



<b>Impressum</b>	
<b>Zitervorschlag</b>	Christoph Meili;Niels Jungbluth;Savian Scanu;Nadia Malinverno (2023) Ökobilanz von Trinkwasser und Mineralwasser in Deutschland. ESU-services GmbH im Auftrag von wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Schaffhausen, Schweiz, <a href="http://www.esu-services.ch/de/publications/">www.esu-services.ch/de/publications/</a>
<b>Auftragnehmer</b>	ESU-services GmbH, Rheinstrasse 20, CH-8200 Schaffhausen Tel. 0041 44 940 61 32 <a href="mailto:jungbluth@esu-services.ch">jungbluth@esu-services.ch</a> <a href="http://www.esu-services.ch">www.esu-services.ch</a>
<b>Auftraggeber</b>	wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH Dr. Stefan Koch, Leiter Produktmanagement Josef-Wirmer-Straße 3, DE-53123 Bonn Durchwahl: 0228 9191-425, Mobil: 0173 9274315 <a href="mailto:koch@wvgw.de">koch@wvgw.de</a> <a href="http://www.wvgw.de">www.wvgw.de</a>
<b>Stichwörter</b>	Trinkwasser; Mineralwasser
<b>Kurztext</b>	In dieser Studie werden verschiedene Trink- und Mineralwässer in einer Ökobilanz verglichen.
<b>Über uns</b>	ESU-services GmbH wurde im Jahre 1998 gegründet. Die Hauptaktivitäten der Firma sind Beratung, Forschung, Review und Ausbildung im Bereich Ökobilanzen. Fairness, Unabhängigkeit und Transparenz sind wesentliche Merkmale unserer Beratungsphilosophie. Wir arbeiten sachbezogen und führen unsere Analysen unvoreingenommen durch. Wir dokumentieren unsere Studien und Arbeiten transparent und nachvollziehbar. Wir bieten eine faire und kompetente Beratung an, die es den Auftraggebern ermöglicht, ihre Umweltperformance zu kontrollieren und kontinuierlich zu verbessern. Zu unseren Kunden zählen verschiedene nationale und internationale Firmen, Verbände und Verwaltungen. In einigen Bereichen wie Entwicklung und Betrieb webbasierter Ökobilanz-Datenbanken oder Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln und Konsummustern konnte unser Team Pionierarbeit leisten.
<b>Urheberrecht</b>	Soweit nicht anders vermerkt bzw. direkt vereinbart sind sämtliche Inhalte in diesem Bericht urheberrechtlich geschützt. Das Kopieren oder Verbreiten des Berichts als Ganzes oder in Auszügen, unverändert oder in veränderter Form ist nicht gestattet und Bedarf der ausdrücklichen Zustimmung von ESU-services GmbH oder des Auftraggebers. Der Bericht wird auf der Website <a href="http://www.esu-services.ch">www.esu-services.ch</a> und/oder derjenigen des Auftraggebers zum Download bereitgestellt. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder dem Auftragnehmer hergestellt werden können. Für Forderungen außerhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab. Es ist nicht gestattet, den Bericht oder Teile davon auf anderen Websites bereitzustellen. In veränderter Form bedarf die Weiterverbreitung der Inhalte der ausdrücklichen Genehmigung durch ESU-services GmbH. Zitate, welche sich auf diesen Bericht oder Aussagen der Autoren beziehen, sollen den Autoren vorgängig zur Verifizierung vorgelegt werden.
<b>Haftungsausschluss</b>	Die Informationen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht wurden auf Grundlage von als verlässlich eingeschätzten Quellen erhoben. Die Erstellung erfolgte im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. ESU-services GmbH und die Autoren geben keine Garantie bezüglich Eignung, oder Vollständigkeit der im Bericht dargestellten Informationen. ESU-services GmbH und die Autoren lehnen jede rechtliche Haftung für jede Art von direkten, indirekten, zufälligen oder Folge-Schäden oder welche Schäden auch immer, ausdrücklich ab.
<b>Inhaltliche Verantwortung</b>	Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschließlich die Auftragnehmer verantwortlich.
<b>Version</b>	20.06.23 20:38 <a href="https://esuserVICES-my.sharepoint.com/personal/jungbluth_esuserVICES_onmicrosoft_com/Documents/ESU-intern/690%20LCA%20DE%20Trinkwasser/Bericht/meili-2023-LCA-Trinkwasser-DE-v7.0-ohne%20vertraulicher%20Anhang.docx">https://esuserVICES-my.sharepoint.com/personal/jungbluth_esuserVICES_onmicrosoft_com/Documents/ESU-intern/690 LCA DE Trinkwasser/Bericht/meili-2023-LCA-Trinkwasser-DE-v7.0-ohne vertraulicher Anhang.docx</a>

---

# Inhalt

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>1</b>
Ziel der Studie	1
Analyse der Trinkwasserbereitstellung	2
Analyse der Mineralwasserbereitstellung	3
Vergleich einzelner Umweltindikatoren für stilles, ungekühltes Wasser	4
Vergleich einzelner Umweltindikatoren für kohlenensäurehaltiges, gekühltes Wasser	5
Vergleich der Treibhausgasemissionen	6
Vergleich der gesamten Umweltbelastungen aller untersuchten Varianten	7
Schlussfolgerungen der Studie	8
<b>1 EINFÜHRUNG</b>	<b>9</b>
1.1 Überblick	10
1.2 Eckdaten zum Wasserkonsum in Deutschland	11
1.2.1 Trinkwasser	11
1.2.2 Mineralwasser	14
<b>2 ZIELDEFINITION UND UNTERSUCHUNGSRAHMEN</b>	<b>15</b>
2.1 Fragestellung	15
2.2 Funktionelle Einheit	15
2.3 Geographische Rahmenbedingungen	16
2.4 Zeitliche Rahmenbedingungen	16
2.5 Technische Rahmenbedingungen	16
2.6 Systemgrenzen	16
2.6.1 Lebenszyklus Trinkwasser	17
2.6.2 Lebenszyklus Mineralwasser	18
2.6.3 Aspekte außerhalb der Systemgrenzen	18
2.7 Abschneidekriterien	18
2.8 Allokation	19
2.8.1 End-of-life	19
2.8.2 Koppelprodukte	20
2.8.3 Transporte	21
2.9 Szenarien	21
2.10 Methoden zur Wirkungsabschätzung der Sachbilanzergebnisse	25
2.10.1 Gesamtumweltbelastungen	25
2.10.2 CO <sub>2</sub> -Fussabdruck	27
2.11 Veröffentlichung	28
2.12 Sensitivitätsanalysen	28
2.13 Unsicherheitsanalysen	28
2.14 Kritische Prüfung gemäß ISO-Normen	28
<b>3 DATENERHEBUNG</b>	<b>29</b>
3.1 Trinkwasser	29
3.1.1 Bereitstellung	29
3.1.2 Konsum	33
3.2 Mineralwasser	34
3.2.1 Bereitstellung	34
3.2.2 Supermarkt	35
3.2.3 Konsum	37

3.3	Modellierung	37
<b>4</b>	<b>AUSWERTUNG</b>	<b>38</b>
4.1	Charakterisierte Umweltbelastungen	39
4.2	Analyse der potenziellen, gewichteten Umweltbelastung	43
4.2.1	Trinkwasserbereitstellung	43
4.2.2	Trinkwasser bei den Konsumierenden	47
4.2.3	Mineralwasserbereitstellung	50
4.2.4	Mineralwasser, verpackt, ab Supermarkt	52
4.2.5	Mineralwasser, im Haushalt	57
4.3	Vergleiche der gewichteten Umweltbelastungen	60
4.3.1	Vergleich der Bereitstellung von Trink- und Mineralwasser	60
4.3.2	Vergleich ungekühlter, stiller Wässer	61
4.3.3	Vergleich gekühlter, stiller Wässer	62
4.3.4	Vergleich ungekühlter, kohlenstoffhaltiger Wässer	63
4.3.5	Vergleich gekühlter, kohlenstoffhaltiger Wässer	64
4.4	Vergleich der gewichteten Umweltbelastungen mit Literaturdaten	65
4.4.1	Trinkwasser	65
4.4.2	Mineralwasser ab Supermarkt	67
4.4.3	Mineralwasser, im Haushalt	68
4.5	Treibhausgasemissionen	68
4.5.1	Trinkwasserbereitstellung	69
4.5.2	Trink- und Mineralwasser im Haushalt	70
<b>5</b>	<b>INTERPRETATION</b>	<b>71</b>
5.1	Unsicherheiten	71
5.2	Vergleich mit Literaturwerten	73
5.3	Schlussfolgerungen	73
5.4	Empfehlungen für den Konsum von Wasser zum Trinken	74
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>75</b>
<b>A.</b>	<b>ANHANG ISO 14040-44 (PRODUKTÖKOBILANZEN)</b>	<b>81</b>
<b>B.</b>	<b>ANHANG BEWERTUNGSMETHODE PEF - EUROPÄISCHER UMWELTFUßABDRUCK (2018)</b>	<b>84</b>
B.1	Charakterisierungsmodelle	84
B.2	Klimawandel	85
B.3	Ozonabbau	85
B.4	Ionisierende Strahlung	85
B.5	Photochemische Ozonbildung	85
B.6	Feinstaub	85
B.7	Humantoxizität, nicht Krebs	85
B.8	Humantoxizität, Krebs	86
B.9	Versauerung	86
B.10	Eutrophierung bzw. Überdüngung	86
B.10.1	Süßwasser	86
B.10.2	Meer	86
B.10.3	Terrestrisch	86
B.11	Ökotoxizität, Süßwasser	87
B.12	Landnutzung	87
B.13	Wassernutzung	87

---

B.14 Ressourcennutzung, fossil	87
B.15 Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	87
B.16 Langzeitemissionen	87
B.17 Normierung und Gewichtung	88
B.18 Referenzwerte und Beispiele	88
<b>C. ANHANG BEWERTUNGSMETHODE KLIMAÄNDERUNGSPOTENTIAL (2021)</b>	<b>90</b>
<b>D. UMWELTBELASTUNGEN GEMÄß METHODE DER ÖKOLOGISCHEN KNAPPHEIT</b>	<b>92</b>
D.1 Gewichtung Deutschland 2013	92
D.1.1 Trinkwasserbereitstellung	92
D.1.2 Trink- und Mineralwasser im Haushalt	93
D.2 Gewichtung Schweiz 2021	93
D.2.1 Trinkwasserbereitstellung	94
D.2.2 Trink- und Mineralwasser im Haushalt	95
<b>E. HINTERGRUNDDATENBANK</b>	<b>96</b>
<b>F. ANHANG ESU-SERVICES GMBH</b>	<b>98</b>
F.1 Unsere Philosophie «fair consulting in sustainability»	98
F.2 Erfahrenes Projektteam	98
F.2.1 Dr. Niels Jungbluth, Geschäftsführer und Inhaber	98
F.2.2 Christoph Meili, Projektleiter	99
F.2.3 Maresa Bussa, Projektleiterin Ökobilanzen	99
F.2.4 Martin Ulrich, Projektleiter	99
F.2.5 Samuel Solin, Projektleiter/Mitarbeiter	100
F.3 Ökologische und soziale Verantwortung	100
F.4 Gemeinsame Werte in einem weltweiten Netzwerk	101
F.5 Mehr als 25 Jahre Erfahrung	101
F.6 Erfolgreiche Medienarbeit zum Thema Ernährung	102
<b>G. GUTACHTEN ÜBER DIE KRITISCHE PRÜFUNG DURCH DAS IFEU-INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG GGMBH</b>	<b>104</b>

# Zusammenfassung

## Ziel der Studie

Die Umweltbelastungen durch den Konsum von Mineralwasser oder Trinkwasser werden in der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert. Die Bereitstellung von Trink- und Mineralwasser wird in diesem Bericht für die Situation in Deutschland in einer Ökobilanz untersucht und für verschiedene Szenarien verglichen. Die Studie wurde auf Grundlage der ISO-Norm 14040/44 erstellt und durch das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH (IFEU) einer kritischen Prüfung unterzogen.

Einbezogen werden die gesamten Umweltbelastungen inklusive Wassergewinnung, Aufbereitung, Verpackung, der Transport und die allfällige Lagerung und/oder Aufbereitung des Wassers vor dem Konsum.

Verglichen werden dabei die potenziellen Umweltbelastungen des Konsums von Trink- und Mineralwasser in unterschiedlichen Varianten, wie z. B. gekühlt und ungekühlt, sowie still und mit Kohlensäure. Dabei liegt der Fokus des Vergleichs auf der Funktion des Wassers als Durstlöscher, wie es bei den Konsumierenden zum Trinken bereitsteht.

Für die Bereitstellung von Trinkwasser wurden statistische Daten der Trinkwasserversorgung und direkt bei verschiedenen Trinkwasserversorgern erhobene Daten zu Grunde gelegt. Darauf aufbauend werden die durchschnittlichen, potentiellen Umweltbelastungen für in Deutschland bereitgestelltes Trinkwasser bilanziert.

Für die Mineralwasserbereitstellung wurde auf öffentlich zugängliche Informationen zu Mineralwasserabfüllung, Flaschen, Mehrwegsystemen und Entsorgung zurückgegriffen. Zu möglichen Verpackungsgrößen und Distribution wurden verschiedene Szenarien gerechnet. Die durchschnittliche Situation konnte dabei nicht erhoben werden. Die Szenarien decken aber die Bandbreite realistischer Ergebnisse ab.

Für Trinkwasser und Mineralwasser werden neben stillem, ungekühltem Wasser auch Varianten mit Kohlensäure und/oder Kühlung ausgewertet.

Untersucht werden alle relevanten Umweltbelastungen gemäß der in Ökobilanzen häufig verwendeten Umweltindikatoren aus der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck. Ein Umweltaspekt ist dabei der Beitrag zum Klimawandel ausgedrückt als CO<sub>2</sub>-Fußabdruck. Zur Ergebniskontrolle der Aussagen basierend auf den Auswertungen zum Klimaänderungspotenzial werden im Gesamtbericht weitere Bewertungsmethoden ausgewertet.

## Analyse der Trinkwasserbereitstellung

Für die aus der Bereitstellung von Trinkwasser resultierende potenzielle Gesamtumweltbelastung wurde der Beitrag verschiedener Einflussfaktoren analysiert. Hauptverantwortlich für die potenziellen Umweltbelastungen auf Stufe Trinkwasserbereitstellung, bis Hausanschluss sind der Strombedarf (insbesondere fürs Pumpen, 36%), die Infrastruktur (26%) sowie die Rohwasserentnahme (20%). Direktmissionen ins (Ab-)Wasser und die Luft verursachen weitere 11% der potenziellen Umweltbelastungen.

Hauptverantwortlich für die Belastungen in der Gruppe „Direktmissionen“ ist die Freisetzung von Kohlendioxid und biogenem Methan auf Grund der Landtransformation bei der Wassergewinnung mittels Talsperren (vgl. Abbildung 1, links). Ferner relevant sind Aluminium- und Schwefelsäure-Emissionen, für welche davon ausgegangen wird, dass sie, zumindest teilweise, via Klarwasser in den Vorfluter gelangen. Chemikalien- und Brennstoffverbrauch (für Heizen und Transporte), sowie Abfälle (Schlämme, Bauschutt und Verbrauchsmaterial) verursachen vergleichsweise geringe Umweltbelastungen.

Für den Konsum von Trinkwasser im Haushalt kommen noch potenzielle Umweltbelastungen für sanitäre Anlagen, wie Waschbecken und Wasserhahn, hinzu. Wird das Trinkwasser außerdem mit Kohlensäure angereichert und/oder im Kühlschrank gekühlt (Maximalvariante Trinkwasser), sind die dadurch potenziell verursachten Umweltbelastungen wesentlich höher als bei der Bereitstellung ab Hausanschluss. Die Anreicherung mit Kohlensäure verursacht dann etwa 58% und die Kühlung 34% der potenziellen Belastungen (vgl. Abbildung 1, rechts).

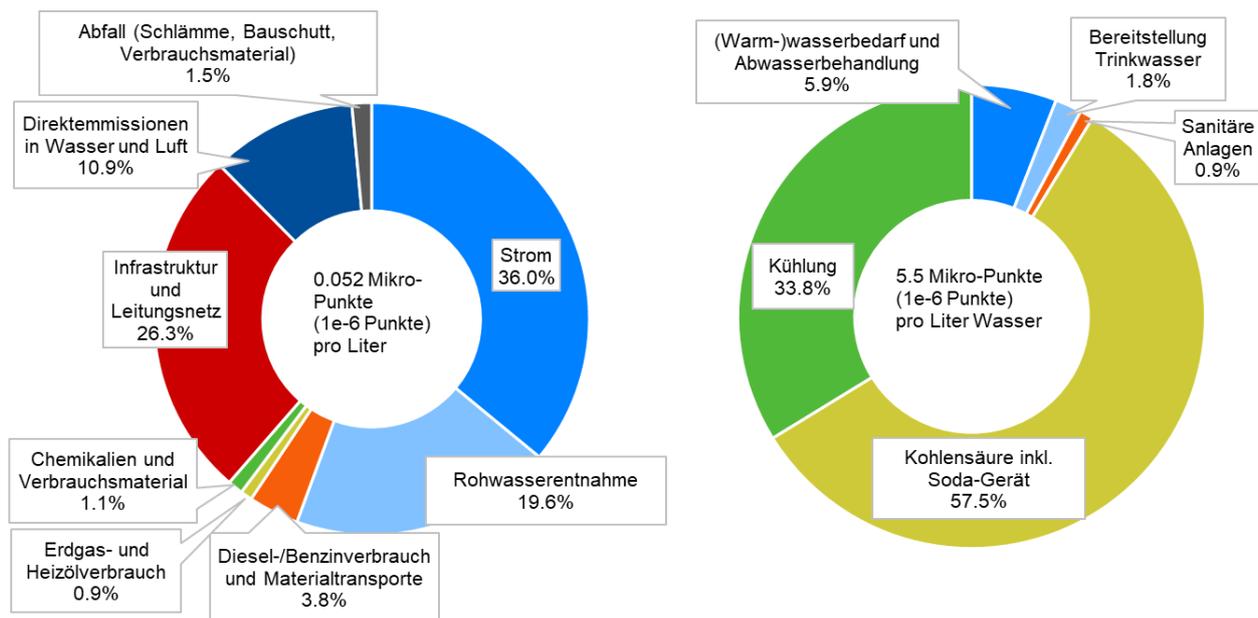


Abbildung 1 Anteil der potenziellen Gesamtumweltbelastungen basierend auf der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018) auf Grund verschiedener Sachbilanzposten für die Bereitstellung von 1 Liter Trinkwasser ab Hausanschluss in Deutschland (links) und ab Wasserhahn, gekühlt und mit Kohlensäure versetzt (rechts)

## Analyse der Mineralwasserbereitstellung

Für die Bereitstellung von Mineralwasser wurden verschiedene Einflussfaktoren analysiert. Hauptverantwortlich für die potenziellen Umweltbelastungen auf Stufe Mineralwasserbereitstellung beim Abfüller (ohne Verpackung und Distribution) sind der Strom- (51%) und Erdgasbedarf (36%). Infrastruktur (8%) sowie Wasserverbrauch (2%). Andere Faktoren wie Direktmissionen in Wasser und Luft sind nicht so relevant (vgl. Abbildung 2, links).

Für den Konsum von Mineralwasser im Haushalt kommen noch potenzielle Umweltbelastungen für die Flaschen und Verpackung (inkl. Entsorgung), den Transport und die Distribution im Supermarkt, sowie den Heimtransport und eine etwaige Lagerung im Kühlschrank hinzu. Wird das durchschnittliche Einkaufs-, bzw. Mobilitätsverhalten für Deutschland anteilmäßig auf den Mineralwassereinkauf runtergerechnet, so verursacht der Heimtransport etwa 72% der potenziellen Belastungen aufgrund des relevanten Anteils von Pkw Fahrten für das Beispiel einer 0.7 Liter Glas-Mehrwegflasche, welches hier als Maximalvariante gezeigt wird (vgl. Abbildung 2).

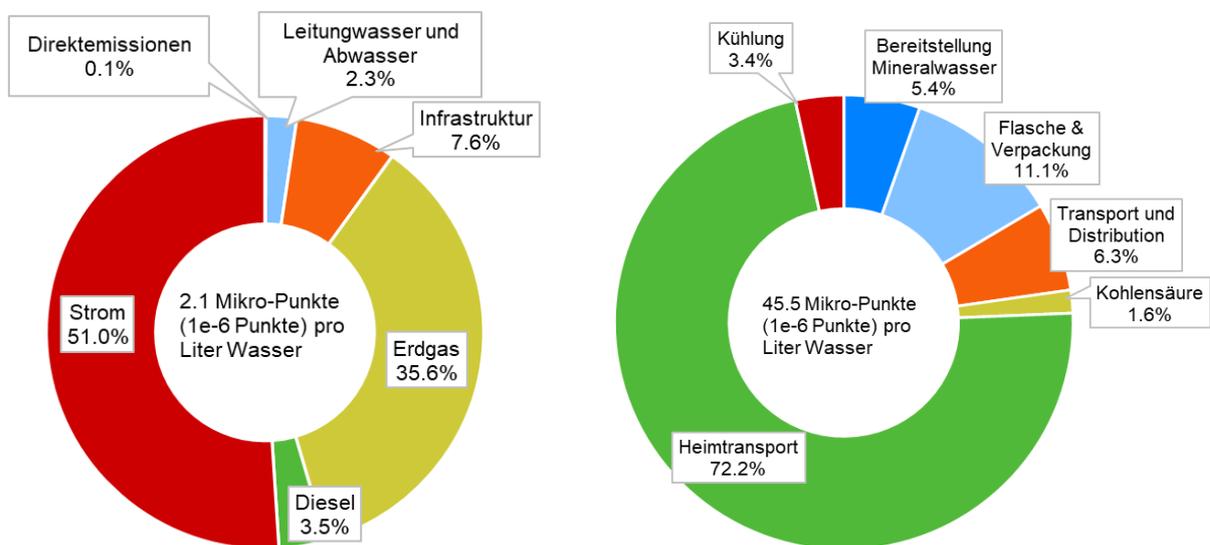


Abbildung 2 Anteil der potenziellen Gesamtumweltbelastungen basierend auf der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018) auf Grund verschiedener Sachbilanzposten für die Bereitstellung von 1 Liter Mineralwasser ab Abfüller (links) und 1 Liter Mineralwasser, in 0.7 Liter Glas Mehrwegflaschen, in einem deutschen Haushalt, gekühlt und mit Kohlensäure (rechts)

### Vergleich einzelner Umweltindikatoren für stilles, ungekühltes Wasser

In diesem Abschnitt werden die Varianten für ungekühltes und stilles Wasser, das zum Konsum bereitsteht, verglichen. Dabei verursacht Trinkwasser je nach Einzelindikator und Variante für den Vergleich auf Mineralwasserseite 18 bis 2937-mal geringere, potenzielle Umweltbelastungen als abgepacktes, stilles Mineralwasser (Gewichtetes Total der vollständigen Szenarien: 216 bis 340-mal geringere potenzielle Gesamtumweltbelastung, vgl. Abbildung 3).

Auch im Best-Case-Szenario für stilles, ungekühltes Mineralwasser in PET-Einwegflaschen mit maximalem Rezyklatanteil, minimalem Materialeinsatz, regionaler Distribution und Heimtransport zu Fuß, belastet der Konsum von Trinkwasser die Umwelt je nach Wirkungsindikator potenziell 9 bis 97 -mal weniger (Gewichtetes Total: 50-mal weniger). Die Vorteile für Trinkwasser bestehen somit in allen betrachteten Wirkungskategorien der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck und unabhängig von der Gewichtung (EF 3.0).

Hauptgründe für das schlechtere Abschneiden des Mineralwassers sind die Flaschenproduktion, sowie (mit Ausnahme des Best-Cases) der Transport vom Abfüller zum Supermarkt und insbesondere der allfällige Heimtransport im PKW.<sup>1</sup>

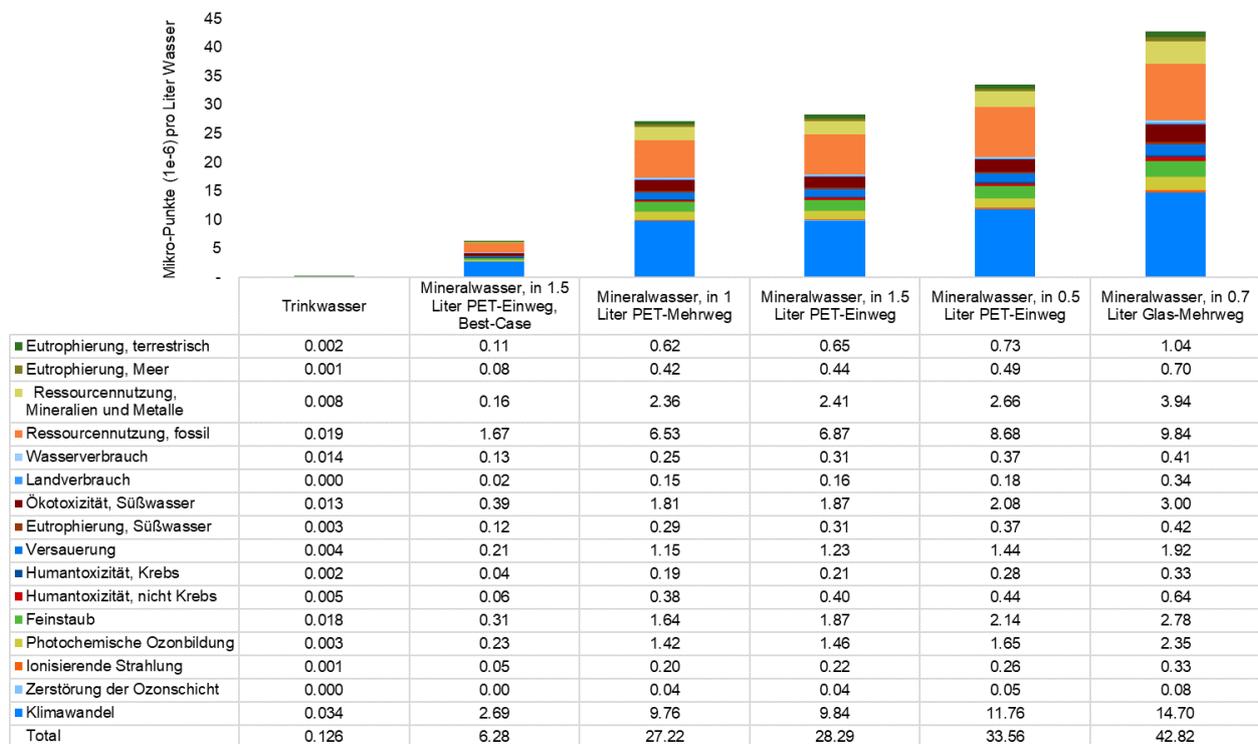


Abbildung 3 Vergleich der Wasserbereitstellung im Haushalt, *still, ungekühlt*, gezeigt für Trinkwasser, sowie Mineralwasser in verschiedenen Verpackungen, sowie einmal für einen theoretischen Best-Case für Mineralwasser, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter.

<sup>1</sup> Hier wurde mit dem deutschen Durchschnitt für die Verkehrsmittelnutzung beim Einkauf gerechnet.

### Vergleich einzelner Umweltindikatoren für kohlenensäurehaltiges, gekühltes Wasser

Wenn Wasser mit Kohlensäure versetzt wird und vor dem Konsum gekühlt wird, steigen die Belastungen sowohl für Trinkwasser als auch für Mineralwasser. Für Trinkwasser wird dabei ein einfaches Sodagerät berücksichtigt. Die relativen Unterschiede werden dadurch geringer.

Auch für den Konsum von gekühltem, mit Kohlensäure versetztem Wasser sind alle potenziellen Umweltbelastungen beim Trinkwasser weiterhin deutlich geringer als beim Mineralwasser.

Für das mit Kohlensäure versetzte Trinkwasser ergeben sich je nach Indikator 2 bis 29-fach niedrigere potenzielle Umweltbelastungen als beim kohlenensäurehaltigen Mineralwasser (Gewichtetes Total: 6 bis 9-fach geringere potenzielle Gesamtumweltbelastungen, vgl. Abbildung 4). Wesentliche Einflussfaktoren beim Trinkwasser sind dabei die Nutzungshäufigkeit und die Art des verwendeten Sodagerätes. Hierfür kann es große Unterschiede geben, die für diese Studie nicht im Detail untersucht wurden.

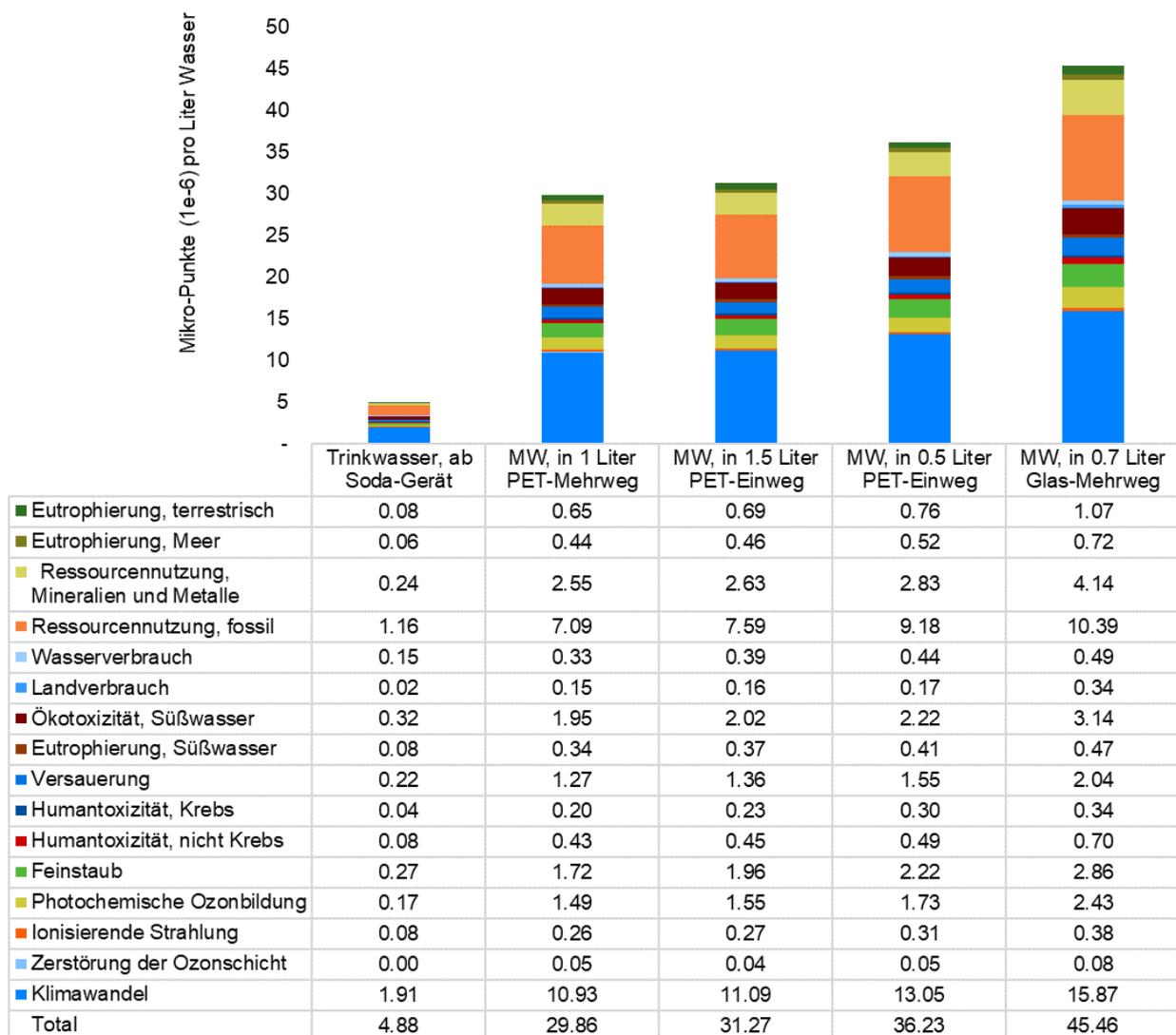


Abbildung 4 Vergleich der Wasserbereitstellung im Haushalt, kohlenensäurehaltig, gekühlt, gezeigt für Trinkwasser, sowie Mineralwasser in verschiedenen Verpackungen, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter.

### Vergleich der Treibhausgasemissionen

Ein wichtiger Aspekt in der öffentlichen Diskussion sind die Treibhausgasemissionen bzw. der CO<sub>2</sub>-Fussabdruck von Produkten und Dienstleistungen. Die Klimakrise wird in der öffentlichen Diskussion zurzeit häufig als das drängendste Umweltproblem wahrgenommen. Das Klimaänderungspotenzial der emittierten Treibhausgase wurde im Rahmen dieser Studie als ein Umweltaspekt für einen Zeithorizont von 20 und 100 Jahre analysiert. Zwischen der Betrachtung des Klimaänderungspotenzials für den 20- und den 100-Jahre Zeithorizont gibt es keine Unterschiede in den Schlussfolgerungen.

Abbildung 5 zeigt das Klimaänderungspotenzial über 100 Jahre, pro Liter Wasser, für die Bereitstellung von stillem und kohlensäurehaltigem, gekühltem und ungekühltem Wasser zu Hause. Generell werden bei einer Bewertung mit Treibhausgasemissionen Transporte und Wärme aus fossilen Quellen (z.B. zur Warmwasserbereitstellung für Reinigungsvorgänge) wichtiger. Die wesentlichen Aussagen dieser Studie sind dadurch allerdings nicht betroffen. Trinkwasser schneidet immer deutlich besser ab als die zugehörigen Beispiele von Mineralwasser in derselben Variante.

Trinkwasser verursacht demnach im Durchschnitt, je nach Variante zwischen 1 (ungekühlt, still) bis 72 (gekühlt, mit Kohlensäure) Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Liter. Die statistisch häufig genutzten Varianten für den Mineralwasserkonsum verursachen zwischen 367 und 596 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Liter. Im Best-Case Szenario für lokal und optimal verpacktes und zu Fuß nach Hause transportiertes, stilles, ungekühltes Mineralwasser werden 102 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Liter verursacht. Auch dieser Best-Case hundertmal mehr Treibhausgasemissionen als der Durchschnittswert für stilles, ungekühltes Trinkwasser (1 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Liter). Eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich der besten Verpackungsart für Mineralwasser war nicht Ziel der Studie und kann deshalb nicht direkt aus den hier gezeigten Szenarien abgeleitet werden.

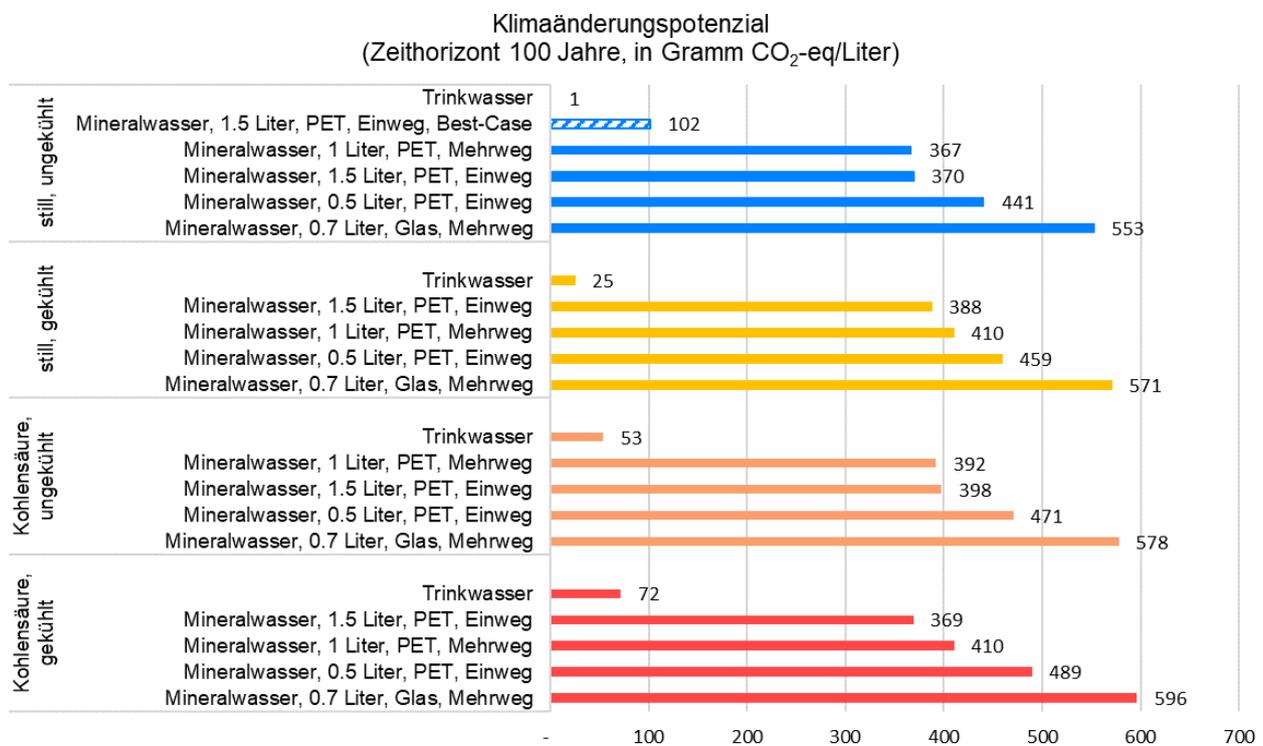


Abbildung 5 Klimaänderungspotenzial in Gramm CO<sub>2</sub>-eq pro Liter Wasser für Zeithorizont 100 Jahre, für die Bereitstellung von stillem und kohlensäurehaltigem, gekühltem und ungekühltem Mineral- und Trinkwasser, im Haushalt

### Vergleich der gesamten Umweltbelastungen aller untersuchten Varianten

Abbildung 6 zeigt die Gesamtumweltbelastung (gewichtetes Total aller betrachteten Umweltkategorien), pro Liter Wasser, für die Bereitstellung aller untersuchten Varianten von stillem und kohlen-säurehaltigem, gekühltem und ungekühltem Wasser zu Hause. Ein Vergleich auf Basis der gewichteten Umweltbelastungen ist gemäß der ISO-Norm für Ökobilanzen nicht zulässig. Hier ist die Aussage aber richtungssicher, da der Vorteil jeweils auch für alle einzelnen Wirkungskategorien belegt ist.

Trinkwasser schneidet immer deutlich besser ab als die zugehörigen Beispiele von Mineralwasser in derselben Variante.

Trinkwasser verursacht demnach im Durchschnitt, je nach Variante zwischen 0.1 (ungekühlt, still) bis 4.9 (gekühlt, mit Kohlensäure) Mikro-Punkte pro Liter. Die statistisch häufig genutzten Varianten für den Mineralwasserkonsum verursachen zwischen 27 und 45 Mikro-Punkte pro Liter. Im Best-Case Szenario für lokal und optimal verpacktes und zu Fuß nach Hause transportiertes, stilles, ungekühltes Mineralwasser werden 6.3 Mikro-Punkte pro Liter verursacht. Auch dieser Best-Case liegt deutlich über dem Durchschnittswert für stilles, ungekühltes Trinkwasser (0.1 Mikro-Punkte pro Liter). Eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich der besten Verpackungsart für Mineralwasser kann nicht direkt aus den hier gezeigten Szenarien abgeleitet werden und ist auch nicht Ziel der Studie.

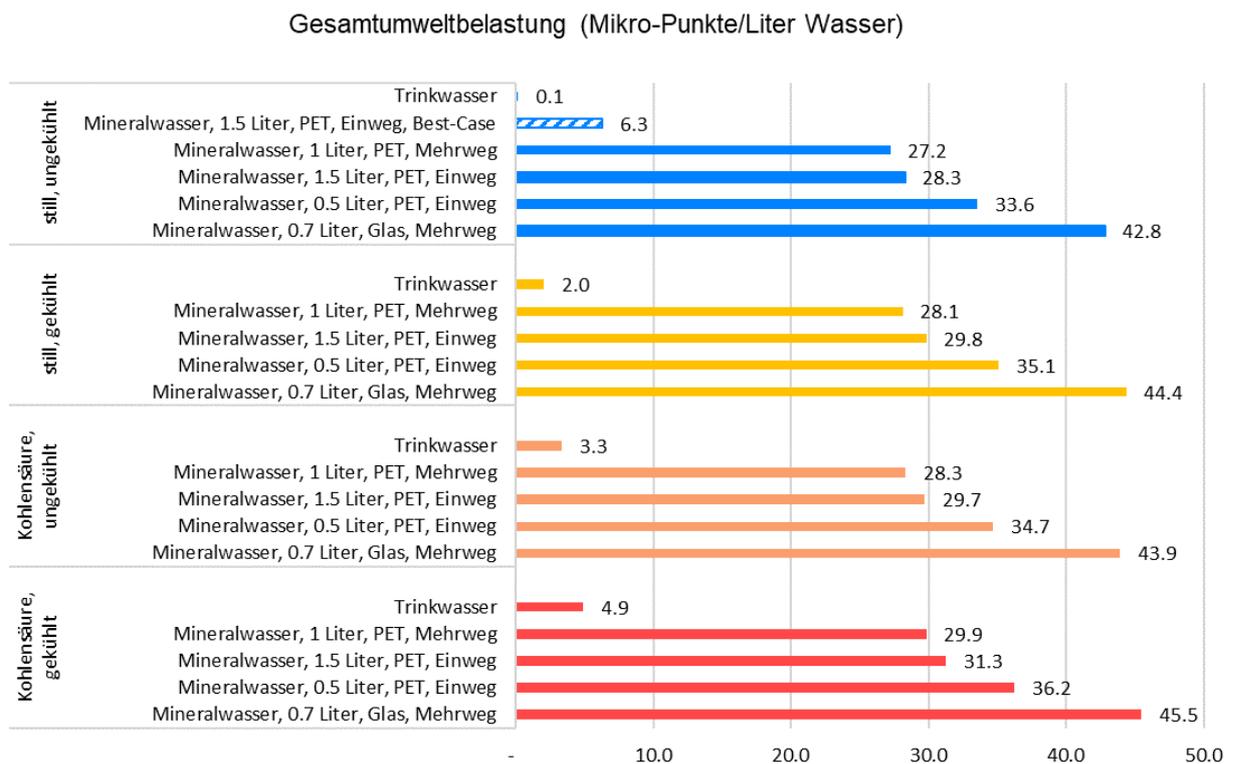


Abbildung 6 Gesamtumweltbelastungen gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck in Mikro-Punkten pro Liter Wasser, für die Bereitstellung von stillem und kohlen-säurehaltigem, gekühltem und ungekühltem Mineral- und Trinkwasser, im Haushalt

## Schlussfolgerungen der Studie

In allen betrachteten Fällen für konsumbereites Wasser (ungekühlt/gekühlt, mit/ohne Kohlensäure) kann der Durst mit Trinkwasser deutlich umweltfreundlicher als mit Mineralwasser gestillt werden.

Der Unterschied wird umso grösser, je weiter das Mineralwasser transportiert wird, bis es zum Kunden gelangt.

Diese Aussagen gelten für alle untersuchten Wirkungskategorien und alle untersuchten Verpackungsvarianten von Mineralwasser.

Zudem gelten sie auch unter der Einschränkung, dass die genauen Zahlen teilweise größeren Schwankungsbreiten unterworfen sind, da sie von schwer bestimmbareren Faktoren wie dem Konsumverhalten abhängen. Abgesichert werden die Schlussfolgerungen dadurch, dass für Trinkwasser tendenziell eher konservative Abschätzungen getroffen wurden, während beim Mineralwasser auch eine Variante mit minimalen potenziellen Umweltbelastungen (Best-Case) ausgewertet wurde.

Die Ergebnisse zu den potenziellen Umweltbelastungen können direkt in Konsumempfehlungen überführt werden:

- Wenn Sie Ihren Durst mit Trinkwasser direkt aus der Leitung stillen, können Sie die potenziell verursachten Umweltbelastungen am niedrigsten halten.
- Wenn Sie das Wasser aus dem Hahn im Kühlschrank kühlen, werden die Umweltbelastungen deutlich größer.
- Wird aus Geschmacksgründen kohlenstoffhaltiges Wasser gekauft, lohnt sich aus ökologischen Gründen unter den in der Studie dargestellten Rahmendbedingungen der Kauf eines Soda-Geräts zur Anreicherung von Trinkwasser mit Kohlensäure. Es ist umweltfreundlicher stilles, statt kohlenstoffhaltiger Wasser zu trinken.

# 1 Einführung

Zu den potenziellen Umweltbelastungen durch Herstellung, Verpackung und Transport von Trinkwasser und abgepacktem Mineralwasser wurden von ESU-services GmbH verschiedene Studien für die Schweiz erstellt (Jungbluth 2006, Jungbluth & Faist Emmenegger 2005, Jungbluth & König 2014). Die Studien wurden in Vorträgen vorgestellt (z.B. Flury & Jungbluth 2011) und in einer Reihe von Medienberichten zitiert (siehe Kapitel F.6).

Diese Studien gelten nur für die Schweiz und die Ergebnisse lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Länder übertragen. In Deutschland gibt es z.B. andere Flaschensysteme für das Mineralwasser (EW- und MW-Pfand) und die Aufbereitung des Trinkwassers ist tendenziell aufwändiger da z.B. Uferfiltrat aufbereitet werden muss oder Trinkwasser über größere Distanzen transportiert wird.

Die vorliegende Ökobilanz wurde im Auftrag der wvgw (Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH) erarbeitet. Für die Studie wurde auf statistische Daten des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) zurückgegriffen. Dieser vertritt etwa 1300 (von etwa 6500) Wasserversorger in Deutschland, die etwa 80% der Trinkwasserabgabe liefern.

In diesem Bericht wird eine Ökobilanz für die Situation der Bereitstellung von Wasser zum Trinken in Deutschland durchgeführt. Betrachtet werden die Herstellung, Verpackung der Transport und allfällige Lagerung und/oder Aufbereitung vor dem Konsum für Trinkwasser und Mineralwasser. Dabei werden die potenziellen Umweltbelastungen verschiedener Trinkwasserversorgungen analysiert, quantifiziert und verglichen. Vor- und Nachteile von Mineral- bzw. Trinkwasser werden für Konsument\*innen verständlich dargestellt.

Eine Kurzbeschreibung des Projektes inklusive Fragestellungen wird in Tab. 1.1 gezeigt.

Tab. 1.1 Übersicht zum Projekt

Titel	Ökobilanz von Trinkwasser und Mineralwasser in Deutschland
<b>Auftraggeber</b>	wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH
<b>Autoren</b>	Christoph Meili;Niels Jungbluth;Savian Scanu;Nadia Malinverno (ESU-services GmbH, Schaffhausen)
<b>Projektteam</b>	Dr. Stefan Koch, Leiter Produktmanagement (WVGW), Koordination Thomas Herkner, BDEW-Referent Statistik/Marktdaten Unternehmensvertreter und Datenerhebung bei 8 Wasserversorgern (vertraulich)
<b>Untersuchte Produkte</b>	Vergleich von Trinkwasser und Mineralwasser für eine Reihe von Szenarien.
<b>Funktionelle Einheit</b>	Ein Liter Wasser, das in Deutschland zum Konsum bereitsteht.
<b>Fragestellung</b>	<p>Folgende Fragen sollen mit der Studie beantwortet werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Woher stammen die größten potenziellen Umweltbelastungen bei der Trinkwasserbereitstellung?</li> <li>• Welches sind die Vor- und Nachteile von Trinkwasser aus deutscher Förderung gegenüber abgepacktem Mineralwasser aus Umweltsicht?</li> </ul> <p>Folgende Fragen werden, unter anderem, <u>nicht</u> beantwortet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Welches ist die beste Verpackung für Mineralwasser in Deutschland?</li> <li>• Wie groß sind die durchschnittlichen Umweltbelastungen von Mineralwasser?</li> <li>• Gibt es hinsichtlich direkter gesundheitlicher Aspekte Unterschiede zwischen Trinkwasser und Mineralwasser?</li> <li>• Wie groß sind die Verbesserungspotenziale für die untersuchten Produkte und Verfahren?</li> </ul>
<b>Bilanzraum</b>	Es wird jeweils der gesamte Lebenszyklus von der Wassergewinnung bis zum Einfüllen in das Trinkglas untersucht. Die Bereitstellung des Trinkglases und der weitere Lebensweg, z.B. Entsorgung der Toilettenabwässer wird nicht betrachtet.
<b>Referenzjahr</b>	Soweit möglich wurden Sachbilanzdaten für das Jahr 2019 erhoben.
<b>Software</b>	SimaPro 2023
<b>Datenbanken</b>	ESU-services 2023a, ESU-services 2023b
<b>Umweltbewertung</b>	<p>Die potenziellen Umweltbelastungen werden mit folgenden Indikatoren bewertet:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelwirkungskategorien gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018)</li> <li>• Gesamtumweltbelastungen gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018)</li> <li>• Carbon Footprint (IPCC 2021) inklusive zusätzlicher Einflüsse von Flugtransporten (Jungbluth &amp; Meili 2019), für Zeithorizont 100 und 20 Jahre</li> </ul>
<b>Standards</b>	ISO 14040/44 (International Organization for Standardization (ISO) 2006a)
<b>Vergleichende Studie</b>	Ja.
<b>Publikation</b>	Ja. Die Studie soll zur Information von Konsumierenden veröffentlicht werden.
<b>Dokumentation für Prüfung</b>	Vollständiger Schlussbericht (Deutsch) (veröffentlicht ohne vertrauliche Anhänge) SimaPro Modell für kritische Prüfung (vertraulich)
<b>Kritische Prüfung</b>	Projektbegleitend durch das ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH ( <a href="http://www.ifeu.de">www.ifeu.de</a> ), Mirjam Busch, Axel Liebich, Regine Vogt, Benedikt Kauertz

## 1.1 Überblick

In dieser Studie werden verschiedene Wässer als Getränk in einer Ökobilanz untersucht. Die generelle ISO-Methodik für Ökobilanzen wird im Anhang kurz erläutert. In den darauffolgenden Kapiteln wird die eigentliche Ökobilanz durchgeführt.

Verglichen werden folgende Arten von Wasser:

- **Trinkwasser.** Wasser, das aus unterschiedlichen Quellen (Grundwasser oder Oberflächenwasser) stammen kann, wenn notwendig mittels verschiedenen Reinigungsstufen aufbereitet wird und über ein Versorgungsnetz zu den Konsumierenden gelangt. Die Qualität von Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch wird gemäß den Vorgaben in der Trinkwasserverordnung geprüft (BMJ 2020).
- **Mineralwasser.** Hierbei handelt es sich um Wasser, das aus unterirdischen, vor anthropogener Verunreinigung geschützten, Wasservorkommen stammt und aus natürlichen oder künstlich erschlossenen Quellen gewonnen wird. Die wichtigste Charakterisierung ist die „ursprüngliche Reinheit“. Trotzdem darf Mineralwasser eingeschränkt aufbereitet werden, u.a. erlaubt ist ein Abtrennen von unbeständigen Inhaltsstoffen wie Eisen-, Mangan- oder Schwefelverbindungen (BMJ 2017, § 6 Abs. 1). In der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass Mineralwasser vor Ort in Flaschen oder Behälter abgepackt und so auf unterschiedlichen Wegen zu den Konsumierenden transportiert wird.

## 1.2 Eckdaten zum Wasserkonsum in Deutschland

### 1.2.1 Trinkwasser

Insgesamt wurden im Jahr 2020 in Deutschland 5'451 Mio. m<sup>3</sup> Wasser gefördert. Etwa 73% des geförderten Wassers werden von Privathaushalten und Gewerbe konsumiert. Etwa 15% werden von der Industrie und Sonstigen verbraucht (BDEW-Wasserstatistik 2020). Der Rest beinhaltet Eigenverbräuche, Lieferungen ins Ausland, Wasserverluste und statistische Differenzen.

Seit den neunziger Jahren ist der Trinkwasserkonsum in Deutschland rückläufig (Abb. 1.1): Musste die öffentliche Wasserversorgung vor 30 Jahren pro Einwohner und Tag noch 147 Liter Wasser bereitstellen, sind es heute nur noch 129 Liter pro Person und Tag (BDEW-Wasserstatistik 2020).

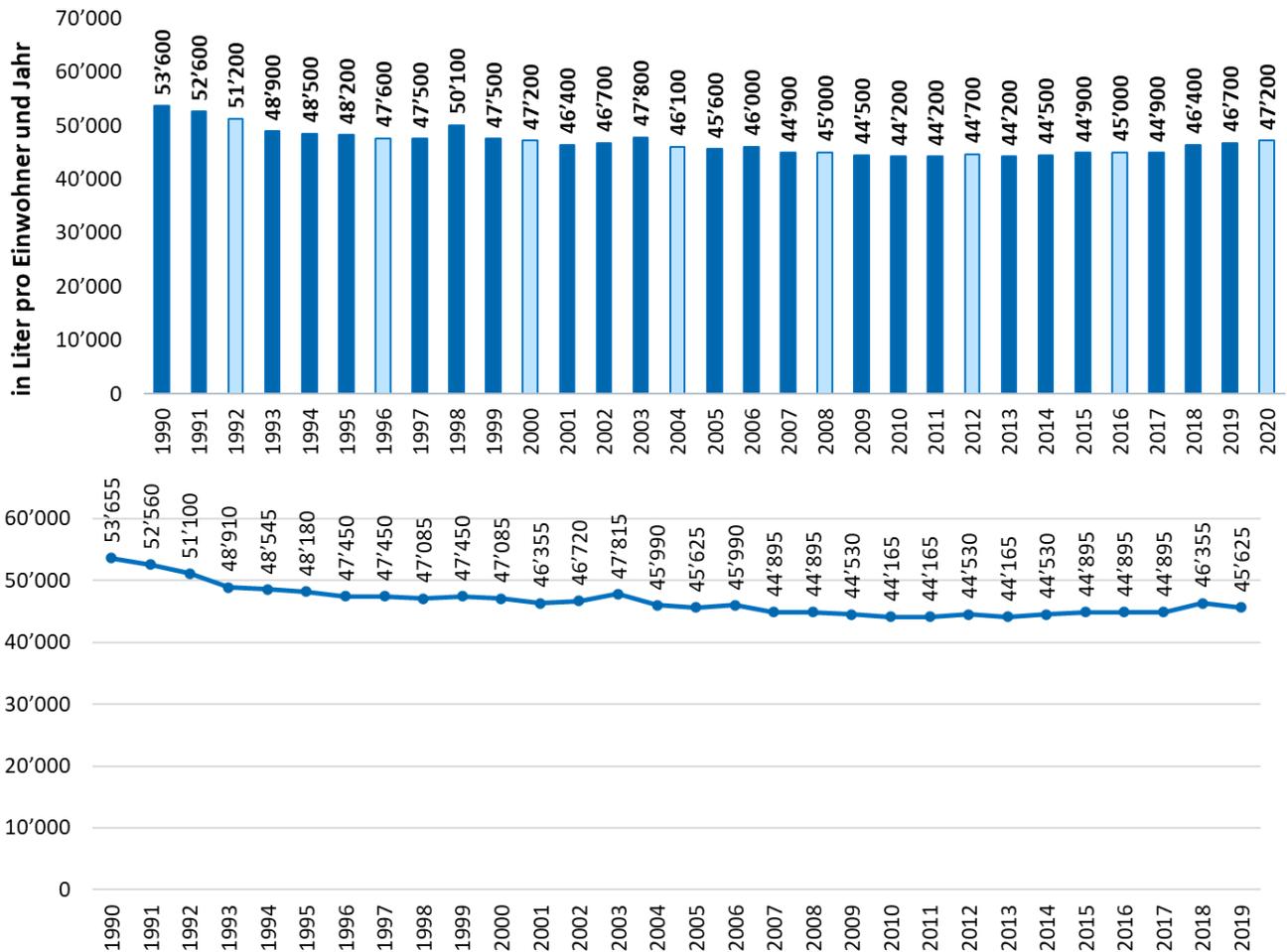


Abb. 1.1 Entwicklung des personenbezogenen Wassergebrauches in Litern/Einwohner/Jahr in Deutschland, bezogen auf Haushalte und Kleingewerbe (HuK); Grundlage: Einwohnerdaten auf Basis Zensus 2011; Schaltjahre hellblau (BDEW-Wasserstatistik 2020)

Von dieser Wassermenge wird nur ein sehr kleiner Teil direkt als Wasser zum Trinken bzw. zur Zubereitung von Speisen konsumiert (siehe Abb. 1.2). Die Hauptanteile werden im Bad für Körperpflege und Toilettenspülung genutzt.

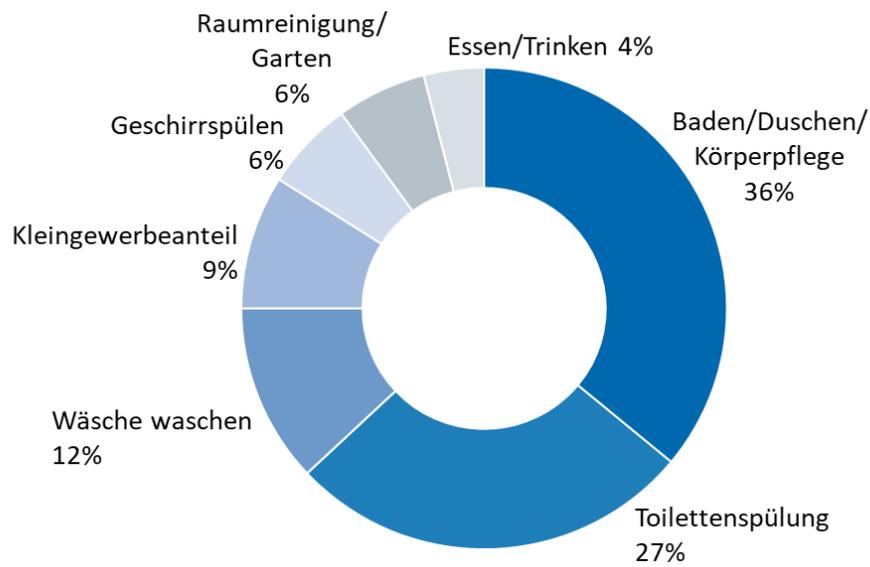


Abb. 1.2 Trinkwasserverwendung im deutschen Haushalt 20120. Durchschnittliche Anteile bezogen auf die Wasserabgabe von 129 l/d an Haushalte und Kleingewerbe (BDEW-Wasserstatistik 2020)

## 1.2.2 Mineralwasser

Abb. 1.3 zeigt den Pro-Kopf-Verbrauch von Mineralwasser in Deutschland im Jahresvergleich von 1970 bis 2020.<sup>2</sup> Der Gesamtverbrauch ist bis zum Jahr 2018 kontinuierlich gestiegen. Der Pro-Kopf-Konsum lag im Referenzjahr 2019 bei 139,7 Litern pro Jahr. Im Referenzjahr 2019 wurden pro Kopf 12,6 Liter importiert und 4 Liter Mineralwasser exportiert.<sup>3</sup> Der Importanteil lag damit im Jahr 2019 bei 9%.



Abb. 1.3 Pro-Kopf-Verbrauch von Mineralwasser in Deutschland im Jahresvergleich<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Angaben auf <https://www.vdm-bonn.de/mineralwasser-fakten/marktdaten.html> (25.02.2021).

<sup>3</sup> Angaben auf [https://www.vdm-bonn.de/index.php?eID=tx\\_naw-secured1&u=0&g=0&t=1614247845&hash=bd6cc90360a1382362db2847c0572be1cf7bb98e&file=fileadmin/user\\_upload/VDM\\_Branchendaten\\_2020\\_vorl%C3%A4ufig.pdf](https://www.vdm-bonn.de/index.php?eID=tx_naw-secured1&u=0&g=0&t=1614247845&hash=bd6cc90360a1382362db2847c0572be1cf7bb98e&file=fileadmin/user_upload/VDM_Branchendaten_2020_vorl%C3%A4ufig.pdf) (25.02.2021)

## 2 Zieldefinition und Untersuchungsrahmen

Die Zielsetzung und der Untersuchungsrahmen werden hier festgelegt. Soweit möglich erfolgt die Festlegung der Systemgrenzen in Anlehnung an die ISO 14044ff Norm für Ökobilanzen<sup>4</sup> (International Organization for Standardization (ISO) 2006a) und an die ecoinvent Methodik (Frischknecht et al. 2007a).

Die Studie lehnt sich an eine veröffentlichte Studie zu Getränken an (Jungbluth & König 2014). Grundsätzlich werden die gleichen Systemgrenzen wie dort verwendet.

Für die Bilanzierung von Mineralwasser werden die Mindestanforderungen für Getränkeverpackungsökobilanzen wo möglich berücksichtigt (Kapitel 6.3ff sowie 7.2ff in Detzel & Kauertz 2016).<sup>5</sup>

### 2.1 Fragestellung

Die potenziellen Umweltwirkungen des Konsums von Trinkwasser und Mineralwasser sollen in dieser Studie für Konsumierende verständlich dargestellt werden. Untersucht wird der gesamte Lebenszyklus für Trinkwasser und Mineralwasser, das in Deutschland produziert und konsumiert wird.

Das Hauptgewicht der Studie liegt dabei auf der Untersuchung von verschiedenen Varianten der Trinkwasserbereitstellung, mittels Daten von verschiedenen Versorgungsregionen (vgl. Kap. 2.9). Hierzu werden die Belastungen aus der Trinkwasserbereitstellung analysiert. Damit wird die Frage beantwortet welche Teilbereiche der Trinkwasserversorgung (Strom, Infrastruktur, Aufbereitung) für welchen Anteil der potenziellen Gesamtumweltbelastungen verantwortlich sind.

Die potenziellen Umweltbelastungen der Trinkwasserbereitstellung werden mit Mineralwasser verglichen. Hierzu werden jeweils vergleichbare Varianten einander gegenübergestellt. Damit werden die Vor- und Nachteile der beiden Möglichkeiten zum Durstlöschen aus Umweltsicht verglichen.

Andere Aspekte, z.B. Vergleich verschiedener Getränkeverpackungen, optionale technische Wasserbehandlungsmöglichkeiten (z.B. Entkalkung, Ionentauscher) bei den Konsumierenden, Verbesserungspotenziale oder die Optimierung von Logistikkonzepten der Mineralwasserbereitstellung sind nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

### 2.2 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit für den Vergleich wird 1 Liter (1 kg) Wasser untersucht, das zum Trinken (Durstlöschen) für die Konsumierenden in Deutschland im Trinkgefäß bereitsteht.

Die Ökobilanz macht keine vergleichenden Aussagen zu positiven oder negativen Gesundheitsauswirkungen von Wasserinhaltsstoffen. Positive Aspekte können insbesondere den in Mineralwasser sowie auch Trinkwasser enthaltenen Mineralien zugeschrieben werden. Dieser evtl. zusätzliche bzw. unterschiedliche Nutzen wird hier nicht berücksichtigt.

Unterschieden werden hingegen stille und kohlenensäurehaltige Getränke.

Negative Auswirkungen könnten sich u.U. durch Schadstoffe in Trink- und Mineralwasser ergeben: Bei Mineralwasser stehen dabei z.B. geogene Spurenstoffe wie z.B. Uran und Arsen in der Diskussion, beim Trinkwasser sind es eher Mikroorganismen und anthropogene Spurenstoffe wie z.B. Rückstände von Pflanzenschutzmitteln, Nitrate aus Düngemitteln, Rückstände von

<sup>4</sup> Das allgemeine Vorgehen bei Ökobilanzen wird auf unserer Homepage [www.esu-services.ch/de/dienstleistungen/case-studies/](http://www.esu-services.ch/de/dienstleistungen/case-studies/) beschrieben.

<sup>5</sup> Auf Grund einer anderen Fragestellung kommt es an verschiedenen Orten zu Abweichungen, z.B. bei der gewählten funktionellen Einheit.

Aufbereitungskemikalien und medizinischen Wirkstoffen.<sup>6</sup> Ferner gibt es potenzielle Belastungen aus den Flaschen (z.B. Weichmacher oder Reinigungsmittel) oder Trinkwasserrohren (Blei, Kupfer etc.). In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass negative Gesundheitseffekte bei Einhaltung der einschlägigen Vorschriften sowohl für Trinkwasser als auch für Mineralwasser ausgeschlossen werden können.

Es ist nicht Ziel dieser Studie Vor- oder Nachteile zu Gesundheitsaspekten der einen oder anderen Variante zu untersuchen.

Weitere Unterscheidungsmerkmale wie z.B. kulturelle Aspekte (italienisches Mineralwasser in der Pizzeria, offenes Trinkgefäß auf dem Tisch) oder Landschaftsschutz in den Gewinnungsgebieten werden nicht betrachtet oder zwischen den Varianten differenziert.

In der Analyse werden verschiedene Varianten, z.B. kohlen säurehaltig oder still, gekühlt oder ungekühlt etc., untereinander verglichen. Es wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass alle Alternativen für die Konsumierenden ansonsten gleichwertig sind und den Durst als hier zu Grunde gelegte Funktion gut löschen können.

## 2.3 Geographische Rahmenbedingungen

Die Studie wird für die Situation in Deutschland erstellt.

Es ist unter Umständen nicht möglich bei allen Aspekten genau den Durchschnitt für Deutschland abzubilden. Deshalb wird mit realistischen Szenarien gerechnet.

Die Ergebnisse lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Länder übertragen. In der Schweiz gibt es z.B. andere Flaschensysteme für das Mineralwasser (PET-Einweg mit öffentlicher Sammlung) und die Bereitstellung des Trinkwassers ist vermutlich weniger aufwändig da mehr natürliches Gefälle genutzt werden kann und die Qualität der Wasserressourcen weniger Aufbereitung notwendig macht.

Anpassungen an den Datensätzen an die Situation in Deutschland werden im Vordergrundsystem vorgenommen. Im Hintergrund werden bereits vorhandene Datensätze verwendet, welche möglichst gut auf die Situation zutreffen. Z.B. werden für die meisten verwendeten Transportmittel Datensätze für die Situation in Europa verwendet. Wo keine Daten für die deutsche, europäische oder die globale Situation vorliegen, wird, falls vorhanden auch auf Datensätze aus anderen Ländern, wie z.B. der Schweiz zurückgegriffen.

## 2.4 Zeitliche Rahmenbedingungen

Vordergrunddaten, z.B. für die Trinkwasserversorgung wurden, wo möglich für das Jahr 2019 erhoben.

## 2.5 Technische Rahmenbedingungen

Der Stand der Technik wurde gemäß Angaben des Auftraggebers und den vorliegenden Hintergrunddaten berücksichtigt (ESU-services 2023b).

## 2.6 Systemgrenzen

In der Studie wird der gesamte Lebenszyklus der Trink- und Mineralwasserbereitstellung von der Wassergewinnung bis zur Einfüllung in das Trinkgefäß untersucht (vgl. Abb. 2.1). Die erste Stufe beinhaltet Aufwände für Wassergewinnung, Aufbereitung, Abfüllung und Infrastruktur, welche vom

---

<sup>6</sup> <https://www.bund-niedersachsen.de/themen/natur-landwirtschaft/landwirtschaft/schwer-belastet/>

jeweiligen Wasserbereinsteller verursacht werden. Beim Mineralwasser werden Aufwände für die Produktion und Entsorgung der Verpackung, den Transport und die Distribution bis zum Point of Sale in der Stufe Supermarkt genauer betrachtet. Die Stufe Konsum beinhaltet beim Trinkwasser die Hausinstallation sowie Kühlen und Nutzung von Trinkwassersprudlern im Haushalt. Beim Mineralwasser beinhaltet die Stufe Konsum den Heimtransport aus dem Supermarkt, sowie allfällige zusätzliche Kühlung.

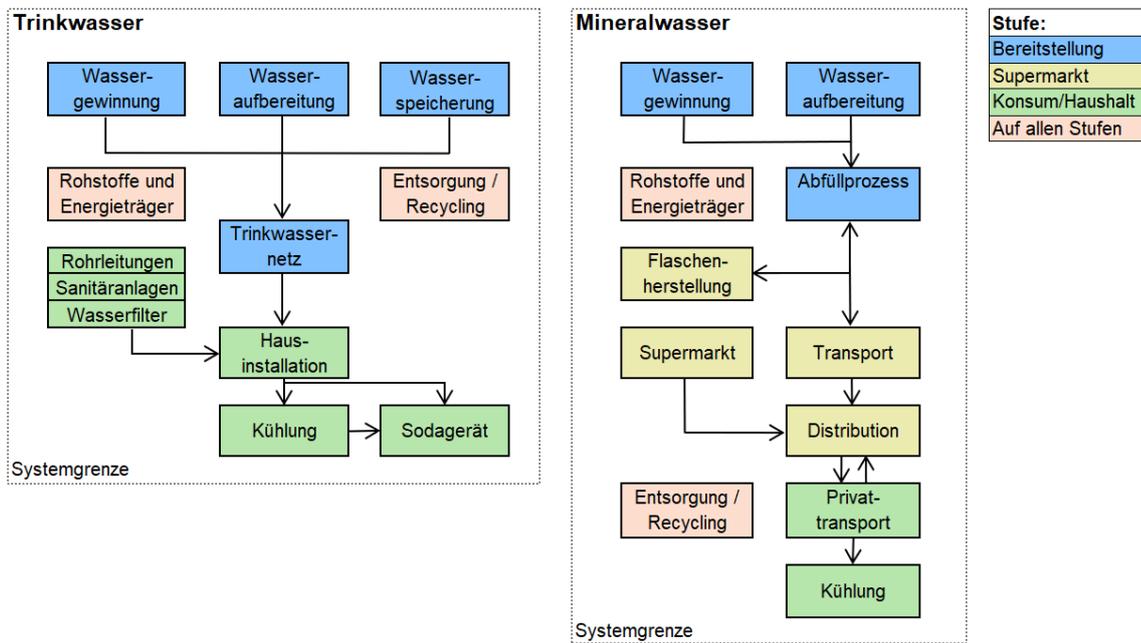


Abb. 2.1 Untersuchte Lebenszyklen und Stufen für Trinkwasser und Mineralwasser

### 2.6.1 Lebenszyklus Trinkwasser

Der untersuchte Lebenszyklus von Trinkwasser umfasst die Gewinnung, sämtliche Wasseraufbereitungsprozesse, die Speicherung sowie den Transport im Trinkwassernetz zu den Haushalten. Dabei werden Aufwände für die Herstellung und den Betrieb der Infrastruktur wie Pumpstationen, Wasserwerke und Trinkwasserspeicher sowie das Trinkwasserverteilnetz zu den Haushalten berücksichtigt. Die Aufwendungen werden dabei auf die produzierte Trinkwassermenge umgeschlagen. Ob dieses Trinkwasser für den privaten Bedarf oder für öffentliche Aufgaben wie z.B. Springbrunnen verwendet wird, wird hierbei nicht speziell unterschieden. Beim Stromverbrauch der Wasserversorgungen wird die Eigenerzeugung mittels Trinkwasser-Turbinierung nicht mittels Gutschriften berücksichtigt, sondern als eigenes Produkt angesehen, das in den Strommix mit einfließt.

Nur teilweise berücksichtigt werden die Aufwendungen zur Einrichtung von Schutzzonen für die Trinkwasserförderung. Die weitere Trinkwasserschutzzone steht eingeschränkt auch für andere Nutzungen z.B. Forstwirtschaft zur Verfügung und muss deshalb auch nicht voll dem Grundwasserschutz zugerechnet werden. Die bis hier genannten Schritte werden in Kapitel 4.2.1 unter dem Begriff „Trinkwasserbereitstellung“ untersucht.

Für den Konsum des Trinkwassers im Haushaltsbereich werden soweit möglich alle notwendigen sanitären Installationen wie Armaturen, Waschbecken, WC, Badewanne und Rohrleitungen berücksichtigt. Diese werden auf die gesamte im Haushalt verbrauchte Wassermenge alloziert. Für den Konsum werden dabei, neben der Basisvariante gemäß funktioneller Einheit, Szenarien mit Kühlung im Kühlschrank und dem Einsatz eines Trinkwassersprudlers modelliert (vgl. Kapitel 4.2.2). Auf allen Stufen werden jeweils auch die Rohstoffbereitstellung sowie die Entsorgung und dafür anfallende Transporte berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt werden alle im Haushalt angebrachten zusätzlichen Installationen zur Trinkwassernachbereitung (z.B. Aktivkohlefilter, Entionisierung, Entkalkung, Belebung, etc.) sofern diese nicht zwingend vorgeschrieben sind.

### 2.6.2 Lebenszyklus Mineralwasser

Der Lebenszyklus für die Mineralwasserszenarien umfasst auf Stufe Bereitstellung sämtliche Aufwendungen für die Mineralwassergewinnung, die Aufbereitung und den Abfüllprozess inklusive dafür benötigter Energie und Infrastruktur. Auf Stufe Supermarkt wird die Herstellung der verschiedenen Flaschen bzw. Behälter, inklusive Sekundärverpackung (Gebinde, Folie, Paletten), der Transport zu Regionallagern in Deutschland die Distribution im Supermarkt, die Redistribution von leeren Flaschen und das Recycling bzw. die Entsorgung der Flaschen berücksichtigt. Auf Stufe Haushalt wird zudem der Heimtransport und der Rücktransport der leeren Flaschen zur Entsorgungsstelle berücksichtigt. Hier wird zudem je nach Szenario die Kühlung im Kühlschrank miteinbezogen. Die erwähnten Konsumszenarien werden in den nächsten Kapiteln genauer erläutert.

### 2.6.3 Aspekte außerhalb der Systemgrenzen

Nicht einbezogen in die Bilanz wird das Trinkgefäß (Glas, Becher) inklusive Herstellung, Reinigung und Entsorgung sowie die Entsorgung des Toilettenabwassers, da davon ausgegangen wird, dass diese Prozessschritte sich nicht für die verschiedenen Varianten unterscheiden. Der Einfluss auf die potenziellen Gesamtumweltbelastungen im Lebenszyklus ist wahrscheinlich ebenfalls gering, wenn nicht nur das reine Trinkwasser betrachtet wird.

Ebenfalls nicht explizit betrachtet werden Trinkwasserbrunnen.<sup>7</sup> Es wird für Auswertungen in dieser Studie davon ausgegangen, dass das dafür bereitgestellte Wasser dieselben Aufbereitungsstufen durchläuft und mit demselben Versorgungsnetz transportiert wird wie das Trinkwasser für die Privathaushalte. Zusätzlich gibt es auch separate Wassernetze zur Versorgung von öffentlichen Brunnen, die in dieser Studie aber nicht betrachtet werden.

Einige Unternehmen erwerben Zertifikate, um prozessbedingte Umweltbelastungen andernorts zu kompensieren. Solche Kompensationen werden in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt da dies in Ökobilanzen nicht üblich ist.<sup>8</sup>

## 2.7 Abschneidekriterien

Für die in Kapitel 2.6 beschriebenen Lebenszyklen werden Energie- und Stoffflüsse inklusive Direktmissionen und Emissionen in der Vorkette berücksichtigt.

Die Abschneidekriterien bezüglich Masse, Energie und Umweltrelevanz werden entsprechend ISO 14044 Absatz 4.2.3.3.3 angewendet:

- Bezüglich des Massekriteriums gilt folgende Mindestanforderung: 1 % pro Prozessmodul; maximal 5 % kumulierend.
- Bezüglich Energie gilt folgende Mindestanforderung: 1 % pro Prozessmodul; maximal 5 % kumulierend.

<sup>7</sup> Mittlerweile gibt es eine ganze Reihe von Städten in Deutschland, die öffentlichen Trinkbrunnen unterhalten (siehe [www.trinkwasser-unterwegs.de](http://www.trinkwasser-unterwegs.de)). In der neuen EU-Trinkwasser-Richtlinie wird die Bereitstellung von Trinkbrunnen im öffentlichen Raum explizit gefordert, so dass wir davon ausgehen, dass in den kommenden Jahren deutlich mehr Brunnen entstehen werden. Das Wasser der Brunnen stammt aus der öffentlichen Wasserversorgung.

<sup>8</sup> Vgl. Stellungnahme des Autors zur Anrechnung von Klimakompensationen in seinem eigenen Umweltbericht (Kap. 2.2.3): <http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/ESU-services-2021-EnvironmentalReport-EPD-2020.pdf>

- Bezüglich Umweltrelevanz gilt folgende Mindestanforderung: Nachvollziehbare Beschreibung der Vorgehensweise.

## 2.8 Allokation

### 2.8.1 End-of-life

Die Notwendigkeit einer systembezogenen Allokation stellt sich, wenn das ursprünglich betrachtete Produkt, also beispielsweise die PET-Einweg-Flasche oder das gusseiserne Trinkwasserrohr, nach dem Gebrauch einen Zusatznutzen erbringt, der über den in der funktionellen Einheit abgebildeten Nutzen hinausgeht. So wird bei der Aufbereitung gebrauchter PET-Flaschen PET-Rezyklat gewonnen, welches erneut für die PET-Flaschenproduktion oder für andere Produktsysteme bereitgestellt wird, beispielsweise für die Herstellung von PET-Fasern für Bekleidung. Wird das Sekundärmaterial im selben Produktsystem, also erneut für die PET-Flaschenherstellung verwendet, spricht man von Closed-Loop-Recycling (geschlossener Kreislauf). So wird z.B. der Anteil an PET, welches aus dem Closed-Loop-Recycling stammt in der vorliegenden Studie bei der Produktion neuer PET-Flaschen angerechnet (je nach Flaschentyp zwischen 12 bis 33%, gemäß Kauertz et al. 2016). Auch für Materialien in der Trinkwasserinfrastruktur werden die Recycling-Anteile für verschiedenen Materialien berücksichtigt.

Wird das Sekundärmaterial in einem anderen als dem ursprünglichen Produktsystem verwendet, spricht man von Open-Loop-Recycling (offener Kreislauf).

In anderen Studien zu Getränkeverpackungen werden für das Open-Loop-Recycling verschiedene Allokationsansätze angewendet und z.B. in Sensitivitätsanalysen diskutiert (vgl. Detzel & Kauertz 2016, Abb. 15).

Die Festlegung von Allokationsfaktoren, besonders im Fall einer Systemallokation, lässt sich nicht allein mit wissenschaftlichen Erwägungen begründen, sondern stellt eine Konvention dar, in die auch Werthaltungen einfließen.

Teilweise ist z.B. der 50%:50%-Ansatz zu finden, wobei die Hälfte der Belastungen durch die Primärproduktion der Erstnutzung und die zweite Hälfte den Folgenutzungen angelastet wird.

Kritisch ist auch mit welchen Recyclingraten gerechnet wird. Im Cut-Off Ansatz werden die aktuellen Rezyklat-Anteile in der Materialbereitstellung berücksichtigt. Andere Ansätze gehen unter Umständen von der technischen Recyclingfähigkeit aus, die dann deutlich höher liegen kann, aber nicht den aktuellen Markt abbildet.

Im Fall einer werkstofflichen Verwertung von PET-Flaschen bestünde ein allfälliger Nutzen im Ersatz von primärem PET aus Erdöl. Da jedoch zum Zeitpunkt der Herstellung des Primärmaterials noch nicht sicher belegt ist, dass es zu einer Zweitnutzung kommen wird,<sup>9</sup> sollte, gemäß Meinung der Autoren, bei den Primärproduzenten dafür auch keine Gutschrift erfolgen. Im gewählten Cut-Off Ansatz wird dem PET-Einwegsystem ein solcher hypothetischer Zweitnutzen bilanztechnisch nicht angerechnet. Der Nutzen wird der Partei angerechnet, welche durch den Zweitnutzen tatsächlich Primärmaterial einspart.

In der vorliegenden Studie erfolgt die End-of-Life-Allokation in Open-loop-Systemen nach diesem Cut-off Ansatz.<sup>10</sup> Im Sprachgebrauch der Erstellung von Umweltdeklarationen wird dabei auch vom

<sup>9</sup> Obwohl die aktuelle Marktlage, bzw. eine vergangenheitsbasierte Prognose diesen Schluss nahelegt.

<sup>10</sup> <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/system-models#!/allocation-cut-off>

„Polluter Pays Principle (PPP)“ gesprochen (EPD 2019).<sup>11</sup> Dabei werden die Belastungen für die Primärmaterialnutzung zu 100% der Erstnutzung angelastet. Das bedeutet, Nutzer von Sekundärmaterialien erhalten diese belastungsfrei und sind nur verantwortlich für die Belastungen auf Grund der Wiederaufbereitung des Primärmaterials. Außerdem wird jeweils der Recyclinganteil inklusive der notwendigen Aufbereitung in der durchschnittlichen Bereitstellung von Materialien berücksichtigt. Somit haben auch hier Systeme mit einem hohen Recyclinganteil Vorteile. Im Falle eines Open-loop-Recyclings allerdings vor allem das nachgeschaltete System.

Der gewählte Cut-off-Approach rechnet somit potenzielle Umweltbelastungen zu dem Zeitpunkt an, zu welchem sie stattfinden. Eine bilanztechnische Verlagerung der Belastungen in die (ungewisse) Zukunft wird damit verhindert. Der Ansatz entspricht somit einer strengen Nachhaltigkeitsdefinition.

Dieser Ansatz ist konsistent mit der Modellierung aller verwendeten Hintergrunddaten. Eine konsistente Modellierung mit Gutschriften würde hingegen bedingen, dass die gesamten Hintergrunddaten ebenfalls nach demselben Vorgehen modelliert werden müssten. Dies wäre mit unverhältnismäßig großem Zusatzaufwand verbunden.

Eine Sensitivitätsanalyse mit weiteren Allokationsverfahren wird in der vorliegenden Studie nicht durchgeführt, da dies vor allem für den Vergleich verschiedener Verpackungssysteme relevant ist und hierzu bereits detaillierte Auswertungen vorliegen (nicht Ziel der Studie, siehe z.B. Detzel & Kauertz 2016). In der Interpretation wird aber berücksichtigt, dass sich die potenziellen Umweltbelastungen von beiden Systemen u.U. verringern, wenn Gutschriften erteilt werden.

Außerdem wird ein Best-Case-Szenario für eine Mineralwasservariante gerechnet, in der die gemäß Literaturquelle derzeit höchste Rezyklat-Einsatzquote von 76% für 1.5 L PET-Einweg-Flaschen anstelle des Mittelwerts von 33% berücksichtigt wird (Kauertz et al. 2016, S.11).

## 2.8.2 Koppelprodukte

In den erhobenen Vordergrunddaten wird bei der Wassergewinnung aus einigen Stauseen zusätzlich Strom aus der Turbinierung des Wassers erzeugt. In diesem Fall könnten die potenziellen Umweltbelastungen auf Grund der Stauseeproduktion grundsätzlich auf Strom und Wasser aufgeteilt, das heißt, für die Wasserversorgung innerhalb des Modells reduziert werden. Da die beiden Produkte sehr unterschiedliche Eigenschaften haben und unterschiedliche Bedürfnisse befriedigen, erscheint eine physikalische Allokation nicht sinnvoll. Daher würde sich die ökonomische Allokation anhand der Preise für die Bereitstellung anbieten. Eine Überschlagsrechnung für einen der untersuchten Wasserversorger zeigt, dass in diesem Fall etwa 98% der potenziellen Umweltbelastungen auf die Wasserversorgung alloziert würden<sup>12</sup>. Weil der Einfluss im Vergleich zu den Unsicherheiten der Datengrundlage gering scheint und um die Sachbilanz tendenziell nicht zu unterschätzen, wird auf die Anwendung dieser Allokation verzichtet.

Durch die Trinkwasserleitungen und Infrastruktur werden eine Reihe unterschiedlicher Anforderungen abgedeckt (Trinken, Kochen, Waschen, Toiletten, Bewässerung, Löschwasser, Brauchwasser in Industrie und Gewerbe, öffentliche Brunnen, etc.). Die Bereitstellung von Wasser zum Trinken macht mengenmäßig nur einen sehr kleinen Anteil der durchgeleiteten Menge aus und könnte mit deutlich weniger Infrastruktur bewerkstelligt werden. Die Dimensionierung der Trinkwasserinfrastruktur erfolgt hinsichtlich der großen Verbrauchsspitzen wie Löschwasser, sommerliche Bewässerung von Gärten und Befüllung von Pools, oder industriellen Anforderungen. Es wäre somit gerechtfertigt

<sup>11</sup> EPD (Environmental Product Declarations) by EPD International®

<sup>12</sup> Bei einem Preisniveau von 0.086 Euro pro kWh Strom und 0.0018 Euro pro Liter Wasser ab Versorger, gemäß <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/strompreise-bestandteile.html> und <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/tw-07-entgelt-trinkwasserversorgung-tarifgeb-nach-tariftypen-2017-2019-land-bund.html>, online am 14.02.2022

einen höheren Anteil der Infrastruktur auf diese Verbrauchspitzen abzuschreiben. Auch hierauf wird verzichtet, um im Vergleich zum Mineralwasser sicher nicht mit zu niedrigen Werten zu rechnen. Alle Trinkwassernutzungen werden also mit der gleichen Infrastruktur gerechnet.

### 2.8.3 Transporte

Es werden Datensätze für Transporte mit standardisierten Auslastungsfaktoren (in der Regel 50%) verwendet (Stolz et al. 2016, Kap. 5.3.2; ESU-services 2023b). Die Distanz für die Rückfahrt z.B. mit Leergut wird nicht zusätzlich bilanziert. Würde die Lieferung ineffizient, d.h. mit einer Auslastung unterhalb der Maximalauslastung, z.B. mit 80% getätigt, wäre somit die durchschnittliche Auslastung über die Gesamtstrecke inklusive Rückfahrt bei 40% und die aus diesem Transport resultierenden Umweltbelastungen wären beispielsweise um 25% unterschätzt. In der Praxis ist für LKW-Transporte von Getränken üblicherweise die zulässige Nutzlast und nicht das Volumen limitierend, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass für Ferntransporte die volle Auslastung angestrebt wird<sup>13</sup>. Werden die Transporte mit Maximalauslastung ausgeführt und zusätzlich die Rücktransporte effizient gestaltet, z.B. indem auf der Rückfahrt ebenfalls Güter transportiert werden, wäre die Auslastung entsprechend höher und die mit dem Transport verbundenen Umweltbelastungen bis zu einem Faktor 2 überschätzt.

## 2.9 Szenarien

Als Basis für die Vergleiche gilt die Nutzung von stillem, ungekühltem Mineral-, bzw. Trinkwasser im Haushalt. Hierzu werden die Bereitstellung des Trinkwassers sowie die Verpackung und die Transportwege des Mineralwassers variiert.

Für die weiteren Vergleiche werden die durchschnittliche Trinkwasserversorgung und Mineralwasser mit durchschnittlichen Transportdistanzen in den gängigsten Verpackungsvarianten verglichen.

Dazu werden Szenarien für Wasser im Haushalt bzgl. Kühlung und Kohlesäuregehalt unterschieden.

Durch die Unterscheidung von kohlensäurehaltig/kohlensäurefrei und gekühlt/ungekühlt werden somit funktionelle Aspekte außerhalb der Definition der funktionellen Einheit umgesetzt (vgl. Kap. 2.2).

Teilweise gibt es bei der Festlegung der Szenarien einen beträchtlichen Spielraum, da sich z.B. das Nutzerverhalten oder durchschnittliche Transportdistanzen nicht genau bestimmen lassen. In diesem Fall werden die Szenarien eher zu Gunsten des Mineralwassers bzw. zu Ungunsten des Trinkwassers ausgelegt, um beim Vergleich zwischen Trinkwasser und Mineralwasser jeweils einen sichereren Vorteil des Trinkwassers ausweisen zu können. Wie bereits beschrieben, wäre es methodisch auch möglich bei einem Open-Loop-Recycling von Flaschenmaterialien mit Gutschriften zu rechnen, was die Belastungen etwas reduzieren würde. Dies wird in der Interpretation berücksichtigt.

Außerdem wird ein optimistisches Szenario für stilles Mineralwasser in 1.5 L PET-Einwegflaschen gerechnet (meistgekauft Variante für Vorratshaltung). Darin wird das gemäß Literaturquelle geringste Verpackungsgewicht (Minus 20% im Vergleich zum Durchschnitt) und die höchste Rezyklat-Einsatzquote von 76% anstelle des gewichteten Mittelwerts von 33% berücksichtigt (Kauertz et al. 2016, S.11). Zudem wird für dieses Best-Case-Szenario von einer regionalen Distribution zum Supermarkt (50km) und von einem Heimtransport zu Fuß ausgegangen.

Die untersuchten Szenarien werden in Tab. 2.1, Tab. 2.2 und Tab. 2.3 gezeigt.

---

<sup>13</sup> Gemäss persönlicher Auskunft Getränke Schnelldienst Schmidinger könnten die bei ihnen eingesetzten LKWs in der Regel etwa 30% mehr Paletten fassen als auf Grund der Nutzlast erlaubt.

Tab. 2.1 Szenarien für Wasser ab Werk

Szenariename	Getränke-Typ	Kohlensäure	Kühlung	Flasche	Ort
Trinkwasser, Angereichertes Grundwasser, Kleinstadt, Endversorger	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Endversorger	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Vor- und Endversorger	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Trinkwasser, Grundwasser, mittelgrosse Stadt, Endversorger	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Trinkwasser, Grundwasser, städtisch, Endversorger	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Trinkwasser, See- und Stauseewasser, ländlich, Vorversorger	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Trinkwasser, Seewasser, Flachland, Vorversorgung	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Trinkwasser, Uferfiltrat, Grossstadt, Endversorger	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Trinkwasser, Deutscher Durchschnitt, Endversorger	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk
Mineralwasser, still, ungekühlt, ab Werk	Mineralwasser	still	ungekühlt	ohne	ab Werk

Tab. 2.2 Szenarien für Wasser ab Supermarkt

Szenariename	Getränke-Typ	Kohlensäure	Kühlung	Flasche	Rücknahme	Ort	Volumen	Zusatzkommentar
Mineralwasser, still, ungekühlt, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	0.5 Liter	
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	1.5 Liter	
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt, best-case	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	1.5 Liter	best-case
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Mehrweg	im Supermarkt	1 Liter	
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	Glas	Mehrweg	im Supermarkt	0.7 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	0.5 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	1.5 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Mehrweg	im Supermarkt	1 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	Glas	Mehrweg	im Supermarkt	0.7 Liter	
Mineralwasser, still, ungekühlt, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	0.5 Liter	Regional (50km)
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	1.5 Liter	Regional (50km)
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Mehrweg	im Supermarkt	1 Liter	Regional (50km)
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	Glas	Mehrweg	im Supermarkt	0.7 Liter	Regional (50km)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	0.5 Liter	Regional (50km)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	1.5 Liter	Regional (50km)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Mehrweg	im Supermarkt	1 Liter	Regional (50km)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	Glas	Mehrweg	im Supermarkt	0.7 Liter	Regional (50km)
Mineralwasser, still, ungekühlt, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	0.5 Liter	Überregional (500km)
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	1.5 Liter	Überregional (500km)
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Mehrweg	im Supermarkt	1 Liter	Überregional (500km)
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	still	ungekühlt	Glas	Mehrweg	im Supermarkt	0.7 Liter	Überregional (500km)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	0.5 Liter	Überregional (500km)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Einweg	im Supermarkt	1.5 Liter	Überregional (500km)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Mehrweg	im Supermarkt	1 Liter	Überregional (500km)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	Glas	Mehrweg	im Supermarkt	0.7 Liter	Überregional (500km)

Tab. 2.3 Szenarien für Wasser zu Hause

Szenariename	Getränke-Typ	Kohlensäure	Kühlung	Flasche	Rücknahme	Ort	Volumen	Zusatzkommentar
Trinkwasser, still, ungekühlt, ohne, zu Hause	Trinkwasser	still	ungekühlt	ohne		zu Hause		
Trinkwasser, still, gekühlt, ohne, zu Hause	Trinkwasser	still	gekühlt	ohne		zu Hause		
Trinkwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, ohne, zu Hause	Trinkwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	ohne		zu Hause		
Trinkwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, ohne, zu Hause	Trinkwasser	mit Kohlensäure	gekühlt	ohne		zu Hause		
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	zu Hause	0.5 Liter	
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	zu Hause	1.5 Liter	
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause, best-case	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Einweg	zu Hause	1.5 Liter	best-case
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser	still	ungekühlt	PET	Mehrweg	zu Hause	1 Liter	
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser	still	ungekühlt	Glas	Mehrweg	zu Hause	0.7 Liter	
Mineralwasser, still, gekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser	still	gekühlt	PET	Einweg	zu Hause	0.5 Liter	
Mineralwasser, still, gekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser	still	gekühlt	PET	Einweg	zu Hause	1.5 Liter	
Mineralwasser, still, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser	still	gekühlt	PET	Mehrweg	zu Hause	1 Liter	
Mineralwasser, still, gekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser	still	gekühlt	Glas	Mehrweg	zu Hause	0.7 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Einweg	zu Hause	0.5 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Einweg	zu Hause	1.5 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	PET	Mehrweg	zu Hause	1 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser	mit Kohlensäure	ungekühlt	Glas	Mehrweg	zu Hause	0.7 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser	mit Kohlensäure	gekühlt	PET	Einweg	zu Hause	0.5 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser	mit Kohlensäure	gekühlt	PET	Einweg	zu Hause	1.5 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser	mit Kohlensäure	gekühlt	PET	Mehrweg	zu Hause	1 Liter	
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser	mit Kohlensäure	gekühlt	Glas	Mehrweg	zu Hause	0.7 Liter	

## 2.10 Methoden zur Wirkungsabschätzung der Sachbilanzergebnisse

### 2.10.1 Gesamtumweltbelastungen

Für die Studie werden verschiedene Arten von potenziellen Umweltbelastungen in Luft, Wasser und Boden mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck bewertet und zu einem Punktwert zusammengefasst (Sala et al. 2018). Diese Methode wird im Rahmen der europäischen Bestrebungen zur Umweltinformationen auf Produkten (Product Environmental Footprint) entwickelt. Sie ist damit bereits auf die zukünftige Anwendung für die Information von Konsumierenden hin entwickelt worden. Auch für die B2B Kommunikation im Rahmen von Umweltdeklarationen wird diese Methode und ihre Wirkungskategorien in Europa angewandt (European Committee for Standardisation (CEN) 2022).

Tab. 2.4 zeigt eine Beschreibung der berücksichtigten Wirkungskategorien auf midpoint-Ebene. Eine detaillierte Beschreibung der berücksichtigten Wirkungskategorien befindet sich im Anhang B. Die Methode wird gewählt, weil sie eine gut verständliche und repräsentative Übersicht der wichtigsten Umweltbelastungen im europäischen Kontext beinhaltet.

In dieser Methode werden zudem zwei Gewichtungssets für die verschiedenen Wirkungsindikatoren zu einem Gesamtpunktwert vorgegeben (Sala et al. 2018). Das erste Set enthält Gewichtungsfaktoren für alle Wirkungsindikatoren auf Midpoint-Ebene, ist in der Ökobilanz-Software SimaPro standardmäßig implementiert und wird in der vorliegenden Studie verwendet (vgl. Anhang B.17). Das zweite Set enthält keine Gewichtungsfaktoren für Toxizitäts-bezogene Wirkungskategorien (Ökotoxizität Süßwasser, sowie Humantoxizität Krebs und Nicht-Krebs), da diese einen geringen Robustheitsfaktor aufweisen. Falls diese Wirkungskategorien einen relevanten Anteil an den modellierten, potenziellen Gesamtumweltbelastungen haben sollten, wäre daher eine vergleichende Gesamtaussage kritisch zu betrachten.

Aus Sicht der Autoren der vorliegenden Studie hilft die Analyse der gewichteten, potenziellen Gesamtumweltbelastungen, die Ergebnisse in den verschiedenen Wirkungskategorien besser einzuordnen und Konsumierende bei der Entscheidung für umweltfreundliche Produkte zu unterstützen.

Sofern die Ergebnisse in allen Wirkungskategorien dieselbe Rangliste der untersuchten Szenarien liefern, wird in dieser Studie auf eine ausführliche kategoriespezifische Diskussion auf Midpoint-Ebene verzichtet, da in diesem Fall die Gewichtung keinen Einfluss auf das Ergebnis des Vergleichs hat. Für eine vereinfachte Interpretation werden in diesem Fall normierte, gewichtete Einzelergebnisse gezeigt und diskutiert. Die dafür verwendeten Normierungs- und Gewichtungsfaktoren werden in Tab. 6.2, in Anhang B.17 gezeigt.

Die ISO-Norm hat gegenüber der Anwendung von solchen Gesamtbewertungen Vorbehalte (siehe auch Anhang A). Auch das deutsche Umweltbundesamt spricht sich dezidiert gegen die Verwendung von aggregierten Gesamtergebnissen in Ökobilanzen aus.<sup>14</sup> Das deutsche Umweltbundesamt bevorzugt die verbal-argumentative Auswertung der Studienergebnisse (UBA 1999). In der Schweiz (BAFU 2021), aber auch auf europäischer Ebene (Sala et al. 2018) wurden hingegen mit Unterstützung öffentlicher Einrichtungen Bewertungsmethoden entwickelt, um die Durchführung von Ökobilanzen zu vereinfachen und die Anwendbarkeit zu verbessern.

In der Auswertung wurde jeweils überprüft, ob die getroffenen Aussagen auch hinsichtlich aller untersuchten Wirkungskategorien zutreffen. Wenn es bei einzelnen Wirkungskategorien größere Abweichungen im Vergleich zum Gesamtergebnis gibt, wird hierauf hingewiesen.

---

<sup>14</sup> Beschluss Amtsleitung Umweltbundesamt 9.11.2016

Außerdem werden alle Ergebnisse für die Wirkungskategorien in den jeweiligen Einheiten im Kapitel 4.1 dokumentiert und damit auch die Anforderungen der ISO-Norm erfüllt.

Die Belastungen durch Langzeitemissionen werden nicht berücksichtigt. Eine erste Auswertung mit Langzeitemissionen zeigte hohe Langzeitemissionen in der Wirkungskategorie Eutrophierung, Frischwasser durch Phosphate aus Abraumhalden der Kohleförderung. Es ist davon auszugehen, dass hier eine hohe Unsicherheit in der Hintergrunddatenbank vorliegt, welche im Rahmen dieser Studie nicht korrigiert werden kann. Auch andere Aspekte sprechen aus Sicht der Autoren dagegen den Langzeitemissionen ein hohes Gewicht in der Ökobilanz-Bewertung zuzusprechen (vgl. hierzu die ausführliche Diskussion in Frischknecht et al. 2007b).

Bei der Wirkungskategorie Wasserknappheit wird mit den vorliegenden, länderspezifischen Knappheitsfaktoren gerechnet. Die Ermittlung und Anwendung von regionsspezifischen Faktoren für die Trink- und Mineralwassergewinnung würden die Studie und Interpretation deutlich komplexer machen und hinsichtlich der Auswertung für die Gesamtsituation in Deutschland keine zusätzlichen Erkenntnisse bringen. Die Betrachtung kann jedoch hilfreich sein, um den Einfluss von unnötig entnommenem Wasser abzuschätzen. Für die Bewertung ist dabei die Differenz zwischen Wasserentnahme und Rückgabe relevant (und damit die Entfernung von Wasser aus einer Region). Diese ist in den zugrunde gelegten Daten häufig nur grob geschätzt und dieser Indikator gilt damit als relativ unsicher.

Tab. 2.4 In dieser Studie verwendete (midpoint-)Wirkungskategorien (European Commission 2010; Fazio et al. 2018)

Wirkungskategorie	Modell zur Wirkungsanalyse	Indikator Einheit	Quelle
Klimawandel	Strahlungsantrieb als globales Erwärmungspotenzial über einen Zeithorizont von 100 Jahren	kg CO <sub>2</sub> eq	IPCC 2013 + JRC adaptations
Ozonabbau	EDIP-Modell basierend auf den ODPs der World Meteorological Organization (WMO) über einen Zeithorizont von 100 Jahren	kg CFC-11 eq	WMO 2014 + integrations from other sources
Ionisierende Strahlung	Modell zur Auswirkung auf die menschliche Gesundheit	kg U <sup>235</sup> eq (in die Luft)	Frischknecht et al. 2000a
Photochemische Ozonbildung	LOTOS-EUROS-Modell	kg NMVOC eq	Van Zelm et al. 2008 as applied in ReCiPe
Feinstaub	Krankheitsinzidenz-Modell	Inzidenz der Krankheit	Fantke et al. 2016
Humantoxizität, nicht Krebs	USEtox@ 2.1	CTUh	Rosenbaum et al. 2008
Humantoxizität, Krebs	USEtox@ 2.1	CTUh	Rosenbaum et al. 2008
Versauerung	Kumuliertes Überschreitungsmodell	mol H <sup>+</sup> eq	Posch et al. 2008 Seppälä et al. 2006
Eutrophierung, Süßwasser	EUTREND-Modell	kg P eq	Struijs et al. 2009 as applied in ReCiPe
Eutrophierung, Meer	EUTREND-Modell	kg N eq	Struijs et al. 2009 as applied in ReCiPe
Eutrophierung, terrestrisch	Kumuliertes Überschreitungsmodell	mol N eq	Posch et al. 2008 Seppälä et al. 2006
Ökotoxizität, Süßwasser	USEtox@ 2.1	CTUe	Rosenbaum et al. 2008
Landnutzung	Bodenqualitätsindex wie im LANCA-Modell	Punkte	Horn et al. 2018
Wassernutzung	AWARE-Modell	m <sup>3</sup> entzogen	Boulay et al. 2018
Ressourcennutzung, Fossil	CML-Modell	MJ eq	van Oers et al. 2002
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	Ultimate-Reserves-Modell	kg Sb eq	van Oers et al. 2002

### 2.10.2 CO<sub>2</sub>-Fussabdruck

Nebst der potenziellen Gesamtumweltbelastung wird spezifisch das Klimaänderungspotenzial ausgewiesen. Einige Gründe für die Verwendung und Erläuterungen zur Berechnung des Klimaänderungspotenzials werden im Anhang C gegeben.

Bisher in den meisten Studien üblich ist die Diskussion des Klimaänderungspotenzials in Bezug auf einen Zeithorizont von 100 Jahren.

Da sich das Weltklima bereits sehr rasch erwärmt, werden in dieser Studie zusätzlich auch Vergleiche in Bezug auf einen kürzeren, 20-jährigen, Zeithorizont gezeigt. In dieser Betrachtung stehen potente Treibhausgasemissionen mit rascher Wirksamkeit in der Atmosphäre stärker im Fokus. Nur mit einer raschen Reduktion des Klimaänderungspotenzials wird es möglich sein, unumkehrbare Veränderungen im Klimasystem der Erde zu verhindern.

## 2.11 Veröffentlichung

Die Studie dient in erster Linie der Information von interessierten Konsument:innen. Die Studie wird für den Gebrauch im Rahmen der Arbeit des Auftraggebers erstellt. Teile dieser Arbeit bzw. wichtige Kenngrößen und Ergebnisse sollen für die Öffentlichkeitsarbeit genutzt werden. Sofern dabei vom Auftraggeber oder Dritten Schlussfolgerungen gezogen werden oder nur Ausschnitte der Gesamtstudie gezeigt werden, liegen diese nicht in der Verantwortung von Autoren und Prüfenden. Die gesamte Studie inklusive Review Statement kann ohne vertraulichen Daten-Anhang veröffentlicht werden.

## 2.12 Sensitivitätsanalysen

Nebst den definierten Szenarien werden keine zusätzlichen Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

## 2.13 Unsicherheitsanalysen

Im Rahmen dieser Studie werden keine Unsicherheitsanalysen durchgeführt.

## 2.14 Kritische Prüfung gemäß ISO-Normen

Die Ökobilanz wird soweit möglich gemäß der ISO-Normen 14040/44/74 erstellt (International Organization for Standardization (ISO) 2006b, c, 2021). Eine Veröffentlichung ist vorgesehen. Bei einer Veröffentlichung der Studie werden die Vorgaben der ISO-Normen 14040/44 für Ökobilanzen nur dann vollständig erfüllt, wenn eine externe kritische Prüfung der Gesamtstudie durchgeführt wird (International Organization for Standardization (ISO) 2006a).

Die kritische Prüfung erfolgt studienbegleitend durch ein Panel der folgenden Personen, die für das ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH ([www.ifeu.de](http://www.ifeu.de)) arbeiten: Mirjam Busch, Axel Liebich, Regine Vogt, Benedikt Kauertz. Der Bericht zur kritischen Prüfung wird im Anhang E gezeigt.

## 3 Datenerhebung

### 3.1 Trinkwasser

#### 3.1.1 Bereitstellung

Die Vordergrunddaten für die Bereitstellung beinhalten die Trinkwasseraufbereitung und Verteilung und wurden für die nationale Versorgung und/oder bei einzelnen Wasserversorgern erhoben. Aus früheren Studien (ecoinvent Centre 2023, Jungbluth & König 2014; ÖVGW 2014) sind die folgenden Haupteinflussfaktoren bekannt:

- Wasserverluste, z.B. durch Leckagen im Leitungsnetz.
- Stromverbrauch für Pumpen und Aufbereitung. Dieser hängt von der Leitungslänge, Bevölkerungsdichte, der Topografie und der Rohwasserqualität ab.
- Infrastrukturaufwendungen für Leitungen (Gusseisen, Beton, Plastik, Kupfer etc.). Diese sind abhängig von Leitungslänge und Durchmesser.
- Andere Infrastrukturaufwendungen (Materialien für Wasserspeicher, Wasserwerk, etc.). Vermutlich vor allem vom Speichervolumen abhängig (Saisonspeicher vs. Kurzfristiger Ausgleich von Verbrauchsspitzen).
- Chemikalien und Materialien für Aufbereitung (z.B. Aluminiumsulfat, Hexafluorokieselsäure, Kupfersulfat, Aluminiumchlorid, Kalk, Chlorgas, Sauerstoff, Kies, etc.). Dieser Chemikalienbedarf hängt von der Qualität des geförderten Wassers ab.
- Direkte Emissionen solcher Chemikalien.

Nationale Durchschnittswerte liegen dem BDEW für die Netzinfrastruktur, für die geförderten und verkauften Wassermengen (Wasserverluste), den Stromverbrauch, sowie für Abfälle vor.

Auf Grund der großen Zahl an Wasserversorgern in Deutschland ist es im Rahmen des Auftrags nicht möglich, alle Versorger abzufragen, um einen exakten Durchschnitt aller Versorgungen zu berechnen. Für die Abschätzung der Gesamtsituation werden daher für weitere Sachbilanzpunkte nur Daten für einzelne Wasserversorger berücksichtigt.

Bei der Auswahl der angefragten Wasserversorgungen wird darauf geachtet Betriebe auszuwählen, welche bezüglich der oben erwähnten Haupteinflussfaktoren besondere Merkmale aufweisen.

Folglich werden folgende Kriterien bei der Auswahl berücksichtigt:

- Fernwasserversorgung oder Ortsnah
- Wenig bzw. viel Aufbereitung
- Wasserherkunft (Grundwasser, Uferfiltrat, See, Talsperre etc.)

Basierend auf diesen Kriterien werden detaillierte Sachbilanzdaten von 8 Wasserversorgern erhoben (siehe Tab. 3.1). Diese untersuchten Wasserversorger decken zusammen etwa 11% der deutschen Wasserversorgung ab. Die so erhobenen Daten werden für die Abschätzung der fehlenden Sachbilanzdaten für die deutschlandweite Trinkwasserversorgung unterschiedlich gewichtet.

Tab. 3.1 In der Datenerhebung berücksichtigte Wasserversorger und effektiver Anteil an der deutschen Gesamtversorgung im Referenzjahr 2019

Bezeichnung Variante	Anteil an deutscher Gesamtversorgung, 2019
Ländlich, Grundwasser, Vor- und Endversorger	0.39%
Ländlich, Grundwasser, Endversorger	0.05%
Kleinstädtisch, angereichertes Grundwasser, Endversorger	0.04%
Grossstadt, Uferfiltrat, Endversorger	4.77%
Ländlich, See- und Talsperrenwasser, Vorversorger	2.14%
Mittelgrosse Stadt, Grundwasser, geringer Aufwand, Endversorger	0.39%
Städtisch und ländlich, Seewasser, Vorversorger, hoher Energieaufwand	2.92%
Grossstadt, Grundwasser, Endversorger	0.65%
<b>Produktion Deutschland (Anteil erfasst)</b>	<b>11.35%</b>

Untersucht werden 5 Endversorger, 2 Vorversorger sowie 1 End- und Vorversorger.

Endversorger liefern das Wasser bis zum Hausanschluss der Konsumierenden. Vorversorger liefern das Trinkwasser hingegen in der Regel an Geschäftskunden, wie z.B. regionale Stadtwerke oder große Industrieunternehmen. Im Unterschied zu Endversorgern entfällt hier der Unterhalt für ein feinmaschiges Leitungsnetz zu den Haushalten. Die Daten für die Vorversorger enthalten also im Falle der Zulieferung von Stadtwerken nicht die vollständige Infrastruktur von der Wasserfassung bis zum Wasserhahn. Andererseits sind Vorversorger in der Regel verantwortlich für den Wassertransport über größere Distanzen. Die für den Transport aufgewendete Infrastruktur und Energie würde in einer Durchschnittsrechnung entsprechend vernachlässigt, wenn nur Endversorger betrachtet würden.

Für die Infrastruktur des Verteilnetzes sind nationale Durchschnittsdaten vorhanden, welche für die entsprechende Modellierung verwendet werden. Um die weiteren Aufwände in der Sachbilanz tendenziell eher zu hoch, als zu tief zu schätzen, werden die untersuchten Vorversorger bei der Bildung einer theoretischen Durchschnittsversorgung berücksichtigt.

Die Gewichtung der untersuchten Trinkwasserversorger basiert auf dem Wasserherkunftsmix für Vor- und Endversorgung gemäß der amtlichen Wasserstatistik von 2016 (BDEW 2020, vgl. Tab. 3.2).

Tab. 3.2 Trinkwasserherkunft gemäß der amtlichen Wasserstatistik von 2016 (BDEW 2020)

Wasserherkunft Deutschland	Anteil 2016
Grundwasser	61.2%
Angereichertes Grundwasser	9.3%
Quellwasser	7.9%
Uferfiltrat	8.0%
See- und Talsperrenwasser	12.3%
Flusswasser	1.2%
<b>Total</b>	<b>100.0%</b>

Unter zusätzlicher Berücksichtigung der folgenden Annahmen entsteht so die Gewichtung der Wasserversorger gemäß Tab. 3.3.

- Quellwasser wird wie Grundwasser aufbereitet, gelangt jedoch ohne, bzw. mit geringerem Pumpaufwand zum Kunden. Der Anteil Quellwasser an der deutschen Gesamtversorgung kann daher mit Daten von Grundwasserversorgern abgeschätzt werden. Umweltbelastungen auf Grund der Quellwasserversorgung werden damit tendenziell eher über- als unterschätzt.
- Bei der Versorgung mit Grundwasser wird davon ausgegangen, dass etwa 17% des Wassers von Großstädten (mehr als 500'000 Einwohner), weitere 15% von mittelgroßen Städten (100'000 bis 500'000 Einwohner) und die restlichen 68% von Kleinstädten (weniger als 100'000 Einwohner) nachgefragt wird.<sup>15</sup>
- Für die Versorgung mit Grundwasser für Kleinstädte werden die zwei untersuchten Versorger (Endversorger und Vor-&Endversorger) zu gleichen Teilen gewichtet.
- Bei der Versorgung mit Wasser aus Talsperren wird, auf Grundlage der zur Verfügung stehenden vertraulichen Informationen, davon ausgegangen, dass 2.9% aus der städtischen Vorversorgersituation mit hohem Pumpaufwand aus natürlichen Seen stammen. Die restlichen 9.4% werden mit der der ländlichen Vorversorgersituation, vorwiegend aus Stauseen abgebildet. .
- Die Gewichtungsanteile für Uferfiltrat und Flusswasser werden zusammengefasst und mit der Versorgung aus Uferfiltrat abgeschätzt.
- Die Topografie wird bei der Durchschnittsbildung nicht als zusätzliches Kriterium herangezogen. Einerseits muss in bergigem Gelände Wasser u.U. bergauf gepumpt werden. An höheren Punkten ist die Wasserqualität in der Regel besser. Schon seit römischer Zeit werden Aufwendungen für die notwendige Energie zum Pumpen in die Standortplanung für Wasserversorgungen einbezogen. Deshalb liegen die Wasserfassungen traditionell soweit möglich an höheren Punkten im Versorgungsgebiet, so dass wiederum Pumpenergie eingespart werden kann (oder sogar noch Strom in Wasserkraftanlagen gewonnen werden kann).<sup>16</sup>

---

<sup>15</sup> Einwohnerzahlen der grössten deutschen Städte (2020): [https://de.wikipedia.org/wiki/Liste\\_der\\_Gro%C3%9F-\\_und\\_Mittelst%C3%A4dte\\_in\\_Deutschland](https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Gro%C3%9F-_und_Mittelst%C3%A4dte_in_Deutschland)

<sup>16</sup> Beispiele für Wasserkraftanlagen (Trink- bzw. Laufwasserkraftwerke) in der Schweiz: <https://www.alpiq.ch/energieerzeugung/neue-erneuerbare-energien/kleinwasserkraftwerke/striempel/>, <https://www.alpiq.ch/energieerzeugung/neue-erneuerbare-energien/kleinwasserkraftwerke/tomils/>, <https://www.alpiq.ch/energieerzeugung/neue-erneuerbare-energien/kleinwasserkraftwerke/riein/>. Auskunft des SVGW Schweiz am 16.6. per E-Mail.

Tab. 3.3 Untersuchte Wasserversorger und Gewichtungsfaktoren für die Modellierung der deutschen Wasserversorgung

Bezeichnung Variante	Zugeordnete Wasserherkunft	Gewichtung	Kommentar
Ländlich, Grundwasser, Vor- und Endversorger	Grund- und Quellwasser	24.7%	Annahme: 35.7% der Grundwasserversorgung, bzw. 50% des Grundwassers aus Kleinstädten/ländlicher Gegend
Ländlich, Grundwasser, Endversorger	Grund- und Quellwasser	24.7%	Annahme: 35.7% der Grundwasserversorgung, bzw. 50% des Grundwassers aus Kleinstädten/ländlicher Gegend
Kleinstädtisch, angereichertes Grundwasser, Endversorger	angereichertes Grundwasser	9.3%	
Grossstadt, Uferfiltrat, Endversorger	Uferfiltrat und Flusswasser	9.2%	Annahme: Aufwand für Flusswasseraufbereitung ähnlich wie bei Uferfiltrat
Ländlich, See- und Talsperrenwasser, Vorversorger	See- und Talsperrenwasser	9.4%	Anteil gemäss Wasserstatistik abzüglich effektivem Anteil Seewasser, Vorversorger, hoher Energieaufwand
Mittelgrosse Stadt, Grundwasser, geringer Aufwand, Endversorger	Grund- und Quellwasser	8.1%	Annahme: 11.7% der Grundwasserversorgung
Städtisch und ländlich, Seewasser, Vorversorger, hoher Energieaufwand	See- und Talsperrenwasser	2.9%	Gemäss effektivem Anteil des Einzelversorgers
Grossstadt, Grundwasser, Endversorger	Grund- und Quellwasser	11.7%	Annahme: 16.9% der Grundwasserversorgung
Produktion Deutschland (Anteil erfasst)		100.0%	

Für die untersuchten Trinkwasserversorger wurden Daten für folgende Abschnitte des Lebenszyklus erhoben:

- Trinkwasserleitungen
- Trinkwasserspeicher und Trinkwassertalsperren
- Pumpstation
- Trinkwasseraufbereitung und Verteilung
- Wasserschutzgebiet

Zur Wasserlieferung wurden folgende Daten erhoben:

- Abgegebene Wassermenge pro Jahr
- Verluste im Leitungsnetz, Eigenverbrauch, geförderte Wassermenge
- Strom- und Energiebedarf für Pumpen und Aufbereitung (falls notwendig)
- Aufbereitung (z.B. Verbrauch von Sand, Kies, Aktivkohle, Aluminiumsulfat und anderen Materialien)
- Leitungslänge und Art der Leitungen, Durchmesser, Material, Alter der Leitungen
- Speicherbehälter (Größe, Materialien, Standorte)
- Realistische Lebensdauer der Infrastruktur (nicht Abschreibungszeitraum) evtl. differenziert für verschiedene Materialien z.B. PVC, Gusseisen, Beton
- Abwasser (m<sup>3</sup>), Behandlung, Schadstoffe (Aluminium, Chlor, etc.)
- Schlämme zur Entsorgung (inkl. Analyse der enthaltenen Schadstoffe z.B. Aluminium)
- Flächenbeanspruchung (ha) für Gebäude, Anlage und Wasserschutzgebiete

Für die Berechnung des durchschnittlichen Strombedarfs wird, in den Vordergrunddaten, mit dem deutschen Strommix gerechnet und ökologischere Stromversorgungsarten (Wasserkraft, Eigenerzeugung) bei einzelnen Versorgern nicht berücksichtigt, um auch hier die potenziellen Umweltbelastungen sicher nicht zu unterschätzen.

Für die Versorgung mit Trinkwasser aus Talsperren wurden zudem Direktmissionen auf Grund der Landtransformation (geflutete Grünflächen) berücksichtigt. Dafür wurden die Werte pro m<sup>3</sup> turbiniertem Wasser zur Stromproduktion in Wasserkraftwerken gemäss Tab. 3.4 herangezogen (Flury & Frischknecht 2012). Eine Allokation zwischen Strom- und Wasserproduktion wurde dabei nicht durchgeführt (vgl. Kapitel 2.8.2). Das heisst, die direkten Emissionen aus den Gewässern werden in dieser Studie zu 100% der Trinkwasserversorgung angerechnet um hier die potenziellen Umweltbelastungen sicher nicht zu unterschätzen.

Tab. 3.4 Emittierte Gase auf Grund der Landtransformation durch Talsperren, in Milligramm pro Kubikmeter Wasser (Flury & Frischknecht 2012)

Emittiertes Gas	mg Gas/m <sup>3</sup> Wasser
Methan	3.41
Kohlenstoffdioxid	771
Distickstoffoxid	0.067752749

Wo keine spezifischen Daten verfügbar sind, wird mit Literaturdaten z.B. den bei ESU-services für die Schweizer Trinkwasserversorgung und Mineralwasserproduktion verfügbaren Daten gerechnet und diese entsprechend für die Situation in Deutschland angepasst (ESU-services 2023c). Die so erhobenen und verwendeten Sachbilanzdaten sind vertraulich.

### 3.1.2 Konsum

Für den Konsum im Haushalt wird die Infrastruktur für die Trinkwasserverwendung berücksichtigt. Hierzu werden Herstellung, Nutzung und Entsorgung aller trinkwasserführenden Leitungen, sowie haushaltsüblichen sanitären Einrichtungen (WC, Badewanne, Spülbecken etc.) anteilmäßig berücksichtigt. Da gemäß Abb. 1.2 etwa 4% des im Haushalt verwendeten Trinkwassers tatsächlich der Flüssigkeitsaufnahme (via Getränk oder Essen) dient, werden auch 4% der trinkwasserführenden sanitären Einrichtungen der Trinkwasseraufnahme angerechnet.

Für die Verwendung von Trinkwasser als Getränk werden verschiedene Szenarien basierend auf dem durchschnittlichen deutschen Trinkwassermix verglichen (vgl. Kapitel 3.1.1).

Im Szenario Trinkwasser, gekühlt, wird angenommen, dass man Trinkwasser etwas vorlaufen lässt, bis es kühl und frisch aus der Leitung kommt. Als durchschnittliche Vorlaufmenge wird von 0.5 Liter ausgegangen (Jungbluth & König 2014). Hierfür wird entsprechend auch die Abwasserbehandlung berücksichtigt. Beim Trinkwasser mit Kohlensäure wird zusätzlich die Nutzung und Wartung des Soda-Geräts sowie das Trinkwasser zum Spülen der darin eingesetzten Flasche berücksichtigt (Jungbluth & König 2014). Dabei wird angenommen, dass für die Reinigung des Behälters im Soda-Gerät, pro Liter Trinkwasser, 0.2 Liter Warmwasser mit 40°C benötigt werden. Für gekühltes Wasser wird genau wie beim Mineralwasser von einer Aufbewahrung von 1 Tag im Kühlschrank ausgegangen. Es wird also nicht berücksichtigt, das Trinkwasser in der Regel kälter aus der Leitung kommt als Mineralwasser, welches im Supermarkt stand und von dort nach Hause gebracht wurde.

Folgende Varianten werden für das Trinkwasser beispielhaft untersucht:

Kühlung:

- Gekühlt
- Ungekühlt

Kohlensäure:

- Still
- Mit Kohlensäure

## 3.2 Mineralwasser

Verschiedene Varianten für die Bereitstellung von Mineralwasser werden beispielhaft untersucht (vgl. Abb. 3.1). Es ist nicht das Ziel der Studie Vor- und Nachteile der Verpackungen zu diskutieren. Solche Fragestellungen wurden bereits in diversen Vorgängerstudien beantwortet (vgl. z.B. Auflistung in Detzel & Kauertz 2016, Kapitel 4.1). Auch ein genauer Durchschnitt für die Mineralwasserbereitstellung kann hier nicht bilanziert werden.

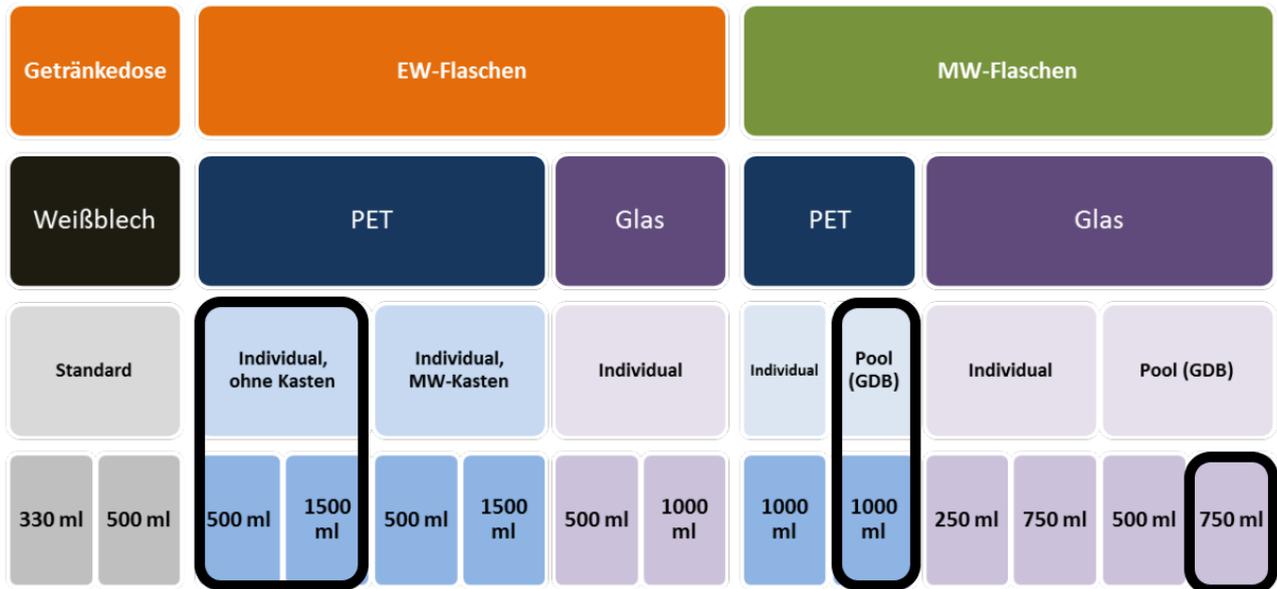


Abb. 3.1 Beispiel horizontaler Vielfalt an Verpackungsarten gemäß Detzel & Kauertz 2016, Schwarz markiert: Varianten untersucht in dieser Studie

Die aus den Studien für die Schweiz vorhandenen Daten werden durch ESU-services, an die Situation in Deutschland angepasst und aufdatiert (ESU-services 2023c).

Aus den in den folgenden Unterkapiteln gezeigten Unterscheidungsmerkmalen werden die in Kapitel 4 gezeigten Szenarien erstellt. Diese decken eine Bandbreite zwischen Minimal- und Maximalwerten ab, ohne dass jede mögliche Variante betrachtet wird.

### 3.2.1 Bereitstellung

Für die Modellierung der Mineralwasserbereitstellung in Deutschland werden Literaturdaten auf den Websites der größten Mineralwasserfirmen Deutschlands gesucht.<sup>17</sup> Es werden keine Primärdaten bei den Herstellern abgefragt. Die Informationen für die Mineralwasserbereitstellung stammen aus folgenden Quellen:

- Stromverbrauch, Wasserverbrauch, Wärmeverbrauch für Reinigung und Abfüllung der Flaschen (Gerolsteiner 2020; Hassia-Mineralquellen 2018)
- Reinigungsmittelverbrauch/Schmieröl/Heizölverbrauch für Reinigung und Abfüllung der Flaschen: (Plinke et al. 2000)

<sup>17</sup> <https://wissen.consorsbank.de/t5/Blog/Die-gr%C3%B6%C3%9Ften-Mineralwasserfirmen-in-Deutschland/ba-p/63664>

## 3.2.2 Supermarkt

### 3.2.2.1 Verpackung

Für Mineralwasser wurden die Verpackungsvarianten mit Marktanteil grösser als 10% in den Marktsegmenten Vorratshaltung und Sofortverzehr, für stilles und kohlenensäurehaltiges Wasser, untersucht. Die Marktzahlen basieren dabei auf informell übermittelter Zahlen für die Marktstruktur im Jahr 2009 (Kauertz et al. 2010; Kauertz et al. 2016).

- PET, 0.5 Liter, Einweg für stilles Wasser (90.0% Marktanteil Sofortverzehr)
- PET, 0.5 Liter, Einweg für kohlenensäurehaltiges Wasser (89.3% Marktanteil Sofortverzehr)
- PET, 1.5 Liter, Einweg für stilles Wasser (77.9% Marktanteil Vorratshaltung)
- PET, 1.5 Liter, Einweg für kohlenensäurehaltiges Wasser (42.6% Marktanteil Vorratshaltung)
- PET, 1 Liter, Mehrweg für kohlenensäurehaltiges Wasser (21.6% Marktanteil Vorratshaltung)
- Glas, 0.7 Liter, Mehrweg für kohlenensäurehaltiges Wasser (18.1% Marktanteil Vorratshaltung)

Zusätzlich werden für die Mehrwegverpackungen die entsprechenden Varianten für stilles Wasser untersucht:

- PET, 1 Liter, Mehrweg für stilles Wasser
- Glas, 0.7 Liter, Mehrweg für stilles Wasser

Für die am häufigsten gekaufte Variante für die Vorratshaltung (PET, 1.5 Liter, Einweg für stilles Wasser) wird zudem ein Best-Case-Szenario mit geringerem Verpackungsgewicht und höherem Rezyklat-Anteil modelliert.

Tab. 3.5 zeigt das Verpackungsgewicht von Flasche (inklusive Rezyklat-Anteil), Verschluss und Etikette, sowie Umlaufzahlen, Rücklaufquote und Distanz zum Verkaufsort (Kauertz et al. 2016, Tab. 3.1 und 3.2 und Kauertz et al. 2010 Tab. 2.1 und 2.2).<sup>18</sup> Das ebenfalls in der Tabelle gezeigte Transportgewicht pro Liter Getränk berücksichtigt Sekundärverpackungen (Kisten und Folien) sowie Paletten. Die dafür angenommenen Materialien wurden ebenfalls der Studie von Kauertz et al. 2010 entnommen.

---

<sup>18</sup> Rezyklat-Anteil Glas gemäss Hischier 2007

Tab. 3.5 Verpackungsgewicht, Rezyklat-Anteile, Umlaufzahlen und Rücklaufquoten, sowie Transportgewichte und Transportdistanzen (voll) der untersuchten Flaschentypen (Kauertz et al. 2016, Tab. 3.1 und 3.2, sowie Kauertz et al. 2010 Tab. 2.1, 2.2, 3.7)

Parameter	Einheit	0.5 Liter PET, Einweg, still	0.5 Liter PET, Einweg, mit Kohlensäure	1.5 Liter PET, Einweg, still	1.5 Liter PET, Einweg, mit Kohlensäure	Best Case, 1.5 Liter, Einweg, still	1 Liter PET, Mehrweg, still	0.7 Liter Glas, Mehrweg, still
Flasche, PET Rezyklat	g	1.69	3.10	8.74	6.78	17.21	0.00	0.00
Flasche, PET Primärmaterial	g	12.03	11.00	17.35	20.33	5.29	62.00	0.00
Flasche, Glas	g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	590.00
Anteil Rezyklat	%	12.3%	22.0%	33.5%	25.0%	76.5%	0.0%	62.5%
Verschluss, HDPE	g	1.88	2.24	1.85	2.12	1.00	3.20	3.2 (40%)
Verschluss, Aluminium	g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.5 (60%)
Etikette, Polypropylen	g	0.32	0.32	0.59	0.59	0.42	0.60	0.00
Etikette, Papier	g	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00
Gesamtgewicht Flasche mit Verschluss und Etikette	g	15.92	16.66	28.53	29.81	23.92	65.80	593.18
Umlaufzahl Flaschen	-	1	1	1	1	1	15	40
Rücklaufquote	%	94%	94%	94%	94%	94%	99%	99%
Gewicht Flasche und Getränk mit Verpackungsmaterial für Transport, pro Liter Getränk	kg	1.034	1.035	1.023	1.025	1.020	1.069	1.903
Transportdistanz bis Supermarkt	km	209	228	248	229	50	130	130

Die weiteren Informationen für die Modellierung der Verpackungen stammen unter anderem aus folgenden Quellen:

- Glasmenge pro Flaschen, Kunststoffmengen für Glasflaschendeckel und PET-Mehrwegflaschen, sowie Umlaufzahlen und Rücknahmeaufwände für Mehrwegsysteme (Kauertz et al. 2010)
- Hintergrunddaten für Produktion und Verarbeitung von Kunststoffen zu PET Flaschen, Deckel aus HDPE und Polypropylen, sowie Etiketten aus Polypropylen (PlasticsEurope 2016).<sup>19</sup> Hierbei werden neuere Daten zu den Methanemissionen in der Rohölproduktion berücksichtigt (Meili et al. 2021b)
- Kohlensäurebedarf für kohlensäurehaltiges Wasser (Jungbluth & König 2014).
- Für Verpackungsmaterialien, welche nicht in die stoffliche Verwertung gelangen, wird angenommen, dass diese in der Müllverbrennungsanlage entsorgt werden.

### 3.2.2.2 Vertrieb

Es werden folgende Szenarien für den Transport per LKW von der Abfüllung bis zum Supermarkt (Point of Sale) untersucht:

- Basis: Mittelwerte aus Distributionsszenario gemäß Kauertz et al. 2010, Tab. 3-7 (siehe Tab. 3.5 weiter oben)
- Szenario Regional: 50 km
- Szenario Überregional: 500 km

<sup>19</sup> Daten erhoben durch ifeu, mittels Fragebogen an Produzenten, welche als Mitglieder von PlasticsEurope aufgelistet sind.

Angaben zum Vertrieb (z.B. zu Anzahl Flaschen pro Palette, Anzahl Flaschen pro Kasten, benötigte Stretchfolie und Umlaufzahlen) wurden von Kauertz et al. 2010 (Tab. 2.1, 2.2 und 2.5) übernommen.

Es wird davon ausgegangen, dass das Mineralwasser im Supermarkt nicht gekühlt wird. Für gekühltes Wasser aus dem Verkaufsgeschäft wären die potenziellen Umweltbelastungen also höher als in dieser Studie ausgewiesen.

Für sonstige Aufwendungen im Supermarkt wird ein Schweizer Datensatz für die Distribution verwendet wobei von einem Gesamtumsatz von 10 Mio. CHF pro Jahr und einem Verkaufspreis von etwa 0.50 CHF pro Liter Mineralwasser ausgegangen wird (vgl. Jungbluth & König 2014).

### 3.2.3 Konsum

Für den Endkonsum wird zusätzlich der Transport des Mineralwassers vom Supermarkt nach Hause bzw. an den Ort des Konsums berücksichtigt. Dafür werden generische Daten für die Transportmittelwahl in Europa verwendet (ESU-services 2023c)<sup>20</sup>. Bei gekühltem Mineralwasser wird davon ausgegangen, dass die Wasserflasche mit Trink- oder Mineralwasser einen Tag lang im Kühlschrank liegt. Für das Best Case-Szenario wird davon ausgegangen, dass der Heimtransport zu Fuß erfolgt.

## 3.3 Modellierung

Die Modellierung der Sachbilanz erfolgt gemäß den im vorhergehenden Schritt erhobenen Daten. Wo keine spezifischen Informationen zur Verfügung gestellt werden, wird mit den bereits verfügbaren aktuellen Daten bzw. vertraulichen Daten der ESU-Datenbank (ESU-services 2023b, c) gerechnet. Weitere Informationen zu den verfügbaren Datenbanken sind auf einer Webpage verfügbar.<sup>21</sup>

Alle genutzten Hintergrunddaten sind elektronisch dokumentiert und im Rahmen des Datenverkaufs von ESU-services verfügbar. Die neu erhobenen Daten werden im EcoSpold v1 Format vollständig dokumentiert. Für die kritische Prüfung wird die Datenbank im SimaPro Format zur Verfügung gestellt. Wichtige Annahmen und Literaturquellen werden in einem kurzen, vertraulichen Anhang zum Bericht dokumentiert.

---

<sup>20</sup> Für den Heimtransport von Mineralwasser werden verschiedene Transportmittel für Lebensmitteleinkäufe in Deutschland nach ihren relativen Anteilen an der Wegdistanz berücksichtigt.

<sup>21</sup> Eine detaillierte Beschreibung der verfügbaren Datenbanken steht auf <http://esu-services.ch/de/address/angebote/> zur Verfügung.

## 4 Auswertung

Es werden im Folgenden Auswertungen und Vergleiche für verschiedene Wassertypen und Nutzungsszenarien, pro Liter Wasser, durchgeführt. In Kapitel 4.1 wird in tabellarischer Form ein Gesamtüberblick für alle untersuchten Szenarien vermittelt. Gezeigt werden dort charakterisierte Ergebnisse der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018).

Die detaillierte Diskussion der Resultate wird in den Kapiteln 4.2 und 4.3, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018) geführt. Diese wurde in Kapitel 2.10 genauer beschrieben (Sala et al. 2018). Zur Plausibilisierung der Resultate werden in Kapitel 4.4 Vergleiche mit Daten für ausländische Trink- und Mineralwasserbereitsteller gezeigt. Des Weiteren werden die Prozesse auch spezifisch bezogen auf das Klimaänderungspotenzial untersucht. Die entsprechenden Auswertungen werden in Kapitel 4.5 tabellarisch zusammen mit den gewichteten Resultaten mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0) gezeigt. Als Ergänzung werden im Anhang D zudem tabellarisch Auswertungen mit der Methode für die ökologische Knappheit mit Gewichtungssatz für Deutschland 2013 und die Schweiz 2021 gezeigt.

## 4.1 Charakterisierte Umweltbelastungen

Tab. 4.1 zeigt die potenziellen Umweltbelastungen je Einzelindikator, gemäß europäischer Methode für den Umweltaufdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018), für die Stufe Trinkwasserbereitstellung bis zum Hausanschluss. In allen Wirkungskategorien resultieren für den modellierten deutschen Durchschnitt im Vergleich zu den betrachteten Einzelversorgern, pro Liter Wasser, verhältnismässig hohe Werte (orange bis rote Farbskala). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die tendenziell umweltschädlichere Einzelversorger für die Durchschnittsbildung stark gewichtet werden (vgl. Kapitel 3.2.1).

Tab. 4.1 Resultate für einzelne Wirkungskategorien, gemäß europäischer Methode für den Umweltaufdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018), für die Bereitstellung von 1 Liter Trinkwasser beim Hausanschluss (ohne sanitäre Anlagen), für alle untersuchten Wasserversorger inklusive daraus modelliertem Durchschnitt, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Zeile

	Trinkwasser, Deutscher Durchschnitt, Endversorger	Trinkwasser, Seewasser, Flachland, Vorversorgung	Trinkwasser, Angereichertes Grundwasser, Kleinstadt, Endversorger	Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Endversorger	Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Vor- und Endversorger	Trinkwasser, Grundwasser, städtisch, Endversorger	Trinkwasser, See- und Stauseewasser, ländlich, Vorversorger	Trinkwasser, Grundwasser, mittelgrosse Stadt, Endversorger	Trinkwasser, Uferfiltrat, Grossstadt, Endversorger
Klimawandel (kg CO2 eq)	5.9E-4	6.4E-4	3.8E-4	5.9E-4	5.1E-4	2.5E-4	1.1E-3	2.9E-4	3.5E-4
Zerstörung der Ozonschicht (kg CFC11 eq)	1.1E-11	1.2E-11	2.1E-11	9.9E-12	8.7E-12	4.7E-12	4.3E-12	5.6E-12	6.3E-12
Ionisierende Strahlung (kBq U-235 eq)	3.6E-5	5.4E-5	3.0E-5	4.8E-5	4.0E-5	2.0E-5	1.5E-5	1.8E-5	2.5E-5
Photochemische Ozonbildung (kg NMVOC eq)	9.3E-7	9.4E-7	6.6E-7	9.0E-7	8.8E-7	4.2E-7	4.3E-7	6.5E-7	6.4E-7
Feinstaub (disease inc.)	1.4E-11	1.1E-11	8.3E-12	1.1E-11	1.1E-11	4.5E-12	4.9E-12	9.5E-12	9.0E-12
Humantoxizität, nicht Krebs (CTUh)	2.3E-11	3.5E-11	3.7E-12	1.8E-11	1.6E-11	2.2E-12	3.0E-12	1.3E-11	1.1E-11
Humantoxizität, Krebs (CTUh)	5.1E-13	2.6E-13	1.2E-13	3.0E-13	3.4E-13	8.0E-14	9.1E-14	3.7E-13	3.1E-13
Versauerung (mol H+ eq)	1.1E-6	1.2E-6	8.1E-7	1.1E-6	1.0E-6	4.7E-7	4.7E-7	7.0E-7	7.3E-7
Eutrophierung, Süßwasser (kg P eq)	4.8E-8	7.5E-8	3.6E-8	6.6E-8	5.4E-8	2.5E-8	1.6E-8	2.4E-8	3.3E-8
Eutrophierung, Meer (kg N eq)	2.5E-7	2.6E-7	1.7E-7	2.5E-7	2.4E-7	1.2E-7	1.0E-7	1.5E-7	1.7E-7
Eutrophierung, terrestrisch (mol N eq)	2.9E-6	3.2E-6	2.1E-6	3.0E-6	2.8E-6	1.4E-6	1.3E-6	1.8E-6	2.0E-6
Ökotoxizität, Süßwasser (CTUe)	1.2E-2	8.2E-3	1.6E-2	5.6E-3	4.8E-3	1.8E-3	3.9E-2	3.7E-3	3.5E-3
Landverbrauch (Pt)	2.3E-3	1.6E-3	1.7E-3	2.1E-3	2.1E-3	1.6E-3	1.6E-3	5.3E-3	1.8E-3
Wasserverbrauch (m3 depriv.)	1.6E-3	1.6E-3	1.6E-3	1.6E-3	1.6E-3	1.5E-3	1.5E-3	1.5E-3	1.6E-3
Ressourcennutzung, fossil (MJ)	6.9E-3	9.0E-3	5.9E-3	8.2E-3	7.0E-3	3.4E-3	2.5E-3	4.3E-3	4.7E-3
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle (kg Sb eq)	7.0E-10	7.6E-10	5.0E-10	5.7E-10	5.4E-10	2.3E-10	2.5E-10	5.3E-10	4.3E-10

Tab. 4.2 zeigt die potenziellen Umweltbelastungen je Einzelindikator, gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018), für die Mineralwasserbereitstellung ab Abfüller (ohne Verpackung) und Trinkwasserbereitstellung im Haushalt, ab Wasserhahn. Für alle Indikatoren resultieren für das Trinkwasser deutlich tiefere potenzielle Umweltbelastungen als für die Mineralwasserbereitstellung ab Abfüller.

Tab. 4.2 Resultate für einzelne Wirkungskategorien, gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018), für die Bereitstellung von 1 Liter Mineralwasser ab Werk (ohne Verpackung und Transport) und 1 Liter Trinkwasser beim Hausanschluss (inklusive sanitären Anlagen), Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Zeile

	Mineralwasser, ab Werk	Trinkwasser, still, ungekühlt, zu Hause
Klimawandel (kg CO <sub>2</sub> eq)	3.4E-2	1.3E-3
Zerstörung der Ozonschicht (kg CFC11 eq)	8.2E-10	2.2E-11
Ionisierende Strahlung (kBq U-235 eq)	1.7E-3	6.9E-5
Photochemische Ozonbildung (kg NMVOC eq)	5.3E-5	2.5E-6
Feinstaub (disease inc.)	4.3E-10	1.2E-10
Humantoxizität, nicht Krebs (CTUh)	2.1E-10	5.7E-11
Humantoxizität, Krebs (CTUh)	8.5E-12	1.2E-12
Versauerung (mol H <sup>+</sup> eq)	5.4E-5	3.6E-6
Eutrophierung, Süßwasser (kg P eq)	4.3E-6	1.7E-7
Eutrophierung, Meer (kg N eq)	1.6E-5	6.4E-7
Eutrophierung, terrestrisch (mol N eq)	1.7E-4	7.3E-6
Ökotoxizität, Süßwasser (CTUe)	3.5E-1	2.9E-2
Landverbrauch (Pt)	2.8E-2	3.9E-3
Wasserverbrauch (m <sup>3</sup> depriv.)	7.5E-3	1.9E-3
Ressourcennutzung, fossil (MJ)	4.6E-1	1.5E-2
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle (kg Sb eq)	3.7E-8	6.7E-9

Tab. 4.3 zeigt die potenziellen Umweltbelastungen je Einzelindikator, gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018), für Mineralwasserbereitstellung auf Stufe Supermarkt. Verpackung und Transport tragen hier wesentlich zu den höheren potenziellen Umweltbelastungen im Vergleich zu Mineralwasserbereitstellung beim Abfüller bei.

Tab. 4.3 Resultate für einzelne Wirkungskategorien, gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018), aller untersuchten Varianten für 1 Liter Mineralwasser ab Supermarkt, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Zeile

	Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser, still, ungekühlt, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt	Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, im Supermarkt	Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, im Supermarkt, Best-Case
Klimawandel (kg CO2 eq)	1.5E-1	1.8E-1	2.2E-1	2.5E-1	1.3E-1	1.6E-1	1.5E-1	1.7E-1	1.0E-1
Zerstörung der Ozonschicht (kg CFC11 eq)	3.4E-9	3.6E-9	4.9E-9	5.2E-9	2.7E-9	2.9E-9	3.5E-9	3.7E-9	2.1E-9
Ionisierende Strahlung (kBq U-235 eq)	6.2E-3	7.3E-3	9.4E-3	1.0E-2	4.4E-3	5.2E-3	5.6E-3	6.4E-3	4.3E-3
Photochemische Ozonbildung (kg NMVOC eq)	3.6E-4	3.8E-4	5.1E-4	5.3E-4	2.8E-4	3.0E-4	4.0E-4	4.1E-4	1.9E-4
Feinstaub (disease inc.)	4.9E-9	5.1E-9	6.6E-9	6.7E-9	3.0E-9	3.2E-9	4.8E-9	5.0E-9	2.1E-9
Humantoxizität, nicht Krebs (CTUh)	1.4E-9	1.8E-9	1.8E-9	2.2E-9	1.0E-9	1.4E-9	1.6E-9	1.9E-9	7.9E-10
Humantoxizität, Krebs (CTUh)	4.8E-11	5.5E-11	1.0E-10	1.1E-10	2.8E-11	3.2E-11	4.9E-11	5.3E-11	3.2E-11
Versauerung (mol H+ eq)	3.4E-4	3.7E-4	5.2E-4	5.3E-4	2.3E-4	2.6E-4	3.4E-4	3.6E-4	1.8E-4
Eutrophierung, Süßwasser (kg P eq)	8.7E-6	9.6E-6	1.2E-5	1.2E-5	7.1E-6	7.7E-6	7.5E-6	8.1E-6	6.8E-6
Eutrophierung, Meer (kg Neq)	9.0E-5	9.5E-5	1.2E-4	1.3E-4	6.6E-5	7.0E-5	9.6E-5	1.0E-4	5.3E-5
Eutrophierung, terrestrisch (mol Neq)	9.0E-4	9.5E-4	1.2E-3	1.3E-3	6.6E-4	7.0E-4	9.7E-4	1.0E-3	5.1E-4
Ökotoxizität, Süßwasser (CTUe)	1.4E+0	1.4E+0	1.8E+0	1.9E+0	1.1E+0	1.2E+0	1.6E+0	1.7E+0	8.6E-1
Landverbrauch (Pt)	3.5E-1	3.3E-1	4.5E-1	4.0E-1	1.7E-1	1.7E-1	1.0E+0	1.0E+0	2.4E-1
Wasserverbrauch (m3 depriv.)	2.1E-2	2.6E-2	2.9E-2	3.3E-2	1.3E-2	1.8E-2	2.0E-2	2.4E-2	1.7E-2
Ressourcennutzung, fossil (MJ)	2.3E+0	2.5E+0	3.6E+0	3.7E+0	1.9E+0	2.0E+0	2.0E+0	2.2E+0	1.3E+0
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle (kg Sb eq)	3.0E-7	3.6E-7	4.8E-7	5.1E-7	1.7E-7	2.2E-7	1.7E-7	2.2E-7	1.3E-7

Tab. 4.4 zeigt die potenziellen Umweltbelastungen je Einzelindikator, gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018), für Mineral- und Trinkwasserbereitstellung, pro Liter Wasser, im Haushalt für stilles und kohlenstoffhaltiges sowie gekühltes und ungekühltes Wasser. Bei den durchschnittlichen Betrachtungen verursacht Trinkwasser, in allen Varianten und bei allen gezeigten Indikatoren potenziell geringere Umweltbelastungen. Auch der modellierte Best-Case für stilles, ungekühltes Mineralwasser verursacht im Vergleich zu ungekühltem Trinkwasser (still und mit Kohlensäure) bei allen gezeigten Indikatoren potenziell höhere Umweltbelastungen.

Tab. 4.4 Resultate für einzelne Wirkungskategorien, gemäß europäischer Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0, Sala et al. 2018), aller untersuchten Varianten für Mineral- und Trinkwasser ab Haushalt, pro Liter Wasser, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Zeile

	Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0,7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser, still, gekühlt, 0,7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0,7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser, still, ungekühlt, 0,7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser, still, gekühlt, 0,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser, still, ungekühlt, 0,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser, still, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser, still, gekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser, still, ungekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	Mineralwasser, still, ungekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause, Best-Case	Trinkwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, zu Hause	Trinkwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, zu Hause	Trinkwasser, still, gekühlt, zu Hause	Trinkwasser, still, ungekühlt, zu Hause
Klimawandel (kg CO2 eq)	6.1E-1	5.8E-1	5.9E-1	5.7E-1	5.0E-1	4.7E-1	4.8E-1	4.5E-1	4.3E-1	3.8E-1	4.2E-1	4.0E-1	4.1E-1	4.0E-1	3.8E-1	3.8E-1	1.0E-1	7.4E-2	7.4E-2	2.5E-2	1.3E-3
Zerstörung der Ozonschicht (kg CFC11 eq)	6.5E-8	6.5E-8	6.5E-8	6.5E-8	4.0E-8	4.0E-8	3.9E-8	3.9E-8	3.8E-8	3.9E-8	3.9E-8	3.8E-8	3.7E-8	3.8E-8	3.7E-8	3.8E-8	2.1E-9	2.3E-9	2.3E-9	5.6E-10	2.2E-11
Ionisierende Strahlung (kBq U-235 eq)	3.2E-2	3.1E-2	2.8E-2	2.8E-2	2.6E-2	2.5E-2	2.2E-2	2.2E-2	2.3E-2	2.6E-2	2.2E-2	2.2E-2	1.9E-2	1.8E-2	1.8E-2	1.7E-2	4.3E-3	6.5E-3	6.5E-3	3.8E-3	6.9E-5
Photochemische Ozonbildung (kg NMVOC eq)	2.1E-3	2.0E-3	2.0E-3	2.0E-3	1.5E-3	1.5E-3	1.4E-3	1.4E-3	1.3E-3	1.2E-3	1.3E-3	1.3E-3	1.3E-3	1.2E-3	1.2E-3	1.2E-3	1.9E-4	1.5E-4	1.5E-4	6.3E-5	2.5E-6
Feinstaub (disease inc.)	1.9E-8	1.9E-8	1.9E-8	1.8E-8	1.5E-8	1.5E-8	1.4E-8	1.4E-8	1.3E-8	1.1E-8	1.1E-8	1.3E-8	1.3E-8	1.1E-8	1.2E-8	1.1E-8	2.1E-9	1.8E-9	1.8E-9	5.9E-10	1.2E-10
Humantoxizität, nicht Krebs (CTUh)	8.7E-9	8.3E-9	8.4E-9	8.0E-9	6.1E-9	5.7E-9	5.8E-9	5.4E-9	5.6E-9	5.0E-9	5.4E-9	5.2E-9	5.3E-9	5.1E-9	4.9E-9	4.7E-9	7.9E-10	1.0E-9	1.0E-9	4.1E-10	5.7E-11
Humantoxizität, Krebs (CTUh)	2.7E-10	2.7E-10	2.6E-10	2.6E-10	2.3E-10	2.3E-10	2.3E-10	2.2E-10	1.8E-10	1.5E-10	1.6E-10	1.7E-10	1.7E-10	1.5E-10	1.6E-10	1.5E-10	3.2E-11	3.3E-11	3.3E-11	1.1E-11	1.2E-12
Versauerung (mol H+ eq)	1.8E-3	1.8E-3	1.7E-3	1.7E-3	1.4E-3	1.4E-3	1.3E-3	1.3E-3	1.2E-3	1.1E-3	1.1E-3	1.2E-3	1.1E-3	1.1E-3	1.1E-3	1.0E-3	1.8E-4	2.0E-4	2.0E-4	8.9E-5	3.6E-6
Eutrophierung, Süßwasser (kg P eq)	2.7E-5	2.7E-5	2.5E-5	2.4E-5	2.4E-5	2.3E-5	2.1E-5	2.1E-5	2.1E-5	1.8E-5	2.0E-5	2.0E-5	1.9E-5	1.7E-5	1.8E-5	1.7E-5	6.8E-6	4.6E-6	4.6E-6	2.8E-6	1.7E-7
Eutrophierung, Meer (kg N eq)	4.7E-4	4.7E-4	4.6E-4	4.6E-4	3.4E-4	3.4E-4	3.3E-4	3.3E-4	3.1E-4	2.8E-4	2.9E-4	3.0E-4	3.0E-4	2.8E-4	2.9E-4	2.8E-4	5.3E-5	3.8E-5	3.8E-5	1.5E-5	6.4E-7
Eutrophierung, terrestrisch (mol Neq)	5.1E-3	5.1E-3	5.0E-3	4.9E-3	3.6E-3	3.6E-3	3.5E-3	3.5E-3	3.3E-3	3.0E-3	3.1E-3	3.2E-3	3.1E-3	3.0E-3	3.1E-3	2.9E-3	5.2E-4	3.7E-4	3.7E-4	1.5E-4	7.3E-6
Ökotoxizität, Süßwasser (CTUe)	7.0E+0	6.9E+0	6.7E+0	6.7E+0	4.9E+0	4.9E+0	4.7E+0	4.6E+0	4.5E+0	4.2E+0	4.3E+0	4.4E+0	4.3E+0	4.1E+0	4.2E+0	4.0E+0	8.6E-1	7.1E-1	7.1E-1	3.5E-1	2.9E-2
Landverbrauch (Pt)	3.5E+0	3.5E+0	3.5E+0	3.5E+0	1.8E+0	1.8E+0	1.8E+0	1.8E+0	1.7E+0	1.6E+0	1.6E+0	1.7E+0	1.7E+0	1.6E+0	1.7E+0	1.6E+0	2.4E-1	2.3E-1	2.3E-1	2.9E-2	3.9E-3
Wasserverbrauch (m3 depriv.)	6.6E-2	6.2E-2	6.0E-2	5.6E-2	5.9E-2	5.5E-2	5.3E-2	4.9E-2	5.2E-2	4.1E-2	4.4E-2	4.7E-2	4.6E-2	3.8E-2	4.1E-2	3.4E-2	1.7E-2	2.0E-2	2.0E-2	8.2E-3	1.9E-3
Ressourcennutzung, fossil (MJ)	8.1E+0	8.0E+0	7.8E+0	7.7E+0	7.2E+0	7.1E+0	6.9E+0	6.8E+0	5.9E+0	5.4E+0	5.5E+0	5.7E+0	5.6E+0	5.2E+0	5.4E+0	5.1E+0	1.3E+0	9.0E-1	9.0E-1	4.0E-1	1.5E-2
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle (kg Sb eq)	3.5E-6	3.4E-6	3.4E-6	3.3E-6	2.4E-6	2.4E-6	2.3E-6	2.2E-6	2.2E-6	2.1E-6	2.2E-6	2.2E-6	2.1E-6	2.0E-6	2.0E-6	2.0E-6	1.3E-7	2.0E-7	2.0E-7	1.3E-7	6.7E-9

## 4.2 Analyse der potenziellen, gewichteten Umweltbelastung

### 4.2.1 Trinkwasserbereitstellung

Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, wurde die Trinkwasserbereitstellung für verschiedene Vor- und Endversorger untersucht. Abb. 4.1 zeigt die potenzielle Gesamtumweltbelastung für die Bereitstellung von 1 Liter Trinkwasser ab Hausanschluss.<sup>22</sup> Die durchschnittliche Wasserversorgung in Deutschland verursacht pro Liter ab Hausanschluss potenzielle Umweltbelastungen in der Höhe von etwa 0.052 Mikro-Punkten ( $5.2 \cdot 10^{-8}$  Punkte).<sup>23</sup>

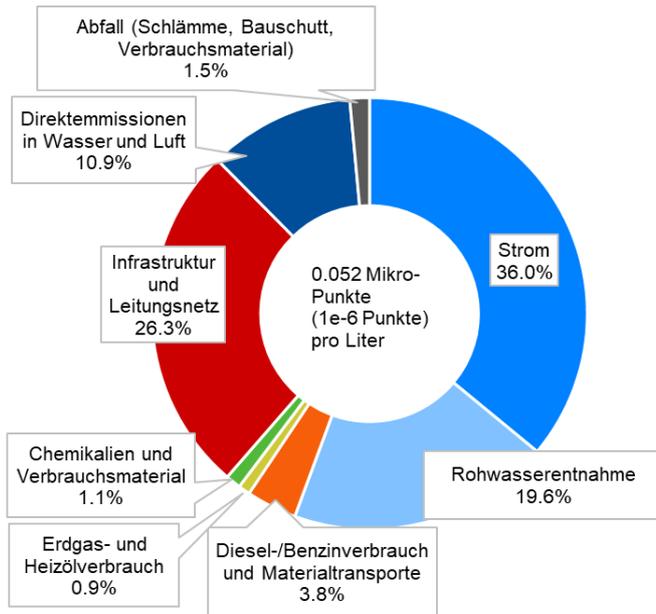


Abb. 4.1 Relativer Anteil der Gesamtumweltbelastungen auf Grund verschiedener Sachbilanzposten für die durchschnittliche Trinkwasserbereitstellung in Deutschland, pro Liter Wasser, basierend auf der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018)

Hauptverantwortlich dafür sind der Strombedarf (insbesondere fürs Pumpen, 36%), die Infrastruktur (26%) sowie die Rohwasserentnahme (20%). Direktemissionen ins (Ab-)Wasser und die Luft verursachen weitere 11% der potenziellen Umweltbelastungen. Hauptverantwortlich für die Belastungen in der Gruppe „Direktemissionen“ ist die Freisetzung von Kohlendioxid und biogenem Methan auf Grund der Landtransformation bei der Wassergewinnung mittels Talsperren (vgl. Kap. 3.1.1). Ferner relevant sind Aluminium- und Schwefelsäure-Emissionen, für welche davon ausgegangen wird, dass sie, zumindest teilweise, via Klarwasser in den Vorfluter gelangen. Chemikalien- und Brennstoffverbrauch (für Heizen und Transporte), sowie Abfälle (Schlämme, Bauschutt und Verbrauchsmaterial) verursachen jedoch vergleichsweise geringe Umweltbelastungen.

Hinsichtlich der Umweltbelastungen durch den Wasserverbrauch, auf Grundlage der Sachbilanzdaten für die Rohwasserentnahme ist anzumerken, dass dieser gemäß Bewertungsmethodik nur ins Gewicht fallen sollte, falls das Wasser verdunstet bzw. aus dem jeweiligen Wassereinzugsgebiet in ein anderes gelangt. Methodisch können die Hintergrunddaten nur nationale Grenzen ziehen und entsprechend

<sup>22</sup> „Ab Hausanschluss“ bedeutet inklusive Leitungsnetz bis zum Grundstück, aber ohne Leitungen und sanitäre Anlagen im Haushalt.

<sup>23</sup> Die Einheit ergibt sich aus der Bewertungsmethode. Beispiele zu dieser Einheit werden im Anhang, Kapitel B.17 gezeigt.

werden hier national gemittelte Gewichtungsfaktoren der AWARE Methode verwendet. Außerdem wird in den Sachbilanzdaten nicht die Wasserverschiebung im Sinne der Methode direkt erfasst, sondern nur die Entnahme und Rückgabe in Gewässer. Die Differenz zwischen Input und Output bildet dann die für die Bewertung relevante Größe. Die Rückführung für Toilettenabwasser für das getrunkene Wasser fehlt in dieser Studie auf Grund der Systemgrenzen (das Wasser ist in allen Varianten im Endprodukt enthalten). Deshalb wird für Trinkwasser hier ein hoher Indikatorwert berechnet, weil nebst den Verlusten und dem Wasserverbrauch für die Reinigung auch die im Produkt enthaltene Wassermenge als Umweltbelastung erfasst ist. Würde die Rückführung hier bereits eingerechnet, wären die Umweltbelastungen deutlich tiefer. Abb. 4.2 zeigt die Gesamtumweltbelastung mit den Anteilen je Wirkungskategorie für die modellierte durchschnittliche Trinkwasserbereitstellung in Deutschland sowie der dafür untersuchten Wasserversorger.

Bei den untersuchten Wasserversorgungsunternehmen verursacht die Vorversorgung mit Talsperren-Wasser die größte und die direkte Endversorgung mit Grundwasser im städtischen Raum die geringste potenzielle Umweltbelastung pro Liter Trinkwasser. Die Bandbreite der untersuchten Versorger liegt dabei zwischen 0.027 und 0.065 Mikro-Punkten pro Liter Trinkwasser.

Gemäß Tab. 4.5 stammen 30% der potenziellen Umweltbelastungen der durchschnittlichen Trinkwasserbereitstellung von der Wirkungskategorie Klimawandel, etwa 23% vom Wasserverbrauch, etwa 17% von der Ressourcennutzung fossiler Energieträger, sowie etwa 11% aus der Ökotoxizität in Süßwasser. Die weiteren Kategorien haben jeweils weniger als 5% Anteil an der Gesamtbelastung. Die Resultate bezüglich Ökotoxizität in Süßwasser weichen für die verschiedenen Versorger stark voneinander ab. Sie hängen von den eingesetzten und teilweise im Klarwasser in den Vorfluter gelangenden Chemikalien ab. Wie in Kapitel 2.10.1 erläutert weist die Bewertungsmethode zur Ökotoxizität eine geringe Robustheit auf, weshalb damit verbundene Resultate kritisch zu betrachten sind.

Je nach Herkunft des Trinkwassers unterscheiden sich die Ursachen für die Gesamtbelastungen stark. So spielen z.B. bei der Stausee-Wasseraufbereitung die Freisetzung von Kohlendioxid und Methan auf Grund der Landtransformation für die Stauseebildung sowie eingesetzten Chemikalien, bzw. deren teilweise Freisetzung in Gewässer (insbesondere Schwefelsäure und Aluminium) eine deutlich wichtigere Rolle als bei den restlichen Versorgern. Andererseits ist hier der Verbrauch an fossilen Ressourcen pro bereitgestelltem Liter Wasser gering. Bei allen Versorgern in etwa gleich hoch ist die Belastung auf Grund der Rohwasserentnahme. Unterschiede ergeben sich hier auf Grund von Wasserverlusten bei der Verarbeitung und im Verteilnetz.

Für die Bildung des Durchschnittswertes für die Trinkwasserversorgung wurde die Herkunft des Trinkwassers gemäß nationalen Statistiken berücksichtigt (vgl. Kapitel 3.1.1). Deshalb sollten die oben genannten Unterschiede im Durchschnittsmix sinngemäß berücksichtigt sein. Daten für die Wasserverluste, das Rohrleitungsnetz sowie für die Abfälle wurden jedoch direkt aus nationalen Statistiken entnommen. Deshalb lässt sich der Durchschnitt nicht direkt, bzw. mit Hilfe der Gewichtungsfaktoren aus den unten gezeigten Belastungen ableiten.

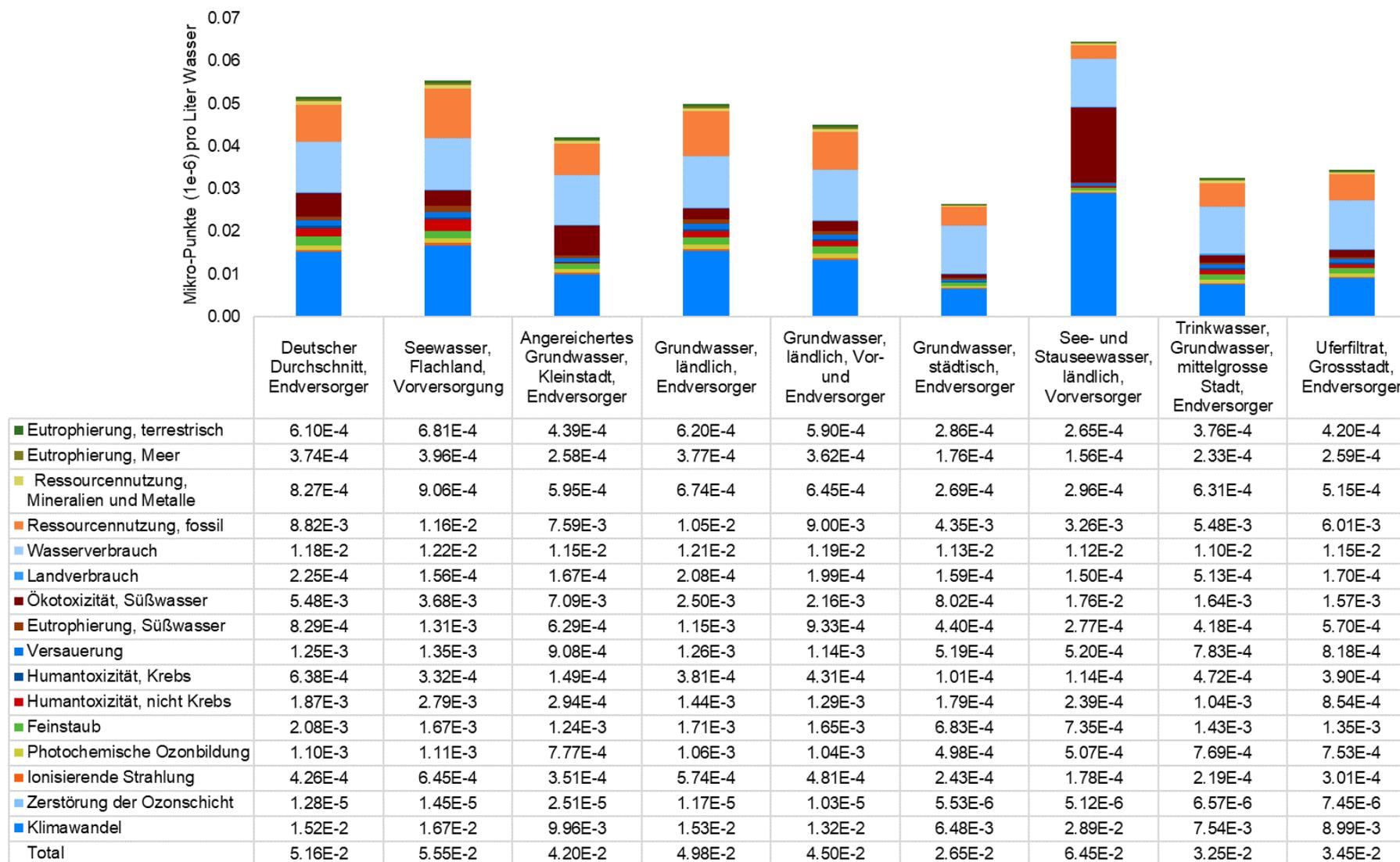


Abb. 4.2 Analyse der verschiedenen Trinkwasserversorgungen ab Vor- und/oder Endversorger, beim Hausanschluss, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser

Tab. 4.5 Relative Anteile der potenziellen Umweltbelastungen unterschiedlicher Wirkungskategorien für die durchschnittliche Trinkwasserbereitstellung in Deutschland, sowie für die untersuchten Wasserversorger, pro Liter Wasser, basierend auf der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018), Farbskala: grün = niedrige Anteile, rot = hohe Anteile an den potenziellen Belastungen

	Deutscher Durchschnitt, Endversorger	Seewasser, Flachland, Vorversorgung	Angereichertes Grundwasser, Kleinstadt, Endversorger	Grundwasser, ländlich, Endversorger	Grundwasser, ländlich, Vor- und Endversorger	Grundwasser, städtisch, Endversorger	See- und Stauseewasser, ländlich, Vorversorger	Trinkwasser, Grundwasser, mittelgrosse Stadt, Endversorger	Uferfiltrat, Grossstadt, Endversorger
Klimawandel	30%	30%	24%	31%	29%	24%	45%	23%	26%
Zerstörung der Ozonschicht	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ionisierende Strahlung	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%
Photochemische Ozonbildung	2%	2%	2%	2%	2%	2%	1%	2%	2%
Feinstaub	4%	3%	3%	3%	4%	3%	1%	4%	4%
Humantoxizität, nicht Krebs	4%	5%	1%	3%	3%	1%	0%	3%	2%
Humantoxizität, Krebs	1%	1%	0%	1%	1%	0%	0%	1%	1%
Versauerung	2%	2%	2%	3%	3%	2%	1%	2%	2%
Eutrophierung, Süßwasser	2%	2%	1%	2%	2%	2%	0%	1%	2%
Eutrophierung, Meer	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%
Eutrophierung, terrestrisch	1%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	1%	1%
Ökotoxizität, Süßwasser	11%	7%	17%	5%	5%	3%	27%	5%	5%
Landverbrauch	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	2%	0%
Wasserverbrauch	23%	22%	27%	24%	26%	43%	17%	34%	33%
Ressourcennutzung, fossil	17%	21%	18%	21%	20%	16%	5%	17%	17%
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	2%	2%	1%	1%	1%	1%	0%	2%	1%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

#### 4.2.2 Trinkwasser bei den Konsumierenden

Abb. 4.3 zeigt einen Vergleich, pro Liter Wasser, für die Variante Trinkwasser direkt ab Endversorger (ohne Hausinfrastruktur und ohne Verluste für Vorlauf und Spülen, vgl. Kapitel 4.2.1) mit den Varianten ab Leitung inklusive Hausinfrastruktur und zusätzlichem Wasserverbrauch für Vorlauf<sup>24</sup>: mit und ohne Kohlensäure, sowie mit und ohne Kühlung im Kühlschrank. Ab Sanitäranlagen im Haushalt und mit Vorlauf verursacht die Trinkwasserbereitstellung je nach Einzelindikator 1.2 bis 9.6-fach höhere potenzielle Umweltbelastungen als direkt beim Hausanschluss (Gewichtetes Total: 2.4-mal höhere potenzielle Gesamtbelastungen). Kühlung im Kühlschrank oder Versetzung mit Kohlensäure erhöht die potenziellen Umweltbelastungen je nach Einzelindikator zusätzlich um einen Faktor 4 bis 55 bzw. 8 bis 83 und im Fall von gekühltem, mit Kohlensäure versetztem Wasser um einen Faktor 11 bis 102 (Gewichtetes Total: 16 bzw. 27- und 39-mal höhere potenzielle Gesamtbelastungen). Hauptanteil an diesen potenziellen Umweltbelastungen haben die Wirkungskategorien Klimawandel (27 bis 43%) und Ressourcennutzung, fossil (15 bis 25%). Beim ungekühlten, stillen Wasser erreichen die Wirkungskategorien Feinstaub, Ökotoxizität (Süßwasser) und Wasserverbrauch Anteile von 10 bis 15%. Ansonsten haben die weiteren Wirkungskategorien Anteile an der potenziellen Gesamtbelastung von unter 10%.

---

<sup>24</sup> Es wird davon ausgegangen, dass vor Befüllen des Trinkgefäßes etwas Wasser ungenutzt abfließt, bis kühleres Wasser aus der Leitung kommt.

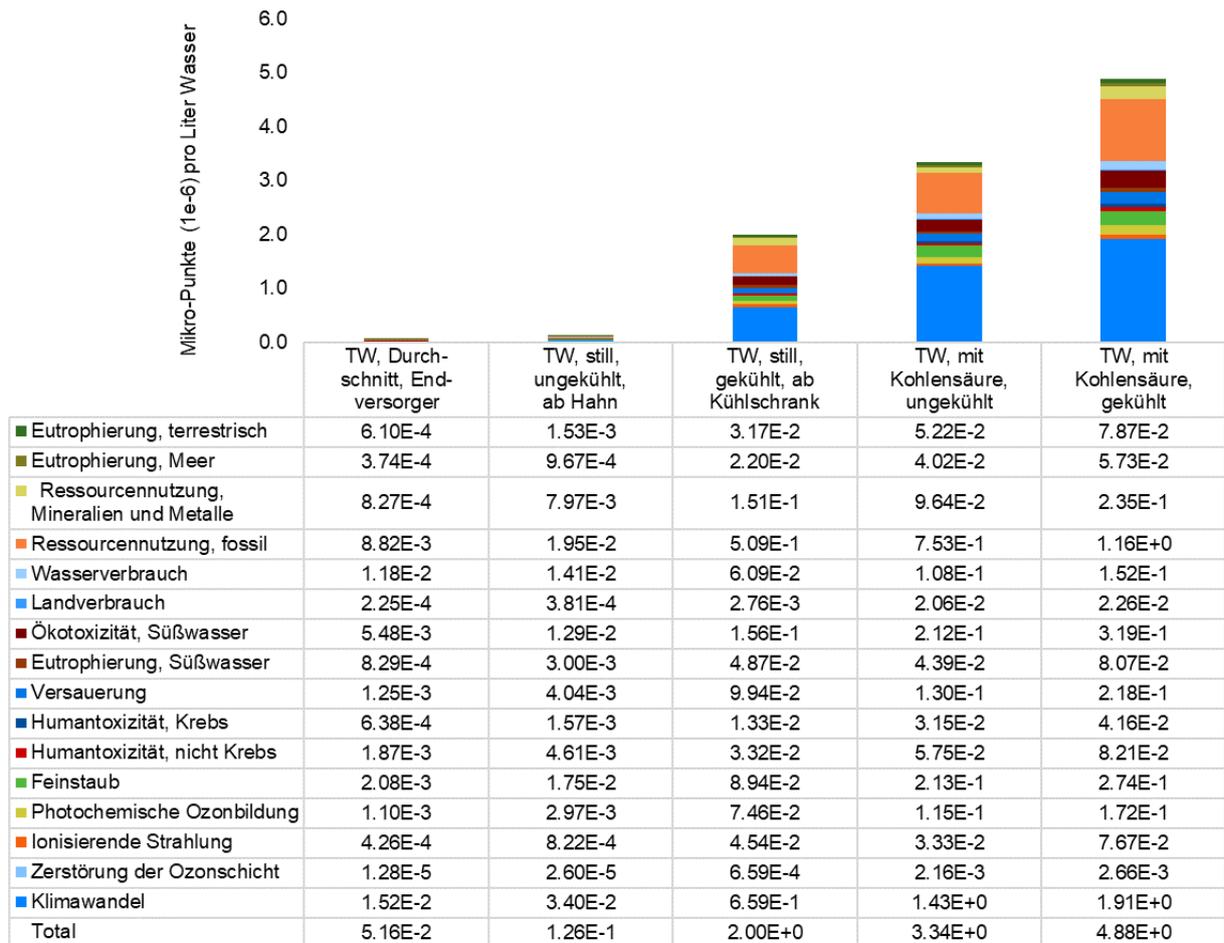


Abb. 4.3 Vergleich der Trinkwasserbereitstellung bei den Konsumierenden, für die Varianten „still“, „kohlen-säurehaltig“, „ungekühlt“ und „gekühlt“, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser.

Abb. 4.4 zeigt die relativen Anteile der Verursacher der potenziellen Umweltbelastungen für ungekühltes, stilles, sowie gekühltes, kohlen-säurehaltiges Trinkwasser.

Beim stillen, ungekühlten Wasser verursachen die Hausinstallationen etwa einen Drittel der potenziellen Umweltbelastungen. Die Trinkwasserversorgung hat den Hauptanteil von etwa 63% und die Abwasserbehandlung für das Wasser, welches vor dem Befüllen des Trinkgefäßes ungenutzt abfließt, etwa 5% der potenziellen Umweltbelastungen für die Trinkwassernutzung zu Hause.

Bei den Hausinstallationen machen der Kupferanteil der Hausanschlussleitungen und die Materialien der Sanitäreinrichtungen (WC, Badewanne, Spülbecken usw.) den wichtigsten Anteil aus.

Wird das Trinkwasser gekühlt und mit Kohlensäure versetzt, sinken die relativen Anteile für Wasserversorgung und sanitäre Anlagen auf etwa 3%. der potenziellen Umweltbelastungen. Die Anreicherung mit Kohlensäure hat den höchsten Anteil mit etwa 58% gefolgt von der Kühlung mit etwa 34%.

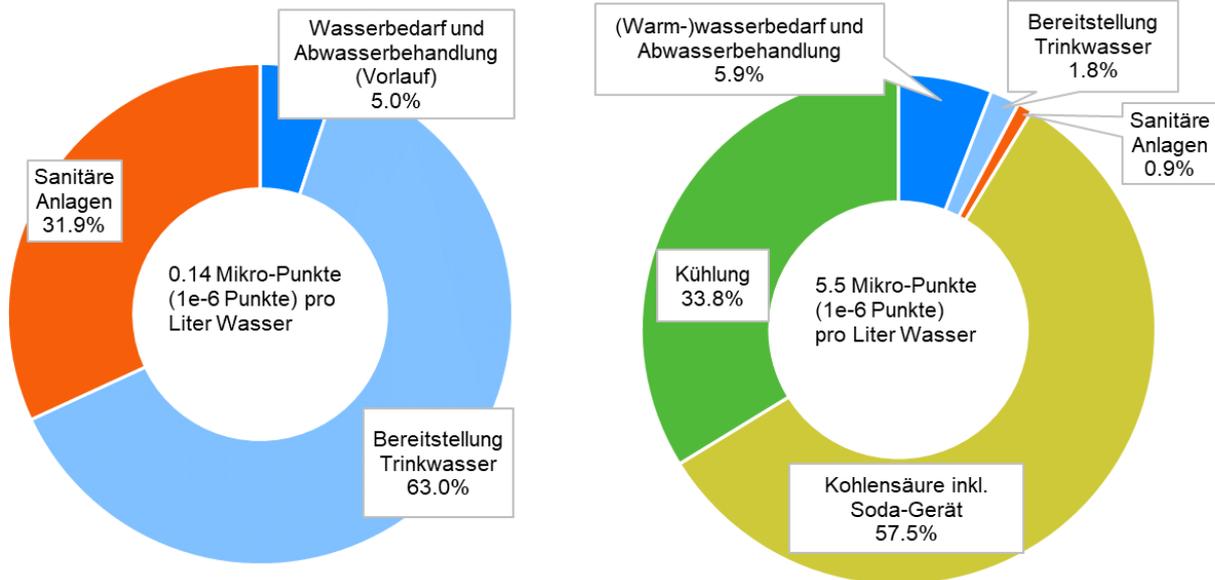


Abb. 4.4 Relativer Anteil der potenziellen Gesamtumweltbelastungen auf Grund verschiedener Sachbilanzposten für die Bereitstellung von 1 Liter Trinkwasser in einem deutschen Haushalt, ungekühlt, still (links), sowie gekühlt und mit Kohlensäure (rechts), basierend auf der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018)

### 4.2.3 Mineralwasserbereitstellung

Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, wurde die Mineralwasserbereitstellung basierend auf Herstellerangaben modelliert. Abb. 4.5 zeigt die Gesamtumweltbelastung für die Bereitstellung von 1 Liter Mineralwasser, unverpackt, ab Mineralwasserwerk. Die Mineralwasserbereitstellung verursacht auf dieser Stufe pro Liter Wasser etwa 2.1 Mikro-Punkte (2.1e-6 Punkte). Etwa 42% der potenziellen Umweltbelastungen stammen von der Wirkungskategorie Klimawandel, weitere 28% von der Nutzung fossiler Ressourcen und 8% aus der Ökotoxizität in Süßwasser. Die weiteren Wirkungskategorien haben einen relativen Anteil an der potenziellen Gesamtbelastung der Mineralwasserbereitstellung von unter 5%.

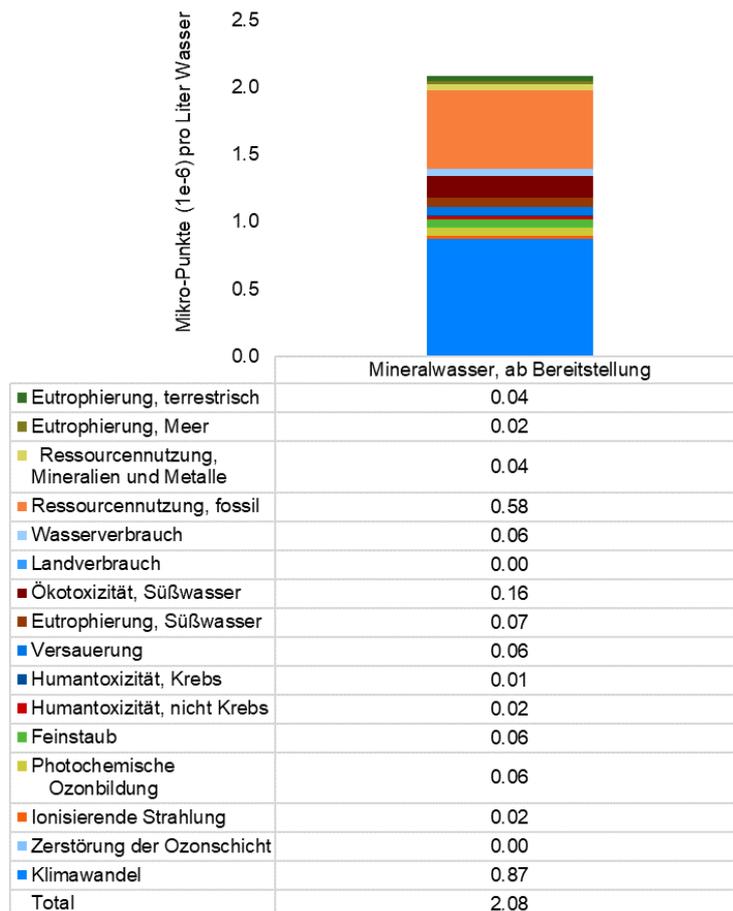


Abb. 4.5 Analyse der Mineralwasserbereitstellung, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser.

Abb. 4.6 zeigt, dass der Energiebedarf, in Form von Elektrizität (51%) und Erdgas (36%) hauptverantwortlich für die Umweltbelastungen der Bereitstellung von Mineralwasser ab Hersteller (ohne verpackungsspezifischer Materialbedarf) ist.

Infrastruktur, sowie Wasserverbrauch und Direktmissionen sind von untergeordneter Bedeutung.

Wie in Abb. 4.5 gezeigt, ist der absolute Wert für die Wirkungskategorie Wasserverbrauch jedoch höher als beim Trinkwasser. Die Wirkungskategorie Wasserverbrauch berücksichtigt unter anderem auch die Verdunstung von Wasser bei der Verbrennung von Kohle und im Betrieb von Atomkraftwerken. Weil die Mineralwasserbereitstellung einen höheren Stromverbrauch verursacht, erhöht sich dadurch der Wasserverbrauch zusätzlich. Der Faktor der nicht erfassten Rückführung des getrunkenen Wassers fällt auf Grund viel höhere Belastungen nicht ins Gewicht (obwohl die absolute Belastung die gleiche ist wie beim Trinkwasser).

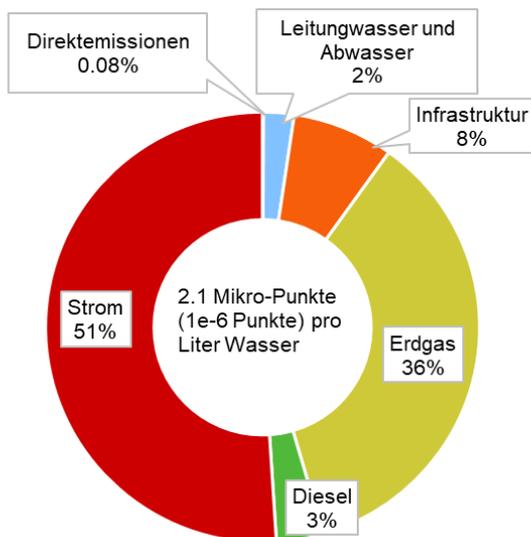


Abb. 4.6 Relativer Anteil der potenziellen Gesamtumweltbelastungen auf Grund verschiedener Sachbilanzposten für die Bereitstellung von 1 Liter Mineralwasser ab Werk, in Deutschland. Basierend auf der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018).

### 4.2.4 Mineralwasser, verpackt, ab Supermarkt

Die Abb. 4.7 zeigt eine Gegenüberstellung der Varianten Mineralwasser ungekühlt, still und kohlen-säurehaltig, pro Liter Wasser, in PET-Einwegflaschen in den marktüblichen Flaschengrößen 0.5 und 1.5 Liter, sowie in Mehrwegflaschen 0.7-Liter Glas und 1-Liter PET. Nebst den Varianten mit Durchschnittswerten wird auch ein Best-Case-Szenario für 1.5 Liter PET Einweg, mit maximalem Rezyklat-Anteil, sowie minimalem Flaschengewicht und kurzer Transportdistanz gezeigt. Im Vergleich zum Mineralwasser ab Bereitstellung, sind die potenziellen Gesamtumweltbelastungen für die Bereitstellung des Mineralwassers im Supermarkt für die Einzelindikatoren zwischen 1.6 und 8.7-mal (Best-Case) bis 1.7 und 36.8-mal (Modellierungen für Durchschnittsproduktion) höher (Gewichtetes Total: 3 bis 7.8-mal höhere potenzielle Gesamtbelastungen, vgl. Abb. 4.5).

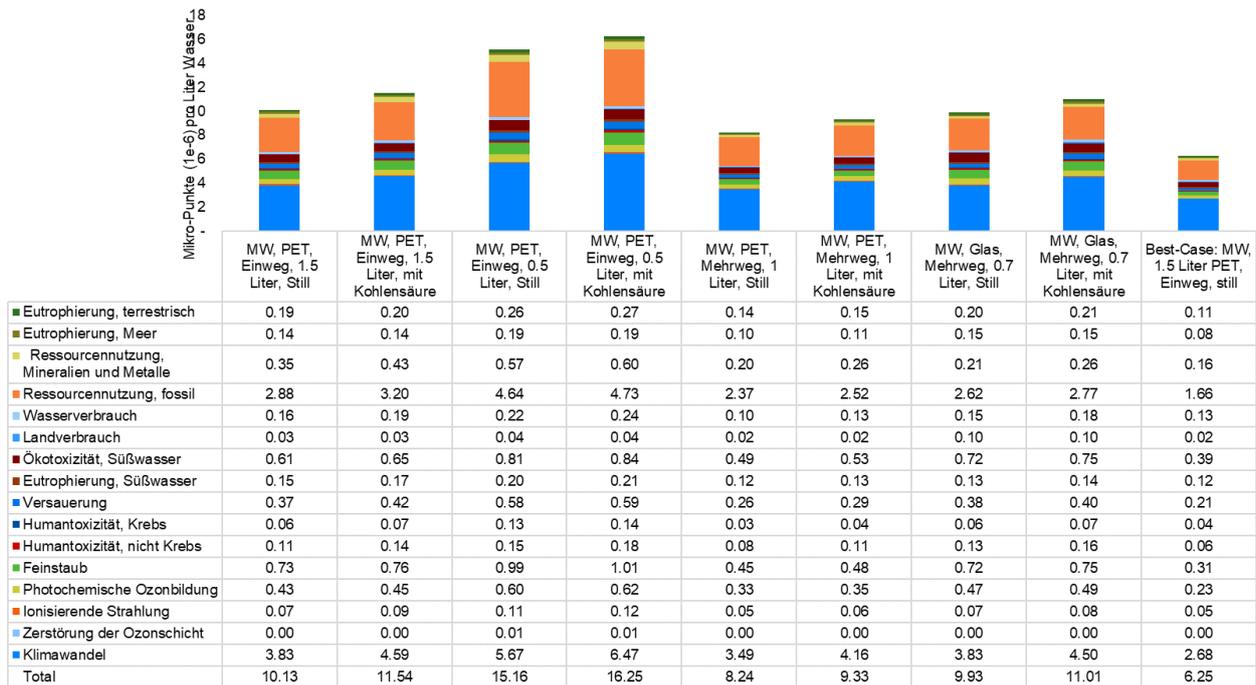


Abb. 4.7 Gegenüberstellung der Mineralwasserbereitstellung im Supermarkt für unterschiedliche Verpackungsgrößen, ungekühlt, still und kohlen-säurehaltig, gezeigt für durchschnittliche Transportdistanzen (Ausnahme Best-Case: 50km) mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser.

In Abb. 4.8 werden die relativen Anteile der potenziellen Gesamtumweltbelastungen für den schlechtesten und besten untersuchten Fall gezeigt. Hauptursache für die potenziellen Umweltbelastungen sind in beiden Fällen die Flasche und die zusätzliche Verpackung (Sekundär- und Tertiärverpackung). Bei kohlenensäurehaltigem Wasser in der 0.5 Liter-Flasche ist sie z.B. verantwortlich für 64% der potenziellen Belastungen, gefolgt von Transport und Distribution, sowie der Mineralwasserbereitstellung mit 17 bzw. 13%. Die Beigabe von Kohlensäure ist mit 7% Anteil von untergeordneter Relevanz.

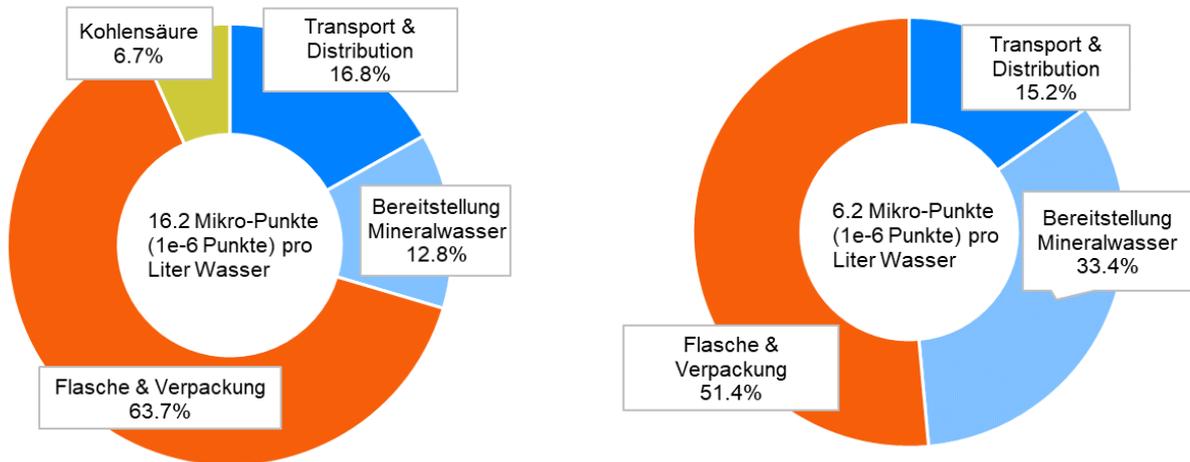


Abb. 4.8 Relativer Anteil der potenziellen Gesamtumweltbelastungen pro Liter Wasser, auf Grund verschiedener Sachbilanzposten für Mineralwasser, 0.5 Liter PET Einweg, mit Kohlensäure (links) und Mineralwasser, 1.5 Liter PET Einweg, still, Best-Case (rechts). Basierend auf der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018).

Die weiteren Szenarien in Abb. 4.10, Abb. 4.9 und Abb. 4.11 zeigen den Einfluss von kürzeren und längeren Transportwegen, für alle untersuchten Verpackungsoptionen, pro Liter Wasser ab Supermarkt. Eine regionale Produktion und Verteilung im Umkreis von etwa 50km (wie bereits im gezeigten Best-Case) würde die potenziellen Gesamtumweltbelastungen pro Liter Wasser ab Supermarkt, je nach Flaschentyp und System und je nach Einzelindikator, zwischen 3% bis 39% reduzieren (Gewichtetes Total: 9% bis 19% tiefere potenzielle Gesamtbelastungen). Wird das Wasser jedoch etwa 500km bis zum Supermarkt transportiert, so sind die potenziellen Umweltbelastungen pro Liter Wasser ab Supermarkt, je nach Flaschentyp und System und je nach Einzelindikator, zwischen 6% bis 134% höher als im Basisszenario (Gewichtetes Total: 17% bis 61% höhere potenzielle Gesamtbelastungen).

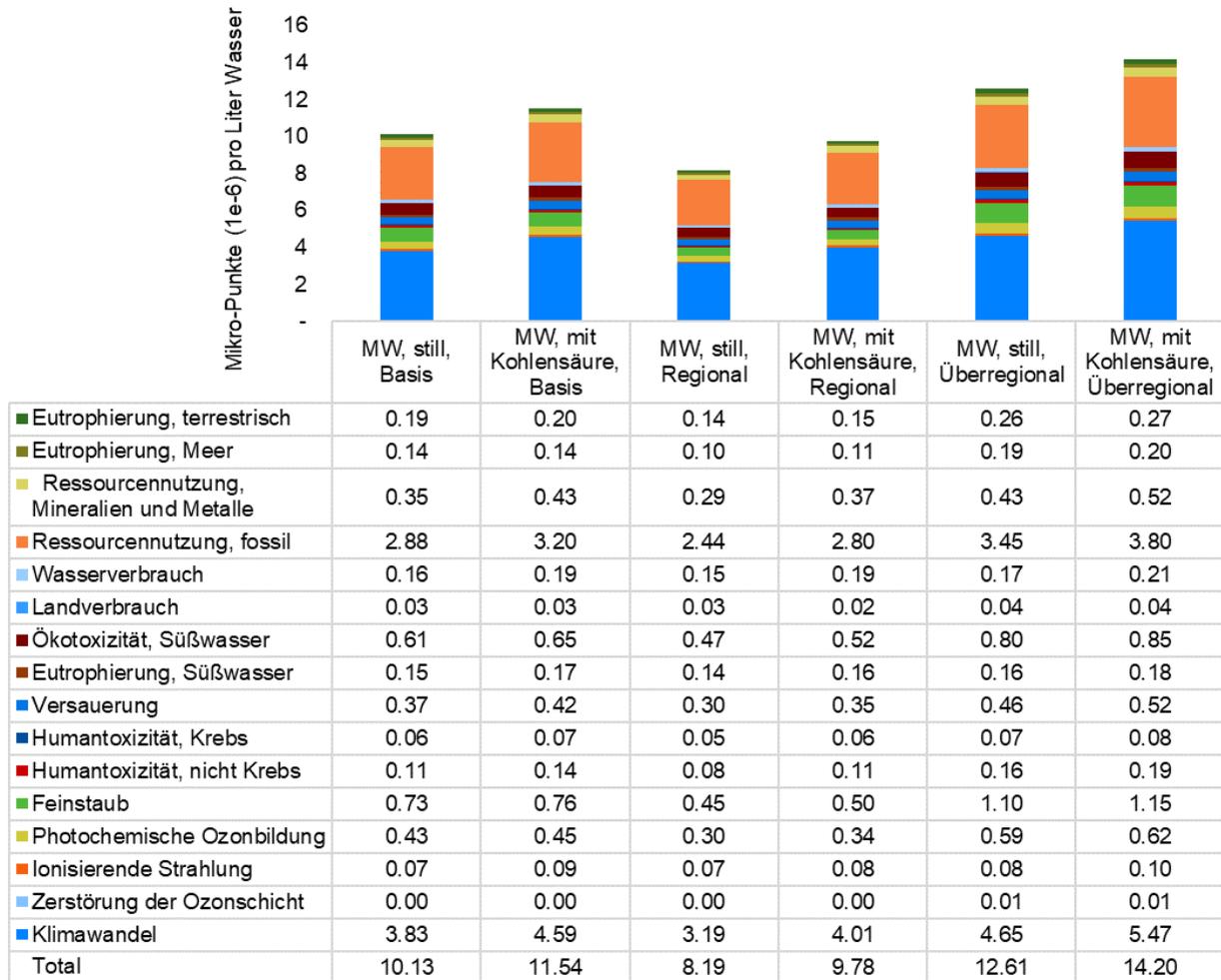


Abb. 4.9 Gegenüberstellung der Mineralwasserbereitstellung im Supermarkt in 1.5-Liter PET-Einwegflaschen, ungekühlt, still und kohlenensäurehaltig, gezeigt für unterschiedliche Transportdistanzen, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser. Transportwege: Regional = 50km, überregional = 500km

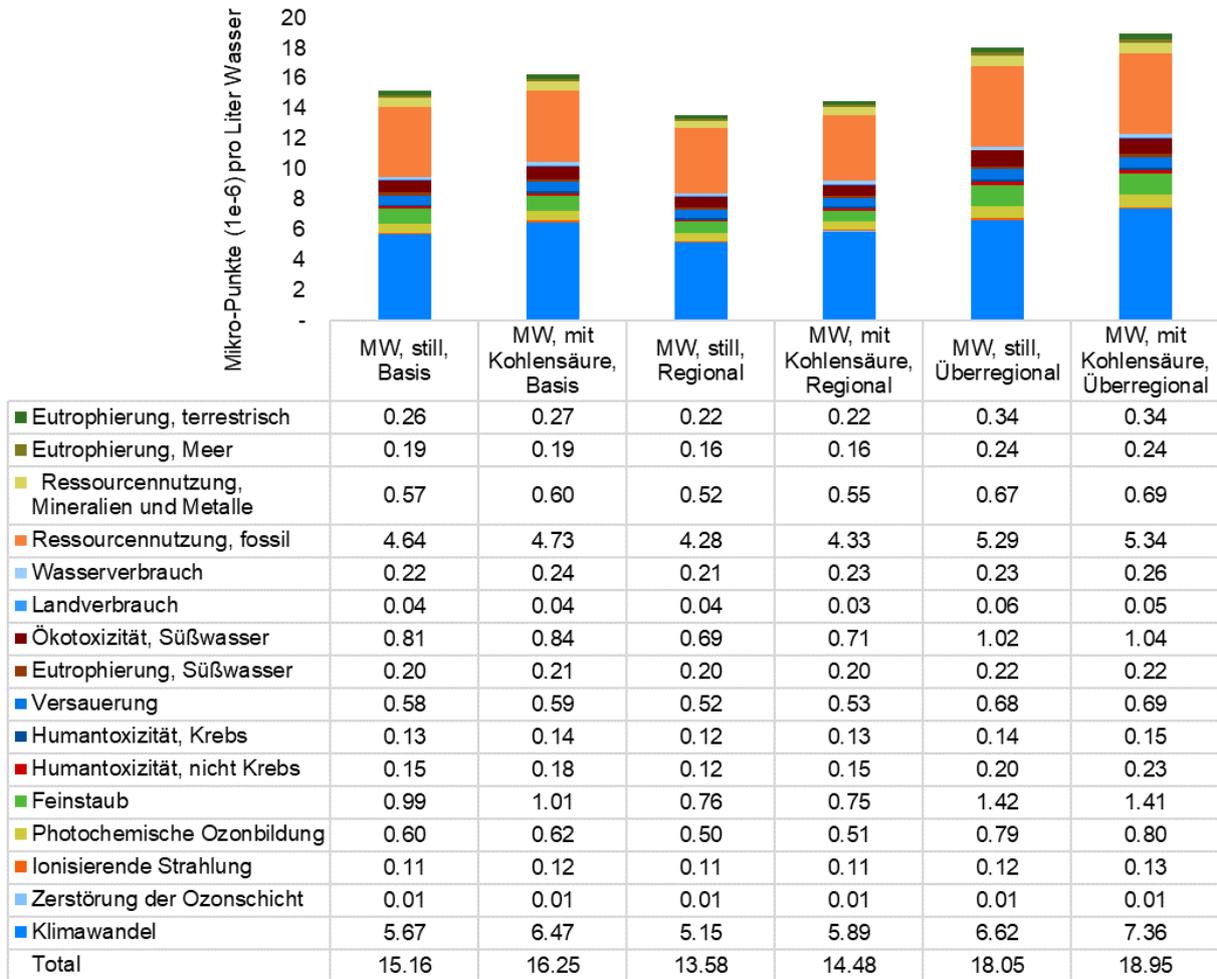


Abb. 4.10 Gegenüberstellung der Mineralwasserbereitstellung im Supermarkt in 0.5-Liter PET-Einwegflaschen, ungekühlt, still und kohlenensäurehaltig, gezeigt für unterschiedliche Transportdistanzen mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser. Transportwege: Regional = 50km, überregional = 500km

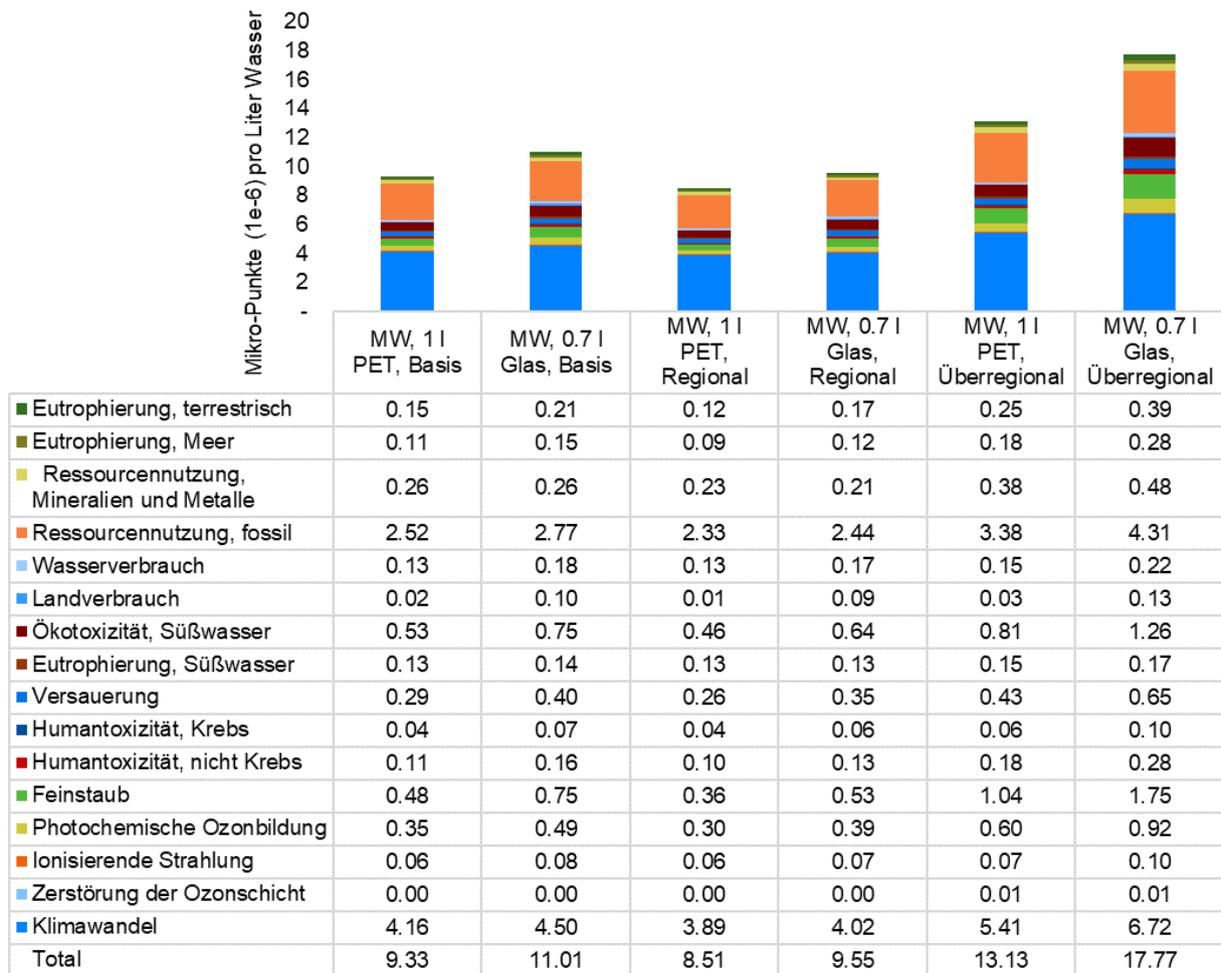


Abb. 4.11 Gegenüberstellung der Mineralwasserbereitstellung im Supermarkt in 1-Liter PET- und 0.7-Liter Glas-Mehrwegflaschen, ungekühlt, still und kohlenensäurehaltig, gezeigt für unterschiedliche Transportdistanzen, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser. Transportwege: Regional = 50km, überregional = 500km

### 4.2.5 Mineralwasser, im Haushalt

Abb. 4.12 zeigt eine Gegenüberstellung von Mineralwasser, *ungekühlt*, kohlenensäurehaltig und still, in PET-Einwegflaschen in den marktüblichen Flaschengrößen 0.5 und 1.5 Liter (inklusive Best-Case) sowie in Mehrwegflaschen 0.7-Liter Glas und 1-Liter PET, pro Liter Wasser, im Haushalt. Im Vergleich zur Bereitstellung des Mineralwassers ab Supermarkt erhöht sich die potenzielle Umweltbelastung pro Liter Mineralwasser, je nach Einzelindikator um einen Faktor 1.6 bis 19.1 (Gewichtetes Total: 2.1 bis 4.3-mal höhere potenzielle Gesamtbelastungen). Hauptursache dafür ist die Annahme, dass der Großteil der Getränkeeinkäufe mit dem PKW getätigt werden, wobei die Autofahrt basierend auf dem Gesamtgewicht durchschnittlicher Einkäufe auf das Mineralwasser alloziert wurde. Dementsprechend verursachen Mehrwegflaschen aus Glas beim Heimtransport höhere potenzielle Umweltbelastungen als leichte Einwegflaschen aus PET. Nur im Best-Case erhöhen sich die Belastungen hier nicht weiter, da davon ausgegangen wird, dass das Wasser zu Fuss transportiert wird.

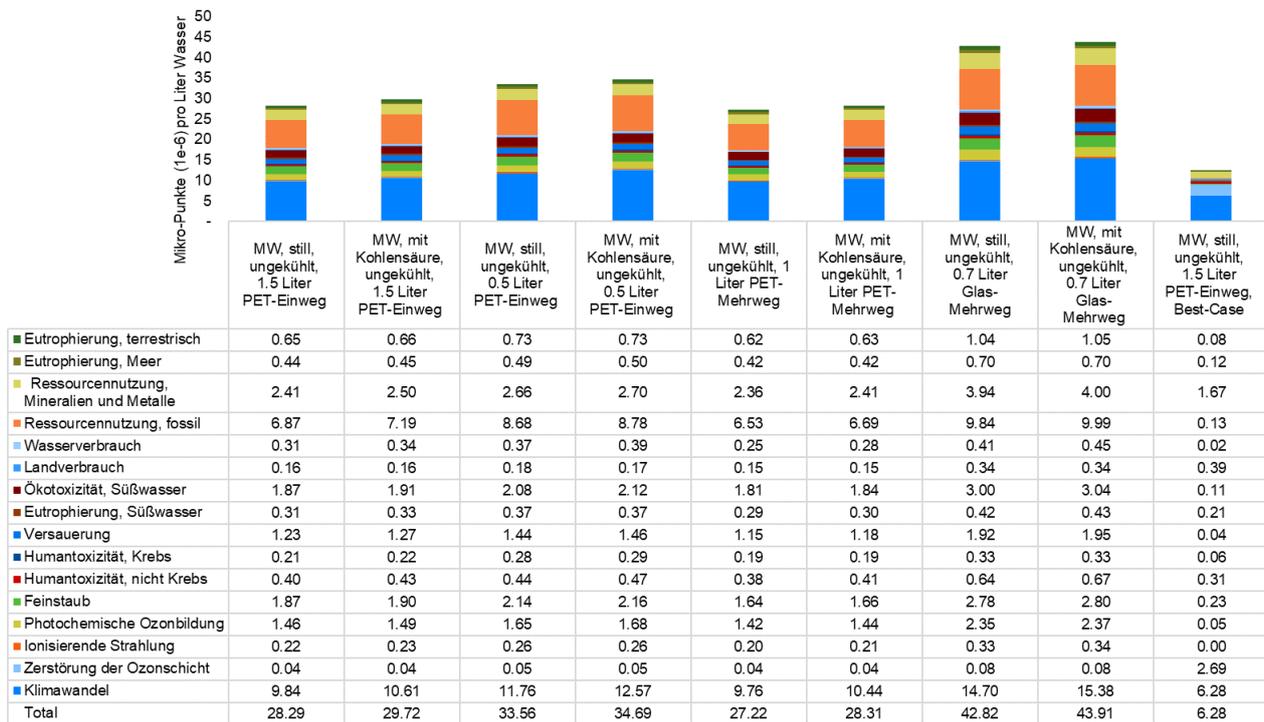


Abb. 4.12 Gegenüberstellung der Mineralwasserbereitstellung im Haushalt für unterschiedliche Verpackungsgrößen, *ungekühlt*, still und kohlenensäurehaltig, gerechnet mit Durchschnittswerten sowie für einen Best-Case (optimierte Verpackung, regionale Distribution und Heimtransport zu Fuß), mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser.

Abb. 4.13 zeigt eine Gegenüberstellung von Mineralwasser, *gekühlt*, kohlenstoffhaltig und still, in PET-Einwegflaschen in den marktüblichen Flaschengrößen 0.5 und 1.5 Liter sowie kohlenstoffhaltig in Mehrwegflaschen 0.7-Liter Glas und 1-Liter PET, pro Liter Wasser, im Haushalt. Im Vergleich zur Bereitstellung des ungekühlten Mineralwassers erhöht sich die potenzielle Umweltbelastung pro Liter Mineralwasser, je nach Einzelindikator um 0.1% bis 51.1% (Gewichtetes Total: 0.5% bis 5.0% höher).

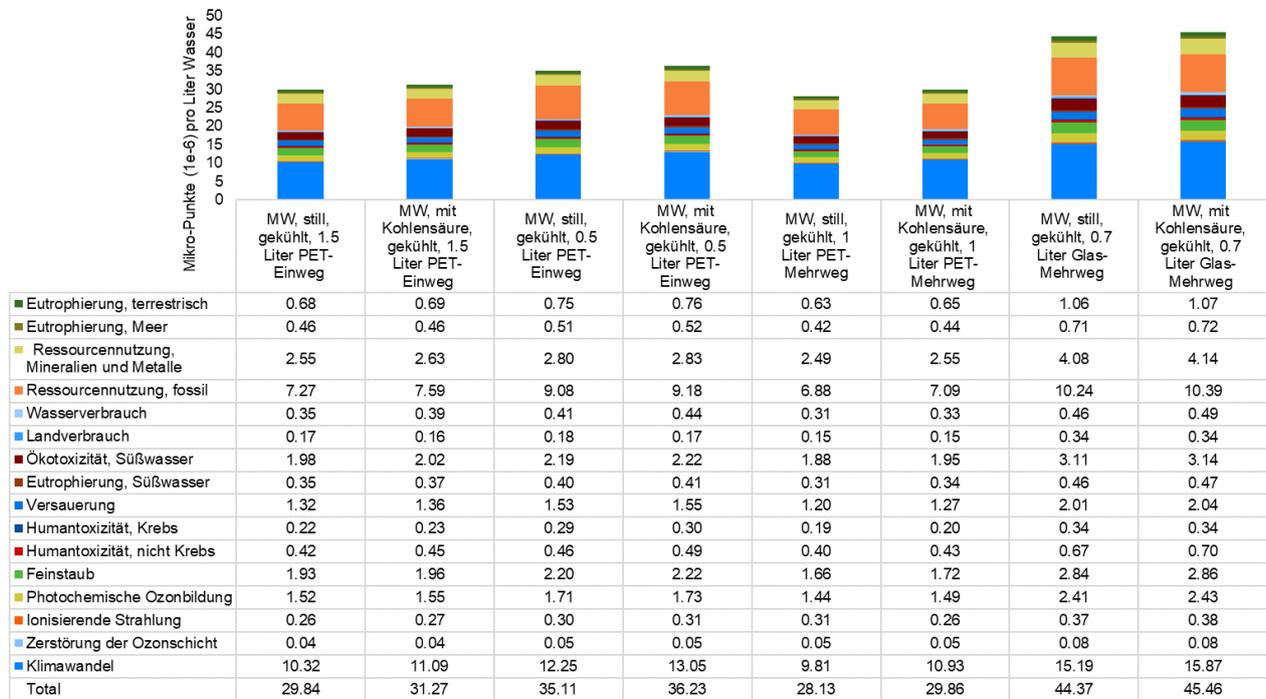


Abb. 4.13 Gegenüberstellung der Mineralwasserbereitstellung im Haushalt für unterschiedliche Verpackungsgrößen, *gekühlt*, still und kohlenstoffhaltig, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser.

In Abb. 4.14 werden die relativen Anteile der potenziellen Gesamtumweltbelastungen für den besten und den schlechtesten untersuchten Fall für den Konsum von 1 Liter Mineralwasser im Haushalt gezeigt. Während im besten Fall vom Heimtransport keine potenziellen Umweltbelastungen ausgehen, ist dieser im betrachteten Durchschnittsfall, für den Konsum von 1 Liter Mineralwasser aus 0.7 Liter Glas Mehrwegflaschen, für 72% der potenziellen Gesamtumweltbelastungen verantwortlich.

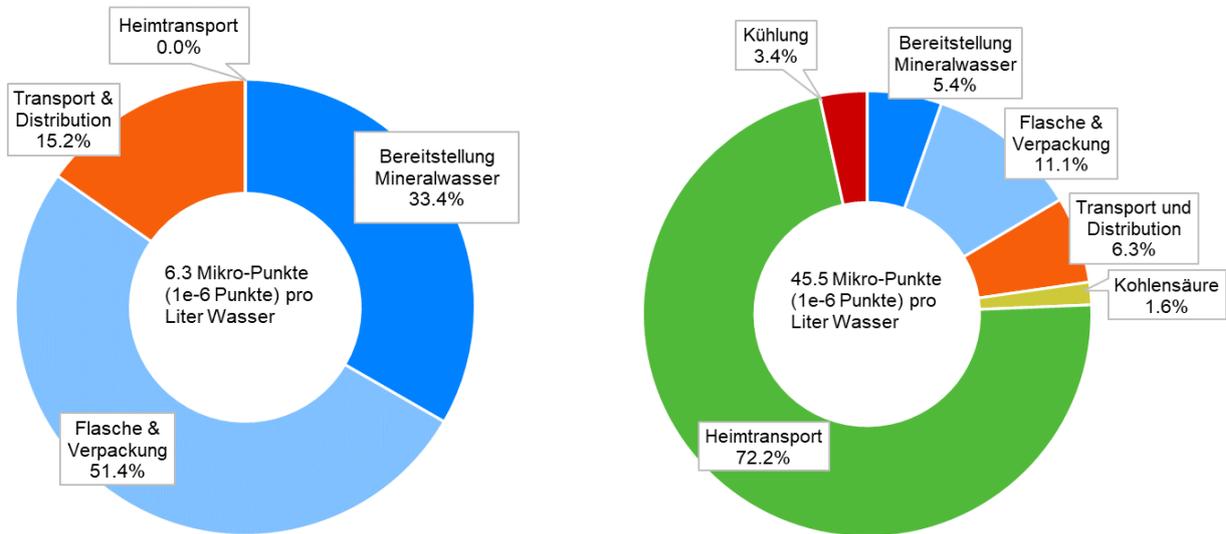


Abb. 4.14 Relativer Anteil der potenziellen Gesamtumweltbelastungen auf Grund verschiedener Sachbilanzposten für Mineralwasser, in 1.5 Liter PET Einwegflasche (Best Case), still, ungekühlt, Heimtransport zu Fuß (links) und Mineralwasser, in 0.7 Liter Glas Mehrwegflasche, kohlensäurehaltig, gekühlt (rechts), pro Liter Wasser, basierend auf der Auswertung mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018).

### 4.3 Vergleiche der gewichteten Umweltbelastungen

#### 4.3.1 Vergleich der Bereitstellung von Trink- und Mineralwasser

Die potenziellen Gesamtumweltbelastung für die Mineralwasserbereitstellung ab Abfüllstation (ohne Verpackung) ist, pro Liter Wasser, je nach Einzelindikator zwischen 5 bis 90-fach höher als die Trinkwasserbereitstellung ab Hausanschluss (Gewichtetes Total: 40-fach höher, vgl. Abb. 4.15).<sup>22</sup> Der grundsätzliche Vorteil des Trinkwassers besteht nicht nur in der Betrachtung der potenziellen Gesamtumweltbelastungen, sondern auch in jeder einzelnen Wirkungskategorie bereits auf Ebene der Wasserbereitstellung ab Werk. Hinsichtlich des Indikators Wasserverbrauch wäre der relative Vorteil beim Trinkwasser grösser, wenn die Rückführung des Wassers für beide Varianten einbezogen werden würde. Dort gehen die Belastungen für die Gutschrift in gleicher Höhe (0.01 Mikropunkte pro Liter) prozentual stärker zurück als beim Mineralwasser.

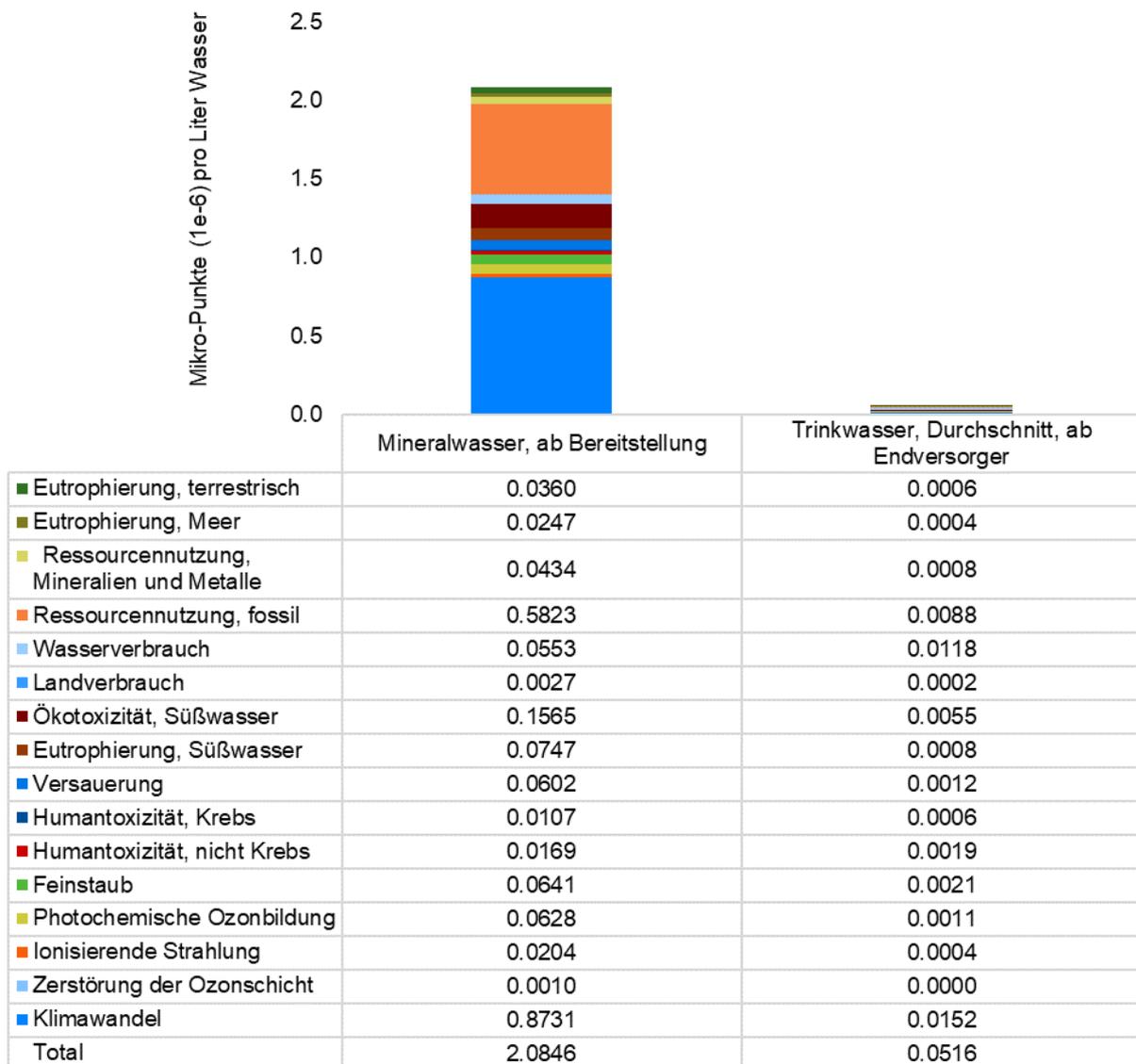


Abb. 4.15 Vergleich der Mineral- und Trinkwasserversorgung, ab Bereitstellung bzw. Endversorger, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikropunkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser.

### 4.3.2 Vergleich ungekühlter, stiller Wässer

Beim Vergleich ungekühlter, stiller Wässer bei der Kundschaft verursacht Trinkwasser, im Schnitt, pro Liter Wasser, je nach Einzelindikator 18 bis 2937-mal geringere, potenzielle Umweltbelastungen als abgepacktes, stilles Mineralwasser (Gewichtetes Total: 216 bis 340-mal geringere potenzielle Gesamtumweltbelastung, vgl. Abb. 4.16). Würde der untersuchte Best-Case für Mineralwasser in PET-Einwegflaschen mit maximalem Rezyklatanteil, minimalem Materialeinsatz, regionaler Distribution und Heimtransport zu Fuß eintreffen, würde der Konsum von 1 Liter Trinkwasser die Umwelt potenziell je nach Einzelindikator noch 9 bis 97-mal weniger stark belasten (Gewichtetes Total: 50-mal weniger stark). Eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich der besten Verpackungsart kann jedoch nicht direkt aus den hier gezeigten Szenarien abgeleitet werden und ist auch nicht Ziel der Studie.

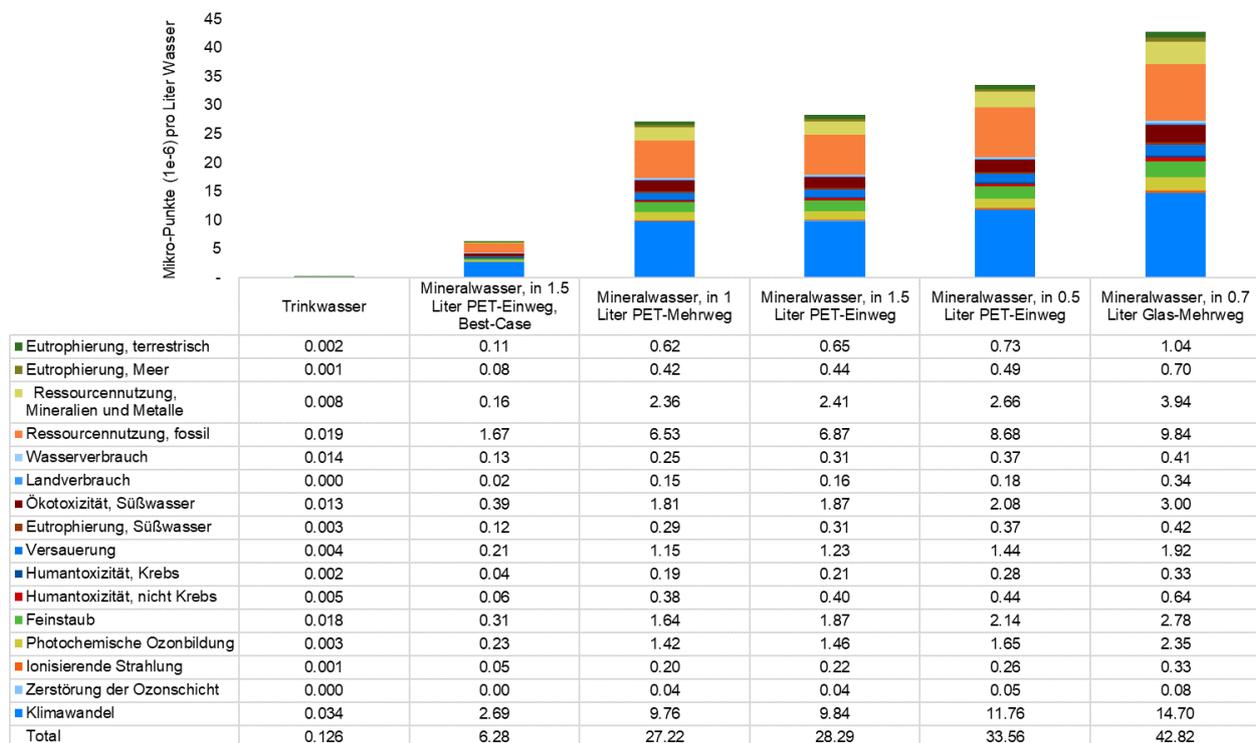


Abb. 4.16 Vergleich der Wasserbereitstellung im Haushalt, still, ungekühlt, gezeigt für Trinkwasser, sowie Mineralwasser in verschiedenen Verpackungen, sowie einmal für einen theoretischen Best-Case für Mineralwasser, mit der europäischen Methode für den Umweltaußdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter.

### 4.3.3 Vergleich gekühlter, stiller Wässer

Beim Vergleich gekühlter, stiller Wässer bei der Kundschaft verursacht Trinkwasser, pro Liter Wasser, je nach Einzelindikator 5 bis 122-mal geringere, potenzielle Umweltbelastungen als abgepacktes Mineralwasser (Gewichtetes Total: 14 bis 22-mal geringere potenzielle Gesamtumweltbelastung, vgl. Abb. 4.17). Eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich der besten Verpackungsart kann jedoch nicht direkt aus den hier gezeigten Szenarien abgeleitet werden und ist auch nicht Ziel der Studie. Für die Nutzung des Kühlschranks macht der Stromverbrauch den Hauptanteil der potenziellen Umweltbelastung aus.

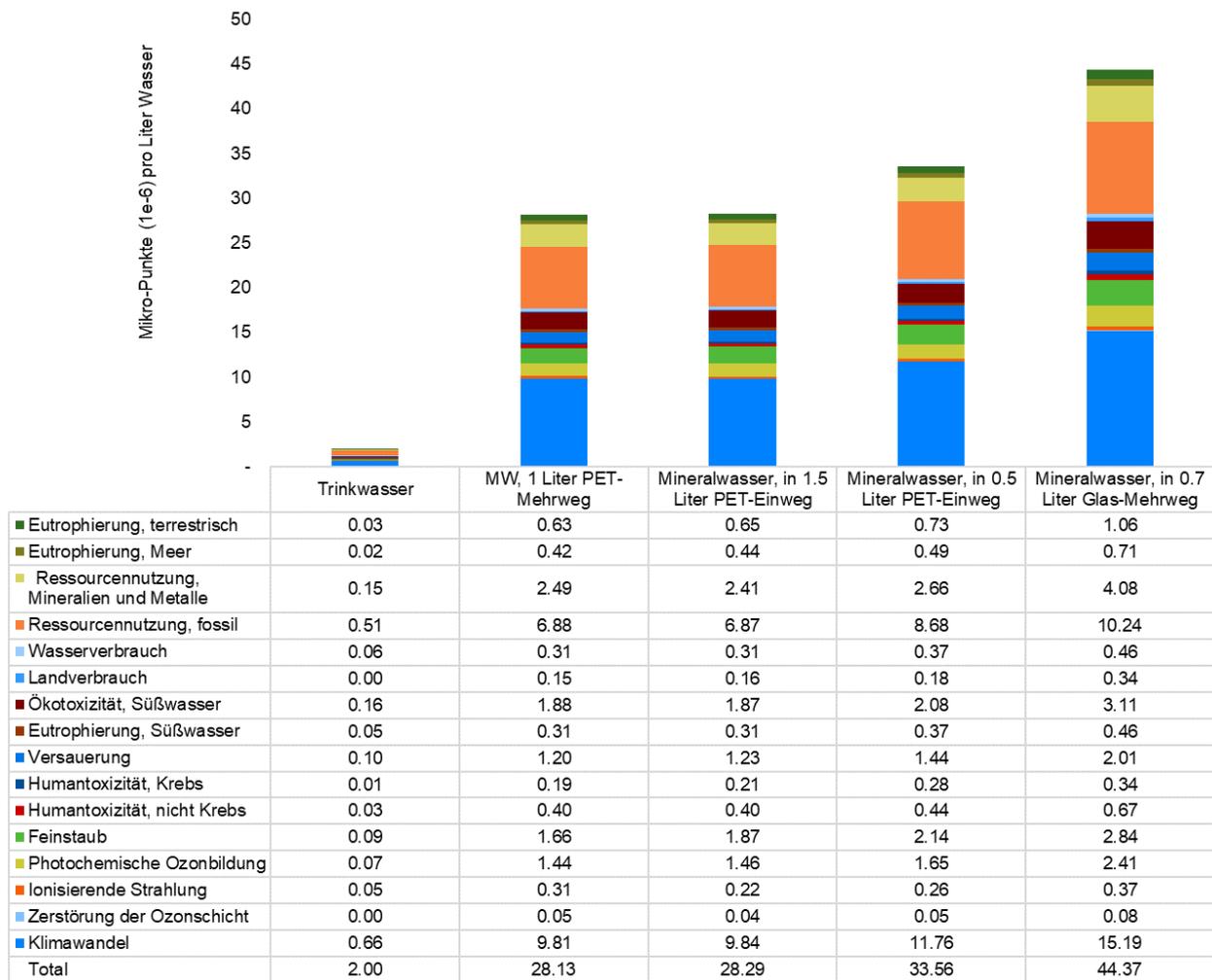


Abb. 4.17 Vergleich der Wasserbereitstellung im Haushalt, *still*, *gekühlt*, gezeigt für Trinkwasser, sowie Mineralwasser in verschiedenen Verpackungen, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter.

### 4.3.4 Vergleich ungekühlter, kohlenensäurehaltiger Wässer

Beim Vergleich ungekühlter, kohlenensäurehaltiger Wässer bei der Kundschaft verursacht mit Kohlen- säure angereichertes Trinkwasser, je nach Einzelindikator 3 bis 41-fach geringere, potenzielle Um- weltbelastungen pro Liter als kohlenensäurehaltiges Mineralwasser (Gewichtetes Total: 8 bis 13-fach geringere potenzielle Gesamtumweltbelastungen, vgl. Abb. 4.18). Wie bereits in den Kapiteln 4.2.4 und 4.2.5 ausgeführt verursachen beim Mineralwasser die Transporte und die Flaschenherstellung den Hauptanteil der potenziellen Gesamtumweltbelastung. Dies zeigt sich auch in den hohen Anteilen der Wirkungsindikatoren Klimawandel und Nutzung fossiler Ressourcen.

Der Vorteil von Trinkwasser gegenüber Mineralwasser gilt auch hier für alle betrachteten Wirkungs- kategorien. Eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich der besten Verpackungsart kann jedoch nicht direkt aus den hier gezeigten Szenarien abgeleitet werden und ist auch nicht Ziel der Studie.

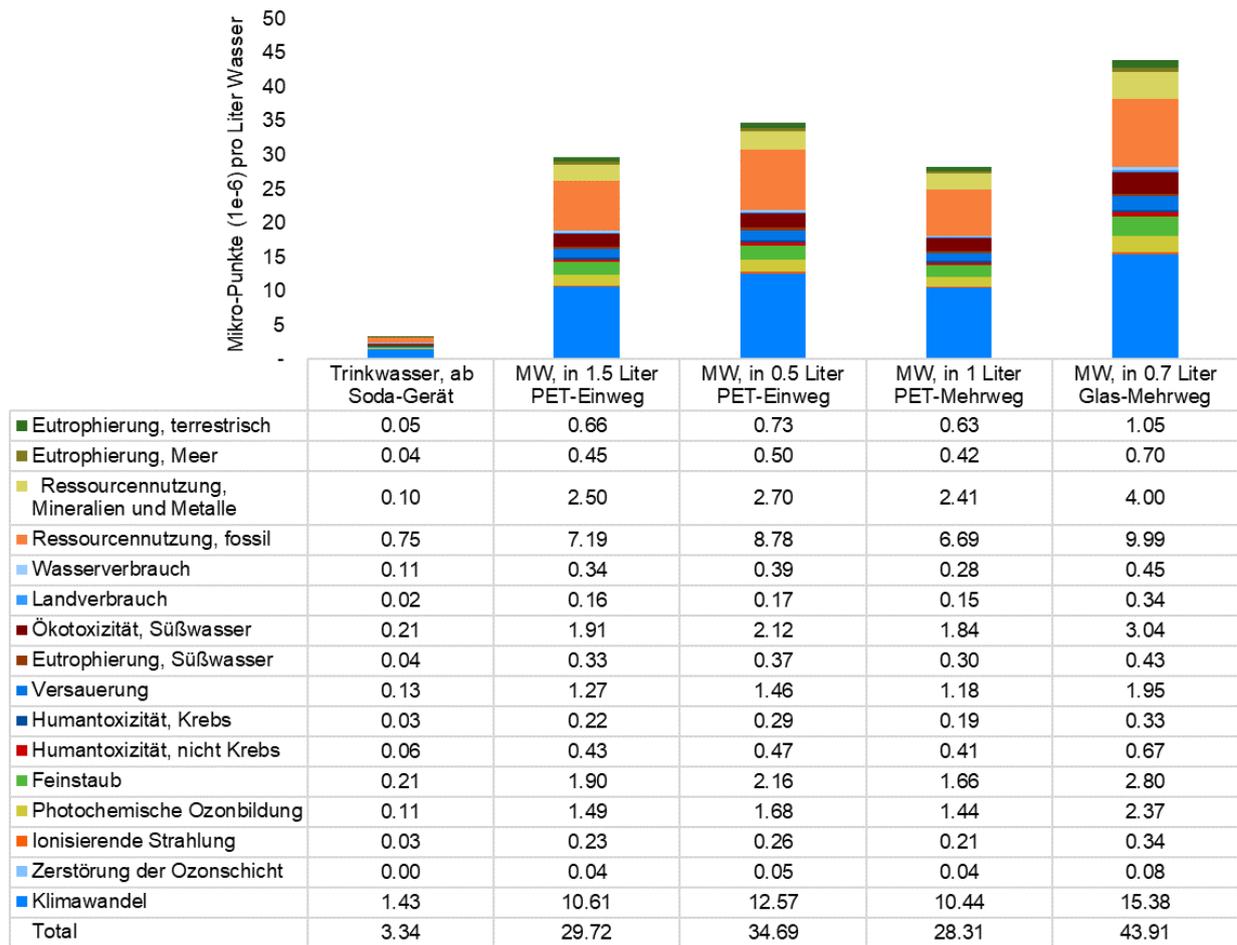


Abb. 4.18 Vergleich der Wasserbereitstellung im Haushalt, *kohlenensäurehaltig, ungekühlt*, gezeigt für Trink- wasser, sowie Mineralwasser in verschiedenen Verpackungen, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter.

### 4.3.5 Vergleich gekühlter, kohlenstoffhaltiger Wässer

Der Vergleich der gekühlten, kohlenstoffhaltigen Wässer zeigt für das mit Kohlenstoff versetzte Trinkwasser, pro Liter Wasser, je nach Einzelindikator 2 bis 29-fach niedrigere, potenzielle Umweltbelastungen als das kohlenstoffhaltige Mineralwasser (Gewichtetes Total: 6 bis 9-fach niedrigere potenzielle Gesamtumweltbelastungen, vgl. Abb. 4.19). Wesentliche Einflussfaktoren beim Trinkwasser sind dabei die Nutzungshäufigkeit und die Art des verwendeten Sodagerätes. Beim Mineralwasser haben die Verpackung und insbesondere die Transporte einen wesentlichen Einfluss auf die potenzielle Gesamtumweltbelastung pro Liter Wasser. Die Anreicherung mit Kohlenstoff hat beim Mineralwasser jedoch einen geringen Einfluss auf die potenzielle Gesamtumweltbelastung.

Der Vorteil von Trinkwasser gegenüber Mineralwasser gilt auch hier für alle betrachteten Wirkungskategorien. Eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich der besten Verpackungsart kann jedoch nicht direkt aus den hier gezeigten Szenarien abgeleitet werden und ist auch nicht Ziel der Studie.

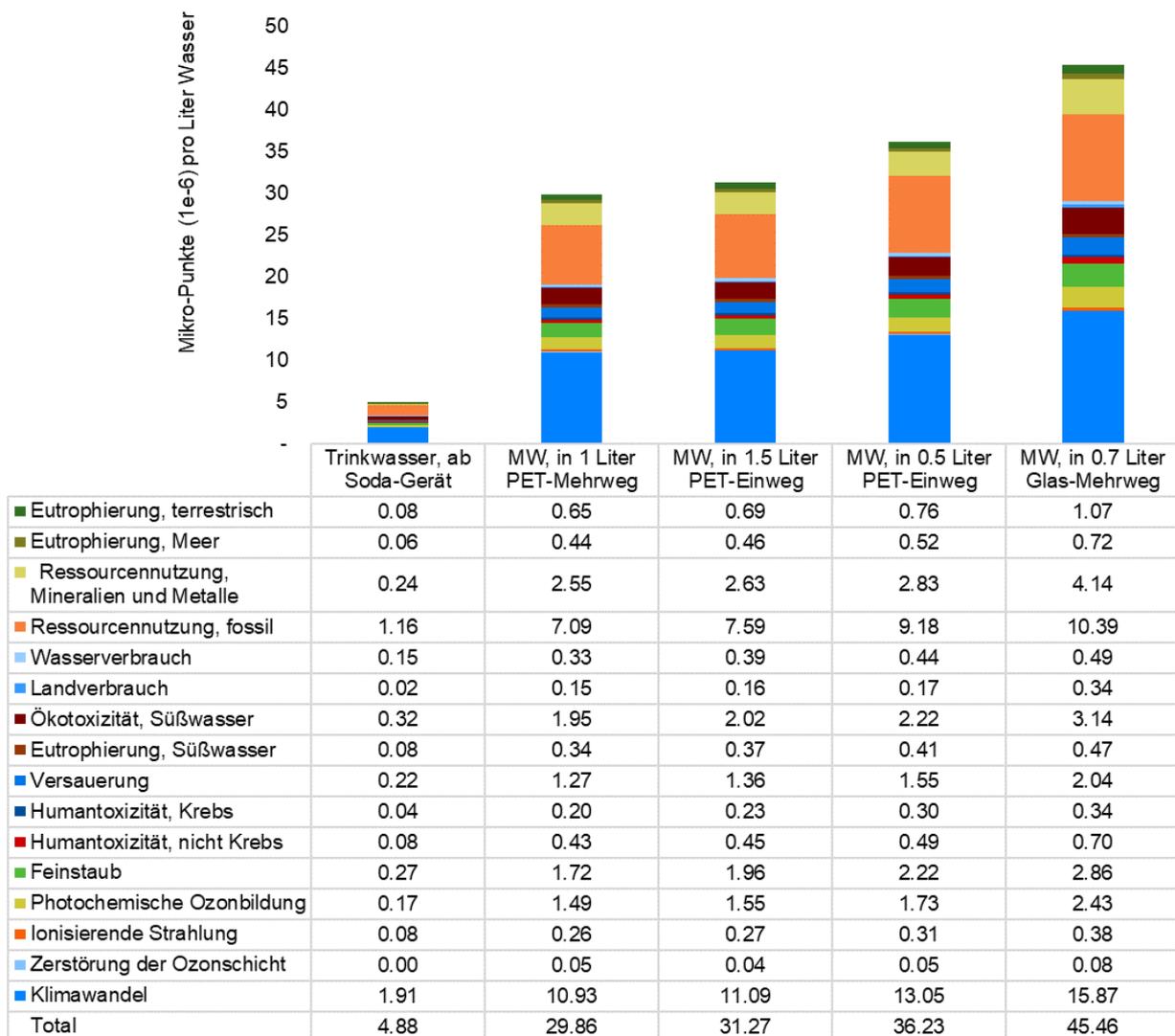


Abb. 4.19 Vergleich der Wasserbereitstellung im Haushalt, kohlenstoffhaltig, gekühlt, gezeigt für Trinkwasser, sowie Mineralwasser in verschiedenen Verpackungen, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018). Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter.

### 4.4 Vergleich der gewichteten Umweltbelastungen mit Literaturdaten

In den folgenden Unterkapiteln werden die in dieser Studie modellierten Datensätze für die Bereitstellung von Trink- und Mineralwasser verglichen mit ähnlichen Datensätzen aus anderen vorliegenden Datenbanken. Der Vergleich wird wie in den vorangehenden Kapiteln pro Liter Wasser, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (EF 3.0) geführt. Diese Methode wurde in Kapitel 2.10 genauer beschrieben (Sala et al. 2018).

Da der Wasserverbrauch in den Datenbanken mit Vergleichswerten teilweise sehr unterschiedlich, bzw. unvollständig berücksichtigt wurde, würden bei diesen Datensätzen negative Werte erscheinen. Deshalb wurde die Wirkungskategorie Wasserverbrauch für die Auswertungen in diesem Kapitel für die bessere Vergleichbarkeit nicht berücksichtigt.

#### 4.4.1 Trinkwasser

Abb. 4.20 zeigt einen Vergleich der hier modellierten Deutschen Trinkwasserversorgung, pro Liter Wasser, mit Datensätzen aus der ecoinvent Datenbank und der Datenbank von ESU-services (ecoinvent Centre 2023; ESU-services 2023b).

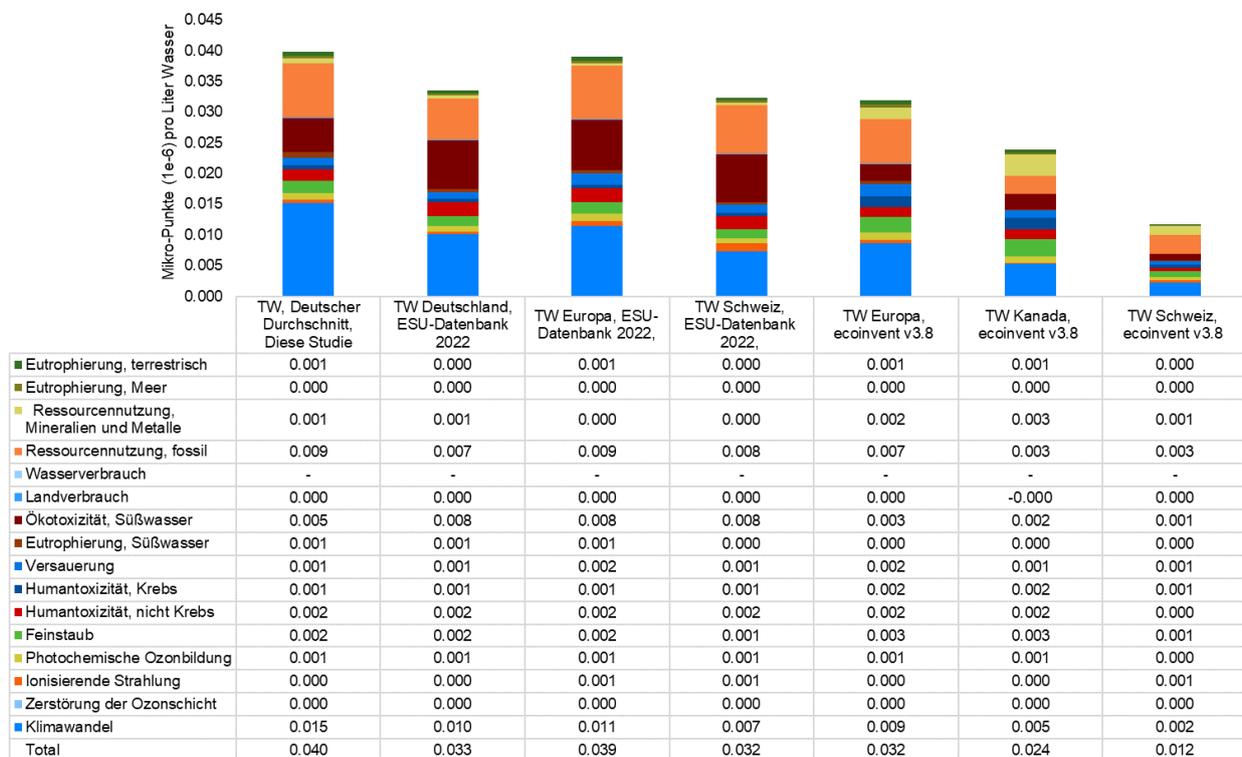


Abb. 4.20 Vergleich der Wasserbereitstellung beim Hausanschluss, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018), ohne Punkte für Wasserverbrauch. Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser

Bezogen auf das Gesamtergebnis liegt der hier für die Trinkwasserversorgung in Deutschland modellierte Datensatz, pro Liter Wasser, in derselben Größenordnung wie andere durch ESU-services modellierte Datensätze für Deutschland, Europa und die Schweiz. In dieser Studie sind die potenziellen Belastungen in der Kategorie Klimawandel allerdings leicht höher und diejenigen auf Grund der Ökotoxizität in Süßwasser etwas tiefer als in den bisherigen Modellierungen.

Die Datensätze in ecoinvent v3.8 basieren auf Erhebungen für unterschiedliche Wasserwerke in Quebec, Kanada und wurden für Europa und die Schweiz angepasst. Die Höhe der

Gesamtbelastungen für die Trinkwasserversorgung in Europa stimmt gut mit derjenigen in Deutschland, gemäß der vorliegende Studie und früherer Erhebungen von ESU-services überein. Allerdings gibt es einige signifikante Unterschiede in den verschiedenen Wirkungskategorien.

In der Kategorie Klimawandel haben die CO<sub>2</sub>- und Methan-Emissionen auf Grund der Landtransformation beim Bau von Talsperren, sowie die Stromproduktion in Kohlekraftwerken einen wichtigen Anteil in der vorliegenden Studie. In ecoinvent sind die Emissionen auf Grund der Landtransformation nicht ersichtlich. Die in ecoinvent berücksichtigten Aufbereitungsverfahren weisen nirgends auf den Einsatz von Stauseen hin.

Die tieferen Belastungen der deutschen Trinkwasserversorgung in der Wirkungskategorie Ressourcennutzung Mineralien und Metalle stammen von unterschiedlichen Hintergrunddaten für Kupfer. In der Sachbilanz wird in der vorliegenden Modellierung gar etwas mehr Kupfer pro Liter Wasser für die Gebäudeelektronik benötigt als in den ecoinvent-Daten. Beim Kupfer-Datensatz in ecoinvent wird die Entnahme von Tellurium der Kupferproduktion angerechnet, was hier zu einer höheren Belastung pro kg Kupfer führt. In der ESU-Datenbank wird die Tellurium-Entnahme der Silberproduktion angerechnet. Silber wird für die Trinkwasserversorgung in geringeren Mengen benötigt als Kupfer.

Die Unterschiede in der Kategorie Versauerung liegen ebenfalls an unterschiedlichen Hintergrunddaten bei der Elektrizitätsherkunft. Der Elektrizitätsbedarf liegt in beiden Datensätzen in derselben Größenordnung.

Das deutlich bessere Abschneiden der Trinkwasserversorgung in der Schweiz in der ecoinvent-Datenbank hat verschiedene Ursachen. Der geringere Anteil der Wirkungskategorien Klimawandel und Verbrauch fossiler Ressourcen an der Gesamtbelastung für Trinkwasser hat vor allem mit Unterschieden in den Hintergrunddatenbank zu tun. So hat der Schweizer Strommix in ecoinvent 3.8 z.B. einen deutlich geringeren Anteil an Stromimporten aus Kohlekraftwerken. Für Deutschland bzw. Europa liegen die Werte für die Stromproduktion näher beieinander. Ein weiterer großer Unterschied betrifft den Einsatz von Chemikalien für die Wasseraufbereitung. In ecoinvent wird hier von einer geringeren Anzahl unterschiedlicher Chemikalien und geringeren Mengen ausgegangen. Im modellierten Datensatz für Deutschland sind hier vor allem Aluminium- und Schwefelsäure-Einträge in den Vorfluter entscheidend. Beim Schweizer Datensatz gemäß ESU-Datenbank wird basierend auf Literaturangaben von größeren Verbräuchen an Aktivkohle für die Aufbereitung ausgegangen.

### 4.4.2 Mineralwasser ab Supermarkt

Abb. 4.21 zeigt einen Vergleich der Bereitstellung von Mineralwasser, pro Liter Wasser, auf Stufe Supermarkt mit Datensätzen aus der Agribalyse Datenbank und der Datenbank von ESU-services (ESU-services 2023b).<sup>25</sup>

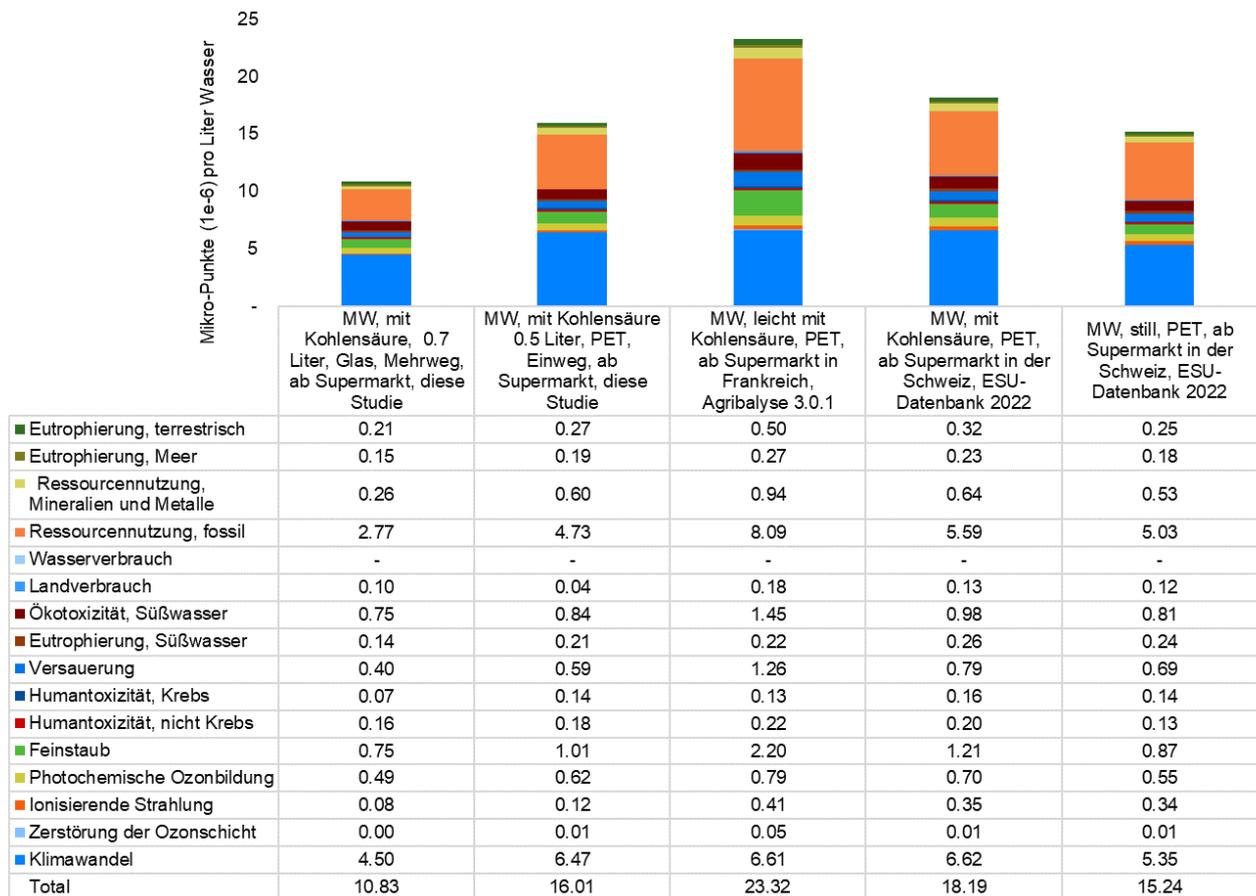


Abb. 4.21 Vergleich der Bereitstellung von Mineralwasser im Supermarkt, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018), ohne Punkte für Wasserverbrauch. Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser

Auf Stufe Supermarkt gibt es in der Agribalyse-Datenbank Version 3.0.1 insgesamt 84 Datensätze mit unterschiedlicher Bezeichnung für kohlenensäurehaltiges und stilles Mineralwasser. Bei der Auswertung zeigen jedoch alle Datensätze das exakt gleiche Resultat! Deshalb wird hier nur einer davon gezeigt.

Die Gesamtumweltbelastung gemäß diesem Datensatz ist etwas höher als der schlechteste hier untersuchte Fall (Kohlensäurehaltig, in 0.5 Liter PET Einweg Flasche). Dabei sind insbesondere die Anteile der Wirkungskategorien Ressourcenverbrauch fossil und Feinstaub höher als in den für Deutschland modellierten Datensätzen. Hauptgrund dafür sind deutlich höhere Transportdistanzen (etwa 0.6tkm vs. 0.2 tkm pro Liter) sowie unterschiedliche Hintergrunddaten für die Stromherkunft. Die Datensätze für die Schweizer Mineralwasserbereitstellung wurden nicht für spezifische Flaschengrößen erstellt. Die potenziellen Umweltbelastungen für die Bereitstellung in PET-Flaschen sind jedoch vergleichbar mit denjenigen für Mineralwasser in PET-Flaschen in Deutschland.

<sup>25</sup> Alle Einzelheiten und Unterlagen finden Sie unter [www.agribalyse.fr](http://www.agribalyse.fr)

### 4.4.3 Mineralwasser, im Haushalt

Abb. 4.22 zeigt einen Vergleich der Bereitstellung von Mineralwasser, pro Liter Wasser, auf Stufe Haushalt mit Datensätzen für die Schweiz, aus der Datenbank von ESU-services (ESU-services 2023b). In anderen vorliegenden Datenbanken wurden für diese Stufe keine Datensätze gefunden.

Sowohl für stilles wie auch für kohlensäurehaltiges, ungekühltes und gekühltes Wasser zeigen die Datensätze für Mineralwasser aus der Schweiz etwa gleich hohe potenzielle Umweltbelastungen, wie das entsprechende Mineralwasser aus Deutschland, in 0.5 Liter PET-Einwegflaschen. Hauptgrund dafür ist, dass für die Heimtransporte in Deutschland mit einem leicht geringeren Verpackungsgewicht gerechnet wurde.

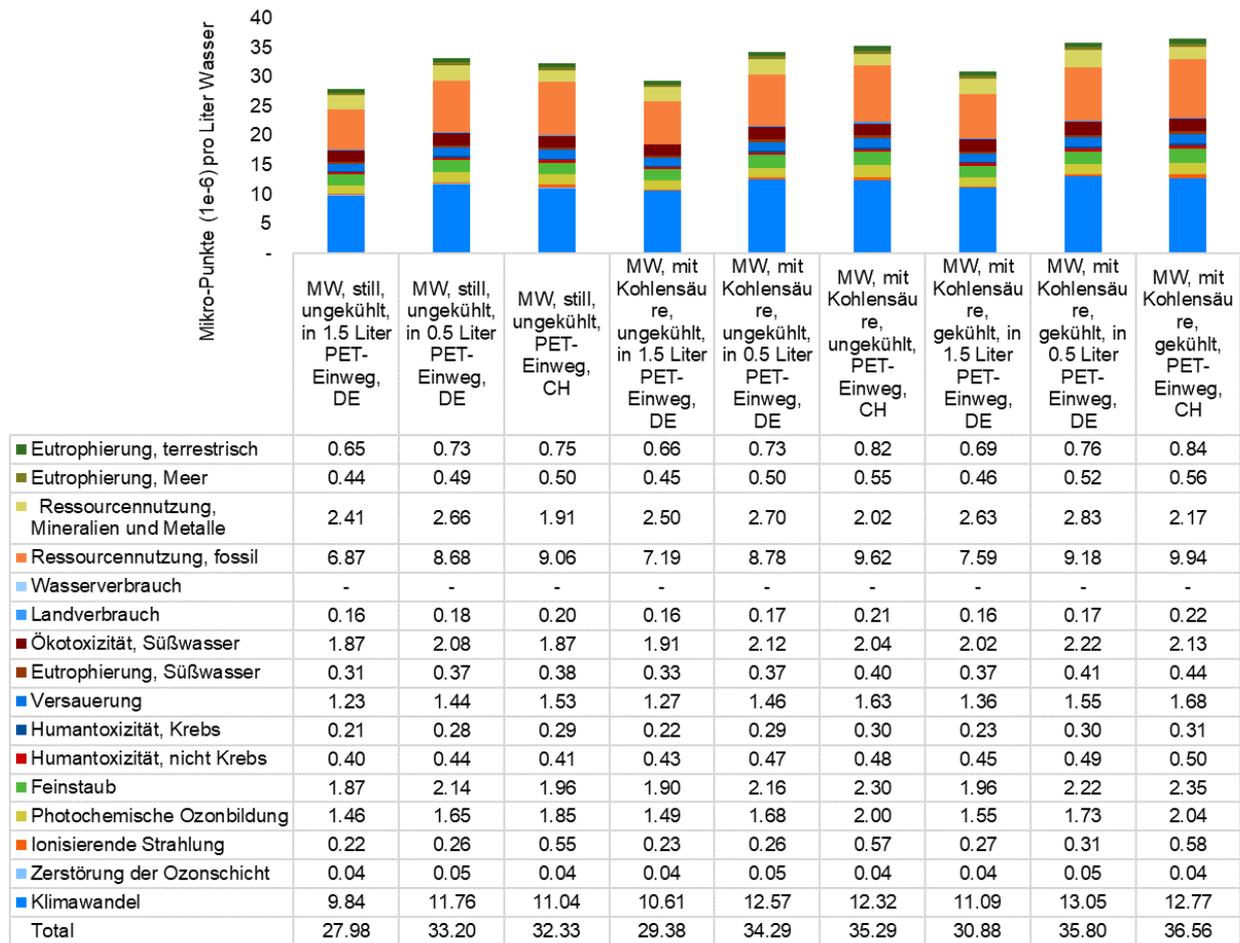


Abb. 4.22 Vergleich der Bereitstellung von Mineralwasser im Haushalt, mit der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck (Sala et al. 2018), ohne Punkte für Wasserverbrauch. Ergebnisse in Mikro-Punkten (1e-6 Punkte) pro Liter Wasser. DE= Datensätze gemäß vorliegender Studie, CH = Datensätze gemäß ESU-Datenbank (ESU-services 2023b)

### 4.5 Treibhausgasemissionen

Im Folgenden werden einige Ergebnisse für die Bewertung der Treibhausgasemissionen in kg bzw. g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Liter Wasser gezeigt. Das Klimaänderungspotenzial der emittierten Treibhausgase wird dazu für einen Zeithorizont von 20 und 100 Jahre berechnet. Zum Vergleich wird zudem erneut die Gesamtumweltbelastung gemäß der europäischen Methode für den Umweltfußabdruck gezeigt (Sala et al. 2018).

Generell werden bei einer Bewertung mit Treibhausgasemissionen Transporte und Heizenergie wichtiger. Die wesentlichen Aussagen dieser Studie sind dadurch allerdings nicht betroffen und die Rangfolge verschiedener Getränke in der Beurteilung bleibt grundsätzlich gleich.

#### 4.5.1 Trinkwasserbereitstellung

Tab. 4.6 zeigt die Klimaänderungspotenziale, pro Liter Wasser, für die Trinkwasserbereitstellung unterschiedlicher Versorger (vgl. Kapitel 4.2.1). Die relative Rangliste der untersuchten Wasserversorger bleibt in der Bewertung des Klimaänderungspotenzials gleich wie bei der ausführlich diskutierten Gesamtbelastung. Im deutschen Durchschnitt werden gemäß der vorliegenden Studie ca. 0.57 Gramm CO<sub>2</sub>-eq (100a) pro Liter Trinkwasser emittiert. Dies liegt in der Bandbreite der Literaturwerte für normale Trinkwasserversorgungen (0.2-1 Gramm CO<sub>2</sub>-eq/l, keine Extremszenarien wie Entsalzung) wie sie in einer Metastudie zusammengetragen wurden (Fantin et al. 2014). Die meisten für die Modellierung dieses Durchschnitts herangezogenen Wasserversorger liegen ebenfalls in dieser Bandbreite. Einziger Ausreißer ist die Trinkwasserversorgung aus Stauseen. Diese liegt in der Betrachtung des Klimaänderungspotenzials, für den 100-jährigen Zeithorizont, mit 1.29 Gramm CO<sub>2</sub>-eq/Liter etwas über der Bandbreite der erwähnten Literaturwerte. Der Unterschied im Klimaänderungspotenzial zwischen 20- und 100-jährigem Zeithorizont liegt vorwiegend an den unterschiedlichen Charakterisierungsfaktoren für freigesetztes fossiles Methan, z.B. in der Öl- und Gas-Lieferkette, sowie freigesetztes Methan auf Grund der Landtransformation:

- Klimaänderungspotenzial 100a: 29.8 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg Methan
- Klimaänderungspotenzial 20a: 82.5 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg Methan
- Gesamtumweltbelastung: 36.8 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg Methan (IPCC 2013)

Tab. 4.6 Klimaänderungspotenzial in g CO<sub>2</sub>-eq pro Liter Wasser für Zeithorizont 100 und 20 Jahre, sowie Gesamtumweltbelastung in Mikro-Punkten (1e-6) für die durchschnittliche Trinkwasserversorgung in Deutschland bzw. für die ausgewählten Versorger, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Spalte

	Klimaänderungspotenzial (100a, in kg CO <sub>2</sub> -eq/Liter)	Klimaänderungspotenzial (20a, in kg CO <sub>2</sub> -eq/Liter)	Gesamtumweltbelastung (Mikro-Punkte (1e-6) /Liter)
Trinkwasser, Deutscher Durchschnitt, Endversorger	0.00057	0.00066	0.052
Trinkwasser, Seewasser, Flachland, Vorversorgung	0.00063	0.00071	0.055
Trinkwasser, Angereichertes Grundwasser, Kleinstadt, Endversorger	0.00037	0.00043	0.042
Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Endversorger	0.00058	0.00065	0.050
Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Vor- und Endversorger	0.00050	0.00056	0.045
Trinkwasser, Grundwasser, städtisch, Endversorger	0.00024	0.00027	0.026
Trinkwasser, See- und Stauseewasser, ländlich, Vorversorger	0.00108	0.00129	0.065
Trinkwasser, Grundwasser, mittelgrosse Stadt, Endversorger	0.00028	0.00033	0.033
Trinkwasser, Uferfiltrat, Grossstadt, Endversorger	0.00034	0.00038	0.035

#### 4.5.2 Trink- und Mineralwasser im Haushalt

Tab. 4.7 zeigt die Klimaänderungspotenziale, pro Liter Wasser, für die Bereitstellung von stillem und kohlenstoffhaltigem, gekühltem und ungekühltem Wasser zu Hause (vgl. Kapitel 4.3.2 bis 4.3.5).

Die relative Rangliste bezogen auf die geringste Gesamtumweltbelastung der verschiedenen aufbereiteten Trinkwässer (Rang 1 bis 4) im Vergleich zum Mineralwasser bleibt in der Bewertung des Klimaänderungspotenzials gleich. Kleine Verschiebungen gibt es lediglich innerhalb der verschiedenen bereitgestellten Mineralwässer ab Rang 8 bis 18. Eine eindeutige Empfehlung hinsichtlich der besten Verpackungsart kann jedoch nicht direkt aus den hier gezeigten Szenarien abgeleitet werden und ist auch nicht Ziel der Studie. Zwischen der Betrachtung des Klimaänderungspotenzials für den 20- und den 100-Jahre Zeithorizont gibt es keine Unterschiede in der Rangliste.

Tab. 4.7 Klimaänderungspotenzial in g CO<sub>2</sub>-eq pro Liter Wasser für Zeithorizont 100 und 20 Jahre, sowie Gesamtumweltbelastung in Mikro-Punkten (1e-6) für die Bereitstellung von stillem und kohlenstoffhaltigem, gekühltem und ungekühltem Mineral- und Trinkwasser zu Hause, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Spalte

	Klimaänderungspotenzial (100a, in kg CO <sub>2</sub> -eq/Liter)	Klimaänderungspotenzial (20a, in kg CO <sub>2</sub> -eq/Liter)	Gesamtumweltbelastung (Mikro-Punkte (1e-6) /Liter)
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	0.596	0.708	45.457
Mineralwasser, still, gekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	0.571	0.675	44.367
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	0.578	0.687	43.909
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	0.553	0.654	42.819
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	0.489	0.588	36.233
Mineralwasser, still, gekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	0.459	0.550	35.112
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	0.471	0.567	34.685
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	0.441	0.529	33.565
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	0.416	0.498	31.267
Mineralwasser, still, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	0.369	0.436	28.125
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	0.410	0.488	29.858
Mineralwasser, still, gekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	0.388	0.460	29.838
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	0.398	0.477	29.719
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	0.392	0.467	28.310
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	0.370	0.439	28.290
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	0.367	0.434	27.220
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause, Best-Case	0.102	0.116	6.280
Trinkwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, zu Hause	0.072	0.086	4.884
Trinkwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, zu Hause	0.053	0.065	3.336
Trinkwasser, still, gekühlt, zu Hause	0.025	0.028	1.997
Trinkwasser, still, ungekühlt, zu Hause	0.001	0.001	0.126

## 5 Interpretation

Die Auswertungen werden entsprechend der Fragestellungen in Tab. 1.1 diskutiert. Dabei werden die in der Zieldefinition festgelegten Fragen beantwortet.

### 5.1 Unsicherheiten

Eine vollständige quantitative Betrachtung der Unsicherheiten ist im Rahmen dieser Studie nicht vorgesehen. Im Folgenden werden jedoch qualitativ verschiedene Unsicherheiten diskutiert.

Bei der Datenerhebung gibt es eine Reihe von Unsicherheiten. Diese sind für den grundsätzlichen Vergleich von Trinkwasser und Mineralwasser von untergeordneter Bedeutung. Für die Beurteilung einzelner Aspekte wie Kühlung, Herkunft oder Verwendung eines Soda-Gerätes können sie die Ergebnisse aber maßgeblich beeinflussen. Im Folgenden werden die Hauptunsicherheiten dargestellt.

Für die Trinkwasserversorgung gibt es vier wesentliche Einflussgrößen:

- Wasserverluste
- Stromverbrauch
- Infrastruktur und Leitungsnetz
- Direktmissionen ins Wasser

Der Stromverbrauch der einzelnen Trinkwasserversorger ist in der Regel genau bekannt. Zudem wurden auf nationaler Ebene Durchschnittsdaten, so dass hier für die Berechnungen einige Annahmen notwendig waren. Basierend auf den Daten für die untersuchten Wasserversorger und mit den verwendeten Gewichtungsfaktoren wurde ein Strombedarf von 0.67 Wattstunden pro Liter Trinkwasser beim Hausanschluss berechnet. Dieser Wert wird für diese Studie verwendet.

Dieser Wert wurde mit Daten aus Benchmarking-/Kennzahlenvergleichs-Berichten von 9 Bundesländern überprüft.<sup>26</sup> Die Berichte umfassen 62% der Gesamtproduktion Deutschlands. Das aus diesen Berichten berechnete gewichtete Mittel liegt bei 0.52 Wattstunden pro Liter Trinkwasser und liegt somit deutlich unter dem modellierten und verwendeten Wert. Um die Umweltbelastungen auf Grund des Stromverbrauchs auch sonst nicht zu unterschätzen, wird für alle Versorger, in den Vordergrunddaten, mit dem deutschen Strommix gerechnet und die teilweise gemeldete Nutzung erneuerbarer Energien bei einzelnen Versorgern nicht berücksichtigt.

Große Unsicherheiten gibt es bei der Infrastruktur hinsichtlich tatsächlicher Materialaufwendungen, Aufwendungen zum Bau und für die Lebensdauer. Um hier die Belastungen nicht zu unterschätzen, werden Nebenprodukte und Nebennutzungen der Infrastruktur, wie z.B. Strom aus Trinkwassertalsperren nicht gutgeschrieben.

Die für diese Studie untersuchten Vorversorger zeigen pro Liter geliefertem Wasser relativ hohe Material- und Energieaufwände. Damit diese in der Durchschnittsbildung nicht unterschätzt werden, werden sie anteilmäßig, wie Endversorger gewichtet. D.h. obwohl z.B. effektiv nur 2.1% des Trinkwassers aus der untersuchten Vorversorgersituation aus See- und Talsperren-Wasser kommt, wurde diese Herkunft mit dem Anteil der Endversorgersituation (9% der Gesamtversorgung) gewichtet und somit tendenziell überschätzt.

Auch für die Hausinstallation wurden einige grobe Annahmen getroffen.

---

<sup>26</sup> Benchmarking-, bzw. Kennzahlenvergleichs-Berichte der Wasserversorger von Sachsen-Anhalt 2014, Thüringen 2016, Schleswig-Holstein 2016, Saarland 2017, Rheinland-Pfalz 2016, Brandenburg 2017, Sachsen 2018, Nordrhein-Westfalen 2018 und Niedersachsen 2018

Ebenfalls große Unsicherheiten gibt es bei den direkten Emissionen ins Wasser auf Grund der unterschiedlichen eingesetzten Chemikalien für die Aufbereitung. Der Aufwand für eine genauere Erfassung ist hier groß. Gemäß den untersuchten Wasserversorgern werden Vorkehrungen getroffen, damit möglichst wenige Reste dieser Chemikalien in die Vorfluter gelangen. Um auch hier die potenziellen Umweltbelastungen nicht zu unterschätzen, wurden die maximal gemessenen Konzentrationen im Vorfluter, bzw. die daraus berechneten Emissionsfaktoren verwendet.

Die Daten zur Mineralwasserbereitstellung beruhen auf Angaben aus Umweltberichten von Versorgern und repräsentieren damit tendenziell eher Versorger mit hohen Ansprüchen bzgl. Umweltschutz. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass diese Daten die potenziellen Gesamtumweltbelastungen der Mineralwasserbereitsteller eher unterschätzen.

Die Bilanz von Verpackungen kann sich auf eine Reihe von Ökobilanz-Studien stützen und erscheint damit sehr zuverlässig.

Für Transporte wurden durchschnittliche Transportaufwendungen, sowie Minimal und Maximalszenarien abgeschätzt.

Bei der Verpackung wurden die im Jahr 2009 am häufigsten auf dem Markt verbreiteten Flaschentypen angeschaut. Auf Grund der hohen Marktanteile kann davon ausgegangen werden, dass diese Flaschentypen auch aktuell noch relevant sind. Die Art der Getränkeverpackung (PET oder Glas) sorgt auf Stufe Herstellung zudem nur für geringe Unterschiede. Zu beachten ist jedoch die Abhängigkeit von Verpackungsart und Transportgewicht. Je länger der Transport, desto höher sind die potenziellen Umweltbelastungen von Kleinverpackungen (z.B. 0.5 Liter) im Vergleich zu größeren Flaschen (z.B. 1.5 Liter). In diesem Fall ebenfalls deutlich höher sind die potenziellen Umweltbelastungen von Glasanstelle von PET-Flaschen.

Wie im Kapitel 2.8.1 bereits erläutert, haben auch methodische Festlegungen einen Einfluss auf die Ergebnisse für Verpackungen die nach dem Recycling als Material für andere Produkte verwendet werden. Hierfür könnten auch Gutschriften verteilt werden, die dann zu etwas geringeren Umweltbelastungen für alle untersuchten Wasservarianten führen würden. Dies stellt aber den Gesamtvorteil der Trinkwasservarianten gegenüber dem Mineralwasser nicht in Frage da allein Abfüllung und Transporte schon zu wesentlich höheren Belastungen als beim Trinkwasser führen. Zudem bleibt dieser Vorteil auch im Vergleich zum gerechneten Best-Case Szenario bestehen.

Die Hintergrunddaten für verschiedene Teilaspekte mit geringerer Relevanz wurden für den Schweizer Kontext erhoben. Z.B. wurden die Sachbilanzdaten für die Distribution im Supermarkt basierend auf dem Warenumsatz verschiedener Supermärkte in CHF auf die dort angebotenen Produkte allziiert. Würde die Distribution einen höheren Anteil an den potenziellen Umweltbelastungen verursachen, wäre es empfehlenswert, diese Hintergrunddaten auch für den deutschen Markt zu erheben.

Relevant bei vielen gekauften Getränken sind auch die Heimtransporte. Für diese Studie wurde ein Durchschnittsszenario angenommen. Beim Heimtransport zu Fuß oder per Fahrrad sind die Belastungen deutlich geringer. Einkäufe per Auto können die Umweltbelastungen der Mineralwasserbereitstellung im Supermarkt je nach zurückgelegter Distanz und Einkaufsmenge leicht vervielfachen.

Für die Bilanz zur Kühlung im Haushalt mussten grobe Annahmen hinsichtlich der Ausnutzung des Kühlschranks getroffen werden. Die tatsächliche Auslastung (Liter gekühltes Wasser pro Tag und Lebensdauer der Geräte) und der Stromverbrauch in der Nutzung unterscheiden sich beträchtlich in verschiedenen Anwendungsfällen.

Für gekühltes Trinkwasser wurde wie beim Mineralwasser von einer Aufbewahrung von 1 Tag im Kühlschrank ausgegangen. Es wurde also nicht berücksichtigt, das Trinkwasser in der Regel kälter aus der Leitung kommt als Mineralwasser, welches im Supermarkt stand und von dort nach Hause gebracht wurde. Diese Unsicherheit hat somit keinen Einfluss auf den Vergleich.

Ähnliches gilt für das Soda-Gerät und den CO<sub>2</sub>-Zylinder. Die Nutzungshäufigkeit ist hier sehr entscheidend für die verursachten Umweltbelastungen. Diese unterscheidet sich beträchtlich z.B. zwischen einem Single-Haushalt und einer Großfamilie. Damit sind auch hier große Variationen möglich. Außerdem gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Geräte auf dem Markt, die sich z.B. hinsichtlich Materialien, Patronen, Art der Installation und Anwendung unterscheiden können. Für diese Studie wurde nur ein einzelnes Beispiel eines solchen Gerätes untersucht. Aussagen für andere Geräte und Anwendungsfälle sind damit nicht möglich.

Auf Ebene Wirkungsabschätzung sind die Unsicherheiten insbesondere bei den Toxizitätskategorien besonders hoch. Aber auch beim Indikator Wasserverbrauch gibt es Unsicherheiten wegen der komplexen Erfassung und Bewertung der Sachbilanzdaten. Beim Mineralwasser ist die Möglichkeit eines Transportes über Einzugsgebietsgrenzen hinweg vermutlich eher gegeben als beim Trinkwasser. Dieser wird hier aber auf Grund der nationalen Abgrenzung nicht erfasst. Aber auch beim Trinkwasser gibt es Einzelbeispiele von Fernversorgern, bei denen Wasser in ein anderes Einzugsgebiet transportiert wird. Da auch hier die Unterschiede insgesamt sehr deutlich sind, ist nicht zu erkennen, dass Mineralwasser hierbei einen grundsätzlichen Vorteil haben könnte.

## 5.2 Vergleich mit Literaturwerten

Der Vergleich mit Literaturwerten in Kapitel 4.4 hat gezeigt, dass die Ergebnisse für die modellierten Daten plausibel bzw. in der Größenordnung früherer Studien liegen. Überraschend war, dass die vielen in der französischen Agribalyse Datenbank nominal unterschiedenen Datensätze lediglich Kopien derselben Sachbilanz enthielten und somit nicht die Varianz der Ergebnisse aufzeigen können.

## 5.3 Schlussfolgerungen

Diese Ökobilanz wurde mit dem Ziel erstellt einen Vergleich der potenziellen Umweltbelastungen von Trinkwasser und Mineralwasser durchzuführen. Hierzu wurden verschiedene Varianten für diese Getränke betrachtet. Nicht berücksichtigt werden evtl. vorhandene Unterschiede bei diesen Getränken bezüglich der enthaltenen erwünschten oder unerwünschten Mineralien oder anderen Begleitstoffen.

***In allen betrachteten Fällen für konsumbereites Wasser (ungekühlt/gekühlt, mit/ohne Kohlen-säure) verursacht Trinkwasser, pro Liter, potenziell deutlich geringere Umweltbelastungen als Mineralwasser.***

***Der Unterschied wird umso grösser, je weiter das Mineralwasser transportiert wird bis es zum Kunden gelangt.***

***Diese Aussagen gelten für alle untersuchten Wirkungskategorien und sind somit nicht von einer Gewichtung abhängig.***

Zudem gelten sie auch unter der Einschränkung, dass die genauen Zahlen teilweise größeren Schwankungsbreiten unterworfen sind, da sie von schwer bestimmbar Faktoren wie dem Konsumverhalten abhängen. Abgesichert werden die Schlussfolgerungen dadurch, dass für Trinkwasser tendenziell eher konservative Abschätzungen getroffen wurden, während beim Mineralwasser auch eine Variante mit minimalen potenziellen Umweltbelastungen (Best-Case) ausgewertet wurde.

Die potenziellen Umweltbelastungen der Trinkwasserversorgung werden zum einen durch den Strombedarf und zum anderen durch die notwendige Infrastruktur, insbesondere Verteilungen und Hausinstallationen bestimmt. Ebenfalls relevant erscheinen die bei der zentralen Aufbereitung eingesetzten Betriebsmittel sowie im Fall einer Wasserversorgung aus Stauseen Treibhausgasemissionen auf Grund der Landtransformation.

Die potenzielle Umweltbelastung des Mineralwassers im Haushalt wird wesentlich von der Verpackung und von den Transporten bestimmt. Andere Aufwendungen im Werk und Handel sind relativ unbedeutend.

Von den Einwegverpackungen schneiden die größeren Flaschentypen (1.5 Liter) besser ab als die kleinen (0.5 Liter). Dies sowohl auf Grund des geringeren Materialbedarf wie auch des geringeren Transportgewichts pro Liter verkauftem Wasser.

Neben der Transportdistanz von der Abfüllung bis zum Haushalt sind auch die gewählten Transportmittel von großer Bedeutung. Für die Langstreckentransporte sind Schiff und Bahn potenziell deutlich umweltschonender als Flugzeug und LKW. Kurzstreckentransporte erfolgen idealerweise zu Fuß, mit dem Fahrrad oder mit den öffentlichen Verkehrsmitteln (Bahn, Tram, Bus).

Wird das Trink- und/oder Mineralwasser gekühlt und/oder mit Kohlensäure versetzt erhöhen sich die potenziellen Umweltbelastungen pro Liter.

Bei Trinkwasser verursacht der Einsatz von Sodageräten für die Anreicherung mit Kohlensäure pro Liter potenziell höhere Umweltbelastungen als bei der industriellen Anreicherung. Diese zusätzlichen potenziellen Belastungen bleiben im Vergleich zu den potenziellen Belastungen für die Verpackung und den Transport von Mineralwasser jedoch klein.

Die Kühlung des Wassers im Kühlschrank verursacht, in dieser Studie, absolut betrachtet gleich hohe potenzielle Belastungen für Trinkwasser und Mineralwasser. Im Alltag ist jedoch davon auszugehen, dass Trinkwasser seltener im Kühlschrank gekühlt wird, da es mit dem berücksichtigten Vorlauf bereits kühl aus der Leitung kommt.

Trinkwasser, das z.B. von Trinkwasserversorgern direkt in Flaschen abgefüllt und wie Mineralwasser transportiert und verkauft würde, wurde in dieser Studie nicht separat betrachtet. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass in diesem Fall der ökologische Vorteil des Trinkwassers gegenüber dem Mineralwasser nicht mehr gegeben ist, da dann auch beim Trinkwasser potenzielle Umweltbelastungen auf Grund der Verpackung und der Transporte anfallen würden.

## 5.4 Empfehlungen für den Konsum von Wasser zum Trinken

Mit der vorliegenden Ökobilanz wurden verschiedene in Deutschland erhältliche Varianten von Trinkwasser und Mineralwasser erstmals detailliert untersucht und aus Umweltsicht verglichen. Die Ergebnisse zu den potenziellen Umweltbelastungen können direkt in Konsumempfehlungen überführt werden:

- Wenn Sie Ihren Durst mit Trinkwasser direkt aus der Leitung stillen, können Sie die potenziell verursachten Umweltbelastungen am niedrigsten halten.
- Wenn Sie das Wasser aus dem Hahn im Kühlschrank kühlen, werden die Umweltbelastungen deutlich größer.
- Wird aus Geschmacksgründen kohlenensäurehaltiges Wasser gekauft, lohnt sich aus ökologischen Gründen unter den in der Studie dargestellten Rahmendbedingungen der Kauf eines Soda-Geräts zur Anreicherung von Trinkwasser mit Kohlensäure. Es ist umweltfreundlicher stilles, statt kohlenensäurehaltiger Wasser zu trinken.

## 6 Literatur

- Andreasi Bassi et al. 2023 Andreasi Bassi S., Biganzoli F., Ferrara N., Amadei A., Valente A., Sala S. and Ardente F. (2023) Updated characterisation and normalisation factors for the Environmental Footprint 3.1 method. ISBN 978-92-76-99069-7, doi:10.2760/798894, JRC130796. EUR 31414 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Apollinaris 2004 Apollinaris (2004) Aktualisierung der Umwelterklärung. Apollinaris & Schweppes GmbH, Bad Neuenahr.
- BAFU 2021 BAFU (2021) Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit: Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: [www.bafu.admin.ch/uw-2121-d](http://www.bafu.admin.ch/uw-2121-d).
- BDEW-Wasserstatistik 2020 BDEW-Wasserstatistik (2020) Wasserstatistiken des Bundesverbandes der Energie- und Wasserwirtschaft, retrieved from: [www.bdew-statistik.de](http://www.bdew-statistik.de) und <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/>.
- BDEW 2020 BDEW (2020) BRANCHENBILD DER DEUTSCHEN WASSERWIRTSCHAFT. Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW).
- Benedetto 2012 Benedetto S. (2012) Environmental Product Declaration Acqua Minerale Naturale Oligominerale San Benedetto. *In*, pp.
- BMJ 2017 BMJ (2017) Min/TafelWV - Mineral- und Tafelwasser-Verordnung (ed. Justiz B. f.), retrieved from: [https://www.gesetze-im-internet.de/min\\_tafelwv/Min\\_TafelWV.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/min_tafelwv/Min_TafelWV.pdf).
- BMJ 2020 BMJ (2020) Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (TrinkwV - Trinkwasserverordnung) (ed. Justiz B. f.), retrieved from: [https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv\\_2001/BJNR095910001.html](https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2001/BJNR095910001.html).
- Boulay et al. 2018 Boulay A.-M., Bare J., Benini L., Berger M., Lathuillière M. J., Manzardo A., Margni M., Motoshita M., Núñez M., Valerie-Pastor A., Ridoutt B., Oki T., Worbe S. and Pfister S. (2018) The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *In: Int J Life Cycle Assess*, **23**(2), pp. 368–378.
- Brau und Brunnen 2003 Brau und Brunnen (2003) Umweltbericht 2002.
- Bussa et al. 2021 Bussa M., Jungbluth N. and Meili C. (2021) Life cycle inventories for long-distance transport and distribution of natural gas. ESU-services Ltd. commissioned by FOEN and VSG, Schaffhausen, CH.
- Cerelia 2013 Cerelia (2013) Environmental Product Declaration of Cerelia Natural Mineral Water *In*, pp.
- Coop Schweiz 2004 Coop Schweiz (2004) Nachhaltigkeitsbericht 2003, Basel, retrieved from: [www.coop.ch](http://www.coop.ch).
- Detzel & Kauertz 2016 Detzel A. and Kauertz B. (2016) Prüfung und Aktualisierung der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen. UBA-FB 002276. ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH.
- ecoinvent Centre 2023 ecoinvent Centre (2023) ecoinvent data v3.9.1, Cut-Off model. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich, Switzerland, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- EPD 2019 EPD (2019) General Programme Instructions for the International EPD®System. Version 4.0, dated 2019-09-18. EPD International, retrieved from: <https://www.environdec.com/The-International-EPD-System/General-Programme-Instructions/>.
- ESU-services 2023a ESU-services (2023a) ESU World Food LCA Database - LCI for food production and consumption (ed. Jungbluth N., Meili C., Bussa M., Ulrich M., Solin S., Muir K., Malinverno N., Eberhart M., Annaheim J., Keller R., Eggenberger S., König A., Doublet

- G., Flury K., Büsser S., Stucki M., Schori S., Itten R., Leuenberger M. and Steiner R.). ESU-services Ltd., Schaffhausen, CH, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/fooddata/](http://www.esu-services.ch/data/fooddata/).
- ESU-services 2023b ESU-services (2023b) The ESU background database based on UVEK-LCI DQRv2:2018. ESU-services Ltd., Schaffhausen, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/database/](http://www.esu-services.ch/data/database/).
- ESU-services 2023c ESU-services (2023c) Life cycle inventory database on demand: EcoSpold LCI database of ESU-services. ESU-services Ltd., Schaffhausen, CH, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/data-on-demand/](http://www.esu-services.ch/data/data-on-demand/).
- European Committee for Standardisation (CEN) 2022 European Committee for Standardisation (CEN) (2022) EN 15804+A2:2020/AC2021 - Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products (includes Corrigendum :2021). European Committee for Standardisation (CEN), Brussels, retrieved from: <https://www.en-standard.eu/din-en-15804-sustainability-of-construction-works-environmental-product-declarations-core-rules-for-the-product-category-of-construction-products-includes-corrigendum-2021/>.
- Fantin et al. 2014 Fantin V., Scalbi S., Ottaviano G. and Masoni P. (2014) A method of improving reliability and relevance of LCA reviews: The case of life-cycle greenhouse gas emissions of tap and bottled water. *In: Science of the Total Environment*, pp. 228-241.
- Fantke et al. 2016 Fantke P., Evans J., Hodas N., Apte J., Jantunen M., Jolliet O. and McKone T. E. (2016) Health impacts of fine particulate matter. *In: Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators: Volume 1.* (Ed. Frischknecht R. and Jolliet O.). pp. 76-99. UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, Paris.
- Ferrarelle 2013 Ferrarelle (2013) Environmental Product Declaration of Ferrarelle Mineral Water. *In*, pp.
- Flury & Jungbluth 2011 Flury K. and Jungbluth N. (2011) Ökobilanz von Mineral- und Leitungswasser. *In: Vortrag auf dem Partner- & Medienanlass, ZH2O züriwasser, Kongresshaus Zürich*, retrieved from: [www.esu-services.ch/de/projekte/lcafood/getraenke/#c957](http://www.esu-services.ch/de/projekte/lcafood/getraenke/#c957).
- Flury & Frischknecht 2012 Flury K. and Frischknecht R. (2012) Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Production. ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Frischknecht et al. 2000a Frischknecht R., Braunschweig A., Hofstetter P. and Suter P. (2000a) Human Health Damages due to Ionising Radiation in Life Cycle Impact Assessment. *In: Review Environmental Impact Assessment*, **20**(2), pp. 159-189.
- Frischknecht et al. 2000b Frischknecht R., Braunschweig A., Hofstetter P. and Suter P. (2000b) Modelling human health effects of radioactive releases in Life Cycle Impact Assessment. *In: Environmental Impact Assessment Review*, **20**(2), pp. 159-189.
- Frischknecht et al. 2007a Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischer R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007a) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Frischknecht et al. 2007b Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischer R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007b) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/ecoinvent/](http://www.esu-services.ch/data/ecoinvent/).
- Gerolsteiner 2003 Gerolsteiner (2003) Umweltbericht 2003 der Gerolsteiner Brunnen GmbH & Co. KG.

- Gerolsteiner 2011 Gerolsteiner (2011) Umweltbericht 2011 der Gerolsteiner Brunnen GmbH & Co. KG.
- Gerolsteiner 2014 Gerolsteiner (2014) Nachhaltigkeitsbericht 2014 der Gerolsteiner Brunnen GmbH & Co. KG, retrieved from: [www.gerolsteiner.de](http://www.gerolsteiner.de).
- Gerolsteiner 2020 Gerolsteiner (2020) Nachhaltigkeitsbericht 2019/2020 der Gerolsteiner Brunnen GmbH & Co. KG, retrieved from: [www.gerolsteiner.de](http://www.gerolsteiner.de).
- Hassia-Mineralquellen 2018 Hassia-Mineralquellen (2018) Nachhaltigkeitsbericht 2017/ 2 018 der Hassia Mineralquellen GmbH & Co. KG, retrieved from: [www.hassia.com](http://www.hassia.com).
- Hischier 2007 Hischier R. (2007) Life Cycle Inventories of Packaging and Graphical Paper. ecoinvent report No. 11, v2.0. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- Horn et al. 2018 Horn R., Maier S., Bos U., Beck T., Lindner J. P. and Fischer M. (2018) LANCA® -Characterisation Factors for Life Cycle Impact Assessment, Version 2.5. Fraunhofer Verlag, ISBN 978-3-8396-0953-8, Stuttgart, retrieved from: <https://www.bookshop.fraunhofer.de/buch/LANCA/244600>.
- International Organization for Standardization (ISO) 2006a International Organization for Standardization (ISO) (2006a) Environmental Labels and Declarations - Type III environmental declarations - Principles and procedures. ISO 14025.
- International Organization for Standardization (ISO) 2006b International Organization for Standardization (ISO) (2006b) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. ISO 14040:2006; Second Edition 2006-06, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO) 2006c International Organization for Standardization (ISO) (2006c) Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. ISO 14044:2006; First edition 2006-07-01, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO) 2021 International Organization for Standardization (ISO) (2021) Environmental management – Life cycle assessment – Principles, requirements and guidelines for normalization, weighting and interpretation. ISO/DTS 14074:2021; for ballot 24.11.2021, Geneva.
- IPCC 2013 IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, retrieved from: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
- IPCC 2021 IPCC (2021) Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, retrieved from: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>.
- Jungbluth & Faist Emmenegger 2005 Jungbluth N. and Faist Emmenegger M. (2005) Ökobilanz Trinkwasser - Mineralwasser. ESU-services GmbH im Auftrag des Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW.
- Jungbluth 2006 Jungbluth N. (2006) Vergleich der Umweltbelastungen von Hahnenwasser und Mineralwasser. In: *Gas, Wasser, Abwasser*, **2006**(3), pp. 215-219, retrieved from: [www.esu-services.ch](http://www.esu-services.ch).
- Jungbluth 2007 Jungbluth N. (2007) Ökobilanz und Kennwertmodell für Strom aus aufbereitetem, pflanzlichen Speiseöl: Erste Grobabschätzung. ESU-services GmbH, Uster.
- Jungbluth et al. 2012 Jungbluth N., Itten R. and Schori S. (2012) Environmental impacts of food consumption and its reduction potentials. In *proceedings from: 8th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector*, Rennes, France, 2-4 October 2012, retrieved from: [www.colloque4.inra.fr/lcafood2012](http://www.colloque4.inra.fr/lcafood2012).
- Jungbluth & König 2014 Jungbluth N. and König A. (2014) Ökobilanz Trinkwasser: Analyse und Vergleich mit Mineralwasser sowie anderen Getränken. ESU-services GmbH im Auftrag des Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW, Zürich, retrieved from: <http://www.esu-services.ch/de/projekte/lcafood/wasser/>.

- Jungbluth et al. 2018a Jungbluth N., Meili C. and Wenzel P. (2018a) Update of LCI data for crude oil and mineral oil products. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Jungbluth et al. 2018b Jungbluth N., Wenzel P. and Meili C. (2018b) Life cycle inventories of oil heating systems. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Jungbluth & Meili 2018 Jungbluth N. and Meili C. (2018) Life cycle inventories of oil products distribution. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Jungbluth et al. 2018c Jungbluth N., Meili C. and Wenzel P. (2018c) Life cycle inventories of oil refinery processing and products. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Jungbluth & Meili 2019 Jungbluth N. and Meili C. (2019) Recommendations for calculation of the global warming potential of aviation including the radiative forcing index. *In: Int J Life Cycle Assess.*, **24**(3), pp. 404-411, DOI: 10.1007/s11367-018-1556-3, retrieved from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-018-1556-3>, <https://rdcu.be/bbKZk>.
- Jungbluth & Rocha 2023 Jungbluth N. and Rocha C. (2023) Environmental report and product declaration 2022. ESU-services GmbH, Schaffhausen, CH, retrieved from: <http://esu-services.ch/news/reporting/>.
- Kauertz et al. 2010 Kauertz B., Döhner A. and Detzel A. (2010) PET Ökobilanz 2010 - Ökobilanzielle Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für kohlenstoffhaltige Mineralwässer und Erfrischungsgetränke sowie stille Mineralwässer. ifeu- Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH.
- Kauertz et al. 2016 Kauertz B., Dreschner A. and Detzel A. (2016) AKÖG Marktstudie 2015/2016. ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, D - 69120 Heidelberg.
- Lee et al. 2021 Lee D. S., Fahey D. W., Skowron A., Allen M. R., Burkhardt U., Chen Q., Doherty S. J., Freeman S., Forster P. M., Fuglestvedt J., Gettelman A., De León R. R., Lim L. L., Lund M. T., Millar R. J., Owen B., Penner J. E., Pitari G., Prather M. J., Sausen R. and Wilcox L. J. (2021) The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *In: Atmospheric Environment*, **244**, pp. 117834, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>, retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231020305689>.
- Meili et al. 2021a Meili C., Jungbluth N. and Bussa M. (2021a) Life cycle inventories of long-distance transport of crude oil. ESU-services Ltd. commissioned by FOEN and VSG, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Meili et al. 2021b Meili C., Jungbluth N. and Bussa M. (2021b) Life cycle inventories of crude oil and natural gas extraction. ESU-services Ltd. commissioned by FOEN and VSG, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Migros 2010 Migros (2010) Umweltbericht des Migros-Genossenschafts-Bundes 2009. *In*, pp.
- ÖVGW 2014 ÖVGW (2014) Vergleichende Ökobilanz - Trinkwasser aus der Leitung gegenüber Flaschenwasser, Wien.
- PCR 2012 PCR (2012) Product Category Rules (PCR) for Research and Experimental Development Services in Natural Sciences and Engineering (UN CPC 811). The International EPD System.
- PlasticsEurope 2016 PlasticsEurope (2016) High-density Polyethylene (HDPE), Low-density Polyethylene (LDPE), Linear Low-density Polyethylene (LLDPE). PlasticsEurope, Brussels, Belgium.

- Plinke et al. 2000 Plinke E., Schonert M., Meckel H., Detzel A., Giegrich J., Fehrenbach H., Ostermayer A., Schorb A., Heinisch J., Luxenhofer K. and Schmitz S. (2000) Ökobilanz für Getränkeverpackungen II. 37/00. Umweltbundesamt, Berlin, retrieved from: [www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/bil.htm](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/bil.htm).
- Posch et al. 2008 Posch M., Seppälä J., Hettelingh J. P., Johansson M., Margni M. and Jolliet O. (2008) The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. In: *Int J Life Cycle Assess*(13), pp. 477-486.
- Rosenbaum et al. 2008 Rosenbaum R. K., Bachmann T. M., Gold L. S., Huijbregts A. J., Jolliet O., Juraske R., Koehler A., Larsen H. F., MacLeod M., Margni M., McKone T. E., Payet J., Schuhmacher M., van de Meent D. and Hauschild M. Z. (2008) USEtox - the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle assessment. In: *International Journal of Life Cycle Assessment*, **13**(7), pp. 532-546.
- Sala et al. 2018 Sala S., Cerutti A. K. and Pant R. (2018) Development of a weighting approach for the Environmental Footprint. (ed. JRC). Publications Office of the European Union., ISBN ISBN 978-92-79-68042-7, EUR 28562, doi:10.2760/945290, Luxembourg, retrieved from: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/development-weighting-approach-environmental-footprint>.
- Schumann 2002 Schumann G. (2002) Alkoholfreie Getränke : Rohstoffe, Produktion, lebensmittelrechtliche Bestimmungen. VLB, Berlin.
- Schwaller 1999 Schwaller P. (1999) Studie über verschiedene Sodageräte auf dem Schweizer Markt – Kostenanalyse – Vergleiche – Überlegungen – Empfehlungen. Food Industry Consulting.
- Seppälä et al. 2006 Seppälä J., Posch M., Johansson M. and Hettelingh J. P. (2006) Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator. In: *Int J Life Cycle Assess*, **11**(6), pp. 403-416.
- Siegsdorfer Petrusquelle 2000 Siegsdorfer Petrusquelle (2000) Umwelterklärung 2000, Siegsdorf, Deutschland, retrieved from: [www.petrusquelle.de](http://www.petrusquelle.de).
- SimaPro 2023 SimaPro (2023) SimaPro 9.5 LCA software package. PRé Sustainability, Amersfoort, NL, retrieved from: [www.simapro.ch](http://www.simapro.ch).
- Steiner et al. 2005 Steiner R., Faist Emmenegger M. and Frischknecht R. (2005) Ökobilanz Kombi-Kühlschrank Electrolux ERB3105, Uster, retrieved from: [www.esu-services.ch/download/steiner-2005-Kuehlschrank\\_Graue\\_Energie\\_1.0.pdf](http://www.esu-services.ch/download/steiner-2005-Kuehlschrank_Graue_Energie_1.0.pdf).
- Stolz et al. 2016 Stolz P., Messmer A. and Frischknecht R. (2016) Life Cycle Inventories of Road and Non-Road Transport Services. Treeze im Auftrag SBB AG, BFE, BAFU, Swisscom AG, Öbu, Uster, CH.
- Struijs et al. 2009 Struijs J., Beusen A., van Jaarsveld H. and Huijbregts M. A. J. (2009) Aquatic Eutrophication. In: *ReCiPe 2008 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation factors* (Ed. Goedkoop M., Heijungs R., Heijbregts M. A. J., De Schryver A., Struijs J. and Van Zelm R.).
- UBA 1999 UBA (1999) Methode des Umweltbundesamtes zur Normierung von Wirkungsindikatoren, Ordnung (Rangbildung) von Wirkungskategorien und zur Auswertung nach ISO 14042 und 14043 Version '99. 92/99. Umweltbundesamt, Berlin, retrieved from: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de).
- UBA 2002 UBA (2002) Ökobilanz für Getränkeverpackungen für alkoholfreie Getränke und Wein II.

- UVEK 2018 UVEK (2018) UVEK-LCIDQRv2:2018. Bundesamt für Umwelt BAFU, Switzerland, retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- van Oers et al. 2002 van Oers L., De Koning A., Guinée J. B. and Huppes G. (2002) Abiotic resource depletion in LCA - improving characterization factors for abiotic resource depletion as recommended in the new Dutch LCA Handbook. *In*, pp.
- Van Zelm et al. 2008 Van Zelm R., Huijbregts M. A. J., Den Hollander H. A., Van Jaarsveld H. A., Sauter F. J., Struijs J., Van Wijnen H. J. and Van de Meent D. (2008) European characterization factors for human health damage of PM10 and ozone in life cycle impact assessment. *In: Atmos Environ*, **42**, pp. 441-453.
- WMO 2014 WMO (2014) Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014. World Meteorological Organisation, Geneva.

## A. Anhang ISO 14040-44 (Produktökobilanzen)

Die ursprüngliche Ökobilanz bzw. das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt<sup>27</sup> verbundenen Umweltauswirkungen. Die Ökobilanz beruht auf einem Lebenszyklus-Ansatz. Damit werden die Umweltauswirkungen eines Produktes von der Rohstoffentnahme über Fertigung und Nutzung bis zur Entsorgung des Produktes und der Produktionsabfälle (von der Wiege bis zur Bahre, „cradle to grave“) erfasst und beurteilt.

Eine Ökobilanz lässt sich gemäß ISO 14040 grob in vier Phasen unterteilen (siehe Fig. 6.1):

1. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens
2. Sachbilanz
3. Wirkungsabschätzung
4. Auswertung

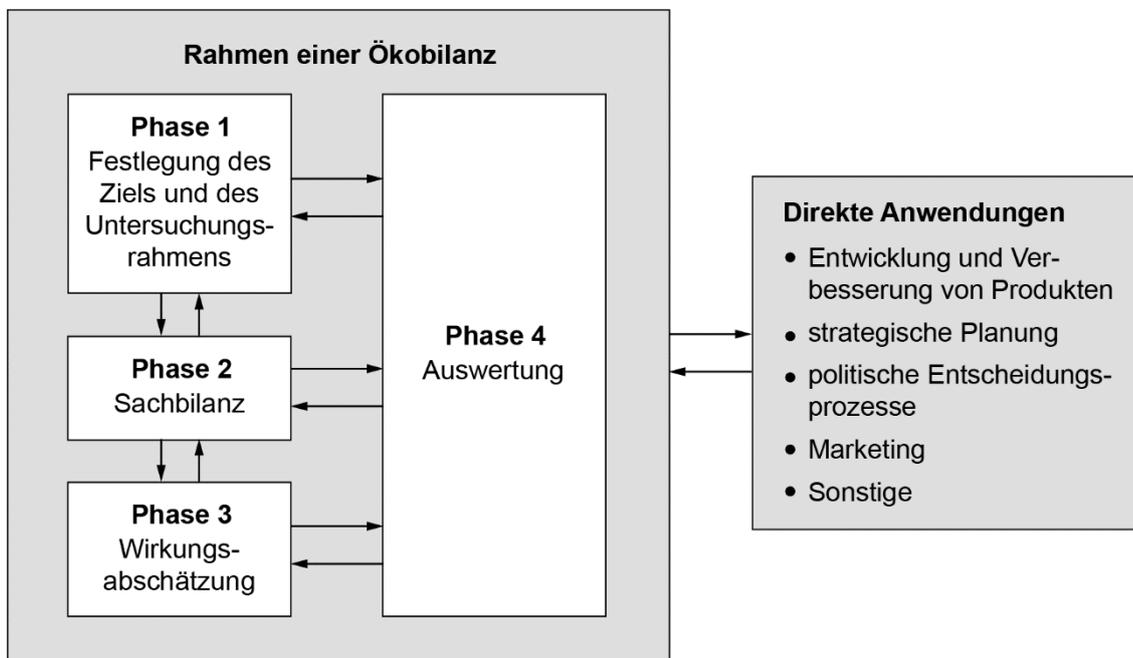


Fig. 6.1 Bestandteile einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA); Bezeichnungen in Deutsch (International Organization for Standardization (ISO) 2006a)

Die *Zieldefinition* (Phase 1) enthält die Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes, und die Definition der Bezugsgröße, der sogenannten funktionellen Einheit. Zudem werden diejenigen Umweltaspekte definiert, die bei Wirkungsabschätzung und der Interpretation berücksichtigt werden sollen. Der *Untersuchungsrahmen* wird abgesteckt, indem die Modellierungsweise und die für ein Produkt maßgebenden Prozesse bestimmt und beschrieben werden.

In der *Sachbilanz* (=Ökoinventar, Phase 2) werden die Umwelteinwirkungen<sup>28</sup> und der Bedarf an Halbfabrikaten, Hilfsstoffen und Energie der am Produktlebenszyklus beteiligten Prozesse erfasst und zusammengestellt. Diese Daten werden in Bezug zum Untersuchungsgegenstand, der

<sup>27</sup> Der Begriff Produkt schliesst hier Dienstleistungen mit ein.

<sup>28</sup> Ressourcennutzung und Schadstoffemissionen.

funktionellen Einheit gesetzt. Das Ergebnis der Sachbilanz sind die kumulierten Stoff- und Energieflüsse, die durch das Bereitstellen der funktionellen Einheit ausgelöst werden.

Ausgehend von der Sachbilanz wird die *Wirkungsabschätzung* (Phase 3) durchgeführt. Gemäß ISO 14040 wird die Wirkungsabschätzung in verschiedene Teilschritte unterteilt. Die ISO 14044 legt weder spezifische Verfahren fest, noch unterstützt sie die zugrunde liegenden, für die Ordnung der Wirkungskategorien verwendeten Werthaltungen. Die Werthaltungen und Beurteilungen innerhalb der Wirkungsabschätzung liegen in alleiniger Verantwortung des Autors und Auftraggebers der Studie.

Normierung und Gewichtung werden in ISO 14044 als optionale Elemente der LCIA nach der Klassifizierung und Charakterisierung eingeführt. Die Gewichtung darf nicht als alleinige Aussage in Ökobilanzstudien verwendet werden, die für vergleichende Aussagen verwendet werden sollen, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollen. Der Entwurf der ISO/TS 14074 (International Organization for Standardization (ISO) 2021)<sup>29</sup> enthält weitere Leitlinien für die Normierung, Gewichtung und Interpretation. Darin heißt es z.B., dass die Gewichtung auf Wertentscheidungen beruht und nicht wissenschaftlich fundiert ist. Außerdem müssen alle Indikatorergebnisse der Studie vor der Gewichtung in den LCA-Bericht aufgenommen werden.

In der *Auswertung* (Phase 4) werden die Resultate der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz zusammengefasst. Es werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen formuliert.

Die ISO-Normen 14040 "Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen" und 14044 "Umweltmanagement – Ökobilanzanforderungen und Anleitungen" (International Organization for Standardization (ISO) 2006a) beschreiben die Vorgehensweise bei der Erarbeitung einer Ökobilanz. Die Normen-Texte beschränken sich in der Regel auf Zielvorgaben und überlassen die Wahl der geeigneten Mittel den Ökobilanz-Praktikern. In einzelnen Fällen werden jedoch konkrete und detaillierte Vorgaben gemacht. Dies ist z.B. bei den Anforderungen an die Berichterstattung oder das Durchführen eines kritischen Prüfverfahrens der Fall.

Es muss hier aber darauf hingewiesen werden, dass die Durchführung von Ökobilanzen nicht nach ISO 14040/44 erfolgen *muss*. Es handelt sich um eine Norm die freiwillig eingehalten werden kann und damit mit dem Zusatz «erstellt nach ISO 14040/44» versehen werden darf.

Dieser Zusatz unterstützt die Glaubwürdigkeit der Studie und ermöglicht es die Resultate dieser Studie leichter mit anderen Studien, welche ebenfalls nach dem Standard erstellt wurden, zu vergleichen.

Wird eine Studie mit dem Ziel einer vergleichenden Aussage<sup>30</sup> veröffentlicht, ist eine kritische Prüfung notwendig, um die ISO-Normen 14040 und 14044 vollständig zu erfüllen. Ausserdem darf der Vergleich in diesem Fall nicht allein auf Basis von vollaggregierenden Methoden (wie z.B. die Methode der ökologischen Knappheit, ReCiPe, Umweltfussabdruck) erfolgen. In vollaggregierenden Methoden werden verschiedene Umwelteinflüsse, basierend z.B. auf politischen Interessen, gewichtet. Die Verfasser der ISO-Standards sehen darin ein erhöhtes Risiko für Fehlinterpretationen.

Gemäss unserer Ansicht ist dies jedoch auch bei der Nutzung von nicht aggregierten Resultaten möglich, da Leser die unterschiedlichen Umwelteinflüsse von z.B. 1 kg Phosphat-Äquivalent und 1kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent evtl. gleich gewichten könnten.

Da die meisten Studien nicht diesem Ziel verfolgen, kann ein Disclaimer eingesetzt werden: «Eine vergleichende Aussage im Sinne der ISO-Norm, d.h. eine Umweltaussage zur Überlegenheit oder Gleichwertigkeit eines Produktes im Vergleich zu einem Konkurrenzprodukt mit dem gleichen

---

<sup>29</sup> <https://www.iso.org/standard/61117.html>

<sup>30</sup> Umweltaussage zur Überlegenheit oder Gleichwertigkeit eines Produktes im Vergleich zu einem Konkurrenzprodukt mit dem gleichen Verwendungszweck

Verwendungszweck wird hier nicht angestrebt. Damit entfällt die Notwendigkeit für ein Review oder eine Einschränkung hinsichtlich der Verwendung von vollaggregierenden Indikatoren.»

## B. Anhang Bewertungsmethode PEF - Europäischer Umweltfußabdruck (2018)

Die Environmental Footprint (EF) Methode wird von der EF-Initiative der Europäischen Kommission zur Bewertung von Umweltauswirkungen entwickelt und empfohlen. Die derzeitige Version in Sima-Pro basiert auf der EF-Methode 3.0<sup>31</sup>. Sie enthält Vorschläge zur Normierung und Gewichtung.

### B.1 Charakterisierungsmodelle

Die Charakterisierungsmodelle wurden in einer Publikation zusammengefasst (Andreas Bassi et al. 2023). Tab. 6.1 zeigt eine Beschreibung der berücksichtigten Wirkungskategorien. Ein detaillierter Beschrieb der berücksichtigten Wirkungskategorien folgt in den Unterkapiteln.

Tab. 6.1 In der EF-Methode verwendete (midpoint-)Wirkungskategorien (European Commission 2010; Fazio et al. 2018)

Wirkungskategorie	Modell zur Wirkungsanalyse	Indikator Einheit	Quelle
Klimawandel	Strahlungsantrieb als globales Erwärmungspotenzial über einen Zeithorizont von 100 Jahren	kg CO <sub>2</sub> eq	IPCC 2013 + JRC adaptations
Ozonabbau	EDIP-Modell basierend auf den ODPs der World Meteorological Organization (WMO) über einen Zeithorizont von 100 Jahren	kg CFC-11 eq	WMO 2014 + integrations from other sources
Ionisierende Strahlung	Modell zur Auswirkung auf die menschliche Gesundheit	kg U <sup>235</sup> eq	Frischknecht et al. 2000b
Photochemische Ozonbildung	LOTOS-EUROS-Modell	kg NMVOC eq	Van Zelm et al. 2008 as applied in ReCiPe
Feinstaub	Krankheitsinzidenz-Modell	Inzidenz der Krankheit	Fantke et al. 2016
Humantoxizität, nicht Krebs	USEtox® 2.1	CTUh	Rosenbaum et al. 2008
Humantoxizität, Krebs	USEtox® 2.1	CTUh	Rosenbaum et al. 2008
Versauerung	Kumuliertes Überschreitungsmodell	mol H <sup>+</sup> eq	Posch et al. 2008 Seppälä et al. 2006
Eutrophierung, Süßwasser	EUTREND-Modell	kg P eq	Struijs et al. 2009 as applied in ReCiPe
Eutrophierung, Meer	EUTREND-Modell	kg N eq	Struijs et al. 2009 as applied in ReCiPe
Eutrophierung, terrestrisch	Kumuliertes Überschreitungsmodell	mol N eq	Posch et al. 2008 Seppälä et al. 2006
Ökotoxizität, Süßwasser	USEtox® 2.1	CTUe	Rosenbaum et al. 2008
Landnutzung	Bodenqualitätsindex wie im LANCA-Modell	Punkte	Horn et al. 2018
Wassernutzung	AWARE-Modell	m <sup>3</sup> entzogen	Boulay et al. 2018
Ressourcennutzung, Fossil	CML-Modell	MJ eq	van Oers et al. 2002
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	Ultimate-Reserves-Modell	kg Sb eq	van Oers et al. 2002

<sup>31</sup> <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>

## B.2 Klimawandel

Wirkungsindikator: Klimaänderungspotential über 100 Jahre (kg CO<sub>2</sub>-eq). Baseline-Modell des IPCC 2013 und weitere zusätzliche Faktoren berechnet durch die Forschungsstelle der Europäischen Kommission (IPCC 2013 + JRC adaptations). Zusätzliche Erläuterungen siehe Kapitel C .

## B.3 Ozonabbau

Das Ozonabbaupotenzial (ODP) berechnet die zerstörerischen Auswirkungen auf die stratosphärische Ozonschicht über einen Zeithorizont von 100 Jahren. Die stratosphärische Ozonschicht reduziert die Menge an UV-Strahlung, die den Boden erreicht und Schäden für Mensch, Tier, Pflanze und Material verursachen kann (WMO 2014).

## B.4 Ionisierende Strahlung

Wirkungsindikator: Menschliche Expositionseffizienz bezogen auf Uranium-235 (Frisknecht et al. 2000b).

## B.5 Photochemische Ozonbildung

Ozon und andere reaktive Sauerstoffverbindungen werden als sekundäre Schadstoffe in der Troposphäre (nahe der Erdoberfläche) gebildet. Ozon wird durch die Oxidierung der primären Schadstoffe VOC (flüchtige, organische Verbindungen) oder CO (Kohlenstoffmonoxid) in der Anwesenheit von NO<sub>x</sub> (Stickoxide) unter Einfluss von Licht gebildet.

Wirkungsindikator: Das Ozonbildungspotential beschreibt den potenziellen Beitrag zur photochemischen Bildung von Ozon in der unteren Atmosphäre.

Die Methode verwendet räumliche Differenzierung und ist nur für Europa gültig. Das räumlich differenzierte LOTOS-EUROS Modell mittelt über 14'000 Rasterzellen bei einer marginalen Erhöhung der Ozonbildung, um die Europäischen Faktoren zu berechnen (Van Zelm et al. 2008).

Zur Berechnung des Ozonbildungspotenzials individueller NMVOC werden POCP herangezogen, welche die relativen Unterschiede des Ozonbildungspotenzials zwischen den einzelnen NMVOC abbilden.

## B.6 Feinstaub

Wirkungsindikator: Krankheitsvorfälle pro kg PM<sub>2.5</sub> emittiert

Der Indikator wird mit der mittleren Steigung zwischen dem Arbeitspunkt der Emission Response Function (ERF) und des theoretischen minimalen Risikolevel abgeschätzt. Die Belastungsmodelle basieren auf Archetypen, welche die urbane und ländliche Umwelt, sowie deren Innenbereiche von Gebäuden einbeziehen (Fantke et al. 2016).

## B.7 Humantoxizität, nicht Krebs

Wirkungsindikator: Vergleichbare Toxizitätseinheit für Menschen (Comparative Toxic Unit for human, CTUh) drückt den erwarteten Anstieg der Sterblichkeit in der Gesamtbevölkerung pro Masseinheit einer emittierten Chemikalie aus (Fälle pro Kilogramm).

Das hierfür verwendete Modell ist das USEtox consensus Modell (Multimedia Modell). Keine räumliche Differenzierung nebst Kontinenten und Weltregionen. Spezifische Gruppen von Chemikalien bedürfen weiterer Bearbeitung (Rosenbaum et al. 2008).

## B.8 Humantoxizität, Krebs

Wirkungsindikator: Vergleichbare Toxizitätseinheit für Menschen (Comparative Toxic Unit for human, CTUh) drückt den erwarteten Anstieg der Sterblichkeit in der Gesamtbevölkerung pro Masseinheit einer emittierten Chemikalie aus (Fälle pro Kilogramm Emission).

Das hierfür verwendete Modell ist das USEtox Konsens-Modell (Multimedia Modell). Keine räumliche Differenzierung nebst Kontinenten und Weltregionen. Spezifische Gruppen von Chemikalien bedürfen weiterer Bearbeitung (Rosenbaum et al. 2008).

## B.9 Versauerung

Diese Wirkungskategorie beschreibt mögliche Auswirkungen auf Boden und Süßwasser, die durch den Eintrag bestimmter Schadstoffe aus der Luft sauer werden. Wenn Säuren freigesetzt werden, sinkt der pH-Wert und der Säuregehalt steigt, was zum Beispiel zu einem weit verbreiteten Rückgang von Nadelwäldern und toten Fischen in Seen in Skandinavien führen kann.

Wirkungsindikator: Kumulative Überschreitungen. Charakterisiert die Veränderung der kritischen Belastungsüberschreitung in empfindlichen Bereichen von terrestrischen und Frischwasser Ökosystemen, in welchen sich versauernde Substanzen ablagern (Posch et al. 2008; Seppälä et al. 2006).

## B.10 Eutrophierung bzw. Überdüngung

Ökosysteme werden durch Stoffe beeinflusst, die Stickstoff oder Phosphor enthalten (z.B. Gülle, Dünger). Die Folgen der Nährstoffanreicherung sind eine erhöhte Biomasseproduktion (organische Substanz) und eine verminderte Biodiversität, die sich aus dem vermehrten Wachstum der relativ wenigen Arten ergibt, die in der Lage sind, die erhöhte Menge an Nährstoffen zu nutzen. Beispiele sind Algenblüte in aquatischen Ökosystemen auf Kosten derjenigen Arten, die in einer nährstoffarmen Umgebung gedeihen. Ein beträchtliches Algenwachstum führt zum Verschwinden höherer Pflanzen, und der Abbau abgestorbener Algen führt zu einem Sauerstoffmangel, der die Menge der sauerstoffintensiveren Wassertiere (z.B. Speisefische) beeinträchtigen kann (Posch et al. 2008; Seppälä et al. 2006; Struijs et al. 2009).<sup>32</sup>

### B.10.1 Süßwasser

Wirkungsindikator: Phosphoräquivalente: Drückt aus, zu welchem Grad die emittierten Nährstoffe in Kompartiment Frischwasser gelangen (Phosphor wird als limitierender Faktor im Frischwasser betrachtet). Gültig für Europa. Durchschnittliche Charakterisierungsfaktoren von länderabhängigen Charakterisierungsfaktoren (Struijs et al. 2009).

### B.10.2 Meer

Wirkungsindikator: Stickstoffäquivalentes: Drückt aus, zu welchem Grad die emittierten Nährstoffe ins Meer gelangen. Stickstoff wird als limitierender Faktor im Meer betrachtet (Struijs et al. 2009).

### B.10.3 Terrestrisch

Wirkungsindikator: Kumulative Überschreitungen. Charakterisiert die Veränderung der kritischen Belastungsüberschreitung in empfindlichen Bereichen von terrestrischen Ökosystemen, in welchen sich eutrophierende Substanzen ablagern (Posch et al. 2008; Seppälä et al. 2006).

---

<sup>32</sup> [http://qpc.adm.slu.se/7\\_LCA/page\\_09.htm](http://qpc.adm.slu.se/7_LCA/page_09.htm)

## B.11 Ökotoxizität, Süßwasser

Wirkungsindikator: Vergleichbare Toxizitätseinheit für Ökosysteme (Comparative Toxic Unit for ecosystems, CTUe) drücken eine Abschätzung der potenziell betroffenen Fraktionen von Spezies (potentially affected fraction of species, PAF) integriert über Zeit und Volumen pro Masseinheit einer emittierten Chemikalie aus (PAF m<sup>3</sup> year/kg).

Das hierfür verwendete Modell ist das USEtox Konsens-Modell (Multimedia Modell). Keine räumliche Differenzierung nebst Kontinenten und Weltregionen. Spezifische Gruppen von Chemikalien bedürfen weiterer Bearbeitung (Rosenbaum et al. 2008).

## B.12 Landnutzung

Wirkungsindikator: Bodenqualitätsindex

Charakterisierungsfaktor-Sets wurden von der Gemeinsamen Forschungsstelle der Europäischen Kommission vom LANCA® v 2.2 als Basismodell ausgehend neu berechnet. Von ursprünglich 5 Indikatoren wurden nur 4 in die Aggregation übernommen. Die mechanisch-chemische Filtration wurde aufgrund der hohen Korrelation mit mechanischer Filtration ausgeschlossen (Horn et al. 2018).

## B.13 Wassernutzung

Wirkungsindikator: m<sup>3</sup> dem Einzugsgebiet entzogene Wasseräquivalente.

Mit der Methode AWARE (Relative Available Water Remaining) wird die zur natürlichen Nutzung verbleibende Wassermenge für verschiedene Einzugsgebiete abgeschätzt, nachdem der Bedarf von Menschen und aquatischen Ökosystemen gedeckt ist (Boulay et al. 2018). Für die Verwendung mit Ökobilanzdaten werden u.a. in SimaPro und damit auch für diese Studie auf nationaler Ebene gemittelte Faktoren verwendet, die die zugrundeliegenden Hintergrunddaten nicht eine Differenzierung auf Ebene von Wassereinzugsgebieten erlauben.

## B.14 Ressourcennutzung, fossil

Wirkungsindikator: Abiotische Ressourcenaufzehrung von fossilen Energieträgern (ADP fossil); basiert auf unteren Heizwerten.

ADP für Energieträger, basierend auf van Oers et al. 2002 wie umgesetzt in CML, v. 4.8 (2016). Modell für die Entnahme basiert auf use-to-availability Verhältnis. Komplette Substitution unter verschiedenen Energieträgern ist angenommen (van Oers et al. 2002).

## B.15 Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle

Wirkungsindikator: Abiotische Ressourcennutzung von Mineralien und Metallen (ADP ultimate reserve).

ADP für Mineralien und Metalle, basierend auf van Oers et al. 2002 wie umgesetzt in CML, v. 4.8 (2016). Nutzungs-Modell basiert auf use-to-availability Verhältnis. Komplette Substitution unter verschiedenen Mineralien ist angenommen (van Oers et al. 2002).

## B.16 Langzeitemissionen

Die Belastungen durch Langzeitemissionen werden von ESU in der Regel nicht berücksichtigt. Eine erste Auswertung mit Langzeitemissionen zeigte hohe Langzeitemissionen in der Wirkungskategorie Eutrophierung, Frischwasser durch Phosphate aus Abraumhalden der Kohleförderung. Es ist davon auszugehen, dass hier eine hohe Unsicherheit in der Hintergrunddatenbank vorliegt, welcher im

Rahmen einzelner Studien nicht korrigiert werden kann. Auch andere Aspekte sprechen aus unserer Sicht dagegen den Langzeitemissionen ein hohes Gewicht in der Ökobilanz-Bewertung zuzusprechen (vgl. hierzu die ausführliche Diskussion in Frischknecht et al. 2007b).

## B.17 Normierung und Gewichtung

Die Normierung<sup>33</sup> und Gewichtung<sup>34</sup> für die EF-Methode wird in Tab. 6.2 gezeigt. Sie basiert auf folgenden Quellen:

- Normierungs- und Gewichtungssets: Annex 2 der Product Environmental Footprint Category Rules Guidance.<sup>35</sup>
- Normierung: Weltbevölkerung zur Berechnung des NF pro Person: 6'895'889'018 Personen.<sup>36</sup>
- Gewichtung gemäss (Sala et al. 2018).

Tab. 6.2 Normierung und Gewichtung für die EF-Methode in SimaPro

Wirkungskategorien	Normalization	Weighting
Klimawandel	0.0001235	21.1%
Ozonabbau	18.64	6.3%
Ionisierende Strahlung	0.000237	5.0%
Photochemische Ozonbildung	0.02463	4.8%
Feinstaub	1680	9.0%
Humantoxizität, nicht Krebs	4354	1.8%
Humantoxizität, Krebs	59173	2.1%
Versauerung	0.018	6.2%
Eutrophierung, Süßwasser	0.6223	2.8%
Eutrophierung, Meer	0.05116	3.0%
Eutrophierung, terrestrisch	0.005658	3.7%
Ökotoxizität, Süßwasser	0.00002343	1.9%
Landnutzung	0.00000122	7.9%
Wassernutzung	0.00008719	8.5%
Ressourcennutzung, fossil	0.00001538	8.3%
Ressourcennutzung, Mineralien und Metalle	15.71	7.6%

## B.18 Referenzwerte und Beispiele

Die aktuellen konsumbedingten Umweltbelastungen pro Person und Jahr liegen in der Schweiz bei etwa 1.5 EF-Punkten. Tab. 6.3 zeigt weitere typische Referenzwerte für das EF-Punktesystem.

<sup>33</sup> Berechnung der Größenordnung der Wirkungsindikatorwerte in Bezug auf die Referenzinformationen

<sup>34</sup> Umwandlung und eventuelle Zusammenfassung der Indikatorwerte über Wirkungskategorien hinweg zu einer Kenngröße für Umweltbelastungen auf Grundlage einer Gewichtung der Relevanz verschiedener Indikatoren.

<sup>35</sup> [https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR\\_guidance\\_v6.3.pdf](https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf)

<sup>36</sup> United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2011). World Population Prospects: The 2010 Revision, DVD Edition – Extended Dataset (United Nations publication, Sales No. E.11.XIII.7)

Tab. 6.3 Referenzwerte für Produkte und Dienstleistungen, die einen Mikro-EF Punkt verursachen

<b>EF3.0</b>	<b>Ein Mikro-Punkt (Millionstel Punkt) entspricht</b>
<b>20.1</b>	Liter Wasser ab Leitung in der Schweiz
<b>0.0008</b>	Zentimeter Strasse, für ein Jahr genutzt
<b>0.0384</b>	Kilogramm fossiles CO <sub>2</sub> , direkt emittiert
<b>0.0010</b>	Kilogramm fossiles Methan, direkt emittiert
<b>0.00004</b>	Gramm Kupfereintrag in landwirtschaftlich genutztem Boden
<b>0.0089</b>	Liter Rohöl gefördert, mit Transport bis zur Raffinerie
<b>0.0001</b>	Gramm Pestizidanwendung in der Landwirtschaft
<b>0.024%</b>	des privaten Tageskonsums einer Person in der Schweiz, 2018
<b>0.023%</b>	des Tageskonsums einer Person in der Schweiz
<b>0.0959</b>	km Transport einer Person per Flugzeug
<b>0.0591</b>	km Transport einer Person per Auto (Auslastung 1.6 Personen)
<b>1.3684</b>	km Transport einer Person per Fahrrad
<b>0.0009</b>	eines vegetarischen Menüs mit 4 Gängen
<b>0.0007</b>	eines fleischhaltigen Menüs mit 3 Gängen
<b>0.0013</b>	des täglichen Nahrungsmittelkonsums einer Person in der Schweiz, 2018
<b>0.0022</b>	Plastiktragtaschen (Produktion, Vertrieb und Entsorgung)
<b>0.0002</b>	T-Shirts aus Baumwolle
<b>0.00001</b>	der Produktion eines Laptops
<b>0.3%</b>	des täglichen Konsums für Hobbies/Freizeitaktivitäten in der Schweiz, 2018
<b>0.6%</b>	des täglichen Konsums für Möbeln und Haushaltsgeräten in der Schweiz, 2018

## C. Anhang Bewertungsmethode Klimaänderungspotential (2021)

Der Klimawandel ist ein globales Problem. Er führt zu verschiedenen direkten und indirekten Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, die vom Menschen geschaffenen Infrastrukturen und Umweltschäden, wie z.B.:

- Wärmere oder kältere Temperaturen an bestimmten Orten und zu bestimmten Zeiten.
- Veränderungen der Menge, der jährlichen Verteilung und des Ausmaßes der Niederschläge und Schneefälle
- Änderungen in der Größe der Windgeschwindigkeiten
- Gletscherschmelze, die zum Verschwinden von Permafrostgebieten, höheren Meeresspiegel und Veränderungen im Salzgehalt der Ozeane führen.
- Versauerung der Ozeane durch höhere Kohlensäurekonzentration
- Veränderungen lokaler oder globaler Klimaphänomene wie Golfstrom, Monsunzeit etc.

Es gibt keine wirtschaftliche, technische Lösung, um diese Schäden rückgängig zu machen. Die Emissionen führen zu dauerhaften Veränderungen im Klimasystem der Erde. Bei der Überschreitung von sogenannten Kippunkten (z.B. Abschmelzen polarer Gletscher, Klimaänderung im Regenwald, Veränderung globaler Meeresströmungen, etc.) führt dies zu einer selbstverstärkenden Rückkopplung. Da eine Lösung für dieses Problem noch nicht in Sicht ist, wird es von vielen Forschern als derzeitig drängendstes globale Umweltproblem angesehen.

Für diejenigen Substanzen, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen, wird das „global warming potential“ (GWP) nach IPCC als Wirkungsparameter beigezogen (IPCC 2021). 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 CO<sub>2</sub> bestimmt. Somit können atmosphärische Emissionen in äquivalente Emissionsmengen CO<sub>2</sub> umgerechnet werden.

Wird nichts Genaueres angegeben, so wird häufig von einem Zeithorizont von 100 Jahren ausgegangen. Der kürzere Integrationszeitraum von 20 Jahren ist relevant, da dieser die Temperaturveränderungsrate maßgeblich bestimmt, welche wiederum die erforderliche Adaptionfähigkeit für terrestrische Ökosysteme 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).

Für den Indikator Klimaänderungspotenzial werden in der öffentlichen Diskussion eine Vielzahl zu meist synonyme Begriffe verwendet, z.B. Treibhausgasemissionen, Carbon Footprint, Klimabilanz, Klimawandel, Klimabelastung, Klimafußabdruck, CO<sub>2</sub>-Fussabdruck, CO<sub>2</sub>-Bilanz, etc. Diese Begriffe sind nicht klar definiert. Relevant für die Unterscheidung ist dabei nicht der Begriff an sich, sondern die verwendete Version der IPCC-Charakterisierungsfaktoren, der Zeithorizont, die berücksichtigten Klimagase<sup>37</sup> und der Einbezug von zusätzlichen Effekten durch den Luftverkehr.

Die aktuelle Version der Charakterisierungsfaktoren wurde 2021 veröffentlicht (IPCC 2021).

---

<sup>37</sup> Einige weniger Autoren rechnen auch heute noch nur mit den Kohlendioxid Emissionen ohne Berücksichtigung weiterer Klimagase.

In unseren Studien weisen wir ab 2022 in der Regel nicht nur das GWP 100a aus, sondern zeigen wo relevant auch die Auswirkungen im Zeitraum von 20 Jahren. Diese werden in Anbetracht des Näherrückens von Kippunkten und im Hinblick auf kurzfristige Klimaneutralität immer wichtiger.

In der Regel berücksichtigen wir in unseren Studie auch den zusätzlichen Effekt durch die Emissionen von Flugzeugen mit dem sogenannten RFI Faktor (Jungbluth & Meili 2019). Dabei verwenden wir einen RFI von 1.7 bzw. 4 für das GWP bei 100a bzw. 20a (Lee et al. 2021).

Die aktuellen Emissionen pro Person und Jahr liegen in der Schweiz bei knapp 14 Tonnen CO<sub>2</sub>-eq. Tab. 6.4 zeigt weitere typische Referenzwerte für diesen Indikator, dabei wurde mit der Methode IPCC mit den RFI-Faktoren gerechnet.

Tab. 6.4 Referenzwerte für Produkte und Dienstleistungen, die 1 kg CO<sub>2</sub>-eq verursachen

GWP 20a	GWP 100a	1 kg CO <sub>2</sub> -eq entspricht...
3'131.2	3'594.7	Liter Wasser ab Leitung in der Schweiz
6.5	8.7	Zentimeter Strasse, für ein Jahr genutzt
1.0	1.0	Kilogramm fossiles CO <sub>2</sub> , direkt emittiert
0.012	0.034	Kilogramm fossiles Methan, direkt emittiert
0.93	1.76	Liter Rohöl gefördert, mit Transport bis zur Raffinerie
2.9%	3.4%	des privaten Tageskonsums einer Person in der Schweiz, 2018
2.8%	3.3%	des Tageskonsums einer Person in der Schweiz
1.9	4.2	km Transport einer Person per Flugzeug
4.2	5.1	km Transport einer Person per Auto (Auslastung 1.6 Personen)
104.9	124.6	km Transport einer Person per Fahrrad
8.2%	10.2%	eines vegetarischen Menüs mit 4 Gängen
4.2%	6.5%	eines fleischhaltigen Menüs mit 3 Gängen
11.9%	18.6%	des täglichen Nahrungsmittelkonsums einer Person in der Schweiz, 2018
26.8	26.8	Plastiktragtaschen (Produktion, Vertrieb und Entsorgung)
0.109	0.109	T-Shirts aus Baumwolle
0.47%	0.47%	der Produktion eines Laptops
40%	53%	des täglichen Konsums für Hobbies/Freizeitaktivitäten in der Schweiz, 2018
77%	97%	des täglichen Konsums für Möbeln und Haushaltsgeräten in der Schweiz, 2018

# D. Umweltbelastungen gemäß Methode der ökologischen Knappheit

## D.1 Gewichtung Deutschland 2013

Im Folgenden werden einige Ergebnisse für die Bewertung der Umweltbelastungen gemäß der Methode der ökologischen Knappheit mit Gewichtungssatz für Deutschland, 2013, gezeigt.

### D.1.1 Trinkwasserbereitstellung

Tab. 6.5 Umweltbelastungspunkte gemäß der Methode der ökologischen Knappheit mit Gewichtungssatz für Deutschland, 2013, in UBP pro Liter Wasser, für die durchschnittliche Trinkwasserversorgung in Deutschland bzw. für die ausgewählten Versorger, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Spalte

	MoeK13-Einzelergebnis	Luft, IPCC GWP 100a	Luft, NMVOC	Luft, Versauerung	Luft, menschliche Gesundheit	Wasser, Eutrophierung	Wasser, Schwermetalle	Wasser, PAK	Ressourcen, Energie	Ressourcen, Wassernutzung	Abfall
Trinkwasser, Deutscher Durchschnitt, Endversorger	1.0E-1	8.3E-3	3.9E-4	2.0E-3	4.0E-3	4.5E-4	3.9E-2	1.9E-2	4.2E-3	2.6E-2	9.0E-5
Trinkwasser, Seewasser, Flachland, Vorversorgung	8.3E-2	9.3E-3	3.8E-4	2.1E-3	3.8E-3	1.5E-4	2.3E-2	1.5E-2	5.7E-3	2.3E-2	5.0E-6
Trinkwasser, Angereichertes Grundwasser, Kleinstadt, Endversorger	7.3E-2	5.5E-3	3.2E-4	1.5E-3	2.4E-3	6.8E-4	1.3E-2	2.3E-2	3.6E-3	2.3E-2	3.7E-4
Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Endversorger	7.7E-2	8.6E-3	3.7E-4	2.1E-3	3.7E-3	2.1E-4	2.0E-2	1.4E-2	5.2E-3	2.3E-2	4.3E-5
Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Vor- und Endversorger	8.3E-2	7.4E-3	3.8E-4	1.8E-3	3.6E-3	2.1E-4	2.3E-2	2.0E-2	4.4E-3	2.3E-2	1.3E-5
Trinkwasser, Grundwasser, städtisch, Endversorger	4.8E-2	3.6E-3	1.9E-4	7.6E-4	1.6E-3	8.5E-5	5.7E-3	1.1E-2	2.1E-3	2.3E-2	3.6E-6
Trinkwasser, See- und Stauseewasser, ländlich, Vorversorger	6.6E-2	1.5E-2	2.2E-4	8.1E-4	1.5E-3	1.1E-4	9.2E-3	1.5E-2	1.5E-3	2.3E-2	1.1E-6
Trinkwasser, Grundwasser, mittelgroße Stadt, Endversorger	9.2E-2	4.2E-3	3.4E-4	1.3E-3	2.7E-3	3.3E-4	3.3E-2	2.4E-2	2.6E-3	2.4E-2	7.7E-6
Trinkwasser, Uferfiltrat, Großstadt, Endversorger	7.3E-2	5.0E-3	2.7E-4	1.3E-3	2.7E-3	2.2E-4	2.3E-2	1.3E-2	2.9E-3	2.4E-2	2.5E-6

### D.1.2 Trink- und Mineralwasser im Haushalt

Tab. 6.6 Umweltbelastungspunkte gemäß der Methode der ökologischen Knappheit mit Gewichtungssatz für Deutschland, 2013, in UBP pro Liter Wasser, für die Bereitstellung von stillem und kohlendioxidhaltigem, gekühltem und ungekühltem Mineral- und Trinkwasser zu Hause, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Spalte

	Moek13-Einzelergebnis	Luft, IPCC GWP 100a	Luft, NMVOC	Luft, Versauerung	Luft, menschliche Gesundheit	Wasser, Eutrophierung	Wasser, Schwermetalle	Wasser, PAK	Ressourcen, Energie	Ressourcen, Wassernutzung	Abfall
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	1.8E+2	8.8E+0	1.7E+0	3.0E+0	5.8E+0	1.7E+0	3.3E+1	1.3E+2	4.7E+0	1.2E-1	1.2E-2
Mineralwasser, still, gekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	1.8E+2	8.4E+0	1.4E+0	3.0E+0	5.8E+0	1.7E+0	3.3E+1	1.2E+2	4.6E+0	1.2E-1	1.2E-2
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	1.8E+2	8.5E+0	1.7E+0	2.8E+0	5.6E+0	1.7E+0	3.3E+1	1.2E+2	4.5E+0	1.2E-1	1.1E-2
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	1.8E+2	8.1E+0	1.4E+0	2.8E+0	5.6E+0	1.7E+0	3.2E+1	1.2E+2	4.4E+0	1.2E-1	1.1E-2
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	1.7E+2	7.2E+0	1.3E+0	2.4E+0	4.3E+0	1.9E+0	2.4E+1	1.2E+2	4.1E+0	9.6E-2	7.8E-3
Mineralwasser, still, gekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	1.6E+2	6.7E+0	1.0E+0	2.4E+0	4.2E+0	1.9E+0	2.4E+1	1.2E+2	4.0E+0	9.5E-2	7.8E-3
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	1.6E+2	6.9E+0	1.2E+0	2.2E+0	4.1E+0	1.9E+0	2.3E+1	1.2E+2	3.9E+0	9.4E-2	7.6E-3
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	1.6E+2	6.5E+0	9.8E-1	2.2E+0	4.0E+0	1.9E+0	2.3E+1	1.2E+2	3.9E+0	9.3E-2	7.7E-3
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	1.2E+2	6.1E+0	1.2E+0	2.1E+0	3.8E+0	1.6E+0	2.1E+1	8.5E+1	3.4E+0	9.2E-2	7.0E-3
Mineralwasser, still, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	1.1E+2	5.4E+0	8.7E-1	1.8E+0	3.4E+0	1.4E+0	2.1E+1	7.6E+1	3.1E+0	9.0E-2	6.5E-3
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	1.1E+2	6.0E+0	1.1E+0	1.9E+0	3.6E+0	1.4E+0	2.1E+1	7.7E+1	3.2E+0	9.2E-2	6.5E-3
Mineralwasser, still, gekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	1.2E+2	5.7E+0	8.9E-1	2.0E+0	3.8E+0	1.5E+0	2.1E+1	8.2E+1	3.2E+0	9.1E-2	6.8E-3
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	1.2E+2	5.8E+0	1.1E+0	1.9E+0	3.7E+0	1.5E+0	2.1E+1	8.4E+1	3.2E+0	9.1E-2	6.8E-3
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	1.1E+2	5.8E+0	1.1E+0	1.7E+0	3.4E+0	1.4E+0	2.0E+1	7.6E+1	3.0E+0	9.1E-2	6.3E-3
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	1.2E+2	5.4E+0	8.7E-1	1.8E+0	3.6E+0	1.5E+0	2.0E+1	8.1E+1	3.1E+0	8.9E-2	6.6E-3
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	1.1E+2	5.4E+0	8.5E-1	1.7E+0	3.3E+0	1.4E+0	2.0E+1	7.6E+1	2.9E+0	8.9E-2	6.3E-3
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1.5 Liter, PET, Einweg, zu Hause, Best-Case	2.2E+1	1.5E+0	1.3E-1	3.1E-1	6.0E-1	8.5E-1	2.6E+0	1.5E+1	7.8E-1	5.6E-2	6.2E-4
Trinkwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, zu Hause	1.1E+1	1.0E+0	2.8E-1	4.4E-1	5.2E-1	2.3E-1	3.1E+0	5.1E+0	5.4E-1	5.7E-2	1.7E-3
Trinkwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, zu Hause	1.1E+1	1.0E+0	2.8E-1	4.4E-1	5.2E-1	2.3E-1	3.1E+0	5.1E+0	5.4E-1	5.7E-2	1.7E-3
Trinkwasser, still, gekühlt, zu Hause	4.4E+0	3.7E-1	4.1E-2	2.1E-1	2.2E-1	1.4E-1	1.1E+0	2.0E+0	2.3E-1	5.4E-2	3.8E-4
Trinkwasser, still, ungekühlt, zu Hause	2.2E-1	1.9E-2	1.2E-3	7.7E-3	1.8E-2	1.7E-3	7.8E-2	4.4E-2	9.1E-3	3.8E-2	1.4E-4

### D.2 Gewichtung Schweiz 2021

Im Folgenden werden einige Ergebnisse für die Bewertung der Umweltbelastungen gemäß der Methode der ökologischen Knappheit mit Gewichtungssatz für die Schweiz, 2021, gezeigt.

## D.2.1 Trinkwasserbereitstellung

Tab. 6.7 Umweltbelastungspunkte gemäß der Methode der ökologischen Knappheit mit Gewichtungssatz für die Schweiz, 2021, in UBP pro Liter Wasser, für die durchschnittliche Trinkwasserversorgung in Deutschland bzw. für die ausgewählten Versorger, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Spalte

	MoeK21-Total	Süßwasserverbrauch	Energie-Ressourcen	mineralische Primärressourcen (Mineralien und Metalle)	Landnutzung	Klimawandel	Ozonschichtabbau	Hauptschadstoffe und Partikel	Krebsregende Stoffe in Luft	Schwermetalle in Luft	Wasserschadstoffe	POP ins Wasser	Schwermetalle ins Wasser	Pestizide in den Boden	Schwermetalle in den Boden	Radioaktive Emissionen in die Luft	Radioaktive Substanzen ins Wasser	Lärm	Nicht radioaktive Abfälle in Deponie	Radioaktive Abfälle in Endlager	Marine Fischressourcen
Trinkwasser, Deutscher Durchschnitt, Endversorger	1.2E+0	3.1E-2	6.4E-2	5.0E-2	3.4E-3	1.5E-8	7.4E-4	4.9E-2	1.7E-2	8.7E-2	4.5E-3	1.9E-3	2.9E-2	5.4E-4	2.5E-2	3.9E-7	2.5E-3	6.1E-3	2.0E-1	5.7E-2	0
Trinkwasser, Seewasser, Flachland, Vorversorgung	1.1E+0	3.2E-2	8.5E-2	5.3E-2	3.2E-3	1.7E-8	4.8E-4	4.8E-2	2.2E-2	3.6E-2	2.6E-3	9.8E-4	1.5E-2	5.2E-4	4.3E-2	6.0E-7	3.9E-3	5.3E-3	8.7E-3	9.1E-2	0
Trinkwasser, Angereichertes Grundwasser, Kleinstadt, Endversorger	1.5E+0	3.1E-2	5.5E-2	5.3E-2	2.4E-3	1.0E-8	9.8E-4	3.1E-2	1.0E-2	1.6E-2	6.9E-3	4.7E-3	3.1E-3	5.0E-4	2.0E-2	3.2E-7	1.9E-3	5.2E-3	8.2E-1	4.4E-2	0
Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Endversorger	1.1E+0	3.2E-2	7.7E-2	5.2E-2	3.2E-3	1.5E-8	1.5E-3	4.6E-2	2.0E-2	4.7E-2	2.8E-3	9.8E-4	1.3E-2	4.7E-4	3.7E-2	5.3E-7	3.5E-3	4.9E-3	9.4E-2	8.0E-2	0
Trinkwasser, Grundwasser, ländlich, Vor- und Endversorger	9.2E-1	3.1E-2	6.6E-2	5.2E-2	2.9E-3	1.3E-8	1.5E-3	4.4E-2	1.7E-2	5.6E-2	3.0E-3	1.3E-3	1.6E-2	4.8E-4	3.0E-2	4.5E-7	2.9E-3	7.4E-3	2.9E-2	6.6E-2	0
Trinkwasser, Grundwasser, städtisch, Endversorger	4.6E-1	3.1E-2	3.2E-2	5.2E-2	1.9E-3	6.5E-9	1.6E-4	2.0E-2	7.2E-3	9.2E-3	1.6E-3	7.8E-4	2.7E-3	3.8E-4	1.5E-2	2.2E-7	1.4E-3	4.7E-3	7.1E-3	3.3E-2	0
Trinkwasser, See- und Stauseewasser, ländlich, Vorversorger	1.2E+0	3.1E-2	2.4E-2	5.2E-2	1.7E-3	2.9E-8	1.9E-4	1.9E-2	4.7E-3	1.2E-2	1.9E-3	1.2E-3	5.7E-3	4.3E-4	9.4E-3	1.6E-7	1.0E-3	4.9E-3	1.8E-3	2.2E-2	0
Trinkwasser, Grundwasser, mittelgroße Stadt, Endversorger	5.8E-1	3.1E-2	3.9E-2	2.4E-2	2.1E-3	7.5E-9	2.7E-4	3.3E-2	9.5E-3	6.6E-2	3.9E-3	2.3E-3	2.3E-2	4.2E-4	1.2E-2	2.0E-7	1.3E-3	3.7E-3	1.7E-2	2.8E-2	0
Trinkwasser, Uferfiltrat, Großstadt, Endversorger	6.6E-1	3.1E-2	4.4E-2	5.3E-2	2.6E-3	9.0E-9	2.8E-4	3.3E-2	1.1E-2	5.2E-2	2.5E-3	8.8E-4	2.0E-2	4.6E-4	1.8E-2	2.8E-7	1.8E-3	5.3E-3	4.6E-3	4.0E-2	0

### D.2.2 Trink- und Mineralwasser im Haushalt

Tab. 6.8 Umweltbelastungspunkte gemäß der Methode der ökologischen Knappheit mit Gewichtungssatz für die Schweiz, 2021, in UBP pro Liter Wasser, für die Bereitstellung von stillem und kohlenstoffhaltigem, gekühltem und ungekühltem Mineral- und Trinkwasser zu Hause, Farbskala: grün = niedrige Werte, rot = hohe Werte für die potenziellen Belastungen, je Spalte

	Moek21 -Total	Süßwasserverbrauch	Energie-Ressourcen	mineralische Primärressourcen (Mineralien und Metalle)	Landnutzung	Klimawandel	Ozonschichtabbau	Hauptschadstoffe und Partikel	Krebserregende Stoffe in Luft	Schwermetalle in Luft	Wasserschadstoffe	POP ins Wasser	Schwermetalle ins Wasser	Pestizide in den Boden	Schwermetalle in den Boden	Radioaktive Emissionen in die Luft	Radioaktive Substanzen ins Wasser	Lärm	Nicht radioaktive Abfälle in Deponie	Radioaktive Abfälle in Endlager	Marine Fischressourcen
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0,7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	1.0E+3	1.1E+0	7.4E+1	1.9E+1	1.7E+1	1.6E-5	1.7E+0	8.1E+1	6.1E+0	3.3E+1	2.2E+1	9.9E+0	1.0E+1	9.2E+0	1.3E+1	4.7E-4	2.3E+0	3.7E+1	2.5E+1	4.1E+1	0
Mineralwasser, still, gekühlt, 0,7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	9.7E+2	1.0E+0	7.3E+1	1.9E+1	1.7E+1	1.5E-5	1.7E+0	7.8E+1	6.0E+0	3.3E+1	2.2E+1	9.7E+0	1.0E+1	9.2E+0	1.3E+1	4.6E-4	2.3E+0	3.7E+1	2.5E+1	4.0E+1	0
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0,7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	9.6E+2	1.0E+0	7.1E+1	1.8E+1	1.7E+1	1.5E-5	1.7E+0	7.9E+1	5.8E+0	3.2E+1	2.2E+1	9.9E+0	9.9E+0	9.1E+0	1.2E+1	4.3E-4	2.0E+0	3.7E+1	2.5E+1	3.6E+1	0
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0,7 Liter, Glas, Mehrweg, zu Hause	9.3E+2	9.9E-1	7.0E+1	1.8E+1	1.7E+1	1.5E-5	1.7E+0	7.6E+1	5.6E+0	3.1E+1	2.2E+1	9.6E+0	9.9E+0	9.1E+0	1.2E+1	4.2E-4	2.0E+0	3.7E+1	2.5E+1	3.5E+1	0
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 0,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	8.0E+2	8.9E-1	6.5E+1	1.2E+1	1.1E+1	1.3E-5	1.0E+0	6.0E+1	4.6E+0	2.4E+1	2.2E+1	1.2E+1	6.5E+0	7.2E+0	1.0E+1	2.8E-4	1.9E+0	2.3E+1	1.7E+1	3.3E+1	0
Mineralwasser, still, gekühlt, 0,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	7.6E+2	8.5E-1	6.4E+1	1.2E+1	1.1E+1	1.2E-5	1.0E+0	5.8E+1	4.4E+0	2.4E+1	2.2E+1	1.1E+1	6.5E+0	7.6E+0	9.8E+0	2.8E-4	1.8E+0	2.3E+1	1.7E+1	3.2E+1	0
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 0,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	7.7E+2	8.3E-1	6.2E+1	1.2E+1	1.1E+1	1.3E-5	1.0E+0	5.8E+1	4.2E+0	2.3E+1	2.2E+1	1.2E+1	6.2E+0	7.2E+0	9.0E+0	2.4E-4	1.6E+0	2.3E+1	1.6E+1	2.8E+1	0
Mineralwasser, still, ungekühlt, 0,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	7.3E+2	8.0E-1	6.1E+1	1.2E+1	1.1E+1	1.2E-5	1.0E+0	5.5E+1	4.1E+0	2.2E+1	2.2E+1	1.1E+1	6.1E+0	7.6E+0	8.8E+0	2.4E-4	1.5E+0	2.3E+1	1.7E+1	2.8E+1	0
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	6.9E+2	8.0E-1	5.4E+1	1.2E+1	1.0E+1	1.1E-5	9.7E-1	5.4E+1	4.2E+0	2.2E+1	1.7E+1	8.2E+0	6.0E+0	5.8E+0	9.3E+0	2.5E-4	1.7E+0	2.2E+1	1.5E+1	3.0E+1	0
Mineralwasser, still, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	6.2E+2	6.1E-1	4.9E+1	1.1E+1	1.0E+1	9.8E-6	1.0E+0	4.7E+1	3.3E+0	2.0E+1	1.6E+1	7.0E+0	5.7E+0	5.3E+0	8.3E+0	2.8E-4	1.6E+0	2.1E+1	1.4E+1	3.0E+1	0
Mineralwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	6.7E+2	7.4E-1	5.0E+1	1.1E+1	1.0E+1	1.1E-5	9.9E-1	5.1E+1	4.0E+0	2.1E+1	1.6E+1	7.3E+0	5.8E+0	5.3E+0	8.6E+0	2.3E-4	1.5E+0	2.1E+1	1.4E+1	2.8E+1	0
Mineralwasser, still, gekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	6.5E+2	7.6E-1	5.1E+1	1.2E+1	1.0E+1	1.0E-5	9.6E-1	5.1E+1	4.0E+0	2.2E+1	1.7E+1	7.6E+0	5.9E+0	6.0E+0	9.1E+0	2.4E-4	1.6E+0	2.3E+1	1.5E+1	2.8E+1	0
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	6.6E+2	7.5E-1	5.1E+1	1.1E+1	1.0E+1	1.1E-5	9.5E-1	5.2E+1	3.9E+0	2.0E+1	1.7E+1	8.2E+0	5.7E+0	5.7E+0	8.3E+0	2.1E-4	1.4E+0	2.2E+1	1.5E+1	2.5E+1	0
Mineralwasser, mit Kohlensäure, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	6.3E+2	6.9E-1	4.7E+1	1.1E+1	1.0E+1	1.0E-5	9.8E-1	4.8E+1	3.7E+0	1.9E+1	1.6E+1	7.2E+0	5.4E+0	5.3E+0	7.5E+0	1.9E-4	1.3E+0	2.1E+1	1.4E+1	2.3E+1	0
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause	6.2E+2	7.1E-1	4.9E+1	1.1E+1	1.0E+1	9.8E-6	9.5E-1	4.8E+1	3.7E+0	2.0E+1	1.7E+1	7.6E+0	5.6E+0	5.9E+0	8.0E+0	2.0E-4	1.3E+0	2.3E+1	1.4E+1	2.4E+1	0
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1 Liter, PET, Mehrweg, zu Hause	6.0E+2	6.5E-1	4.6E+1	1.1E+1	1.0E+1	9.8E-6	9.7E-1	4.5E+1	3.5E+0	1.9E+1	1.6E+1	7.0E+0	5.4E+0	5.3E+0	7.3E+0	1.9E-4	1.2E+0	2.1E+1	1.4E+1	2.2E+1	0
Mineralwasser, still, ungekühlt, 1,5 Liter, PET, Einweg, zu Hause, Best-Case	1.5E+2	3.0E-1	1.2E+1	9.0E-1	1.8E+0	2.7E-6	5.5E-2	8.0E+0	1.2E+0	3.5E+0	5.5E+0	1.5E+0	7.5E-1	1.9E+0	2.5E+0	4.7E-5	3.1E-1	2.1E+0	1.2E+0	6.3E+0	0
Trinkwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, zu Hause	1.1E+2	2.9E-1	8.3E+0	8.3E-1	4.4E-1	1.9E-6	1.3E-1	8.7E+0	9.6E-1	3.2E+0	1.8E+0	6.0E-1	1.5E+0	7.4E-1	2.2E+0	7.8E-5	4.9E-1	6.7E-1	3.7E+0	8.5E+0	0
Trinkwasser, mit Kohlensäure, gekühlt, zu Hause	1.1E+2	2.9E-1	8.3E+0	8.3E-1	4.4E-1	1.9E-6	1.3E-1	8.7E+0	9.6E-1	3.2E+0	1.8E+0	6.0E-1	1.5E+0	7.4E-1	2.2E+0	7.8E-5	4.9E-1	6.7E-1	3.7E+0	8.5E+0	0
Trinkwasser, still, gekühlt, zu Hause	4.3E+1	1.2E-1	3.6E+0	4.8E-1	8.8E-2	6.6E-7	1.6E-2	3.1E+0	4.0E-1	1.9E+0	7.3E-1	1.4E-1	4.2E-1	1.7E-2	1.1E+0	4.2E-5	2.9E-1	9.5E-2	7.4E-1	5.0E+0	0
Trinkwasser, still, ungekühlt, zu Hause	2.6E+0	4.9E-2	1.4E-1	1.0E-1	8.7E-3	3.4E-8	1.3E-3	2.0E-1	3.0E-2	2.1E-1	1.4E-2	4.9E-3	5.4E-2	1.1E-3	4.2E-2	7.6E-7	4.8E-3	1.2E-2	3.2E-1	1.0E-1	0

## **E. Hintergrunddatenbank**

Die ESU Datenbank (ESU-services 2023c) basiert auf dem UVEK-Ökobilanzdatenbestand 2018 (UVEK 2018).

Von ESU-services wurden zusätzliche Hintergrunddaten wie z.B. für die Trinkwasserbereitstellung in einer Reihe von Ländern erhoben und ergänzt (Jungbluth & König 2014). Integriert wurden in diese Datenbank auch aktuelle Daten für Erdölförderung, Erdgasförderung, Ferntransport, Verarbeitung, Distribution und Nutzung von Heizölen (Bussa et al. 2021; Jungbluth et al. 2018b; Jungbluth & Meili 2018; Jungbluth et al. 2018c; Meili et al. 2021a, b). Integriert wurden auch neuere Daten zu Plastik-Rohstoffen (PlasticsEurope 2016).

Insgesamt enthält die Datenbank über 5160 Datensätze (Stand Februar 2022).

Tab. 6.9 Übersicht über Korrekturen, Updates und Erweiterungen für die ESU-Datenbank

Changed: 439	New: 179	Dataset	ESU database UVEK	Error corrected
1		basalt, at mine/RER	OK	Fehler bei Berechnung der Gesamt-PM-Emissionen, Fehler bei Berechnung des Land Use
3		anaerobic digestion plant, biowaste; anaerobic digestion plant, agriculture and anaerobic digestion plant covered, agriculture	OK	Ersterer wurde mit Daten aus der Biogasanlage Wauwil (axpo) ergänzt. Neue Daten für Landverbrauch, Beton und Stahl, restliche Daten sind gleich wie v2.2. Letzterer wurde mit "uncovered" harmonisiert, da davon ausgegangen wird, dass covered = uncovered & Folie. Zum Teil wurden die Werte neu gerechnet, zum Teil wurden die nachgefragten Materialien harmonisiert.
2		Irrigating/US and /CH	OK	Country specific water flows implemented
	18	Photovoltaics, Rockwool, Flexcell, flumroc	OK	Import LC-inventories
	42	Flooring Daten, Klingler, Umweltchemie	OK	Import LC-inventories, 42, viele DS Namen Änderungen
1		Bailing	OK	Added disposal of silage foil
1		Poultry manure, dried, at regional storehouse/CH U	OK	Added Nitrogen as a biotic resource input
57		wood cogen, furnaces	OK	Replace wood ash to landfarming to municipal incineration. Landfarming is not allowed for these plants
1		electricity, wood, at distillery	Deleted	Unit war kg statt kWh
1		Process-specific burdens, municipal waste incineration/CH U	OK	Update Dioxin Emission gemäss Dinkel 2012 auf 0.0006 ug/kg
1		naphtha, APME mix, at refinery/kg/RER	OK	Links replaced with Naphtha, at refinery/kg/RER U
4		Datasets "heat, 10kW and 100kW non-modulating/CH U"	OK	Outdated technology. Links replaced with "light fuel oil, average/CH U"
5		waste management infrastructure	OK	Replacement of 10kW heatings with 100kW
3		at mine, datasets	OK	Replacement of 10kW heatings with 100kW
6	20	tap water	OK	Replaced and deleted the outdated datasets from v2.2 and KBOB 2016 with new LCI by ESU
1		Epichlorohydrin, from hypochlorination of allyl chloride, at plant/RER U	OK	Water consumption reduced by factor 1000
1		iron ore, 46% Fe, at mine/GLO	OK	Particles reduced by factor 10 according to Email by World Steel, project trade for BAFU
1		hard coal, at mine/IN	OK	Uncertainty bug corrected. Lognormal instead of Normal
57	1	agricultural products updated emission factors	OK	Added impacts of peat and land transformation, corrected land use categories
1		Peat, at mine/NORDEL	OK	Update inventory
1		carbon black	OK	Crude oil input updated crude oil, import mix, at long distance transport/kg/RER U
202	9	crude oil and natural gas	OK	Update with LCI datasets for 2019, GLO/DE only for ESU
12	10	rare earth metals update and Ruthenium	OK	Update with 674 Project data with new price allocation and additional by-products
1		electricity mix, DE	OK	Update 2019
1		natural gas mix, DE	OK	Update 2019
7		Natural gas, low pressure/ CH	OK	Input RER instead of CH for all RER datasets. RER DS linked to CH Input
2		tap water, at user CH/RER	OK	link to new nomenclature of data
	1	activated carbon	OK	new dataset
2		solid manure spreading	OK	nitrogen ressource added
1		crude coconut oil PH	OK	electricity mix adapted
	4	electricity PH	OK	imported
	1	operation barge	OK	old data imported
	1	disposal flumroc	OK	imported
	4	electricity, parameterized	OK	imported
1		methanol	OK	gas inputs corrected
	6	oil and gas GLO	OK	added
	6	passenger car /DE	OK	rough assumption with fuel use
35		data biogas project 320	OK	Updated prices for allocation
1		vegetable oil, from waste cooking oil	OK	glyzerine changed also to waste input
16		operation datasets for transport	OK	import old KBOB datasets
1		zinc, primary, at regional storage	OK	zinc emissions to air, 4.4E-5 according to ecoinvent v3.6, ROW
4	12	electricity mixes, renewable RER and DE	OK	Newly modelled
2		biogas, production mix CH/RER	OK	Update of input mix for 2018
1	36	crude coconut oil, at plant/PH	OK	Import of 36 datasets from WFLDB and replace the old dataset with "Coconut oil, at oil mill (WFLDB 3.1)/GLO" also relinking former links. Delete the original dataset.
0		Lithium carbonate, at plant/GLO	OK	input natural gas/JP relinked to GLO dataset, not yet corrected
	1	aluminium chloride	OK	Modelled with v3 data
2	7	different plastic products	OK	Import of PlasticsEurope data as system process with own assumptions on waste disposal. Implementation of emission factor for methane harmonized with new oil and gas data.

## F. Anhang ESU-services GmbH

Dieses Projekt wurde von der ESU-services GmbH in Schaffhausen durchgeführt. Im Folgenden möchten wir uns kurz vorstellen.

### F.1 Unsere Philosophie «fair consulting in sustainability»

Die ESU-services GmbH wurde im Jahre 1998 gegründet. Die Hauptaktivitäten der Firma sind Beratung, Forschung, Review und Ausbildung im Bereich Ökobilanzen. Fairness, Unabhängigkeit und Transparenz sind wesentliche Merkmale unserer Beratungsphilosophie. Wir arbeiten sachbezogen und führen unsere Analysen unvoreingenommen durch. Wir dokumentieren unsere Studien und Arbeiten transparent und nachvollziehbar. Wir bieten eine faire und kompetente Beratung an, die es den Auftraggebern ermöglicht, ihre Umweltpformance zu kontrollieren und kontinuierlich zu verbessern. Zu unseren Kunden zählen verschiedene nationale und internationale Firmen, Verbände und Verwaltungen. Unser Team hat Pionierarbeit geleistet bei der Entwicklung und dem Betrieb webbasierter Ökobilanz-Datenbanken sowie bei der Erforschung von Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln, Biotreibstoffen und Konsummustern.

### F.2 Erfahrenes Projektteam

Für ESU-services arbeiten verschiedene Experten, die alle auf dem Gebiet der ökologischen Bewertung von Lebenszyklen erfahren sind und von einem großen Netzwerk auf den für die Studie erforderlichen Gebieten profitieren. Zu Beginn des Projekts wird eine Person als Projektleiterin oder Projektleiter ernannt. Er oder sie ist der Hauptansprechpartner für den Kunden. Je nach Erfahrung und Verfügbarkeit können weitere Mitarbeiter die Arbeit unterstützen. Die Gesamtaufsicht und Qualitätssicherung für dieses Projekt liegen beim Geschäftsführer und Inhaber Dr. Niels Jungbluth.

#### F.2.1 Dr. Niels Jungbluth, Geschäftsführer und Inhaber

Dr. Sc. Techn. ETH Zürich, Dipl.-Ing. TU Berlin

Niels Jungbluth startete seine Forschung zum Thema Ökobilanzen im Jahr 1994. Er hat ein Doktorat in Ökobilanzen am Lehrstuhl Umweltnatur- und Umweltsozialwissenschaften an der ETH Zürich durchgeführt. Seine Dissertation zu den Umweltfolgen des Nahrungsmittelkonsums wurde mit dem Greenhirn Preis 1999/2000 für angewandte Umweltforschung des Öko-Instituts Freiburg ausgezeichnet. In seiner vorhergehenden Diplomarbeit im Studiengang Technischer Umweltschutz an der TU Berlin hat er eine Ökobilanz für Kochbrennstoffe in Indien erstellt.



Niels Jungbluth arbeitet seit dem Jahr 2000 bei ESU-services. Im Jahr 2006 stieg er als Geschäftsführer und Inhaber ein. Seine Hauptarbeitsgebiete sind Ernährung, Biomasse, Energiesysteme, Input-Output-Analysen und Ökologische Lebensstile. Er ist ausserdem für den Datenverkauf von ESU-services verantwortlich. Ein weiterer wichtiger Bereich der Arbeit sind kritische Prüfung, Validierung und Verifizierung von Ökobilanzen gemäss unterschiedlichen Normen und Standards. Niels ist Mitglied des Editorial Board des International Journal of Life Cycle Assessment. Er arbeitet für zahlreiche weitere wissenschaftliche Zeitschriften als Reviewer.

### F.2.2 Christoph Meili, Projektleiter

M.Sc. ETH in Umweltingenieurwissenschaften

Christoph Meili hat Umweltingenieurwissenschaften an der ETH Zürich studiert mit Vertiefung in den Bereichen Ökologisches Systemdesign & Entsorgungstechnik sowie Bodenschutz. In seiner Masterarbeit erstellte er eine Stoffstromanalyse und Ökobilanz für die Hydrothermale Vergasung von Biomasse.

Christoph Meili arbeitet seit 2016 als Projektleiter bei ESU-services. Hier betreut er die regionale SimaPro-Kundschaft in der Schweiz, sowie in Deutschland, Österreich und Liechtenstein. Seit Beginn bei ESU-services erstellte er Ökobilanzen zur Bereitstellung von Energieträgern, zu kommunalen Energiesystemen, zu verschiedenen Elektrogeräten, zu Verpackungsmaterialien, sowie zu Essensrezepten, Trink- und Mineralwasser. Des Weiteren bewertete er die Qualität von Baumwoll-Labels und erarbeitete Kennwertmodelle für Laufwasserkraftwerke, Lebensstil-Analysen, Transport-Wege und die Rohstoffförderung. Er führt Softwareschulungen sowie Einstiegskurse und Vorträge zu diversen Ökobilanzthemen an.

Seit 2012 arbeitet er zudem in einem Teilzeitpensum für den WWF Schweiz. In der Abteilung Markets ist er zuständig für den Footprintrechner, Umwelttipps für den Alltag sowie wissenschaftliche Arbeiten und externe Anfragen zu Konsumthemen.



### F.2.3 Maresa Bussa, Projektleiterin Ökobilanzen

M.Sc. in Energie- und Umweltingenieurwesen

Maresa Bussa studierte Energie- und Umwelttechnik an der École des Mines de Nantes und der Technischen Universität Madrid. In ihrer Masterarbeit analysierte sie Optionen zur Anpassung an den Klimawandel auf dem Koh-Rong-Archipel in Kambodscha.

Von 2017 bis 2020 arbeitete sie an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf als wissenschaftliche Mitarbeiterin. Dabei analysierte sie innerhalb eines EU-Projekt die ökologischen und ökonomischen Aspekte der Nutzung von Cyanobakterien. Seit 2018 ist sie Doktorandin an der Technischen Universität München. Im Rahmen ihrer Promotion führte sie Ökobilanzen zu verschiedenen Mikroalgenkultivierungssystemen und Extraktionsmethoden durch. Maresa Bussa arbeitet seit 2020 für ESU-services. In ihren ersten Projekten untersucht sie Alternativen zur Kuhmilch als Getränk und leitet die Ökobilanzarbeiten im europäischen PROFUTURE Projekt zu Algen.



### F.2.4 Martin Ulrich, Projektleiter

M.Sc. ETH in Umweltingenieurwissenschaften

Martin Ulrich hat Umweltingenieurwissenschaften an der ETH Zürich studiert mit Vertiefung im Bereich Ökologisches Systemdesign zum Thema Ressourcenmanagement. In seiner Masterarbeit evaluierte er das Verhältnis zwischen Konsumentenpreisen und Umweltbelastung von Produkten und Dienstleistungen über das gesamte Konsumspektrum in der Schweiz.

Im Jahr 2020 sammelte Martin seine ersten Erfahrungen bei ESU-services während eines sechs-monatigen Praktikums in der Firma. Zusätzlich arbeitete er als Teamleiter des Velokurierteams der Familie Wiesner Gastronomie. Dort fährt er weiterhin als Velokurier, was er als perfekten sportlichen Ausgleich sieht.



### F.2.5 Samuel Solin, Projektleiter/Mitarbeiter

B.Sc. ZFH in Umweltingenieurwissenschaften

Samuel Solin machte zunächst eine Lehre als Chemielaborant bei der Dottikon ES und arbeitete dort im Abwasserlabor. Anschliessend studierte er Umweltingenieurwissenschaften an der ZHAW Wädenswil mit Vertiefung in natürlichen Ressourcen und erneuerbaren Energien. In seiner Bachelorarbeit führte er eine Machbarkeitsstudie zu einer möglichen Power-to-Gas-Anlage an einer Kläranlage im Kanton Zürich durch.



Von 2017 bis 2022 arbeitete er an der Fachhochschule Nordwestschweiz als wissenschaftlicher Assistent. Im Rahmen dieser Tätigkeit führte er Ökobilanzen für verschiedene Produkte, Dienstleistungen und Firmenbilanzen, wie beispielsweise Speiseinsekten, Schweizer Shrimps und alle Standorte der Fachhochschule Nordwestschweiz, durch. Samuel Solin arbeitet seit 2022 für ESU-services.

## F.3 Ökologische und soziale Verantwortung

Unsere Kunden sind in der Regel an einer umweltfreundlichen Beschaffung interessiert. Auch die hier angebotene Dienstleistung ist mit einer indirekten Umweltbelastung für den Auftraggeber verbunden. Wir zeigen Kennzahlen zur ökologischen Nachhaltigkeit und Informationen zu unserer sozialen Verantwortung in unserem jährlich erscheinenden Umweltbericht<sup>38</sup> (Jungbluth & Rocha 2023; PCR 2012). Die Daten, die für den Umweltbericht von ESU-services GmbH erhoben wurden, ermöglichen es uns, die Umweltbelastungen zur Bearbeitung jedes einzelnen Projektes auszuweisen. Weil Geschäftsreisen eine grosse Bedeutung haben, werden diese bei den durchschnittlichen Belastungen pro Beratungsstunde ausser Acht gelassen und stattdessen spezifisch pro Projekt erfasst. Tab. 6.10 zeigt die Umweltbelastungen eines Beispielprojektes auf. Auf Wunsch erstellen wir für unsere Auftraggeber auch eine Vorabschätzung oder eine kostenlose Endabrechnung der Umweltbelastungen, die durch das Projekt bei uns verursacht werden.

Tab. 6.10 Beispiel für die Umweltauswirkungen eines bei ESU-services durchgeführten Projektes

Umweltbelastung für das Gesamtprojekt	Aufwand	Treibhausgas-emissionen	Umweltbelastungspunkte 2021
		kg CO2-eq	UBP'21
Zeitbudget Beratung	d	12.3	354'674
Bahnreisen, CH	km	100	2'988
Bahnreisen, DE	km	500	42'626
Flugreisen	km	-	-
Hotelübernachtungen	-	2	102'537
<b>Total</b>		<b>213</b>	<b>502'826</b>

© ESU-services 2023

<sup>38</sup> <http://esu-services.ch/de/news/reporting/>

## F.4 Gemeinsame Werte in einem weltweiten Netzwerk

ESU-services arbeitet mit verschiedenen Beratungsfirmen aus dem globalen SimaPro Netzwerk zusammen.<sup>39</sup> So können wir auch internationale Projekte erfolgreich durchführen und Kompetenzen vielen Fachbereichen zusätzlich anbieten. Dieses Netzwerk ermöglicht uns Sachbilanzdaten für Produkte und Dienstleistungen aus aller Welt zu erheben oder darauf zuzugreifen. Damit kann ESU-services auch auf die Bedürfnisse großer Unternehmen eingehen. Wir teilen die folgenden ethischen Werte und Verpflichtungen mit diesem Netzwerk.



Wir vertrauen auf wissenschaftsbasierte Fakten, sind leidenschaftliche Mitarbeiter und helfen bei der Entwicklung nachhaltiger Lösungen. Unsere Werte und Überzeugungen stehen im Mittelpunkt unseres Handelns.

- Wir lieben den Planeten, er ist unser Zuhause.
- Wir arbeiten daran, seine Widerstandsfähigkeit durch nachhaltige Praktiken und verlässliche Kennzahlen zu erhalten.
- Lebenszyklusanalysen bilden den Kern von Nachhaltigkeitsbeurteilungen und sollen für alle zugänglich sein.
- SimaPro und Ökobilanz-basierte Entscheidungen werden in einem dynamischen Ökosystem, das eine Vielfalt von Welten, Systemen und Menschen verbindet, von zentraler Bedeutung sein.
- Innerhalb dieses Systems entwickeln wir gemeinsam mit Kunden, Partnern, Kleinunternehmen, Regierungsstellen, NGOs und anderen Interessengruppen praktikable Lösungen.

Unsere Verpflichtungen:

- Wir verpflichten uns zu Qualität, Genauigkeit und Transparenz.
- Wir verpflichten uns zu den faktenbasierten Ergebnissen. Wir werden keine Faktenverzerrungen vornehmen.
- Wir nutzen unsere Erfahrung und unser Wissen, um unsere Kunden zu informieren und nachhaltige Entwicklungen und Praktiken zu ermöglichen, um gemeinsam bessere Lösungen zu schaffen.
- Wir nutzen jede Gelegenheit, um unsere positive Wirkung zu maximieren.
- Wir begrüßen jeden, der sich für eine nachhaltigen Entwicklung einsetzt und sehen ihn als Partner in diesem Prozess.

## F.5 Mehr als 25 Jahre Erfahrung

Niels Jungbluth startete erste Forschungsarbeiten zum Thema Ökobilanz im Jahre 1994. Die ESU-services GmbH hat seit 1998 mehr als 380 Projekte erfolgreich durchgeführt. Eine vollständige Liste der durch ESU-services durchgeführten Projekte, der Auftraggeber und der Veröffentlichungen finden Sie auf unserer Homepage [www.esu-services.ch/de/projekte/projektliste/](http://www.esu-services.ch/de/projekte/projektliste/). Im Folgenden werden einige im Zusammenhang mit dem hier vorgeschlagenen Auftrag wichtige Referenzen angegeben.

<sup>39</sup> <http://esu-services.ch/de/netzwerk-kunden/partner/>

Jahr	Projekttitel	Auftraggeber und Land
Seit 1996	Vorträge zum Thema Ernährung, Konsum und Umweltbelastungen	Verschiedene
Seit 1995	Ökobilanz-Datenbank für die weltweite Nahrungsmittelproduktion und Konsum	Eigene Entwicklung von ESU-services GmbH
Seit 2001	Thematischer Editor "Ökobilanz von Energiesystemen und Nahrungsmitteln"	The International Journal of LCA, GLO
2023	Ökobilanz von Trinkwasser und Mineralwasser in Deutschland (kritische Prüfung durch Review-Panel)	wgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH
2023	Kennwertmodell für das Ökoprofil der Trinkwasserbereitstellung in Deutschland	wgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, DE
2022	Ökobilanz von Milch- und Käseverpackungen	Sher Consulting, IL
2021-22	Schweizer Ernährungsempfehlungen: Wissenschaftliche Grundlagen aus Umweltsicht	BLV und ESU-services, CH
2021	Ökobilanz von Hanfdrink, Kuhmilch und anderen pflanzlichen Drinks	AlpenPionier AG, CH
2020	Umweltindikatoren für Brauereiprozesse	Versuchs- und Lehranstalt für Brauerei in Berlin (VLB) e.V.
2020	Verifizierung "Ökobilanz Feldschlösschen Bier in verschiedenen Verpackungen" gemäss PEFCR beer	Feldschlösschen
2020	Kritischer Prüfung "Umweltauswirkungen der Aufwertung von Brauereiabfallkorn (BSG) von Futtermitteln zu Lebensmitteln"	Blonk Consultants, NL
2020	Ökobilanz von Kuhmilch und pflanzlichen Drinks	WWF Schweiz
2020, 2017	Neuberechnung der Umweltintensitäten für die Lebensmittelpyramide	SGE - Schweizerische Gesellschaft für Ernährung
2018	Ökobilanz eines Wasserzählers	Sensus GmbH Hannover, DE
2016	Ökobilanz von Milchschaumsystemen	Schaerer AG
2016	Ökopprofil von Einweg-Trinkbechern	SV Group (Schweiz) AG
2016	Ökopprofil von Zürcher Quellwasser in Flaschen	Max Ditting AG
2014	Kritische Prüfung einer Ökobilanz für Kaffeeprodukte	Luigi Lavazza S.p.A., IT
2014	Ökopprofil der Molke Verarbeitung zu Nahrungsmitteln	Berner Fachhochschule BFH, CH
2014	Berechnung eines Handabdrucks für löslichen Kaffee	European Aluminium Foil Association e.V. (EAFA)
2014	Ökobilanz für Trinkwasser, Mineralwasser und andere Getränke	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, SVGW
2013-2016	SUSMILK - Neugestaltung von Molkereien für eine nachhaltige Milchverarbeitung. Ökobilanzen für die Energie- und Wasserversorgung	The European Commission, 7th Framework Programme
2012-2015	SENSE, Ökologische Nachhaltigkeit in der europäischen Nahrungsmittel und Getränke Herstellung. Fallstudien zu Orangensaft, Milchprodukten und Rindfleisch	The European Commission, 7th Framework Programme
2007	Ökobilanz von flexiblen Verpackungen unter Berücksichtigung der darin verpackten Produkte (Kaffee, Butter, Spinat)	Gesamtverband der Aluminiumindustrie e.V., GDA
2004-2005	Ökobilanz Trinkwasser - Mineralwasser	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, SVGW
2002	Bewertung der Nutzung und Verschmutzung von Wasserressourcen mit Fallstudien zu Orangensaft, Baumwolle, Fleisch, Schuhen und Skitourismus	WWF Schweiz

## F.6 Erfolgreiche Medienarbeit zum Thema Ernährung

Eine wichtige Diskussion der letzten Jahre war das Thema "Fake News". Wir engagieren uns, alle Arten von Medien mit zuverlässigen und transparenten Informationen über Umweltaspekte zu versorgen. Viele Medien nehmen unsere Dienste in Anspruch und stützten ihre Artikel teilweise auf Beiträge von ESU-services wie die folgenden Beispiele zeigen.<sup>40</sup>

<sup>40</sup> Eine vollständige Liste der Artikel finden Sie unter <http://esu-services.ch/de/publications/media/>.

Titel und Link	Quelle	Datum	Thema
Getränke in der Ökobilanz: So schneidet Kaffee im Vergleich mit Wein, Bier und Wasser ab	Sonntagszeitung	11.09.2022	
Klare Sache: Wie es um das Leitungswasser bestellt ist	greenpeace magazin	20.11.2020	ESU-Services errechnete im Auftrag des Greenpeace Magazins, wie hoch der Energieeinsatz für Leitungswasser im Vergleich zu Wasser ist, das in Flaschen durch die Republik gekarrt wird
Bodensee-Wasser kommt aus dem Hahn ins Glas	Stimme.de	20.07.2019	So sieht es mit der Ökobilanz aus
Abgase zu Stein, Blasen ins Wasser	WOZ	31.01.2019	Und vor allem: Laut der Schaffhauser Ökobilanzfirma ESU-Services verursacht schon ungekühltes, stilles Mineralwasser eine 450-mal höhere Umweltbelastung als Leitungswasser. Flaschenwasser ist Teil des Problems, nicht Teil der Lösung.
Test Wassersprudler: Das taugen Sodastream & Co. in der Praxis	Ökotest	28.06.2018	Wir haben acht Wassersprudler in der Praxis und auf Schadstoffe prüfen lassen: Ergebnis: Drei Geräte können wir mit "sehr gut" empfehlen, zwei sind "gut". Der Rest zeigt zu viele Mängel im Praxistest.
Mineralwasser	SRF1, Kassensturz Espresso	07.06.2017	Mineralwasser von San Pellegrino war bis vor kurzem in 1,5-Liter-Flaschen erhältlich. Nun gibt es nur noch 1,25-Liter-Flaschen – und der Liter kostet zehn Rappen mehr.
Schon ein kleiner Osterhase braucht einen Eimer Wasser	Der Bund	15.04.2017	Der Weg der Schokolade von der Kakaoanlage bis ins Osternest braucht viele Umweltressourcen. Forscher haben den Aufwand für jeden Schritt berechnet.
Lokales Wasser 37: Zürcher Quellwasser	Blog, bestofswisgastro	26.04.2016	
Trinkwasser ist bis zu 1000 Mal umweltfreundlicher als Mineralwasser	Pressemitteilung SVGW	30.01.2015	Die Studie «Ökobilanz Trinkwasser - Mineralwasser», welche die auf Ökologiefragen spezialisierte Firma ESU-services Uster im Auftrag des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches SVGW ausgearbeitet hat, vergleicht die Umweltbelastungen von Mineralwasser in Flaschen und Behältern mit Trinkwasser aus dem Hahn. Die Ökobilanz zeigt klare Vorteile für das Trinkwasser auf: Bis es beim Konsumenten aus dem Hahn fließt, braucht Trinkwasser bis zu 1'000 Mal weniger Energie als Mineralwasser
Lass das Wasser ruhig laufen	zentralplus	15.01.2015	Das Sparen von Leitungswasser sei nicht effektiv, um die Umwelt zu schonen. Es könne für die Qualität und die Ökobilanz sogar kontraproduktiv sein. Dies zumindest ergibt eine neue Studie, die vom Luzerner Wasserversorger ewl mitfinanziert wurde.
Trinkwasser mit hervorragender Ökobilanz	SVGW	01.12.2014	Trinkwasser ist das mit Abstand umweltfreundlichste Getränk. Das ergab eine neue Ökobilanz, die der Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches SVGW erstellen liess. Sie verglich Trinkwasser mit anderen Getränken und Konsumgütern. Ein weiterer Schluss daraus: Mit Trinkwassersparen kann der Konsument die durch ihn verursachte Umweltbelastung nicht wesentlich reduzieren.
Ratgeber: „Hahnenburger“ vs. Mineralwasser	Umweltnetz Schweiz	30.01.2014	Die Schweiz gilt als Wasserschloss Europas; der Wasserreichtum ist sehr gross. Trinkwasser ist zudem das meistgeprüfte und am besten kontrollierte Lebensmittel im Land. Trotzdem werden pro Jahr fast 900 Mio. Liter Mineralwasser aus Flaschen konsumiert, mehr als ein Drittel davon stammt aus dem Ausland.
Ökobilanz von Mineralwasser vs. PET-Flaschen vs. Leitungswasser	3SAT	07.09.2011	
Leitungswasser	Galileo, ProSieben	10.05.2011	Wir haben bei Galileo schon zweimal versucht die Welt zu retten, diesmal versuchen wir es mit etwas, das jeder Mensch täglich braucht: Wasser. Zu der weltweit einzigartigen Vielfalt an Mineralwässern in Deutschland gibt es eine Alternative: Leitungswasser. Ist diese wirklich umweltfreundlicher? Wir erklären zunächst kurz den Unterschied zwischen Mineral- und Leitungswasser. Danach testen wir, wie ein ausländisches Wasser und ein regionales Wasser in der Ökobilanz gegenüber normalem und gesprudeltem Leitungswasser abschneiden.
Wasser aus Grönland - muss das sein?	Beobachter	23.11.2010	Seit kurzem ist an Valora-Kiosken und in Avec-Shops das Was-ser «938» zu kaufen – grönländi-sches Gletscherwasser, das per Schiff und Zug über 4000 Kilometer in die Schweiz zurückgelegt hat. Braucht es das?
Trendiger Trinkwasser Genuss trotz schwer Folgen für die Umwelt.	ARD	28.10.2010	
Deutsche sind Weltmeister im Mineralwasser trinken	WELT ONLINE	19.08.2010	Die Deutschen sind verrückt nach Kohlensäure aus Plastikflaschen. Doch die Produktion ist umweltschädlich. Dabei wäre eine Alternative so einfach.
Kranwasser noch besser als sein Ruf	Kölner Stadtanzeiger	28.05.2009	
Wasserhahn statt Flaschen-Wahn	Mitteldeutsche Zeitung	29.06.2008	Der Verbrauch von Mineralwasser boomt - Aber: Muss es unbedingt Mineralwasser sein?
Wasserhahn statt Flaschen-Wahn	Kölner Stadtanzeiger	29.05.2008	
Hahnenwasser bleibt unschlagbar	Swissinfo.ch	21.03.2006	In der Schweiz ist Hahnenwasser zwischen 90 und 1000 Mal ökologischer als Mineralwasser. Dies sagt eine Studie anlässlich des Weltwassertages.

## **G. Gutachten über die Kritische Prüfung durch das ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH**

Mirjam Busch, Axel Liebich, Regine Vogt, Benedikt Kauertz



INSTITUT FÜR ENERGIE-  
UND UMWELTFORSCHUNG  
HEIDELBERG

# Gutachten über die Kritische Prüfung

**Titel:** Ökobilanz von Trinkwasser und Mineralwasser in Deutschland  
**Version:** vom 20.06.2023  
**Auftraggeber** wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH  
**Autoren** Christoph Meili; Niels Jungbluth; Savian Scanu; Nadia Malinverno  
**Panel-Mitglieder:** Mirjam Busch (Vorsitzende)  
Axel Liebich, Regine Vogt, Benedikt Kauertz

Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH  
Wilckensstraße 3  
D - 69120 Heidelberg  
Tel.: +49 6 221 - 47 67-0  
E-mail: [ifeu@ifeu.de](mailto:ifeu@ifeu.de)

26.06.2023

---

## Allgemeine Bemerkungen

Die Kritische Prüfung fand auf Basis der Normen ISO 14040:2006, 14044:2006 und ISO/TS 14071:2014 durch externe Sachverständige statt. Nach den zitierten Normen ist eine kritische Prüfung nach der Panelmethode erforderlich, wenn die geprüfte Ökobilanz vergleichende Aussagen zur Umweltverträglichkeit der untersuchten Produktsysteme enthalten und die Absicht besteht, diese der Öffentlichkeit zugänglich zu machen, wie es für die zu prüfende Studie der Fall ist. Die vergleichenden Aussagen sollen zur Information von Konsument:innen eingesetzt werden.

Geprüft wurde gemäß den nach den zitierten Normen vorgegebenen Kriterien, ob

1. die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit dieser internationalen Norm übereinstimmen (Normkonformität Methoden);
2. die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet und technisch gültig sind (Wissenschaftlichkeit Methoden);
3. die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind (Zielkonformität Daten);
4. die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Studie berücksichtigen (Auswertung) und
5. der Bericht transparent und in sich stimmig ist. (Transparenz und Berichtsstimmigkeit).

**Hinweise:**

- I. Dieser Prüfbericht bezieht sich auf die Berichtsfassung vom 17.05.2023
- II. Dieses Gutachten ist nur für die angegebene Version des Berichtes gültig, jedoch nicht für andere Versionen, Auszüge, Pressemitteilungen oder ähnliche Dokumente.
- III. Die Schlussfolgerungen der Gutachtenden für die kritische Prüfung basieren auf dem aktuellen Stand der Technik und die eingegangenen Informationen. Die Schlussfolgerungen des kritischen Gutachtens beziehen sich ausschließlich auf den Kontext und den Inhalt der vorliegenden Studie und dürfen nicht weiter verallgemeinert werden.

**Prozess der kritischen Prüfung**

Auf Basis des Angebots vom 12.03.2021 erfolgte die Beauftragung zur Durchführung des kritischen Gutachtens im März 2021. Der Entwurf zum Kapitel „Zieldefinition und Rahmenbedingungen“ wurde im März 2021 versendet. Dieser wurde von den Prüfenden ausführlich kommentiert; die Kommentare am 23.04.2021 versandt und am 28.04.2021 in einer Telefonkonferenz mit dem Auftraggeber und den Autor:innen der Studie diskutiert.

Der erste Berichtsentwurf der Ökobilanzstudie sowie das der Studie zu Grunde liegende SimaPro-Modell, das zur Modellprüfung bereitgestellt wurde, lag im Februar 2022 vor und wurde ebenfalls von den Gutachtenden ausführlich kommentiert. Die Kommentare zur Studie und zum Modell wurden am 15.03.2022 versandt und wiederum am 22.03.2022 in einer Telefonkonferenz mit dem Auftraggeber und den Autor:innen der Studie diskutiert.

Die Hauptphase der kritischen Prüfung fand im Mai und Juni 2022 statt. Am 25.05.2022 wurde der Schlussbericht versandt. Darauf basierend fand eine erneute Kommentierungsrunde und Diskussion statt: Kommentare zur Studie wurden am 10.06.2022 versandt und wiederum am 24.06.2022 in einer Telefonkonferenz mit dem Auftraggeber und den Autor:innen der Studie diskutiert.

Die Verbesserungsvorschläge wurden in einen revidierten Schlussbericht, der am 05.07.2022 an die Gutachtenden versandt wurde, durch ESU eingearbeitet. Danach gab es eine weitere Überarbeitungsphase, in der vor allem die Zusammenfassung für die Veröffentlichung noch einmal neu erarbeitet wurde. Die Zusendung des überarbeiteten Schlussberichts durch die Ersteller erfolgte am 20.06.2023. Das kritische Gutachten beruht auf diesem Bericht.

**Verwendete Methoden**

Die Wahl der funktionellen Einheit, der Allokationsmethode sowie die Setzung der Systemgrenzen sind klar, transparent und verständlich beschrieben, die Modellannahmen sind dokumentiert und erklärt.

Als Allokationsverfahren für Folgenutzen (End-of-Life-Allokation) ist der Cut-off Ansatz gewählt. Eine Sensitivitätsanalyse mit weiteren Allokationsverfahren (z.B. 50:50 Systemallokation) wurde nicht durchgeführt. Der Aspekt ist jedoch in der Interpretation berücksichtigt und es wurde auf Anraten der Prüfenden ein best-case-Szenario für eine Mineralwasservariante gerechnet, die im Ergebnis zwar deutlich besser abschneidet, aber weiterhin mit Abstand weniger gut als die vergleichend untersuchten Varianten für Trinkwasser.

Die verwendeten Methoden zur Wirkungsabschätzung, die gewählten Wirkungskategorien und Charakterisierungsmodelle auf mid-point-Ebene stimmen mit den Anforderungen aus ISO 14040/14044 (2006) überein und sind wissenschaftlich begründet und technisch gültig. Für die Darstellung der Ergebnisse in der Zusammenfassung haben die Autor:innen die Gesamtumweltbelastung gemäß der europäischen Methode für den Produktumweltfußabdruck (PEF – Product environmental footprint) gewählt, bei der die Ergebnisse einer Gewichtung unterzogen werden. Die Gewichtung ist nach ISO 14044 für vergleichende Aussagen, die zur Veröffentlichung bestimmt sind, nicht zulässig. Allerdings werden in der Studie im Kapitel Auswertung alle Ergebnisse für die einzelnen Wirkungskategorien dargestellt. In der Auswertung und der Zusammenfassung wird dargelegt, dass die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung für die vorgenommenen Vergleiche für alle untersuchten Wirkungskategorien einen Vorteil für die Trinkwasserszenarien zeigen. Dadurch bewirkt der in dieser Studie angewandte, auf subjektiver Werthaltung basierende Gewichtungsschritt keine Veränderung der Ergebnisaussage, so dass diese richtungssicher ist.

### **Verwendete Daten**

Die Daten- und Systemprüfung basierend auf dem zur Verfügung gestellten SimaPro Modell führte zu folgendem Ergebnis:

Das Modell der Trinkwasser- und Mineralwassersysteme ist in sich schlüssig, die im Untersuchungsrahmen beschriebenen Annahmen und die dokumentierten Daten wurden im Modell umgesetzt. Die Modellierung im Berechnungssystem der verwendeten Software ist übersichtlich und klar strukturiert, so dass Prüfungen leicht durchführbar sind. Insbesondere die Frage des Energiebedarfs für die Trinkwasserbereitstellung ab Hausanschluss - als ergebnisrelevanter Parameter für die Trinkwasserbereitstellung - wurde während der Review-Meetings rege diskutiert. Der im Schlussbericht für die durchschnittliche Bereitstellung von Trinkwasser verwendete Wert konnte abschließend als robust plausibilisiert werden.

### **Interpretation**

Die Interpretation folgt den wissenschaftlich-technischen Anforderungen der Ökobilanzmethode. Unsicherheiten werden ausführlich qualitativ beschrieben, die Haupt-Einflussfaktoren dargestellt und die Ergebnisse kritisch reflektiert. Es wird auf den durchgeführten Vergleich mit Literaturwerten hingewiesen, der die modellierten Daten plausibilisiert. Die Interpretation stellt Einschränkungen der Studie soweit gegeben dar und bezieht sich auf das Ziel der Studie.

Die Auswahl der Mineralwasserverpackungen und die zu Grunde gelegten Daten sind in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig. Wie in der Zielstellung der Studie erläutert, ist der Vergleich zwischen den Mineralwasserverpackungen nicht Teil der Studie. Aus diesem Grund wurde von weiteren Sensitivitätsanalysen, die für die Erstellung einer Vergleichenden Ökobilanz von Getränkeverpackungen notwendig wären, abgesehen. Dies wird in der vorliegenden Studie im Kapitel Ziel- und Untersuchungsrahmen transparent dargestellt. Auch in der Auswertung wird dies berücksichtigt und transparent dokumentiert.

Die Interpretation berücksichtigt umfassend die Einschränkungen und das Ziel der Studie.

## Bericht insgesamt

Die Ökobilanz-Studie macht einen positiven Eindruck auf die Prüfenden und beschreibt die Studie in einer konsistenten und transparenten Weise. Die verschiedenen Produkte werden in dem Bericht gut beschrieben. Daten und Rechenmodell wurden den Prüfenden übergeben, so dass auch Daten, die im Bericht nicht im Einzelnen dargelegt werden können, eingesehen und diskutiert werden konnten.

Der Bericht ist in der vorliegenden Version transparent und in sich stimmig.

## Zusammenfassung

Die dem Bericht zugrunde liegenden Berechnungen sind in Übereinstimmung mit den Normen ISO 14040 und ISO 14044 erstellt worden. Die zur Veröffentlichung vorgesehenen vergleichenden Aussagen auf Basis der zu Einzahlwerten nach PEF-Methode gewichteten Ergebnisse liegen zwar außerhalb der Norm, sind aber richtungssicher, da die Ergebnisse der vorgenommenen Vergleiche für alle untersuchten Wirkungskategorien für Trinkwasser vorteilhaft sind.

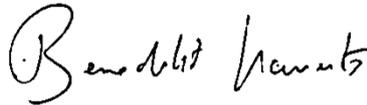
Heidelberg, 26. Juni 2023



Mirjam Busch, Axel Liebich



Regine Vogt, Benedikt Kauertz



## Anhang zum Gutachten über die Kritische Prüfung: Kompetenzen des Review-Panels

### **Mirjam Busch** (Vorsitzende)

Dipl.-Ing. für Ökologie und Umweltschutz, schloss 2011 ihr Ökologie- und Umweltschutzstudium an der Hochschule Zittau/Görlitz mit der Prüfung zum Diplom-Ingenieur ab. Im gleichen Jahr begann sie ihre Tätigkeit am ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung im Arbeitsgebiet der Produktökobilanzierung sowie Umweltverträglichkeitsuntersuchungen. In den darauffolgenden Jahren wurde die Bereiche Verpackungsökobilanz, Wirkungsabschätzung inkl. Analyse und Entwicklung von Charakterisierungsmodellen sowie Lebensmittelbilanzierung zum Themenschwerpunkt ihrer Arbeit. Sie hat an Ökobilanzen im Getränkeverpackungsbereich und auch im Speziellen im Bereich der Mineralwässer mitgewirkt und die Diskussionen zu Trinkwasser vs. Mineralwasser in Mexiko im Rahmen des GIZ & IKI-Projekt „Initiative Resource Efficiency and Climate Protection“ begleitet. Zudem ist sind die Themen der internen als auch externen kritischen Prüfung von Datensätzen (z.B. der BRASKEM PE Datensatz) Teil ihres Aufgabenbereiches. Sie ist im ifeu eine der Hauptanwender der Ökobilanzsoftware SimaPro.

### **Axel Liebich**

Axel Liebich studierte Umweltschutz an der Fachhochschule Bingen und schloss im Jahr 1998 mit der Prüfung zum Diplom-Ingenieur ab. In seiner Diplomarbeit „Analyse der Umweltauswirkungen eines neuentwickelten Herstellungsverfahrens für Photovoltaik-Module“ beschäftigte er sich bereits mit der ökobilanziellen Bewertung und dem Upscaling der Stoff- und Energieströme einer in der Entwicklung befindlichen Technologie. 1998 begann er auch seine Tätigkeit am ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. Herr Liebich bearbeitete und leitete eine Vielzahl von Ökobilanz-Projekten in verschiedenen Themenbereichen (Energiesysteme, Abfall-, Abwasser-, Trinkwasser-, Land-, Bauwirtschaft, Verpackungssysteme, Elektromobilität, Stahlherstellung und chemische Industrie).

Mit Bezug auf das geplante Review kann er insbesondere seine Expertise aus einer nach ISO 14.040 kritisch begutachteten Ökobilanz zu Trinkwasser in Deutschland einbringen. Aktuell reviewt er ein Ökobilanzprojekt von ESU-services zu Erdgas- und Erdöl-Vorketten, wobei die vertrauensvolle, konstruktive und effiziente Zusammenarbeit zwischen ESU-services und ifeu hervorzuheben ist.

### **Regine Vogt**

Dipl.-Ing. Technischer Umweltschutz, ist seit 1996 am ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg tätig und seit 2016 Team-/Themenleiterin im Bereich Ressourcen. Ihre langjährige Expertise umfasst viele Themenbereiche wie insbesondere Fragestellungen zu Klimaschutz, Ressourcenschonung, Kreislaufwirtschaft sowie Erneuerbare Energien. Ihre Arbeiten beinhalten die ökologische Bewertung von Produkten und Dienstleistungen, die Entwicklung von Bewertungsmethoden sowie die Beratung und Entwicklung von Strategien für politische Entscheidungsträger. Die dabei überwiegend verwendeten oder weiterentwickelten Bewertungsinstrumente umfassen die Ökobilanzmethode, Stoffstromanalysen, Umweltverträglichkeitsuntersuchungen oder Risikoabschätzungen. Ebenfalls zum Instrumentarium gehören Toolentwicklungen für verschiedene Anwenderkreise. Ihre derzeitigen Arbeitsschwerpunkte liegen in Bewertungsfragen einer ökologischen Rohstoffverfügbarkeit, Fragestellungen zu Klima- und Umweltschutzpotenzialen der Kreislaufwirtschaft sowie im Bereich Erneuerbare Energien. Als kritische Gutachterin war Frau Vogt unter anderem im Bereich Biogas- und Biomethanherzeugung tätig.

**Benedikt Kauertz**

Benedikt Kauertz studierte von 2000 bis 2006 Raum- und Umweltplanung an der Technischen Universität Kaiserslautern (Abschluss Dipl.-Ing.). Studienschwerpunkt war die raumbezogene Umweltbewertung. Seit 2006 arbeite er am ifeu-Institut für Energie- und Umweltforschung in Heidelberg. Seine Arbeitsschwerpunkte finden sich im Bereich der Umweltbewertung von Projekten, Technologien und Produkten. Benedikt Kauertz hat sowohl als Sachbearbeiter als auch als Projektleiter an diversen Ökobilanzen (LCA), Umweltverträglichkeitsuntersuchungen (UVU) und strategischen Umweltprüfungen (SUP) mitgewirkt. Darüber hinaus ist er derzeit in das laufende Forschungsvorhaben des Umweltbundesamtes zur Prüfung und Aktualisierung der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen (FKZ 3711 92 315) involviert. Benedikt Kauertz war Projektleiter der „Ökobilanz von Danone Activia-Verpackungen aus Polystyrol und Polylactid“ (März 2011) und zeigt sich für wesentliche Bestandteile der ökologischen Bewertung im Rahmen des F&E Vorhabens „Untersuchung der Umweltwirkungen von Verpackungen aus biologisch abbaubaren Kunststoffen“ (UBA Texte 52/2012) verantwortlich und war an verschiedenen UBA-Projekten zum Thema biobasierte Produkte beteiligt.

Als kritischer Gutachter hat Benedikt Kauertz bereits verschiedenen Ökobilanzen gem ISO 14040ff begleitet. Unter anderem war er auch Teil des Reviewpanels der PEFCR Packed Water.

## Selbstdeklaration der Prüfenden zur Unabhängigkeit & Kompetenzen

(Gemäß ISO/PDTS 14071, Anhang B)

Wir (x, y, z), erklären hiermit, dass:

- Wir sind keine haupt- oder nebenberuflichen Mitarbeiter des Auftraggebers der Studie oder der Autoren.
- Wir waren nicht an der Zielsetzung oder an der Durchführung der vorliegenden Studie beteiligt, d.h. wir waren nicht Teil des Projektteams des Auftraggebers oder Anwenders.
- Wir haben keine finanziellen, politischen oder sonstigen Interessen am Ergebnis der Studie.

Unsere für das vorliegende kritische Prüfverfahren relevanten Kompetenzen umfassen Kenntnisse und Fertigkeiten in den Bereichen:

- ISO 14040 und ISO 14044.
- Ökobilanz-Methodik und -Praxis, insbesondere im Zusammenhang mit Sachbilanzen (einschließlich der Erstellung von Datensätzen und der Überprüfung von Datensätzen, falls zutreffend).
- Kritische Prüfungspraxis.
- Die wissenschaftlichen Disziplinen, die für die wichtigen Wirkungskategorien der Studie relevant sind.
- Ökologische, technische und andere relevante Leistungsaspekte des/der untersuchten Produktsystems/Produktsysteme.
- Die für die Studie verwendete Sprache.

Ein kurzer Lebenslauf ist Teil des Prüfberichts. Wir versichern, dass die obigen Angaben wahrheitsgemäß und vollständig sind.

Heidelberg, 26. Juni 2023



Mirjam Busch, Axel Liebich



Regine Vogt, Benedikt Kauertz

