

# SIC-SUST 2026

## Sustainability in Production Systems

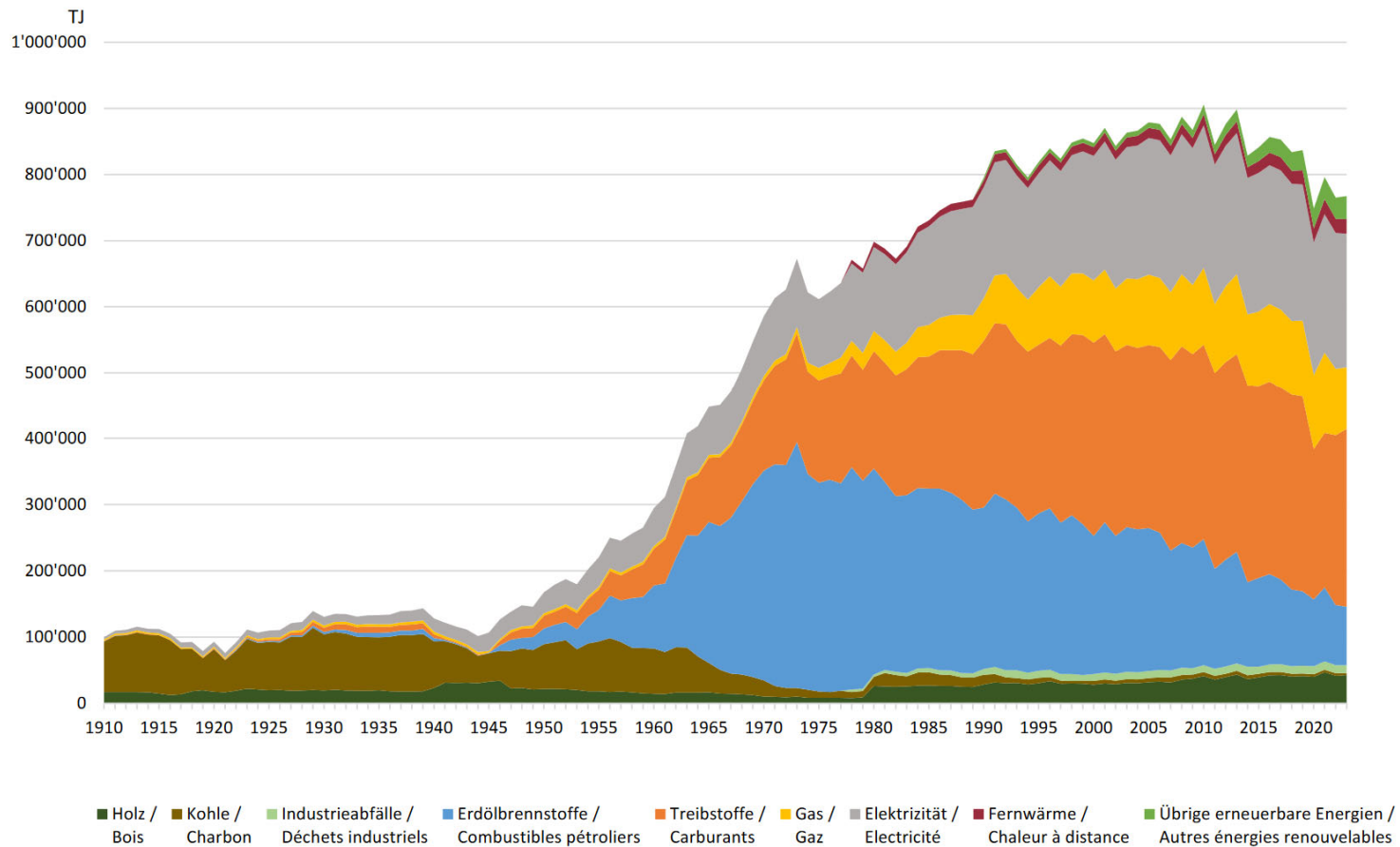
IPP – Institute of Product Development and Production Technologies  
2026 | Prof. Jörg Agarico (agrc)

# Lernziele

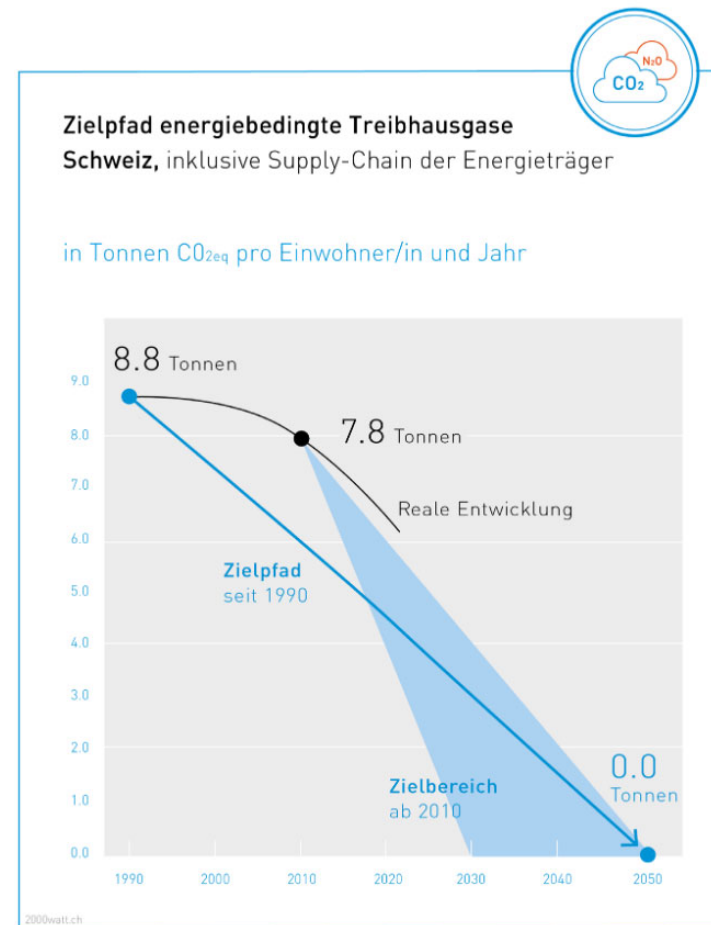
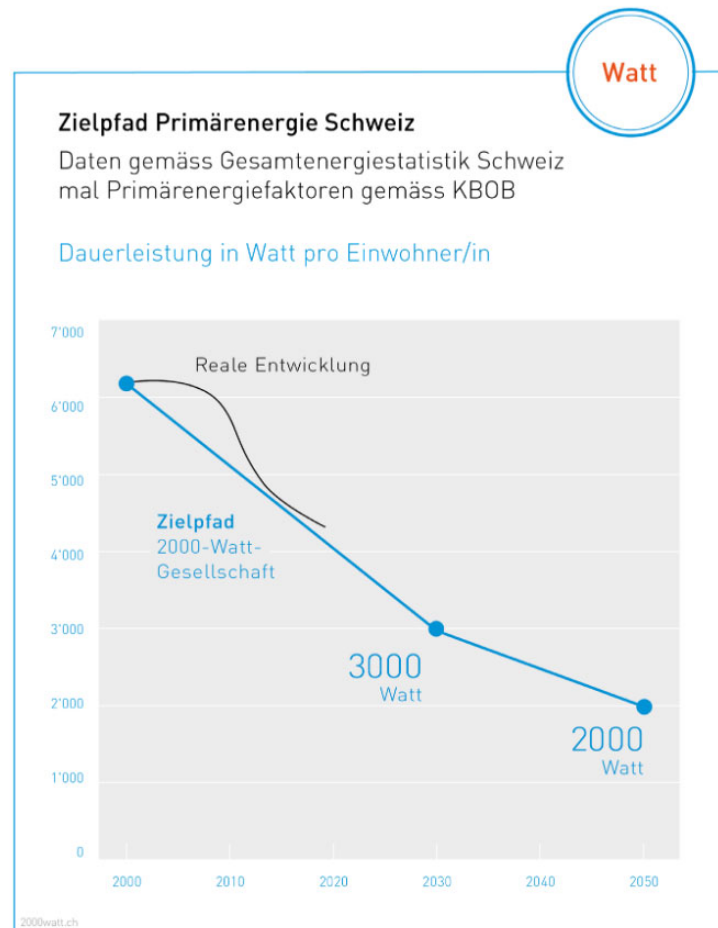
- Sie lernen die Bedeutung des Themas «Energieeffizienz in der Produktion» kennen
- Sie erhalten einen Überblick über relevante industrielle Prozesse
- Sie erhalten ein vertieftes Verständnis des Begriffes «Nachhaltigkeit»
- Sie lernen, wie Energieeffizienz und –konsistenz in konkrete Ingenieurtätigkeit umgesetzt werden kann
- Sie lernen, Ihre ingenieurwissenschaftliche Arbeit in grösseren Zusammenhängen zu sehen
- Sie üben sich in Teamarbeit und im Schreiben eines Fachartikels

# Endenergieverbrauch in der Schweiz

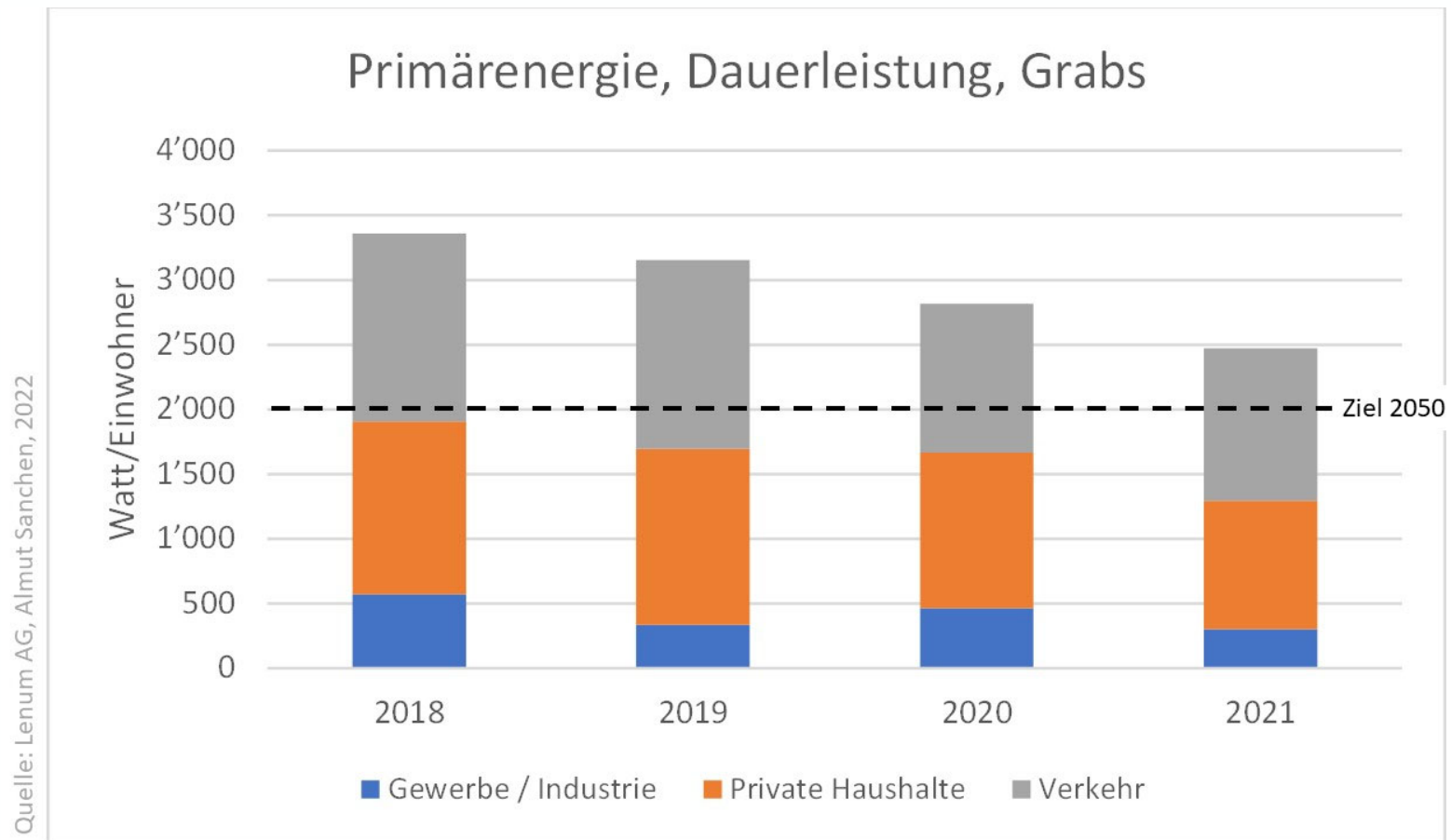
Endenergieverbrauch der Schweiz seit 1910  
Consommation finale de l'énergie depuis 1910



# Das Konzept der 2000 Watt-Gesellschaft

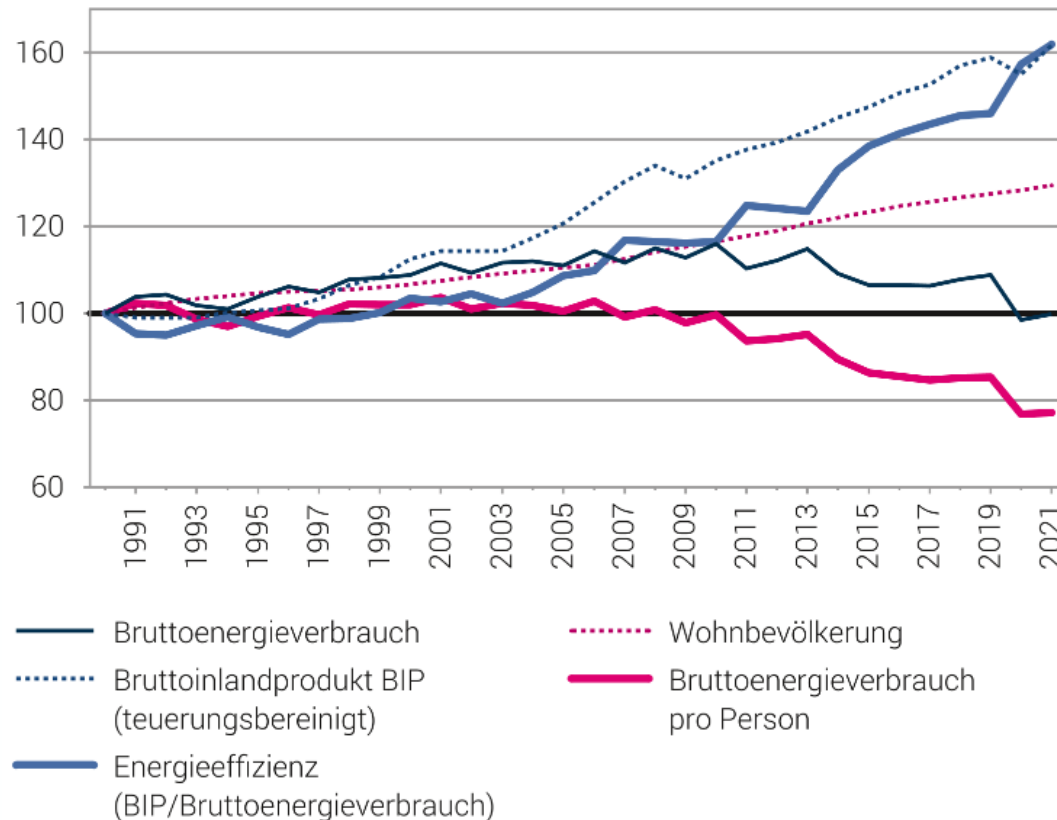


# Das Konzept der 2000 Watt-Gesellschaft am Beispiel der Gemeinde Grabs (SG)



# Bruttoenergieverbrauch in der Schweiz

Index 1990=100

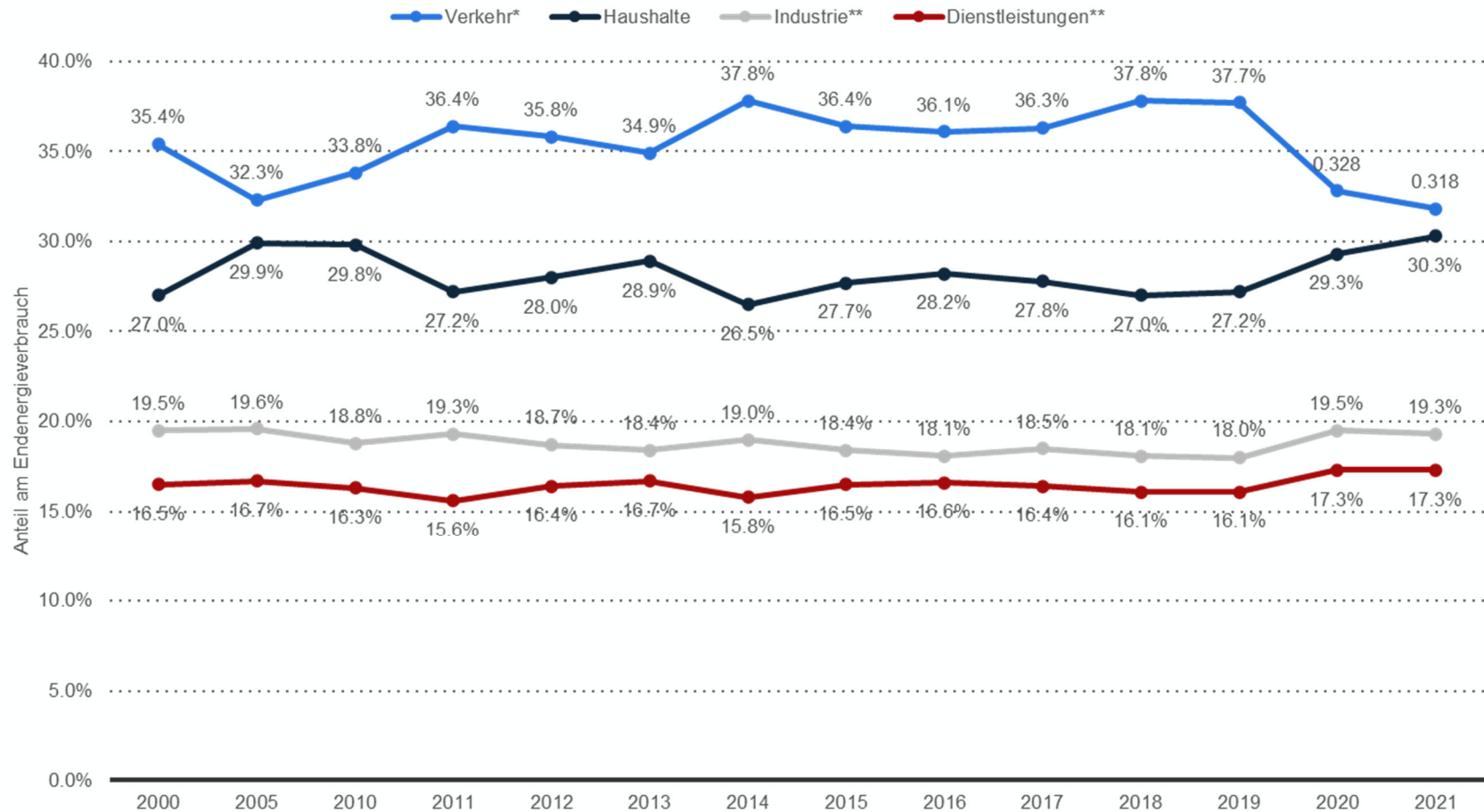


Die Grafik zeigt nur den Energieverbrauch innerhalb der Schweiz. Graue Energie ist nicht berücksichtigt.

Quellen: BFE – Gesamtenergiestatistik; BFS – VGR, ESPOP/STATPOP

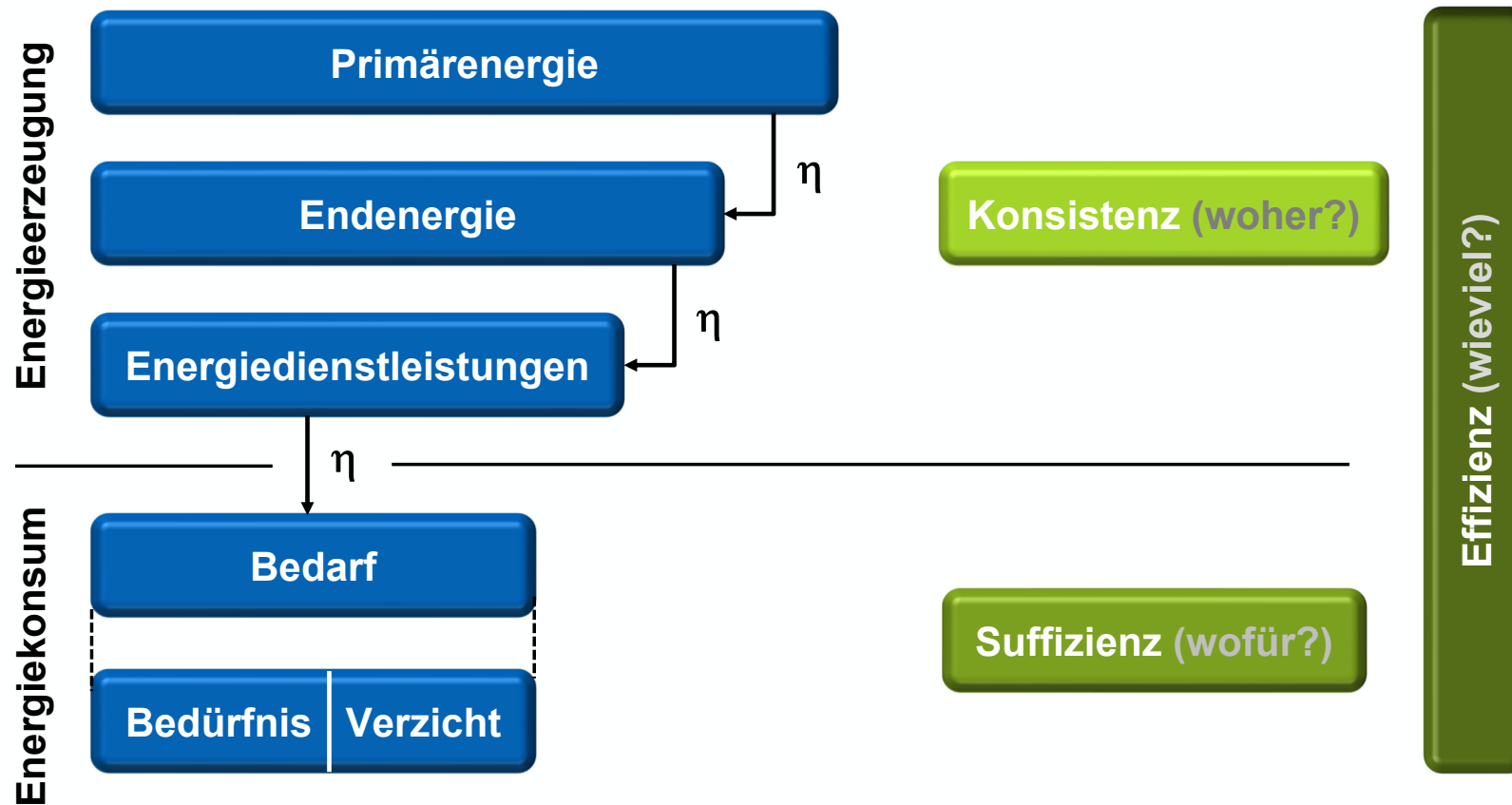
© BFS 2022

# Struktur des Endenergieverbrauchs in der Schweiz



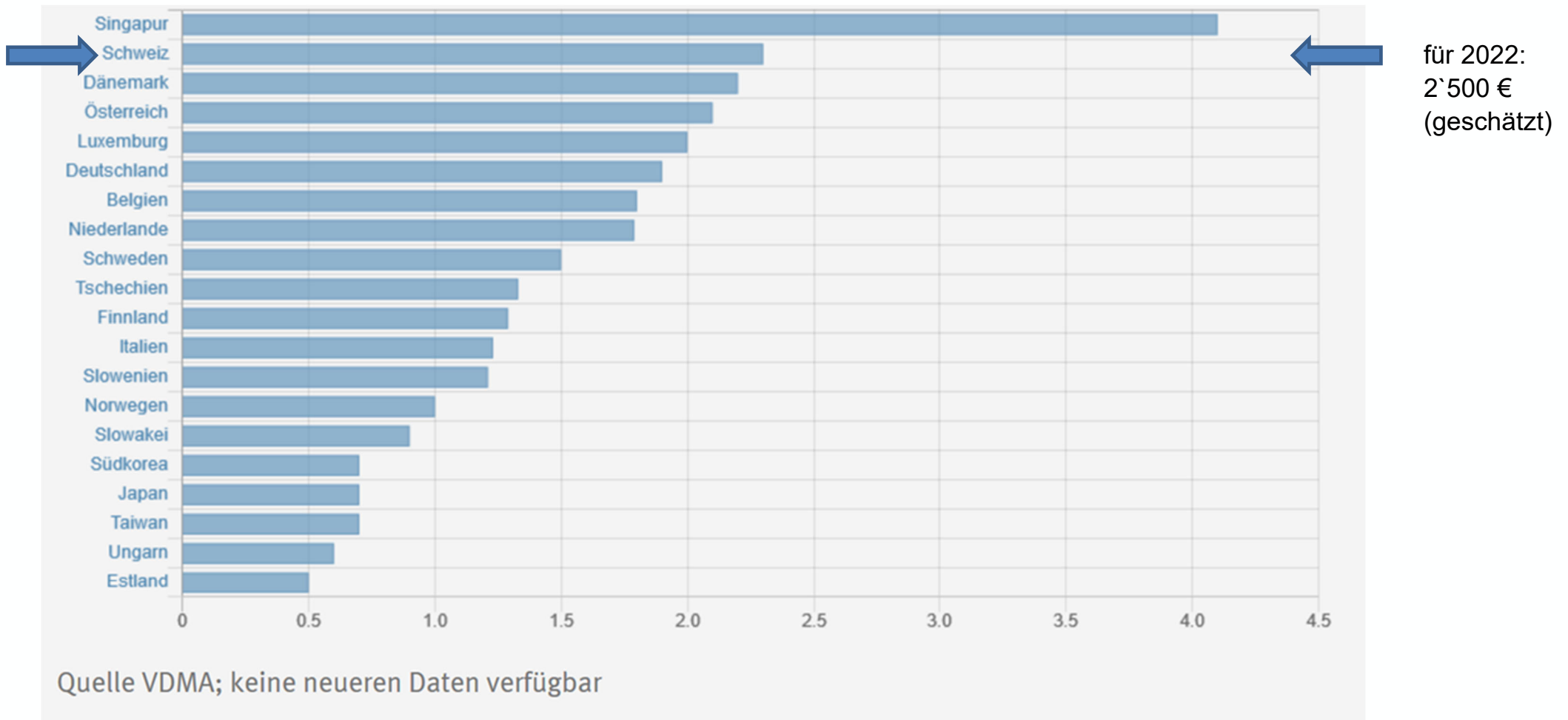
BFE Bern

# Struktur der Energieumwandlungskette





# Maschinenexportwerte je Einwohner 2019



# Rangliste Maschinenexportländer 2021

## Rangliste gesamt

	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5	Rang 6	Rang 7	Rang 8	Rang 9	Rang 10	Rang 11	Rang 12	Rang 13
Land	DEU	CHN	USA	JPN	ITA	KOR	FRA	NLD	GBR	SGP	MEX	BEL	CH

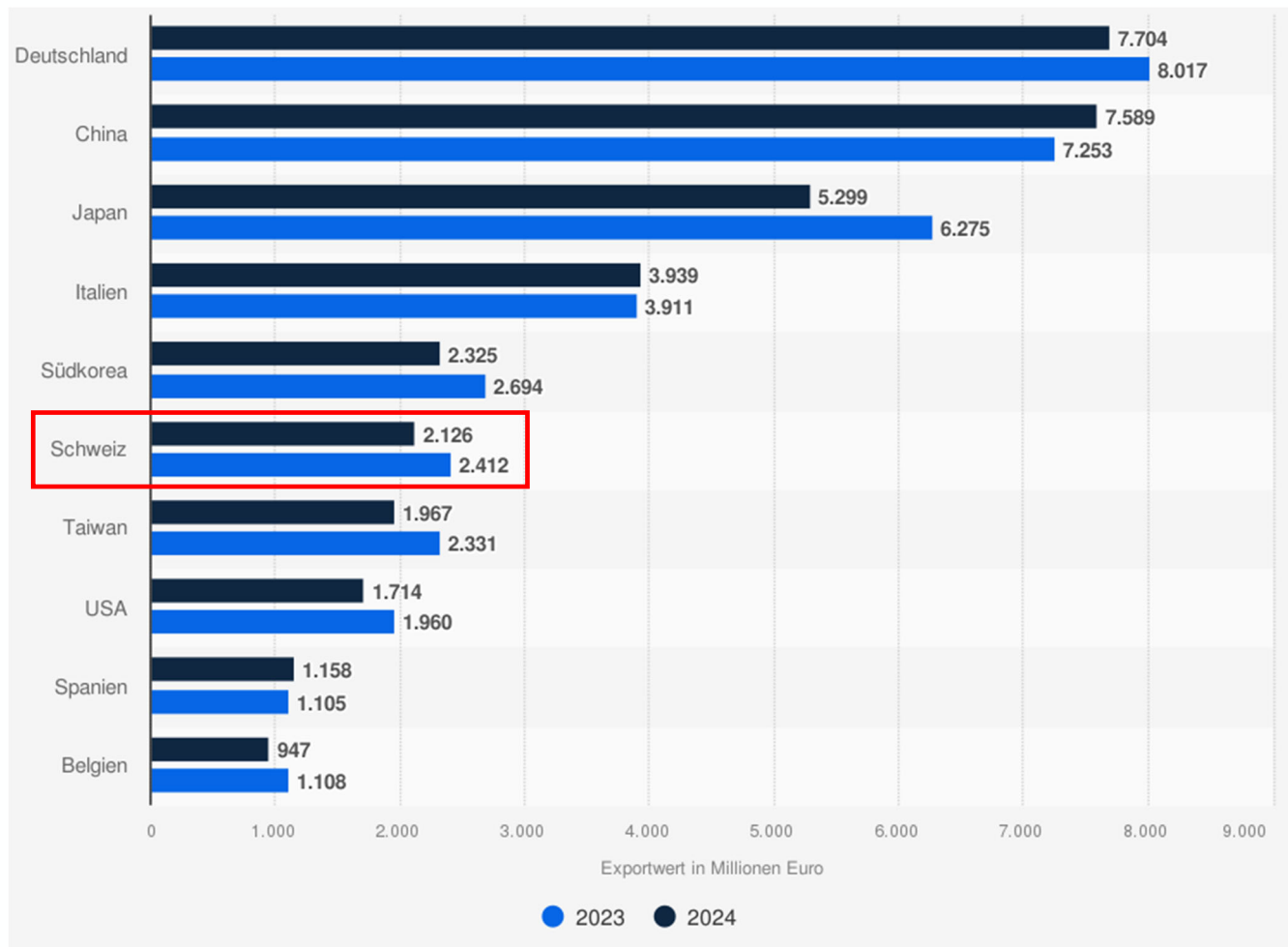
Die Schweiz spielt  
in verschiedenen Produktgruppen  
des Maschinenbaus eine grosse Exportrolle,  
im Verhältnis zur Landesgrösse gesamt betrachtet  
eine herausragende Rolle

## Rangliste nach Produktgruppen

Produkt	Rang 1	Rang 2	Rang 3	Rang 4	Rang 5	Rang 6	Rang 7	Rang 8	Rang 9	Rang 10	Rang 11	Rang 12	Rang 13
Alle Produkte	DEU	CHN	USA	JPN	ITA	KOR	FRA	NLD	GBR	SGP	MEX	BEL	CH
Papier- verarbeitungs- maschinen	DEU	ITA	CHN	CH	USA	FRA	JPN	TWN	NLD	KOR	GBR	SWE	ESP
Verpackungs- maschinen	DEU	ITA	CHN	USA	CH	FRA	JPN	NLD	ESP	SWE	CAN	GBR	TWN
Textilmaschinen	CHN	DEU	JPN	ITA	CH	FRA	TWN	KOR	USA	IND	SGP	CZE	NLD
Werkzeug- maschinen	DEU	JPN	ITA	CHN	TWN	CH	USA	KOR	BEL	ESP	FRA	AUT	CZE
Nahrungsmittel- maschinen	DEU	ITA	NLD	CHN	USA	FRA	DNK	CH	JPN	GBR	BEL	TUR	ESP
Waagen	CHN	DEU	NLD	JPN	USA	GBR	CH	ITA	DNK	MEX	SGP	FRA	ESP
Turbinen	USA	DEU	ITA	JPN	GBR	CH	CHN	SGP	FRA	CAN	NLD	MEX	SWE
Druckerei- maschinen	DEU	JPN	ISR	ITA	USA	CHN	GBR	CH	NLD	FRA	SGP	ESP	BEL
Präzisions- werkzeuge	CHN	DEU	JPN	KOR	ITA	USA	NLD	CAN	CH	BEL	TWN	ISR	AUT
Kompres- soren/Vakuum- technik	DEU	ITA	USA	CHN	JPN	BEL	FRA	KOR	MEX	NLD	CH	GBR	ROU
Kunst- stoff-/Gummi- maschinen	DEU	CHN	JPN	ITA	AUT	USA	TWN	CAN	FRA	KOR	CH	NLD	CZE

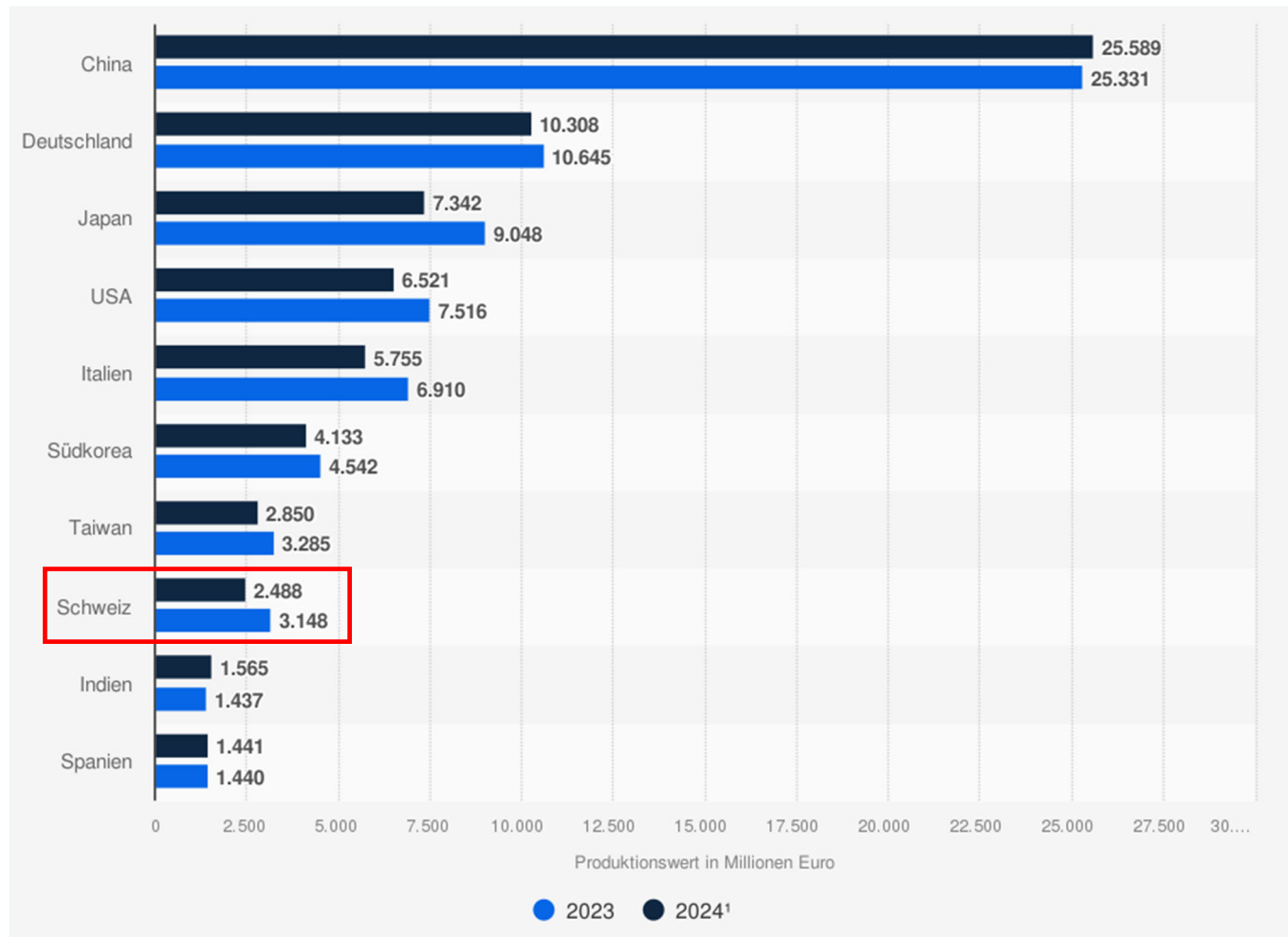
Swissmem

# Exportwerte von Werkzeugmaschinen



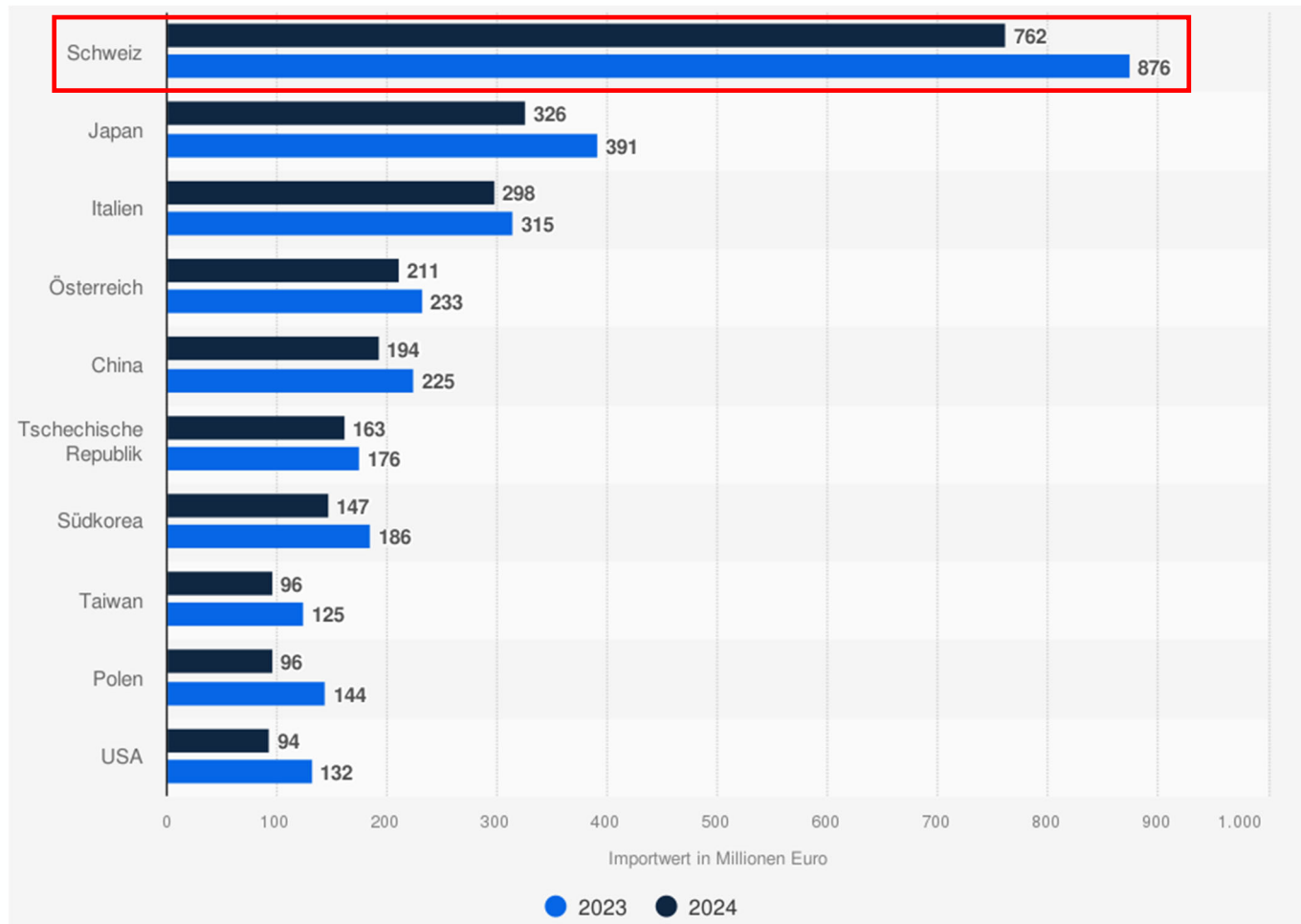
Statista

# Produktionswert von Werkzeugmaschinen»



Statista

# Deutscher Import von Werkzeugmaschinen



Statista

# Effizienz, Konsistenz und Suffizienz am Beispiel eines Wohngebäudes

# Gebäudestandards zur Energieeffizienz

Kennwert	Einheit	Schweiz		Deutschland		Bestand
		Minergie	Minergie-P	ENEV 2009	Passivhaus	
Heizwärmebedarf	kWh/m <sup>2</sup> ×a	k.A.	≤ 15		≤ 15 <sup>*)</sup>	160
Heizwärmelast	W/m <sup>2</sup>	k.A.	≤ 10		≤ 10 <sup>*)</sup>	
Endenergiebedarf	kWh/m <sup>2</sup> ×a	k.A.			≤ 42	270
Primärenergiebedarf	kWh/m <sup>2</sup> ×a	k.A.	-		≤ 120	
gewichtete Energiekennzahl <sup>1)</sup>	kWh/m <sup>2</sup> ×a	≤ 38	≤ 30		-	
Druckluftwechselrate n <sub>50</sub> <sup>2)</sup>	-	-	≤ 0,6	≤ 3,0	≤ 0,6	10 - 15

<sup>\*)</sup> alternativ

<sup>1)</sup> nach Minergie

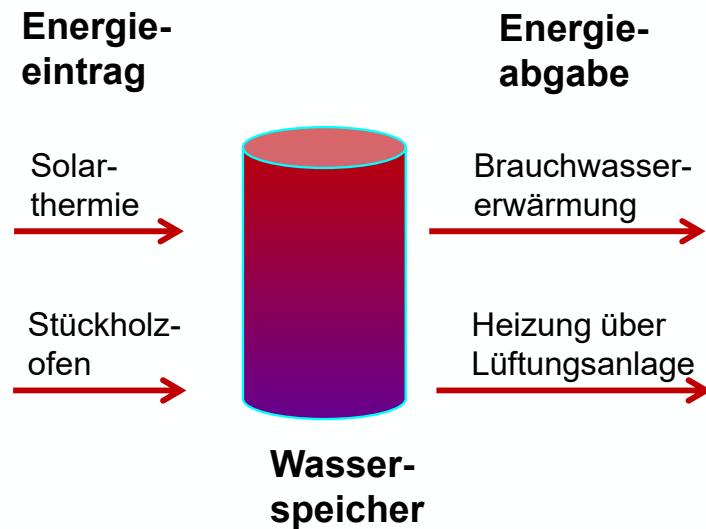
<sup>2)</sup> Verlustvolumen [1/h] bezogen auf das Innenvolumen  
bei 50 Pa Überdruck bzw. Unterdruck

Heizwärmebedarf pro Jahr für ein Einfamilienhaus (150m<sup>2</sup> Fläche):

- 2'250 kWh p.a. (Minergie-P oder Passivhausstandard)
- zum Vergleich: 24'000 kWh p.a. (typisches Haus im Gebäudebestand)

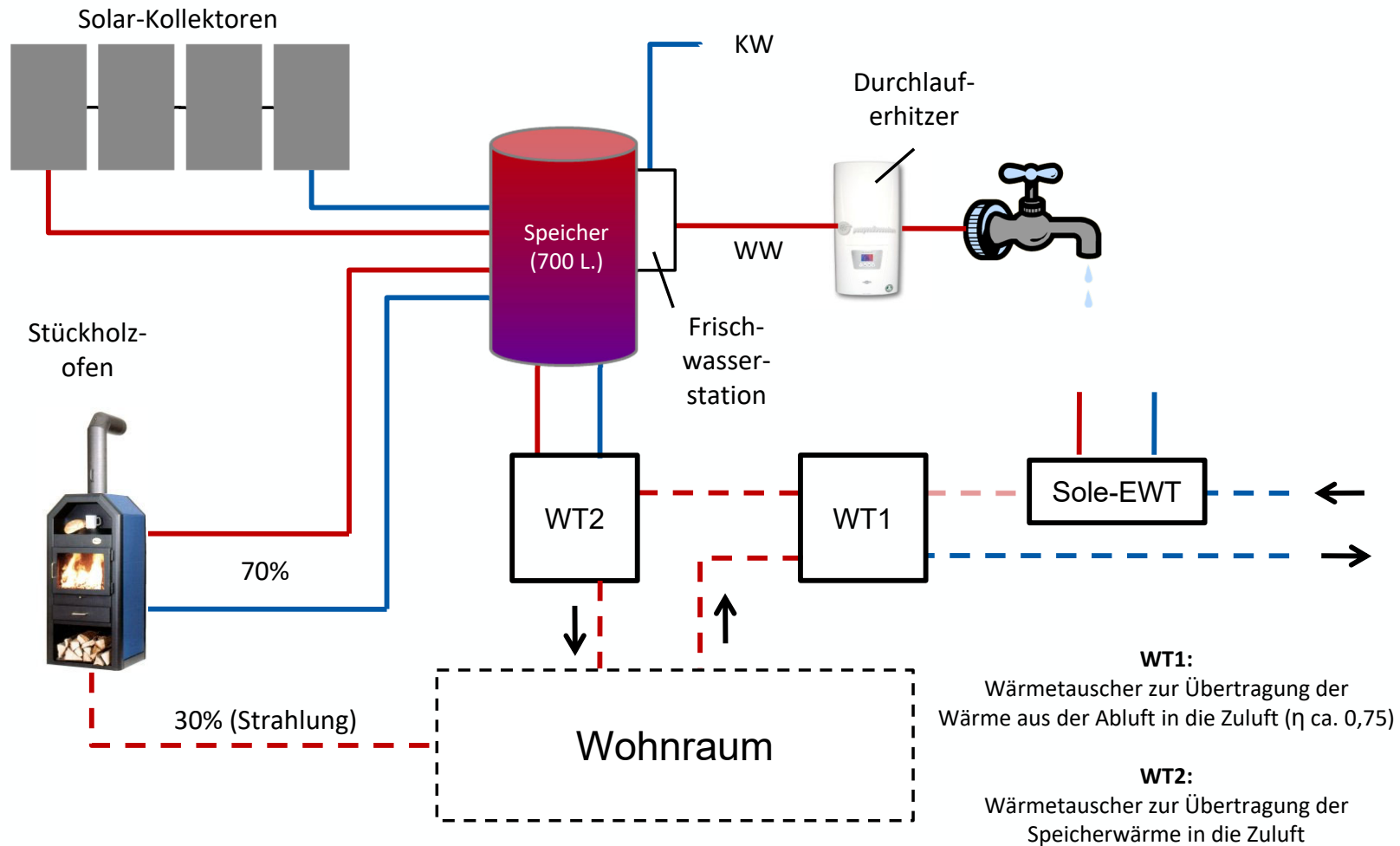
# Energiekonsistenz

## Schematische Darstellung der Warmwasser und Heizwärmebereitung





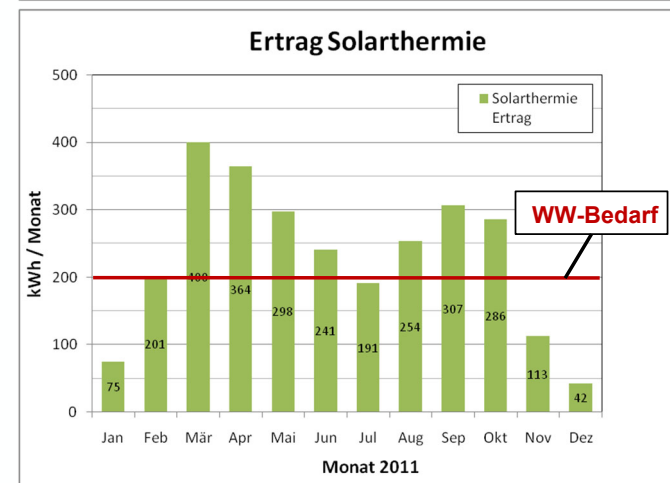
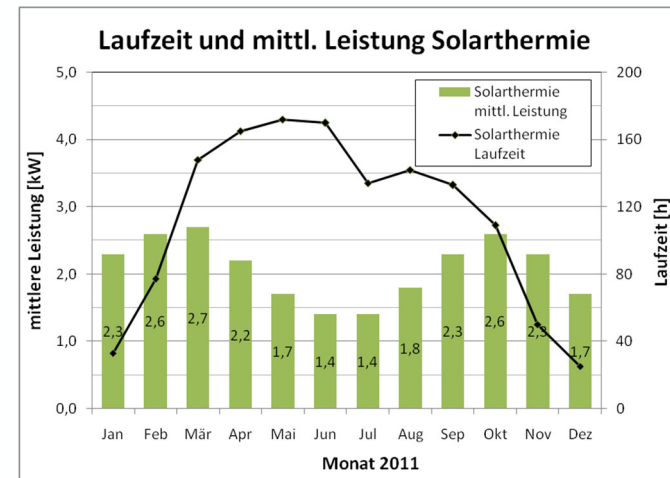
# Effizienz- und konsistenzrelevante Komponenten



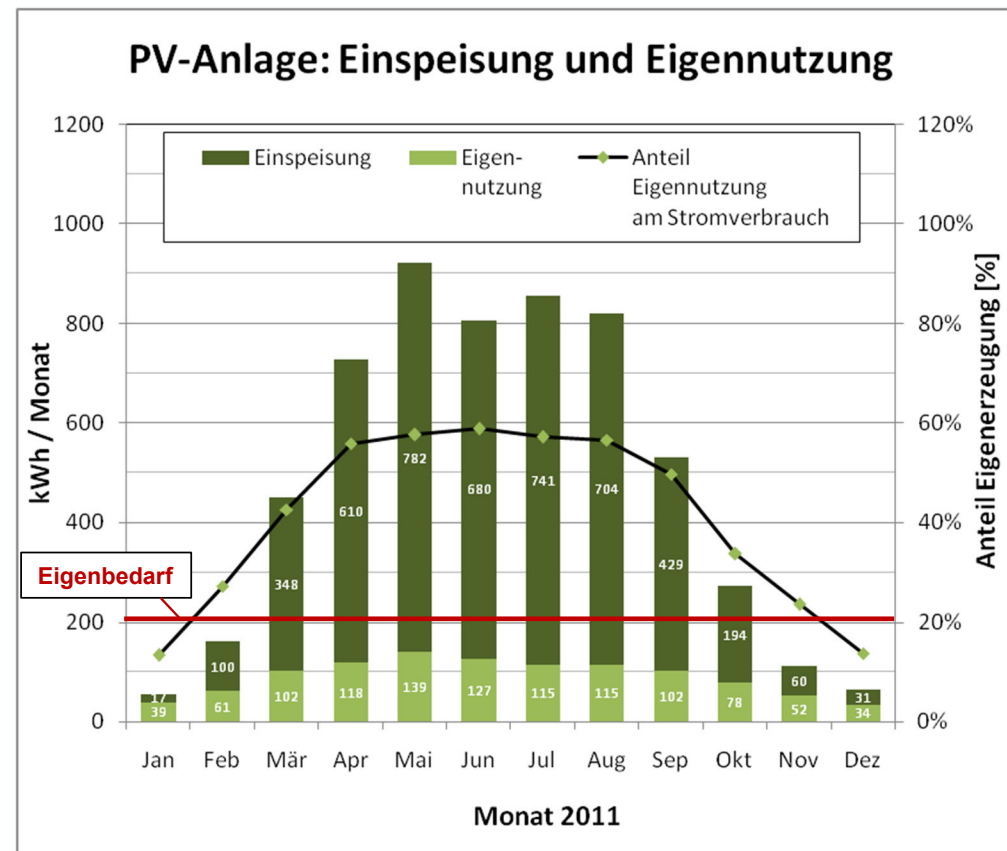
# Bedarfs- und Angebotsproblematik regenerativer Energiequellen

## Auswirkungen der senkrechten Montageposition der Solarthermie:

- Verbesserung der Erträge in den Randjahreszeiten
- Reduzierung der nicht nutzbaren Überschüsse im Sommer (Überhitzung)
- in Summe deutlich verbesserter Nutzungsgrad in der Jahresbilanz (ca. 80%)



# Nutzung regenerativer Energiequellen



# Effizienz, Konsistenz und Suffizienz

## Konkrete Massnahmen

### Effizienz

- stark gedämmte Gebäudehülle
- Reduktion von Luftleckagen
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- WW-Anschluss für Wasch- und Spülmaschine

### Konsistenz

Ausschliessliche Nutzung regenerativer Energiequellen

- Strom: Fotovoltaik
- externer Strom: Ökostrom mit Label
- Wärme: Solarthermie und Holz
- Regenwassernutzung für Sanitäreinrichtungen

### Suffizienz

- Reduktion der WW-Temperatur auf 40° C.
- sinnvolle zeitliche Verschiebung von Energiebedarf (Kochen, Waschen, Spülen)
- Verzicht auf Tumbler



# Details der Energiebilanz

	Nutzenergie	$\eta_{\text{nutz}}$	Endenergie	Energieträger	Primärenergie (fossile Energieträger)	Datenbasis
<b>Verbrauch</b>						
Heizung	2350	0.81	2901	Holz	0	Berechnungsdaten Architekt
Warm-Wasser			2400	Solar, Holz, Strom (Ökostrom, 100% regenerativ)	0	Erfahrungsdaten aus 1. Nutzungsjahr
Haushaltstrom			2500	Ökostrom (100% regenerativ)	0	Erfahrungsdaten aus 1. Nutzungsjahr
<b>Summe</b>			<b>7801</b>		<b>0</b>	
<b>Ertrag</b>						
EWT			180			Erfahrungsdaten aus 1. Nutzungsjahr
Solarthermie			2360			Erfahrungsdaten aus 1. Nutzungsjahr
PV-Anlage			5600			Erfahrungsdaten aus 1. Nutzungsjahr
<b>Summe</b>			<b>8140</b>			
<b>Bilanz</b>			<b>-339</b>	(„-“ = Überschuss)		

sämtliche Energiekennwerte in [kWh]

**zum Vergleich:**

**Endenergiebilanz** in einem konventionellen Haus im Bestand (ca. 270 kWh/m<sup>2</sup> p.A.)

➡ ca. 40'000 kWh p.A.

## ... und nun?

- Die Mehrkosten betrugen ca. 50'000 CHF
- Das Haus spart den Bewohnern ca. 5'000 CHF pro Jahr an Energiekosten
- Die wesentlichen Komponenten haben eine Lebensdauer von mindestens 20 Jahren, teilweise deutlich mehr
- Nach ca. 10 Jahren sind die Mehrkosten zurückbezahlt (ohne Berücksichtigung von Zins und Inflation)

### ***Was geschieht danach mit den jährlichen Einsparungen?***

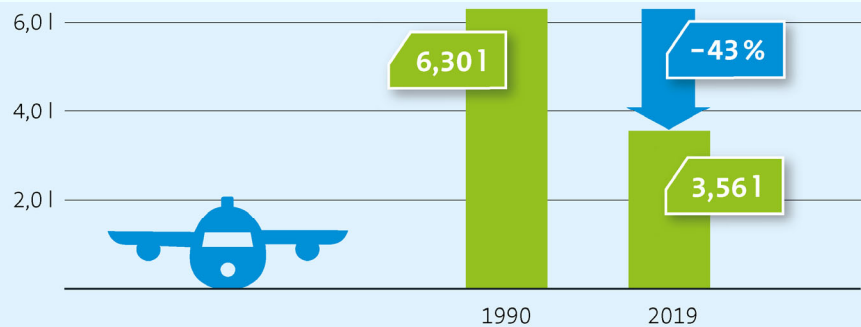
- jedes Jahr auf die Malediven?
- ein grösseres Auto?
- ...?



# Und in anderen Branchen?

## Durchschnittlicher Verbrauch der deutschen Flotte: 3,56 Liter\*

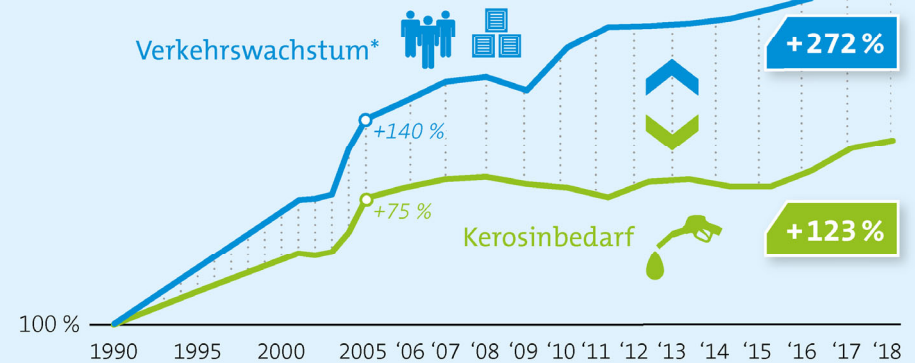
Verbrauch in Liter pro Passagier und 100km



\* Berücksichtigt werden bei der Berechnung alle BDL-Passagier-Fluggesellschaften inklusive der entsprechenden Tochterunternehmen.  
Quelle: BDL auf Grundlage von Unternehmensangaben

www.bdl.aero

## Entkopplung des Kerosinbedarfs vom Verkehrswachstum



\* Das Verkehrswachstum und der Kerosinbedarf beziehen sich auf die gesamte Verkehrsleistung aller Abflüge von Flughäfen in Deutschland.  
Quelle: BDL auf Grundlage der Daten von destatis und dem Umweltbundesamt (UBA), Stand 2019

www.bdl.aero



Der spezifische Verbrauch hat sich halbiert,  
der absolute Bedarf aber mehr als verdoppelt!



# Weitere überraschende Einsichten...

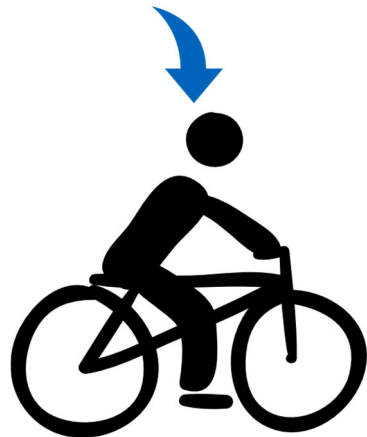
## CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Velofahren

### Kalorienbedarf:

bei 20 km/h: 28 kcal/km

bei 23 km/h: 30 kcal/km

bei 26 km/h: 33 kcal/km



### Tretleistung:

bei 20 km/h: 54 W

bei 23 km/h: 73 W

bei 26 km/h: 96 W

### CO<sub>2</sub>-Emission beim Velofahren (g/km)

		Geschwindigkeit		
		20 km/h	23 km/h	26 km/h
Ernährung	fleischbasiert	66.4	71.1	78.5
	vegetarisch	49.0	52.5	57.8
	vegan	40.0	42.6	46.9

Zum Vergleich:

EU-Flottenvorgabe PKW 2024: 95 g/km

Quelle [Energieverbrauch](#)

Quelle [Lebensmittel](#)



# CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Velofahren

## Der menschliche Muskel als Energiequelle

Aus obigen Daten (26 km/h, 33 kcal/km und 96 W Tretleistung) lässt sich errechnen, dass ein Mensch zur Erzeugung von 1 kWh mechanischer Energie ca. 9000 kcal Essen aufnehmen muss (sehr schlechter Wirkungsgrad von ca. 10%)

- \*Fleischesser:  $(2 \text{ kg CO}_2/1000 \text{ kcal}) * 9000 = 18 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$
- \*Vegetarier:  $(1.3 \text{ kg CO}_2/1000 \text{ kcal}) * 9000 = 11.7 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$
- \*Veganer:  $(0.8 \text{ kg CO}_2/1000 \text{ kcal}) * 9000 = 7.2 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$
- zum Vergleich: Braunkohle Kraftwerk:  $1.1 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$

\*Annahmen zur Ernährung:

Fleischesser:	50% Weizen, 25% Früchte, 17% Milchprodukte und Ei, 8% Fleisch
Vegetarier:	ohne Fleisch
Veganer:	ohne alle tierischen Produkte

# CO<sub>2</sub>-Emissionen beim Velofahren

## Fazit:

- Der Mensch selbst ist ein relevanter CO<sub>2</sub>-Emitter durch die Nahrung.
- Eine CO<sub>2</sub>-neutrale Lebensweise ist eher ein Ideal denn reale Möglichkeit.
- Maschinen sind effizienter als der Mensch im Erzeugen mechanischer Leistung.
- Die isolierte Betrachtung spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionen kann problematisch sein.
- Velo-Fahren im Alltag ist immer besser als das Auto (da gesund, kürzere Distanz als Fahrzeug, weniger graue Energie, weniger Platzbedarf).
- Besonders heikel:  
Autofahren und dann am Abend ins Fitnessstudio oder auf den Hometrainer (!).
- Es ist die zurückgelegte Distanz, die den hohen Ausstoss erzeugt, weniger das gewählte Verkehrsmittel. Ein Auto oder Flugzeug verleitet zu viel grösserer Distanz (Wer würde schon 100km mit-den-Velo täglich pendeln?).
- Der Hobby-Sportler betreibt eigentlich kein ökologisches Hobby, da er viel Energie in Form von Nahrung verbraucht. Wie viel Sport ist gesund?