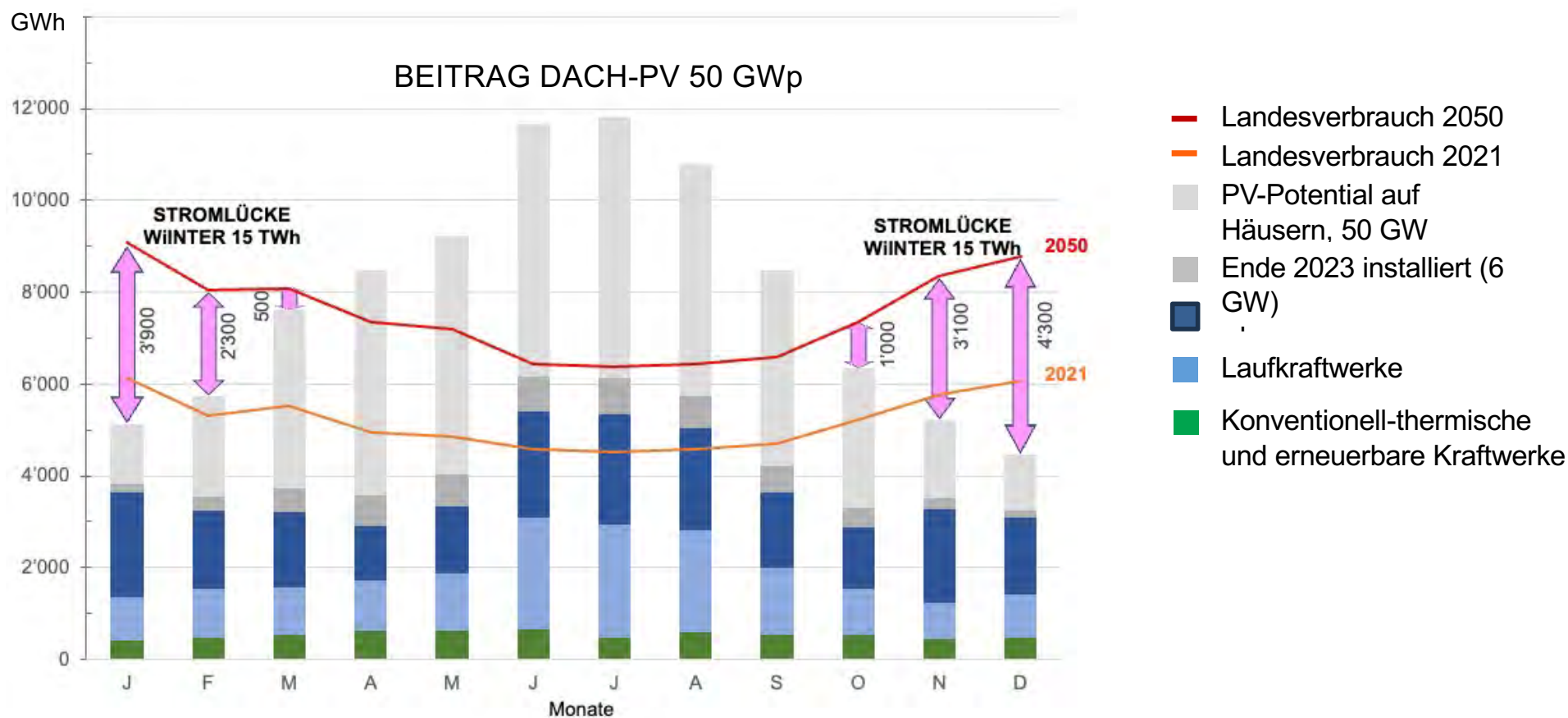
aus erneuerbarem Strom (grüner Wasserstoff):
70% Verlust durch Kette Strom-Gas-Strom,
d.h. wirtschaftlich möglich, wenn Überschussstrom aus Wind, PV während vielen Sommerstunden und für Spezialanwendungen, wie Flugzeuge, Schiffe, Langstrecken-LKWs



Kann PV auf Dächern die Schweiz versorgen? Mit Jahresbilanz ist alles wunderbar -

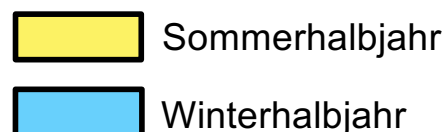
- Jahresbedarf 2021: 60 TWh
- Jahresbedarf 2050: 90 TWh
 - Annahmen: - 20% Reduktion
 - + Benzin/Diesel x 0.3
 - + Öl x 0.32
 - + Gas x 0.42 (HT-Industriegas Direktheizung)
- Beitrag therm., Fluss-, Speicherwasseranlagen: - 45 TWh
- Beitrag PV im Mittelland, **45 GWp**: - **45 TWh**
= 90% des Potentials auf Bauten
Scheint lösbar mit zus. Anlagen auf Infrastrukturen, Agri-PV
- Restbedarf, Jahresbilanz: 0 TWh

Aber leider macht's der Monat aus: Wegen zu kleinen Saisonspeichern fehlen auch mit gesamtem Potential auf Dächern von 50 GWp noch 15 TWh

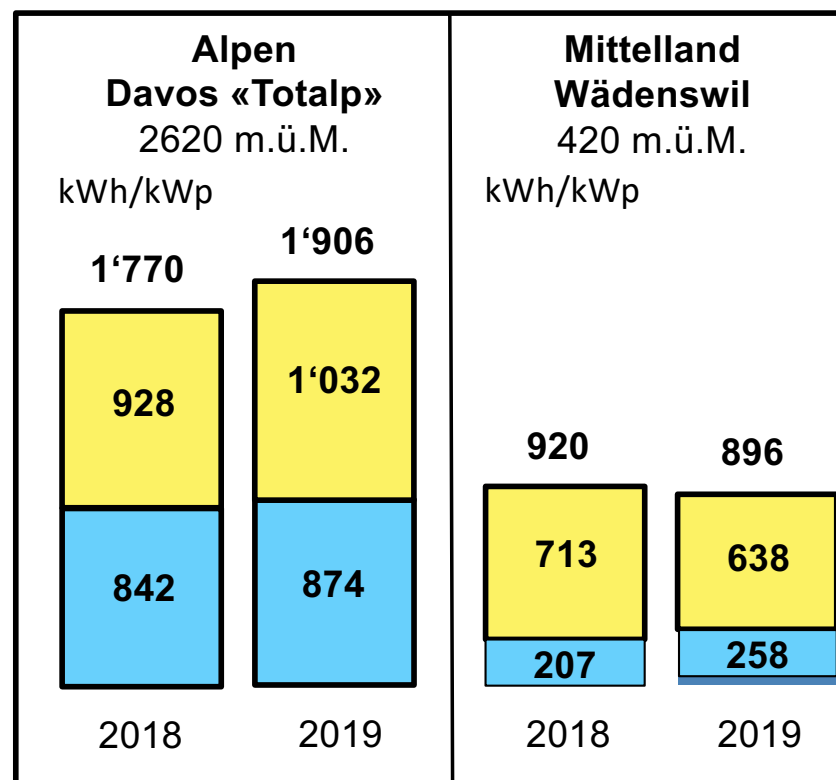


Alpen-PV gibt im Jahr doppelten, im Winter 3- bis 4-fachen Ertrag wie PV im Mittelland

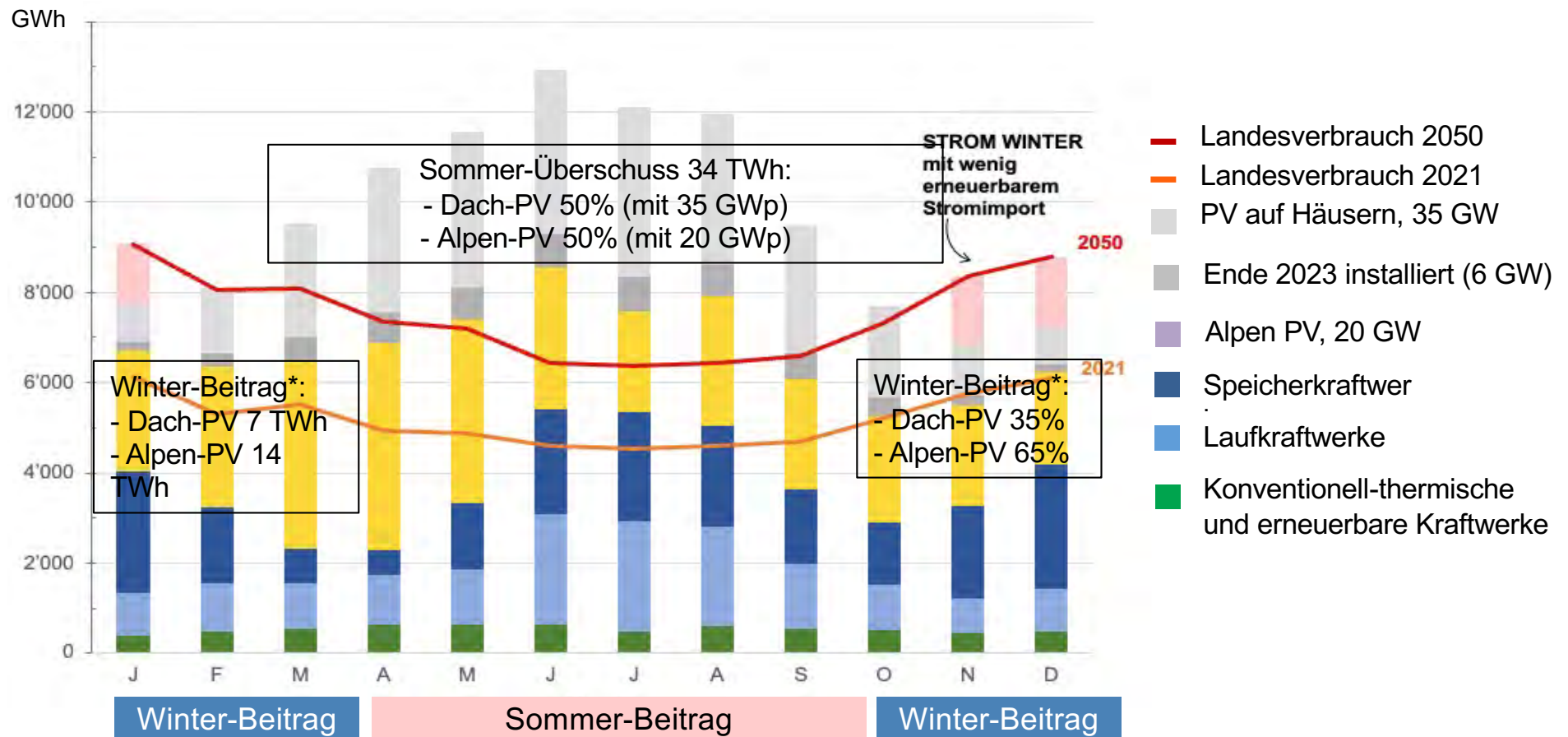
Im Mittelland gibt es die grösste Dachfläche.
Alpine PV hat in den Bergen den günstigeren Standort.



* ZHAW, Photovoltaik Versuchsanlage Davos Totalp
Messergebnisse Winterhalbjahr 2020 / 2021
Alpen: Variante 70°/bifazial



20 GWp Alpen-PV und 35 GWp Dach-PV lassen nur noch minimale Lücke von 4 TWh. Sommerüberschuss bleibt gross.



Alpen-PV liefert teuren Winterstrom, aber günstigeren als Gebäude-PV

Anlagen- typ	Investi- tion	Amorti- sation	Zins Baurecht	Produktion, kWh/kWp		Kosten, Rp./kWh	
				Fr./kWp	Fr./kWp/a	Rp./kWh	Jahr
Dach	2000.-	120.- 25a/4%	0	1000 100%	300 30%	12	40
Alpen	4000.-	213.- 30a*/4%	1	1700 100%	1000 47%	13	21

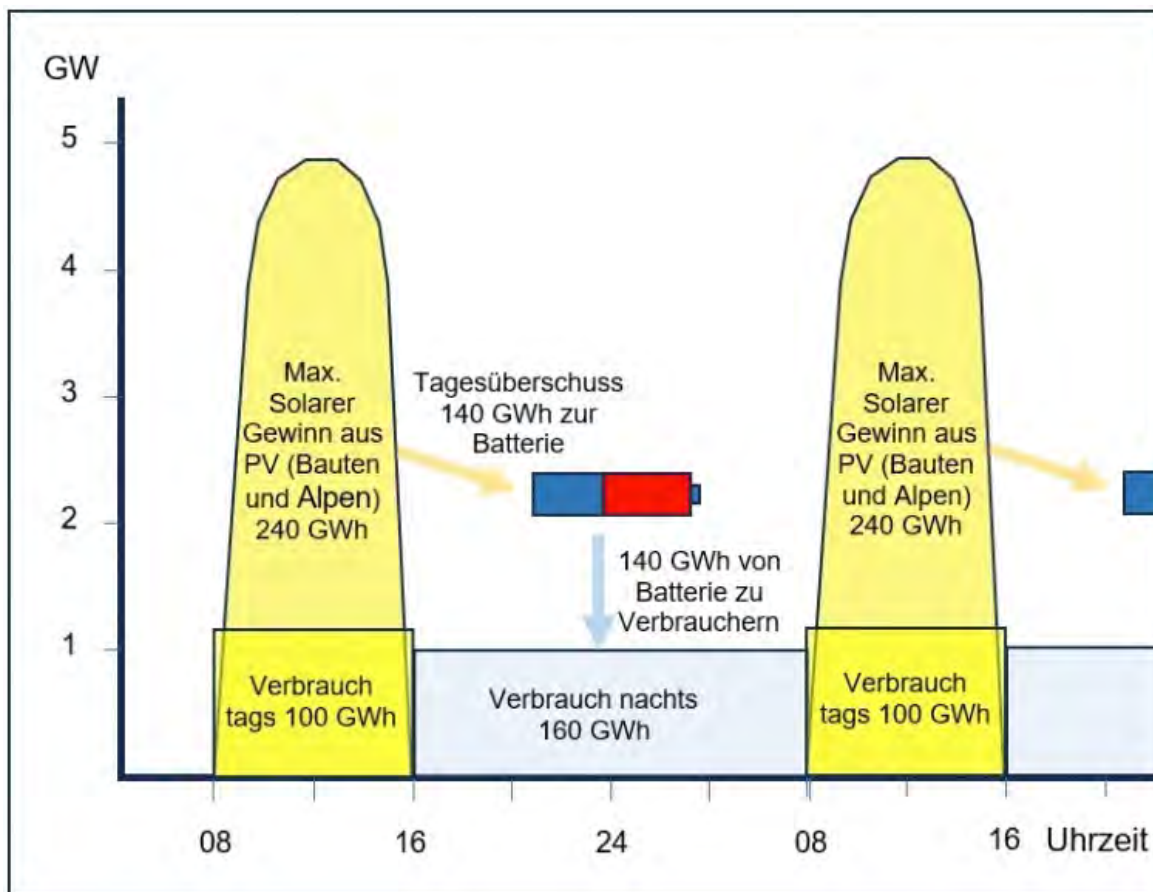
* Dominanter Kostenanteil der Unterkonstruktion, amortisiert über 60 Jahre

Lesebeispiel:

- Investition Alpen-PV 4000.-, Annuität $1/30 + 4\%/2 = 5.33\%$,
- Jahreskosten $0.0533 \times 4000.- = 213 \text{ Fr./a}$
- Winterstromkosten: $213 \text{ Fr./a} / 800 \text{ kWh/a} + 1 \text{ Rp./kWh (Baurechtszins)} = 27.6 \text{ Rp./kWh}$

Erwartete Verbilligung durch geeignetere Standorte und Erfahrung

Ein hoher PV-Anteil wird Tag-/Nacht-Speicherbatterien unvermeidlich machen



Batteriekosten:

- Investition 2030: 200 Fr./kWh
- Jahreskosten bei Nutzung der Kapazität 200 mal/a während 20 Jahren, 4% Zins: 7 Rp./kWh

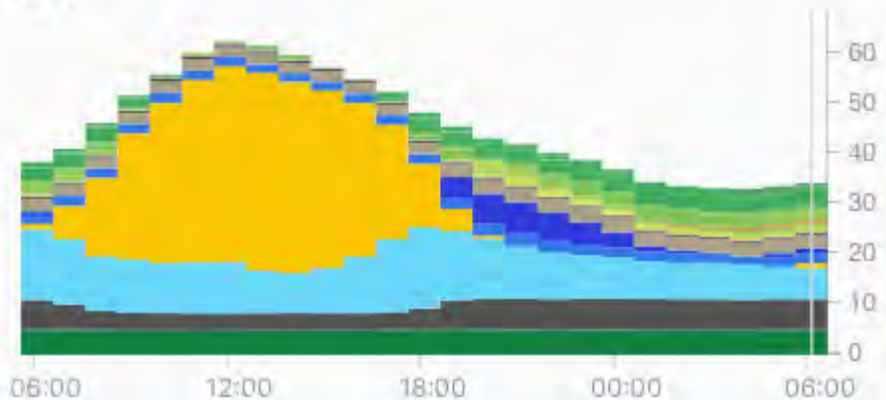
Limite von Wind und Sonne ohne Tag-/Nachtspeicher

Beispiel Stromversorgung 10.8.24

Deutschland

Hourly electricity origin

GW



Hourly electricity prices

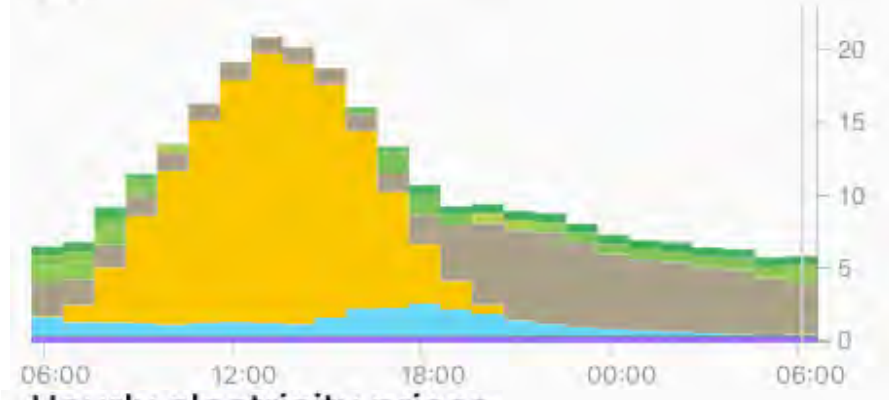
€ / MWh



Holland

Hourly electricity origin

GW



Hourly electricity prices

€ / MWh



Der Flächenbedarf der Alpen-PV ist klein

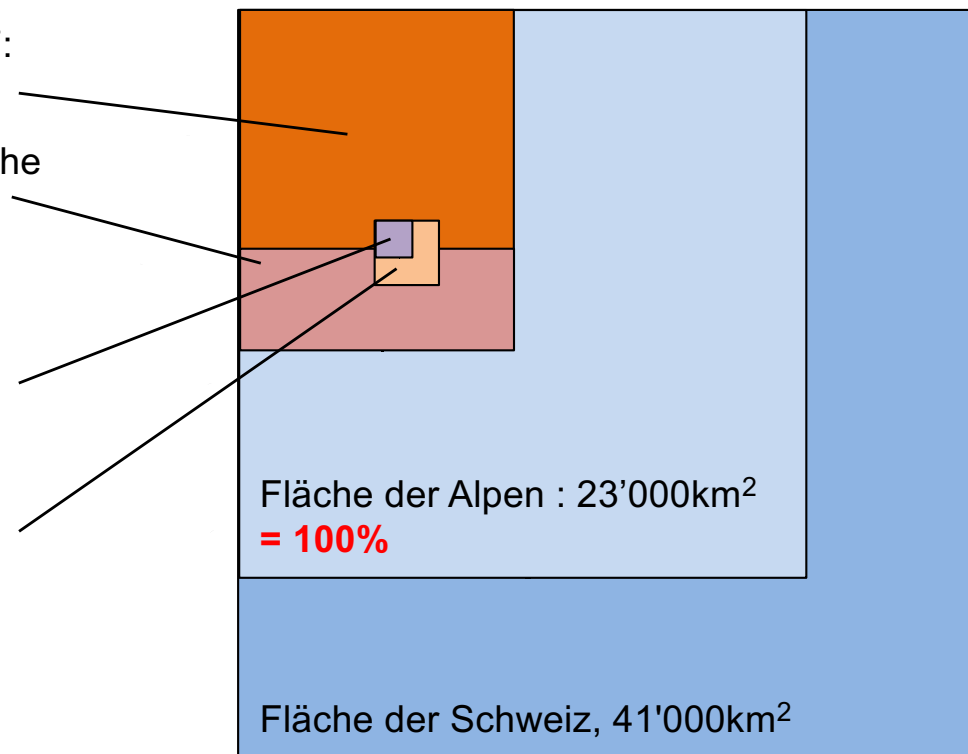
1.3 % der Alpen liefern 18 TWh Winterstrom

Alpwirtschaftliche Nutzfläche 2007:
4700km² * = 20%

Verlust alpwirtschaftlicher Nutzfläche
1911 bis 2005:
2000km² * = 9%

PV-Modul-Fläche Alpen-PV für
20GWp, 18TWh Winterstrom:
100km² = **0.4%**

Terrain-Fläche Alpen-PV für
20GWp, 18 TWh Winterstrom:
300km² = **1.3%**



* Quelle: AGRARForschung 14 (6): 254-259, 2007, F. Herzog et.al. "Alpweiden im Wandel"

Nicht jede Schutzzone ist gleich gut verständlich, Beispiel BLN am Berninapass



Ideale Erschliessung und
starke Vorbelastung

Aber:

- BLN-Gebiet
- Unesco Welterbe RhB

Kann sich die Schweiz weiterhin auf Kosten der Nachbarn versorgen?

Windpark im Naturpark Fosen,
Norwegen, mitfinanziert von BKW und CS



Braunkohleabbau in Deutschland, Stromquelle
im Winter 22/23 bei defekten franz. KKW's



Wie weit ist Landschaftsschutz wirklich wichtiger als Energieversorgung? Lautet Frage nicht eher:
Wie gestalten wir die klimaneutrale Energieversorgung mit möglichst geringen Eingriffen in die Natur?

Hindernis Verständnis der Zusammenhänge

PV-Strategie des Kantons Freiburg

Alpen-PV mit Priorität 3, u.a. weil

- Ökologische Auswirkungen negativ, **korrekt?**
- Nutzungskonkurrenz mittelmässig, **korrekt?**
- Soziale Akzeptanz mittelmässig, **weshalb?**

Akademien der Wissenschaften Schweiz

Minimierung der Nachteile der APV, d.h. z.B. ausgeschlossen sind Lebensräume mit Vorkommen von national prioritären, gefährdeten oder geschützten Arten

Bsp. Verbreitung des Birkhuhns
(rote Liste, potenziell gefährdet)
D.h. es gibt keinen Standort!



Alpen-PV fördert die Alpwirtschaft und die Biodiversität !

Der volkswirtschaftliche Nutzen der Alpen-PV ist 100-fach der traditionellen Alpwirtschaft!

Beispiel Alp Run, Disentis, Fläche 7.8 km²

Viehwirtschaft:

- 83 gehaltene Grossvieheinheiten 2022
- 3 Alphütten ohne Stromversorgung
- Anstehende Reparatur der Wasserversorgung, Kostenschätzung: 194'000 Fr.
- Ertrag der Sömmerung: ca. 40'000 Fr./a
- Pachtzins: 4000 Fr./a

Energienutzung:

- PV 26 MWp, 40 GWh/a
- 0.33 km²
- Baurechtszins, 1 Rp./kWh: 400'000 Fr./a



Zusatznutzen der Alpen-PV: Geld für die Alpwirtschaft verhindert Verganden der Alpen

Die alpwirtschaftlich genutzte Fläche ist im letzten Jahrhundert um 2000 km² auf noch 4500 km² gesunken.

Baurechtszins einsetzbar zur

- Sanierung der Alphütten (u.a. Stromversorgung für Waschmaschine, Dusche)
- Wasserversorgung der Alp
- Viehunterstände

10 Prozent des üblichen Baurechtszinses bedeutet eine Verdoppelung der Einnahmen.



Käsen, Alp oberhalb Studen, SZ
Foto R. Kriesi, Juni 2023

Die Alpen-PV erlaubt Doppelnutzung mit Viehsömmerung



Erfahrung mit Testanlagen im ersten Sommer:
Die Kühe schätzen den Schutz der Module gegen Sonne
und Regen und die Kratzmöglichkeit an den Gestellen.

Die Alpwirtschaft fördert die Biodiversität

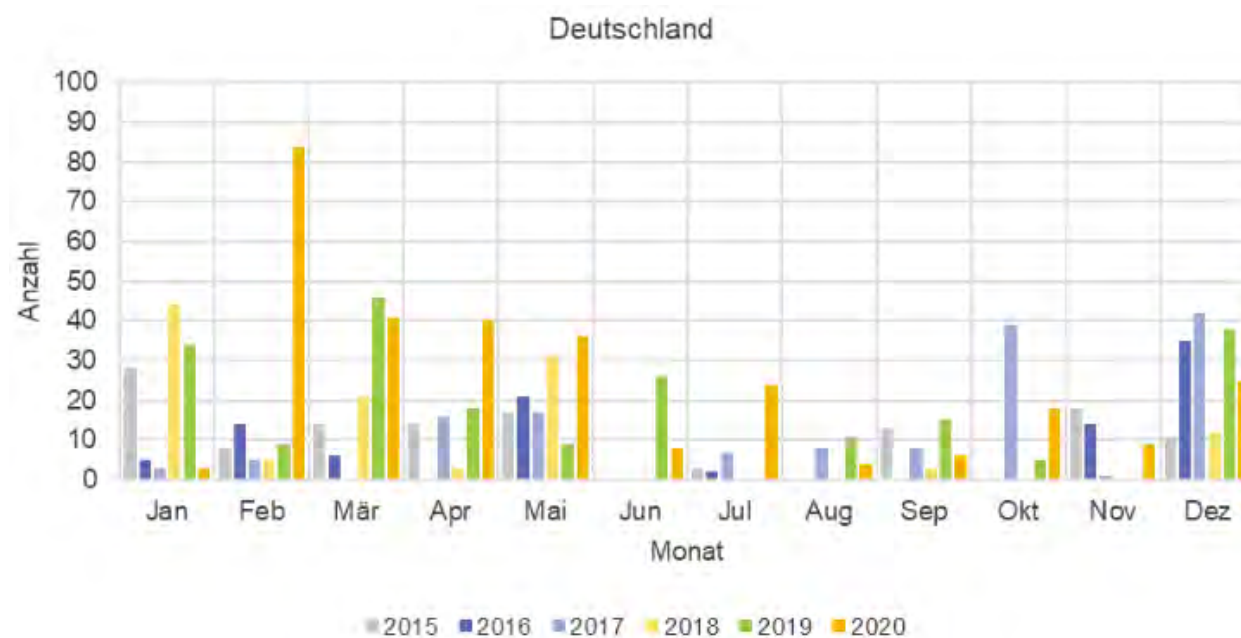
Die Verbuschung der Alpweiden bedeutet einen massiven Verlust der Biodiversität und eine Veränderung der Landschaft.

**Mit passenden
Baurechtsverträgen fördert die
Alpen-PV die Biodiversität!**



Grünerlenhang: Wird die Nutzung reduziert oder ganz aufgegeben, verbuscht altes Kulturland wie hier im Urserntal (UR). *Schweizer Bauer*, 26.9.2013

Ziel ist nicht autarke Schweiz! Import von Windstrom aus Deutschland zur günstigen Deckung der restlichen Stromwinterlücke



Anzahl Stunden mit negativen Preisen, Lieferort Deutschland
an der EPEX SPOT Day-Ahead-Auktion nach Monaten und Jahr (EICOM 2021)

Limite durch **Mantelerlass**, Art. 2 Abs 3 (nach Herbstsession 23) :
Der **Import** von Elektrizität im Winterhalbjahr soll netto den **Richtwert von 5 TWh** nicht überschreiten.

Einflussfaktoren:

- Ausbau Windstrom
- Ausbau Leitungskapazität DE von Nord nach Süd
- Verbrauchszunahme DE, ..
- Abbau Kohlekraftwerke

Import von grünem Brennstoff aus der Wüste z.B. für z.B. Hochtemperatur-Gasanwendungen, Flugtreibstoff

Planung Herstellung von grünem Wasserstoff aus PV und Wind in Oman
(dürfte teuer werden und deshalb ungeeignet zur breiten Anwendung)

	Mio. Tonnen H ₂	Elektrolyse, GW
2030	1	10
2040	3.5	40
2050	8	100

Germany Trade & Invest,
17.7.23,

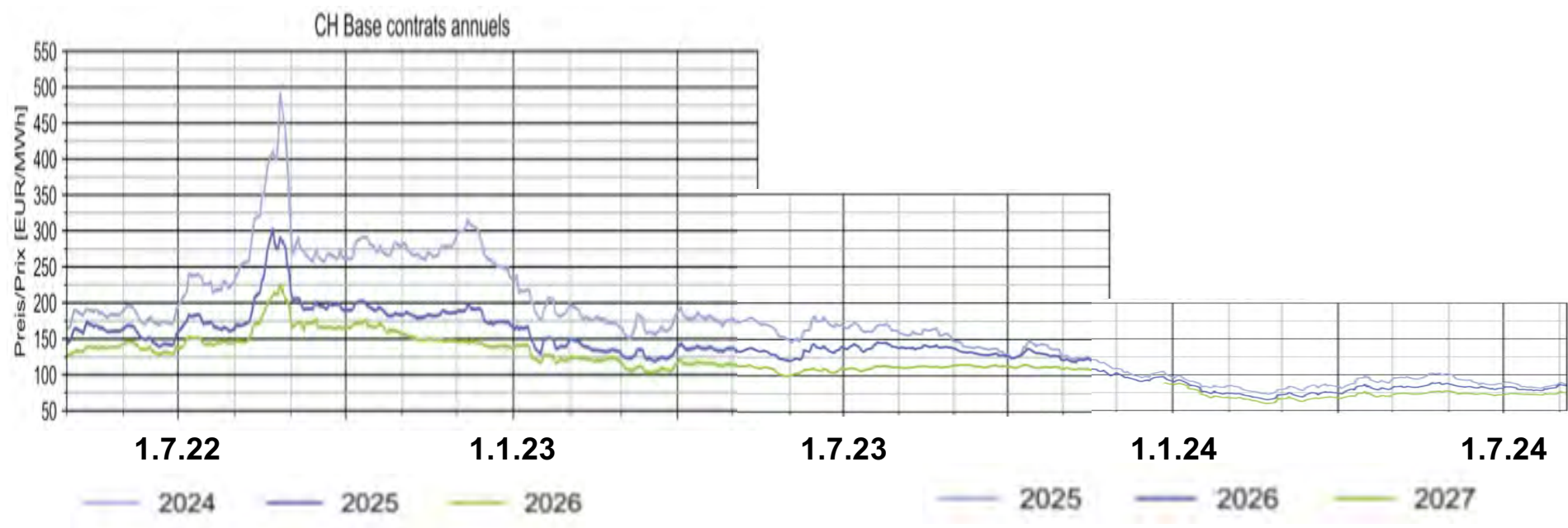


Omanobserver.om

solar-power-plant-in-the-desert

Hindernis erneut sehr tiefer Strompreis

Terminbörse (EiCom, Terminmarktbericht, 6.8.24)



Realistische, bezahlbare Wege zu netto-null CO₂-Emissionen gäbe es, aber die Probleme des Klimaeffekts müssen noch stark spürbarer werden, bis die Schweiz, Europa und sogar die grossen Kontinente konsequent handeln.

Besten Dank