

Alles Akku, oder geht es vielleicht doch anders? Was wir von der Biologie lernen können und müssen...

Andrew Moore, PhD
Freiberuflicher Wissenschaftler und Autor



© 2025 Andrew Moore

Rückkehr in die Forschung aus einer anderen Perspektive

Von Skeptizismus, Synthese und Erzählung

Oder warum wortwörtliche Dekarbonisierung
falsch ist



© 2025 Andrew Moore

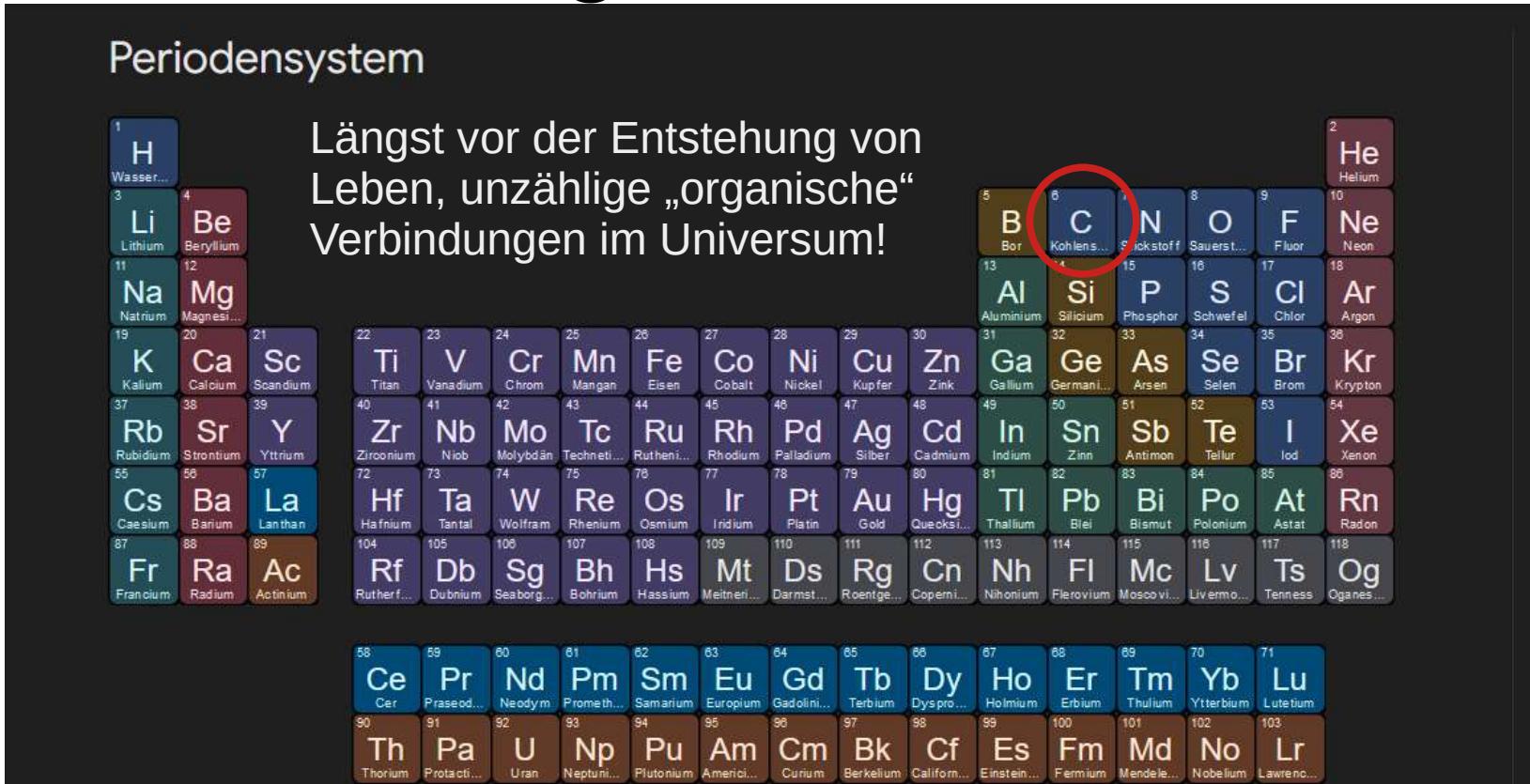
Mein kritisches Denken und meine Analysefähigkeit schärfen ...

- Es fing mit einer alltäglichen Überlegung an...
- Energiespeicherung und Tragbarkeit global nur mit Akkutechnologie erreichen: Hype oder Hoffnung?
- Oder wäre Technologievielfalt mithilfe von Kohlenstoff doch eine bessere Idee?
- Gibt es wissenschaftliche Herangehensweisen, um diese Fragen zu beantworten?
- Ich schlussfolgere “ja, die gibt es!”.
- Ich musste weit ‘raus aus meinem Biochemikerwerkzeugkasten gehen...
- ...und Fähigkeiten in anderen Disziplinen lernen und anwenden.
- Dies ist die Geschichte jener Reise, und deren Endergebnisse...

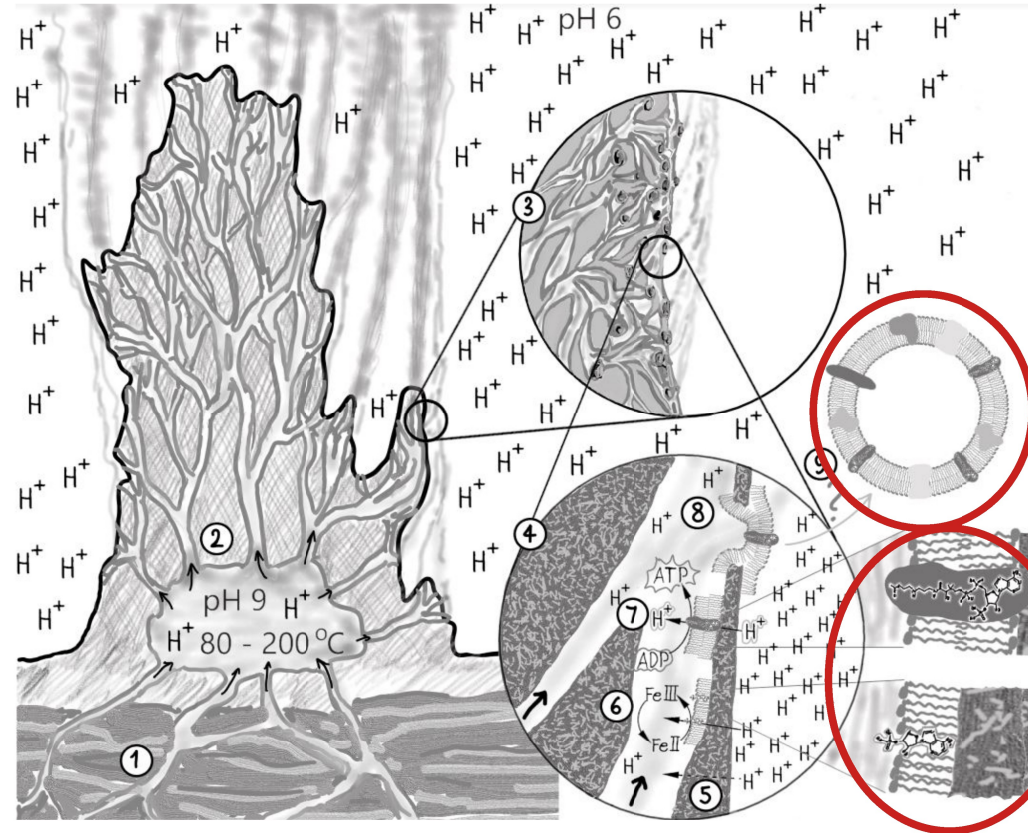
Reduziert auf die Grundthemen...

- Ich bezweifle, dass Mineral-basierte Lösungen für Energiespeicherung/-Portabilität in ihren jetzigen Formen umweltmäßig so nachhaltig sind wie...
- **KOHLENSTOFF!**
- Warum?
- Weil die Menschheit ein Teil des Lebens auf der Erde ist...
- ... und von der Intaktheit größerer Ökosysteme abhängt.
- Jene Ökosysteme, und die Ganzheit des Lebens auf Erden...
- Nutzen **C** als zentrales Element ihrer Energie- und Materialwirtschaften...
- ... und zwar nachhaltig, in RecyclingSystemen ohne toxische Nebenprodukte, seit mehr als 3,5 Milliarden Jahren.
- Dies unterstützt die Biodiversität, anstatt sie zu zerstören.
- Kann ich zeigen, dass diese Denkweise auch für menschliche Ökonomien relevant ist?
- Ich schlussfolgere “ja”, aber entscheiden Sie selber nach meinem Vortrag!...

C hat *einzigartige* Flexibilität wegen seiner Stellung unter den Elementen.



Beginn des Lebens auf Erden, und der Wechsel von Mineralien zu Kohlenstoff



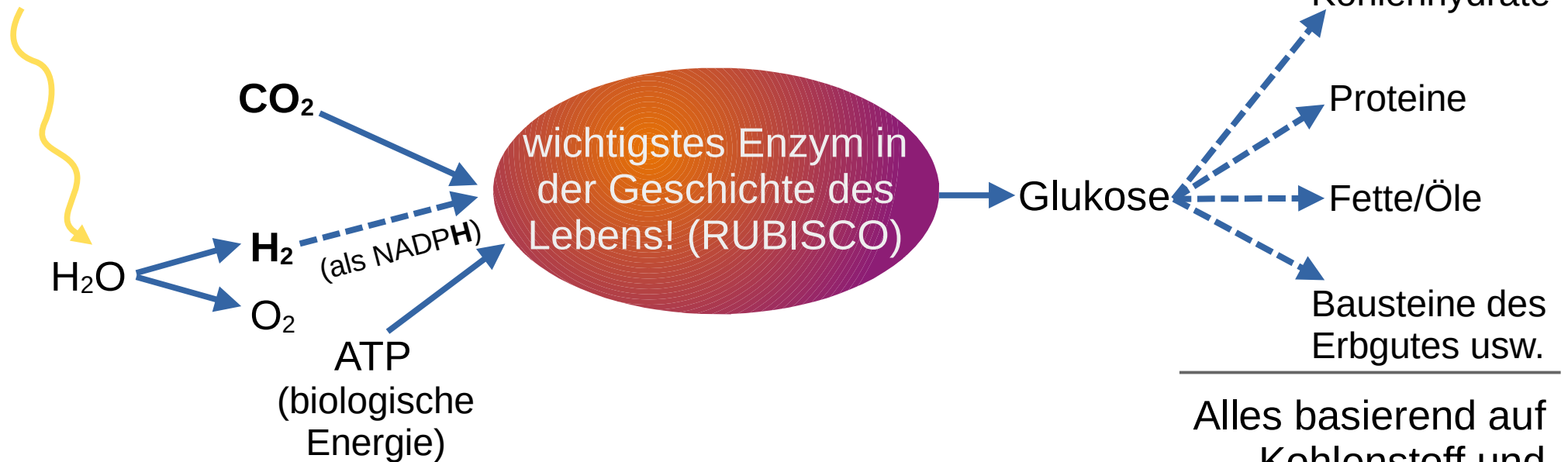
Protozelle:
LUCA: letzter
gemeinsamer
Vorfahre des
Lebens.

Primitiver
Energie-
stoffwechsel
basierend auf
Kohlenstoff-
verbindungen

Und dann, vor ca. 3,4 Milliarden Jahren: Die Photosynthese...

Erst Bakterien, dann eukaryontische Einzeller Algen, vor 1,9 M. Jahren

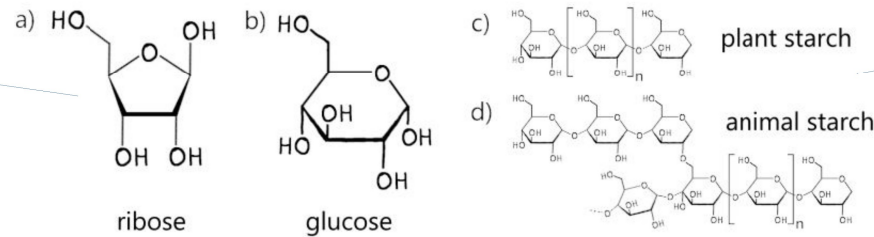
Sonnenlicht



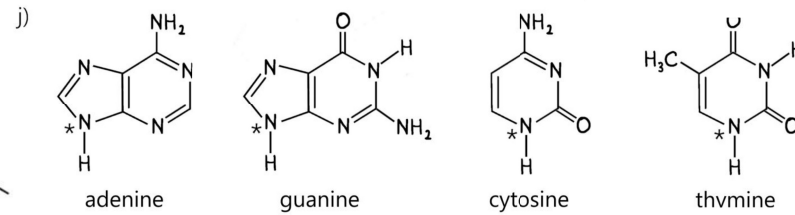
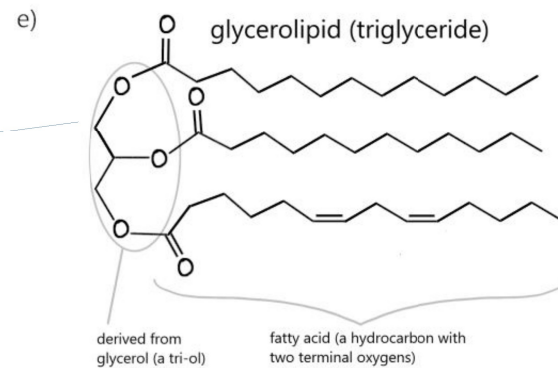
Alles basierend auf
Kohlenstoff und
Kohlenstoff-Konnektivität

Hier sehen wir ein kleines Stück der „Kreativität“ Kohlenstoffs...

Zuckersorten
Energie, und
Bausteine
für...

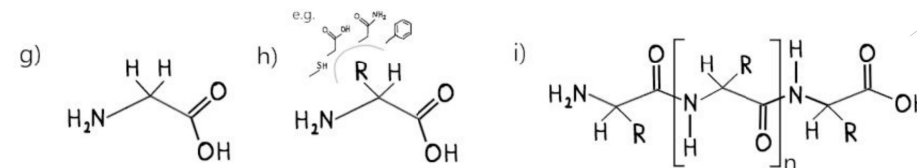


Zugleich
Energiespeicher
und
Strukturmaterial

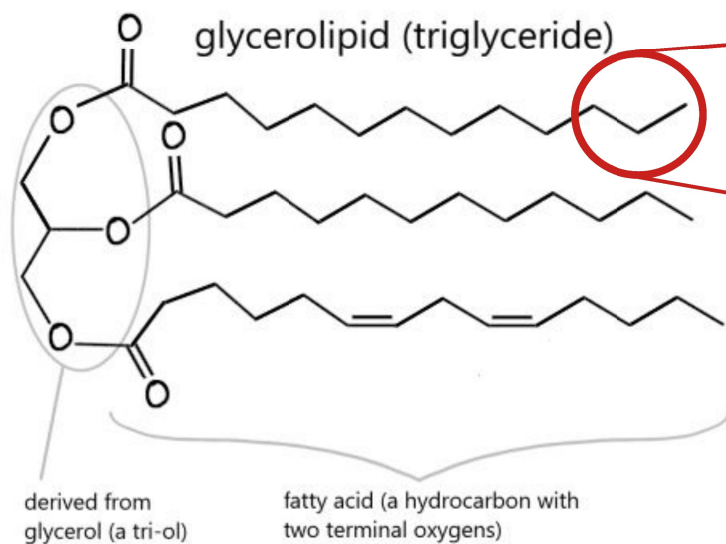


DNA Basen
"Datenträger"

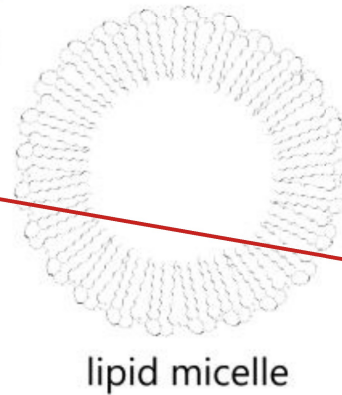
Proteine 
Strukturmaterial,
Enzyme, und in
der Not, auch
Energiesubstrat



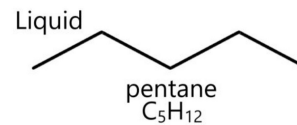
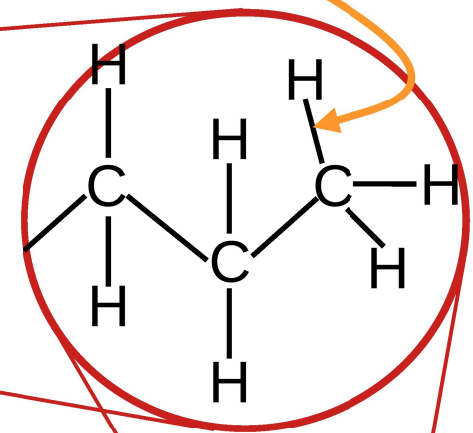
Vergleich, biologische Fette/Öle mit C-H Energieträgern



f)

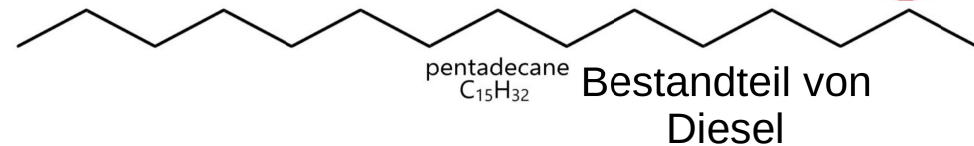


Hochenergetische Bindung



Bestandteil von Benzin

hexane
 C_6H_{14}



Prinzipiell können alle biologischen Kohlenstoffverbindungen...

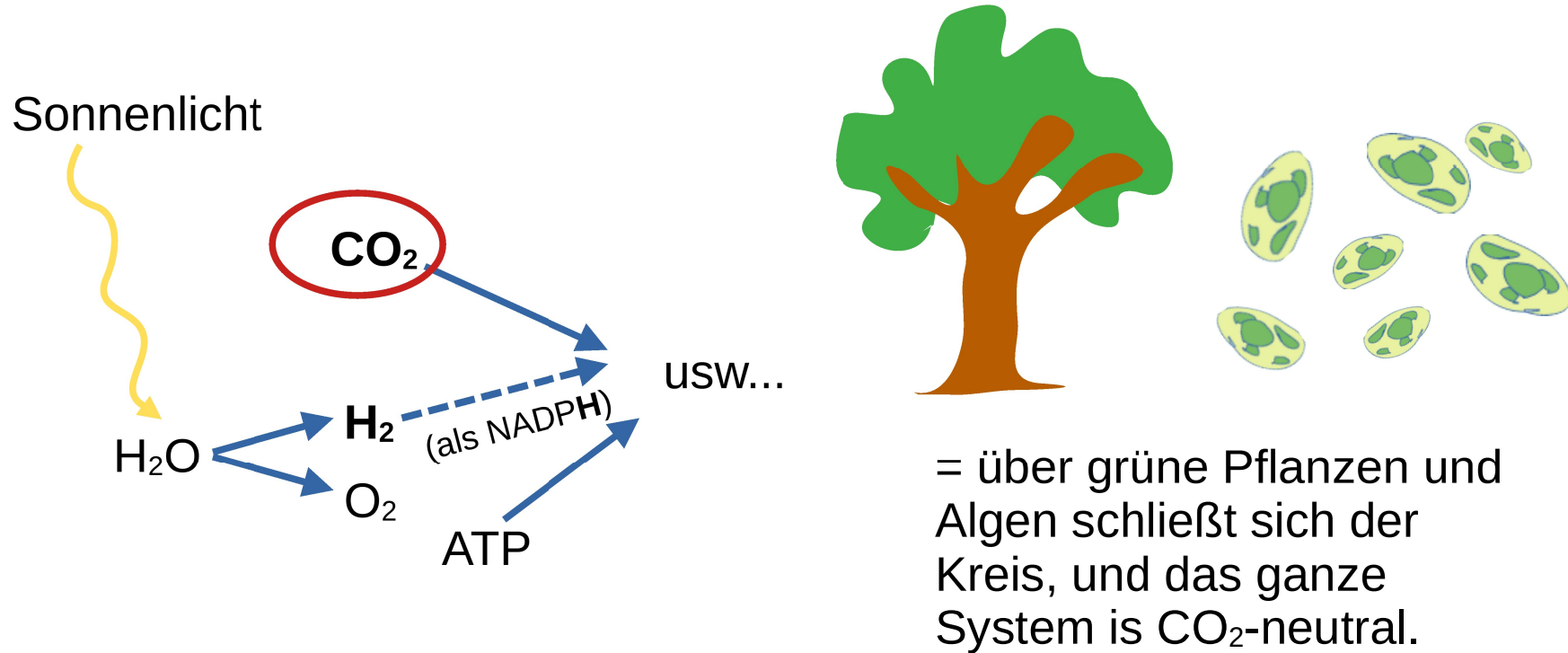
Glukose + O₂



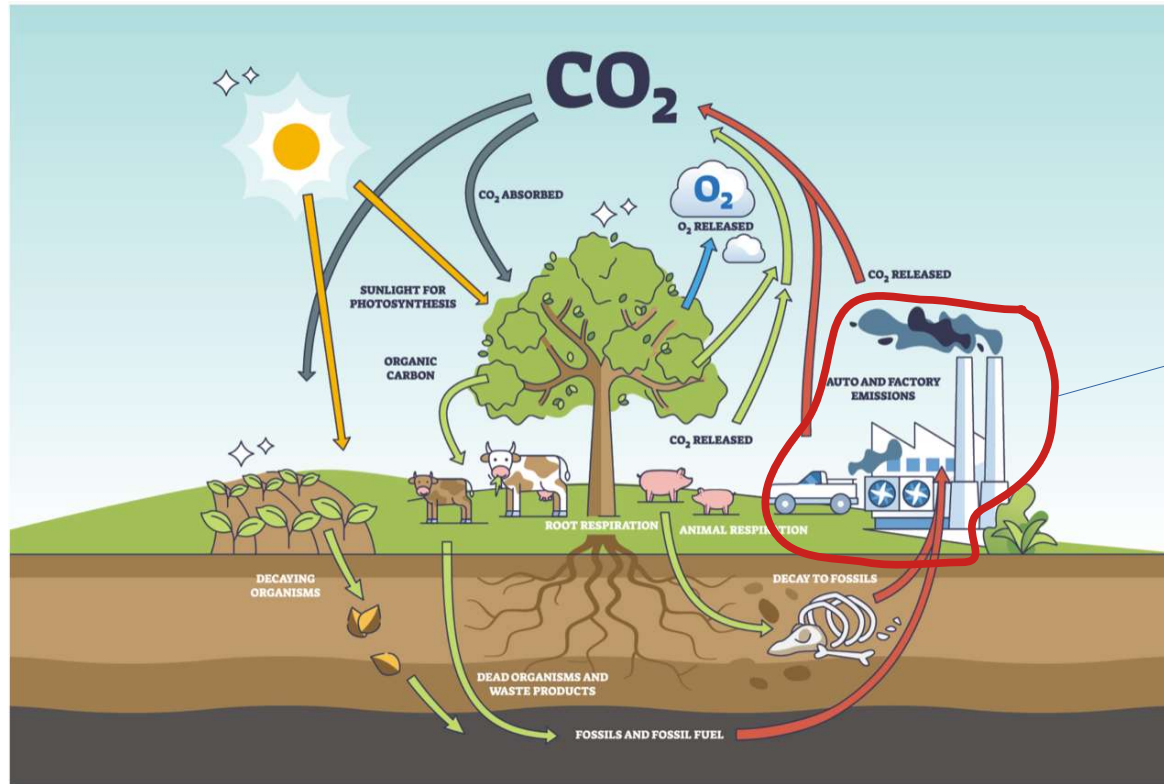
CO₂ + H₂O

Kohlendioxid und Wasser
und biologische Energie
(ATP)

Und damit befinden wir uns wieder am Anfang...



...auf der Ebene von Ökosystemen, bis hin zur ganzen Erde.



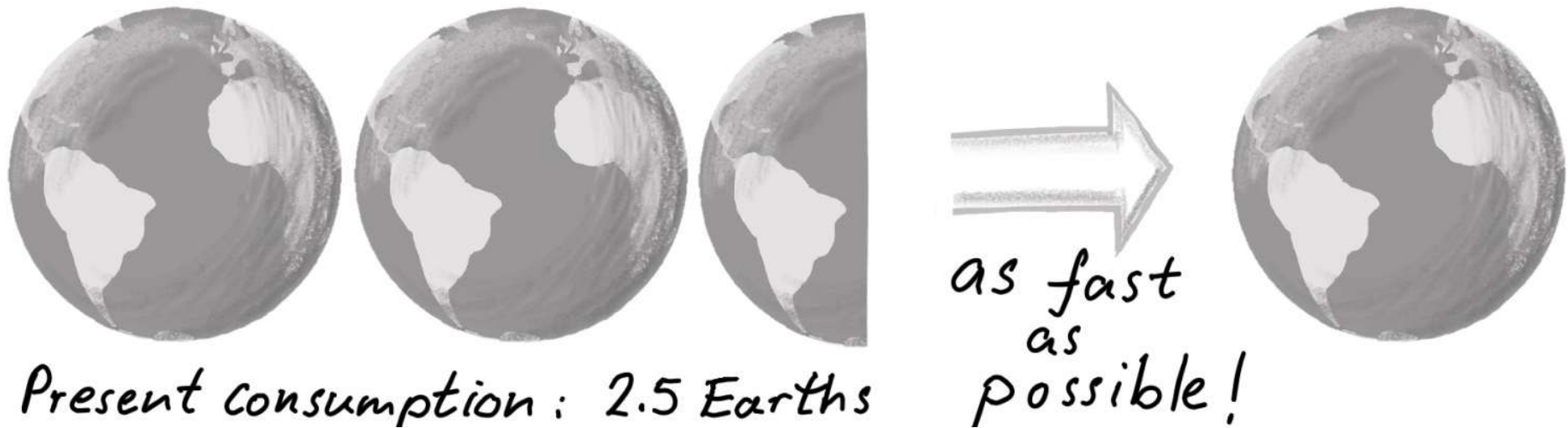
Nicht aber dieser Teil!

<https://www.hungryfortruthsd.com/blog/how-the-carbon-cycle-affects-agriculture>

© 2025 Andrew Moore

12

OK, aber reden wir im Zusammenhang mit *Homo sapiens* nicht um viel mehr Energie und Material?

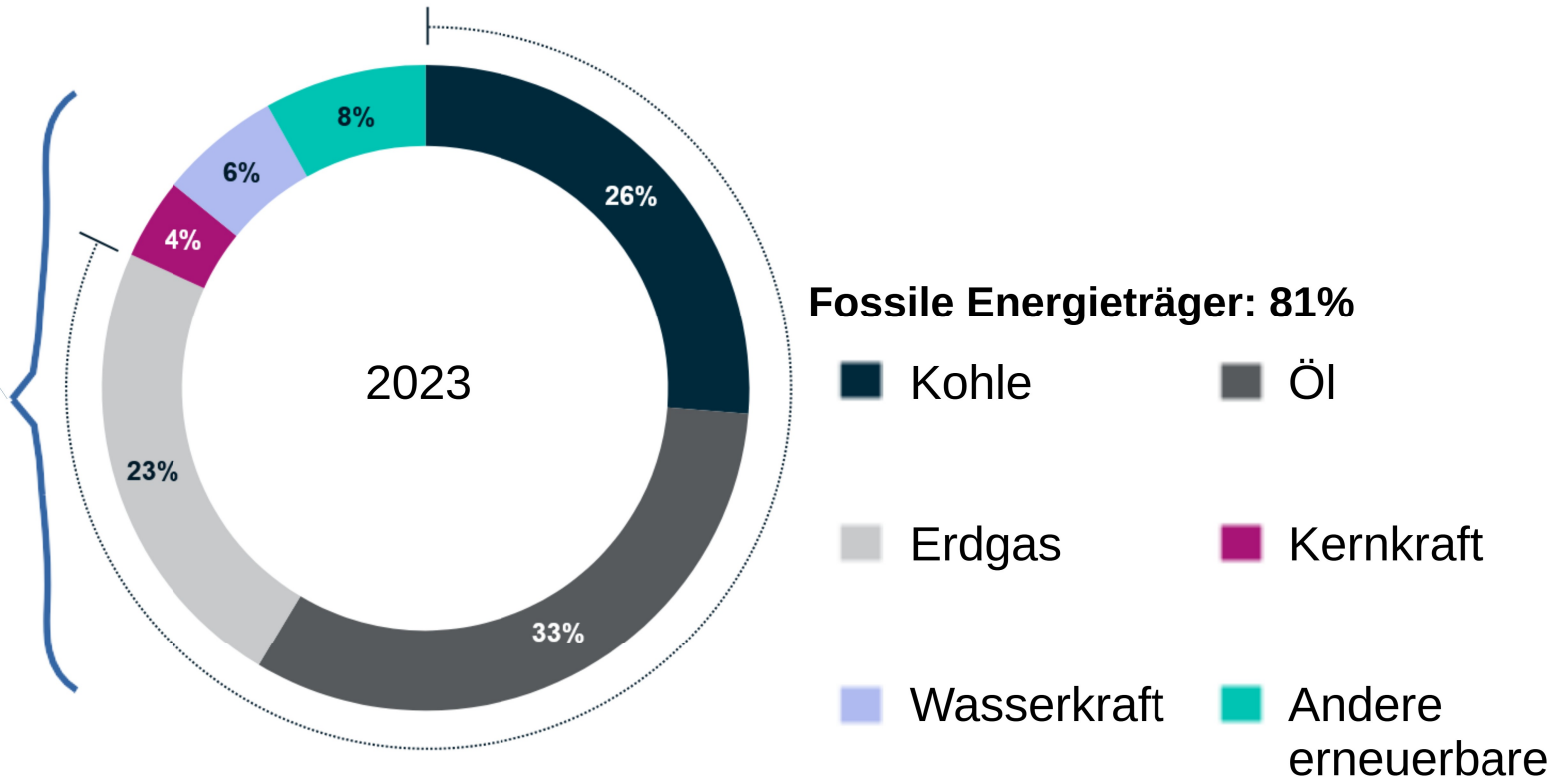


Wir MÜSSEN unseren Konsum drastisch in allen Bereichen senken!!!

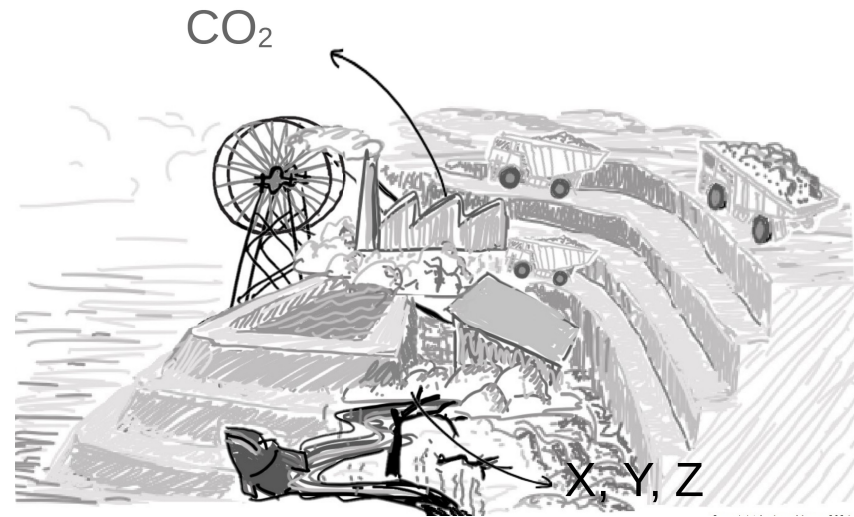
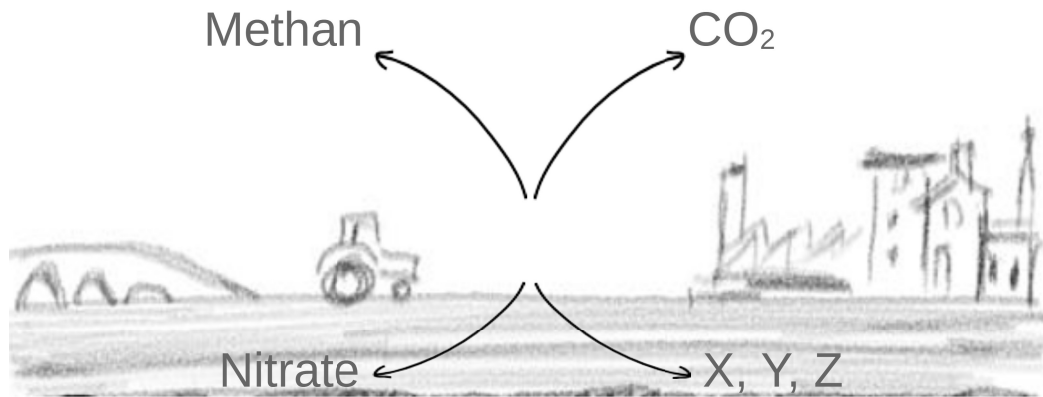
Energieverbrauch von *Homo sapiens* heute: wie viel, und welche Sorte

Entsprechend
14,9 Milliarden
Tonnen Erdöl.
**2% mehr als
im Jahr 2022.**

Quelle:
<https://www.msci-institute.com/chart/global-primary-energy-consumption-generation-in-2023/>



Nicht die Energie an sich, sondern die damit verbundenen chemischen und physischen Veränderungen richten die substantiellen Schäden an...



Unsere ganze Energie muss CO₂-neutral
hergestellt werden; dieser Wandel muss
so schnell wie möglich erfolgen!

Zusammen mit passenden Speicher-
und Portabilitätslösungen!!

All dies muss mit einem Minimum an
ökologischen Schäden einhergehen!

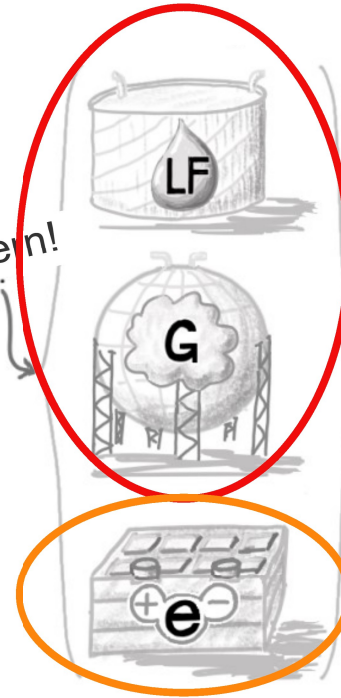
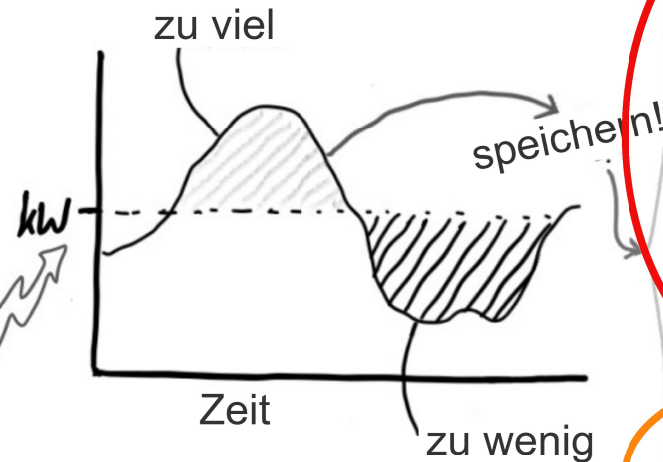
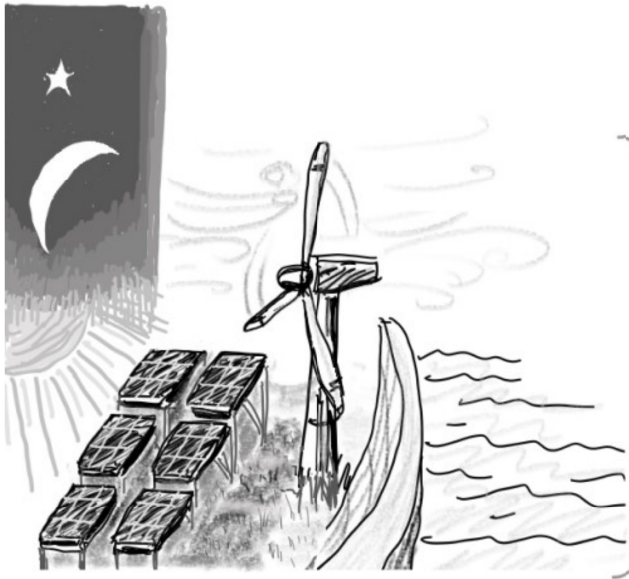
Lösungen für Energiespeicherung und Transportierbarkeit hinken deutlich hinterher..

Erzeugung

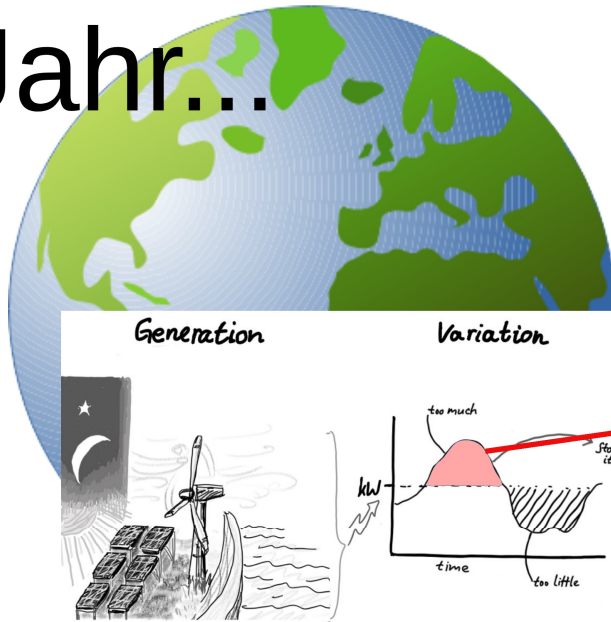
Schwankungen

Speicherung

Verbrauch

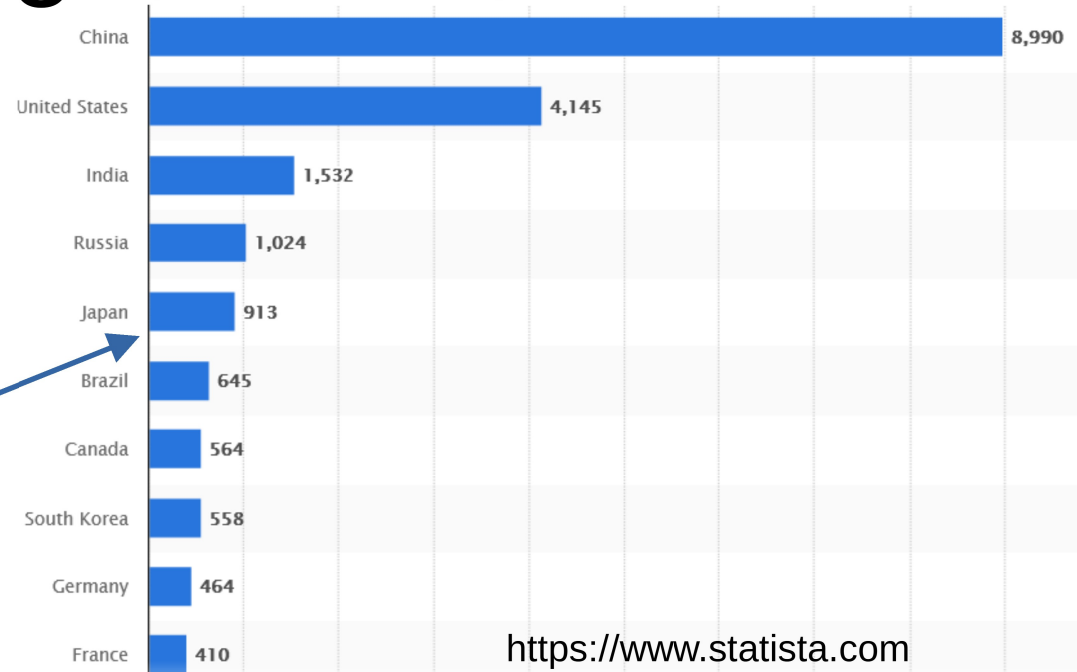


Versagen bei der Energiespeicherung: viele Hundert TeraWatt-St. Verschwendung pro Jahr...



ca. 800
TWh/Jahr

Stromnutzung 2024, nach Menge
(Terawatt-Stunden)



<https://www.statista.com>

<https://ember-energy.org/latest-insights/global-electricity-review-2025/2024-in-review/>

<https://arxiv.org/abs/2405.18526>

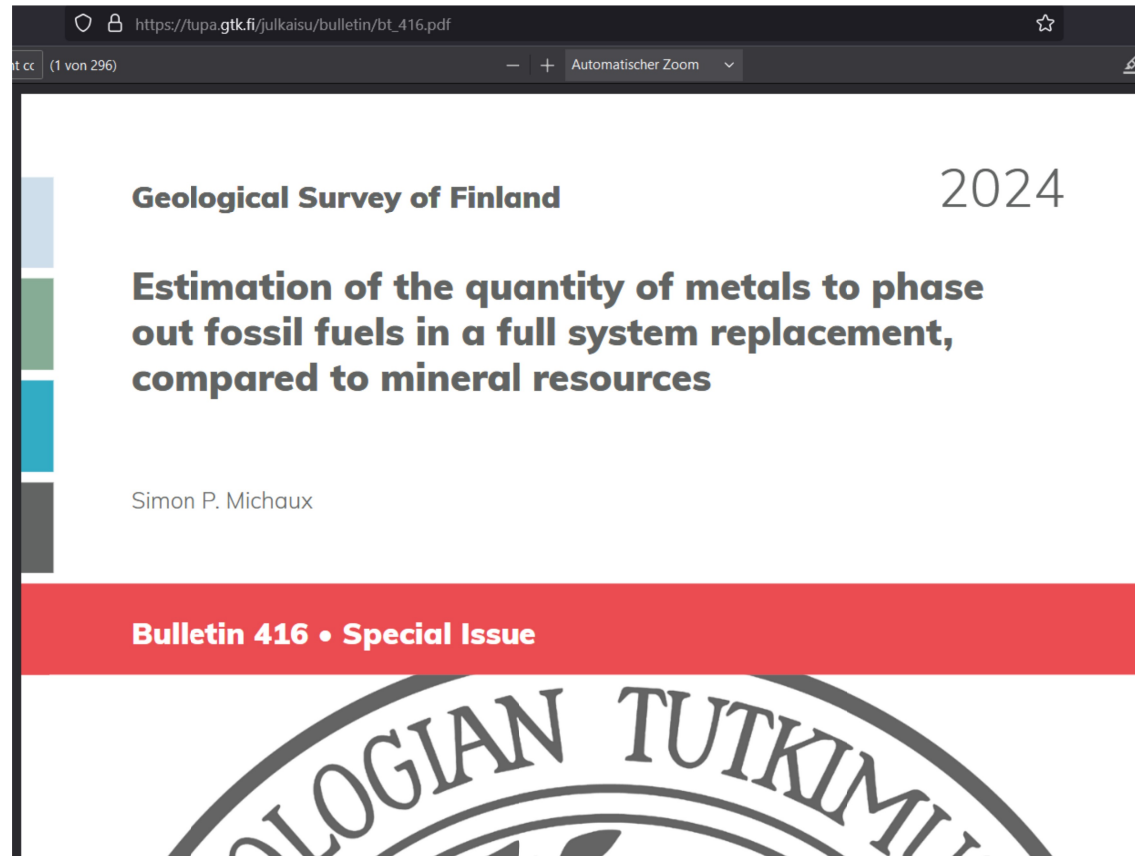
Wenn wir Energie in den „richtigen“ Formen speichern könnten, dann können wir auch...

- kurze Zeiträume niedriger regenerativer Erzeugung überbrücken...
- gewaltige Mengen Energie speichern, und damit jahreszeit-abhängige Schwankungen bei den natürlichen Energiequellen und bei unserem Verbrauch ausgleichen...
- die Infrastruktur zur Erzeugung von regenerativem Strom auf einem Minimum halten, und damit die Umweltauswirkungen dieser Infrastruktur minimieren.

Megabatteriespeicher als Lösung?

- Nur ziemlich kurze Zeiten können ohnehin überbrückt werden, weil Speicherkapazität sehr begrenzt ist...
- Die Erde gibt nicht genug Mineralien her, um die erforderliche Menge Batterien zu bauen!...

Neuste Studie zur Verfügbarkeit von Metallen...



Nicht genug, um moderate Mengen Energie mit Batterien zu speichern...

Table A10. Total metal quantity required to manufacture one generation of technology units (28 day power storage buffer) to phase out fossil fuels compared to 2022 global reserves (Source: USGS 2024).

Metal	Total including 28 day buffer stationary power storage (million tonnes)	Reported Global Reserves 2022 (million tonnes)	Global Reserves and resources as a proportion of metals required to phase out fossil fuels (%)
Steel & Iron	3 895	180 000	4621,31%
Aluminium	372,8	32 000	8583,21%
Copper	6 165,2	880	14,27%
Zinc	48,2	250	518,77%
Magnesium Metal	0,5	*	
Manganese	306,1	1 500	490,05%
Chromium	9,2	570	6194,39%
Nickel	1 251,3	95,0	7,59%
Lithium	1 274,9	22,0	1,73%
Cobalt	293,0	7,6	2,59%
Graphite	11 473,6	320	2,79%



...und nicht genug Zeit, um die notwendigen Mengen abzubauen!

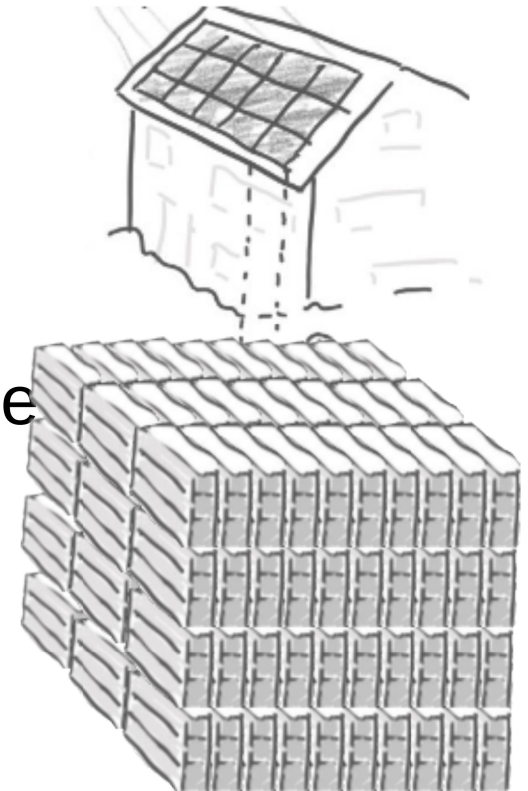
Table A9. Total metal quantity required to manufacture one generation of technology units, with a 28 day power buffer for wind and solar to phase out fossil fuels compared to 2019 global production (Source: USGS 2024).

Metal	Element	Total including 28 day buffer stationary power storage (million tonnes)	Global Metal Production 2019 (million tonnes)	Years to produce metal at 2019 rates of production (assuming the 28 day buffer) (years)
Steel & Iron	Fe	3 895	1 860	2,1
Cement	-	963	4 100	0,2
Aluminium	Al	372,8	63,14	5,9
Copper	Cu	6 165,2	24,20	254,8
Zinc	Zn	48,2	13,52	3,6
Magnesium Metal	Mg	0,5	1,12	0,4
Manganese	Mn	306,1	20,59	14,9
Chromium	Cr	9,2	37,50	0,2
Nickel	Ni	1 251,3	2,35	532,5
Lithium	Li	1 274,9	0,095	13 396,5
Cobalt	Co	293,0	0,126	2 325,4
Graphite *	C	11 473,6	2,73	4 203,9

← !!!

Häuslicher Speicherbedarf Sommer > Winter

- Familienhaus, ca. 150 QM Wohnfläche
- Außendämmung
- 3Fach Verglasung
- PV Anlage, 40 QM; 10 kW Peak
- Heizung und Warmwasser über Wärmepumpe
- Übliche Batteriespeicher (Li FePO₃): 10 kWh
- Benötigte Speicherkapazität, um im Winter von der „Sommerenergie“ profitieren zu können = ca. 100 - 200 so viel.



Die „richtigen“ Energieträger dürfen
keine Umweltschäden in ähnlichem
Ausmaß wie fossile Energieträger
verursachen...

Rohstoffgewinnung: eine steigende Umweltbelastung

Extraction of raw materials to rise by 60% by 2060, says UN report

Exclusive: Report proposes action to reduce overall demand rather than simply increasing 'green' production



📷 A mine near Kolwezi in the Democratic Republic of the Congo. Photograph: Junior Kannah/AFP/Getty Images

Zitat: „Elektrische Fahrzeuge, z.B., verbrauchen fast 10 Mal so viele „kritische Rohstoffe“ wie herkömmliche Autos, und, um bis 2050 Netto-Null-Transportemissionen zu erreichen, müsste die Gewinnung kritischer Mineralien dafür innerhalb von 15 Jahren um das Sechsfache gesteigert werden.“

<https://www.theguardian.com/environment/2024/jan/31/raw-materials-extraction-2060-un-report>

Abbau von Metallerzen für Batterien zerstört seit geraumer Zeit schon Regenwälder...



World ▾ Business ▾ Markets ▾ Sustainab

Climate & Energy | Grid & Infrastructure | Technology | C

Foreign-backed nickel mining causing mass deforestation

By Reuters

January 18, 2024 2:49 PM GMT+1 · Updated 5 months ago



WORLD
RESOURCES
INSTITUTE

Oktober 2024

„Bergbau drängt immer mehr in kritische Urwälder und geschützte Gebiete ein...“



Anerkennung: Forest Watch Indonesia

<https://www.wri.org/insights/how-mining-impacts-forests>

Bergbau, ein immer größer werdender Gefahr für Süßwasserökosysteme...

→ ↺  <https://www.wri.org/insights/critical-minerals-mining-water-impacts>



Insights

Most Recent

Podcasts

News

All Insights

January 10, 2024

By Shivani Lakshman

Cover Image by: Idealink Photography/Alamy Stock Image

Abbau von kritischen Mineralien überlastet und verschmutzt Süßwasserreserven

Die meisten Methoden, die heute zum Abbau kritischer Mineralien verwendet werden, benötigen erhebliche Mengen an Wasser – etwa zur Trennung der Mineralien, zur Kühlung von Maschinen und zur Staubkontrolle. Abfälle aus dem Bergbau und der Verarbeitung, einschließlich verbleibender Mineralien und Chemikalien, können zudem das Wasser in nahegelegenen Gemeinden verunreinigen.

Die derzeitigen Verfahren zur Gewinnung von Lithium – einem kritischen Mineral, das in Batterien für Elektrofahrzeuge (EV) verwendet wird – sind besonders wasserintensiv. Man denke an das sogenannte ‚Lithium-Dreieck‘ in Südamerika. Dieses Gebiet, das Teile von Chile, Argentinien und Bolivien umfasst, enthält über die Hälfte der weltweiten Lithiumvorkommen, die in Solebecken unter den riesigen Salzebenen der Region lagern. Bergbauunternehmen pumpen diese Sole in große Becken an der Oberfläche der Salzebenen, wo das Wasser verdunstet und Lithiumcarbonat zurückbleibt, das für die Herstellung sauberer Energietechnologien genutzt wird.



Süßwasserartenvielfalt schwindet am schnellsten..

Living Planet Bericht, World Wildlife Fund, 2024

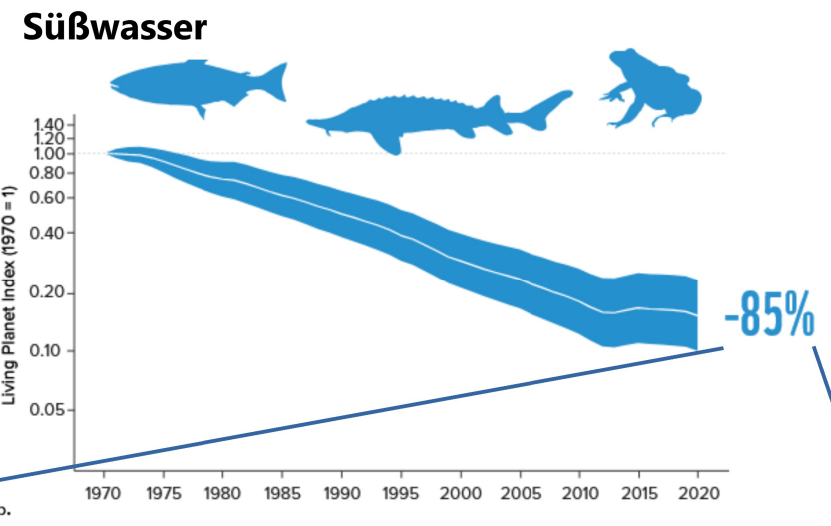
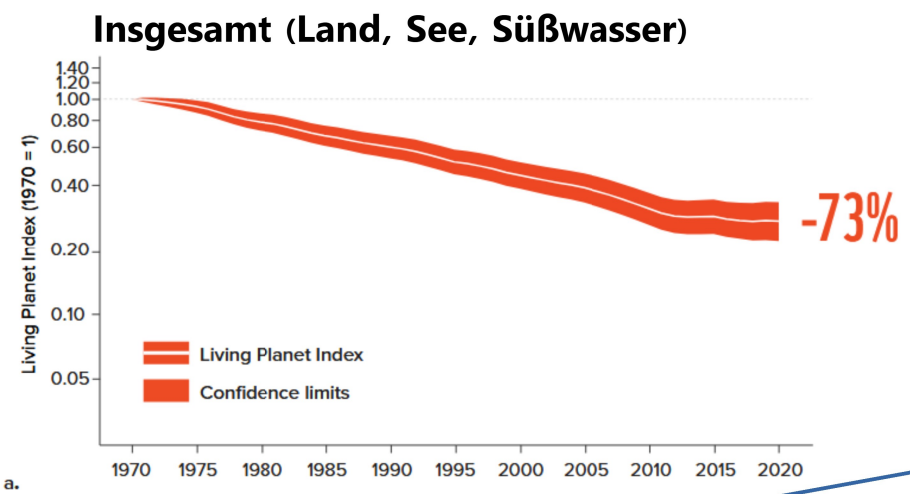


Figure 1.4 (a) The global Living Planet Index from 1970 to 2020 based on 34,836 monitored populations of 5,495 vertebrate species. The white line represents the index value, and the shaded areas represent the statistical uncertainty surrounding the value.

Figure 1.4 (b) The Living Planet Index by ecosystem type from 1970 to 2020 based on 16,909 populations of 1,816 marine species, 11,318 populations of 2,519 terrestrial species, 6,609 populations of 1,472 freshwater species.

Ursachen: Habitatveränderung, Verschmutzung, Ausnutzung, Invasive Arten, Klimaveränderung



Wasserbrauch in Verbindung mit Bergbau und Mineralverarbeitung vergleichbar mit dem von großen Städten...



Wasserverbrauch durch **Lithium** Steinerz Abbau und -Verarbeitung in **Brandenburg**, zusammen mit Verbrauch durch Tesla AkkuFabrik (Bericht beauftragt von Correctiv.de – nicht begutachtet)

So viel Wasser pro Jahr wie eine Stadt in der Größe Wiesbadens (283,000 Einwohner).



Lithium aus Steinerz...

- ...steigt rasant an, weil die Nachfrage durch Lithium aus Solen (z.B. Chile, Bolivien) nicht gedeckt werden kann...
- ...verbraucht 2,5 Mal so viel Energie wie aus Solen...
- ...und ein Mehrfaches mehr **Süßwasser** als Lithium aus Solen.

Natrium Batterien wären für die Umwelt besser, aber...

...diese sind *derzeit* eher für Anwendungen geeignet, wo niedrigere Ladungsdichte, relativ schwere Aggregate, und wenigere Ladezyklen hinnehmbar sind.

Für die meisten große Anwendung, wo Gewicht und Platz ausschlaggebend sind, ist Lithium bei Weitem die bevorzugte Chemie... und das für die vorhersehbare Zukunft.

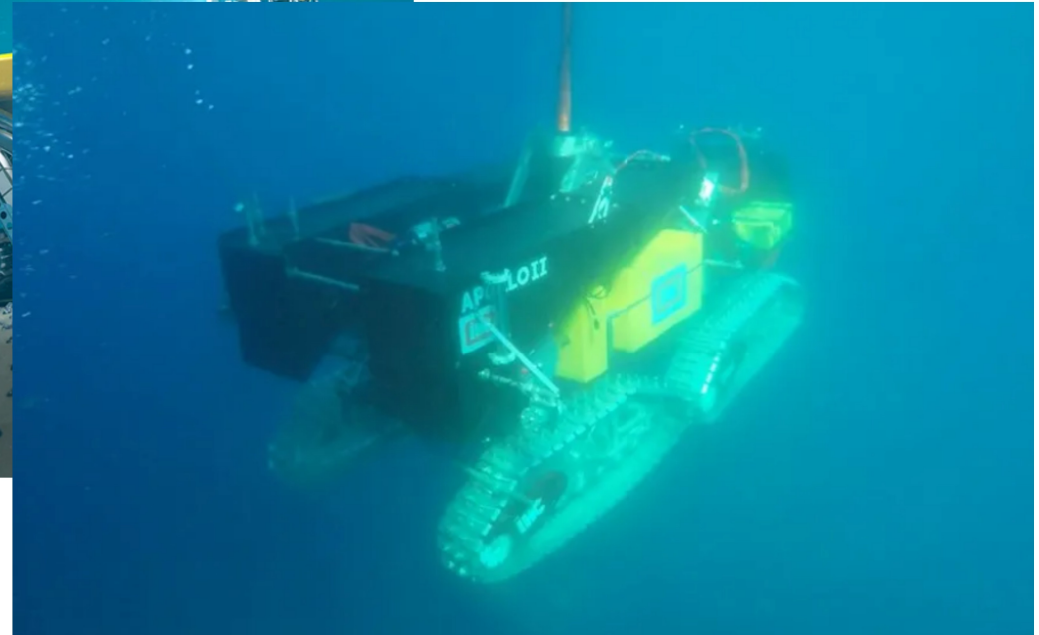
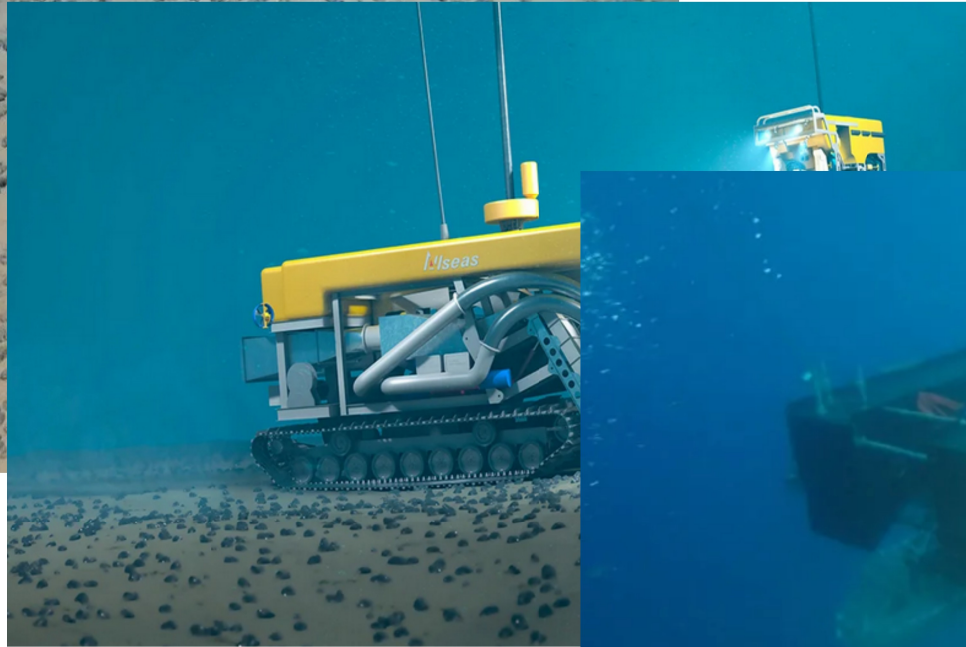
Selbst Megabatterien werden immer noch hauptsächlich mit unterschiedlichen Lithium-Ionen Chemien hergestellt.

Lithium-Ion Akkus machen weiterhin den überwältigenden Anteil der Auto Akkus aus; und innerhalb dieses Typs, haben Akkus mit Nickel, Kobalt und Mangan deutlich bessere Leistungen.

Natrium-Ionen Akkus mit besserer Leistung beinhalten ohnehin kritische Metalle wie Nickel und Mangan.

Natrium-Ionen Akkus sind immer noch teurer als Lithium-Ionen Akkus.

Tiefsee Bergbau: der letzte Affront?



Batterienachfrage – hauptsächlich für eAutos – ist der größte Antreiber des Tiefsee Bergbaus



Resources, Conservation and Recycling

Volume 191, April 2023, 106898



Full Length Article

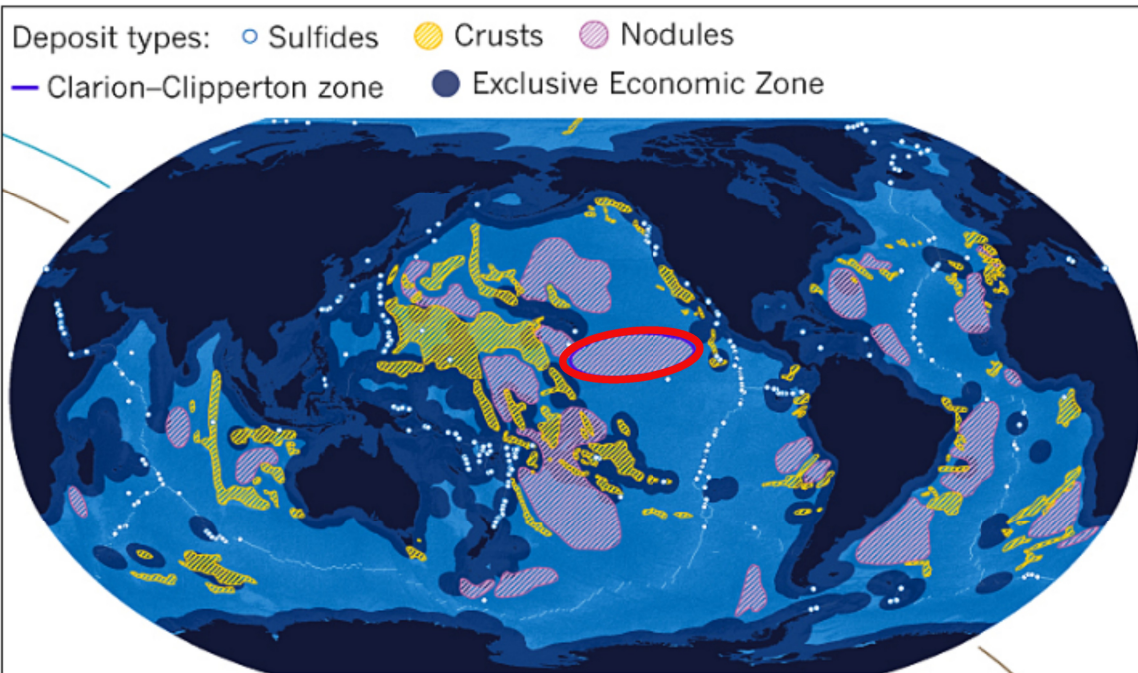
Mining on land or in the deep sea? Overlooked considerations of a reshuffling in the supply source mix

Éléonore Lèbre ^a  , Anthony Kung ^a, Ekaterina Savinova ^b, Rick K. Valenta ^c

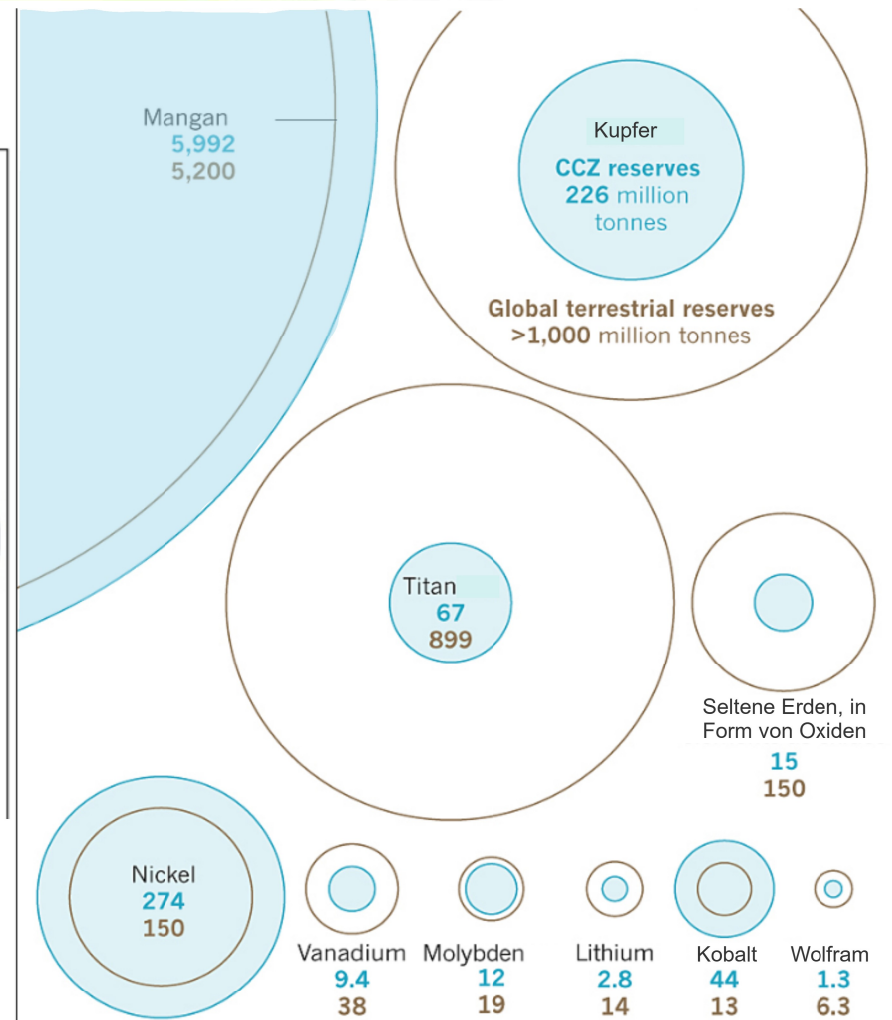
Zitat: „...Nachfrage alleine aus der eAuto Branche wird [im gleichen Zeitraum] voraussichtlich um ein 40-Faches ansteigen, und weltweite Strom-Speichieranlagen industrieller Größe werden vermutlich um ein 25-Faches wachsen...”

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344923000356>

Tiefsee Bergbau: wo und was?



Heffernan, O (2019). Deep-sea Dilemma. In Nature Volume 571 465–468



Die Tiefen der Weltmeere besitzen riesige bisher unerforschte Biodiversität



CENTRE

RESEARCH

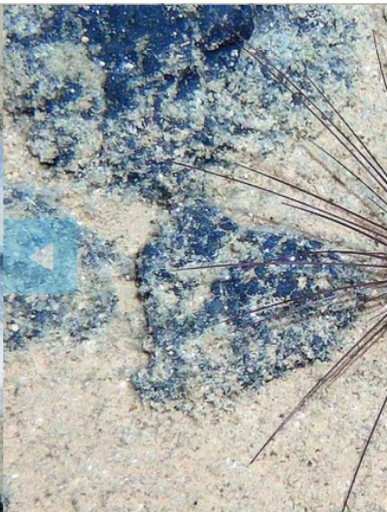
CAREER & CAMPUS

DISCOVER



30 – 40% der Spezies leben auf oder *in* den Mineralknollen!

GEOMAR > Discover > Marine Life > Biodiversity of the Deep Sea > Biodiversity at Manganese Nodule Fields



Life at manganese nodule habitats: sea cucumber

Life at manganese nodule habitats: starfish

Life at manganese nodule habitats: sea urchin

Life at manganese nodule habitats: brittle star

Life at manganese nodule habitats: sponge. Photo: ROV KIEL 6000/GEOMAR

Wissenschaftliche Analysen unterstützen die Annahmen, dass der Tiefseebergbau...

- Biodiversität und ganze Ökosysteme zerstört;
- Kohlenstoffströme zwischen Meer und Atmosphäre beeinflusst;
- Wassersäulen oberhalb der ausgebeuteten Flächen stören;
- Benachbarte Seegebiete beeinfluss.
- **Daher muss das Vorsorgeprinzip angewendet werden!**

Welcher Träger für welche Anwendung?

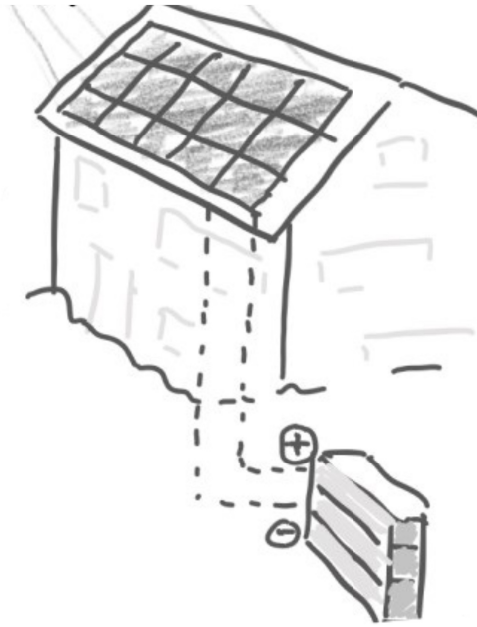
Akkus?...

Können nicht
ohne leben!!

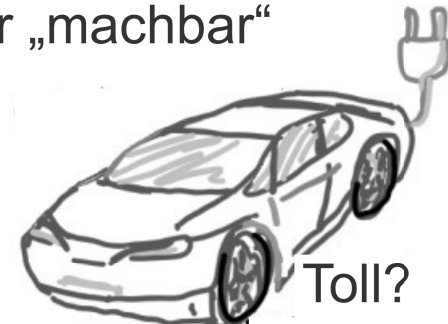


Deutlich besser
als ein Auto!

Sinnvolle
Anwendung



Technisch gesehen
sehr „machbar“



Toll?

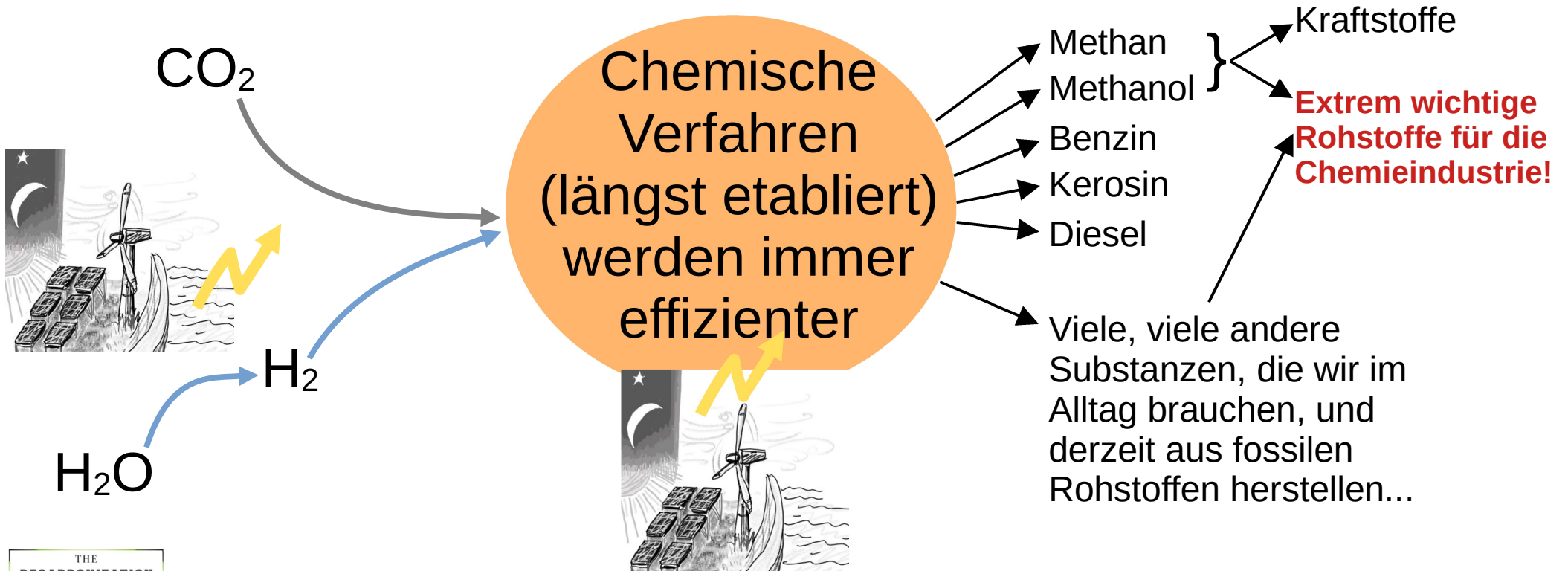
Machbar...



Wirtschaftlich??

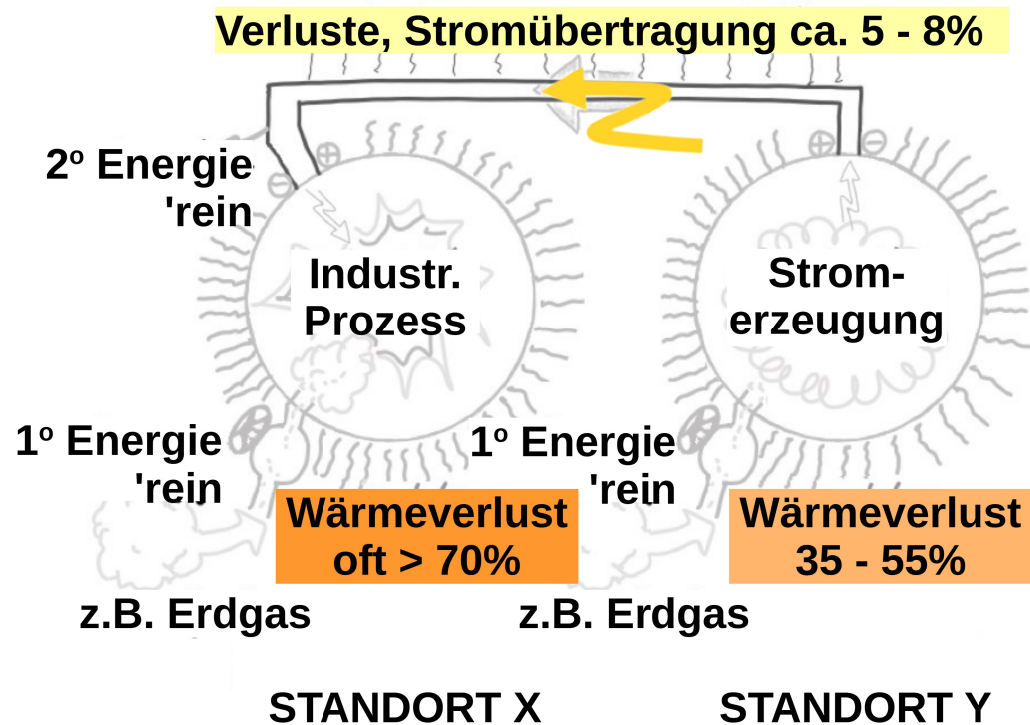
...

Oder synthetische Kraftstoffe auf Basis von Kohlenstoff und Wasserstoff?...



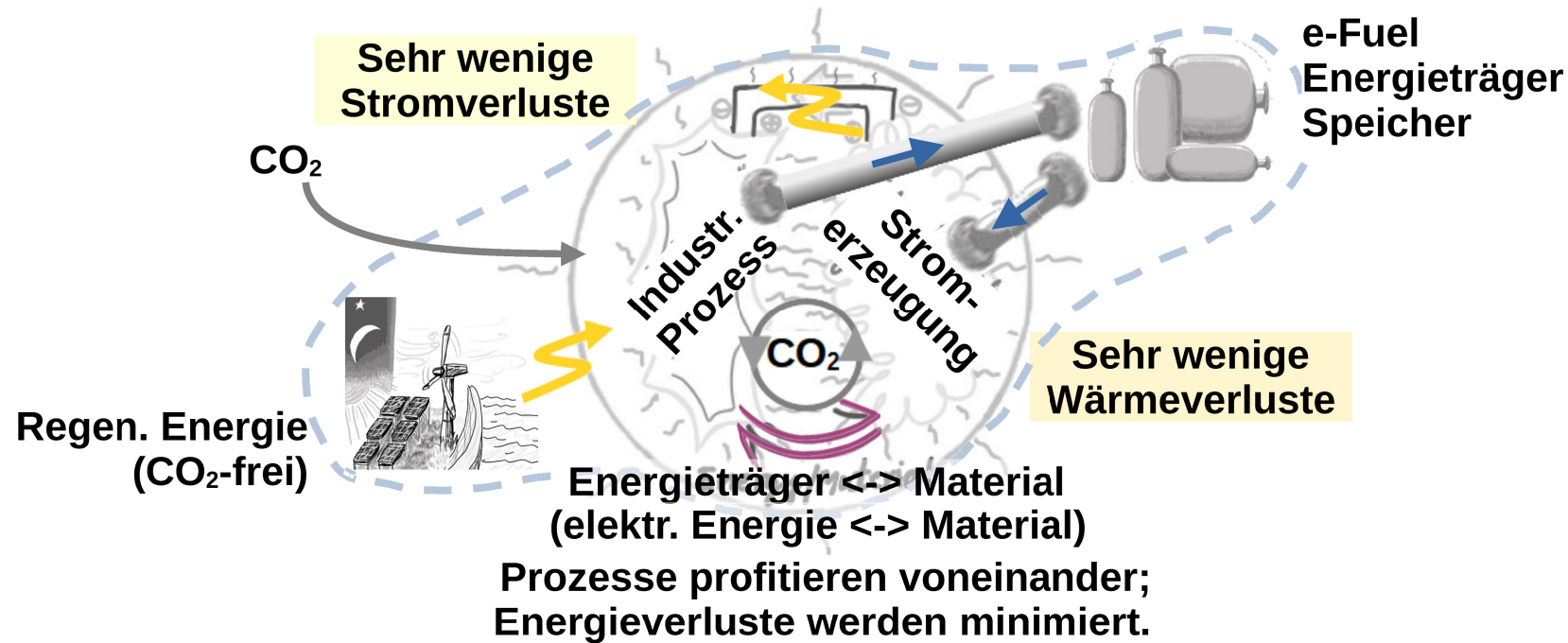
Zentralisierung von Stromerzeugung und Synthese von Energieträgern und Material steigert Effizienz immens...

Die heute Situation...



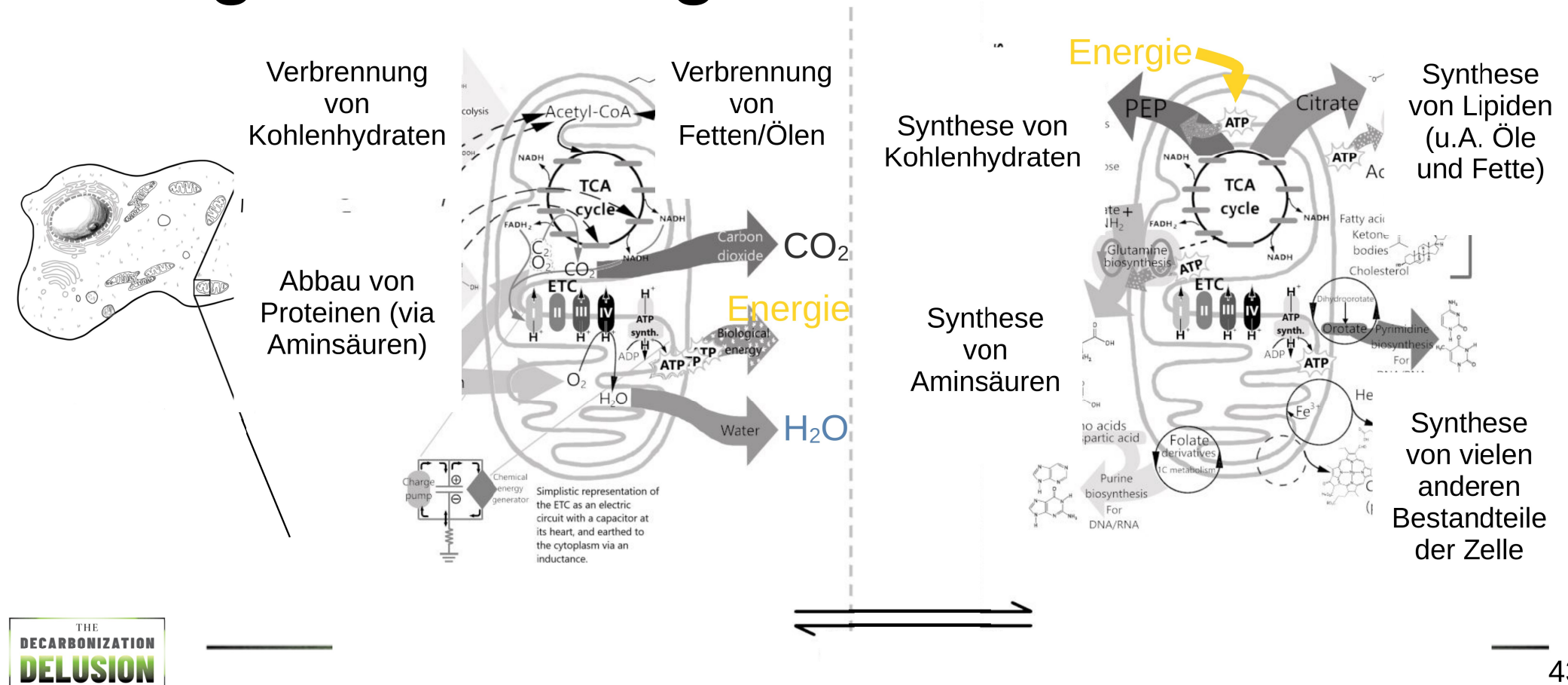
Die bessere Lösung für unsere Zukunft...

...braucht intelligente, *langfristige* Politik.

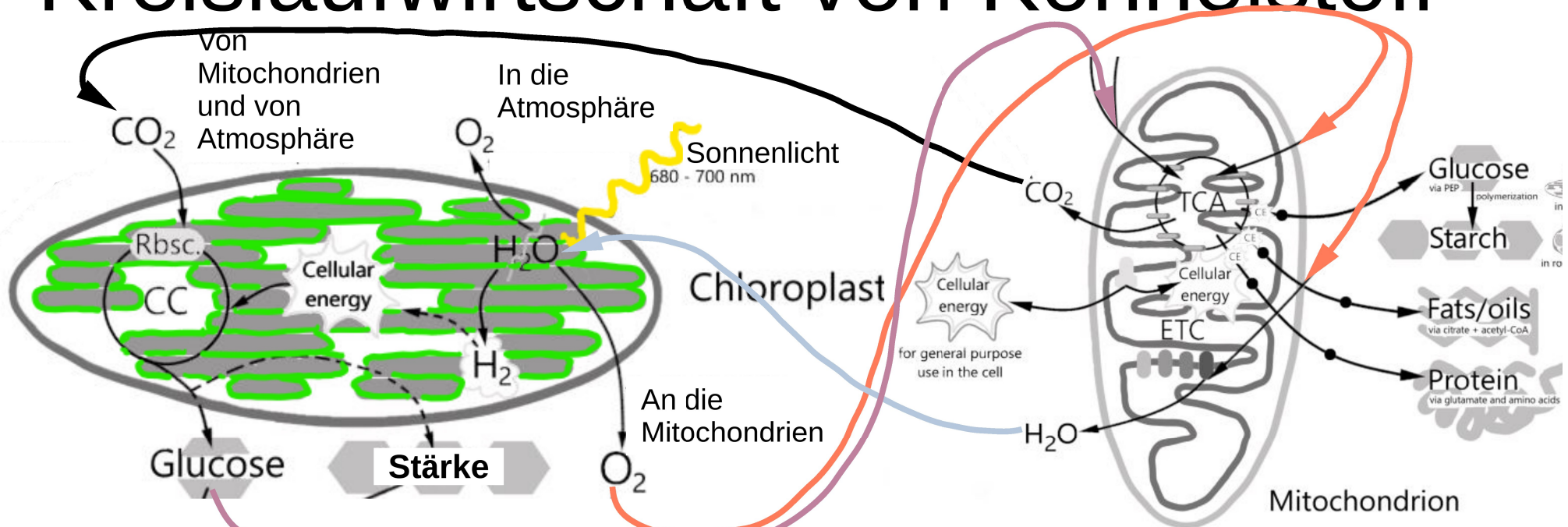


EINZELNER STANDORT: KOMBIANLAGE

Analogie: Mitochondrion als Anlage für integrierte Energie-/Materialwirtschaft



In Pflanzenzellen machen Chloroplasten und Mitochondrien eine „perfekte“ Kreislaufwirtschaft von Kohlenstoff



Schließlich ist die chemische Energie
eines e-Fuel Systems in
Wasserstoffbindungen gespeichert.

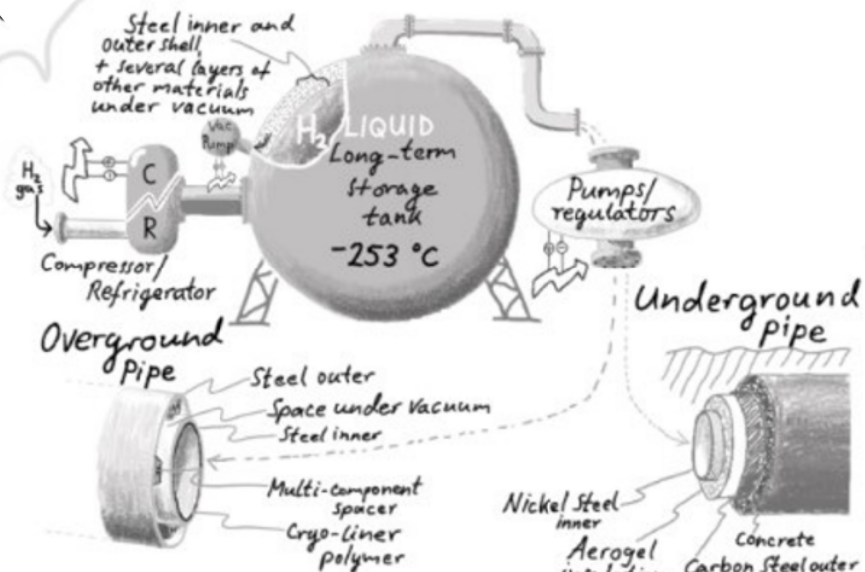
Also, warum nicht bei H_2 bleiben?
Wozu sollten wir andere chemische
Energieträger in Betracht ziehen?

Komplizierte
Rohre/Behälter
aus teuren Materialien
extremen Bedingungen
ausgesetzt

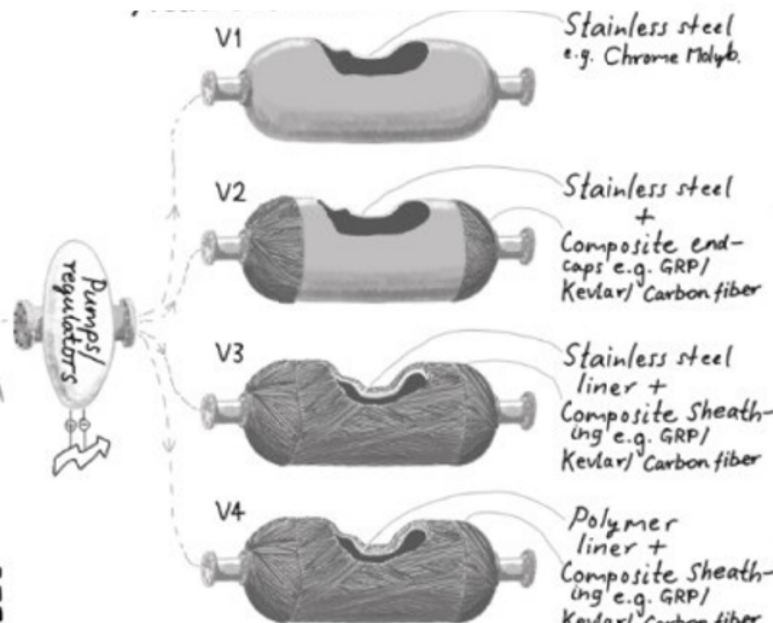
Rein-Wasserstoff Infrastruktur

Großmengenige Speicherung
und Verteilung

KurzzeitSpeicherung,
abhängig von Anwendung



Lebenserwartungen 30 – 50 Jahre



Lebenserwartungen 10 – 20 Jahre

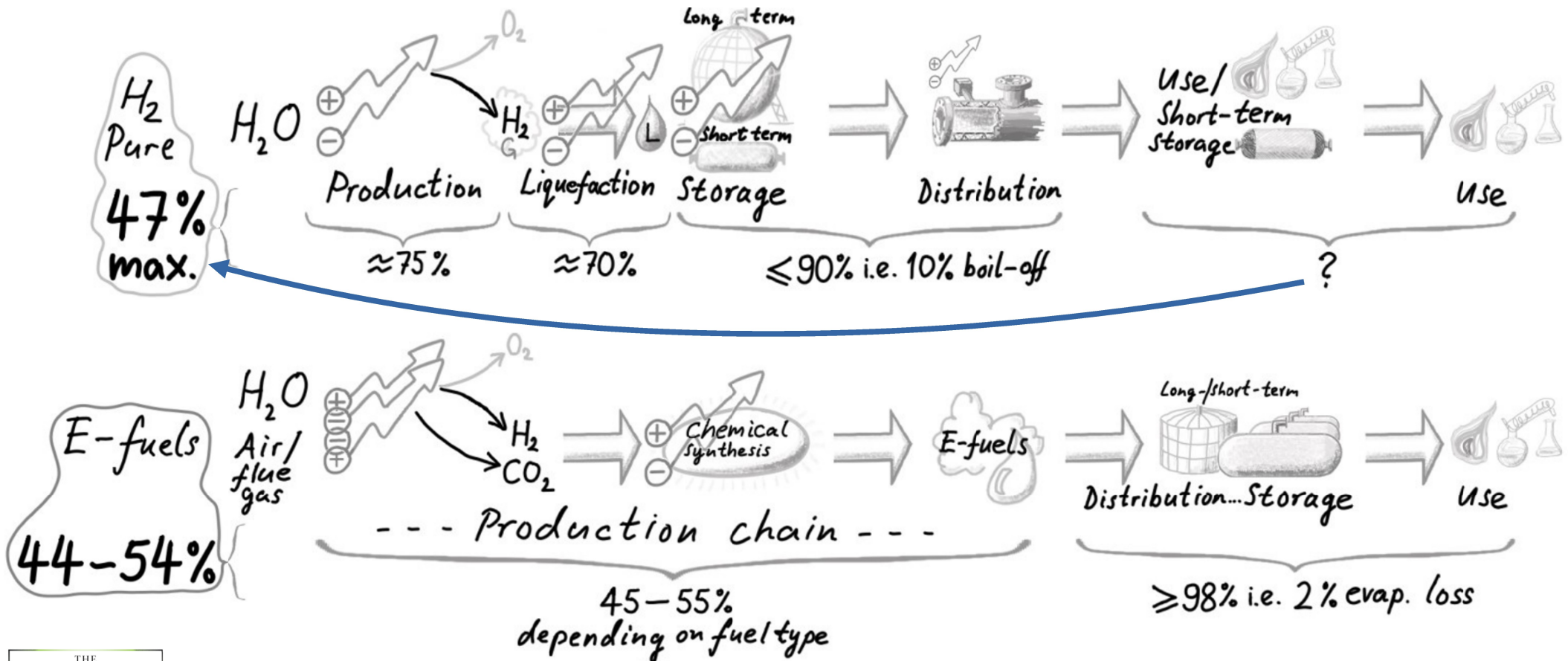
H₂ ist schwer zu handhaben...

- Braucht viel Energie, um „kleinvolumig“ gespeichert zu werden...
 - Komprimierung
 - Kühlung auf minus 253 Grad C
- H₂ ist so klein und „kontaktabweisend“, dass es leicht aus Behältern, Ventilen, Leitungen und Verbindungsstellen ausweicht.
- Besonders in der flüssigen Form bohrt sich Wasserstoff in Stahloberflächen => Materialermüdung.
- Eine extrem komplizierte, kostspielige, reparatur- und instandhaltungsbedürftige, sowie kurzlebige Infrastruktur ist notwendig, um die obengenannten Probleme halbwegs in den Griff zu bekommen...

C-basierte H₂-Träger (e-Fuels) sind in
der Vollkettenanalyse
NICHT weniger effizient als H₂ pur...

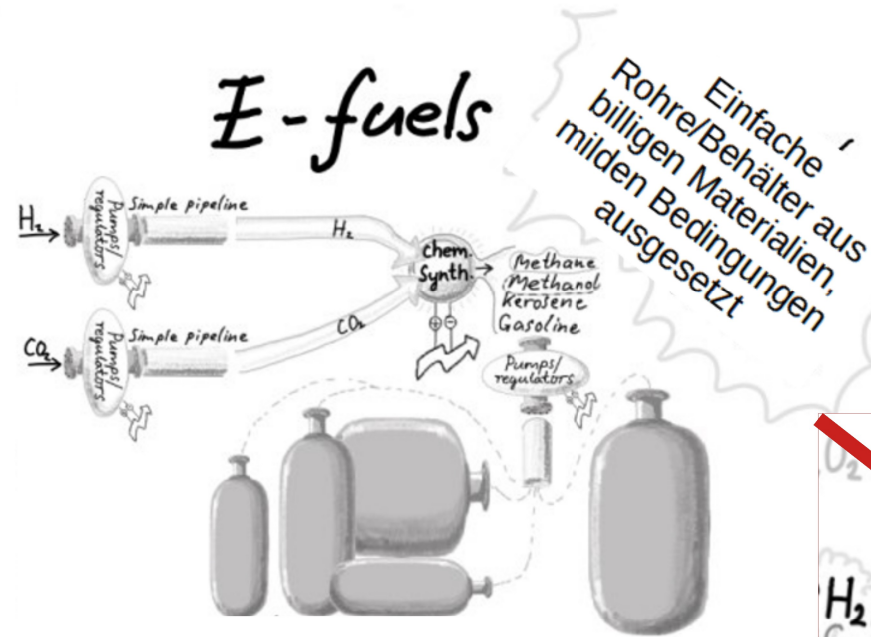
Vergleich der Effizienzen, inkl. Materialverluste

Herstellung/Speicherung/Verteilung



Die ganze Infrastruktur für C-H Energieträger haben wir schon...

- **einach zu speichern und zu verteilen**
- **bestehende Infrastruktur erweiterbar**
- **grosse Mengen speicherbar**
- **Aufwand und Kosten gering**
- **wenig Umweltauswirkung**

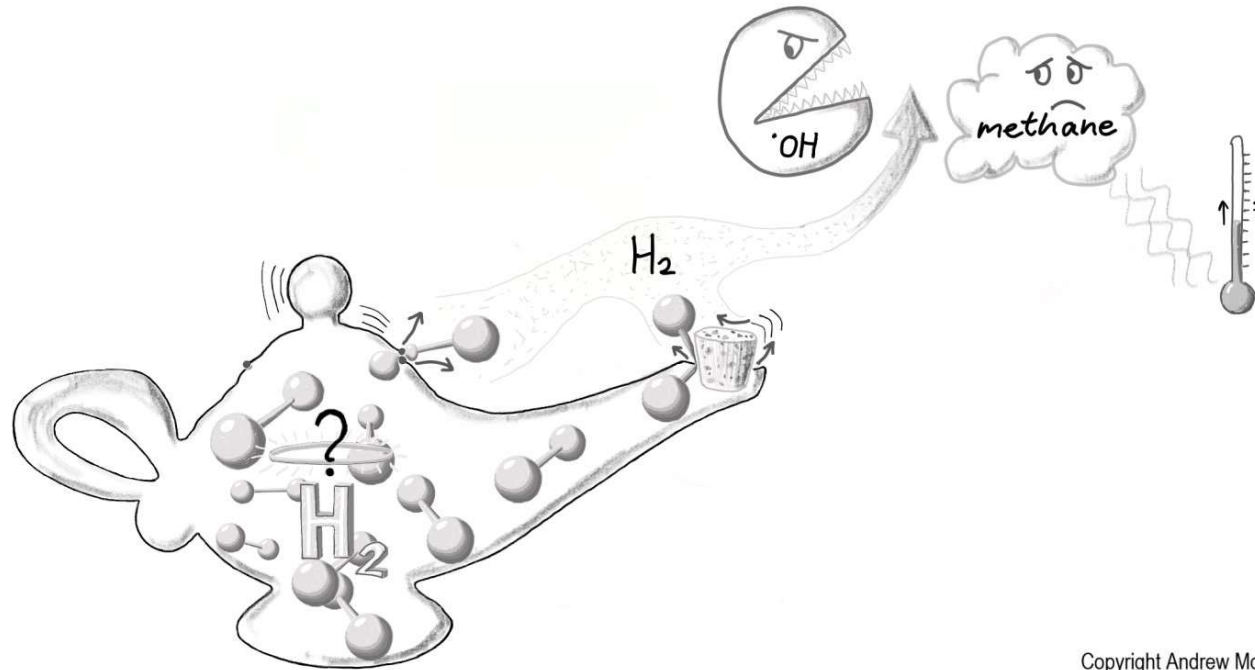


Lebenserwartungen der meisten
Rohre und Behälter > 70 Jahre



Fällt weg!

H₂ hat einen indirekten Treibhauseffekt, der über 100 Jahre...



Copyright Andrew Moore 2024

...bis 12 Mal so groß ist wie der von CO₂.

Einige chemische H₂-Träger...

Ammoniak (NH₃)

nur in Großanlagen
praktisch, z.B.
Schiffe,
Kraftwerke...

Aber:
Schlupf in die
Atmosphäre ->
toxische Partikel;
N₂O

Kohlenstoff-basiert

Methan (CH₄)

z.B.
Stromerzeugung /
Heizung / Industrie /
Fahrzeuge

Schlupf, aber
beherrschbar

Methanol (H₃COH)

z.B.
Stromerzeugung /
Industrie /
Fahrzeuge

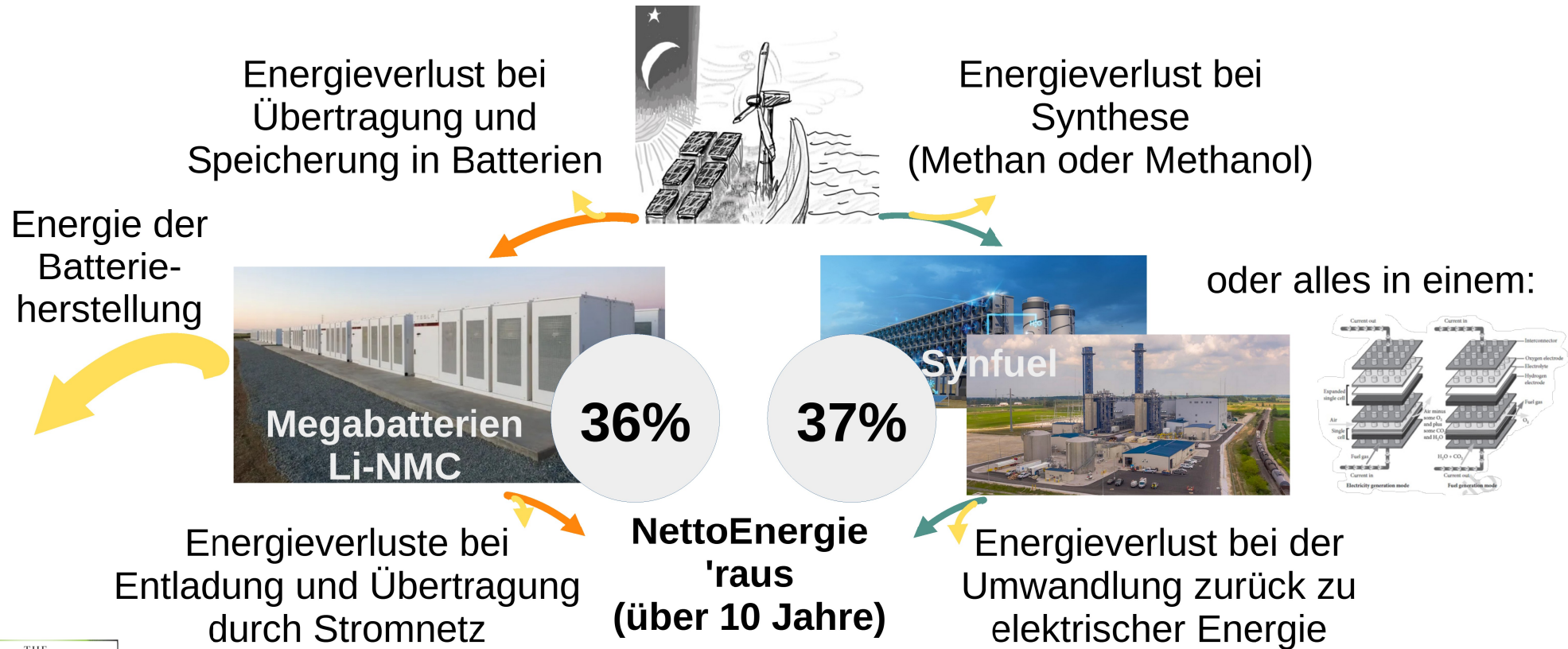
Andere C-H-O
Verbindungen

z.B.
Stromerzeugung /
Heizung /
Industrie /
Fahrzeuge

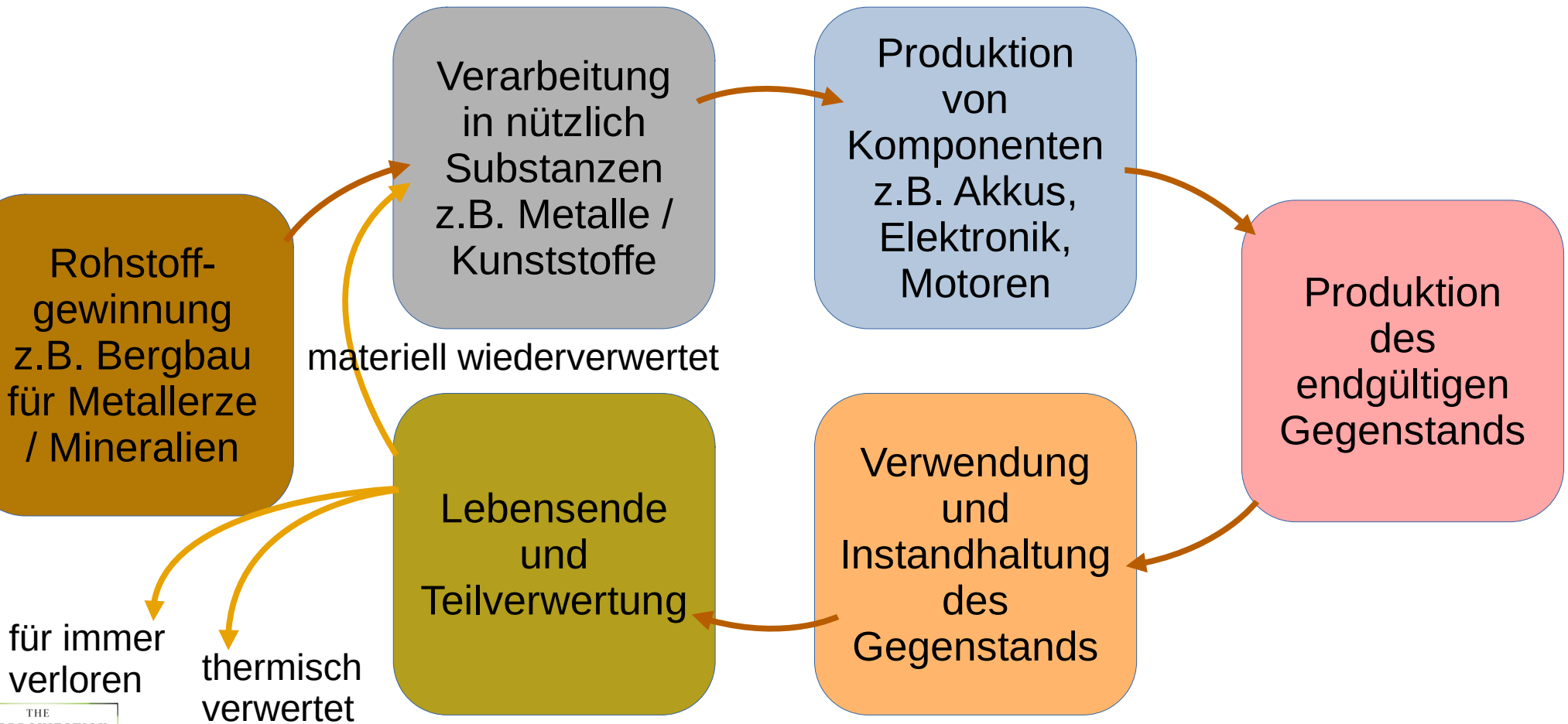
Das Argument gegen e-Fuels ist die „niedrige Effizienz“.

Aber...

Megabatterien vs. synth. Kraftstoff: Energiebilanzen „round-trip“



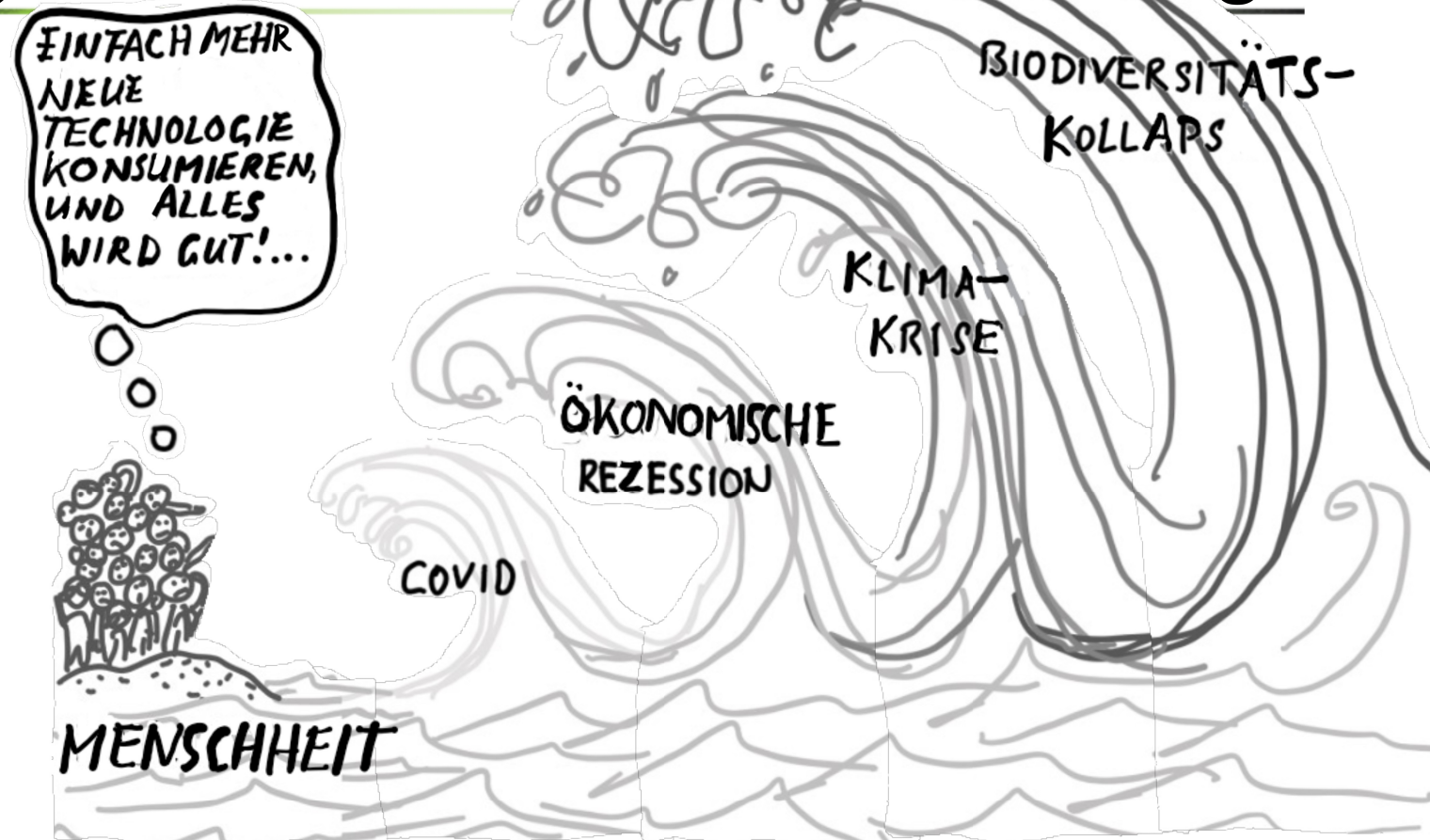
Die ganze Kette muss betrachtet werden!



Jeder Schritt verursacht Auswirkungen

- Energieverbrauch, und Anforderung einer Energieinfrastruktur
- Rohstoffschwund
- Wasserverbrauch und Erzeugung von kontaminiertem Wasser
- Umweltverschmutzung (große Liste von Unterkategorien)
- Klimatische Auswirkungen
- Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Ökosysteme sind genauso wichtig wie Klima



Basisidee von
<https://mackaycartoons.net/>

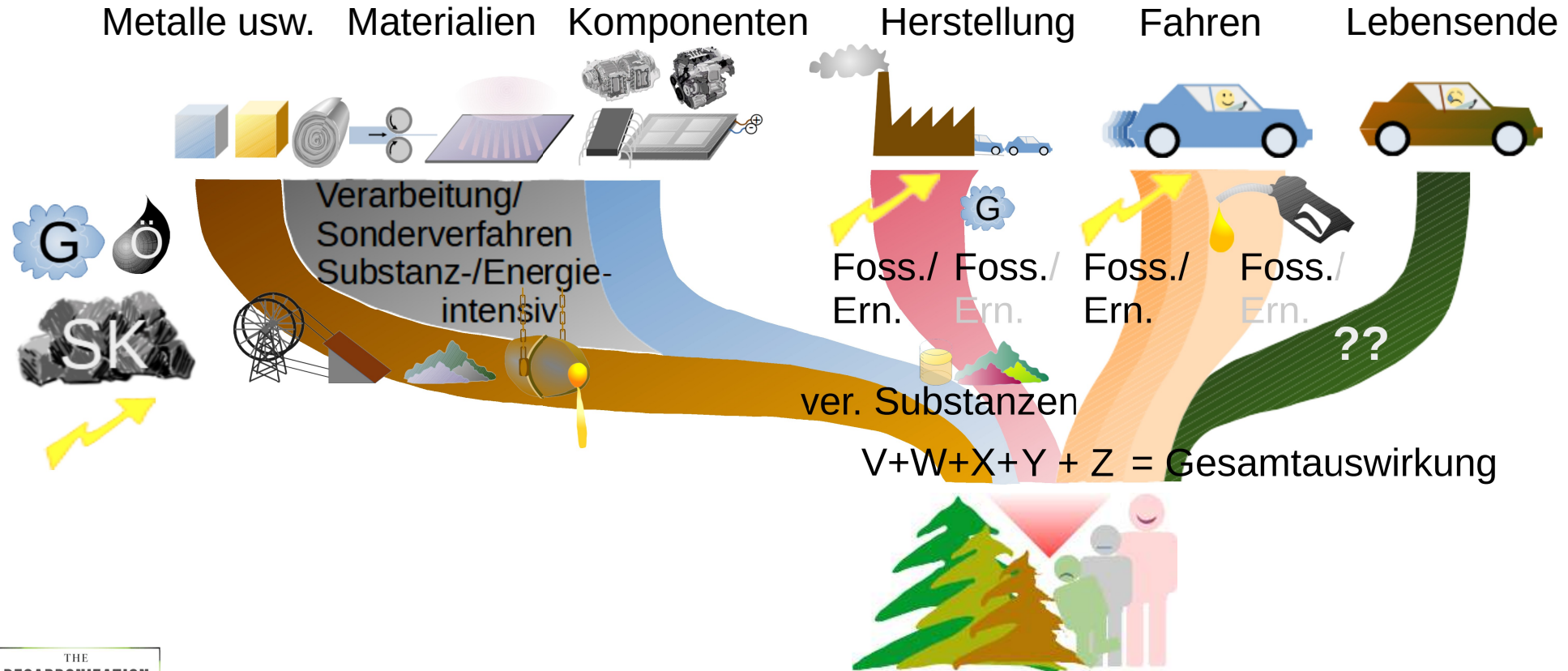
© 2025 Andrew Moore

57

Wie viel Biodiversitätsrückgang wird unmittelbar durch Klimawandel verursacht?

- Zwischen 5 und 25%, je nach Ökosystem und Studie.
- 75 - 95% des Artenschwunds geht aufs Konto von Landwirtschaft und anderer Landnutzung, Bergbau, Habitatrückgang, verschiedenen Kategorien von Verschmutzung

Verbildlichung der Auswirkungen durch Herstellung und Gebrauch eines Autos



Quantifizierung von Auswirkungen einer Technologie/Ökonomie auf Umwelt und Gesundheit

- Rahmenwerk, das eine Darstellung der „Verwundbarkeit“ der Umwelt in Schlüsselkategorien ermöglicht:
- So genannte Umweltstressoren (Environmental Stressors)
- Zwei sehr häufig benutzte Rahmenwerke:
 - ReCiPe (National Institute for Public Health and Environment, NL)
 - EcolInvent (ETH, EPFL, Empa, Agroscope, and the Paul Scherrer Institute, CH)

Die Kategorien, die Umweltauswirkungen darstellen

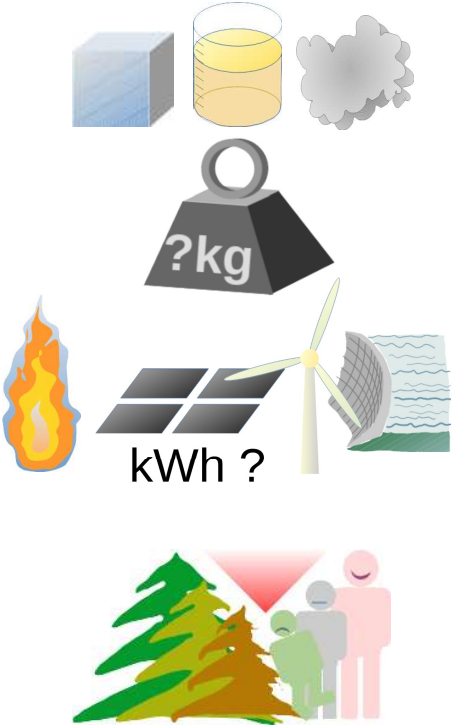
Die 17 (oft auch als 18 gezählt) Umweltstressoren bei ReCiPe

- Feinstaubemissionen während Produktion, Nutzung und Recycling
- Bildung von bodennahem Ozon – Auswirkungen auf Menschen
- Produktion von ionisierender Strahlung
- Abbau der stratosphärischen Ozonschicht
- Toxizität für den Menschen, krebserregend
- Toxizität für den Menschen, nicht krebserregend
- Globale Erwärmung (GWP in CO₂äq.)
- Wasserverbrauch

- Süßwasser-Ökotoxizität (Potenzial menschengemachter Stressfaktoren, Binnengewässerökosysteme zu beeinträchtigen)
- Süßwasser-Eutrophierung (Überlastung mit Mineralien und Nährstoffen, die zu dichtem Algen- und Cyanobakterienwachstum führt, das die Sauerstoffversorgung erschöpft und das Vorhandensein anderer Lebensformen verhindert)
- Bildung von bodennahem Ozon – Auswirkungen auf Ökosysteme
- Terrestrische Ökotoxizität (Potenzial menschengemachter Stressfaktoren, terrestrische Ökosysteme zu beeinträchtigen)
- Landnutzung/-umwandlungen
- Marine Ökotoxizität (Potenzial menschengemachter Stressfaktoren, marine Ökosysteme zu beeinträchtigen)

- Marine Eutrophierung (Überlastung mit Mineralien und Nährstoffen, die zu dichtem Algen- und Cyanobakterienwachstum führt, das die Sauerstoffversorgung erschöpft und das Vorhandensein anderer Lebensformen verhindert)
- Mineralische Ressourcen (Förderungskosten – führt zu Schäden bei der Verfügbarkeit von Ressourcen)
- Fossile Ressourcen (Energiekosten – führt zu Schäden bei der Verfügbarkeit von Ressourcen).

Die Methode, um eine gewisse Aktivität zu „beziffern“

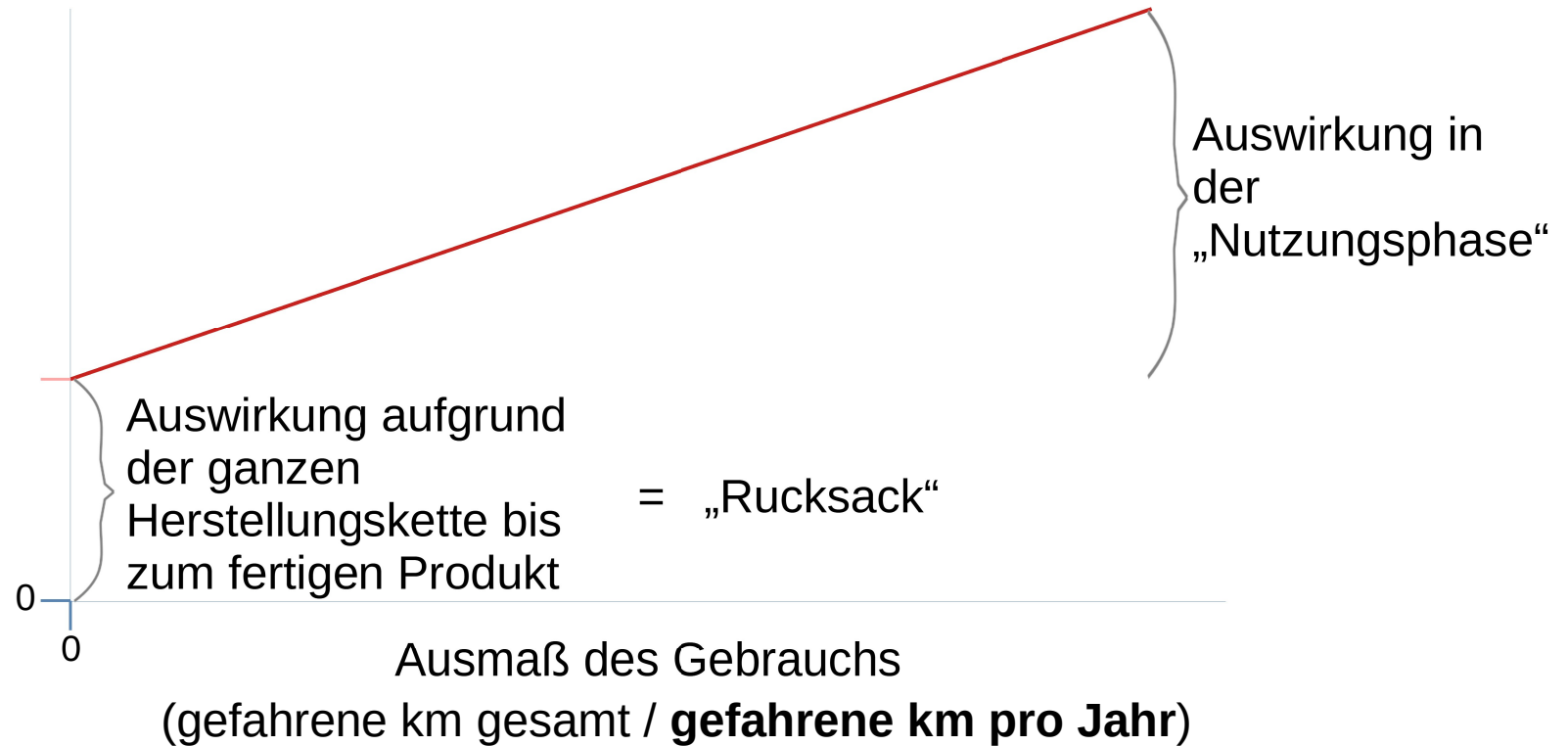


- Art des Materials (inkl. Kraftstoffe)
- Menge
- Herstellungsenergie (Menge und Art)
 - Unmittelbare schädliche Auswirkung (Midpoint = Akute und unmittelbar messbare Toxizität)
 - Endgültige schädliche Auswirkung (Endpoint = Aussterben von Organismen / Krankheiten bei Menschen)

Kartierung der Auswirkungen durch Herstellung und Gebrauch

ReCiPe
Endpunkt:

Auswirkung auf
Ressourcen,
Umwelt, oder
menschl. Gesundheit



Drei wichtige Abkürzungen

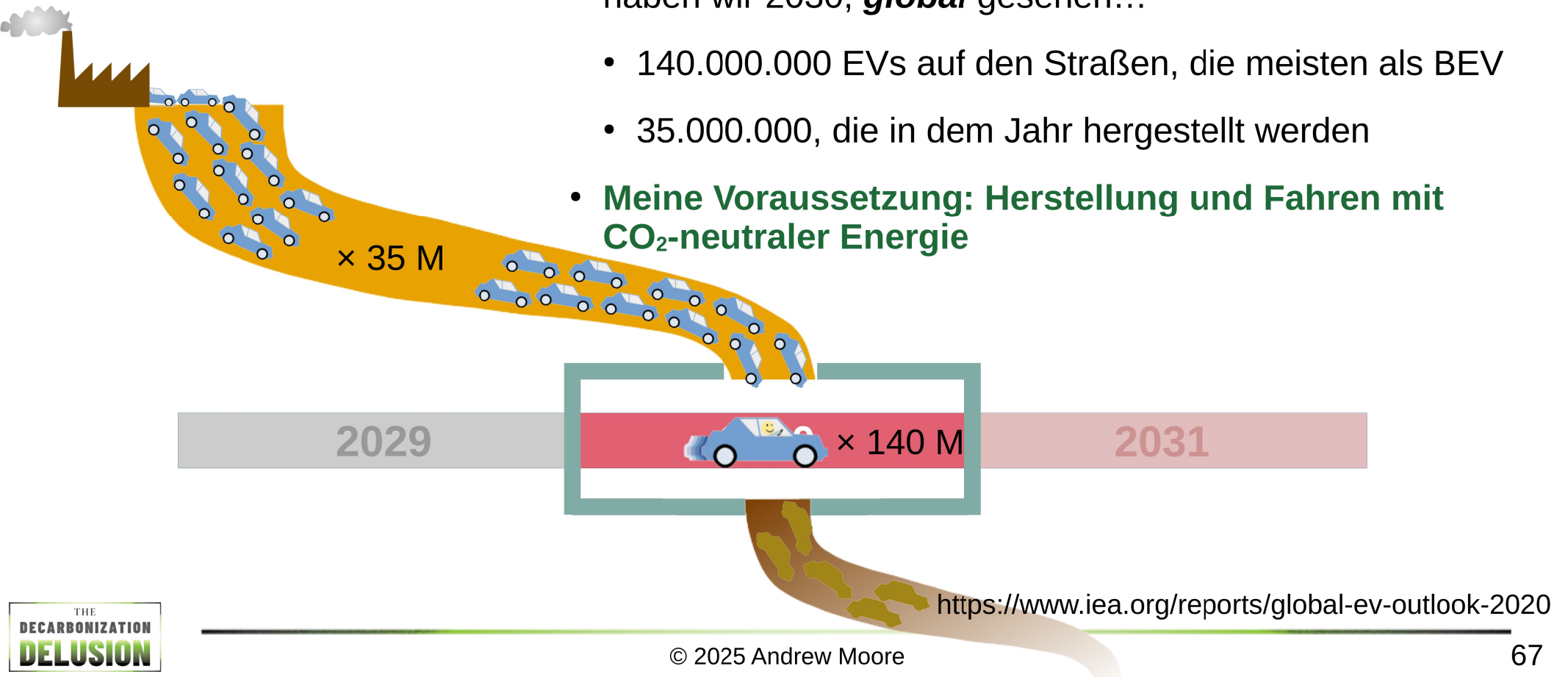
EV = Electric Vehicle = alle Fahrzeuge, die eine Batterie und einen e-Motor haben, inkl. plug-in Hybridfahrzeuge (PHEV) – mit relativ kleinem Akku – und Vollhybridfahrzeuge (FHEV) – mit deutlich kleinerem Akku.

BEV = Battery Electric Vehicle = klassisches e-Auto

ICEV = Internal Combustion Engine Vehicle = klassischer Verbrenner

2030 Szenario anhand eines Bildes...

- Laut Zahlen von der International Energy Agency (IEA) haben wir 2030, **global** gesehen...
- 140.000.000 EVs auf den Straßen, die meisten als BEV
- 35.000.000, die in dem Jahr hergestellt werden
- **Meine Voraussetzung: Herstellung und Fahren mit CO₂-neutraler Energie**



Hintergrund: Betrachtung einer globalen Ökonomie von Herstellung und Fahren



- Ermöglicht es, globale Konsequenzen zu errechnen: wichtig, weil...
 - 1. die Umwelt keine politischen/industriellen Grenzen kennt;
 - 2. die Menschheit als Ganzes immer mehr in den Mittelpunkt wirtschaftlicher Überlegungen rücken muss.
- Vermeidet Probleme eines Vergleiches zwischen Äpfeln und Birnen (indiv. Fahrzeugen).
- Vermeidet die Notwendigkeit, individuelle Fahrzeuglebensdauern / individuelle Verbraucherszenarien usw. usw. einzuschätzen und einzuberechnen.
- Die lebendige Erde, **als ganzes**, schafft es, seit 3,5 Milliarden Jahren, nachhaltige Kreislaufwirtschaften zu betreiben... wie?

„Was-wenn“ Szenario 2030...

- 140.000.000 **BEVs** auf den Straßen (**reine eAutos**).
- 35.000.000 neue werden in diesem Jahr hergestellt.

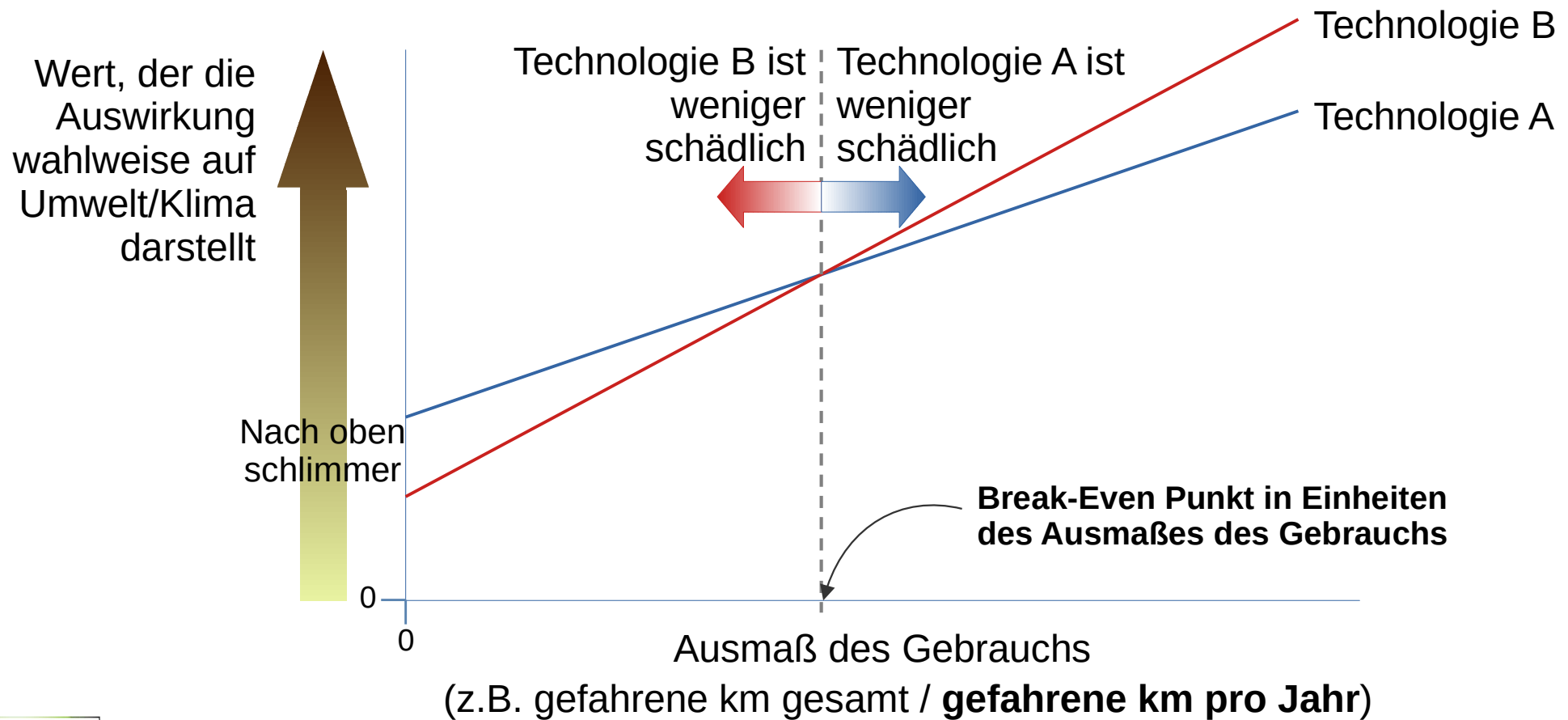
VS.

- 140.000.000 **ICEVs** auf den Straßen (**reine Verbrenner**).
- 35.000.000 neue werden in diesem Jahr hergestellt.

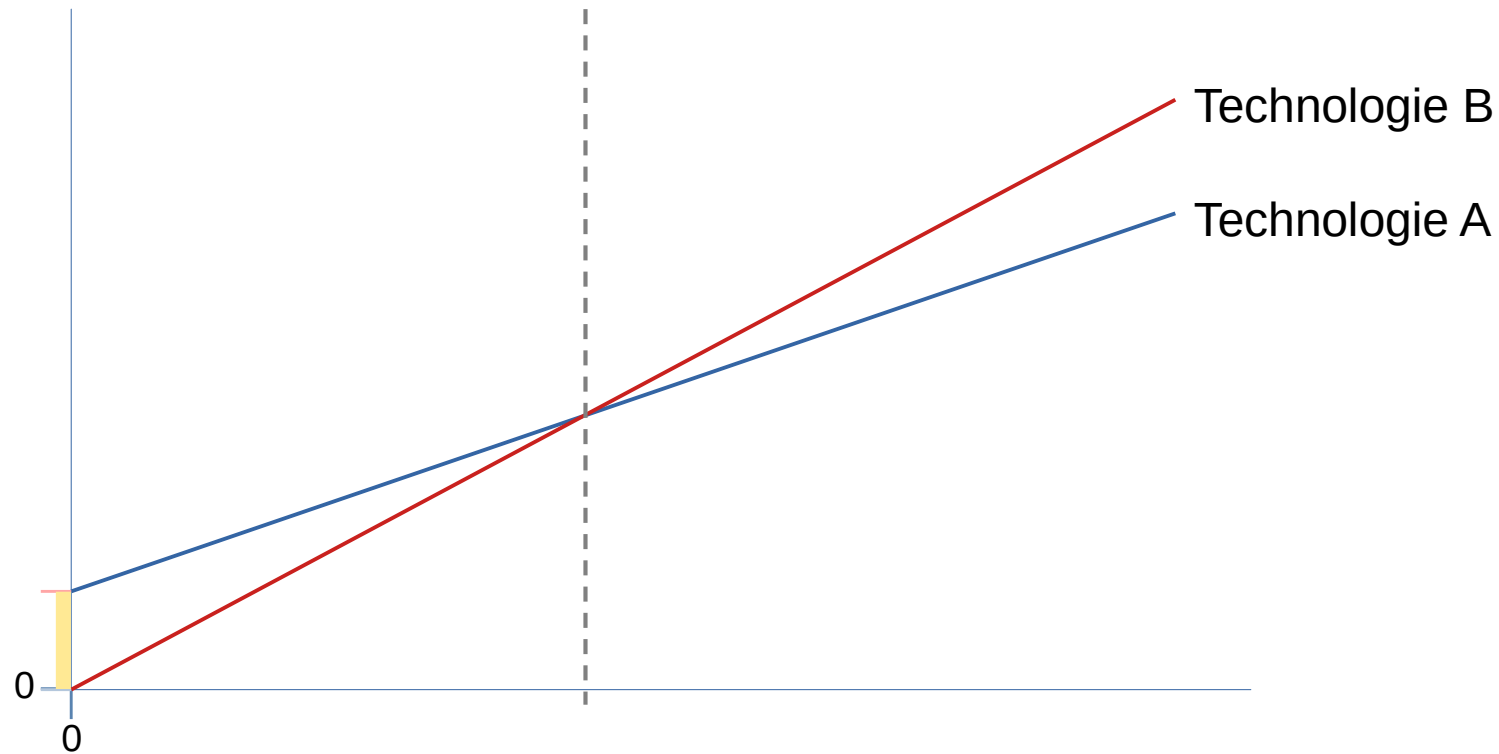


**Meine Voraussetzung: Herstellung und Fahren mit CO₂-neutraler Energie
= CO₂-neutralem Strom für die e-Autos; CO₂-neutralem eFuel für die
Verbrenner.**

Das Konzept des „Break-Even“ Punkts



In meinen Analysen wird nur die *Differenz* auf der Y Achse dargestellt



Derzeitige Ironie: BEVs schlagen ICEVs nicht global i.p. CO₂ emissionen

Kumulative CO₂ Emissionen, Differenz BEV / ICEV – Kompakt-SUV (2022)

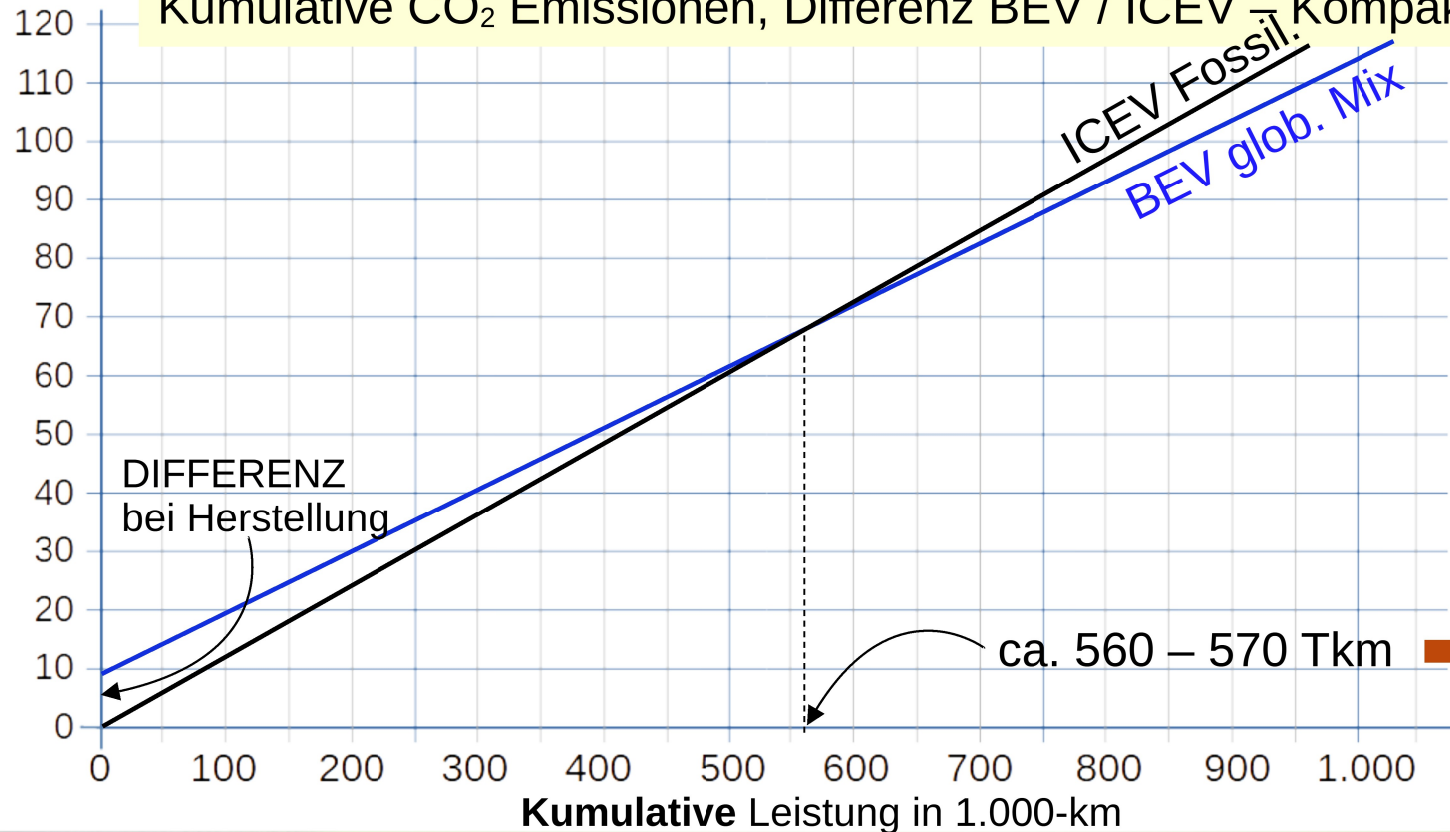
CO₂
Emission in
Tonnen

BEV: 64 kWh
Li-NMC Akku;
Verbrauch inkl.
alle Verluste:
23,7 kWh/100
km

ICEV: 1.5 Liter
TDCI äquiv.;
Verbrauch inkl.
WTT Korrektur
5,54 L/100 km

Akku-/
Elektronik-
herstellung aus
globalem
Energie Mix.

BEV Ladestrom
aus globalem
Mix.



ca. 560 – 570 Tkm

47 Jahre

Zukunftsvision: Vergleich zwischen Möglichkeiten mit 100% regen. Energie

Fahrzeugeigenschaften für das Szenario 2030 (Quellendaten von Audi AG und FVV):

- Blau**
 50 kWh Akku der Sorte Li-NMC; Stromverbrauch 20 kWh / 100 km (nach Verlusten beim Laden und Entladen)
BEV
- Orange**
 Ottomotor; Spritverbrauch: 5 L / 100 km WLTP e-Benzin, produziert mit 45% Wirkungsgrad, Anlage->Tank
Verbr.
ICEV
- Feuerrot**
 Ottomotor plus 1,6 kWh Akku der Sorte Li-NMC; Spritverbrauch: 4,5 L / 100 km WLTP e-Benzin, produziert mit 45% Wirkungsgrad, Anlage ->Tank
Fhyb.
FHEV

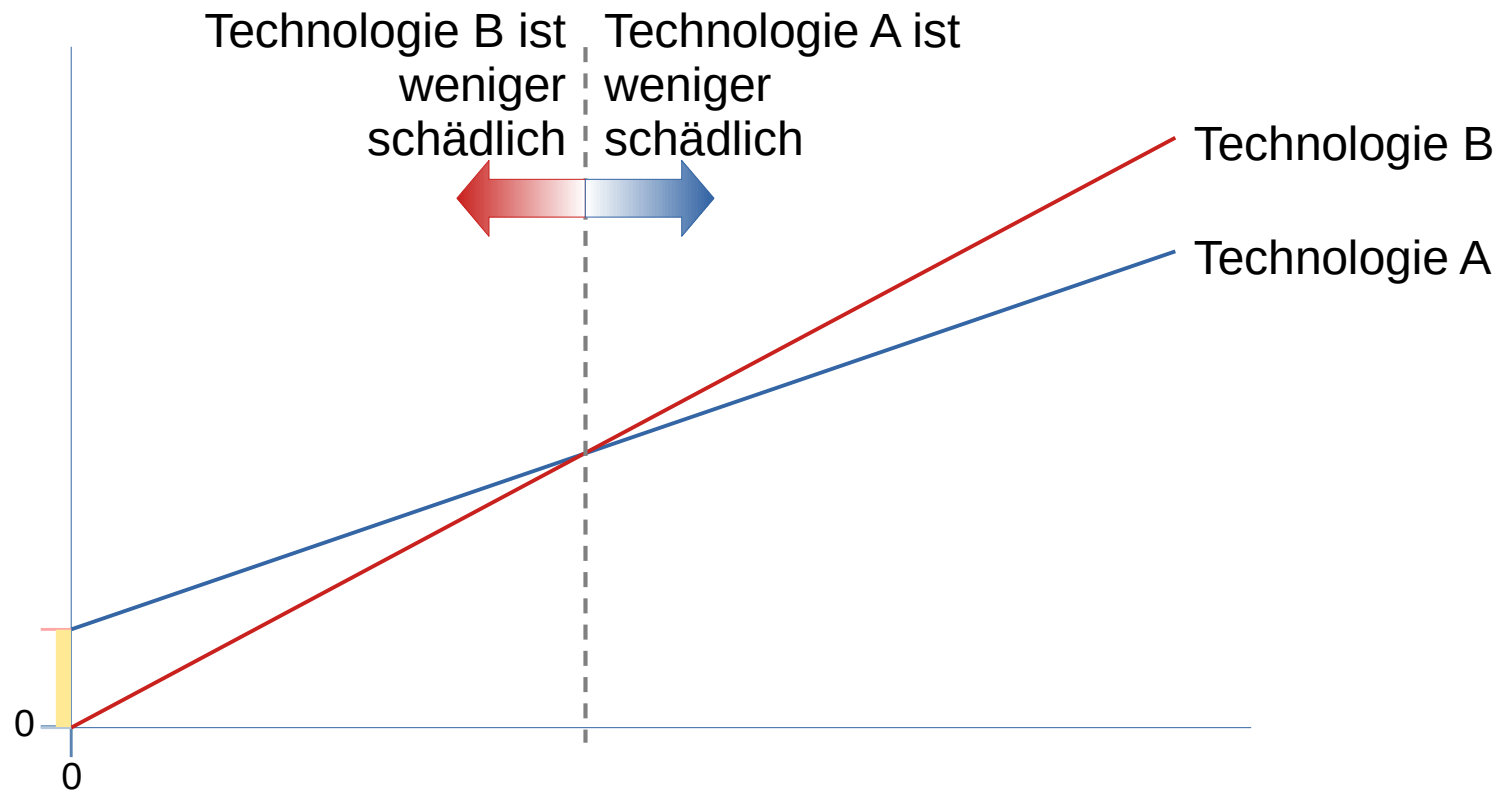
N.B. ALLE Energien, ob 1° oder 2°, bei Herstellung und Fahren sind **CO₂-neutral**.

Erinnerung an eine wichtige Frage...

Nicht: „Sollte ich, persönlich, ein e-Auto kaufen?“...

Sondern: „Sollten wir politische Entscheidungen unterstützen, die die Autowirtschaft, global gesehen, in nur eine Richtung führen, ungeachtet Alternativen?“

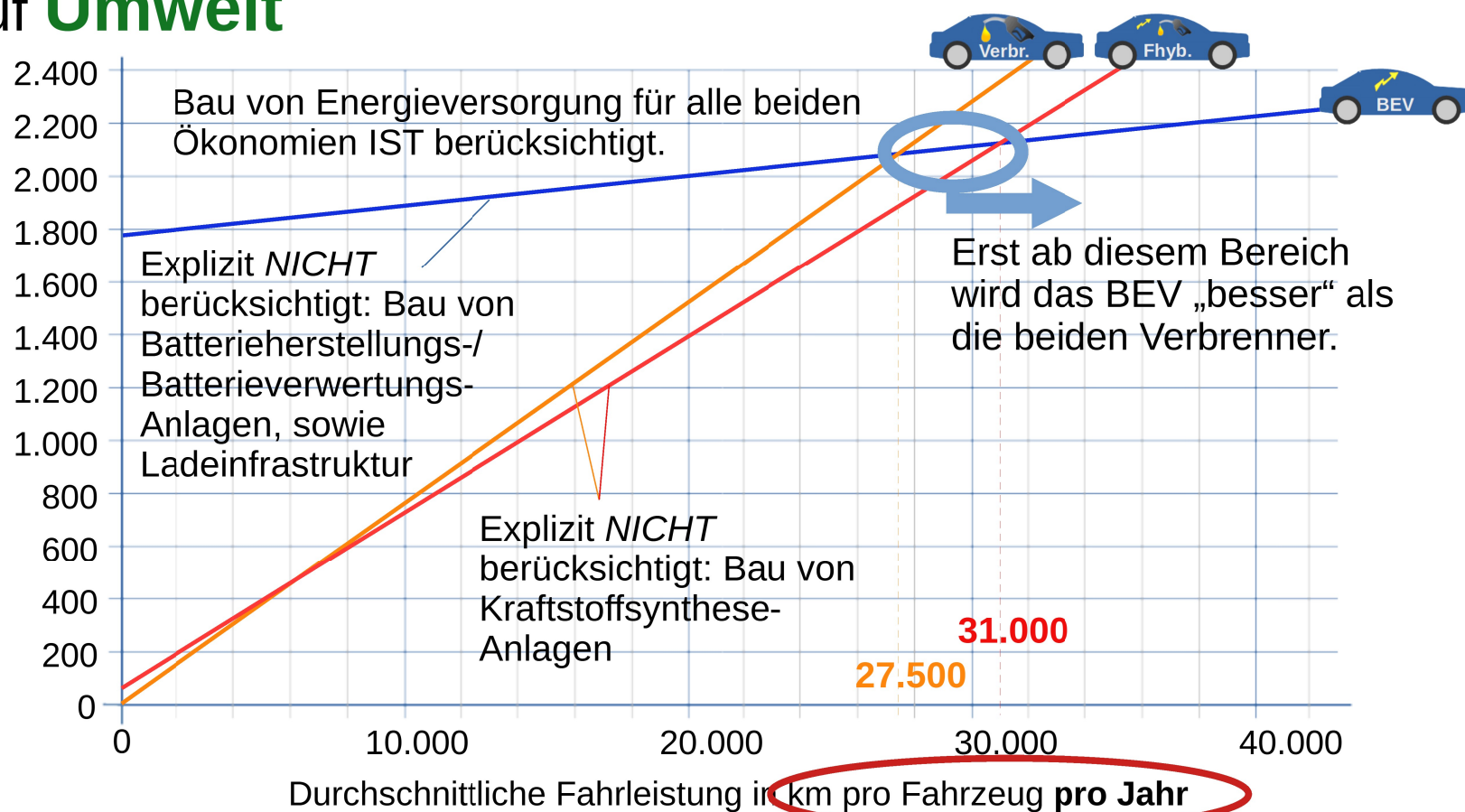
Erinnerung: Break-Even-Punkt



Akku-E / Hybrid / Verbrenner mit e-Fuel

Auswirkung auf Umwelt

Spezies*Jahre =
wie schnell die
Artenvielfalt auf der
Erde zurückgeht



Schlussfolgerung auf hoher Ebene...

Für niedrigere km-Leistungen (aktuell typisch bis 6.000 - 10.000 km/Jahr je nach Fahrzeug) ist der Verbrenner gefahren mit fossilem Kraftstoff die bessere Wahl in puncto CO₂ Emissionen;

Bzgl. Umweltauswirkung, global, muss das eAuto deutlich mehr gefahren werden (weit oberhalb des deutschen/globalen Durchschnitts: 12.500 km/J).

Für verhältnismäßig hohe Kilometerleistungen kann das e-Auto die bessere Wahl sein.

Vermehrte Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel würde vor diesem Hintergrund privaten e-Autos schlechtere Bilanzen als vergleichbaren Verbrennern geben: Situation wo e-Autos erreichen nicht die km-Leistungen des „Break-Even-Punkts“ innerhalb ihres Lebenszyklus.

Warum fällt der Vergleich für das eAuto nicht besser aus, besonders in puncto menschliche Gesundheit?

...intuitiv... maßgeblich deswegen:



2023



2030

Leider denken wir Menschen oft sehr „parochial“...

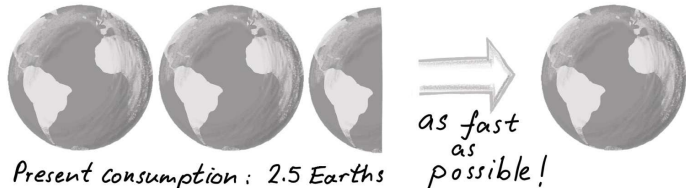


Ersetzen einer jeden Technologie braucht viel Energie, um neue Geräte und Infrastrukturen zu bauen...

...die heutzutage zu etwa 80% aus thermischer Energie aus fossilen Energieträgern besteht.

=> großen neuen ~~CO₂~~ Emissionen!

Ersetzen des globalen Verbrauchs von Benzin... ein Gedankenexperiment:



Als Erstes, halbieren wir den Benzinkonsum.
Das muss ohnehin sein!

Wir teilen die äqu. Menge (in Form von Rohöl) dieses eingesparten Benzins wie folgt auf:

1. Hälfte (sprich 25% des ursprünglichen) belassen wir unverbraucht = sofortige CO₂ Einsparung.

2. Hälfte (sprich 25% des ursprünglichen) benutzen wir in Form von Herstellungsenergie, um die Infrastruktur von CO₂-neutralem eBenzin aufzubauen: PV Anlagen in Wüsten, und die e-Fuel Syntheseanlagen.



Wie viel Wüste bräuchten wir, um die
äquivalente Menge an Energie in Form
von e-Methanol herzustellen?

0,2% der Saharawüste

Wie schnell könnten wir die Produktion
ausbauen, um 100% CO₂-neutrales
Benzin herzustellen?

15 Jahre

Meine Motivation, *The Decarbonization Delusion* geschrieben zu haben...

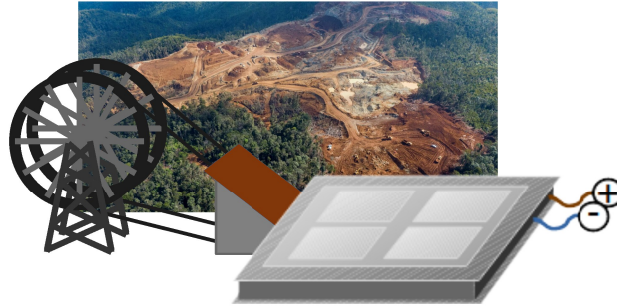


Nachhaltigkeitsuntersuchung:

i.O. ☐

Nicht bestanden ☒

Begründung: keine
Kreislaufwirtschaft: Einbahnstraße
mit **sehr lange anhaltenden
Schäden** (diversen)



Nachhaltigkeitsuntersuchung:

i.O. ☐

Nicht bestanden ☒

Begründung: **mangelndes
Vorbedacht** bzgl.
Recyclingkreisläufe; **erhebliche,
permanente Umweltschäden,
massiver Überkonsum von
Ressourcen**

Biologie



bei null-netto-CO₂



ganze Erde



ganze
Ökosysteme
Organismen



einzelne
Zellen

Nachhaltigkeitsuntersuchung:

i.O. ☒

Nicht bestanden ☐

Begründung: **Nachhaltigkeit**
über 3,5 Milliarden Jahre;
Kreislaufwirtschaften mit **netto-
null-CO₂** Emissionen; **keine
schädlichen Rückstände**

Wie viel unseres Wohlstands hängt von der Natur ab?



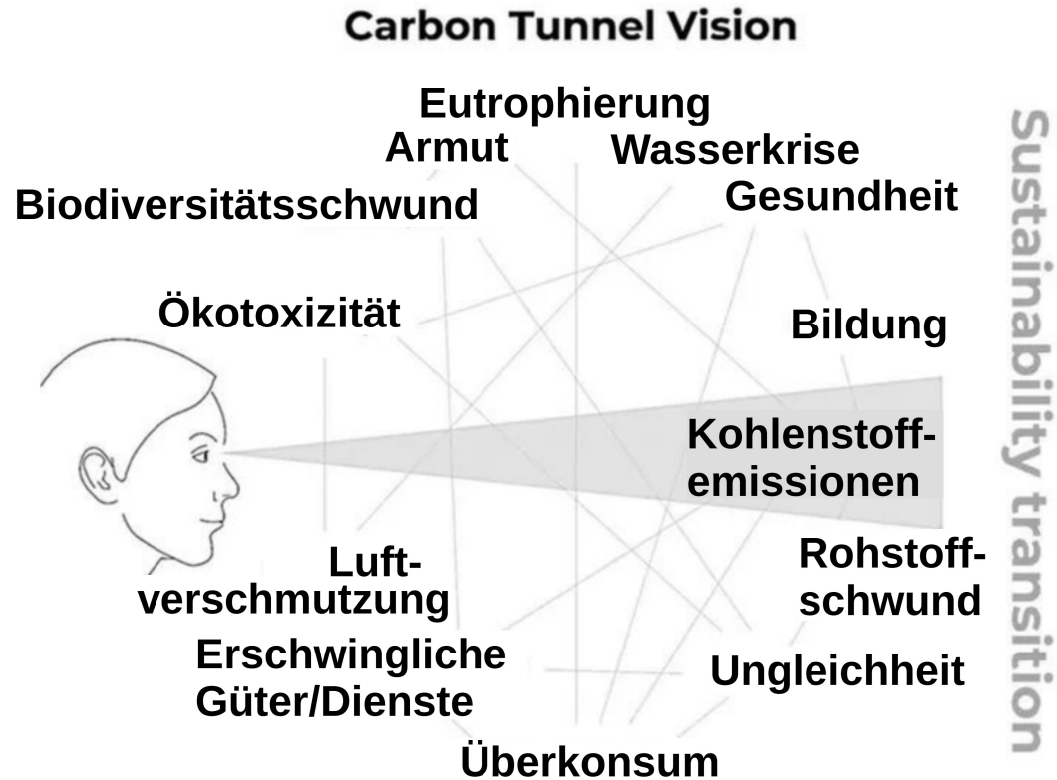
sagt 50%...



Bericht, Oktober 2024:
https://www.kfw-entwicklungsbank.de/PDF/Download-Center/Materialien/2024_Nr.5_Materialien-zur-Entwicklungsfinanzierung_Biodiversit%C3%A4t.pdf

„Das Thema Biodiversität, in seiner Komplexität, ist noch nicht in den Geschäftsmodellen wirklich angekommen.“ (Christiane Laibach, Vorständin, KfW)

Tunnelblick auf CO₂ hilft in diesem fragilen Moment unserer *biologischen* Erde nicht



Wojtech Vosecky ✓ · 2.

LinkedIn Top Green Voice | The Circular Economist | Helping Companies Make Less More | Keynote speaker

Meine Schlussfolgerungen...

Unsere bisherigen Bestrebungen, Energie zu speichern und zu verteilen basierend auf Mineralien erweisen sich schon jetzt als sehr problematisch.

Wir brauchen mehr Technologieoffenheit...

Die Biologie benutzt Kohlenstoff aus der Atmosphäre als Grundelement für die Herstellung von...

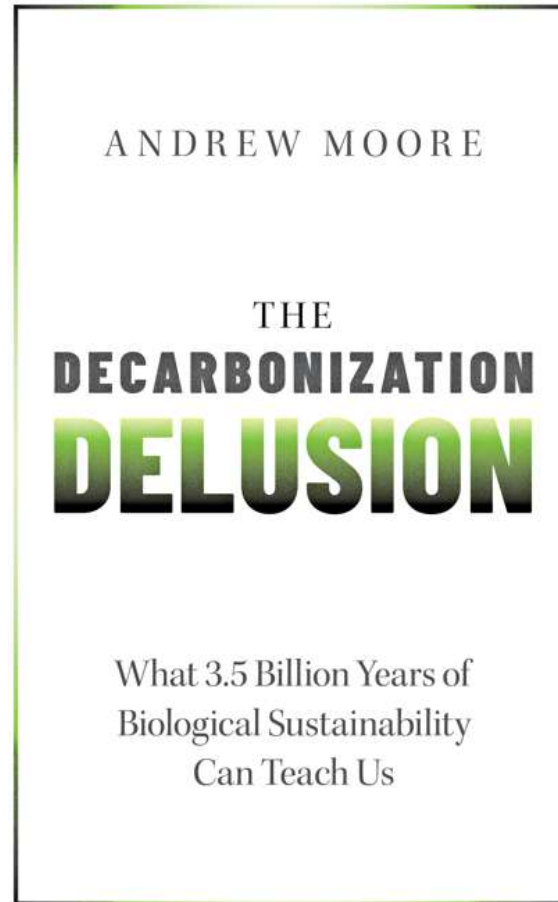
- > Energieträgern: Kohlenhydrate, Fette und Öle (macht leicht-zu-„handeln“ Wasserstoffträger)
- > Materialien/Strukturbestandteilen: von Polymeren bis hin zum Erbgut

Gibt es hier eine Lehre für menschliche Ökonomien von Energie und Materie?

Lesen Sie mehr in...



andrew.moore@freenet.de



<https://andrewmoorescientist.com>

Oxford University Press 2023/2024

30% cheaper by ordering at <https://global.oup.com/academic> with discount code: ASPROMP8
