

Prospektive Ökobilanzen: Neue Entwicklungen, Instrumente und Auswirkungen auf landwirtschaftliche Innovationen

Bernhard Steubing

22 Oktober 2024

14. Ökobilanz-Plattform Land- und Ernährungswirtschaft



Universiteit
Leiden
The Netherlands

CML
Institute of Environmental Sciences
Department of Industrial Ecology

Aufbau des Vortrags

1. Warum prospective LCA? (3 min)
2. Neuere Entwicklungen und Fortschritte im Bereich pLCA (12 min)
3. Auswirkungen auf landwirtschaftliche Innovationen? (5 min)
4. Wie kann ich praktisch damit arbeiten? (8 min)

Teil 1

Warum prospective LCA?

Wir leben in einer Zeit des großen technologischen Wandels, aber auch des Klimawandels und des Verlusts der biologischen Vielfalt.



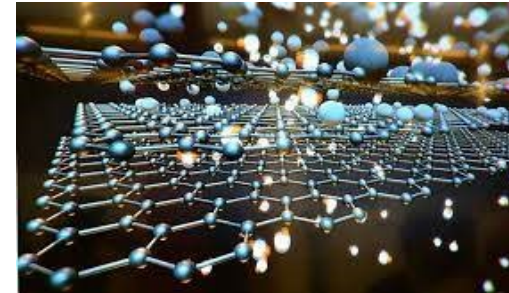
Mobilitätswende



Energiewende



Bioökonomie



Neue Materialien
und Technologien



Künstliche
Intelligenz

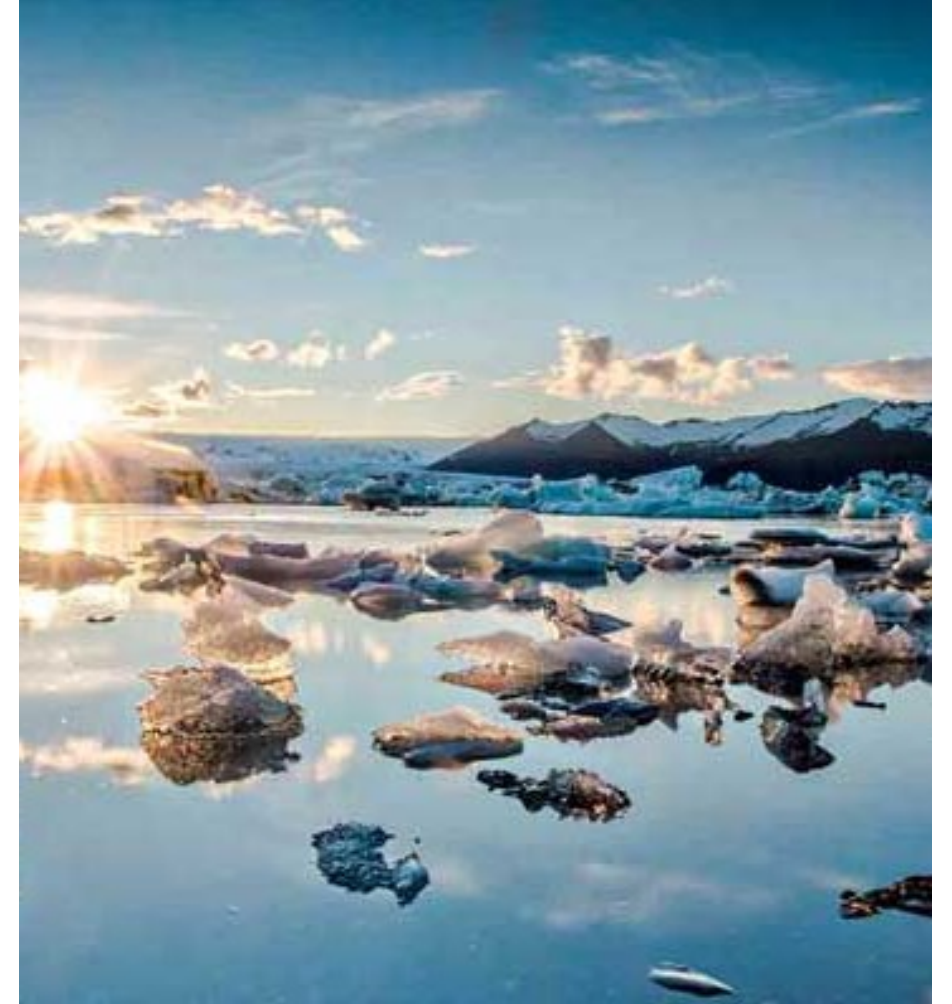


Agrarwende

... und vieles mehr...

Warum prospektive Ökobilanzen?

- Wir müssen unsere Volkswirtschaften umgestalten, um einen katastrophalen Klimawandel und andere ökologische Folgen zu vermeiden
- Dafür braucht es nachhaltige Technologie
- Prospektive Ökobilanzen tragen dazu bei, Umweltauswirkungen von Technologien, Produkten und Dienstleistungen zu antizipieren. Das hilft nachhaltigere Technologien zu entwickeln
- Eine Prospektive Ökobilanz wird hier definiert als *"Ökobilanz, die das Produktsystem zu einem zukünftigen Zeitpunkt relativ zu dem Zeitpunkt, zu dem die Studie durchgeführt wird, modelliert"* (Arvidsson 2023)



Teil 2

Neuere Entwicklungen und Fortschritte im Bereich pLCA

pLCA baut auf Szenarien auf

pLCA basiert auf Inventardaten (LCIs), die versuchen, den zukünftigen Zustand eines Produktsystems abzubilden. Solche Daten werden in der Regel durch die Entwicklung von Szenarien abgeleitet.

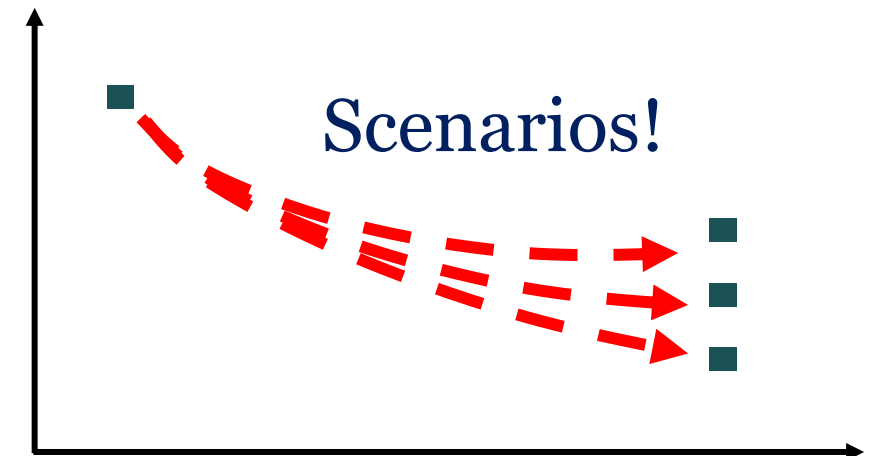
1. Die untersuchten Technologien (Vordergrundsystem)

- Wie werden sich neue Technologien entwickeln? (Technologieszenarien, Upscaling, ...)
- Wie werden sich die jeweiligen Märkte entwickeln?

2. Die umgebenden technologischen Systeme (Hintergrundsystem)

- Wie wird sich die Gesamtwirtschaft entwickeln? (z.B. die Energiewende)

**Environmental
Impact**

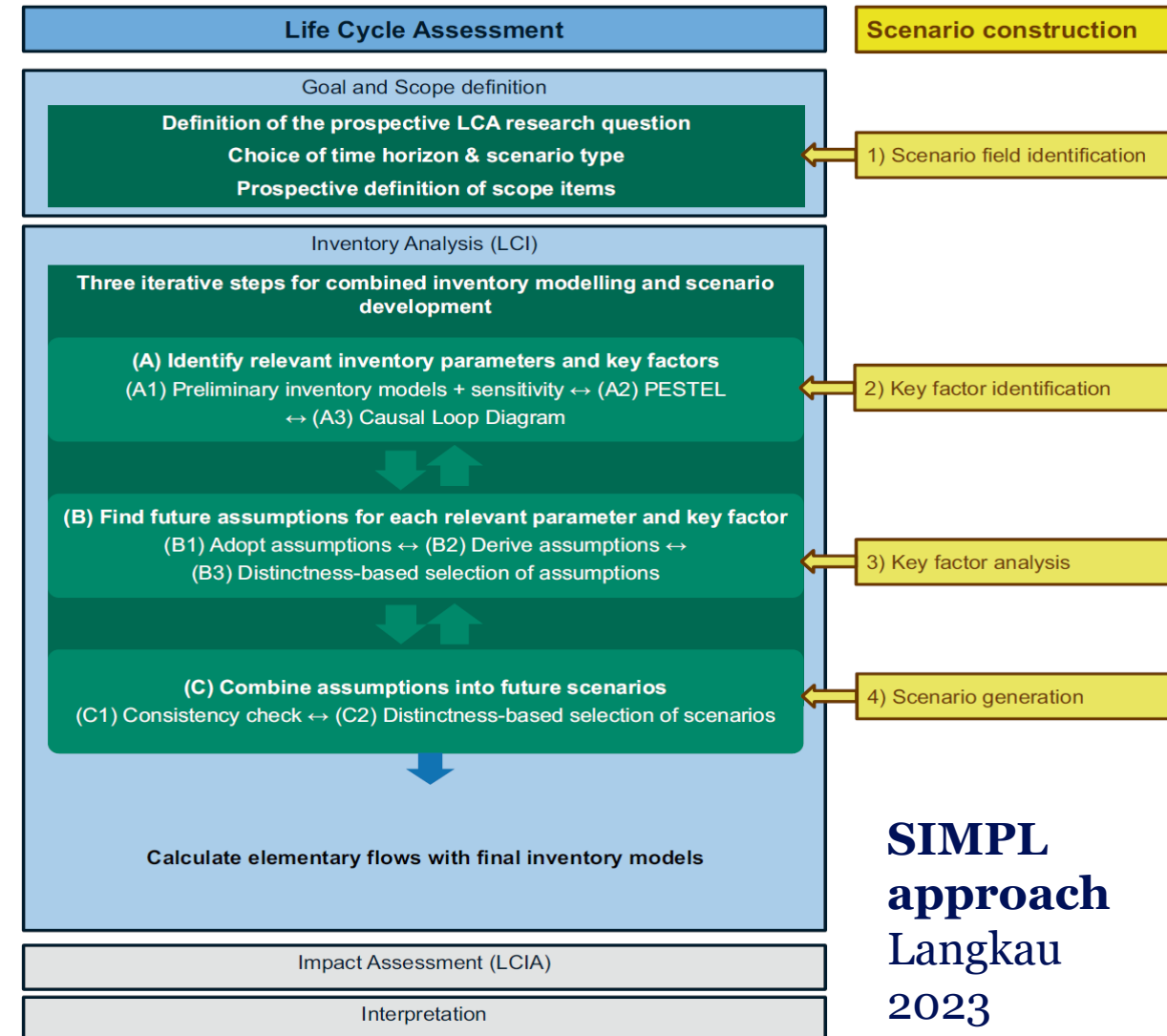


Time

Technological development

Modellierung von Vordergrundsszenarien

- Sollte auf einem guten Verständnis der untersuchten Technologie basieren (Zusammenarbeit mit Technologieentwicklern)
- Ist immer noch eine Kunst, aber es gibt systematische Ansätze
- Gute Übersicht: Bisinella 2022
- Scale-up-Frameworks: Piccinno 2016, vd Hulst 2020; Tsoy 2020
- SIMPL-Ansatz (Scenario-based Inventory Modelling for Prospective LCA): strukturierte und praktische Anleitung zur Erstellung von Szenarien für prospektive LCA



Background scenarios

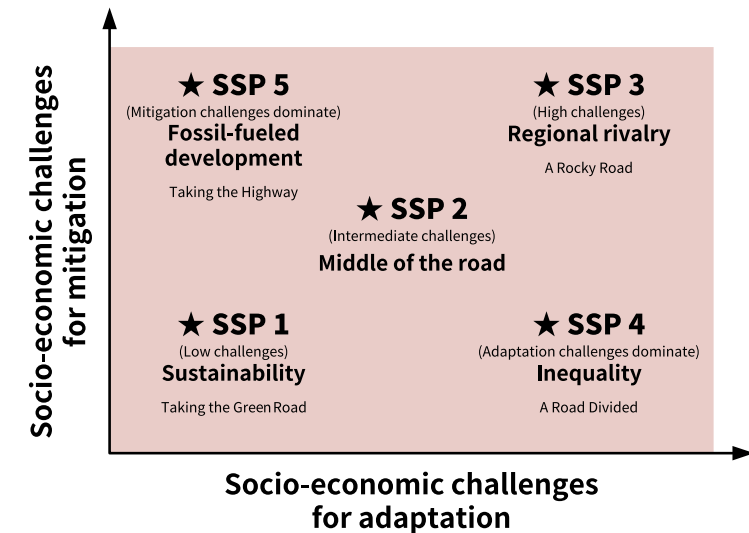
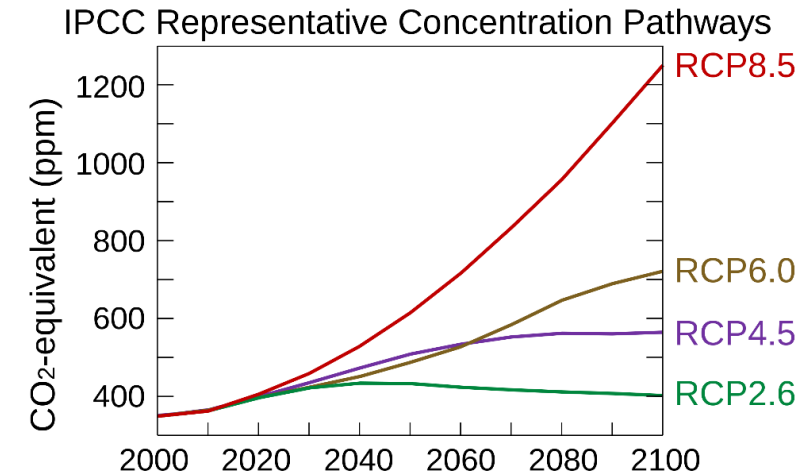
Zukünftige Ökobilanzen sollten Entwicklungen in Vordergrund- und Hintergrundsystemen berücksichtigen, um die richtigen Schlussfolgerungen zu ziehen

→ zeitliche Konsistenz, siehe z.B. Mendoza Beltran 2018



Eine kurze und unvollständige Geschichte der pLCI-Datenbanken

- NEEDS Projekt (2004-2009)
 - Erster systematischer Versuch der Generierung von Zukunftsszenarien der ecoinvent-Datenbank (Stromversorgung und andere Sektoren)
- THEMIS Modell (Gibon 2015; Hertwich 2015)
 - Hybridmodell (MRIO-LCA); IEA-Energie- und NEEDS-Szenarien
- “When the background matters” (Mendoza und Cox 2018)
 - Kombination von Daten aus dem integrierten Bewertungsmodell IMAGE und ecoinvent (Schwerpunkt Stromversorgung)
 - IAMs modellieren SSPs (Shared Socio-economic Pathways) und RCPs (repräsentative Konzentrationspfade)
 - wurst: Python-Paket zur systematischen Modifikation von LCI-Datenbanken (Mutel, 2017)
- Premise (Sacchi 2022)
 - Python-Paket zur Generierung von pLCI-Datenbanken
 - basierend auf IAM-Daten (IMAGE, REMIND, ...)
 - Elektrizität, Stahl, Zement, Transport, Brennstoffe, ...



Integrated Assessment Models (IAMs)

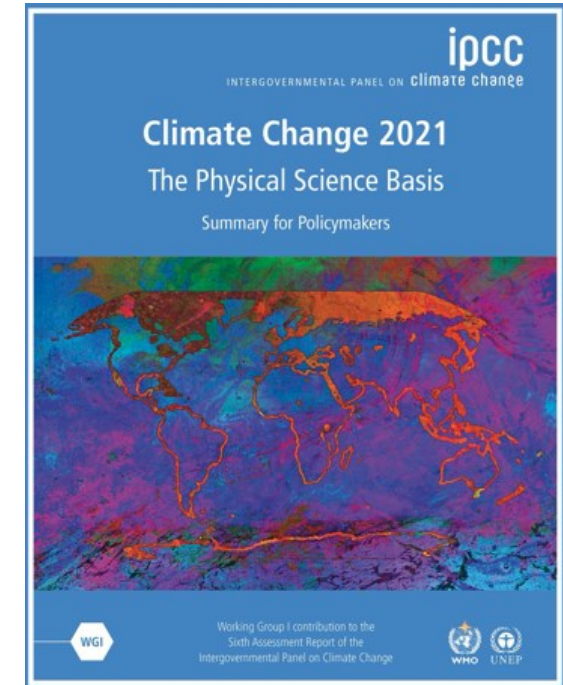
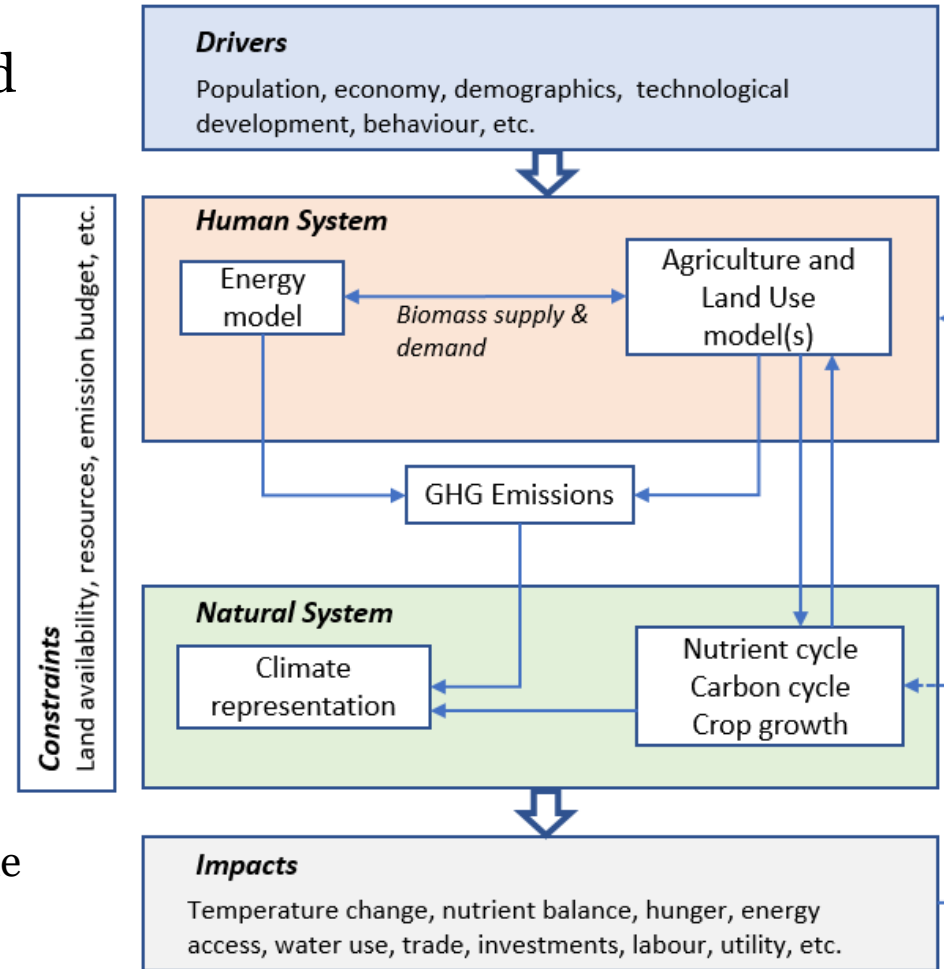
Integrierte Bewertungsmodelle bewerten die Wechselwirkungen zwischen **menschgemachten** und **natürlichen** Systemen.

Repräsentiert sind z.B.:

- Energiesystem
- Agrarwirtschaft
- Klima
- Landsystem

Ziel: Information für Wissenschaft und Politik

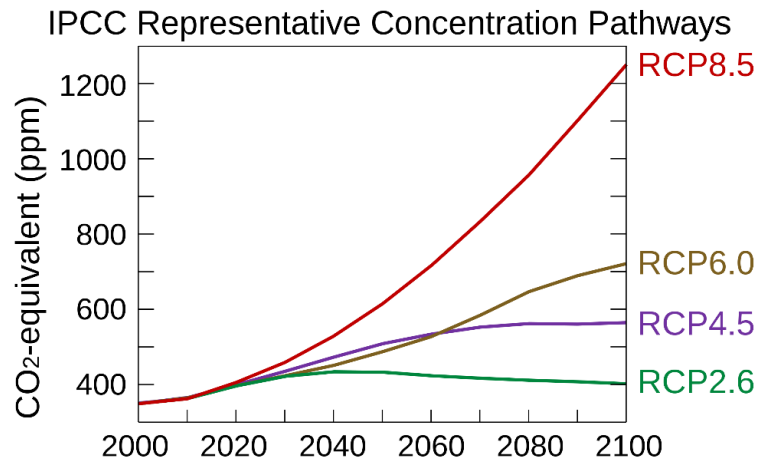
- Szenarioanalyse: Was wäre, wenn?
- Was sind die Treiber oder Einschränkungen des Wandels?
- Wie führen technologische und politische Entscheidungen zu unterschiedlichen Ergebnissen?
- Unsicherheiten? Sensitivitäten?



Szenarien in IAMs

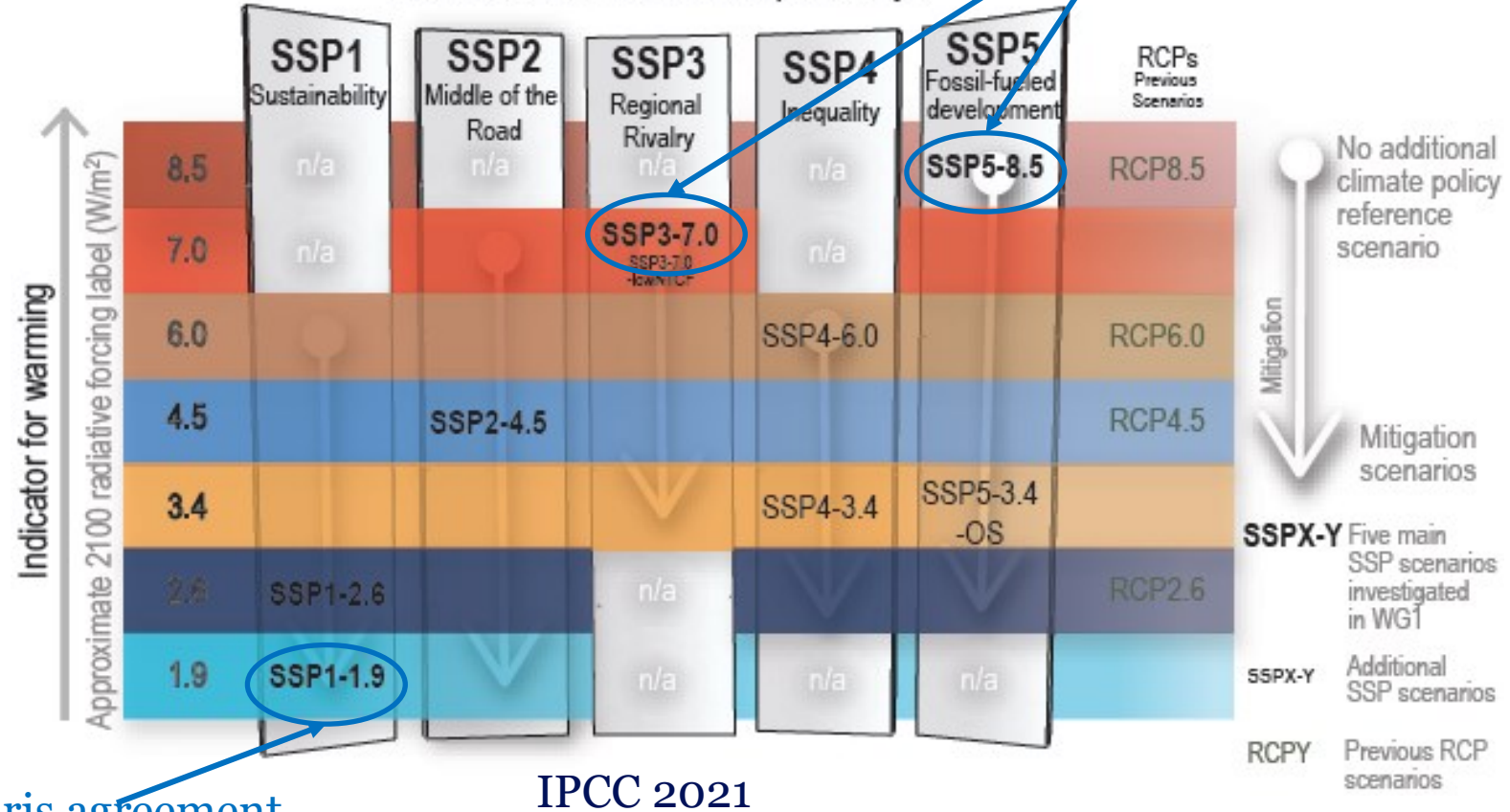
„Szenarien“:

- *Shared Socio-economic Pathways (SSPs)*
- *Repräsentative Konzentrationspfade (RCPs)*



Paris agreement
(~1.5 °C warming by 2100)

Shared socio-economic pathways



No additional climate policy
(~5 °C warming by 2100)

No additional climate policy reference scenario

Mitigation scenarios

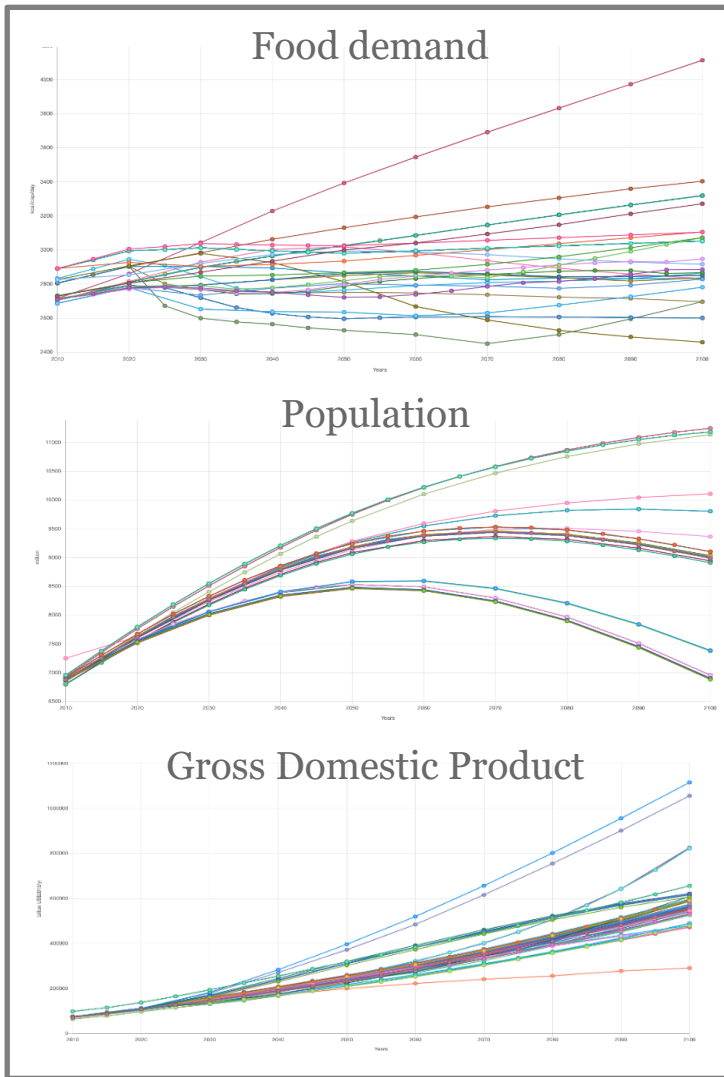
SSPX-Y Five main SSP scenarios investigated in WG1

SSPX-Y Additional SSP scenarios

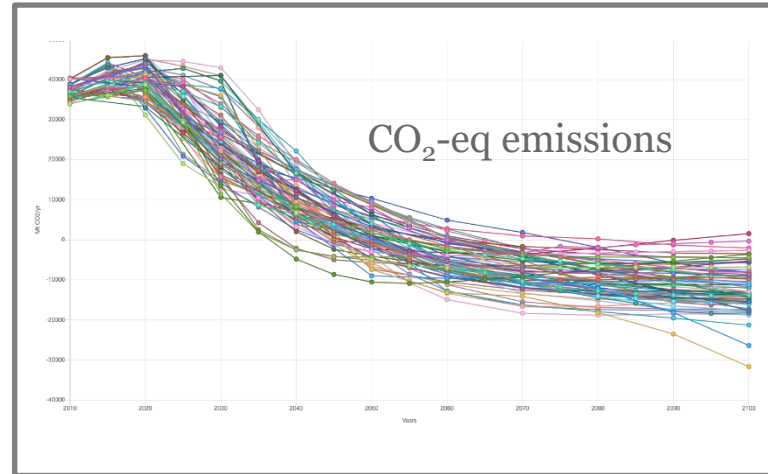
RCPY Previous RCP scenarios

IAM Input und Output

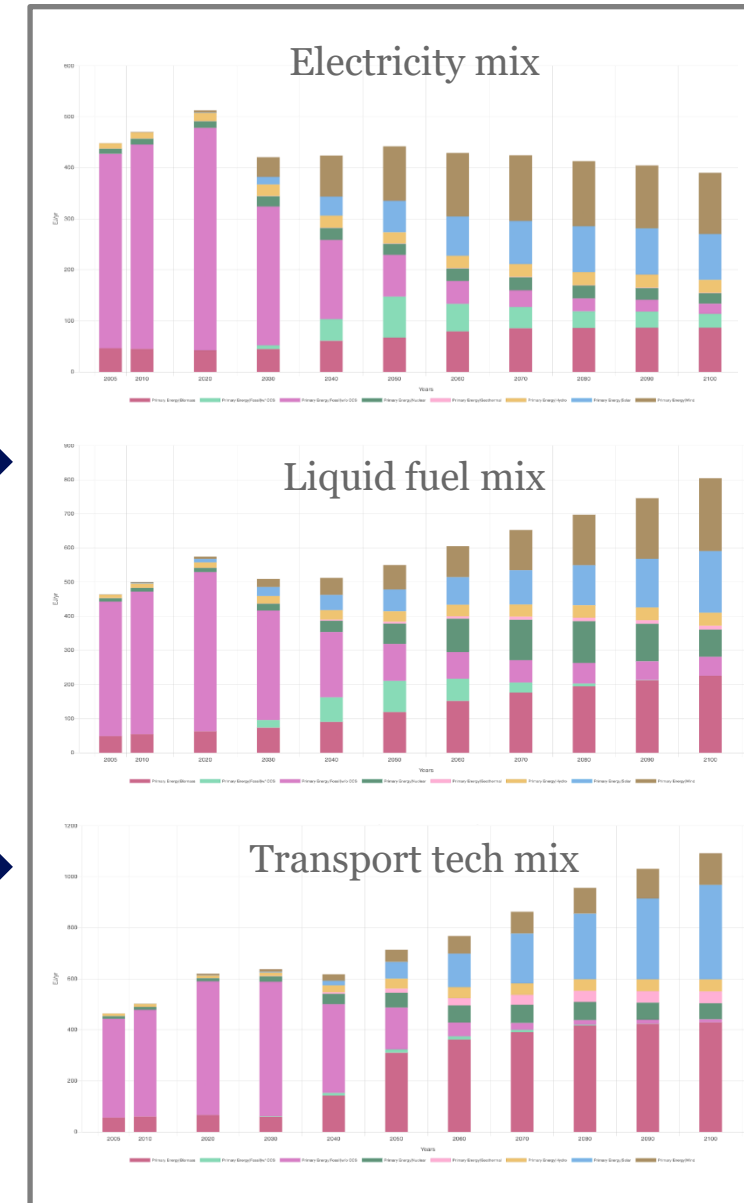
Socio-economic constraints (SSP)



Climate constraints (RCP)



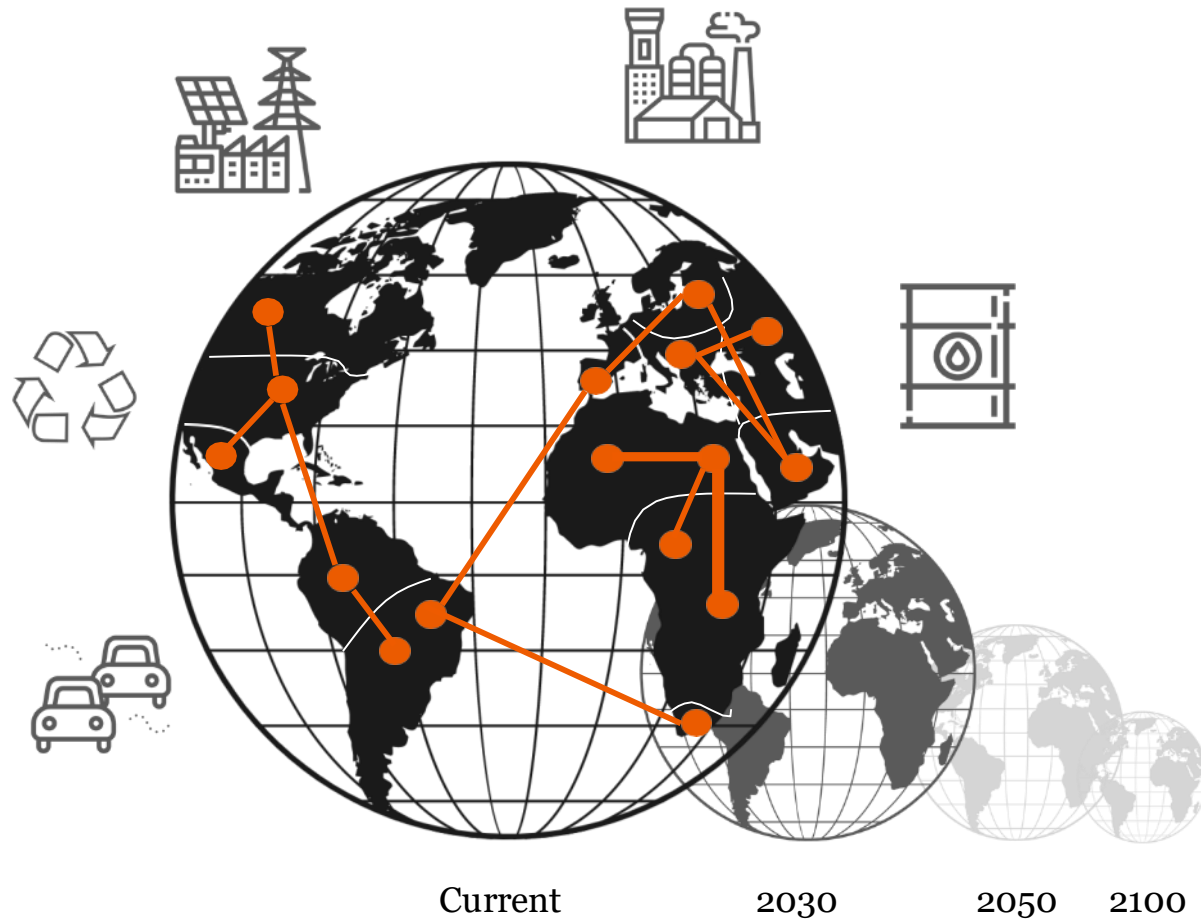
Techno-economic solutions



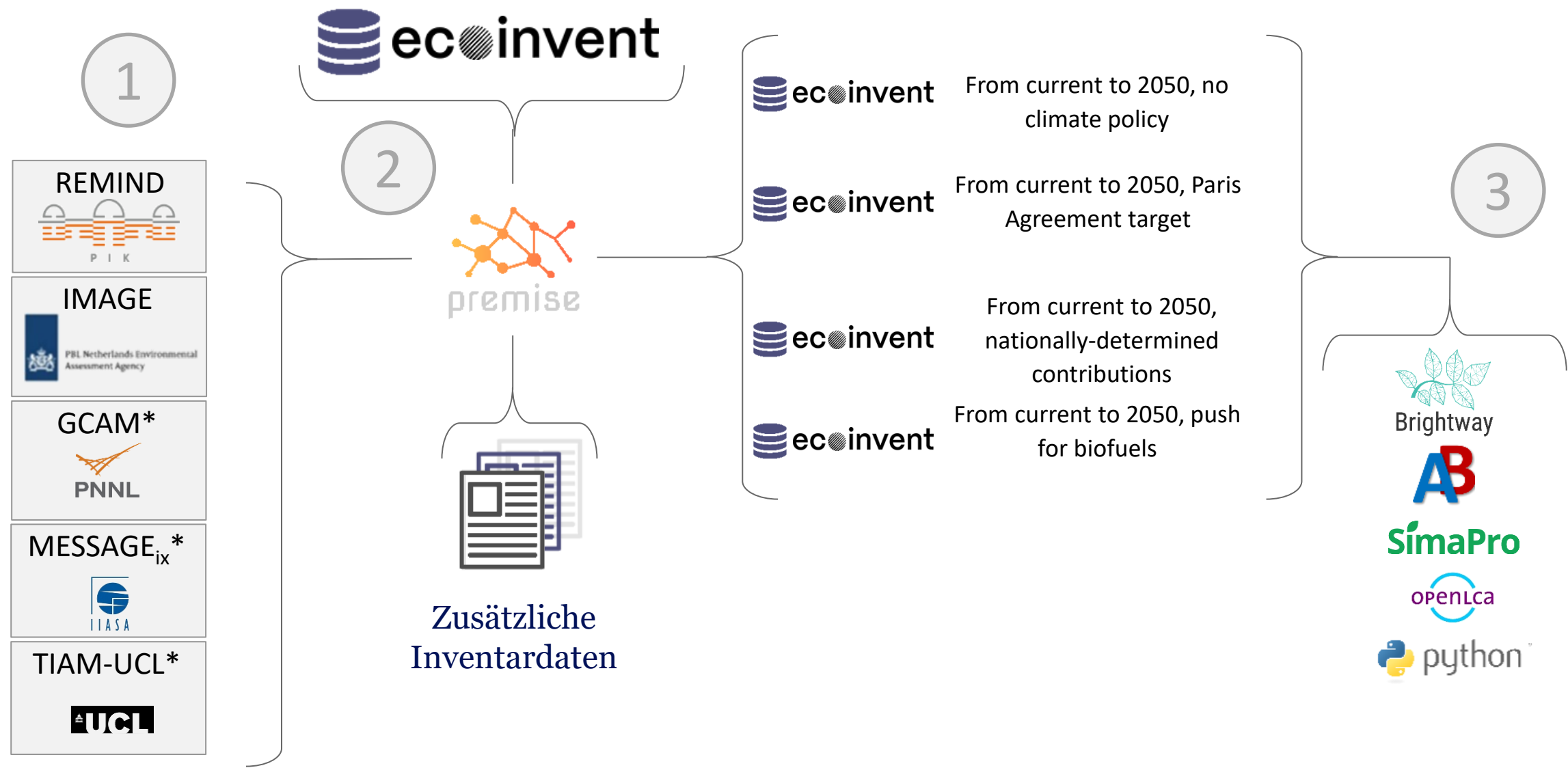
IAMs

VS.

LCA's



Generierung von premise Datenbanken



Was deckt Premise derzeit ab?



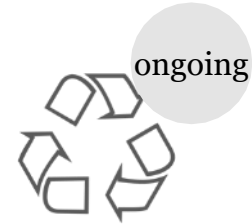
Power

Create regional electricity markets
Adjust power plant efficiency



Fuels

Create regional fuel markets
Add new production pathways
(synthetic fuels)



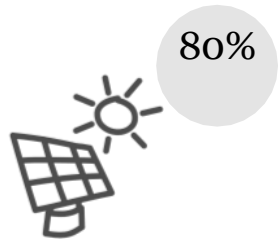
Metals recycling

Adjust critical raw materials use
Adjust future recycled content



Hot pollutant emissions

Adjust hot pollutant emission
from GAINS



Renewables

Adjust solar PV and wind turbines
efficiency



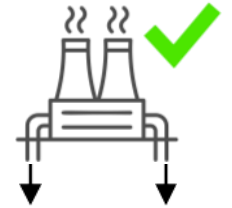
Transport

Create market for passenger
and freight road transport



Industry

Adjust efficiency for cement
and steel production (fuel
mix, process efficiency,
material composition, etc.)



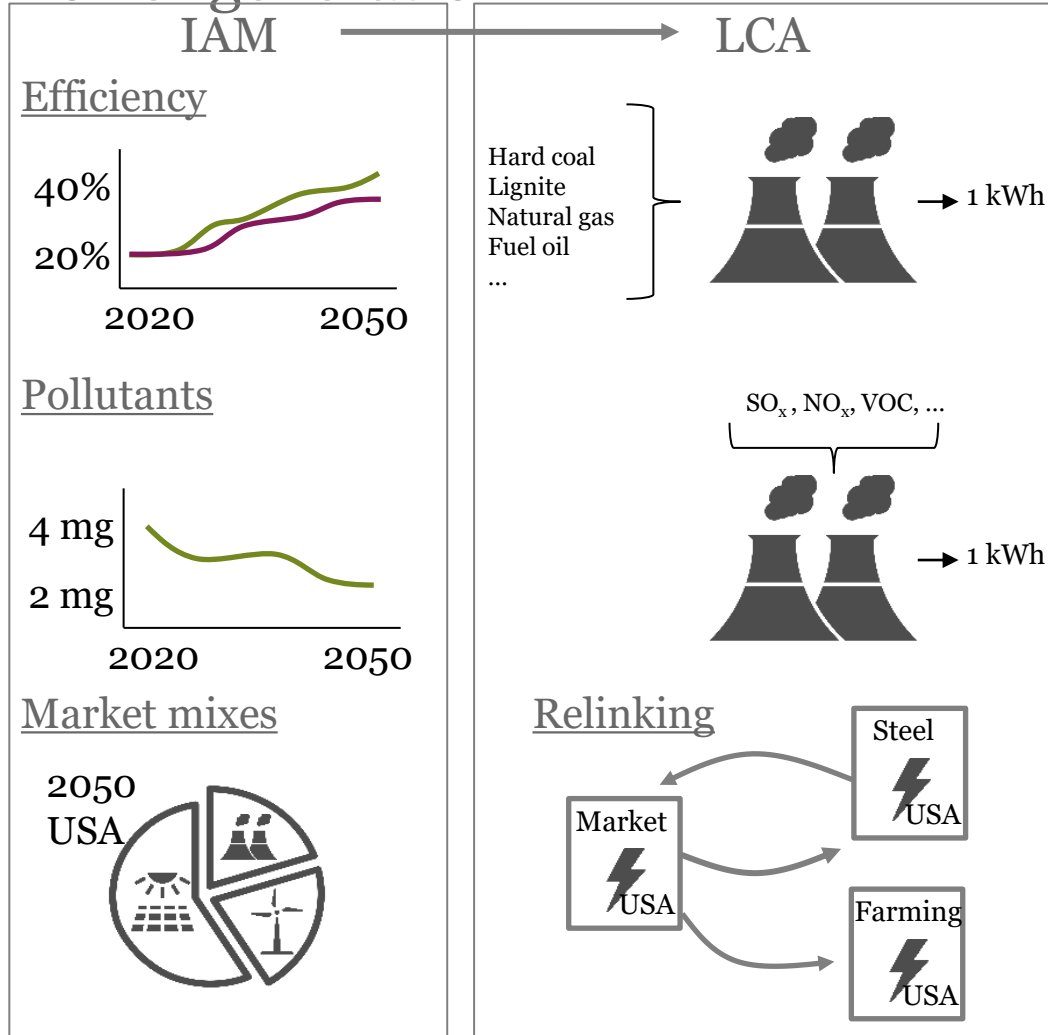
Carbon capture and storage

Add carbon capture and
storage where needed

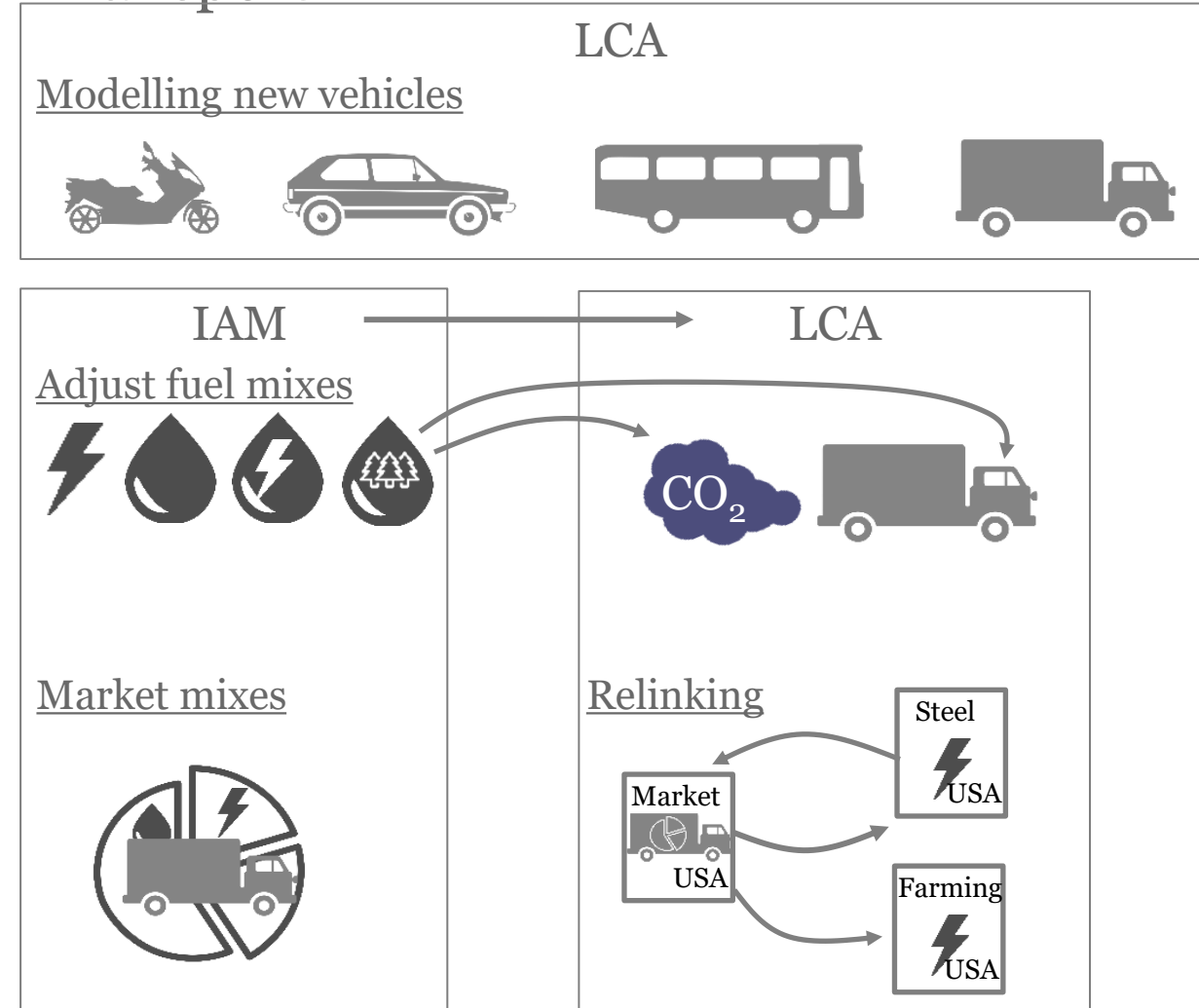
Die Landwirtschaft ist bisher kaum abgedeckt!

Beispiele wie Transformationen modelliert werden

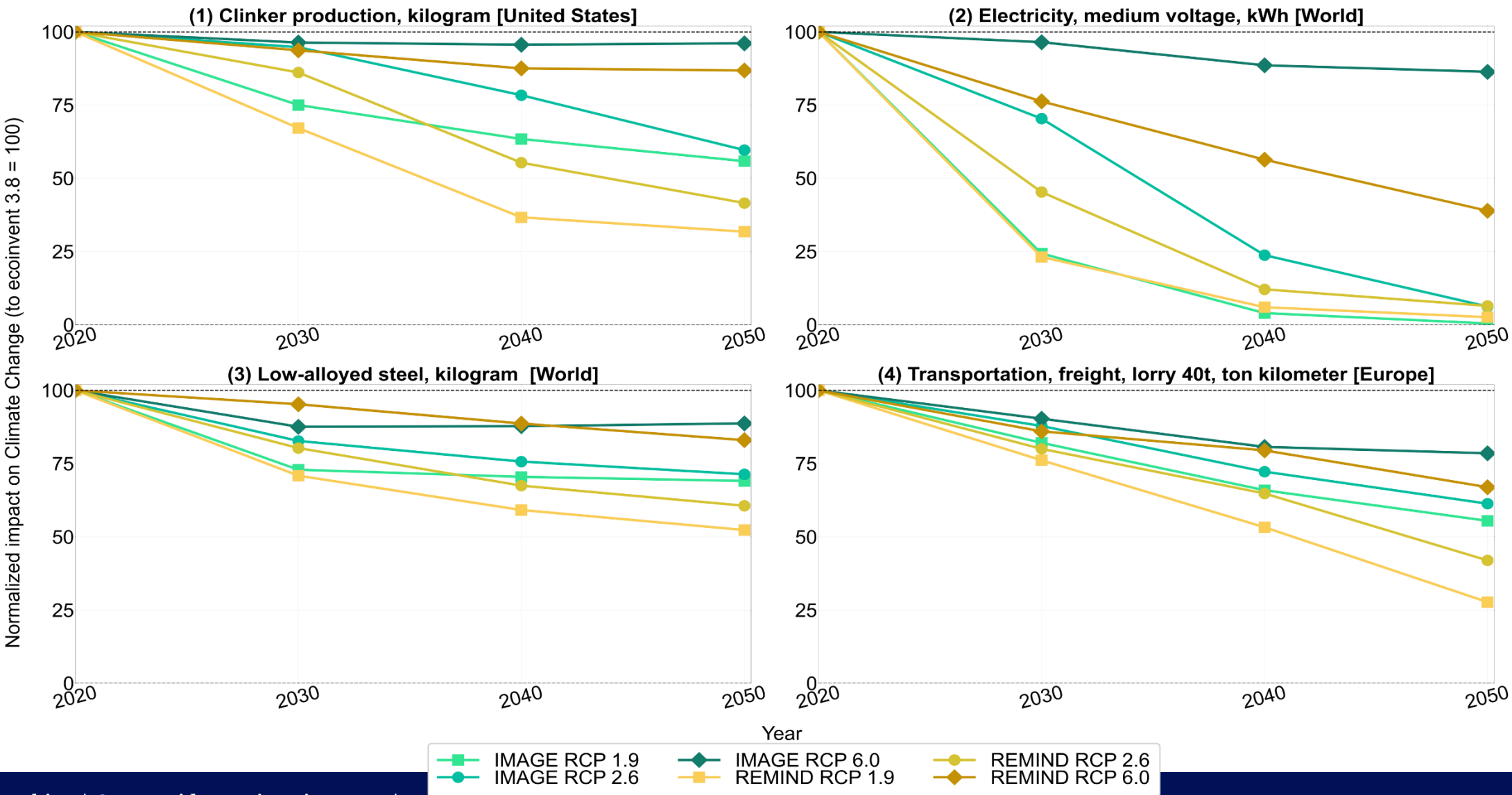
Power generation



Transport

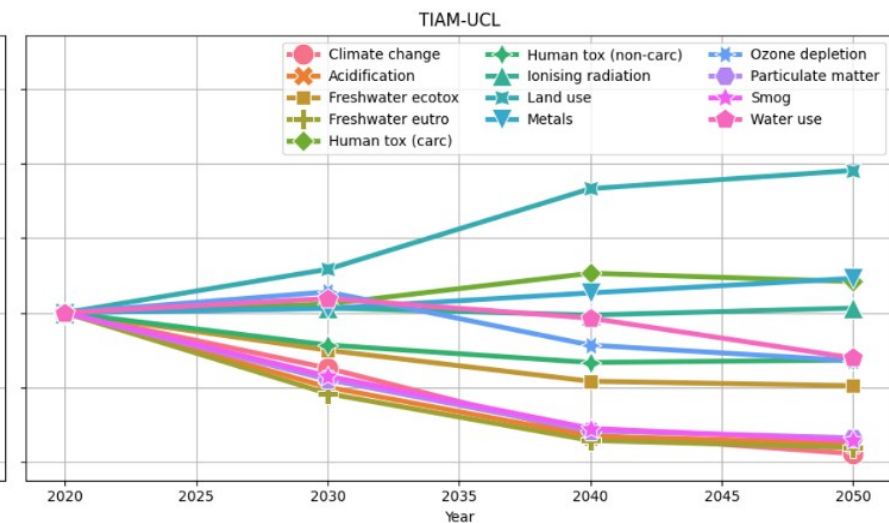
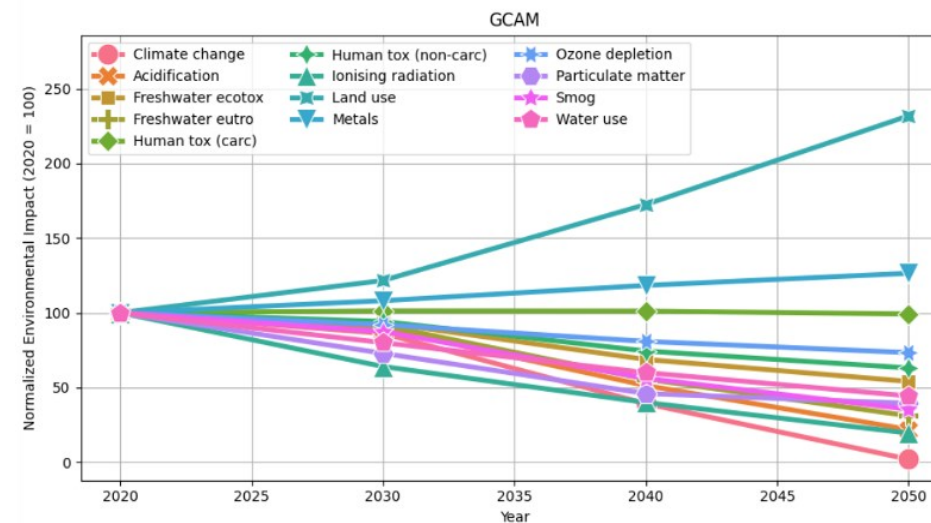
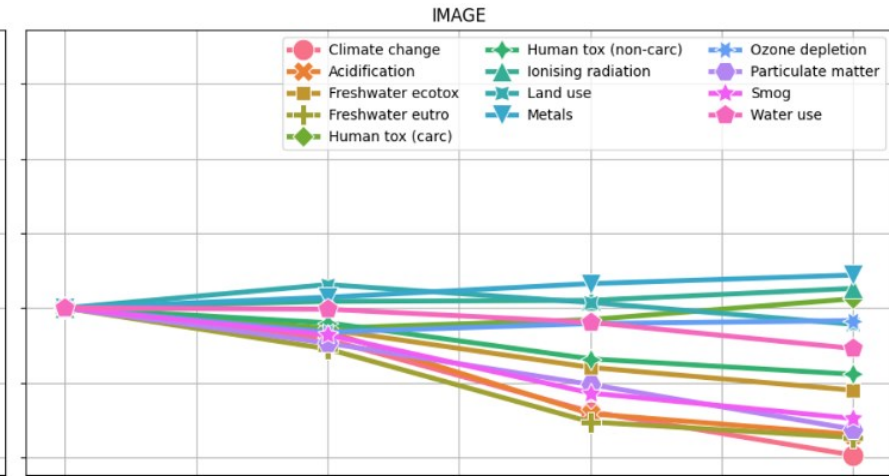
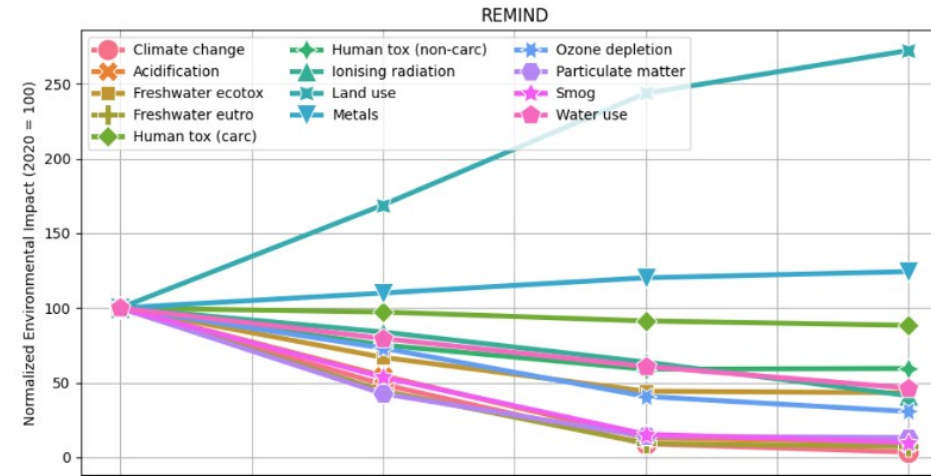


Klimaauswirkungen für wichtige Produkte



Entwicklung der Umweltindikatoren in IAM-Modellen für $<2\text{ }^{\circ}\text{C}$ Szenarien

- Funktionelle Einheit:
 - 1 kWh Elektrizität, global, im Vergleich zu 2020
- Treibhausgasemissionen gehen zurück, aber Ressourcenverbrauch nimmt teils zu
- Toxizität und Ozonabbau sind unsicher, aber dennoch relevant
- Da IAMs auf Treibhausgase fokussieren, zeigt dies v.a. was passiert, wenn wir unsere derzeitigen Praktiken nicht ändern



Teil 3

Auswirkungen auf landwirtschaftliche Innovationen?

Ammoniak (Boyce et al., 2024)

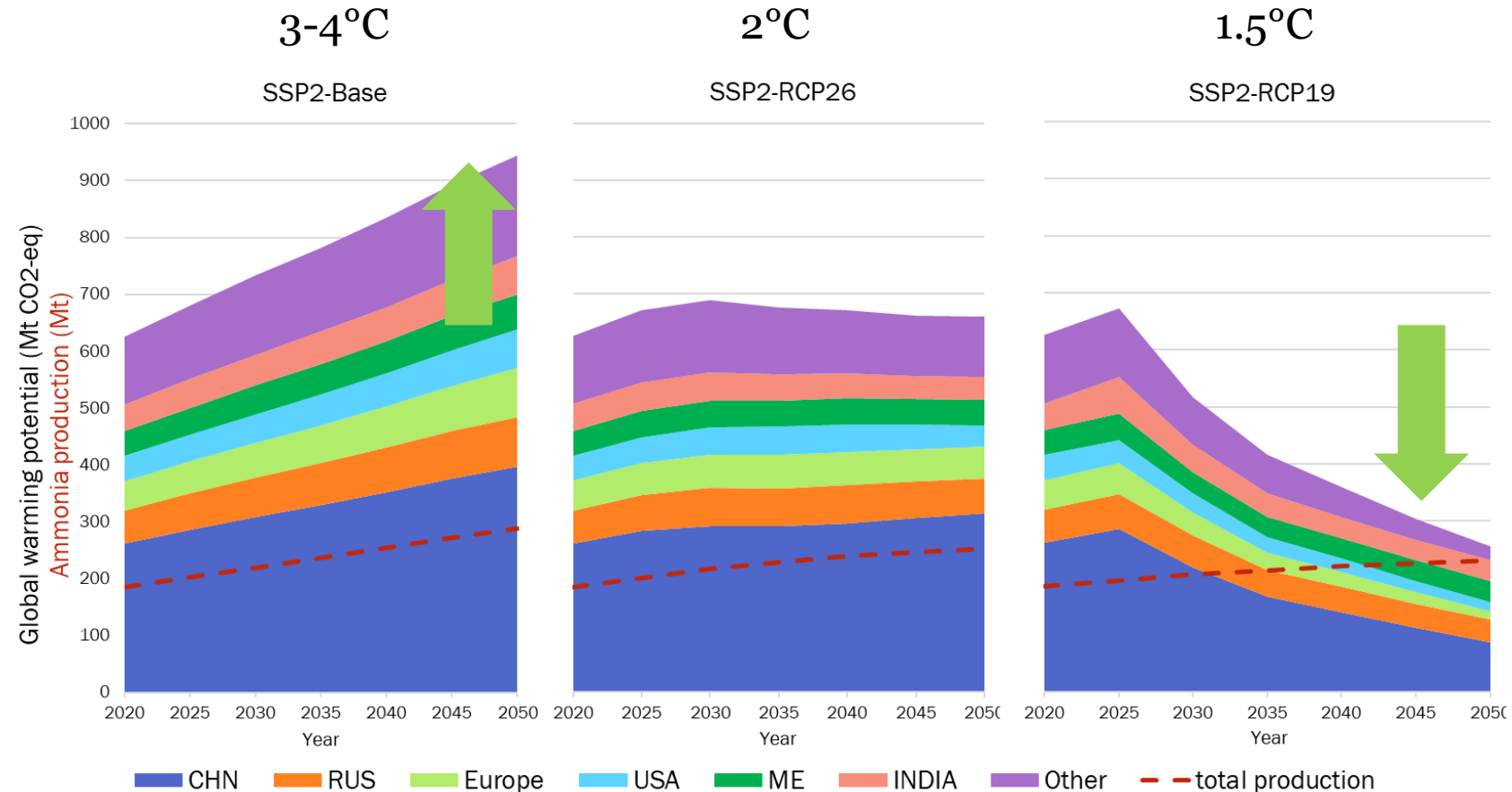
- IEA-Ammoniakszenarien + premise
- Die Treibhausgasemissionen aus der weltweiten Ammoniakproduktion können erheblich gesenkt werden

Wichtig dafür:

- Zukünftige Nachfrage
- Erneuerbarer Strom / grüner Wasserstoff
- CCS

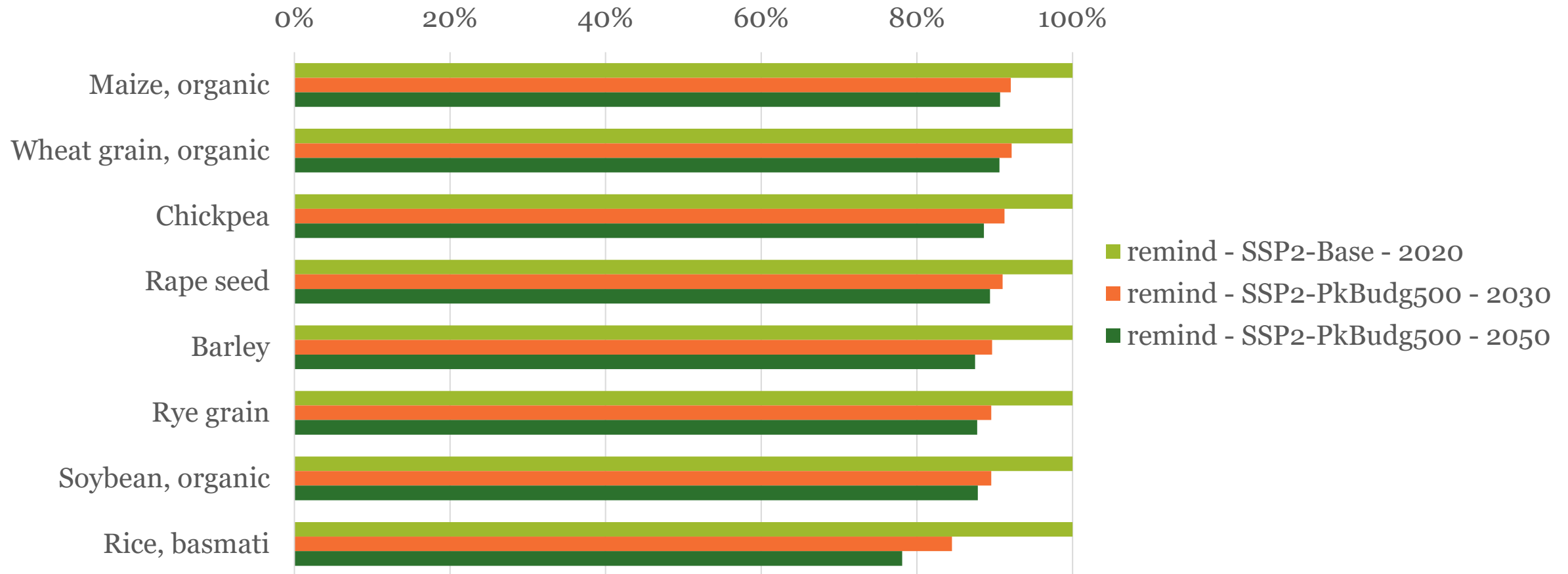
Zu beachten:

- Bedarf an Harnstoff könnte H₂-basierte Optionen verzögern



Landwirtschaftliche Produkte in premise

Nur Hintergrundänderungen aus premise (basierend auf ecoinvent v3.9.1), keine spezifischen Anpassungen für landwirtschaftliche Erzeugnisse



Zukünftige Veränderungen in der Landwirtschaft?

Art der Veränderung	Veränderung	Umwelt +++	Umwelt ---
Technologische Innovationen	Automatisierung und Robotik	weniger Wasser, Dünger, Pestizide	mehr Metalle und Strom
	Präzisionslandwirtschaft	“	“
	Blockchain und Rückverfolgbarkeit	“	“
	Biotechnologie	“ + Erträge	Risiken Ökosysteme
Effiziente Ressourcennutzung	Optimierte Bewässerung (z.B. Tröpfchenbewässerung)	Weniger Wasser	Mehr Plastik?
	Kreislaufwirtschaft	Weniger Ressourcen	Mehr Energie
Neue Anbautechniken	Vertikale Landwirtschaft	Weniger Fläche	Mehr Strom
	Hydroponik/Aquaponik	Weniger Wasser	Mehr Strom + Ressourcen
Nachhaltige Landwirtschaft	Regenerative Landwirtschaft		
	Ökologischer Landbau	Weniger Chemie	Geringerer Ertrag
	Agroforstwirtschaft		
	Nachhaltige Viehhaltung	Weniger Methan	Mehr Fläche?
	Klimaanpassung (z.B. hitzeresistente Pflanzen)	Höhere Erträge	
Veränderte Konsumgewohnheiten	Pflanzenbasierte Ernährung	Weniger Land, Wasser, CO2	
	Alternative Proteine (z.B. Insekten, pflanzliche Proteine)	Weniger Land	
	Kultiviertes Fleisch	Weniger Land, Wasser, CO2	Mehr Energie

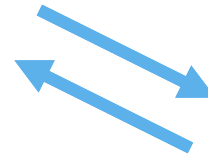
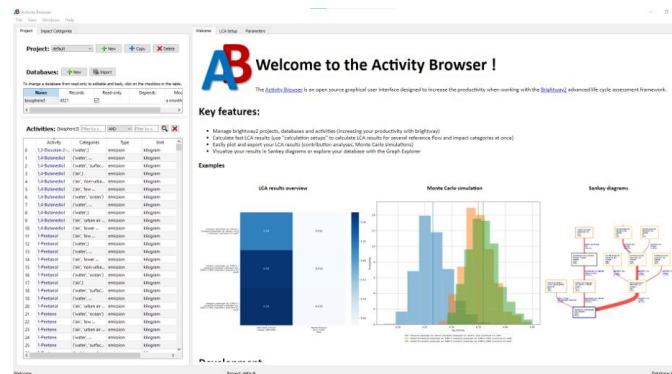
Teil 4

Wie kann ich praktisch prospektive LCAs mit
für die Zukunft angepassten
Hintergrunddatenbanken durchführen?

Nützliche Python Software

Brightway

- LCA in Python, flexibel, mächtig
- Systematische Datenmanipulation



Premise

- Generierung von pLCI Datenbanken (mit Hilfe von brightway)

Activity Browser

- GUI für brightway
- Importiert premise Datenbanken
- Gut für Szenario / pLCA (superstructure approach)

Generierung von pLCI-Datenbanken mit premise

Arbeitsablauf:

- Installieren von Python und Premise
- In einem Python Skript auswählen:
 - ecoinvent-Version*
 - IAM(s)
 - Szenarien
 - Sektoren
 - Jahre
 - Ausgabeformat: Einzeldatenbanken oder Superstructure format
- Skript/Premise laufen lassen

*Aus Lizenzgründen muss ecoinvent schon lokal in brightway installiert sein



<https://github.com/polca/premise>

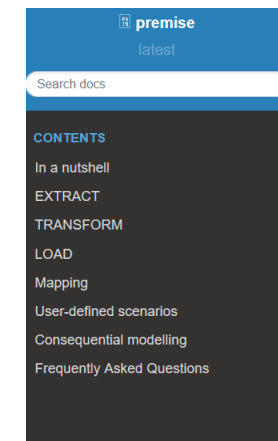
PRospective EnvironMental Impact AsSEssment

Coupling the ecoinvent database with projections from Integrated Assessment Models (IAM)

pypi package 2.1.3 conda-forge v2.1.3 GitHub Action failing coverage 24% docs passing

`premise` is a Python tool for prospective life cycle assessment. It allows users to project the ecoinvent 3 database into the future, using scenarios from Integrated Assessment Models (IAMs). It does so by modifying the ecoinvent database to reflect projected energy policy trajectories, include emerging technologies, modify market shares as well as technologies' efficiency.

<https://premise.readthedocs.io/en/latest/>



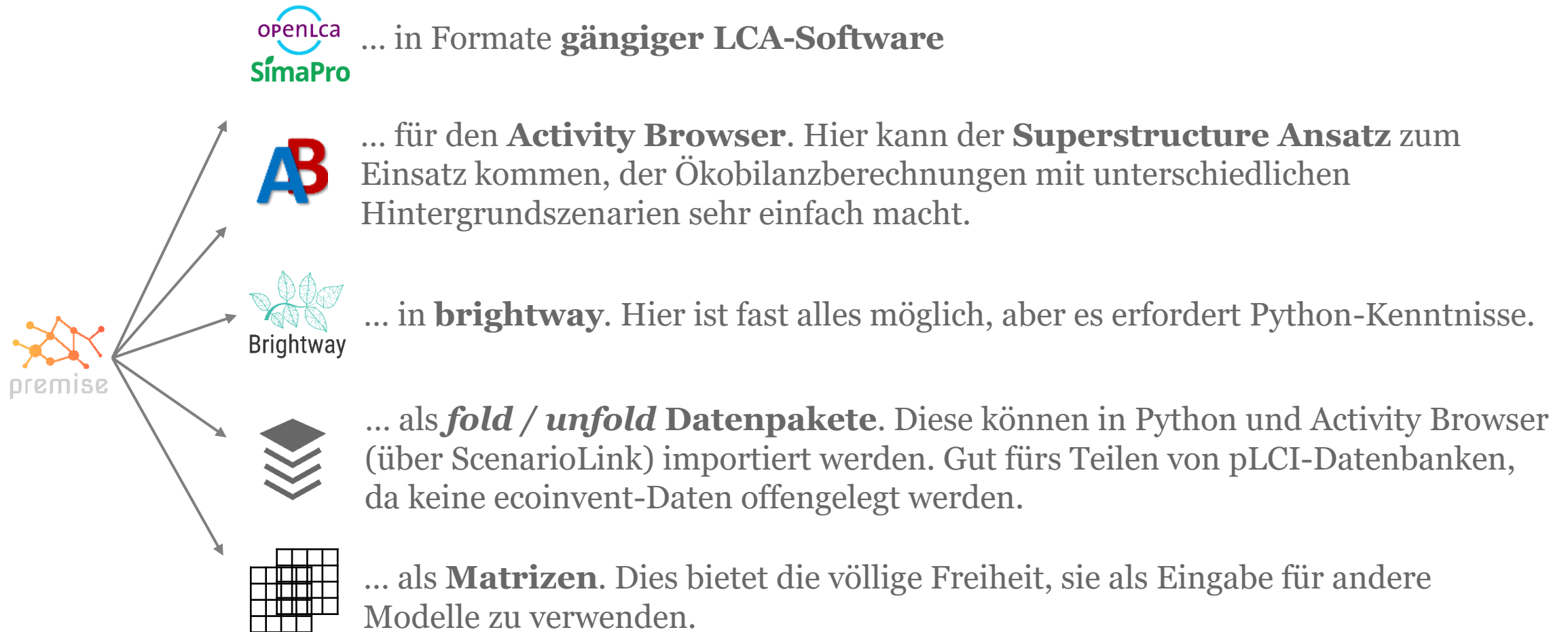
User guide

This user guide will help you navigate the inner workings of *premise*.

Contents

- In a nutshell
 - Purpose

Premise-Datenbanken können exportiert werden...



Wie gehe ich mit mehreren Hintergrundsystemen um?

→ Superstructure approach

- Praktisches Hindernis: Nutzung mehrerer Hintergrunddatenbanken (die unterschiedliche Szenarien und Jahre repräsentieren)
- Lösung: Automatischer «Wechsel» der Hintergrunddatenbanken während der Ökobilanzberechnungen mithilfe des Superstructure Ansatzes (Steubing und Koning 2021)

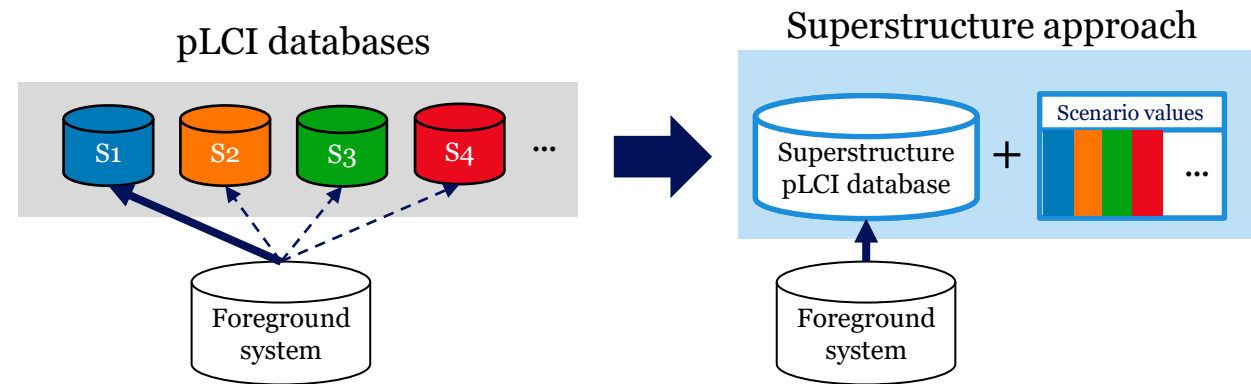
The International Journal of Life Cycle Assessment
<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01974-2>

LCI METHODOLOGY AND DATABASES

Making the use of scenarios in LCA easier: the superstructure approach

Bernhard Steubing¹ · Daniel de Koning¹

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-021-01974-2>

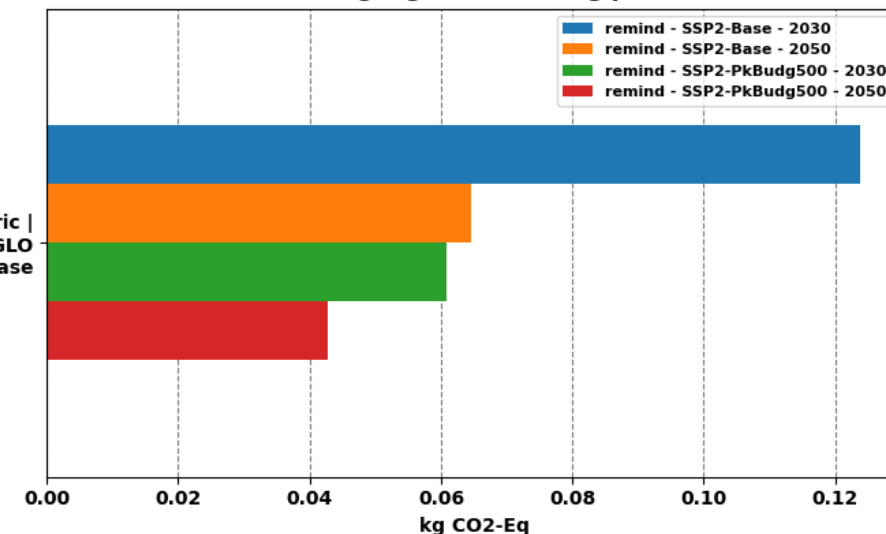


Implementation in
the Activity Browser



transport, passenger car, electric |
transport, passenger car, electric | GLO
| EV case

EF v3.1, climate change, global warming potential (GWP100)



Szenarien im AB

- Superstructure Ansatz
- Vordergrund-Szenarien
- Prospektive Hintergrunddatenbanken (z.B. aus premise)
- Kombination von Szenarien, z.B. Vordergrund- und Hintergrundsystem

WelcomeCharacterization FactorsLCA SetupParametersLCA results

Calculation Setup: test

+ New

+ Copy

✎ Rename

✖ Delete

📊 Calculate

Scenario LCA

Reference flows:

	Amount	Unit	Product	Activity	Location	Database
0	1	kilogram	1-butanol	hydroformylation of propylene	RoW	super_ei38_REMIND_el_20220923
1	1	kilogram	1-pentanol	market for 1-pentanol	GLO	super_ei38_REMIND_el_20220923
2	1	kilogram	1-propanol	1-propanol production	RER	super_ei38_REMIND_el_20220923

Impact categories:

	Name	Unit	# CFs
0	IPCC 2013, climate change, GWP 100a	kg CO2-Eq	211
1	ReCiPe Endpoint (H,A), total, total	points	1781

Scenarios: ?

+ Add

Save

☒ Combine scenarios ☐ Extend scenarios

flow_scenarios_EV_case - ei38cutoff.xlsx

📊 Load

✖ Delete

	Scenario name
0	default
1	decreased range
2	better drive train
3	All improved

E.g. foreground scenarios

scenario_diff_super_ei38_REMIND_el_20220923_2scen_3times

📊 Load

✖ Delete

	Scenario name
0	remind - SSP2-...
1	remind - SSP2-...
2	remind - SSP2-...
3	remind - SSP2-...
4	remind - SSP2-...
5	remind - SSP2-...

E.g. background scenarios

Erkenntnisse / Zusammenfassung

- Prospektive Ökobilanzen sind wichtig für die Entwicklung nachhaltiger Technologien
- prospektive Hintergrunddatenbanken haben einen starken Einfluss auf die LCA-Ergebnisse!
- Viele technische Hürden für die Generierung und praktische Anwendung sind im Prinzip genommen
- Verbessert werden sollte:
 - Die Abdeckung von Sektoren (z.B. Landwirtschaft), Wirkungskategorien neben Klimawandel, Regionen
 - Die Harmonisierung (viele Datenquellen und mögliche Szenarien)
 - Der praktische Zugang und die durchführung prospektiver LCAs in gängiger LCA Software



Vielen Dank

Fragen?

b.r.p.steubing@cml.leidenuniv.nl

Praktisches:

- Prospective LCA Schools (kontaktieren Sie mich für mehr Informationen)
- [Link premise dashboard](#)



<https://www.youtube.com/@activity-browser>

Einige Folien wurden von Dr. Romain Sacchi's Präsentation übernommen – vielen Dank!

Referenzen (Auswahl)

- Langkau S, Steubing B, Mutel C, Ajie MP, Erdmann L, Voglhuber-Slavinsky A, Janssen M (2023) A stepwise approach for Scenario-based Inventory Modelling for Prospective LCA (SIMPL) Int J Life Cycle Assess
- Mendoza Beltran A et al. (2018) When the Background Matters: Using Scenarios from Integrated Assessment Models in Prospective Life Cycle Assessment J Ind Ecol
- Sacchi R et al. (2022) PROspective EnvironMental Impact asSEment (premise): A streamlined approach to producing databases for prospective life cycle assessment using integrated assessment models Renewable Sustainable Energy Rev 160:112311
- Steubing B, de Koning D (2021) Making the use of scenarios in LCA easier: the superstructure approach Int J Life Cycle Assess 26:2248-2262
- Steubing B, Mendoza Beltran A, Sacchi R (2023) Conditions for the broad application of prospective life cycle inventory databases Int J Life Cycle Assess