

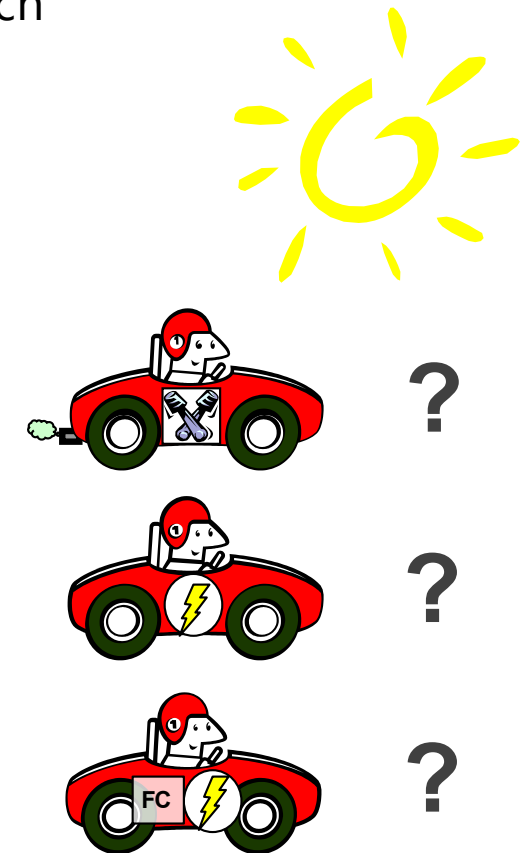
Rohstoff- und Energieverbrauch im Individualverkehr

Der Lebenszyklus von Fahrzeugen mit verschiedenen Antriebsarten im Vergleich

1. Rohstoffe und Energie
2. Wie bewertet man Systeme umweltmässig?
3. Autovergleich!

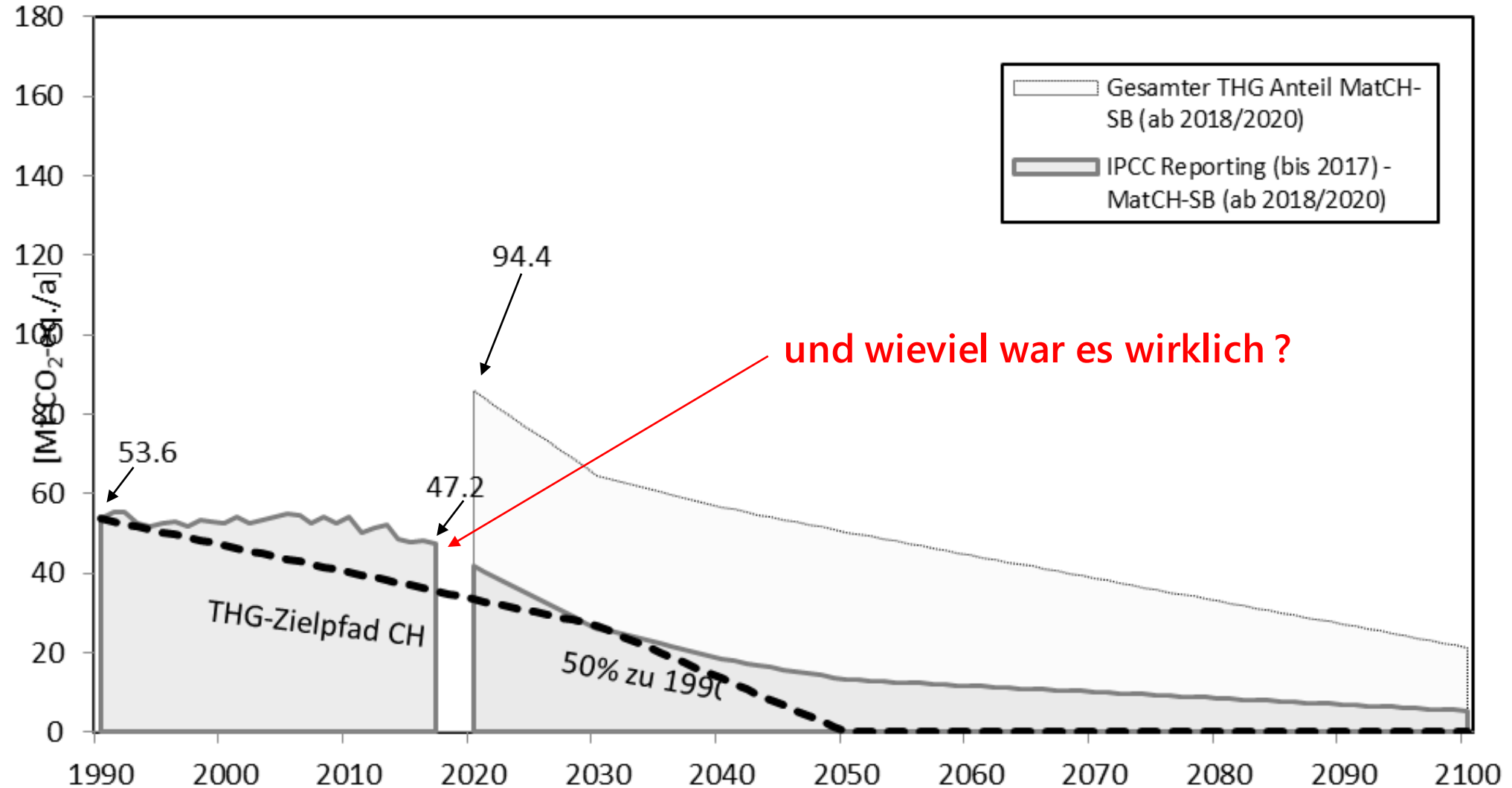
Rolf Widmer & Marcel Gauch

TSL Technology and Society Lab @ Empa
Schweizerische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt



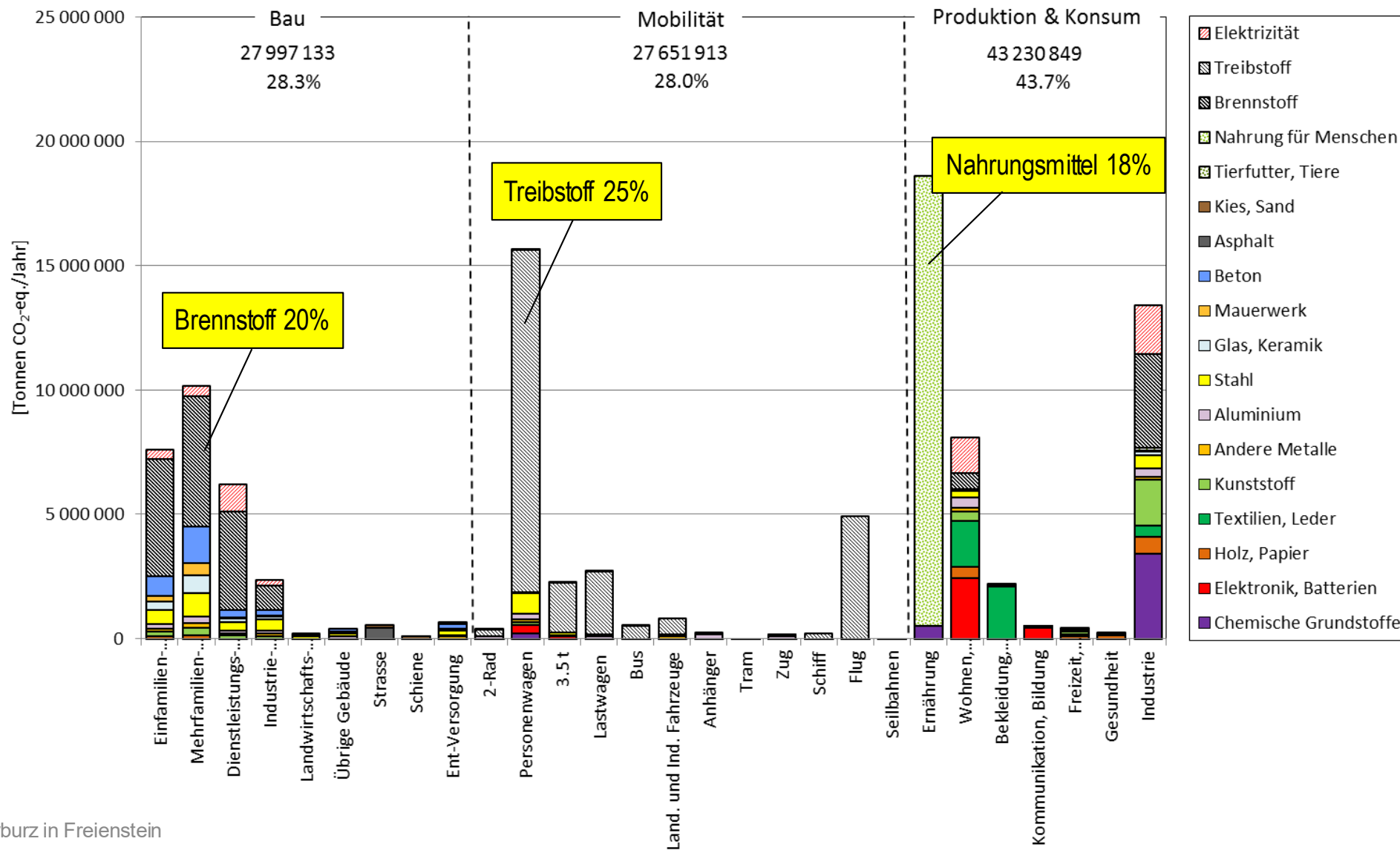
Intro 1: CH Klimapolitik

- (THG) Treibhausgas-Emissionen in Millionen Tonnen CO₂ Äquivalenten

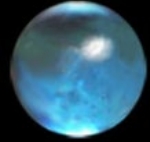


Intro 2: THG-Emissionen der CH-Volkswirtschaft

- für das Jahr 2018 waren es knapp 100 Mt CO₂ Äquivalenten



Unendliche Rohstoffe ?



Alles Wasser der Erde wäre eine Kugel mit
 $V \sim 1.4 \cdot 10^9 \text{ km}^3$ ($\emptyset \sim 1'400 \text{ km}$)



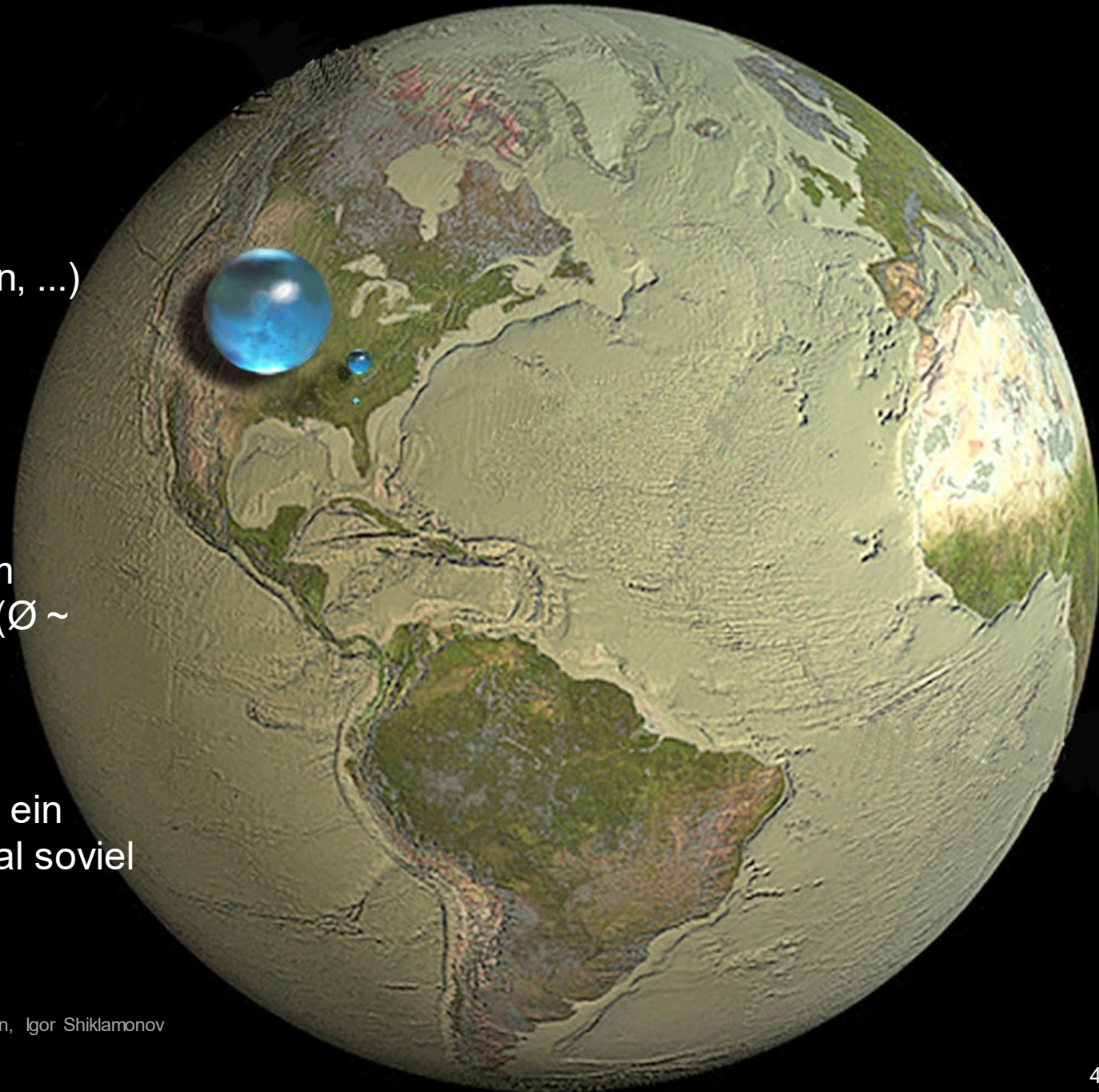
Alles Süßwasser der Erde (inkl. Eis, Wolken, ...)
 $V \sim 35 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ (2,5%) ($\emptyset \sim 400 \text{ km}$)



Alle Flüsse und Seen der Welt
 $V \sim 93 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ (0,007%) ($\emptyset \sim 56 \text{ km}$)

Alle Luft der Erde wäre eine Kugel mit $\emptyset \sim 2'000 \text{ km}$
(in der Atmosphäre 21% O_2 , 79% N_2 , 0,041% CO_2 ($\emptyset \sim 100 \text{ km}$))

Alle bekannten Lithium Ressourcen an Land wären ein
Kügelchen mit $\emptyset \sim 940 \text{ m}$; im Meer gibt's 1000 mal soviel
d.h $\emptyset \sim 9,40 \text{ km}$



natürliche Li Ressourcen

- 3 Quellen:

- **Laken in Salzseen** (Anden, China – Tibet)



- **Erze** in Gesteinen and Tone (Australia, USA, China, Zaire, Canada, etc.)

- **Meerwasser** (direkte Extraktion oder zusammen mit Entsalzung)

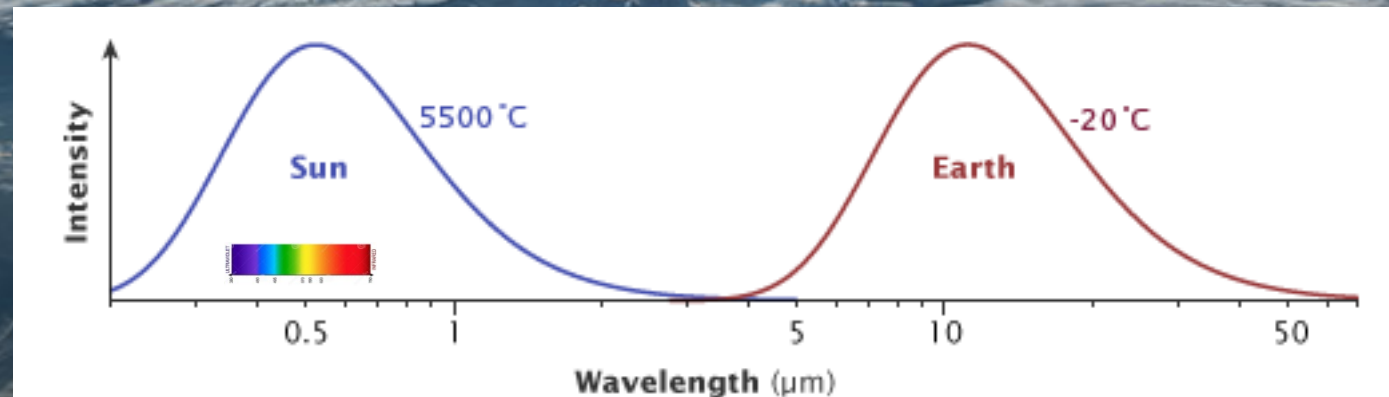
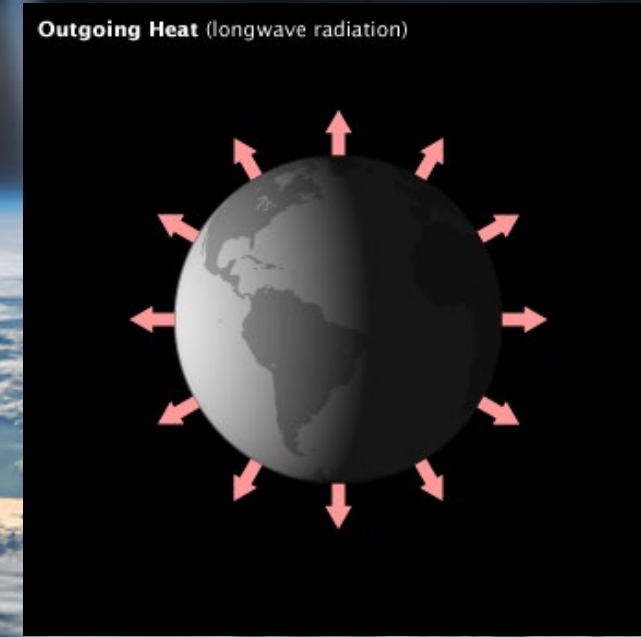
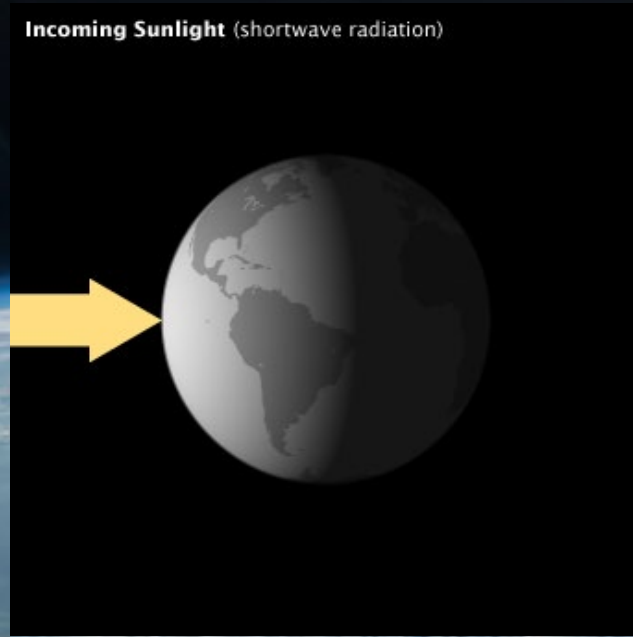


	identifizierte Li Ressourcen / Mt	Massenanteil / ppm
Salzseen (brines)	235	20 - 1 500
Minen (ores)		5 100 - 14 000
Meere	224'000	0.17

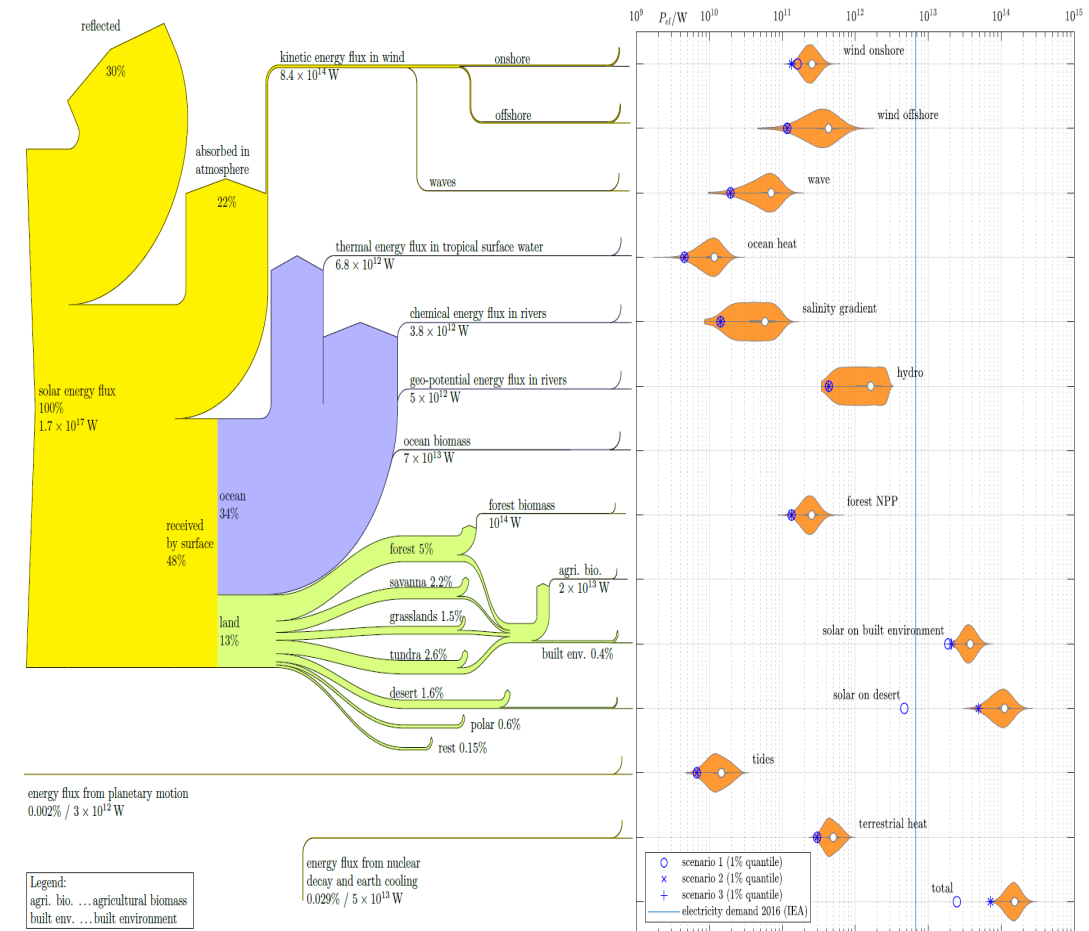
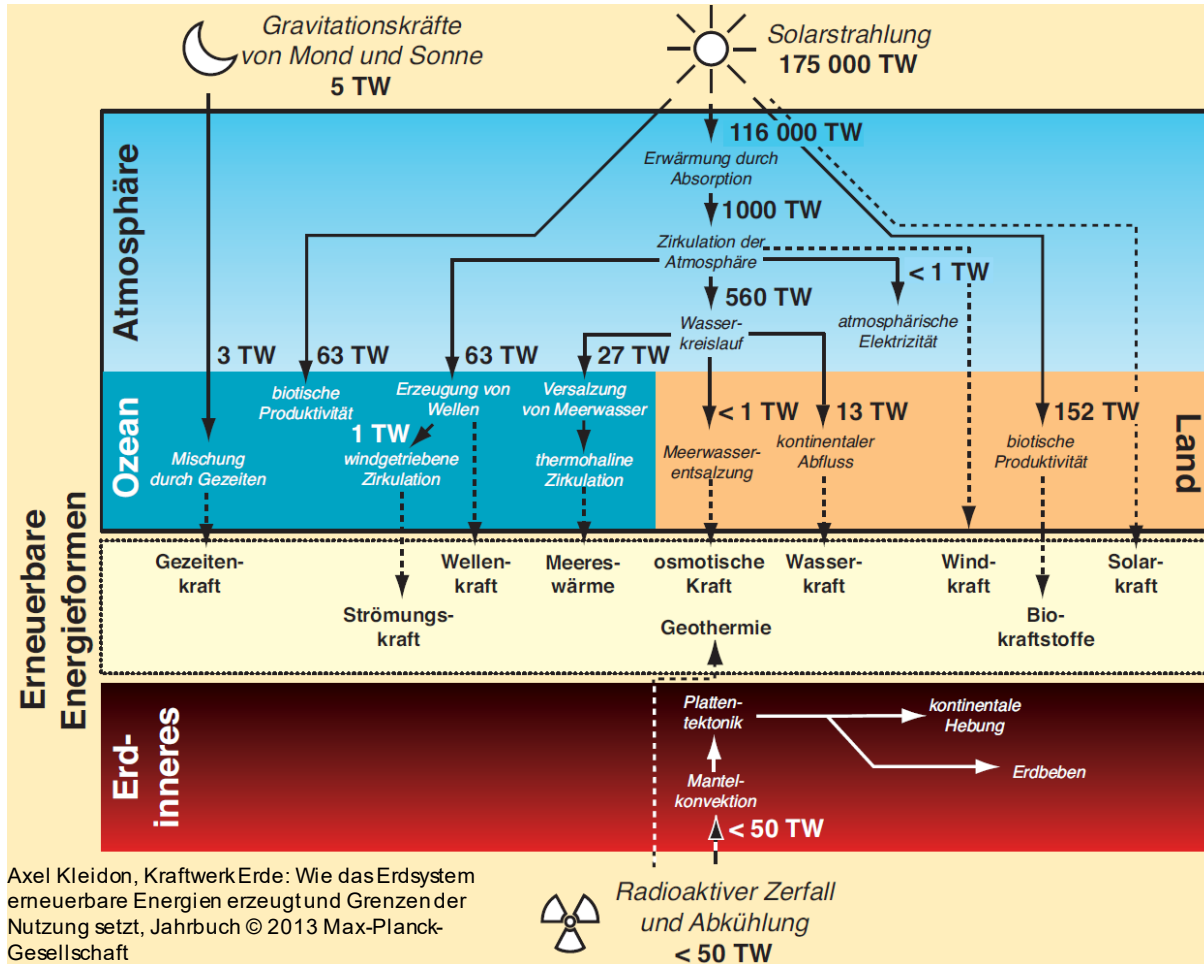
Sources: Yaksic et Tilton 2009, Garret 2004, Evans 2008.

Unendliche Energie?

Die Erde im Sonnenbad



Energieernte aus dem Erdsystem



Desing et al. (Empa 2019)

- Alle freie Energie im Erdsystem wird bereits verwendet (für Wind und Regen, für Wellen und Gezeiten, für Photosynthese und Erosion, ...)
- Oft übersteigt deren Aneignung durch die Menschheit bereits die planetaren Grenzen (z.B. Biomasse)
- Die einzige reichliche Energieform ist die Sonneneinstrahlung (aber auch deren Aneignbarkeit ist begrenzt auf ca. 10x den gegenwärtigen Bedarf)

Wie bewertet man Systeme umweltmässig?

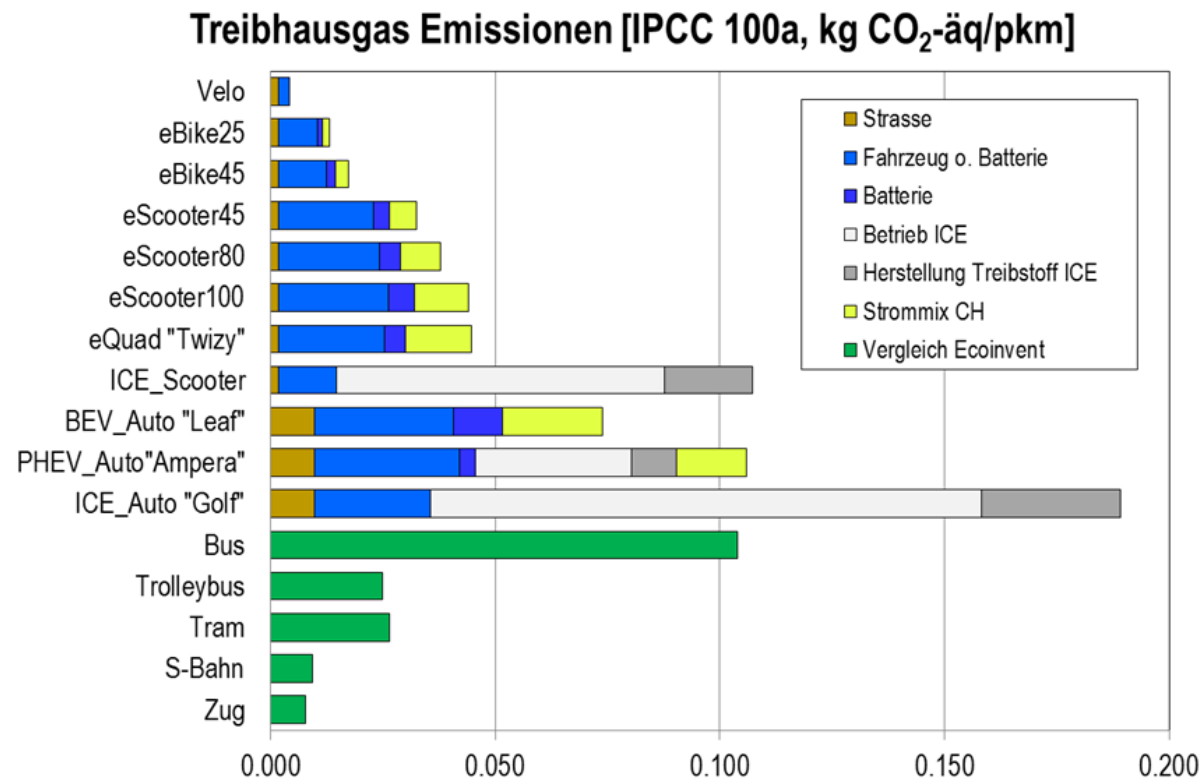
- Jede menschliche Tätigkeit und jedes Produkt hat Auswirkungen auf die Umwelt, den Ressourcenverbrauch und die Gesundheit.
 - für Mobilität gilt dies für alle
 - Fortbewegungsformen auf Pfaden, Strassen, Schienen, in Luft, auf Wasser ...
 - Energieträger: Kohle, Öl, Gas, Wasserstoff, Elektrizität, Nahrungsmittel ...
 - Komponenten: das Gefährt, die Fahrbahn, den Treibstoff ...
- Die wichtige Frage ist: welche Systemvariante ist k

Studie des ADAC

E-Auto und Diesel fast gleich schädlich: Das ist der umweltfreundlichste Antrieb

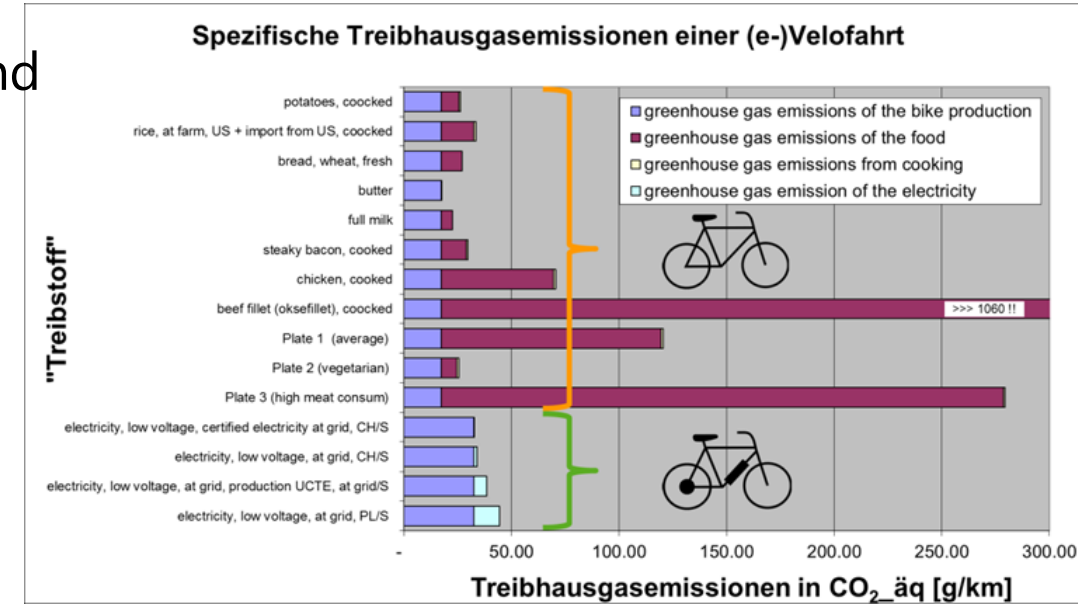


- Bei der Bewertung müsste unverhandelbar sein:
 - Naturgesetze werden respektiert
 - Annahmen werden transparent ausgewiesen
 - Möglichst gleiche Datengrundlagen bei Vergleichen
 - Gleiches mit Gleichem vergleichen - identische Systemgrenzen (inkl. Vorketten, graue Energie, Herstelleraufwand, Betrieb, Lebensdauer, Entsorgung)

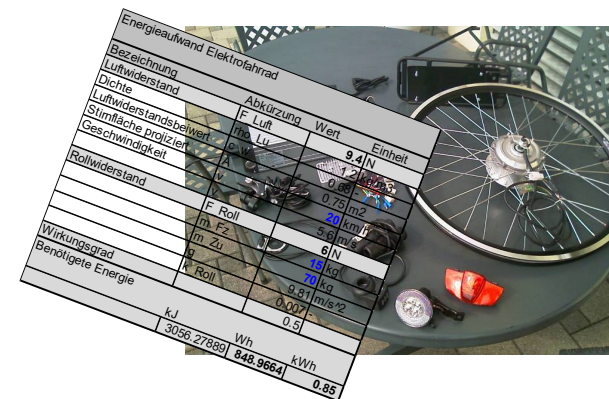
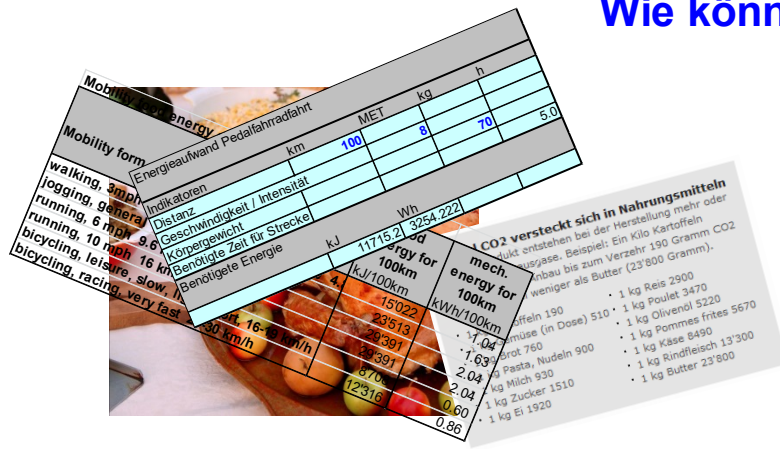


Wie bewertet man Systeme umweltmässig?

- Ökobilanzen vergleichen nur was bekannt, vermessen und innerhalb der Systemgrenze ist!
 - Der einseitige Blick auf die Umweltaspekte genügt nicht, Gefahr der buchhalterischen Abrechnung
-> "in Zukunft versenken wir das CO₂ im Boden"
 - Keine Berücksichtigung von sozialen Aspekten, Gefahren, Unfällen, Abfallentsorgung, Quellen/Senken
 - Resultate unverstanden, kontrovers, abgelehnt...
- Beispiel: Velofahren vs e-Biken



Wie könnte man das vergleichen?

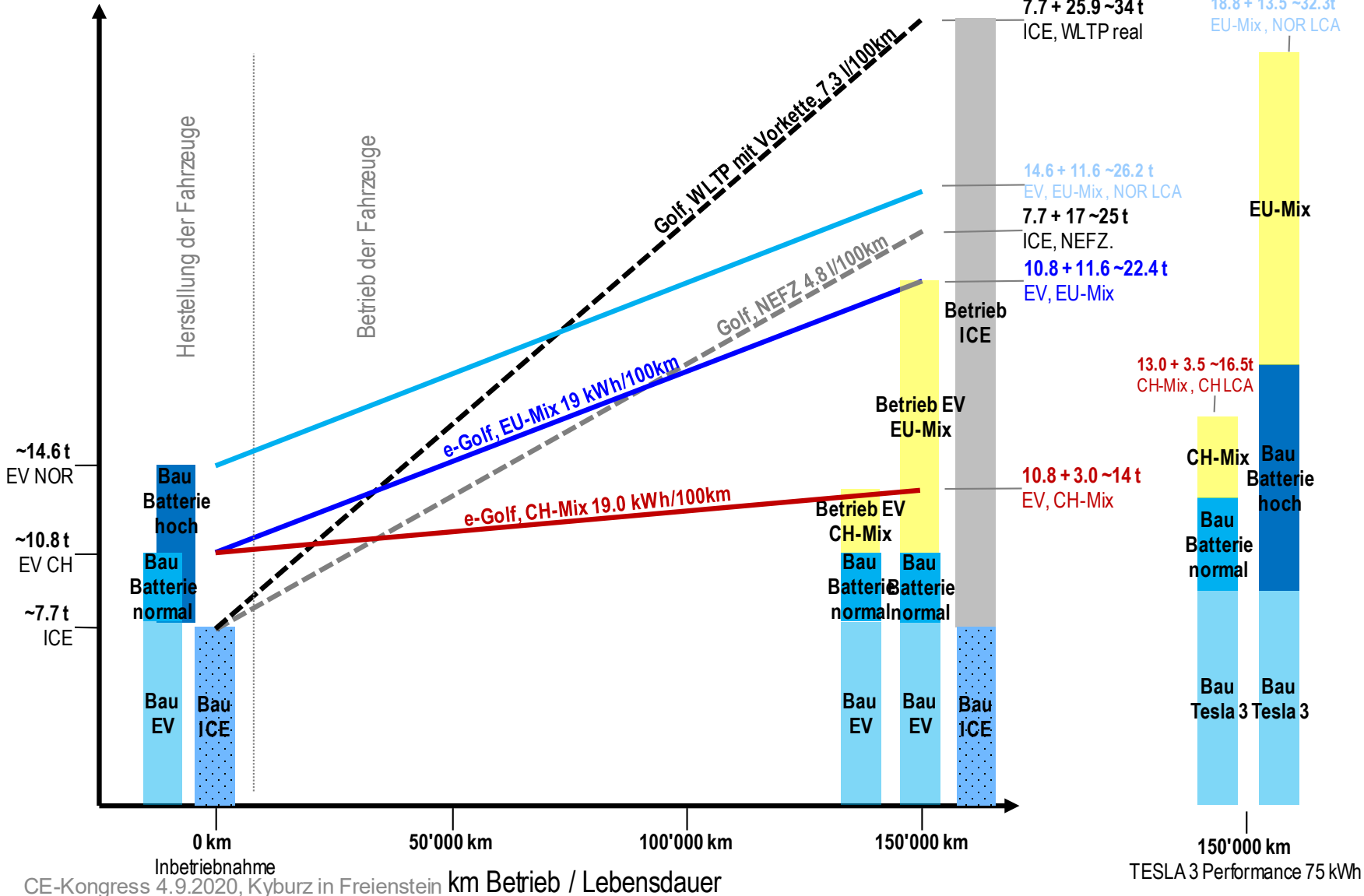


angetrieben durch die Muskeln der Fahrerin mit Energie aus Nahrungsmitteln und schlussendlich der Sonne

angetrieben durch einen Elektromotor und Energie aus der Batterie, die am Netz mit Wasserstrom und schlussendlich der Sonne geladen wird

Was Alle wissen wollen zum Schluss ;-) Emission von CO₂eq bei Autos über die Lebensdauer

CO₂eq Emission



ICE vs. EV

CO₂-Emission Herstellung

Beispiel: Beispiel: **Golf VII; 1.0 TSI; 63 kW, 175 Nm, 1206 kg**

Masse	Masse kg	kgCO ₂ /kg Ecoinvent v3.6	kgCO ₂ Herstellung
Chassis/Antrieb	1206	6.393 kg CO ₂ /kg	7'710 kg CO ₂
Total CH	1206		7'710 kg CO₂

Beispiel: **eGolf VII; 100 kW, 290 Nm, 1615 kg**

Masse	Masse kg	kgCO ₂ /kg Ecoinvent v3.6	kgCO ₂ Herstellung
Chassis/Antrieb	1300	6.393 kg CO ₂ /kg	8'310 kg CO ₂
Batterie CH/Empa	315	7.878 kg CO ₂ /kg	2'480 kg CO ₂
Batterie NOR/NTNU	315	20 kg CO ₂ /kg	6'300 kg CO ₂
Total CH	1615		10'790 kg CO₂
Total NOR	1615		14'610 kg CO₂

NOR: 150 - 200 kgCO₂eq/kWh, Annahme 0.114 kWh/kg, -> 17.1 - 22.8 kgCO₂eq/kg
CH: 7.878 kgCO₂eq/kg / 0.114 kWh/kg = 69 kg CO₂eq/kWh

Tesla Model 3 Performance, 75 kWh, 473 PS, 1927 kg (1449kg chassis + 478 kg battery)
9263 kgCO₂eq chassis + 3766 kgCO₂eq battery = 13029 kgCO₂eq total CH
9263 kgCO₂eq chassis + 9560 kgCO₂eq battery = 18823 kgCO₂eq total NOR

CO₂-Emission Betrieb

Beispiel: **Golf VII; 1.0 TSI; 63 kW, 175 Nm, 1206 kg (1.5 TSI OPF ACT DSG 7G, 110kW, 250Nm, 1320kg)**

	l/100km	kgCO ₂ /150'000km
NEFZ	4.8 (5.1)	17'010 kg CO ₂
NEFZ +38% = Real	6.6 (7.0)	23'390 kg CO ₂
WLTP	6.1 (6.2)	21'620 kg CO ₂
WLTP +20% Vorkette	7.3 (7.4)	25'940 kg CO₂

Berechnung Benzin, ~6l/100km (0.06l/km); 0.06l x 0.75kg/l = 0.045kg,
0.045kg/km x 3.15 kgCO₂/kg = 0.142 kgCO₂/km
0.142 kgCO₂/km x 150'000km = 21'263 kg CO₂

Beispiel: **eGolf VII; 100 kW, 290 Nm, 1615 kg**

	kWh/100km	kgCO ₂ /150'000km CH-Mix (106g)	kgCO ₂ /150'000km ENTSO-e-Mix (408g)
NEFZ	13.2	2'100 kg CO ₂	8'080 kg CO ₂
NEFZ +38% = Real	18.2	2'890 kg CO ₂	11'140 kg CO ₂
WLTP	15.8	2'510 kg CO ₂	9'670 kg CO ₂
WLTP +20% Ladeverlust	19.0	3'020 kg CO₂	11'630 kg CO₂

Berechnung Elektrizität, 16 kWh/100km; (0.16 kWh/km)
0.16kWh/km x 0.106kg/kWh (CH) = 0.017kgCO₂/km, x 150'000km = 2'544 kg CO₂
0.16kWh/km x 0.408kg/kWh (ENTSO) = 0.0653kgCO₂/km, x 150'000km = 9'792 kg CO₂

Tesla Model 3 Performance, 22 kWh, 3498 kg CO₂ CH-Mix, 13464 kg CO₂ EU-Mix
TOTAL Tesla CH LCA, CH-Mix: 13029 + 3498 = 16527 kgCO₂eq
TOTAL Tesla NOR LCA, EU-Mix: 18823 + 13464 = 32287 kgCO₂eq

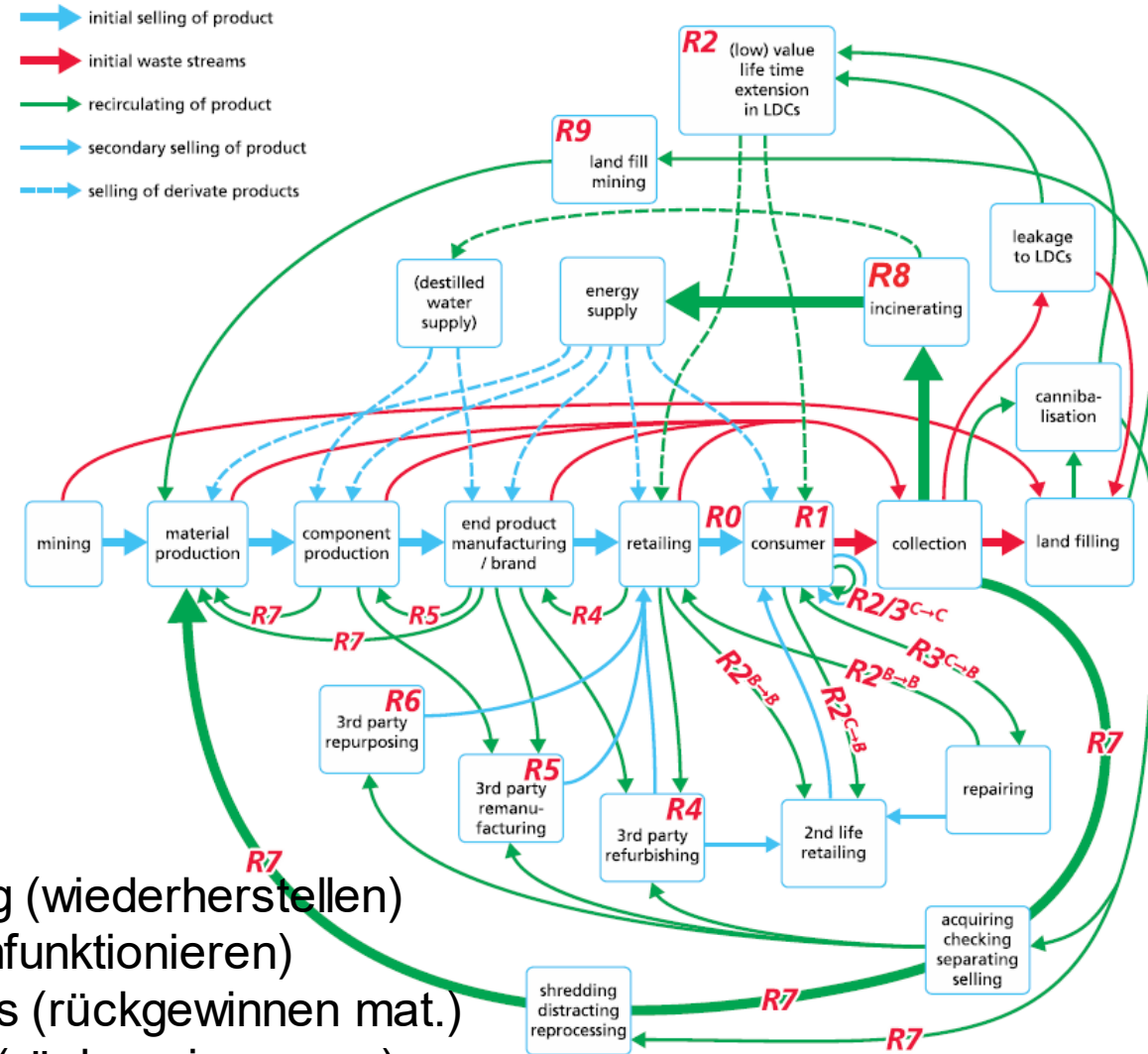
Von kleinen und grossen Schleifen

■ Kreislaufwirtschaft: wieviele R sind genug ?



R0 = Refuse (verweigern)
R1 = Reduce (verringern)
R2 = Resell (reuse) (weiterverkaufen)
R3 = Repair (reparieren)
R4 = Refurbish (überholen)

R5 = Remanufacturing (wiederherstellen)
R6 = Re-purpose (umfunktionieren)
R7 = recycle materials (rückgewinnen mat.)
R8 = recover energy (rückgewinnen en.)
R9 = Remine (?)



Reike et al. (2018); Vermeulen et al. (2018)

Kreislaufwirtschaft - eine Worthölse?

- Statt akademischen Definitionen und Theorien schauen wir uns unseren Gastgeber an:

KMU, Manufaktur, produziert massgeschneiderte Mobilität, nachhaltige Produkte, Fairness gegenüber Mensch und Umwelt.

- R0 = Refuse (verweigern)
- R1 = Reduce (verringern)
- R2 = Resell (reuse) (weiterverkaufen)
- R3 = Repair (reparieren)
- R4 = Refurbish (überholen)
- R5 = Remanufacturing (wiederherstellen)
- R6 = Re-purpose (umfunktionieren)
- R7 = Recycle materials (rückgewinnen material)
- R8 = Recover energy (rückgewinnen energie)
- R9 = Re-mine (?)



Co-freie Batteriechemie

hoher Praxiswert

hohe Qualität

Recyclingfähigkeit mit hohen Rückgewinnungsraten

lange Lebensdauer

Reparierfähigkeit

effizienter Antrieb

Eigenes Batterierecycling!

2nd life Fahrzeuge

2nd life Batterie als Stromspeicher

klein und leicht - > effizient

Dematerialisierung

Merci

rolf.widmer@empa.ch & marcel.gauch@empa.ch
Technology & Society Lab