

Prof. Dr.-Ing. Ekkehard Schiefer

EcoDesign

Entwicklung umweltgerechter Produkte

Ökologische Schwachstellen ermitteln (2)

Wirkungsabschätzungsmethoden

1

Hinweis

Haftungsausschluß

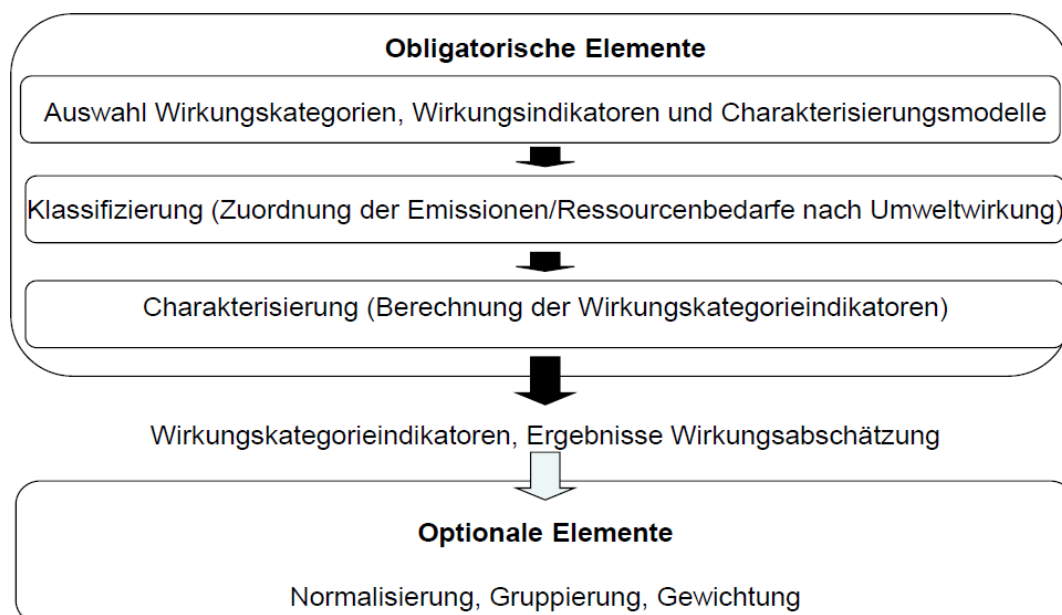
- Die Vorlesungs- und Übungsunterlagen sind ausschließlich für den Gebrauch in meinen Lehrveranstaltungen bestimmt!
- Die Weitergabe der Unterlagen an Dritte, ihre Vervielfältigung oder Verwendung auch von Auszügen davon in anderen elektronischen oder gedruckten Publikationen ist nicht gestattet.
- Für eventuell enthaltene Fehler wird keine Haftung übernommen!

Wichtig

Die jeweils neuesten Vorschriften sind den geltenden Normen, Regelwerken und Richtlinien zu entnehmen!

Wirkungsabschätzungsmethoden

Elemente der Wirkungsabschätzung nach ISO 14040



Wirkungsabschätzungsmethoden

- Es gibt eine Vielzahl von Methoden zur Wirkungsabschätzung, die sich unterscheiden bezüglich
 - ihrer Modellierungsansätze,
 - dem Aggregationsniveau und der Gewichtungsmethoden und
 - ihrem geographischen Gültigkeitsraum
- *Einige Methoden fokussieren sich auf einzelnen Wirkungskategorien* und werden daher oft mit anderen Methoden kombiniert, um eine vollständige Bewertung bezüglich aller relevanten Wirkungskategorien zu gewährleisten.
- *Andere Methoden stellen Charakterisierungsfaktoren für viele Wirkungskategorien zur Verfügung* und können daher „alleinstehend“ verwendet werden.

5

Klassifizierung

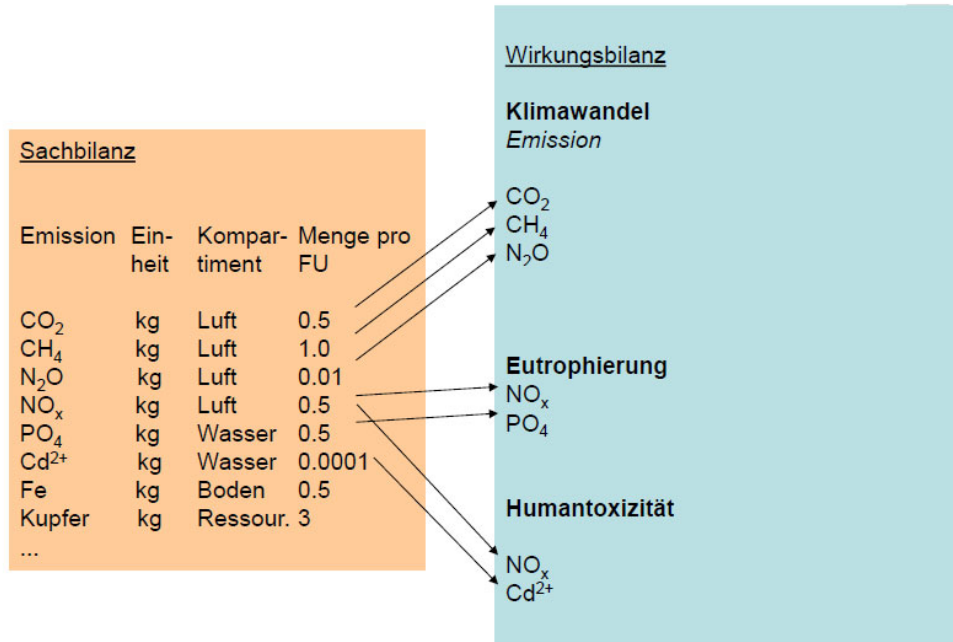
- Im Rahmen der Klassifizierung werden die *Ressourcenverbräuche und Emissionen* aus der Sachbilanz *gemäß ihrer Umweltwirkungen* sogenannten *Wirkungskategorien* (Beispiel Klimawandel, Ökotoxizität, Versauerung, Überdüngung, ...) *zugeordnet*.
- Dabei kann dieselbe Emission auch mehrere Effekte in unterschiedlichen Wirkungskategorien haben.

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

6

Klassifizierung

Vereinfachtes Beispiel für die **Zuordnung** der Inventarflüsse einer Sachbilanz zu verschiedenen Wirkungskategorien (**Klassifizierung**)



7

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

Charakterisierung

- Im Rahmen der Charakterisierung werden *innerhalb jeder Wirkungskategorie* die einzelnen *Ressourcenverbräuche und Emissionen mit* einem **Äquivalenzfaktor gewichtet**, um sie vergleichbar zu machen.
- Alle Emissionen oder Ressourcenverbräuche einer Wirkungskategorie werden so *in eine gemeinsame Einheit überführt* (Festlegung eines Referenzstoffes).
- Beispielsweise werden für die Wirkungskategorie „Klimawandel“ die sogenannten „Global Warming Potentials“ GWP des IPCC (2007) als Äquivalenzfaktoren verwendet, um alle Treibhausgasemissionen in die Einheit „kg CO₂-Äquivalentemissionen“ zu überführen.

8

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

Charakterisierung

Vereinfachtes Beispiel für die Charakterisierung (Gewichtung mit Äquivalenzfaktor)

Sachbilanz				Wirkungsbilanz		
Emission	Einheit	Kompartiment	Menge pro FU			
CO ₂	kg	Luft	0.5	Klimawandel		
CH ₄	kg	Luft	1.0	Emission	Äquivalenzfaktor	Ref.stoff
N ₂ O	kg	Luft	0.01	CO ₂	1	CO ₂
NO _x	kg	Luft	0.5	CH ₄	23	23.0
PO ₄	kg	Wasser	0.5	N ₂ O	296	2.96
Cd ²⁺	kg	Wasser	0.0001	Summe		26.46
Fe	kg	Boden	0.5	Eutrophierung		
Kupfer	kg	Ressour.	3	NO _x	0.1	PO ₄
...				PO ₄	1	0.5
				Summe		0.55
				Humantoxizität		
				NO _x	1.4	1,4 Dichlorbenzol
				Cd ²⁺	23	0.07
				Summe		0.0023
						0.0723

9

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

Berücksichtigte Umweltauswirkungen in ausgewählten Wirkungsabschätzungsmethoden

Umweltauswirkung	KEA	MIPS	CML 2001	Ökologische Knappheit, 2006	EDIP 2003	Eco-indicator 99	EPS 2000	ReCiPe 2009
	Stellvertreter-indikatoren							
Ressourcen	Energieträger	√ ¹⁾	√ ²⁾	√	√ ¹⁾	√ ⁶⁾	√ ⁶⁾	√
	Erze und Mineralien	∅	√ ²⁾	√	√ ⁷⁾	√	√	√
	Wasser	∅	√ ²⁾	∅	√	∅	∅	√
	Biotische Ressourcen	∅	√	√	∅	√	√	√
	Lebensräume / Land	∅	∅	(√)	√	∅	√	√
Emissionen	Klimaveränderung	∅	∅	√	√	√	√	√
	Ozonschichtabbau	∅	∅	√	√	√	√	√
	Humantoxische Wirkungen	∅	∅	√	√	√	√	√
	Ökotoxische Wirkungen	∅	∅	√	√	√	√	√
	Photooxidantenbildung	∅	∅	√	√	√	√	√
	Versauerung ³⁾	∅	∅	√	√	√	√	√
	Überdüngung ³⁾	∅	∅	√	√	√	√	√
	Mikroverunreinigungen	∅	∅	∅	√	∅	∅	∅
	Geruch	∅	∅	√	∅	∅	∅	∅
	Lärm	∅	∅	(√)	∅	√ ⁸⁾	∅ ⁹⁾	∅
	Radioaktive Emissionen	∅	∅	√	√	√ ⁸⁾	√	√
	Unfallopfer	∅	∅	√	∅	√ ⁸⁾	∅	∅
	Abfälle ⁴⁾	∅	∅	∅	√ ⁵⁾	∅	∅	∅

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

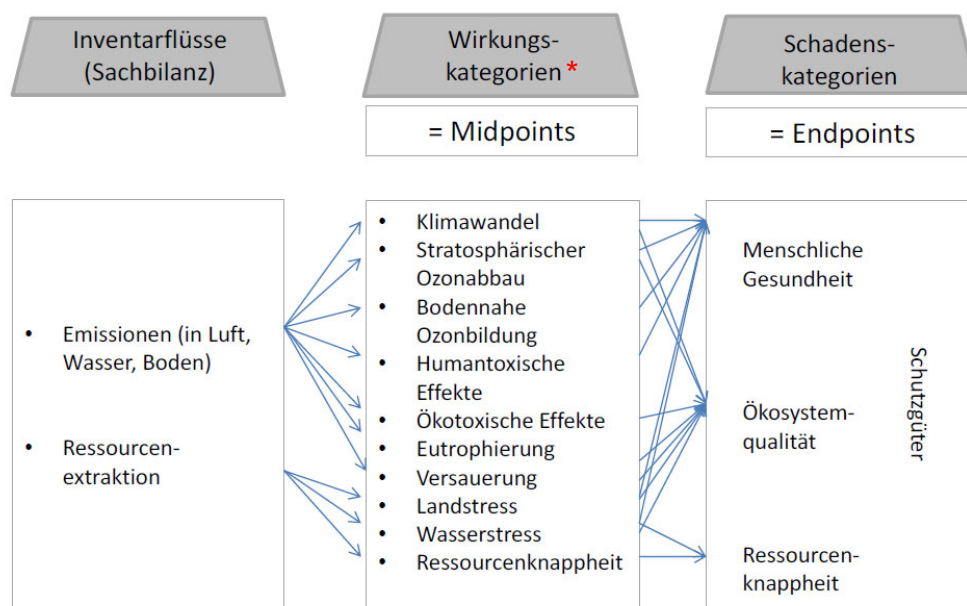
Fußnoten zur Übersicht über die in ausgewählten Ökobilanz-Bewertungsmethoden explizit berücksichtigten Umweltauswirkungen

- 1): Berücksichtigt werden bei der hier vorgestellten Version des KEA und bei der Methode Ökologische Knappheit 1997 die nichterneuerbaren Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran). Bei der Methode Ökologische Knappheit 2006 werden zusätzlich auch die erneuerbaren Energieressourcen bewertet.
- 2): Quantifiziert als bewegte Massen.
- 3): Luft- und Wasseremissionen.
- 4): Sonderabfälle in Untertagedeponie und C-Gehalt von zu deponierenden Abfällen.
- 5): Auch schwach-, mittel- und hochaktive Abfälle aus der Kernenergiekette.
- 6): nichterneuerbare Energieträger (aber ohne Uran).
- 7): Ökofaktor für Kies
- 8): Im Zusammenhang mit den Arbeitsbedingungen.
- 9): Müller-Wenk (1999) hat einen kompatiblen Vorschlag zur Lärmbewertung gemacht.

11

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Generische Struktur von bestehenden Wirkungsabschätzungsmethoden (entsprechend dem Vorgehen nach ISO Norm 14040ff).



- Die Inventarflüsse (links) werden zunächst ihren Wirkungen zugeordnet (Klassifizierung) und in einer einheitlichen Referenzeinheit ausgedrückt (Charakterisierung).

* gängige Auswahl von Wirkungskategorien

12

Quelle: In Anlehnung an Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

Wirkungsabschätzungsmethoden

Methodenfamilien

Wirkungsabschätzungsmethoden

- können in **Methodenfamilien** gruppiert werden, die sich aufgrund ihrer Modellierungs- und Gewichtungsansätze ähnlich sind.
- haben oft auch einen Bezug zur nationalen Umweltpolitik

Methodenfamilien:

- **Teilaggregierende Methoden (Midpoints)**
- **Schadensbasierte Methoden (Endpoints)**
- **Vollaggregierende Methoden**

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

13

Teilaggregierende Methoden



- hören an auf der Ebene der „**Midpoints**“ (**Wirkungsindikatoren**) auf
- stellen die Ergebnisse bezüglich einer Reihe von Wirkungsindikatoren dar,
 - die **voneinander unabhängig** sind und
 - **nicht miteinander „verrechnet“** werden.
- Meistens haben diese Wirkungsindikatoren unterschiedliche Einheiten, z.B.
 - CO₂-Äquivalente für die Wirkungskategorie Klimawandel
 - SO₂-Äquivalente für die Kategorie Versauerung

Teilaggregierende Methoden (Midpoints)

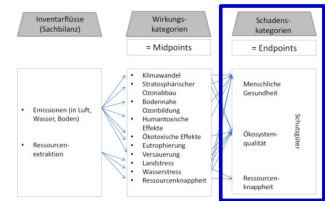
- **CML2001** (Niederlande) und **TRACI** (USA)

⇒ **Wirkungsorientiert; keine Gewichtung zwischen den Wirkungskategorien**

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

14

Schadensbasierte Methoden



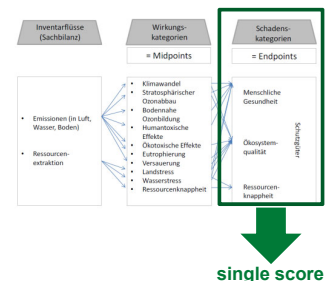
- aggregieren die Wirkungen (**Midpoints**) weiter auf in **Schadenskategorien (Endpoints)**
- Schadenskategorien quantifizieren die **Schäden an den drei Schutzgütern**
 - *menschliche Gesundheit*,
 - *Ökosystemqualität*
 - *Ressourcen (Ressourcenverbrauch)*

Schadensbasierte Methoden (Endpoints)

- **ReCiPe** und **Eco-indicator 99** (Niederlande),
 - **EDIP2003** (Environmental Design of Industrial Products, Dänemark),
 - **Impact 2002+** (Kanada/USA/Schweiz)
 - **LIME** (Japan)
- ⇒ Schadensbasiert; mit Gewichtung zwischen den Wirkungskategorien
- ⇒ z.T. mit optionaler Vollaggregation: single score (ReCiPe, Eco-indicator 99)

15

Vollaggregierende Methoden



- *aggregieren die Resultate weiter auf*, um ein *eindimensionales Ergebnis („single score“)* bereitzustellen.
- dazu werden oft *Experten befragt* oder *politische Zielsetzungen* herangezogen, um *Gewichtungsfaktoren zwischen den Schadensklassen* herzuleiten.
- *Die Vollaggregation ist umstritten.*
- Vollaggregierende Methoden werden *in der Praxis* dennoch angewendet, da sie die *Entscheidungsfindung vereinfachen* und *Manipulationen verhindern*
- Obwohl jede Gewichtung subjektiv ist, wird sie von einem unabhängigen Gremium vorgenommen und nicht von einer möglicherweise interessensgetriebenen Partei.

Vollaggregierende Methoden

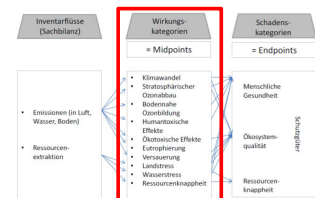
- **Umweltbelastungspunkte (UBP)**, Schweiz)
- ⇒ Vollaggregation mittels Gewichtung gemäß politischer Zielsetzung
- EPS** (Environmental Priority Strategy, Schweden):
- ⇒ Vollaggregation mittels Monetarisierungsansatz

16

Teilagggregierende Methoden

17

Teilagggregierende Methoden



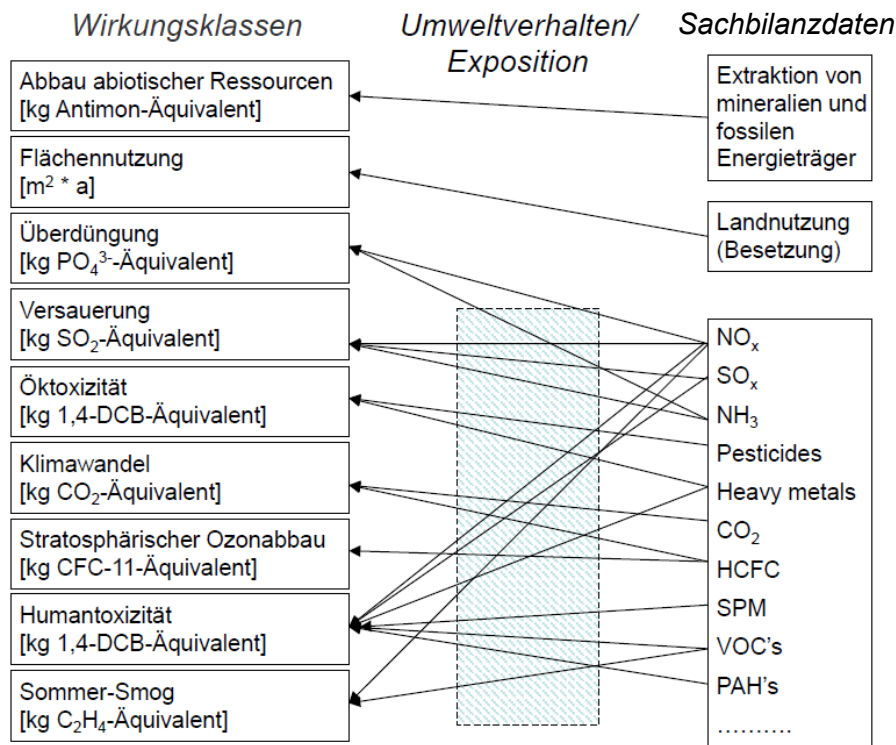
CML2001 (NL)

TRACI (USA, Environmental Protection Agency, EPA)

- Wirkungsorientierte Methoden
- Klassifizierung der Sachbilanzdaten und ihre Charakterisierung mit einem Äquivalenzfaktor bzgl. Referenzsubstanz innerhalb der Wirkungskategorien
- *Keine Gewichtung zwischen den Wirkungsindikatoren*
- Teilagggregierend; befolgen nur obligatorische Elemente der ISO 14040
- ähneln sich bezüglich der angewendeten Charakterisierungsmodelle.
- beziehen sich aber auf einen unterschiedlichen räumlichen Gültigkeitsraum:
 - *CML* ist eine *europäische Methode*
 - *TRACI* ist *für den nordamerikanischen Kontinent* entwickelt worden.

18

Struktur der CML 2001 Methode als Beispiel für eine teilaggregierende Methode



19

Quelle: Hellweg, Vorlesungsskript Ökobilanz, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich 2014

Wirkungsorientierte Charakterisierung am Beispiel der CML- Methode

20

Wirkungsorientierte Charakterisierung nach CML

- Das *Modell der wirkungsorientierten Klassifizierung (Zuordnung) und Charakterisierung (Gewichtung)* wurde am Centrum voor Milieukunde (CML) in Leiden, Holland entwickelt und findet sich auch in der Methode ReCiPe wieder
- Die *wirkungsorientierte Charakterisierung* deckt sich mit den international anerkannten methodischen Grundsätzen der *Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)*
- Im CML-Konzept werden Bewertungsansätze zu 16 als wichtig erachteten Wirkungskategorien diskutiert und Empfehlungen bezüglich des jeweils bestgeeigneten Ansatzes gegeben.
- Die Auswertung erfolgt auf Stufe der Wirkungskategorien durch Teilaggregation (Wirkungsindikatoren, Midpoints).

21

Wirkungsorientierte Charakterisierung nach CML

Liste anerkannter Umweltprobleme

Erschöpfung	Verschmutzung	Schädigung
abiotische Ressourcen	Klimaänderung	Landnutzung (Verlust an Biodiversität und lebensunterstützenden Funktionen)
biotische Ressourcen	Ozonschichtabbau	Austrocknung
Landnutzung (Wettbewerb)	Humantoxizität	Unfallopfer
	Ökotoxizität	
	Photochemische Oxidantenbildung	
	Versäuerung	
	Überdüngung	
	Radioaktive Strahlung	
	Abwärme	
	Gestank	
	Lärm	

Anmerkung: Es ist zu beachten, dass grundsätzlich durch das Nichtverwenden einzelner Wirkungskategorien eine erste entscheidende Wertung vorweggenommen wird.

22

Ressourcenknappheit

- Die **Qualität der Ressourcen nimmt mit zunehmender Extraktion ab**.
- **Fossile Ressourcen** wie Öl werden möglicherweise in der Zukunft nicht mehr als Primärressource zur Verfügung stehen (sondern nur aus anderen Ressourcen wie z.B. Ölschiefer oder Kohle gewonnen werden können).
- **Erzgehalt** von mineralischen Ressourcen nimmt mit zunehmender Förderung ab.
- Der Bergbau verursacht auch weitere Umwelteffekte (z.B. Biodiversitätsverlust durch Besetzung großer Flächen in oft sensiblen Ökosystemen), die aber durch andere Wirkungskategorien abgebildet werden.

23

Wirkungsorientierte Charakterisierung *Abiotische Ressourcenerschöpfung* und *biotische Ressourcenerschöpfung*

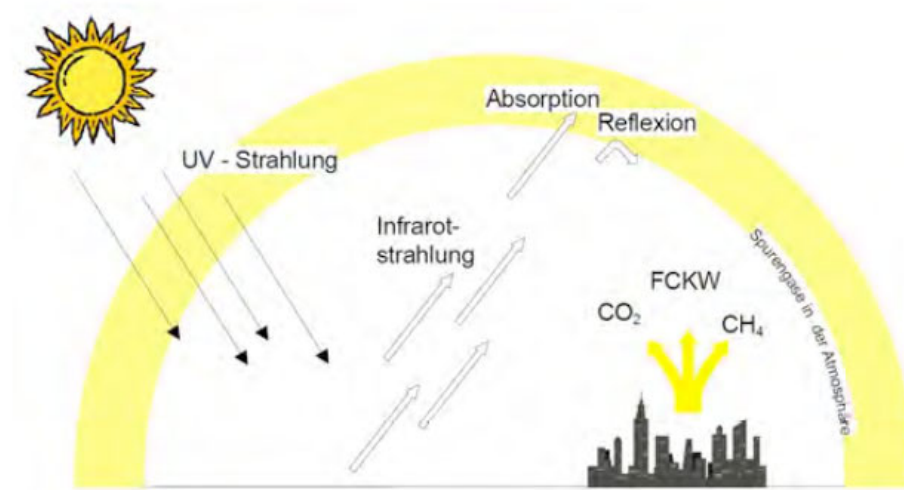
- Die bekannten Modelle aggregieren auf Gewichts-, Energieäquivalent-, Entropie- oder Knappheitsbasis.
- Bei der Knappheit als Indikator stehen verschiedene Modelle zur Diskussion, da die Bezifferung der Reserven meist nicht möglich ist.
- Die Aggregation von Energieträgern mit ihrem Energieinhalt ist möglich, stößt aber nicht auf breiten Konsens, da damit die Qualität und Vorräte des entsprechenden Energieträgers nicht berücksichtigt werden: Empfohlen wird eine Charakterisierung auf der Basis der Reserven und aktuellen Abbauraten

24

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Klimawandel

Anthropogener Treibhauseffekt durch CO₂-Emissionen bzw. deren Äquivalente



Quelle: IBU 2006

25

Quelle HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.) Studie Nachhaltiges Bauen, Wiesbaden 2011

Klimawandel

- Der sogenannte Treibhauseffekt entsteht durch Absorption und Reflexion von Wärmestrahlung durch sogenannte Klimagase, z.B. Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, Lachgas.
- Dieser natürlich ablaufende Prozess wird durch anthropogene Emissionen verschärft.
- Durch die entstehende globale Erwärmung werden Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (z.B. Verbreitung von Malaria) und auf Ökosysteme (Verlust von Biodiversität) erwartet.
- Nur wenn wir rasch und konsequent handeln, können wir die Erderwärmung begrenzen, das Massenaussterben von Tier- und Pflanzenarten aufhalten, die natürlichen Lebensgrundlagen bewahren und eine lebenswerte Zukunft für derzeit lebende und kommende Generationen gewinnen.
(Quelle <https://www.scientists4future.org/stellungnahme/> und <https://www.scientists4future.org/downloads/> (Abruf am 05.04.2019))

26

Quelle HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.) Studie Nachhaltiges Bauen, Wiesbaden 2011
Quelle: Hellweg u.a., Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

NASA-Film

<http://www.faz.net/aktuell/wissen/zeitraffer-135-jahre-globale-erwaermung-14033107.html>

27

Wirkungsorientierte Charakterisierung *Verstärkung des Treibhauseffekts*

- Für diejenigen Substanzen, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen, wird das *global warming potential (GWP)* nach IPCC (2007) als Wirkungsparameter beigezogen. (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change: www.ipcc.ch , www.de-ipcc.de)
- Dabei werden Absorptionskoeffizienten für infrarote Wärmestrahlung, die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre und die erwartete Immissionsentwicklung berücksichtigt.
- Für verschiedene *Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre)* wird dann die *potenzielle Wirkung eines Kilogramms eines Treibhausgases im Vergleich zu derjenigen eines Kilogramms des Referenzgases CO₂ bestimmt.*
- Somit können *atmosphärische Emissionen in äquivalente Emissionsmengen CO₂* umgerechnet werden.
- Der *kürzere Integrationszeitraum von 20 Jahren* ist relevant, da dieser die *Temperaturveränderungsrate* maßgeblich bestimmt (*wie schnell ändert sich das Klima?*), welche wiederum die erforderliche Adaptionfähigkeit terrestrischer Ökosysteme an ein geändertes Klima vorgibt.
- Die Verwendung der *längeren Integrationszeiten von 500 Jahren* entspricht auch etwa der Integration über einen *unendlichen Zeithorizont* und lässt *Aussagen über das Potenzial der absoluten Veränderung* zu (Meeresspiegelerhöhung, Veränderung der Durchschnittstemperatur).

28

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Wirkungsorientierte Charakterisierung *Verstärkung des Treibhauseffekts*

Treibhauspotentiale für verschiedene Integrationszeiträume infolge der Emission von 1 kg ausgewählter Gase, bezogen auf Kohlendioxid

[kg CO ₂ -Äquiv.]	Integrationszeitraum		
	20a	100a	500a
CO ₂	1	1	1
CH ₄	72	25	7.6
N ₂ O	289	298	153
H-FKW 125	6'350	3'500	1'100
H-FKW 134a	3'830	1'430	400
FCKW 12	11'000	10'900	5'200
FCKW 11	6'730	4'750	1'620

29

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen)

- 1988 als wissenschaftliches **zwischenstaatliches Gremium** von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) ins Leben gerufen, um Entscheidungsträgern und anderen am Klimawandel Interessierten eine **objektive Informationsquelle über Klimaänderungen** zur Verfügung zu stellen.
- Betreibt selbst keine Wissenschaft, überwacht keine Klimadaten oder -parameter.
- Die **Aufgabe** des IPCC besteht darin, die **aktuelle wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Ergebnisse**, die weltweit zu dem Thema publiziert werden, umfassend, **objektiv, offen und transparent zusammenzutragen und zu bewerten**.
- Themengebiet reicht vom **Risiko menschengemachter Klimaänderung** über ihre **beobachteten und projizierten Auswirkungen** bis hin zu **Anpassungs- und Minderungsoptionen**.
- Anforderungen an IPCC-Berichte
 - **Politisch neutral**, obgleich sie sich objektiv mit politisch relevanten wissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Faktoren befassen müssen.
 - **Hohen wissenschaftlichen und technischen Standards genügen**
 - **Vielzahl an Meinungen und Fachkenntnissen sowie eine breite geographische Verteilung widerspiegeln**.

Quelle: www.de-ipcc.de/de/119.php

30

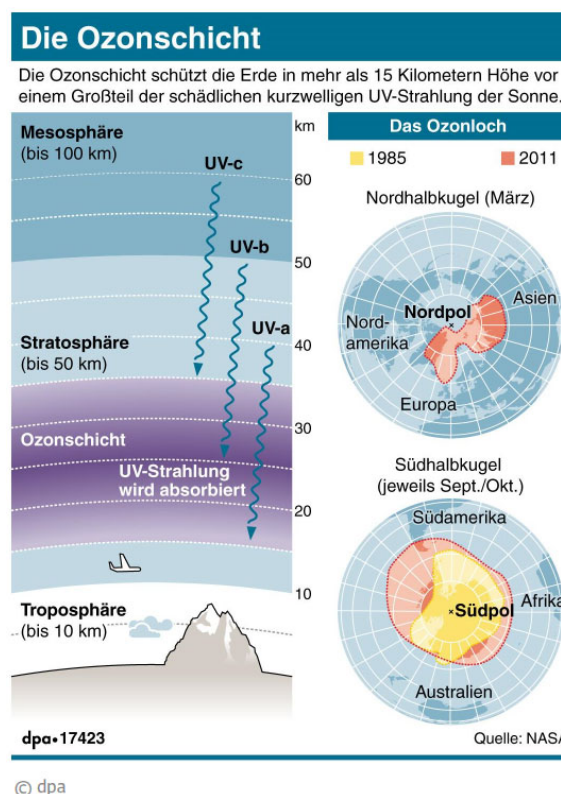
Stratosphärischer Ozonabbau

- Ozon in der Stratosphäre schützt die Erde vor energiereichen UV-Strahlen.
- Durch Emissionen von Fluorchlorkohlenwasserstoffen (FCKW) und deren Abbauprodukte wird Ozon in der Stratosphäre abgebaut.
- Emissionsquellen waren in der Vergangenheit FCKW-haltige Produkte, wie z.B. Spraydosen.
- Durch das Protokoll von Montreal wurde der Gebrauch von FCKW fast vollständig eingestellt, aber durch die hohe Persistenz dieser Chemikalien ist der Ozonabbau auch heute noch ein Problem.
- Die vermehrte UVB Strahlung kann zu verschiedenen Krankheiten führen, z.B. Hautkrebs und Augenerkrankungen (grauer Star).

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

31

Stratosphärischer Ozonabbau

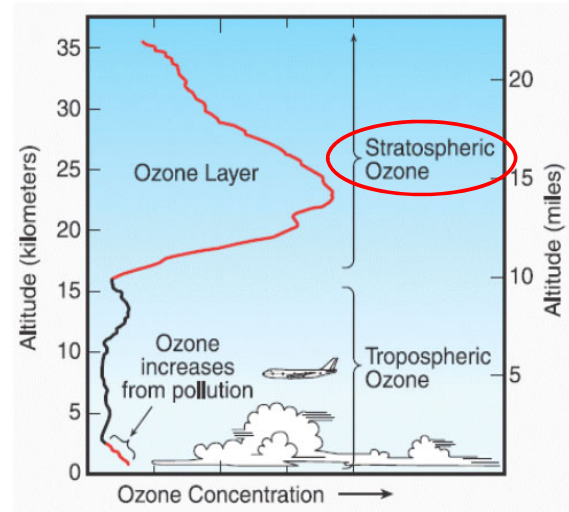
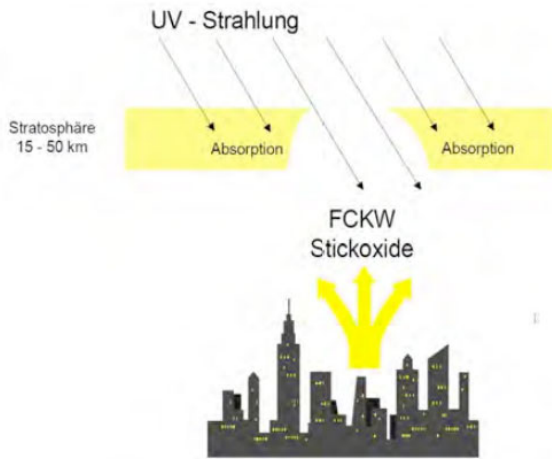


Quelle: <https://web.de/magazine/wissen/lerer/klima-ozonloch-33161346> (18.09.2018)

32

Stratosphärischer Ozonabbau

Ozonabbau: Wirkung und Verteilung der Luftschichten



Quelle: IBU 2006 / Fahey 2007

33

Quelle: <https://web.de/magazine/wissen/tiere/klima-ozonloch-33161346> (18.09.2018)

Wirkungsorientierte Charakterisierung

Abbau der stratosphärischen Ozonschicht

Abbau der stratosphärischen Ozonschicht

- Der Abbau der stratosphärischen Ozonschicht wird durch die Katalysatorwirkung von Halogenen (z.B. Cl, F) unter speziellen klimatischen Bedingungen verursacht.
- Unter Berücksichtigung der stratosphärischen Verweilzeit und vorausgesagter Immissionskonzentration wurden so genannte *ozone depletion potentials (ODP)* bestimmt.
- Die ODP beziehen sich auf die *Vergleichssubstanz Fluorchlorkohlenwasserstoff R11*.
- Auch hier können die *Charakterisierungsfaktoren für verschiedene Zeithorizonte* bestimmt werden.
- Empfohlen werden die Faktoren basierend auf der Integration der Wirkung ohne zeitliche Begrenzung

Ozonschichtabbau-Potenziale (ODP) infolge der Emission von 1 kg ausgewählter Gase, bezogen auf FCKW R11

[kg FCKW R11-Äquiv.]	
FCKW 11	1
FCKW 12	0.82
H-FCKW 22	0.034
H-FCKW 124	0.026
Tetrachlormethan	1.2
Methylchlorid	0.02
Halon-1301	12

34

Ökotoxische Effekte

- Chemische Verbindungen können auf Lebewesen, deren Population und natürliche Umgebung schädliche Effekte ausüben.
- Es wird unterschieden zwischen aquatischer, terrestrischer und Sediment-Ökotoxizität, wobei die aquatische Ökotoxizität oft im Zentrum steht.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)

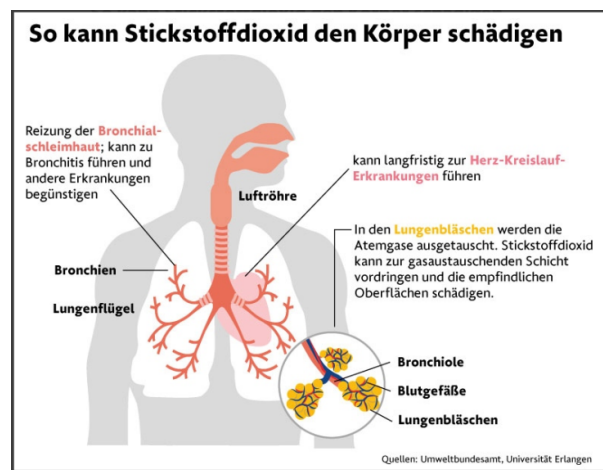
- <https://www.setac.org/>
- <https://www.setac-glb.de/>

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

35

Humantoxische Effekte

- Gase, Chemikalien und Partikelemissionen können zu toxischen Effekten und einer Beeinträchtigung der menschlichen Gesundheit führen.
- Beispielsweise können Partikel oder NO_x-Emissionen respirative Effekte nach sich ziehen.
- Oft wird zwischen kanzerogenen und anderen Wirkungen unterschieden.



Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

36

Quelle: www.faz.net, http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/diesel-affaere/diesel-fahrverbote-in-koeln-und-bonn-von-april-2019-an-15880711/infografik-so-kann-15880750.html#fotoBox_1_5880711 (Abruf am 08.11.2018)

Wirkungsorientierte Charakterisierung *Ökotoxizität und Humantoxizität*

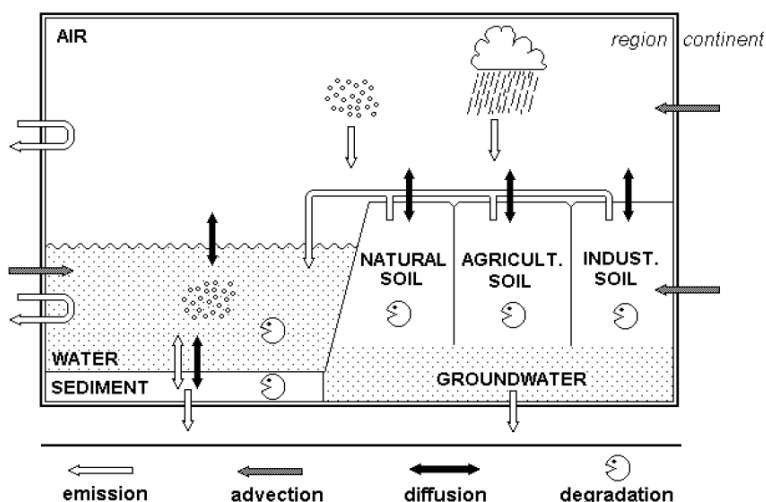
- Es existieren verschiedene Modellansätze zur Charakterisierung ökotoxisch wirkender Substanzen: Methoden auf der Basis von Faustregeln, von Modellen und von Modellen und empirischen Erkenntnissen.
- Empfohlen werden Charakterisierungsfaktoren auf der Basis des für Ökobilanzzwecke angepassten *Multimedia-Modells EUSES (European Union System for the Evaluation of Substances)*, das zur Zulassung neuer Chemikalien innerhalb der Europäischen Union verwendet wird.
- Da bei Zulassungen der kritischste Pfad die entscheidende Rolle spielt (*wie hoch können die Schadstoffkonzentrationen im Extremfall werden?*), sind für Ökobilanzzwecke Durchschnittswerte relevant.
- Unterschieden werden *Emissionen ökotoxischer Substanzen in*
 - *Luft,*
 - *Süßwasser,*
 - *Ozeane,*
 - *natürliche Böden, landwirtschaftlich genutzte Böden und*
 - *industriell genutzte Böden*
- Für jedes dieser *Kompartimente* werden *Charakterisierungsfaktoren* ausgewiesen *für Ökotoxizität in Binnengewässern, Süßwassersedimenten, Ozeanen, marinen Sedimenten und Böden.*
- Mit dem *Multimedia-Modells EUSES* werden auch *Charakterisierungsfaktoren für Humantoxizität* ermittelt.

37

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Wirkungsorientierte Charakterisierung *Ökotoxizität und Humantoxizität*

Schematische Darstellung des Multimedia-Modells EUSES (European Union System for the Evaluation of Substances) und der darin modellierten Stofftransfers



38

Quellen: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013
http://hpcp.itc.ec.europa.eu/our_activities/public-health/risk_assessment_of_biodiesel/euses

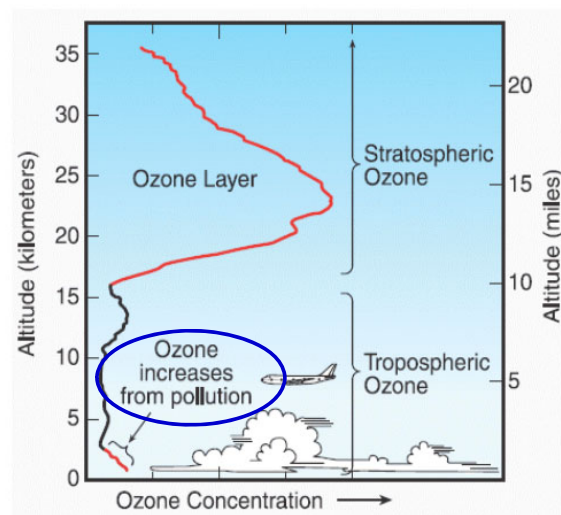
Bodennahe Ozonbildung

- Ozon ist toxisch und kann bei Inhalation z.B. zu respirativen Effekten führen.
- Emissionen, die zur bodennahen Ozonbildung beitragen, sind Stickstoffdioxid (NO_2) als Katalysator sowie flüchtige organische Substanzen (sogenannte VOC, volatile organic compounds).
- Schadstoffquellen sind vor allem der Straßenverkehr und andere Verbrennungsprozesse.
- Bodennahes Ozon wird unter dem Einfluss von UV-Strahlung gebildet und wird umgangssprachlich auch Sommersmog genannt, da das Problem hauptsächlich im Sommer auftritt.

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

39

Bodennahe Ozonbildung



Quelle: IBU 2006 / Fahey 2007

Quelle: HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.) Studie Nachhaltiges Bauen, Wiesbaden 2011

40

Quelle: <https://web.de/magazine/wissen/tiere/klima-ozonloch-33161346> (18.09.2018)

Wirkungsorientierte Charakterisierung

Photochemische Oxidanzienbildung

- Für Substanzen, die zur *Bildung troposphärischen Ozons (Sommersmog)* beitragen, wird das *photochemical ozone creation potential (POCP)* bestimmt.
- Das POCP ist ein relatives Mass mit *Ethylen oder Äthylen (C_2H_4) als Referenzsubstanz*, mithilfe dessen das Oxidationsvermögen eines Kilogramms einer Substanz verglichen mit derjenigen von Äthylen beschrieben wird.
- Die Hintergrundkonzentration der Stickoxide (NO_x) spielt für die Wirksamkeit der Kohlenwasserstoffe eine wichtige Rolle.
- Situationen mit hohen NO_x -Konzentrationen werden als üblich in Europa erachtet; deshalb werden Charakterisierungswerte für diesen Fall empfohlen

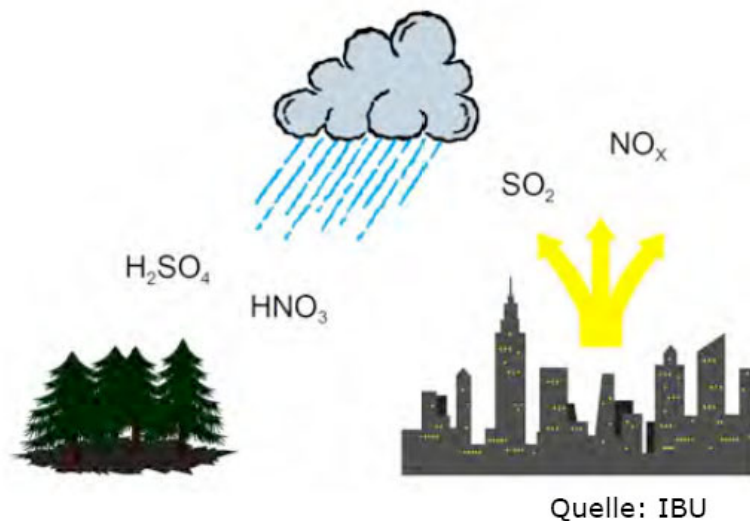
Photochemisches-Ozonbildungspotenzial infolge der Emission von 1 kg ausgewählter Gase, bezogen auf Ethylen (C_2H_4)

[kg C_2H_4 -Äquiv.]	
Ethylen	1
Acetylen	0.085
Benzaldehyd	-0.092
Methan	0.006
Pentan	0.395
Propylen	1.12
Styrol	0.142
Stickoxid (NO_2)	0.028
Stickstoffmonoxid (NO)	-0.427

41

Quelle: Frischnecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Versauerung



42

Quelle HA Hessen Agentur GmbH (Hrsg.) Studie Nachhaltiges Bauen, Wiesbaden 2011

Versauerung

- Schadstoffe wie SO_x , NO_x und NH_x können eine **Versauerung von Böden und Gewässern** verursachen (auch unter dem Stichwort „saurer Regen“ bekannt).
- **Quellen** solcher Emissionen sind vor allem **Verkehr**, industrielle **Verbrennungsprozesse** (z.B. Kraftwerke) und die **Tierhaltung**.
- Eine Versauerung kann **Pflanzenschäden durch Schwermetall-Immobilisierung** (Blatt-/Nadelschäden, Wurzelschäden) hervorrufen und langfristig zu einer Änderung der Artenzusammensetzungen führen.

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015

43

Wirkungsorientierte Charakterisierung Versauerung

- Der Beitrag verschiedener emittierter Substanzen zur Versäuerung aquatischer und terrestrischer Systeme wird mithilfe des **Versauerungspotenzials** bestimmt.
- Die mit der Emission versäuernder Substanzen einhergehende pH-Senkung in Gewässern und Böden kann zur Mobilisierung von Schwermetallen führen, welche damit für Pflanzen und Tiere verfügbar werden.
- Das Potenzial einer Substanz zur Bildung von H^+ -Ionen wird mit demjenigen der **Referenzsubstanz SO_2** verglichen, was zu entsprechenden Äquivalenzfaktoren führt.

Versauerungspotenzial infolge der Emission
von 1 kg ausgewählter Gase in Luft,
bezogen auf Schwefeldioxid (SO_2)

[kg SO_2 -Äquiv.]	
Ammoniak	1.88
Chlorwasserstoff	0.88
Fluorwasserstoff	1.60
Schwefelwasserstoff	1.88
Salpetersäure	0.51
Stickstoffdioxid	0.70
Stickstoffmonoxid	1.07
Stickstoffoxide	0.70
Phosphorsäure	0.98
Schwefeldioxid	1.00
Schwefeltrioxid	0.80
Schwefelsäure	0.65

44

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

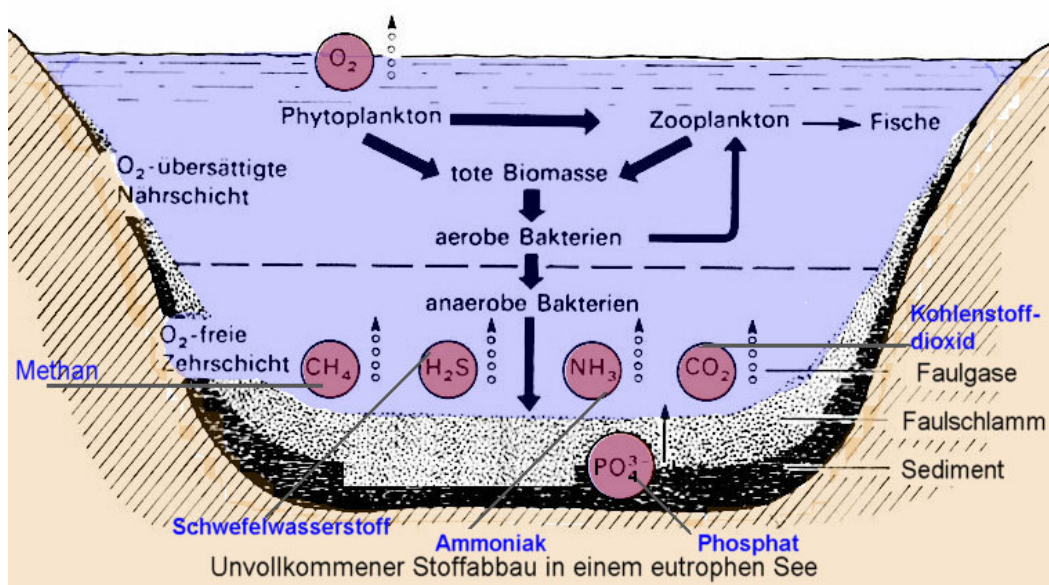
Eutrophierung

- Zustand von Gewässern, die einen **erhöhten Nährstoffgehalt** aufweisen.
- Nährstoffemissionen wie Phosphor (Pflanzenverfügbar als PO_4) und Stickstoff (Pflanzenverfügbar als NO_3 und NH_4) tragen zur Eutrophierung (Überdüngung) bei.
- Entscheidender Eutrophierungsfaktor ist die **Phosphatkonzentration**.
- Die hohen Nährstoffkonzentrationen werden in der Regel durch den **Eintrag von Waschmittelphosphaten und phosphatreichen Düngemitteln** verursacht.
- Quellen von solchen Emissionen sind die **Landwirtschaft** (Düngerauswurf), Luftemissionen (z.B. NO_x aus Verbrennungsprozessen) und **Abwasser**.
- In terrestrischen Systemen führt dies zu einem stärkeren Pflanzenwachstum, einer **Störung des natürlichen Nährstoffhaushalts** und zu einem **Verlust an Biodiversität**, da sich einzelne Arten auf Kosten von anderen (oft selteneren) Arten verbreiten.
- In Binnengewässern führt die Eutrophierung zu einer erhöhten Produktion von Biomasse und Anreicherung von toter Biomasse im Sediment. Dadurch wird Sauerstoff am Sediment gezehrt und es bildet sich eine anoxische Zone.
- Dies kann zu Fischsterben sowie zu einer Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität führen.

45

Quelle: Hellweg u.a.: Ökologische Systemanalyse, Vorlesungsskript, ETH Zürich 2015
Quelle: <https://www.uni-due.de/~hc0014/S%2BWM/Umweltaspekte/Eutrophierung.htm> (Abruf am 03.05.2019)

Eutrophierung in Binnengewässern



46

Quelle: <https://www.uni-due.de/~hc0014/S%2BWM/Umweltaspekte/Eutrophierung.htm> (Abruf am 03.05.2019)

Eutrophierung in Binnengewässern

- Durch diese "Überdüngung" der Gewässer kommt es zu einem verstärkten Algenwachstum.
- Auch die von den Algen lebenden Tiere und dementsprechend alle Folgeglieder der Nahrungskette vermehren sich stärker.
- Durch den Anstieg der Algenpopulation und deren photosynthetischer Aktivität reichert sich in den oberen Gewässerschichten Sauerstoff an (Sauerstoffüberschuss).
- Abgestorbene Algen und andere abgestorbene Organismen sinken zum Gewässergrund und werden in den unteren Gewässerschichten durch Mikroorganismen zersetzt. Es handelt sich dabei um aerobe Abbauvorgänge, es wird also verstärkt Sauerstoff zum Abbau des organischen Materials benötigt.
- Mit zunehmender Gewässertiefe wird diese Sauerstoffzehrung immer größer und die Sauerstoffbilanz kann negativ werden, d.h. es wird mehr Sauerstoff in dieser Gewässerschicht verbraucht als eingetragen wird.
- Dadurch entstehen in den Gewässern anaerobe Bedingungen, man sagt, dass Gewässer "kippt um".
- Die aeroben Abbauvorgänge werden durch anaerobe Abbauprozesse (ohne Sauerstoffbedarf) ersetzt, wobei Fäulnisbakterien giftige Gase wie Ammoniak, Methan und Schwefelwasserstoff freisetzen. In dem sauerstoffarmen, mit giftigen Abbaustoffen angereicherten Gewässer sterben viele Arten von Lebewesen ab.

47

Quelle: <https://www.uni-due.de/~hc0014/S%2BWWUmweltaspekte/Eutrophierung.htm> (Abruf am 03.05.2019)

Wirkungsorientierte Charakterisierung

Überdüngung (Eutrophierung)

- Der Beitrag verschiedener in Wasser und Boden emittierter Substanzen zur Überdüngung aquatischer und terrestrischer Systeme (Eutrophierung von Gewässern resp. Verdrängung von Magerstandorten) wird mithilfe des Überdüngungspotenzials bestimmt.
- Es ist ein relatives Maß für die Fähigkeit einer Substanz Biomasse bilden zu helfen, welche durch Abbau im Wasser für die Sauerstoffzehrung verantwortlich ist.
- Basis dazu ist das Massen-Verhältnis von Phosphor und Stickstoff in Algen. Als **Referenzsubstanz wird Phosphat (PO_4^{3-})** beigezogen.

Überdüngungspotenzial infolge der Emission von 1 kg ausgewählter Gase in Luft, Wasser und Boden, bezogen auf Phosphat (PO_4^{3-})

[kg PO_4^{3-} -Äquiv.]	
Ammoniak	0.35
Ammonium	0.33
Nitrat	0.1
Salpetersäure	0.1
Stickstoff	0.42
Stickstoffdioxid	0.13
Stickstoffmonoxid	0.2
Phosphat	1.0
Phosphorsäure	0.97
Phosphor	3.06
Phosphor(V)oxid (P_2O_5)	1.34
Chemischer Sauerstoffbedarf	0.022

48

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Landstreß

- Unter Landstress werden die Auswirkungen der Besetzung und Umwandlung von Landflächen verstanden.
- Zu den Umweltauswirkungen gehören z.B. der **Verlust von natürlichen Ökosystemen und der Biodiversität sowie der Verlust von Bodenfruchtbarkeit**.

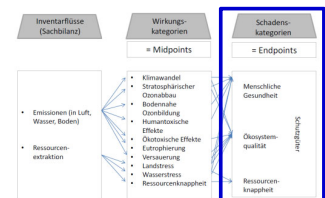
Wasserstreß

- Viele Gebiete leiden heute schon unter Wasserstress (Verfügbarkeit von Wasser wird kleiner oder ist relativ gering im Vergleich zum Ver-/ Gebrauch)
- Wird sich in der Zukunft durch erhöhten Nahrungsmittelkonsum einer wachsenden Bevölkerung (**wachsende Bewässerung**), Anbau von Biotreibstoffen (**Biofuels**) und regional auch durch **Klimawandel** verschärfen.
- Hiervon sind vor allem Gesundheitsprobleme in wirtschaftlich schwächeren Regionen zu erwarten.
- Ebenso leiden Ökosysteme, denen das Wasser für andere Zwecke (vor allem Bewässerung von Kulturpflanzen) entzogen wird.

Schadensbasierte Methoden

51

Schadensbasierte Methoden



- aggregieren die Wirkungen weiter auf in *Schadenskategorien*, die *Schäden an den drei Schutzgütern* quantifizieren (*Endpoints*): Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität, Ressourcenknappheit
- Beispiele:
 - **Eco-indicator 99** (NL),
 - **ReCiPe** (NL, 2009, europäische Methode; kombiniert die wirkungsbasierte Sichtweise der CML-Methode mit der schadensbasierten Sicht der Eco-indicator 99 Methode, Nachfolgerin von CML und Eco-Indicator 99)
 - **EDIP** (DK)
 - **Impact 2002+** (Nordamerika)
 - **LIME** (Japan)
- Neuere Methoden wie *ReCiPe* und *EDIP* erlauben eine *wirkungs- und eine schadensbasierte Wirkungsabschätzung*, d.h. es werden Äquivalenzfaktoren und Indikatoren sowohl auf *Midpoint-* als auch auf *Endpoint-Ebene* bereitgestellt, um die Transparenz der Analyse zu erhöhen und dennoch eine klare Entscheidungshilfe zu geben.

52

Schäden in der Kategorie „menschliche Gesundheit“

- werden bei den meisten schadensbasierten Methoden gemessen in **DALYs (Disability adjusted life years)**
- setzen sich zusammen aus den
 - aufgrund von Krankheit (oder Unfall) verlorenen Lebensjahren (**years of life lost, YLL**)
 - sowie der in einer verminderten Lebensqualität verbrachten Lebensjahren (**years lived disabled, YLD**):
YLD werden ermittelt, indem die mit Krankheit zugebrachten Jahre mit einem Gewichtungsfaktor der World Health Organization (WHO), abgeleitet aus Expertenschätzungen von Ärzten, multipliziert werden.

53

Quelle: Hellweg, Vorlesungsskript Ökobilanz, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich 2014

Schäden in der Kategorie „Ökosystemqualität“

- werden i.d.R. gemessen in **verlorenen Spezies (PDF, potentially damaged fraction of species)**
 - innerhalb eines Gebietes über einen definierten Zeitraum (z.B. $\text{m}^2 \cdot \text{Jahr}$):
 - 1 PDF / [$\text{m}^2 \cdot \text{Jahr}$] kann z.B. den **totalen Verlust der Artenvielfalt auf einem m^2 während einem Jahr** bedeuten oder 10% Verlust über 10 Jahre.
- Neuere Methoden berücksichtigen zusätzlich die **Vulnerabilität (Verletzlichkeit) von Ökosystemen und Arten**,
 - z.B. durch Gewichtung der verlorenen Arten mit der **IUCN (International Union for Conservation of Nature) Roten-Liste-Einstufung**.

54

Quelle: Hellweg, Vorlesungsskript Ökobilanz, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich 2014

Schäden an den Ressourcen (Ressourcenverbrauch)

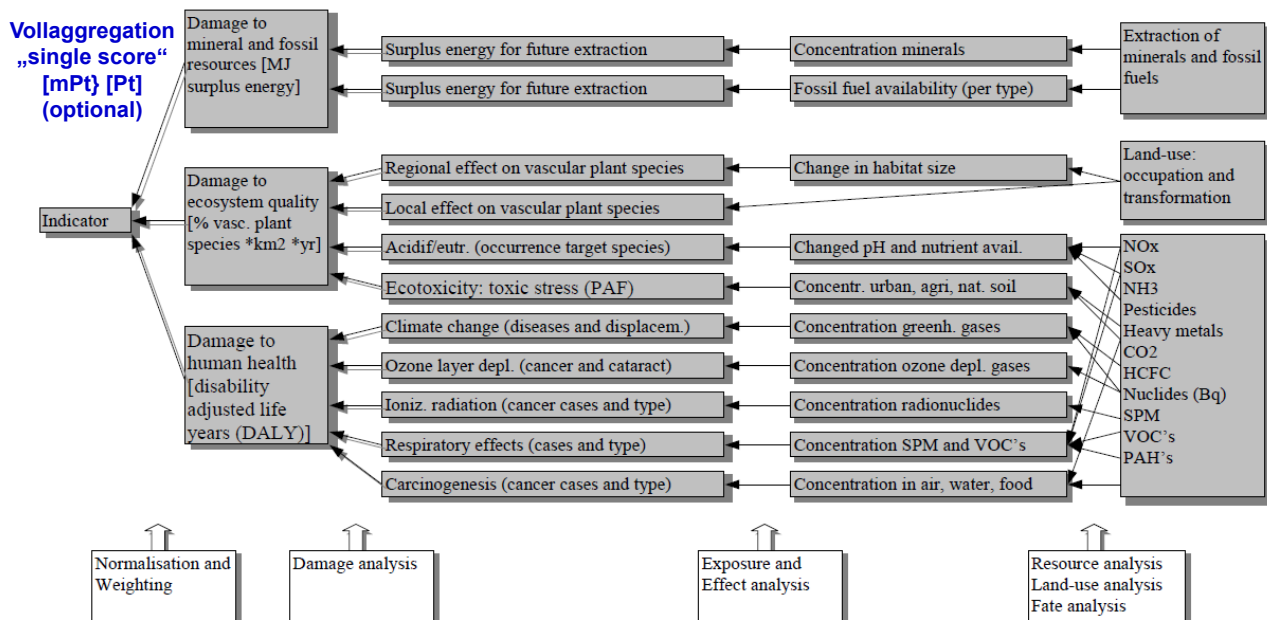
- werden oft beschrieben durch die **zusätzlichen Kosten** oder die **zusätzlich erforderliche Energie**, die es braucht, **um in Zukunft Ressourcen mit verminderter Qualität zu fördern**.
- werden durch einen **Indikator** gewichtet, der die **Qualität der verbleibenden mineralischen und fossilen Ressourcen** beschreibt:
 - Der Indikator drückt somit **mithilfe erhöhter Energieverbräuche oder zusätzlicher Kosten des zukünftigen Ressourcenabbaus den Qualitätsverlust** aus, die es braucht, um in Zukunft Ressourcen mit verminderter Qualität (z.B. geringerem Erzgehalt bei mineralischen Ressourcen) zu fördern.

55

Quelle: Hellweg, Vorlesungsskript Ökobilanz, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich 2014

Schadensorientierte Wirkungsabschätzungsmethode Eco-indicator 99

wurde entwickelt von PRe Consultants (NL); letzte Aktualisierung stammt von 2001
enthält KEINE Midpoints, NUR Endpoints!



Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Schadensorientierte Wirkungsabschätzungsmethode ReCiPe

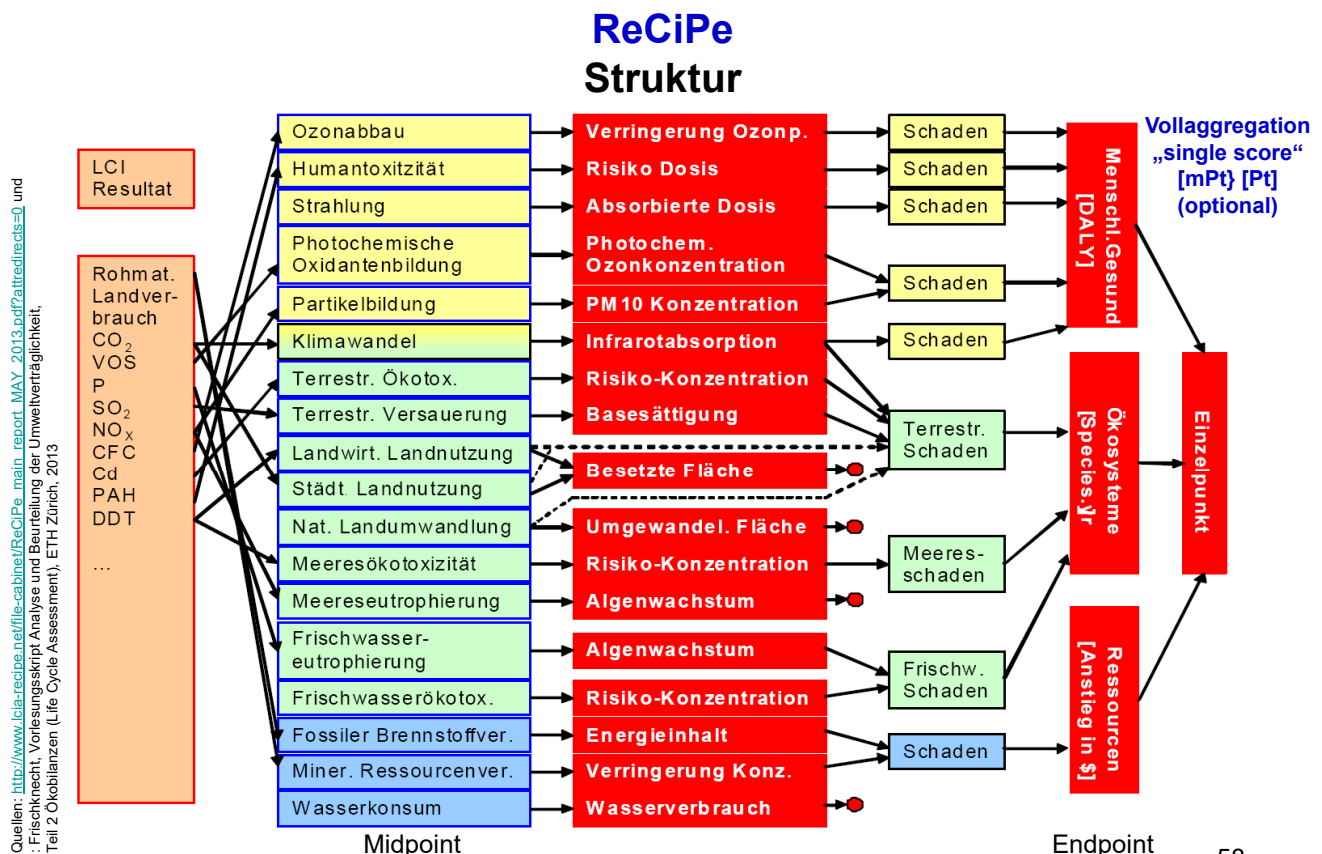
ReCiPe (2016) vereinigt Elemente von CML (2001) und Eco-indicator 99

- verwendet 18 Wirkungskategorieindikatoren (Midpoints)
 - modelliert zu erwartende Schäden an den 3 Schutzgütern: Menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Ressourcen (Endpoints)
 - wirkungsorientierte Charakterisierung erfolgt ähnlich der CML-Methode
 - schadensbasierte Modellierung und Vollaggregation erfolgt ähnlich der Eco-Indicator 99-Methode
- erlaubt eine wirkungs- und eine schadensbasierte Wirkungsabschätzung:
 - Äquivalenzfaktoren werden auf „Midpoint“ und auf „Endpoint“ bereitgestellt,
 - erhöht die Transparenz der Analyse
 - gibt aber auch klare Entscheidungshilfe durch Ergebnisverdichtung (Endpoints)

Quellen:

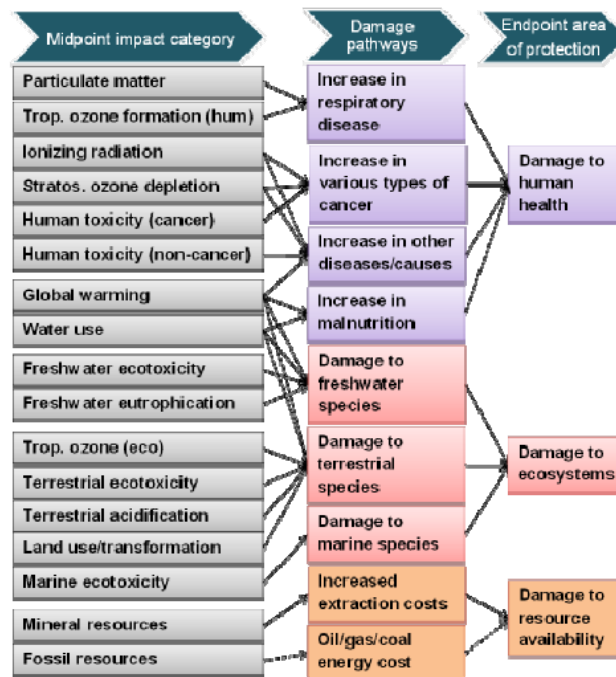
<https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>
<https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/downloads>

57



58

Relationship between LCI parameters (left), midpoint indicator (middle) and endpoint indicator (right) in ReCiPe 2016



Quelle: National Institute for Public Health and the Environment – Ministry of Health, Welfare and Sport (NL)
<https://www.rivm.nl/en/life-cycle-assessment-lca/recipe>

59

Points [Pt] bzw. Millipoints [mPt].

- Das vollaggregierte Ergebnis (**single score**) hat bei ReCiPe (und Eco-indicator 99) die Dimension **Points [Pt]** oder **Millipoints [mPt]**.
- **Ein Eco-Indikator-Point entspricht einem Tausendstel der gesamten jährlichen Umweltlasten, die durch einen durchschnittlichen Europäer verursacht wird.**
- Die Umweltlasten der Materialien und deren Prozesse werden häufig in millipoints (mPt) angegeben, entsprechen also einem Millionstel dieser durchschnittlichen Umweltlast pro Europäer.
- Je höher dieser Wert ist, desto umweltschädlicher ist die Wirkung des Produktes.
- Für ein einzelnes Produkt können damit die Umweltbeeinträchtigungen in den einzelnen Lebenslaufphasen verglichen werden.
- Ebenso kann man mehrere Produkte gleichen Nutzens miteinander vergleichen.

⇒ Die Eco-indicator-Points nach **ReCiPe** und die Eco-indicator-Points nach **Eco-indicator 99** sind **nicht miteinander vergleichbar**, da es sich um zwei unterschiedliche Wirkungsabschätzungsmethoden handelt!

Quelle: <https://www.ecodesignkit.de/> (04.05.2017)

60

Gewichtungsfaktoren für schadensbasierte Bewertung und optionale Vollaggregation

- Die meisten der schadensbasierten Wirkungsabschätzungsmethoden schlagen
 - *Gewichtungsfaktoren für eine schadensbasierte Wirkungsabschätzung (Endpoints)* und
 - *Gewichtungsfaktoren für eine optionale Vollaggregation (Single Score)* vor.
- Bei ReCiPe, Eco-indicator 99 und LIME
 - wurden Expertenbefragungen getätigt, auf deren Basis die *Gewichtungsfaktoren für eine schadensbasierte Wirkungsabschätzung (Endpoints)* und *für die optionale Vollaggregation (Single Score)* zur Gewichtung zwischen den *einzelnen Schadenskategorien Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität, Ressourcenknappheit* entwickelt wurden.
 - Um eine *Sensitivitätsanalyse* zu erlauben, werden *verschiedene Gewichtungssets* bereitgestellt, *die unterschiedlichen Typen von Verhaltens- und Denkmuster entsprechen*.
- Die wirkungsorientierte dänische EDIP Methode schlägt eine Vollaggregation aufgrund von politischen Zielwerten (ähnlich der Schweizer Methode der ökologischen Knappheit) vor

61

Modellbildung für Schadens- und Vollaggregation bei ReCiPe (und Eco-indicator 99)

- Bei der Modellbildung für die Schadens- und für die Vollaggregation sind Annahmen über Parameter und Modellgrenzen notwendig, die Werturteile beinhalten und die Ergebnisse beeinflussen können.
 - *Es dreht sich insbesondere um drei Fragen:
Wie umgehen mit nicht gesichertem Wissen über*
 - *Umweltschäden?*
 - *Schäden, die in ferner Zukunft auftreten können?*
 - *Schäden, die an fernen Orten auftreten (können)?*
 - Die Ausgestaltung und Implementierung der Wertemuster in den Methoden Eco-indicator 99 und ReCiPe basiert auf den *drei Kulturtypen: Egalitarian, Individualist, Hierarchist*
- ⇒ *Drei verschiedene kulturelle Werthaltungen führen zu drei Schadensmodellen*
= drei Gewichtungssets mit Werten zu den Schadenskategorien Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen

62

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Drei Kulturtypen: **Egalitarian**, **Individualist**, **Hierarchist**

E (Egalitarian):

- Leben ist voller Bedrohungen: **Risiken = Vermeiden**
- Zukünftige Generationen ebenso wichtig wie heutige (**Langzeitperspektive**);
- Weit entfernt lebende Menschen ebenso wichtig wie die eigene Familie;
- Minimale wissenschaftliche Indizien der Umweltschädlichkeit eines Schadstoffes reichen aus, um ihn in einer Ökobilanz zu bewerten (**vorsichtige Grundhaltung**).

I (Individualist):

- Leben ist voller Gelegenheiten; **Risiko = Chance zum Fortschritt**
- Hier und heute sind sehr wichtig (**Kurzzeitperspektive**, eigene Familie und nähere Umgebung sind wichtiger als Menschen anderer Regionen);
- Nur wissenschaftlich klar beweisbare Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potenziellen Schadstoffen werden anerkannt (**risikofreudige Grundhaltung**).

63

Quelle: In Anlehnung an Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Drei Kulturtypen: **Egalitarian**, **Individualist**, **Hierarchist**

H (Hierarchist):

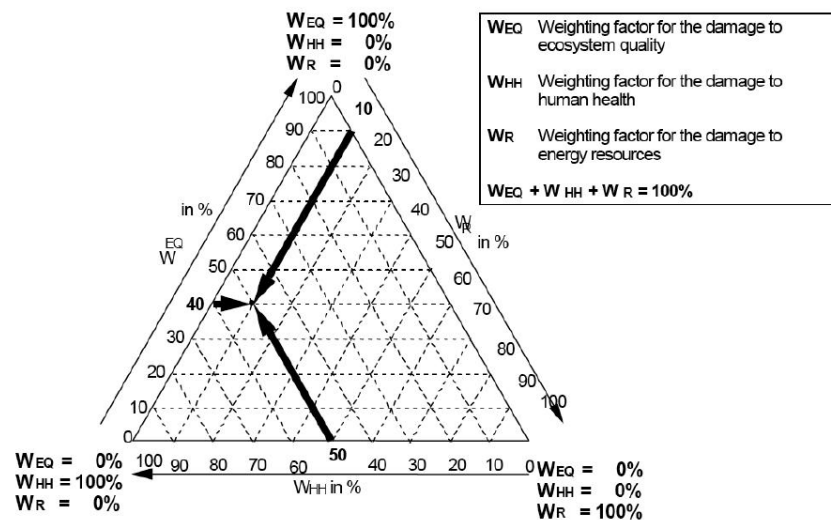
- Frage der Ordnung: **Risiken = akzeptabel, wenn institutionell unter Kontrolle**
- **Wägt** jeweils zwischen der Gegenwart und der Zukunft, zwischen dem Hier und der Welt und zwischen Risiken und den Nutzen **ab**.
- Ein **Konsens der Wissenschaftler/-innen über Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potenziellen Schadstoffen rechtfertigt deren Einbeziehen in Ökobilanzen**.

64

Quelle: Frischknecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Gewichtung zwischen den drei Schadenskategorien

- Die *abschließende Gewichtung zwischen den drei Dimensionen Menschliche Gesundheit, Ökosystemqualität, Ressourcenknappheit* erfolgt auf der Basis der Ergebnisse eines an der ETH Zürich unter Ökobilanz-Experten durchgeführten schriftlichen Panels.
- Die dort eruierten Gewichtungsfaktoren können als Default-Werte verwendet werden.
- (andere, z.B. firmenspezifische Gewichtungstriple sind denkbar)



65

Quelle: Frischnecht, Vorlesungsskript Analyse und Beurteilung der Umweltverträglichkeit, Teil 2 Ökobilanzen (Life Cycle Assessment), ETH Zürich, 2013

Gewichtungssets zur Vollaggregation bei ReCiPe

Weighting

Perspective:	Ecosystems	Human health	Resources	Total
Average	400	400	200	1000
Individualist	250	550	200	1000
Hierarchist	400	300	300	1000
Egalitarian	500	300	200	1000

Note: we recommend to always use the average weighting.

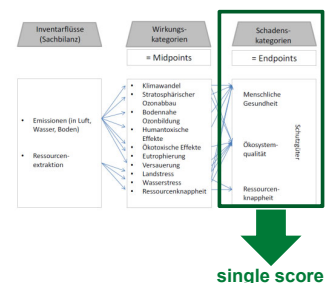
Quelle: <http://www.leia-recipe.net/file-cabinet/ReCiPe111.xlsx?attredirects=0>

66

Vollaggregierende Methoden

67

Vollaggregierende Methoden



- Vollaggregierende Methoden aggregieren die Resultate **immer** weiter auf, um ein **eindimensionales Ergebnis** bereitzustellen.

Beispiele:

- **Methode der ökologischen Knappheit** (Umweltbelastungspunkte, UBP, Schweiz):
Gewichtung gemäß politischer Zielsetzung
- **EPS** (Environmental Priority Strategy, Schweden):
Monetarisierungsansatz

68

Methode der ökologischen Knappheit (nur Schweiz) (Umweltbelastungspunkte, UBP)

- Diese Methode war eine der ersten Wirkungsabschätzungsmethoden überhaupt und wurde seitdem mehrmals aktualisiert.
- Eine **Gewichtung** wird **aufgrund** von (zum großen Teil Schweizerischen) **politischen Zielwerten** vorgenommen und so ein eindimensionales Ergebnis (in Umweltbelastungs- oder Ökopunkten) berechnet.
 - Ein Teil der Emissionen und Ressourcenverbräuche (Sachbilanz) wird klassifiziert, während ein anderer Teil direkt mit politischen Zielwerten gewichtet wird.
 - Die Schritte Klassifizierung und Charakterisierung werden nur für klimarelevante und ozonschichtabbauende Substanzen und für Primärenergie (sowie für die Säuren HCl und HF) durchgeführt.
 - Ansonsten werden die Umwelteinwirkungen (Emissionen und Ressourcenverbrauch) und Abfallmengen aus der Sachbilanz direkt gewichtet.
 - Daher ist diese Methode nicht vollständig ISO-konform

Weitere Informationen:

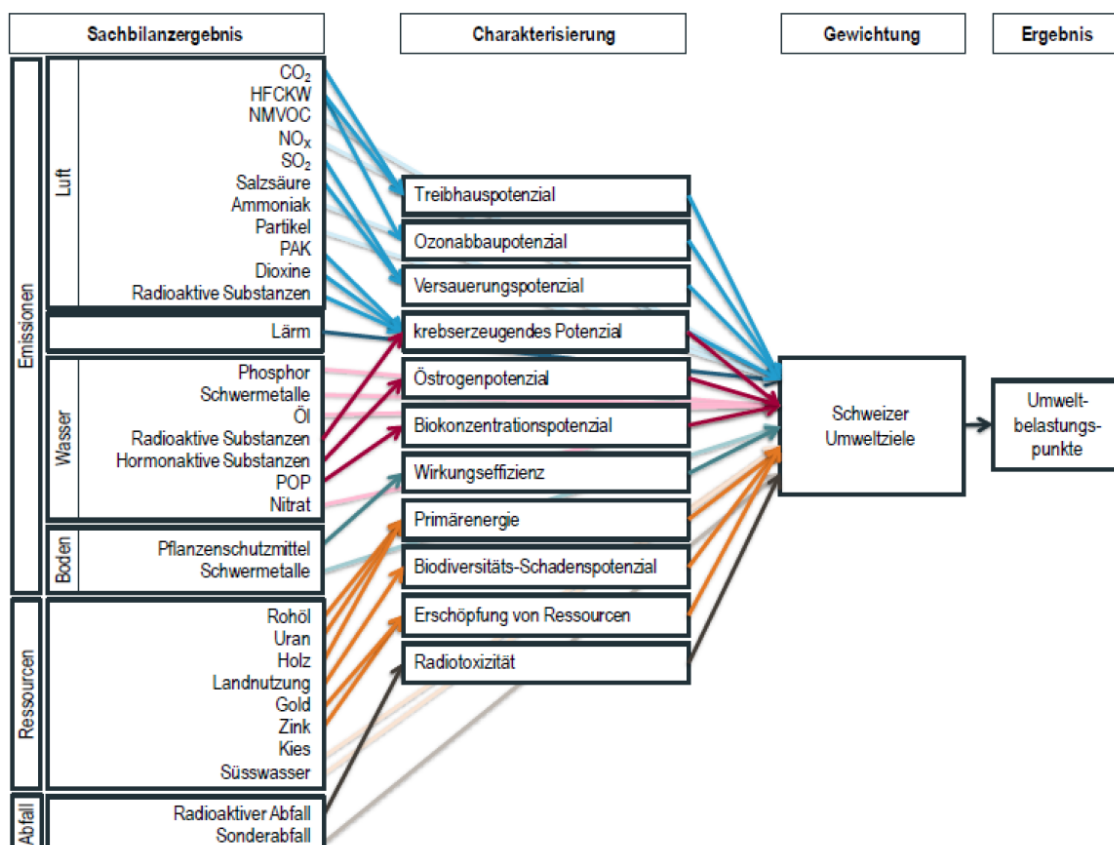
Bundesamt für Umwelt BAFU, Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäß der Methode der ökologischen Knappheit;

<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>

http://www.syrcon-wi.de/projekte/VOLKSWAGEN_SYRCON_Methode_der_okol._Knappheit_fuer_Deutschland.pdf

69

Struktur der Methode der ökologischen Knappheit (Schweiz) (Umweltbelastungspunkte, UBP)



70

Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU, Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäß der Methode der ökologischen Knappheit;
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>

Ansätze zur Entwicklung einer Methode der ökologischen Knappheit für Deutschland

- Ziel: Anpassung der Methode der ökologischen Knappheit ist die Bereitstellung von Ökofaktoren für deutsche Rahmenbedingungen.
- Ahbe, S.; Schebek, L.; Jansky, N.; Wellge, S.; Weihofen, S. (2014): „*Methode der ökologi-schen Knappheit für Deutschland – Eine Initiative der Volkswagen AG*“; Logos Verlag Berlin GmbH, Berlin
- http://www.syrcon-wi.de/projekte/VOLKSWAGEN_SYRCON_Methode_der_okol._Knappheit_fuer_Deutschland.pdf

71

Vollaggregierende Monetarisierungsmethode EPS (Environmental Priority Strategy) Methode

- ist eine der wenigen Methoden, die eine Vollaggregation mit einer Monetarisierung vornimmt.
- wurde in Schweden 1999 entwickelt
- wird vor allem in Skandinavien (aber auch in andere europäischen Ländern) angewendet.
- Grundlage für die Bewertung bildet der „Willingness to pay“-Ansatz, d. h. die Bereitschaft eines Individuums (oder eines Staates) für ein oder mehrere der Schutzgüter bzw. deren Erhaltung zu zahlen.
- Maßeinheit ist eine Environmental Load Unit ELU (pro kg oder einer vergleichbaren Einheit), welche einen monetären Wert in Euro [€] hat.
- Grundgedanke ist, dass durch Aufwendung einer ECU eine Umweltveränderung in Höhe einer ELU verhindert oder aufgewogen werden kann

72

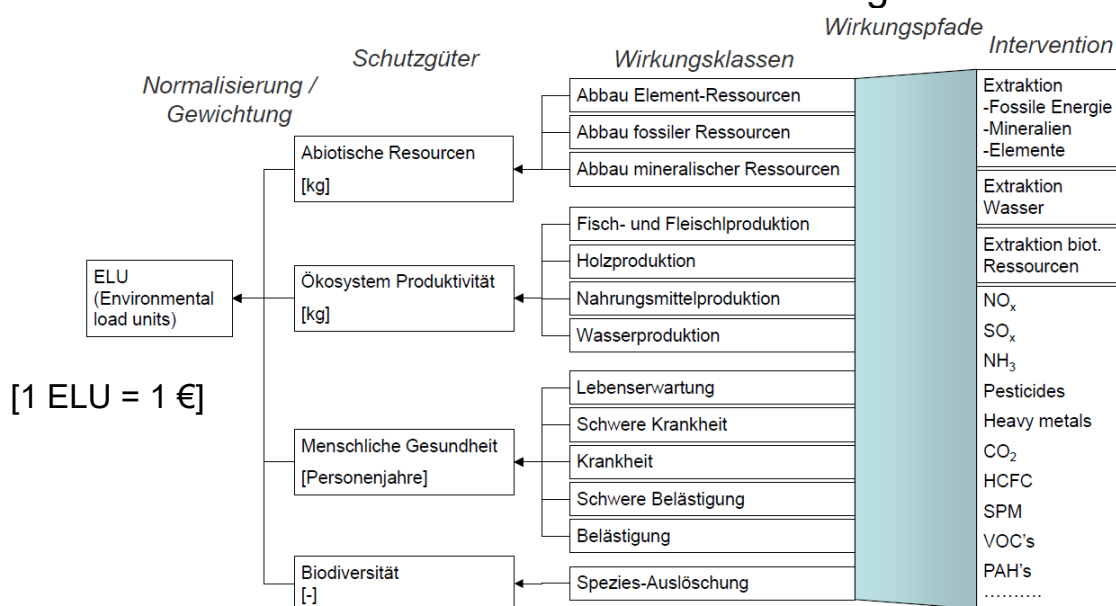
Monetäre Bewertung von Umweltschäden (Monetarisierung)

- Die monetäre Bewertung von Umweltschäden (Monetarisierung) dient dazu, einer **Umwelteinwirkung** (z.B. der Emissionsmenge eines chemischen Elementes oder einer chemischen Verbindung) einen **Geldwert zuzuordnen**.
- Die Höhe des errechneten Geldwertes gilt als Ausdruck des Schadens, welcher der Gesellschaft durch diese Emissionsmenge zugefügt wird. Dieses Schadensmaß kann in unterschiedlichen Zusammenhängen verwandt werden
- Die Realisierung des umweltökonomischen Instruments der **Internalisierung externer Kosten** setzt voraus, dass die Kosten der Umweltschäden bekannt sind, so daß diese auf den/die Schadenverursacher/in überwältzt werden können.
- Im Kontext des Bewertungs-Schritts in der Ökobilanzierung kann der Geldwert als Ausdruck des relativen gesellschaftlichen Wertes von unterschiedlichen Umweltschäden interpretiert werden.
- Durch den einheitlichen Maßstab Geld werden verschiedene Umweltschäden vergleichbar.

Quelle: Ansätze zum Vergleich von Umweltschäden, Nachbearbeitung des 9. Diskussionsforums Ökobilanzen vom 4. Dezember 1998, ETH Zürich
http://www.icaforum.ch/Portals/0/DF_Archive/DF%20bis%2012/df9.pdf

73

Struktur der EPS Methode als Beispiel für eine Methode mit Vollaggregation auf Basis von Monetarisierung



- Die Ergebnisse der Sachbilanz („Intervention“, rechts) werden bezüglich verschiedener Wirkungsklassen und diese bezüglich der vier Schutzgüter bewertet
- Anschließend wird mittels **Monetarisierung** zu einem **eindimensionalen Ergebnis** aggregiert.

74

Quelle: Hellweg, Vorlesungsskript Ökobilanz, Institut für Umweltingenieurwissenschaften, ETH Zürich 2014