



# DIGITALISIERUNG FÜR KMU

## MÖGLICH MACHEN

---

DER DIGITAL INNOVATION HUB SÜD ALS KOSTENLOSES SERVICE FÜR  
KMU



Impulse Lecture Chapter 1

# The transition of propulsion technologies on the way to carbon-neutral mobility

Zero Carbon Management  
Modul 4 Corporate Mobility



2025

UK @ Life-Long-Learning  
Graz University of Technology

Associate Prof. Dr. Mario Hirz  
Institute of Automotive Engineering  
Graz University of Technology

# The transition in the automotive industry is driven by ...

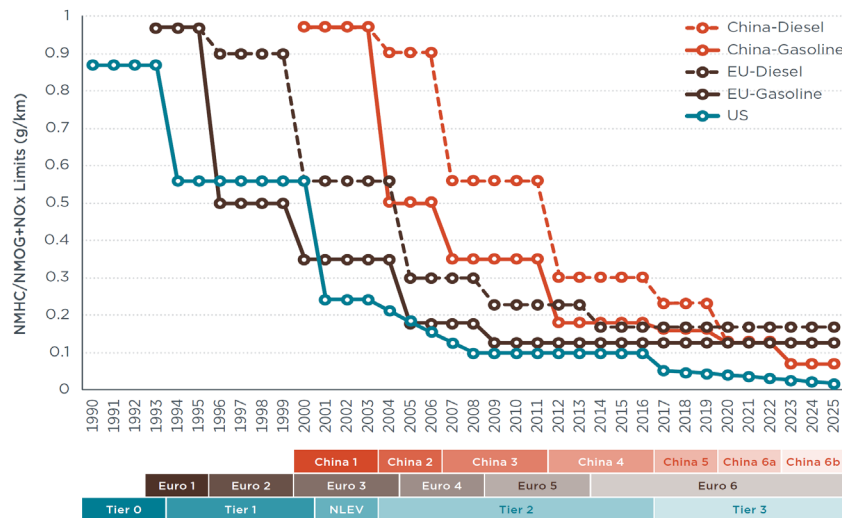
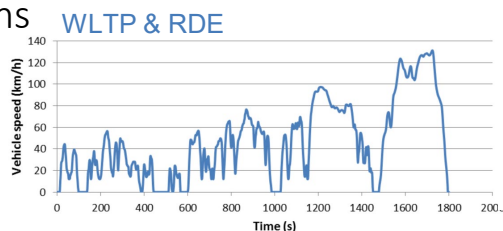
- (1) Legislative boundary conditions targeting to a reduction of emissions
- (2) Digitalization & automation
- (3) New mobility concepts & business models

=> In impulse lecture chapter 1, the focus is on propulsion technologies on the way to carbon-neutral mobility

# Legislative boundary conditions targeting to a reduction of exhaust emissions

## Reduction of harmful exhaust emissions

- Hydro-carbons HC
- Carbon monoxide CO
- Nitro-oxygen NOx
- Particulate emissions



Example: Limitation of NOx-emissions Tier in different markets

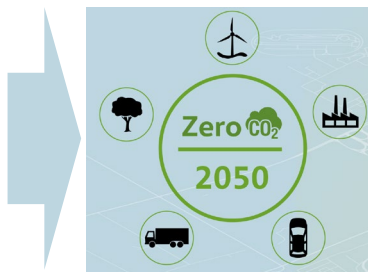
## Reduction of greenhouse gases

e.g. EU “Green Deal” targets:

CO<sub>2</sub> reduction of

- 50% in 2030
- 100% in 2050

... in all branches.



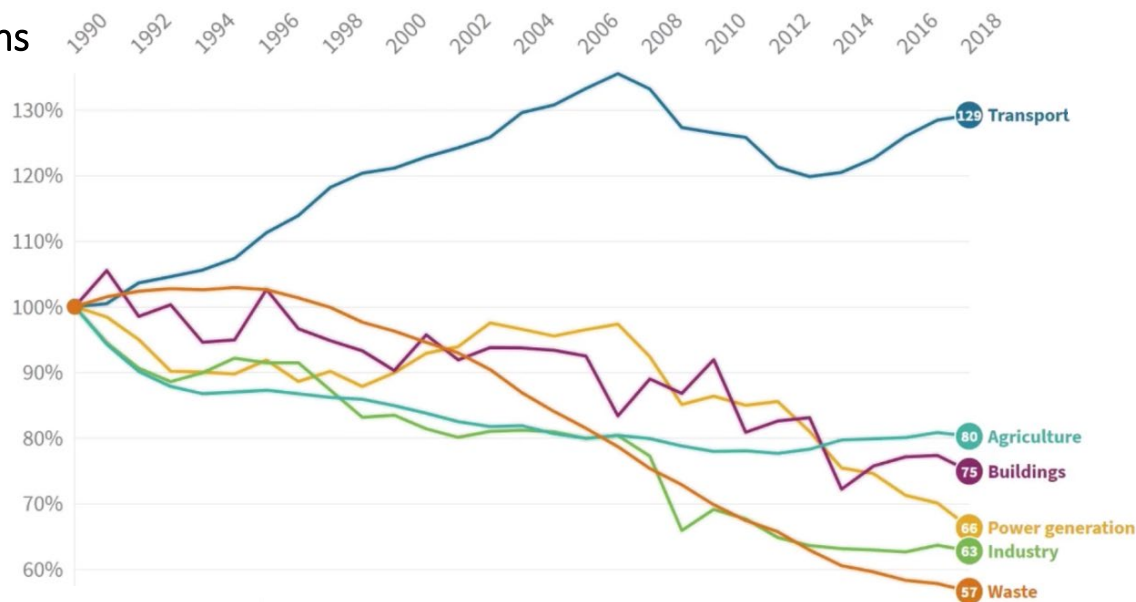
## Proposed technologies:

- “Green” electricity production
- Electrification of mobility (cars, trucks)
- Hydrogen as a fuel (cars, trucks, ships)
- Synthetic fuels (trucks, ships, aviation)
- Carbon capture & storage (industry)

Transport

# Legislative boundary conditions targeting to a reduction of exhaust emissions

Emitted CO<sub>2</sub> – emissions in the EU since 1990 (1990 = 100%)

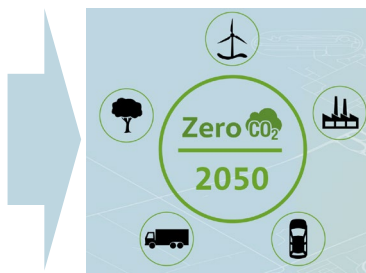


Reduction of greenhouse gases e.g. EU “Green Deal” targets:

CO<sub>2</sub> reduction of

- 50% in 2030
- 100% in 2050

... in all branches.

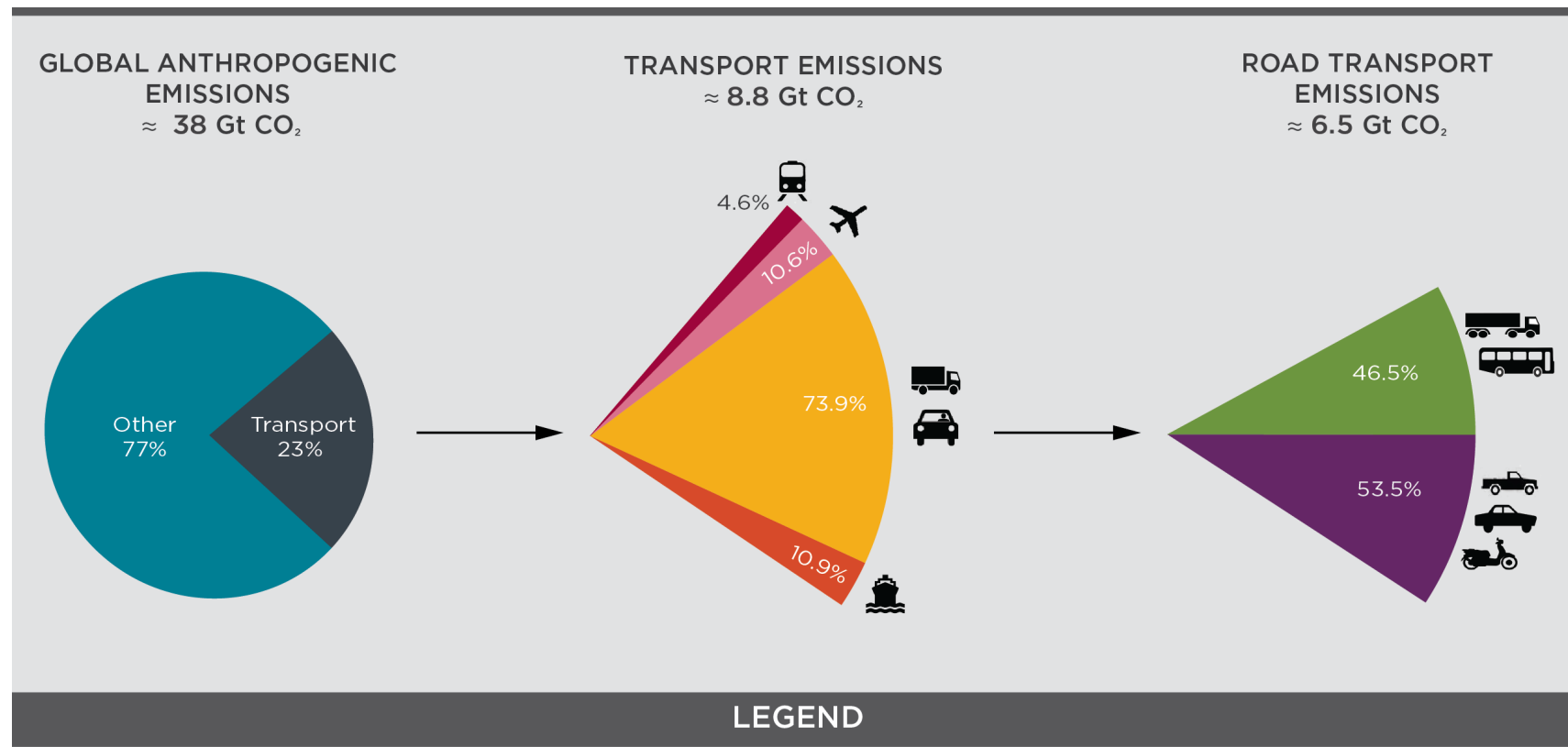


Proposed technologies:

- “Green” electricity production
- Electrification of mobility (cars, trucks)
- Hydrogen as a fuel (cars, trucks, ships)
- Synthetic fuels (trucks, ships, aviation)
- Carbon capture & storage (industry)

Transport

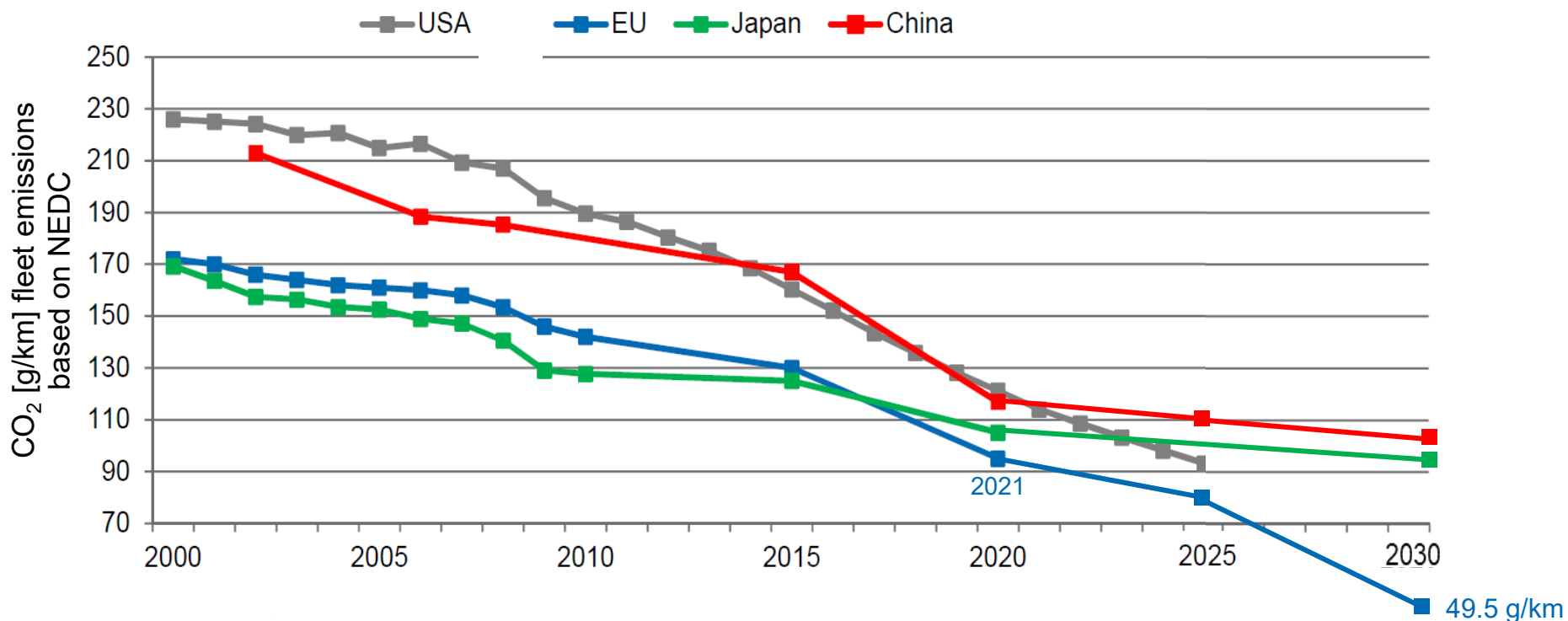
# Worldwide CO<sub>2</sub>-impact of the transportation sector



⇒ ca. 17% CO<sub>2</sub> from road transportation  
 ... 8% CO<sub>2</sub> commercial transport  
 ... 9% CO<sub>2</sub> individual mobility

Source: ICCT

# Legislative boundary conditions: Trends of CO<sub>2</sub> fleet-emissions of personal cars



## EU-targets:

2025: 95 → 81 g/km NEDC  $\cong$  93.6 g/km WLTP

2030: 49.5 g/km, WLTP, in discussion

2035: 0 g/km, in discussion

@ 2027: Well-to-Wheel consideration in discussion

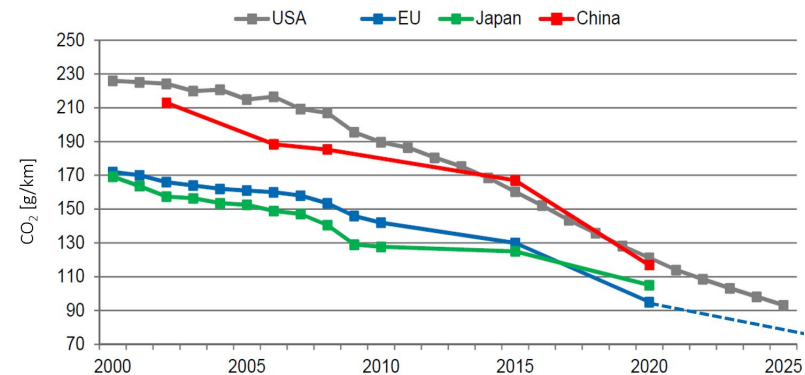
95 g/km CO<sub>2</sub> → 4.1 liter per 100km Gasoline  
→ 3.6 liter per 100km Diesel fuel

59.4 g/km CO<sub>2</sub> → 2.6 liter per 100km Gasoline  
→ 2.3 liter per 100km Diesel fuel

# Penalty payments in the EU

Penalty payment for car manufacturer that do not reach the CO<sub>2</sub> – target (status 2021+):

- 95 € per Gramm CO<sub>2</sub> target violation per car sold and registered in the EU in a year
- Phasing-in regulations 2021 - 2023, special credits for eco-innovation
- Pooling is allowed (group-wide consideration)
- Reliefs for small manufacturers



## Strategies of the automotive industry:

Short term ( - 2030 ):

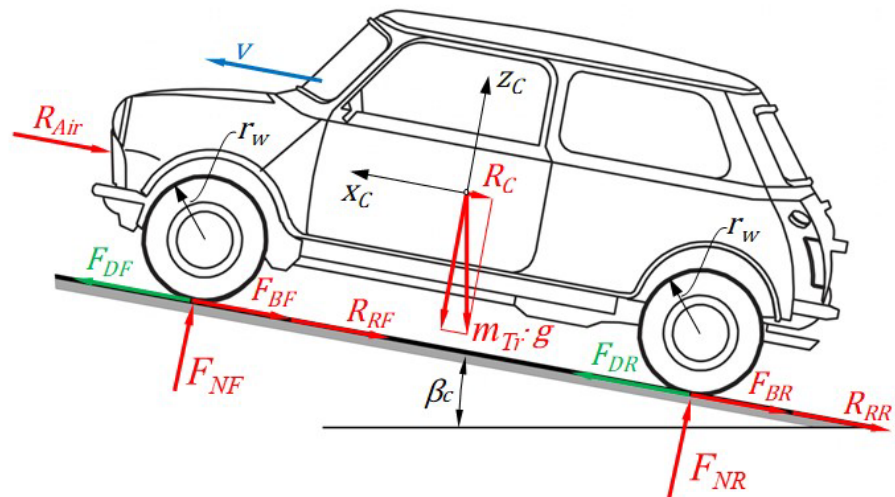
- Optimization of combustion engines
- “Smaller” combustion engines
- Electrification (HEV / PHEV / BEV)

Mid- / long term ( 2030 + ):

- Electric cars
- Hydrogen vehicles
- Synthetic fuel applications

# Comparison of propulsion technologies

# The physics: driving resistances



Driving resistances:

$$R_{ges} = F_B + R_R + R_{Air} + R_C + R_{Acc}$$

Braking force:

$$F_B = (F_{BF} + F_{BR})$$

Rolling resistance:

$$R_R \approx c_R m_{To} g \cos \beta_c \text{ sign}(v)$$

Air drag:

$$R_{Air} = \frac{1}{2} c_{Air} A_F \rho_L v |v|$$

Climbing resistance:

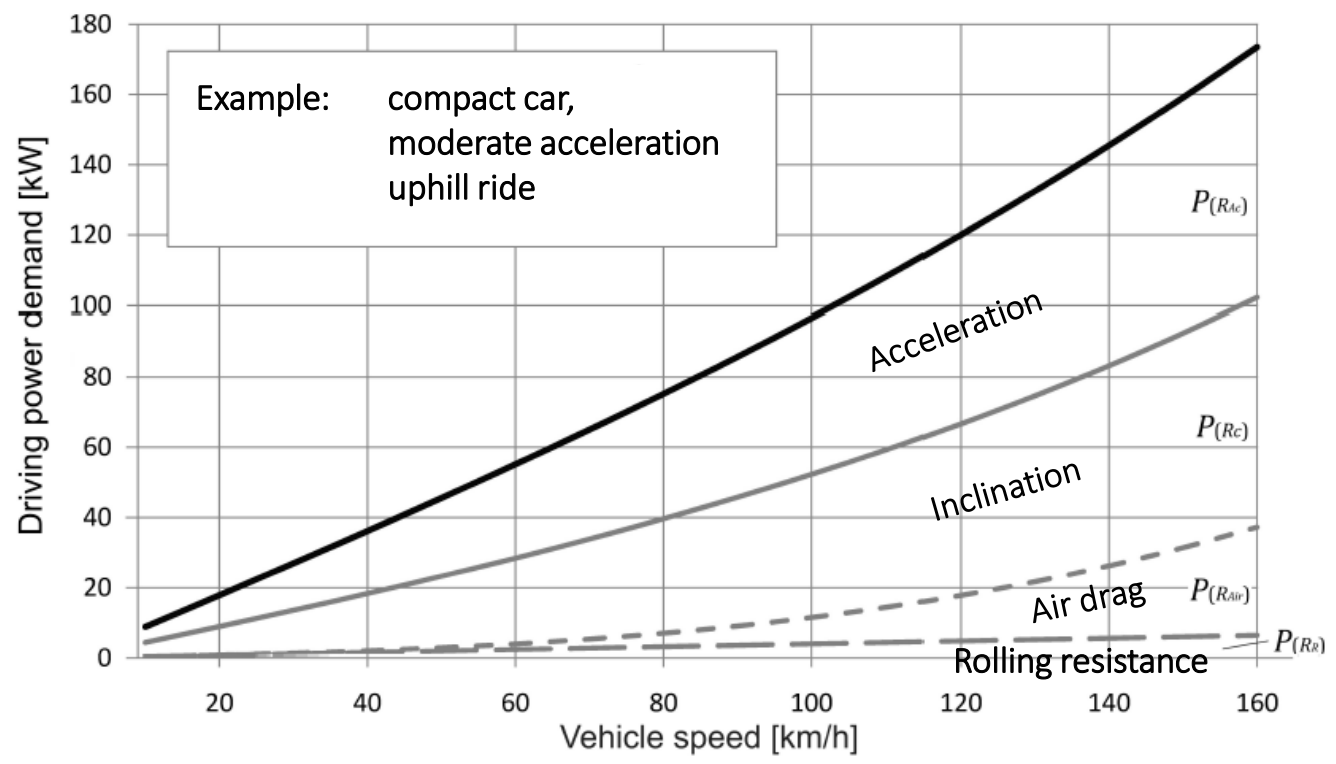
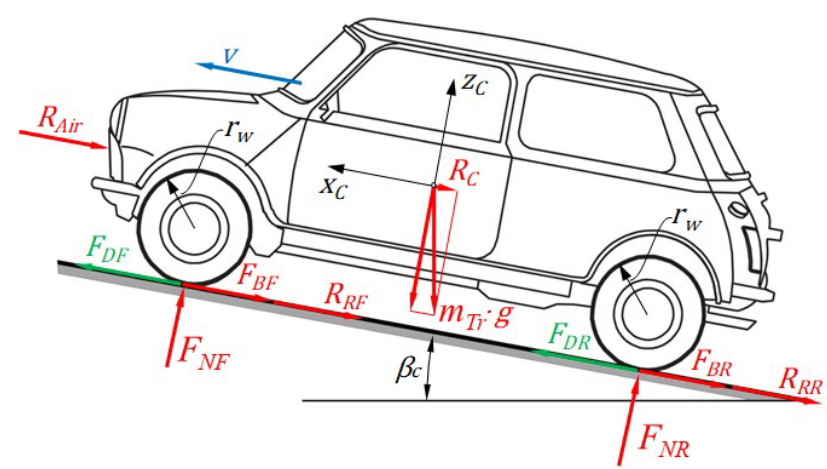
$$R_C = m_{To} g \sin \beta_c$$

Acceleration resistance:

$$R_{Acc} = m_{To} a_{veh}$$

$$m_{To} = m_{Tr} + \frac{\sum I_{Red}}{r_w^2}$$

# The physics: driving resistances



Example: compact car, moderate acceleration uphill ride

Possibility of energy recovering e.g. by coasting, recuperation (e-drive)

„Lost energy“

# Overview of propulsion technologies



## Conventional drive systems

- + Established technologies, low costs
- + Quick fuel-filling, large driving distances
- + Potential for further improvements

- Thermodynamically bad efficiency
- Local exhaust emissions
- Direct dependency on crude oil (today)

## Electric drive systems

- + Most efficient propulsion technology
- + No local emissions
- + Quiet technology, high driving comfort

- Expensive & complex battery systems
- Short driving distances, long charging times
- Environment-friendliness depends on the technology of electric power generation

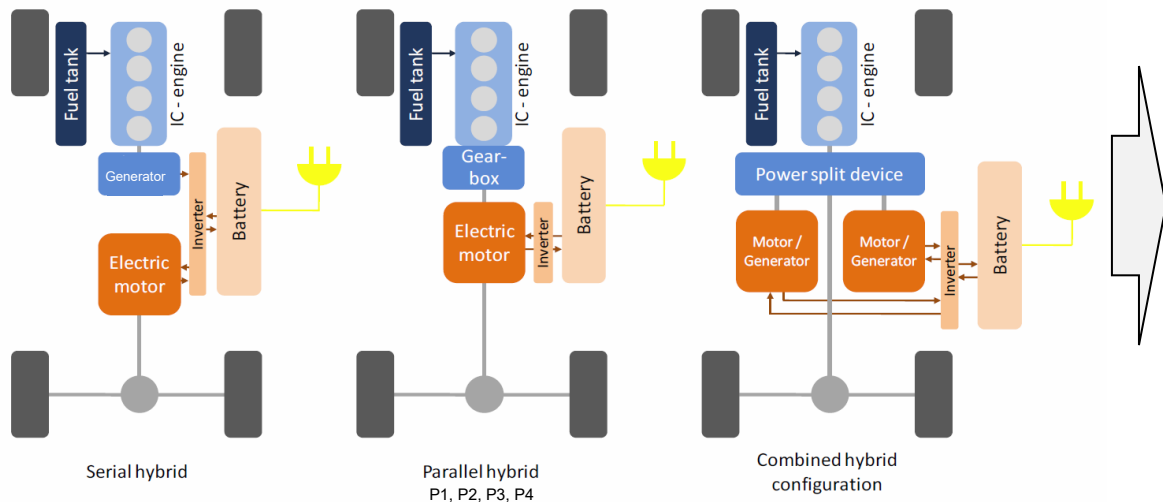
## Hybrid drives

- + Combination of conventional and electric drive systems
- + Good efficiency possible
- + No driving range limitation
- + Specific test-procedures defined (for PHEV)

- Complex technology, integrating two propulsion systems
- CO<sub>2</sub> reduction potential is significantly influenced by user pattern / customer behavior

# Architectures of hybrid- and battery-electric drive trains

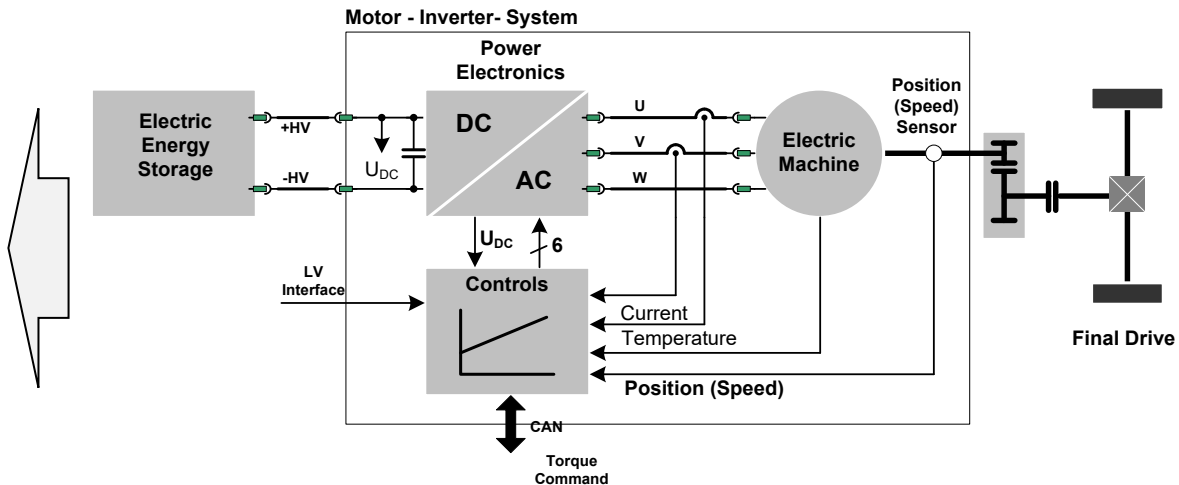
## Overview of hybrid drive train configurations



- Different combinations of ICE and e-drive possible
- Different levels of hybridization (MHEV, HEV, PHEV)
- CO<sub>2</sub> – reduction potential between 5% and > 50%, depending on the user behavior

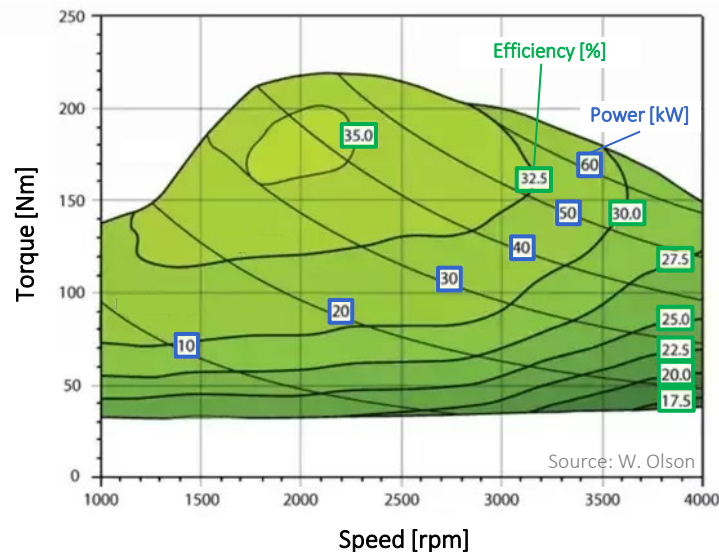
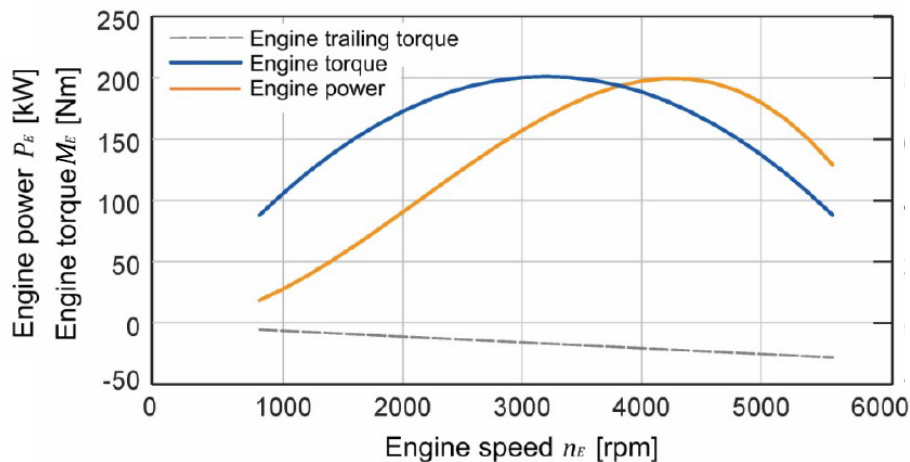
- Simple mechanical powertrain
- ... but complex E/E systems
- Key components:
  - Battery
  - Inverter
  - Electric motor

## Battery-electric drive trains

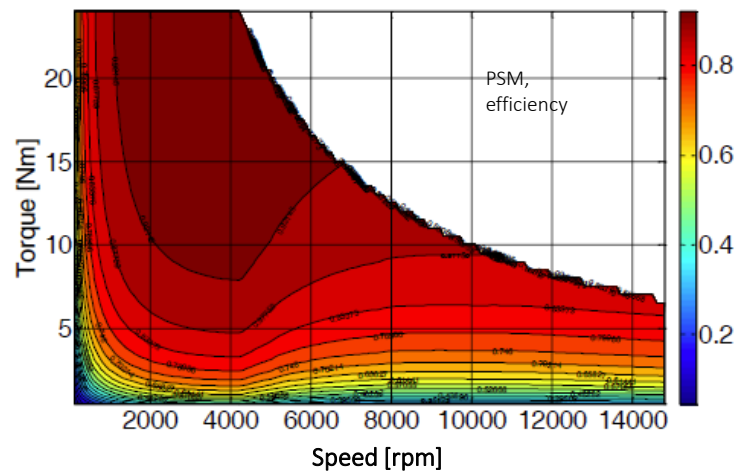
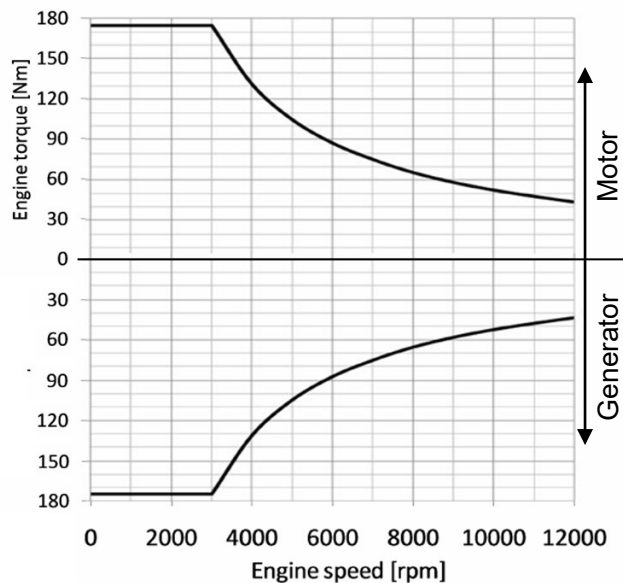


# Internal combustion engine vs. electric motor

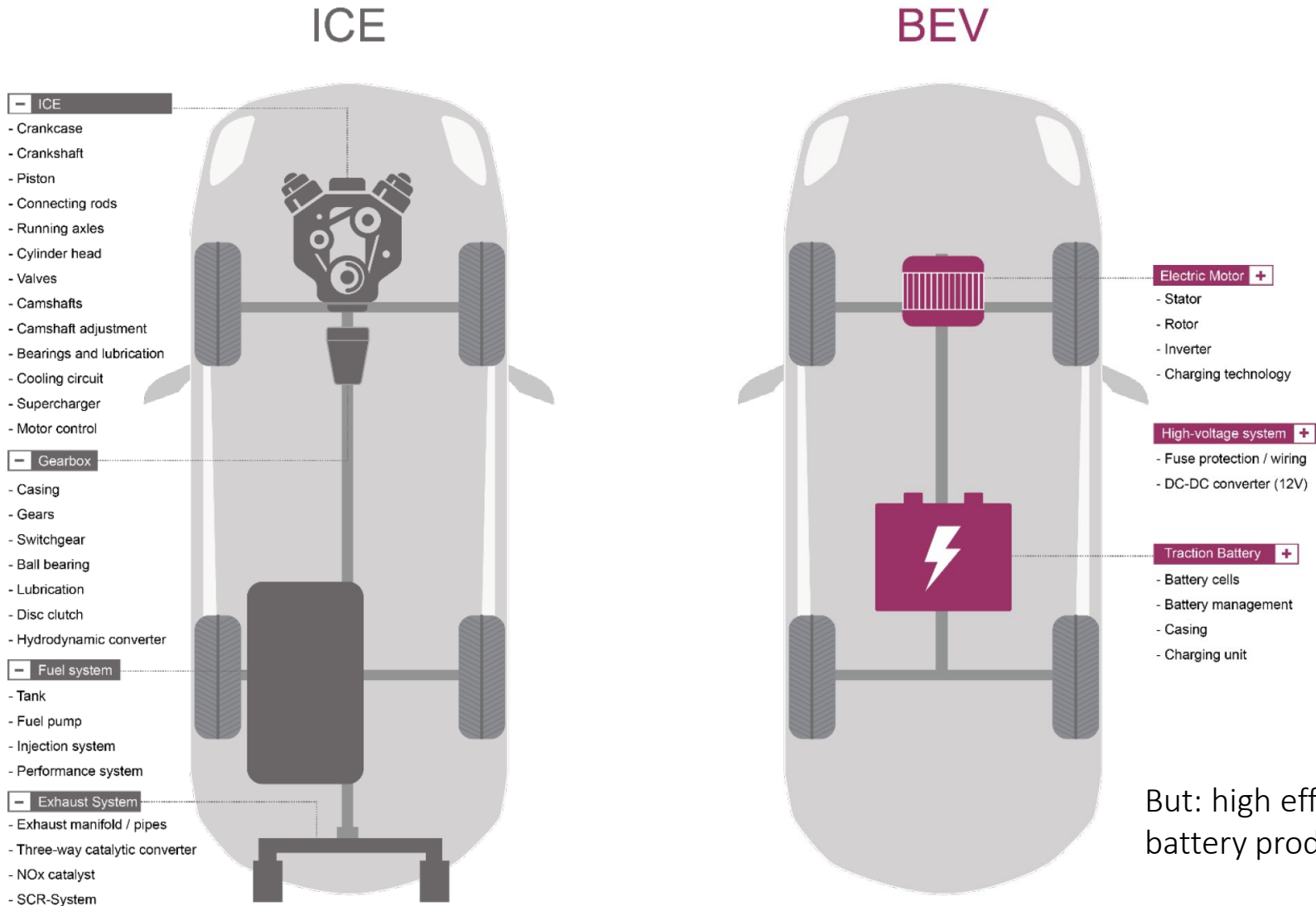
## ICE



## E-Motor



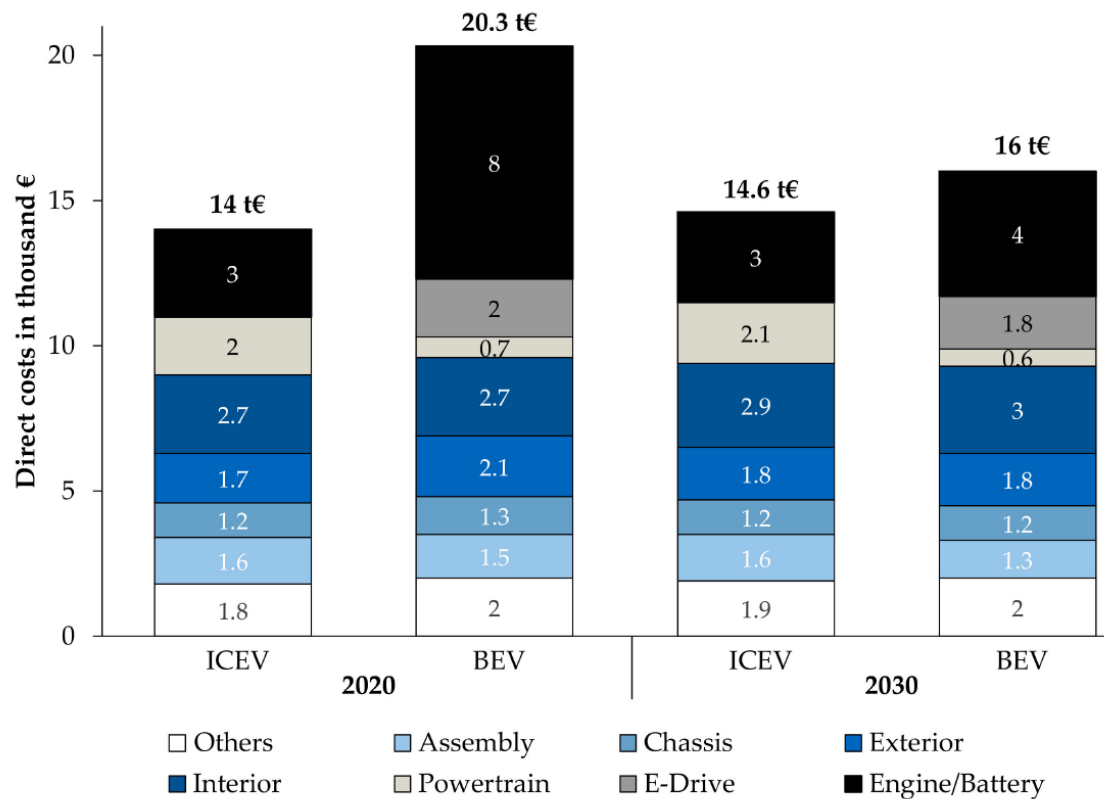
# Electric drive trains: reduction of complexity



But: high effort for battery production

# Cost comparison of propulsion technologies

Cost breakdown, compact SUV



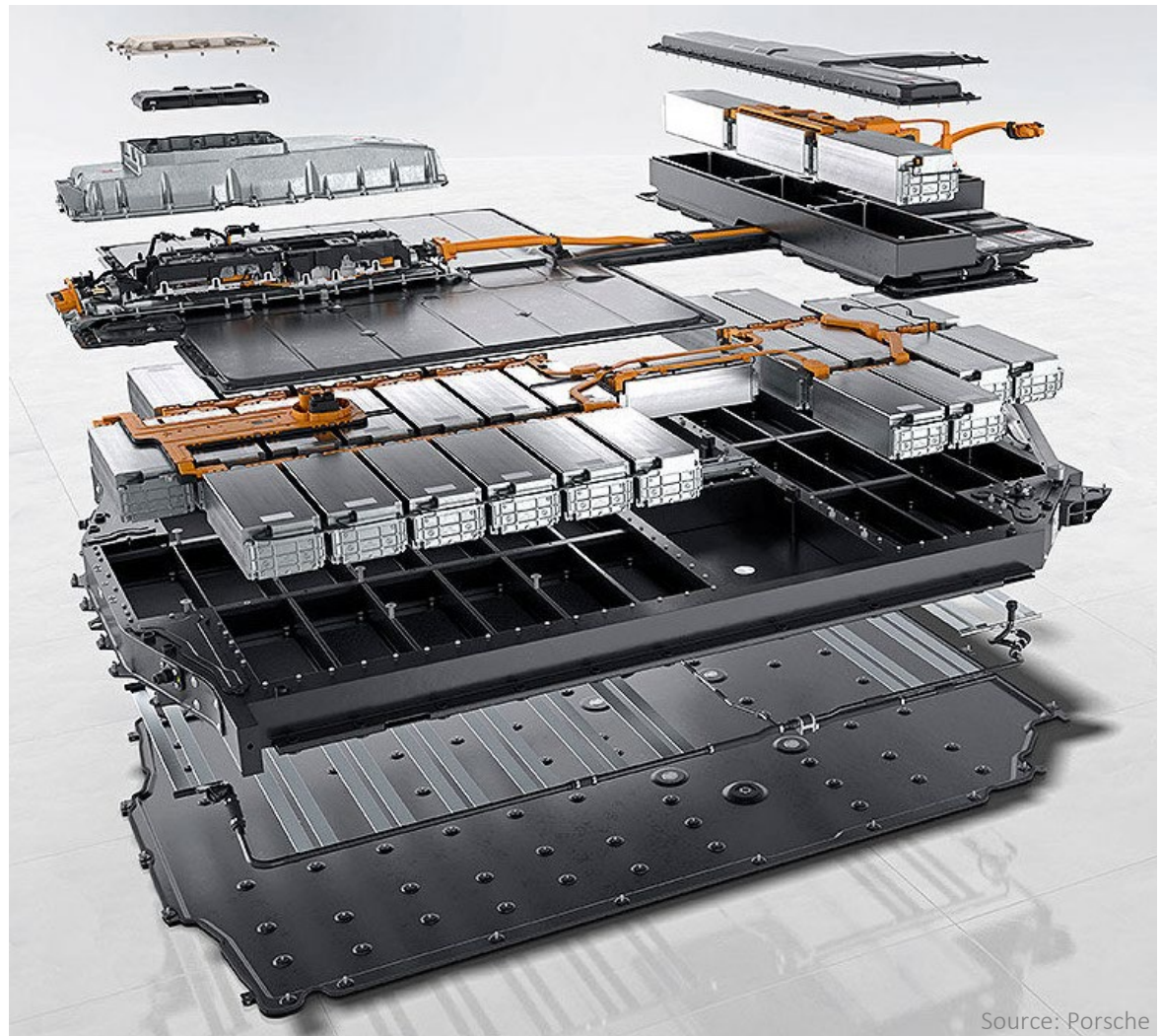
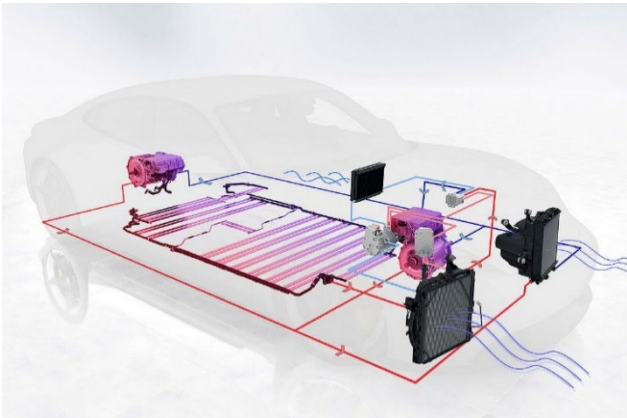
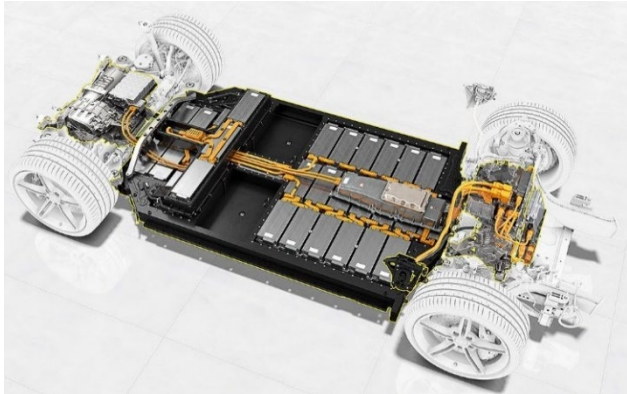
# Example: Porsche Taycan battery pack

94.3 kWh (83.7 usable), 800V system

Battery housing aluminum / steel combination

33 modules, each 12 cells.

Complex thermal management, including heat-pump (as usual in luxury BEV).



Source: Porsche

# Automotive battery manufacturer worldwide

2020: Battery Cells Deliveries to HEV, PHEV, EV Producer [GWh]



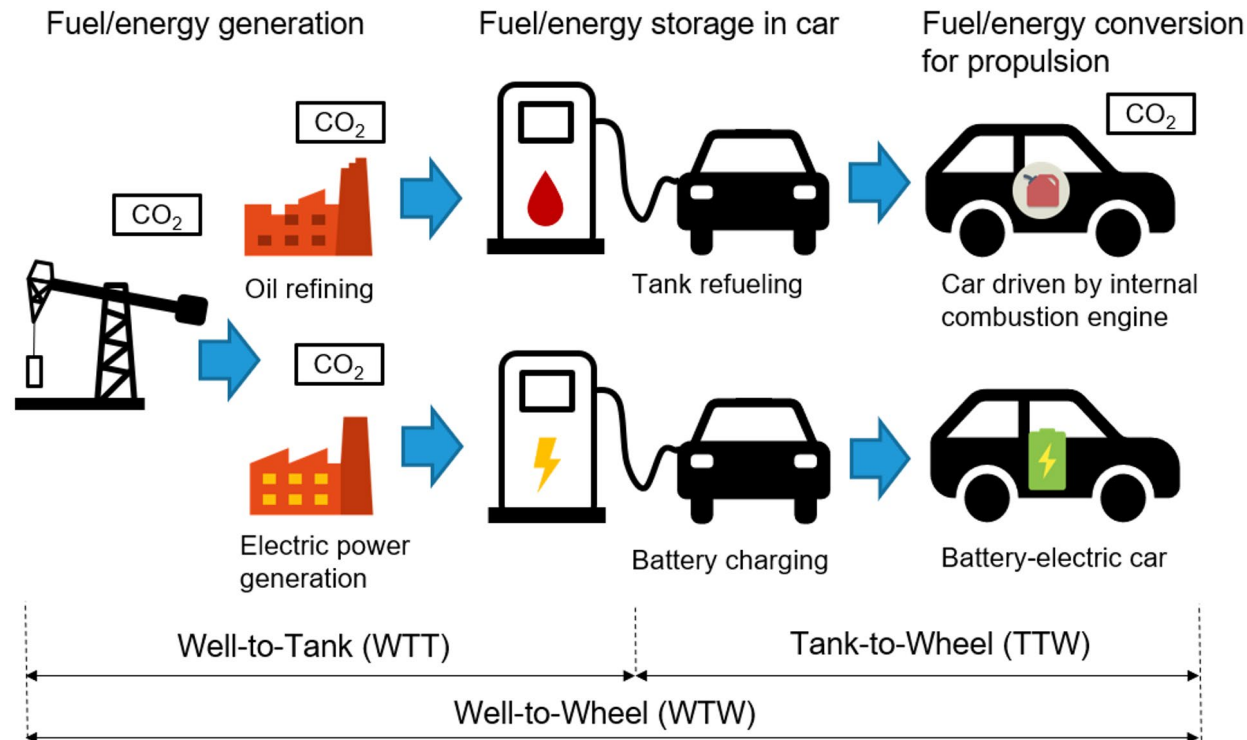
Source: R. Zenn, SNE Research

# CO<sub>2</sub> – impact of propulsion technologies

# Well-to-tank & tank-to-wheel emissions

CO<sub>2</sub> equivalent emissions include:

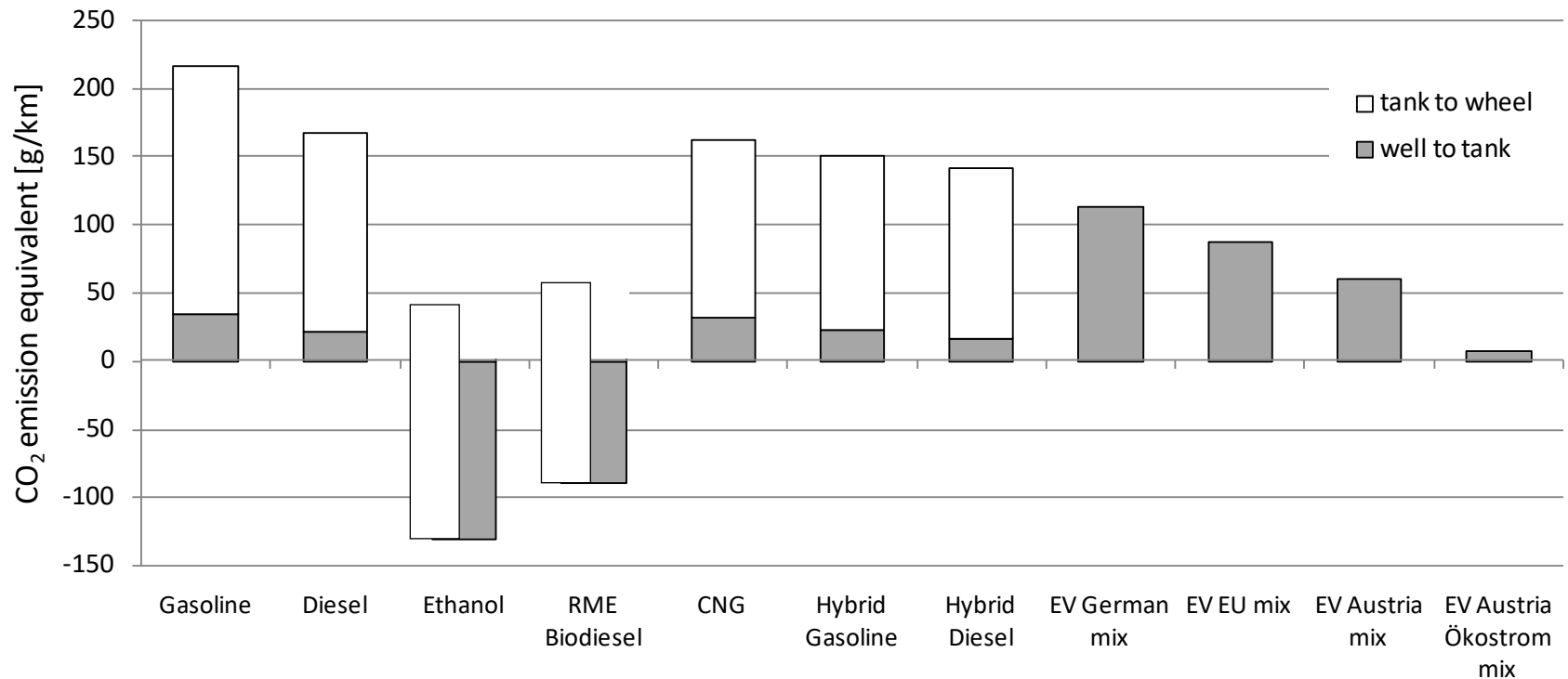
- Production of fuel (electric energy): WTT (well-to-tank emissions) ... not considered in the 2021+ fleet-related CO<sub>2</sub>-legislation
- Conversion of energy in the car: TTW (tank-to-wheel emissions) ... => fleet emission targets
- Sum of WTT & TTW: WTW (well-to-wheel emissions)



# Well-to-tank & tank-to-wheel emissions

CO<sub>2</sub> equivalent emissions include:

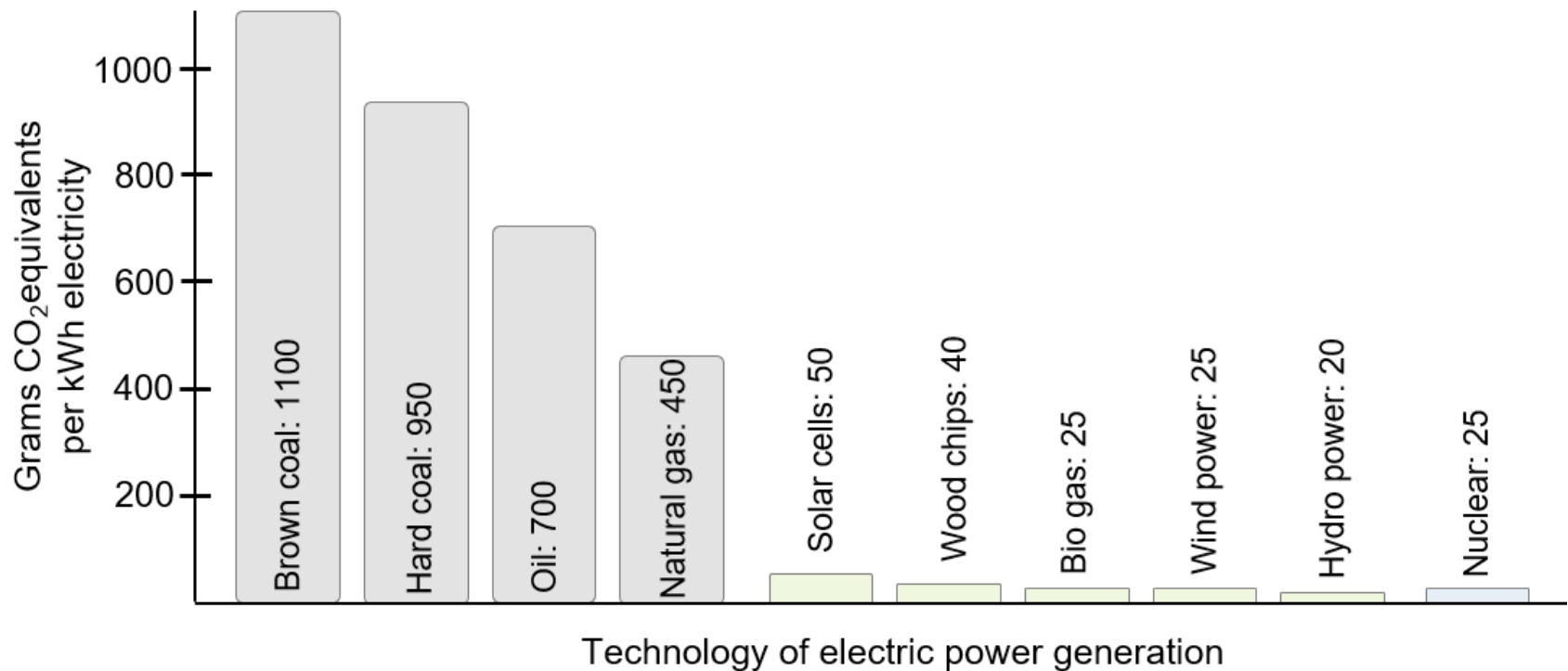
- Production of fuel (electric energy): WTT (well-to-tank emissions) ... not considered in the 2021+ fleet-related CO<sub>2</sub>-legislation
- Conversion of energy in the car: TTW (tank-to-wheel emissions) ... => fleet emission targets
- Sum of WTT & TTW: WTW (well-to-wheel emissions)



CO<sub>2</sub> equivalent emissions of a midsize car

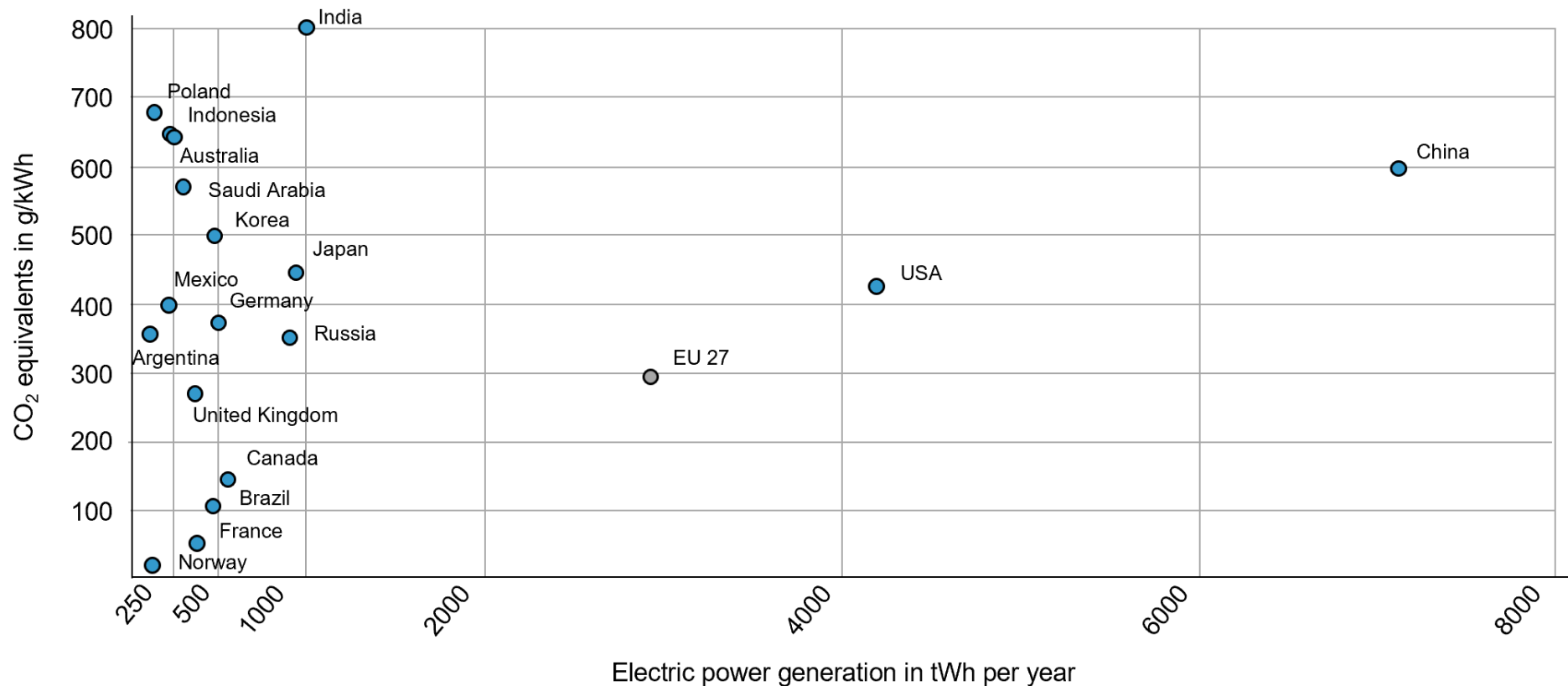
Key role: electric energy production

Different technologies have different CO<sub>2</sub>-impact



# Key role: electric energy production

## Electricity mix in selected countries / regions



... a link to real-time data: <https://www.electricitymap.org/map>

## Example:

Comparison of different propulsion technologies, WTT and TTW: Electric car vs. Gasoline / Diesel car

Remark: Calculation of CO<sub>2</sub> emissions out of fuel consumption by use of factor 26.2 for Diesel and factor 23.2 for Gasoline fuel:  $\text{liter}/100\text{km} * \text{factor} = \text{CO}_2 \text{ [g/km]}$

# Life-cycle - related consideration of technologies

Life-Cycle Assessment (LCA): Evaluation of technologies and products under consideration of the entire life-cycle (production, use-phase, end-of-life-phase). Standardized procedure, e.g. according to ISO 14040, ISO 14044.

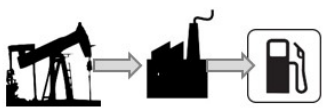
**Technical specifications**

- Vehicle type, size, weight...
- Propulsion technology
- Vehicle technology
- Materials



**Supply of resources and energy**

- Type and amount of energy for production and use
- High-/low impact materials
- Raw-materials



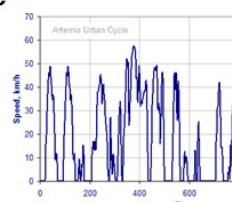

**Production and recycling technology**

- Efficient production, supplier & logistics processes
- Design for recycling
- Recycling technologies

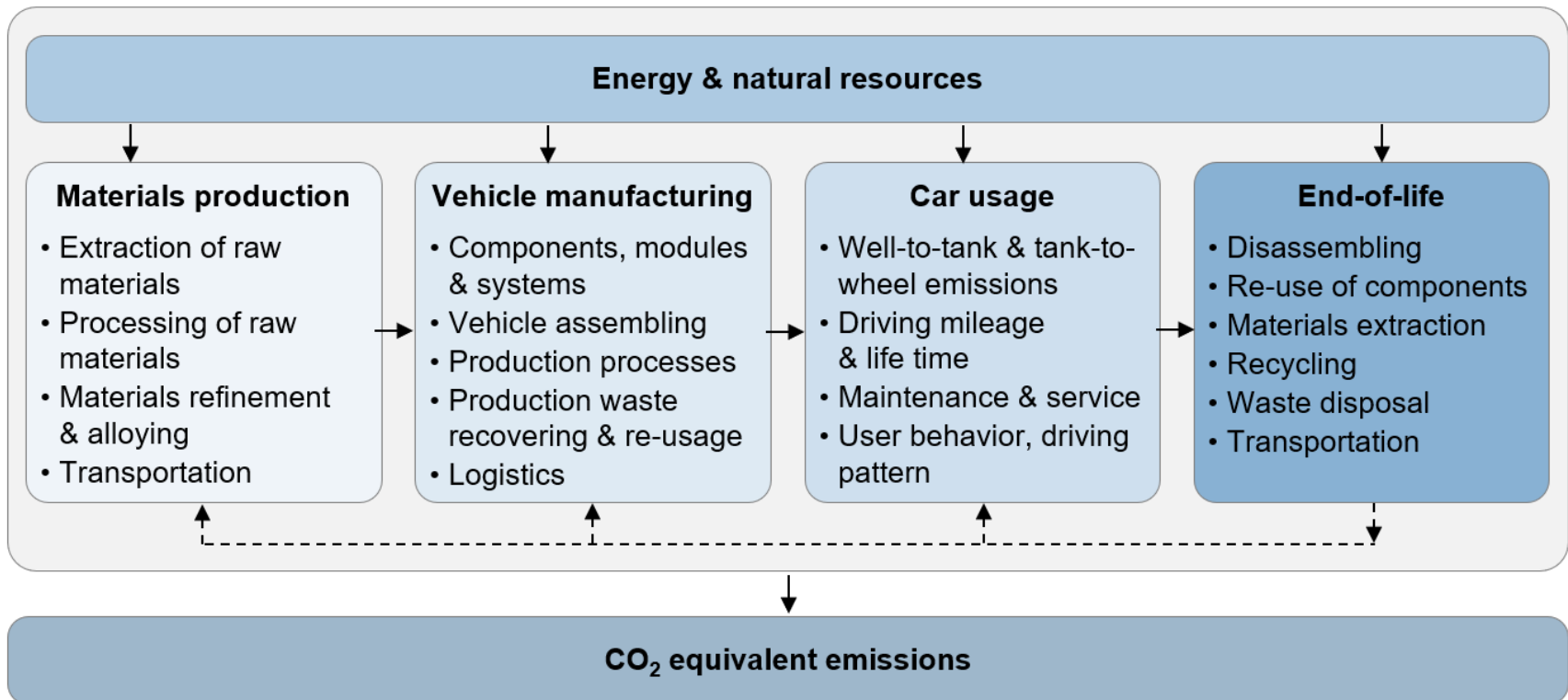


**In-use phase**

- Transportation demands
- User profiles, driving behavior
- Fuel- & energy consumption
- Maintenance & service effort

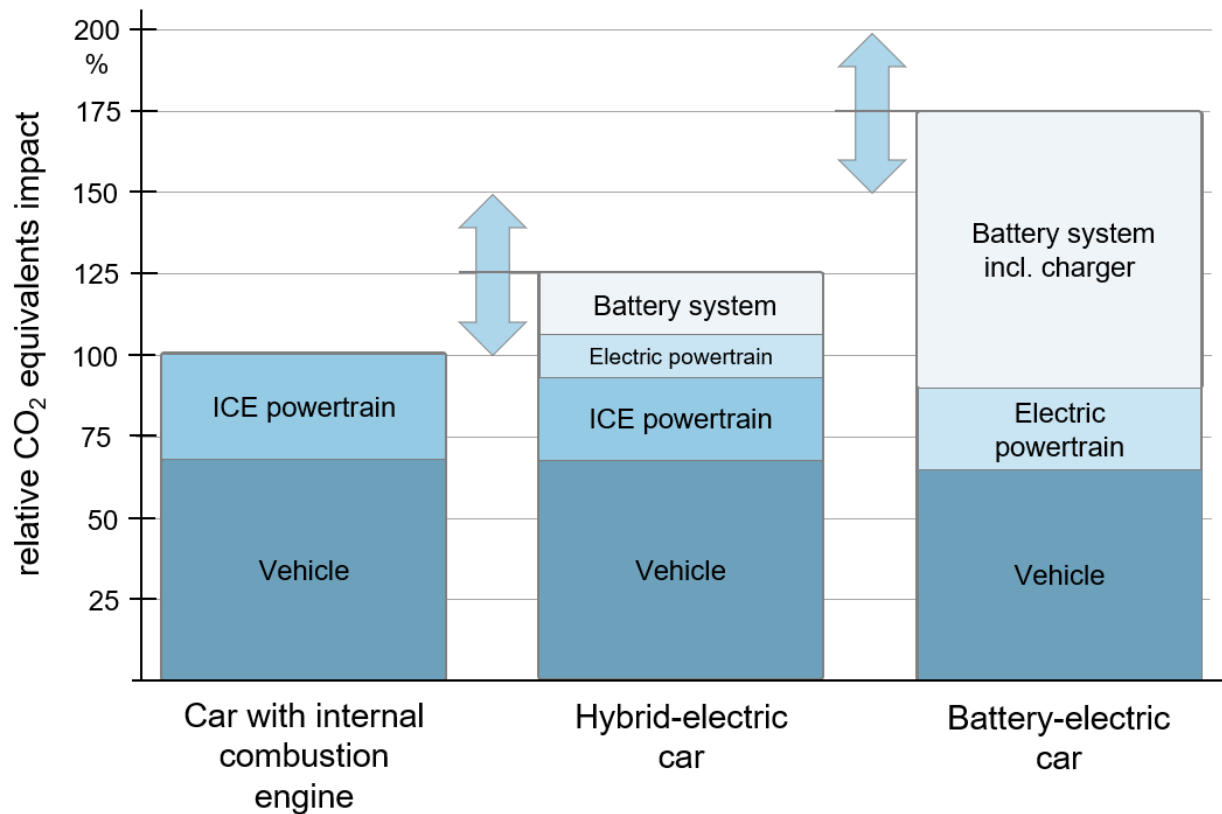


# Life-cycle assessment – a tool for objective technology evaluation



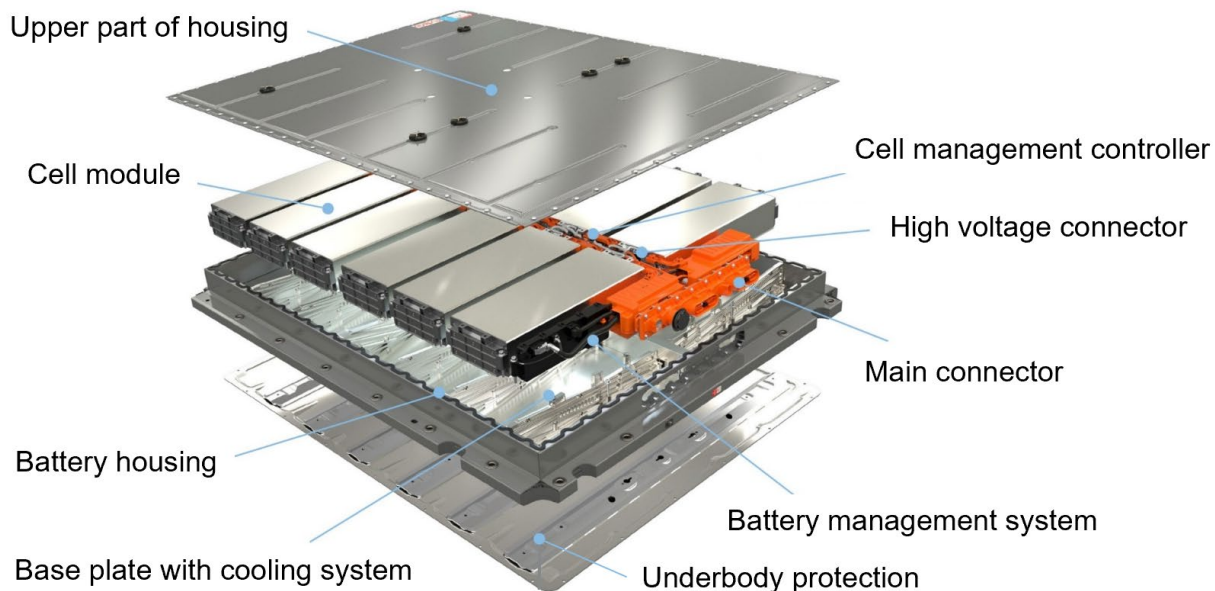
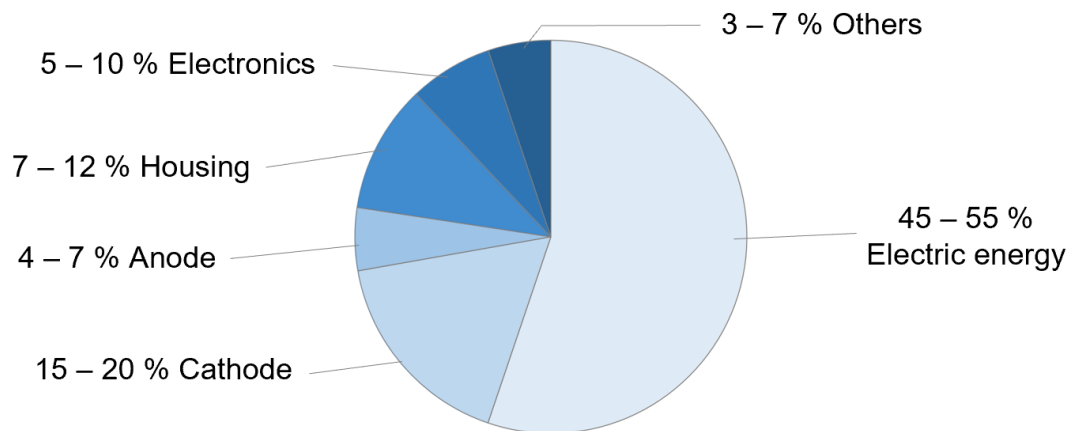
# Life-cycle - related consideration of technologies

CO<sub>2</sub> - impact of vehicle production in comparison



# Automotive lithium-ion battery production

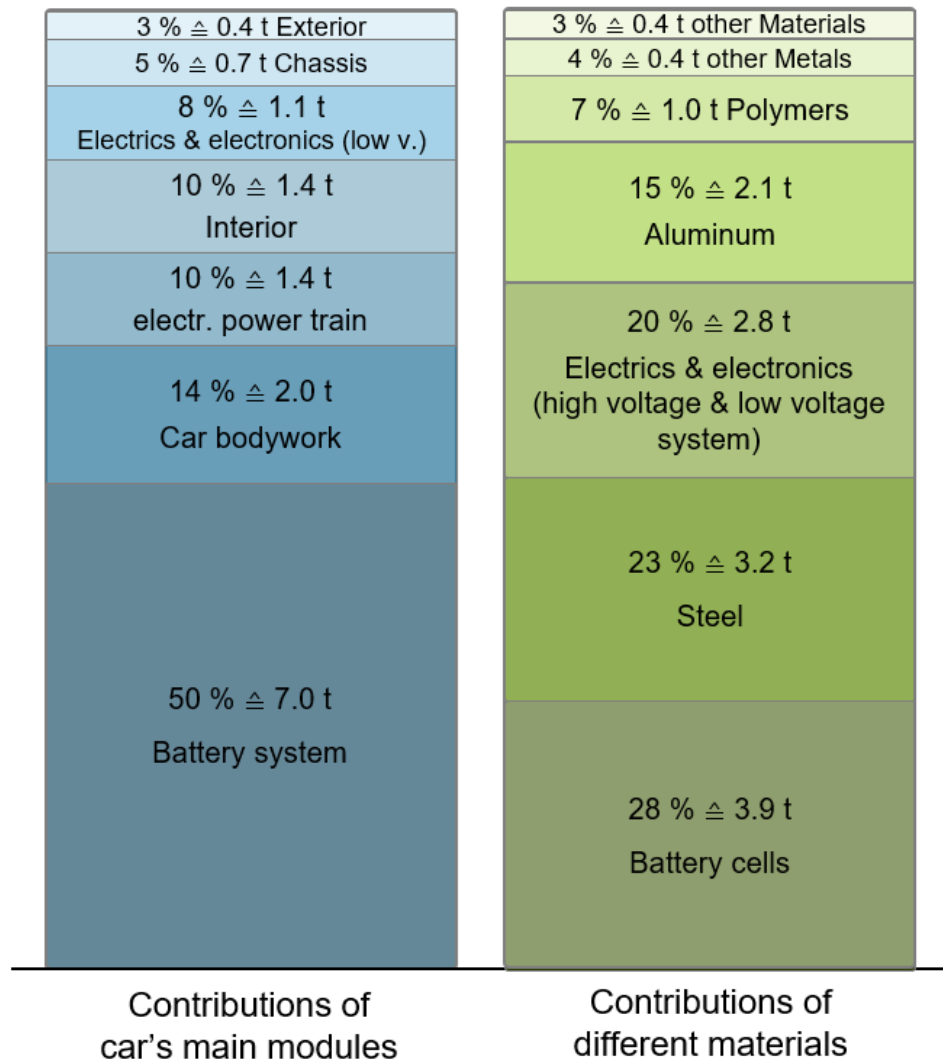
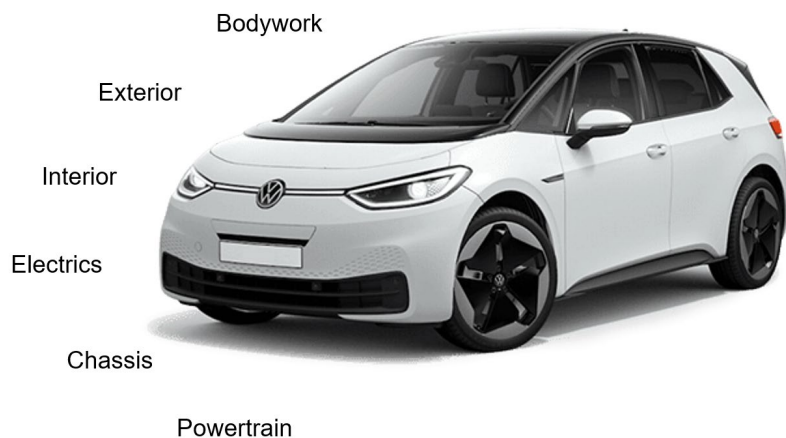
CO<sub>2</sub> equivalent emission impact of battery manufacturing-related factors



# Battery-electric car production

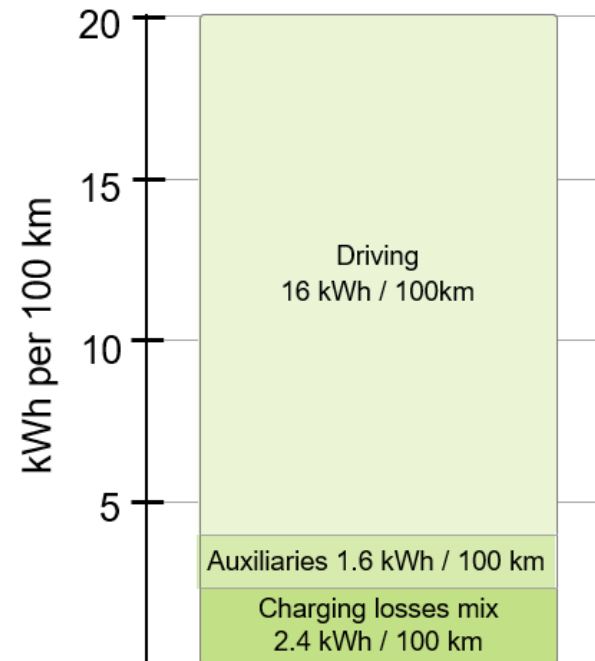
Carbon footprint and relevant materials

## Exemplary compact car



# Battery-electric car usage

Energy consumption of the exemplary compact car



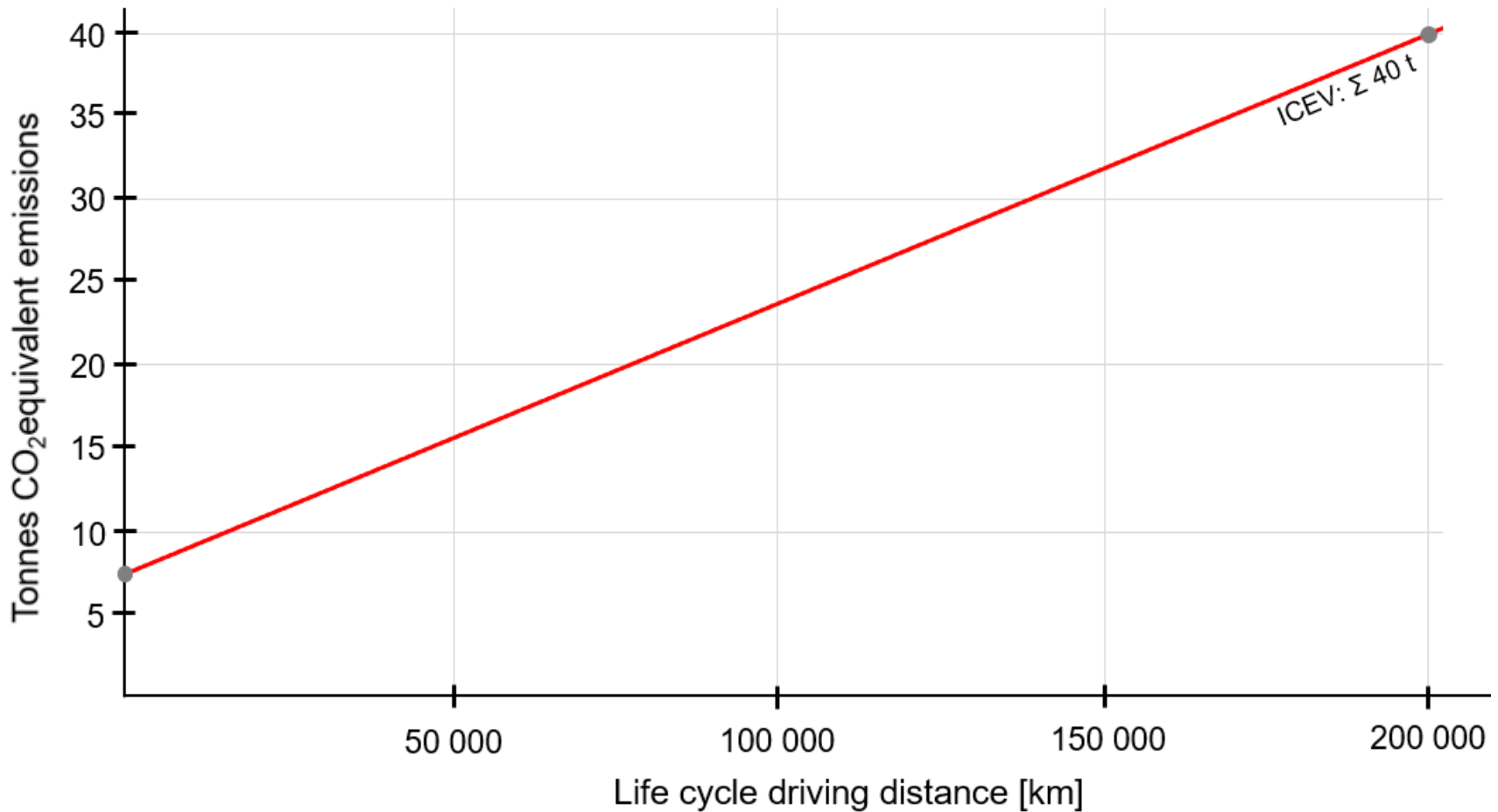
# LCA-based comparison of different powertrain technologies

Exemplary comparison of selected compact cars with internal combustion engine (ICEV), hybrid drive (HEV) and battery-electric powertrain (BEV)

	ICEV	HEV	BEV
<b>Car type:</b>	Compact car (C-class)	Compact car (C-class)	Compact car (C-class)
<b>Vehicle mass:</b>	1400 kg	1450 kg	1800 kg
<b>Propulsion:</b>	Gasoline engine	Comb. full hybrid, gasoline engine	Permanent magnets synchr. motor
<b>Max. power:</b>	90 kW	90 kW	110 kW
<b>Fuel / energy consumption:</b>	6 liter / 100 km	4.5 liter / 100 km	20 kWh / 100 km incl. charging losses
<b>Battery capacity:</b>	-	1.3 kWh	60 kWh
<b>Country of battery cell production:</b>	-	China	China
<b>Country of vehicle manufacturing:</b>	Germany	Japan	Germany
<b>Car body main material:</b>	Steel	Steel	Steel
<b>Vehicle comfort equipment level:</b>	Standard	Standard	Standard
<b>Total carbon footprint of production:</b>	7.5 tonnes CO <sub>2</sub> equivalents	9.0 tonnes CO <sub>2</sub> equivalents	14.0 tonnes CO <sub>2</sub> equivalents

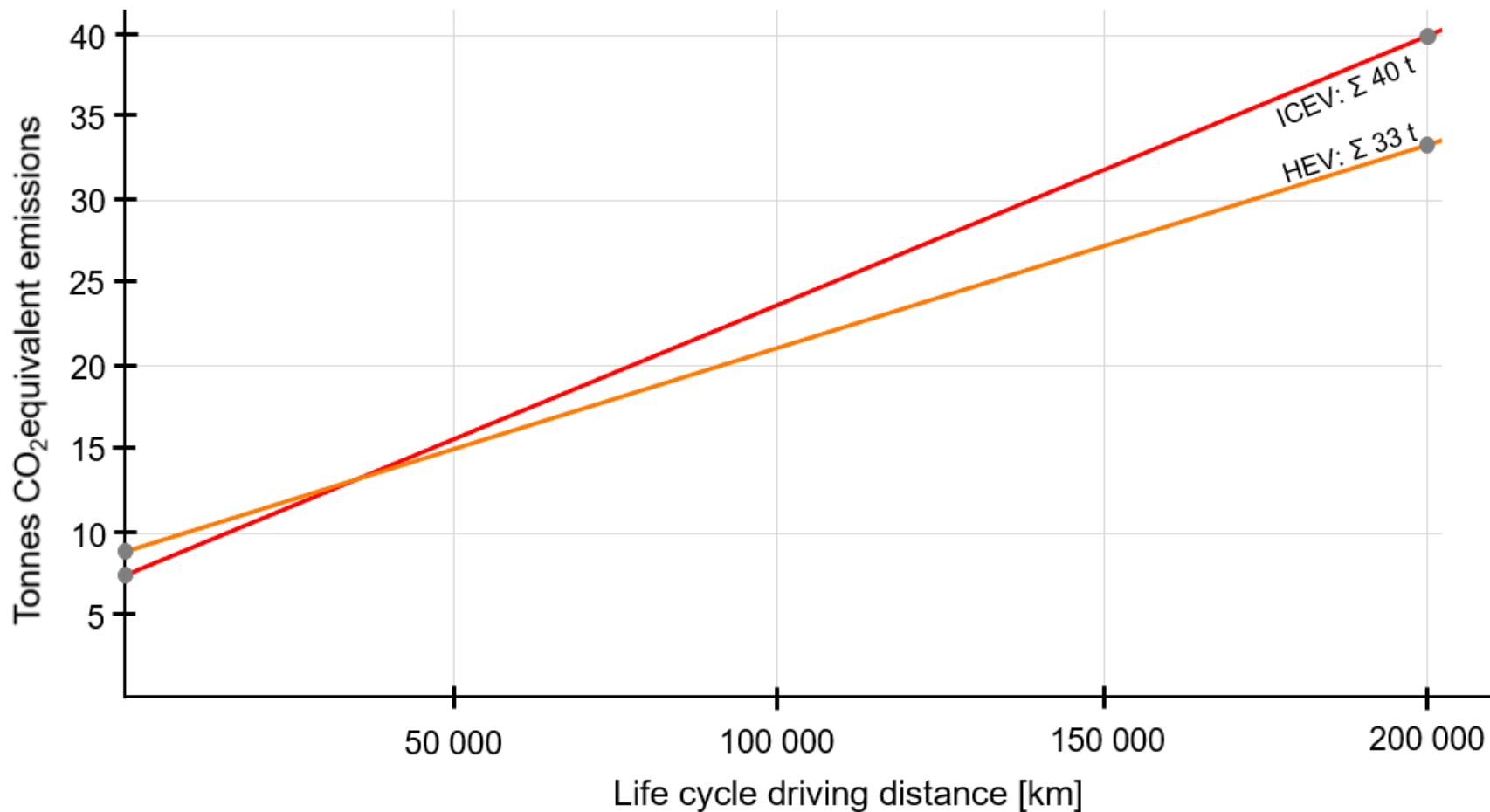
# Total life cycle carbon footprint in comparison

## Compact cars with different propulsion technologies



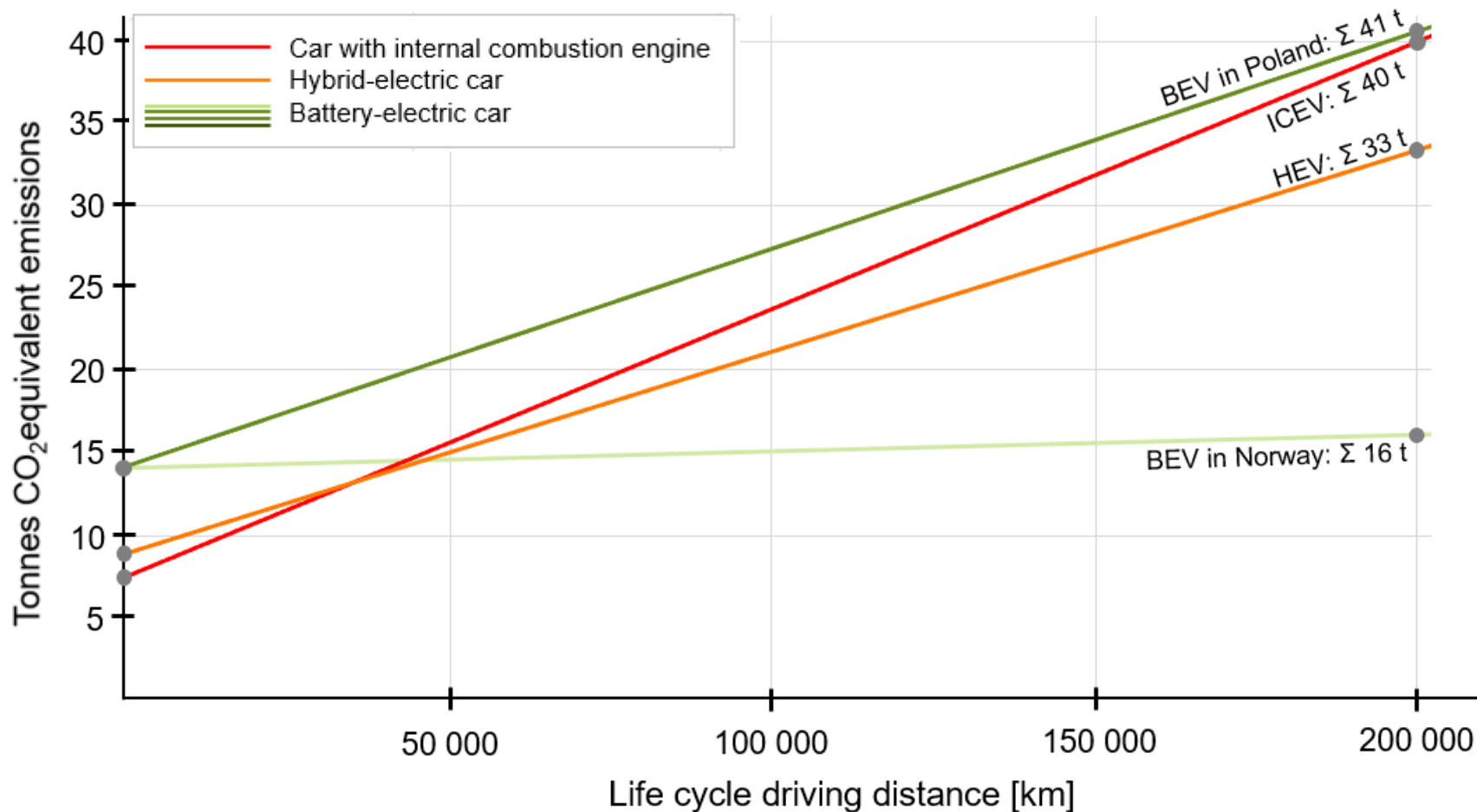
# Total life cycle carbon footprint in comparison

Compact cars with different propulsion technologies



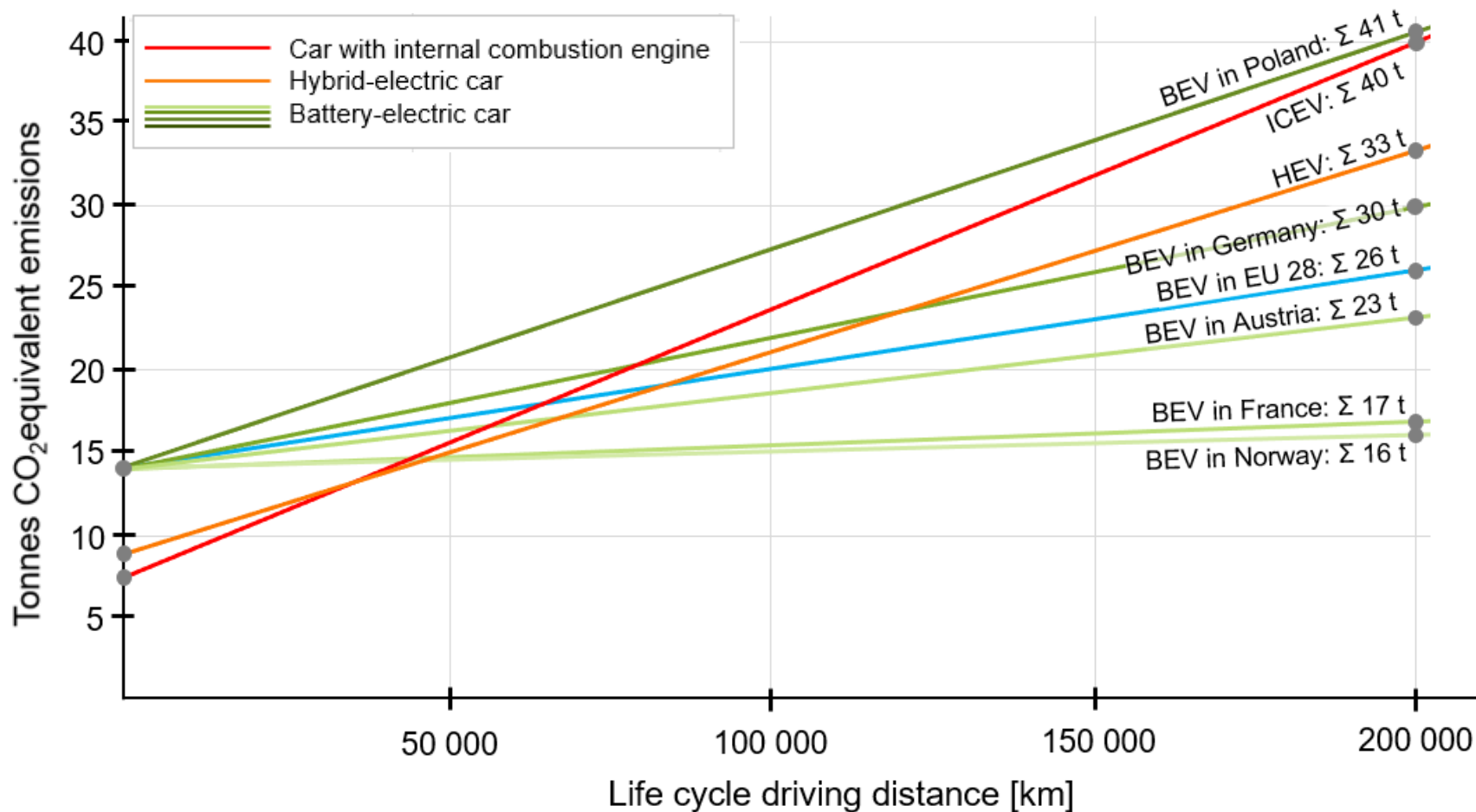
# Total life cycle carbon footprint in comparison

## Compact cars with different propulsion technologies



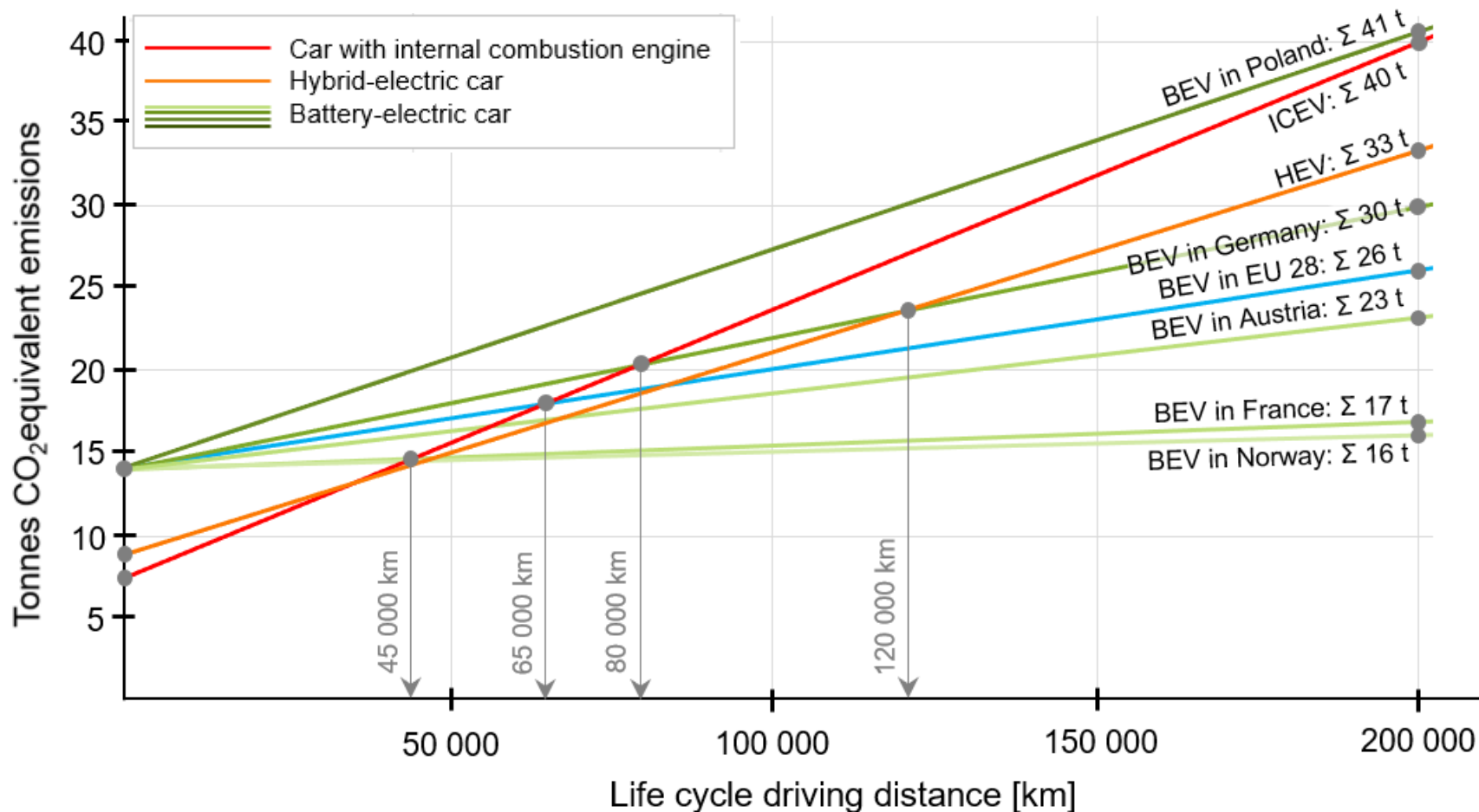
# Total life cycle carbon footprint in comparison

## Compact cars with different propulsion technologies



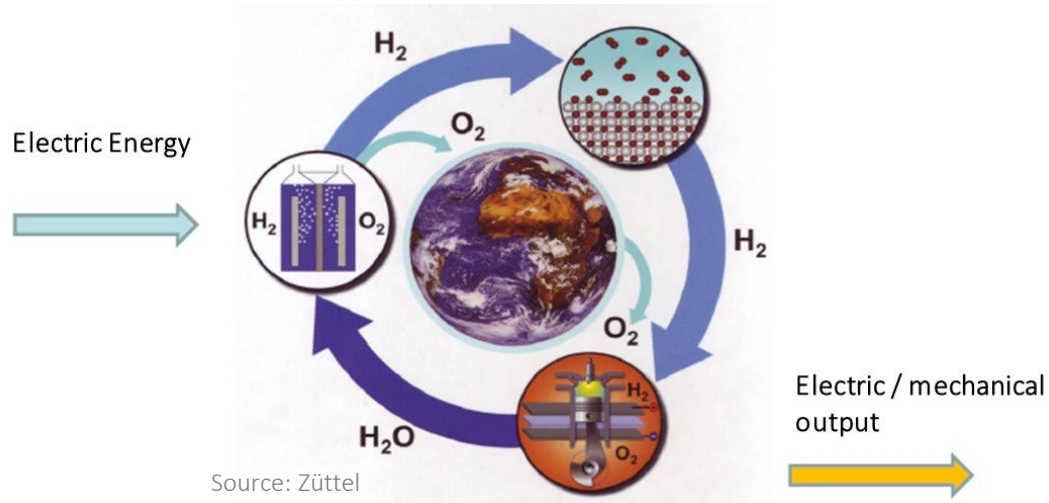
# Total life cycle carbon footprint in comparison

## Compact cars with different propulsion technologies



# Alternative fuels: a possible solution?

# Hydrogen: Fuel for a closed energy circle



ships, (airplanes) ... research

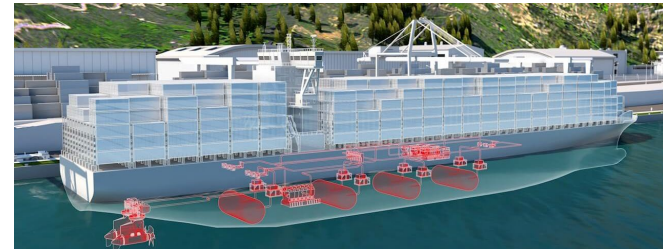
in use today: commercial vehicles, trains, (cars)



Source: Hyundai

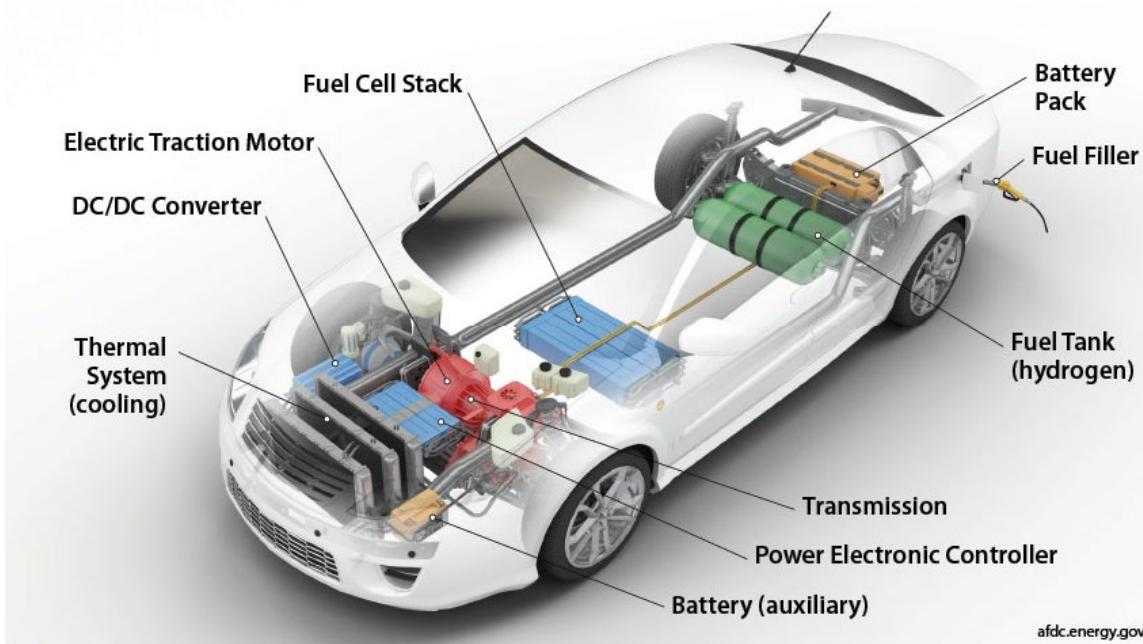


Source: Toyota



Sources: ABB, NASA

# Fuel-cell electric vehicles



Hydrogen is seen as the fuel for future mobility. Advantage is the potential for CO<sub>2</sub> emission free operation.

Fuel cell systems provide good efficiency behavior in comparison with internal combustion engines.

Main challenges for a broad application of hydrogen as fuel are hydrogen generation and storage.

Some numbers:

Hydrogen fuel consumption of a typical personal car: 0.7 – 1.6 kg/100km

Energy content of hydrogen: 120 MJ/kg = 33,3 kWh/kg

Hydrogen costs: 6 – 10 € per kg

CO<sub>2</sub> footprint of hydrogen production from natural gas: 8.5 – 11 kg CO<sub>2</sub> per kg H<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> footprint of hydrogen production from wind / solar energy: potentially near zero.

# Alternative fuels

## State-of-the-art:

- GTL – gas to liquid: made of natural gas (methane, CH<sub>4</sub>)
- CTL – coal to liquid: made of coal (historical)
- BTL – biomass to liquid: made of different bio-sources

## In development with future potentials:

- PTL – power to liquid: fuel (hydrocarbons) made of H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> & CO by electrolytic conversion of water (production of H<sub>2</sub>) and synthesis of CO<sub>2</sub> & CO.
  - + result is synthetic fuel that can have similar characteristics as gasoline or diesel.
  - + use of existing tank systems and infrastructure possible
  - + different application possible, e.g. cars, trucks, ships, airplanes, construction machines
  - + electric energy is needed (a lot); use of green electric energy results in sustainable fuel
  - + => CO<sub>2</sub> reduction out of the atmosphere ... theoretically CO<sub>2</sub> neutral fuel possible.
  - Worse production efficiency, high electric energy consumption
  - market-relevant volumes after 2030 expected (@ Shell)

# Alternative fuels: a possible solution?

## PTL – “e-fuels”

Prototype e-fuel production facility in Chile (Punta Arenas)  
 Partners: Siemens, Porsche, Gasco, Enap, Enel, ExxonMobil  
 Planned are 130.000 liter e-fuels per year

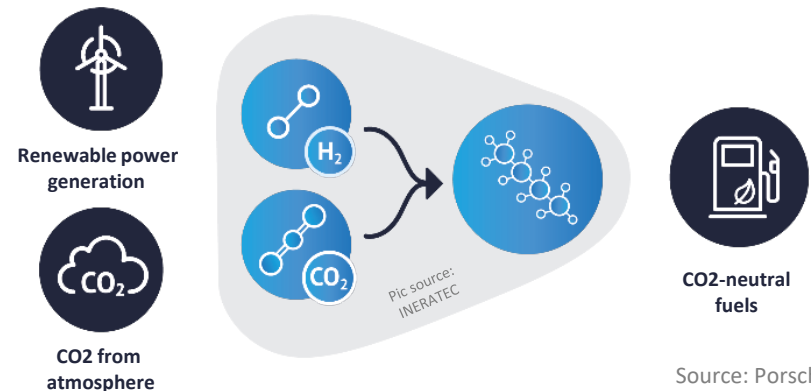


Process:

- (1) CO<sub>2</sub>- neutral production of hydrogen, e.g. by electrolytic conversion of H<sub>2</sub>O by use of wind- or water power
- (2) Extraction of CO<sub>2</sub> from processes of out of the atmosphere (direct air capture). Use of Ceramic filters, which bind CO<sub>2</sub>, and subsequently performed periodic purging of the filters under heat.
- (3) Synthetic process for production of methanol (CH<sub>3</sub>OH, respectively CH<sub>4</sub>O).
- (4) Final synthetic processes methanol to gasoline => formation of the actual fuel.

Production of 1 liter e-fuel requires:

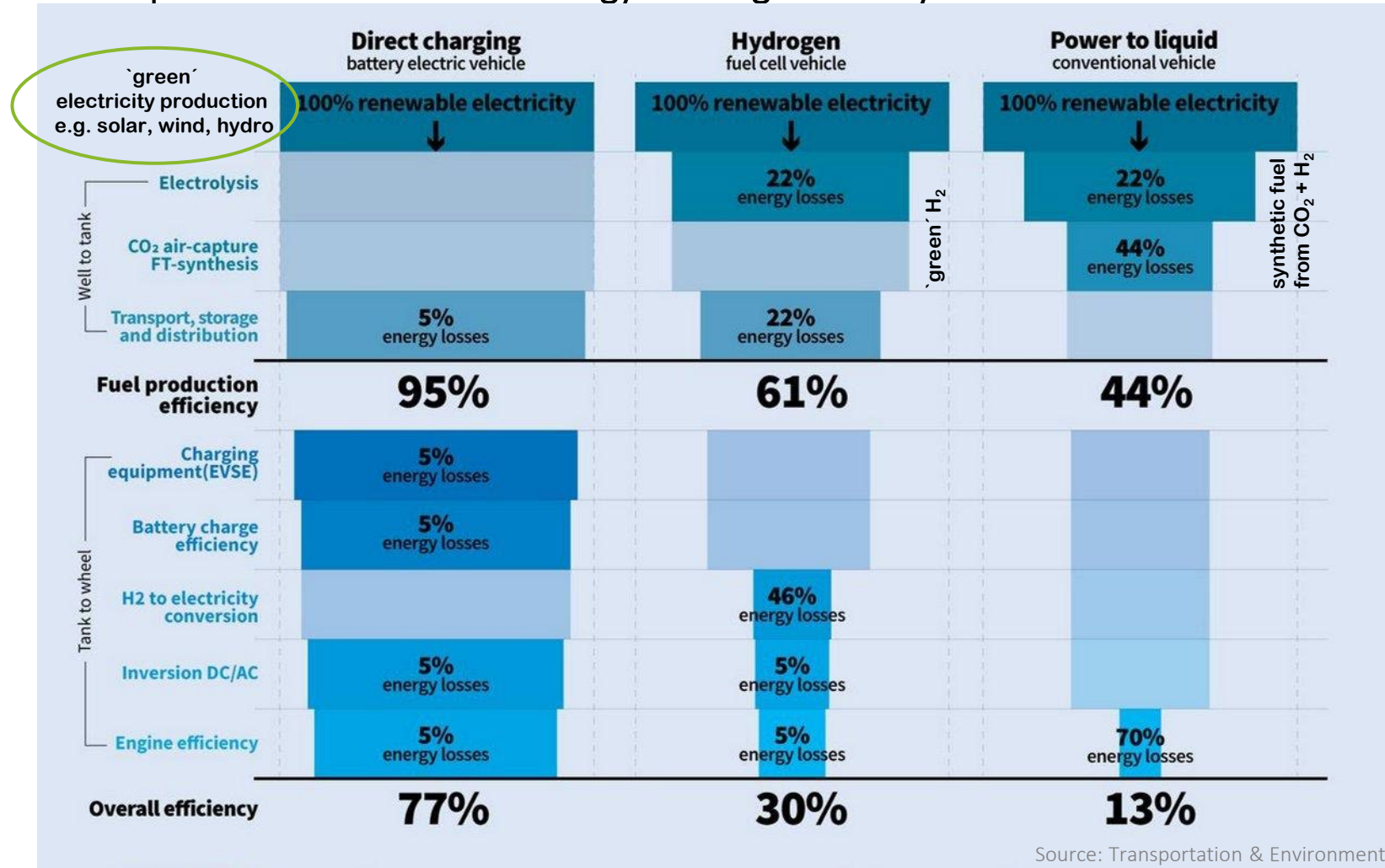
- 3 liter water
- + ca. 6000 m<sup>3</sup> air for CO<sub>2</sub>- extraction
- + ca. 16 kWh electric energy (or more)
- ... results in ca. 8.5 kWh energy stored



# Under “Green Deal” aspects: WTW-efficiency of different propulsion technologies



Assumption: renewable initial energy – the “green” way



Source: Transportation & Environment

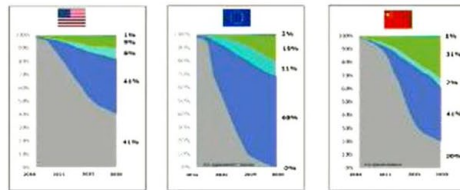
# Outlook

# Prognosis of propulsion technologies

## Market expectations of powertrain technologies

- ➔ Most stakeholder expect that ICE-based power trains remain the major automotive propulsion system within the next about 5 - 6 years in the EU, in combination with electric drives in hybrid cars.
- ➔ Other markets will be different: China pushes BEV, too but also keeps ICEV on track, USA will be different in different states, but in general BEV market share will increase. Rest of the world will longer stay on ICEV, with a certain potential for BEV.
- ➔ The marked shares of electric cars will increase steadily, and very strong from 2028/2030 on.

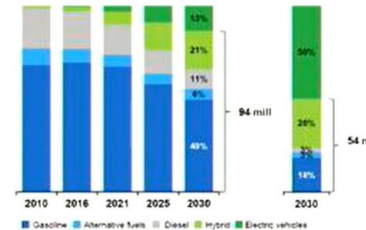
AVL



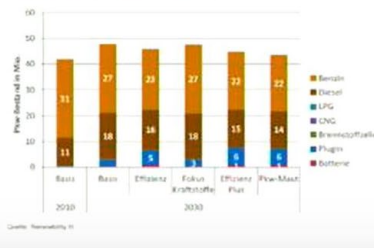
Agora



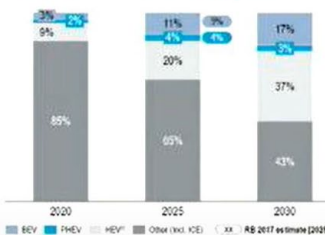
Mahle



Öko-institut



Roland Berger



Source: Eichlseder

# Car manufacturers changed their power train development strategies

## 2015 - 2019: Efficiency improvement of ICE, reduction of exhaust emissions

- Direct fuel injection systems
- Downsizing, turbo-charging
- Reduction of engine friction
- Efficient combustion processes
- Multi-point ignition
- New combustion processes, e.g. HCCI
- Alternative fuels for clean efficient combustion
- Multi-stage catalytic converters for exhaust gas after treatment
- Particulate filter for gasoline direct injection
- Hybrid power train systems

## 2020-25: Electrification

- ~~Direct fuel injection systems~~
- ~~Downsizing, turbo-charging~~
- ~~Reduction of engine friction~~
- ~~Efficient combustion processes~~
- ~~Multi-point ignition~~
- ~~New combustion processes, e.g. HCCI~~
- ~~Alternative fuels for clean efficient combustion~~
- ~~Multi-stage catalytic converters for exhaust gas after treatment~~
- ~~Particulate filter for gasoline direct injection~~
- Hybrid power train systems
- Electric cars

# Prognosis of propulsion technologies

... taking a look into the crystal ball (1/2) ...

## BEV:

Rising market shares for sure, depending on legislative boundary conditions, incentives for customer and restrictions of ICEV.

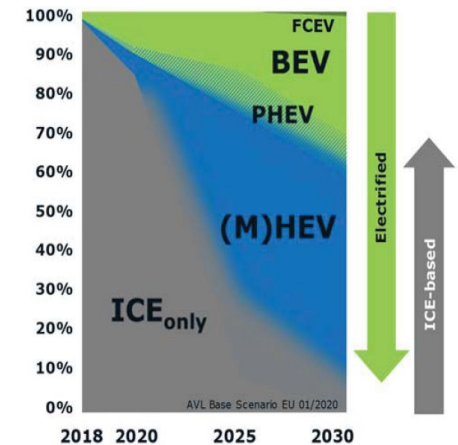
Status 2025: Largest growth is expected in Europe (especially in countries with strong incentives, e.g. Germany). China has strong pushes in local cities / regions. In USA, California has the highest rates of growth, with some other states following.

It is expected, that in Europe and China, BEV will have about 50 % sales share in 2030. In USA, this number might be lower with about 30 %.

## PHEV:

PHEV have been a promising technology for car manufacturers in Europe and China, but the sales numbers stagnate this time. In EU and China, specific legislative boundary conditions (e.g. combined test cycles for CO<sub>2</sub> emissions) supported PHEV significantly. But it seems that customers do not make use of the possibility to charge the car at the grid. In this way, the real-life benefits of this technology are limited. There is a trend to larger battery capacity – and consequently larger electric driving range on PHEV, but due to the cost factor, this is applied just in some premium cars.

It is expected, that PHEV sales will not increase in a relevant way in the next years, because the (former) driving range limitation of BEV becomes more and more obsolete.



# Prognosis of propulsion technologies

... taking a look into the crystal ball (2/2) ...

## HEV:

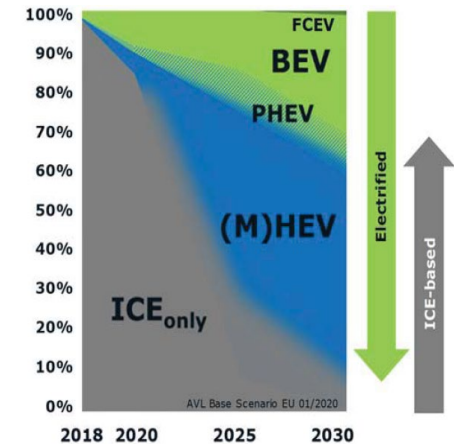
HEV sales significantly increase this time in all markets, because OEM make use of the relatively simple possibility to modify existing ICE-based powertrains. In addition, the realization of different technological approaches enables a large variation of HEV according to the actual vehicle requirements – from mild hybrids (MHEV) to full hybrids (HEV) with the opportunity to drive a certain distance purely electric.

HEV market share will further grow in Europe, China and USA. It is expected that Gasoline-HEV will replace Diesel engine driven cars in most segments because of economic reasons and better customer acceptance.

## ICEV:

The sales of cars driven by ICE only will reduce in the same way as the market shares of BEV and HEV will increase. The relatively simple and economically reasonable opportunity to electrify ICE powertrains, resulting in hybrids, leads to the fact, that highly sophisticated (and expensive) ICE technology will less be applied – with the exception of some super sport cars. For OEM, it is easier and cheaper to combine standard Gasoline engines with electric drive units to fulfill the legislative targets.

In this way, new technologies and breakthroughs are not expected for ICE. Open question this time is the use of carbon-neutral fuel. If supported by governments, this could push ICE technology for longer-lasting applications, but it is likely that also in this way, hybrid technologies will convince.



# Homework

The following questions and tasks serve as a basis for group discussions. Please prepare a short presentation for the next meeting to introduce your answers, opinions and ideas.

## Tasks / discussion (1/2)

- What are the main areas of activity of your company?
- Which systems and processes in your company produce greenhouse gas emissions?
- Estimate the impact of CO<sub>2</sub> emissions of personal- and goods transportation in your company, e.g. in total numbers / as percentage of the total footprint.
- Are there already actions and / or plans for reduction of CO<sub>2</sub> emissions of the transportation sector?
- Do you have ideas for actions to reduce CO<sub>2</sub> emissions in your company? What would be required for a successful implementation of your ideas?

## Tasks / discussion (2/2)

- Which measures of mobility are used in your company for business trips and operational transportation?
- In case of a car fleet: Which propulsion technologies are used (to which share)?
- Are there incentives to change to alternative propulsion technologies or to alternative transportation systems?
- What are the challenges for a successful transition of the vehicle fleet to electric / hydrogen driven vehicles? Are there ideas for solving the challenges?
  
- What are your private driving distances (monthly, annual, driving patterns)?
- What do you think about electric cars as private cars? Which strengths and weaknesses / challenges do you see for purchasing / private use of an electric car?

Thx for your  
attention!



Contact :

Associate Prof. Dr. DI. Mario Hirz  
Institute of Automotive Engineering  
Graz University of Technology  
Inffeldgasse 11/2, 8010 Graz  
E-Mail: [mario.hirz@tugraz.at](mailto:mario.hirz@tugraz.at)  
Web: <http://www.ftg.tugraz.at>



## DIGITALISIERUNG IST **EASY**

Folgen Sie uns



für mehr Informationen zu Veranstaltungen, Digitalisierung und Innovation.

[www.dih-sued.at](http://www.dih-sued.at)

**TU Graz Life Long Learning**

Münzgrabenstraße 36/I  
8010 Graz

Tel.: +43 316 873 4932

[lifelong.learning@tugraz.at](mailto:lifelong.learning@tugraz.at)





## EMBA-B5\_Sustainable Buildings



Ressourcen



Know-How



Anforderungsmanagement



Systemischer Ansatz



Lebenszyklus



Nachhaltigkeitsbewertung

# UK

## Modul 5


12.01.2026 – 13.03.2026

Univ. Prof. DI Dr.techn. Alexander PASSER, MSc | [alexander.passer@tugraz.at](mailto:alexander.passer@tugraz.at)


DI Dr.techn. Helmuth KREINER | [helmuth.kreiner@tugraz.at](mailto:helmuth.kreiner@tugraz.at)

ULG 2026

2



### NACHHALTIGES BAUEN | Kurzvorstellung

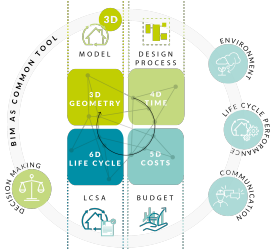



Alexander Passer

- Univ. Professor für Nachhaltiges Bauen an der TU Graz (2022-)
- Vorsitzender des ASI 271 und Nachhaltigkeitsbeirats TUG
- Mitglied Vorstand des CCCA
- Habilitation im Fach (2017)
- Gastprofessor (ETH Zürich) (2014)
- 300+ Publikationen

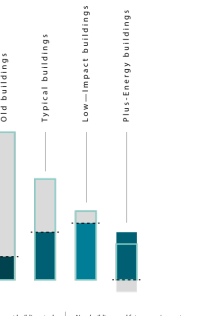
**Forschungsschwerpunkte**

- Lebenszyklusbasierte Nachhaltigkeitsanalyse (LCSA)
- Ökobilanzierung (LCA)
- Digitale Gebäudemodellierung
- Nachhaltigkeitszertifizierungen von Gebäuden
- Umweltproduktdeklarationen (EPDs)





Zitate pro Jahr



Current building stock | New buildings and future requirement

ULG 2026    <https://tugraz.elsevierpure.com/en/persons/alexander-passer/publications/>    3

3




9

**ITTE TU**  
Graz

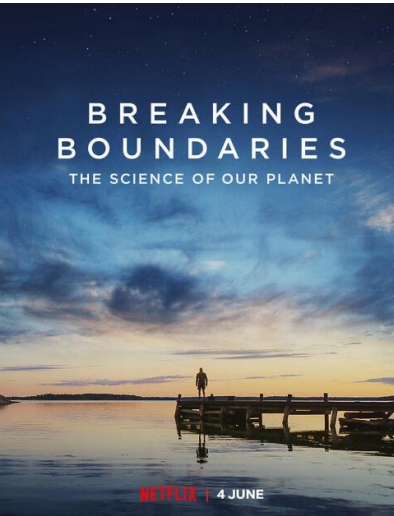
“WHAT WE DO BETWEEN 2020 AND 2030 WILL BE THE DECISIVE DECADE FOR HUMANITY’S FUTURE ON EARTH”.

PROFESSOR JOHAN ROCKSTRÖM

**BREAKING BOUNDARIES**  
THE SCIENCE OF OUR PLANET




ONLY ON **NETFLIX**



**BREAKING BOUNDARIES**  
THE SCIENCE OF OUR PLANET

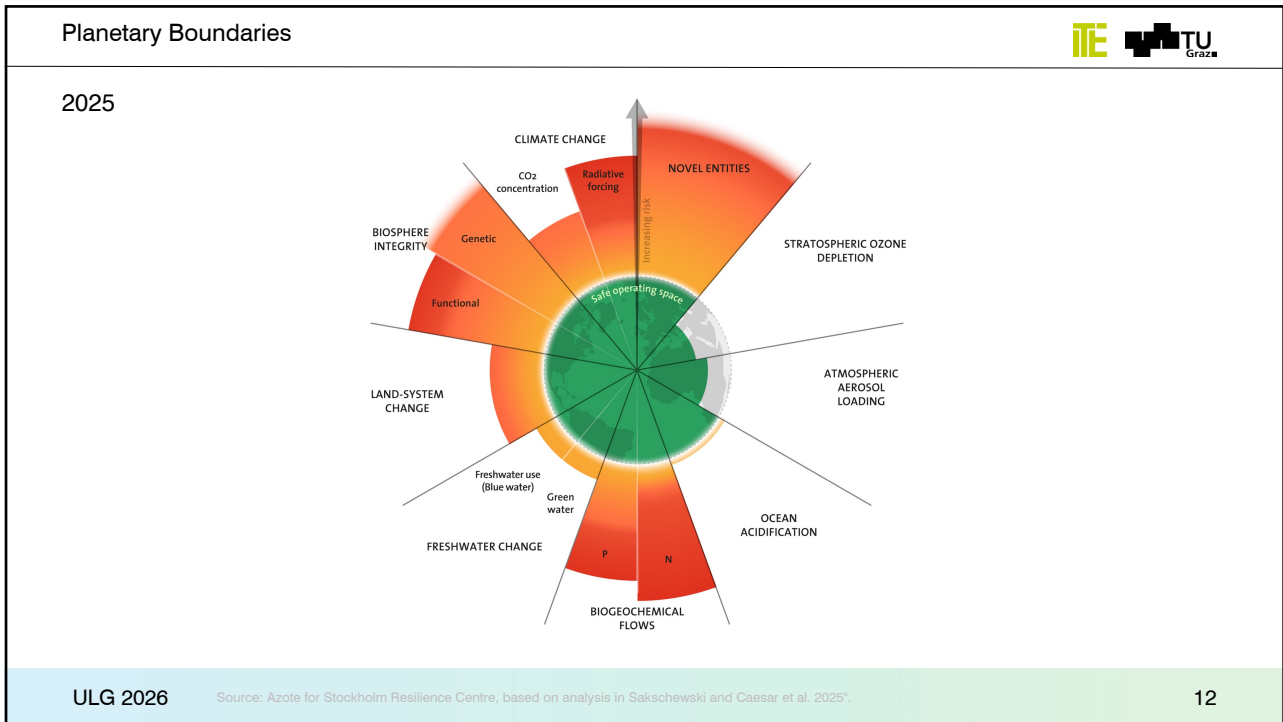
NETFLIX | 4 JUNE



**N** THE WHITE HOUSE EFFECT

ULG 202611

11



12

### Climate Change

The illustration shows a stack of IPCC report covers for 'CLIMATE CHANGE 2021 The Physical Science Basis'. To the right, a text box contains three key findings in German:

- ▶ ES GIBT KEINEN ZWEIFEL DARAN, DASS DER MENSCHLICHE EINFLUSS DAS KLIMASYSTEM ERWÄRMT HAT.
- ▶ KLIMAVERÄNDERUNGEN SIND BEREITS ÜBERALL AUF DER WELT EINGETRETEN - IN EINEM AUSMAß UND TEMPO WIE SEIT VIELEN JAHRHUNDERTEN BIS JAHRTAUSENDEN NICHT.
- ▶ UM DEN KLIMAWANDEL ZU BEGRENZEN, MÜSSEN DIE NETTO-CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN MINDESTENS AUF NULL SINKEN.

ULG 2026

19

**SECHSTER SACHSTANDSBERICHT**  
Arbeitsgruppe I – Naturwissenschaftliche Grundlagen

ipcc  
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

WHO UNEP

## Der Einfluss des Menschen hat das Klima in einer Geschwindigkeit erwärmt, die für die letzten 2000 Jahre beispiellos ist

b) Änderung der globalen Oberflächentemperatur (jährliche Mittel) aus Beobachtungsdaten und simuliert unter Berücksichtigung von **menschlichen & natürlichen** sowie **nur natürlichen** Faktoren (jeweils 1850-2020)

Abbildung SPM.1

ULG 2026 23

23

**SECHSTER SACHSTANDSBERICHT**  
Arbeitsgruppe I – Naturwissenschaftliche Grundlagen

ipcc  
INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change

WHO UNEP

ar6

## Jede Tonne CO<sub>2</sub>-Emissionen trägt zur Erwärmung bei

Global surface temperature increase since 1850-1900 (°C) as a function of cumulative CO<sub>2</sub> emissions (GtCO<sub>2</sub>)

- Pro 1000 GtCO<sub>2</sub> erwärmt sich die Erde um **0.45°C** (0.27°C - 0.63°C)
- Für jedes **Temperaturlimit** kann das zugehörige **CO<sub>2</sub>-Budget** bestimmt werden
- **Netto-null CO<sub>2</sub> Emissionen** sind **Bedingung für die Stabilisierung** der globalen Klimaerwärmung

<b>Emissionen heute:</b> Kumuliert: 2390 GtCO <sub>2</sub> Aktuell: ~40 GtCO <sub>2</sub> /Jahr	<b>Verbleibendes Budget*:</b> 1.5°C: 300-500 GtCO <sub>2</sub> = 7-12 Jahre bei jetzigem Emissionsniveau *50-83% Chance
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

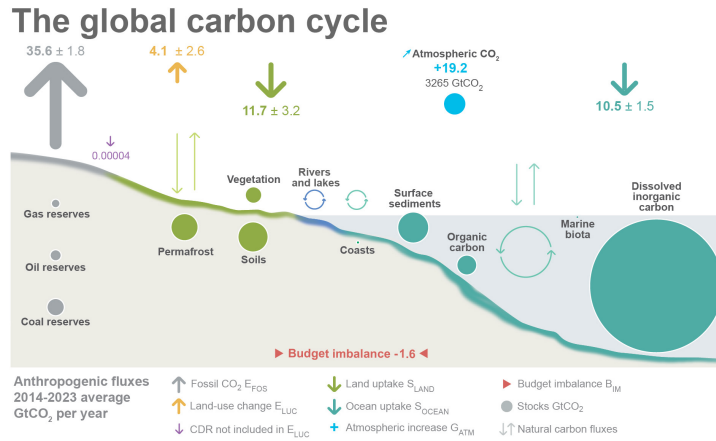
(Figure SPM.10; IPCC, 2021)

ULG 2026

30

## Anthropogenic perturbation of the global carbon cycle

Perturbation of the global carbon cycle caused by anthropogenic activities, global annual average for the decade 2014–2023 (GtCO<sub>2</sub>/yr)



CDR here refers to Carbon Dioxide Removal besides those associated with land-use that are accounted for in the Land-use change estimate.

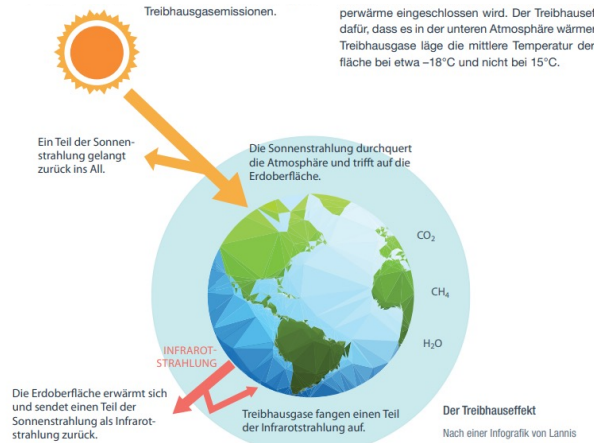
The budget imbalance is the difference between the estimated emissions and sinks.

ULG 2026 ce: [NOAA-GML](#); [Friedlingstein et al 2024](#); [Canadell et al 2021 \(IPCC AR6 WG1 Chapter 5\)](#); [Global Carbon Project 2024](#)

35




### Der menschengemachte TGH-Effekt erwärmt unsere Erde in gefährlichem Ausmaß



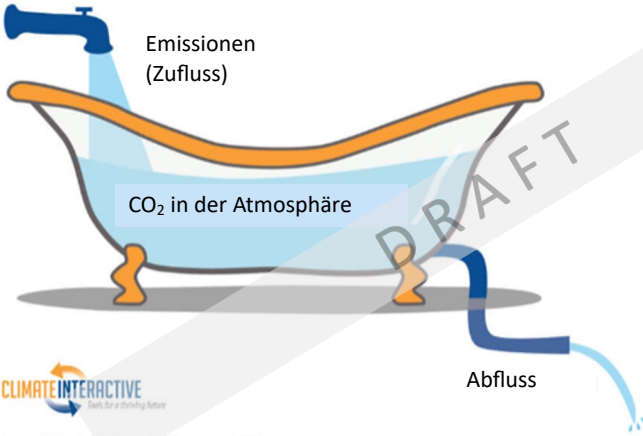
ULG 2026

38

38



## Wieso nimmt die Menge an CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre zu?



**CLIMATEINTERACTIVE**  
Tools for a thriving future

Overall framing by Dr. John Sterman, MIT Sloan


Die Atmosphäre als Badewanne:

- natürliche und menschliche CO<sub>2</sub>-Emissionen gelangen in die Atmosphäre (Zufluss)
- Wälder und Ozeane nehmen CO<sub>2</sub> auf (Abfluss)
- Fließt mehr zu als ab, steigt der Wasserspiegel (CO<sub>2</sub>-Konzentration)
- Derzeit beträgt der Zufluss etwa das Doppelte des Abflusses

➤ Ziel: Zufluss bremsen und Abfluss aufmachen

ULG 2026
39

39



## Treibhausgaspotenzial

Treibhausgase wirken unterschiedlich stark auf den Treibhauseffekt

Angabe des Treibhauspotenzials im Vergleich zu 1 kg CO<sub>2</sub>  
→ CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>-eq)

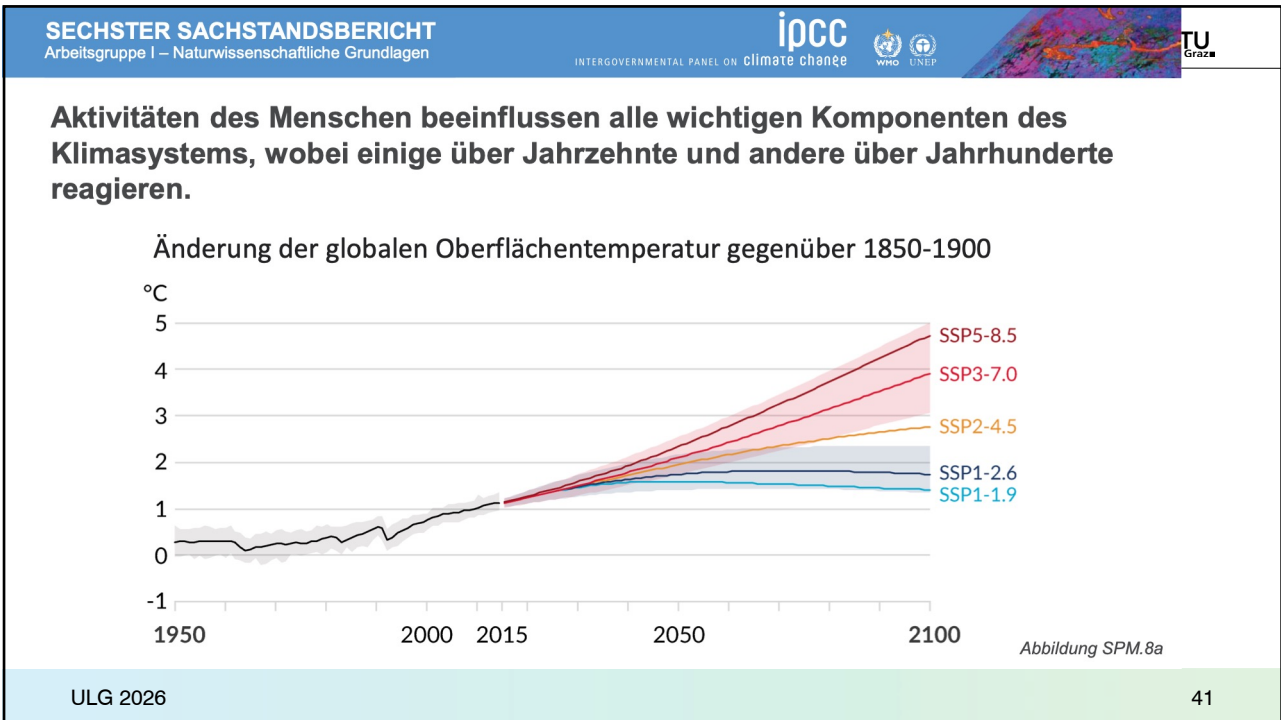
### Global Warming Potential Values

Global warming potential (GWP) values relative to CO<sub>2</sub>

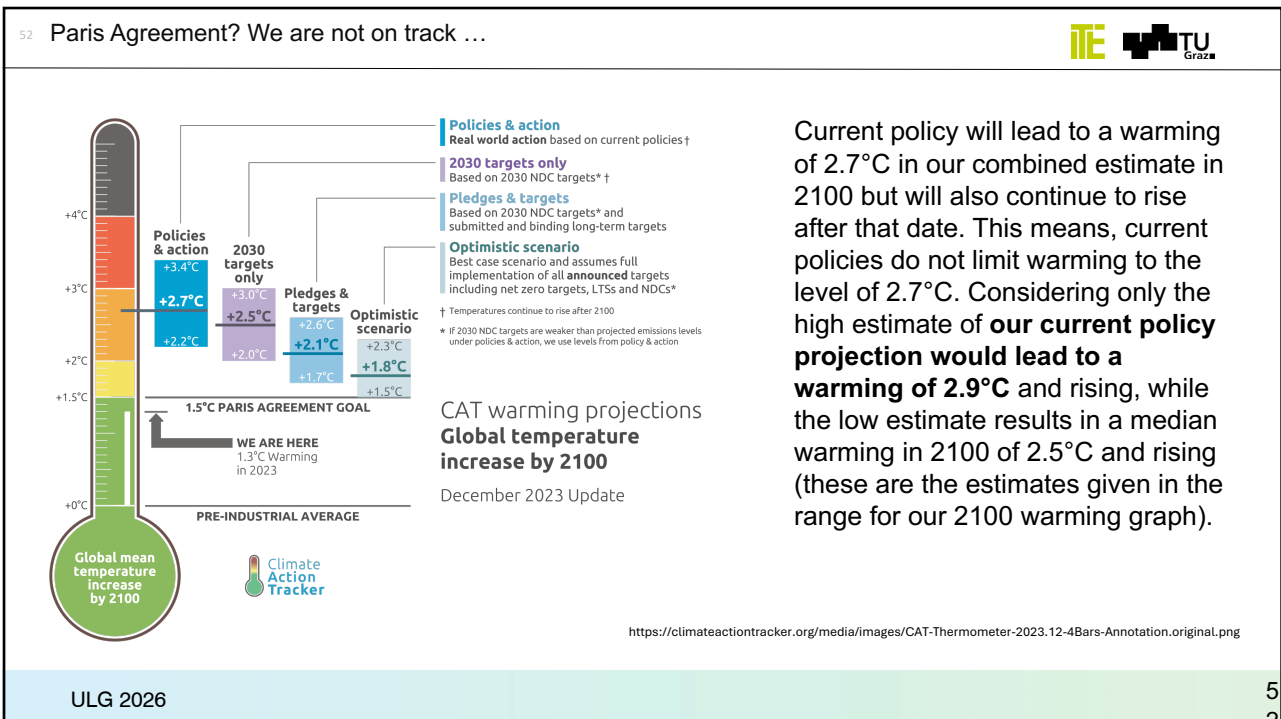
Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second Assessment Report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	1	1	1
Methane	CH <sub>4</sub>	21	25	28
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	310	298	265

ULG 2026
40

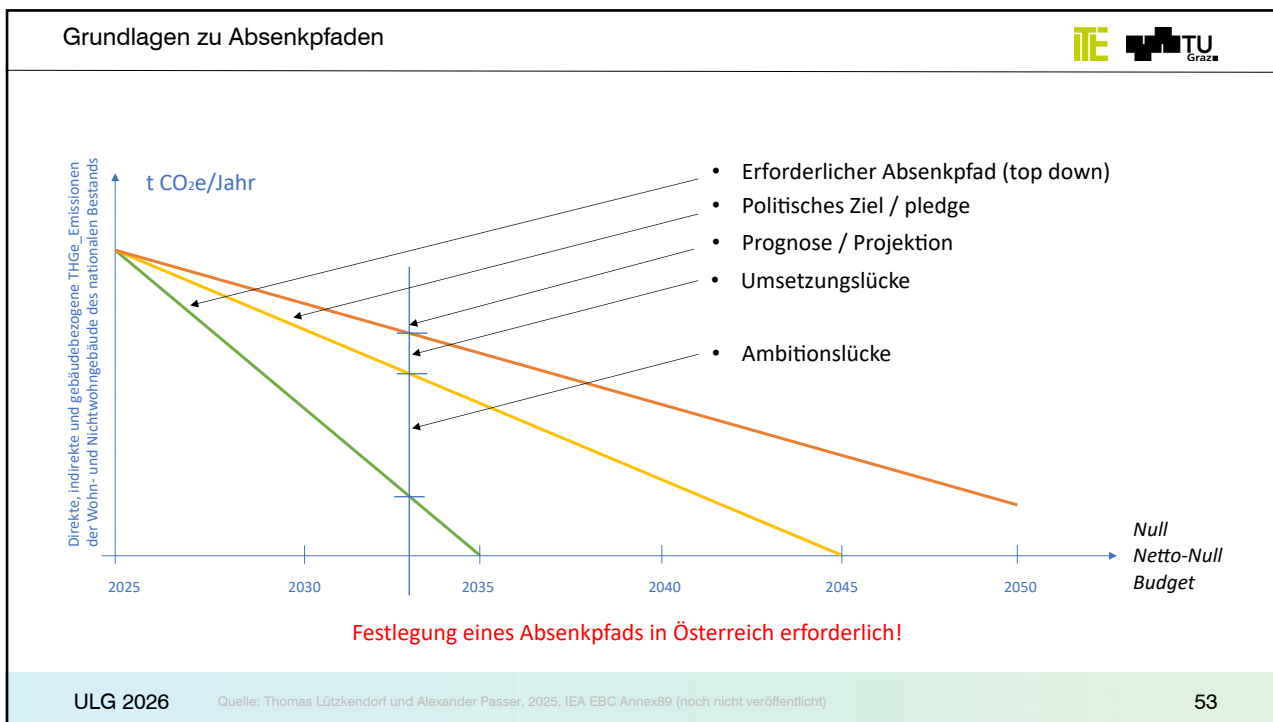
40



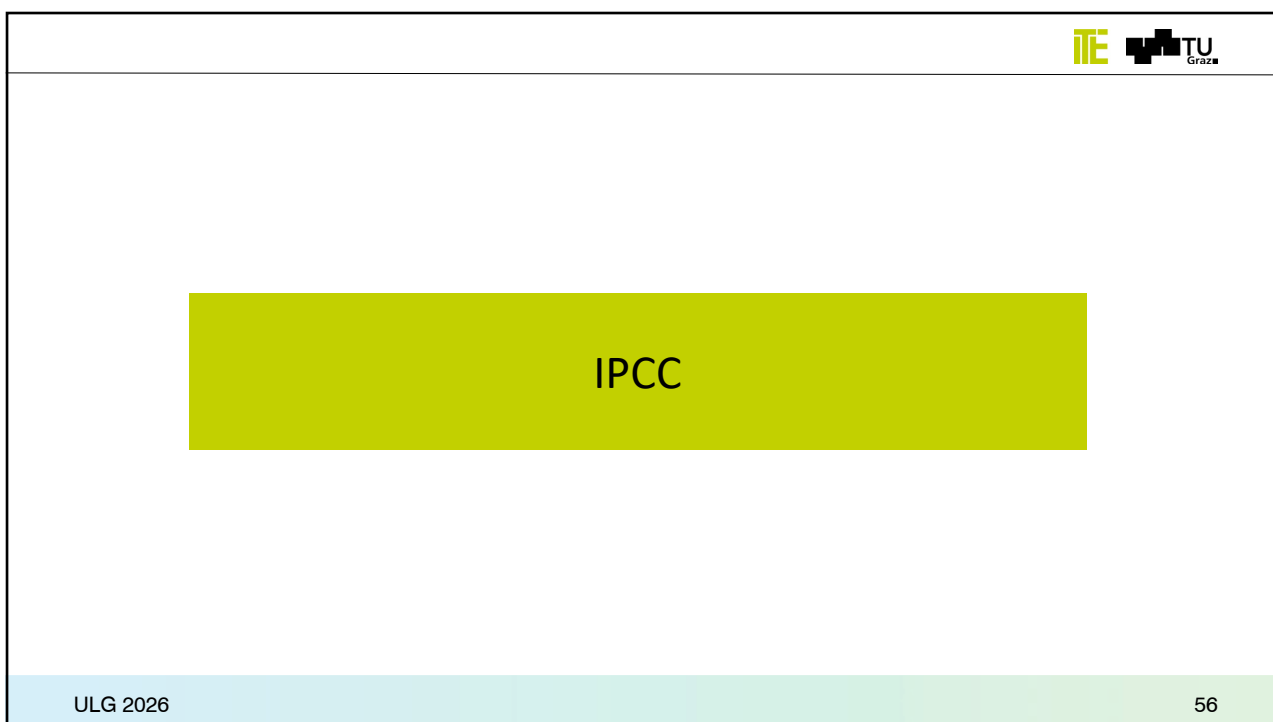
41



52



53



56

# AAR2 | Zweiter Österreichischer Sachstandsbericht zum Klimawandel

## Überblick im Bezug auf nachhaltiges Bauen



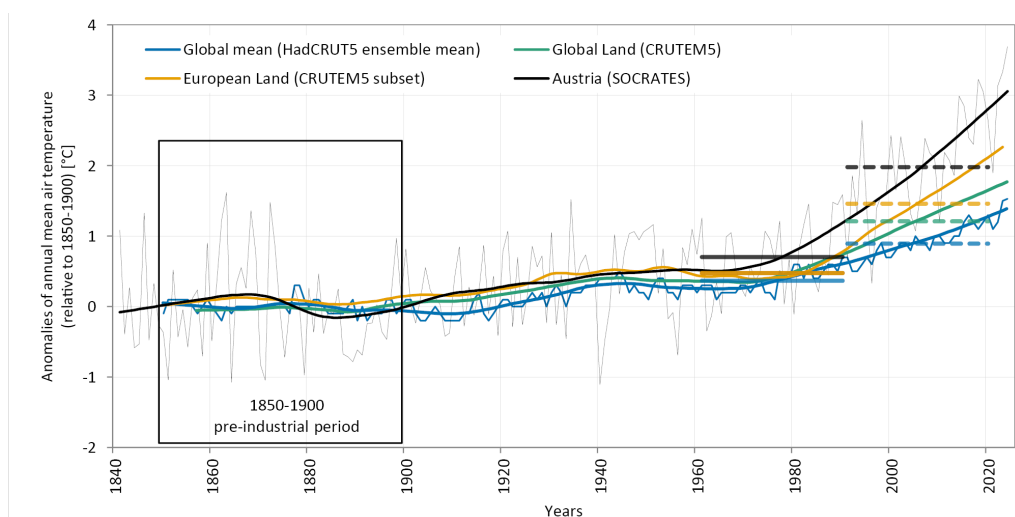
ULG 2026

57

57

### 61 1. Physikalische und ökologische Ausbreitung des Klimawandels in Österreich


#### Die Temperatur in Österreich steigt deutlich schneller als im globalen Durchschnitt



ULG 2026

Source: aar2.ccca.ac.at

61



# EU- Klimaneutralität

---


*Artikel 2*

## Ziel der Klimaneutralität

- (1) Die unionsweiten Emissionen von durch Rechtsvorschriften der Union regulierten Treibhausgasen und deren Abbau müssen bis spätestens 2050 ausgeglichen sein, sodass die Emissionen bis zu diesem Zeitpunkt auf netto null reduziert sind.
- (2) Die zuständigen Organe der Union und der Mitgliedstaaten treffen auf Unions- bzw. auf nationaler Ebene die notwendigen Maßnahmen, um die gemeinsame Verwirklichung des in Absatz 1 festgelegten Ziels der Klimaneutralität zu ermöglichen, und berücksichtigen dabei die Bedeutung der Förderung von Fairness und Solidarität zwischen den Mitgliedstaaten.


ULG 2026

88

91 1st assignment


### Assess your personal footprint!

[www.fussabdrucksrechner.at/en/calculation/personal](http://www.fussabdrucksrechner.at/en/calculation/personal)



The interface shows a 'Personal Ecological Footprint' calculator. It features a navigation menu on the left with options like 'Home', 'Ecological Evaluation', 'Footprint', 'Footprint Calculators', 'Personal Ecological Footprint', 'Energy Scouts', 'Ecological Footprint for Electricity and Heat', 'Ecological Footprint for Holidays and Journeys', 'Further Tools', 'Regi/Opf', 'SPionWeb', 'ELAS', 'Imprint', and 'Contact'. The main content area is titled 'Ecological Footprint' and 'Calculated with the Sustainable Process Index (SPI ©)'. It includes a comparison to the (statistically) available area and to the average Austrian. A large footprint graphic is shown, with a legend indicating 'Available Area' (green), 'Personal Footprint' (red), and 'Average footprint per person in Austria' (blue). The results state: 'You consume 11,2 times the area available for one person in your country.' and 'You consume 0,5 times the area of an average Austrian person.' Below the results, there is a note: 'Your biggest part in the footprint results from housing. If you go back to this section you can try how the footprint changes when you e.g. choose a heating system based on renewables, changed to a supplier of electric energy with a high share in renewable electricity or insulated (parts of) your house.' A button labeled '<< Housing' is visible at the bottom of the results section.

ULG 2026

91


92 1st assignment ITE TU Graz

**Assess your personal footprint!**

[www.fussabdrucksrechner.at/en/calculation/personal](http://www.fussabdrucksrechner.at/en/calculation/personal)

Try to describe in your own words (short report):

- Goal and Scope
- Inventory
- LCIA
- Interpretation of the personal footprint assessment.
- Then put your results in the provided spreadsheet till 25.01.2025.
- Upload to TeachCenter.



ULG 2026

92

93 1st assignment ▼ Online Phase

**Assess your personal footprint!**

[www.fussabdrucksrechner.at/en/calculation/personal](http://www.fussabdrucksrechner.at/en/calculation/personal)

Teachcenter upload:  
<https://lllhc.tugraz.at/moodle/course/view.php?id=326>

1.) Heute  
2.) Zukunft (optimiert)

➔

**Woche 1**

<https://ec.europa.eu/sustainable-finance-taxonomy/home>

Bitte melden Sie sich bei [https://moox.at/course/dekarb-an-und-absolvieren-Sie-die-Lektion 10:](https://moox.at/course/dekarb-an-und-absolvieren-Sie-die-Lektion-10)  
<https://moox.at/mooc/course/view.php?id=745&section=10>

Dokumente:

- [https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/13759/mod\\_label/intro/ITE-NHB-EU%20Rechtslage2025\\_final.pdf?time=1736527870785](https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/13759/mod_label/intro/ITE-NHB-EU%20Rechtslage2025_final.pdf?time=1736527870785)
- EPBD: [https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/13759/mod\\_label/intro/QJ%253AL\\_20240127%253ADE%253ATXT.pdf](https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/13759/mod_label/intro/QJ%253AL_20240127%253ADE%253ATXT.pdf)
- Bauprodukteverordnung: [https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/13759/mod\\_label/intro/QJ%253AL\\_20240311%253ADE%253ATXT.pdf](https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/13759/mod_label/intro/QJ%253AL_20240311%253ADE%253ATXT.pdf)

**Quiz Woche 1**

**Upload Personal Footprint (1. Upload)**

**Geöffnet:** Freitag, 10. Januar 2025, 00:00  
**Fällig:** Sonntag, 26. Januar 2025, 00:00

- Goal and Scope
- Inventory
- LCIA
- Interpretation

[www.fussabdrucksrechner.at/en/calculation/personal](http://www.fussabdrucksrechner.at/en/calculation/personal)

Dokument: [https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/14662/mod\\_assign/intro/Personal%20footprint\\_Results\\_Template\\_2024.xlsx](https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/14662/mod_assign/intro/Personal%20footprint_Results_Template_2024.xlsx)

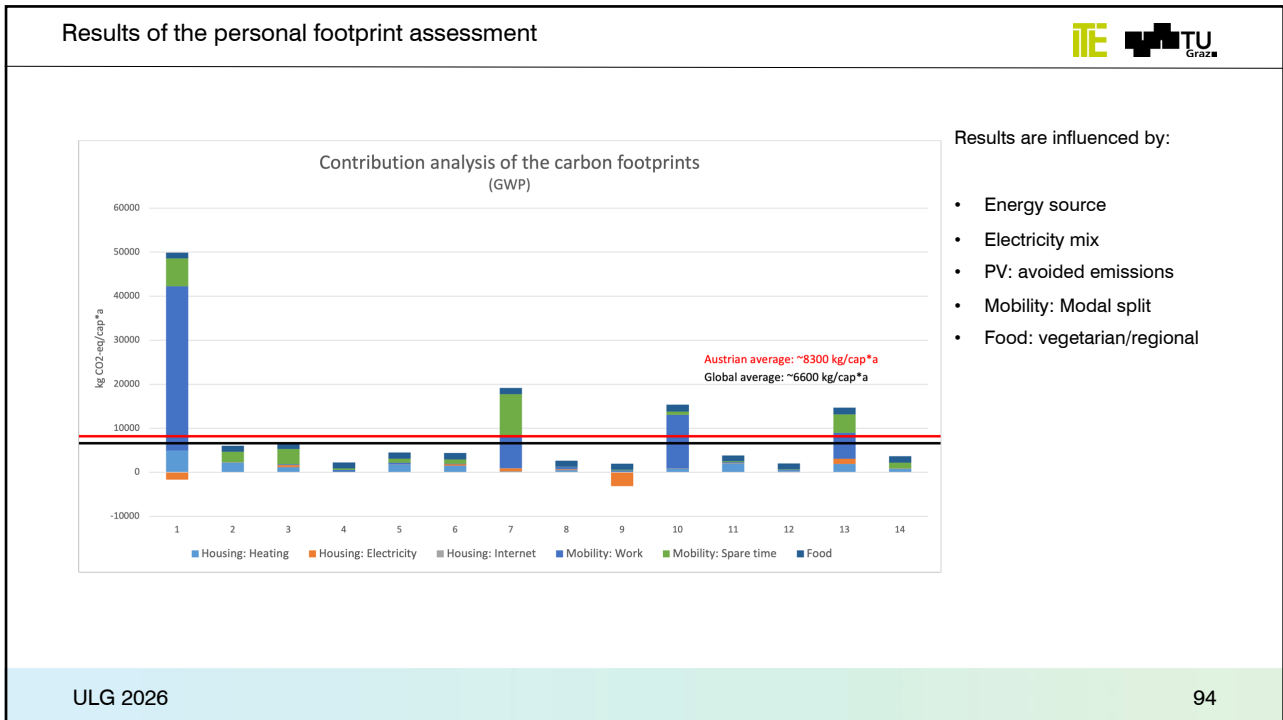
**Upload Personal Footprint (2. Dokument)**

**Geöffnet:** Freitag, 10. Januar 2025, 00:00  
**Fällig:** Sonntag, 26. Januar 2025, 00:00

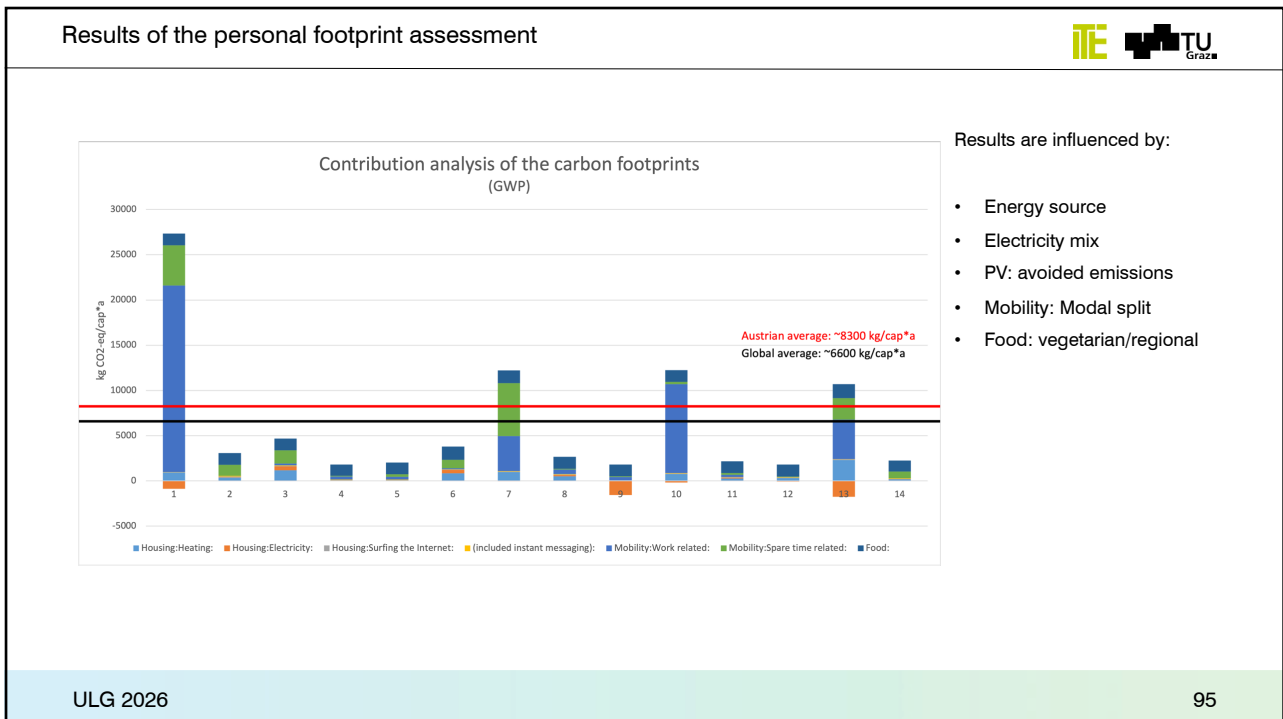
Dokument Zukunft: [https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/14663/mod\\_assign/intro/Personal%20footprint\\_Results\\_Template\\_Zukunft.xlsx](https://lllhc.tugraz.at/moodle/pluginfile.php/14663/mod_assign/intro/Personal%20footprint_Results_Template_Zukunft.xlsx)

ULG 2026


93



94




95



# Nachhaltigkeit


ULG 2026
106

106



## 50 years after „Limits to Growth“ a new report to the Club of Rome looks at 2 scenarios

- **Too little, too late**
  - present trajectory → >3°C by 2100, hot house earth not excluded
- **The great leap forward**
  - Sounds daunting, but carries the promise of a better, more equitable world, in line with planetary boundaries
  - Five extraordinary turn-arounds that upgrade our economic system:
    - Eliminate poverty
    - Reduce inequality
    - Empower women
    - Transform the food system
    - Transform the energy system



ULG 2026

107

Although it seems that climate was not among the primary objectives, the opposite is true:

*Only with these turnarounds can the climate crisis be resolved, because the necessary changes are so deep cutting!*

## Nachhaltigkeit Österreich

- **Bundesverfassungsgesetz**  
*„§1. Die Republik Österreich (Bund, Länder und Gemeinden) bekennt sich zum **Prinzip der Nachhaltigkeit** bei der Nutzung der natürlichen Ressourcen, um auch zukünftigen Generationen bestmögliche Lebensqualität zu gewährleisten.“*



## Nachhaltige Entwicklung

Colbert (1619-1683)




Code forestier  
(1669)

Von Carlowitz (1645-1717)



Sylvicultura oeconomica, oder  
haußwirthliche Nachricht und  
Naturmäßige Anweisung zur wilden  
Baum-Zucht (1713)


Brundtland (1939-)



Our Common Future (1987).  
Oxford: Oxford University Press.  
ISBN 0-19-282080-X

ULG 2026

110

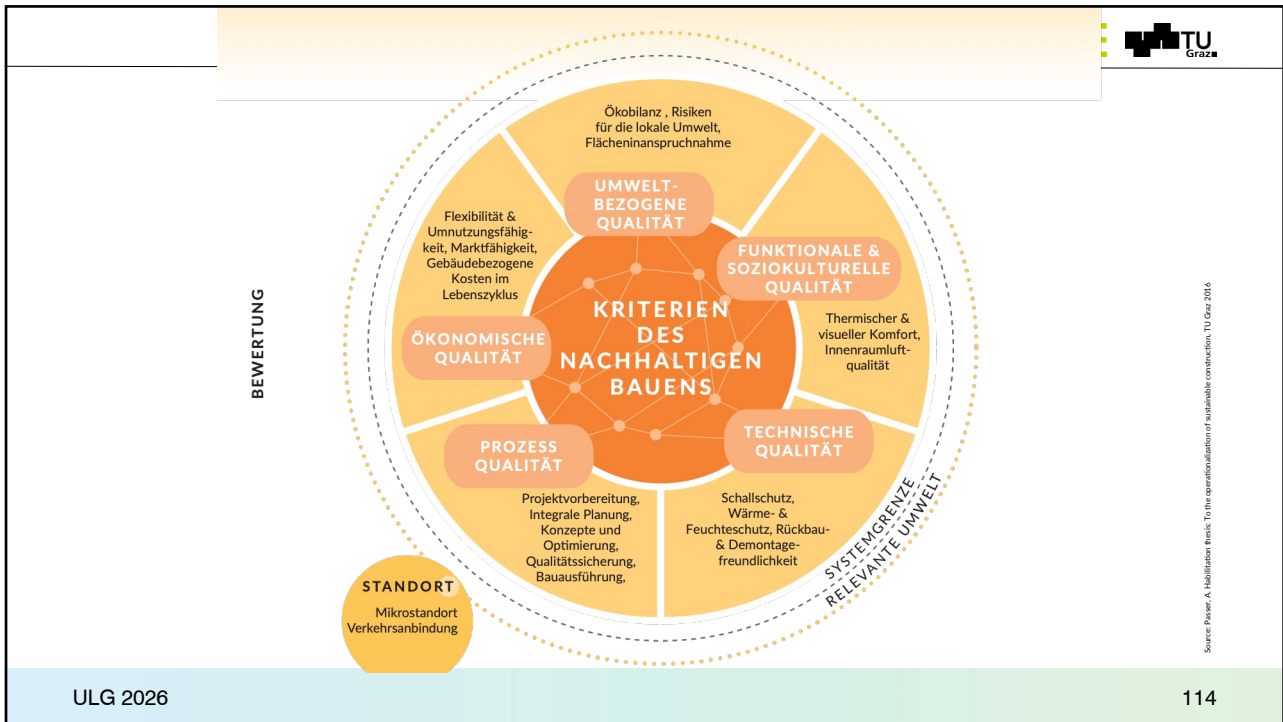


### Die Bedeutung des Begriffs Nachhaltigkeit

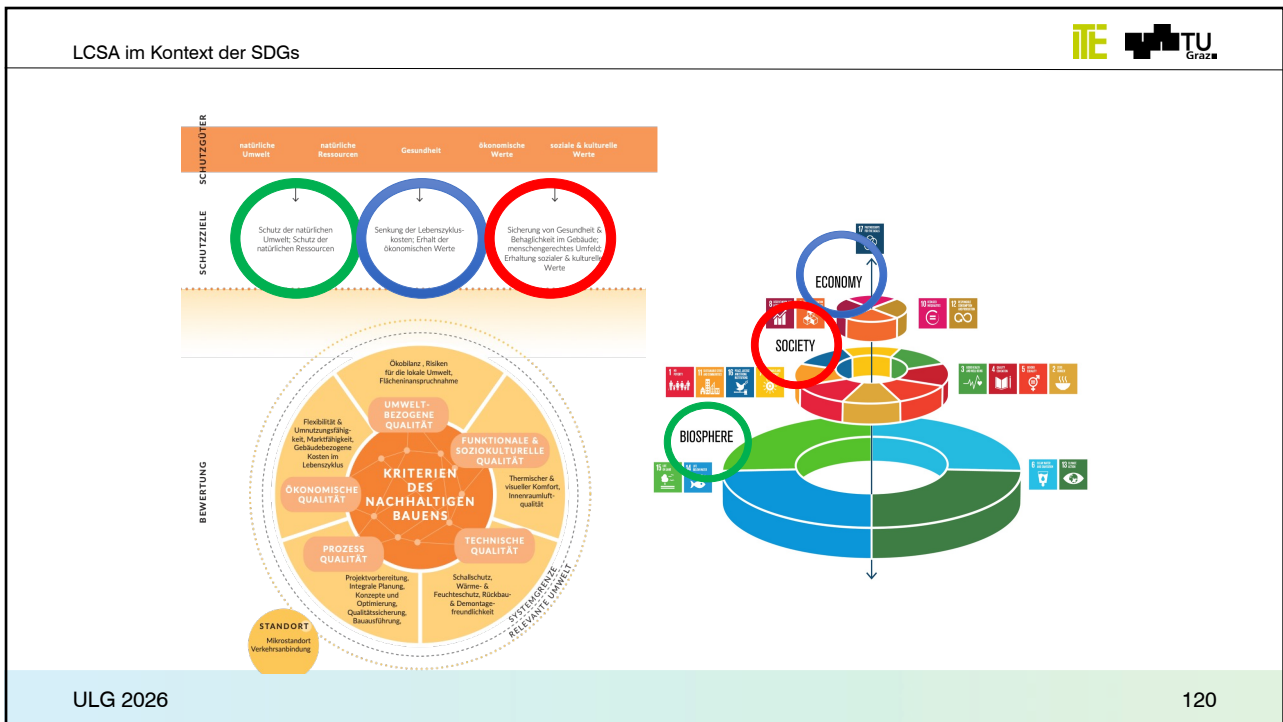
- Leitbild der nachhaltigen Entwicklung:
  - ... Dient den Bedürfnissen der jetzigen Generation, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen (*verkürzte Definition gemäß dem Brundtland-Bericht*).
  - Umwelt (ökologische Nachhaltigkeit), Wirtschaft (ökonomische Nachhaltigkeit) und Gesellschaft (soziokulturelle Nachhaltigkeit) als gleichberechtigte Dimensionen verstanden.
- Nachhaltig (engl. *sustainable*):
  - Altes deutsches Wort: **langfristig wirksam**
  - Übersetzung aus dem Englischen/Lateinischen (*sustainable/sustinere*) **langfristig verträglich**

ULG 2026

111



114



120

# Planetary Boundaries and SDG Clustering

The diagram illustrates the clustering of 17 Sustainable Development Goals (SDGs) into three layers: **ECONOMY** (top), **SOCIETY** (middle), and **BIOSPHERE** (bottom). Each layer is represented by a ring of colored segments, with specific SDG icons placed around them. A vertical double-headed arrow passes through the center of the rings.

ULG 2026

Picture credits: Azote Images for Stockholm Resilience Centre

121

Green buildings can improve people's health & wellbeing

Green buildings can use renewable energy, becoming cheaper to run

Building green infrastructure creates jobs & boosts the economy

Green building design can spur innovation & contribute to climate resilient infrastructure

Green buildings are the fabric of sustainable communities & cities

Green buildings use 'circular' principles, where resources aren't wasted

Green buildings produce fewer emissions, helping to combat climate change

Green buildings can improve biodiversity, save water resources & help to protect forests

Through building green we create strong, global partnerships

**3** GOOD HEALTH AND WELL-BEING

**7** AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY

**8** DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH

**9** INDUSTRY INNOVATION AND INFRASTRUCTURE

**11** SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES

**12** RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION

**13** CLIMATE ACTION

**15** LIFE ON LAND

**17** PARTNERSHIPS FOR THE GOALS

ULG 2026 122

122

TE TU  
Graz


Gebäude

ULG 2026 123

123




124



# Gebäudesektor

ULG 2026
138

138



## Understanding building emissions

**Scope 1**

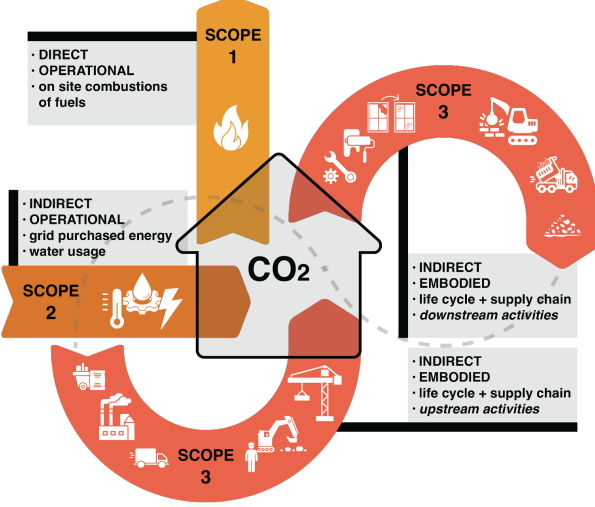
- Direkte Emissionen
- Betriebsbedingte Emissionen
  - Operational emissions

**Scope 2**

- Indirekte Emissionen
- Betriebsbedingte Emissionen
  - Operational emissions

**Scope 3**

- Indirekte Emissionen
- Konstruktionsbezogene Emissionen
- "graue-emissionen"
  - Embodied emissions



The diagram illustrates a house with a central 'CO2' label. Three arrows point to different emission scopes:

- SCOPE 1** (top): DIRECT, OPERATIONAL, on site combustions of fuels. Icon: flame.
- SCOPE 2** (left): INDIRECT, OPERATIONAL, grid purchased energy, water usage. Icon: lightning bolt and water drop.
- SCOPE 3** (right and bottom): INDIRECT, EMBODIED, life cycle + supply chain, downstream/upstream activities. Icons: factory, truck, excavator, and building.

ULG 2026
Image: Cassavia, Giovanna (2025) "From concept to reality: assessing the environmental impacts of earthship construction in Austria" DOI: 10.3217/bf3sv-sf914
148

148

Global Context – The Projects' Concepts Build Upon

IE TU  
Graz

ANNEX 72

**iea**

# Technology and innovation pathways for zero-carbon-ready buildings by 2030

A strategic vision from the IEA Technology Collaboration Programmes  
Austrian IEA TCP Day, "Mission Net Zero"- Vienna, 27<sup>th</sup> September 2022

Ezilda Costanzo, IEA EUWP Building vice-chair (ENEA, IT)  
Chiara Delmastro, International Energy Agency (IEA)

ULG 2026 150

150

Global Context – Operational Energy Related CO<sub>2</sub> Emissions of Buildings

IE TU  
Graz

ANNEX 72

## Short terms actions are urgently needed to achieve 2050 goals

**iea**

Global buildings sector CO<sub>2</sub> emissions and floor area in the NZE by 2050 Scenario

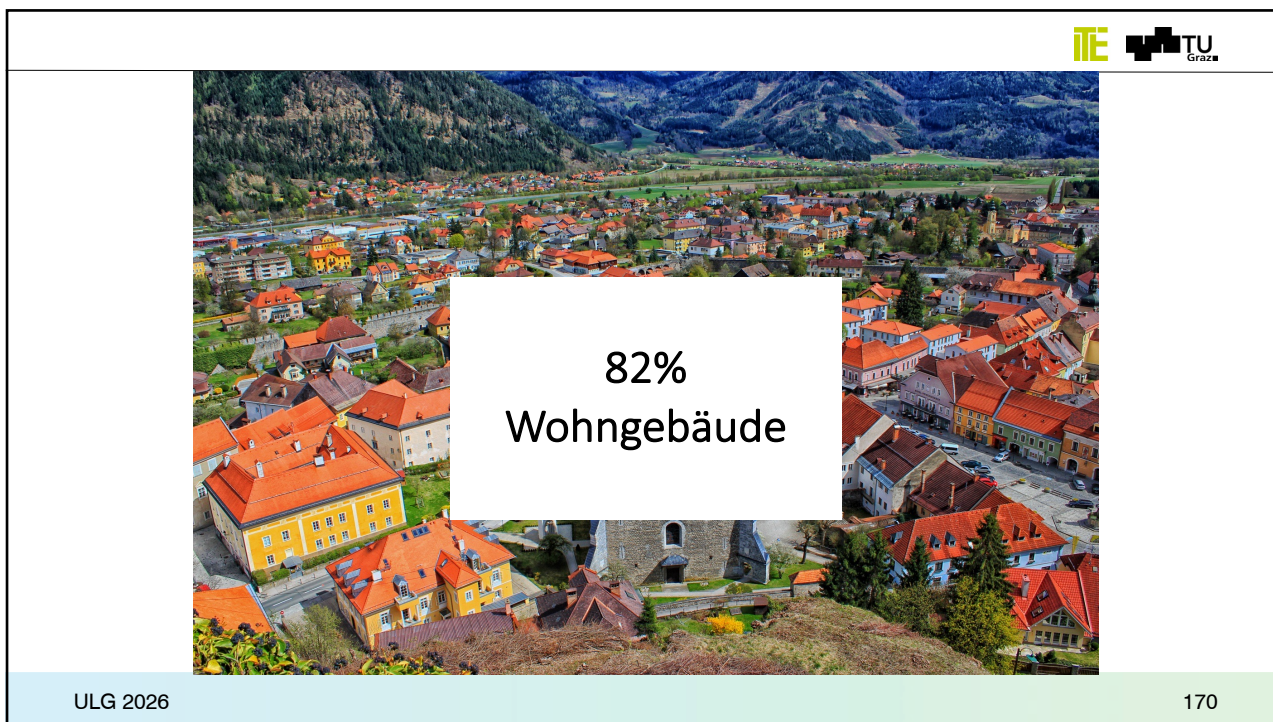
Year	Residential (direct) [Gt CO <sub>2</sub> ]	Residential (indirect) [Gt CO <sub>2</sub> ]	Non-residential (direct) [Gt CO <sub>2</sub> ]	Non-residential (indirect) [Gt CO <sub>2</sub> ]	Floor area [billion m <sup>2</sup> ]
2020	2.0	3.5	1.0	2.5	250
2025	1.8	2.8	0.8	1.8	300
2030	1.5	1.8	0.6	1.2	350
2035	1.2	1.2	0.4	0.8	400
2040	0.8	0.8	0.2	0.6	450
2045	0.5	0.5	0.1	0.4	500
2050	0.3	0.3	0.0	0.2	500

Decarbonising buildings requires drastic and immediate policy action to stimulate behaviour and technology shifts

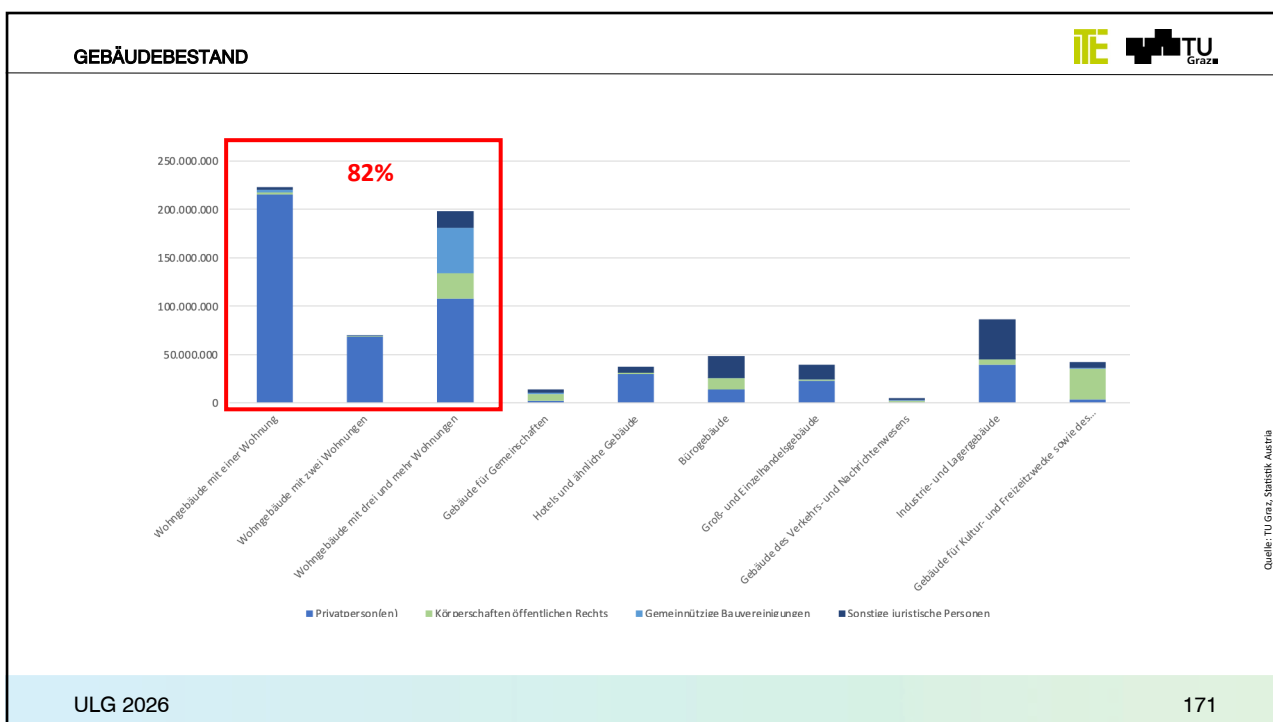
IEA 2022. All rights reserved. Page 3

ULG 2026 151

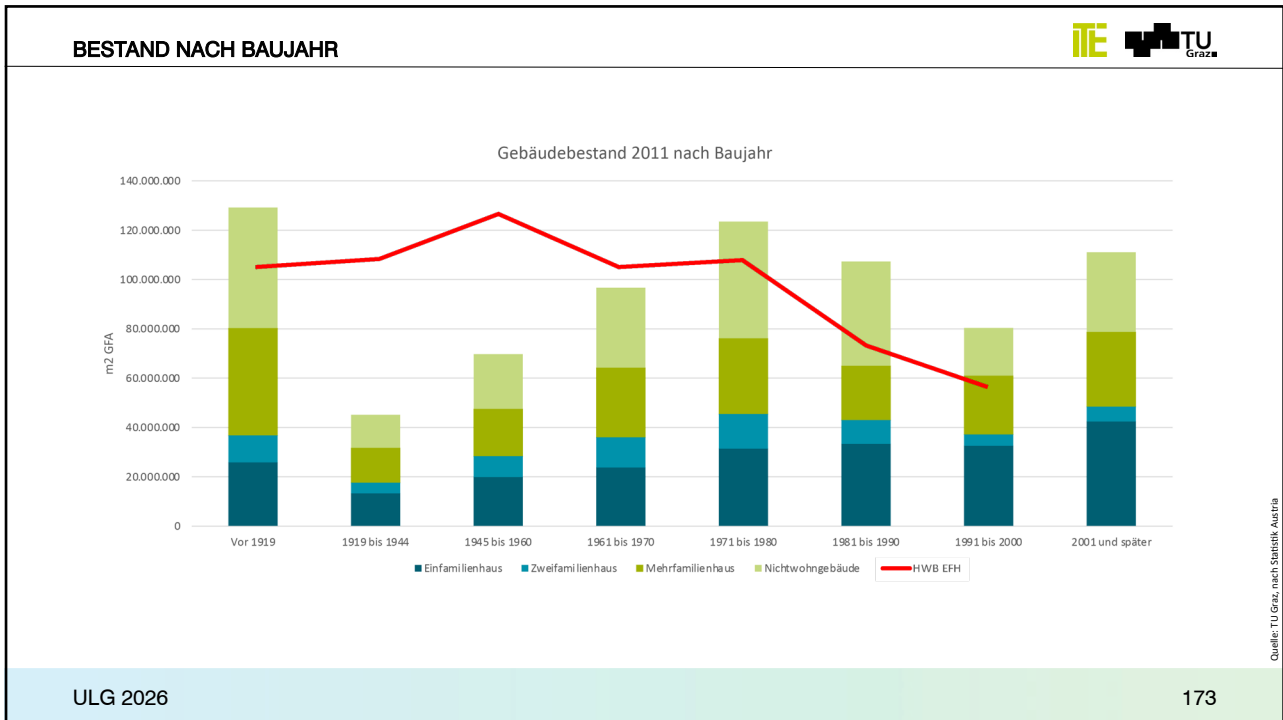
151



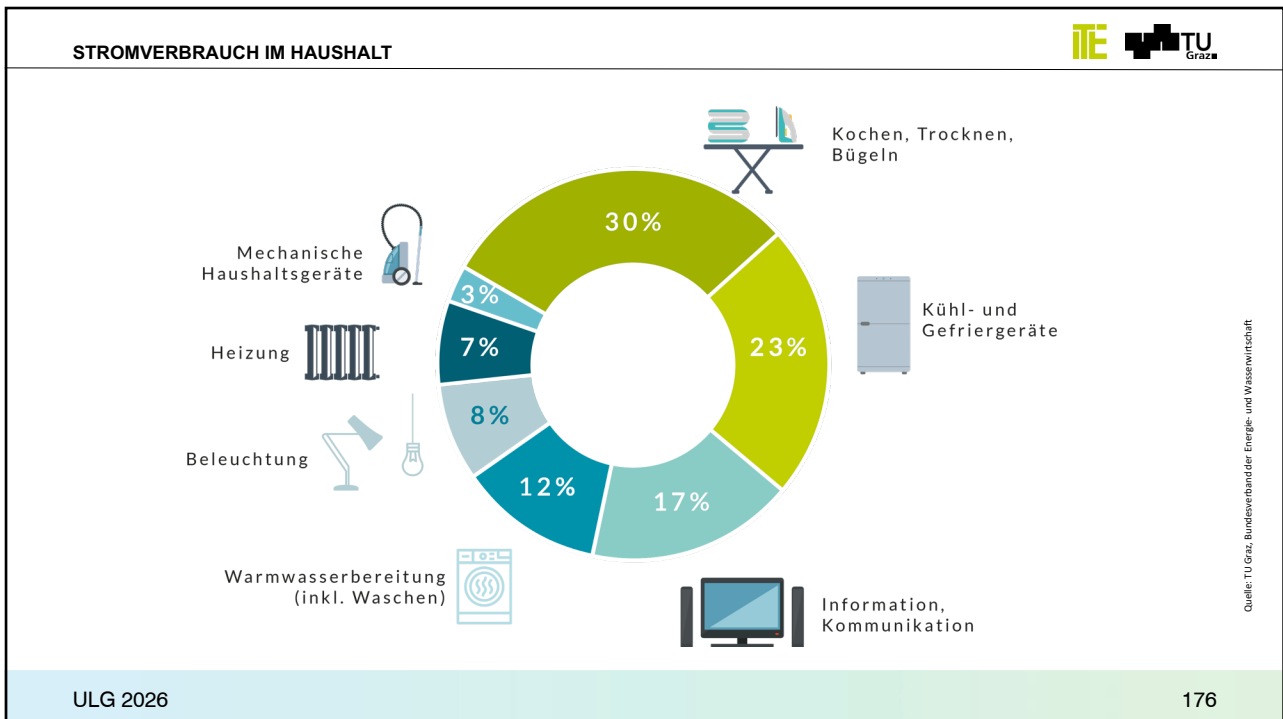
170



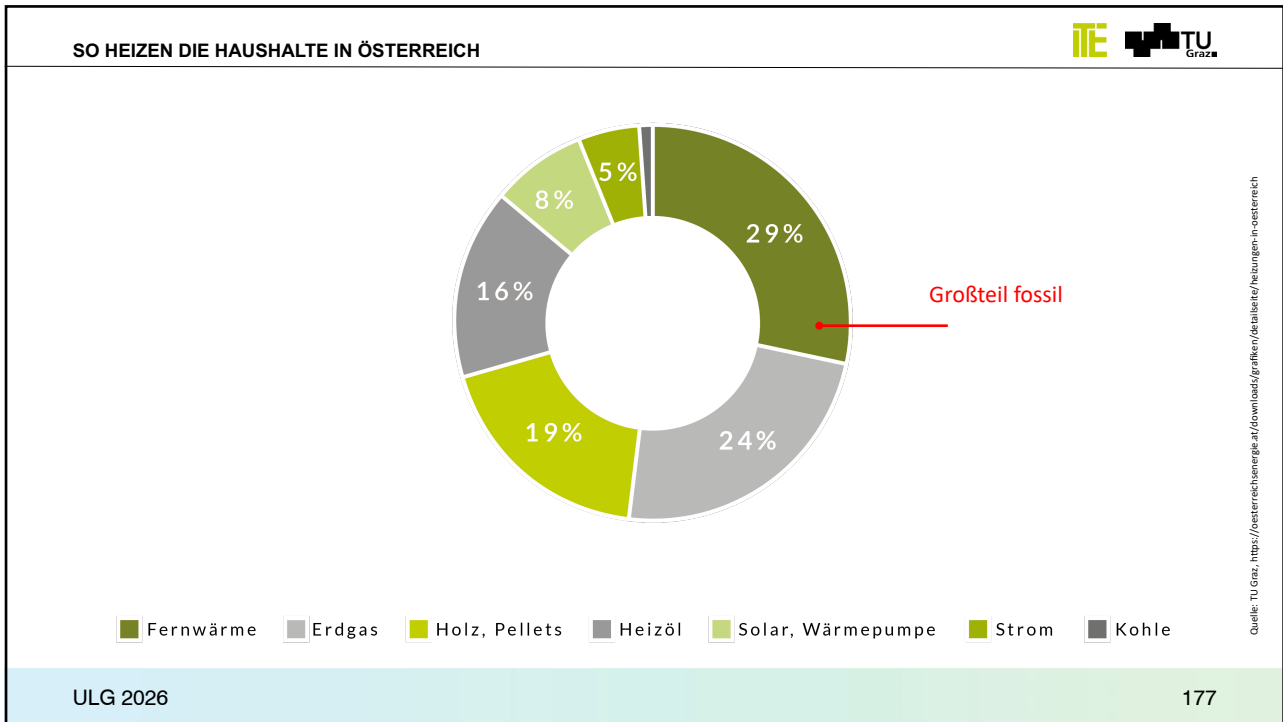
171



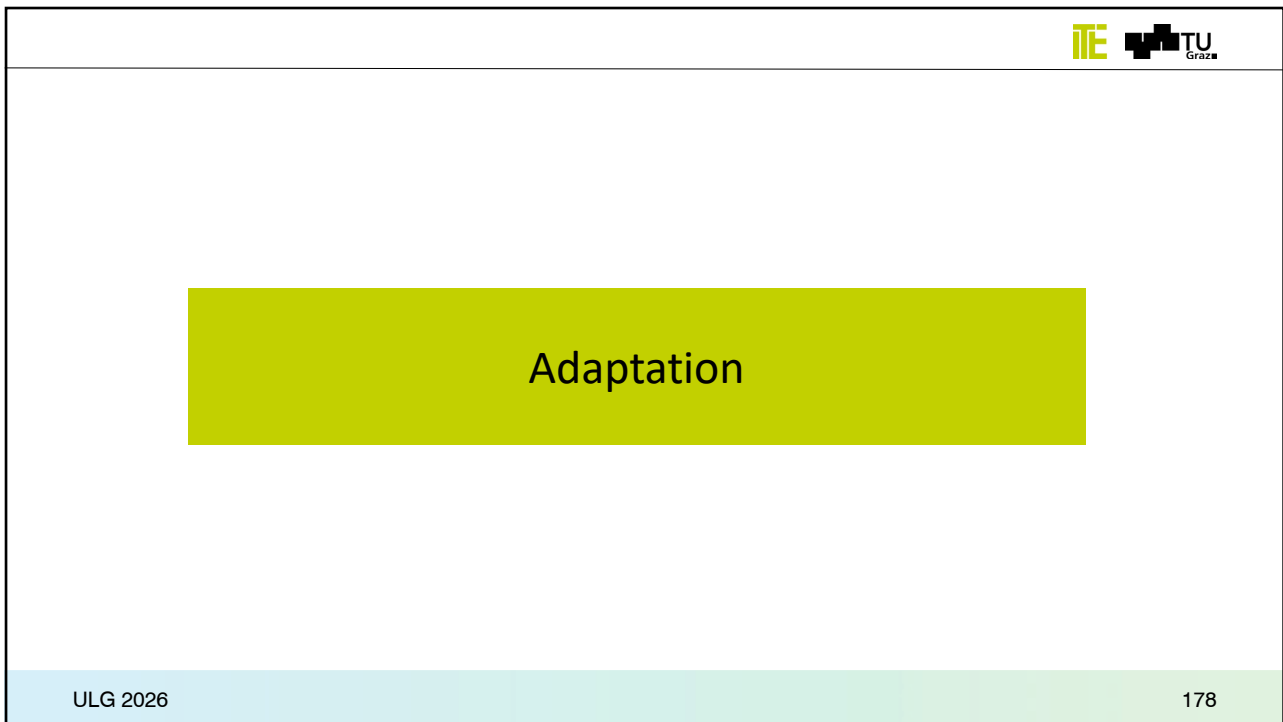
173




176



177



178



# Strategien


Mitigation  
(Abschwächung)

&

Adaptation  
(Anpassung)

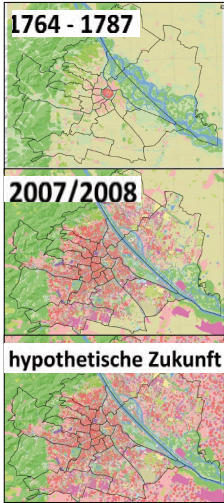
ULG 2026

179



## Stadt: Wien

Klimawandel wirkt mit anderen Änderungen zusammen

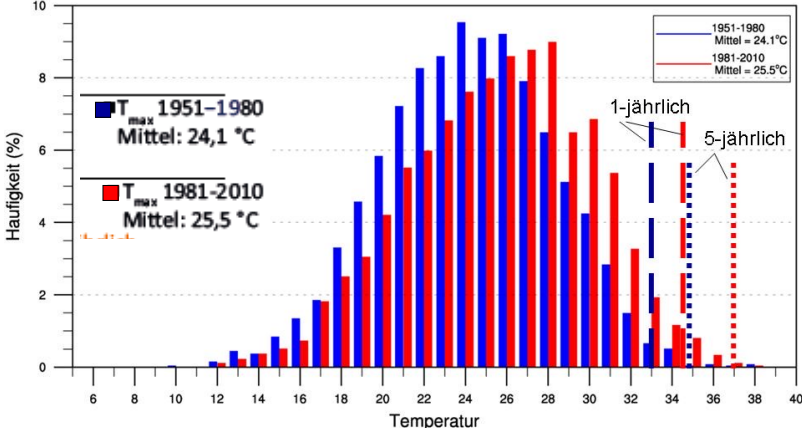


1764 - 1787

2007/2008

hypothetische Zukunft

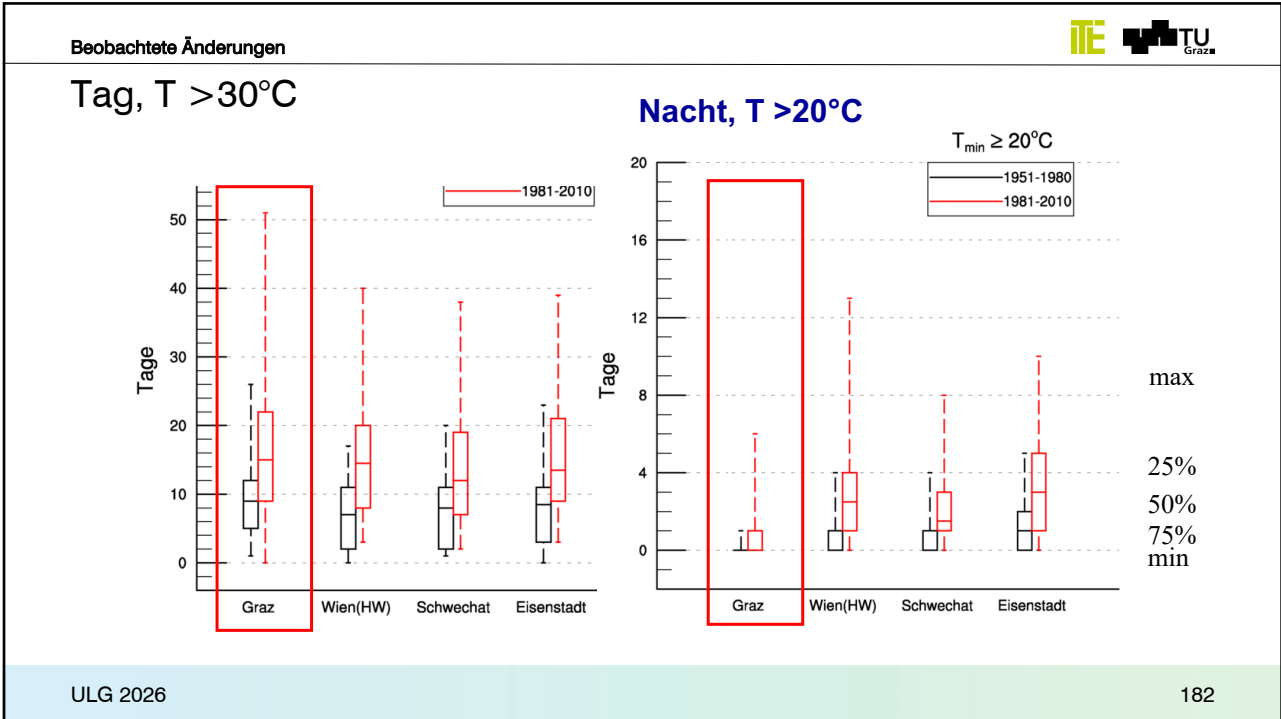
Wien (HW) - Sommer (JJA) Maximumtemperatur



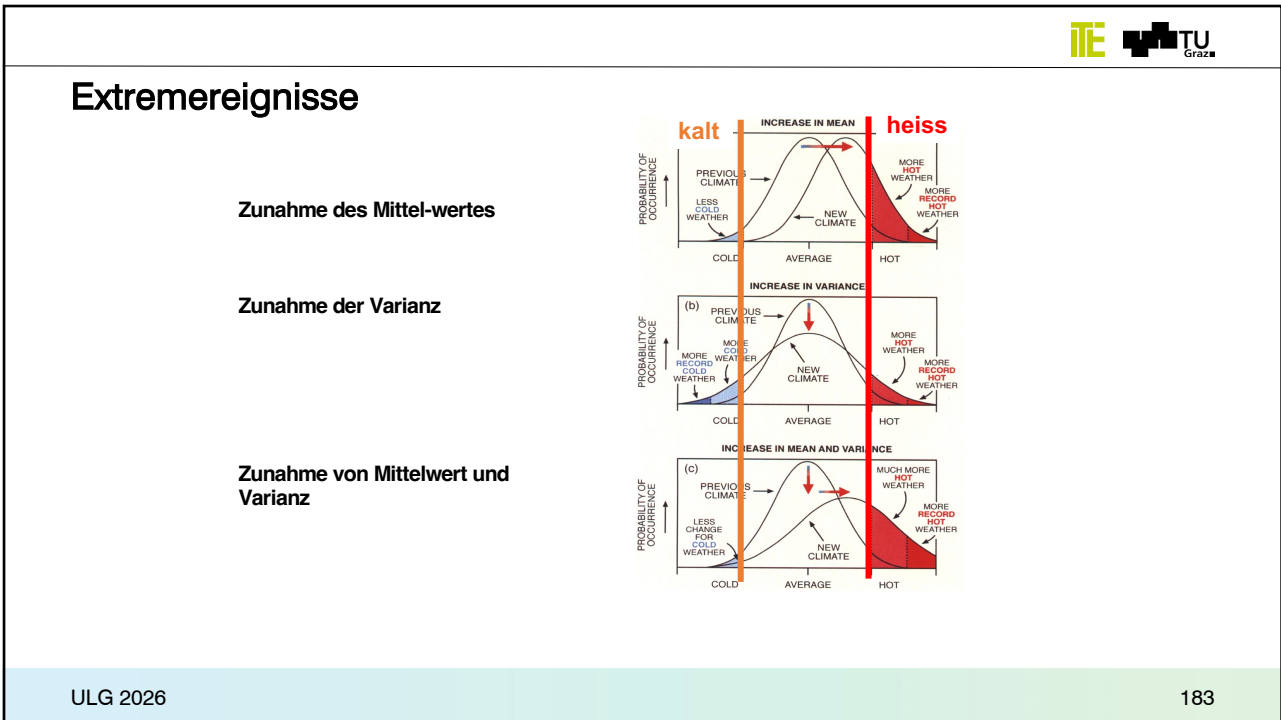
Datenquelle: ZAMG Formayer et al. 2012

ULG 2026

181



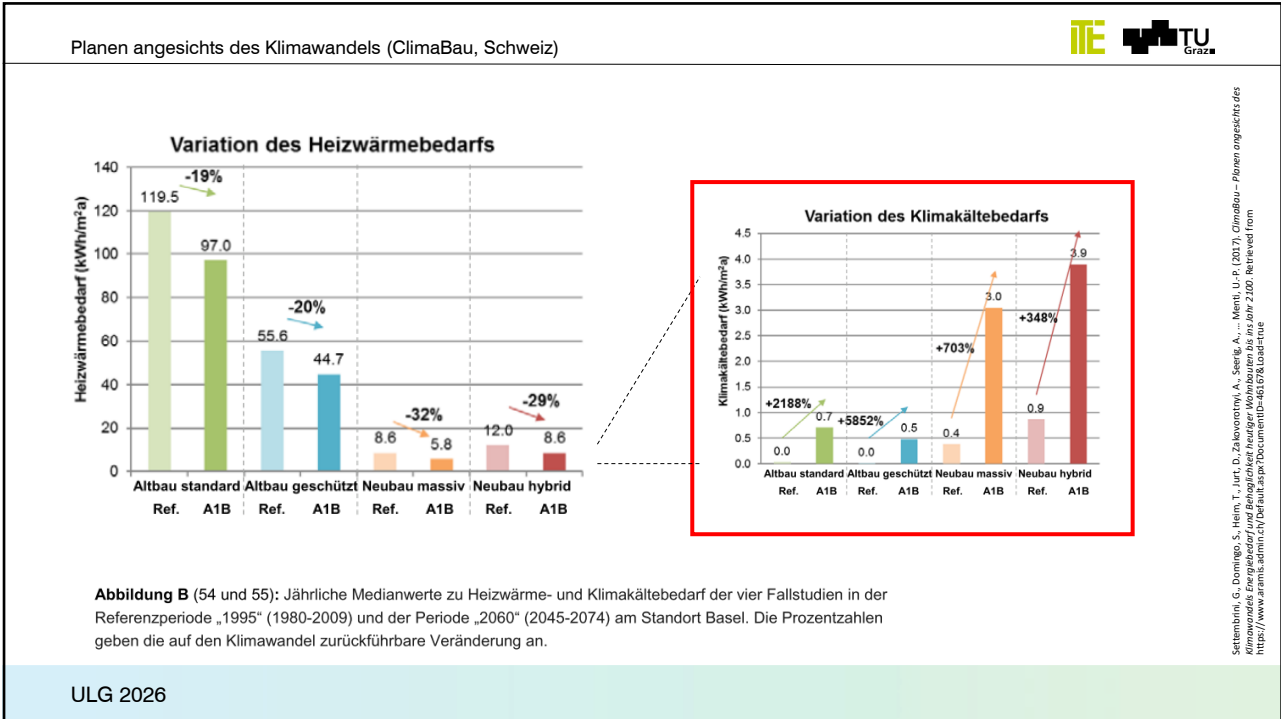
182




183







189



### Planen angesichts des Klimawandels (ClimaBau, Schweiz)

#### Relevante Parameter zur Sicherstellung von Behaglichkeit und optimiertem Energiebedarf

- ▶ Südorientierung von Wohnbauten empfehlenswert
- ▶ Heute geforderte Dämmwerte sinnvoll
- ▶ Reduktion des Fensteranteils (siehe Altbau)
- ▶ Transparente Bauteile orientierungsabhängig optimieren (U-/g-Wert)
- ▶ Verhalten der Bewohnerschaft (Komforttemp.)
- ▶ Sonnenschutz und Nachtkühlung (Automatisierung)
- ▶ Deckung des Kühlbedarfs durch PV-Anlagen

Entwurfsbezogen

Betriebsbezogen

Settembrini, G., Domingos, S., Heim, T., Juri, D., Zakharovskiy, A., Seelig, A., ... Menti, U.-P. (2017). ClimateBau – Planen angesichts des Klimawandels: Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnbauten bis ins Jahr 2100. Retrieved from <https://www.aramis.admin.ch/Detail.aspx?DocumentID=4630&LoadRate>

ULG 2026

190

190

## Fazit für Klimawandel - Wissen und Bewusstsein *entwicklungsbedürftig!*

- ▶ Hitze in der Stadt ist ein wichtiges Problem der Gegenwart, aber noch viel mehr in der Zukunft!
- ▶ Gebäudebestand ist nicht auf heutige oder gar künftige Klimaverhältnisse abgestimmt; auch im Neubau nur untergeordnetes Thema, zu wenig Problembewusstsein bei Auftraggebern und Planern
- ▶ Eindringen von Wärme in Gebäude minimieren; gute Wärmedämmung der Gebäude und ausreichend Verschattungsmöglichkeiten
- ▶ Begrünung von Dach-, Fassadenflächen und Straßenraum  
→ Minimierung der Oberflächentemperaturen
- ▶ Bei fehlendem Grün, helle Oberflächen zur Erhöhung der Albedo
- ▶ Kompakte, aber belüftungswirksame Bebauungsstrukturen
- ▶ Nächtliche Abkühlung im städtischen Freiraum maximieren
- ▶ Regulatorischer Rückstand (OIB RL, Baugesetze, ...)

## Nachhaltige Entwicklung in der EU im Kontext des Gebäudesektors

IE TU  
Graz



Europäische  
Kommission

Startseite > Strategie > Prioritäten > Ein europäischer Grüner Deal

# Ein europäischer Grüner Deal

Erster klimaneutraler Kontinent werden

ULG 2026
201

201

IE TU  
Graz

## Was ist Green Deal?

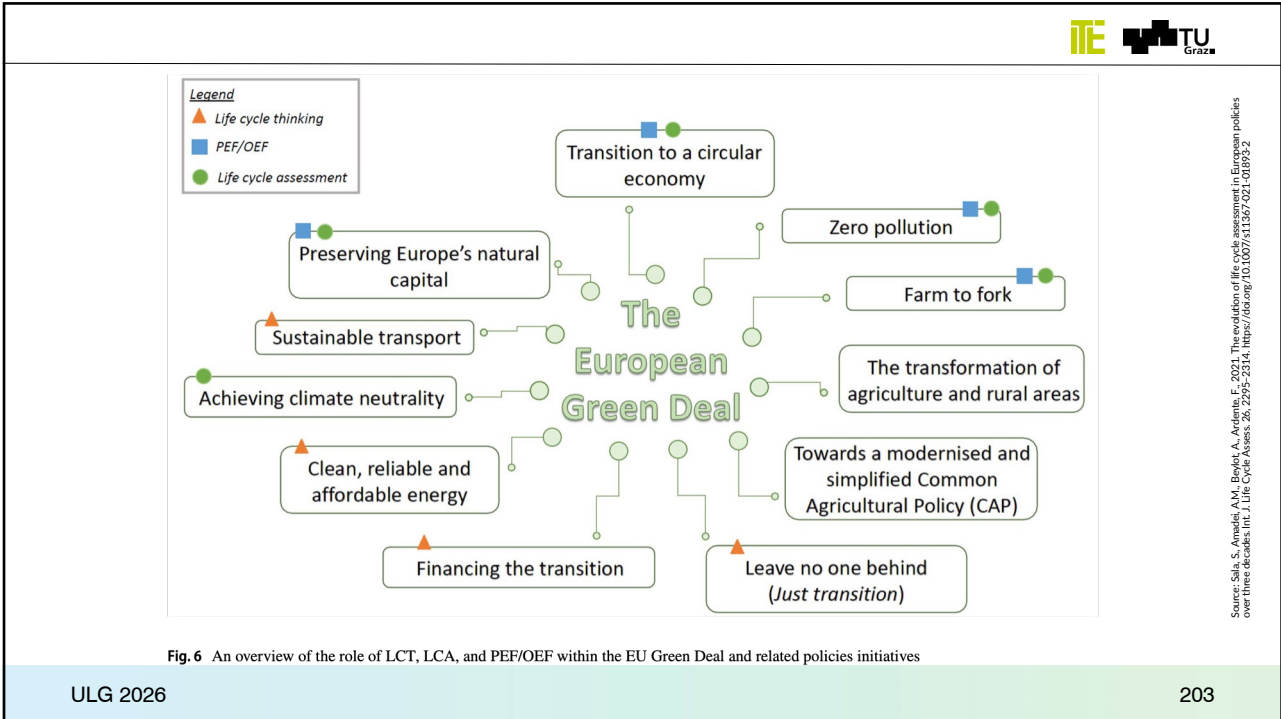


The infographic illustrates the components of the European Green Deal. At the center is a circle labeled 'Der europäische Grüne Deal'. Surrounding it are several key elements: 'Umgestaltung der EU-Wirtschaft für eine nachhaltige Zukunft' (top), 'Die EU als weltweiter Vorreiter' (bottom left), 'Ein europäischer Klimapakt' (bottom right), and 'Niemanden zurücklassen (gerechter Übergang)' (bottom center). The top section includes 'Ambitioniertere Klimaschutzziele der EU für 2030 und 2050', 'Versorgung mit sauberer, erschwinglicher und sicherer Energie', 'Mobilisierung der Industrie für eine saubere und kreislauforientierte Wirtschaft', 'Energie- und ressourcenschonendes Bauen und Renovieren', 'Finanzierung der Wende', 'Mobilisierung von Forschung und Förderung von Innovation', 'Null-Schadstoff-Ziel für eine schadstofffreie Umwelt', 'Ökosysteme und Biodiversität erhalten und wiederherstellen', '„Vom Hof auf den Tisch“ ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem', and 'Raschere Umstellung auf eine nachhaltige und intelligente Mobilität'.

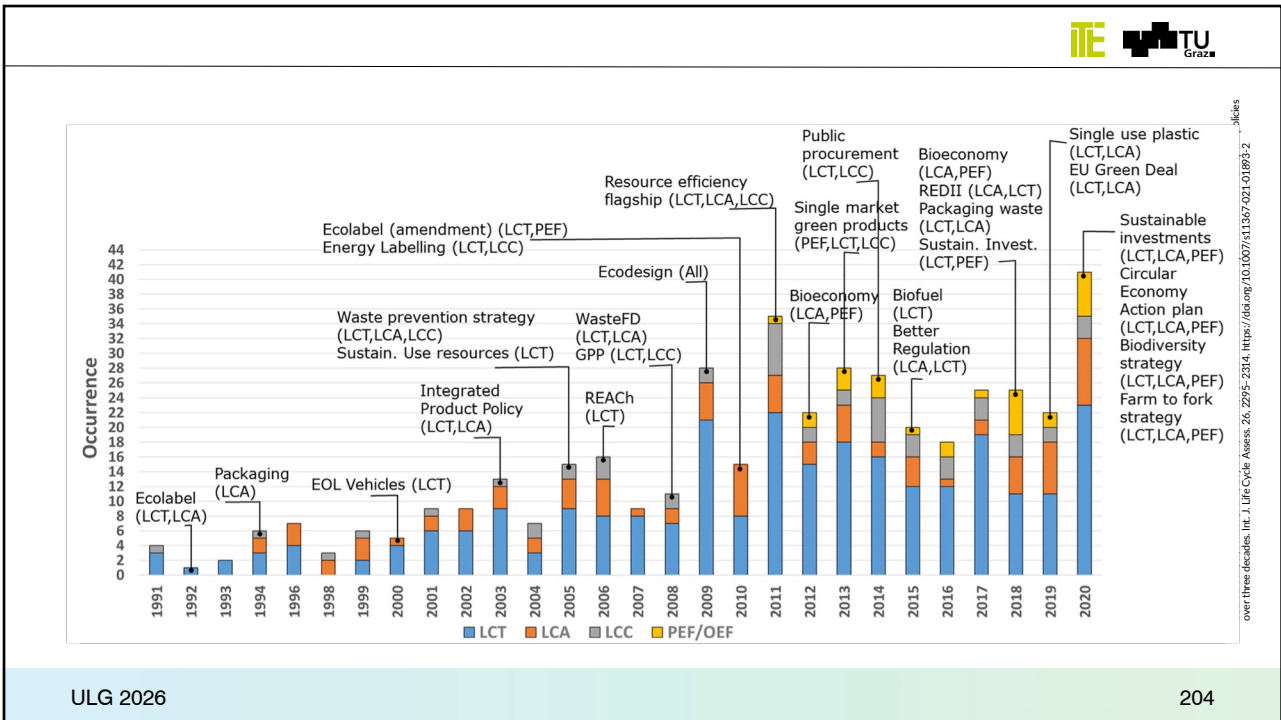
Source: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019DC0640&from=SL>

ULG 2026
202

202



203



204


EU Green Deal


- Klimawandel und Umweltzerstörung sind eine existenzielle Bedrohung für Europa und die Welt
- Um diesen Herausforderungen zu begegnen, wird der EUROPÄISCHE GRÜNE DEAL die EU in eine moderne, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft verwandeln
- Null Netto-Treibhausgasemissionen bis 2050
- Wirtschaftswachstum hat nichts mit Ressourcenverbrauch zu tun
- Kein Mensch und kein Ort bleibt allein



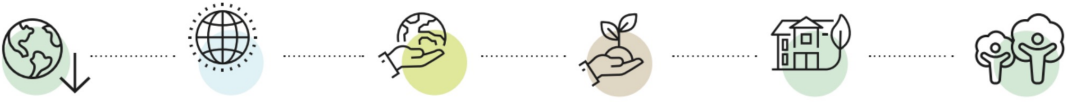
ULG 2026

205

EU Green Deal


- Gelaunched im Jahr 2019
- Eine ehrgeizige Agenda für die nachhaltige Entwicklung der EU
- Reduzierung der Treibhausgasemissionen
- Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft

- "From carbon to zero" bis 2050
- Intelligente und nachhaltige Mobilität
- Energetische Sanierung von Gebäuden
- Stärkung der Erneuerbaren Energien



Greenhouse gas emissions are reduced by at least 55% by 2030 (compared to 1990 levels)

There are no net emissions of greenhouse gases by 2050

The EU society is fully adapted to the unavoidable impacts of climate change by 2050

The EU's natural capital is protected, conserved and enhanced

The health and wellbeing of citizens from environment-related risks and impacts is protected

No person and no place is left behind

ULG 2026

206

# NEW EUROPEAN BAUHAUS






beautiful | sustainable | together

#NewEuropeanBauhaus 

ULG 2026

209

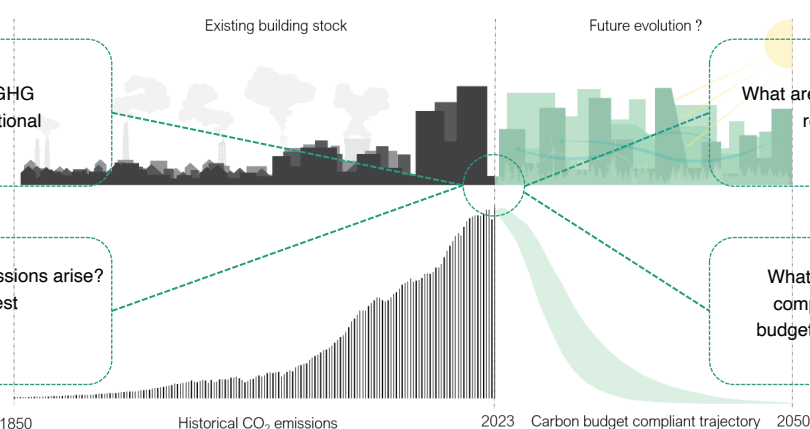
## Identification of Future Trajectories for Carbon Budget-Compliant Buildings



**How can we reach net-zero by 2050?**  
**Building Stock Models** help us answer this question

How high are the GHG emissions from national building stocks?

Existing building stock



Historical CO<sub>2</sub> emissions

2023 Carbon budget compliant trajectory 2050

What are the key levers to reduce emissions?

How do these emissions arise? What are the biggest contributors?

Future evolution ?

What future scenarios are compatible with the GHG budget or net-zero targets?


ULG 2026

Source:Alaux, Nicolas (2025). Identification of Future Trajectories for Carbon Budget-Compliant Buildings: An Austrian Perspective . TU Graz

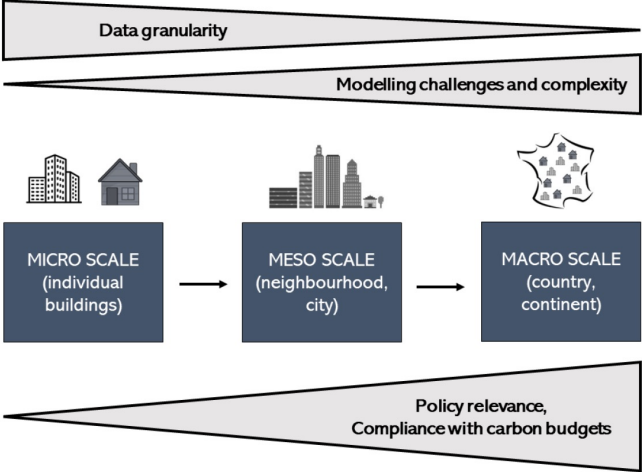
210

210

**Identification of Future Trajectories for Carbon Budget-Compliant Buildings**



### Building Stock Models




**MICRO SCALE** (individual buildings) → **MESO SCALE** (neighbourhood, city) → **MACRO SCALE** (country, continent)

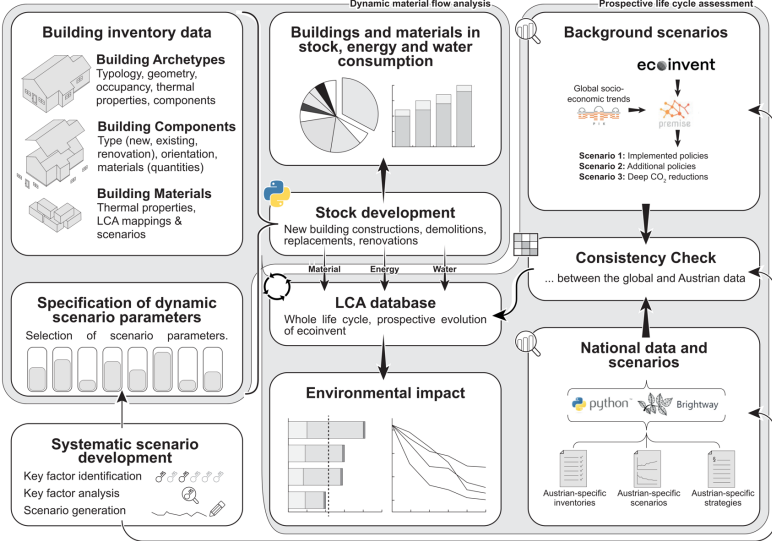
**Policy relevance, Compliance with carbon budgets**

ULG 2026
Image: Pellan, Marin (2024). Downscaling the Low-Carbon National Strategy for the Building Activities. ETH Zürich.
211

211

**PULSE-AT: ein Gebäudebestandsmodell für Österreich**





ULG 2026
Source: Alaux, N., Steubing, B., Habert, G., Saade, M. R. M., & Passer, A. (2024). Life-cycle greenhouse gas emission reduction trajectories of the Austrian building stock. *Environmental Science and Technology*
212

212

PULSE-AT: ein Gebäudebestandsmodell für Österreich IE TU Graz

Was ist ein Gebäudebestandsmodell?

---

*Gebäudebestandsmodelle versuchen, alle Gebäude in einem bestimmten Gebiet systematisch zu erfassen. Mit diesen Modellen werden verschiedene Szenarien analysiert und projiziert, z. B. Energiebedarf und -verbrauch, Umweltauswirkungen, Städtebau...*

---

**In Österreich:**

- ~ 2.5 Millionen Gebäude
- ~ 50.000 Neubauten pro Jahr
- ~ 10.000 Renovierungen und Erweiterungen pro Jahr
- ~ 900 Millionen m<sup>2</sup> Nettogeschossfläche

STATISTIK AUSTRIA:  
Abgestimmte Erwerbsstatistik 2022, Gebäude und Wohnungen.

ULG 2026 213

Source: Alaux, N., Schwark, B., Hörmann, M., Ruschi Mendes Saade, M., & Passer, A. (2024). Assessing the prospective environmental impacts and circularity potentials of building stocks: An open-source model from Austria (PULSE-AT). *Journal of Industrial Ecology*, 1-14. <https://doi.org/10.1111/jiec.13558>

213

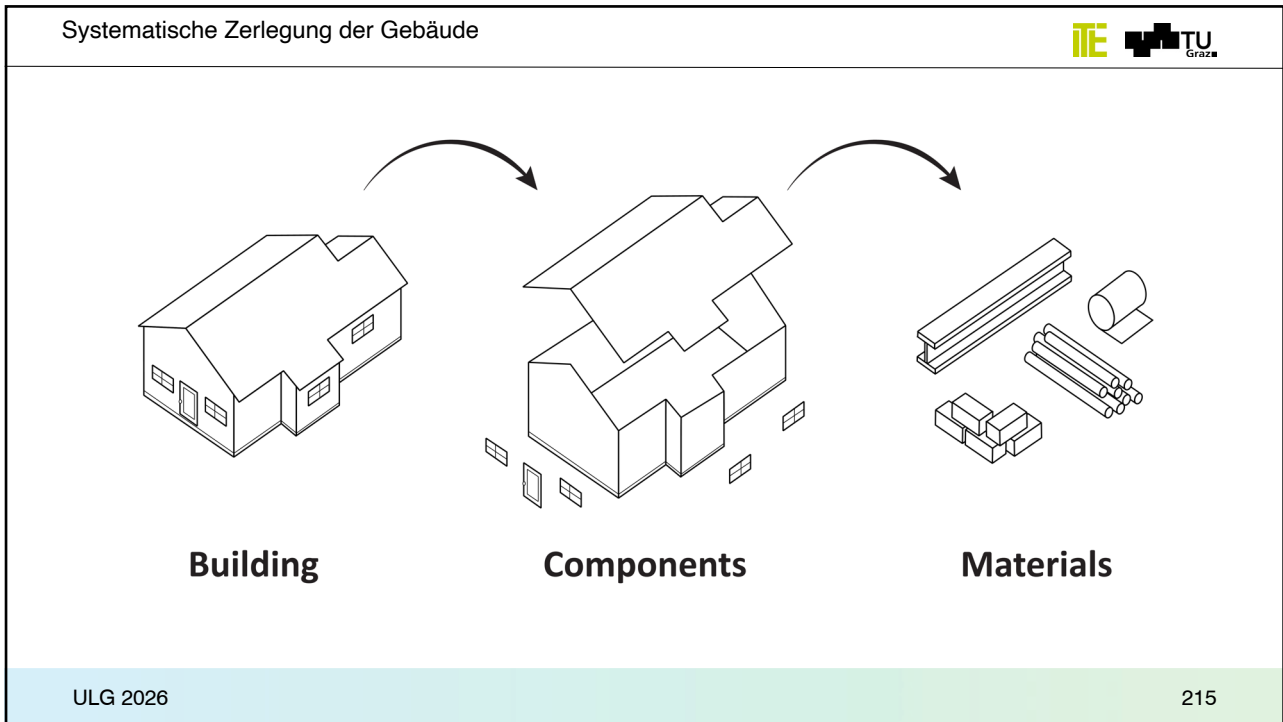
Life Cycle Assessment – single buildings vs. building stock IE TU Graz

At the stock level different buildings are at different stages of their life cycles in any given year.

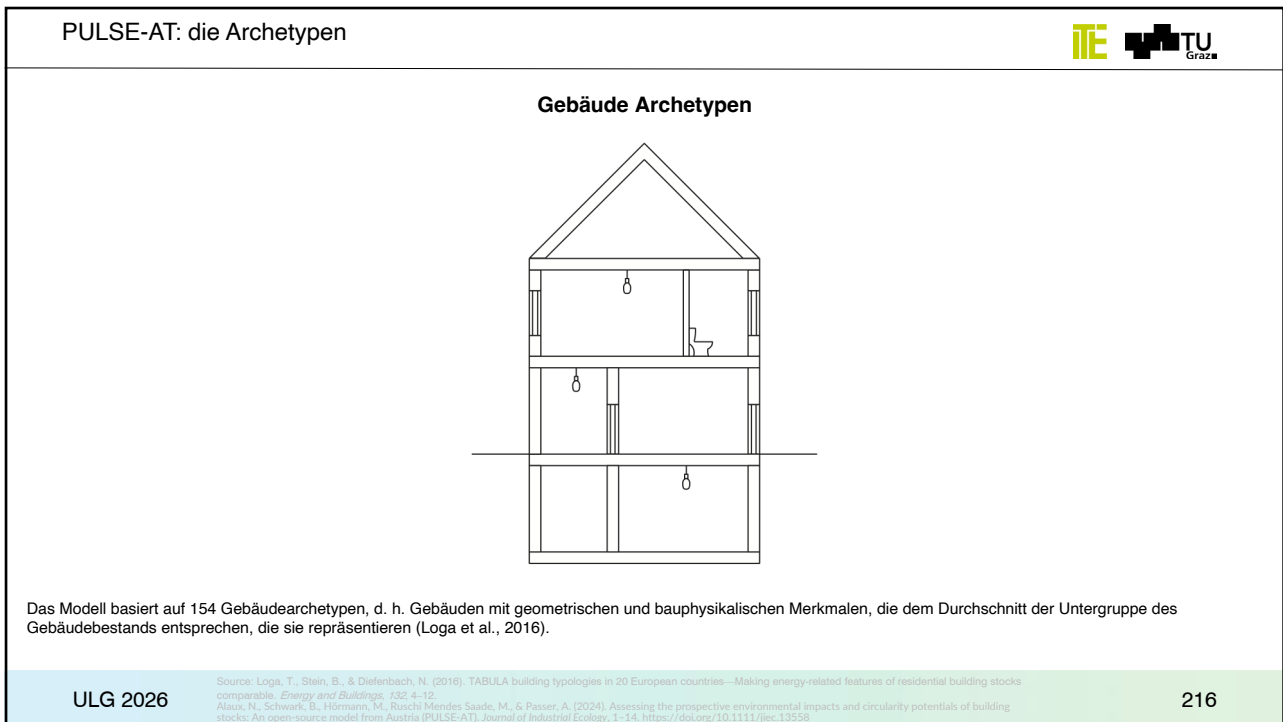
But the emissions starts on the level of individual buildings, considering the emissions for their material production, operations and so on.

ULG 2026 214

214




215

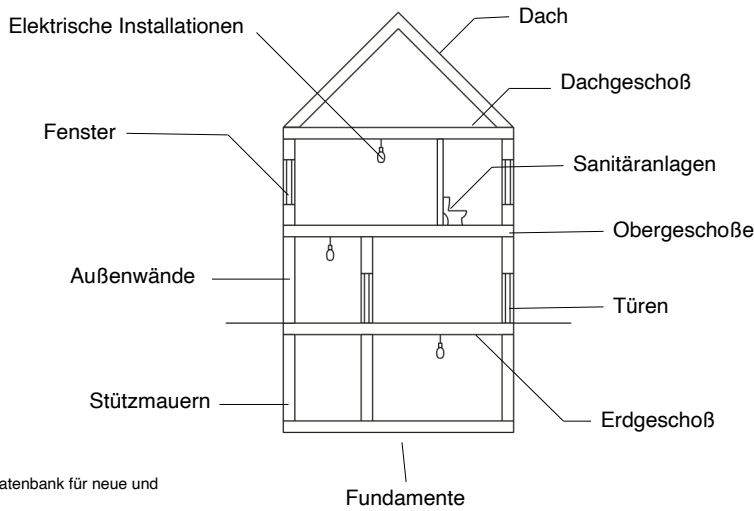


216

**Alle wesentlichen Elemente/Komponenten**



**Gebäude Komponenten**




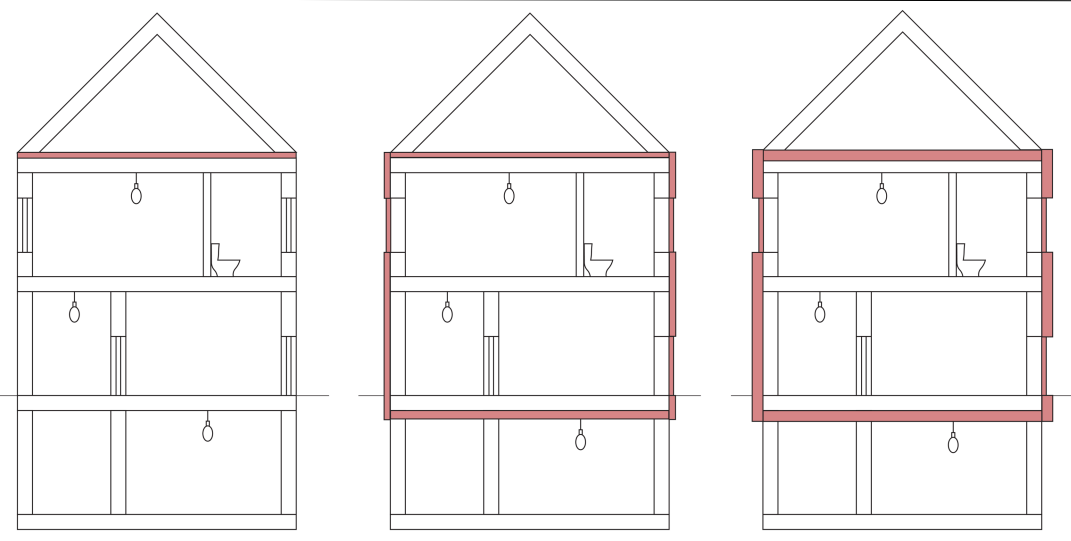
367 Bauelemente in unserer Datenbank für neue und bestehende Gebäude

ULG 2026
Source: Alaux, N., Schwark, B., Hörmann, M., Ruschi Mendes Saade, M., & Passer, A. (2024). Assessing the prospective environmental impacts and circularity potentials of building stocks: An open-source model from Austria (PULSE-AT). *Journal of Industrial Ecology*, 1-14. <https://doi.org/10.1111/jiec.13558>
217

217

**Drei Renovierungsstrategien implementiert**





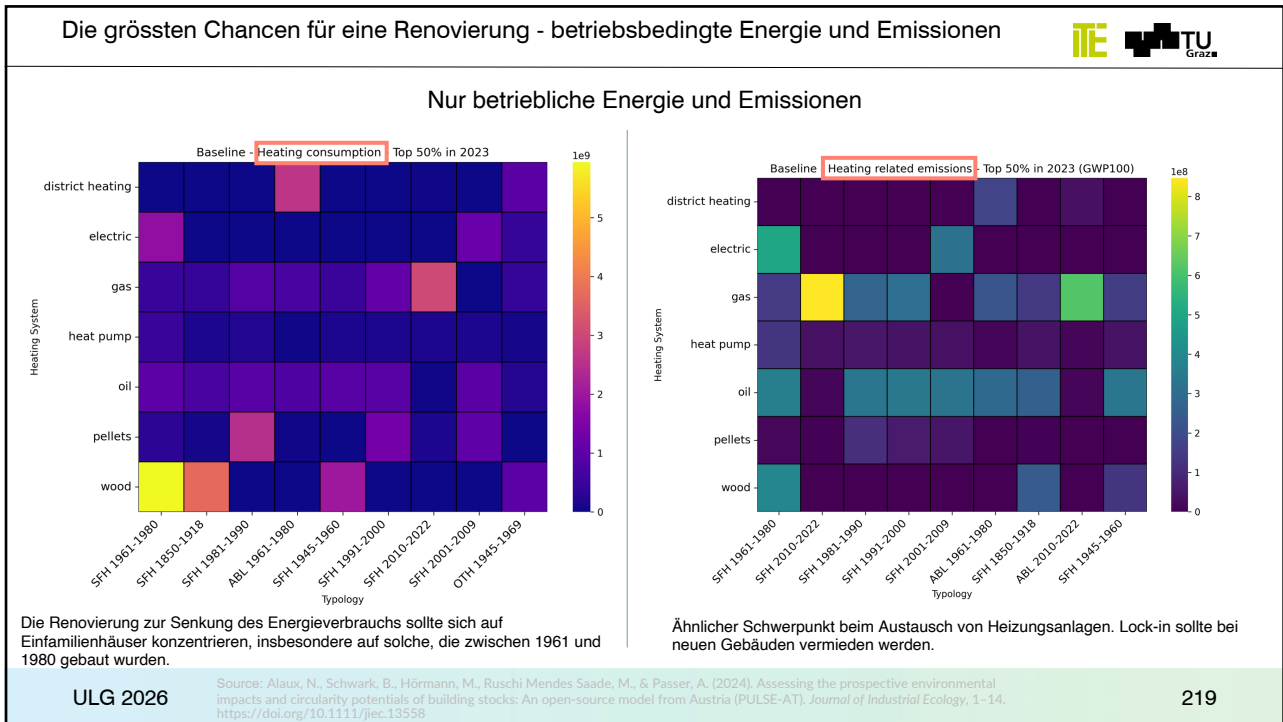
Light refurbishment

Medium refurbishment

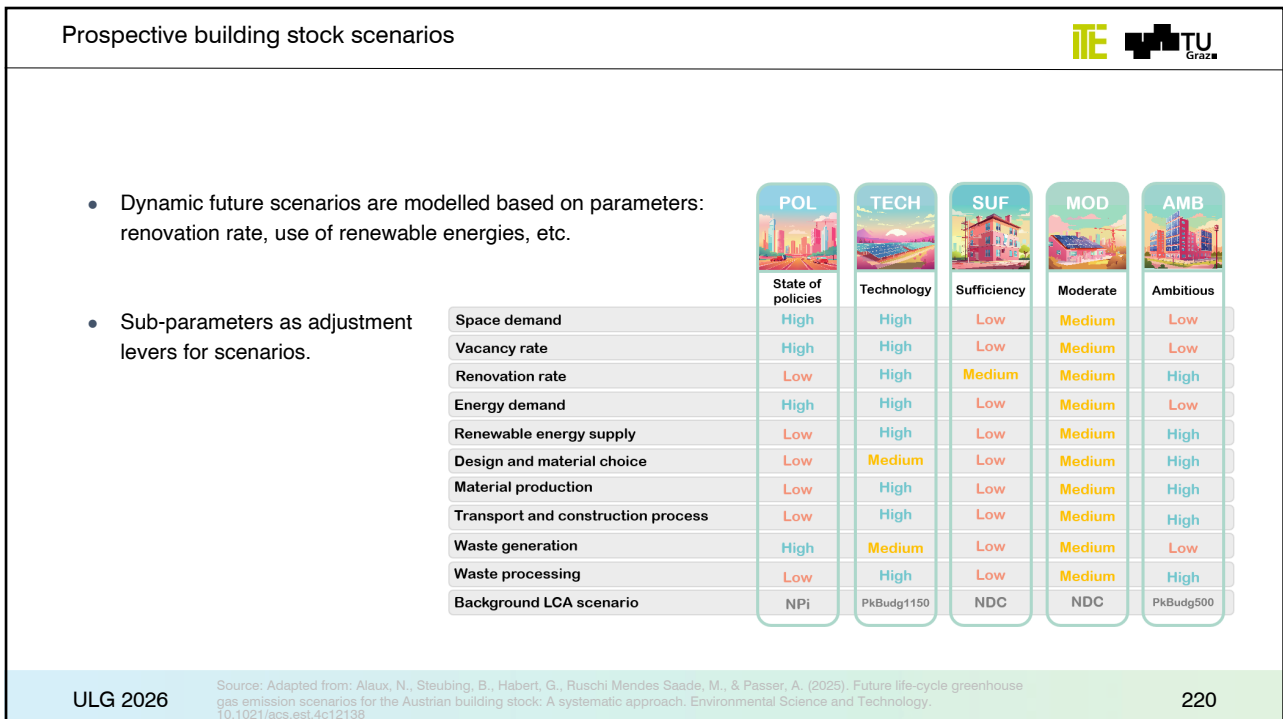
Deep refurbishment

ULG 2026
Source: Alaux, N., Schwark, B., Hörmann, M., Ruschi Mendes Saade, M., & Passer, A. (2024). Assessing the prospective environmental impacts and circularity potentials of building stocks: An open-source model from Austria (PULSE-AT). *Journal of Industrial Ecology*, 1-14. <https://doi.org/10.1111/jiec.13558>
218

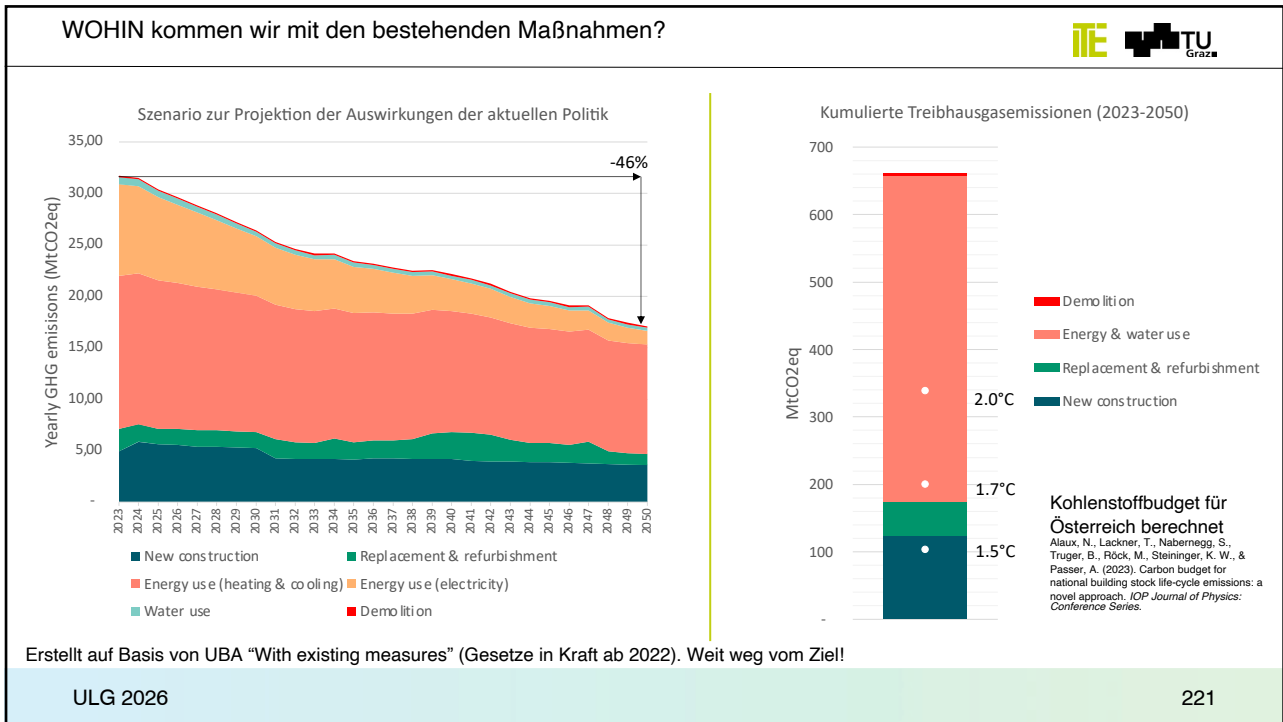
218



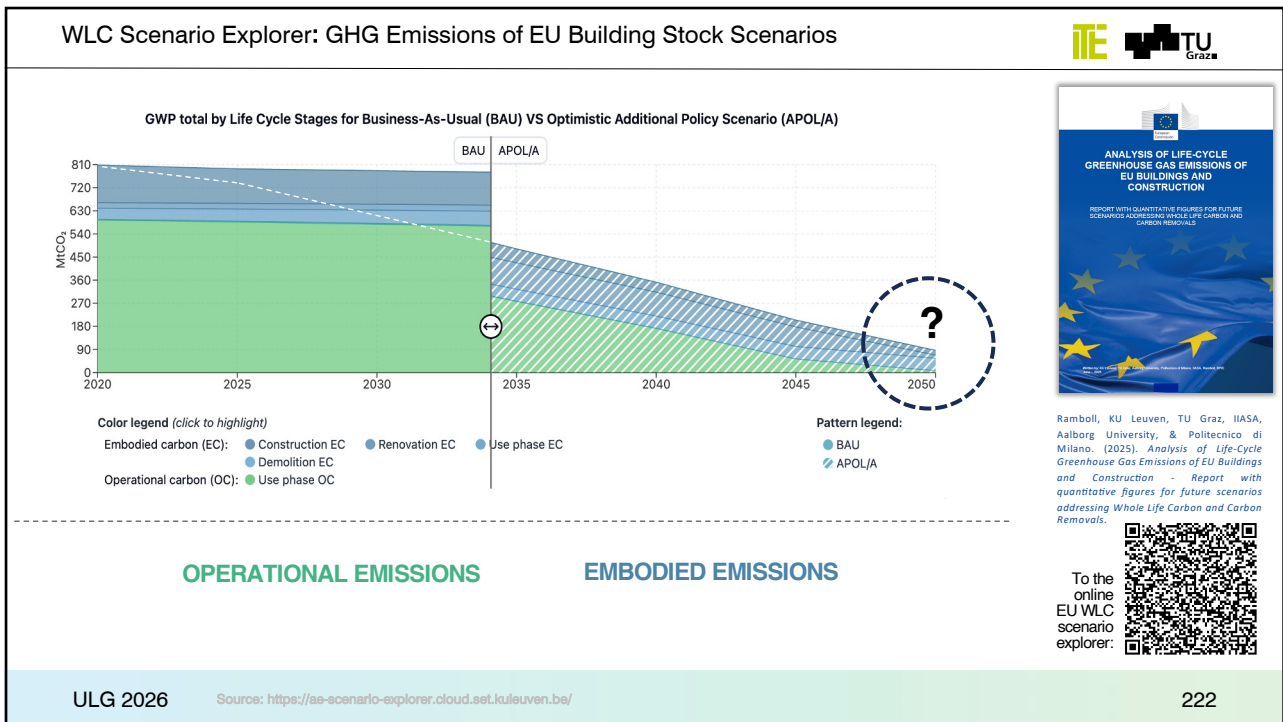
219



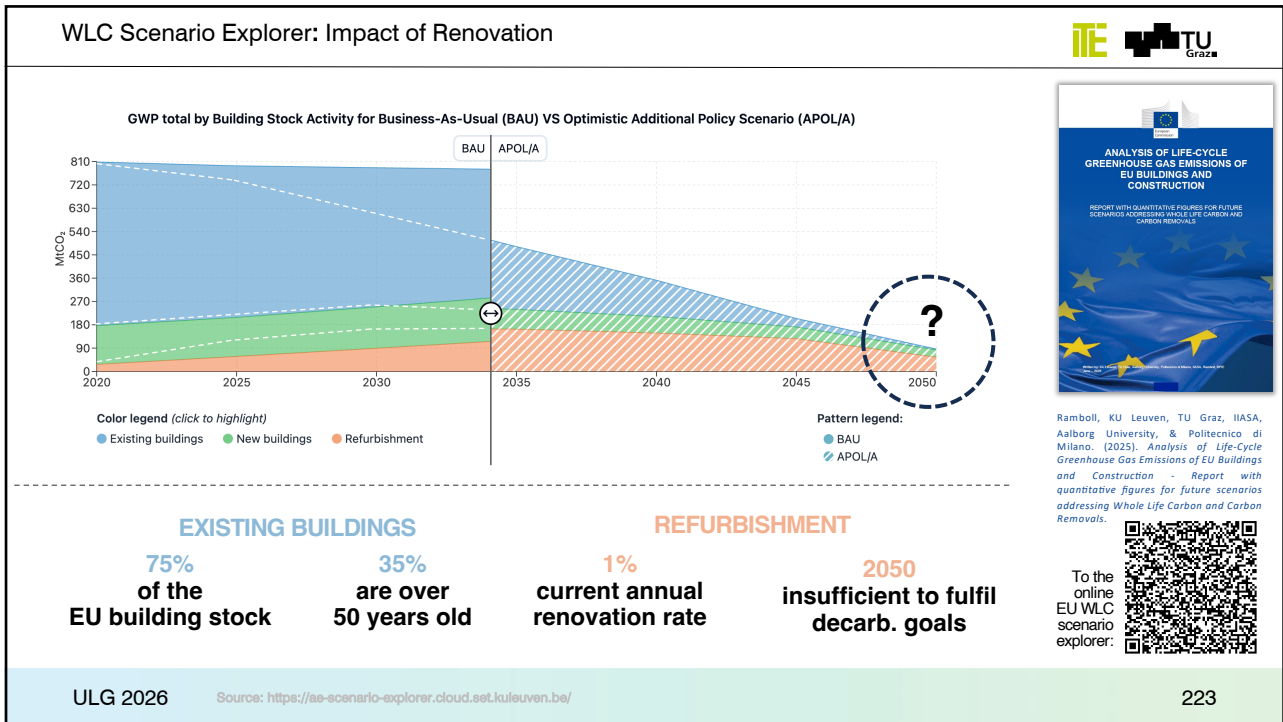
220



221



222



223

## Das Neue Europäische Bauhaus

*"If the European Green Deal has a soul, then it is the New European Bauhaus which has led to an explosion of creativity across our Union."*

Ursula Von der Leyen, President of the European Commission

**NEW EUROPEAN BAUHAUS** beautiful | sustainable | together

**PRIZES 2022** #NewEuropeanBauhaus

By bridging science and innovation with art and culture, and taking a holistic approach, the New European Bauhaus will create solutions that are not only sustainable and innovative, but also accessible, affordable, and life-enhancing for us all.

**MARIYA GABRIEL**  
Commissioner for Innovation, Research, Culture, Education and Youth


#NewEuropeanBauhaus

[https://europa.eu/new-european-bauhaus/index\\_de](https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_de)

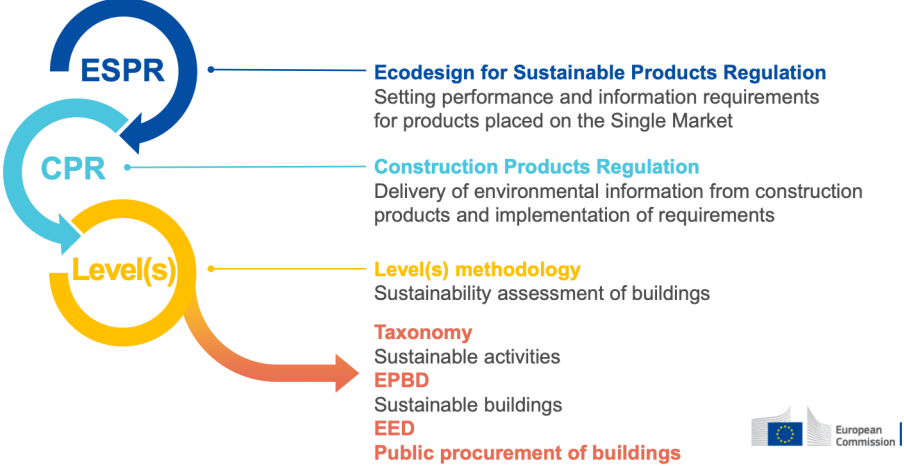
ULG 2026

224


224



## EU Regulatory framework




- ESPR** — **Ecodesign for Sustainable Products Regulation**  
Setting performance and information requirements for products placed on the Single Market
- CPR** — **Construction Products Regulation**  
Delivery of environmental information from construction products and implementation of requirements
- Level(s)** — **Level(s) methodology**  
Sustainability assessment of buildings
- Taxonomy**  
Sustainable activities
- EPBD**  
Sustainable buildings
- EED**  
Public procurement of buildings

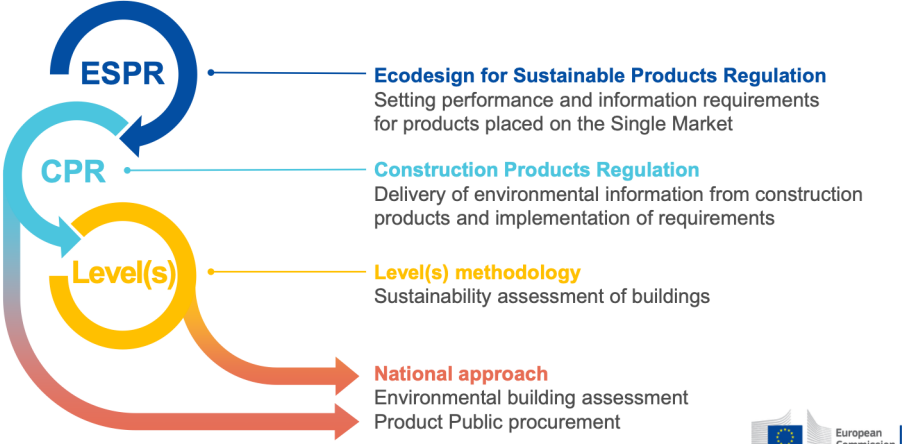


ULG 2026
225


225



## National Regulatory framework

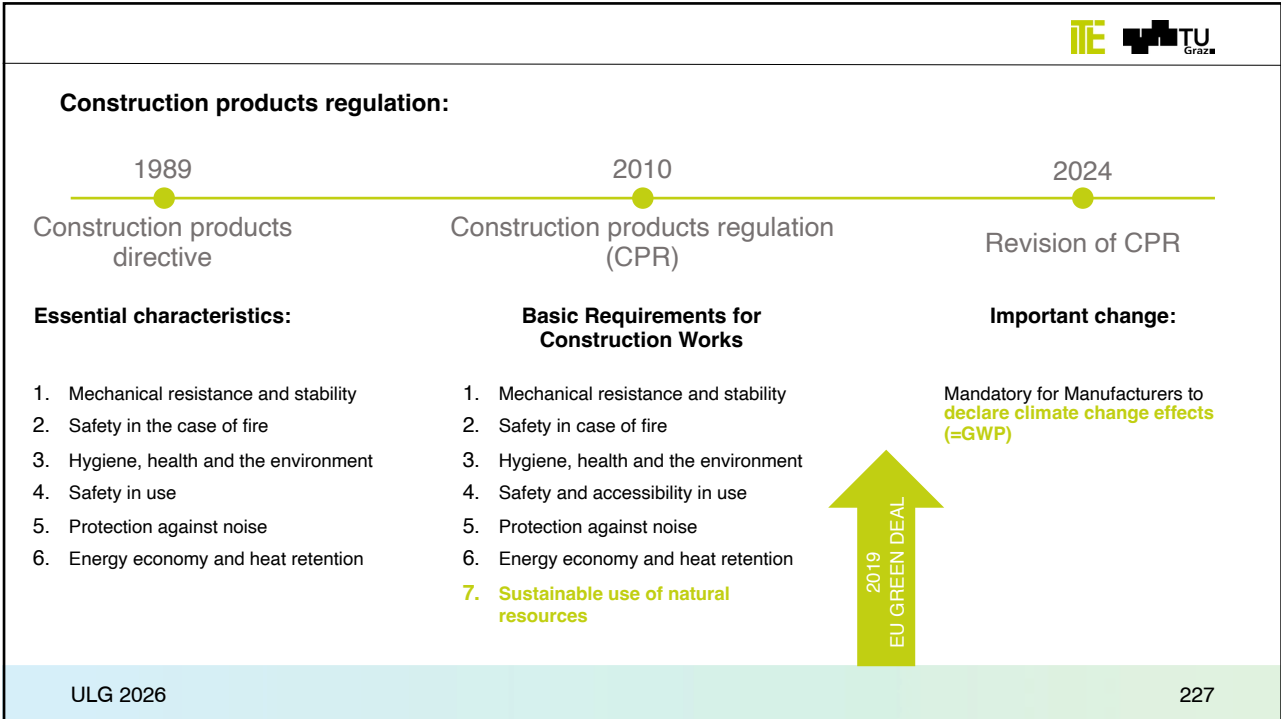


- ESPR** — **Ecodesign for Sustainable Products Regulation**  
Setting performance and information requirements for products placed on the Single Market
- CPR** — **Construction Products Regulation**  
Delivery of environmental information from construction products and implementation of requirements
- Level(s)** — **Level(s) methodology**  
Sustainability assessment of buildings
- National approach**  
Environmental building assessment
- Product Public procurement**

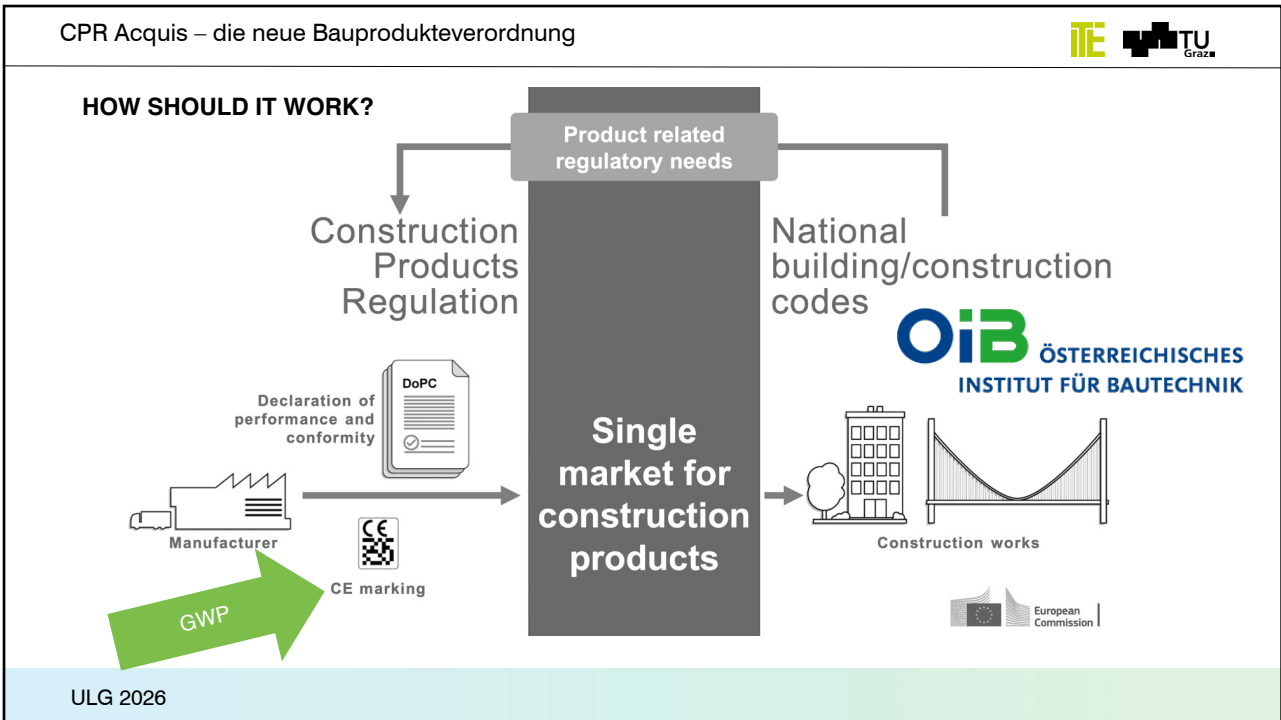


ULG 2026
226

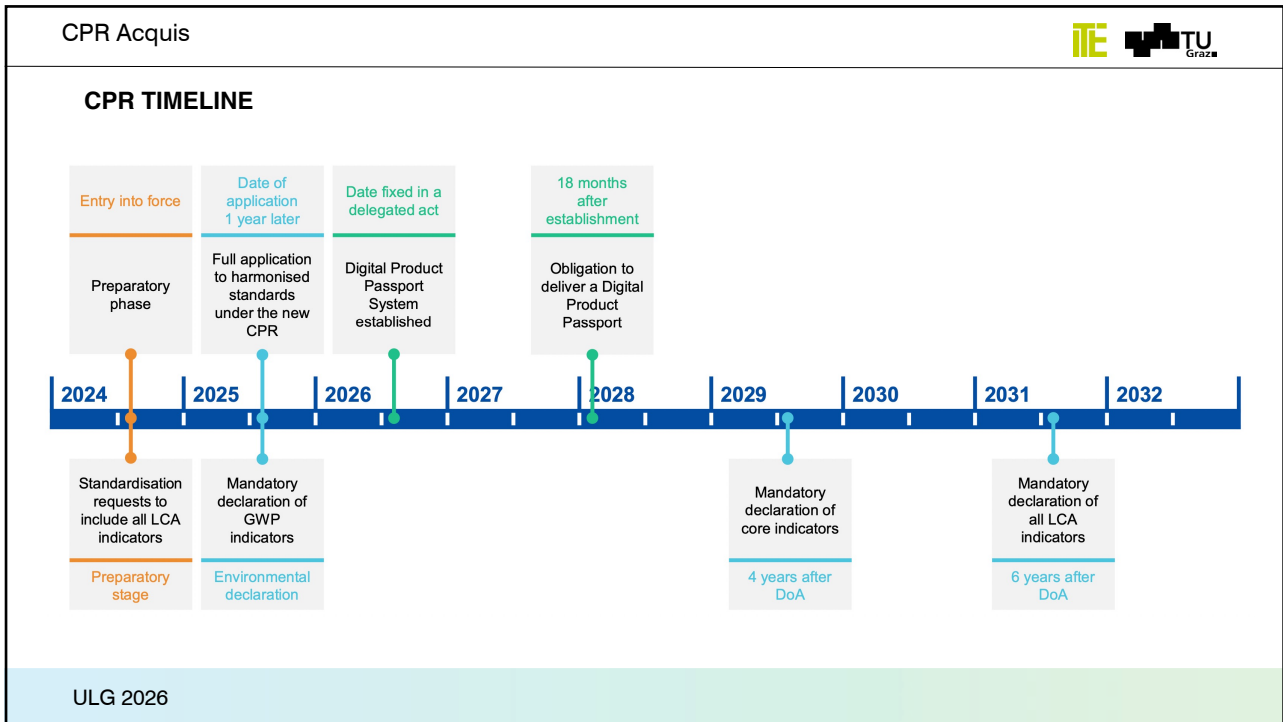
226



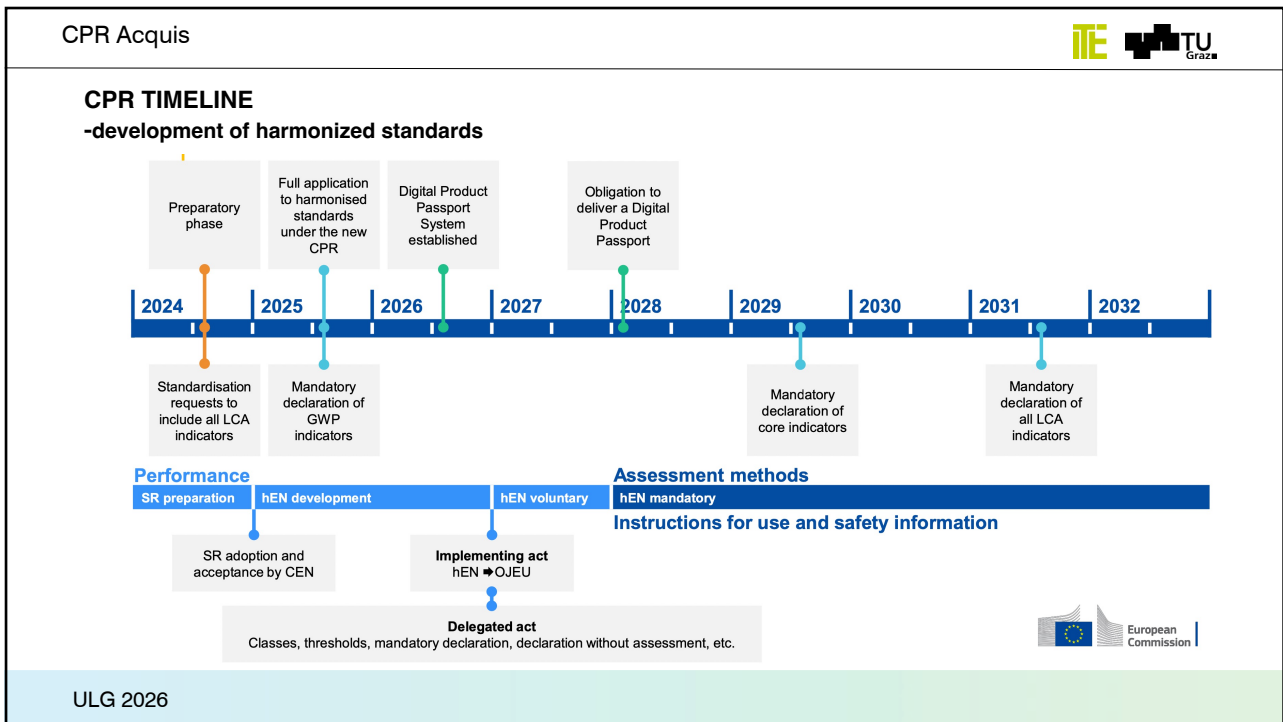
227



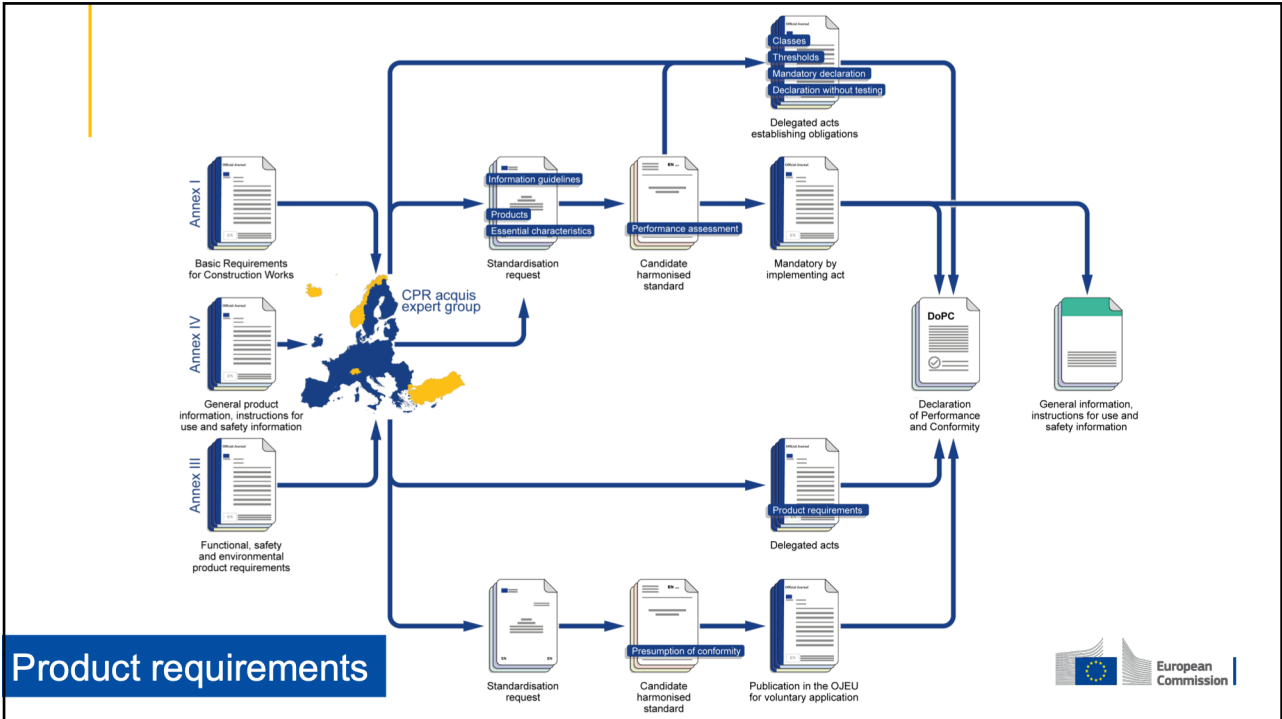
228



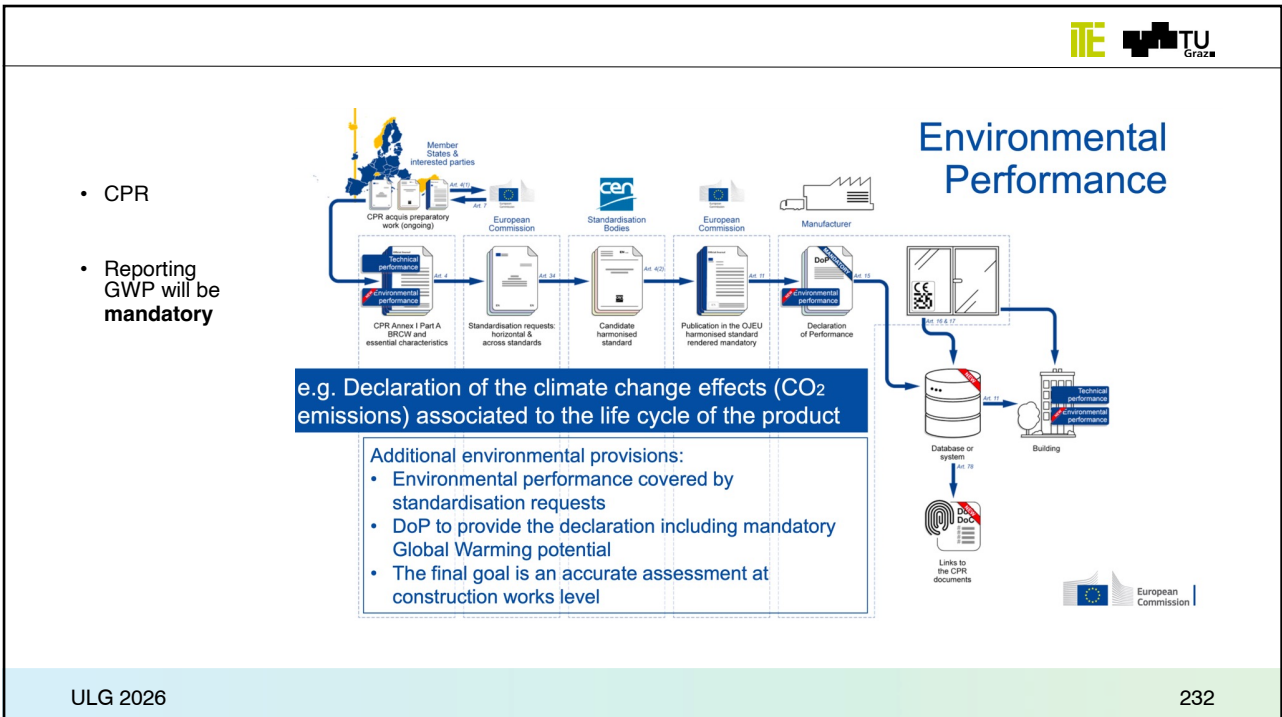
229



230



231



ULG 2026

232

232

**IE TU**  
Graz

## National Regulatory framework

- ESPR** — **Ecodesign for Sustainable Products Regulation**  
Setting performance and information requirements for products placed on the Single Market
- CPR** — **Construction Products Regulation**  
Delivery of environmental information from construction products and implementation of requirements
- Level(s)** — **Level(s) methodology**  
Sustainability assessment of buildings
- National approach**  
Environmental building assessment  
Product Public procurement

European Commission

ULG 2026 233


233

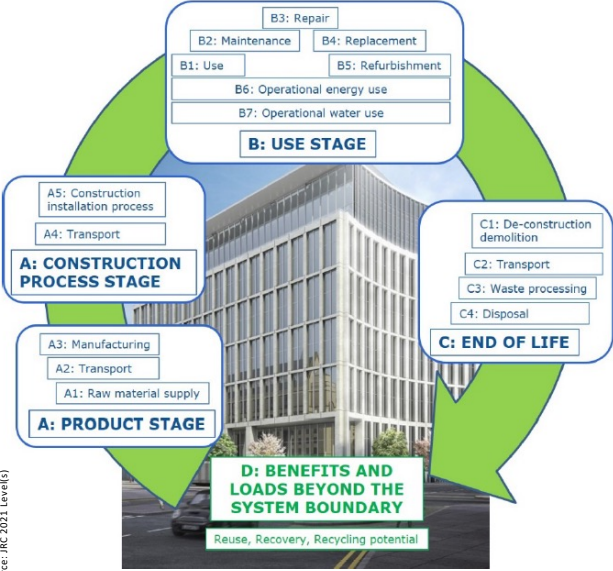
# EU policies addressing whole life carbon in construction

SBE22 Carbon footprint workshop  
Berlin, 20 September 2022

*Philippe Moseley,  
Policy Officer, Construction Unit, DG GROU*

234





The stages in a building life cycle, based on EN 15978.


Source: JRC 2021, Level(s)

## Whole life carbon

- Wenige Statistiken und Daten auf EU-Ebene
- Neuer Politikbereich
- Wenig Erfahrung in einigen Mitgliedstaaten und bei den Akteuren der Industrie
- Dringender Handlungsbedarf
- Komplexes Thema, das gemeinsames Denken erfordert


ULG 2026
235

235



## Whole life carbon: policy development

- Bewertung und Berichterstattung vorschreiben
- Bewusstsein schärfen
- Kapazitäten aufbauen
- Designoptionen vergleichen
- Sanfter Ansatz zur Reduzierung der Lebenszyklusemissionen



ULG 2026

236




## Whole life carbon: EU initiatives


- [Level\(s\)](#) framework for sustainable buildings
- EU Taxonomy for Sustainable Activities
- 2050 roadmap for whole life cycle emissions (Renovation Wave)
- Energy Efficiency Directive (proposal): Articles 6 & 7
- Energy Performance of Buildings Directive (proposal): Article 7 New buildings
- Construction Products Regulation (proposal)




ULG 2026

237






**LEVEL(S):**  
A common language for building assessment



European Commission (2021). Level(s). A common language for building assessment. Publication Office. <https://doi.org/10.2777/0879>

ULG 2026
238

238



## Makroziele und Indikatoren

Der gemeinsame Level(s)-Rahmen basiert auf **6 Makrozielen**, die beschreiben, wie die strategischen Prioritäten für den Beitrag von Gebäuden zu den politischen Zielen der EU und der Mitgliedstaaten in Bereichen wie Energie, Materialeinsatz und Abfall, Wasser und Raumluftqualität aussehen sollten.


Für jede dieser strategischen Prioritäten ist es wichtig, dass der Beitrag und die Leistung einzelner Bauprojekte **gemessen werden können**. Daher wurden Indikatoren entwickelt, die die Messung der Leistung im Rahmen der einzelnen Makroziele ermöglichen.

Makroziele	Indikator	Maßeinheit
1. Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen im Lebenszyklus eines Gebäudes	1.1. Energieeffizienz in der Nutzungsphase	Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (kWh/m <sup>2</sup> /Jahr)
	1.2. Erdenwärmepotenzial entlang des Lebenszyklus	kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente pro Quadratmeter und Jahr (kg CO <sub>2</sub> -Äq./m <sup>2</sup> /Jahr)
	2.1. Leistungsverzeichnisse, Materialien und Lebensdauern	Mengeneinheiten, Menge und Jahre
2. Ressourceneffiziente Stoffkreisläufe	2.2. Bau- und Abbruchabfälle und -materialien	kg Abfall und Material pro m <sup>2</sup> Gesamtnutzfläche
	2.3. Entwurf für Anpassungsfähigkeit und Umbau	Bewertungspunkte für Anpassungsfähigkeit
	2.4. Entwurf für Rückbau, Wiederverwendung und Recycling	Bewertungspunkte für Rückbau
3. Effiziente Nutzung der Wasserressourcen	3.1. Wasserverbrauch in der Nutzungsphase	m <sup>3</sup> Wasser/Jahr und Nutzer
4. Gesunde und behagliche Räume	4.1. Raumluftqualität	Parameter für Lüftung, CO <sub>2</sub> und Feuchtigkeit Liste der maßgeblichen Schadstoffe: TVOC, Formaldehyd, CMR-VOC, ICI-Wert, Schimmel, Benzol, Partikel, Radon
	4.2. Zeit außerhalb des thermischen Behaglichkeitsbereichs	% der Zeit außerhalb des Komfortbereichs während der Heiz- und Kühlperiode
	4.3. Beleuchtung und Sehkomfort	Checkliste Ebene 1
	4.4. Akustik und Lärmschutz	Checkliste Ebene 1
5. Anpassung an den Klimawandel und Klimaresilienz	5.1. Schutz der Gesundheit und der thermischen Behaglichkeit der Nutzer	Prognostizierte Zeit in % außerhalb des Bereichs in den Jahren 2030 und 2050 (siehe auch Indikator 4.2)
	5.2. Zunehmendes Risiko extremer Wetterereignisse	Checkliste Ebene 1 (in Ausarbeitung)
	5.3. Nachhaltige Entwässerung	Checkliste Ebene 1 (in Ausarbeitung)
6. Optimierung der Lebenszykluskosten und des Werts	6.1. Lebenszykluskosten	Euro pro Quadratmeter und Jahr (€/m <sup>2</sup> /Jahr)
	6.2. Wertschöpfung und Risikoexposition	Checkliste Ebene 1

Quelle: M. Dornavelli, S. C. Corradi, M. (2021) Level(s) – Ein gemeinsamer EU-Rahmen von Kennindikatoren für die Nachhaltigkeit von Büro- und Wohngebäuden.

ULG 2026
239

239



## EU -Klimaneutralität

*Artikel 2*

### Ziel der Klimaneutralität

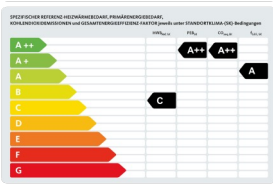
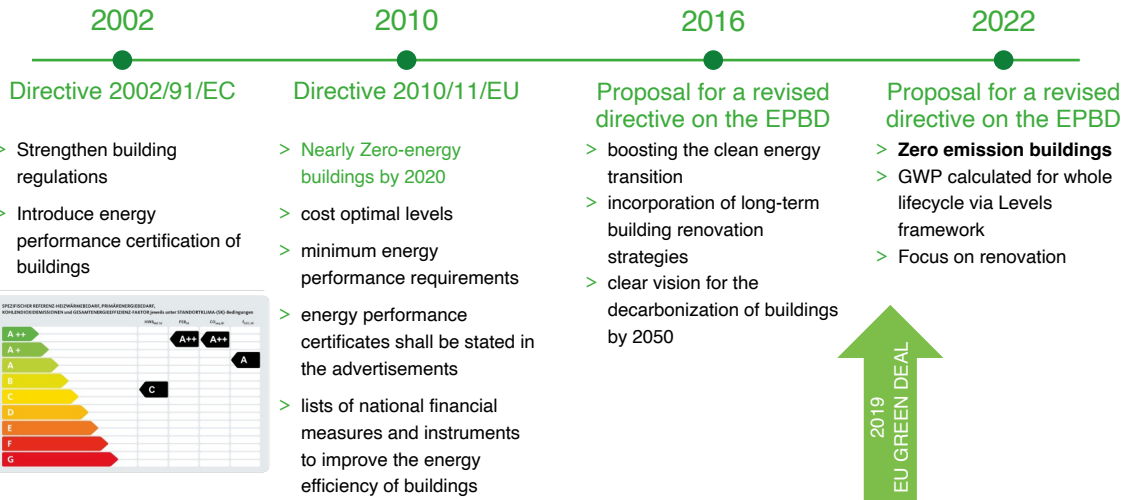
- (1) Die unionsweiten Emissionen von durch Rechtsvorschriften der Union regulierten Treibhausgasen und deren Abbau müssen bis spätestens 2050 ausgeglichen sein, sodass die Emissionen bis zu diesem Zeitpunkt auf netto null reduziert sind.
- (2) Die zuständigen Organe der Union und der Mitgliedstaaten treffen auf Unions- bzw. auf nationaler Ebene die notwendigen Maßnahmen, um die gemeinsame Verwirklichung des in Absatz 1 festgelegten Ziels der Klimaneutralität zu ermöglichen, und berücksichtigen dabei die Bedeutung der Förderung von Fairness und Solidarität zwischen den Mitgliedstaaten.

EU –Klimaneutralität 2050!! – Österreich 2040!!

ULG 2026
241

241

### Energy performance of buildings directive (EPBD)



ULG 2026

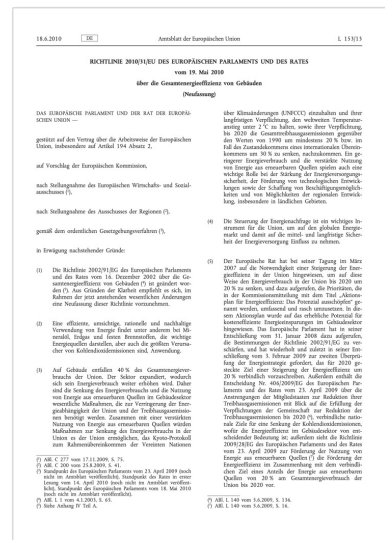
242

242

Um die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden zu verbessern, hat die EU einen Rechtsrahmen geschaffen, der die Richtlinie (EPBD) EU/2010/31 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und die Energieeffizienzrichtlinie EU/2023/1791 umfasst.

Zusammen fördern die Richtlinien politische Maßnahmen, die dazu beitragen, bis 2050 einen hochgradig energieeffizienten und dekarbonisierten Gebäudebestand zu erreichen.


- Schaffung eines stabilen Umfelds für Investitionsentscheidungen
- Verbraucher und Unternehmen in die Lage zu versetzen, fundiertere Entscheidungen zu treffen, um Energie und Geld zu sparen




ULG 2026

[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS\\_20\\_1844](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/FS_20_1844)

246






Brussels, XXX  
[...]2025) XXX draft

COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) .../...

of XXX

amending Annex III to Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council as regards the Union framework for the national calculation of life-cycle global warming potential



Brussels, XXX  
[...]2025) XXX draft

ANNEX

to

COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) .../...

amending Annex III to Directive 2024/1275 EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings and setting out a Union framework for the national calculation of life-cycle global warming potential

**8. RESULTS OF LIFE-CYCLE GWP**

For the purpose of reporting the results in the EPC of the building, the building's life-cycle GWP shall be reported in a transparent format, showing results at least for each life-cycle stage in accordance with Table 5.

Table 5 Disclosure of the life-cycle GWP in the building's energy performance certificate (EPC)

	Product stage (A1-A3)	Construction process stage (A4-A5)	Use, maintenance, replacement stage (B1-B4)	Operational energy use stage (B6)	End-of-life stage (C1-C4)	Reuse, recycling, recovery potential (D1)	Potential benefits and loads from exported utilities (for example, electrical energy, thermal energy, potable water) (D2)
GWP-total <sup>14</sup>							

EN


EN

EN

ULG 2026

247

247



## Several articles in the EPBD recast relates to LC-GWP

**Article 7(2)**  
Member States shall ensure that the life-cycle GWP is calculated in accordance with Annex III and disclosed in the energy performance certificate of the building:  
(a) from 1 January 2028, for all new buildings with a useful floor area larger than 1000 m<sup>2</sup>;  
(b) from 1 January 2030, for all new buildings.

**Article 7(3)**  
The Commission is empowered to adopt delegated acts in accordance with Article 32 to amend Annex III to set out a Union framework for the national calculation of life-cycle GWP with a view to achieving climate neutrality. The first such delegated act shall be adopted by 31 December 2025.

**Article 7(5)**  
By 1 January 2027 Member States shall publish and notify to the Commission a roadmap detailing the introduction of limit values on the total cumulative life-cycle GWP of all new buildings and set targets for new buildings from 2030, considering a progressive downward trend, as well as maximum limit values, detailed for different climatic zones and building typologies. Those maximum limit values shall be in line with the Union's objective of achieving climate neutrality. The Commission shall issue guidance, share evidence on existing national policies and offer technical support to Member States, at their request.

Part I on LCGWP  
methodology

Part II on  
roadmap

12

Monday, 21 October 2024

[Link to the EPBD recast: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024L1275](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024L1275)

ULG 2026

248

248

### Entwicklung der europäischen Gesetzgebung und Standardisierung

EPBD – Artikel 7

Year	Legislation / Act	Key Points
2024	Directive 2002/91/EC	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stärkung der Bauvorschriften</li> <li>Einführung der Energieeffizienz-Zertifizierung von Gebäuden</li> <li>Energieeffizienz-Zertifikate</li> </ul>
2025	Delegated Act	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rahmen für die Berechnung der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus</li> <li>Renovierung der Nichtwohngebäude mit der schlechtesten Gesamtennergieeffizienz, um das größte Potential in Bezug auf die Dekarbonisierung auszuschöpfen.</li> </ul>
2027	National roadmaps	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grenzwerte für THG-Emissionen</li> <li>Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.</li> <li>Festlegung eines EU-Rahmens für die nationale Berechnung der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus</li> </ul>
2028	Compulsory	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berechnung der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus für Neubauten &gt; 1,000 m<sup>2</sup></li> <li>Überblick über den nationalen Gebäudebestand nach verschiedenen Gebäudearten, einschließlich ihres Anteils am nationalen Gebäudebestand.</li> </ul>
2030	Mandatory	<ul style="list-style-type: none"> <li>Berechnung der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus für alle Neubauten</li> <li>Nationale Grenzwerte für THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus sind festgelegt.</li> </ul>

„Nullemissionsgebäude“ ein Gebäude mit einer sehr hohen, nach Anhang I bestimmten Gesamtenergieeffizienz, das gemäß Artikel 11 keine Energie oder eine sehr geringe Energiemenge benötigt, **keine CO<sub>2</sub>-Emissionen** aus fossilen Brennstoffen am Standort verursacht und keine oder eine **sehr geringe Menge an betriebsbedingten Treibhausgasemissionen** verursacht;

Ziel: Erreichung der KLIMANEUTRALITÄT

ULG 2026 249

249

### CPR Acquis – die neue Bauprodukteverordnung

HOW SHOULD IT WORK?

Product related regulatory needs

Construction Products Regulation

National building/construction codes

Single market for construction products

Construction works

Manufacturer

Declaration of performance and conformity (DoPC)

CE marking

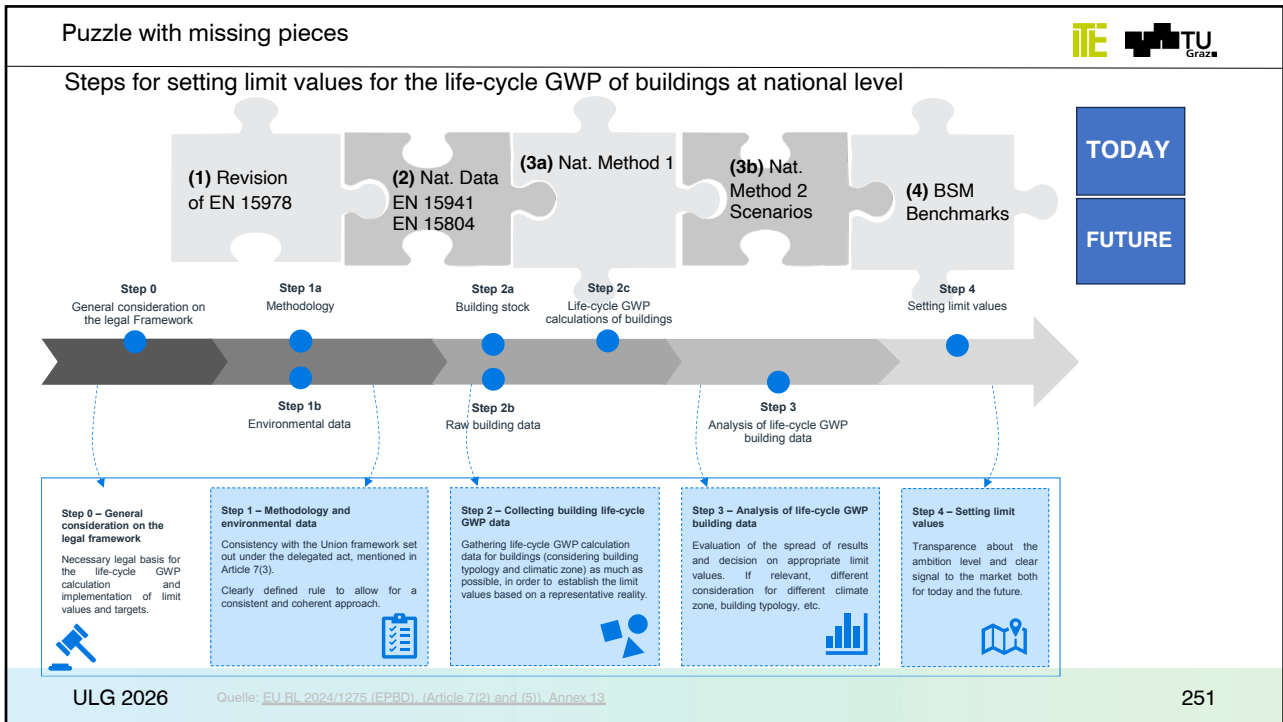
OiB ÖSTERREICHISCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK

European Commission

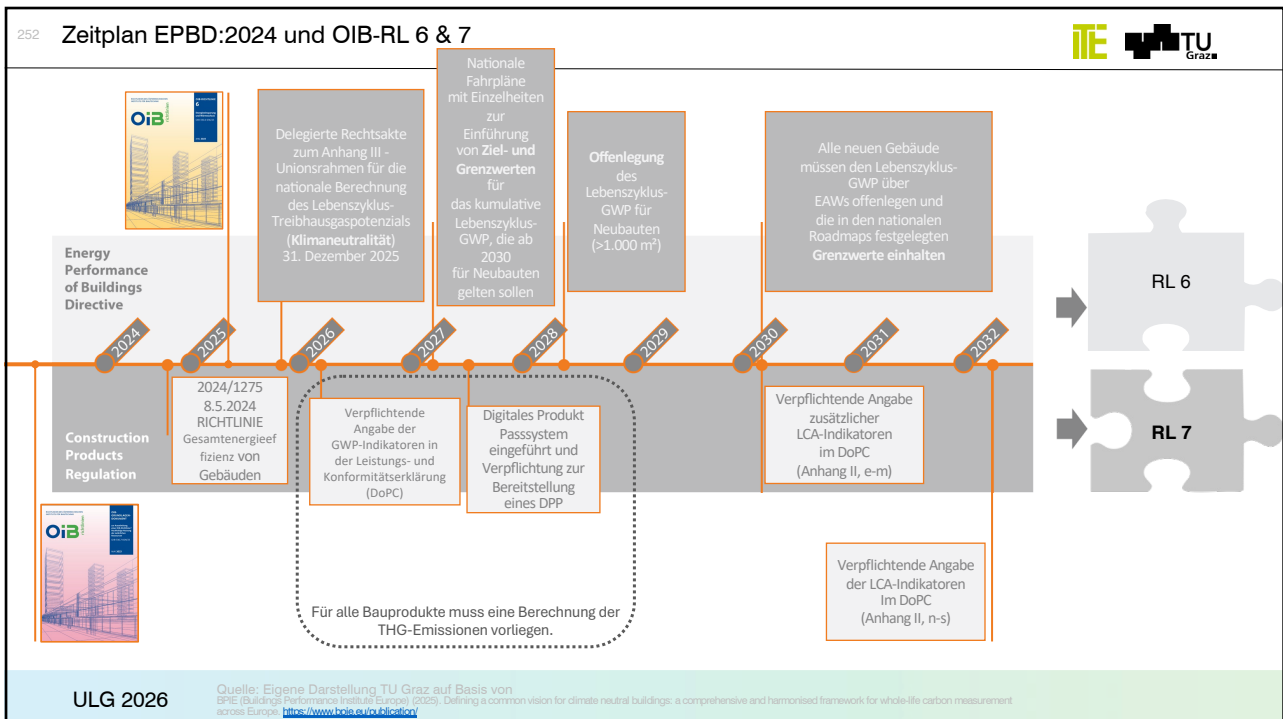
GWP

ULG 2026 250

250



251



252

Um sinkende Anforderungswerte für Gebäude im Einklang mit der EPBD zu bestimmen, müssen wir zunächst einen Absenkpfad für die gebaute Umwelt in Österreich definieren können.

Welche Normen/Standards gibt es dazu auf der europäischen Ebene?

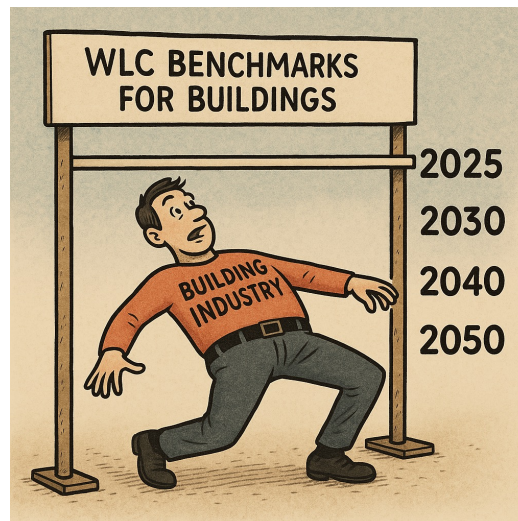
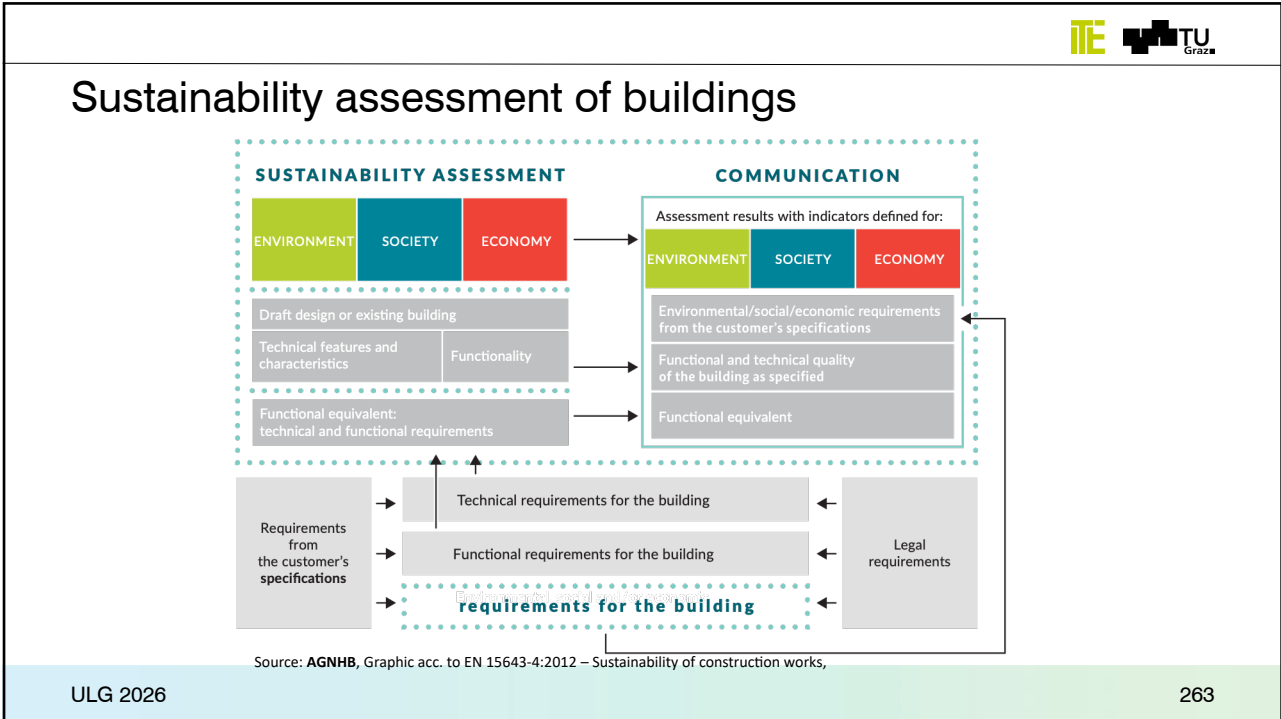
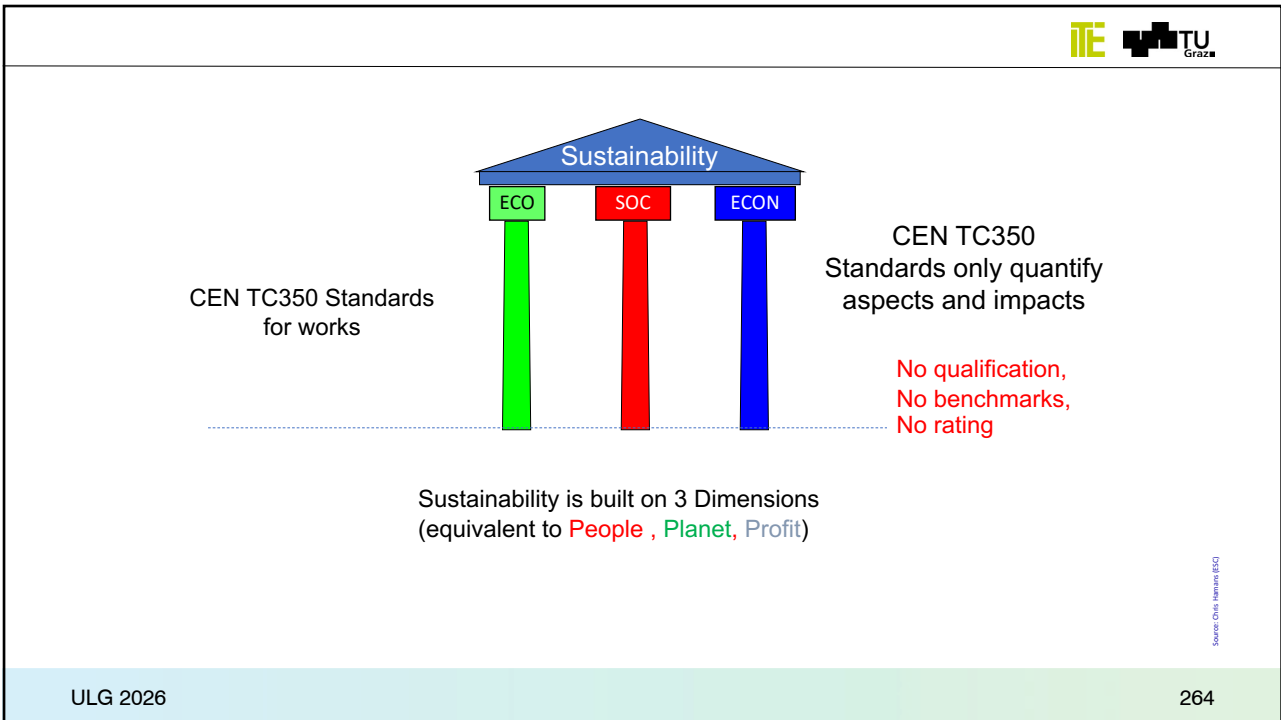


Image generated by Carlos E. Caballero-Güereca


CEN TC 350



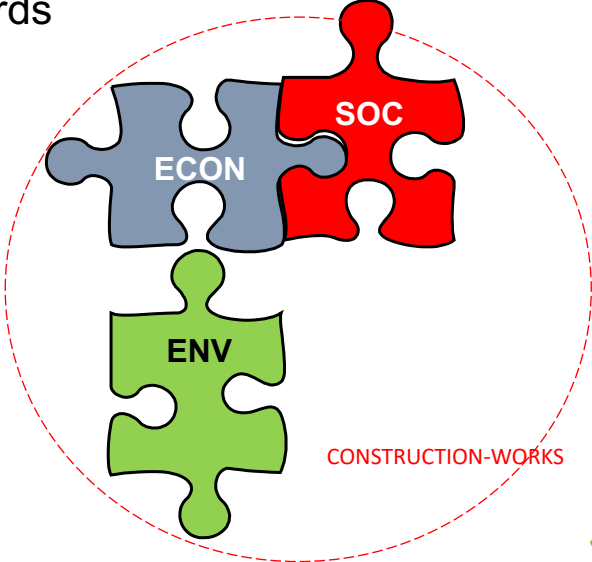
263




264




## CEN TC 350 standards



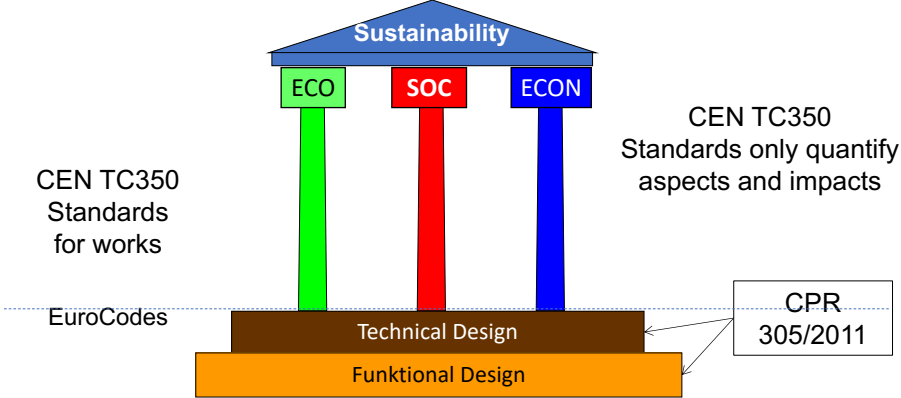
  
Source: Chris Hamans (ESQ)

ULG 2026
265

265



## CEN TC350 standardisation



**A prerequisite for sustainability are the 6 Basic Requirements for Construction Works**  
 Without meeting the functional needs there is no sustainability  
 Without meeting the technical needs there is no sustainability

ULG 2026
266

266

279 ASI ONK 271 & CEN TC 350



AUSTRIAN STANDARDS

# ASI ONK 271 & CEN TC 350

## Grüne Bauregeln: Neues Komitee bei Austrian Standards schärft die „Nachhaltigkeit von Bauwerken“

02.09.2021


Mehr Öko am Bau: Eine interdisziplinäre Gruppe von Expertinnen und Experten widmet sich bei Austrian Standards ab sofort klareren Regeln für nachhaltiges Bauen. Das Ziel des neu gegründeten Komitees „Nachhaltigkeit von Bauwerken“: einheitliche Bauregeln schaffen, die im gesamten Lebenszyklus von Bauwerken – von der Planung bis zum Rückbau – eine lebenswertere Umwelt mitdenken.

Ressourcenverbrauch minimieren, Flächenverbrauch reduzieren, Energieverbrauch zurückschrauben und weniger Belastung für die Natur durch Bauprojekte, so lesen sich die Ziele des neuen Komitees 271 „Nachhaltigkeit von Bauwerken“ bei Austrian Standards. Die Zielsetzung ist klar, in der Praxis scheitert die Umsetzung oft an unklaren Begrifflichkeiten und unzulänglichen Beurteilungskriterien beim schwammigen Thema „Nachhaltigkeit“.

ULG 2026

279

280 Gegenüberstellung EN15978:2011 vs prEN15978:2025



## Nachhaltigkeit von Bauwerken Bewertung der Umweltleistung von Gebäuden Methodik

**ÖNORM EN 15978**  
Ausgabe: 2012-10-01

Nachhaltigkeit von Bauwerken — Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden — Berechnungsmethode

Sustainability of construction works — Assessment of environmental performance of buildings — Calculation method

Evaluation des ouvrages de construction en développement durable — Evaluation de la performance environnementale des bâtiments — Méthode de calcul

Universitätsbibliothek  
2 & Sep. 2022  
TU Graz

ISBN 9783540111111  
Ident (EIT) EN 15978:2011-11

Copyright © Austrian Standards Institute 2012  
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, Vervielfältigung und Verbreitung, auch auszugsweise, ist ohne schriftliche Genehmigung des Austrian Standards Institutes.

Verkaufsort: Wien, Austria  
Austrian Standards (ÖNORM) Austrian Standards Institute  
Institutionen: TU Graz  
Internet: www.austrian-standards.at  
E-Mail: office@austrian-standards.at  
Fax: +43 1 235 245 418

**EUROPEAN STANDARD**  
**NORME EUROPÉENNE**  
**EUROPÄISCHE NORM**

**FINAL DRAFT**  
**PrEN 15978**

August 2025

ICS 91.040.99

WWE supersede EN 15978:2011

English Version  
**Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Requirements and guidance**

Contributors to the corrigendum are invited to submit their comments to the secretariat of the prEN 15978:2025 project.

This European Standard is submitted to CEN members for formal vote. It has been drawn up by the Technical Committee CEN/TC 350.

If this prEN becomes a European Standard, CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which apply to the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration.

This prEN represents CEN's official position as of the date of approval. It is subject to change without notice. It is not intended to be used for legal purposes. It is not intended to be used for contractual purposes.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Republic of North Macedonia, Romania, Serbia, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland, Türkiye and United Kingdom.

Requirements of this draft are invited to submit, with their comments, notification of any relevant patent rights of which they are aware and to provide supporting documentation.

**Warning** - This document is not a European Standard. It is distributed for review and comment. It is subject to change without notice and shall not be referred to as a European Standard.

**cen**

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION  
EUROPEISKE STANDARDISERINGSKOMITÉER

CEN-CENELEC Management Centre • Rue de la Science 23, B-1069 Brussels

© 2025 CEN All rights reserved. No part of this document may be reproduced without the prior written permission of CEN or its member standards bodies.

EN 15978:2025:2025

ULG 2026

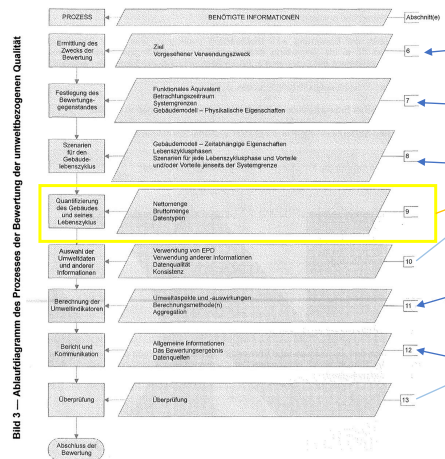
280

## Gegenüberstellung Bewertungsprozess



### EN15978:2011

Bewertungsprozess in 8 Abschnitten



### FprEN15978:2025

Neu organisierter Bewertungsprozess in 8 Abschnitten, mit 3 Anhängen, inhaltlich deutlich umfangreicher

vorgestellt  
zusammengefasst  
vorgestellt  
neu

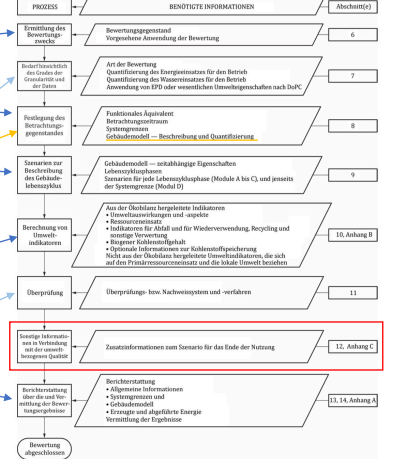


Bild 1 — Der Prozess einschließlich Anwendung der Informationsanforderungen und der für die Bewertung der Umwelteigenschaften Qualität erforderlichen Abschnitte dessen Kern

ULG 2026

281

## Gegenüberstellung Umfang und Lebenszyklusmodell



### EN15978:2011

65 Seiten

Lebenszyklusmodell mit 4 Modulen (A, B, C & D) und 16 Submodule (A1-5, B1-7, C1-5, D)

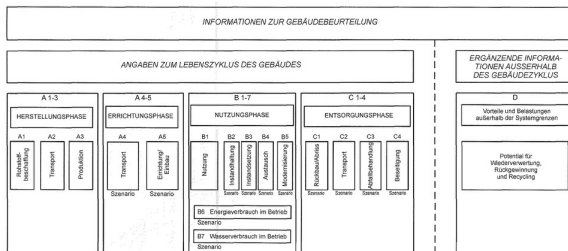
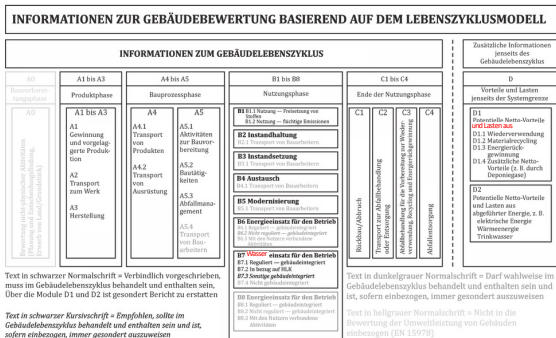


Bild 6 — Anzeige modularer Informationen für die verschiedenen Lebenszyklusstadien des Gebäudes

### prEN15978:2025

129 Seiten

Lebenszyklusmodell mit 4 Modulen (A, B, C & D), 19 Submodule (A0-A5, B1-B8, C1-C4, D1-D2) sowie 26 Sub-Submodule, darunter optionale/ausgegrenzte




ULG 2026

282

Goal and Scope Definition

## G&S - Life cycle modules

Adapted from EN 15643 and current draft of EN 15978-1



Information on whole life impacts

	PRODUCT Stage			CONSTRUCTION PROCESS Stage					USE Stage					END-OF-LIFE Stage			
	A1-3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D1	D2			
Embodied impacts	Raw material supply	Transport	Manufacturing	Transport	Construction-Installation process	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	De-construction/Demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Benefits and loads beyond the system boundary		
Operational impacts																	

**Embodied impacts**

- Upfront
- Recurring
- End of Life

**Operational impacts**

- Regulated
- Unregulated
- User related
- *Non-energy related*

**Additional information**


- Recycling potential
- Potentially avoided impacts from exported energy

ULG 2026
284

Ultschendorfer, T. and Fritschweitzer, R. (2024) 'The' zero-emission buildings: a typology of terms and definitions', *Buildings and Cities*, 1(1), pp. 60-67. doi: 10.3394/bc.66

284

## Kernindikatoren EN 15804:2012 + A2:2019 + AC:2021



Wirkungskategorie	Indikator	Einheit (angegeben je funktionale oder deklarierte Einheit)
Klimawandel — gesamt <sup>a</sup>	Treibhauspotenzial insgesamt (GWP-gesamt)	kg CO <sub>2</sub> -Äq.
Klimawandel — fossil	Treibhauspotenzial fossiler Energieträger und Stoffen (GWP-fossil)	kg CO <sub>2</sub> -Äq.
Klimawandel — biogen	Treibhauspotenzial biogen (GWP-biogen)	kg CO <sub>2</sub> -Äq.
Klimawandel — Landnutzung und Landnutzungsänderung <sup>b</sup>	Treibhauspotenzial der Landnutzung und Landnutzungsänderung (GWP-land, en: land use and land use change)	kg CO <sub>2</sub> -Äq.
Ozonabbau	Potenzial des Abbaus der stratosphärischen Ozonschicht (ODP, en: Ozone Depletion Potential)	kg CFC-11-Äq.
Versauerung	Versauerungspotenzial, (AP, en: Acidification Potential), kumulierte Überschreitung	mol H <sup>+</sup> -Äq.
Eutrophierung Süßwasser	Eutrophierungspotenzial, in das Süßwasser gelangende Nährstoffanteile (EP-Süßwasser)	kg P-Äq.
Eutrophierung Salzwasser	Eutrophierungspotenzial, in das Salzwasser gelangende Nährstoffanteile (EP-Salzwasser)	kg N-Äq.
Eutrophierung Land	Eutrophierungspotenzial, kumulierte Überschreitung (EP-Land)	mol N-Äq.
photochemische Ozonbildung	troposphärisches Ozonbildungspotenzial (POCP, en: Photochemical Ozone Creation Potential)	kg NMVOC-Äq.
Verknappung von abiotischen Ressourcen — Mineralien und Metalle <sup>d</sup>	Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen für nicht fossile Ressourcen (ADP-Mineralien und Metalle)	kg Sb-Äq.

<sup>a</sup> Das gesamte Treibhauspotenzial (GWP-gesamt) ist die Summe (siehe C.2) aus

- GWP-fossil,
- GWP-biogen,
- GWP-land, en: land use and land use change

<sup>b</sup> Es ist zulässig, GWP-land als separate Information wegzulassen, wenn dessen Beitrag < 5 % von GWP-gesamt über die deklarierten Module mit Ausnahme von Modul D ausmacht.

<sup>c</sup> Das Potenzial für die Verknappung von abiotischen Ressourcen wird mithilfe von zwei verschiedenen Indikatoren berechnet und deklariert:

- ADP-Mineralien und Metalle, die alle nicht erneuerbaren, abiotischen stofflichen Ressourcen (d.h. außer fossilen Energieträgern) umfasst;
- ADP-fossile Energieträger, das alle fossilen Energieträger und Uran umfasst.

<sup>d</sup> Gesamtreserven-Modell des Modells für ADP-Mineralien und Metalle.

ULG 2026
289

289

## Zusätzliche Indikatoren EN 15804:2012+A2:2019+AC:2021

Tabelle 4 — Zusätzliche Umweltwirkungsindikatoren

Wirkungskategorie	Indikator	Einheit (angegeben je funktionale oder deklarierte Einheit)
Feinstaubemissionen	potenzielles Auftreten von Krankheiten aufgrund von Feinstaubemissionen (PM)	Auftreten von Krankheiten
ionisierende Strahlung, menschliche Gesundheit	potenzielle Wirkung durch Exposition des Menschen mit U235 (IRP)	kBq U235-Äq.
Ökotoxizität (Süßwasser)	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für Ökosysteme (ETP-fw)	CTUe (en: Comparative Toxic Unit for ecosystems)
Humantoxizität, kanzerogene Wirkungen	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-c)	CTUh (en: Comparative Toxic Unit for humans)
Humantoxizität, nicht kanzerogene Wirkungen	potenzielle Toxizitätsvergleichseinheit für den Menschen (HTP-nc)	CTUh (en: Comparative Toxic Unit for humans)
mit der Landnutzung verbundene Wirkungen/Bodenqualität	potenzieller Bodenqualitätsindex (SQP)	dimensionslos

ULG 2026

290

## Other essential characteristics

### Resource use indicators

- Use of renewable primary energy
- Total use of renewable primary energy resources
- Use of non-renewable primary energy
- Total use of non-renewable primary energy
- Use of secondary material
- Use of renewable secondary fuels
- Use of non-renewable secondary fuels
- Net use of fresh water

### Waste related indicators

- Hazardous waste disposed
- Non-hazardous waste disposed
- Radioactive waste disposed

### Output flows

- Components for re-use
- Materials for recycling
- Materials for energy recovery
- Exported energy

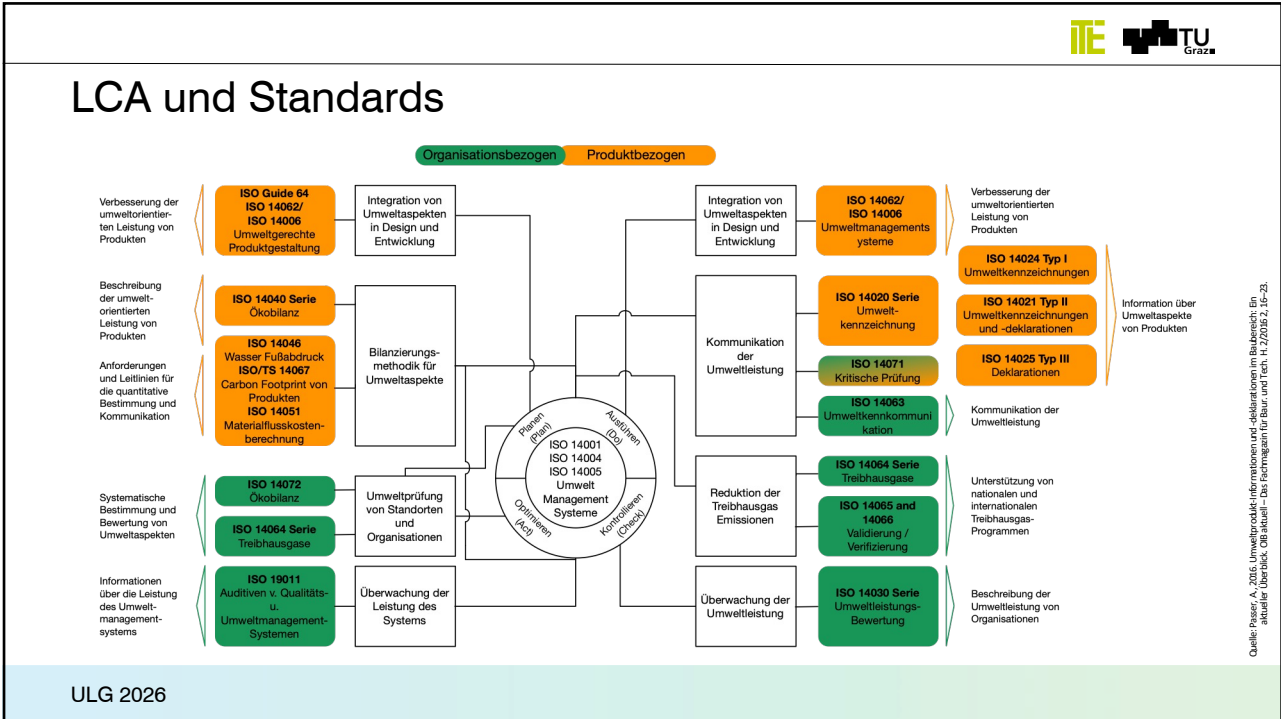
### Biogenic carbon content

- Biogenic carbon content in product
- Biogenic carbon content in accompanying packaging

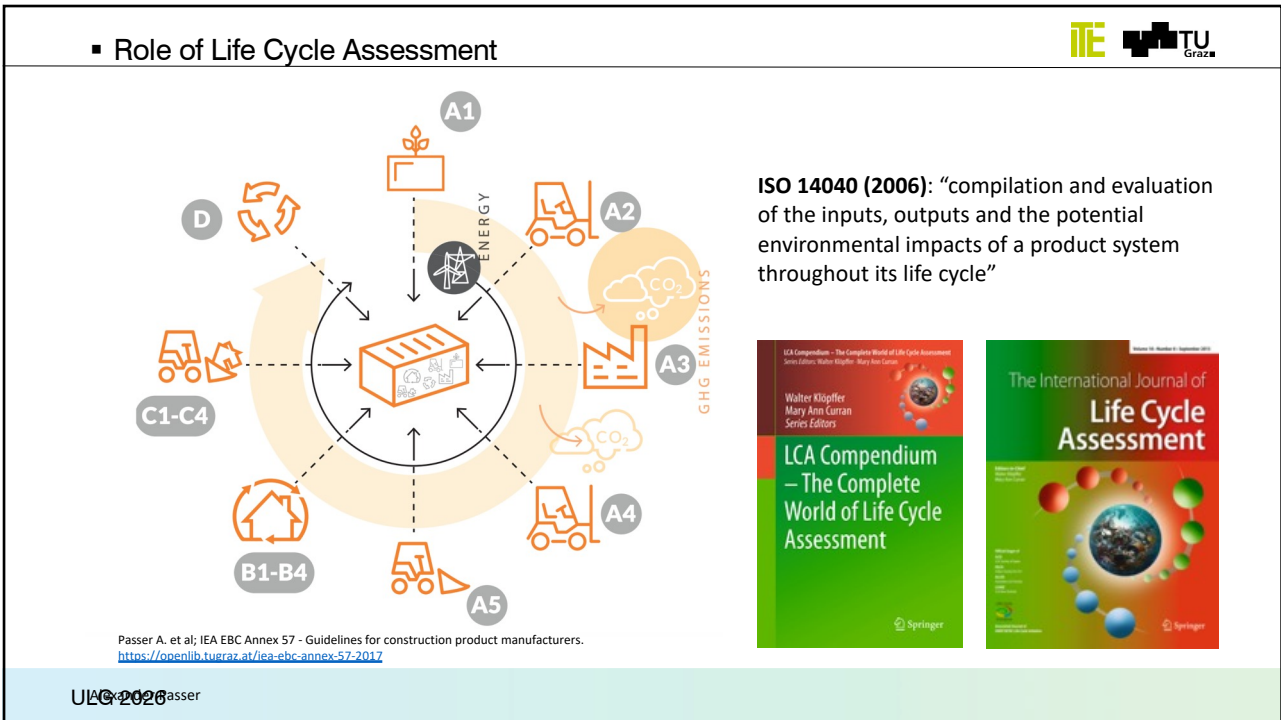
ULG 2026

293

293



294

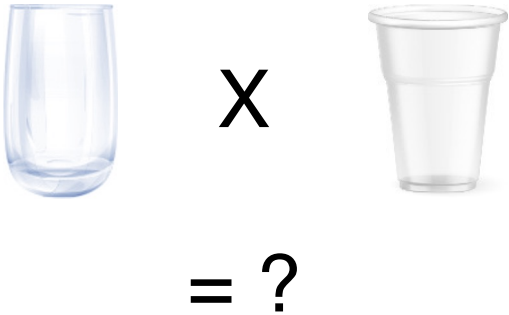


298

Global Context – LCA in the daily life

IE TU  
Graz

**How can LCA be useful for daily-life decisions?**




ULG 2026 Source: "Designed by macrovector / Freepik" / freepik.com 299

299

Global Context – LCA in the daily life

**How can LCA be useful for daily-life decisions?**




ULG 2026 Source: "Designed by macrovector / Freepik" / freepik.com

300

Life Cycle Assessment IE TU  
Graz

- Was ist ökologisch vorteilhafter?
- Wasser aus einem Plastikbecher oder aus einem Glas zu trinken?




ULG 2026 301

301

Life Cycle Assessment IE TU  
Graz

- Was ist ökologisch vorteilhafter?
- Wasser aus einem Plastikbecher oder aus einem Glas zu trinken?





**GLAS?!**  
 Was wäre, wenn Sie das Glas nach jedem Gebrauch mit heißem Wasser (unter Verwendung fossiler Brennstoffe als Wärmequelle) und mit Waschmittel waschen würden?

ULG 2026 302

302

Life Cycle Assessment IE TU  
Graz

- Was ist ökologisch vorteilhafter?
- Wasser aus einem Plastikbecher oder aus einem Glas zu trinken?


X


**GLAS?!**

Was wäre, wenn Sie das Glas nach jedem Gebrauch mit heißem Wasser (unter Verwendung fossiler Brennstoffe als Wärmequelle) und mit Waschmittel waschen würden?



**PLASTIKBECHER?!**

Was ist, wenn dieser nicht "adäquat" entsorgt wird?  
Oder, Sie tragen ihren Teil bei, bringen den Plastikbecher zu einem Recycling-Center (aber dieses ist weit weg, bzw. der Transport dort hin ist "ökologisch problematisch")

ULG 2026
303

303

Life Cycle Assessment IE TU  
Graz


X


**GLASS?!**

Was wäre, wenn Sie das Glas nach jedem Gebrauch mit heißem Wasser (unter Verwendung fossiler Brennstoffe als Wärmequelle) und mit Waschmittel waschen würden?

**PLASTIKBECHER?!**

Was ist, wenn dieser nicht "adäquat" entsorgt wird?  
Oder, Sie tragen ihren Teil bei, bringen den Plastikbecher zu einem Recycling-Center (aber dieses ist weit weg, bzw. der Transport dort hin ist "ökologisch problematisch")

**Antwort: ES HÄNGT VOM LEBENSZYKLUS AB**

ULG 2026
304

304

Life Cycle Assessment IE TU  
Graz

## Lebenszyklus eines Produktes oder Systems

Idee, Konzept, Design

Rohstoffgewinnung

Herstellung

Nutzung

Aktivitäten nach Ende des Lebenszykluses

ULG 2026305

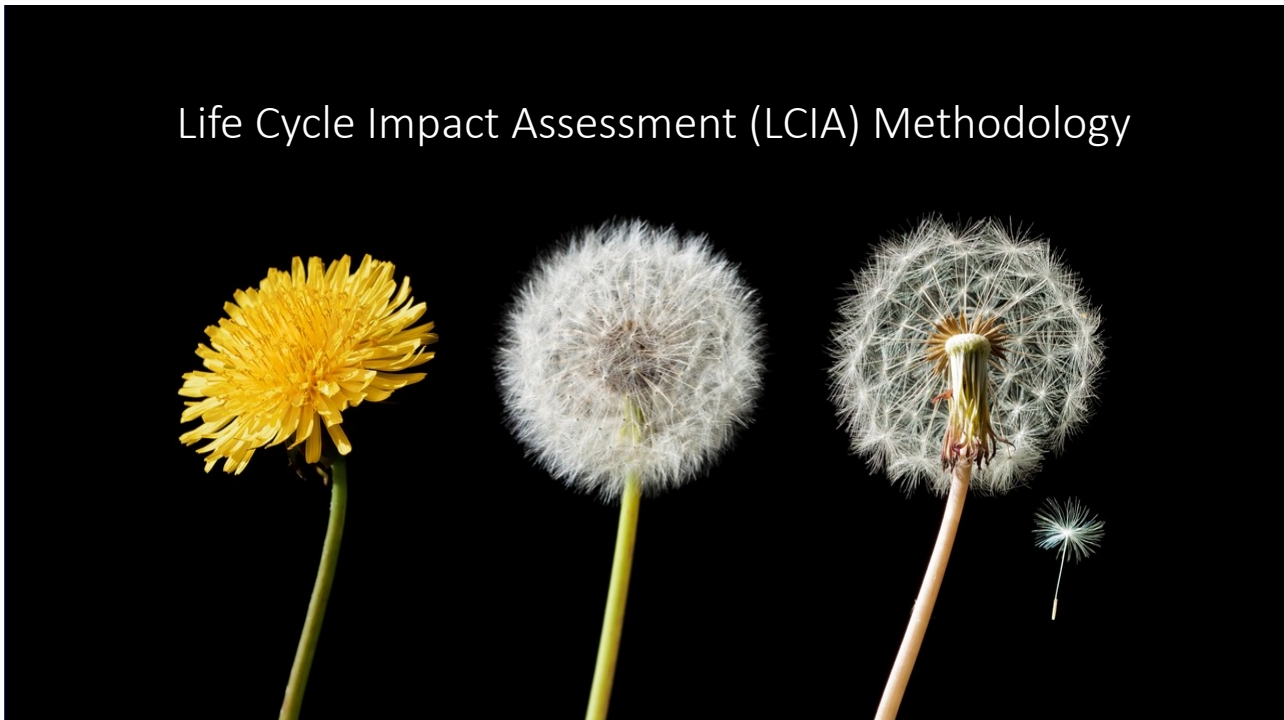
305

Life Cycle Assessment IE TU  
Graz


## Aber wie kann man diese Mengen messen? Und wie berechnet man ihren Beitrag zur Klimawirkung?

ULG 2026306


306




307

Life Cycle Assessment	
<h2>Einleitung</h2>	
<p>Die Ökobilanz kann helfen</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>beim Aufzeigen von Möglichkeiten zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten in den verschiedenen Phasen ihres Lebensweges;</i></li>   <li>▪ <i>zur Information von Entscheidungsträgern in Industrie, Regierungs- oder Nichtregierungsorganisationen (z. B. bei der strategischen Planung, Prioritätensetzung, Produkt- oder Prozessentwicklung oder entsprechenden Neuentwicklung);</i></li>   <li>▪ <i>beim Auswählen von relevanten Indikatoren der Umwelteigenschaften, einschließlich der zugehörigen, Messverfahren, und</i></li>   <li>▪ <i>beim Marketing (z. B. beim Implementieren einer Umweltkennzeichnung, beim Treffen einer Umweltaussage oder beim Erstellen einer Umweltdeklaration für ein Produkt).</i></li> </ul>	
ULG 2026	308

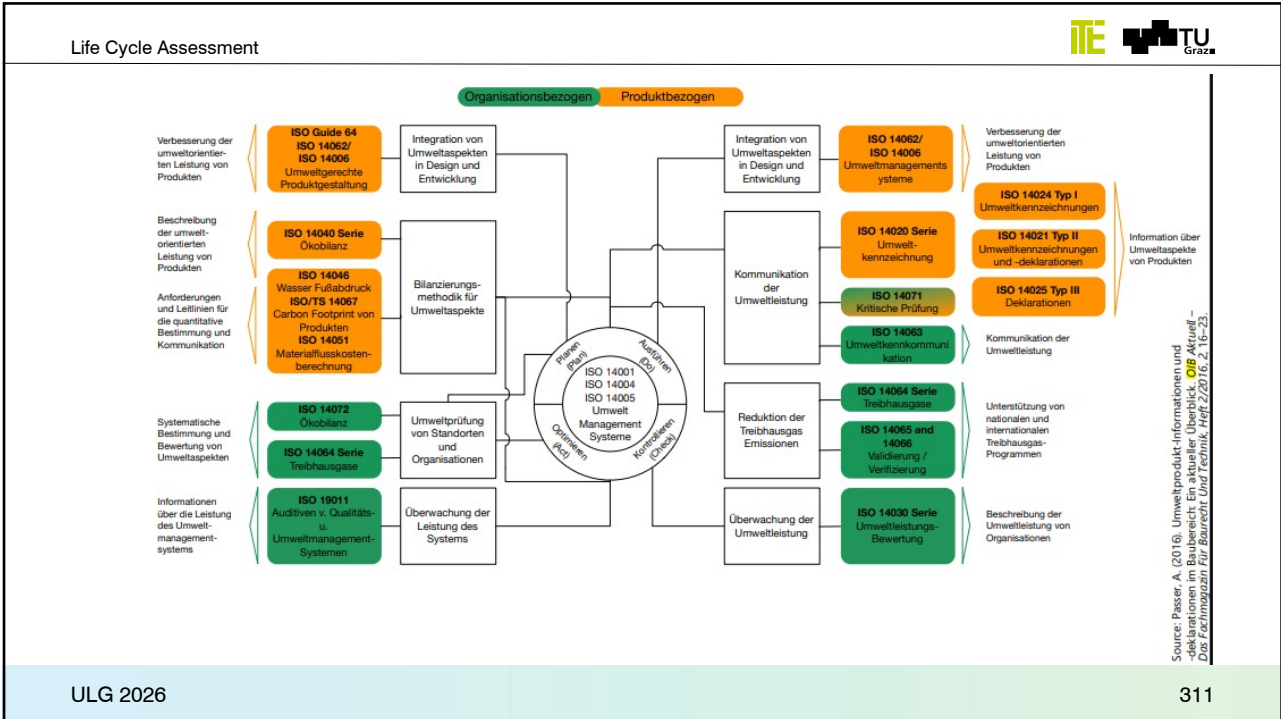
308

Life Cycle Assessment	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anforderungen an die Erstellung einer Ökobilanz sind für Ersteller von Ökobilanzen in der ÖNORM EN ISO 14044 detailliert dargestellt.</li> <li>▪ Die Ökobilanz bezieht sich auf die <b>Umweltaspekte</b> und <b>potentiellen Umweltwirkungen</b> im Verlauf des Lebensweges eines Produktes von der Rohstoffgewinnung über Produktion, Anwendung, Abfallbehandlung, Recycling bis zur endgültigen Beseitigung (d. h. "von der Wiege bis zur Bahre"). (z. B. Nutzung von Ressourcen und die Umweltauswirkungen von Emissionen)</li> </ul>	
ULG 2026	309

309

Life Cycle Assessment	
<p>Die Ökobilanz ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ eine von mehreren Umweltmanagementmethoden und ist nicht in jedem Fall die am besten geeignete Methode. (z. B. Risikoabschätzung, Beurteilung der Umweltleistung, Umweltaudits und Umweltverträglichkeitsprüfung)</li> <li>▪ Üblicherweise werden <b>ökonomische</b> oder <b>soziale Aspekte</b> eines Produktes bei Ökobilanzen nicht berücksichtigt,</li> <li>▪ Prinzipiell ist die Methode anwendbar auch auf diese anderen Aspekte.</li> </ul>	
ULG 2026	310

310



311

Life Cycle Assessment

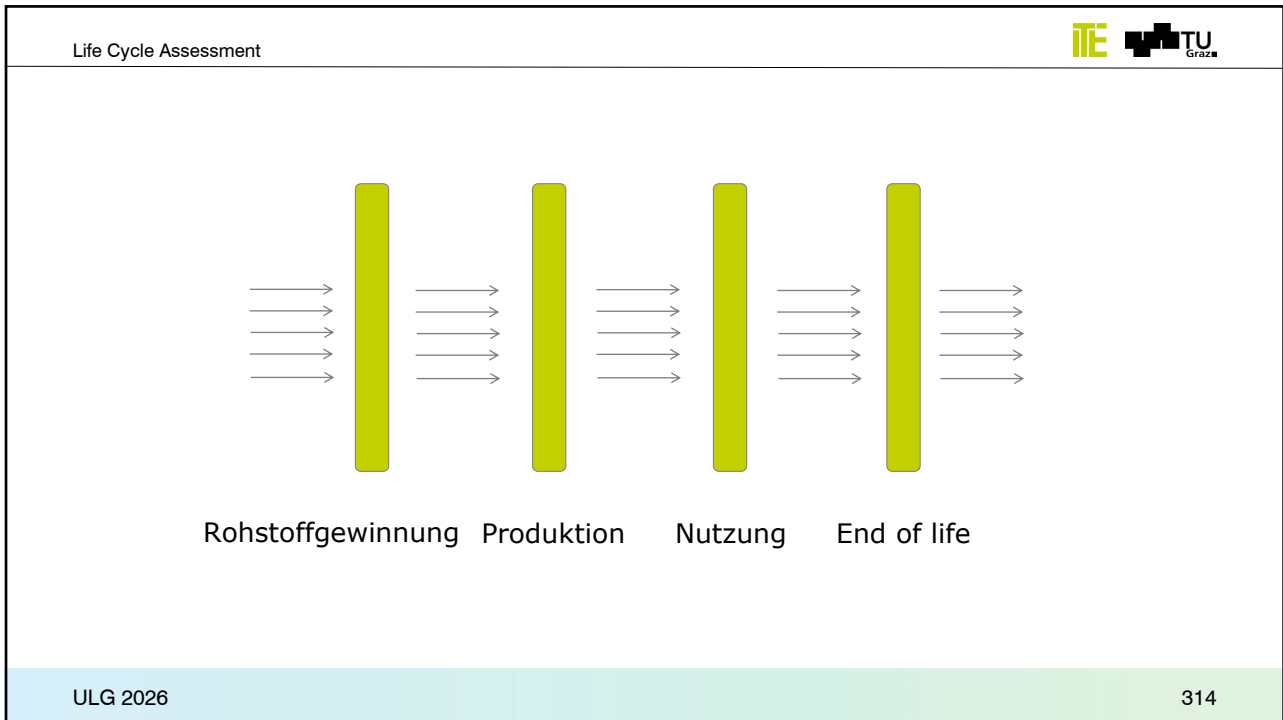
ISO 14040 (2006): "die Erfassung und Bewertung der Inputs, Outputs sowie der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems über seinen Lebenszyklus gesehen"

Bewerten Sie die Umweltwirkungen: Ressourcengewinnung, Herstellung, Nutzung und Entsorgung


ULG 2026

312

312




314

Life Cycle Assessment 

## Zeit für eine Breakoutsession!

Übung: Flussdiagramm eines Lebenszyklus  
Zeichnen Sie das Flussdiagramm des Lebenszyklus eines **Bleistifts**.  
Jedes Kästchen entspricht einem Prozess (nicht einem Fluss). Flüsse werden durch Pfeile dargestellt (es können viele sein!).

Tipp: Denken Sie an die Materialien, aus denen das Produkt besteht.



ULG 2026 316

316

Life Cycle Assessment IE TU  
Graz

**Übung: Flussdiagramm eines Lebenszyklus**

Zeichnen Sie das Flussdiagramm des Lebenszyklus eines Bleistifts.

Jeder Kästchen entspricht einem Prozess (nicht einem Fluss). Flüsse werden durch Pfeile dargestellt (es können viele sein!).

Tipp: Denken Sie an die Materialien, aus denen das Produkt besteht.

ULG 2026 317

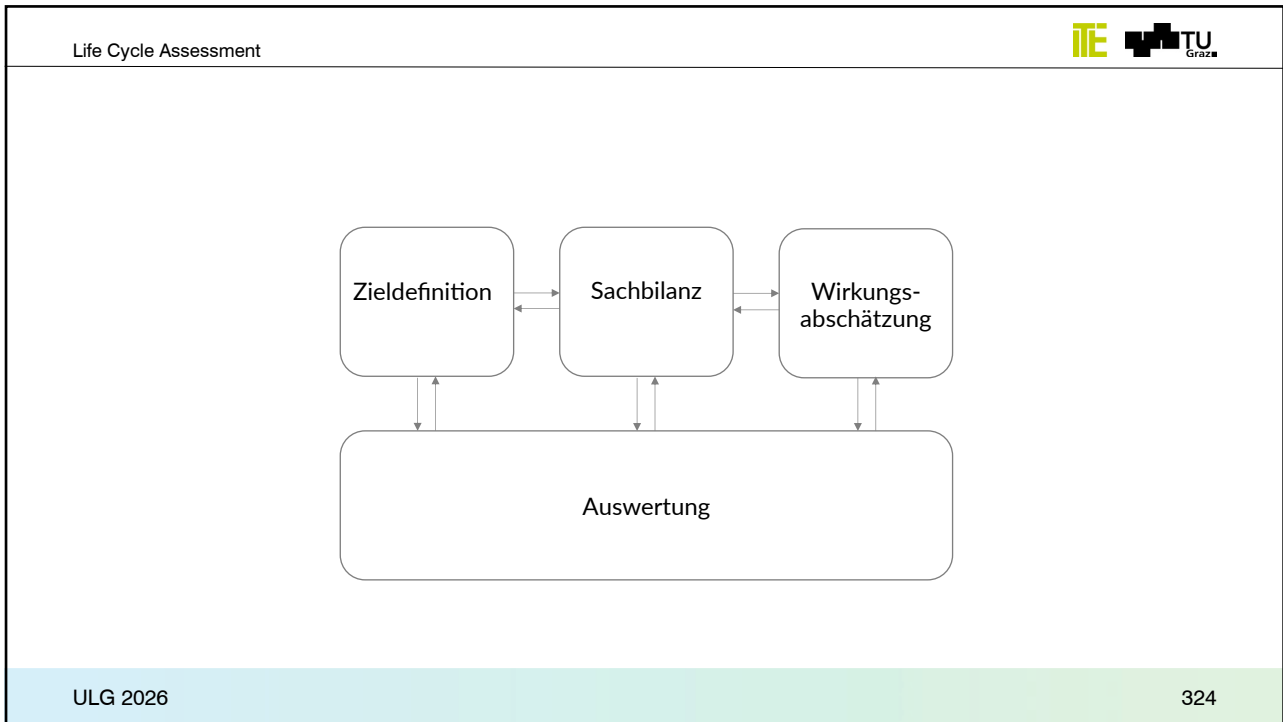
317

Life Cycle Assessment IE TU  
Graz

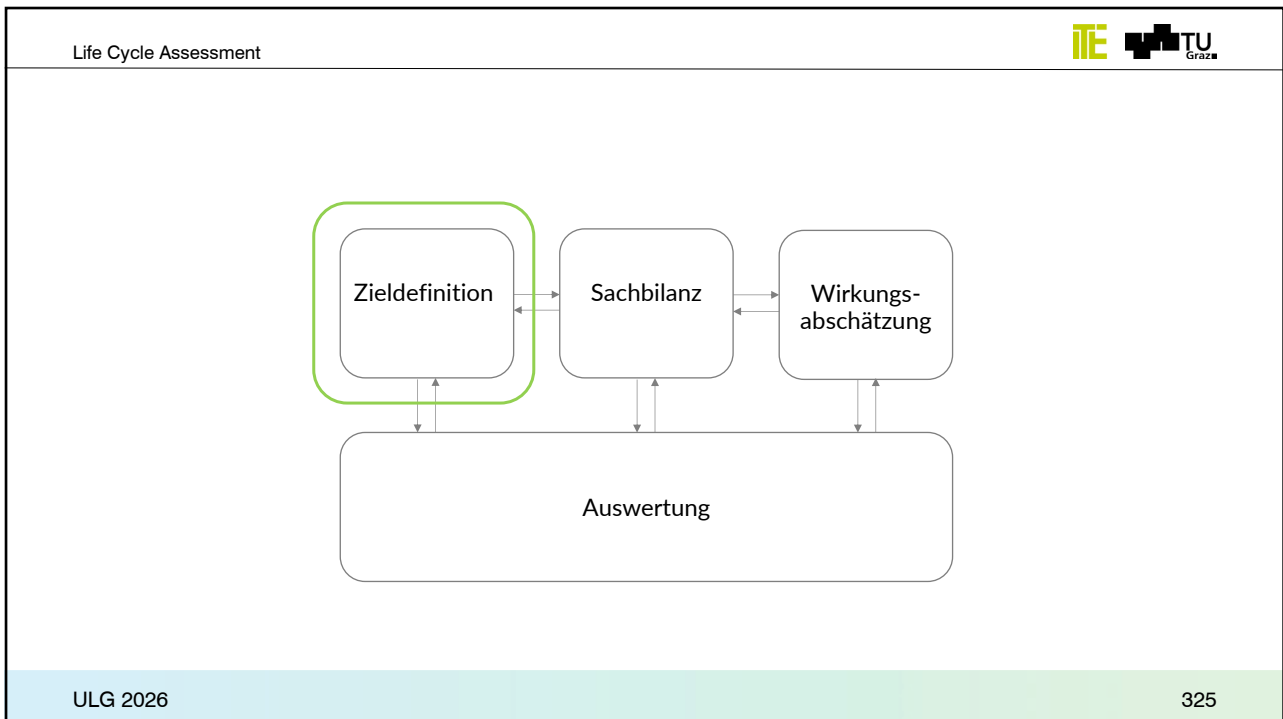
Dies ist in der ersten Stufe einer Ökobilanz zu definieren!

ULG 2026 323



323




324



325

Zieldefinition	
<p><b>Die Anfangsentscheidungen bestimmen den gesamten Arbeitsplan:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- die Frage, die mit Ökobilanz beantwortet werden soll;</li> <li>- die adressierte Zielgruppe;</li> <li>- die beabsichtigte Anwendung</li> </ul> <p>Zeitlicher, geografischer und technologischer Umfang</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anspruchsniveau in Bezug auf das Ziel</li> </ul>	
	
ULG 2026	326



326

Zieldefinition	
<p><b>Zieldefinition</b></p> <p>Legen Sie das Ziel so transparent und eindeutig wie möglich fest, nicht nur in Bezug auf das, was getan werden soll, sondern auch in Bezug auf den Grund, es zu tun.</p> <p>Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz klar auflisten</p> <p>Nach Durchführung der Ökobilanz zurückgehen und: Zielformulierung überprüfen (Anpassungsbedarf in der Interpretationsphase berücksichtigen)</p>	
	
ULG 2026	327

327

Zieldefinition	
<p><b>Definition des Geltungsbereichs</b></p> <p>Zeitlicher, geografischer und technologischer Geltungsbereich</p> <p>Kategorien der Umweltauswirkungen</p> <p>Detaillierungsgrad (vereinfacht, detailliert?)</p>	
	
ULG 2026	328

328

Zieldefinition	
<p><b>Definition des Geltungsbereichs</b></p> <p>funktionelle Einheit<sup>1</sup> und Referenzfluss<sup>2</sup></p> <p><sup>1</sup>"quantifizierte Leistung eines Produktsystems zur Verwendung als Referenzeinheit"</p> <p><sup>2</sup>"Maß für den Output von Prozessen in einem bestimmten Produktsystem, der erforderlich ist, um die durch die Funktionseinheit ausgedrückte Funktion zu erfüllen"</p>	
	
ULG 2026	329

IMPORTANT



329

Zieldefinition IE TU  
Graz

### Definition des Geltungsbereichs

funktionelle Einheit<sup>1</sup> und Referenzfluss<sup>2</sup>

<sup>1</sup>"quantifizierte Leistung eines Produktsystems zur Verwendung als Referenzeinheit"  
<sup>2</sup>"Maß für den Output von Prozessen in einem bestimmten Produktsystem, der erforderlich ist, um die durch die Funktionseinheit ausgedrückte Funktion zu erfüllen"



ULG 2026 330

330

Zieldefinition IE TU  
Graz

### Zeit für eine Breakoutsession!

Beste Lackmarke - welche funktionelle Einheit?





ULG 2026 331

331

Zieldefinition IIE TU  
Graz

Was? → Wie viel? → Wie gut? → Wie lange?



Beste Lackmarke - welche funktionelle Einheit ?

ULG 2026 333

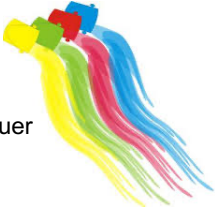
333

Zieldefinition IIE TU  
Graz

Was? → Wie viel? → Wie gut? → Wie lange?

**Funktionelle Einheit**  
 Vollständige Abdeckung von 1 m<sup>2</sup> grundierter Außenwand für 10 Jahre in Österreich mit einer einheitlichen Farbe bei 99,9% Deckkraft

**Referenzfluss:**  
 0,67 L Farbe auf Wasserbasis A (benötigt zwei Anstriche und einen Neuanstrich alle 5 Jahre)  
 0,9 L Farbe auf Wasserbasis B (geringer Wassergehalt, benötigt nur einen Anstrich und hält 2 1/2 Jahre, bis ein neuer Anstrich erforderlich ist)



ULG 2026 334

334

Zieldefinition

Was? → Wie viel? → Wie gut? → Wie lange?

Was? **Funktionelle Einheit** Wie viel? Was? Wie lange?

Vollständige Abdeckung von **1 m<sup>2</sup>** grundierter Außenwand für **10 Jahre** in Österreich mit einer einheitlichen Farbe bei 99,9% Deckkraft

**Referenzfluss:** Wie gut?

0,67 L Farbe auf Wasserbasis A (benötigt zwei Anstriche und einen Neuanstrich alle 5Jahre)  
 0,9 L Farbe auf Wasserbasis B (geringer Wassergehalt, benötigt nur einen Anstrich und hält 2 1/2 Jahre, bis ein neuer Anstrich erforderlich ist)

ULG 2026
335

335

Goal and scope definition

**Functional unit definition**

What? → How much? → How well? → How long?

**Functional Unit:**  
 Complete coverage of 1 m<sup>2</sup> primed outdoor wall for 10 years in Austria at a uniform color at 99.9% opacity

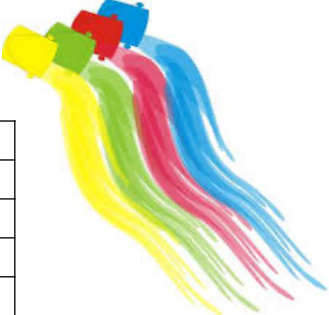
	Paint A	Paint B
Quantity	0.6 L/m <sup>2</sup>	0.9 L/m <sup>2</sup>
Number of application	2	1
Lifetime	5	2,5

Short exercise: what would be the reference flow for this FU?

ULG 2026
Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., & Olsen, S. I. (2018). Life cycle assessment (Vol. 2018). Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>
337

337


75

Goal and scope definition			IE TU Graz														
<b>Functional unit definition</b>																	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">           What? → How much? → How well? → How long?         </div>																	
<b>Functional Unit:</b> Complete coverage of 1 m <sup>2</sup> primed outdoor wall for 10 years in Austria at a uniform color at 99.9% opacity																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Paint A</th> <th>Paint B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Quantity</td> <td>0.6 L/m<sup>2</sup></td> <td>0.9 L/m<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Number of application</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Lifetime</td> <td>5</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td><b>Reference flow</b></td> <td><b>2.4 L of paint</b></td> <td><b>3.6 L paint</b></td> </tr> </tbody> </table>					Paint A	Paint B	Quantity	0.6 L/m <sup>2</sup>	0.9 L/m <sup>2</sup>	Number of application	2	1	Lifetime	5	2,5	<b>Reference flow</b>	<b>2.4 L of paint</b>
	Paint A	Paint B															
Quantity	0.6 L/m <sup>2</sup>	0.9 L/m <sup>2</sup>															
Number of application	2	1															
Lifetime	5	2,5															
<b>Reference flow</b>	<b>2.4 L of paint</b>	<b>3.6 L paint</b>															
<b>The reference flow is the amount of product (or service) that is needed to realise the functional unit!</b>																	
ULG 2026	<small>Hauschild, M. Z., Rosenbaum, R. K., &amp; Olsen, S. I. (2018). Life cycle assessment (Vol. 2018). Springer International Publishing, Cham. <a href="https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3">https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3</a></small>		338														


338

Zieldefinition		IE TU Graz
<h2>Häufige Fehler bei der Definition von funktionellen Einheiten</h2>		
1. Annahme, dass die gleiche physikalische Menge des Produkts der gleichen Funktion entspricht : Beispiel: "1 kg Verpackungsmaterial" Erläuterung: Eine physikalische Menge ist keine Funktion!		
2. Übermäßig restriktiv sein: Beispiel: "Fernsehen soll mit einem fixen 30 W Stromverbrauch für 1000h möglich sein" Erläuterung: Ein fixer Stromverbrauch für die Benutzung eines Fernsehers ist nicht relevant. Eine FE deckt nur das ab, was sich auf die Funktion des Produkts bezieht (Fernsehen).		
3. Falsche Verwendung von technischen Normen oder gesetzlichen Vorgaben: Beispiel: "Fahren von 1000 durchschnittlichen Personenkilometern mit einem Diesel-Pkw, der die Euro-6-Norm erfüllt und damit während der Nutzung weniger als 0,08 g NOX pro km (Euro-6-Norm) ausstößt" Erläuterung: Ein Pkw, der die Euro 6-Norm erfüllt, kann je nach Fahrweise, Klima usw. mehr NOX als 0,08 g/km emittieren.		
ULG 2026	<small>Source: Hauschild et al (2018)</small>	
		340

340

Zieldefinition	
<h2>Häufige Fehler bei der Definition von funktionellen Einheiten</h2>	
<p>1. Annahme, dass die gleiche physikalische Menge des Produkts der gleichen Funktion entspricht :</p> <p>Beispiel: "1 kg Verpackungsmaterial"</p> <p>Erläuterung: Eine physikalische Menge ist keine Funktion!</p>	
<p>2. Übermäßig restriktiv sein:</p> <p>Beispiel: "Fernsehen soll mit einem fixen 30 W Stromverbrauch für 1000h möglich sein"</p> <p>Erläuterung: Ein fixer Stromverbrauch für die Benutzung eines Fernsehers ist nicht relevant. Eine FE deckt nur das ab, was sich auf die Funktion des Produkts bezieht (Fernsehen).</p>	
<p>3. Falsche Verwendung von technischen Normen oder gesetzlichen Vorgaben:</p> <p>Beispiel: "Fahren von 1000 durchschnittlichen Personenkilometern mit einem Diesel-Pkw, der die Euro-6-Norm erfüllt und damit während der Nutzung weniger als 0,08 g NOX pro km (Euro-6-Norm) ausstößt"</p> <p>Erläuterung: Ein Pkw, der die Euro 6-Norm erfüllt, kann je nach Fahrweise, Klima usw. mehr NOX als 0,08 g/km emittieren.</p>	
ULG 2026	Source: Hauschild et al (2018) 341

341

Zieldefinition	
<h2>Häufige Fehler bei der Definition von funktionellen Einheiten</h2>	
<p>1. Annahme, dass die gleiche physikalische Menge des Produkts der gleichen Funktion entspricht :</p> <p>Beispiel: "1 kg Verpackungsmaterial"</p> <p>Erläuterung: Eine physikalische Menge ist keine Funktion!</p>	
<p>2. Übermäßig restriktiv sein:</p> <p>Beispiel: "Fernsehen soll mit einem fixen 30 W Stromverbrauch für 1000h möglich sein"</p> <p>Erläuterung: Ein fixer Stromverbrauch für die Benutzung eines Fernsehers ist nicht relevant. Eine FE deckt nur das ab, was sich auf die Funktion des Produkts bezieht (Fernsehen).</p>	
<p>3. Falsche Verwendung von technischen Normen oder gesetzlichen Vorgaben:</p> <p>Beispiel: "Fahren von 1000 durchschnittlichen Personenkilometern mit einem Diesel-Pkw, der die Euro-6-Norm erfüllt und damit während der Nutzung weniger als 0,08 g NOX pro km (Euro-6-Norm) ausstößt"</p> <p>Erläuterung: Ein Pkw, der die Euro 6-Norm erfüllt, kann je nach Fahrweise, Klima usw. mehr NOX als 0,08 g/km emittieren.</p>	
ULG 2026	Source: Hauschild et al (2018) 342

342

Goal and scope definition IE TU  
Graz

### Homework: functional unit of a fridge

ULG 2026

343

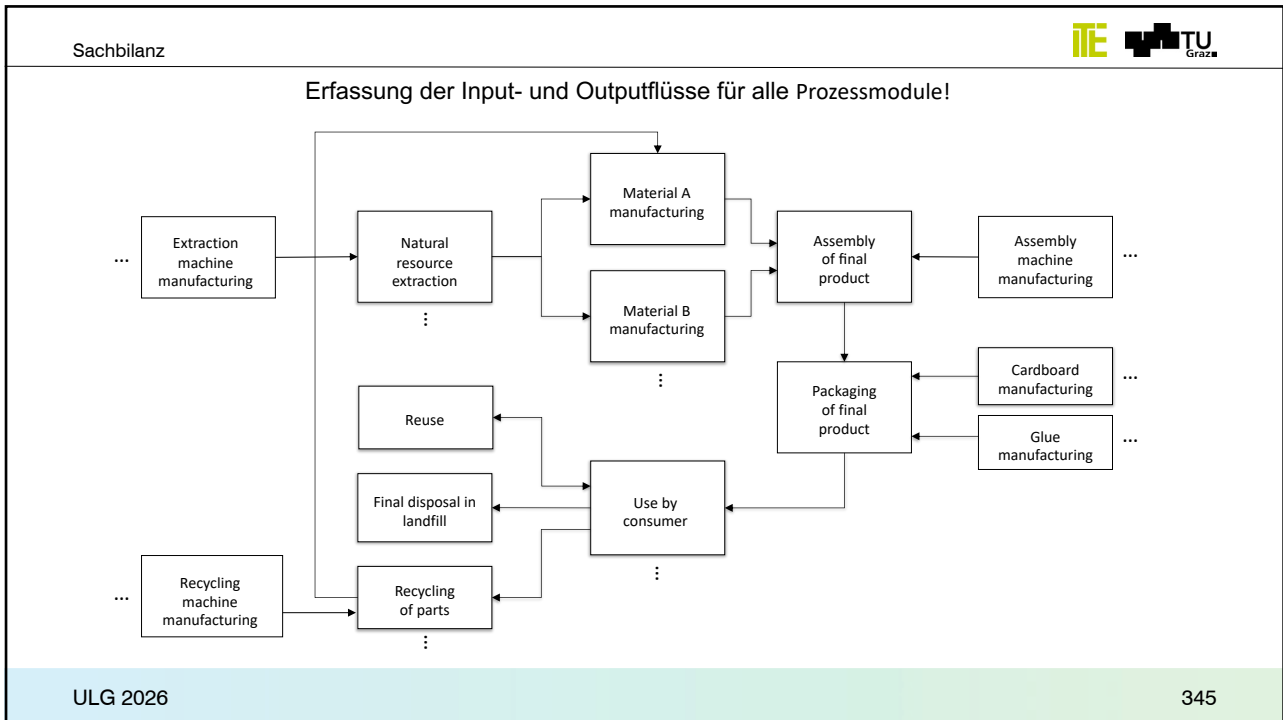
IE TU  
Graz

Beschreibung des  
Prozesses und  
Definition der  
Funktionseinheit

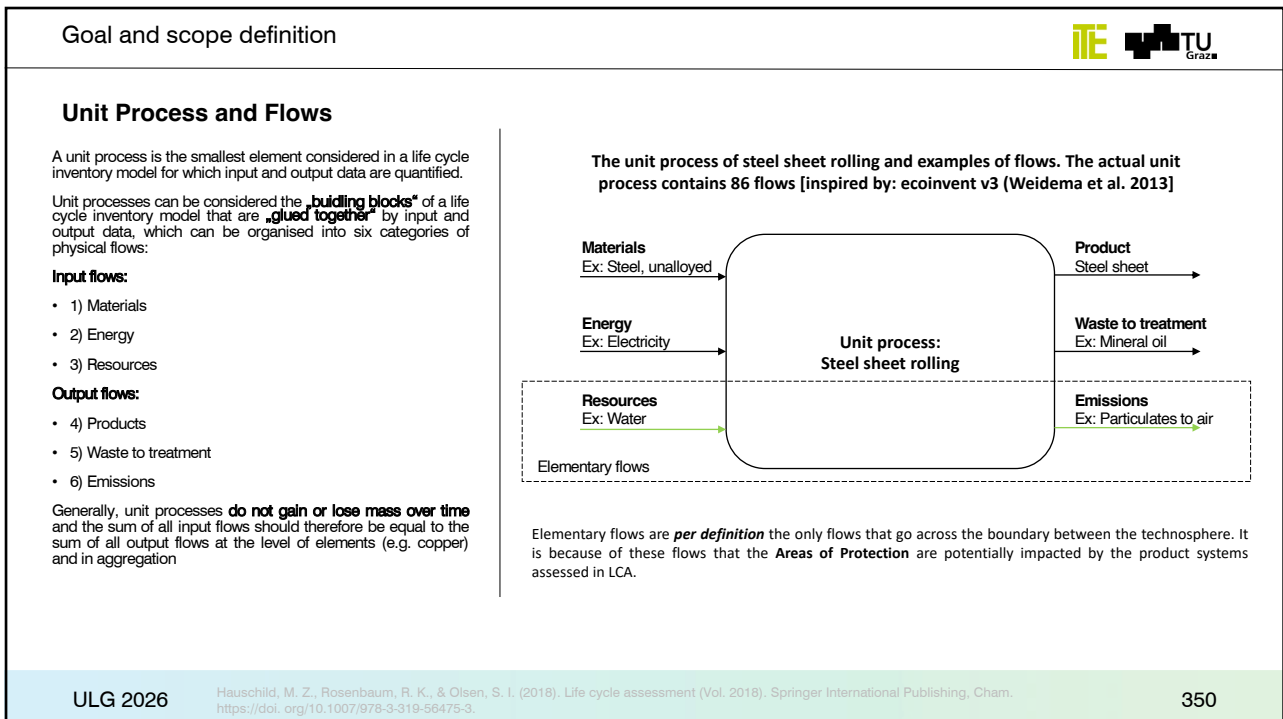
Bilanzierung

ULG 2026
344

344



345



350

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** product system x environment **Homework 2:** Upload your scan to the TC until Monday 13.10.

**Exercise in pairs 10 Minutes:** 🤔

**Add to your flowchart of a pencil's life cycle:**

- Functional Unit
- Reference Flow
- Product flows, waste flows and mark the elementary flows.
- The technosphere and ecosphere boundary.
- Differentiation between foreground and background system.
- Additional flows if needed

ULG 2026 Source: Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen S.I. Life cycle assessment: theory and practice. Springer International Publishing (2017), 10.1007/978-3-319-56475-3 355

355

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** product system x environment

ULG 2026 Source: Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen S.I. Life cycle assessment: theory and practice. Springer International Publishing (2017), 10.1007/978-3-319-56475-3 356

356

Goal and scope definition

**IE** **TU**  
Graz

**Boundaries:** multifunctionality

**IMPORTANT**

More on that next session!

ULG 2026 357

357

Goal and scope definition

**IE** **TU**  
Graz

**Boundaries:** multifunctionality

**Connected life cycles: how to distribute the responsibility for environmental impacts?**

Examples:

- A cattle farm producing milk and meat
- A refinery producing two different types of fuels
- Coal-based electricity generation: producing electricity and fly ash (sold to make cement)

**IMPORTANT**

More on that next session!

ULG 2026 358

358

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** multifunctionality

**Connected life cycles: how to distribute the responsibility for environmental impacts?**

ISO 14040:2006

Stepwise hierarchic procedure to distribute flows in multifunctional processes

---

ULG 2026 359

359

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** multifunctionality

**Connected life cycles: how to distribute the responsibility for environmental impacts?**

ISO 14040:2006

Subdivision

Rarely works - e.g. not possible to physically separate the metabolic processes in the cow that lead to the production of milk and meat

---

ULG 2026 Source: Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen S.I. Life cycle assessment: theory and practice. Springer International Publishing (2017). 10.1007/978-3-319-56475-3 360

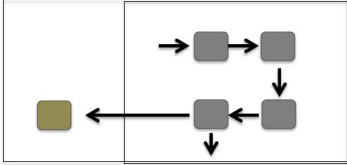
360

Goal and scope definition IE TU  
Graz

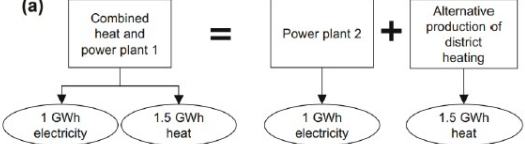
**Boundaries:** multifunctionality

**Connected life cycles: how to distribute the responsibility for environmental impacts?**

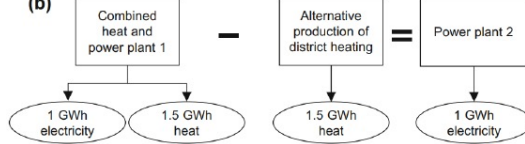
ISO 14040:2006 System expansion



(a)



(b)



ULG 2026 361

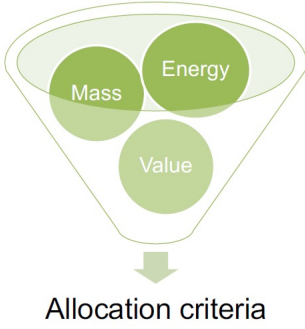
361

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** multifunctionality

**Connected life cycles: how to distribute the responsibility for environmental impacts?**

ISO 14040:2006 Allocation



Sensitivity analysis paramount!

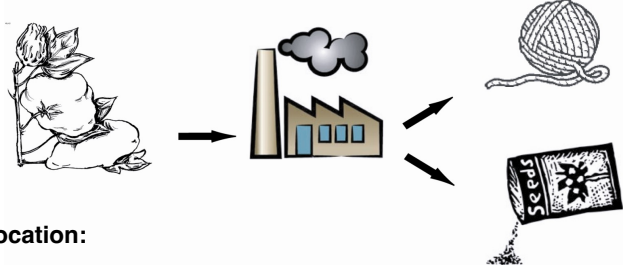
ULG 2026 362

362

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** allocation

How do we split impact between a product and a co-product?



**1) Avoid allocation:**  
**Separation**  
 Separation of multi-functional systems into mono-functional ones.  
**Or System expansion approach**  
 Include both products in the functional unit.

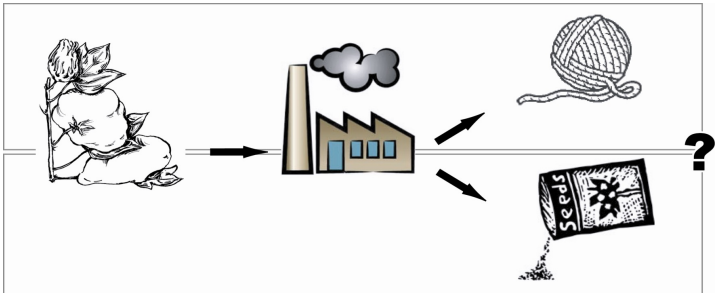
ULG 2026 363

363

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** allocation

**2) If allocation cannot be avoided:**  
**Imputation method**  
 Split flows depending on the relative responsibility of both products...  
 Mass attribution  
 Energetic allocation, chemical allocation, etc. (linked with physical values)  
 Or linked with non-physical values: money.



ULG 2026 364

364

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** allocation

**2) If allocation cannot be avoided:**  
**Imputation method**  
 Split flows depending on the relative responsibility of both products...

Mass attribution  
 Energetic allocation, chemical allocation, etc. (linked with physical values)  
 Or linked with non-physical values: money.

ULG 2026 365

365

Goal and scope definition IE TU  
Graz

**Boundaries:** allocation

**2) If allocation cannot be avoided:**  
**Imputation method**  
 Split flows depending on the relative responsibility of both products...

Mass attribution  
 Energetic allocation, chemical allocation, etc. (linked with physical values)  
 Or linked with non-physical values: money.

ULG 2026 366

366

Goal and scope definition

**Boundaries: allocation**

Does your system contain **MULTI-FUNCTIONAL** processes (i.e. processes that provide more than one function or that deliver several products and/or services ["co-products"])?

**YES**

Check whether guidance on allocation rules at sectorial level exists for the affected processes

Can **SUBDIVISION** or **SYSTEM EXPANSION** be applied?

Apply **SUBDIVISION** or **SYSTEM EXPANSION**

**NO**

Can **ALLOCATION BASED ON A RELEVANT UNDERLYING PHYSICAL RELATIONSHIP** be applied?

Apply **ALLOCATION**

**NO**

Apply **ALLOCATION BASED ON SOME OTHER RELATIONSHIP** (e.g. according to the economic value)

Proceed with next step

**NO**

Can you think of a product where economic allocation is a better choice than any physical allocation?

ULG 2026 Source: <https://dx.doi.org/10.3217/978-3-85125-519-5> 367

367

Sachbilanz

Erfassung aller Input- und Outputflüsse aller Prozessmodule!

Und wie sieht es nun aus?

Extraction machine manufacturing

Natural resource extraction

Material A manufacturing

Material B manufacturing

Assembly of final product

Assembly machine manufacturing

Reuse

Final disposal in landfill

Use by consumer

Recycling machine manufacturing

Recycling of parts

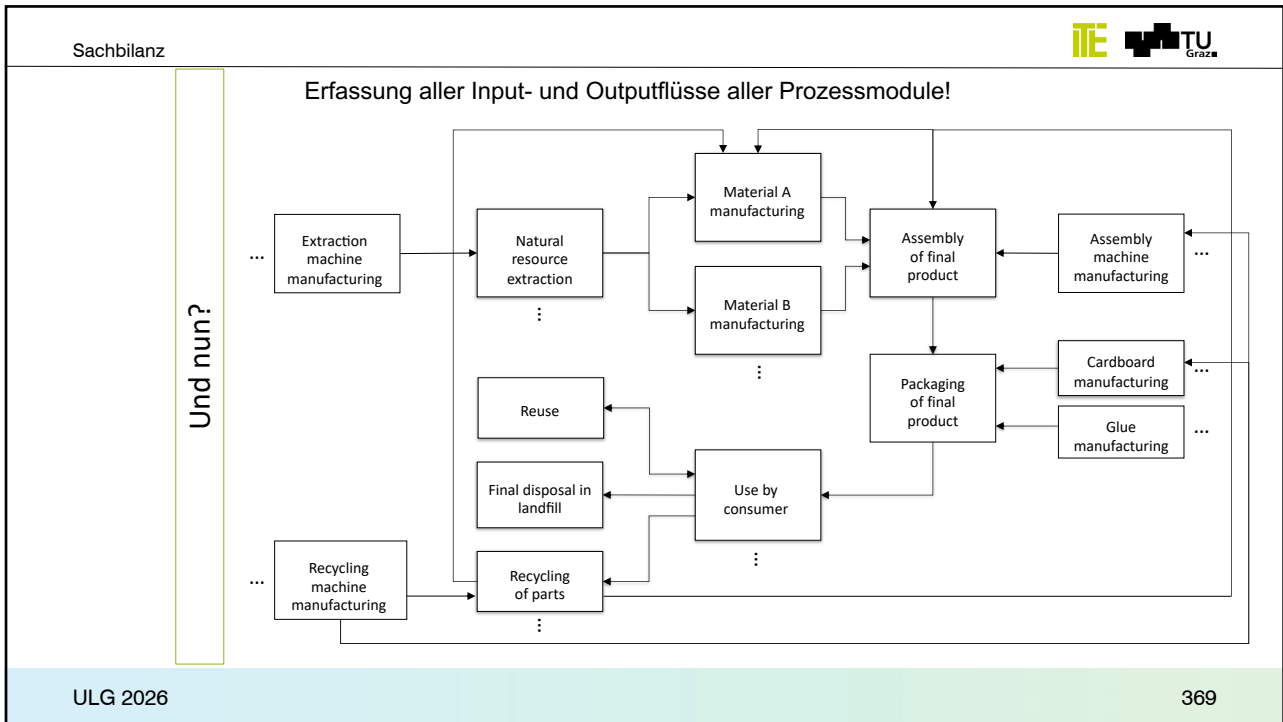
Packaging of final product

Cardboard manufacturing

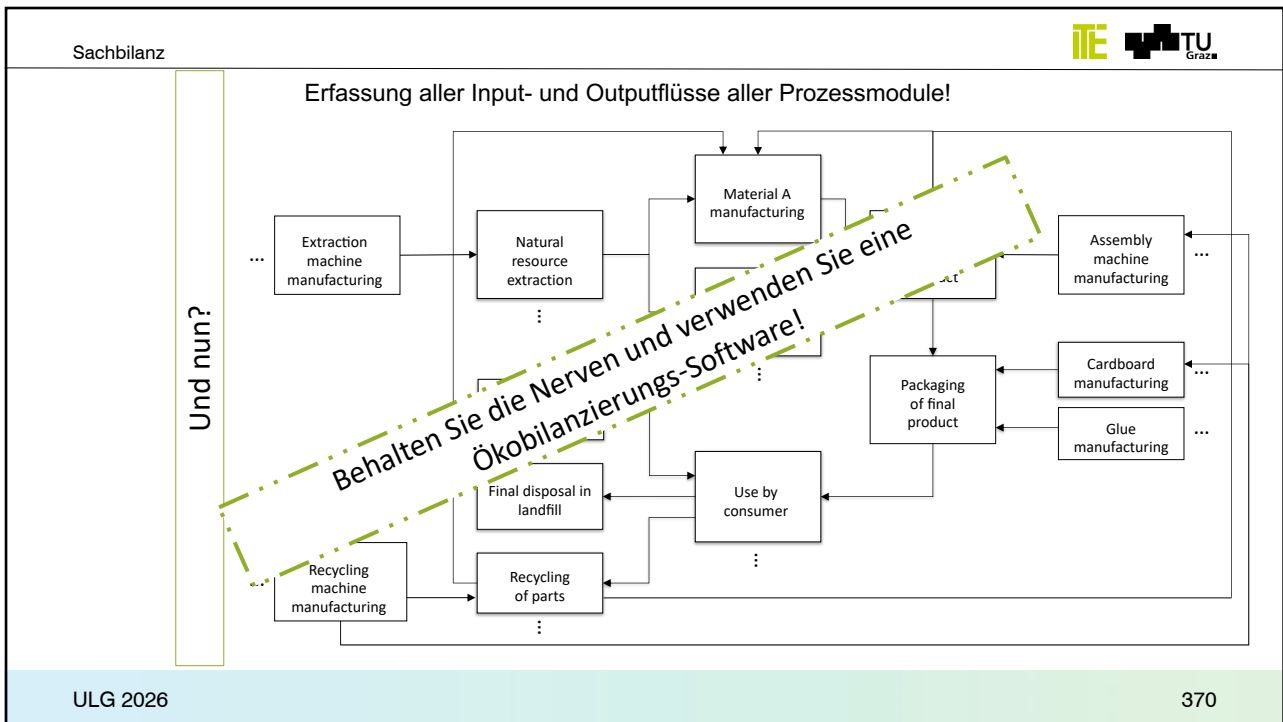
Glue manufacturing

ULG 2026 368

368




369



370

Sachbilanz IE TU  
Graz

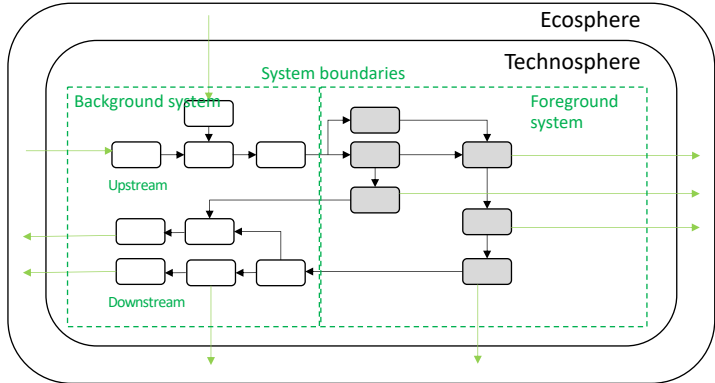



Lange Liste aller  
verbrauchten  
Ressourcen und  
erzeugten  
Emissionen während  
eines  
Lebenszykluses des  
Produkts


ULG 2026 371

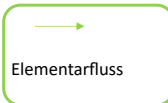
371


Sachbilanz IE TU  
Graz



  
 Prozess

  
 Produkt oder Abfall\*  
 fluss (Zwischen-  
produkt)

  
 Elementarfluss



Hauschild, M.Z., Rosenbaum, R.K., Olsen S.I. Life cycle assessment: theory and practice. Springer International Publishing (2017), 10.1007/978-3-319-56475-3

ULG 2026 382

382

Sachbilanz



Erfassung aller Input- und Outputflüsse aller Prozessmodule!




And now?

Behalten Sie die Nerven und verwenden Sie eine Ökobilanzierungs-Software!

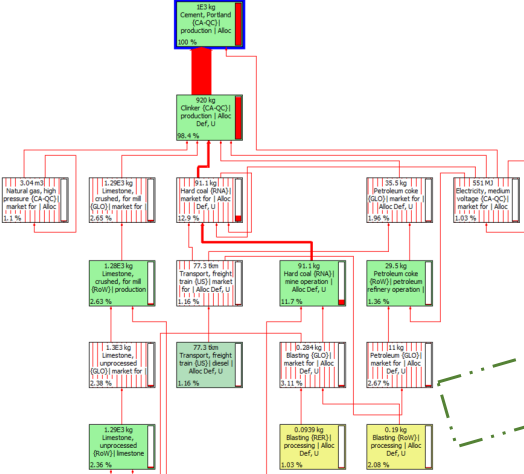
ULG 2026 383

383

Sachbilanz



Wenn Sie sich auf die Rechenleistung einer Software verlassen:




14 Prozesseinheiten eines Zementproduktionsprozesses

ULG 2026 384

384

Sachbilanz IE TU  
Graz

**Wenn Sie sich auf die Rechenleistung einer Software verlassen:**



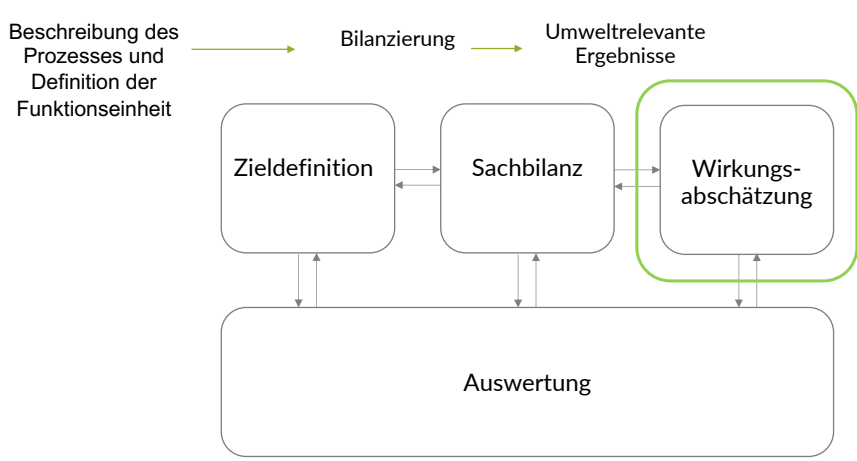
Darstellung: Fast alle Unit-Processes der Zementherstellung!  
Stellen Sie sich vor, Sie machen dies händisch...

ULG 2026 385

385

IE TU  
Graz

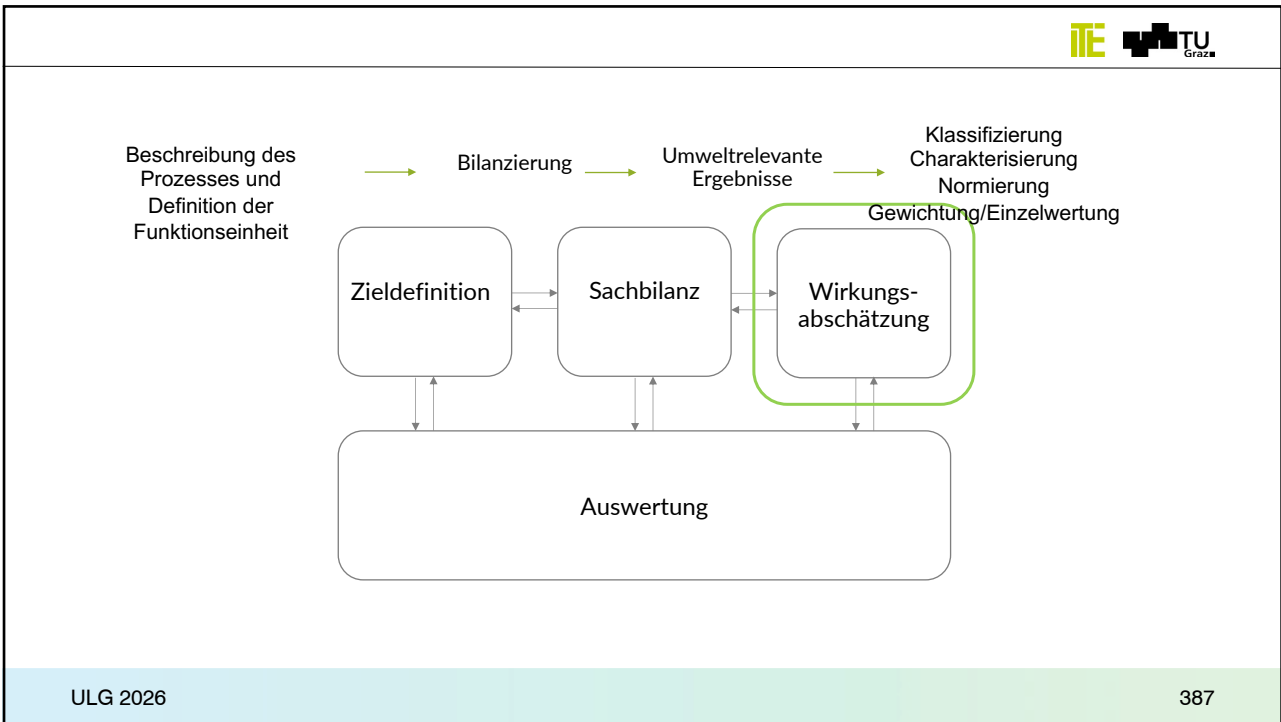
Beschreibung des Prozesses und Definition der Funktionseinheit → Bilanzierung → Umweltrelevante Ergebnisse



```
graph TD; A[Beschreibung des Prozesses und Definition der Funktionseinheit] --> B[Bilanzierung]; B --> C[Umweltrelevante Ergebnisse]; subgraph Process; direction LR; D[Zieldefinition] <--> E[Sachbilanz]; E <--> F[Wirkungsabschätzung]; end; G[Auswertung]; D <--> G; E <--> G; F <--> G; style F stroke:#00FF00,stroke-width:2px;
```

ULG 2026 386

386



387



388

Wirkungsabschätzung

Die Teilbereiche der Wirkungsabschätzung

The diagram illustrates the components of impact assessment. At the top, a vertical axis is labeled 'Optional' (upward arrow) and 'Verpflichtend' (downward arrow). The components are stacked vertically: 'Klassifizierung' (bottom, red and green bars), 'Charakterisierung' (middle, red and green bars), 'Normierung' (middle, green and blue bars), and 'Gewichtung Einzelwerte' (top, red, blue, and green bars). A small bar chart at the top right shows a stack of colored bars with 'Pt' on the y-axis. Below the components is a table with 5 columns and 5 rows.

ULG 2026

389

389

Wirkungsabschätzung





Die Teilbereiche der Wirkungsabschätzung

The diagram illustrates the components of impact assessment. At the top, a vertical axis is labeled 'Optional' (upward arrow) and 'Verpflichtend' (downward arrow). The components are stacked vertically: 'Klassifizierung' (bottom, red and green bars), 'Charakterisierung' (middle, red and green bars), 'Normierung' (middle, green and blue bars), and 'Gewichtung Einzelwerte' (top, red, blue, and green bars). A small bar chart at the top right shows a stack of colored bars with 'Pt' on the y-axis. Below the components is a table with 5 columns and 5 rows.





ULG 2026

390

390


Wirkungsabschätzung			
<b>Flow</b>	<b>LCI</b>		
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX		
CO <sub>2</sub> , fossil	XX		
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX		
CH <sub>4</sub> , fossil	XX		
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX		
NH <sub>3</sub>	XX		
N <sub>2</sub> O	XX		
SO <sub>2</sub>	XX		
NO <sub>2</sub>	XX		
CO	XX		
Cd	XX		
Zn	XX		
Cu	XX		
N	XX		
P	XX		
K	XX		
		Klimawandel	
		Versauerung	
		Eutrophierung	
ULG 2026		391	

391


Wirkungsabschätzung			
<b>Flow</b>	<b>LCI</b>		
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX		
CO <sub>2</sub> , fossil	XX		
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX		
CH <sub>4</sub> , fossil	XX		
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX		
NH <sub>3</sub>	XX		
N <sub>2</sub> O	XX		
SO <sub>2</sub>	XX		
NO <sub>2</sub>	XX		
CO	XX		
Cd	XX		
Zn	XX		
Cu	XX		
N	XX		
P	XX		
K	XX		
		Klimawandel	
		Versauerung	
		Eutrophierung	
ULG 2026		392	

392

Wirkungsabschätzung



Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX



Klimawandel


Gemessen über die Treibhauswirksamkeit: die Nettoänderung der Energiebilanz des Erdsystems aufgrund einer aufgetretenen Störung. Gemessen in (W/m<sup>2</sup>), quantifiziert das Energiegleichgewicht, welches während der aufgetretenen Änderung stattfindet.

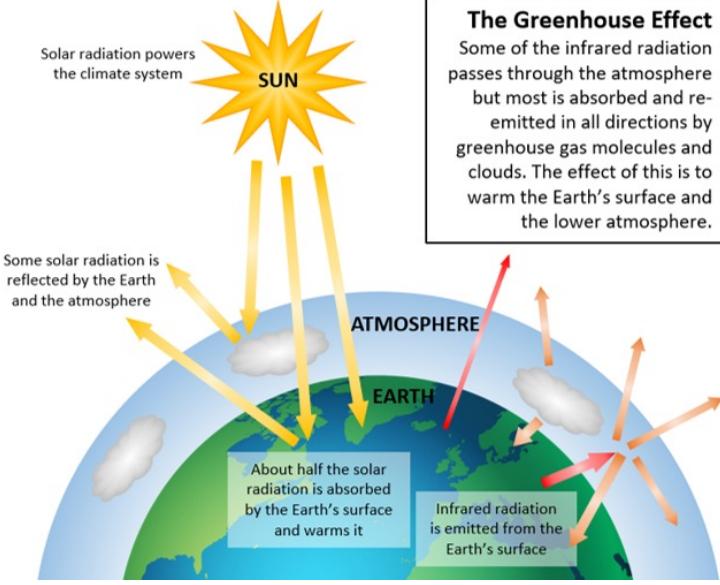
Source: IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 8: "Energy Fluxes, Energy Balance, and the Earth's Energy Budget". Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2013, pp. 48-53.

ULG 2026
393

393

Wirkungsabschätzung





**The Greenhouse Effect**  
 Some of the infrared radiation passes through the atmosphere but most is absorbed and re-emitted in all directions by greenhouse gas molecules and clouds. The effect of this is to warm the Earth's surface and the lower atmosphere.


ULG 2026
394

394


Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX


Klimawandel



Versauerung



Eutrophierung




ULG 2026 395

395


Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX


Klimawandel



Versauerung



Eutrophierung




eine Abnahme der säureneutralisierenden Kapazität des Systems bzw. eine Verringerung der Menge an Substanzen im System, die in der Lage sind, dem System zugeführte Wasserstoffionen zu neutralisieren.


ULG 2026 396

Rosenbaum et al (2008) in M.Z. Hauschild et al. (eds.), Life Cycle Assessment, DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3\_30


396

Wirkungsabschätzung



Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX



Klimawandel



Versauerung



Eutrophierung


$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3 \rightarrow 2H^+SO_3^{2-}$$

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow 2H^+SO_4^{2-}$$


Rosenbaum et al (2018) in M.Z. Hauschild et al. (eds.), Life Cycle Assessment, DOI 10.1007/978-3-319-56475-3\_10

ULG 2026
397


397

Wirkungsabschätzung



Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX



Klimawandel




Versauerung



Eutrophierung


ULG 2026
398

398




Wirkungsabschätzung


Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX



Klimawandel



Versauerung




Eutrophierung

die Anreicherung des Gewässers mit Nährsalzen, die zur erhöhten Biomasseproduktion von planktischen Algen, gelatinösem Zooplankton und höheren Wasserpflanzen führt - die Verschlechterung der Wasserqualität und eine veränderte Artenzusammensetzung des Ökosystems.

Rosenbaum et al (2018) in M.Z. Hauschild et al. (eds.), Life Cycle Assessment, DOI 10.1007/978-3-319-56475-3\_10


ULG 2026
399

399




Wirkungsabschätzung


Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX



Klimawandel



Versauerung



Eutrophierung

Emissions von N oder P-hältigen Stoffen

Rosenbaum et al (2018) in M.Z. Hauschild et al. (eds.), Life Cycle Assessment, DOI 10.1007/978-3-319-56475-3\_10


ULG 2026
400

400


Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX


Klimawandel



Versauerung



Eutrophierung

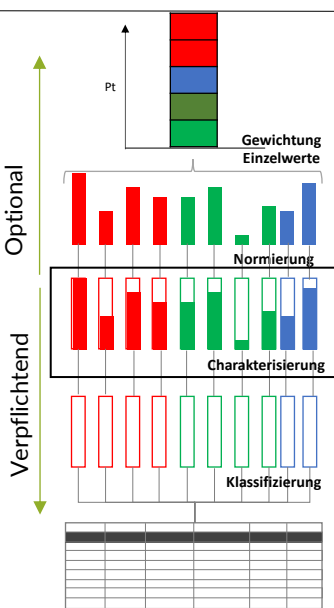


ULG 2026
401

401

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

### Die Teilbereiche der Wirkungsabschätzung



ULG 2026
402

402

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	1 XX
CO <sub>2</sub> , fossil	1 XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	25,25 XX
CH <sub>4</sub> , fossil	28 XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	28 XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX

Klimawandel

in kg CO<sub>2eq</sub>

alle Elementarflüsse in der Sachbilanz werden danach bewertet, inwieweit sie zu einer Umweltwirkung beitragen

ULG 2026 403

403

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	1 XX
CO <sub>2</sub> , fossil	1 XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	25,25 XX
CH <sub>4</sub> , fossil	28 XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	28 XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX

Klimawandel

in kg CO<sub>2eq</sub>

$$IS_c = \sum_i (CF_i \cdot E_i)$$

alle Elementarflüsse E, die einer bestimmten Wirkungskategorie c zugeordnet sind, werden mit ihrem jeweiligen Charakterisierungsfaktor CF multipliziert und über alle relevanten Eingriffe i (Emissionen oder Ressourcenentnahmen) summiert, was zu einem **Wirkungsergebnis** IS für die Umweltwirkungskategorie führt

Rosenbaum et al (2008) in M.Z. Hauschild et al. (eds.), Life Cycle Assessment, DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3\_10

ULG 2026 404


404


**IE TU**  
Graz


Wirkungsabschätzung

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	1 XX
CO <sub>2</sub> , fossil	1 XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	25,25 XX
CH <sub>4</sub> , fossil	28 XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	28 XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX

in kg CO<sub>2eq</sub>

Klimawandel 

in kg SO<sub>2eq</sub> Versauerung 

in kg PO<sub>4</sub><sup>3-eq</sup> Eutrophierung 

ULG 2026 405

405

**IE TU**  
Graz

Treibhausgaspotenzial

**Treibhausgase wirken unterschiedlich stark** auf den Treibhauseffekt  
Angabe des Treibhauspotenzials im Vergleich zu 1 kg CO<sub>2</sub>  
→ CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>-eq)

### Global Warming Potential Values

Global warming potential (GWP) values relative to CO<sub>2</sub>

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP values for 100-year time horizon		
		Second Assessment Report (SAR)	Fourth Assessment Report (AR4)	Fifth Assessment Report (AR5)
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	1	1	1
Methane	CH <sub>4</sub>	21	25	28
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	310	298	265

ULG 2026 406

406

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

### Die Teilbereiche der Wirkungsabschätzung

The diagram illustrates the components of impact assessment, categorized into Mandatory and Optional stages. The components are: Klassifizierung, Charakterisierung, Normierung, and Gewichtung Einzelwerte. A vertical axis indicates 'Optional' (top) and 'Mandatory' (bottom) stages. A bar chart shows 'Pt' (Points) for each category.

ULG 2026 407

407

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX

in kg CO<sub>2eq</sub>

Klimawandel

in kg SO<sub>2eq</sub>

Versauerung

in kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>eq

Eutrophierung

ULG 2026 408

408

Wirkungsabschätzung

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX

in kg CO<sub>2eq</sub>

Klimawandel

in kg SO<sub>2eq</sub>

Versauerung

in kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>eq

Eutrophierung

diese mit einander in Beziehung zu setzten und zu entscheiden, welche groß und welche klein sind ist nicht möglich

ULG 2026
409

409

Wirkungsabschätzung

Flow	LCI
CO <sub>2</sub> , non fossil	XX
CO <sub>2</sub> , fossil	XX
CH <sub>4</sub> , non fossil	XX
CH <sub>4</sub> , fossil	XX
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , non fossil	XX
NH <sub>3</sub>	XX
N <sub>2</sub> O	XX
SO <sub>2</sub>	XX
NO <sub>2</sub>	XX
CO	XX
Cd	XX
Zn	XX
Cu	XX
N	XX
P	XX
K	XX

in kg CO<sub>2eq</sub>

Klimawandel

in kg SO<sub>2eq</sub>

Versauerung

in kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>eq

Eutrophierung


Normierung –  
relativiert die Indikatoren (um Vergleiche zu unterstützen) -  
die potenziellen Auswirkungen des Produkts werden mit  
denen eines Referenzsystems (eines Landes, global oder eines  
bestimmten Industriesektors) verglichen.  
Gemeinsamer Maßstab!


ULG 2026
410


Rosenbaum et al (2018) in M.Z. Hauschild et al. (eds.), Life Cycle Assessment, DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3\_10


410

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Klimawandel 

Versauerung 

Eutrophierung 



Gesamtwirkung, welche Wirkungspotenziale groß und welche klein sind, relativ zum Bezugssystem.


- Abdruck der relativen Größenordnungen
- Ergebnisse in einer für die spätere Gewichtung geeigneten Form
- Kontrolle der Konsistenz und Zuverlässigkeit
- Kommunikation der Ergebnisse


Rosenbaum et al (2018) in M.Z. Hauschild et al. (eds.), Life Cycle Assessment, DOI 10.1007/978-3-319-56475-3\_10


ULG 2026 411


411

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Klimawandel 

Versauerung 

Eutrophierung 



Ergebnisse (normalisiert):

$$N = \frac{C}{R}$$

C- Ergebnis der Charakterisierung  
R- Referenzwert für die Wirkungskategorie

- Dimensionslos
- Manche ForscherInnen empfehlen es globale Referenzwerte zu verwenden (Pizzol et al, 2017)

DOI 10.1007/s11367-016-1199-1

ULG 2026 412

412

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

## Die Teilbereiche der Wirkungsabschätzung

The diagram illustrates the sub-areas of impact assessment. It is divided into four main stages from bottom to top: **Klassifizierung** (Classification), **Charakterisierung** (Characterization), **Normierung** (Normalization), and **Gewichtung Einzelwerte** (Weighting individual values). A vertical axis on the left indicates that the bottom two stages (Klassifizierung and Charakterisierung) are **Mandatory** (represented by red bars), while the top two stages (Normierung and Gewichtung Einzelwerte) are **Optional** (represented by green bars). A bar chart shows the relative weights (Pt) for each category, with a legend indicating 'Gewichtung Einzelwerte'.

ULG 2026 413

413

Wirkungsabschätzung IE TU  
Graz

Klimawandel

Versauerung

Eutrophierung

Normalisierung - Anwendung unterschiedlicher oder gleicher Gewichte auf jeden Kategorie-Indikator.

Keine wissenschaftliche oder objektive Grundlage für diesen Schritt! Subjektive Entscheidungen.

- Weitere Aggregation
- Vergleich über Wirkungskategorien hinweg
- Kommunikation der Ergebnisse

Rosenbaum et al (2018) in M.Z. Hauschild et al. (eds.), Life Cycle Assessment, DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3\_30


ULG 2026 414

414

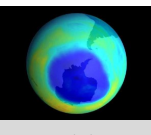
**IE TU Graz**

### Wirkungsabschätzung

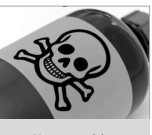
**Carbon footprint**



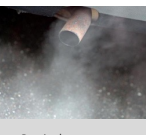
Global warming



Ozone depletion




Human toxicity




Particulate matter


**Environmental footprint**




Acidification



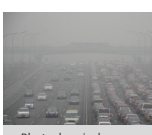
Eutrophication




Radiation



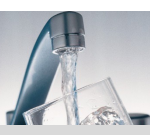
Ecotoxicity



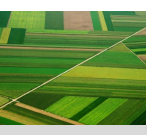
Photochemical ozone creation



Depletion of resources



Water scarcity



Land use

ULG 2026

415

415

**IE TU Graz**

### Vergleich zwischen der EC PEF und der EN 15804-Methode

Kriterium	EC PEF	EN 15804
	<b>Ressourcen-Nutzung und Emissionen / Sachbilanz</b>	
Anforderungen an die Datenqualität	Strenge Anforderungen für PEF-Studien, die für die externe Kommunikation bestimmt sind.	Die Daten sollen so aktuell wie möglich sein (aktualisiert innerhalb von 10 Jahren für generische Daten und 5 Jahren für spezifische Daten); 1 Jahr gemittelte Daten sind i.A. zu verwenden; technologische Repräsentativität muss die physische Realität widerspiegeln.
Spezifische Daten	Obligatorisch für alle Vordergrundprozesse und für Hintergrundprozesse falls anwendbar	Erste Wahl: spezifische + durchschnittliche (generische) Daten; Allerdings wird auf den CEN TR 15941 verwiesen, nach dem auch generische Daten für herstellereinspezifische Prozesse verwendet werden können.

Kriterium	EC PEF	EN 15804
Generische Daten	Nur für Hintergrundprozesse. Wenn verfügbar, branchenspezifische generische Daten anzustreben von generischen Multi-Sektor-Daten; die Daten sollen die PEF-Qualitätsanforderungen erfüllen. Achtung zur Auswahl von default- und generischen Daten in Methodendokument und den jeweiligen spezifischen PEFCRs. Empfohlene Quellen werden benannt.	Verwendung für Prozesse, die der Hersteller nicht beeinflussen kann; Dokumentationen der technischen, geographischen und zeitbezogenen Repräsentativität müssen zur Verfügung gestellt werden.
Abschneideregeln	i.A. nicht erlaubt	1 % des erneuerbaren / nicht erneuerbaren Primärenergiegebrauchs; 1 % der gesamten Masse des Einheitsprozesses; Insignifikant-energetische Stoffe und Energierisiken max. 5 %
Umgang mit Datenlücken	Alle Datenlücken müssen mit Hilfe von besten verfügbaren generischen oder extrapolierten Daten geschlossen werden. Insgesamt soll dies nicht mehr als 10 % des Gesamteintrags für die jeweilige Wirkungskategorie sein.	Bei unzureichenden Daten oder Datenlücken gemäß den Abschneideregeln erlaubt
End of life (EoL) Allokation	Muss eingeschlossen werden: Bis das Produkt zur Natur als Abfall zurückgeführt wird oder in einen anderen Produkt-Lebenszyklus eintritt. Derzeit vorgeschlagene EoL-Allokationsansätze (Allokation) basieren auf dem ISO 14043. Weitere Verteilungsoptionen und kombinierte Ansätze werden derzeit getestet, bei denen Teile der Prozess-/Lebenszyklus einer quantitativen Analyse unterworfen sind und andere qualitative Beschreibungen der potenziellen Umwelt-Hotspots erfordern.	Die EoL-Systemgrenze ist (gleich wie beim PEF) dort, wo das Ende des Abfall-Zustands erreicht ist; Das sind EoL-Prozesse des Abfalls vorursachen Prozess, weitere für die Verabreichung erforderlichen, um Primärmaterial oder Brennstoffersatz eines anderen Produktsystems zu ersetzen. Solche Prozesse werden außerhalb der Systemgrenze betrachtet und sind daher dem optionalen Information-Modell zugeordnet.

Wirkungsabschätzung				
Anzahl der Wirkungskategorien	14	7		
Indikatoren (und Modelle – falls ersind)	Indikator	Modell	Indikator	Modell/Methode
Treibhauspotential – Global warming potential (GWP)	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.	Bern model (IPCC)	kg CO <sub>2</sub> -Äqv.	IPCC / CML v.4.1 2012
Abbaupotential der stratosphärischen Ozonschicht – Ozone depletion potential (ODP)	kg CFC-11-Äqv.	EDIP model based on WMO	kg CFC-11 eq.	CML v.4.1 2012
Ökotoxizität – Ecotoxicity for aquatic fresh water	CTUx (Comparative Toxic Unit for ecosystem)	USEtox model	-	-
Humantoxizität – Human Toxicity – cancer effects	CTUh (Comparative Toxic Unit for humans)	USEtox model	-	-
Humantoxizität – Human Toxicity – non-cancer effects	-	-	-	-
Feinstaub – Particulate Matter/Respiratory Inorganics	kg PM 2.5-Äqv.	RiskPoll model	-	-
Ionisierende Radiation – human health effects	kg U 235-Äqv. (to air)	Human Health effect model	-	-
Bildungspotential für troposphärisches Ozon – Photochemical ozone formation potential (POCP)	kg NWDQ-Äqv.	LOTOS-EUROS model	kg Ethen-Äqv.	CML v.4.1 2012

<sup>1</sup> <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013H0179&qrom=EN>

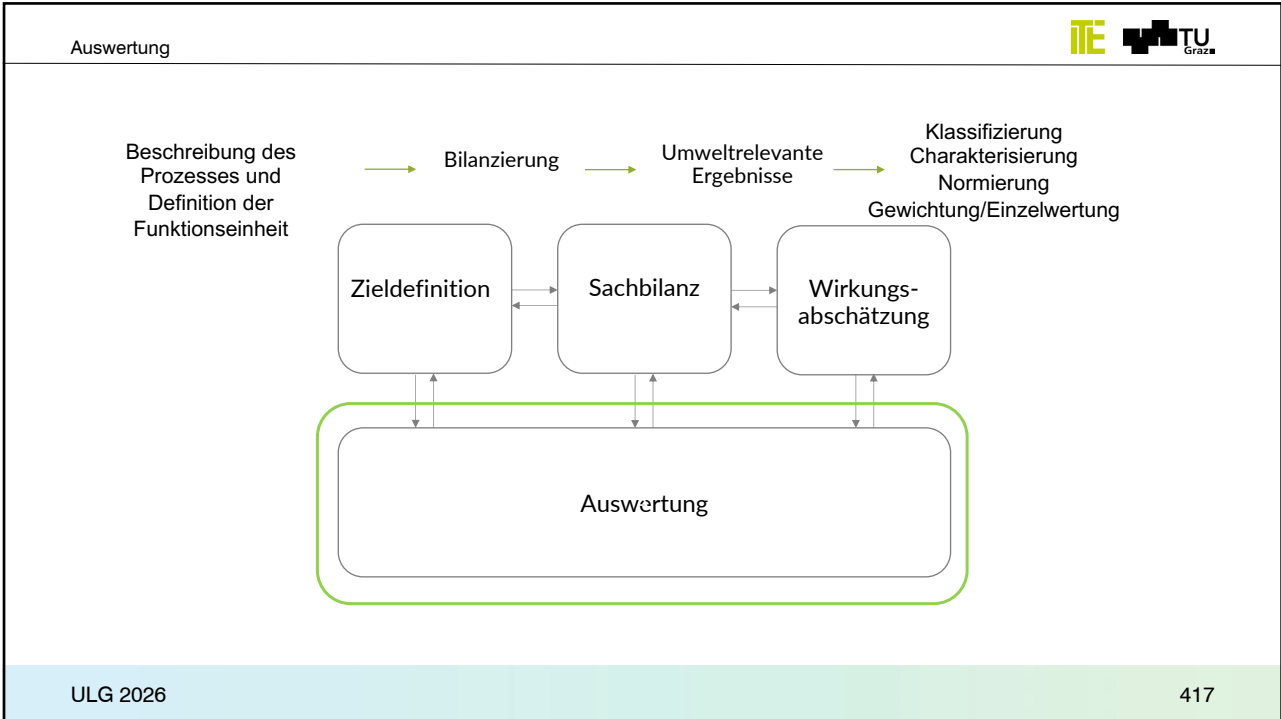
<sup>2</sup> [https://ec.europa.eu/environment/assess/imgw/ef\\_pillars.htm](https://ec.europa.eu/environment/assess/imgw/ef_pillars.htm)

<sup>3</sup> <https://webgate.ec.europa.eu/efri/wiki/display/EUENFP/PEF+Environmental+Footprints+Pilot+Phase>

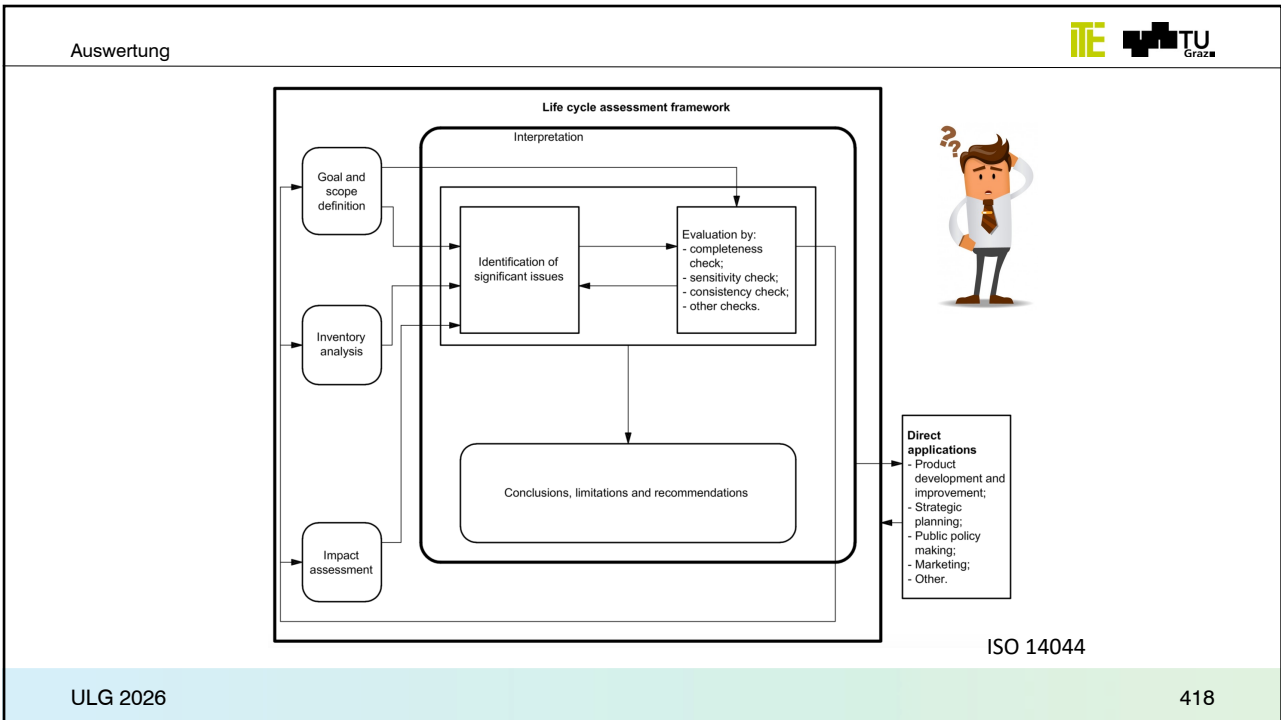
ULG 2026

416


Source: Passer, A. (2016). Umweltprodukt-Informationen und -deklarationen im Baubereich. Ein aktueller Überblick. ÖIB Aktuell – Das Fachmagazin für Baurecht und Technik, Heft 2/2016, S. 16–23.



417

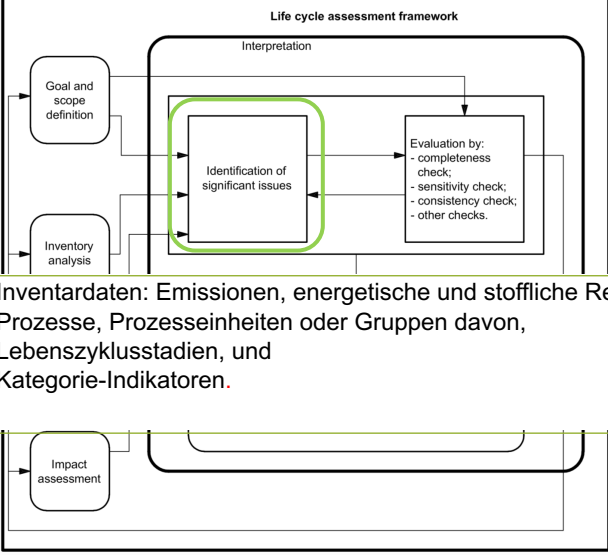



418



Auswertung

Life cycle assessment framework






- einzelne Inventardaten: Emissionen, energetische und stoffliche Ressourcen, Abfälle, etc,
- einzelne Prozesse, Prozesseinheiten oder Gruppen davon,
- einzelne Lebenszyklusstadien, und
- einzelne Kategorie-Indikatoren.

ISO 14044

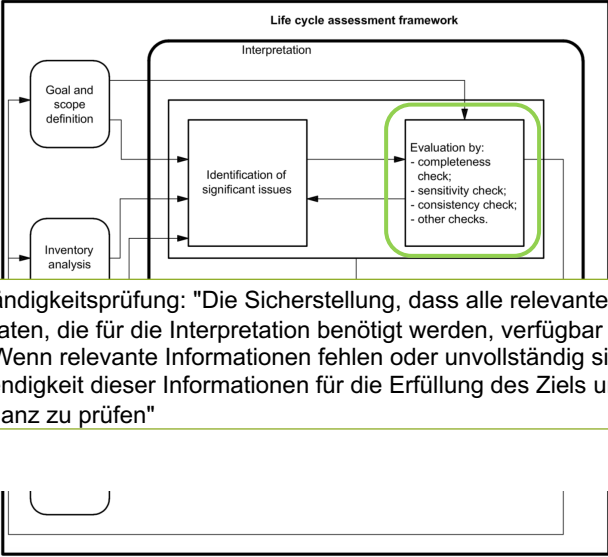
ULG 2026
419


419



Auswertung

Life cycle assessment framework





Vollständigkeitsprüfung: "Die Sicherstellung, dass alle relevanten Informationen und Daten, die für die Interpretation benötigt werden, verfügbar und vollständig sind. Wenn relevante Informationen fehlen oder unvollständig sind, ist die Notwendigkeit dieser Informationen für die Erfüllung des Ziels und Umfangs der Ökobilanz zu prüfen"

ISO 14044

ULG 2026
420

420

Auswertung IE TU Graz

**Life cycle assessment framework**

Interpretation

Goal and scope definition

Inventory analysis

Identification of significant issues

Evaluation by:  
 - completeness check;  
 - sensitivity check;  
 - consistency check;  
 - other checks.

Sensitivitätsprüfung: "Bewertung der Zuverlässigkeit der Endergebnisse und Schlussfolgerungen, indem festgestellt wird, wie sie durch Unsicherheiten in den Daten, den Zuordnungsmethoden oder der Berechnung der Ergebnisse der Kategorieindikatoren usw. beeinflusst werden."  
 Diese sollte die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse und der **Fehlerabschätzung** enthalten.

ISO 14044

ULG 2026 421

421

Auswertung IE TU Graz

Welches Produkt würden Sie auswählen?


kg CO<sub>2</sub> Eq.

Produkt	kg CO <sub>2</sub> Eq.
Produkt A	50
Produkt B	42

ISO 14044

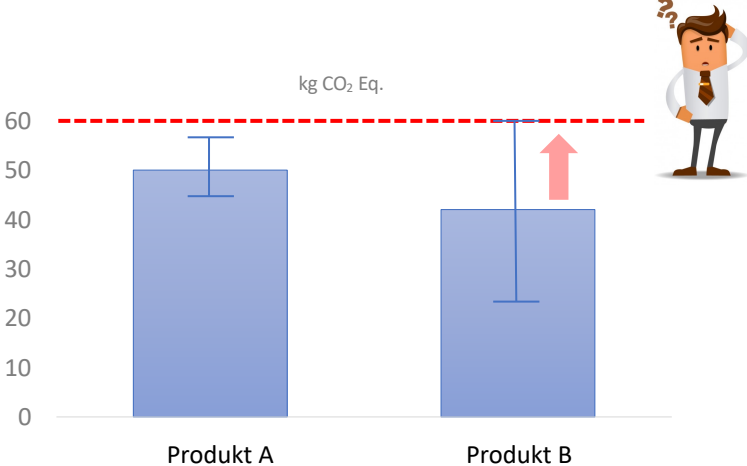
ULG 2026 422

422



Auswertung

Welches Produkt würden Sie auswählen?



kg CO<sub>2</sub> Eq.


60  
50  
40  
30  
20  
10  
0

Produkt A                      Produkt B

ISO 14044

ULG 2026 423

423



Auswertung

Parameterunsicherheit (Data) – Messunsicherheit (Varianz der Stichprobe) + Pedigrematrix

For each parameter, every flow! Propagation – typically via Monte Carlo


Indicator score	1	2	3	4	5 (default)
<b>Reliability</b>	Verified <sup>5</sup> data based on measurements <sup>6</sup>	Verified data partly based on assumptions or non-verified data based on measurements	Non-verified data partly based on qualified estimates	Qualified estimate (e.g. by industrial expert)	Non-qualified estimate
<b>Completeness</b>	Representative data from all sites relevant for the market considered, over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from >50% of the sites relevant for the market considered, over an adequate period to even out normal fluctuations	Representative data from only some sites (<<50%) relevant for the market considered or >50% of sites but from shorter periods	Representative data from only one site relevant for the market considered or some sites but from shorter periods	Representativeness unknown or data from a small number of sites
<b>Temporal correlation</b>	Less than 3 years of difference to the time period of the dataset	Less than 6 years of difference to the time period of the dataset	Less than 10 years of difference to the time period of the dataset	Less than 15 years of difference to the time period of the dataset	Age of data unknown or more than 15 years of difference to the time period of the dataset
<b>Geographical correlation</b>	Data from area of study	Average data from larger area in which the area under study is included	Data from area with similar production conditions	Data from area with slightly similar production conditions	Data from unknown or distinctly different area (North America instead of Middle East, OECD-Europe instead of Russia)
<b>Further technological correlation</b>	Data from enterprises, processes and materials under study	Data from processes and materials under study (i.e. identical technology) but from different enterprises	Data from processes and materials under study but from different technology	Data on related processes or materials	Data on related processes on laboratory scale or from different technology

Die Parameterunsicherheit ist nicht die einzige Fehlerquelle/Variante!

Weidema and Wesnes 1996... Data quality management for life cycle inventories-an example of using data quality indicators. Journal of Cleaner Production 4 (3)167 - 174 (1996).

ULG 2026 424

424



Auswertung

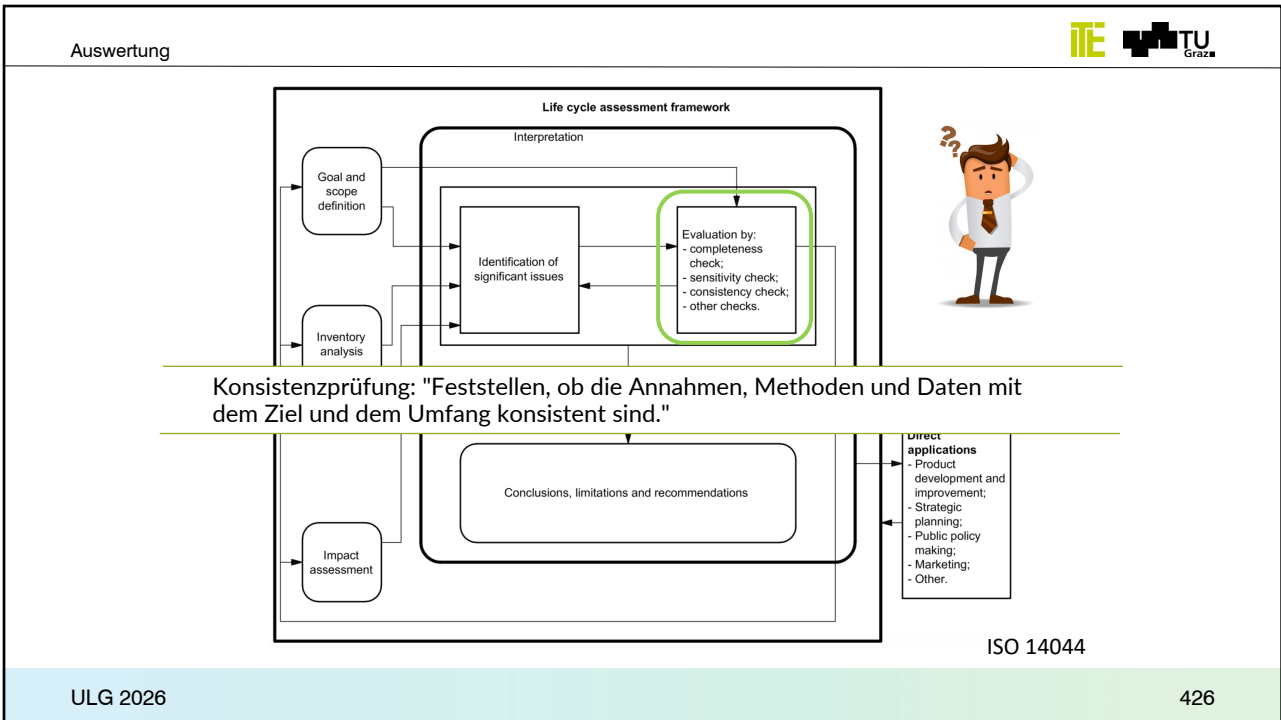
**Table 1: Examples of types of uncertainty and variability related to the phase of LCA**

Phase / Source	Goal and scope	Inventory	Choice of impact categories	Classification	Characterisation	Weighting
Parameter uncertainty		Inaccurate emission measurements			Uncertainty in life times of substances	Inaccurate normalisation data
Model uncertainty		Linear instead of non-linear modelling	Impact categories are not known	Contribution to impact category is not known	Characterisation factors are not known	Weighting criteria are not operational
Uncertainty due to choices	Functional unit	Use of several allocation methods	Leaving out known impact categories		Using several characterisation methods within one category	Using several weighting methods
Temporal variability		Differences in yearly emission inventories			Change of temperature over time	Change of social preferences over time
Spatial variability		Regional differences in emission inventories			Regional differences in environmental sensitivity	Regional differences in distance to (political) targets
Variability between objects/ sources		Differences in emissions between factories which produce same product			Differences in human characteristics	Differences in individual preferences, when using panel method

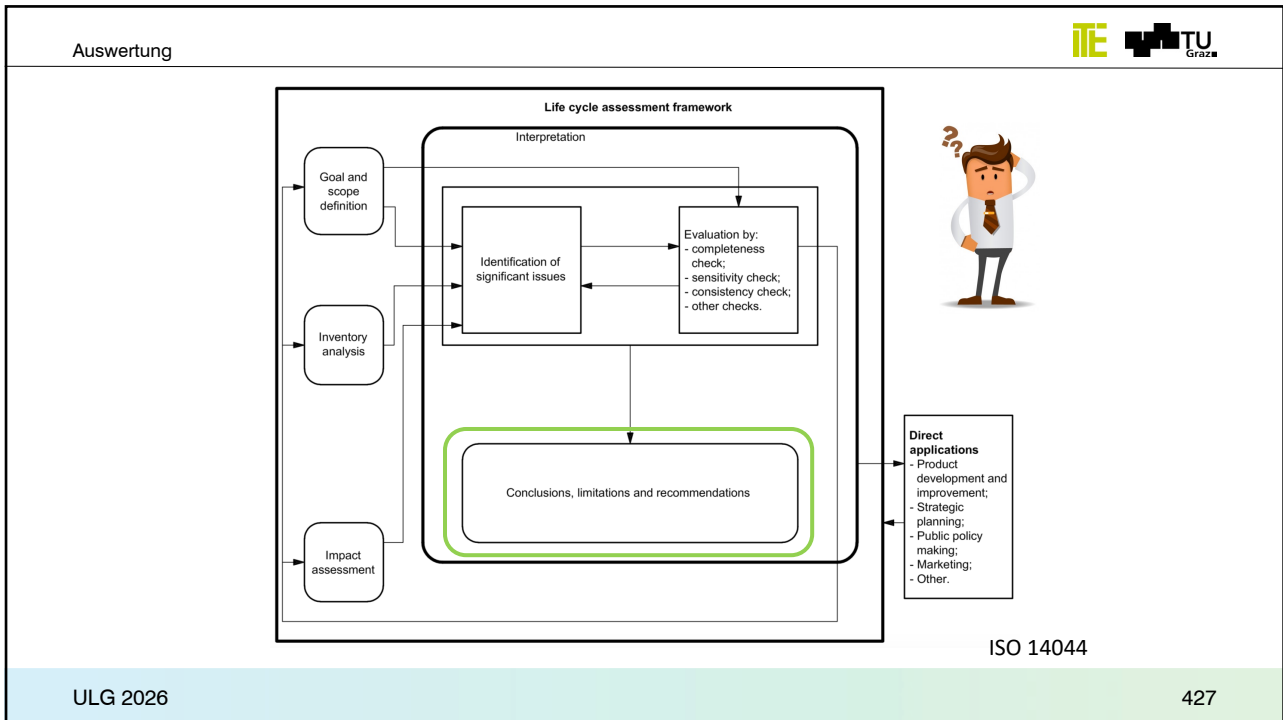
HUIJBREGTS, M. A. Application of uncertainty and variability in LCA. International Journal of Life Cycle Assessment 3 (5) 273 - 280 (1998).

ULG 2026
425

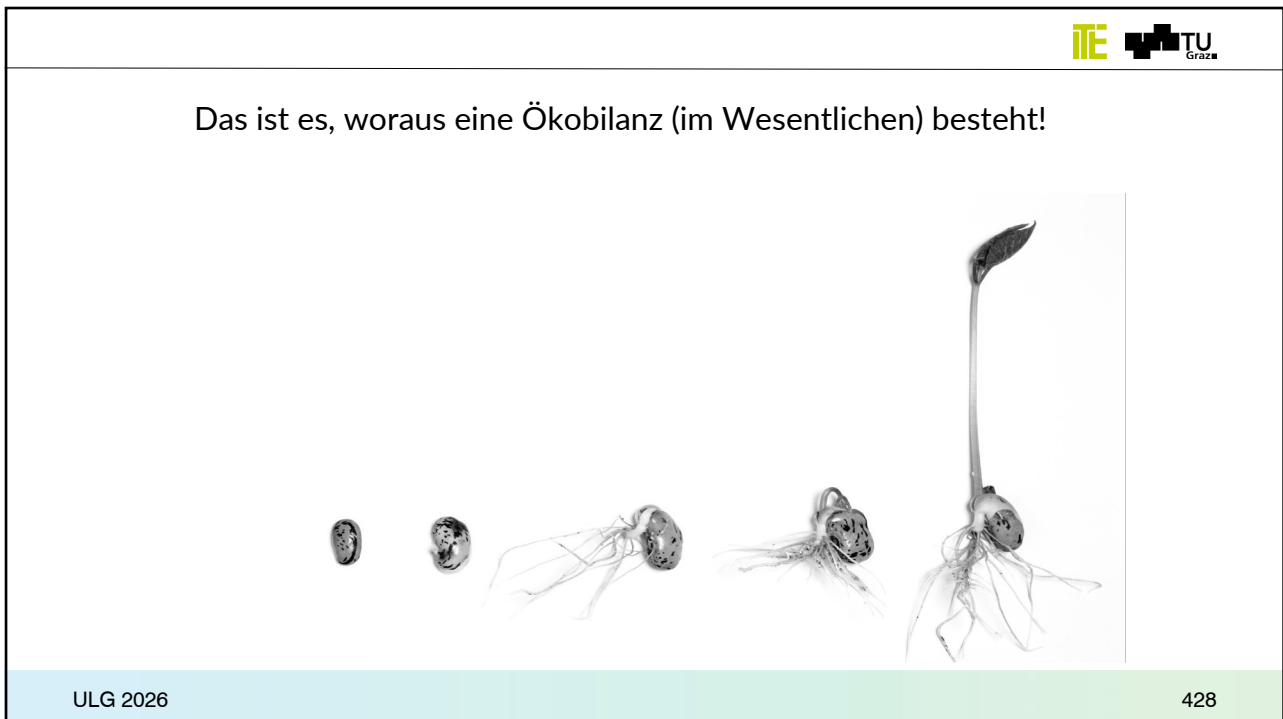
425



426



427



428

 NACHHALTIGES  
BAUEN  
INSTITUT FÜR  
TRAGWERKSENTWURF

---

[www.agnhb.tugraz.at](http://www.agnhb.tugraz.at)  
[office.agnhb@tugraz.at](mailto:office.agnhb@tugraz.at)  
Tel.: +43(0)316/873-6213

# Introduction to Electrolysis

Ass.Prof. Merit Bodner

Fuel Cells and Energy Storage

# Outline

1. Definition of Electrolysis
2. Relation between electrolysis and fuel cell
3. History
4. Thermodynamics
5. Types of Electrolyzers
6. Industrial Applications

# Electrolysis

The process of the chemical decomposition of the electrolyte by the passage of electricity through its molten or dissolved state.

## Definitions of Electrolysis

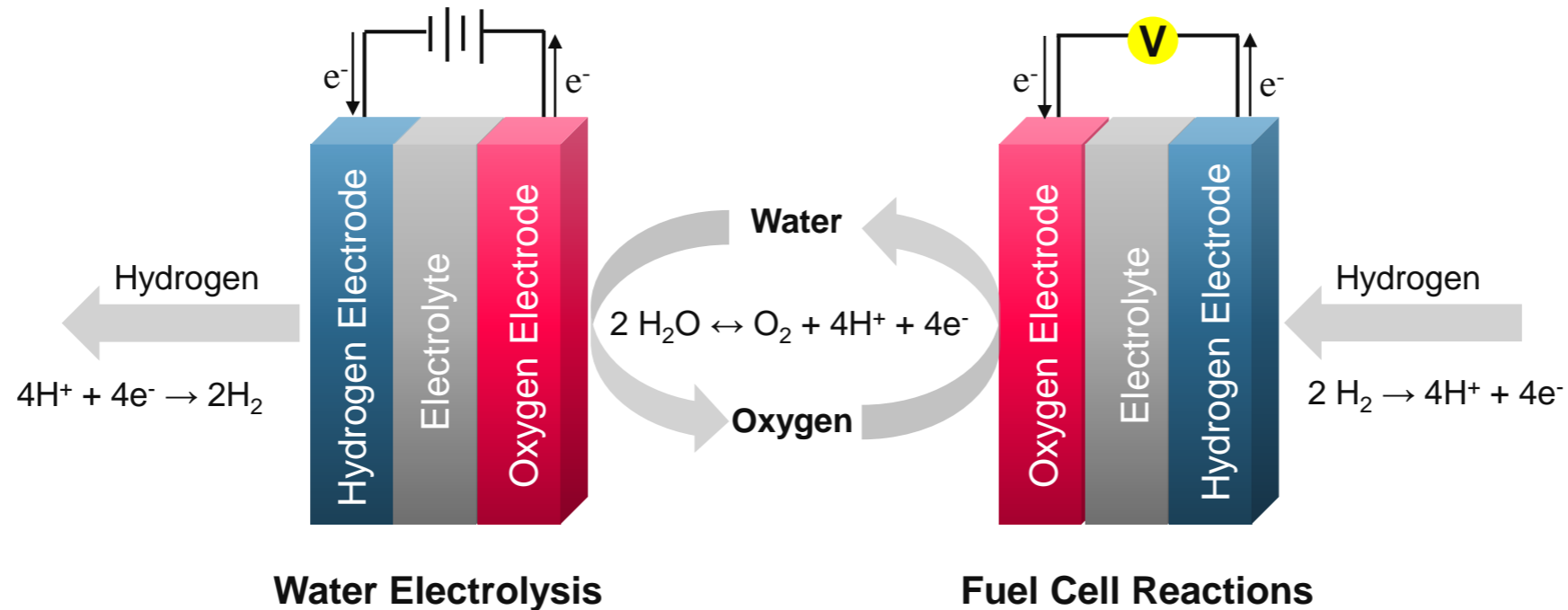
- The word “electrolysis” is derived from the Greek words “electron” (electricity) and “lysis” (dissolution), so: decomposition by the means of electricity
- Use of direct electric current (DC) to promote an otherwise non-spontaneous electrochemical reaction
- One compound may be turned into another compound and element by electrolysis, e.g.,  $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2$

## Electrolysis in this lecture

- Limited to electrolysis in context of energy conversion and storage
- This lecture covers electrolysis of water/steam
- Energy storage often implies need of conversion of  $H_2$  back into electricity and  $H_2O$

# Principle of a reversible fuel cell

- Working principle of a reversible Fuel/Electrolysis Cell



# History of Electrolysis

## Early History

- **1799:** “Volta’s Pile” i.e., the first electric battery was invented by **Alessandro Volta**
- **1800:** **William Nicholson** and **Anthony Carlisle** discovered that water could be decomposed by electrolysis
- **1806:** **Sir Humphrey Davy** proved by using electrolysis that the ratio of hydrogen to oxygen in water is 2:1
- **1838:** by then, the chemistry of water was reasonably well understood, and the reversible cell could be invented and constructed

# Faraday's Laws of Electrolysis

## 1<sup>st</sup> Law

The amount of chemical change during electrolysis is proportional to the electrical charge (measured as coulomb C) passed.

## 2<sup>nd</sup> Law

The charge required to deposit or liberate a mass  $m$  is given by

$$Q = Fmz/M$$

, where  $F$  is the Faraday constant – symbol  $F$ , has the value  $9.6485309(29) \times 10^4$  C/mol,  $z$  the charge of the ion, and  $M$  the relative ionic mass.

## Question



How much oxygen would be evolved in the electrolysis of water with one Faraday equivalent (equal to the charge of one mole of electrons) of electrical energy?

## Electrolysis Status

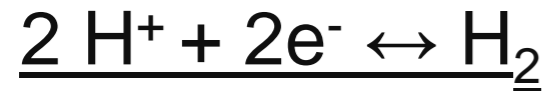
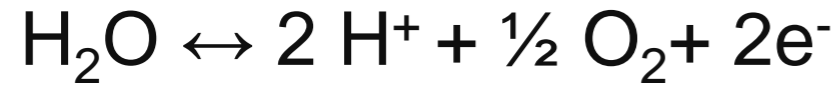
- Few types commercialized but – from an energy conversion and storage point of view – none of them are used in significant capacity in today's energy markets.
- The classical alkaline electrolyzer was commercialized during the first half of the 20<sup>th</sup> century.
- Only alkaline electrolysis is available on large scale

# Thermodynamics



## Basics

- $\Delta G$  and  $n$  must refer to the same reaction scheme!



$$n = 2 \text{ and } \Delta G_{298}^0 = - 237 \text{ kJ mol}^{-1} \text{ H}_2$$

## Anode and cathode

The reactions in a working cell take place at the electrode:

- The anode is the electrode where the oxidation takes place:  
e.g.:  $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2 \text{H}^+ + \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2\text{e}^-$
- The cathode is the electrode where the reduction takes place:  
e.g.:  $2 \text{H}^+ + 2\text{e}^- \leftrightarrow \text{H}_2$

When the direction of current and the polarization sign are changed the electrodes swap names!

## Question



Is the cell voltage of an electrolysis cell higher or lower than the cell voltage of a fuel cell in case that the gas composition at the electrodes is the same?

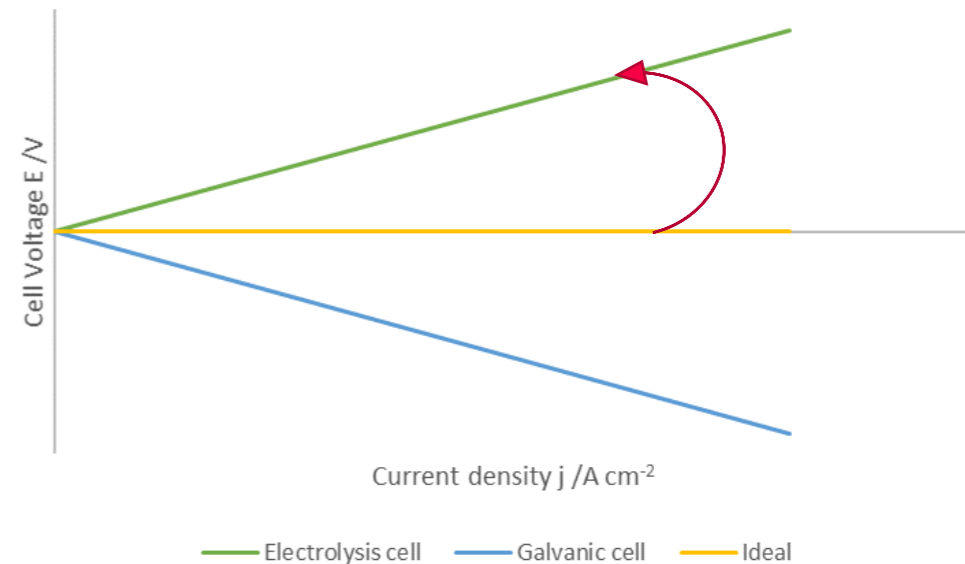
# Electrolysis vs. galvanic cell

- Electrolysis cells

In electrolysis cells, the reaction is driven by forcing current. The voltage increases if more current is forced through the cell.

Examples are:

- Water electrolysis
- Electroplating
- Metal reduction



$$E = E_0 - j * r_i$$

$r_i$  specific internal resistance [ $\Omega\text{ cm}^2$ ]

## Reversible thermodynamics

The relation between the chemical energy  $\Delta G$  (Gibbs free energy) of the cell reaction and the equilibrium electrical voltage, also called the electromotive force (Emf) of the cell is given by:

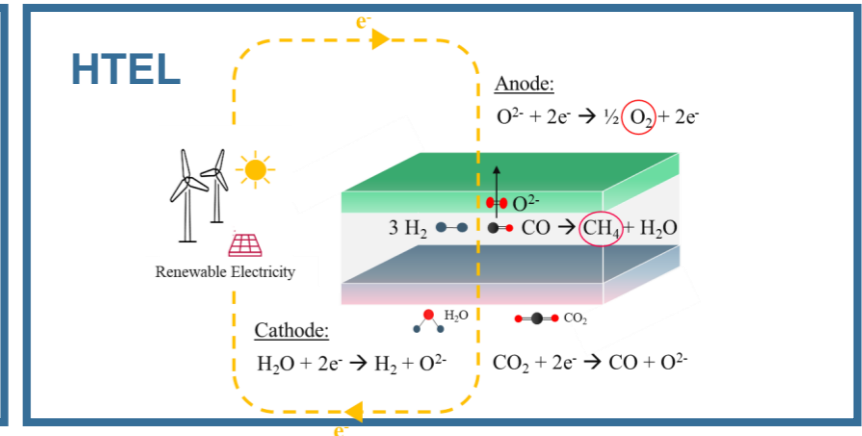
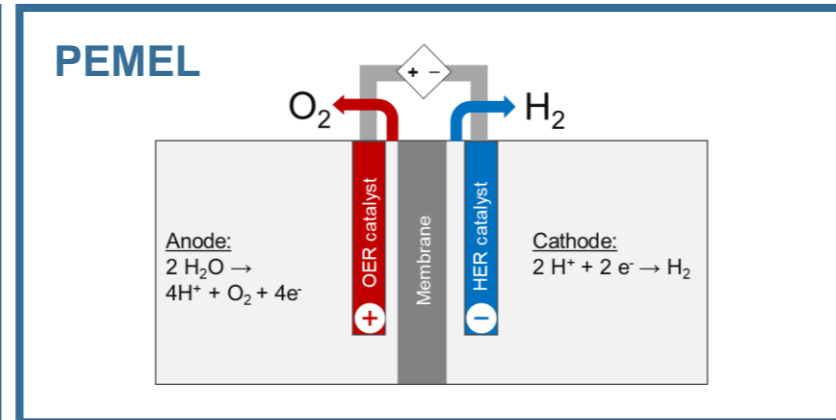
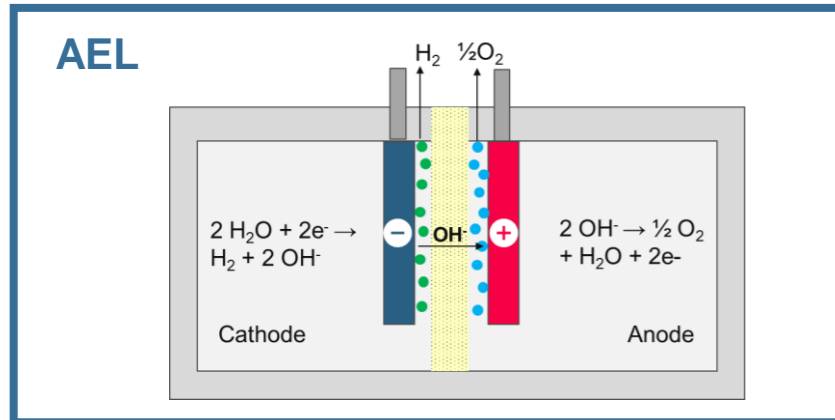
$$-\Delta G = n * F * Emf$$

With  $n$  being the number of electrons that are exchanged in the total reaction, and  $F$  the Faraday constant ( $96485 \text{ A s mol}^{-1}$ )

# Types of Electrolyzers

# Some Electrolysis Cells and Characteristics

Technology	Electrolyte	Charge carrier	Reactant	Electrodes	Temperature
Alkaline electrolysis	NaOH or KOH	OH <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O	Ni/Fe electrodes	60 – 80 °C
Membrane electrolysis	Solid acid polymer	H <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O	Noble metals (Pt, Ir, ...)	RT – 80 °C
Solid oxide	Ceramic	O <sup>2-</sup>	H <sub>2</sub> O or CO <sub>2</sub>	Ni + ceramics	700 – 1000 °C

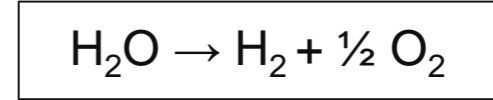


# Membrane Electrolysis

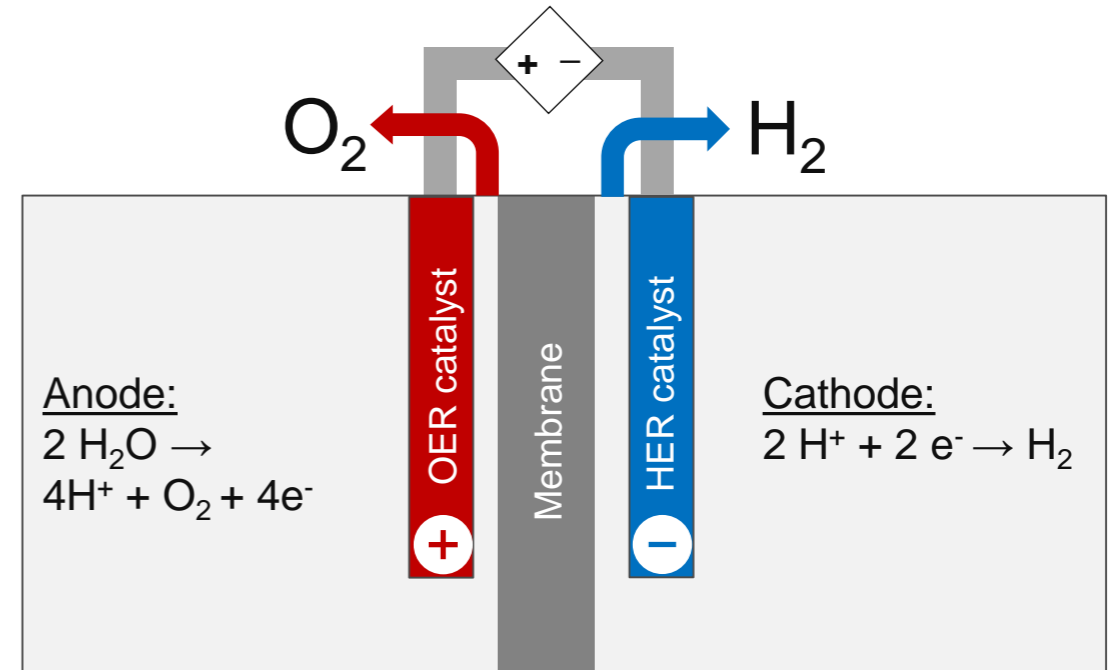
# Membrane electrolysis cell

- Electrolyte: Solid acid polymer
- Temperature: RT– 80 °C

Overall reaction:



Challenges	Advantages
- Higher manufacturing cost	+ HP operation
- Limited choice of OER catalyst	+ Simple and compact layout
- Thin electrolyte (easily damaged)	+ High gas purity
	+ Carrier fluid is H <sub>2</sub> O (possibility for future applications e.g.: with impure or saltwater)



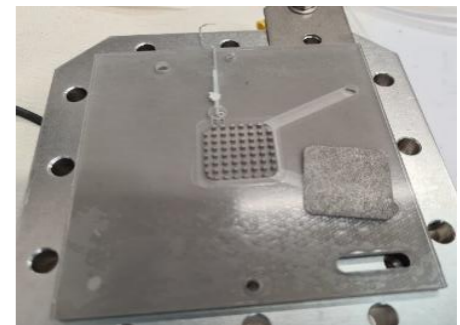
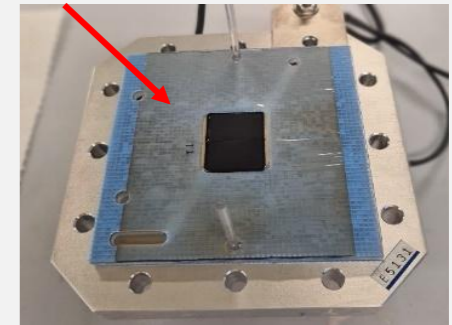
# Materials for membrane electrolysis

## Membrane Electrode Assembly (MEA)

- Two electrode layers on either side of a proton conductive membrane
- Location of electrochemical reactions
- Electrocatalysts facilitate electrochemical reactions



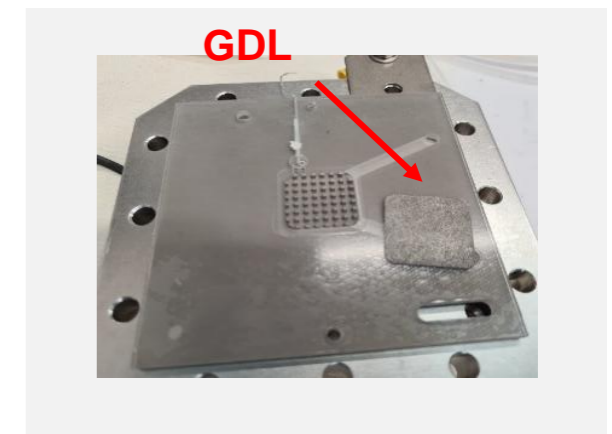
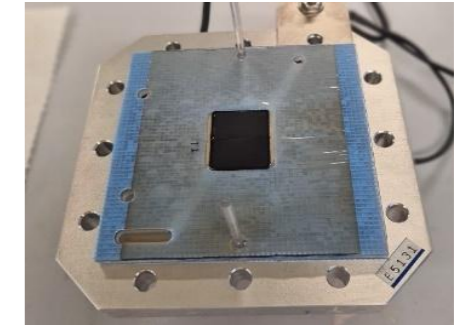
MEA



# Materials for membrane electrolysis

## Gas Diffusion Layer (GDL)

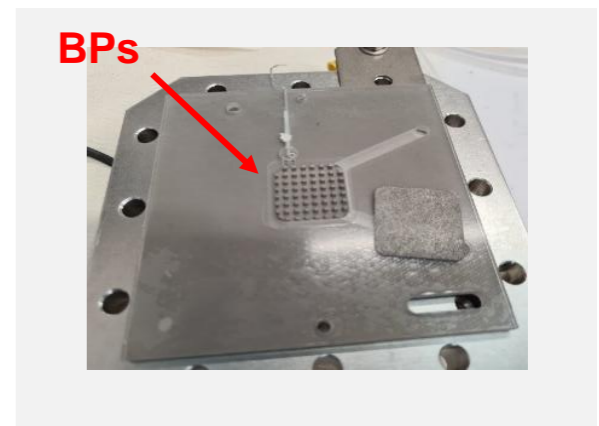
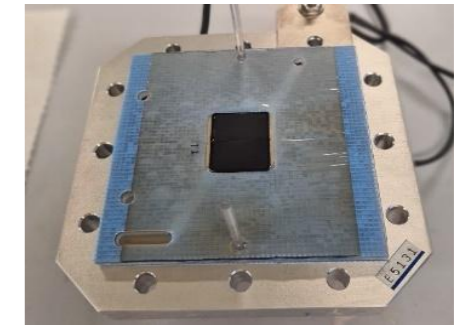
- Mass transport of reactants
- Conductive link between electrodes and bipolar plates
- Balances liquid and gaseous  $H_2O$



# Materials for membrane electrolysis

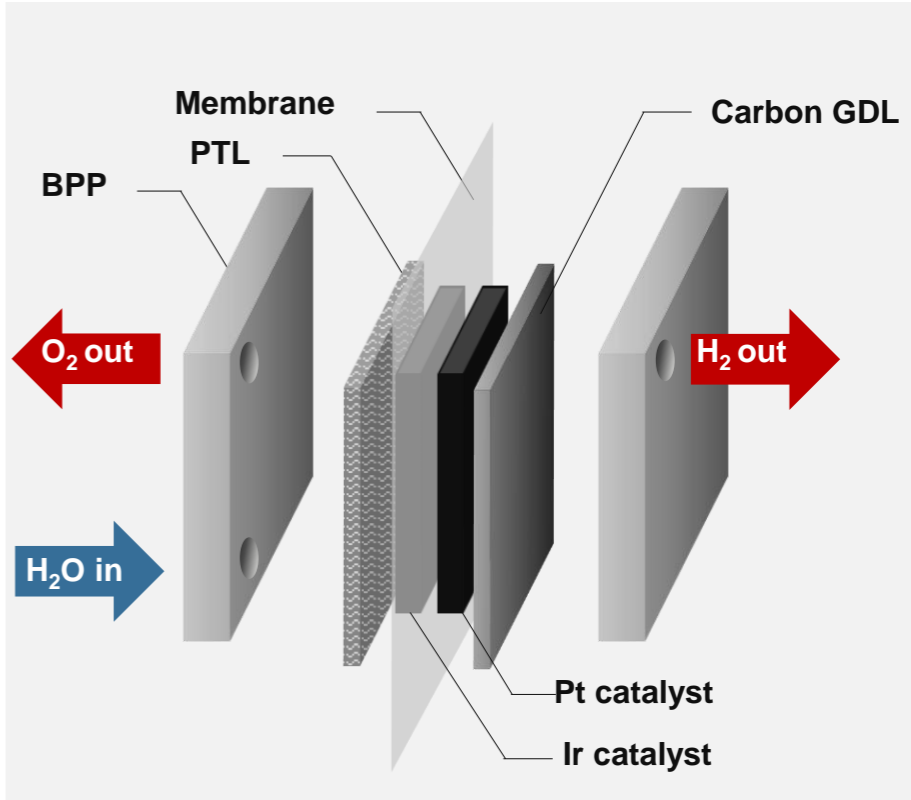
## Bipolar Plates (BPs)

- Mass transport of reactants
- Collect current
- Thermal stability



# Materials for membrane electrolysis

<b>CCM</b>	PFSA-type membrane, anode: Iridium oxide, cathode: Platinum
<b>Bipolar Plates</b>	Titanium or Gold and Pt-coated Titanium
<b>Cathode PTL</b>	Carbon paper/ carbon fleece
<b>Anode PTL</b>	Ti-mesh
<b>Gasket &amp; Sealings</b>	FKM Sealing, POM (cellframe), etc.



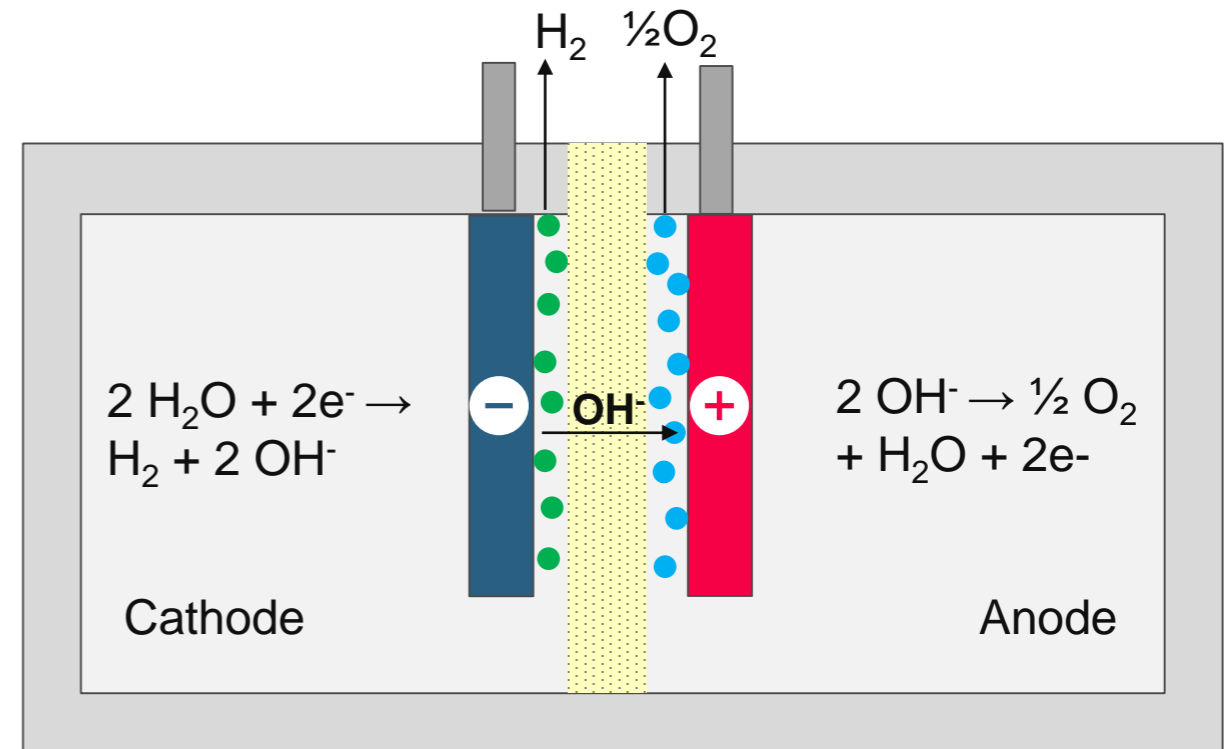
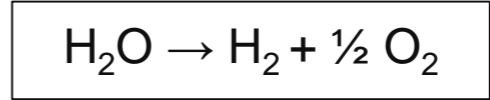
# Alkaline Electrolysis

# Alkaline electrolysis cell

- Electrolyte: 30 wt.% KOH in H<sub>2</sub>O
- Temperature: ~ 60°C

Challenges	Advantages
- Capital cost	+ Well proven
- Operational cost + power infrastructure	+ Lifetime >10 years
- Lack of flexible operation	+ High H <sub>2</sub> purity

Overall reaction:



# Materials for alkaline electrolysis

## Anode- and Cathode

### Cathode

- Raney nickel, Ni sheets or Ni-coated steel (low cost)
- Raney nickel: group of Ni-Zn and Ni-Al alloys

### Anode

- Ni and Ag-coated Ni
- Activated Ni electrodes (Ni-Co, Mo, Pt)

## Separator, sealing containments

### Separator

- Originally from asbestos – now materials like Zirfon ( $ZrO_2$  + polymer)

### Sealing

- PTFE or metal-ceramic-metal layer for HT

### Containment

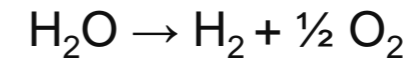
- Ni-coated steel

# Solid Oxide Electrolysis

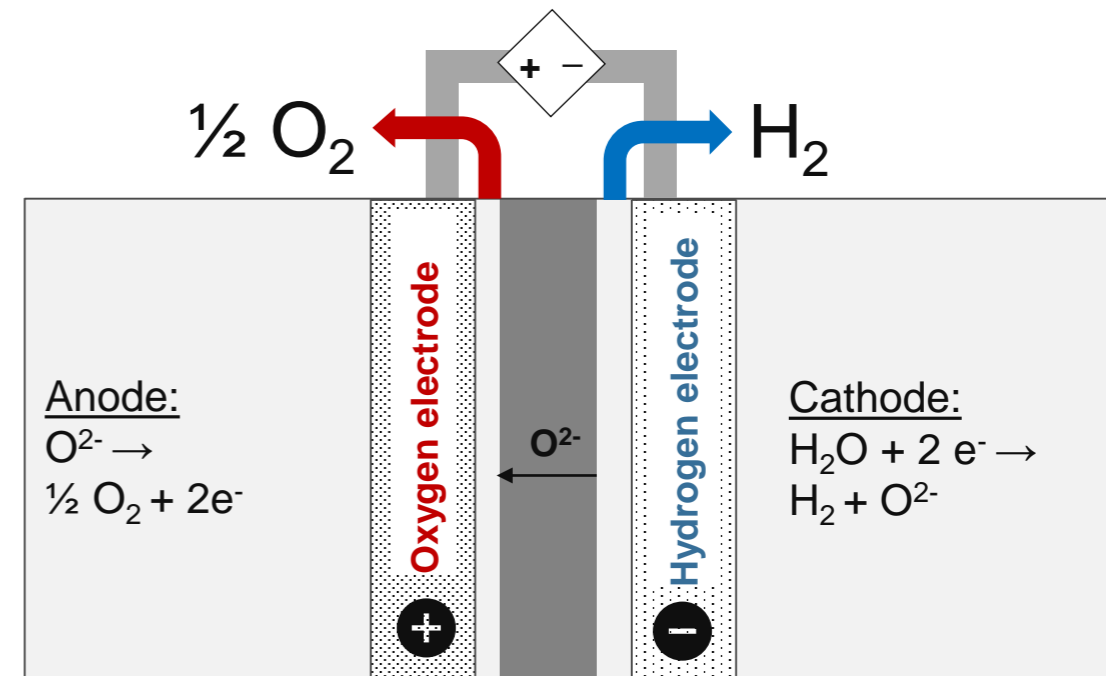
# Solid oxid electrolysis electrolysis cell

- Electrolyte: Ceramic metal compound
- Temperature: 700 – 1000 °C

Overall reaction:



Challenges	Advantages
- High Temperatures	+ Syngas production
- Restrictions due to HT and HP in parallel	+ Long term stability
	+ Lower cost

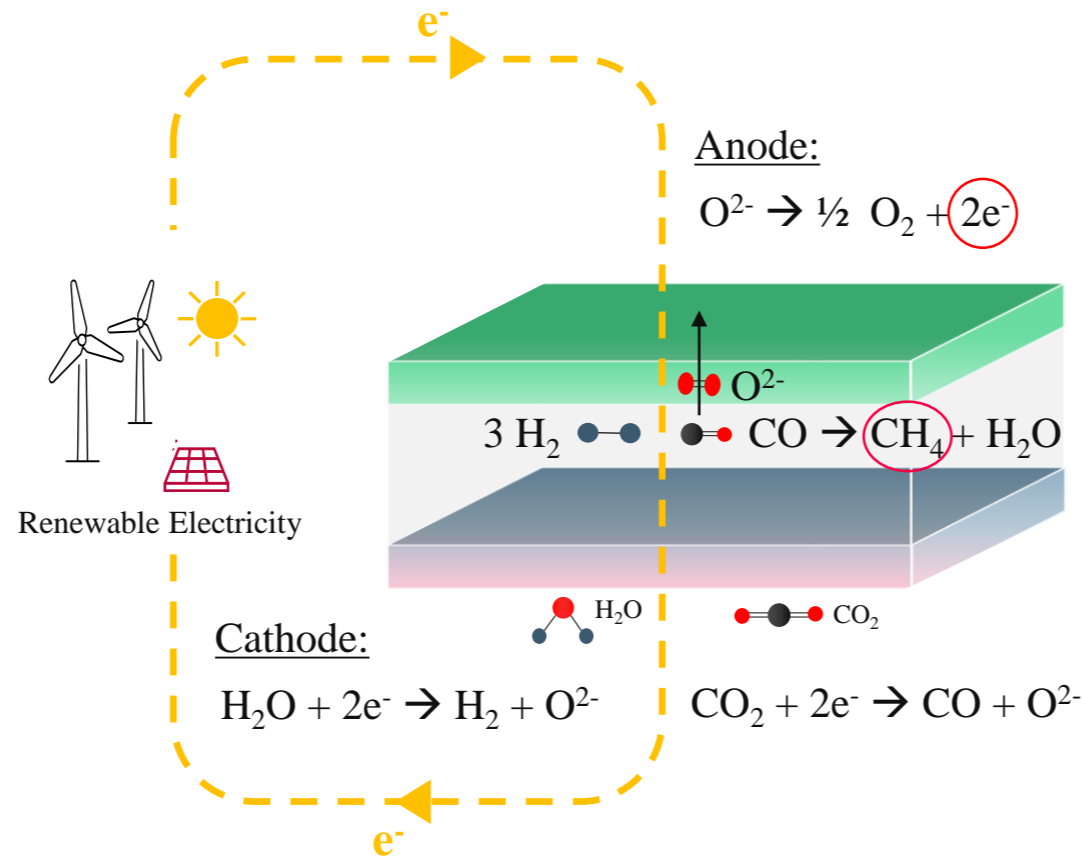


# Materials for solid oxide electrolysis

A SOEC typically consists of four layers:

- **Hydrogen (or steam) electrode:** Cermet (ceramic metal) composed of reference electrolyte YSZ and nickel → Ni-YSZ
- **Electrolyte:** YSZ (yttria-stabilized zirconia)
- **Oxygen (or air) electrode:** Co-based and Sr-doped perovskite
- **Intermediate layer:** Gadolinium-doped cerium oxide (CGO or GDC) and yttrium-doped cerium (YDC) are common reference material

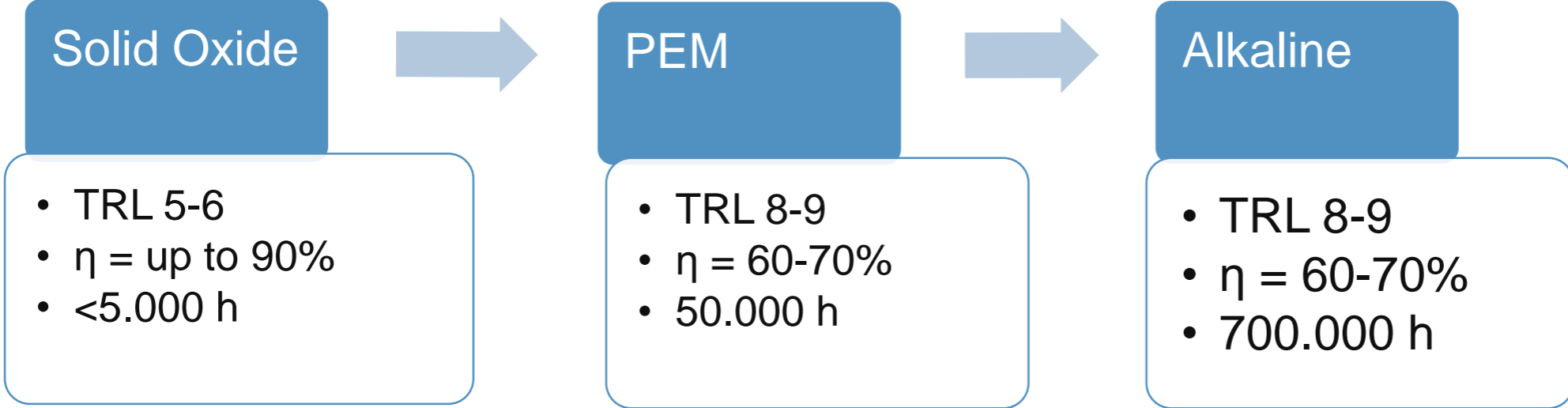
# Co-electrolysis of H<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub>





# Industrial Applications





# Performance of different electrolyzers




 Restrictions due to HT and HP in parallel

 Differential pressure system, simpler layout and compact design favour HP operation

 Most limitations from material supply (Pt, Ir)

 Already today some manufactureres provide Pt-, Co-free designs

 Pressure balanced design and complex system layout limit HP operation

# Implementation of Electrolysis

- **Austria**
  - 140 MW planned by OMW to produce 23 000 t of hydrogen annually in Bruck an der Leitha by 2027
- **Europe**
  - 100 MW planned by Shell to supply hydrogen from renewable electricity in Germany by 2027
  - 20 MW in operation in Sweden to supply hydrogen for the steel production
- **Globally**
  - China is in the lead with more than 600 MW of renewable powered electrolysers in operation.

## Electrochem. Compression (HyET)

- Hydrogen compressor stack for compressor capacities varying from 2 – 2000 kg/d for building heat and power for transport & mobility
- H<sub>2</sub> is supplied to the anode side of the membrane surface where a platinum alloy catalysts splits the molecule into protons. The electrons are transferred via an external circuit to the catalyst layer on the opposite side of the proton exchange membrane (PEM).

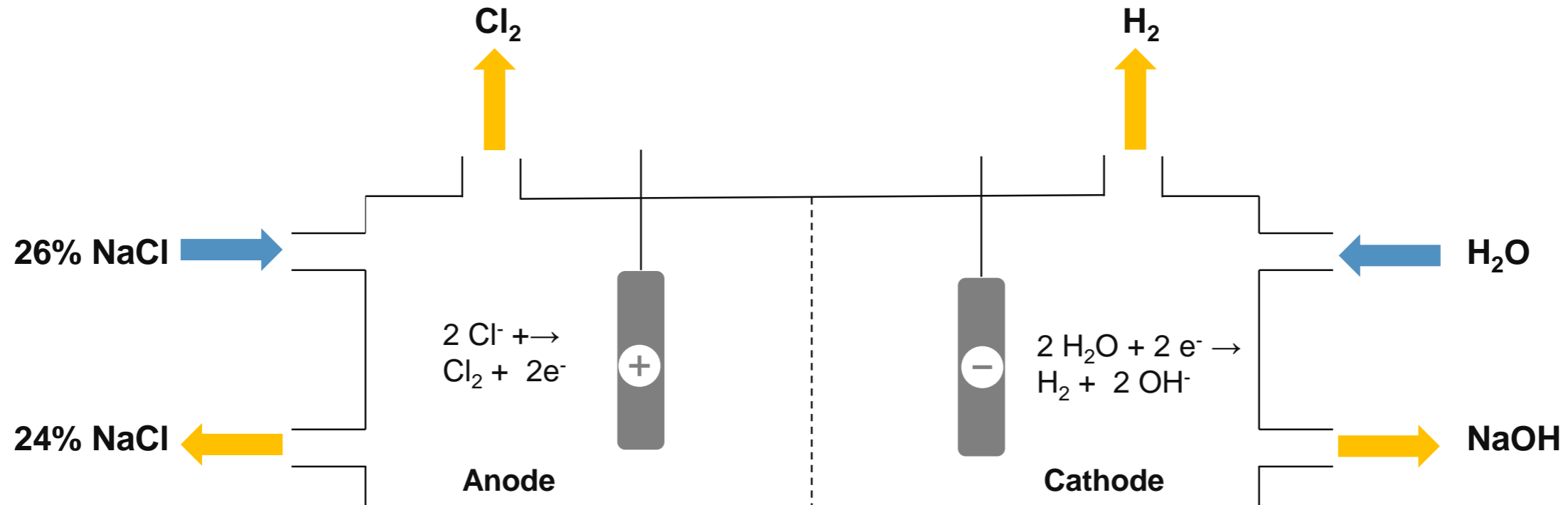


**HyET HCS100**

<https://hyethydrogen.com/hcs100/>

# Chloralkali process

- Industrial process for the electrolysis of sodium chloride solutions
- Products: chlorine and sodium hydroxide



# References & Further reading

## PEM Electrolysis

- *S. Shiva Kumar, V. Himabindu, Hydrogen production by PEM water electrolysis – A review, Materials Science for Energy Technologies, Volume 2, Issue 3, 2019, Pages 442-454, <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.03.002>.*
- *S.A. Grigoriev, V.N. Fateev, D.G. Bessarabov, P. Millet, Current status, research trends, and challenges in water electrolysis science and technology, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 45, Issue 49, 2020, Pages 26036-26058, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.03.109>.*

## Alkaline Electrolysis

- *Martín David, Carlos Ocampo-Martínez, Ricardo Sánchez-Peña, Advances in alkaline water electrolyzers: A review, Journal of Energy Storage, Volume 23, 2019, Pages 392-403, <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.03.001>.*

## Solid Oxide Electrolysis

- *Aziz Nechache, Stéphane Hody, Alternative and innovative solid oxide electrolysis cell materials: A short review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 149, 2021, 111322, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111322>.*

# DIGITALISIERUNG FÜR KMU

## MÖGLICH MACHEN

---

DER DIGITAL INNOVATION HUB SÜD ALS KOSTENLOSES  
SERVICE FÜR KMU

12.09.2025

Stabseinheit Nachhaltigkeit, Claudia  
Hofbauer, BA M.Sc.

1



# Nachhaltigkeitsbericht – Transparenz, Vergleichbarkeit, Strategie

Stabseinheit Nachhaltigkeit, Claudia Hofbauer, BA M.Sc.

12.09.2025

# Wer von euch hat schon einmal einen Nachhaltigkeitsbericht gelesen?



# Inhalt

- **Definition**
- **Hintergrund**
- **Inhalt und Aufbau**
- **Praxisbeispiel**
- **Nutzen und Herausforderungen**
- **Ausblick**
- **Q&A**



# Warum Nachhaltigkeitsberichte?

Bedeutung für Stakeholder\*innen,  
Investor\*innen und Unternehmen

Dekarbonisierung

Chance

Vergleichbarkeit

Green Deal

Transparenz

Pariser

Klimaabkommen

Resilienz der Geschäftsmodelle  
und Strategie

EU-Regulierung

## **Taxonomie-VO:**

Nachhaltigkeitsverständnis

**Offenlegungs-VO:** Transparenz  
von Finanzprodukten und (Re-)  
Allokation von Anlagen

**NFRD/CSRD:** Transparenz und  
Governance von Unternehmen

# The European Green Deal

## WHERE WILL THE MONEY COME FROM?



7

# Hintergrund



- **GRI, ISSB, DNK**
- **SDGs**
- **Europäische Regelung**
  - **CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive)**
  - **Verbindlich definierte Standards (ESRS)**

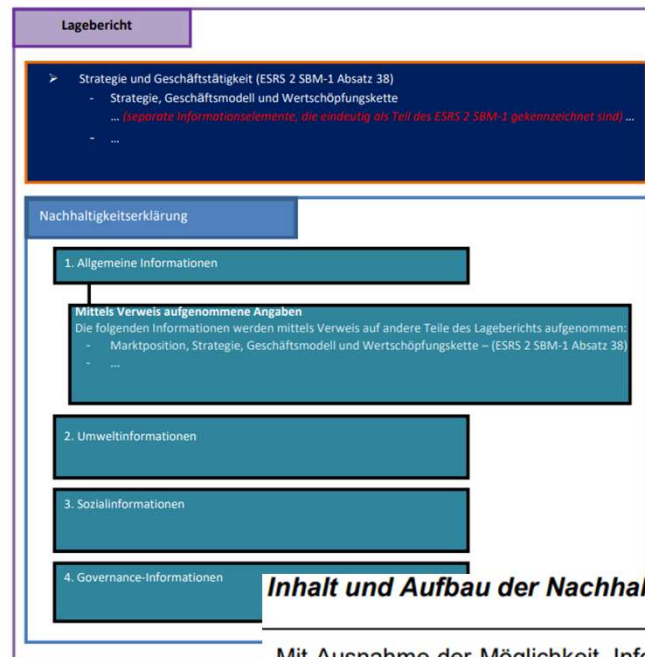
DE

DE

# Ab wann muss die CSRD angewendet werden?

- Unternehmen im Bisherigen Anwendungsbereich der NFRD (Non-Financial Reporting Directive)
  - Geschäftsjahre, die ab 01.01.2024 beginnen
  - Erste Berichterstattung 2025
- Alle anderen großen Unternehmen
  - Geschäftsjahre, die ab 01.01.2025 beginnen
  - Erste Berichterstattung 2026
- Börsennotierte KMUs
  - Geschäftsjahre, die ab 01.01.2026 beginnen
  - Erste Berichterstattung 2027
- Tochterunternehmen und Zweigniederlassungen von Unternehmen aus Drittstaaten
  - Geschäftsjahre, die ab 01.01.2028 beginnen
  - Erste Berichterstattung 2029
- Direkte Betroffenheit
  - 50.000 Unternehmen EU-weit
  - 2.000 Unternehmen Österreich-weit

# Wo wird der Bericht veröffentlicht?



## Inhalt und Aufbau der Nachhaltigkeitsklärung

Mit Ausnahme der Möglichkeit, Informationen mittels Verweis gemäß Abschnitt 9.1 *Aufnahme von Informationen mittels Verweis* dieses Standards aufzunehmen, führt das Unternehmen alle Angaben, die gemäß dem ESRS nach Kapitel 1 dieses Standards erforderlich sind, in einem eigenen Abschnitt des Lageberichts auf.



# Anforderungen der ESRS

## Kategorien

- generelle Standards
- themenbezogene Standards (Umwelt-, Sozial- und Governance-Standards)
- sektorspezifische Standards (werden voraussichtlich 2025 verabschiedet)

Teil des Lageberichts	ESRS-Kodifizierung	Titel
1. Allgemeine Informationen	ESRS 2	<i>Allgemeine Angaben</i> , einschließlich der Informationen, die im Rahmen der Anwendungsanforderungen für die in Anlage C des ESRS 2 aufgeführten themenbezogenen ESRS bereitgestellt werden.
2. Umweltinformationen	<i>Entfällt</i>	<i>Angaben nach Artikel 8 der Verordnung (EU) 2020/852 (Taxonomie-Verordnung)</i>
	ESRS E1	<i>Klimawandel</i>
	ESRS E2	<i>Umweltverschmutzung</i>
	ESRS E3	<i>Wasser- und Meeresressourcen</i>
	ESRS E4	<i>Biologische Vielfalt und Ökosysteme</i>
3. Sozialinformationen	ESRS E5	<i>Ressourcennutzung und Kreislaufwirtschaft</i>
	ESRS S1	<i>Eigene Belegschaft</i>
	ESRS S2	<i>Arbeitskräfte in der Wertschöpfungskette</i>
	ESRS S3	<i>Betroffene Gemeinschaften</i>
4. Governance-Informationen	ESRS S4	<i>Verbraucher und Endnutzer</i>
	ESRS G1	<i>Unternehmenspolitik</i>

# Unterschiedliche Größe – Unterschiedlicher Umfang

ESRS = für große Unternehmen

LSME = ESRS für kapitalmarktorientierte KMU

VSME = freiwillige ESRS für alle weiteren KMU



# Wie starte ich die NH-Berichterstattung?

- Betroffenheit
- Ausgangswissen im Unternehmen
- Ressourcen
- GAP-Analyse
- Stufenweise Annäherung

## Anlage C: Liste der schrittweisen Angabepflichten

Diese Anlage ist fester Bestandteil des ESRS 1 und hat die gleiche bindende Kraft wie die anderen Teile des Standards.

ESRS	Angabepflicht	Vollständige Bezeichnung der Angabepflicht	Schrittweise Einführung oder Datum des Inkrafttretens (einschl. 1. Jahr)
ESRS 2	SBM-1	Strategie, Geschäftsmodell und Wertschöpfungskette	Das Unternehmen übermittelt die gemäß ESRS 2 SBM-1 Absatz 40 Buchstabe b (Aufschlüsselung der Gesamteinnahmen nach den wichtigsten ESRS-Sektoren) und Absatz 40 Buchstabe c (Liste der zusätzlichen maßgeblichen ESRS-Sektoren) ab dem Anwendungsbeginn, der in dem gemäß Artikel 29b Absatz 1 Unterabsatz 3 Ziffer ii der Richtlinie 2013/34/EU zu erlassenden delegierten Rechtsakt der Kommission festgelegt ist.
ESRS 2	SBM-3	Wesentliche Auswirkungen, Risiken und Chancen und ihr Zusammenspiel mit Strategie und Geschäftsmodell	Das Unternehmen kann im ersten Jahr der Erstellung seiner Nachhaltigkeitsklärung die in ESRS 2 SBM-3 Absatz 48 Buchstabe e (erwartete finanzielle Auswirkungen) vorgeschriebenen Angaben auslassen. Das Unternehmen kann in Übereinstimmung mit ESRS 2 SBM-3 Absatz 48 Buchstabe e in den ersten drei Jahren der Erstellung seiner Nachhaltigkeitsklärung nur qualitative Angaben übermitteln, wenn die Erstellung quantitativer Angaben nicht durchführbar ist.
ESRS E1	E1-6	THG-Bruttoemissionen der Kategorien Scope 1, 2 und 3 sowie THG-Gesamtemissionen	Unternehmen oder Gruppen, die am Bilanzstichtag die durchschnittliche Zahl von 750 Beschäftigten während des Geschäftsjahres (gegebenenfalls auf konsolidierter Basis) nicht überschreiten, können die Datenpunkte zu den Scope-3-Emissionen und den THG-Gesamtemissionen im ersten Jahr der Erstellung ihrer Nachhaltigkeitsklärung auslassen.

# Praxisbeispiel TU Graz



# Doppelte Wesentlichkeit



# Themen und Unterthemen

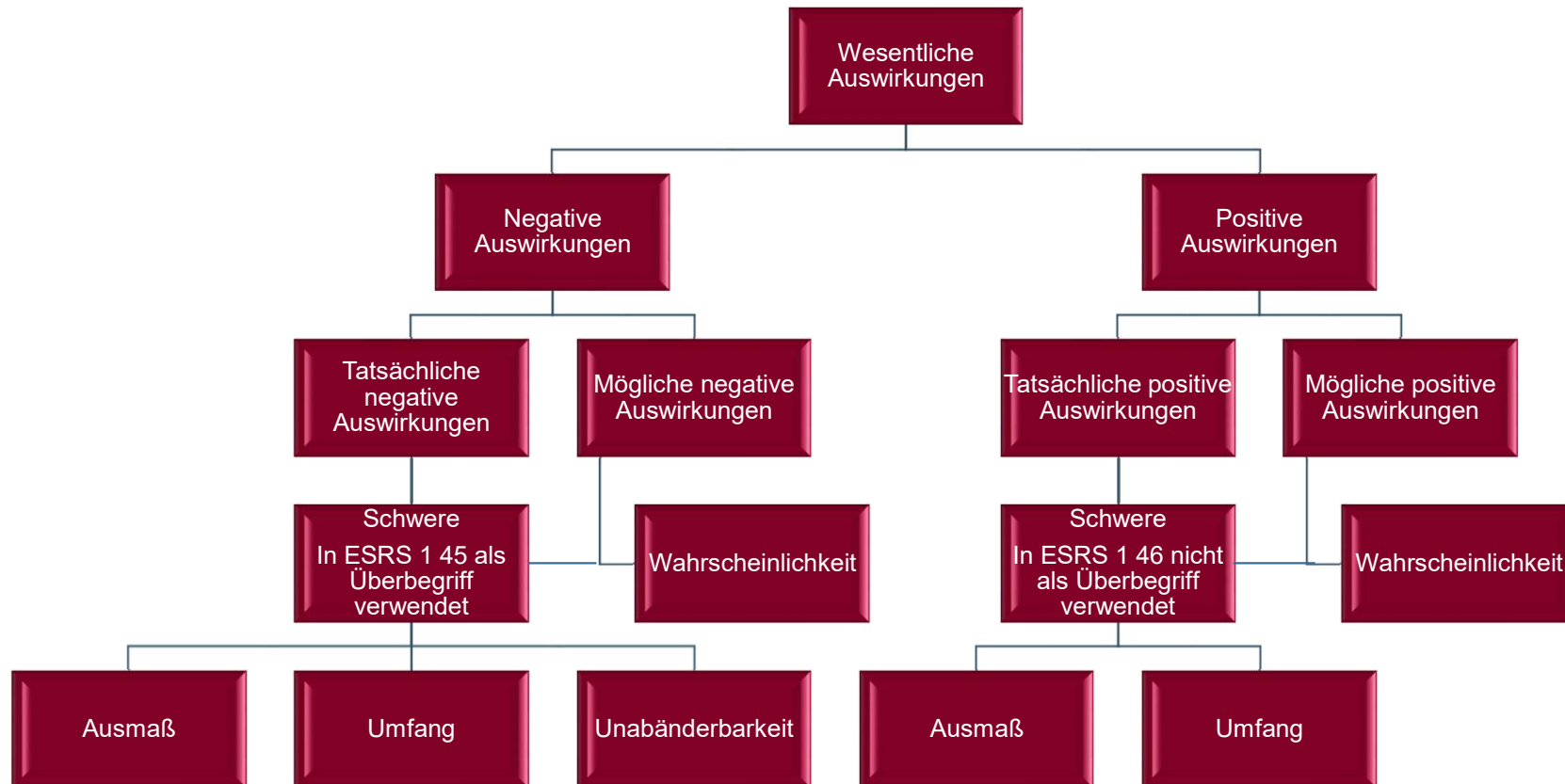
Themenbezogener ESRS	In themenbezogenen ESRS behandelte Nachhaltigkeitsaspekte		
	Thema	Unterthema	Unter-Unterthemen
ESRS E1	Klimawandel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anpassung an den Klimawandel</li> <li>Klimaschutz</li> <li>Energie</li> </ul>	
ESRS E2	Umweltverschmutzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Luftverschmutzung</li> <li>Wasserverschmutzung</li> <li>Bodenverschmutzung</li> <li>Verschmutzung von lebenden Organismen und Nahrungsressourcen</li> <li>Besorgniserregende Stoffe</li> <li>Besonders besorgniserregende Stoffe</li> <li>Mikroplastik</li> </ul>	
ESRS E3	Wasser- und Meeresressourcen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wasser</li> <li>Meeresressourcen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wasserverbrauch</li> <li>Wasserentnahme</li> <li>Ableitung von Wasser</li> <li>Ableitung von Wasser in die Ozeane</li> <li>Gewinnung und Nutzung von Meeresressourcen</li> </ul>
ESRS E4	Biologische Vielfalt und Ökosysteme	<ul style="list-style-type: none"> <li>Direkte Ursachen des Biodiversitätsverlusts</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Klimawandel</li> <li>Landnutzungsänderungen, Süßwasser- und Meeresnutzungsänderungen</li> <li>Direkte Ausbeutung</li> <li>Invasive gebietsfremde Arten</li> <li>Umweltverschmutzung</li> <li>Sonstige</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Auswirkungen auf den Zustand der Arten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beispiele:</li> <li>Populationsgröße von Arten</li> <li>Globales Ausrottungsrisiko von Arten</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Auswirkungen auf den Umfang und den Zustand von Ökosystemen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beispiele:</li> <li>Landdegradation</li> <li>Wüstenbildung</li> <li>Bodenversiegelung</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Auswirkungen und Abhängigkeiten von Ökosystemdienstleistungen</li> </ul>	
ESRS E5	Kreislaufwirtschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ressourcenzuflüsse, einschließlich Ressourcennutzung</li> <li>Ressourcenabflüsse im Zusammenhang mit Produkten und Dienstleistungen</li> <li>Abfälle</li> </ul>	
ESRS S1	Eigene Belegschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeitsbedingungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sichere Beschäftigung</li> <li>Arbeitszeit</li> <li>Angemessene Entlohnung</li> <li>Sozialer Dialog</li> <li>Vereinigungsfreiheit, Existenz von</li> </ul>

Themenbezogener ESRS	In themenbezogenen ESRS behandelte Nachhaltigkeitsaspekte		
	Thema	Unterthema	Unter-Unterthemen
			<ul style="list-style-type: none"> <li>Betriebsräten und Rechte der Arbeitnehmer auf Information, Anhörung und Mitbestimmung</li> <li>Tarifverhandlungen, einschließlich der Quote der durch Tarifverträge abgedeckten Arbeitskräften</li> <li>Vereinbarkeit von Berufs- und Privatleben</li> <li>Gesundheitsschutz und Sicherheit</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gleichbehandlung und Chancengleichheit für alle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gleichstellung der Geschlechter und gleicher Lohn für gleiche Arbeit</li> <li>Schulungen und Kompetenzentwicklung</li> <li>Beschäftigung und Inklusion von Menschen mit Behinderungen</li> <li>Maßnahmen gegen Gewalt und Belästigung am Arbeitsplatz</li> <li>Vielfalt</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sonstige arbeitsbezogene Rechte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kinderarbeit</li> <li>Zwangsarbeit</li> <li>Angemessene Unterbringung</li> <li>Datenschutz</li> </ul>
ESRS S2	Arbeitskräfte in der Wertschöpfungskette	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arbeitsbedingungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sichere Beschäftigung</li> <li>Arbeitszeit</li> <li>Angemessene Entlohnung</li> <li>Sozialer Dialog</li> <li>Vereinigungsfreiheit, einschließlich der Existenz von Betriebsräten</li> <li>Tarifverhandlungen</li> <li>Vereinbarkeit von Berufs- und Privatleben</li> <li>Gesundheitsschutz und Sicherheit</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Gleichbehandlung und Chancengleichheit für alle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gleichstellung der Geschlechter und gleicher Lohn für gleiche Arbeit</li> <li>Schulungen und Kompetenzentwicklung</li> <li>Beschäftigung und Inklusion von Menschen mit Behinderungen</li> <li>Maßnahmen gegen Gewalt und Belästigung am Arbeitsplatz</li> <li>Vielfalt</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Sonstige arbeitsbezogene Rechte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kinderarbeit</li> <li>Zwangsarbeit</li> <li>Angemessene Unterbringung</li> <li>Wasser- und Sanitäreinrichtungen</li> <li>Datenschutz</li> </ul>
ESRS S3	Betroffene Gemeinschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte von Gemeinschaften</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Angemessene Unterbringung</li> <li>Angemessene Ernährung</li> <li>Wasser- und Sanitäreinrichtungen</li> <li>Bodenbezogene Auswirkungen</li> <li>Sicherheitsbezogene Auswirkungen</li> </ul>

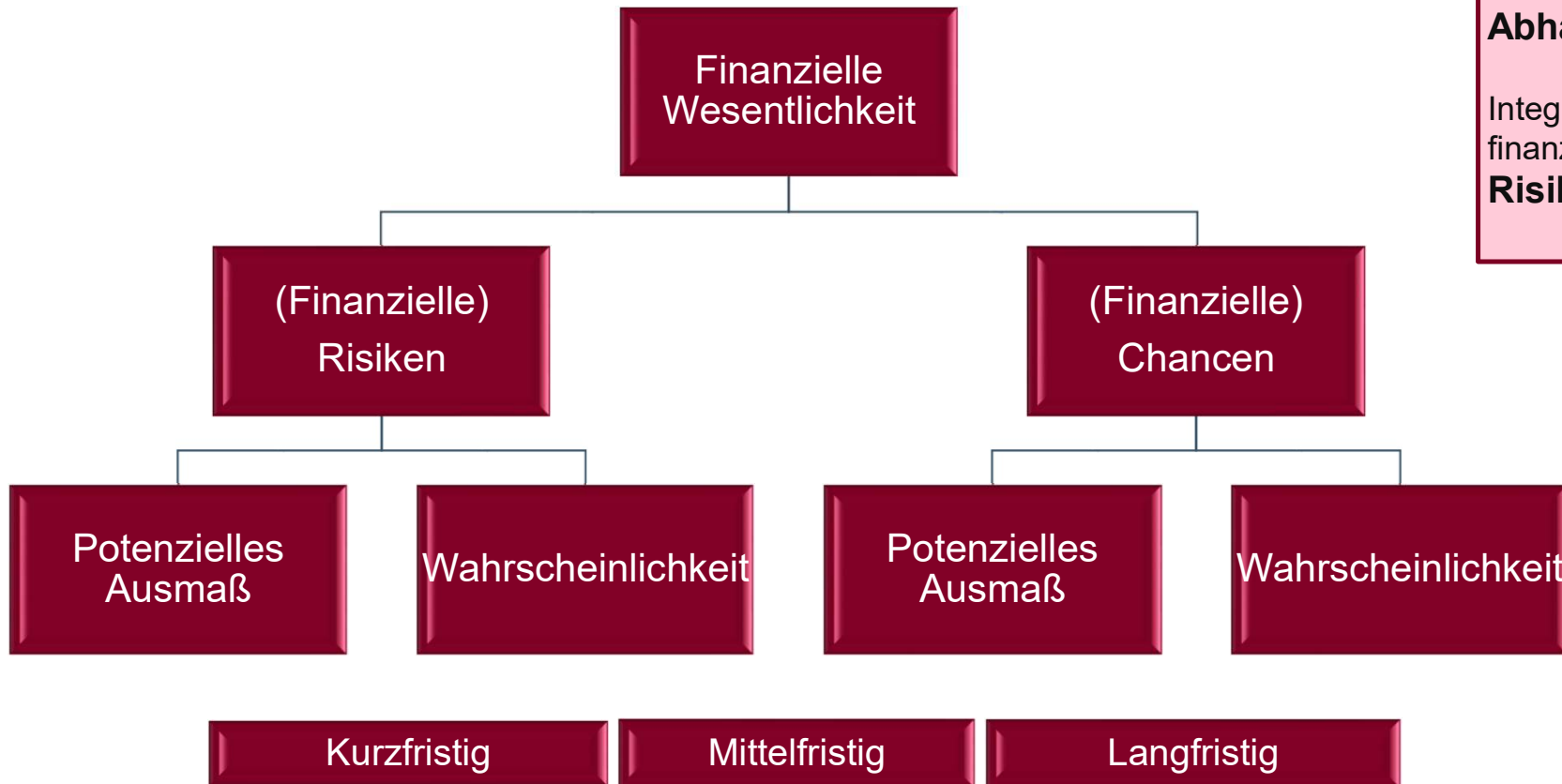
Themenbezogener ESRS	In themenbezogenen ESRS behandelte Nachhaltigkeitsaspekte		
	Thema	Unterthema	Unter-Unterthemen
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Bürgerrechte und politische Rechte von Gemeinschaften</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Meinungsfreiheit</li> <li>Versammlungsfreiheit</li> <li>Auswirkungen auf Menschenrechtsverteidiger</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechte indigener Völker</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Freiwillige und in Kenntnis der Sachlage erteilte vorherige Zustimmung</li> <li>Selbstbestimmung</li> <li>Kulturelle Rechte</li> </ul>
ESRS S4	Verbraucher und Endnutzer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Informationsbezogene Auswirkungen für Verbraucher und/oder Endnutzer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Datenschutz</li> <li>Meinungsfreiheit</li> <li>Zugang zu (hochwertigen) Informationen</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Persönliche Sicherheit von Verbrauchern und/oder Endnutzern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gesundheitsschutz und Sicherheit</li> <li>Persönliche Sicherheit</li> <li>Kinderschutz</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Soziale Inklusion von Verbrauchern und/oder Endnutzern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nichtdiskriminierung</li> <li>Zugang zu Produkten und Dienstleistungen</li> <li>Verantwortliche Vermarktungspraktiken</li> </ul>
ESRS G1	Unternehmenspolitik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unternehmenskultur</li> <li>Schutz von Hinweisgebern (Whistleblowers)</li> <li>Tierschutz</li> <li>Politisches Engagement</li> <li>Management der Beziehungen zu Lieferanten, einschließlich Zahlungspraktiken</li> </ul>	
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Korruption und Bestechung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vermeidung und Aufdeckung einschließlich Schulung</li> <li>Vorkommnisse</li> </ul>

Fokus auf Menschenrechte

# Wesentliche Auswirkungen



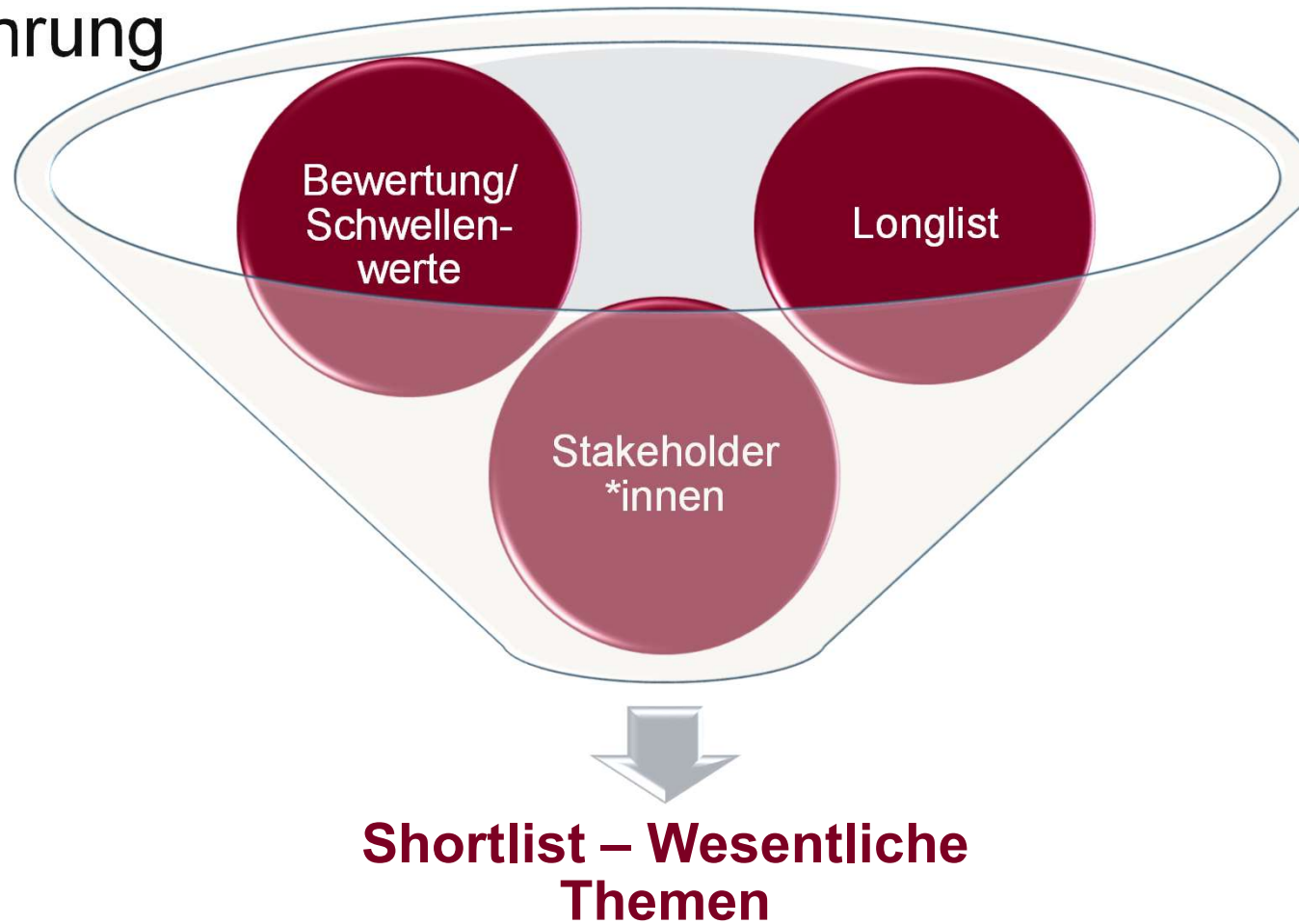
# Finanzielle Wesentlichkeit



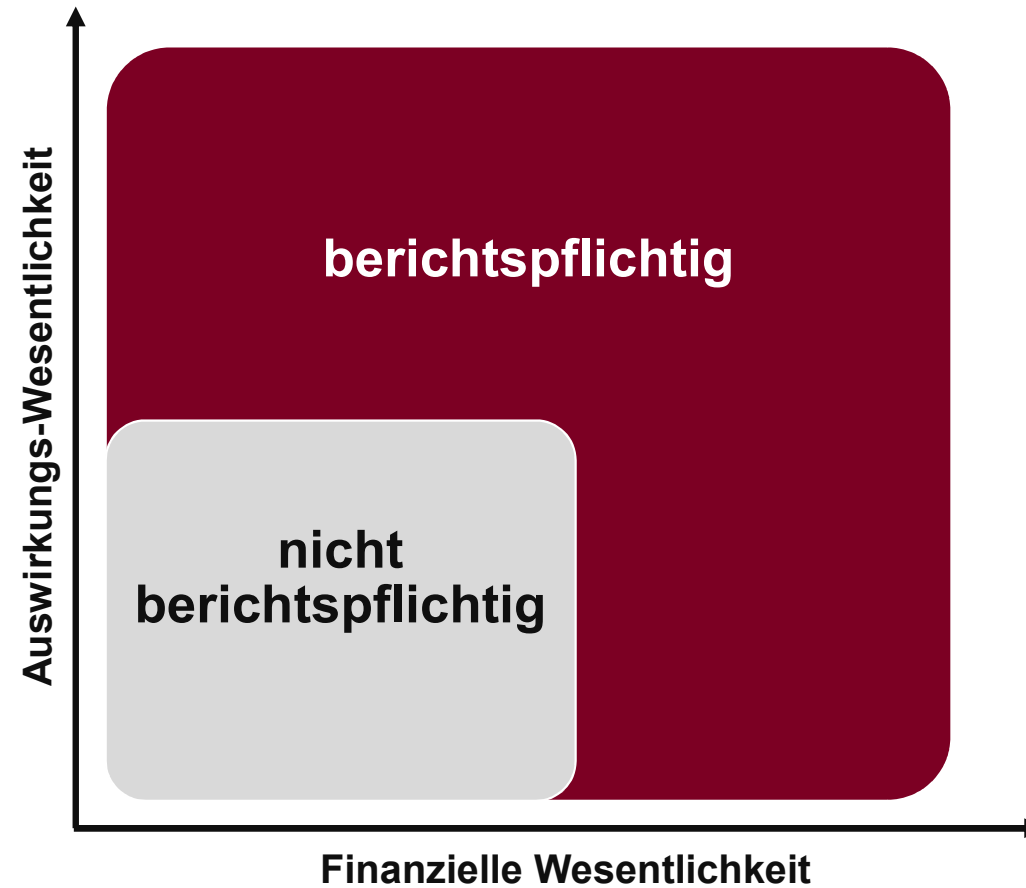
Berücksichtigung von **Abhängigkeiten**

Integration in das finanzielle **Risikomanagement**

# Durchführung



# Essenz in Matrixform



# Nutzen

Was könnte der  
Nutzen der  
Nachhaltigkeits-  
berichterstattung  
für euer  
Unternehmen  
sein?



# Wesentliche Themen der TU Graz

## Umwelt

### ESRS E1

- Anpassung an den Klimawandel
- Klimaschutz
- Energie

### ESRS E2

- Besorgniserregende Stoffe
- Besonders besorgniserregende Stoffe

### ESRS E5

- Abfälle
- Förderung der Kreislaufwirtschaft

## Sozial

### ESRS S1

- Arbeitsbedingungen
- Gleichbehandlung und Chancengleichheit für alle
- Datenschutz

### ESRS S4

- Zugang zu (hochwertigen) Informationen
- Persönliche Sicherheit von Verbraucher\*innen und/oder Endnutzer\*innen
- Soziale Inklusion von Verbraucher\*innen und/oder Endnutzer\*innen
- Datenschutz

## Governance

### ESRS G

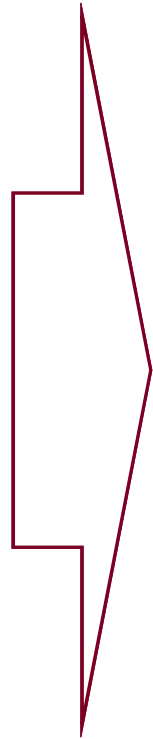
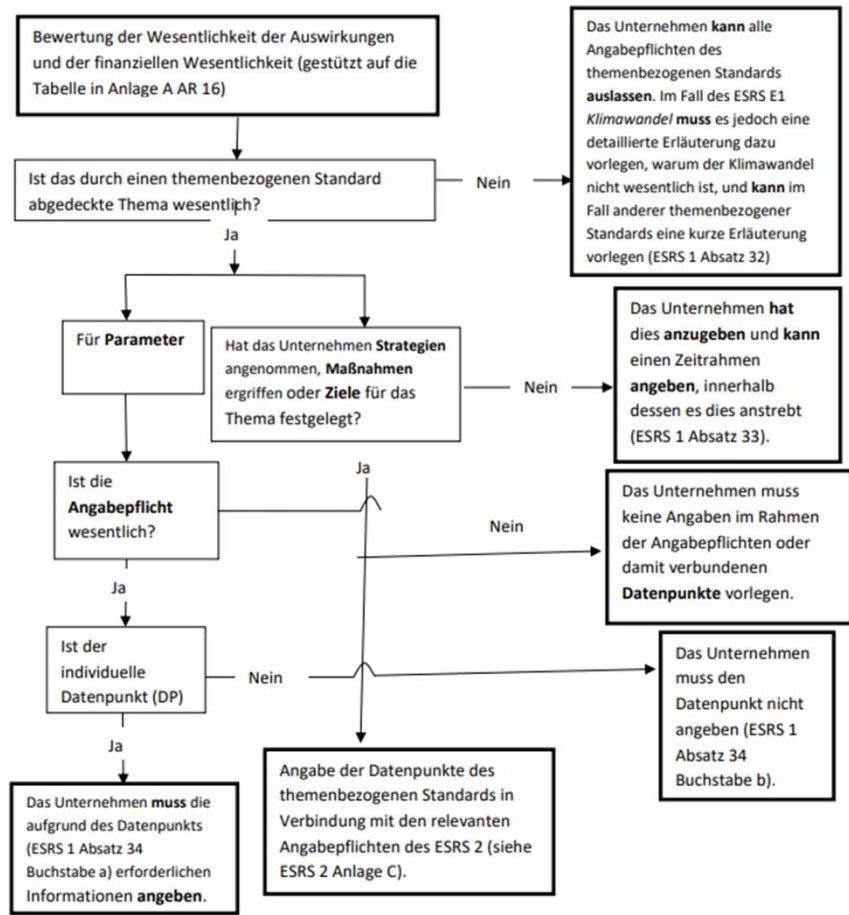
- Unternehmenskultur
- Schutz von Hinweisgebern
- Beitrag zum Schaffen von Rahmenbedingungen
- Vermeidung von Korruption und Bestechung

## Uni-spezifisch

### UNI - S

- (Forschungs-) Strategie
- Nachhaltigkeit in der Forschung
- Nachhaltigkeit in der Lehre
- Standortaufwertung für weitere Unternehmen

# Nächster Schritt – Wesentliche Datenpunkte



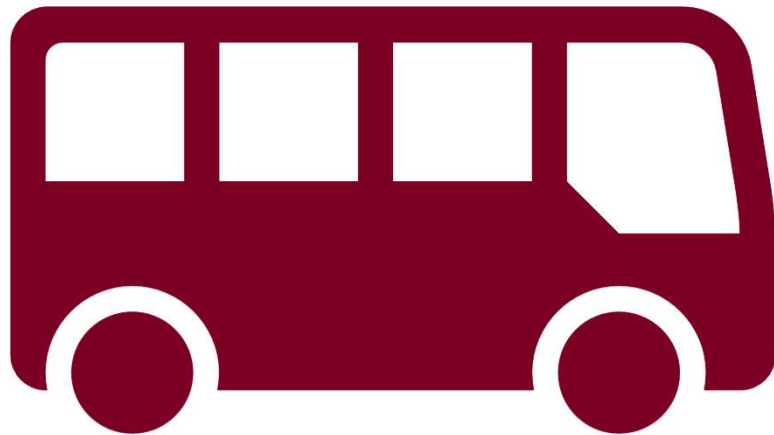
**Strategien  
Ziele  
Maßnahmen**

# Datenqualität & Herausforderungen

Welche Daten  
sind eurer  
Meinung nach am  
schwierigsten zu  
erfassen?



## Ausblick & Trends



- EU-Kommission
- Omnibuspakete I und II
- 26. Februar 2025
- Ziel: Vereinfachung der
  - Regulatorischen Anforderungen
  - Sorgfaltspflichten
  - Europäische Investitionsprogramme
  - Wettbewerbsfähigkeit der EU stärken

# Claudia Hofbauer, BA M.Sc.

Nachhaltigkeitsbeauftragte

**Stabseinheit Nachhaltigkeit**  
**Nachhaltigkeit gesamtheitlich denken und leben**

Technische Universität Graz  
Münzgrabenstraße 36/II, 8010 Graz , Austria  
+43 316 873-8204

[c.hofbauer@tugraz.at](mailto:c.hofbauer@tugraz.at)

[TU4U: Stabseinheit Nachhaltigkeit](#)  
[Klimaneutrale TU Graz 2030](#)

# Links

**EFRAG:** [Europe's Voice in Corporate Reporting](#) | [EFRAG](#)



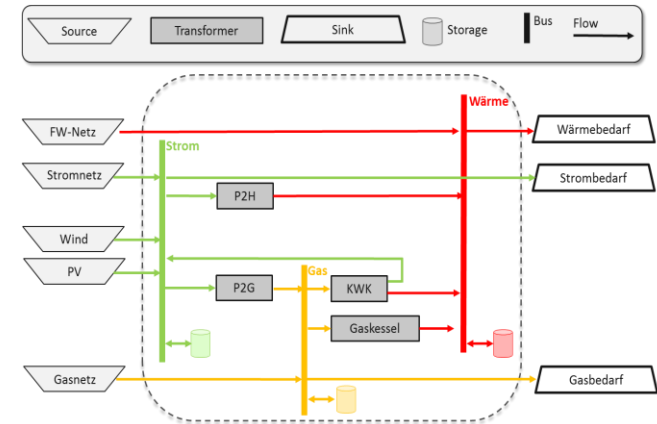
Willkommen bei

# Energy and Green Production 1

Teil 1: Randbedingungen

Prof. Dr. Thomas Kienberger

# Areas of Research at the Chair of Energy Network Technology



## Industrial Energy-Systems Group

- Design and operation optimization of Low-Exergy Systems
- Implementation of heat-storage systems
- Implementation of renewable energy sources
- Industrial Energy systems as flexibility option

## Integrated Energy-Systems Group

- Optimized use of renewable energy ( $\mu$ KWK, PtG, PtH)
- Multi-Energy-System power flow calculation
- Implementation of waste-heat and flexibility options into the energy-system
- Interaction of Transport-Systems with the Energy-Systems

# Team



Diverse team. All needed disciplines of engineering: power system engineers, mechanical engineers, process engineers, physicists, IT-guys

# SEI ALLES AUSSER GEWÖHNLICH UND

... packe die *Klimafrage* an

... finde kreative *Lösungen*

... werde Teil der *Energierévolution*

... mache *Klimaziele* erreichbar

## STUDIERE IN LEOBEN!

### INFO

*Studiengangsbeauftragter:*  
*Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.*  
*Thomas Kienberger*  
[evt@unileoben.ac.at](mailto:evt@unileoben.ac.at)  
*+43 3842 402-5401*  
[www.evt-unileoben.at](http://www.evt-unileoben.at)

# INDUSTRIELLE ENERGIETECHNIK



# Was ist eine Kilowattstunde (kWh)?

Man kann damit...



... ein Gewicht von einer Tonne um ... m heben

... ein Gewicht von einer Tonne auf ... km/h beschleunigen

... Wasser mit einem Gewicht von einer Tonne um ... K erwärmen

... ... kg Wasser zum Kochen bringen (auf Meereshöhe, ISA)

... ... kg kochendes Wasser verdampfen

**FAZIT:** Thermische Prozesse sind sehr energieintensiv



**FAZIT2:** Hochwertige Energie ist teuer... und sollte daher richtig eingesetzt werden

# Was ist ein Megawatt (MW)?

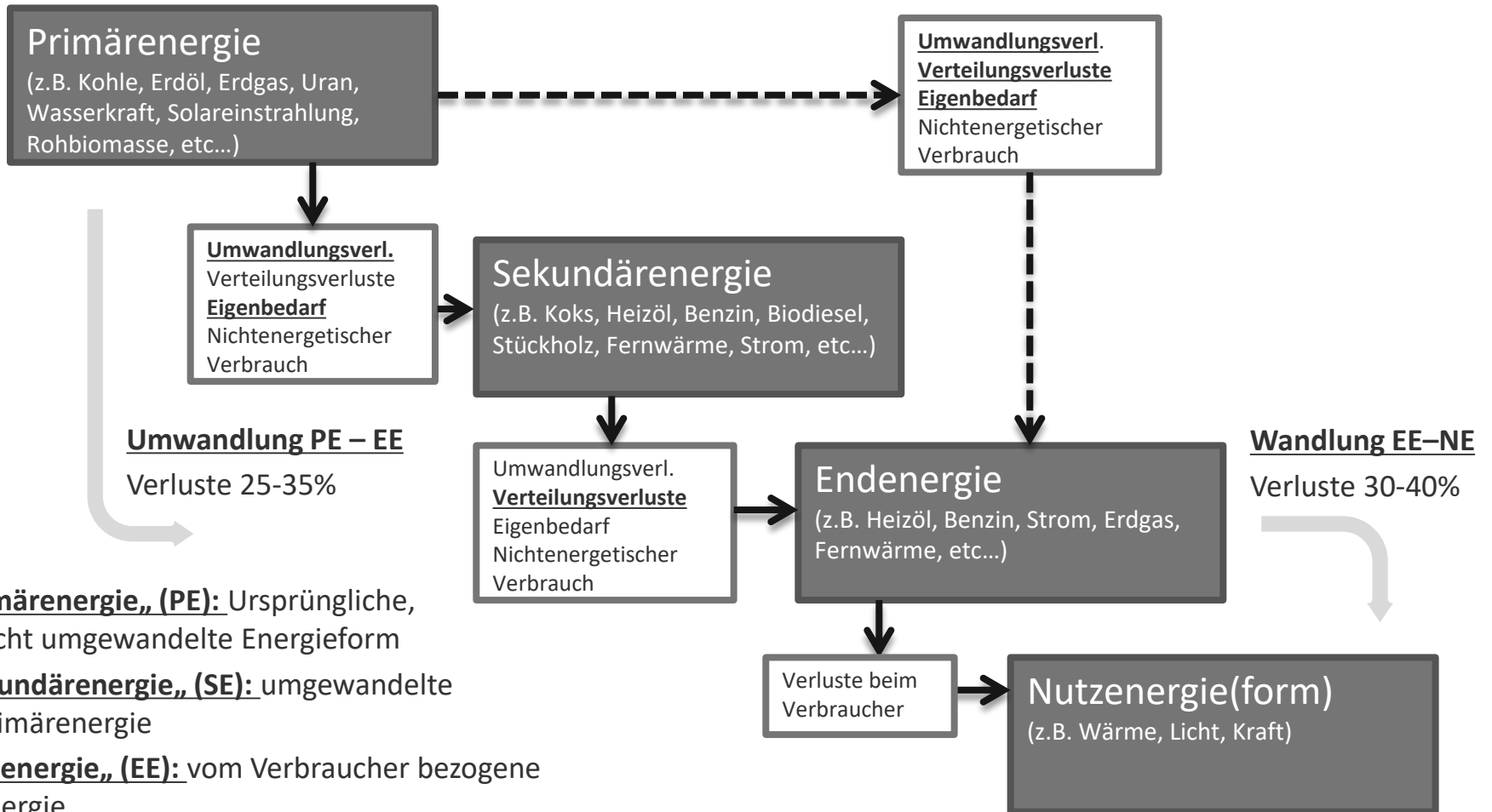
1 MW entspricht...

- ... 1000 Kaffeemaschinen
- ... 50 Kleinf Feuerungen
- ... 10 PKW
- ... 1 Biomasse-Kraftwerk (mit ORC)
- ... 0,2 Windräder
- ... 0,001 Großkraftwerken



**FAZIT:** Die Frage der Energiewandlungskette drängt sich auf!

# Energiewandlungskette



„**Primärenergie**„ (PE): Ursprüngliche, nicht umgewandelte Energieform

„**Sekundärenergie**„ (SE): umgewandelte Primärenergie

„**Endenergie**„ (EE): vom Verbraucher bezogene Energie

„**Nutzenergie**„ (NE): vom Verbraucher zur Energiedienstleistung verwendete Energie

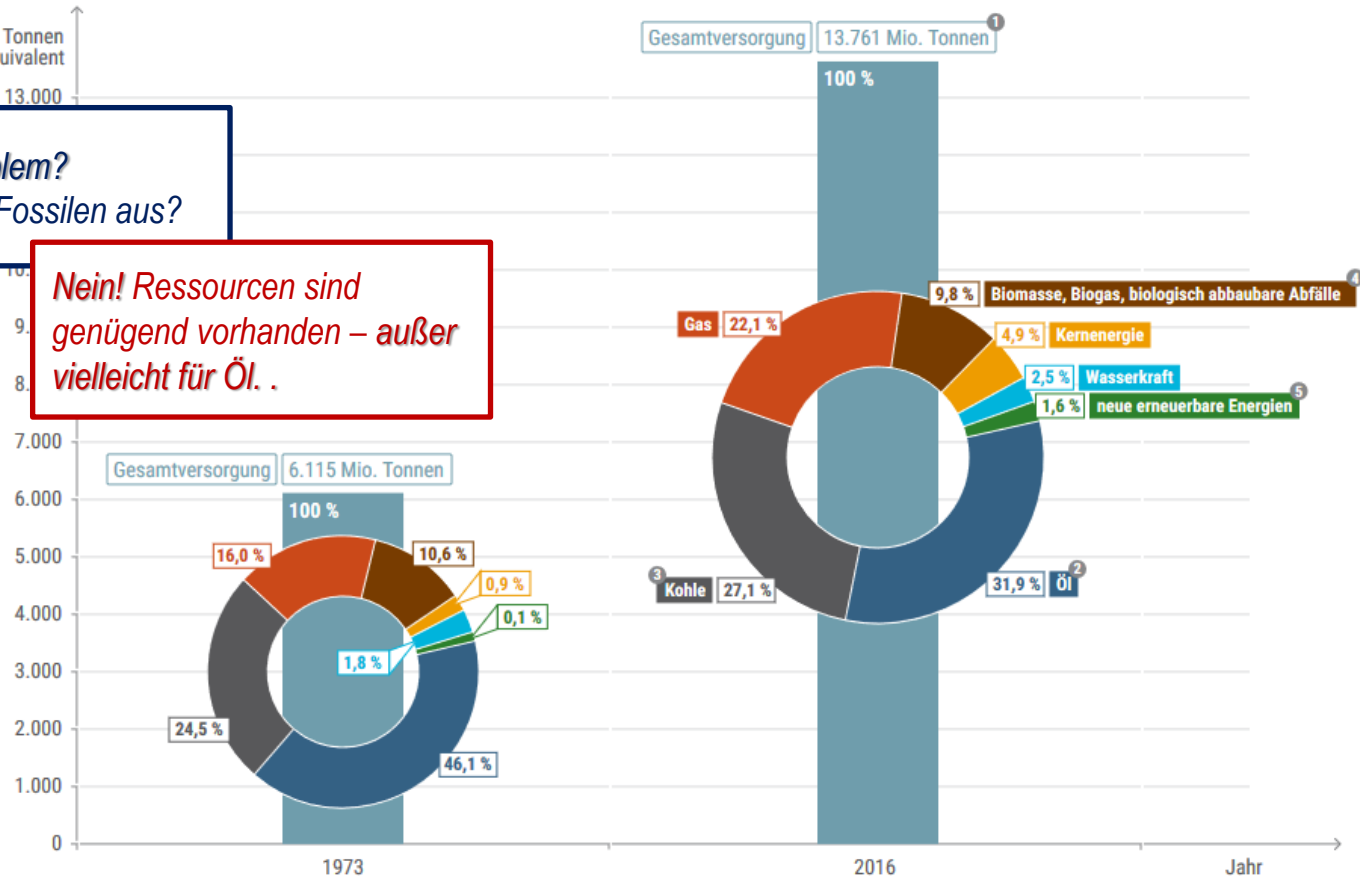
Wie sieht die globale Situation zur  
Versorgung mit Primärenergie aus?

# Globaler Energiebedarf und -aufbringung

Mio. Tonnen  
Öläquivalent

*Wo ist das Problem?  
 Gehen uns die Fossilien aus?*

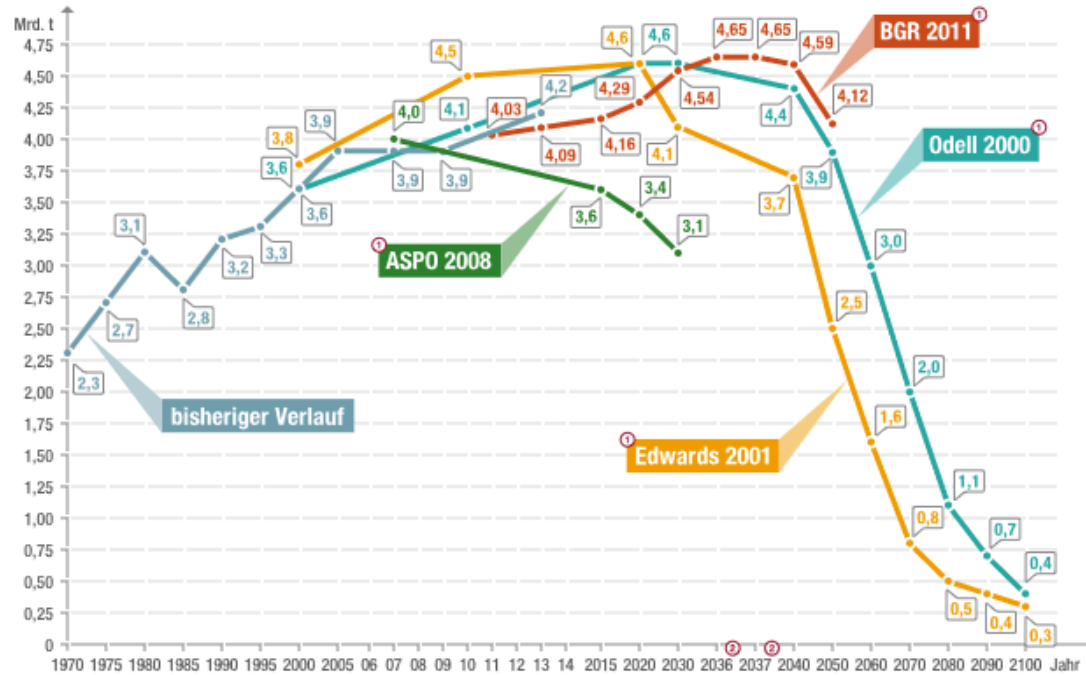
*Nein! Ressourcen sind  
 genügend vorhanden – außer  
 vielleicht für Öl. .*



Source: IEA World Energy Balances database

- Sehr effiziente Primärenergieversorgung die **weltweit** auf über **85%** auf fossilen Energieträgern fußt.
- Wirtschaftswachstum seit dem Ende des 2. Weltkriegs wurde zu einem großen Teil dadurch möglich.
- In den letzten **50 Jahren** hat sich in der Verteilung der Energieträger fossil/erneuerbar **nichts getan** außer, ..dass sich der **Verbrauch verdoppelt** hat!

# Fossile Primärenergie, wie lange noch?

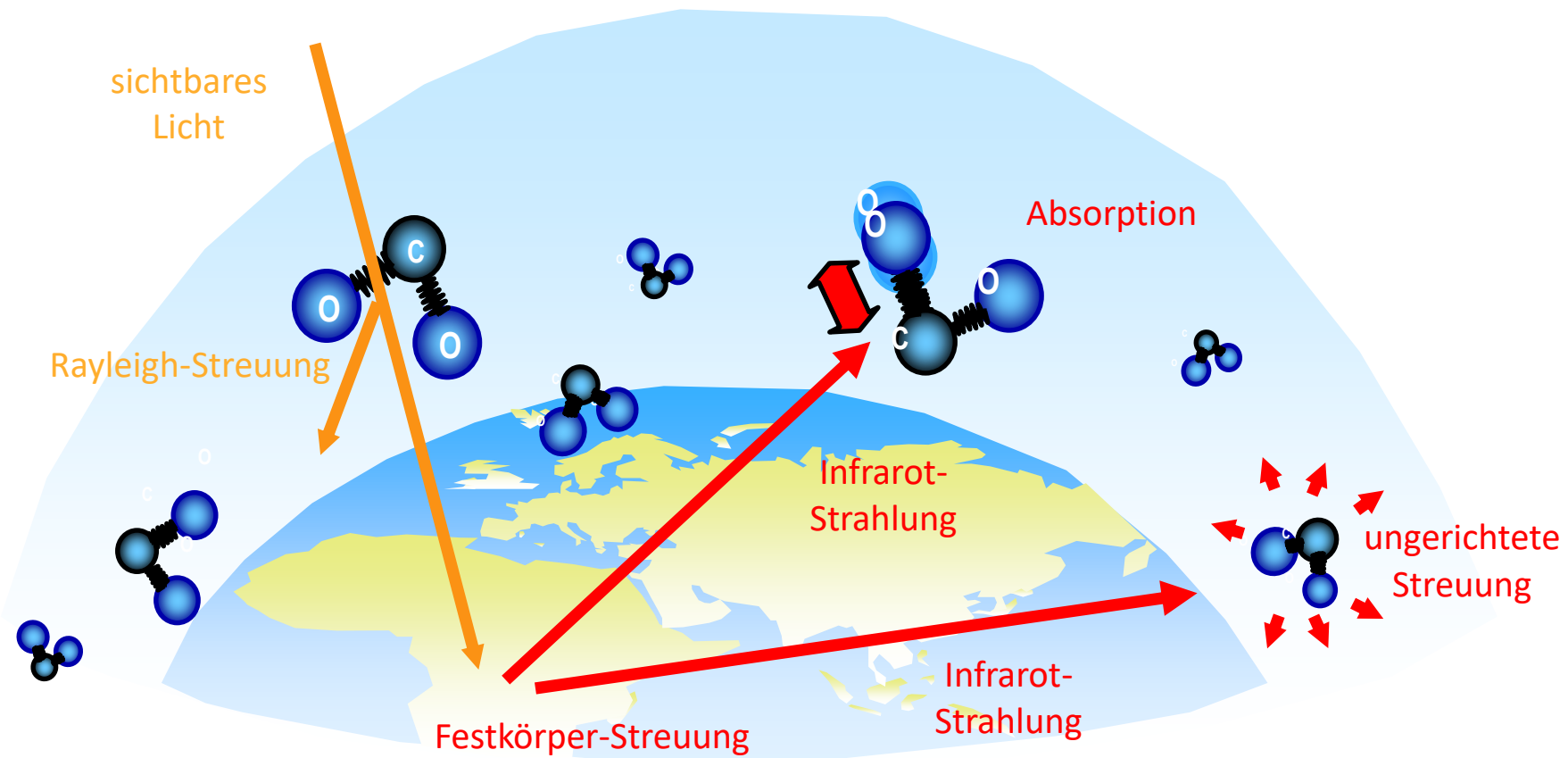


Quelle: BGR: Energiestudie 2014, DERA Rohstoffinformationen 2011, Energierohstoffe 2009

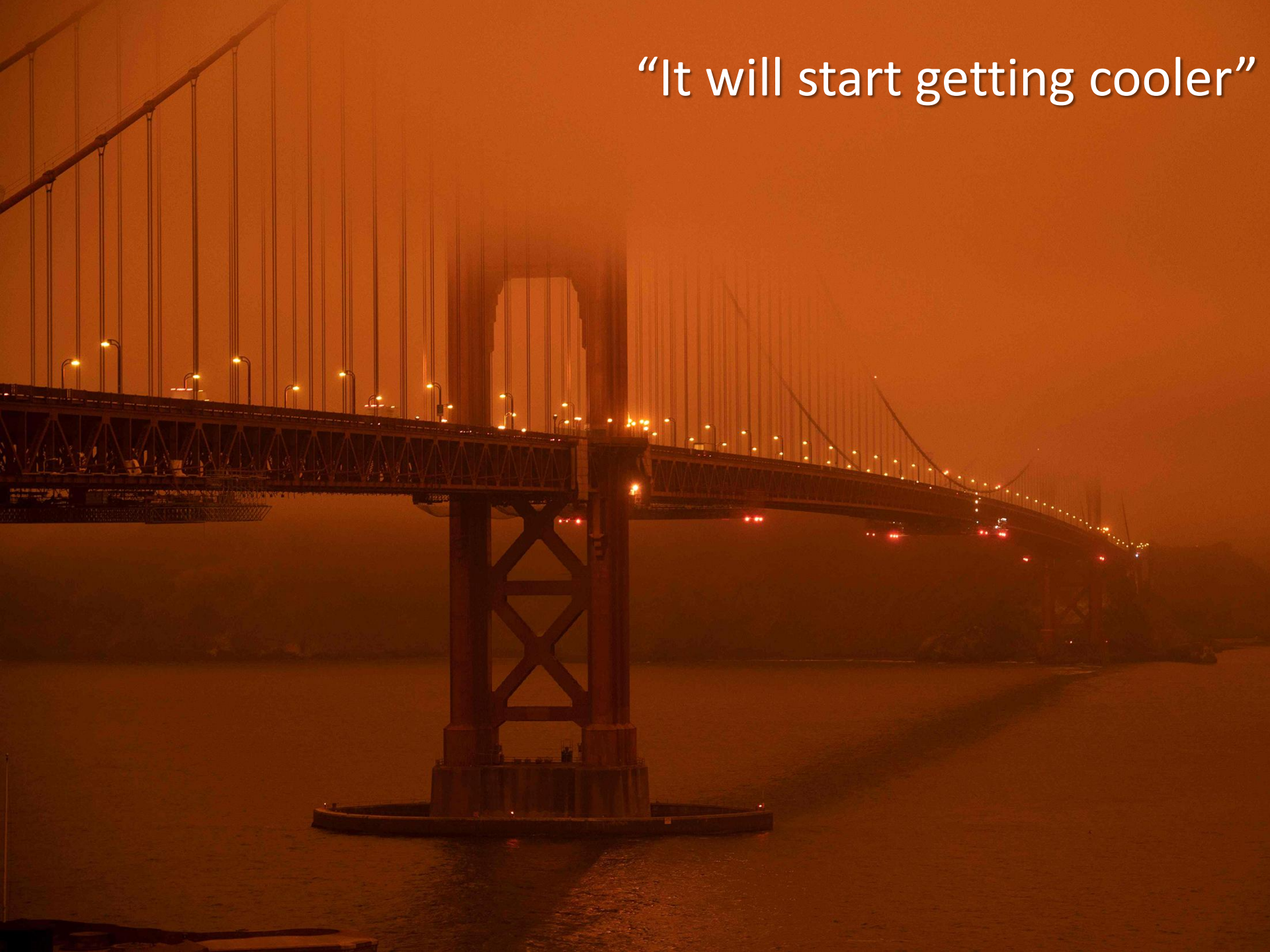
- **Jedes Jahr** wird so viel Öl verbraucht wie in einer halben bis **einer Million Jahren** in der Erdkruste gebildet wurde (deutsche Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe)
- Als **Peak-Oil** wird das Allzeit Fördermaximum an konventionellem und nicht konventionellem Erdöl verstanden.
- Je nach Quelle wird/wurde Peak-Oil in den Jahren **2007-2034** erreicht. Unklar: Gewichtung der nicht-konventionellen Förderung.

# Physikalische Erklärung des Treibhauseffekts

- Temperatur an der Erdoberfläche errechnet sich aus Gleichgewicht zwischen ein- und abgestrahlter Energie
- Streuprozesse in der Atmosphäre bestimmen Temperaturgleichgewicht



“It will start getting cooler”



# “It will start getting cooler”

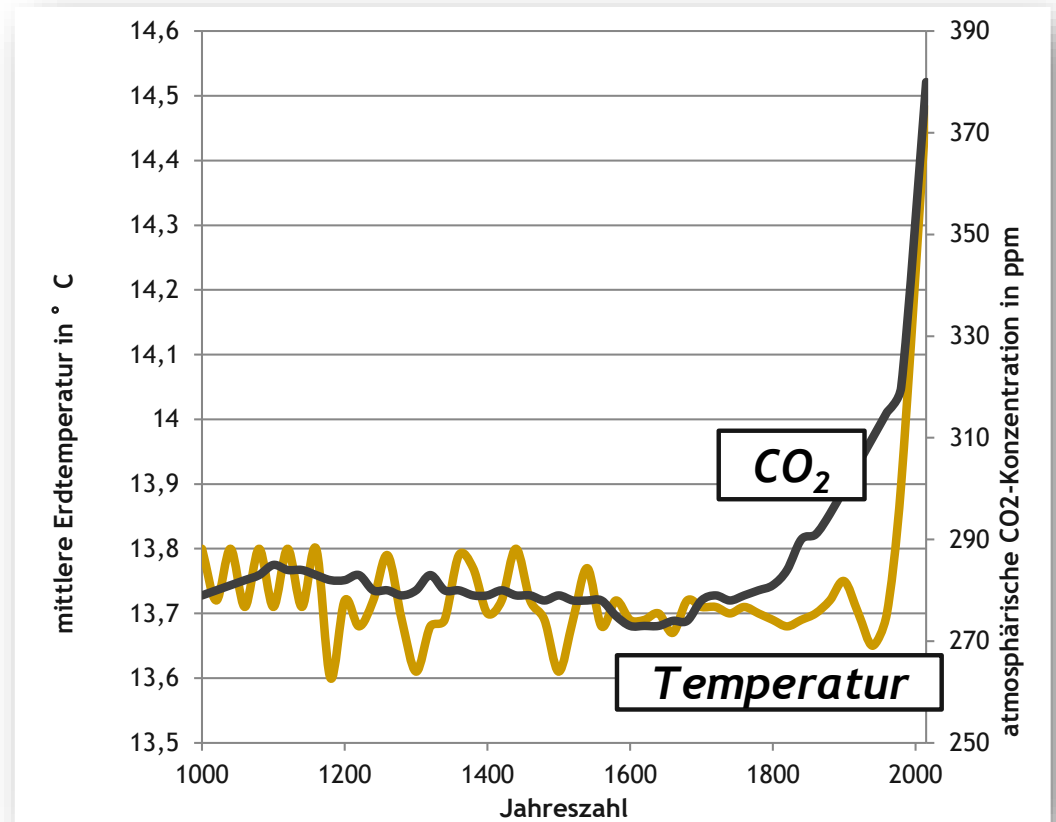
No serious scientist beliefs this today!

Fakten:

Eiskernbohrungen:

Gemessen wird: Isotopenerhältnis O<sup>16</sup>-O<sup>18</sup>

$$\delta^{18}O = \left( \frac{\left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{sample}}{\left( \frac{^{18}O}{^{16}O} \right)_{standard}} - 1 \right) * 1000 \text{ ‰}$$



Quelle: IPCC 2007

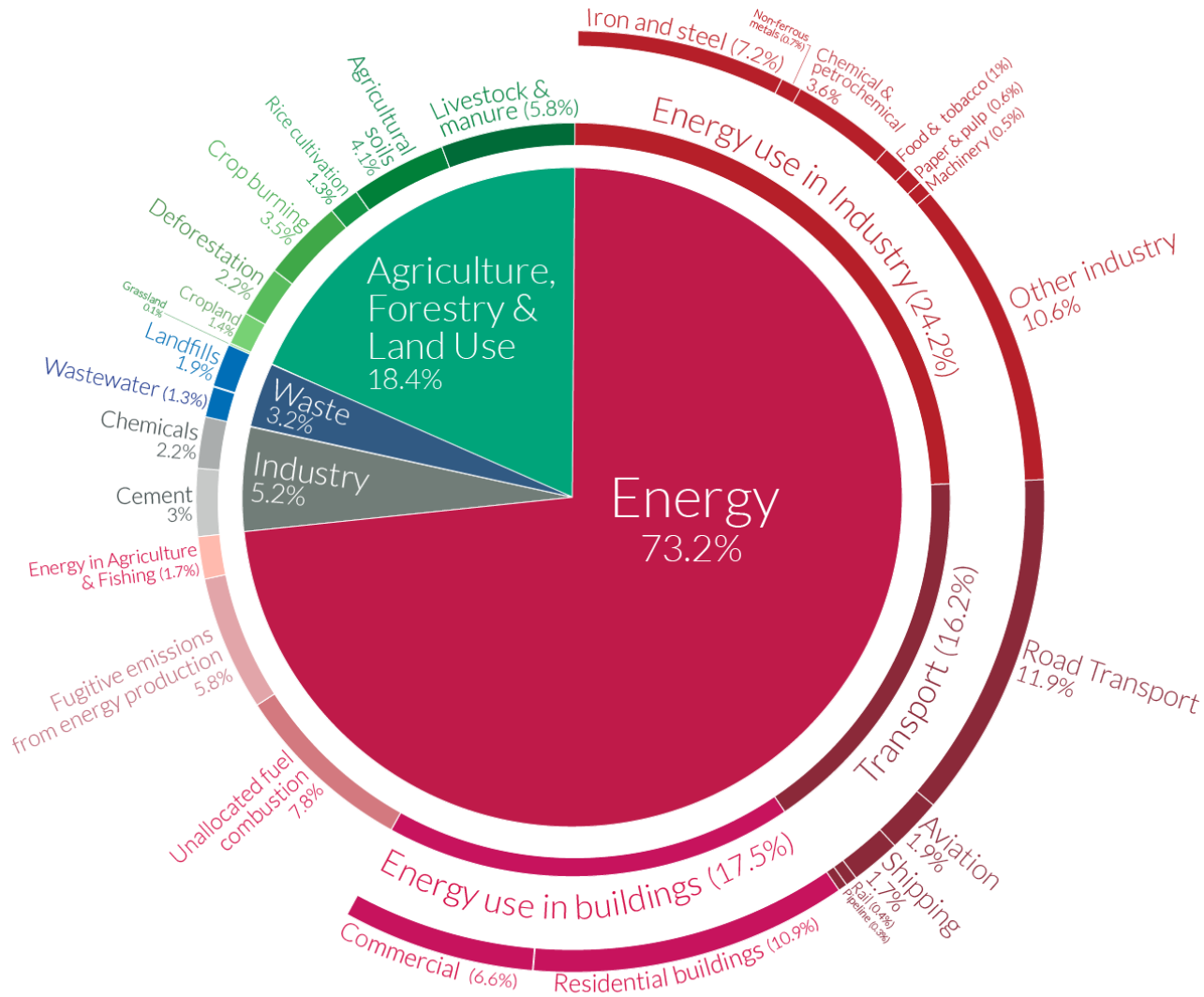
CO<sub>2</sub> Konzentration stieg in den letzten 200 Jahren um mehr als 35%



...und CO<sub>2</sub>-Anstieg ist VOR Temperaturanstieg messbar!

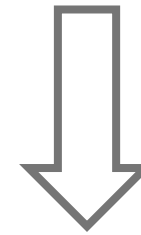
# Ursache von Treibhausgasemissionen

Einfluss der Nutzung fossiler Energieträger

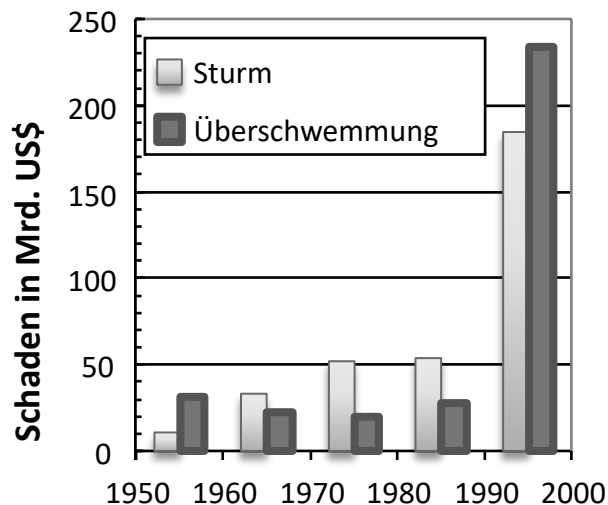


# Absehbare Folgen des Klimawandels

- Verschiebung der Klimazonen
- Ausbreitung von Tropenkrankheiten
- höhere Windgeschwindigkeiten, mehr Stürme
- existentielle Bedrohung der Wälder in gemäßigten und nördlichen Breiten
- Zunahme der Wetter-Extrema



Schadensstatistik der  
Münchener Rückversicherung:

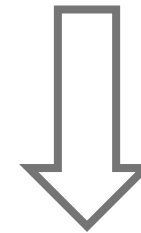


## Zunahme der Klimafolgekosten

- Belastung der Weltgemeinschaft auf vielfältigste Weise
- Starke Dynamik feststellbar.
- Je länger gewartet wird, desto komplexer wird die Bewältigung

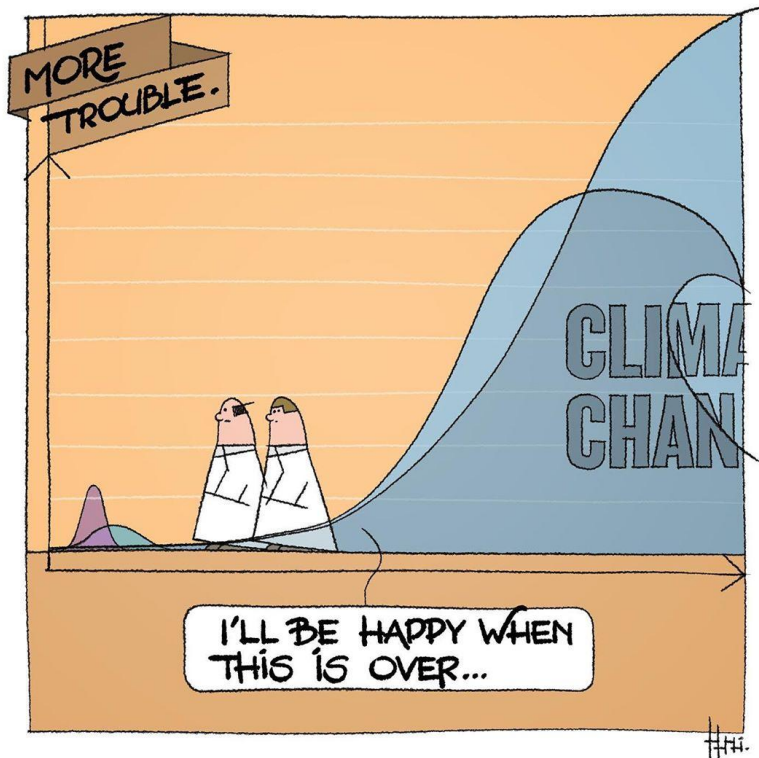
# Absehbare Folgen des Klimawandels

- Verschiebung der Klimazonen
- Ausbreitung von Tropenkrankheiten
- höhere Windgeschwindigkeiten, mehr Stürme
- existentielle Bedrohung der Wälder in gemäßigten und nördlichen Breiten
- Zunahme der Wetter-Extrema



## Zunahme der Klimafolgekosten

- Belastung der Weltgemeinschaft auf vielfältigste Weise
- Starke Dynamik feststellbar.
- Je länger gewartet wird, desto komplexer wird die Bewältigung



“It will start getting cooler”

No serious scientist believes this today!  
...and the young generation understand them fully



# Wie entkommt man dem Klimawandel ?!

## 1. Erneuerbare Energieträger

Integration von Biomasse, Wind und Solar...

*Hinweis:*

*Erneuerbar oder CO<sub>2</sub>-neutral?*

*Auch Fossile können CO<sub>2</sub> neutral sein. (nuclear energy, clean gas, clean coal...)*

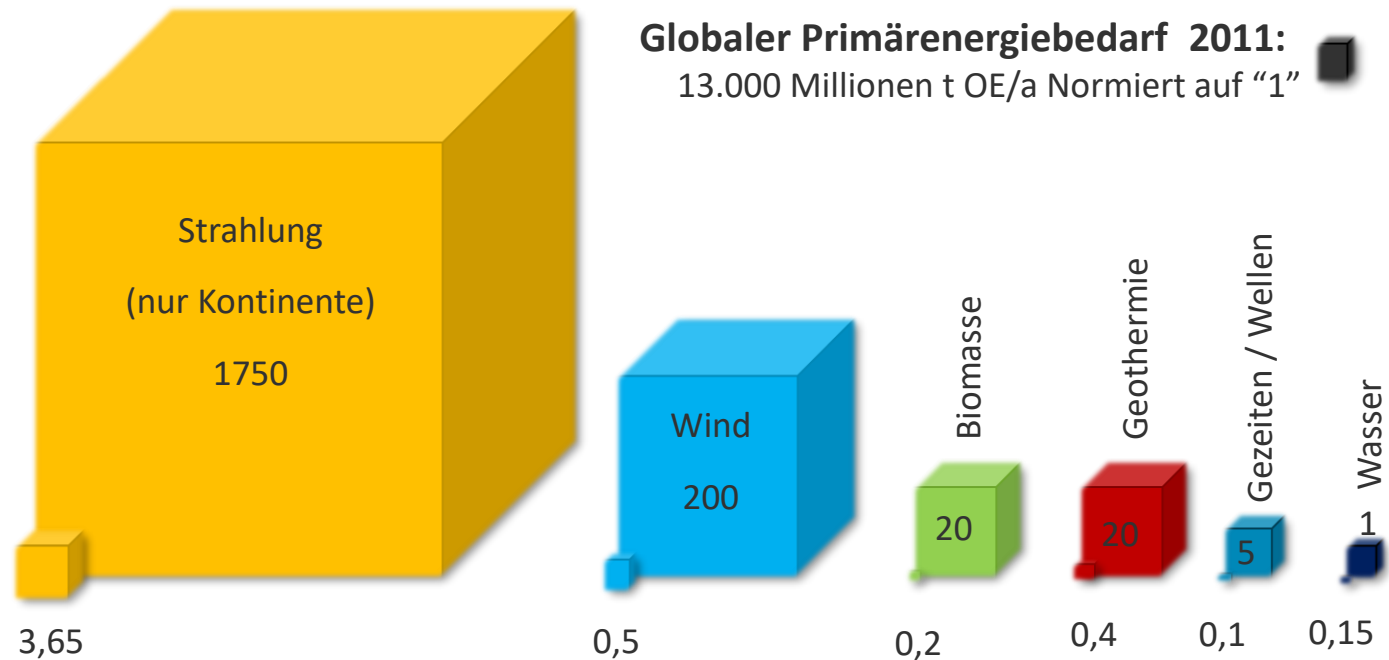


# Erneuerbare Energieträger

Wasserkraft  
Windenergie  
Biomasse  
Solarenergie  
Geothermie  
Ab- und Umgebungswärme



# Erneuerbare Energieträger



Quelle: Nietisch; DLR, 2009

**Physikalisches Energieangebot: ca. "2 000"**

**Technisches Potential (auf Basis heutiger Technologien): ca. "5"**

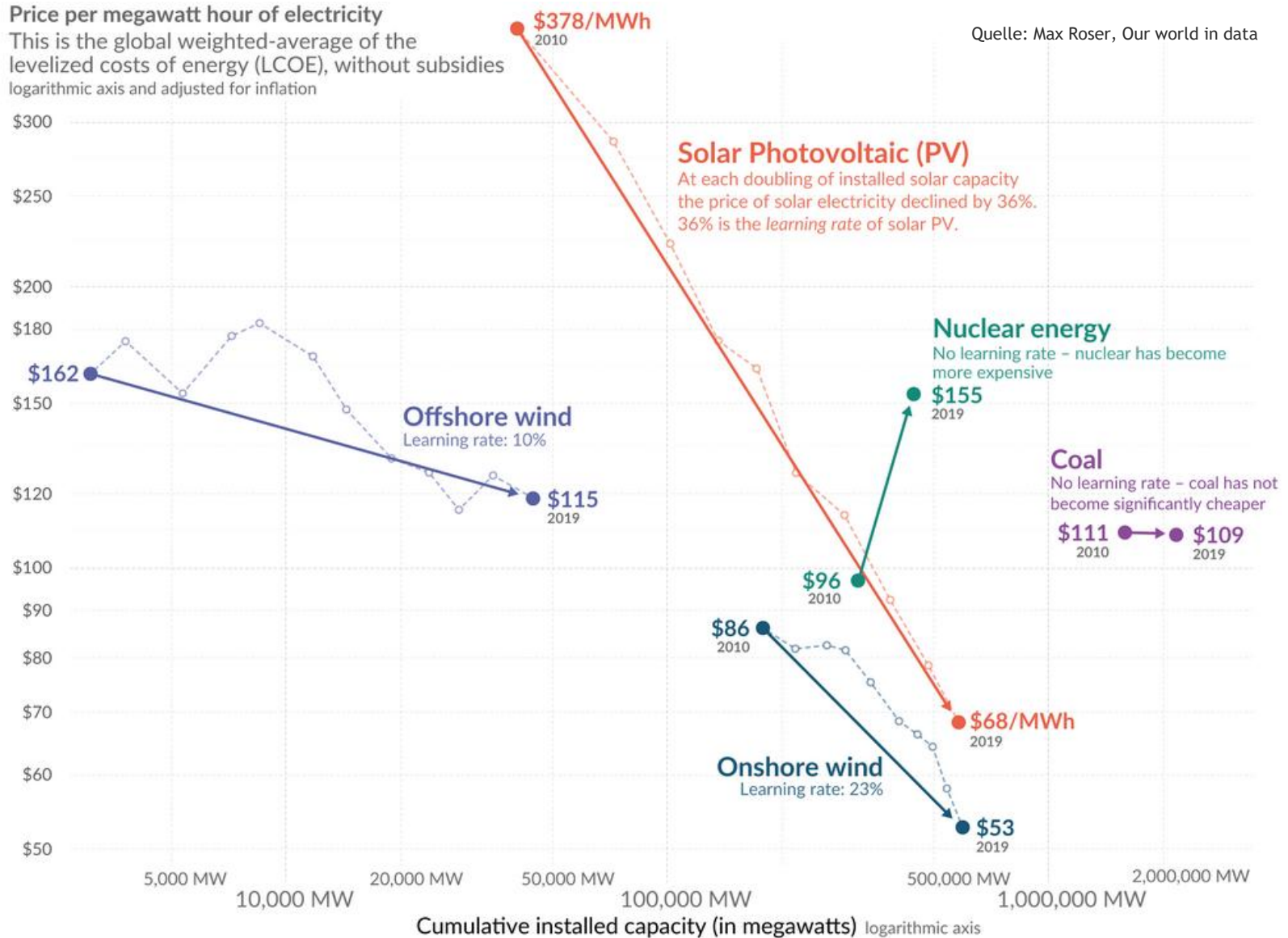
## Herausforderungen

- Angebot vs. Bedarf
- Energietransport
- Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion

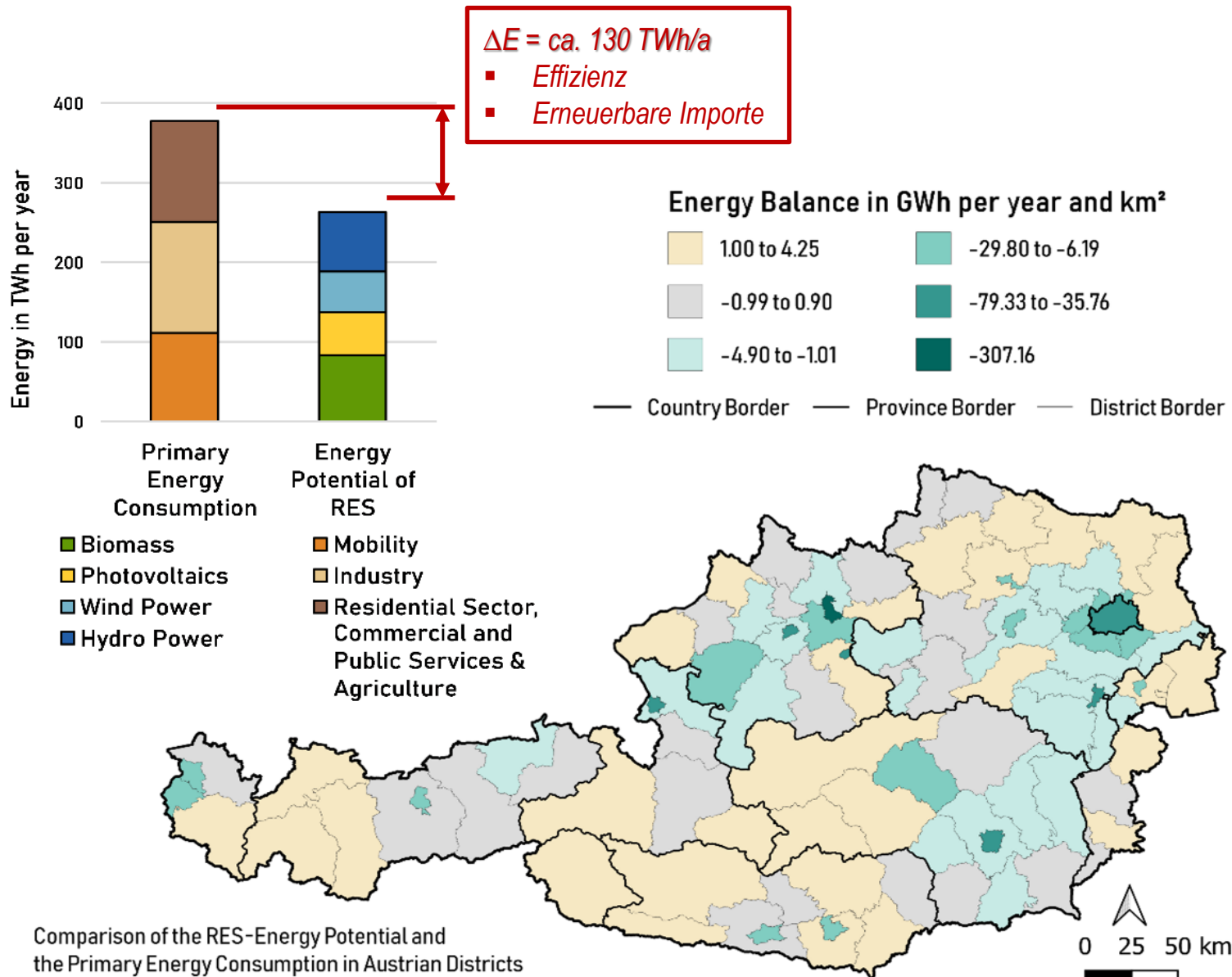
# Erneuerbare Energieträger: Kostenentwicklung

Price per megawatt hour of electricity  
This is the global weighted-average of the levelized costs of energy (LCOE), without subsidies  
logarithmic axis and adjusted for inflation

Quelle: Max Roser, Our world in data



# Erneuerbare Energieträger: Potentiale in Österreich



# Wie entkommt man dem Klimawandel ?!

## 1. Erneuerbare Energieträger

Integration von Biomasse, Wind und Solar...

## 2. Energieeffizienz

Wirkungsgradsteigerung bei fossilem Einsatz

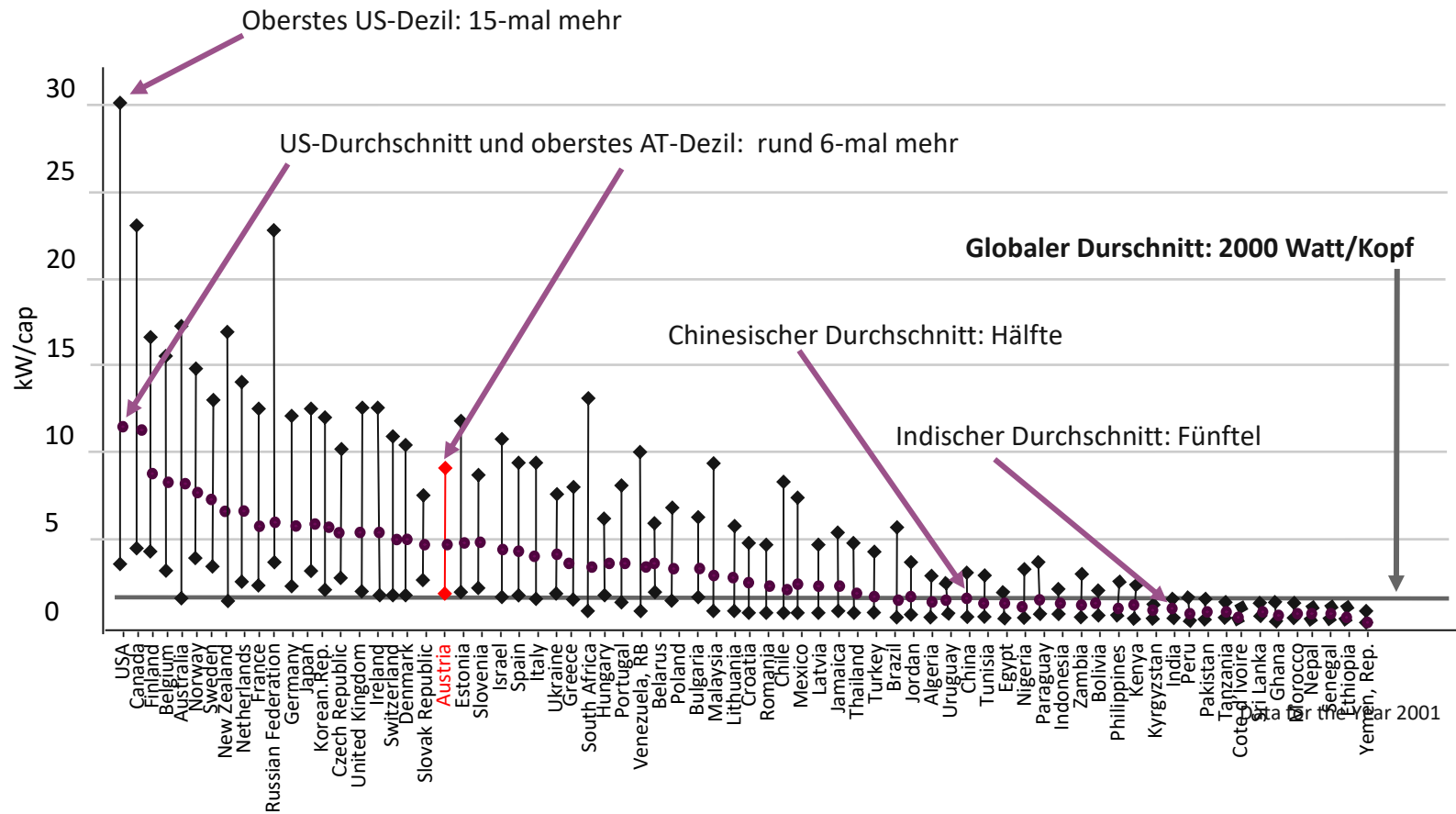
Nutzung von Abwärmen; Kraft-Wärmekopplung,  
weniger Energiekonsum!!



*Suffizienz-Debatte: Wieviel  
Energie benötigt der Mensch  
um „gut“ zu leben*



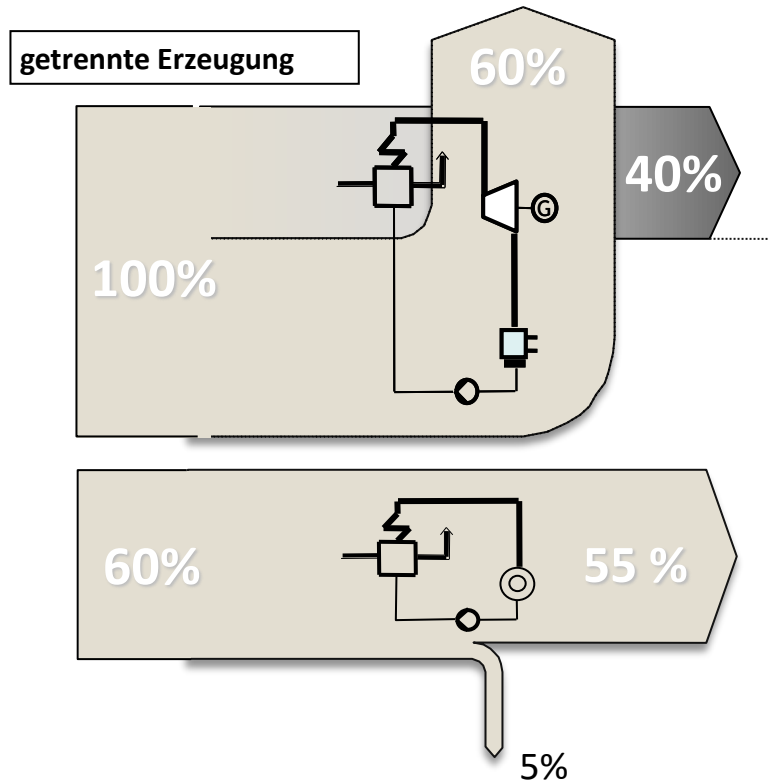
# Suffizienz



Quelle: Rohr, Walde, Batlogg; Energie 2009

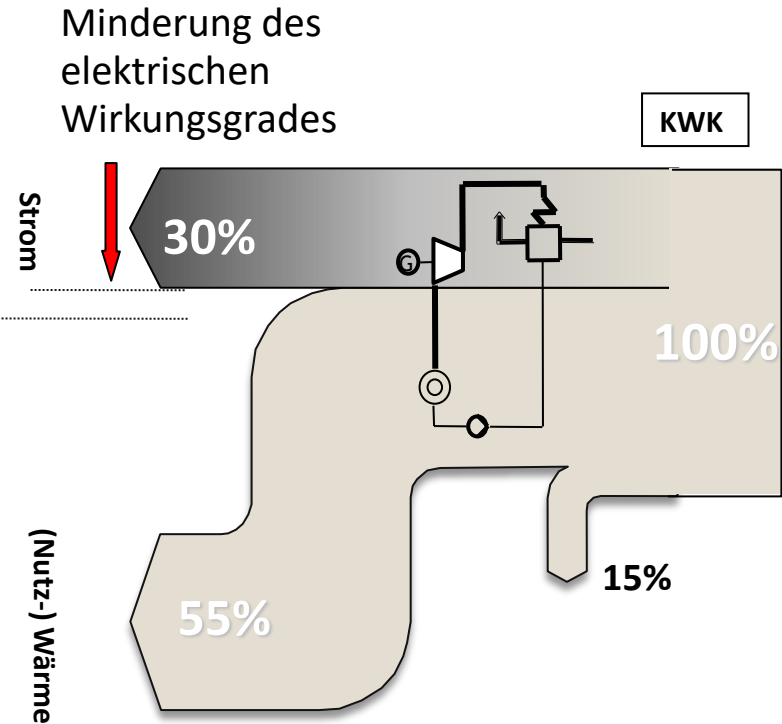
- Primärenergiebedarf kann auch als Dauerleistung über 8760 h angegeben werden.
- 2000 W Gesellschaft ist Ziel, momentan OECD-Schnitt ca. 6kW.

# Energieeffizienz: Abwärmenutzung



Brennstoffeinsatz	160%
Verluste	65%
<b>Brennstoffausnutzungsgrad</b>	<b>60%</b>

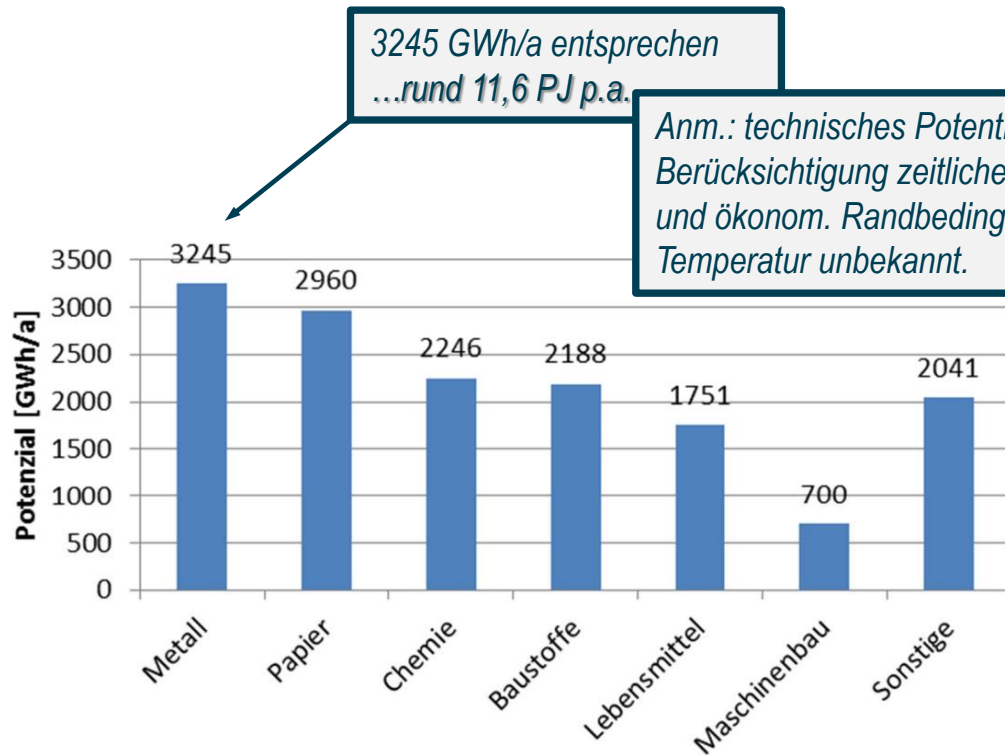
$$\left( \eta_B = \frac{P_{el} + \dot{Q}_N}{\dot{Q}_{FWL,KW} + \dot{Q}_{FWL,KW}} = \frac{40\% + 55\%}{100\% + 60\%} = 59,4\% \right)$$



Brennstoffeinsatz	100%
Verluste	15%
<b>Brennstoffausnutzungsgrad</b>	<b>85%</b>

$$\left( \eta_B = \frac{P_{el} + \dot{Q}_N}{\dot{Q}_{FWL,KW} + \dot{Q}_{FWL,KW}} = \frac{30\% + 55\%}{100\%} = 85\% \right)$$

# Energieeffizienz: Industrielle Abwärmepotentiale in Österreich



## Abwärmepotentialerhebung 2012

### Ergebnisse:

- Technisches Potential: 54 PJ/a bzw. rund 22,5% des privaten Wärmebedarfs.
- Je nach Branche können 5-25% des Endenergieeinsatzes zumindest als Niedertemperaturwärme genutzt werden.

## Fazit:

- Industrielle Abwärmern können insbesondere in den industrialisierten Zentren Österreichs einen großen Teil der Raumwärmeversorgung übernehmen
- Herausforderung: Finanzierung derartiger Projekte

# Wie entkommt man dem Klimawandel ?!

## 1. Erneuerbare Energieträger

Integration von Biomasse, Wind und Solar...

## 2. Energieeffizienz

Wirkungsgradsteigerung bei fossilem Einsatz

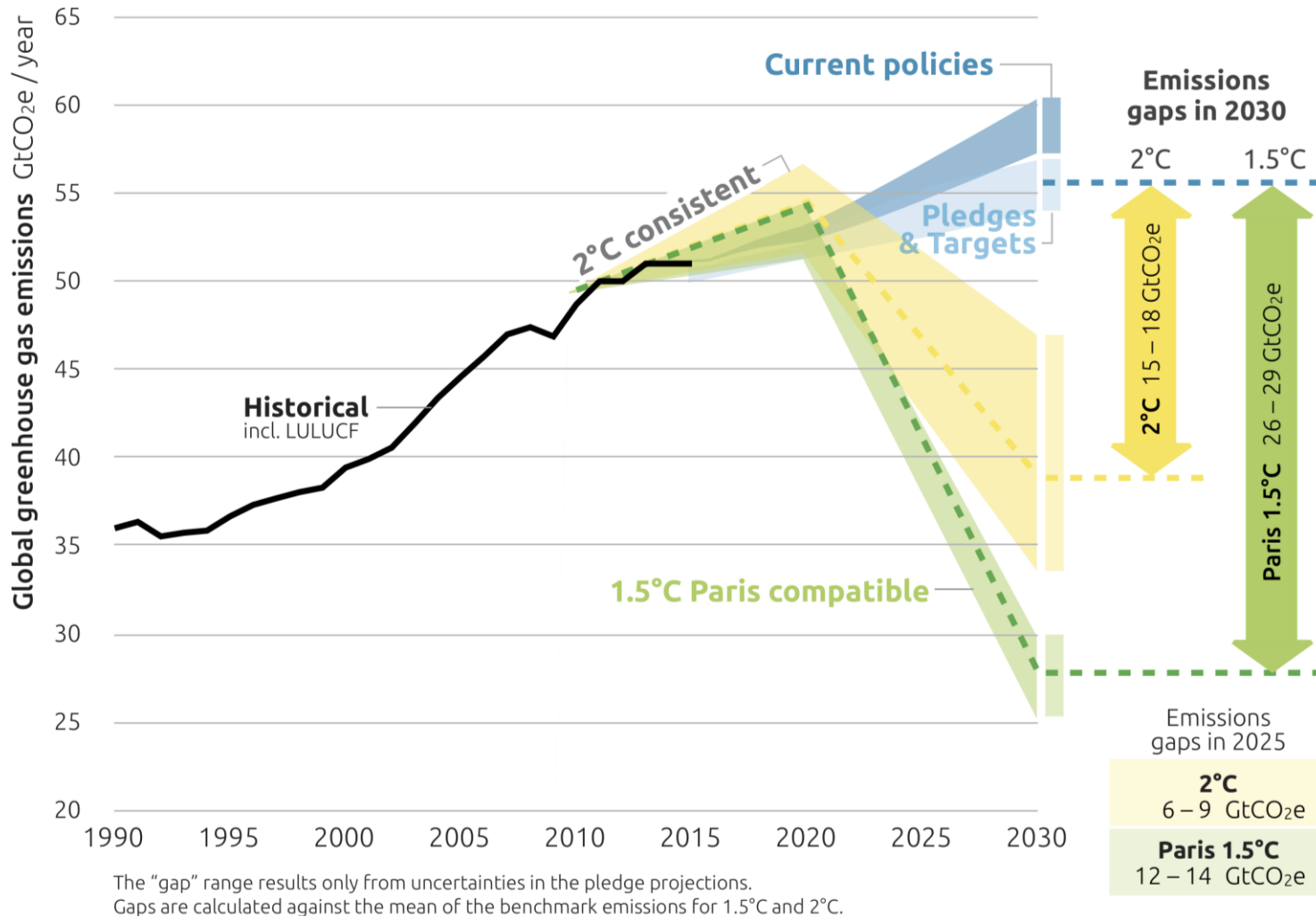
Nutzung von Abwärmern; Kraft-Wärmekopplung



## 3. Implementierung von geeigneten Steuerungswerkzeugen

Fördertarife und/oder CO<sub>2</sub>-Besteuerung?!

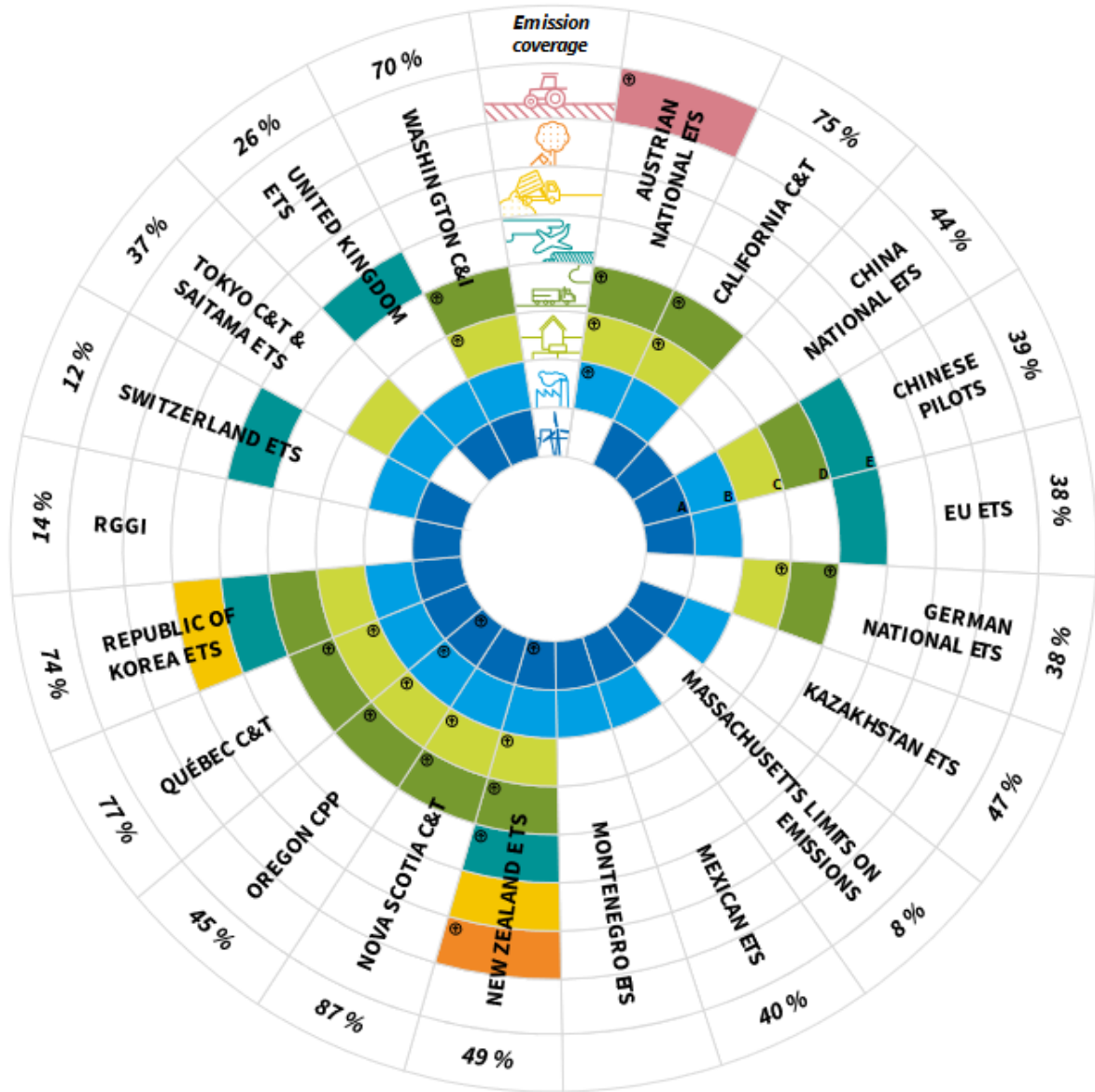
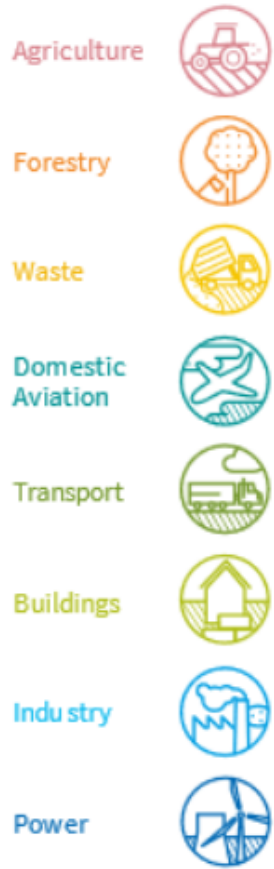
# THG-Reduktionsbedarf



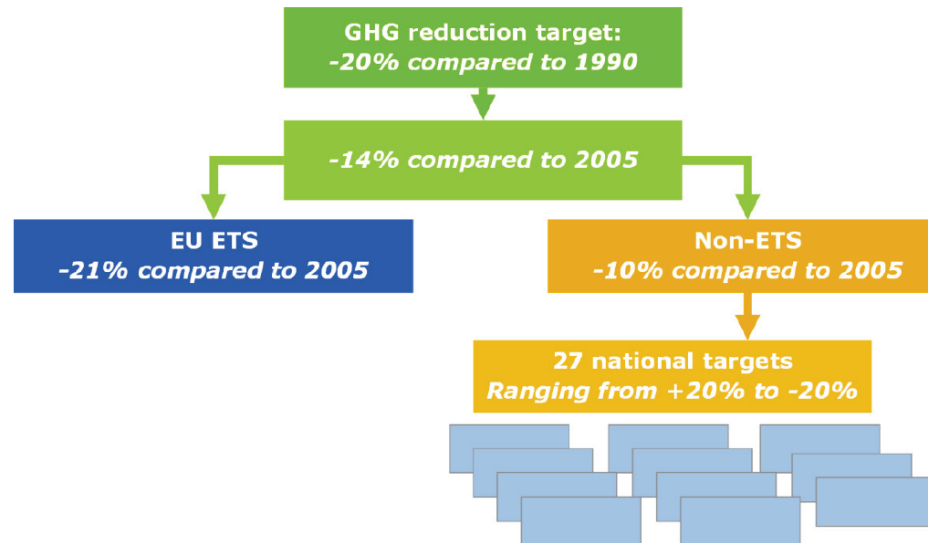
<https://climateactiontracker.org/global/cat-emissions-gaps/>



# ETS-Systeme global



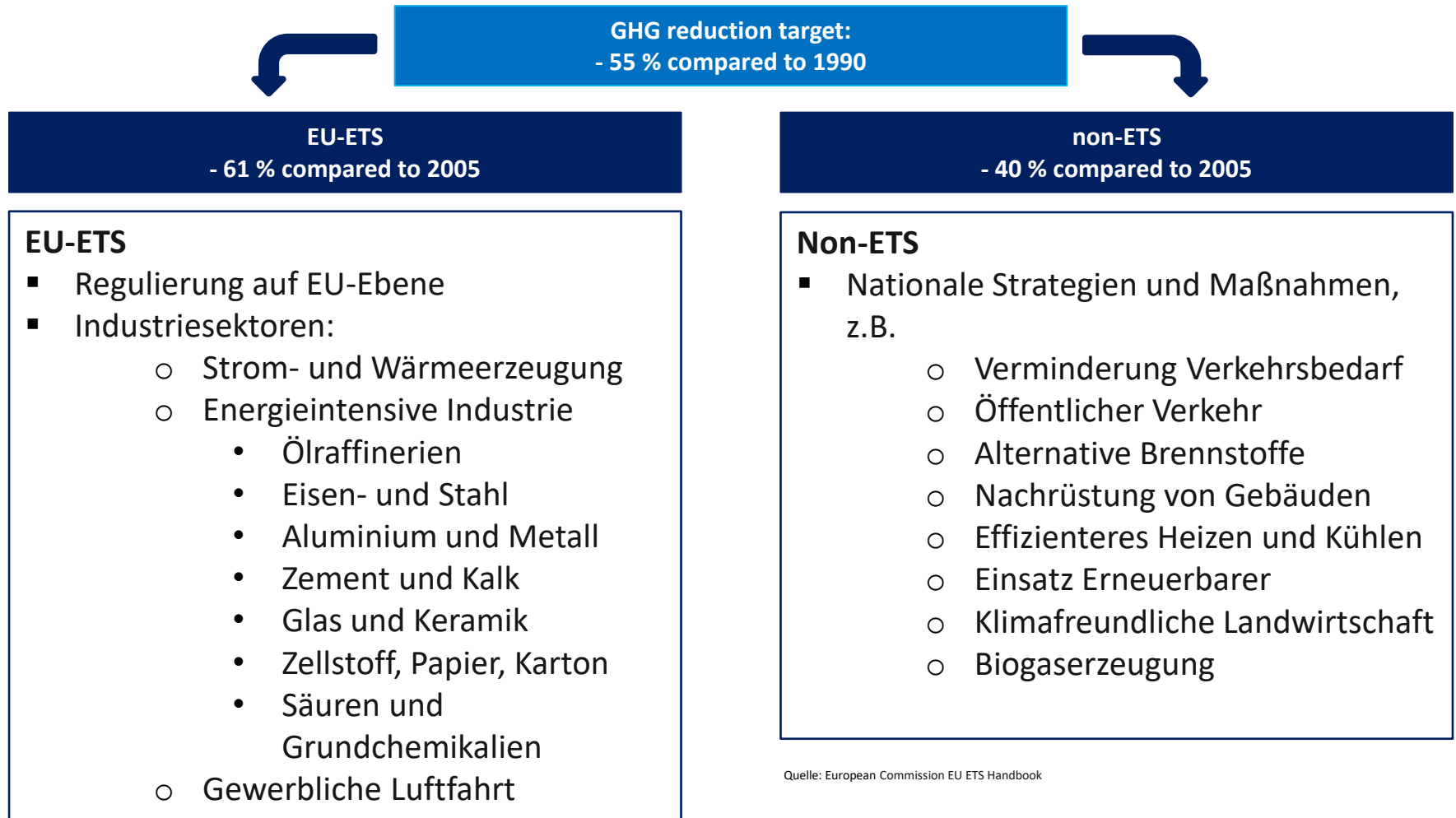
# Europäische Vorgaben: Energiefahrplan



Kategorie	Bis 2020	Fit for 55 (2030)	Langfristig (2050) Keine Rechtskraft
<b>THG-Emissionen</b>	Allgemein: -20 % ggü. 1990 EU-ETS: -21 % Non-ETS: -20 % ggü. 2005	Allgemein: -55 % ggü. 1990 EU-ETS: -61 % Non-ETS: -40 % ggü. 2005	Allgemein: 80-95 % ggü. 1990
<b>Erneuerbare Energie</b>	Allgemein: 20 %	Allgemein: 40%	Offen
<b>Energieeffizienz bzw. Reduktion Primärenergieeinsatzes</b>	Allgemein: -20 %	Allgemein: -36-39%	Offen
<b>Eingesetzte Technologie</b>	Beste verfügbare Technologie	Beste verfügbare Technologie	Beste verfügbare Technologie

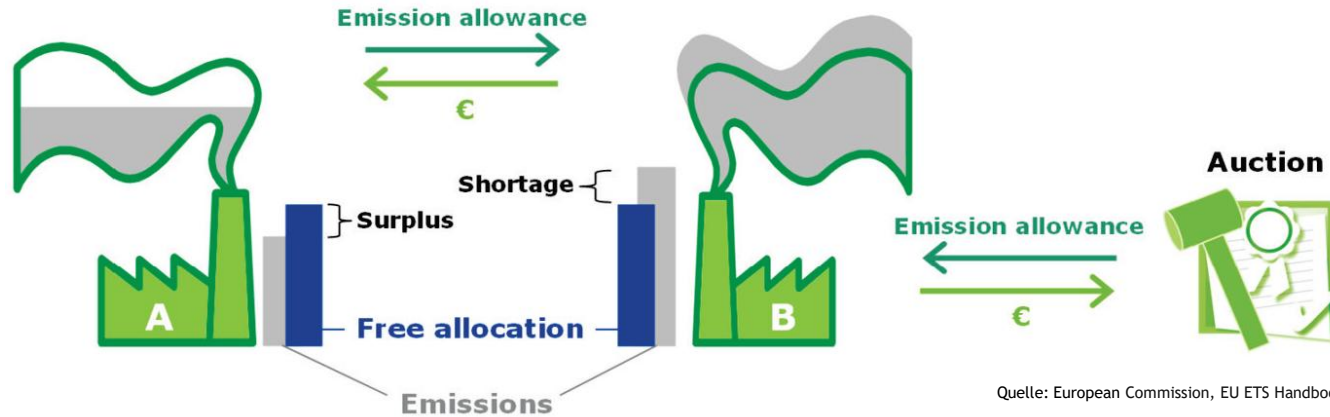


# Europäische Vorgaben: ETS und non-ETS



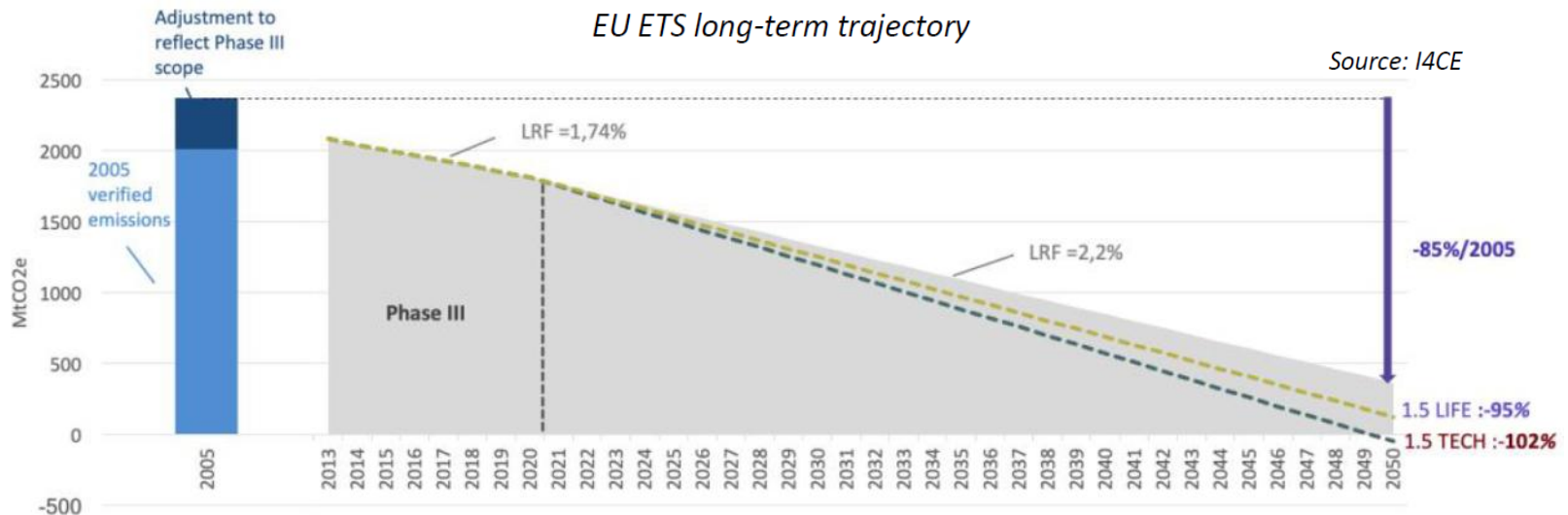
# EU Emission Trading System (ETS)

Wenn keine Einsparmaßnahmen oder Brennstoffwechsel durchgeführt wurden...

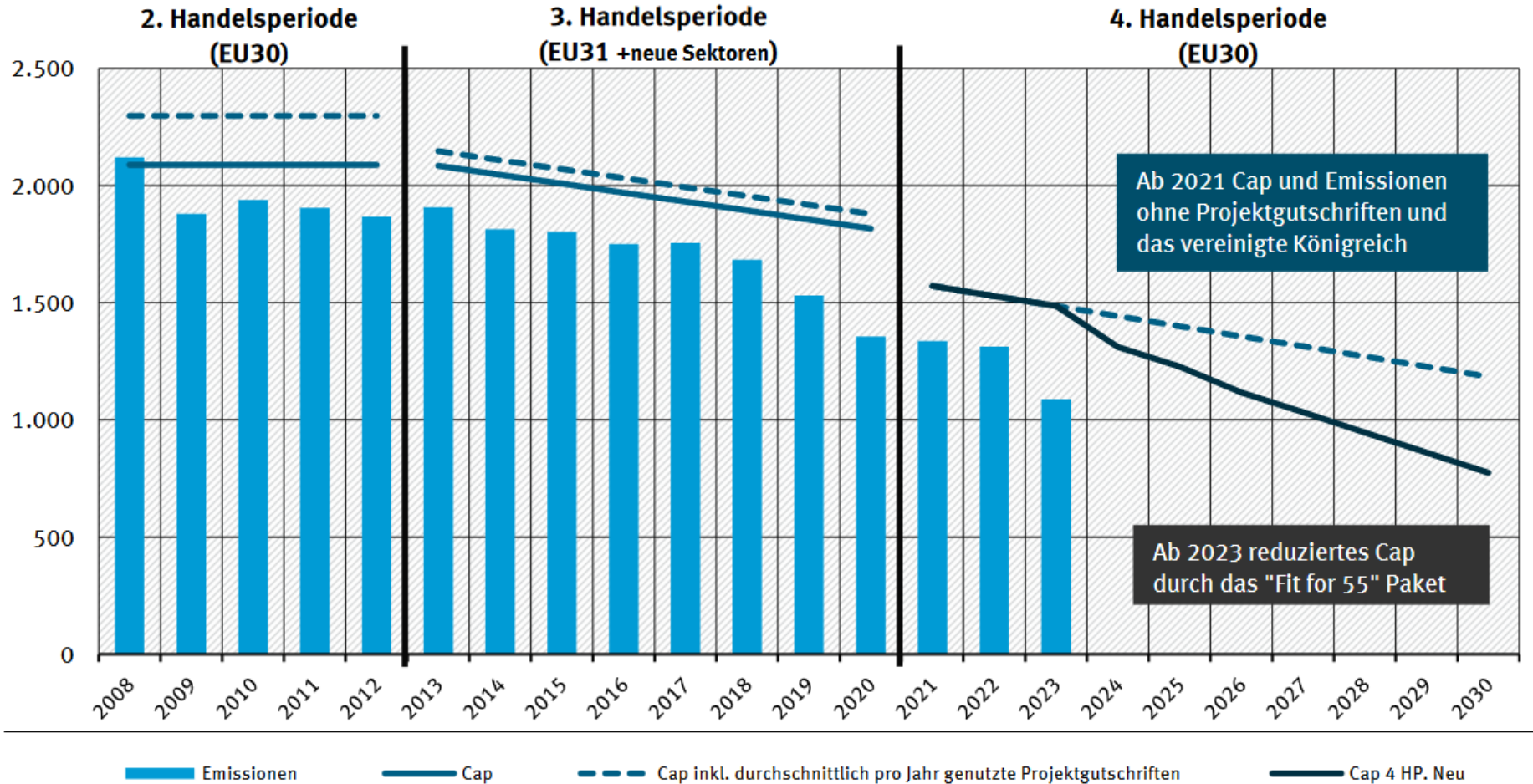


Quelle: European Commission, EU ETS Handbook

EU ETS long-term trajectory

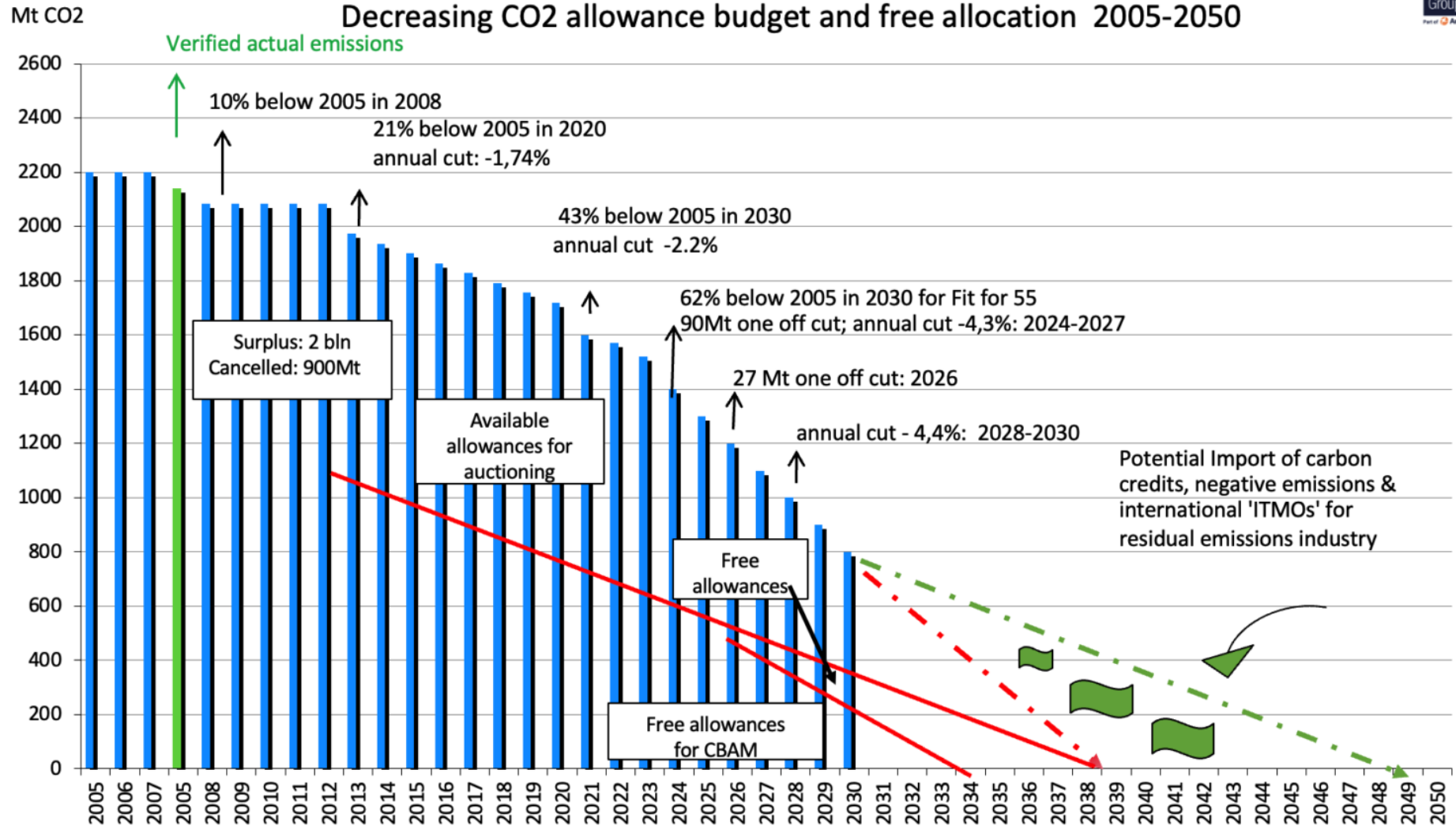


## Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente

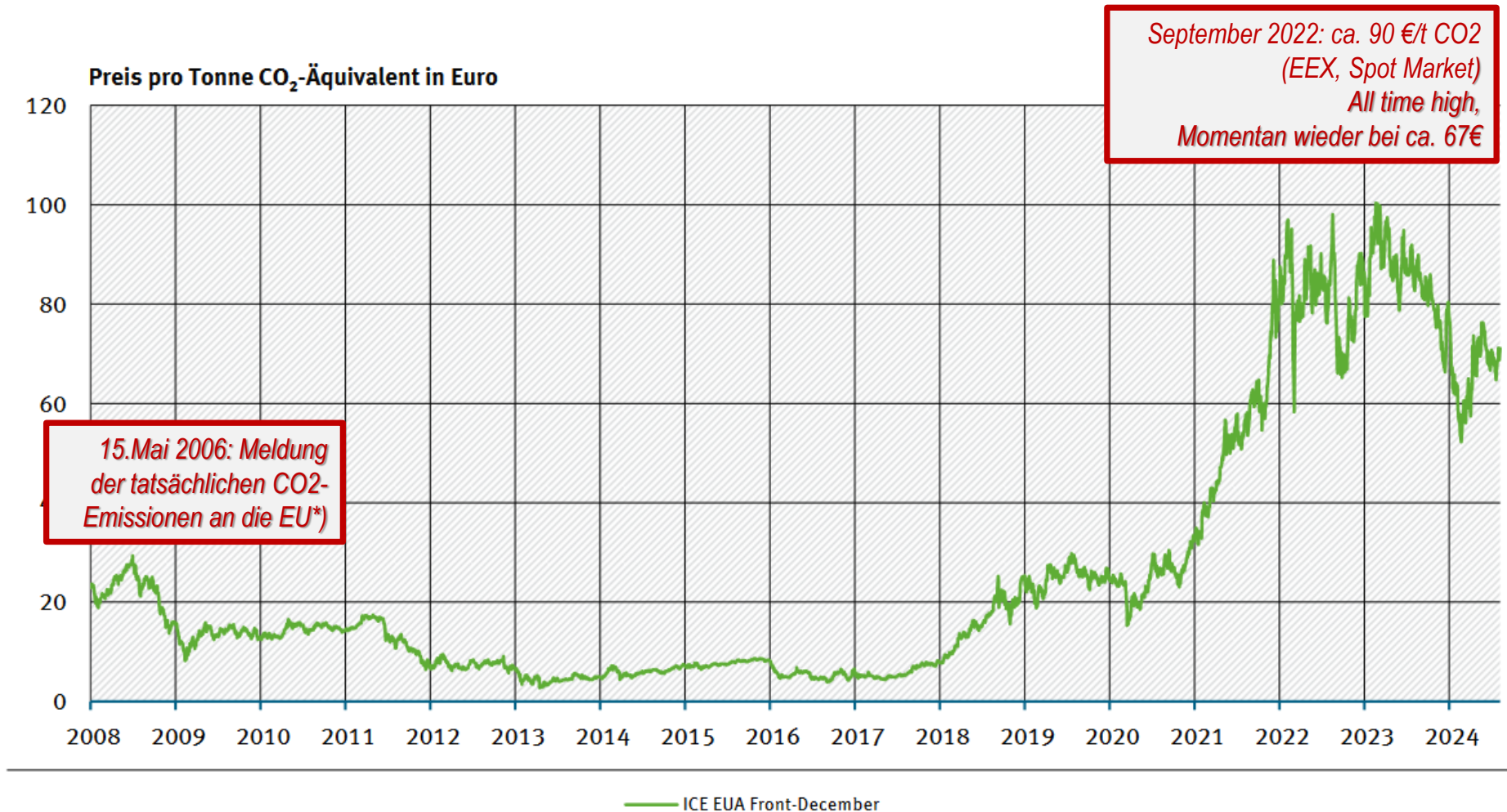


# How does the EU ETS contribute to meeting the Paris goals?

## Decreasing CO2 allowance budget and free allocation 2005-2050

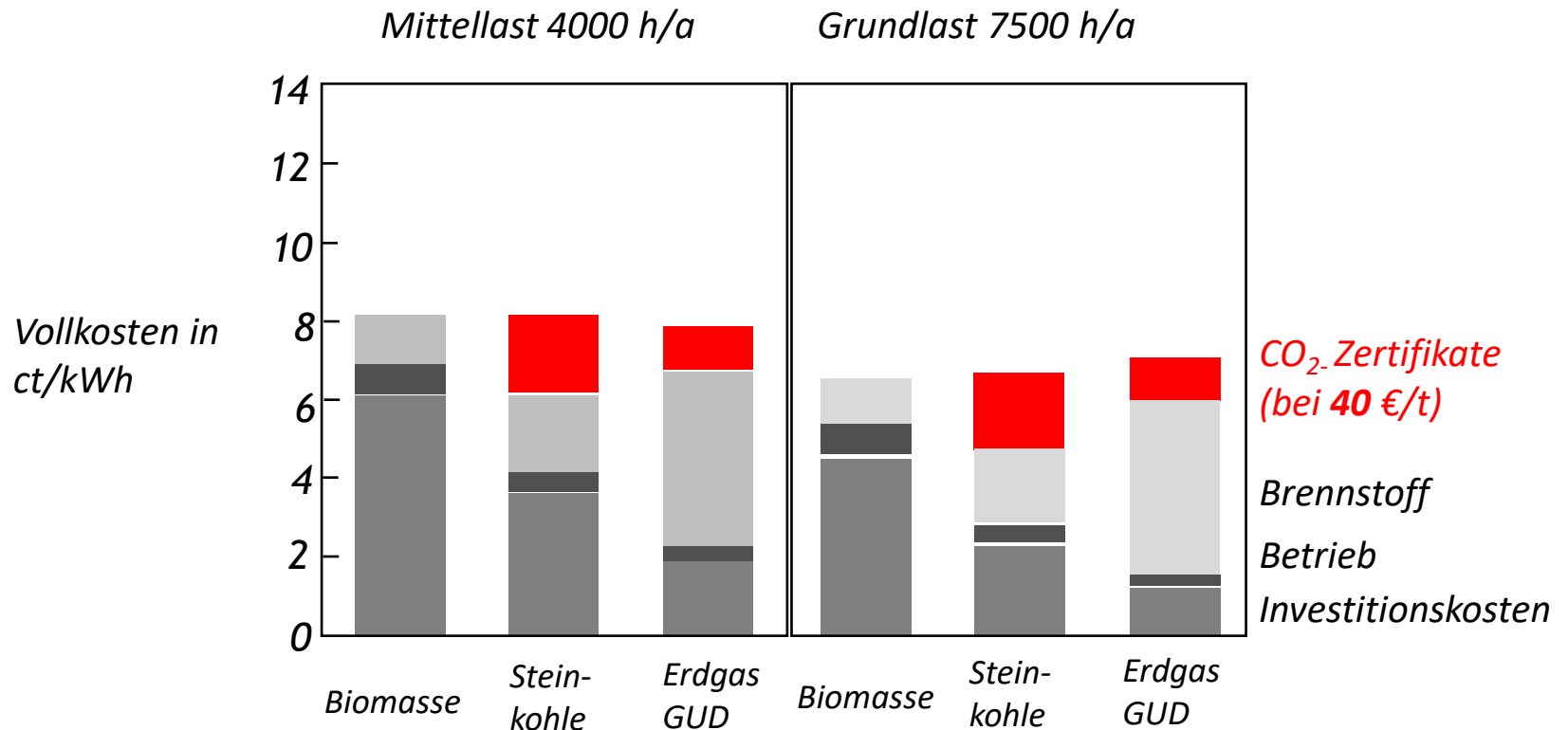


# Erwerb von Emissionszertifikaten



# Einfluss des CO<sub>2</sub>-Handels auf aktuelle Stromerzeugungskosten

(Neuanlagen, Abschreibungsdauer 14 Jahre)



# CBAM (Carbon border adjustment mechanism)

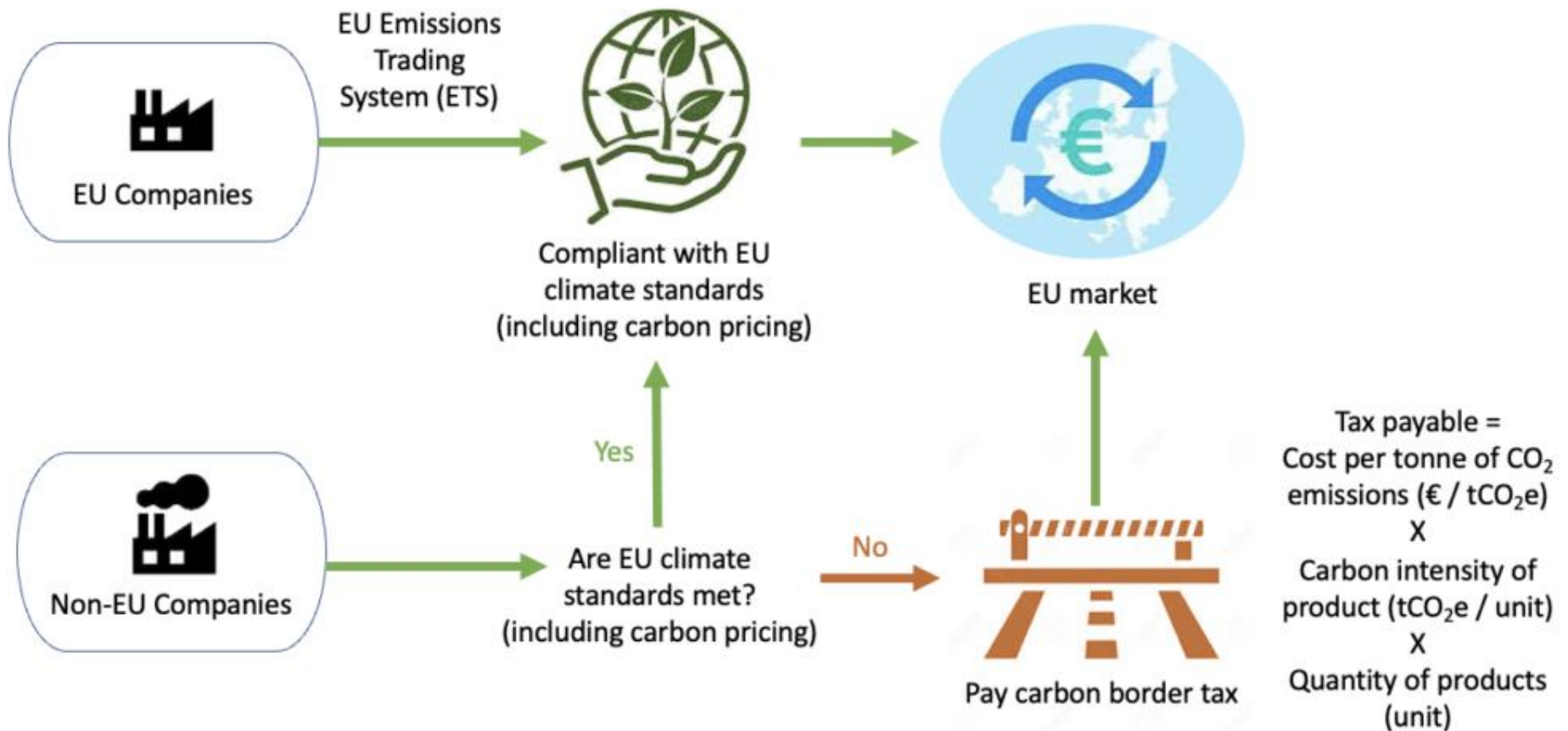


Figure 1: Overview of CBAM

(Adapted from: *The EU's Carbon Border Tax Will Redefine Global Value Chains*, Boston Consulting Group)

# Zusammenfassung

- Die globale Primärenergieversorgung fußt zu rund 85% auf fossilen Energieträgern.
- Die anthropogene Komponente des Klimawandels wird nicht mehr bezweifelt. Klimafolgen belasten die Volkswirtschaften.

## Fazit:

### 3 Säulen zur Klimaneutralität:

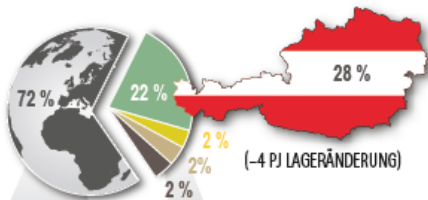
- Ausbau Erneuerbarer!
- Effizienzmaßnahmen
- Steuerung zum Übergang in klimaneutrales Wirtschaftssystem

- Wie sieht die österreichische Situation zur Versorgung mit Primärenergie aus?
- Wohin entwickeln wir uns?

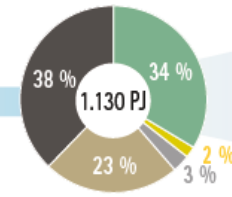
# Energieflussbild Österreichs 2017

1.340 PJ IMPORTE

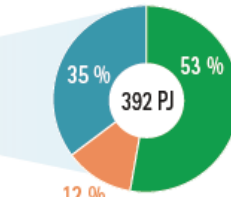
516 PJ PRODUKTION



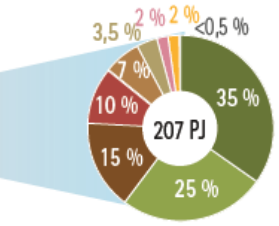
1.130 PJ ENDEENERGIEVERBRAUCH



Energieträgermix



Erneuerbare Energie



Bioenergie

1.852 PJ PRIMÄRENERGIEEINSATZ  
1.442 PJ BRUTTOINLANDSVERBRAUCH

411 PJ Exporte  
70 PJ nicht energetischer Verbrauch  
123 PJ Umwandlungs- u. Transportverluste  
119 PJ Verbrauch Energiesektor



Wärme

44 %



Strom

20 %



Treibstoffe

36 %



Energieträgermix

Anteile Wirtschaftssektoren

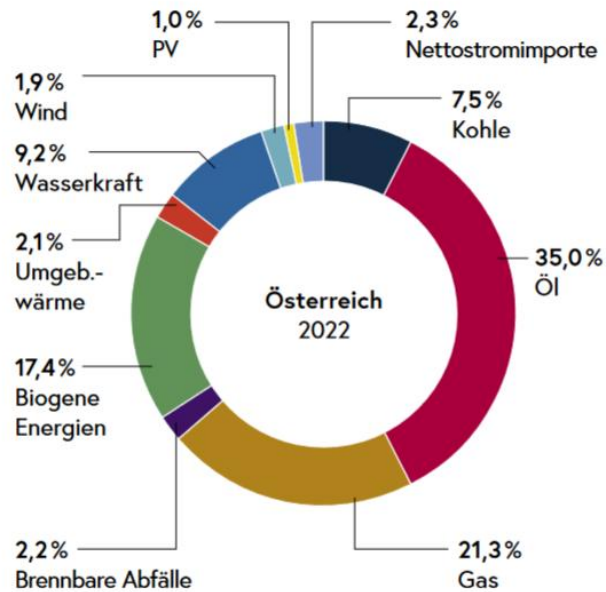
- Energieträger**
- Erdöl
  - Erdgas
  - Kohle
  - Abfall, nicht erneuerbar
  - Strom
  - Erneuerbare Energien
  - Bioenergie
  - Wasserkraft
  - Sonstige Erneuerbare
  - Wind, Solarthermie, Photovoltaik, Geothermie u. Wärmepumpen

- Bioenergie**
- Hackschnitzel, SNP, Rinde
  - Brennholz
  - Ablauge
  - Flüssige Biogene
  - Pellets, Holzbriketts
  - Sonstige feste Biogene
  - Tiermehl, Klärschlamm
  - Stroh etc.
  - Gasförmige Biogene
  - Biogene Abfälle
  - Holzkohle

- Wirtschaftssektoren**
- Private Haushalte
  - Sachgüterproduktion
  - Dienstleistungen
  - Landwirtschaft
  - Transport

Quelle: Statistik Austria, Energiebilanz 2017, Berechnungen ÖBMV, Werte gerundet;  
Darstellung ÖBMV, Daniel Themessl-Kollewijn

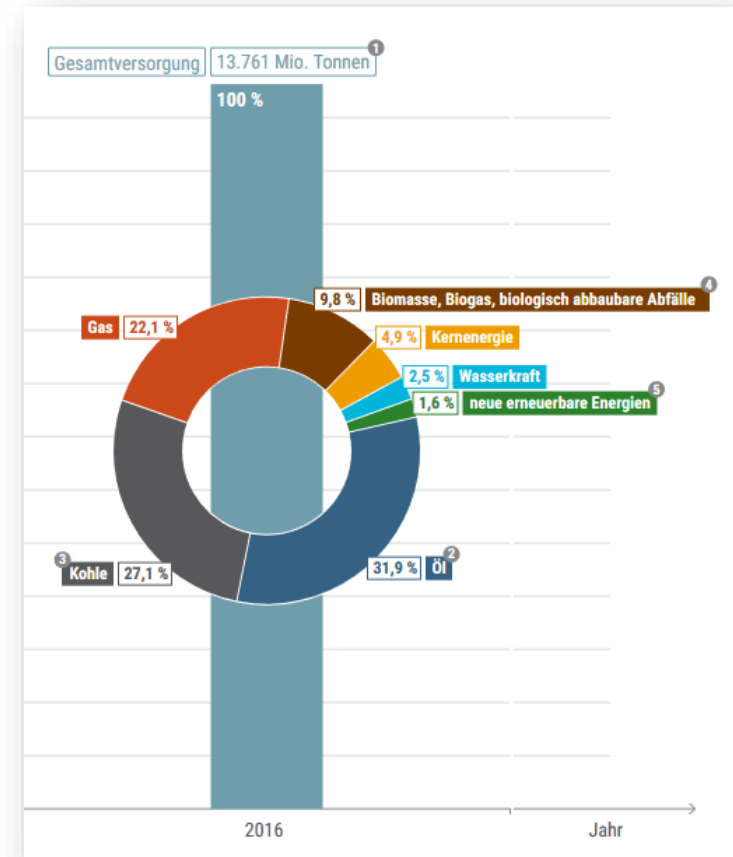
# Brutto-Inlandsverbrauch ... in Österreich für das Jahr 2022



Quelle: Energie in Österreich 2023, BMK

2022:

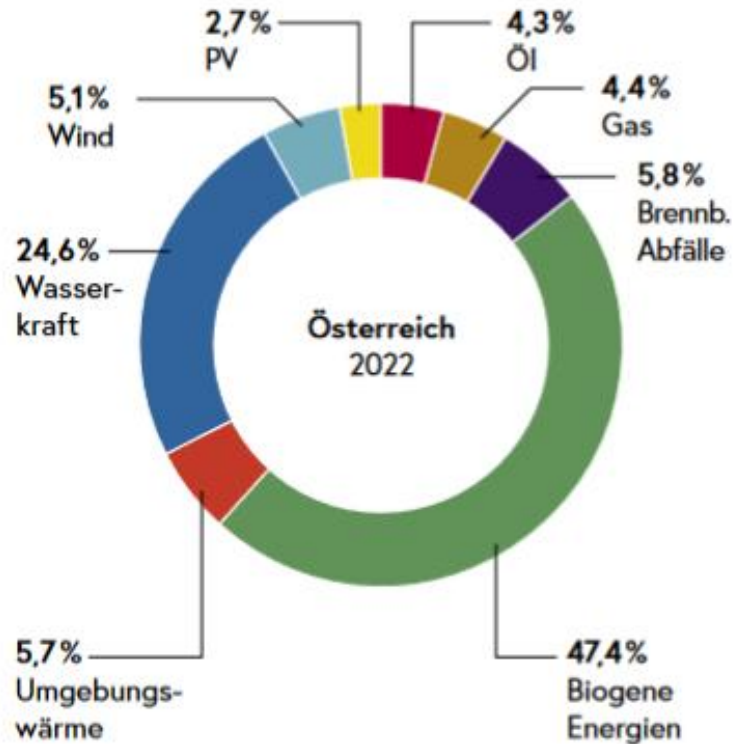
- Bruttoinlandsverbrauch: 376 TWh
- 36,4 % Erneuerbare (2021)
- Keine Kohle, keine Kernenergie
- Öl und Gas wie global



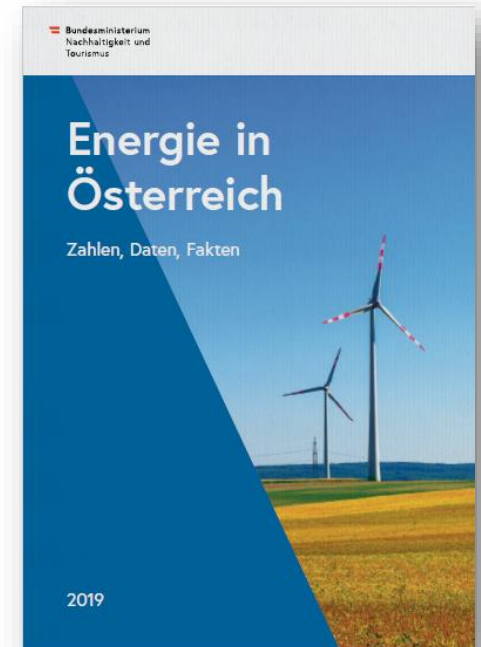
Vgl. 2015:

- Bruttoinlandsverbrauch: 397 TWh
- 23,7 % Erneuerbare

# Inländische Primärenergieerzeugung Stand 2022

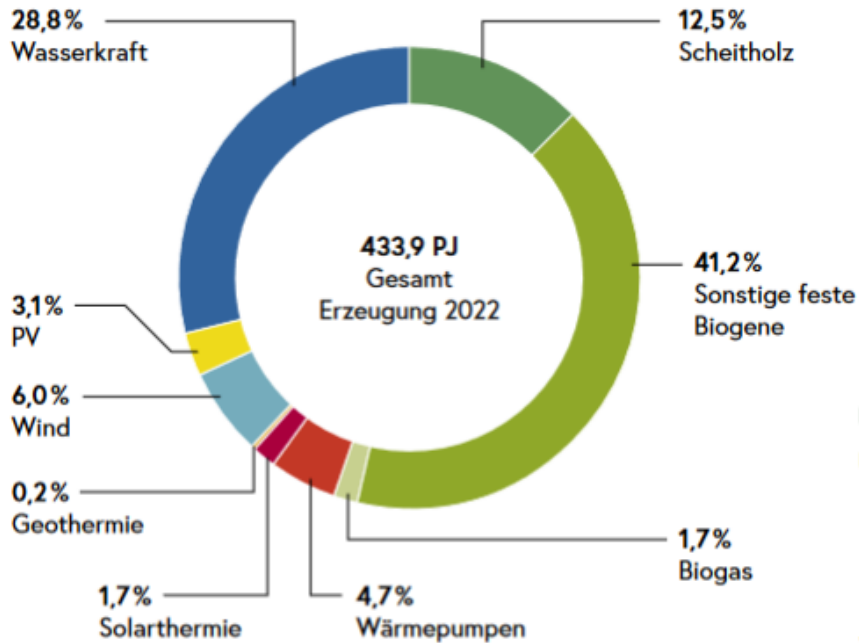


Quelle: Energie in Österreich 2023, BMK

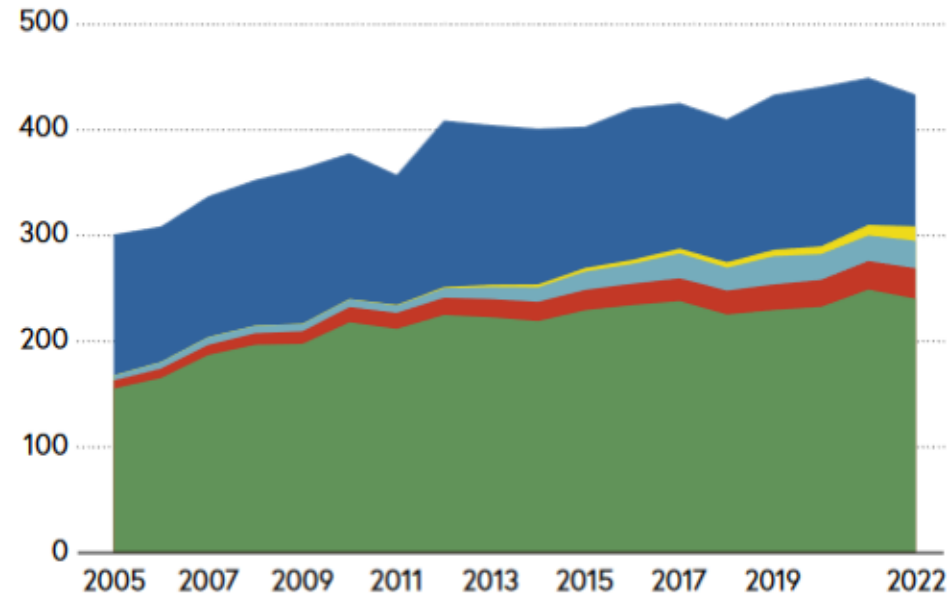


- Primärenergieerzeugung insgesamt: 140,8 TWh
- Anteil Erneuerbarer Energien bei fast 85 %
- Rund 65 % der Primärenergie muss importiert werden (fossile Energieträger und Strom)

# Erneuerbare in Österreich Stand 2022



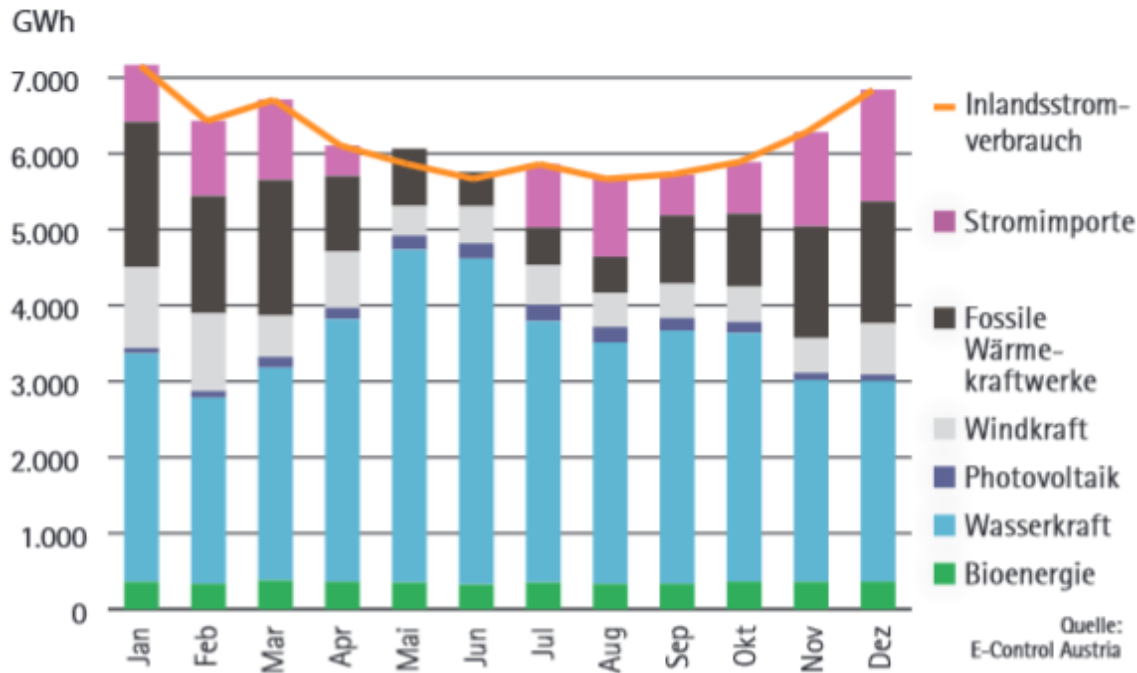
■ Biogene Energien 
 ■ Umgebungswärme 
 ■ Wind 
 ■ Photovoltaik 
 ■ Wasserkraft



2022:

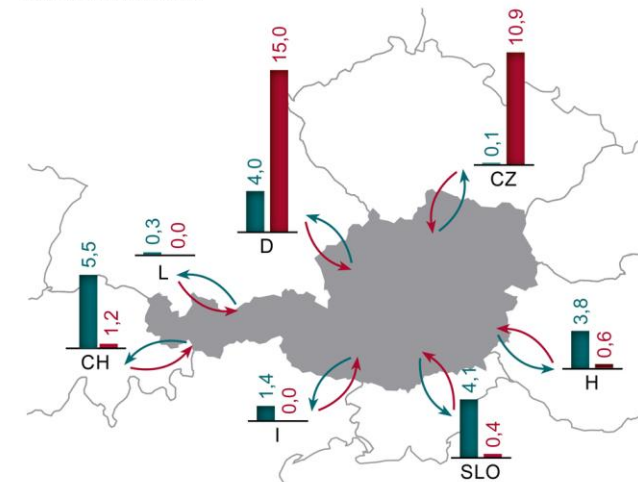
- Bruttoinlandsverbrauch: 376 TWh
- 36,4 % Erneuerbare (2021)
- Keine Kohle, keine Kernenergie
- Öl und Gas wie global

# Elektrische Energie in Österreich



## Stromtausch mit dem Ausland

Angaben in TWh (2018)

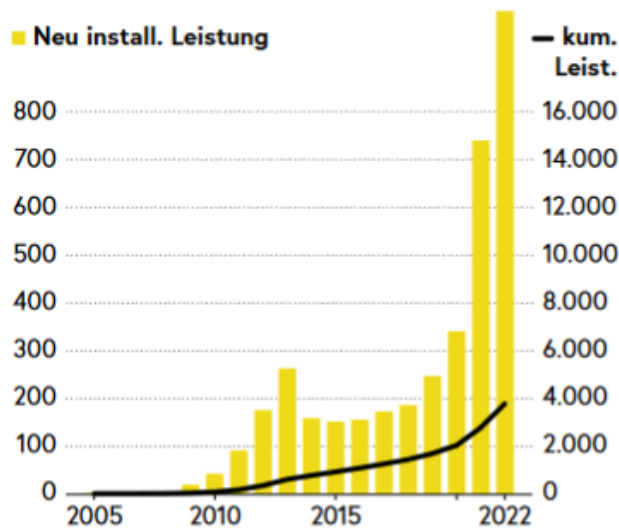


■ Export aus Österreich: 19,1 TWh  
■ Import nach Österreich: 28,1 TWh

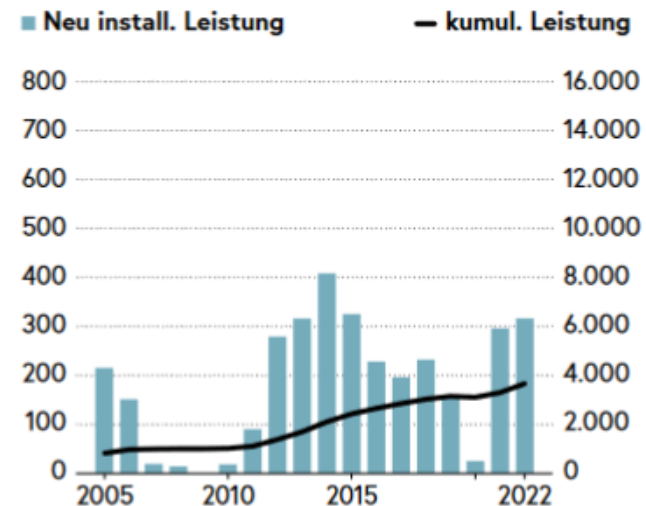
Quelle: E-Control 2019, Eigene Darstellung

- Energetischer Endverbrauch Strom: ca. 71 TWh/a (ca. 18%)
- Rund 20% aus der Verbrennung fossiler Energieträger (zusätzlich 5% Biogene)
- Rund 70% aus Wasserkraft
- Seit 2001 ist Österreich Nettoimporteur, jedoch immer weniger

# Elektrische Energie in Österreich

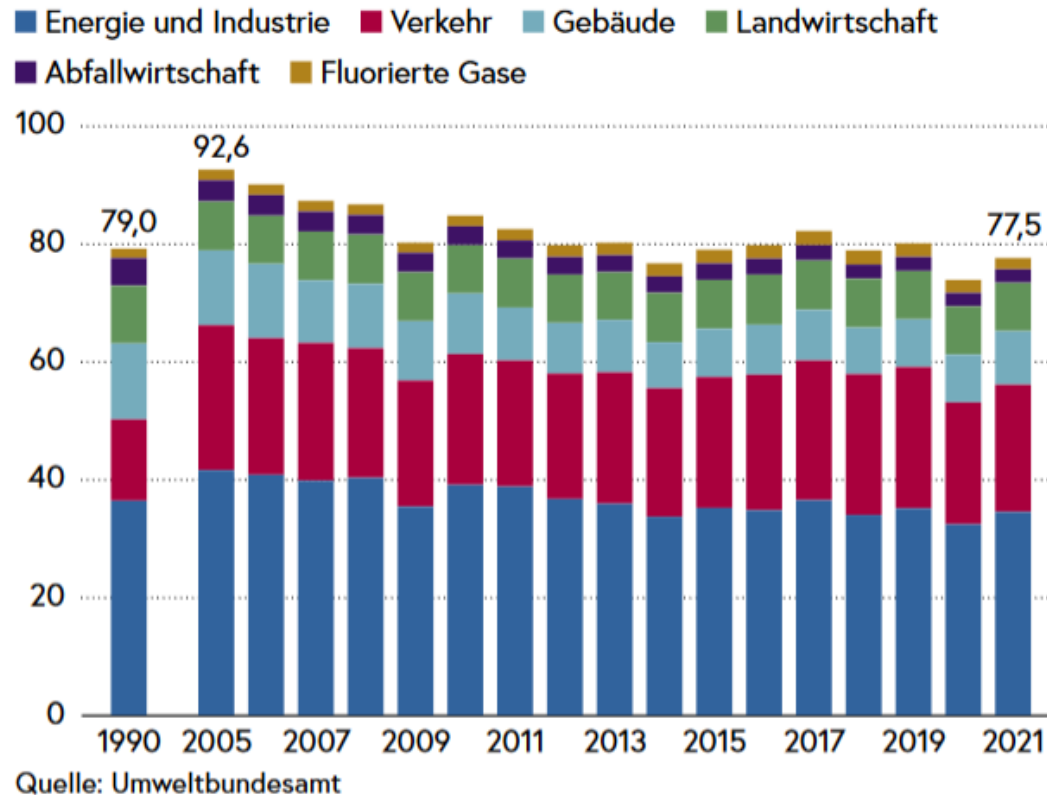


Quelle: Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2022



- Energetischer Endverbrauch Strom: ca. 71 TWh/a (ca. 18%)
- Rund 20% aus der Verbrennung fossiler Energieträger (zusätzlich 5% Biogene)
- Rund 70% aus Wasserkraft
- Seit 2001 ist Österreich Nettoimporteur, jedoch immer weniger

# Kohlendioxid-Emissionen Österreichs

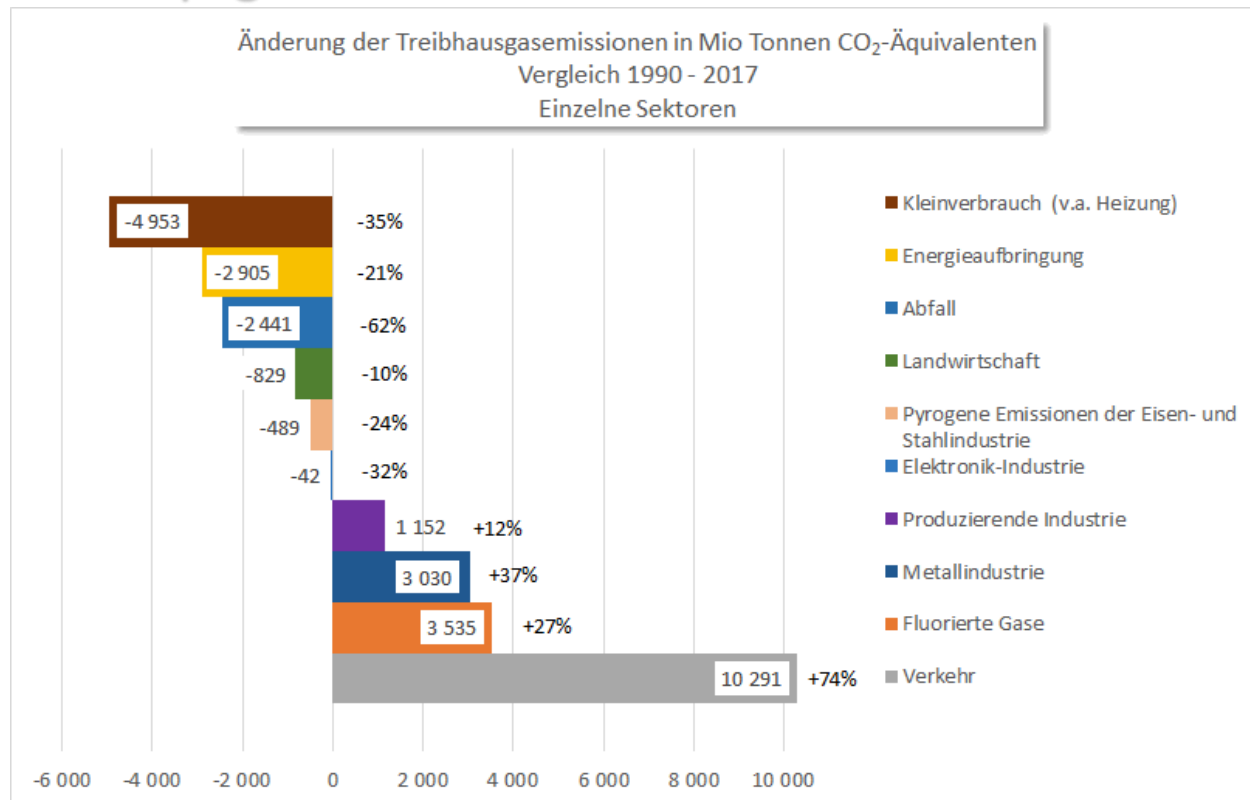


- Kyoto Ziel (-13% auf Basis 1990) wurde nicht erreicht.
- Einsparungen von ca. 13% auf Basis 2013 sind nötig!
- Österreich musste im Ausgleich für die Jahre 2008-2012 CO<sub>2</sub>-Zertifikate im Ausmaß von 600 Mil. € beziehen.

# Kohlendioxid-Emissionen Österreichs

- Kyoto Ziel (-13% auf Basis 1990) wurde nicht erreicht.
- Einsparungen von ca. 20% auf Basis 2011 sind nötig!
- Österreich musste im Ausgleich für die Jahre 2008-2012 CO<sub>2</sub>-Zertifikate im Ausmaß von 600 Mil. € beziehen.

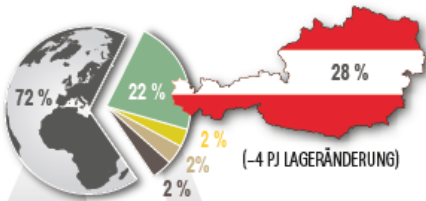
## Hauptgründe: Verkehr und Industrie



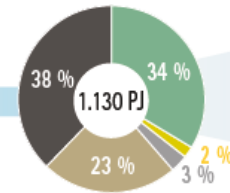
# Wiederholung

1.340 PJ IMPORTE

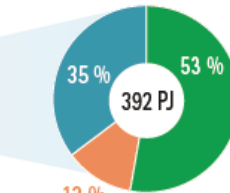
516 PJ PRODUKTION



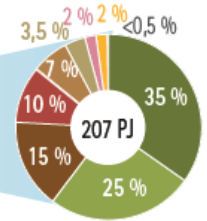
1.130 PJ ENDEENERGIEVERBRAUCH



Energieträgermix



Erneuerbare Energie

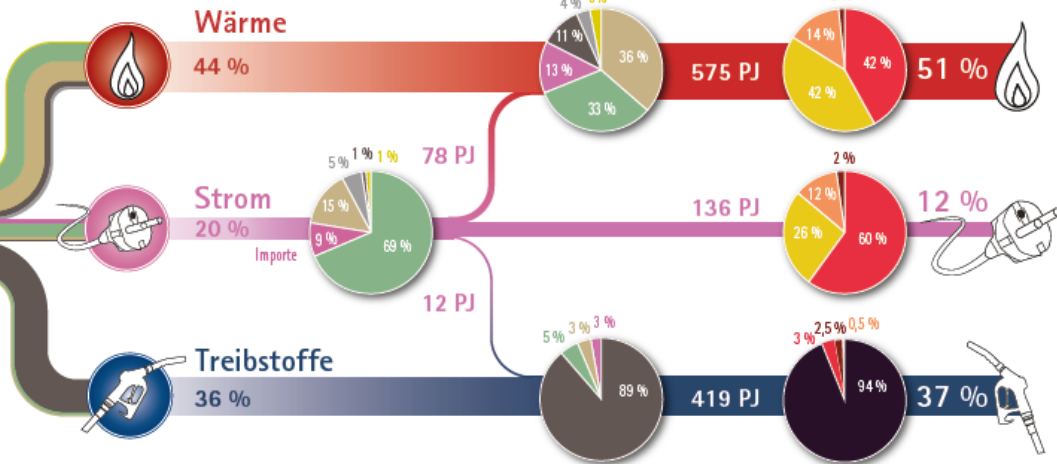


Bioenergie

1.442 PJ BRUTTOINLANDSVERBRAUCH

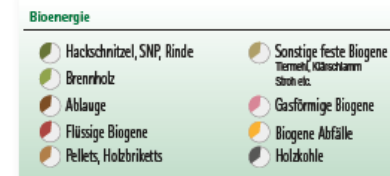
1.852 PJ PRIMÄRENERGIEEINSATZ

411 PJ Exporte  
70 PJ nicht energetischer Verbrauch  
123 PJ Umwandlungs- u. Transportverluste  
119 PJ Verbrauch Energiesektor



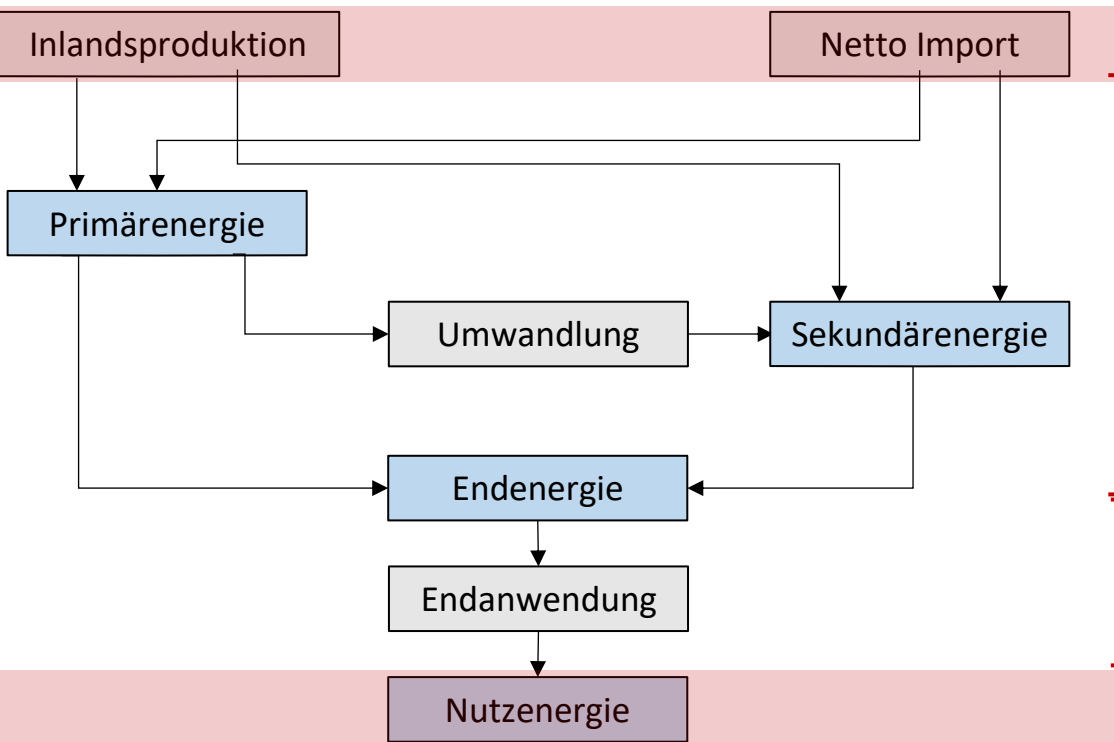
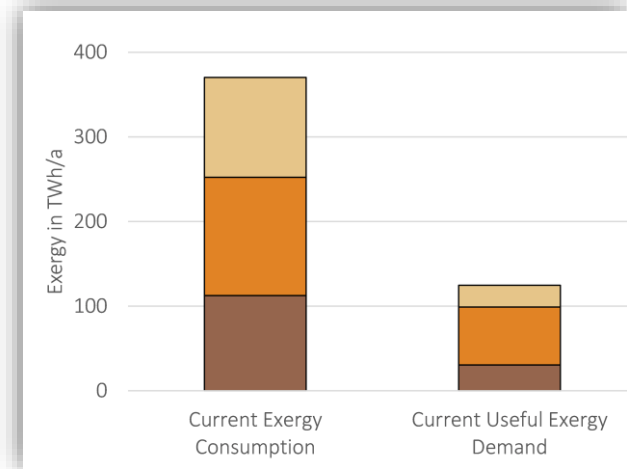
Energieträgermix

Anteile Wirtschaftssektoren



# Allgemeines, nationales Energiesystem

- Transport
- Industry
- Residential Sector, Agriculture & Commercial and Public Services



**1. Verluste des Energiesystems**

**2. Verluste der Endanwendung**

# Aufbau und Beschreibungsmöglichkeiten von Energiesystemen

Energieflussbilder (Sankey-Diagramme):  
Grafische Darstellung von Energie- bzw. Materialflüssen,

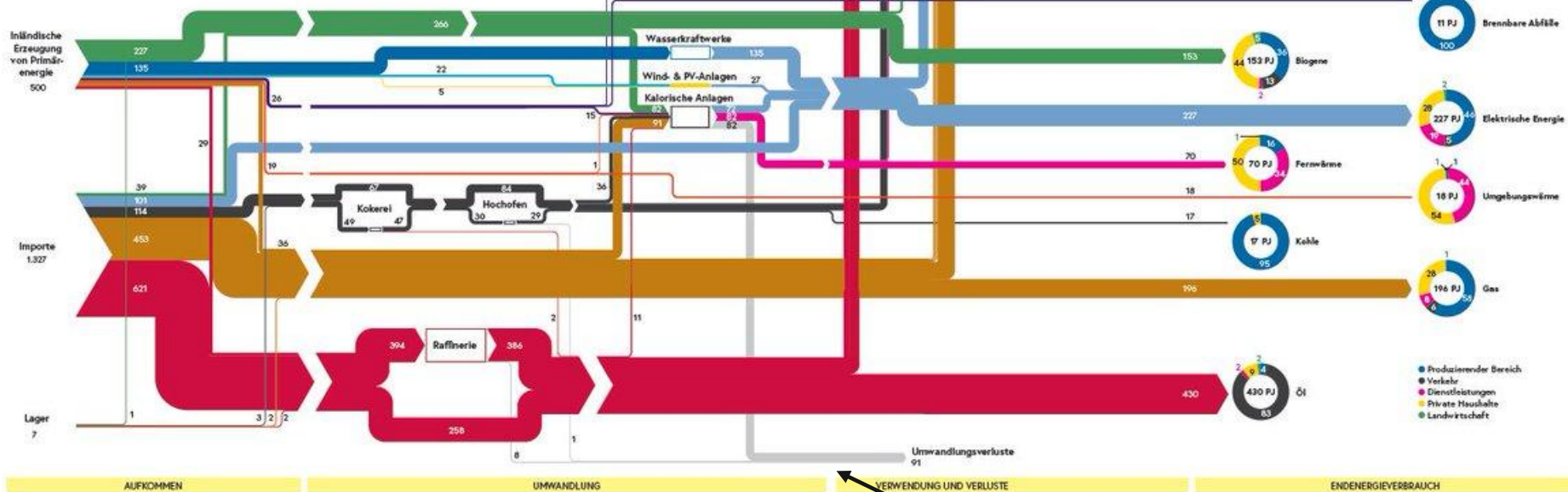
Energie in Produkten

Weitere Verluste.  
Später mehr drüber

## Energiefluss in Österreich 2018

in Petajoule auf Basis der vorläufigen Energiebilanz 2018

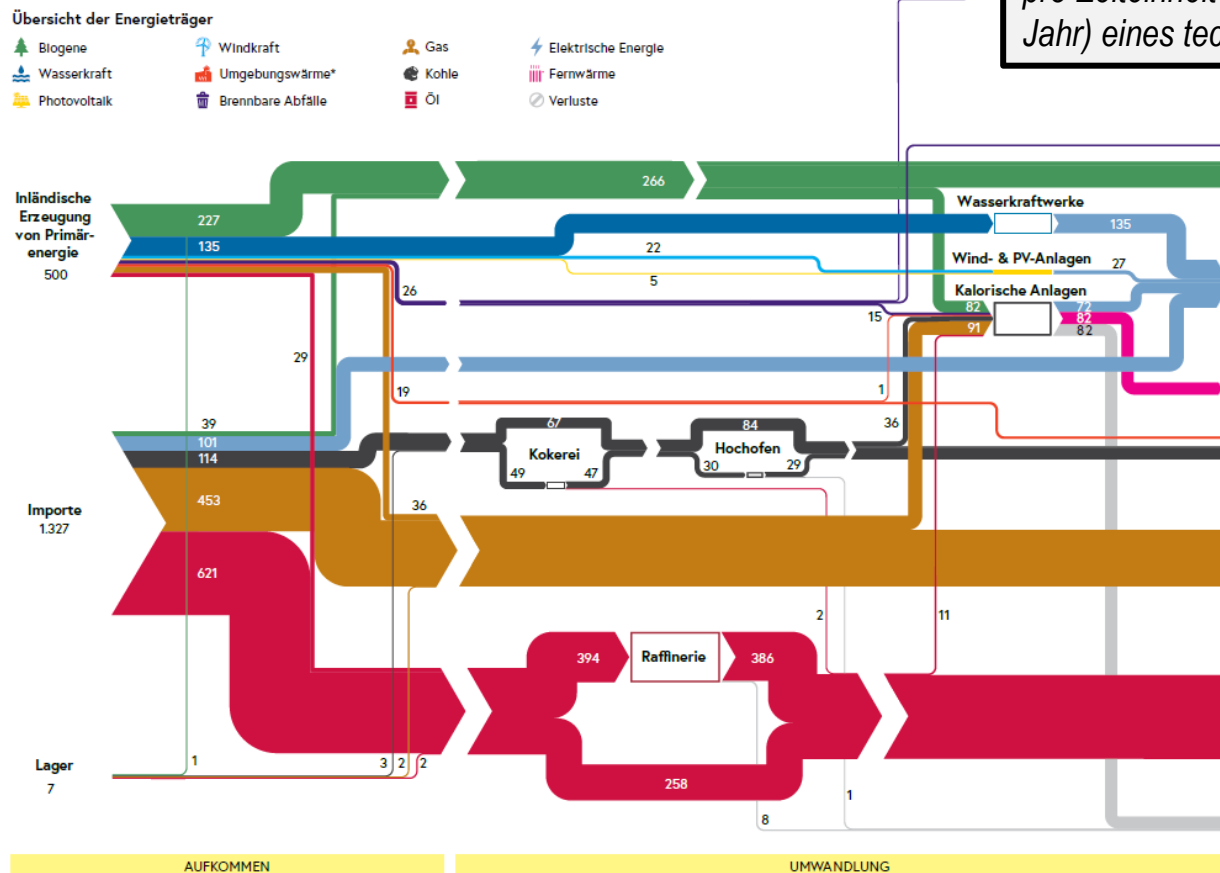
### Übersicht der Energieträger



Umwandlungsverluste

# Aufbau und Beschreibungsmöglichkeiten von Energiesystemen Primärenergie und Umwandlungssektor

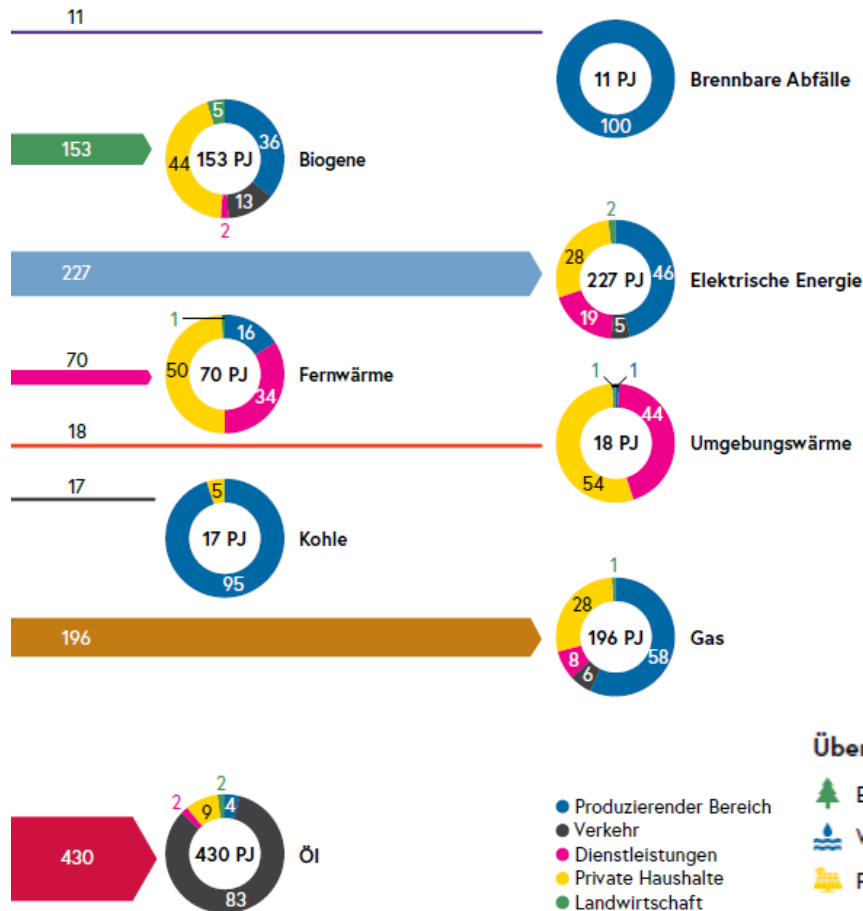
Energieflussbild Österreich 2018 (Angaben in PJ)



*Dargestellt werden Energieumsätze pro Zeiteinheit (üblicherweise ein Jahr) eines technischen Systems*

# Aufbau und Beschreibungsmöglichkeiten von Energiesystemen Zunächst: Endenergie

Verbrauch der Energieträger nach Sektoren 2018  
Anteile in Prozent



*Nutzenergieanalyse: gibt den energetischen Endverbrauch der Nutzenergiekategorien nach Energieträger an.*

*Nutzenergiekategorien der Statistik Austria:*

- Raumklima und Warmwasser
- Prozesswärme <math>< 200^\circ\text{C}</math>
- Prozesswärme >math>> 200^\circ\text{C}</math>
- Standmotoren
- Verkehr
- Beleuchtung und EDV
- Elektrochemie

## Übersicht der Energieträger

- Produzierender Bereich
- Verkehr
- Dienstleistungen
- Private Haushalte
- Landwirtschaft

- 🌳 Biogene
- 💧 Wasserkraft
- ☀️ Photovoltaik

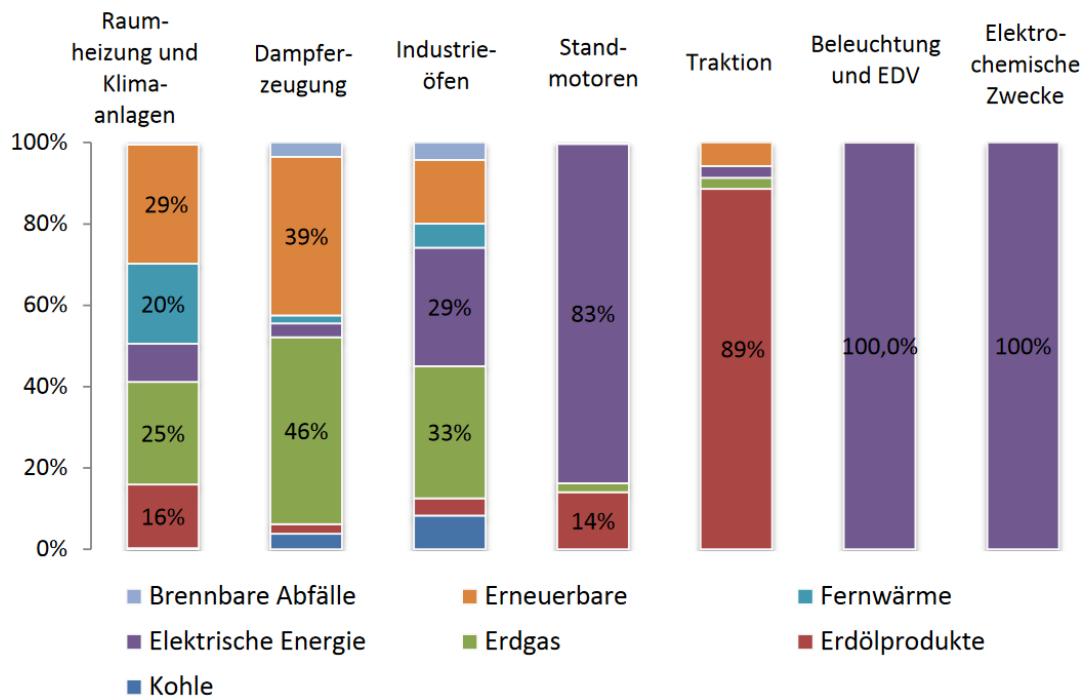
- ⚡ Windkraft
- 🏠 Umgebungswärme\*
- 🗑️ Brennbare Abfälle

- 👤 Gas
- ⚫ Kohle
- 🛢️ Öl

- ⚡ Elektrische Energie
- 🔥 Fernwärme
- 🌀 Verluste

# Aufbau und Beschreibungsmöglichkeiten von Energiesystemen Endenergie

Energieträgereinsatz im Endenergieverbrauch nach Nutzenergiekategorien



*Nutzenergieanalyse: gibt den energetischen Endverbrauch der Nutzenergiekategorien nach Energieträger an.*

*Nutzenergiekategorien der Statistik Austria:*

- Raumklima und Warmwasser
- Prozesswärme <200 ° C
- Prozesswärme >200 ° C
- Standmotoren
- Verkehr
- Beleuchtung und EDV
- Elektrochemie

# Erstellung eines Energieflussbildes

## Beispiel Industriesektor

1. Erhebung der Endenergiemengen (EE) anhand der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria
2. Aufzeichnen der eingebrachten Energieträger gemäß universellem Energieflussbild und Bedatung der eingesetzten Energieträger nach Gütereinsatzstatistik
3. Umwandlungseinsätze je Energieträger einzeichnen

*Umwandlungseinsatz = Endenergie – Einsatzgüterstatistik*

*Differenz = 0 → keine Umwandlungseinsätze vorhanden*

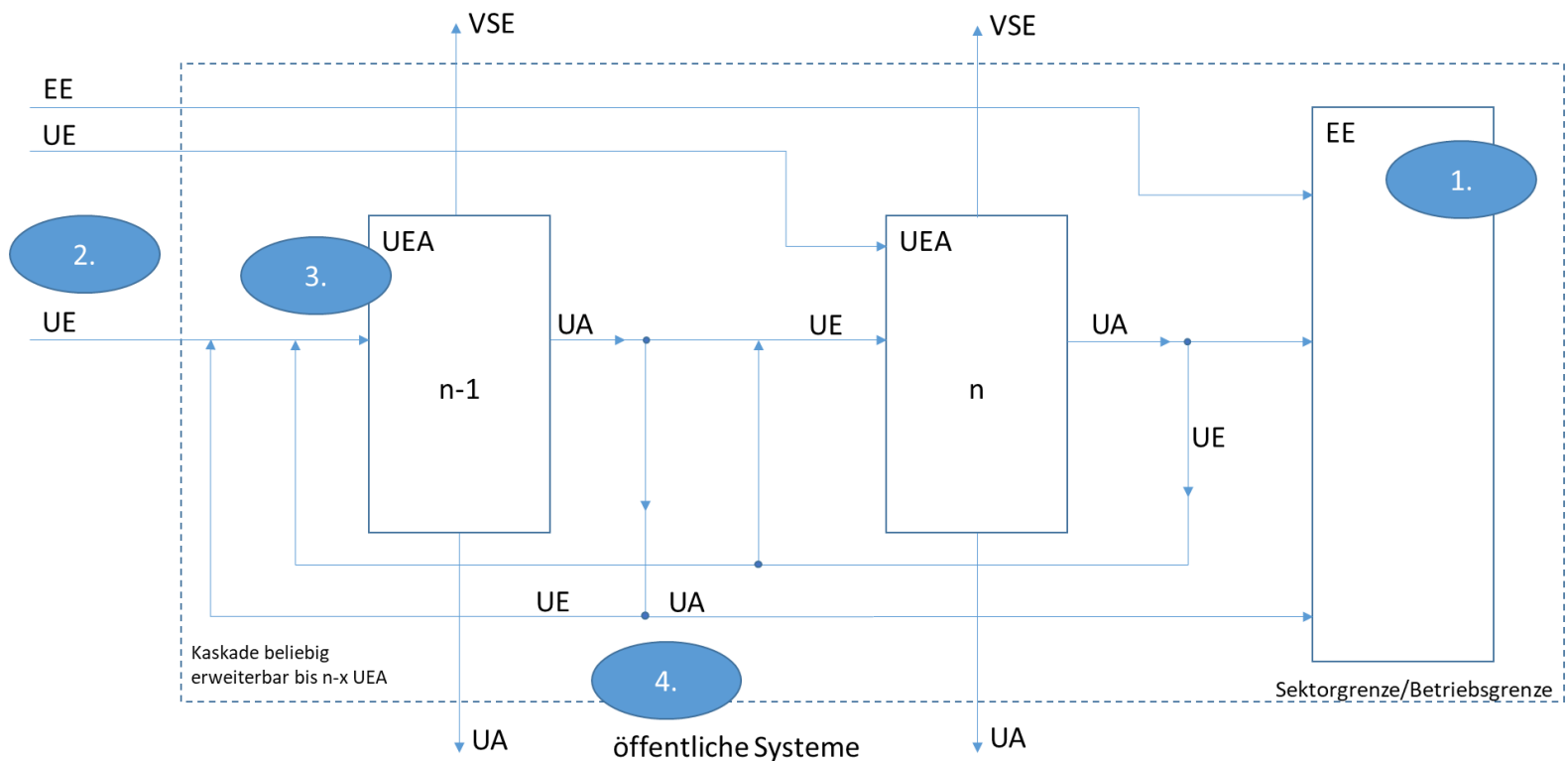
*Differenz ≠ 0 → Umwandlungseinsatz od. Verbrauch Sektor Energie (Eisen & Stahl, Raffinerie)*

4. Umwandlungsausstöße ausweisen → Ziel: Ermittlung der Energie in Richtung Netz  
Methode: Branchenwissen (Verbände, Literatur, Umweltberichte) zu Prozessen und deren Wirkungsgraden. Daraus: innerbetriebliche Prozesse definieren und Umwandlungsausstöße bzw. Netzlieferungen ausweisen

*Energieflussbilder (Sankey-Diagramme):  
Grafische Darstellung von Energie- bzw. Materialflüssen,  
sowie Ineffizienzen und Einsparpotentialen im Umgang  
mit Ressourcen*

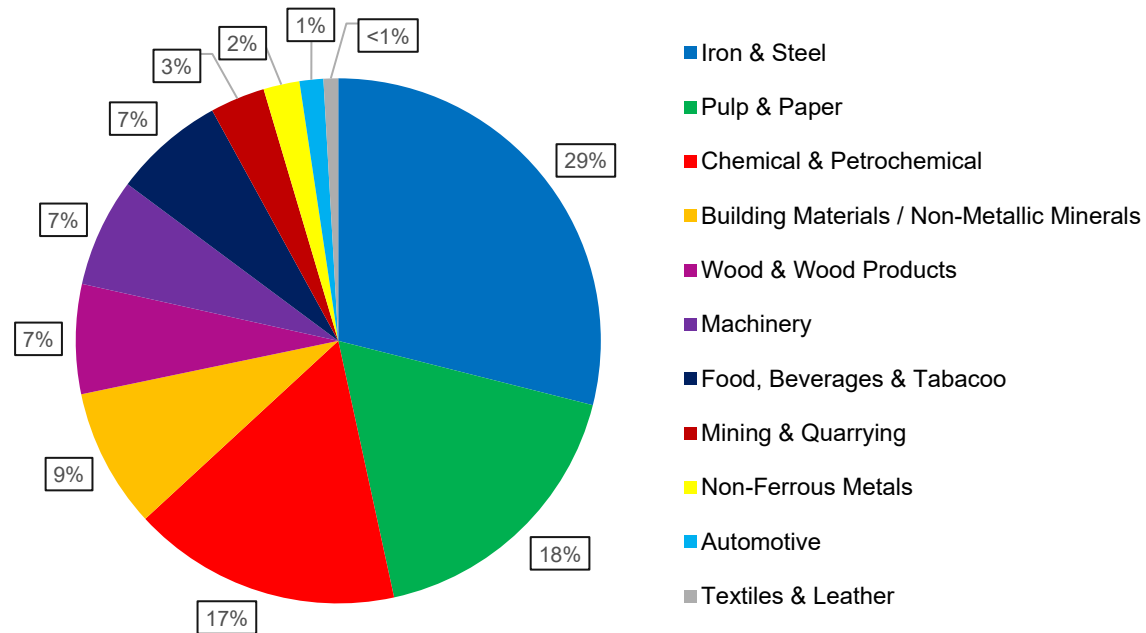
*Dargestellt werden Energieumsätze  
pro Zeiteinheit (üblicherweise ein  
Jahr) eines technischen Systems*

- EE Endenergie (Endenergie für die Versorgung der Nutzenergie-Kategorien nach Statistik Austria)
- UE Umwandlungseinsatz
- UA Umwandlungsausstoß
- VSE Verbrauch Sektor Energie
- UEA Unternehmenseigene Anlagen (Kokerei, Hochofen, Raffinerie, Holzkohleproduktion, Kraftwerk, KWK-Anlagen, Heizwerk)



# Der industrielle Sektor in Österreich

- Primärenergieaufteilung der industriellen Subsektoren nach International Energy Agency (IEA)
- Primärenergiebedarf 2018: 139 TWh



*Quelle:* C. Sejkora, L. Kühberger, F. Radner, A. Trattner, T. Kienberger, Exergy as Criteria for Efficient Energy Systems: A Spatially Resolved Comparison of the Current Exergy Consumption, the Current Useful Exergy Demand and Renewable Exergy Potential,

# Der industrielle Sektor in Österreich

## Energieintensiv/Energieextensiv?

- Die Einteilung in energieintensive und energieextensive Subsektoren wird nach Gesetzgebern und Auslegung unterschiedlich definiert.
- Gemäß Definition der EU-Kommission werden Subsektoren als energieintensiv bezeichnet, wenn sie spezielle Prozesse einsetzen:
  - Elektrolyse
  - Metallerzeugung und -bearbeitung
  - Chemische Reduktionsverfahren
  - Herstellung von Glaswaren, keramischen Erzeugnissen, Zement, Kalk...
  - etc.
- Nach dieser Definition sind folgende Subsektoren energieintensiv:
  - Eisen- & Stahl
  - Zellstoff & Papier
  - Chemie & Petrochemie
  - Nichtmetallische Mineralstoffe
  - Nichteisenmetalle

*Quelle:*

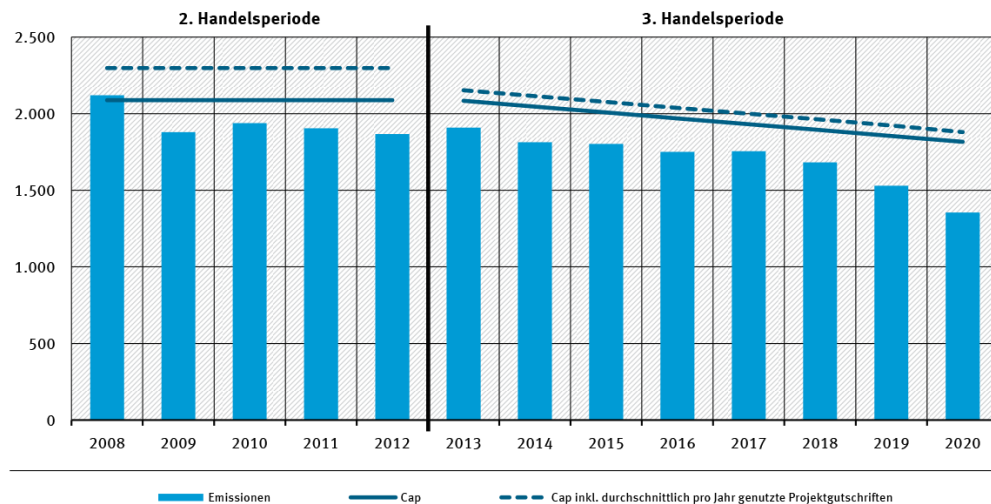
- <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/industrial.pdf>  
- [https://www.rosalux.de/fileadmin/rls\\_uploads/pdfs/Themen/Nachhaltigkeit/RLS-Studie\\_Energieintensive\\_Industrie.pdf](https://www.rosalux.de/fileadmin/rls_uploads/pdfs/Themen/Nachhaltigkeit/RLS-Studie_Energieintensive_Industrie.pdf)

# Der industrielle Sektor in Österreich

## European Union Emission Trading System (ETS)

- 2005 wurde das EU-ETS als erstes CO<sub>2</sub>-Zertifikatshandelssystem für den Energiesektor, Industriesektor, Flugverkehr, ... eingeführt.
- Die EU-Kommission definiert eine Obergrenze („Cap“) für maximale CO<sub>2</sub>-Emissionen und wandelt diese in Zertifikatseinheiten um.
- Das ETS ermöglicht einen Kauf/Verkauf dieser Zertifikate der Unternehmen und Institutionen untereinander bei Ausstoß, der über/unter dieser Obergrenze liegt.

Gesamt-Cap und Emissionen im Europäischen Emissionshandel  
Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente



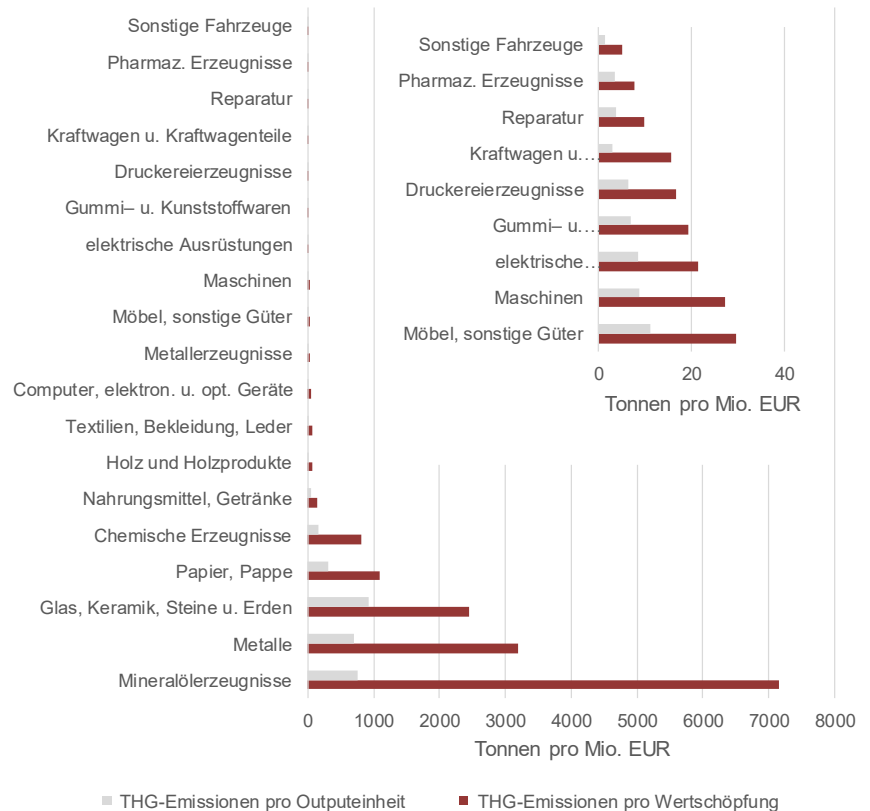
Quelle: Umweltbundesamt 2021, Deutsche Emissionshandelsstelle, eigene Berechnungen auf Basis von Daten der Europäischen Umweltagentur und der Europäischen Kommission (2013/448/EU); Stand 08.07.2021

# Der industrielle Sektor in Österreich

## European Union Emission Trading System (ETS)

### ■ Im ETS enthaltene, österreichische Subsektoren:

- Bergbau
- Chemie & Petrochemie
- Eisen & Stahl
- Fahrzeugbau
- Maschinenbau
- Nahrungs- und Genussmittel, Tabak
- Nichtmetallische Mineralstoffe
- Zellstoff & Papier
- Nichteisenmetalle

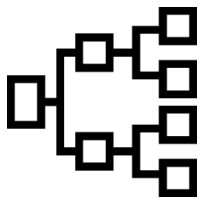


Quelle: T. Kienberger, P. Nagovnak, C. Diendorfer, H. Böhm, G. Thenius, "Studie: Klimaneutralität Österreich bis 2040, Beitrag der österreichischen Industrie", 2021

# Der industrielle Sektor in Österreich

## Prozess- und energiebedingte Emissionen

- Alle betrachteten THG-Emissionen, setzen sich aus prozess- und energiebedingten Emissionen zusammen:



### Prozessbedingte Emissionen

Emissionen, die in industriellen Umwandlungsprozessen (z.B. Hochofen) oder durch für die Produktion notwendige eingebrachte Mineralstoffe verursacht werden.



### Energiebedingte Emissionen

Emissionen, die aus den in der Nutzenergieanalyse erhobenen Nutzenergiekategorien bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Energieträgern entstehen.

# Energieintensive Subsektoren: Eisen u. Stahl

## Factbox für Österreich:

**THG-Emissionen:** 11,9 Mt CO<sub>2</sub>

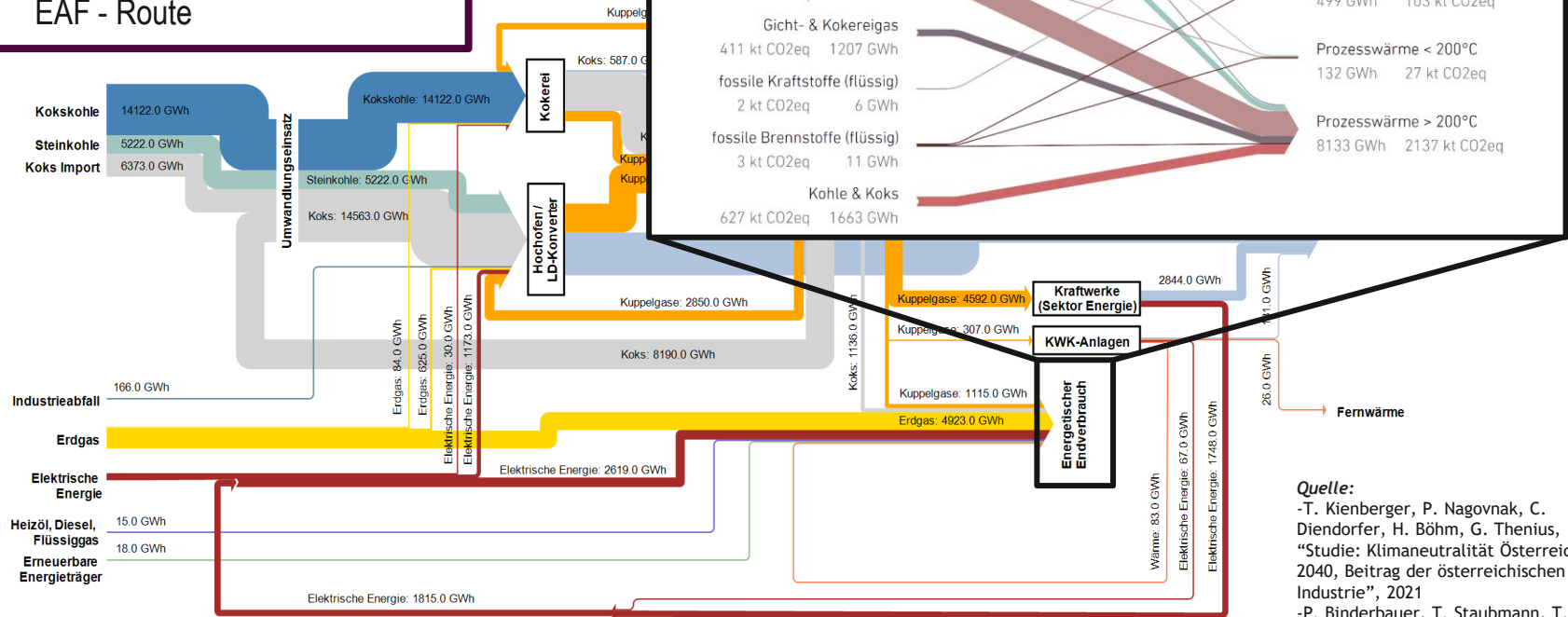
**Davon Prozessbedingt:** 9,4 Mt CO<sub>2</sub>

**Beschäftigte:** 24 642

**Derzeit energetisch relevante**

**Produktionsketten:**

- BF/BOF - Route
- EAF - Route



### Quelle:

-T. Kienberger, P. Nagovnak, C. Diendorfer, H. Böhm, G. Thenius, "Studie: Klimaneutralität Österreich bis 2040, Beitrag der österreichischen Industrie", 2021  
 -P. Binderbauer, T. Staubmann, T. Kienberger, "Synthetic load profile generation for production chains in energy intensive industrial subsectors via a bottom-up approach"

# Energieintensive Subsektoren: Papier u. Zellstoff

## Factbox für Österreich:

**THG-Emissionen: 2,17 Mt CO<sub>2</sub>**

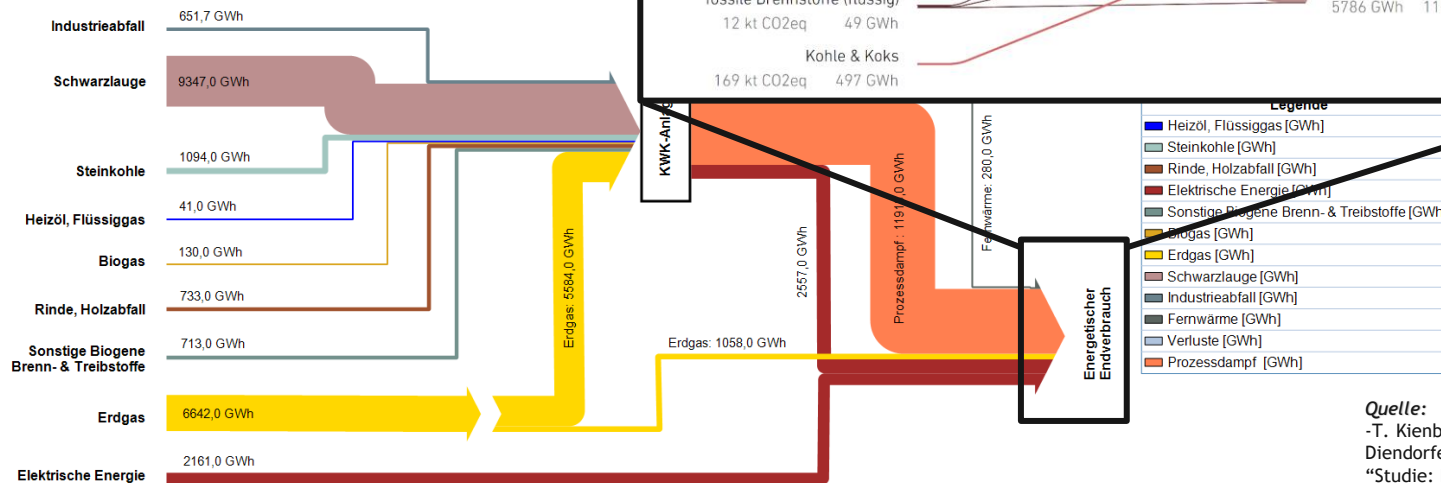
**Davon Prozessbedingt: 0,47 Mt CO<sub>2</sub>**

**Beschäftigte: 35 051**

**Energetisch relevante Produktionsketten:**

**Zellstoffproduktion via Kraft-, Sulfit-,  
Thermomechanischer or Mechanischer  
Prozesse**

**Papier (und Druck)**



**Quelle:**  
 -T. Kienberger, P. Nagovnak, C. Diendorfer, H. Böhm, G. Thenius, "Studie: Klimaneutralität Österreich bis 2040, Beitrag der österreichischen Industrie", 2021  
 -P. Binderbauer, T. Staubmann, T. Kienberger, "Synthetic load profile generation for production chains in energy intensive industrial subsectors via a bottom-up approach"

# Energieintensive Subsektoren: Chemie und Petrochemie

## Factbox für Österreich:

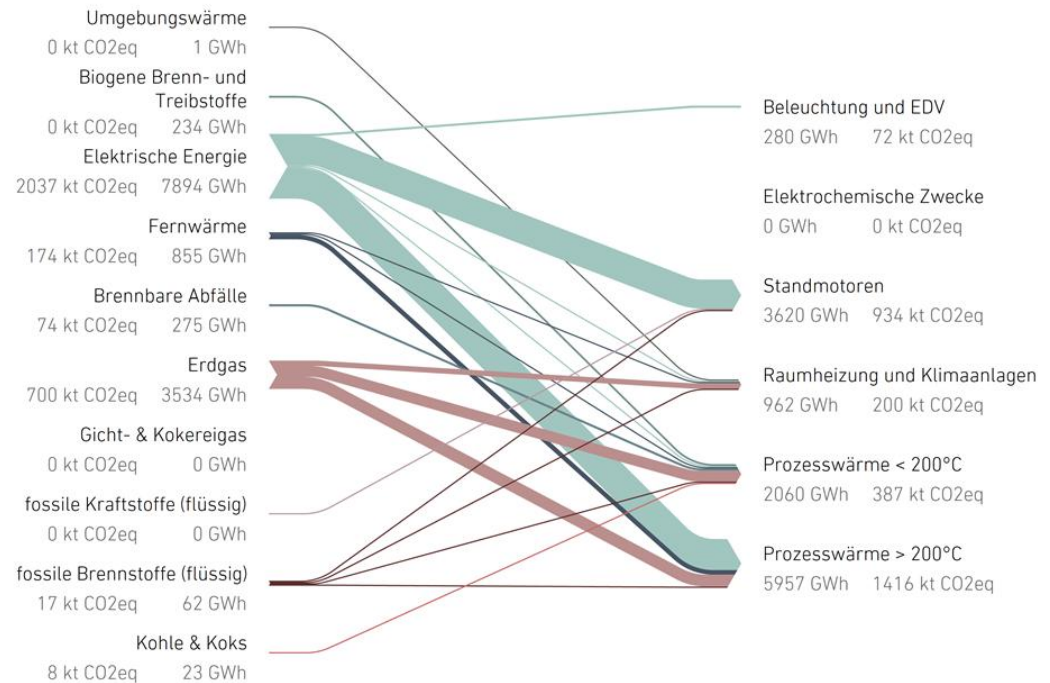
**THG-Emissionen: 1,98 Mt CO<sub>2</sub>**

**Davon Prozessbedingt: 851 kt CO<sub>2</sub>**

**Beschäftigte: 27 458**

### Energetisch relevante Produktionsketten:

- Sauerstoff Produktion
- Ammoniak Produktion
- Chlor Produktion
- (Poly)ethylen Produktion
- Polypropylen Produktion
- Weiterverarbeitende Routen (e.g. Methanol, Düngemittel, Harnstoff, PVC, ...)



### Quelle:

- T. Kienberger, P. Nagovnak, C. Diendorfer, H. Böhm, G. Thenius, "Studie: Klimaneutralität Österreich bis 2040, Beitrag der österreichischen Industrie", 2021
- P. Binderbauer, T. Staubmann, T. Kienberger, "Synthetic load profile generation for production chains in energy intensive industrial subsectors via a bottom-up approach"

# Energieintensive Subsektoren: nicht-metallische Mineralien

## Factbox für Österreich:

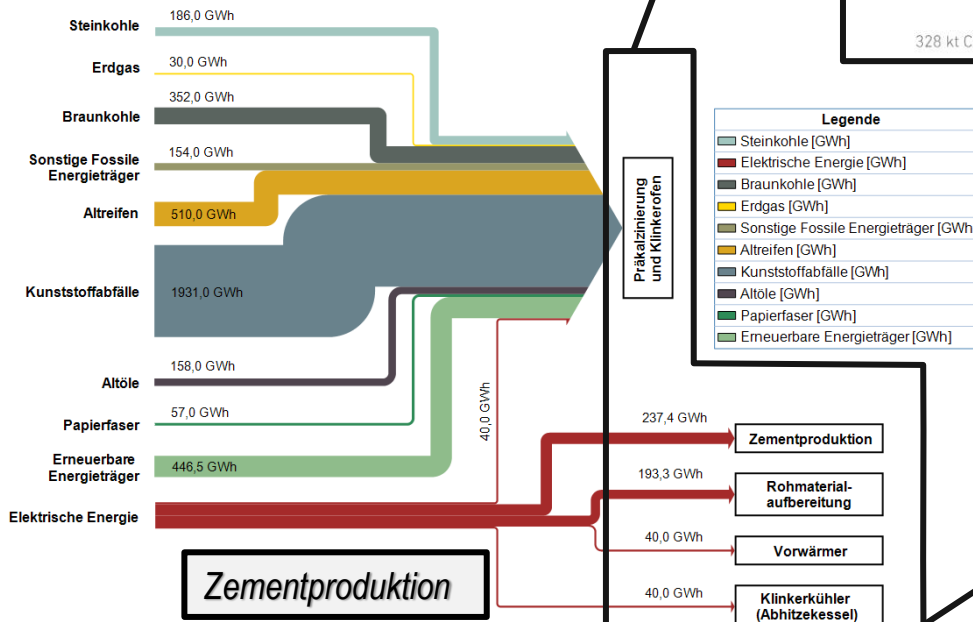
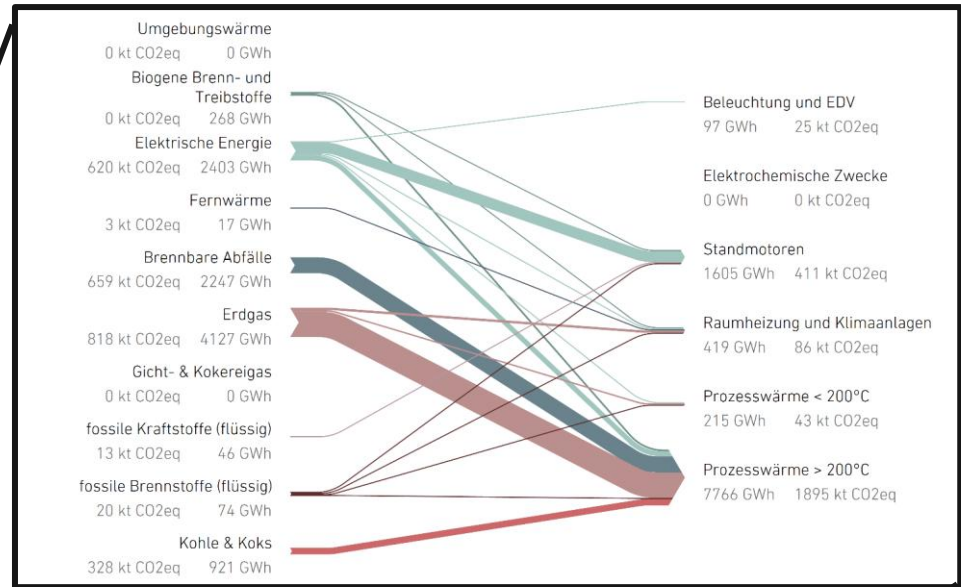
**THG-Emissionen:** 5,27 Mt CO<sub>2</sub>

**Davon Prozessbedingt:** 2,9 Mt CO<sub>2</sub>

**Beschäftigte:** 31 555

**Energetisch relevante Produktionsketten:**

- Zement Produktion
- Kalk Produktion
- Glas Produktion
- Ziegel und weitere keramische Stoffe



**Nutzenergieanalyse  
gesamter Sektor**

### Quelle:

-T. Kienberger, P. Nagovnak, C. Diendorfer, H. Böhm, G. Thenius, "Studie: Klimaneutralität Österreich bis 2040, Beitrag der österreichischen Industrie", 2021

-P. Binderbauer, T. Staubmann, T. Kienberger, "Synthetic load profile generation for production chains in energy intensive industrial subsectors via a bottom-up approach"

# Energieintensive Subsektoren: nicht-metallische Mineralien

## Energieeinsatz & CO<sub>2</sub>-Emissionen Status Quo (2018)

THG-Emissionen des gesamten Sektors 2018: 4 602 kt CO<sub>2</sub>e

- Davon aus eingesetzten Mineralstoffen (Austreibungsprozess): 2 908 kt CO<sub>2</sub>e (63 %)
- Davon energiebedingt: 1 694 kt CO<sub>2</sub>e (37 %)

2018	Zement	Kalk	Magnesit	Glas	Ziegel	Dolomit	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Sektor Gesamt
<b><u>Prozessemissionen</u></b> <b><u>in kt CO<sub>2</sub>e</u></b>	1 827	544	365	38	105	19	10	<b>2 908</b>
<b><u>% der sektoralen</u></b> <b><u>Prozess-</u></b> <b><u>emissionen</u></b>	63 %	19 %	13 %	1 %	4 %	<1 %	<0,5 %	<b>100 %</b>

Data source: Statistik Austria Nutzenergieanalyse, eigene Berechnung

# Energieintensive Subsektoren: Nichteisenmetalle

## Factbox für Österreich:

**THG-Emissionen:** 0,57 Mt CO<sub>2</sub>

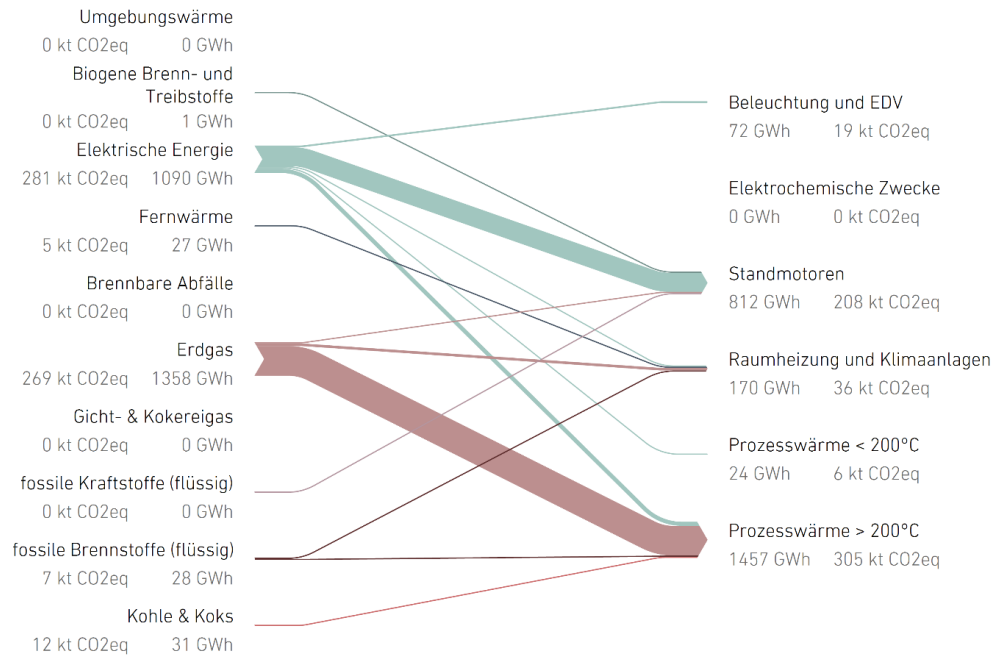
**Davon Prozessbedingt:** 9,8 kt CO<sub>2</sub>

**Beschäftigte:** 13 480

**Energetisch relevante**

**Produktionsketten:**

- Erzeugung & Verarbeitung Aluminium
- Erzeugung & Verarbeitung Kupfer
- Erzeugung & Verarbeitung Blei, Zink, Zinn
- Erzeugung & Verarbeitung Edelmetalle
- sonstige



**Quelle:**

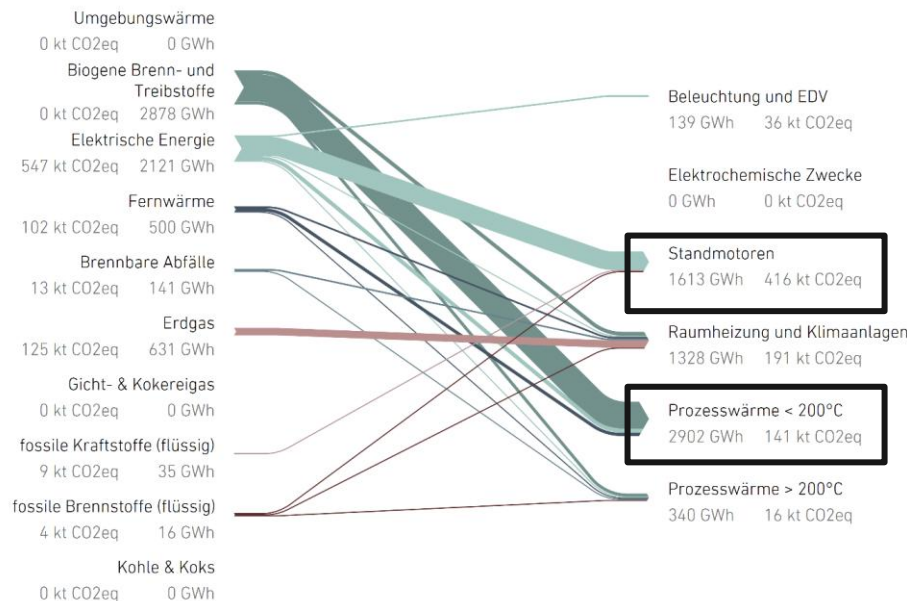
-T. Kienberger, P. Nagovnak, C. Diendorfer, H. Böhm, G. Thenius, "Studie: Klimaneutralität Österreich bis 2040, Beitrag der österreichischen Industrie", 2021  
 -Statistik Austria, „Leistungs- und Strukturstatistik 2018 - Hauptergebnisse“, 2019

# nicht-energieintensive Subsektoren

## Am Beispiel der Holzverarbeitung

- Energieextensive Subsektoren kennzeichnen sich durch ca. ein Drittel des gesamten Primärenergiebedarfs der österreichischen Industrie aus. Die Dekarbonisierungsanstrengungen in diesen Sektoren konzentrieren sich deshalb auf die Reduzierung der energiebedingten Emissionen.
- Potentiale zur Reduktion dieser Subsektoren umfassen Elektrifizierung (WP, Standmotoren) und Einsatz CO<sub>2</sub>-neutraler Gase (aus Elektrolyse, Methanpyrolyse, Bio-CH<sub>4</sub>)

**Nutzenergieanalyse  
Holzverarbeitung**



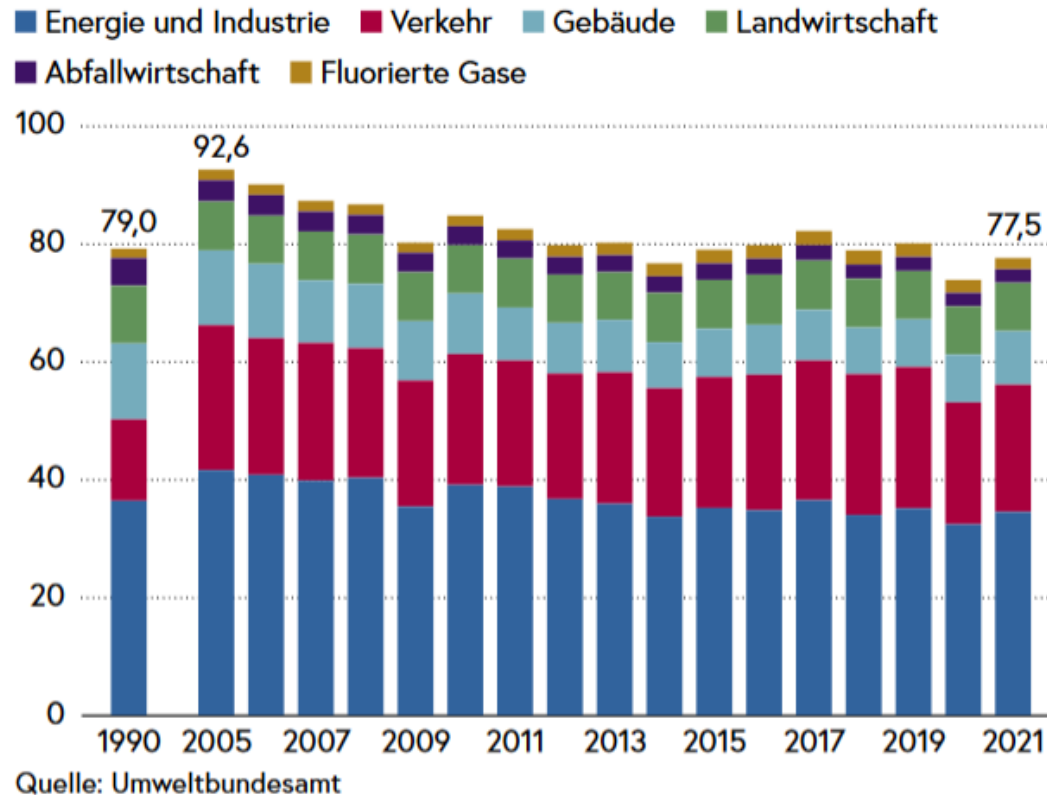
*Bereits hauptsächlich elektrisch betriebene Standmotoren und Prozesswärme (<200 °C) aus Biogenen*

# Zukünftige energiesystemische Herausforderungen für die Industrie

- Erneuerbare Energieträger Potentiale
- Entwicklung der Residuallast
- Rolle der Industrie

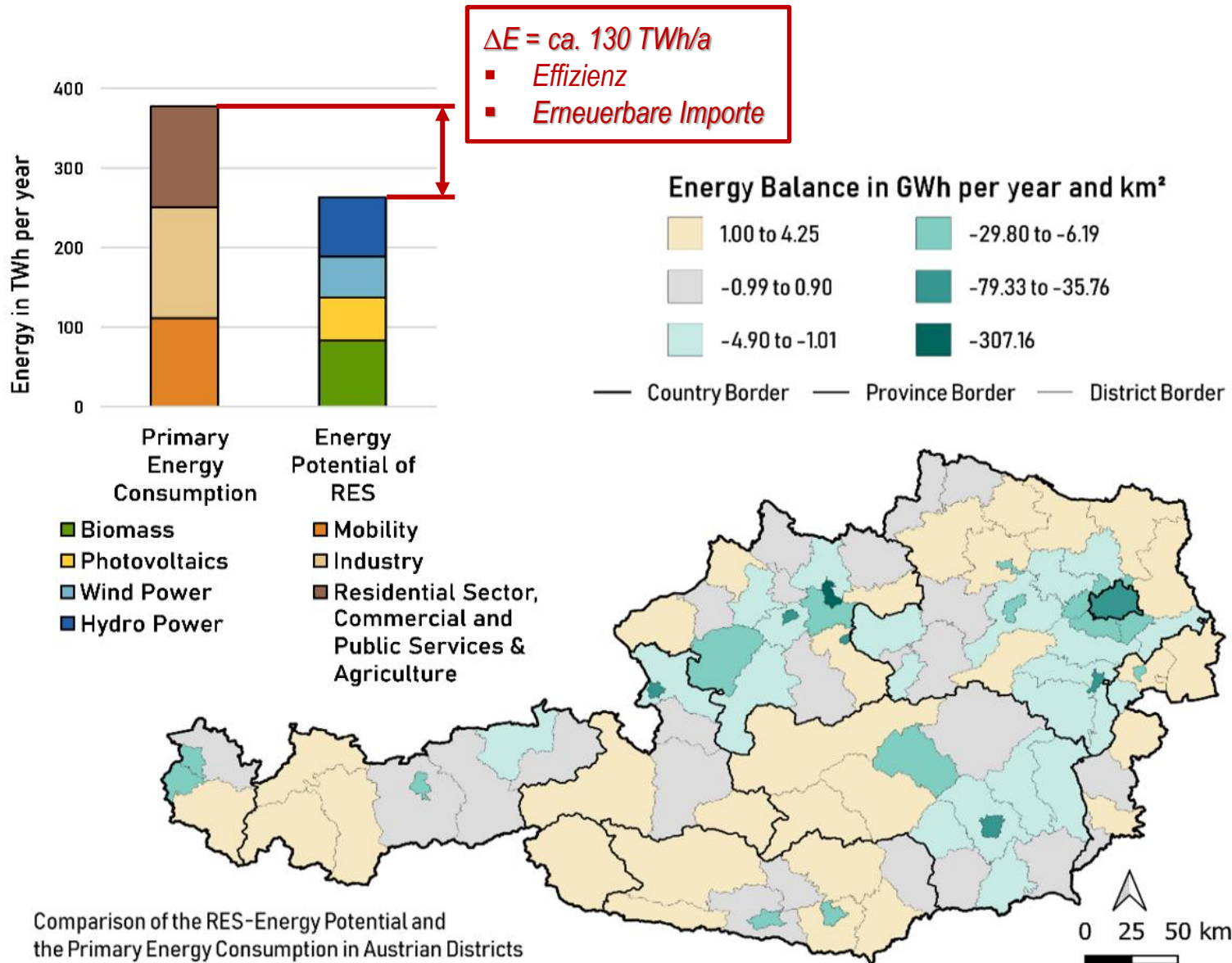


# Wiederholung



- Kyoto Ziel (-13% auf Basis 1990) wurde nicht erreicht.
- Einsparungen von ca. 13% auf Basis 2013 sind nötig!
- Österreich musste im Ausgleich für die Jahre 2008-2012 CO<sub>2</sub>-Zertifikate im Ausmaß von 600 Mil. € beziehen.

# Erneuerbare Energieträger Potentiale in Österreich

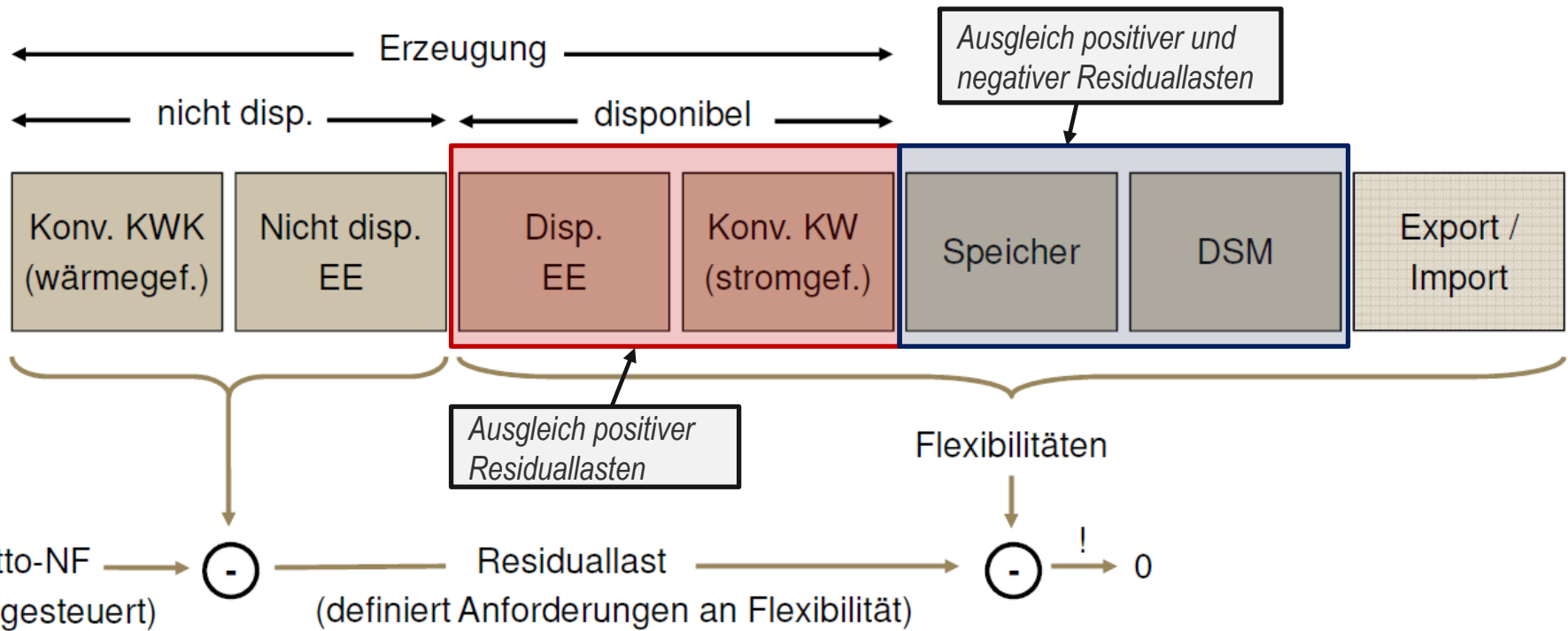


$\Delta E = \text{ca. } 130 \text{ TWh/a}$

- Effizienz
- Erneuerbare Importe

# Residuallast

Def. Residuallast = Last – (fluktuierende Erneuerbare Erzeugung + wärmegeführte KWK)



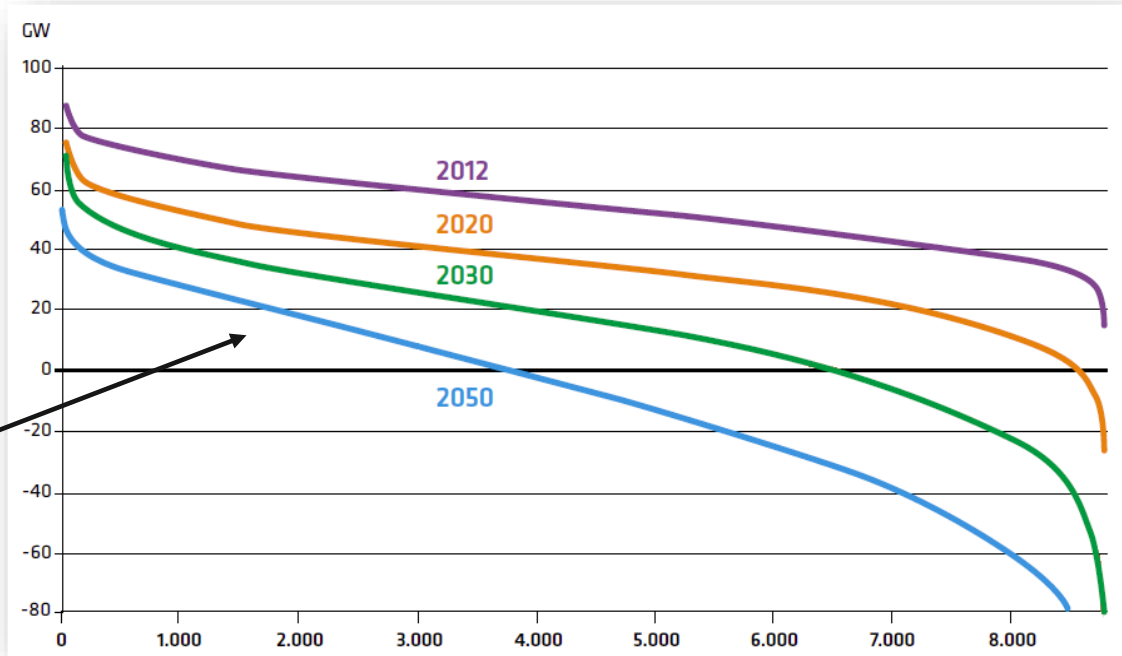
Quelle: In Anlehnung an Consentec (2011)

# Entwicklung der Residuallast

(noch größere) Anteile fluktuierender Erneuerbarer im Verbundsystem

Erwartete Entwicklung der Residuallast  
Elektrische Energie, Situation 2010 vs.  
Szenario 2030 (Deutschland)

Geordnete  
Jahresdauerlinien der  
Residuallast



Quelle: [http://www.energieverbraucher.de/de/energiewende\\_\\_1900/NewsDetail\\_\\_15072/](http://www.energieverbraucher.de/de/energiewende__1900/NewsDetail__15072/)

## Heute

- Durchwegs pos. Residuallasten, aber sehr häufige Unterbrechung des Intradayhandels
- Wenige Stunden Lastüberdeckungen, aber Windräder werden „aus dem Wind gedreht“

## Morgen

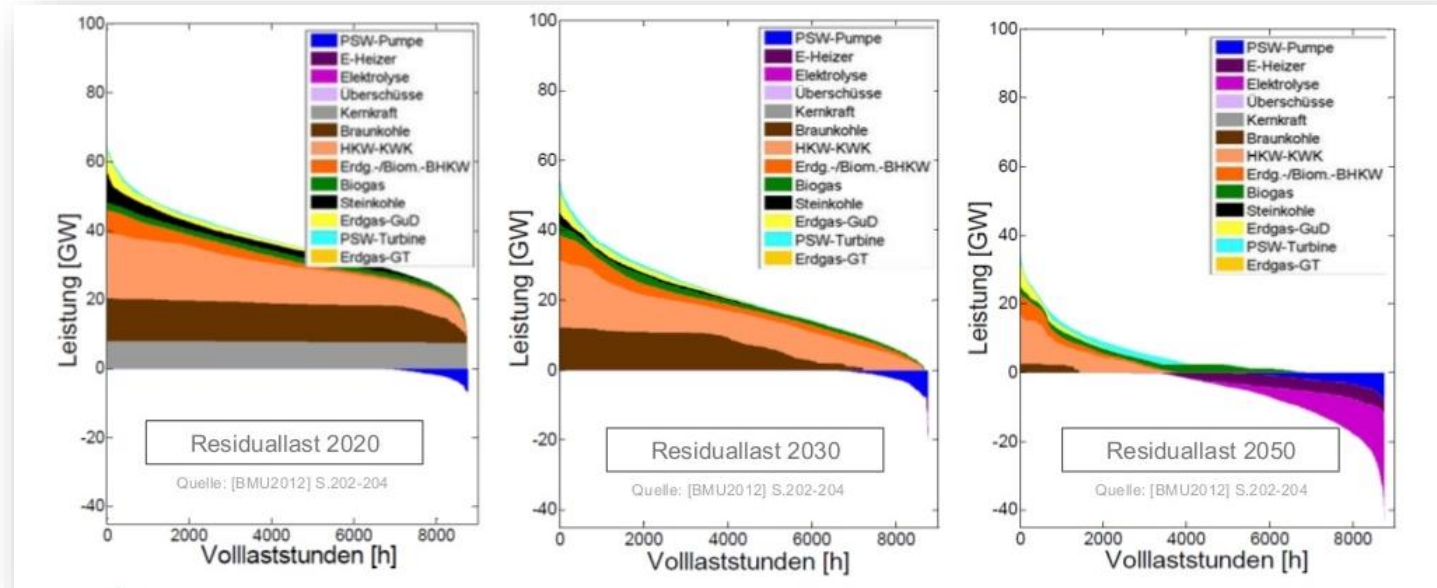
- Zunahme von Lastüberdeckungen
- Lösung: Flexibilisierungsoptionen
  - Energiespeicher und DR
  - PtH, PtG
  - E-Mobilität

Speicherung in anderem  
Energieträger. Hybride  
Systeme benötigt

# Entwicklung der Residuallast

(noch größere) Anteile fluktuierender Erneuerbarer im Verbundsystem

Erwartete Entwicklung  
der Residuallast  
Elektrische Energie,  
Situation 2010 vs.  
Szenario 2030  
(Deutschland)



## Heute

- Durchwegs pos. Residuallasten, aber sehr häufige Unterbrechung des Intradayhandels
- Wenige Stunden Lastüberdeckungen, aber Windräder werden „aus dem Wind gedreht“

## Morgen

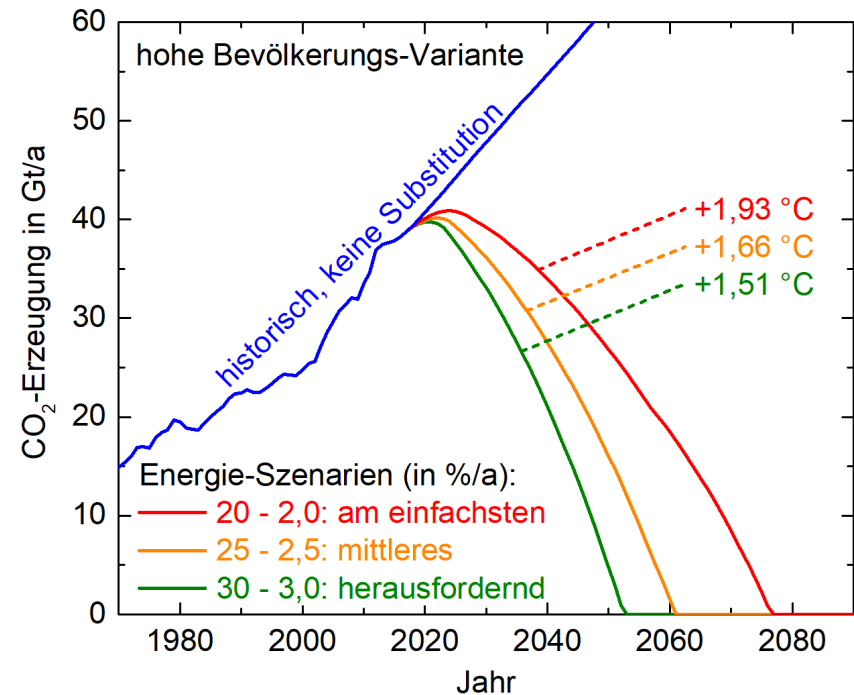
- Zunahme von Lastüberdeckungen
- Lösung: Flexibilisierungsoptionen
  - Energiespeicher und DR
  - PtH, PtG
  - E-Mobilität

Speicherung in anderem  
Energieträger. Hybride  
Systeme benötigt

# Energieszenarien Allgemein

Energieszenarien werden erstellt,...

- ...um zu zeigen, dass oder unter welchen Umständen gewünschte oder befürchtete zukünftige Entwicklungen eintreffen könnten
- ...um über die Energiezukunft zu diskutieren
- ...um Sichtweisen aus vielen Disziplinen und von vielen Akteuren integrieren zu können
- ...um zu helfen, Handlungsalternativen (technologisch/wirtschaftlich/politisch) bewerten zu können

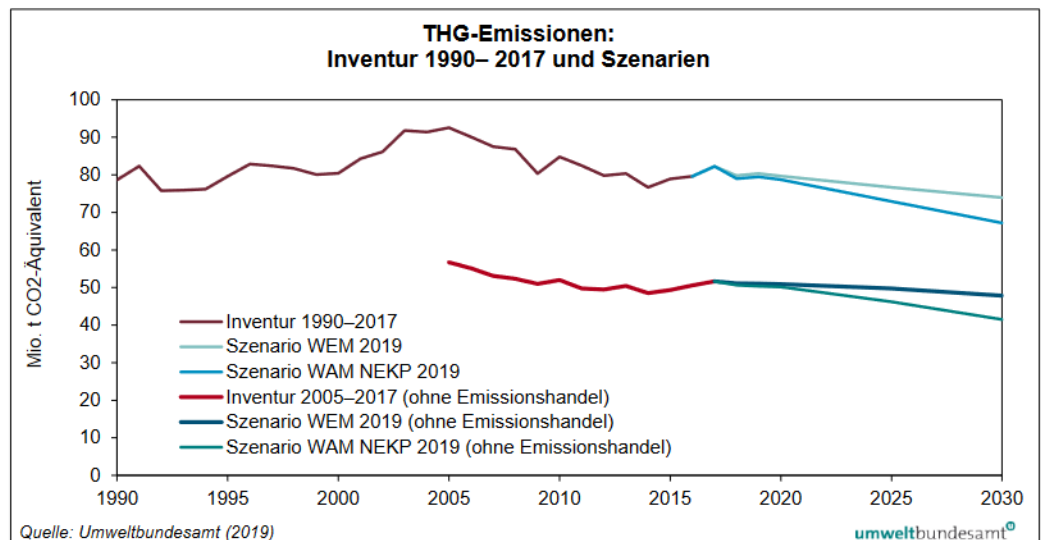


Quelle: Pfennig, A.: Sustainable Bio- or CO<sub>2</sub>-Economy: Chances, Risks, and Systems Perspective (2019)

# Energieszenarien Allgemein

## Wer erstellt Energieszenarien?

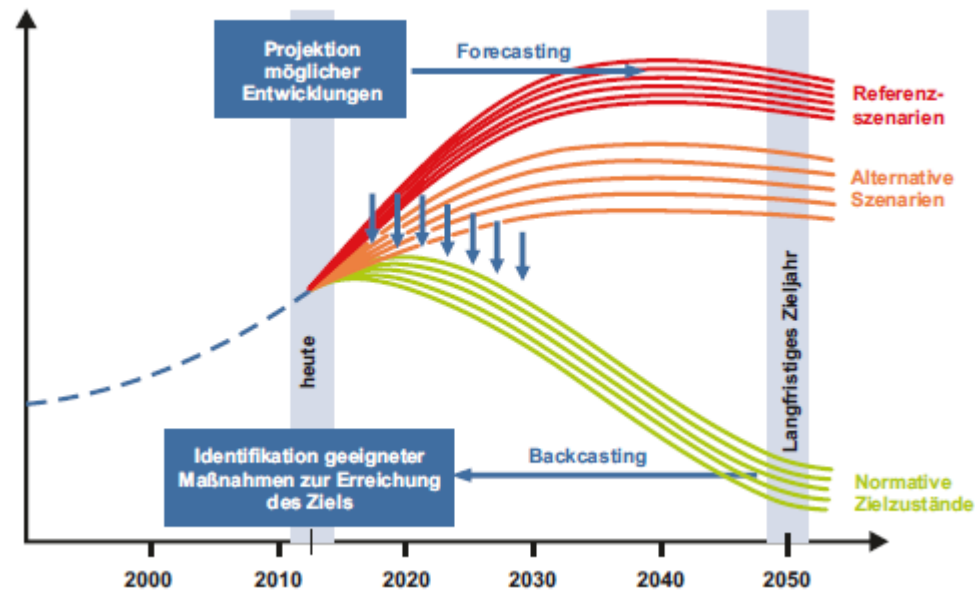
- Intergovernmental Panel on Climate Change (erstmals 1990)
- World Energy Council (1993)
- EU-Mitgliedsstaaten im *Monitoring and Reporting Mechanism* bis 2030
  - Österreichisches Umweltbundesamt (2-J.Rhythmus)
    - *with existing measures (WEM)*
    - *with additional measures (WAM)*
    - *WAM+/Transition zur Erreichung der Klimaziele*



# Formulierung von Szenarien

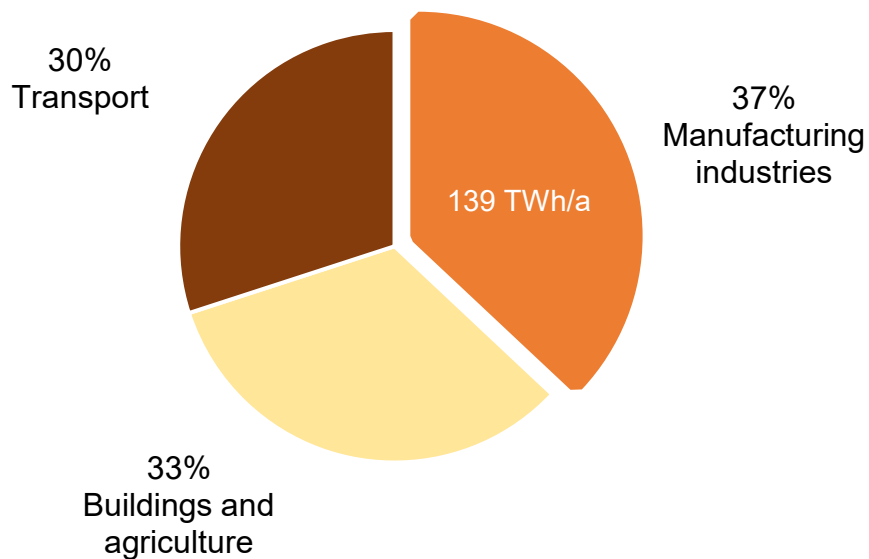
## Zwei grundlegende Ansätze

- Explorative Szenarien (Forecasting)
  - Wie könnte sich die Zukunft entwickeln und wohin führt das?
- Zielszenarien (Backcasting)
  - Was müsste passieren, um das gewünschte Zielbild zu erreichen?



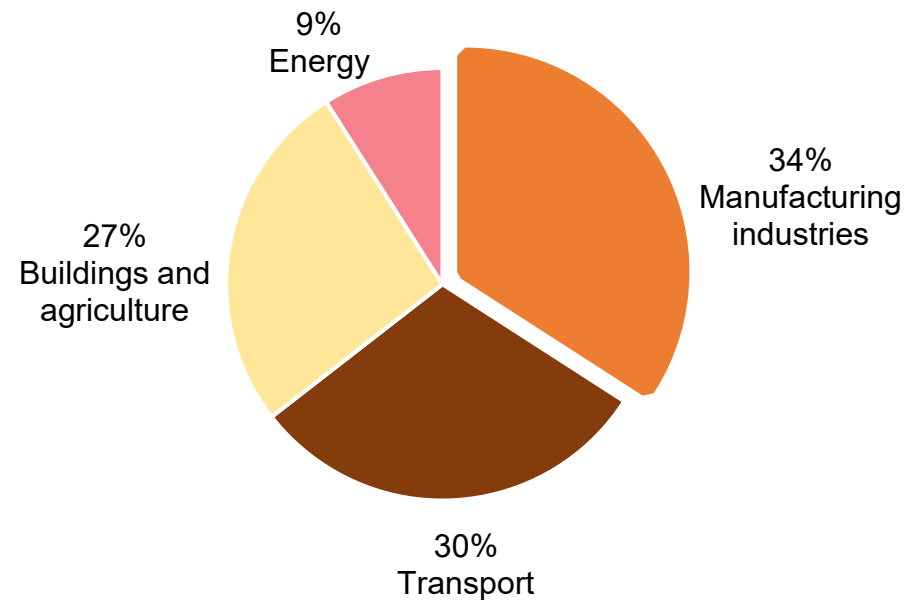
# Die Industrie ist für 1/3 der THG-Emissionen in AT verantwortlich

Primärenergiebedarf nach Sektor<sup>[1]</sup>



1) Sejkora et al., „Exergy as Criteria for Efficient Energy Systems – A Spatially Resolved Comparison of the Current Exergy Consumption, the Current Useful Exergy Demand and Renewable Exergy Potential“, *Energies*, 2020

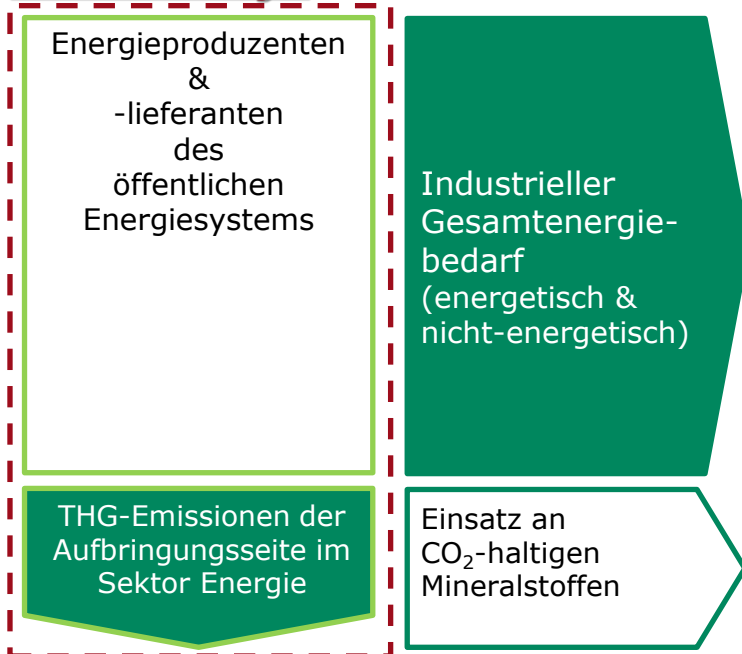
THG-Emissionen nach Sektor<sup>[2]</sup>



2) Austrian Federal Environment Agency, „National Inventory Report 2021“

# Industriebilanzgrenze

## Bilanzgrenze des Sektors Energie



## Industriebilanzgrenze



□ Öff. Energiesystem

■ Szenarienergebnisse NEFI

□ Stoffflüsse in Bilanzgrenze

□ Anlagen an Industriestandorten

# Beispielszenarien NEFI

## Szenario „Business-as-Usual“ (BAU)

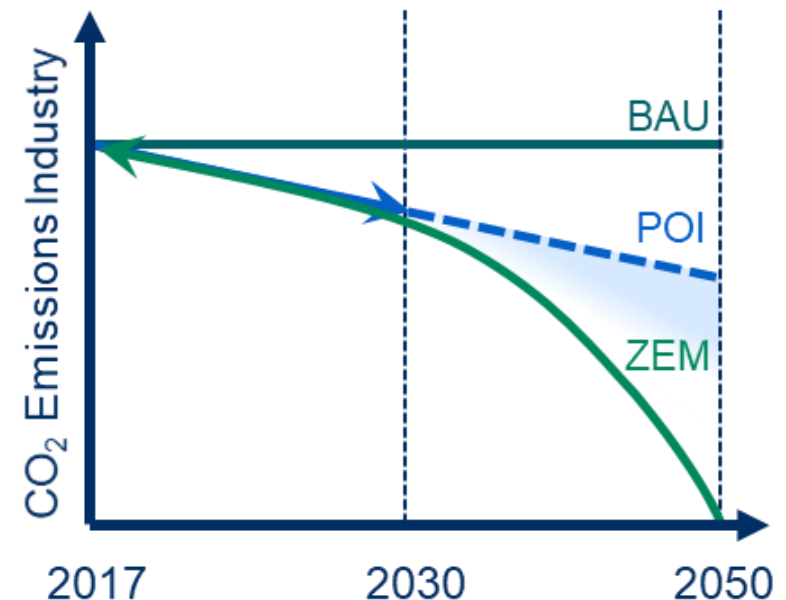
- Trendfortschreibung (Basisjahr 2017)

## Szenario „Current Pathway of Industry“ (POI)

- „Foresight“ auf Basis aktueller Industrie einschätzungen bezüglich Rahmenbedingungen und Technologieentwicklung

## Szenario „Zero Emission“ (ZEM)

- Mittels „Backcasting“ abgeleiteter Dekarbonisierungsweg



# Einordnung von Zielen und Strategien in Richtung Klimaneutralität

Vier wesentliche Technologiefamilien

## Elektrifizierung und Energieeffizienz

- KWK und Abwärmenutzung
- Wärmepumpen

## Carbon Capture

- Zur Abscheidung geogener Emissionen

## Einsatz CO<sub>2</sub>-neutraler Gase

- Wasserstoff
- Bio-CH<sub>4</sub>
- BioSNG

## Kreislaufwirtschaft

- Vermehrter Einsatz von Sekundärrohstoffen

*Bestmöglicher Umgang mit externen Rahmenbedingungen  
Stichwort CO<sub>2</sub>-Preis*

*Sicherung des Industriestandortes  
Beitrag zum Wirtschaftsstandort Österreich*

*Erhöhte Wertschöpfung durch Technologie  
"Made in Austria" und deren Export*

**Fazit 1:** Silver-Bullet Lösungen gibt es nicht. Die Verteilung der Technologiefamilien unterscheidet sich stark je nach industriellen Sub-Sektor.

**Fazit 2:** alle Technologiefamilien sind sowohl als Teil energiesystemischer Konzepte als auch im Sinne neuer Technologien und Prozesse zu verstehen.

# Ergebnisse

- Die Anstrengungen der Industrie können nur wirken wenn genug erneuerbare Energieträger insbesondere erneuerbare Gase und erneuerbarer Strom verfügbar sind.
- Investitionen müssen jetzt starten.
- Planungssicherheit ist dafür Voraussetzung.

	2030		2050	
Szenario	POI	ZEM	POI	ZEM
Energiebedarf	140 TWh	135 TWh	183 TWh	157 TWh
CO <sub>2</sub> e	17 Mt	16 ... 19 Mt <sup>2</sup>	1 ... 3,6 Mt <sup>1</sup>	-3 ... 2,2 Mt <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abhängig ob Wasserstoff lokal hergestellt wird: Emissionen aus Strom