

## Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:

Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen  
Treibstoffen

Hans-Jörg Althaus  
Marcel Gauch

Life Cycle Assessment and Modelling Group,  
Technologie und Gesellschaft,  
Empa

Dübendorf, Oktober 2010



## Inhalt

1	Einführung	5
2	Ziel der LCA-Studie	6
3	Untersuchungsrahmen der LCA-Studie	7
3.1	Produktsysteme	7
3.2	Funktionelle Einheit und Systemgrenzen	8
3.3	Daten	9
3.4	Annahmen	9
3.5	Einschränkungen	10
3.6	Anforderungen an Datenqualität	11
3.7	Allokation	11
3.8	Wirkungsabschätzung	12
3.9	Kritische Prüfung	14
3.10	Dokumentation	14
4	Sachbilanzen	15
4.1	Transporte, pro Fahrzeugkilometer	15
4.2	Betrieb Fahrzeug, pro Fahrzeugkilometer	17
4.2.1	Elektrofahrzeug	18
4.2.2	Hybridfahrzeug	18
4.2.3	Plug-in-Hybridfahrzeug	19
4.2.4	Benzin- und Dieselfahrzeug	20
4.2.5	Übrige ICE-Fahrzeug	22
4.3	Fahrzeug und Fahrzeugunterhalt	24
4.3.1	Fahrzeugherstellung	24
4.3.2	Fahrzeugunterhalt	27
4.3.3	Fahrzeugentsorgung	27
4.4	Strasse, Strassenunterhalt und -entsorgung	28
4.5	Treibstoffe	28
5	Sensitivitätsanalysen	31
5.1	Energie- / Treibstoffbedarf	32
5.2	Abriebemissionen	32
5.3	Batterielebensdauer	33
5.4	EOL-Modellierung	33
6	Resultate	34
6.1	Basisvarianten	34
6.2	Sensitivitätsanalysen	40
6.2.1	Einfluss EOL-Modellierung	65
7	Diskussion	67
7.1	Strasseninfrastruktur	67
7.2	Fahrzeuginfrastruktur	67
7.2.1	Vergleich ICE-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge	67
7.2.2	Anteil der Fahrzeuginfrastruktur an Mobilitätsergebnissen	69
7.2.3	Einfluss EOL-Modellierung	69

7.3	Treibstoffe .....	70
7.3.1	Vergleich ICE-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge .....	70
7.3.2	Anteil des Treibstoffs an Mobilitätsergebnissen.....	72
7.4	Abgase .....	73
7.4.1	Vergleich ICE-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge .....	74
7.4.2	Anteil der Abgase an Mobilitätsergebnissen.....	75
7.5	Abriebemissionen.....	75
7.5.1	Vergleich ICE-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge .....	76
7.5.2	Anteil der Abriebemissionen an Mobilitätsergebnissen .....	76
7.6	Gesamtergebnisse .....	76
7.6.1	Vergleich innerhalb der Indikatoren .....	76
7.7	Beurteilung der Fahrzeugvarianten .....	84
7.8	Sensitivitätsanalysen.....	104
7.8.1	Treibstoffbedarf, Batterielebensdauer und Abriebemissionen .....	104
7.8.2	Anteil Strom ab Netz bei Plug-in-Hybridfahrzeugen .....	104
7.8.3	Einfluss EOL-Modellierung .....	104
7.8.4	Einfluss auf die Beurteilung der Fahrzeugvarianten .....	106
8	Schlussfolgerungen.....	139
9	Ausblick.....	141
10	Dank.....	141
	Anhang 1: Externe kritische Prüfung .....	142
	Anhang 2: LCI Daten.....	149

## 1 Einführung

Individuelle Mobilität ist für einen beträchtlichen Teil der Energienachfrage der Schweiz verantwortlich. Sie basiert zurzeit grossmehrheitlich auf fossilen Treibstoffen. Aufgrund der zukünftigen Verfügbarkeit und des erwarteten zukünftigen Preises dieser Treibstoffe, aber auch aufgrund der immer prominenter werdenden Treibhausproblematik wird zunehmend über Alternativen zur fossilen Mobilität nachgedacht. Eine zurzeit sehr Erfolg versprechende Alternative sind batteriegestützte Elektrofahrzeuge, die gegebenenfalls über einen kleinen on-board-Stromgenerator verfügen, um dem Problem der begrenzten Reichweite pro Batterieladung und der relativ langen Ladedauer für eine vollständige Ladung der Batterien zu begegnen.

Die Gruppe „Life Cycle Assessment and Modelling“ (LCAM) der Empa wurde im August 2009 von der Axpo Holding AG mit der Durchführung dieser Studie beauftragt. An der Studie waren die in Tabelle 1 aufgeführten Personen beteiligt. Indirekt beteiligt waren auf Empa-Seite weitere Personen der LCAM-Gruppe, die in anderem Kontext Sachbilanzen (life cycle inventories (LCI)) erstellt haben, welche im Projekt verwendet wurden. Namentlich erwähnen möchten wir in dem Zusammenhang Anna Stamp und Dominic Notter, die für die Hauptarbeit bei der Erarbeitung der LCI für die Lithiumgewinnung (Stamp) und für die Herstellung der Lithium-Ionen-Batterie (Notter) verantwortlich waren.

Name	Firma	Funktion	Funktion im Projekt
Michael Stalder	Axpo Holding	Projektleiter Corp. Development	Auftraggeber
Dr. Christian Capello	Axpo AG	Leiter Nachhaltigkeit	Projektbegleitung
Stefan Roth	Axpo Holding	Leiter Technologiemanagement	Projektbegleitung
Hans-Jörg Althaus	Empa	Senior Scientist	Projektleiter & -bearbeiter
Marcel Gauch	Empa	Technischer Mitarbeiter	Projektbearbeiter

**Tabelle 1 Am Projekt beteiligte Personen.**

Das Ziel der Studie wurde von Auftraggebern und Auftragnehmern gemeinsam erarbeitet. Der Untersuchungsrahmen wurde von der Empa vorgeschlagen und von den Auftraggebern akzeptiert. Es wurde vereinbart, dass die Studie gemäss den Anforderungen der ISO-Normen 14'040 und 14'044 (2006)<sup>1</sup> durchgeführt werden sollte.

<sup>1</sup> ISO 14'040 (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework. Brussels, ISO/TC 207/SC5.  
ISO 14'044 (2006). Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and guidelines. Brussels, ISO/TC 207/SC5.

## 2 Ziel der LCA-Studie

Im Rahmen der Konzernentwicklung befasst sich die Axpo Holding mit individueller Elektromobilität. Innerhalb eines grösseren strategischen Projektes sollen unter anderem deren Umweltauswirkungen analysiert werden. In dem Zusammenhang interessiert sich die Axpo an einem LCA-Vergleich von elektrischer Mobilität mit alternativen Formen individueller Mobilität. Konkret sollen reine Elektrofahrzeuge mit konventionellen Fahrzeugen, Hybridfahrzeugen und mit biotreibstoffbetriebenen Fahrzeugen verglichen werden. Der Vergleich soll aus technologischer Sicht für die „nahe Zukunft“ (ca. 2015) gültig sein und eventuell eine Perspektive für spätere Verbesserungspotenziale aufzeigen. Weiter soll der Vergleich für den Fahrzeugbetrieb in der Schweiz gültig sein. Die Ergebnisse sollen für eine Situation stehen, in der ein signifikanter Anteil (mindestens 5%) der individuellen Mobilität auf Fahrzeugen der jeweiligen Technologie basiert. Die Studie soll zur Schaffung einer wissenschaftlichen Basis beitragen, um das „ökologische Potenzial“ von batteriebetriebenen Fahrzeugen abzuschätzen. Im Vordergrund steht die Frage, ob und wenn „ja“ unter welchen Bedingungen Elektrofahrzeuge theoretisch zu einer Verringerung der Umweltbelastung der individuellen motorisierten Mobilität auf Basis von PKWs beitragen können. Entsprechend sollen konkret die potenziellen Umweltwirkungen von vergleichbaren PKWs mit unterschiedlichen Antriebssystemen verglichen werden. Die Modellierung von zukünftigen Mobilitätsszenarien, die nötig wären, um eine abschliessende Aussage zu den ökologischen Folgen der breiten Nutzung von individueller Elektromobilität zu erlauben, ist hingegen kein Ziel dieser Studie. Die Ergebnisse sollen sowohl intern als auch für externe Kommunikation oder Entscheidungsunterstützung in politischen Prozessen verwendet werden können. Zielgruppe für die externe Kommunikation ist die interessierte Öffentlichkeit (z.B. via Medienkonferenz). Somit soll die Studie unterschiedliche Mobilitätsformen vergleichen und dieser Vergleich soll extern kommuniziert werden.

### 3 Untersuchungsrahmen der LCA-Studie

#### 3.1 Produktsysteme

Die Studie will die Umwelteffekte von Mobilität mit verschiedenen PKWs vergleichen. Die Fahrzeuge repräsentieren die Kompakt- oder Golfklasse<sup>2</sup> und basieren sowohl für die Fahrzeugherstellung als auch für den Betrieb auf dem in der Schweiz 2006 bis 2009 jeweils meistverkauften Fahrzeug, dem VW Golf<sup>3</sup>. Als Antriebe werden verschiedene Verbrennungsmotoren (Internal Combustion Engines (ICE)) und elektrische Antriebe sowie Hybride betrachtet. Um die Vergleichbarkeit der Fahrzeuge untereinander zu ermöglichen werden hypothetische PKWs mit alternativen Antriebstechnologien modelliert, die auf den konkreten Benzin- und Dieselfahrzeugen basieren. Sie basieren also nicht auf konkret existierenden Fahrzeugmodellen, sondern stellen typisierte Fahrzeuge von vergleichbarer Grösse, Komfort, Fahrleistung und Lebensdauer dar. Die Fahrzeuge werden mit den Antriebstechnologien und Energielieferanten gemäss Tabelle 2 bilanziert.

Antriebssystem / Energieträger	Elektrisch	Plug-in-Hybrid	Hybrid	ICE
Strom <sup>1</sup>	X	X	-	-
Diesel	-	-	-	X
Benzin	-	X	X	X
Erdgas	-	-	-	X
Palmmethylester PME (Malaysia)	-	-	-	X
E85 aus Zuckerrohr <sup>2</sup> (Brasilien)	-	-	-	X
Biogas (Schweizer Kompogas)	-	-	-	X

<sup>1</sup>: 6 Varianten (Mix CH, Mix UCTE, KKW CH, Gas-Kombi UCTE, Kohle UCTE, PV CH)  
<sup>2</sup>: Alternativ E85 aus europäischen Holzabfällen

**Tabelle 2** Zu untersuchende Kombinationen von Antriebstechnologien und „on-board-Energielieferanten“.

Die Strombereitstellung und die Biotreibstoffe wurden einerseits aufgrund der Repräsentativität für die schweizerische Situation gewählt. Andererseits wurde auch darauf geachtet, dass die betrachteten Systeme bezüglich der Umweltauswirkungen einen möglichst breiten Bereich abdecken. Die Mix-Varianten stehen dabei für einen durchschnittlichen Status quo der Strombereitstellung im Jahr 2005. Kern-, Gas-Kombi- und Kohlekraftwerke können als mögliche marginale Technologie für die Bereitstellung von zusätzlichem Strombedarf in naher Zukunft in der Schweiz betrachtet werden. Photovoltaik (PV) schliesslich wird einbezogen, um zu berücksichtigen, dass ein Nutzer eines Elektrofahrzeugs „seinen“ Strom so selber erzeugen könnte.

Die Batterie des Elektrofahrzeugs ist so dimensioniert, dass eine Reichweite von ca. 200 km pro Ladung erreicht wird. Die relativ zu den anderen Fahrzeugen im Vergleich geringe Reichweite pro Ladung bzw. Tankfüllung und die relativ lange Zeit zum „Auftanken“ der Batterien stellt natürlich eine gewisse Einschränkung der Funktionalität des

<sup>2</sup> Bezeichnungen wie Kompaktklasse, Golfklasse, Mittelklasse etc. sind im allgemeinen Sprachgebrauch nicht scharf definiert. Wir sprechen hier von einem Fahrzeug, das bezüglich der relevanten Eigenschaften einem VW Golf entspricht.

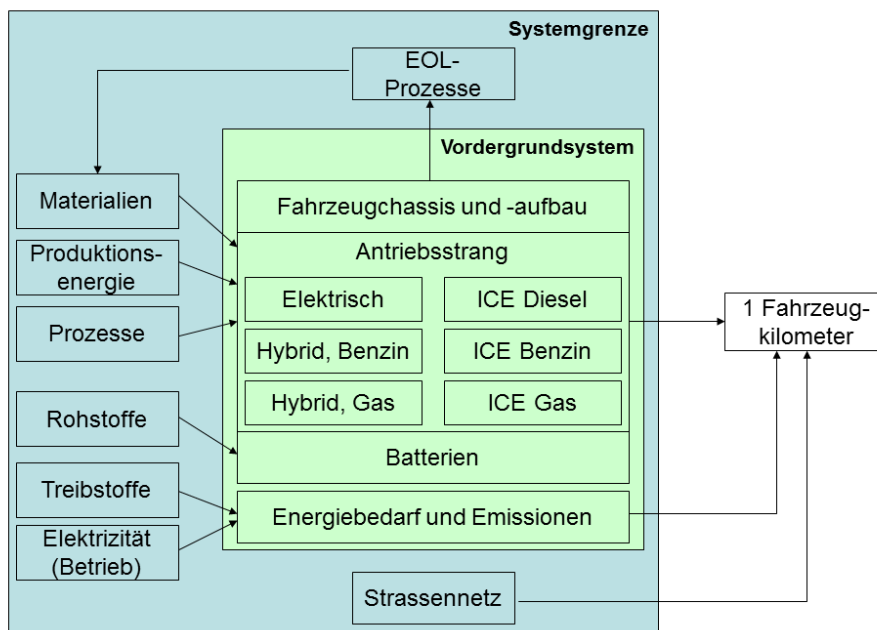
<sup>3</sup> <http://www.auto-schweiz.ch/cms/dcs/users/49/ModellePWQuartal2009.xls>

Elektrofahrzeugs gegenüber allen anderen Fahrzeugen dar. In sehr vielen Einsatzszenarien von Fahrzeugen ist diese Beschränkung aber irrelevant. Trotzdem muss damit gerechnet werden, dass Elektrofahrzeuge aufgrund der beschränkten Reichweite pro Ladung eher als Zweitfahrzeug denn als vollwertiger Ersatz eines herkömmlichen Fahrzeuges eingesetzt werden.

Details zu den Systemen werden im Kapitel „Sachbilanzen“ beschrieben.

### 3.2 Funktionelle Einheit und Systemgrenzen

Die Funktionelle Einheit der Studie ist eine durchschnittliche Fahrt von einem Kilometer mit einem Fahrzeug der Golfklasse auf dem Schweizerischen Strassennetz. Als Referenzfluss wird ein Fahrzeugkilometer (vkm) gewählt. Das System beinhaltet Produktion, Betrieb und Entsorgung der Fahrzeuge sowie der Strasseninfrastruktur. Der Betrieb beinhaltet die Produktion der Treibstoffe bzw. die Strombereitstellung, sowie die direkten Emissionen aus Verbrennung (bei ICE und Hybriden) und aus Abrieb (Reifen-, Brems- und Strassenabrieb). Abbildung 1 stellt das zu untersuchende System vor und definiert das Vorder- und das Hintergrundsystem. Das Vordergrundsystem wurde in der Studie detailliert und spezifisch modelliert, während die Prozesse des Hintergrundsystems aus der ecoinvent Datenbank v2.01 übernommen wurden.



**Abbildung 1 System mit Systemgrenze und Vordergrundsystem. EOL: End-of-Life.**

Die Studie beinhaltet alle Prozesse, die für die Ergebnisse der Studie relevant sein könnten. Entsprechend gibt es keine fixen Abschneidekriterien. Abbildung 3 im Kapitel „Sachbilanzen“ zeigt, aus welchen Einheitsprozessen das Vordergrundsystem aufgebaut ist und wie diese zusammenhängen.



### **3.3 Daten**

Als Basis für die Studie werden Daten aus der ecoinvent Datenbank v2.01 verwendet. Das Vordergrundssystem wird spezifisch modelliert. Grundlagen dazu sind:

eine detaillierte Ökobilanz eines VW Golf für die Fahrzeuginfrastruktur<sup>4</sup> (Karosserie aller und Antrieb der ICE-Fahrzeuge),  
diverse Publikationen für das Antriebssystem elektrischer und hybrider Fahrzeuge<sup>5</sup>,  
eine detaillierte Studie der Empa zu Lithium-Ionen Batterien<sup>6</sup>,  
diverse Publikationen zu Energiebedarf von Plug-in- und Hybridfahrzeugen<sup>5</sup>,  
Herstellerangaben zu Energiebedarf von ICE-Fahrzeugen (fossile und Biotreibstoffe)<sup>5</sup>,  
ecoinvent Daten zu Emissionen von ICE-Fahrzeugen (fossile und Biotreibstoffe).

### **3.4 Annahmen**

Wichtige Annahmen in dieser Studie sind:

Technologie zur Bereitstellung der Betriebsenergie:

Wir nehmen an, dass die Umweltauswirkungen der Energiebereitstellung (Treibstoffe und Strom) in naher Zukunft (um 2015) gleich sind wie im Referenzjahr der ecoinvent v2.0 Datenbank (2005).

Materialisierung zukünftiger Fahrzeuge

Wir gehen davon aus, dass Fahrzeuge in naher Zukunft gleich materialisiert sein werden wie vor gut 10 Jahren.

Nutzungszeit / Lebensdauerfahrleistung der Fahrzeuge

Wir gehen davon aus, dass ein Fahrzeug in seinem Leben von 12-13 Jahren durchschnittlich 150'000 km zurücklegt.

Energiebedarf von zukünftigen Fahrzeugen (vor allem Plug-in-Elektroautos)

Wir gehen davon aus, dass ICE-Fahrzeuge in naher Zukunft einen Treibstoffbedarf haben, der heute von den klassenbesten Fahrzeugen (Golf Blue Motion) erreicht wird. Ausserdem nehmen wir an, dass Erdgas- und Bioenergiefahrzeuge denselben Energiebedarf haben werden wie die entsprechenden Fahrzeuge mit fossilem Treibstoff (Gas und E85 wie Benzin, XME wie Diesel). Bei den Elektrofahrzeugen gehen wir davon aus, dass die in naher Zukunft erreichten Wirkungsgrade der Batterie (inkl. Ladegerät) und der Komponenten des Antriebsstranges den heute mit effizienten Komponenten erreichten Werten entspricht.

Für alle Fahrzeuge gehen wir davon aus, dass der Energiebedarf über die gesamte Fahrzeuglebensdauer konstant bleibt (keine relevante Abnutzung / Alterung). Bei Elektrofahrzeugen beinhaltet diese Annahme auch die Lade- und Entladeeffizienz der Batterie.

Den Energiebedarf einer realen Verkehrssituation schätzen wir ab aus dem Energiebedarf

---

<sup>4</sup> Schweimer, G. W.; Levin, M. Life Cycle Inventory for the Golf A4; Research, Environment and Transport Volkswagen AG, Wolfsburg and Center of Environmental Systems Research, University of Kassel: Wolfsburg, Kassel, 2000.

<sup>5</sup> Siehe Kapitel „Sachbilanzen“

<sup>6</sup> Dominic A. Notter, Marcel Gauch, Rolf Widmer, Patrick Wäger, Anna Stamp, Rainer Zah and Hans-Jörg Althaus (2010) Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. Environ. Sci. Technol., 2010, 44(17), pp 6550-6556 DOI: 10.1021/es903729a

für den „Neuen Europäischen Fahr-Zyklus“ (NEFZ) sowie einem Zuschlag für ein realistischeres Fahrprofil und für diverse Nebenverbraucher (Heizung, Kühlung, Licht,...), die für die NEFZ-Messung ausgeschaltet sind.

Nutzung der Fahrzeuge (--> Batteriereichweite bei Plug-in-Hybridfahrzeugen, Emissionsprofile bei ICE-Fahrzeugen)

Wir gehen davon aus, dass die ICE-Fahrzeuge in naher Zukunft die Euro-5-Abgaswerte erreichen werden<sup>7</sup>. Bei Plug-in-Hybridfahrzeugen gehen wir davon aus, dass die ca. 50 km elektrische Reichweite der Fahrzeuge reicht, um 80% der Lebensdauerstrecke mit elektrischem Antrieb zurückzulegen.

„Chemie“ der Li-Ionen Batterie (Anteil von Kobalt, Nickel, Mangan)

Wir gehen davon aus, dass künftig in Elektrofahrzeugen verwendete Li-Ionen Batterien aus Kostengründen weder Nickel noch Kobalt enthalten werden.

### **3.5 Einschränkungen**

Die Studie betrachtet die „nahe Zukunft“. Aufgrund des unterschiedlichen Entwicklungsstandes der verschiedenen Technologien zeigen diese unterschiedlichen Verbesserungspotenziale. Da es gegenwärtig keine mit einem heutigen Golf vergleichbare elektrische Fahrzeuge gibt, musste bezüglich Fahrzeugdesign davon ausgegangen werden, dass die Fahrzeuge der nahen Zukunft unabhängig von der Antriebstechnologie im Wesentlichen gleich gebaut sein werden.

Die bereits erwähnte relativ geringe Reichweite pro Ladung bzw. Tankfüllung und die relativ lange Zeit zum „Auftanken“ der Batterien stellt eine gewisse Einschränkung der Funktionalität des Elektrofahrzeuges gegenüber allen anderen Fahrzeugen dar. In vielen Einsatzszenarien von Fahrzeugen ist diese Beschränkung aber irrelevant. Trotzdem ist zu erwarten, dass Elektrofahrzeuge aufgrund der beschränkten Reichweite pro Ladung eher als Zweitfahrzeug denn als vollwertiger Ersatz eines herkömmlichen Fahrzeuges eingesetzt werden.

Weitere Unterschiede zwischen den verglichenen Fahrzeugen kann es bei den Beschleunigungswerten geben. Die ICE-Fahrzeuge brauchen rund 10 Sekunden, um von 0 auf 100 km/h zu beschleunigen während die Elektrofahrzeuge das in etwa der halben Zeit schaffen.

Ein weiterer Unterschied zwischen den verglichenen Fahrzeugen ist der höhere Anschaffungspreis der Elektrofahrzeuge sowie deren tiefere Verbrauchskosten. Gemäss Angaben zum MiEV betragen die Kilometerkosten des Elektrofahrzeuges nur ein Drittel der Kilometerkosten eines ICE-Vergleichsfahrzeuges<sup>8</sup>. Die Kosten pro km unter Berücksichtigung des Anschaffungspreises hingegen sind für ein Elektrofahrzeug noch eher höher als für ein fossil betriebenes ICE-Fahrzeug. Dies könnte aber, mit steigenden Ölpreisen und höheren Treibstoffsteuern, in naher Zukunft auch ändern.

Eine wichtige Einschränkung dieser Studie ist auch, dass potenzielle Rebound-Effekte durch neue Fahrzeugtypen nicht berücksichtigt werden. Ein möglicherweise relevanter Effekt könnte sein, dass Elektrofahrzeuge nicht ICE-Fahrzeuge ersetzen, sondern

---

<sup>7</sup> Diese Annahme wird gemacht für Neuwagen im Jahr 2015, nicht für die ICE Flotte in diesem Jahr.

<sup>8</sup> <http://www.mitsubishi-motors.com/special/ev/whatis/index.html> (Zugriff: 16.2.2010)

Fahrräder oder öffentliche Verkehrsmittel, also zu mehr motorisiertem Individualverkehr führen könnten.

### **3.6 Anforderungen an Datenqualität**

Daten für etablierte Systeme sollen auf einem belastbaren Durchschnitt basieren. Da die Daten eine zukünftige Situation repräsentieren sollen, sind auch für etablierte Systeme entsprechende Annahmen nötig. Für emergente Technologien wie Elektrofahrzeuge und zugehörige Batterien sind belastbare Durchschnittsdaten aus einer Massenproduktion nicht verfügbar. Entsprechend basieren diese Daten auf Kleinserien, Prototypen und Pilottechnologien. Diese Annahmen bzw. Abschätzungen sollen einem „best guess“ entsprechen und im Zweifel das Ergebnis eher in Richtung zu hoher Umweltbelastung verschieben. Bei wichtigen Annahmen wird, falls zur Interpretation nötig, eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt.

### **3.7 Allokation**

Die Allokation, die in der ecoinvent Datenbank verwendet wird, wird im Hintergrundsystem beibehalten. Im Vordergrundsystem stellt sich eine relevante Allokationsfrage beim Recycling der Materialien, die im Fahrzeug und in der Batterie verbaut sind. Da die Studie auch die Frage des dissipativen Ressourcenverlustes behandeln soll, kann die in ecoinvent verwendete Modellierung hier nicht angewendet werden, da diese Modellierung das Prinzip der Massenerhaltung verletzt. Im Vordergrundsystem dieser Studie soll Allokation vollständig durch Systemerweiterung und Substitution des Inputmaterials vermieden werden (siehe Abbildung 2).

Das Beispiel zeigt, wie neben dem Hauptprodukt (Autotüre) zwei Schrottfractionen als Nebenprodukte entstehen. Somit stellt sich die Frage, welcher Teil der Umweltbelastung der Aluminiumproduktion auf das Haupt- und welcher Teil auf die Nebenprodukte alloziert werden soll. Das obere Bild zeigt einen cut-off-Ansatz, wie er in der ecoinvent Datenbank verwendet wird. Die Nebenprodukte, die rezykliert werden, verlassen das System, ohne dass ihnen ein Teil der Umweltlasten der Produktion angelastet würde. Dafür wird auf der Materialinputseite berücksichtigt, dass ein Teil (konkret 10%) des Aluminiums, das auf dem Markt erhältlich ist, aus Schrott rezykliert wurde. Der Schrott, der dafür verwendet wurde, kommt auch ohne jegliche Umweltlasten in den Recyclingprozess hinein. Das untere Bild zeigt den Ansatz der Systemerweiterung und Substitution. Das System wird um den Recyclingprozess erweitert, so dass aus den Nebenprodukten (Schrott) wieder neuwertiges Aluminium hergestellt wird. Dieses Aluminium substituiert dann neues Aluminium, das ohne den Schrott und dessen Recycling aus Erz hätte hergestellt werden müssen. Systemerweiterung wird in ISO 14'040 / 44 als erste Wahl zum Umgang mit Allokationsproblemen empfohlen. Um die Sensitivität der Wahl der Allokationsmethode zu prüfen, werden die Ergebnisse<sup>9</sup> verglichen mit den entsprechenden Ergebnissen, die sich aus einer cut-off-Modellierung für Materialien, die rezykliert werden, ergeben würden. (Die

---

<sup>9</sup> Ausser den Resultaten zum dissipativen Ressourcenverlust, da diese aufgrund der Datenverfügbarkeit in der alternativen Methode zu keinem sinnvollen Ergebnis führen.

cut-off-Modellierung entspricht der Allokationsmethode, die in ecoinvent v2.01 standardmässig verwendet wird.)

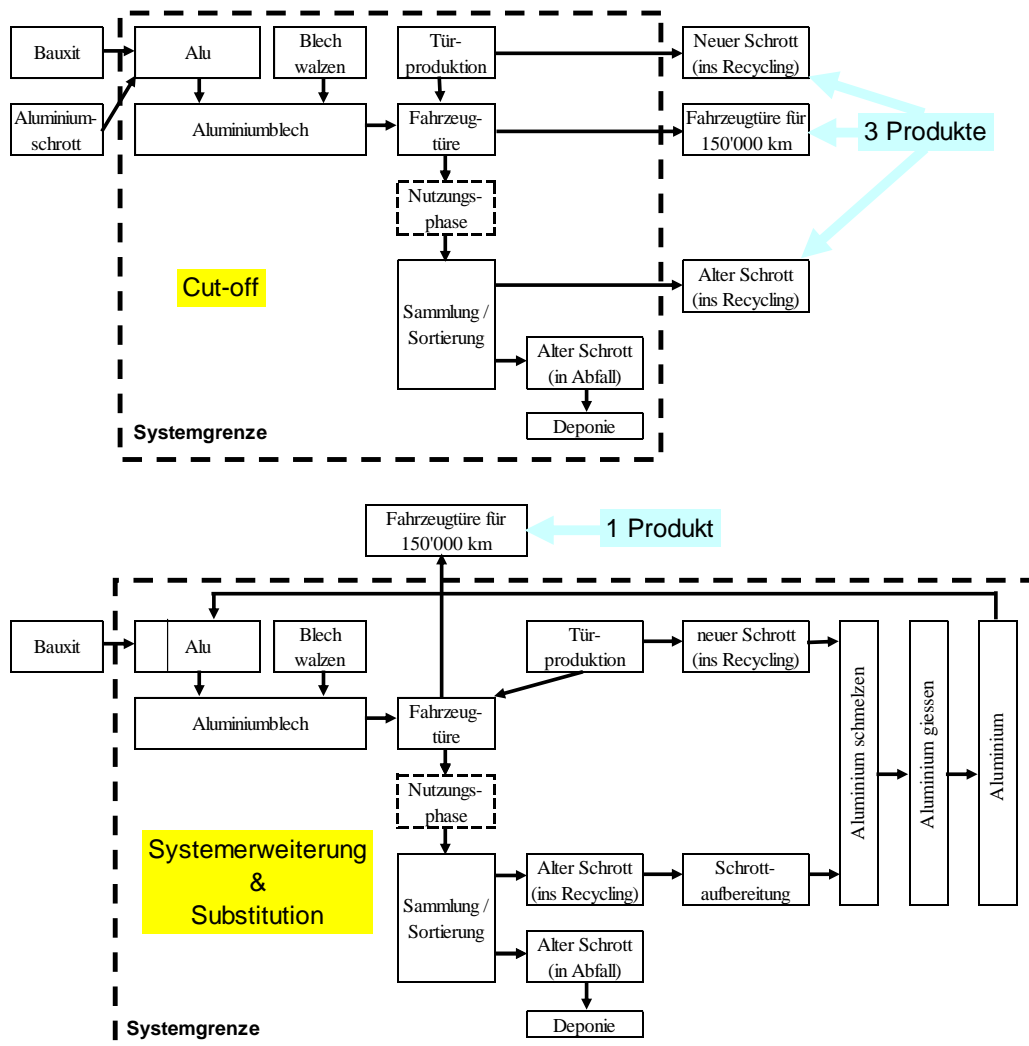


Abbildung 2 Vermeiden von Allokation durch Systemerweiterung und Substitution.

### 3.8 Wirkungsabschätzung

ISO 14'044 verlangt, dass die Kategorien der Wirkungsabschätzung in Übereinstimmung mit dem Ziel und Untersuchungsrahmen der LCA sind und dass sie „einen umfassenden Satz von mit dem zu untersuchenden Produktsystem verbundenen Umweltthemen widerspiegeln“. Die meist diskutierten Umweltthemen im Zusammenhang mit Mobilität sind sicher die Klimaerwärmung, der Verbrauch an endlichen Ressourcen für die Energiebereitstellung, die Ozonbelastung (Sommersmog) und die Emissionen von Feinstaub mit deren toxischer Wirkung. Entsprechend beinhaltet die Wirkungsabschätzung den Treibhauseffekt, den kumulierten Energieaufwand aus fossilen Quellen, das photochemische Oxidationspotenzial (Sommersmog) sowie das Humantoxizitätspotenzial. Da ein Vergleich von elektrischer Mobilität mit konventioneller Mobilität gemacht wird, müssen natürlich auch die kritischsten Themen für Batteriefahrzeuge abgedeckt werden. Diese sind einerseits die Nutzung von knappen Ressourcen, namentlich von seltenen

Metallen, und andererseits die Strombereitstellung. Die Nutzung knapper Ressourcen wird durch den kumulierten Exergiebedarf für Metalle und Mineralien bewertet. Um die relevanten Umweltthemen im Zusammenhang mit der nuklearen Stromerzeugung zu berücksichtigen, werden für die Bewertung auch der kumulierte Energiebedarf nuklear und die Menge an radioaktiven Abfällen ausgewiesen.

Um auch die relevanten Umweltaspekte der Biotreibstoffproduktion abzubilden, werden zudem die Landnutzung und die Überdüngung berücksichtigt.

Neben diesen sogenannten „Midpoint-Indikatoren“ werden zusätzlich die drei „Endpoint-Indikatoren“ der Ecoindicator-99-Methode angegeben. Diese Methode modelliert via Midpoint-Ergebnissen weiter bis zu Indikatoren für Schäden an drei sogenannten „Schutzgütern“, die als zugänglicher gelten als die etwas abstrakten Midpoints und darum für die Kommunikation ausserhalb der Ökobilanzgemeinschaft von Vorteil sein können. Es ist aber zu beachten, dass die Endpoint-Indikatoren im Prinzip die gleichen Umweltthemen abdecken wie die Midpoint-Indikatoren, was bei der Interpretation zu berücksichtigen ist.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über alle verwendeten Methoden.

Midpoint-Indikatoren	Abkürzung	Quelle	Endpoint-Indikatoren: Ecoindicator 99 (H)
Treibhauseffekt	GWP 100	IPCC 2007	Schaden an menschlicher Gesundheit (EI99 HH)
Humantoxizitätspotenzial	HTP inf.	CML 01	
Photochemische Oxidation (Sommersmogpotenzial)	POCP (high NOx)	CML 01	
Landnutzung	LUC	CML 01	Schaden an Ökosystemqualität (EI99 EQ)
Überdüngung	EP	CML 01	
Kumulierter Energieaufwand fossil	CED fossil	ecoinvent v2	Schaden an Ressourcenqualität (EI99 RQ)
Kumulierter Energieaufwand nuklear	CED nuklear	ecoinvent v2	
Kumulierter Exergieaufwand, Metalle	CExD-Metalle	Boesch 2007 <sup>10</sup>	
Kumulierter Exergieaufwand, Mineralien	CExD- Mineralien	Boesch 2007	
Radioaktive Abfälle		Inventar	

**Tabelle 3      Verwendete Methoden der Wirkungsabschätzung.**

Um die relativ abstrakten CML Indikatoren einfacher zugänglich zu machen, werden diese normiert angegeben. Es werden die Faktoren aus Simapro für Westeuropa 1995 verwendet (siehe Tabelle 4). GWP, Energie- und Exergieindikatoren sowie die Ecoindicator-99-H-Werte werden nicht normiert, da bei diesen Indikatoren die absoluten Werte eher einen Bezug zulassen, als die normierten Werte das würden. Die Ecoindicator 99 H werden zudem nicht gewichtet angegeben, da ISO 14'044 eine Gewichtung bei der Wirkungsabschätzung ausdrücklich verbietet. Die Methoden schlagen eine Normierung und Gewichtung der Indikatoren mit den Faktoren in Tabelle 4 vor.

<sup>10</sup> Boesch M.E., Hellweg S., Huijbregts M.A.J., Frischknecht R. (2007) Applying Cumulative Exergy Demand (CExD) Indicators to the ecoinvent Database. In: Int J LCA, 12 (3), pp. 181-190.

Zusätzlich werden die dissipativen Verluste durch die Fahrzeuge (ohne Betrieb) an einigen kritischen mineralischen Ressourcen (Kupfer, Lithium, Nickel, Kobalt, Gold, Silber und Platin-Gruppen-Metalle (PGM) abgeschätzt. Die Hintergrunddaten aus ecoinvent führen durch die cut-off-Modellierung für End-of-Life- (EOL)-Recycling bei den genannten Metallen ausser bei Lithium (das in den Hintergrunddaten nicht verwendet wird) zu einer Überschätzung der dissipativen Verluste. Wie bedeutend dieser Effekt ist, kann im Rahmen dieser Studie nicht bestimmt werden, da dafür die Modellierung aller Hintergrundprozesse angepasst werden müsste. Für den Betrieb der Fahrzeuge jedenfalls ergäbe die Auswertung der dissipativen Verluste sicher keine sinnvollen Ergebnisse.

CML-01-Midpoint	Normierung	Gewichtung
HTP inf.	5.32E-12	keine
POCP (high NOx)	5.49E-9	keine
LUC	3.29E-11	keine
EP	1.99E-9	keine
Ecoindicator-99-(H)-Endpoint	Normierung	Gewichtung
Schaden an menschlicher Gesundheit	65.1	400
Schaden an Ökosystem Qualität	1.95E-04	400
Schaden an Ressourcen Qualität	1.19E-04	200

**Tabelle 4** Normierungs- und Gewichtungsfaktoren der CML-01- und der Ecoindicator-99-(H/A)-Methode<sup>11</sup>.

### 3.9 Kritische Prüfung

Da die Studie unterschiedliche Mobilitätsformen vergleicht und extern kommuniziert werden soll, muss gemäss ISO 14'040 / 14'044 eine unabhängige kritische Prüfung erfolgen. Diese wird, um jede Möglichkeit der Einflussnahme der Studienersteller auf die kritische Prüfung auszuschliessen, direkt von der Axpo Holding AG in Auftrag gegeben.

### 3.10 Dokumentation

Die Modelle und Resultate werden in einem ausführlichen Bericht beschrieben und dargestellt und in einer Powerpoint-Präsentation vorgestellt. Die LCI-Modelle werden dem Auftraggeber zudem als Simapro Datensätze bereitgestellt, damit er diese weiter verwenden kann.

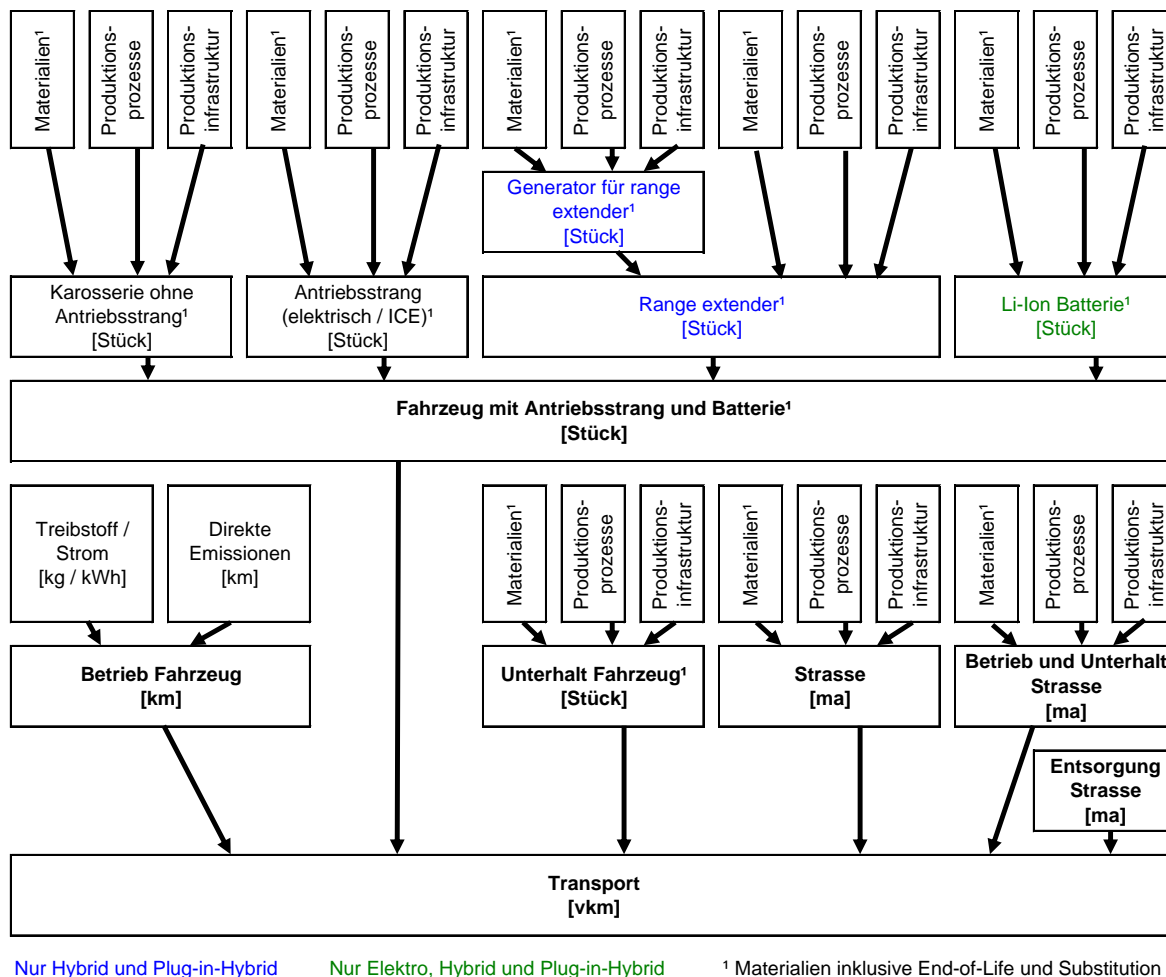
<sup>11</sup> Um zu den Single-Score-Ergebnissen zu gelangen, müsste also der Schaden an der menschlichen Gesundheit mit  $65.1 \cdot 400$  multipliziert werden. Dazu müsste der Schaden an Ökosystem Qualität multipliziert mit  $1.95E-4 \cdot 400$  sowie der Schaden an Ressourcen Qualität multipliziert mit  $1.19E-4 \cdot 200$  addiert werden.

## 4 Sachbilanzen

Die Details zu allen Datensätzen sind in Anhang 2 zu finden.

### 4.1 Transporte, pro Fahrzeugkilometer

Abbildung 3 zeigt den prinzipiellen Aufbau und die Zusammenhänge der Einheitsprozesse des Vordergrundsystems.



**Abbildung 3** Aufbau und Verknüpfung der Einheitsprozesse im Vordergrundsystem.

Für diese Untersuchung wurden die Transportdatensätze sowie die Betriebsdatensätze gemäss Tabelle 5 erstellt. Datensätze mit einem „#“ oder „##“ am Anfang des Namens wurden für diese Studie erstellt und sind in Anhang 2 zu finden. Die anderen Datensätze stammen aus ecoinvent. Die nachgefragten Mengen an Betrieb, Fahrzeug etc. sind für alle Transportdatensätze identisch und in der ersten Zeile der Tabelle angegeben. Die Werte für die Strasse wurden aus dem ecoinvent Datensatz „transport, passenger car, petrol, EURO4, CH, [pkm]“ (#6589) durch Umrechnung von Personenkilometer auf Fahrzeugkilometer berechnet. Die Werte für Fahrzeug und Fahrzeugunterhalt wurden berechnet aus der totalen Distanz, die ein Fahrzeug in seinem Leben fährt (150'000 km gemäss Annahmen).

Im Weiteren werden die darin angegebenen Akronyme verwendet, um die Transportdatensätze zu bezeichnen.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

Transport, pro Fahrzeugkilometer [vkm]			Betrieb Fahrzeug	Fahrzeug	Fahrzeug- unterhalt	Strasse	Entsorgung Strasse	Betrieb und Unterhalt Strasse
Akronym	Datensatzname in Simapro	1 km	6.662E-6 Stück	6.662E-6 Stück	6.932E-4 m*a	6.932E-4 m*a	1.175E-5 m*a	
Elektrisch	CH-PV	## Transport, passenger car, electric, CH-PV, substitution/km/CH U	# Operation, electric car, CH-PV/CH U	## Passenger car with electric drivetrain and Lilon battery, incl. EOL and substitution /RER U	## Maintenance, passenger car Electric, incl. EOL and substitution /RER U			
	UCTE-Gas	## Transport, passenger car, electric, UCTE-natural gas, substitution/km/CH U	# Operation, electric car, UCTE-natural gas BAT/CH U					
	UCTE-Kohle	## Transport, passenger car, electric, UCTE-coal, substitution/km/CH U	# Operation, electric car, UCTE-hard coal/CH U					
	CH-KKW	## Transport, passenger car, electric, CH-nuclear, substitution/km/CH U	# Operation, electric car, CH-nuclear/CH U					
	CH-Mix	## Transport, passenger car, electric, CH-grid-mix, substitution/km/CH U	# Operation, electric car, CH-grid-mix/CH U					
	UCTE-Mix	## Transport, passenger car, electric, UCTE-mix, substitution/km/CH U	# Operation, electric car, UCTE-mix/CH U					
(Plug-in) Hybrid	Plug-in (95/05 CH mix/Benzin)	## Transport, passenger car, plug-in hybrid, 95/05 CH-mix, petrol, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, plug-in hybrid car, 95/05 CH-grid-mix, petrol, 2015, EURO5/CH U	## Passenger car with electric drivetrain, Lilon battery and ICE range extender, substitution/RER U	## Maintenance, passenger car, incl. EOL and substitution /RER U	Road/CH/I U	Disposal, road/RER/I U	Operation, maintenance, road/CH/I U
	Plug-in (80/20 CH mix/Benzin)	## Transport, passenger car, plug-in hybrid, 80/20 CH-mix, petrol, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, plug-in hybrid car, 80/20 CH-grid-mix, petrol, 2015, EURO5/CH U					
	Plug-in (50/50 CH mix/Benzin)	## Transport, passenger car, plug-in hybrid, 50/50 CH-mix, petrol, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, plug-in hybrid car, 50/50 CH-grid-mix, petrol, 2015, EURO5/CH U					
	Benzin	## Transport, passenger car, hybrid petrol, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, passenger car, hybrid petrol, 2015, EURO5/CH U					
ICE Biotreibstoff	Biogas	## Transport, passenger car, kompogas, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, passenger car, kompogas, 2015, EURO5/CH U	## Passenger car with ICE drivetrain, incl. EOL and substitution /RER U	## Maintenance, passenger car, incl. EOL and substitution /RER U			
	Palm Methyl Ester	## Transport, passenger car, 100% Palm Methyl Ester MY, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, passenger car, 100% Palm Methyl Ester MY, 2015, EURO5/CH U					
	E85 Altholz	## Transport, passenger car, E85 wood waste CH, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, passenger car, E85 wood waste CH, 2015, EURO5/CH U					
	E85 Zuckerrohr	## Transport, passenger car, E85 sugar cane BR, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, passenger car, E85 sugar cane BR, 2015, EURO5/CH U					
ICE Fossil	Gas	## Transport, passenger car, natural gas, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, passenger car, natural gas, 2015, EURO5/CH U	## Passenger car with ICE drivetrain, incl. EOL and substitution /RER U	## Maintenance, passenger car, incl. EOL and substitution /RER U			
	Diesel	## Transport, passenger car, diesel, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, passenger car, diesel, 2015, EURO5/CH U					
	Benzin	## Transport, passenger car, petrol, 2015, EURO5, substitution/km/CH U	# Operation, passenger car, petrol, 2015, EURO5/CH U					

**Tabelle 5** Transportdatensätze mit den zugehörigen vorgelagerten Prozessen.



## 4.2 Betrieb Fahrzeug, pro Fahrzeugkilometer

Der Treibstoff- bzw. Strombedarf für den Betrieb der Fahrzeuge ist in Tabelle 6 ausgewiesen. Dort sind auch die verwendeten Emissionsstandards angegeben.

Antriebssystem / Energieträger	Elektrisch	Plug-in-Hybrid	Hybrid	ICE
Strom <sup>1</sup>	20 kWh/100km 0.72 MJ/km	Mix CH (80%) 16 kWh/100km 0.58 MJ/km	-	-
Diesel	-	-	-	Euro 5 4.9 l/100km 1.76 MJ/km
Benzin	-	Hybrid (20%) 0.98 l/100km 0.31 MJ/km	Euro 5 4.9 l/100km 1.56 MJ/km	Euro 5 6.8 l/100km 2.17 MJ/km
Erdgas	-	-	-	Euro 5 6.3 m <sup>3</sup> /100km 2.17 MJ/km
Palmmethylester PME (Malaysia)	-	-	-	Euro 5 5.44 l/100km 1.76 MJ/km
E85 aus Zuckerrohr <sup>2</sup> (Brasilien)	-	-	-	Euro 5 8.07 l/100km 2.17 MJ/km
Biogas (Schweizer Kompogas)	-	-	-	Euro 5 6.3 m <sup>3</sup> /100km 2.17 MJ/km

<sup>1</sup>: 6 Varianten (Mix CH, Mix UCTE, KKW CH, Gas-Kombi UCTE, Kohle UCTE, PV CH)

<sup>2</sup>: Alternativ E85 aus europäischen Holzabfällen

Strombedarf Elektrofahrzeug: Berechnet aus mechanischem Energiebedarf im NEFZ und Wirkungsgrad des Antriebssystems (82.5% inkl. Rekuperieren) unter Berücksichtigung von Mehrverbrauch in realen Fahrsituationen mit Nebenverbrauchern. Details in Tabelle 7

Treibstoffbedarf Hybrid: Berechnet auf Basis Toyota Prius III (Modell 2010: 3.9 l/100 km im NEFZ) für ein virtuelles VW-Golf-Hybridfahrzeug unter Berücksichtigung von Mehrverbrauch in realen Fahrsituationen mit Nebenverbrauchern. Details in Tabelle 8

Treibstoffbedarf ICE: Energiebedarf berechnet aus Benzin- / Dieselbedarf des VW Golf VI Blue Motion (Benzin: 5.2 l/100km ; Diesel: 3.8 l/100km im NEFZ) unter Berücksichtigung von Mehrverbrauch in realen Fahrsituationen mit Nebenverbrauchern. Details in Tabelle 9; Bedarf an alternativen Treibstoffen gemäss Energiebedarf des Fahrzeuges und Heizwert des Treibstoffes.

**Tabelle 6 Treibstoff- bzw. Strombedarf und Bereitstellung sowie Emissionsstandards der Fahrzeuge.**

#### 4.2.1 Elektrofahrzeug

Der Energiebedarf des Elektrofahrzeuges wurde berechnet aus der theoretisch nötigen Energie für die Bewegung des hypothetischen Fahrzeuges auf Basis eines VW Golf im Neuen Europäischen Fahr-Zyklus (NEFZ) (12.1 kWh<sup>12</sup>) sowie eines Wirkungsgrades von 80% für das ganze System inklusive Laden. Im Innerortsteil des NEFZ wird wegen des Rekuperierens ein um 5% höherer Wirkungsgrad angesetzt. Um zu berücksichtigen, dass der NEFZ-Verbrauch aufgrund seiner kleinen Beschleunigungen ( $dv/dt \leq 1 \text{ m/s}^2$ , das entspricht z.B. 26 Sekunden für 0 bis 50 km/h) und der tiefen Geschwindigkeiten (Durchschnittlich 33.6 km/h) deutlich tiefer liegt als der Verbrauch in einer realen Fahrsituation, wird der so errechnete Wert um 15% erhöht. Zudem werden zusätzliche Stromverbraucher wie Heizung, Klimaanlage, Licht, Radio etc. dazugerechnet. So ergibt sich ein effektiver Bedarf von aufgerundeten 20 kWh/100 km. Die zugrunde liegenden Daten und Quellen sind in Tabelle 7 zu finden. Die Datensätze zum Betrieb der elektrischen Fahrzeuge fragen neben dem benötigten Strom den Datensatz „# Non-Exhaust emissions electric passenger car U“ nach. Darin sind die Emissionen vom Reifen-, Brems- und Strassenabrieb auf Basis des ecoinvent Datensatzes „transport, passenger car, petrol, EURO5, CH, [pkm] (#6561)“ abgebildet, wobei berücksichtigt wird, dass durch Rekuperation die Bremsemissionen deutlich reduziert werden. In dieser Studie gehen wir von einer Reduktion der Bremsemission um 90% aus. Diese Zahl basiert auf Aussagen von Nutzern von Elektrofahrzeugen, die angeben, dass sie im Alltag praktisch nur bei sehr langsamer Fahrt bremsen und sonst die Rekuperation nutzen.

#### 4.2.2 Hybridfahrzeug

Das Hybridfahrzeug wird mit Euro-5-Emissionsstandard modelliert. Der Energiebedarf des Hybridfahrzeuges wurde wie folgt berechnet: Aufgrund der Fahrzeugparameter und der Angaben für den Normverbrauch (NEFZ) des Toyota Prius III (Modell 2010) wurde der Wirkungsgrad des Prius im NEFZ berechnet. Mit diesem Wirkungsgrad und den Fahrzeugparametern eines hypothetischen VW Golf Hybrids wurde dessen NEFZ-Verbrauch berechnet. Der liegt etwas unter dem Verbrauch des Prius, vor allem weil der Golf deutlich leichter wäre. Auf diesen Verbrauch wurde für den höheren mechanischen Energiebedarf im Alltagsbetrieb ein Mehrverbrauch von 8% angenommen. Ausserdem wurde ein Mehrverbrauch für die Nebenverbraucher berücksichtigt. Die dieser Rechnung zugrunde liegenden Daten und Quellen sind in Tabelle 8 zu finden. Die CO<sub>2</sub>-Emission wurde entsprechend dem Benzinbedarf angepasst, die Emissionen aus der Treibstoffverbrennung wurden unverändert vom ecoinvent v2.01 Datensatz „operation, passenger car, petrol, EURO5, CH, [km] (#6561)“ übernommen. Die Emissionen aus Strassen- und Reifenabrieb wurden ebenfalls von diesem Datensatz übernommen, während die Daten für Bremsabrieb von dem ecoinvent Datensatz auf 10% reduziert wurden, um zu berücksichtigen, dass dank der Rekuperation weniger gebremst werden muss (analog zum Elektrofahrzeug).

---

<sup>12</sup> Würde von einem VW Polo TDI Blue Motion ausgegangen, hätte das Elektrofahrzeug eine Masse von ca. 1310 kg und einen Energiebedarf am Rad von knapp 11 kWh.

NEFZ Verbrauch		Golf VI Elektro	
Wirkungsgrad Batterie laden	96%		S. Campanari et al. (2009) Energy analysis of electric vehicles using batteries or fuel cells through well-to-wheel driving cycle simulations. Journal of Power Sources 186 (2009) 464–477
Wirkungsgrad Batterie entladen	96%		
Wirkungsgrad Controller DC/AC	97%		
Wirkungsgrad Elektromotor / Generator	92%		
Wirkungsgrad Transmission und Differential	98%		
Energieeinsparung Aufgrund von Rekuperation <sup>1</sup>	8.6%		
Wirkungsgrad Total Steckdose - Rad (ohne Rekuperation)	81%		Berechnet aus Wirkungsgraden der Komponenten
Luftwiderstandsbeiwert cw	0.31		Datenblatt VW
Stirnfläche A	2.22 m <sup>2</sup>		Datenblatt VW
Masse m	1484 kg		Masse Golf VI Benzin (Datenblatt VW) -150 kg für leichteren Antriebsstrang +400 kg Batterie
Rollreibungsbeiwert der Räder	0.01		Annahme
NEFZ innerorts	Antriebsarbeit am Rad	10.86 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	85%	Schätzung auf Basis von Batterie- und Antriebsstrangwirkungsgraden und Rekuperation.
NEFZ ausserorts	Antriebsarbeit am Rad	12.88 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	80%	Schätzung auf Basis von Batterie- und Antriebsstrangwirkungsgraden
NEFZ gesamt	Antriebsarbeit am Rad	12.13 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	82.2%	Berechnung auf Basis von Wirkungsgrad Innerorts, Wirkungsgrad Ausserorts und NEFZ-Profil.
Verbrauch NEFZ innerorts	12.8 kWh/100km		Berechnung auf Basis von Antriebsarbeit und Wirkungsgrad
Verbrauch NEFZ ausserorts	16.1 kWh/100km		Berechnung auf Basis von Antriebsarbeit und Wirkungsgrad
<b>Verbrauch NEFZ gesamt</b>	<b>14.8 kWh/100km</b>		Berechnung auf Basis von Antriebsarbeit und Wirkungsgrad
<b>Nebenverbraucher, Leistung</b>			
Heizen	3 kW		Schätzung, basierend auf <a href="http://www.cebi.com/cebi/content/index_html?a=8&amp;b=152&amp;c=221&amp;d=&amp;docID=154&amp;info=1">http://www.cebi.com/cebi/content/index_html?a=8&amp;b=152&amp;c=221&amp;d=&amp;docID=154&amp;info=1</a>
Klimaanlage	0.6 kW		Schätzung, basierend auf <a href="http://www.masterflux.com/products/sierra/">http://www.masterflux.com/products/sierra/</a>
Licht, Scheibenwischer, Lüftung, Radio, Navi, ...	0.5 kW		Schätzung, basierend auf Vorlesungsskript M.K. Eberle 1994, Energieische und ökologische Aspekte des Individualverkehrs
<b>Nebenverbraucher, Energie</b>			
Durchschnittliche Geschwindigkeit	50 km/h		Schätzung. Wird benötigt für die Umrechnung von Betriebszeit der Nebenverbraucher auf die zurückgelegte Distanz
Heizen	2 kWh/100km		Berechnet aus Leistung und Annahme, dass während 4 Monaten pro Jahr voll geheizt wird
Klimaanlage	0.4 kWh/100km		Berechnet aus Leistung und Annahme, dass während 4 Monaten pro Jahr voll gekühlt wird
Licht, Scheibenwischer, Lüftung, Radio, Navi, ...	0.33 kWh/100km		Berechnet aus Leistung und Annahme, dass jeder dieser Verbraucher während 33% der Fahrten in Betrieb ist
<b>Total Nebenverbraucher</b>	<b>2.7 kWh/100km</b>		
<b>Totaler Energiebedarf real</b>			
Realsituationszuschlag zu NEFZ <sup>3</sup>	15%		Schätzung, basierend auf U. Höpfner et al. (2009) Abwrackprämie und Umwelt - eine erste Bilanz. IFEU, Heidelberg
Antriebsenergiebedarf real	<b>17.0 kWh/100km</b>		Berechnung aus NEFZ-Verbrauch und Realsituationszuschlag
<b>Totaler Energiebedarf real</b>	<b>19.8 kWh/100km</b>		Berechnung aus Realverbrauch Antrieb und Total Nebenverbraucher

<sup>1</sup> 10% nach: U. Bossel, Efficiency of Hydrogen Fuel Cell, Diesel-SOFC-Hybrid and Battery Electric Vehicles, European Fuel Cell Forum, October 2003.

<sup>2</sup> Guzzella, L. Sciarretta, A. (2007) Vehicle Propulsion systems; Introduction to Modeling and Optimization. Springer|SBN: 978-3-540-74691-1

<sup>3</sup> Höher als für ICE-Fahrzeuge, da bei ICE-Fahrzeugen der Wirkungsgrad mit steigendem Motorenleistungsbedarf steigt, bei Elektrofahrzeugen jedoch konstant bleibt

**Tabelle 7 Berechnung des Strombedarfs des Elektrofahrzeuges.**

### 4.2.3 Plug-in-Hybridfahrzeug

Der Plug-in-Hybrid wird als eine Mischung aus Hybrid- und Elektrofahrzeug betrachtet. Mit seiner Batteriereichweite von ca. 50 km könnten theoretisch die meisten Autofahrten in der Schweiz<sup>13</sup> ohne Zuhilfenahme des Benzinmotors erfolgen. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Batterien eines Plug-in-Hybrids nicht nach jeder Etappe aufgeladen werden könnten. In der Studie wird von 80% Netzstrom und 20% on-board-Erzeugung mit dem Benzinmotor ausgegangen.

<sup>13</sup> 67% der Fahrten sind kürzer als 10 km (Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumentwicklung (2007), Mobilität in der Schweiz, Ergebnisse des Mikrozensus 2005 zum Verkehrsverhalten, Neuchatel, Bern)

NEFZ Verbrauch		Golf VI Hybrid	Toyota Prius III	
Treibstoff		Benzin	Benzin	
Luftwiderstandsbeiwert cw		0.31	0.25	Datenblatt VW / Toyota
Stirnfläche A		2.22 m <sup>2</sup>	2.16	Datenblatt VW / Toyota
Masse m		1284 kg	1460	Golf: Masse Golf VI Benzin (Datenblatt VW) -50 kg für leichteren Antriebsstrang +100 kg Batterie Prius: Datenblatt Toyota
Rollreibungsbeiwert der Räder		0.01	0.01	Annahme
NEFZ innerorts	Antriebsarbeit am Rad	9.5 kWh/100km	10.5 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	30.4%	30.4%	Prius: Berechnung auf Basis von NEFZ-Verbrauch und Antriebsarbeit am Rad Golf: übernommen von Prius
NEFZ ausserorts	Antriebsarbeit am Rad	11.8 kWh/100km	11.6 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	35.7%	35.7%	Prius: Berechnung auf Basis von NEFZ-Verbrauch und Antriebsarbeit am Rad Golf: übernommen von Prius
NEFZ gesamt	Antriebsarbeit am Rad	11.0 kWh/100km	11.2 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	32.6%	32.6%	Prius: Berechnung auf Basis von NEFZ-Verbrauch und Antriebsarbeit am Rad Golf: übernommen von Prius
Verbrauch NEFZ innerorts		3.5 l/100km	3.9 l/100km	Prius: Datenblatt Toyota
Verbrauch NEFZ ausserorts		3.8 l/100km	3.7 l/100km	Golf: Berechnet aus Antriebsarbeit am Rad Golf und Wirkungsgrad Prius
<b>Verbrauch NEFZ gesamt</b>		<b>3.8 l/100km</b>	<b>3.9 l/100km</b>	
<b>Nebenverbraucher, Leistung</b>				
Licht, Scheibenwischer, Lüftung, Radio, Navi, ...		0.5 kW	0.5 kW	Schätzung, basierend auf Vorlesungsskript M.K. Eberle 1994, Energieische und ökologische Aspekte des Individualverkehrs
<b>Nebenverbraucher, Energie</b>				
Durchschnittliche Geschwindigkeit		50 km/h	50 km/h	Schätzung. Wird benötigt für die Umrechnung von Betriebszeit der Nebenverbraucher auf die zurückgelegte Distanz
Energieinhalt Treibstoff		8.85 kWh/l	8.85 kWh/l	
Treibstoffbedarf für Stromerzeugung		0.377 l/kWh	0.377 l/kWh	Abschätzung aus Wirkungsgrad Motor und Wirkungsgrad Generator (92%) sowie Energieinhalt Treibstoff
Heizen		-	-	Abwärme
Klimaanlage		0.687 l/100km	0.687 l/100km	Dieselmehrverbrauch aus Messung der Empa (Aussentemperatur 23 °C, Artemiszyklus, 1/3 Stadt, 1/3 Land, 1/3 Autobahn). Benzin umgerechnet über Unterschied in Treibstoffenergieinhalt und Motorwirkungsgrad. Empa Research Report Nr. 2032701
Licht, Scheibenwischer, Lüftung, Radio, Navi, ...		0.126 l/100km	0.126 l/100km	Berechnet aus Leistung, Wirkungsgrad Stromerzeugung und Annahme, dass jeder dieser Verbraucher während 33% der Fahrten in Betrieb ist
<b>Total Nebenverbraucher</b>		<b>0.8 l/100km</b>	<b>0.8 l/100km</b>	
<b>Totaler Energiebedarf real</b>				
Realsituationszuschlag zu NEFZ		8%	8%	Schätzung, basierend auf U. Höpfner et al. (2009) Abwrackprämie und Umwelt - eine erste Bilanz. IFEU, Heidelberg. 5% weniger als Benzin aufgrund von Rekuperation
Antriebsenergiebedarf real		<b>4.1 l/100km</b>	<b>4.2 l/100km</b>	Berechnung aus NEFZ-Verbrauch und Realsituationszuschlag
<b>Totaler Energiebedarf real<sup>2</sup></b>		<b>4.9 l/100km</b>	<b>5.0 l/100km</b>	Berechnung aus Realverbrauch Antrieb und Total Nebenverbraucher

<sup>1</sup> Guzzella, L. Sciarretta, A. (2007) Vehicle Propulsion systems; Introduction to Modeling and Optimization. Springer ISBN: 978-3-540-74691-1

<sup>2</sup> Testverbrauch Toyota Prius III:	5.2 l/100km	<a href="http://www.autobild.de/artikel/test-toyota-prius-iii_954655.html">http://www.autobild.de/artikel/test-toyota-prius-iii_954655.html</a>
	5.9 l/100km	<a href="http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/kompaktklasse-der-toyota-prius-iii-hat-den-geringsten-co2-ausstoss-1484608.html">http://www.auto-motor-und-sport.de/eco/kompaktklasse-der-toyota-prius-iii-hat-den-geringsten-co2-ausstoss-1484608.html</a>
	5.6 l/100km	<a href="http://www.auto-motor-und-sport.de/vergleichstest/honda-insight-und-toyota-prius-im-vergleichstest-1417385.html">http://www.auto-motor-und-sport.de/vergleichstest/honda-insight-und-toyota-prius-im-vergleichstest-1417385.html</a>
	4.5 l/100km	<a href="http://www.autobild.de/artikel/test-toyota-prius-iii_924428.html">http://www.autobild.de/artikel/test-toyota-prius-iii_924428.html</a>
	5.1 l/100km	<a href="http://www.autobild.de/artikel/vergleich-vw-golf-blueemotion-gegen-toyota-prius_1018725.html">http://www.autobild.de/artikel/vergleich-vw-golf-blueemotion-gegen-toyota-prius_1018725.html</a>

**Tabelle 8 Berechnung des Treibstoffbedarfs des virtuellen VW Golf Hybridfahrzeugs. Zum Vergleich Messwerte aus Praxistests des Toyota Prius III.**

#### 4.2.4 Benzin- und Dieselfahrzeug

Verbrauch und Emissionen der ICE-Fahrzeuge basieren auf den Benzin- und Dieselmotoren des VW Golf IV Blue Motion mit Euro-5-Standard. Die Blue-Motion-Modelle sind auf sparsamen Verbrauch optimiert und zählen heute zu den sparsamsten Fahrzeugen ihrer Klasse. Der Energiebedarf basiert auf den Messwerten im NEFZ, zuzüglich eines Mehrverbrauchs für höheren mechanischen Energiebedarf im Alltagsverkehr sowie eines Zuschlages für wichtige Nebenverbraucher. Die dieser Rechnung zugrunde liegenden Daten und Quellen sind in Tabelle 9 zu finden.

NEFZ Verbrauch		Golf VI 1.2 TSi BM	Golf VI 1.6 TDi BM	
Treibstoff		Benzin	Diesel	
Luftwiderstandsbeiwert cw		0.31	0.31	Datenblatt VW
Stirnfläche A		2.22 m <sup>2</sup>	2.22 m <sup>2</sup>	Datenblatt VW
Masse m		1234 kg	1314 kg	Datenblatt VW
Rollreibungsbeiwert der Räder		0.01	0.01	Annahme
NEFZ innerorts	Antriebsarbeit am Rad	9.2 kWh/100km	9.7 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	16.0%	20.6%	Berechnung auf Basis von NEFZ-Verbrauch und Antriebsarbeit am Rad
NEFZ ausserorts	Antriebsarbeit am Rad	11.6 kWh/100km	12.0 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	29.2%	35.2%	Berechnung auf Basis von NEFZ Verbrauch und Antriebsarbeit am Rad
NEFZ gesamt	Antriebsarbeit am Rad	10.7 kWh/100km	11.2 kWh/100km	Berechnung auf Basis von cw, A, m, Rollreibbeiwert und NEFZ-Parameter <sup>1</sup>
	mittl. Wirkungsgrad TTW	23.3%	29.3%	Berechnung auf Basis von NEFZ-Verbrauch und Antriebsarbeit am Rad
Verbrauch NEFZ innerorts		6.5 l/100km	4.7 l/100km	Datenblatt VW
Verbrauch NEFZ ausserorts		4.5 l/100km	3.4 l/100km	Datenblatt VW
<b>Verbrauch NEFZ gesamt</b>		<b>5.2 l/100km</b>	<b>3.8 l/100km</b>	Datenblatt VW
<b>Nebenverbraucher, Leistung</b>				
Licht, Scheibenwischer, Lüftung, Radio, Navi, ...		0.5 kW	0.5 kW	Schätzung, basierend auf Vorlesungsskript M.K. Eberle 1994, Energieische und ökologische Aspekte des Individualverkehrs
<b>Nebenverbraucher, Energie</b>				
Durchschnittliche Geschwindigkeit		50 km/h	50 km/h	Schätzung. Wird benötigt für die Umrechnung von Betriebszeit der Nebenverbraucher auf die zurückgelegte Distanz
Energieinhalt Treibstoff		8.85 kWh/l	9.99 kWh/l	
Treibstoffbedarf für Stromerzeugung		0.606 l/kWh	0.428 l/kWh	Abschätzung aus Wirkungsgrad Motor und Wirkungsgrad Generator (80%) sowie Energieinhalt Treibstoff
Heizen		0.000 l/100km	0.000 l/100km	Abwärme
Klimaanlage		0.687 l/100km	0.485 l/100km	Dieselmehrverbrauch aus Messung der Empa (Aussentemperatur 23 °C, ArtemisZyklus, 1/3 Stadt, 1/3 Land, 1/3 Autobahn). Benzin umgerechnet über Unterschied in Treibstoffenergieinhalt und Motorwirkungsgrad. Empa Research Report Nr. 2032701
Licht, Scheibenwischer, Lüftung, Radio, Navi, ...		0.200 l/100km	0.141 l/100km	Berechnet aus Leistung, Wirkungsgrad Stromerzeugung und Annahme, dass jeder dieser Verbraucher während 33% der Fahrten in Betrieb ist
<b>Total Nebenverbraucher</b>		<b>0.9 l/100km</b>	<b>0.6 l/100km</b>	
<b>Totaler Energiebedarf real</b>				
Realsituationszuschlag zu NEFZ <sup>2</sup>		13%	13%	Schätzung aus U. Höpfner et al. (2009) Abwrackprämie und Umwelt - eine erste Bilanz. IFEU, Heidelberg
Antriebsenergiebedarf real		<b>5.9 l/100km</b>	<b>4.3 l/100km</b>	Berechnung aus NEFZ-Verbrauch und Realsituationszuschlag
<b>Totaler Energiebedarf real<sup>3</sup></b>		<b>6.8 l/100km</b>	<b>4.9 l/100km</b>	Berechnung aus Realverbrauch Antrieb und Total Nebenverbraucher

<sup>1</sup> Guzzella, L. Sciarretta, A. (2007) Vehicle Propulsion systems; Introduction to Modeling and Optimization. Springer ISBN: 978-3-540-74691-1

<sup>2</sup> Gemäss Tests von "Autobild" kann der Testverbrauch je nach Fahrzeug bis zu 50% über den Werksangaben liegen.  
[http://www.autobild.de/artikel/verbrauchswerte-auf-dem-pruefstand\\_444828.html](http://www.autobild.de/artikel/verbrauchswerte-auf-dem-pruefstand_444828.html)

<sup>3</sup> Testverbrauch Golf 1.6 TDi BM:	5.0 l/100km	<a href="http://www.autobild.de/artikel/vergleich-vw-golf-bluemotion-gegen-toyota-prius_1018725.html">http://www.autobild.de/artikel/vergleich-vw-golf-bluemotion-gegen-toyota-prius_1018725.html</a>
	> 5 l/100km	ADAC autotest, M. Ruhdorfer, Dez. 2009
	5.3 l/100km	<a href="https://www.volkswagen.de/etc/medialib/vwcms/virtualmaster/de/Models/golf0/golf_6/media.Par.0057.File.pdf/ams_261209_058.pdf">https://www.volkswagen.de/etc/medialib/vwcms/virtualmaster/de/Models/golf0/golf_6/media.Par.0057.File.pdf/ams_261209_058.pdf</a>
<sup>3</sup> Testverbrauch Golf 1.2 TSi BM:	7.2 l/100km	<a href="http://www.auto-motor-und-sport.de/einzeltests/vw-golf-1-2-tsi-im-einzeltest-1583964.html">http://www.auto-motor-und-sport.de/einzeltests/vw-golf-1-2-tsi-im-einzeltest-1583964.html</a>
	6.6 l/100km	<a href="http://www.auto-motor-und-sport.de/einzeltests/vw-polo-1-2-tsi-im-einzeltest-kleines-auto-grosser-fahrspass-1478448.html">http://www.auto-motor-und-sport.de/einzeltests/vw-polo-1-2-tsi-im-einzeltest-kleines-auto-grosser-fahrspass-1478448.html</a>

**Tabelle 9 Berechnung des Treibstoffbedarfs der Diesel- und Benzinfahrzeuge. Zum Vergleich Messwerte aus Praxistests.**

#### 4.2.5 Übrige ICE-Fahrzeug

Aus technischer bzw. physikalischer Sicht gibt es keinen Grund für signifikante Unterschiede im Wirkungsgrad von benzin-, gas-, E85- oder biogasbetriebenen Fahrzeugen<sup>14</sup>. Dasselbe gilt für diesel- und biodieselbetriebene Fahrzeuge. Entsprechend wurde davon ausgegangen, dass benzin-, gas-, E85- und biogasbetriebene Fahrzeuge denselben Motorenwirkungsgrad haben. Ebenso wird der Motorenwirkungsgrad eines Diesel- und eines Biodieselfahrzeuges als identisch betrachtet. Der Treibstoffbedarf wird dann aus dem Energiebedarf und dem Energieinhalt des jeweiligen Treibstoffs errechnet. Diese Modellierung ist notwendig, da für Benzin- und Dieselfahrzeuge Verbrauchsdaten für technisch ausgereifte Systeme vorliegen, während die Daten zu gas- und biotreibstoffbetriebenen Fahrzeugen auf wenigen Messungen von z.T. Prototypfahrzeugen basieren. Die Modellierung ist auch nötig, weil die gemessenen Daten für Gas-, Biogas-, E85- und Biodieserverbrauch (die z.B. in ecoinvent vorhanden sind) nicht vergleichbar sind mit den entsprechenden Daten für Benzin- und Dieselfahrzeuge. Die Daten zum Energieinhalt der verschiedenen Treibstoffe und die jeweiligen Emissionsprofile des Betriebes mit unterschiedlichen Treibstoffen stammen aus der ecoinvent Datenbank v2.01. Die Basisdatensätze sind in Tabelle 10 angegeben und deren Veränderungen beschrieben.

Datensätze für Betrieb der Fahrzeuge	ecoinvent Basisdatensätze	Anpassungen an ecoinvent Basisdatensatz
# Operation, passenger car, petrol, 2015, EURO5/CH U	Operation, passenger car, petrol, EURO5, CH, [km] (#6561)	Energiebedarf angepasst an Energiebedarf des 2015-Benzinfahrzeuges. CO <sub>2</sub> -Emission angepasst an neuen Energiebedarf.
# Operation, passenger car, E85 wood waste CH, 2015, EURO5/CH U		Treibstoff angepasst. Energiebedarf angepasst an Energiebedarf des 2015-Benzinfahrzeuges. CO <sub>2</sub> -Emission angepasst an neuen Energiebedarf. Weitere Emissionen angepasst gem. Tabelle 11.
# Operation, passenger car, E85 sugar cane BR, 2015, EURO5/CH U		Treibstoff angepasst. Energiebedarf angepasst an Energiebedarf des 2015-Benzinfahrzeuges. CO <sub>2</sub> -Emission angepasst an neuen Energiebedarf. Weitere Emissionen angepasst gem. Tabelle 11.
# Operation, passenger car, natural gas, 2015, EURO5/CH U		Energiebedarf angepasst an Energiebedarf des 2015-Benzinfahrzeuges. CO <sub>2</sub> -Emission angepasst an neuen Energiebedarf. Weitere Emissionen angepasst gem. Tabelle 11.
# Operation, passenger car, Kompogas, 2015, EURO5/CH U		Treibstoff angepasst, Energiebedarf angepasst an Energiebedarf des 2015-Benzinfahrzeuges. CO <sub>2</sub> -Emission angepasst an neuen Energiebedarf. Weitere Emissionen angepasst gem. Tabelle 11.

**Tabelle 10** Datensätze für den Betrieb der Verbrennungsmotorfahrzeuge mit deren Basisdatensätzen aus ecoinvent v2.01 sowie den vorgenommenen Veränderungen (Teil 1).

<sup>14</sup> Aussage P. Soltic, Empa Abteilung Verbrennungsmotoren (17.2.2010)

Datensätze für Betrieb der Fahrzeuge	ecoinvent Basisdatensätze	Anpassungen an ecoinvent Basisdatensatz
# Operation, passenger car, diesel, 2015, EURO5/CH U	Operation, passenger car, diesel, EURO5, CH, [km] (#6557)	Energiebedarf angepasst an Energiebedarf des 2015-Dieselfahrzeuges. CO <sub>2</sub> -Emission angepasst an neuen Energiebedarf.
# Operation, passenger car, 100% Palm Methyl Ester MY, 2015, EURO5/CH U		Treibstoff angepasst. Energiebedarf angepasst an Energiebedarf des 2015-Dieselfahrzeuges. CO <sub>2</sub> -Emission angepasst an neuen Energiebedarf. Fossile Emissionen durch biogene ersetzt wo angebracht. Weitere Emissionen angepasst gem. Tabelle 11.

**Tabelle 10** Datensätze für den Betrieb der Verbrennungsmotorfahrzeuge mit deren Basisdatensätzen aus ecoinvent v2.01 sowie den vorgenommenen Veränderungen (Teil 2).

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen werden aufgrund der Menge und des C-Gehalts der Treibstoffe berechnet. Bei den Betriebsemissionen gibt es in den ecoinvent Datensätzen zu unterschiedlichen Fahrzeugen einige Unterschiede, die nur zum Teil physikalisch begründbar sind. Andere Unterschiede scheinen eher zufällige. Entsprechend basieren wir auch die Emissionen auf den Euro-5-Datensätzen für Benzin- oder Dieselfahrzeugen und passen nur die Emissionen an, für die es eine plausible Erklärung des Unterschiedes gibt<sup>14</sup>. Die verwendeten Werte sind in Tabelle 11 ausgewiesen und stammen aus den ecoinvent Datensätzen für bioenergiebetriebene Fahrzeuge. Gasfahrzeuge weisen bezüglich einiger Emissionen tiefere Werte auf als Benzinfahrzeuge, weil die Gasmotoren mit einem weniger fetten Gemisch betrieben werden als Benzinmotoren. Auch zeigen Gasmotoren ein deutlich besseres Kaltstartprofil als Benzinmotoren.

Emission in Luft	Unit	# Operation, passenger car, kompostgas, 2015, EURO5/CH U	# Operation, passenger car, natural gas, 2015, EURO5/CH U	# Operation, passenger car, E85 xx, 2015, EURO5/CH U <sup>1</sup>	# Operation, passenger car, petrol, 2015, EURO5/CH U	Operation, passenger car, petrol, EURO5, CH, [km] (#6561)	# Operation, passenger car, 100% Palm Methyl Ester MY, 2015, EURO5/CH U	# Operation, passenger car, diesel, 2015, EURO5/CH U	Operation, passenger car, diesel, EURO5, CH, [km] (#6557)
Benzene	kg	7.616E-07	7.616E-07	2.743E-06	-	8.892E-06	-	-	1.332E-06
Carbon monoxide, biogenic	kg	4.465E-04	0.000E+00	7.918E-04	-	0.000E+00	5.086E-04	-	0.000E+00
Carbon monoxide, fossil	kg	0.000E+00	4.465E-04	1.397E-04	-	7.554E-04	0.000E+00	-	5.086E-04
Methane, biogenic	kg	4.509E-05	0.000E+00	1.228E-06	-	0.000E+00	2.732E-06	-	0.000E+00
Methane, fossil	kg	0.000E+00	4.509E-05	2.166E-07	-	5.502E-06	-	-	2.732E-06
Toluene	kg	5.250E-06	5.250E-06	5.561E-06	-	7.681E-06	-	-	3.642E-07
NM VOC	kg	1.053E-05	1.053E-05	5.182E-05	-	9.329E-05	-	-	1.085E-04
Quelle: Ecoinvent v2.01		operation, passenger car, methane, 96 vol-%, from biogas, CH, [km] (#6201)	operation, passenger car, natural gas, CH, [km] (#6202)	operation, passenger car, methanol, CH, [km] (#6115)	Operation, passenger car, petrol, EURO5, CH, [km] (#6561)	Operation, passenger car, petrol, EURO5, CH, [km] (#6561)	operation, passenger car, rape seed methyl ester 5%, CH, [km] (#6205)	Operation, passenger car, diesel, EURO5, CH, [km] (#6557)	Operation, passenger car, diesel, EURO5, CH, [km] (#6557)

<sup>1</sup> xx = sugar cane BR, or wood waste CH

**Tabelle 11** Anpassungen Emissionen für Gas- und Biotreibstofffahrzeuge.

### 4.3 Fahrzeug und Fahrzeugunterhalt

#### 4.3.1 Fahrzeugherstellung

##### 4.3.1.1 Glider und Drivetrain

Bei den Fahrzeugen werden bezüglich Infrastruktur prinzipiell drei Typen unterschieden:  
 Verbrennungsmotorfahrzeuge (ICE-Fahrzeuge)

Elektrische Fahrzeuge mit ausschliesslich elektrischem Antrieb und 400 kg Li-Ionen-Batterie

Hybridfahrzeuge mit Elektro- und Verbrennungsmotor (als Range-Extender) und 100 kg Li-Ionen-Batterie

Alle Fahrzeuge verfügen über das identische Fahrwerk und dieselbe Karosserie (zusammen: Glider). Die Daten dazu basieren auf derselben Studie, die auch in ecoinvent verwendet wurde (VW Golf IV, Benzinversion)<sup>15</sup>. Ebenfalls aus der VW-Golf-Studie stammen die Daten zum Verbrennungsmotor und zum korrespondierenden Antrieb. Allerdings wurden die Komponenten für unsere Studie aufgrund von Expertenwissen genauer aufgeschlüsselt und in Glider und Antriebsstrang (Drivetrain) unterteilt (siehe Abbildung 4 und Tabelle 12).

ICE Vehicle	Plug-in Hybrid Vehicle	Battery Vehicle
<p style="text-align: right;"><b>Glider</b></p> Body and Frame, Axle, Brakes, Wheels, Bumpers, Cockpit, A/C System, Seats, Doors, Lights Entertainment etc.	<p style="text-align: right;"><b>Glider</b></p> Body and Frame, Axle, Brakes, Wheels, Bumpers, Cockpit, A/C System, Seats, Doors, Lights Entertainment etc.	<p style="text-align: right;"><b>Glider</b></p> Body and Frame, Axle, Brakes, Wheels, Bumpers, Cockpit, A/C System, Seats, Doors, Lights Entertainment etc.
<p style="text-align: right;"><b>Drivetrain</b></p> Engine, Gearbox, Cooling System, Fuel System, Starting System, Exhaust System, Lubrication etc.	<p style="text-align: right;"><b>Drivetrain</b></p> ICE Range extender, El. Motor, Gearbox, Controller, Charger, Cables, Cooling System etc.	<p style="text-align: right;"><b>Drivetrain</b></p> El. Motor, Gearbox, Controller, Charger, Cables, Cooling System etc.
	<p style="text-align: right;"><b>Battery</b></p> Li-Ion battery 100 kg	<p style="text-align: right;"><b>Battery</b></p> Li-Ion battery 400 kg

Abbildung 4 Unterteilung der Fahrzeuge in Glider, Drivetrain und Batterie.

Gemäss den Zahlen in Tabelle 12 wiegt der Golf IV insgesamt 1059 kg. In unserer Sachbilanz werden Materialverluste bei der Produktion berücksichtigt. Dadurch werden inputseitig insgesamt 1361 kg Material benötigt. Die detaillierten Zahlen sind in Anhang 2 in Tabelle 79 zu finden. Bei der Zusammenstellung der Fahrzeugkomponenten zu den Datensätzen für die kompletten Fahrzeuge wird berücksichtigt, dass die modernen Fahrzeuge, die der Treibstoffbedarfsberechnung zugrunde liegen, ein höheres Gewicht

<sup>15</sup> Schweimer, G. W.; Levin, M. Life Cycle Inventory for the Golf A4; Research, Environment and Transport Volkswagen AG, Wolfsburg and Center of Environmental Systems Research, University of Kassel: Wolfsburg, Kassel, 2000.



haben als der „alte“ Golf. Entsprechend wurde für die modernen Fahrzeuge der Glider und der ICE-Drivetrain skaliert, d.h. die modernen Fahrzeuge fragen mehr als einen Glider und mehr als einen ICE-Drivetrain nach. Die Skalierungsfaktoren und deren Berechnung sind in Tabelle 13 gegeben.

		Glider	ICE Drivetrain	Total ICE-Fahrzeug	VW Golf nach Schweimer & Levin 2000 <sup>15</sup>
Steel and iron	kg	520	115	635	634
Synthetics	kg	129	39	168	167
Fuel / oil / lubricants	kg	9	55	64	64
Light metals	kg	3	49	52	52
Tyres and rubber	kg	41	3	44	44
Glass	kg	30	0	30	30
Electric motors, cables	kg	23	2	25	25
Base metals	kg	6	13	19	19
Insulation	kg	16	0	16	16
Paints	kg	4	0	4	4
Others	kg	2	0	2	2
<b>Total</b>	<b>kg</b>	<b>783</b>	<b>275</b>	<b>1058</b>	<b>1059</b>

**Tabelle 12 Materialisierung des ICE-Fahrzeuges und Aufteilung in Glider und Drivetrain.**

	Masse			Quelle / Berechnungsformel		
	Glider	Drivetrain	total	Glider	Drivetrain	total
Golf IV Benzin	783 kg	275 kg	1058 kg	LCA Golf IV und Aufteilung Empa (Tabelle 12)		
Golf VI Benzin	913 kg	321 kg	1234 kg	Glider Golf IV * Total Golf VI / Total Golf IV	Total - Glider	Datenblatt VW
Golf VI Diesel	913 kg	401 kg	1314 kg	Wie Golf VI Benzin	Total - Glider	Datenblatt VW
	Skalierungsfaktor von Golf IV Benzin					
Golf VI Benzin	1.166	1.166	1.166			
Golf VI Diesel	1.166	1.456	1.241			

**Tabelle 13 Skalierung des ICE-Fahrzeuges zur Berücksichtigung der höheren Masse von neueren Fahrzeugen (Golf VI) gegenüber dem Golf IV sowie der grösseren Masse von Dieselfahrzeugen.**

Die Daten zum elektrischen Antrieb stammen aus Publikationen von Herstellern (iMiEV, Tesla, Mini-e, Twingo, Protoscar Lampo), aus Publikationen zu Komponenten, die von diesen Herstellern verbaut werden, und aus theoretischen Überlegungen. Der elektrische Antrieb der Hybridfahrzeuge ist identisch mit dem der elektrischen Fahrzeuge. Der

zusätzliche Range-Extender wurde als verkleinerter Motor (2/3) des ICE-Fahrzeuges abgebildet, der zusätzliche Generator als verkleinerter Elektromotor. Die detaillierten Zahlen sind in Anhang 2 in Tabelle 79 zu finden. Analog zu den ICE-Fahrzeugen wird auch für Elektro- und Hybridfahrzeuge mit 1.166 Gliders gerechnet. Der Drivetrain muss in diesen Fällen nicht angepasst werden, da die Daten die moderne Technologie abbilden.

#### 4.3.1.2 Lithium-Ionen-Batterie

Die Datensätze zur Lithium-Ionen-Batterie wurden unabhängig von diesem Projekt entwickelt. Eine ausführliche Dokumentation dazu ist in Notter et al. 2010<sup>16</sup> zu finden. Die von Notter et al. publizierten Daten wurden für diese Studie entsprechend der Beschreibung in 4.3.3 angepasst, um das EOL-Recycling zu berücksichtigen. Der Li-Ion-Batterie-Datensatz steht für eine nickel- und kobaltfreie Batterie mit einer Kathode auf  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ -Basis. Die Zusammensetzung der Batterie basiert dabei auf Herstellerangaben und eigenen Messungen. Bei der Zellenherstellung gehen wir von Prozessen aus, die keine speziell getrocknete Atmosphäre verlangen, was sich in deutlich reduzierten Kosten und in einem reduzierten Energiebedarf bei der Zellherstellung niederschlägt. Die meisten Informationen zu Prozessen und deren In- und Outputs stammen aus Literatur und Patenten zu Verfahren, die heute angewandt werden. Industriedaten waren nur für die Lithiumgewinnung und Lithiumcarbonatherstellung verfügbar. Solche Batterien werden z.B. im Lampo2 von Protoscar eingesetzt und haben gemäss diesen Spezifikationen<sup>17</sup> einen Energieinhalt von 32 kWh bei total 280 kg Batteriegewicht, was einer Kapazität von 114 Wh/kg entspricht. Mit den 400 kg Batteriegewicht in unserem hypothetischen Fahrzeug, das 20 kWh/100 km verbraucht, könnte also theoretisch eine Reichweite von knapp 230 km erreicht werden. Unter Berücksichtigung eines Tiefentladungsschutzes der Batterie ist eine Reichweite von 200 km realistisch. Die geschätzte Lebensdauer<sup>18</sup> der Lampo-Batterie liegt, ausgehend von einer durchschnittlichen Entladung pro Zyklus von 80%, bei > 800 Zyklen, was knapp 183'000 km entspricht. Allerdings ist die Lebensdauer der Batterien nicht nur von der Anzahl Lade- / Entladezyklen bestimmt sondern auch von der Zeit. So rechnet Nissan für seinen „Leaf“ damit, dass in 80% der Fälle nach fünf Jahren noch 80% der Leistungsfähigkeit der Batterie vorhanden sein soll<sup>19</sup>. Bei einer durchschnittlichen Fahrleistung von knapp 12'000 km pro Fahrzeug und Jahr<sup>20</sup> braucht ein Fahrzeug 12.7 Jahre, um die 150'000 km Lebensdistanz zurückzulegen. Entsprechend muss davon ausgegangen werden, dass die Batterien für viele Elektrofahrzeuge weder die theoretisch

<sup>16</sup> Dominic A. Notter, Marcel Gauch, Rolf Widmer, Patrick Wäger, Anna Stamp, Rainer Zah and Hans-Jörg Althaus (2010) Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. Environ. Sci. Technol., 2010, 44(17), pp 6550-6556 DOI: 10.1021/es903729a

<sup>17</sup> [http://www.protoscar.com/pdf/LAMPO2/LAMPO2\\_Technical\\_Specifications.pdf](http://www.protoscar.com/pdf/LAMPO2/LAMPO2_Technical_Specifications.pdf)

<sup>18</sup> Solche Lebensdauerangaben bedeuten, dass am Lebensende noch 80% der Batteriekapazität vorhanden ist. 1 Zyklus beinhaltet dabei eine vollständige Ladung und Entladung (100% der Kapazität)

<sup>19</sup> [http://www.nzz.ch/magazin/mobil/an\\_der\\_schwelle\\_zu\\_einer\\_neuen\\_epoche\\_im\\_automobilbau\\_1.3290937.html](http://www.nzz.ch/magazin/mobil/an_der_schwelle_zu_einer_neuen_epoche_im_automobilbau_1.3290937.html)

<sup>20</sup> 2008: 3.990 Mio Fahrzeuge; 47.2 Mia Fahrzeugkilometer (inländische Fahrzeuge)

[http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03/blank/key/fahrzeuge\\_strasse/bestand.html](http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/03/blank/key/fahrzeuge_strasse/bestand.html)

<http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/11/05/blank/key/verkehrsleistungen/mengen.Documnt.51732.xls>

möglichen 183'000 km noch die geforderten 150'000 km erreichen werden. In dieser Studie gehen wir davon aus, dass die Batterien bei jedem zweiten Fahrzeuge einmal ersetzt werden müssen, um die durchschnittliche Lebensdistanz von 150'000 km zu erreichen. Der Ersatz der Batterie wird im Datensatz für den Fahrzeugunterhalt berücksichtigt.

#### 4.3.2 Fahrzeugunterhalt

Beim Fahrzeugunterhalt werden aufgrund der geringen Relevanz im Gesamtbild nur zwei Typen unterschieden:

Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor (inkl. Hybride)

Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor

Beide basieren auf dem Datensatz zum Unterhalt eines PKW in ecoinvent v2.01. Beim Unterhalt des Fahrzeuges mit Verbrennungsmotor wurden nur die nötigen Anpassungen für die Substitutionsmodellierung für EOL-Recycling gemacht. Basierend auf diesem angepassten Datensatz wurden für die Elektrofahrzeuge die Inputs und Outputs entfernt, die im Zusammenhang mit der Bleibatterie stehen. Auch fällt bei reinen Elektrofahrzeugen das Getriebeöl weg. Dafür wird bei diesem Datensatz eine halbe Li-Ionen-Batterie (200 kg) bilanziert, um zu berücksichtigen, dass die Batterien im Durchschnitt keine 150'000 km Lebensdistanz erreichen werden. Ansonsten sind beide Datensätze zum Fahrzeugunterhalt identisch.

#### 4.3.3 Fahrzeugentsorgung

Bei der Modellierung der Fahrzeuge und deren Unterhalt wird eine Systemerweiterung und Substitution vorgenommen, um die Recyclingprozesse am Lebensende zu berücksichtigen. Prinzipiell wird dabei wie folgt vorgegangen:

Für Materialinputs werden generell primäre Materialien bilanziert.

Alle EOL Prozesse – Entsorgung und Recycling – werden in die Bilanz einbezogen.

Materialoutputs der Recyclingprozesse ersetzen primäres Inputmaterial.

Nutzbare Energieoutputs aus EOL Prozessen ersetzen Stromerzeugung (Mittelspannung, Produktion UCTE) und Wärmeerzeugung („Heat, natural gas, at boiler fan burner low-NOx non-modulating <100kW/RER“).

Es wird von einer Sammelquote der Fahrzeuge von 100% ausgegangen<sup>21</sup>. In den Recyclingprozessen treten aber Materialverluste auf. Dafür werden die Zahlen in Tabelle 14 angenommen. Die Zahlen basieren auf Angaben von Recycler, sind aber absichtlich eher zu tief angenommen. Li-Ionen-Batterien werden heute vor allem zur Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer rezykliert. In dem pyrometallurgischen Prozess werden Aluminium und Lithium oxidiert und gehen in die Schlacke, die z.B. als Zuschlagstoff in der Zementherstellung gebraucht wird. Somit kann bei diesen Materialien höchstens von einem Down-cycling gesprochen werden.

---

<sup>21</sup> Damit wird offensichtlich vernachlässigt, dass ein Teil der Fahrzeuge nach ihrem Gebrauch in Europa in einem Schwellen- oder Entwicklungsland weiterverwendet wird. Es darf aber davon ausgegangen werden, dass auch in solchen Ländern das wertvolle Metall in einem nicht mehr fahrfähigen Auto rezykliert wird.

Element	Ausbeute Recycling	Element	Ausbeute Recycling
Ag	99.5%	Mo	99.0%
Al <sup>1</sup>	95.0%	Ni	99.0%
Au	99.5%	Pb	95.0%
Co	99.0%	Pd	99.5%
Cr	99.0%	Pt	99.5%
Cu	99.0%	Sn	95.0%
Fe	95.0%	Zn	95.0%
Mn	99.0%		

<sup>1</sup>: nur wenn rein rezykliert. 0% wenn Alu fürs Recycling nicht von anderem Metallen getrennt werden kann

**Tabelle 14 Ausbeute der Recyclingprozesse.**

Die Recyclingprozesse der Fahrzeuge werden mit den ecoinvent Prozessen für Sekundärmaterialgewinnung abgebildet. Diese Prozesse beinhalten Sammlung, Trennung und Aufbereitung des Schrottes sowie den metallurgischen Prozess, der nötig ist, um das Material wieder auf den normalen Metallmarkt zu bringen. Das so gewonnene Sekundärmaterial ersetzt dann im Modell das entsprechende Primärmaterial (in Simapro als „avoided product“ modelliert).

Der Recyclingprozess von Elektronikschrott sowie der Katalysatoren ist etwas komplizierter. Die ecoinvent Datenbank enthält die folgenden drei Prozesse, die jeder mehrere Produkte hat: „secondary copper conversion“, „secondary copper refining“ und „precious metal refining, secondary copper“. In der Simapro-Software sind von diesen Prozessen nur noch die allozierten Outputs vorhanden. Für unsere Studie verwenden wir jeweils einen dieser allozierten Outputs, rechnen die Allokation zurück, um die Umweltauswirkungen des ganzen Prozesses zu erhalten, und beziehen diese auf ein kg Schrott-Input. Damit entsteht ein Datensatz, der die Aufwendungen und Emissionen pro kg Elektronikschrott bzw. Katalysator beinhaltet, aber keinen Materialoutput der zurückgewonnenen Metalle. Die zurückgewonnenen Metalle werden wieder als „avoided products“ gutgeschrieben.

#### **4.4 Strasse, Strassenunterhalt und -entsorgung**

Für die Abbildung der Strasseninfrastruktur, deren Unterhalt und deren Entsorgung werden die Originaldaten aus ecoinvent v. 2.01 verwendet.

#### **4.5 Treibstoffe**

Die Daten zur Strom- und Treibstoffherzeugung, die in dieser Studie verwendet werden, stammen alle aus der ecoinvent Datenbank. In Tabelle 15 sind einige relevante Parameter zu den Treibstoffen angegeben und im Folgenden werden die Daten grob beschrieben. Für eine vollständige Dokumentation muss aber auf die ecoinvent-Berichte<sup>22</sup> verwiesen werden.

<sup>22</sup> Die Berichte können von registrierten Nutzern gratis auf [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org) bezogen werden.

	Heizwert (unterer)	Dichte
	MJ/kg	kg/l
<b>Fossile Treibstoffe</b>		
Diesel	42.8	0.84
Benzin	42.5	0.75
Erdgas	45.8	0.00075
<b>Biotreibstoffe</b>		
Palmmethylester PME (Malaysia)	37.2	0.87
E85 aus Zuckerrohr (Brasilien)	29.155	0.783
E85 aus europäischen Holzabfällen	29.155	0.783
Biogas (Schweizer Kompogas)	45.8	0.00075

**Tabelle 15 Relevante Eckdaten zu verwendeten Treibstoffen.**

Der Schweizer Strommix besteht im Wesentlichen aus inländisch produzierter Wasserkraft und Kernkraft (je ca. 30%) und knapp 40% Importen, davon das meiste aus Frankreich (ca. 75%) und aus Deutschland (25%). Der UCTE-Mix wird zu 48% in fossilthermischen Kraftwerken, zu 16% in Wasser- und zu 30% in Kernkraftwerken erzeugt. Der Schweizer KKW-Strom stammt aus Druck- und Siedewasserreaktoren. Die Verwendung von MOX-Brennelementen sowie Wiederaufarbeitung eines Teils der verbrauchter Brennelemente und Endlagerung sind berücksichtigt. Das abgebildete Gas-Kombi-Kraftwerk ist ein modernes Kraftwerk, das Gas- und Dampfturbinen kombiniert. Es repräsentiert die beste verfügbare Technologie mit einem Wirkungsgrad von 57.5%. Der Kohlestrom stammt aus einem durchschnittlichen Kohlekraftwerk in Europa im Jahr 2000. Die grössten Beiträge zum Durchschnitt leisten Kraftwerke aus Deutschland (46%), Spanien (18%), Frankreich (9%) und Italien (8%). Der durchschnittliche Wirkungsgrad der Kraftwerke liegt bei 31.1%. Die Produktionskette bei diesen Stromprodukten beinhaltet die Gewinnung der Energieträger (z.B. Uran), den Bau der Infrastruktur (z.B. Staudamm), die Energieerzeugung im Kraftwerk sowie die Transformationen von Hoch- zu Mittel- und Niederspannung und den Transport zu den Haushalten. Demgegenüber beinhaltet die Produktion von PV-Strom nur die Herstellung der Solarzellen, die Stromerzeugung auf Dach, Fassade oder Feld sowie die Transformation und Konversion zu 230V AC im Haus. Die Übertragung mit ihren Verlusten im Hoch- und Mittelspannungsnetz sind also nicht inbegriffen, weil davon ausgegangen werden kann, dass PV-Strom lokal verbraucht wird. Der Berechnung des PV-Stroms liegt die durchschnittliche Produktion in der Schweiz der Jahre 2000-2005 zugrunde. Es wird von einer Stromerzeugung von 820 kWh/kWp ausgegangen, was als durchschnittlicher Wert für das Schweizer Mittelland gelten kann. Weiter wird eine Lebensdauer von 30 Jahren zugrunde gelegt. Die Daten der fossilen Treibstoffe stehen für durchschnittliche, in der Schweiz gehandelte Produkte. Die Sachbilanzen beinhalten die Gewinnung von Rohöl, die Raffinierung und den Transport bis zur Tankstelle. Auch die Biotreibstoffe beinhalten die ganze Kette der Rohstoffgewinnung bis zur Tankstelle. Alle in dieser Kette inventarisierten Prozesse entsprechen einer large-scale-Produktion mit moderner Technologie. Diese Produktionen enthalten mehrere Prozesse, die mehr als ein verwertbares Produkt herstellen (z.B. Öl und Presskuchen, der als

Dünger oder Futter verwendet werden kann). In solchen Fällen wird jeweils auf der Basis des ökonomischen Ertrags der verschiedenen Produkte alloziert.

Für PME aus Malaysia wird davon ausgegangen, dass für die Ölpalmpflanzungen Regenwald gerodet wurde und entsprechend CO<sub>2</sub> aus dem Boden emittiert wird. Die Palmfrüchte werden geerntet und gepresst, das Palmöl wird zu PME esterifiziert und von Malaysia zur Tankstelle in der Schweiz transportiert.

Der Zuckerrohranbau in Brasilien findet nicht auf gerodetem Primärwald statt und die Ernte ist vor allem händisch (80%). Trotzdem verursacht die Produktion eine beträchtliche Umweltbelastung wegen des Ab Brennens der Blätter vor der Ernte. Ethanol aus Zuckerrohr kann sowohl aus raffiniertem Zucker als auch aus dem Koprodukt der Zuckerproduktion (Melasse) hergestellt werden. Der ecoinvent Datensatz geht von einem Mix mit 83% Zucker und 17% Melasse aus. Der Zucker und die Melasse werden vergoren, Ethanol wird durch Destillation gewonnen, in die Schweiz transportiert, mit 15% Benzin vermischt und zur Tankstelle geliefert.

Ethanol kann auch aus Holzabfällen gewonnen werden. In diesem Prozess wird Ethanolhydrat und Strom produziert. Das Ethanolhydrat wird dehydriert zu Ethanol, das mit Benzin vermischt und zur Tankstelle gebracht wird. Da dieser Prozess von Abfallholz ausgeht und, wie alle Treibstoffe, gemäss der Allokationslogik der ecoinvent Datenbank behandelt wird, werden keine Umweltbelastungen aus den Holzproduktionsprozessen bilanziert.

Auch bei der Biogasproduktion aus Grünabfällen (Kompogas) werden keine Belastungen aus der Biomaterialproduktion berücksichtigt, da es sich um Abfälle handelt. Für die Grünabfälle aus Haushalten wird allerdings der Transport zum Kompogaswerk bilanziert. Im Kompogasprozess findet eine anaerobe Vergärung statt. Bei diesem Prozess wird berücksichtigt, dass er neben Biogas auch Dünger produziert und eine Entsorgungsdienstleistung beinhaltet. Das Biogas wird getrocknet und zur Tankstelle gebracht.

## 5 Sensitivitätsanalysen

Unsere Studie betrachtet zukünftige Systeme und beinhaltet dadurch einige Annahmen und Daten, die mit relativ grossen Unsicherheiten behaftet sind. Für die bisher beschriebene Basisvariante wurde jeweils eine „beste Schätzung“ für diese Daten angenommen. Für die als relevant erachteten Annahmen wird zusätzlich eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, in der berechnet wird, wie die Ergebnisse mit einer best-case- und einer worst-case-Variante für die jeweiligen Annahmen variieren. Die Szenarien mit ihren jeweiligen Eckwerten sind in Tabelle 16 beschrieben.

	Basis- variante	best-case	worst-case	Einheit
<b>Energie- / Treibstoffbedarf</b>				
Energiebedarf Elektrofahrzeug	20	15	30	kWh/100km
	100%	75%	150%	%
Treibstoffbedarf Dieselfahrzeuge	4.9	3.675	7.35	l/100km
	100%	75%	150%	%
Treibstoffbedarf Benzinfahrzeuge	6.8	5.1	10.2	l/100km
	100%	75%	150%	%
Treibstoffbedarf Erdgasfahrzeuge / Biogasfahrzeuge	6.3	4.725	9.45	m <sup>3</sup> /100km
	100%	75%	150%	%
Treibstoffbedarf Biodieselfahrzeuge (PME)	5.44	4.08	8.16	l/100km
	100%	75%	150%	%
Treibstoffbedarf E85-Fahrzeuge (aus Zuckerrohr / Holzabfällen)	8.07	6.0525	12.105	l/100km
	100%	75%	150%	%
Treibstoffbedarf Hybridfahrzeuge	4.9	3.675	7.35	l/100km
	100%	75%	150%	%
Treibstoffbedarf Plug-in- Hybridfahrzeuge (80/20)	16 / 0.98	12 / 0.735	24 / 1.47	kWh/100km / l/100km
	100%	75%	150%	%
Anteil Strom ab Netz bei Plug-in- Hybridfahrzeugen	80%	95%	50%	%
<b>Abriebemissionen</b>				
Reduktion Bremsmissionen durch Rekuperieren	90%	95%	60%	%
<b>Batterielebensdauer</b>				
Ersatz Li-Ionen-Batterien	1.5	1	2	-
<b>EOL-Modellierung</b>				
Recycling von Materialien	Substitution	-	Cut-off	-

**Tabelle 16** Parameter und Werte der Sensitivitätsanalyse<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Die Zuteilung zu best-case und worst-case ist bezüglich des Stromanteils ab Netz bei Plug-in-Hybridfahrzeugen und bezüglich der EOL-Modellierung nicht zwingend sinnvoll. Bezüglich einiger Aspekte (z.B. „radioaktiver Abfälle“) kann der worst-case da vorteilhaftere Resultate zeigen als der best-case.

## 5.1 Energie- / Treibstoffbedarf

Der Energiebedarf aller Fahrzeuge liegt in der best-case-Variante knapp unter dem NEFZ-Verbrauch (beim Elektrofahrzeug inkl. Nebenverbraucher). Tiefere Werte als der NEFZ sind praktisch kaum zu erreichen und da die betrachteten ICE-Fahrzeuge energetisch zu den besten heute verfügbaren gehören, beinhalten diese Werte sowohl ein extrem sparsames Fahrverhalten als auch eine künftige technische Verbesserung der Fahrzeuge. Die worst-case-Variante des Elektrofahrzeuges wurde abgeschätzt, indem der Gesamtwirkungsgrad von 82.5% auf 60% (inkl. Rekuperieren) reduziert wurde, der Realitätszuschlag zur Berechnung des Alltagsverbrauchs aufgrund des NEFZ-Verbrauchs von 15% auf 20% erhöht wurde und die Nebenverbraucher verdoppelt wurden. Ein Wirkungsgrad von 60% ist eine extrem pessimistische Annahme, die einen grossen potenziellen Alterungseffekt der Batterie berücksichtigt. Für die ICE-Fahrzeuge wurde für den worst-case der prozentuale Unterschied zur Basisvariante von den Elektrofahrzeugen übernommen. Diese Werte liegen gemäss ADAC<sup>24</sup> etwa 25% über dem heutigen Klassendurchschnittsverbrauch im NEFZ, d.h. also etwa im Bereich des effektiven Klassendurchschnittsverbrauchs auf der Strasse.

Für die Sensitivitätsbetrachtung bezüglich des Netzstromanteils am Energiebedarf der Plug-in-Hybridfahrzeuge wurden Werte gewählt, die in einem plausiblen Rahmen liegen. Allerdings wäre auch ein worst-case von 0% Netzstrom möglich, wenn ein Nutzer das Fahrzeug wie einen normalen Hybrid nutzt. Andererseits wäre auch ein best-case von 100% möglich, wenn das Fahrzeug z.B. ausschliesslich für den Arbeitsweg genutzt und jede Nacht aufgeladen wird. Da die Zusammenhänge für diese Sensitivität aber linear sind, kann von den drei Werten der Studie auf jedes beliebige Verhältnis extrapoliert werden.

## 5.2 Abriebemissionen

Auch für die Abschätzungen der Szenariowerte für die Reduktion des Bremsabriebes fehlen belastbare Grundlagen. Für den best-case gehen wir auch hier von einem Wert nahe von 100% aus. Für den worst-case machen wir folgende Abschätzung: In der Verbrauchsmodellierung finden wir, dass im NEFZ 60% der benötigten mechanischen Energie am Rad aus Beschleunigung des Fahrzeuges stammt. Die restlichen 40% sind Reibungs- und Luftwiderstandsverluste. Bei einer Umwandlungseffizienz von 80% können so also höchstens 48% der Energie durch Rekuperieren zurückgewonnen werden. Effektiv werden durch Rekuperieren aber nur ca. 8-10% der Energie eingespart. Gehen wir davon aus, dass die Fahrer nicht nur bremsen oder rekuperieren sondern ihre Fahrzeuge auch ausrollen lassen (wir nehmen an, dass die Hälfte der Energie durch ausrollen lassen reduziert wird), so werden die 10% Rekuperierergewinne aus 25% der Energie gewonnen, was einem Verhältnis von Bremsen zu Rekuperieren von 1:1.5 und damit einer Reduktion der Bremsemission um 60% entspricht.

---

<sup>24</sup> [http://www.google.ch/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=1&ved=0CAYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww1.adac.de%2FTests%2FAutotest%2FTETDaten%2FAutotest%2FAT4329\\_VW\\_Golf\\_16\\_TDI\\_BlueMotion\\_Trendline\\_DPF.pdf&rct=j&q=AT4329\\_VW\\_Golf\\_16\\_TDI\\_BlueMotion\\_Trendline\\_DPF.pdf&ei=enmBS-jqLpHx4gaWteHeBg&usq=AFQjCNGyz7L4JmMb59cp8jNRYSchFB2Maw](http://www.google.ch/url?sa=t&source=web&ct=res&cd=1&ved=0CAYQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww1.adac.de%2FTests%2FAutotest%2FTETDaten%2FAutotest%2FAT4329_VW_Golf_16_TDI_BlueMotion_Trendline_DPF.pdf&rct=j&q=AT4329_VW_Golf_16_TDI_BlueMotion_Trendline_DPF.pdf&ei=enmBS-jqLpHx4gaWteHeBg&usq=AFQjCNGyz7L4JmMb59cp8jNRYSchFB2Maw)



### **5.3 Batterielevensdauer**

Im besten betrachteten Fall braucht ein Fahrzeug eine Batterie, im schlechtesten deren zwei. Mehr als zwei Batterien würde bedeuten, dass sämtliche Erwartungen bezüglich Lebensdauer um fast die Hälfte überschätzt wären. Dies ist, auch aufgrund von Garantieverpflichtungen der Hersteller, nicht wahrscheinlich.

### **5.4 EOL-Modellierung**

Da die Wahl der EOL-Modellierung in der LCA-Szene eine stark umstrittene Frage ist, vergleichen wir den Einfluss unserer Entscheidung für eine Substitutionsmodellierung mit den Ergebnissen, die aus der alternativen Cut-off-Modellierung resultieren.

Wir haben uns in dieser Studie für eine produktspezifische Betrachtung entschlossen, in der wir den Lebenszyklus des Produktes schliessen und entsprechend mit zukünftig anfallendem Recyclingmaterial das zur Herstellung benötigte Primärmaterial ersetzen. Diese Modellierungsart erlaubt, da sie das Gesetz der Massenerhaltung beachtet, eine Berechnung von Materialverlusten und bevorzugt gut rezyklierbare Produkte vor schlecht oder nicht rezyklierbaren, indem sie den „Verbrauch“ von Primärmaterial dem Produkt anlastet, an dessen Lebensende das Primärmaterial verloren geht.

Eine gängige Alternative, die unter anderem in unserem Hintergrundsystem angewandt wird, ist die sogenannte Cut-off-Modellierung. Dieser Ansatz berücksichtigt die herrschende Marktsituation bezüglich Primär- und Recyclingmaterial zur Zeit der Herstellung eines Produktes. Wird das Produkt an seinem Lebensende einem Recyclingprozess zugeführt, so verlässt es im Cut-off-Modell das erste Produktsystem, ohne diesem irgendwelche Belastungen des Recyclingprozesses anzulasten.

Entsprechend wird aber auch die Produktion von Recyclingmaterial nicht durch das „Vorleben“ des Schrottes belastet. Damit lastet diese Modellierung den Verbrauch von Primärmaterial dem Produkt an, das zur Zeit der Materialproduktion gerade hergestellt wird. Auch kommt so jedes Produkt, unabhängig ob es rezyklierbar ist oder nicht, in den Genuss von einem Anteil an rezykliertem Material, der dem Markt- oder Produktionsmix entspricht. Im Vergleich mit der produktspezifischen Betrachtung führt das im Allgemeinen zu einem schlechteren Abschneiden von gut rezyklierbaren Produkten.

## 6 Resultate

### 6.1 Basisvarianten

Die Resultate der Basisvarianten werden in Abbildung 5 bis Abbildung 8 gezeigt. In diesen Grafiken werden die folgenden Einheitsprozesse aus Abbildung 3 zusammengefasst:

„Strasse“ in den Grafiken beinhaltet die 3 Einheitsprozesse „Strasse“, „Betrieb und Unterhalt Strasse“ sowie „Entsorgung Strasse“.

„Fahrzeug ohne Li-Batterie“ beinhaltet das „Fahrzeug mit Antriebsstrang und Batterie“ sowie den Einheitsprozess „Unterhalt Fahrzeug“, jeweils abzüglich der „Li-Ionen-Batterie“.

Die „Li-Ionen-Batterie“ entspricht dem Einheitsprozess „Li-Ionen-Batterie“ für das „Fahrzeug mit Antriebsstrang und Batterie“ sowie für den „Unterhalt Fahrzeug“.

Die „Abgase“ entsprechen einem Teil der „direkten Emissionen“ aus dem „Betrieb Fahrzeug“ und beinhaltet nur die direkten Abgasemissionen.

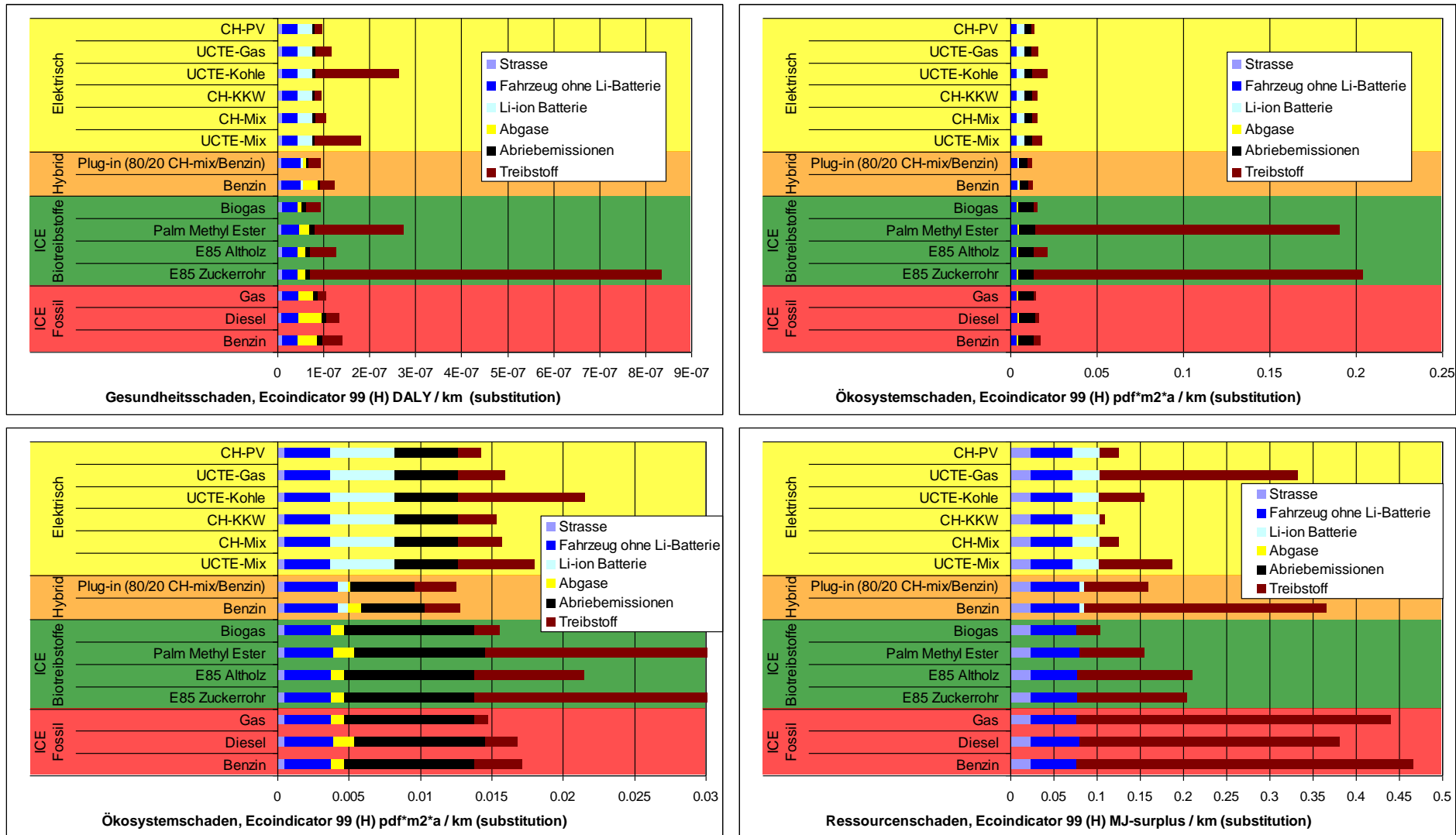
Die „Abriebemissionen“ entsprechen den restlichen „direkten Emissionen“, beinhalten also Brems-, Reifen- und Strassenabrieb aus dem Betrieb.

Der „Treibstoff“ beinhaltet die Bereitstellung des Treibstoffes (an der Tankstelle) bzw. des Stroms (an der Steckdose).

Die Werte zu den Abbildungen sind in Tabelle 19 (Teil 1 bis 6) zu finden.

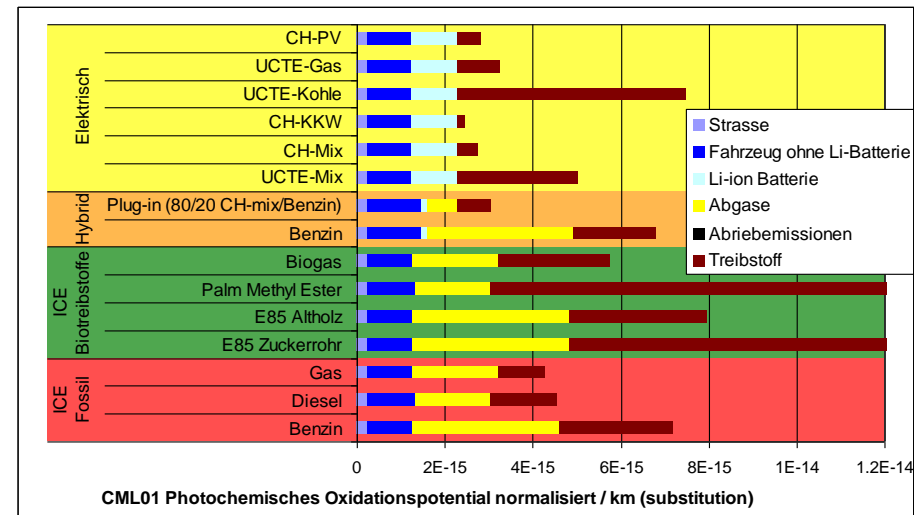
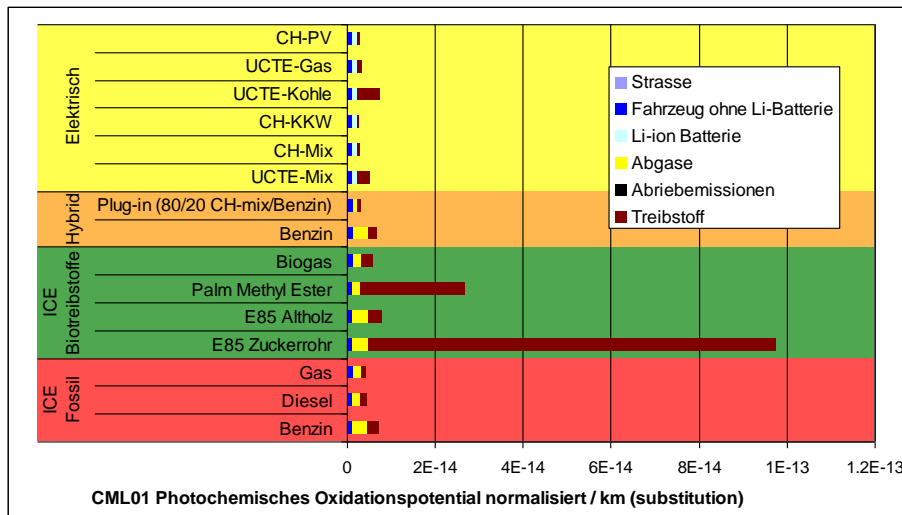
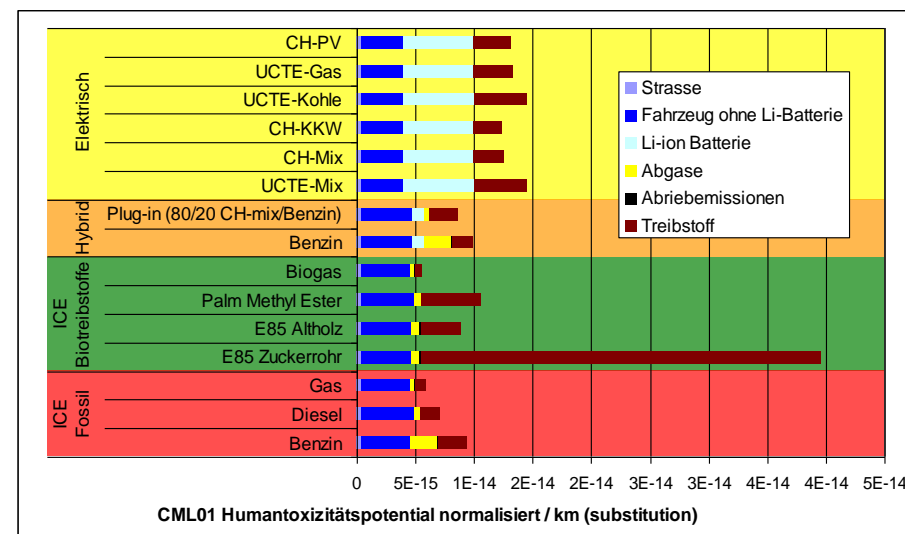
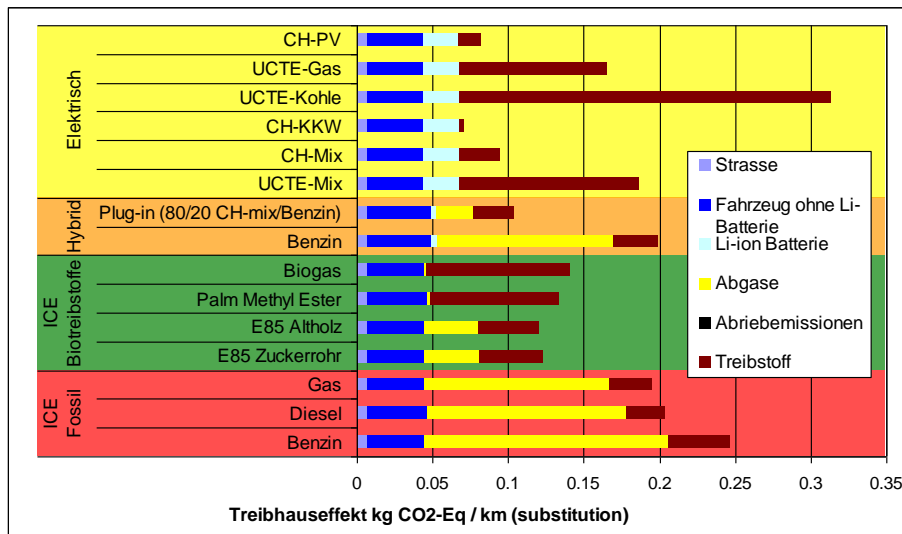
Die dissipativen Verluste wichtiger Materialien durch Herstellung, Unterhalt und Entsorgung der Fahrzeuge ist in Abbildung 9 dargestellt. Es ist zu beachten, dass in diesen Werten die Phase „Betrieb Fahrzeug“ nicht enthalten ist. Hintergrund hierfür ist, dass für diese Phase aufgrund der Modellierung von EOL-Recycling in der ecoinvent Datenbank keine sinnvollen Werte berechnet werden können. Auch ohne diese Phase führt die Cut-off-Modellierung des Hintergrundsystems zu einer Überschätzung der dissipativen Verluste. Die zugehörigen Werte sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen



**Abbildung 5** Mobilitätsvergleich bezüglich Ecoindicator-99-(H)-Endpoints: Schaden an menschlicher Gesundheit, Schaden an Ökosystemqualität und Schaden an Ressourcenqualität. Schaden and Ökosystemqualität ist zweimal mit unterschiedlichen Skalierungen dargestellt.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen



**Abbildung 6** Mobilitätsvergleich bezüglich Treibhauseffektes und CML-01-Indikatoren Humantoxizitätspotenzial (HTP) und photochemisches Oxidationspotential (POPC). Das photochemische Oxidationspotential ist zweimal mit unterschiedlichen Skalierungen dargestellt.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

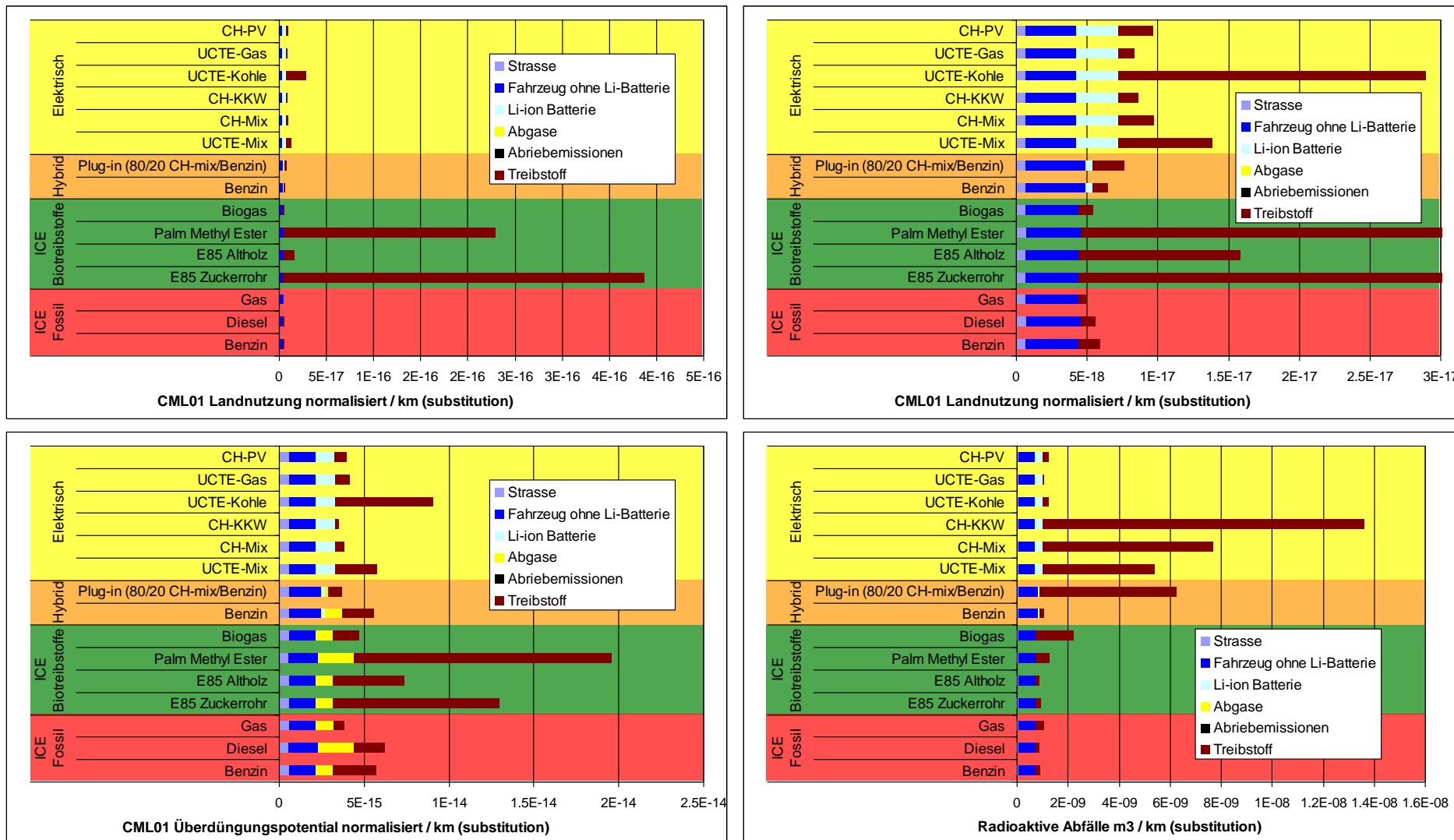


Abbildung 7 Mobilitätsvergleich bezüglich CML-01-Indikatoren Landnutzung (LUC) und Überdüngung (EP) sowie bezüglich Volumen radioaktiver Abfälle. CML-01-Landnutzung ist zweimal mit unterschiedlichen Skalierungen dargestellt.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

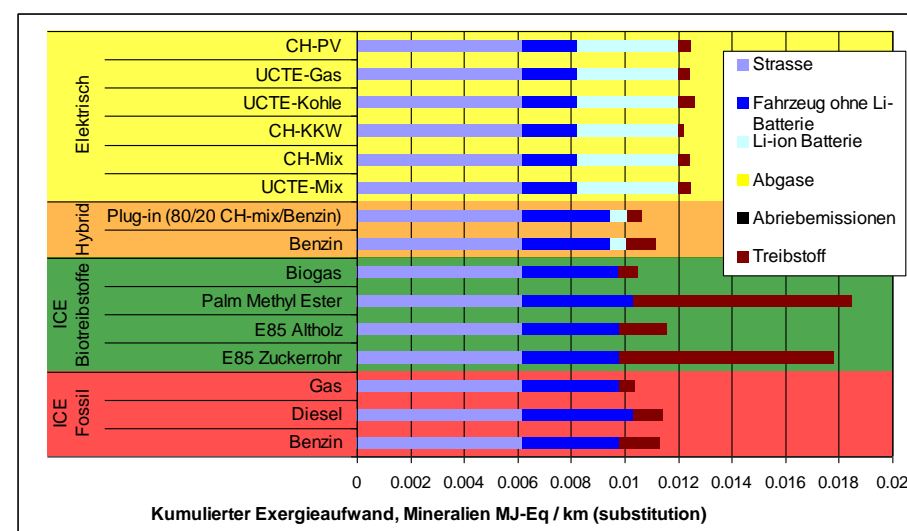
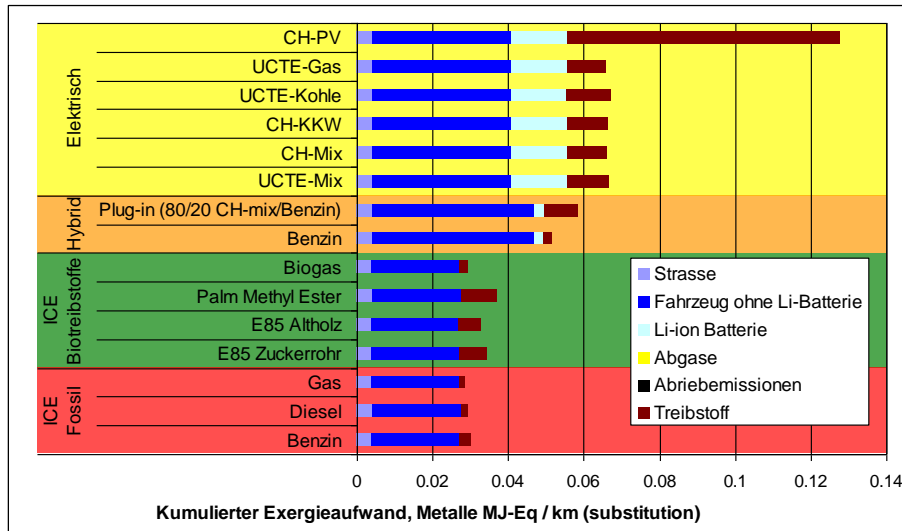
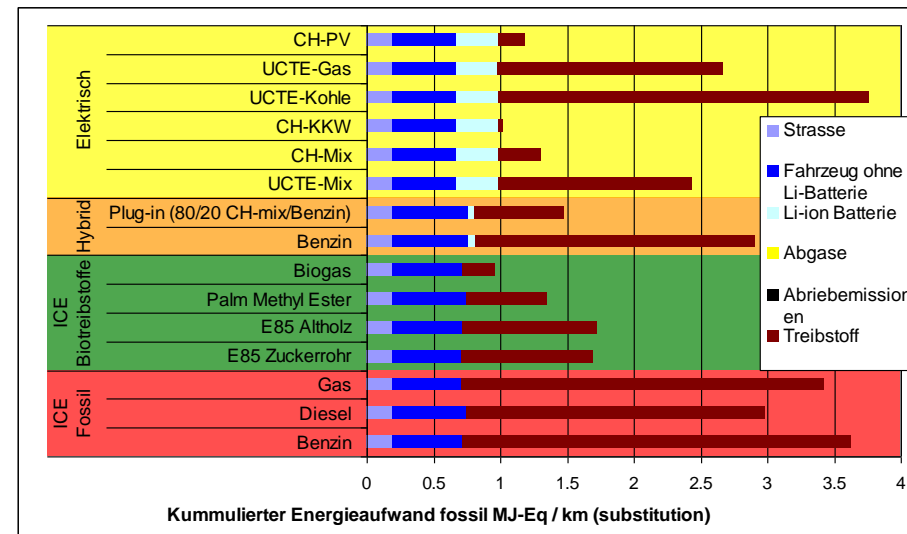
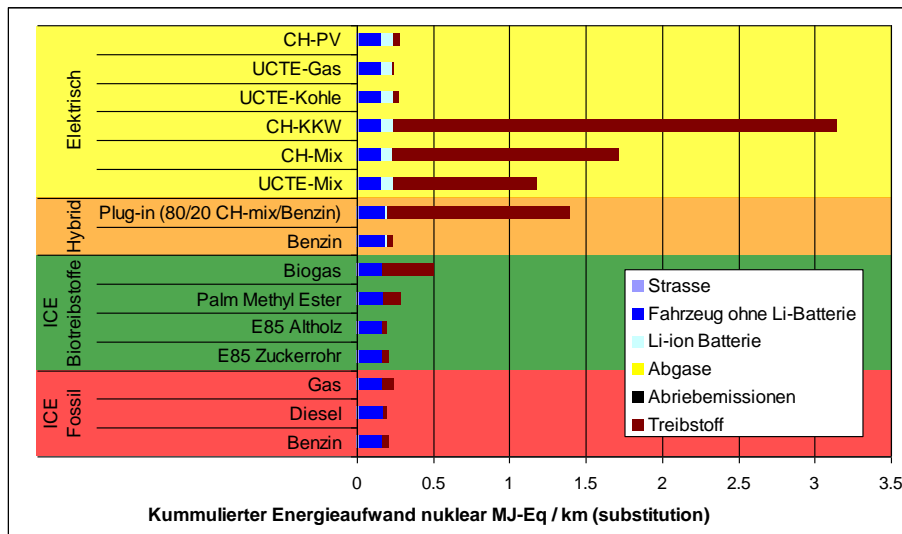
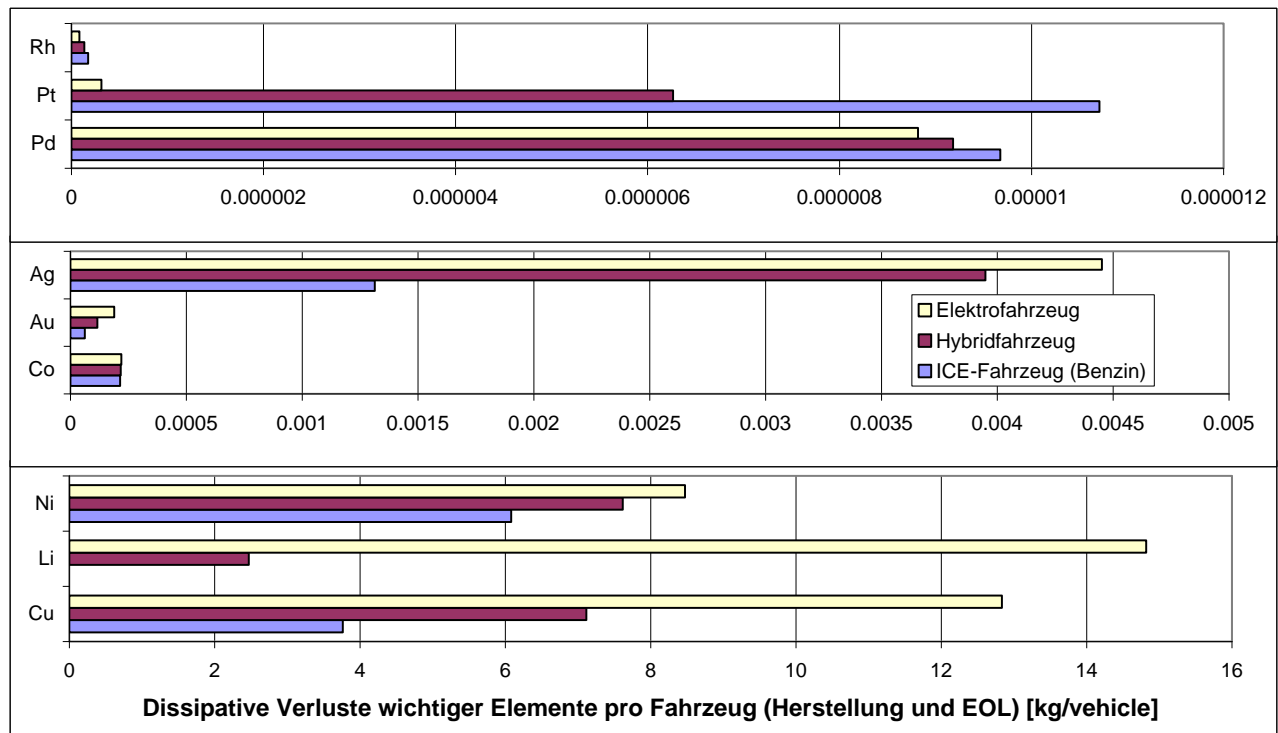


Abbildung 8 Mobilitätsvergleich bezüglich kumulierten Energiebedarfs (nuklear und fossil) und kumulierten Exergiebedarfs (Metalle und Mineralien).



**Abbildung 9** Dissipative Verluste an wichtigen Materialien durch verschiedene Fahrzeugtypen (pro Fahrzeug, ohne Betrieb). Mit Ausnahme der Werte für Lithium überschätzen diese Ergebnisse die effektiven dissipativen Verluste aufgrund der Modellierung des Hintergrundsystems in ecoinvent zum Teil massiv (siehe Diskussion).

Metall	Masse [kg]			Masse [% von Elektrofahrzeug]		
	ICE-Fahrzeug (Benzin)	Hybridfahrzeug	Elektrofahrzeug	ICE-Fahrzeug (Benzin)	Hybridfahrzeug	Elektrofahrzeug
Al	8.74	24	90.8	10%	26%	100%
Co	0.000215	0.000217	0.00022	98%	99%	100%
Cu	3.76	7.12	12.8	29%	55%	100%
Au	0.0000619	0.000117	0.000189	33%	62%	100%
In	0.00112	0.00111	0.0011	101%	101%	100%
Fe	190	223	250	76%	89%	100%
La	5.14E-18	0.165	0.118	0%	140%	100%
Pb	2.22	1.45	0.143	1554%	1017%	100%
Li	0	2.47	14.8	0%	17%	100%
Mn	1.13	18.6	96.2	1%	19%	100%
Mo	1.2	1.51	1.37	88%	110%	100%
Ni	6.08	7.62	8.47	72%	90%	100%
Pd	0.00000967	0.00000918	0.00000882	110%	104%	100%
Pt	0.0000107	0.00000627	0.00000313	3425%	2005%	100%
Rh	0.000000175	0.000000135	0.000000083	210%	163%	100%
Ag	0.00131	0.00395	0.00445	30%	89%	100%
Sn	0.0746	0.198	0.217	34%	91%	100%
Zn	17	17.6	15.4	110%	114%	100%
Zr	0.00405	0.0123	0.0112	36%	110%	100%

**Tabelle 17** Dissipative Verluste an wichtigen Materialien durch verschiedene Fahrzeugtypen (pro Fahrzeug, ohne Betrieb). Mit Ausnahme der Werte für Lithium überschätzen diese Ergebnisse die effektiven dissipativen Verluste aufgrund der Modellierung des Hintergrundsystems in ecoinvent zum Teil massiv (siehe Diskussion).

## 6.2 Sensitivitätsanalysen

Die Resultate der Sensitivitätsanalysen werden in Abbildung 11 bis Abbildung 22 gezeigt. In diesen Grafiken werden die Einheitsprozesse analog zu den Darstellungen der Basisvariante zusammengefasst. Die Szenarien beinhalten alle Veränderungen gemäss Tabelle 16 mit Ausnahme der EOL-Modellierung. Letztere wird in Kapitel 6.2.1 separat dargestellt. Somit beinhaltet ein worst-case-Resultat also die worst-case-Annahmen zu Energie- bzw. Treibstoffbedarf, Abriebemissionen und Batterielebensdauer. Analog dazu beinhaltet das best-case-Resultat die entsprechenden best-case-Annahmen. Die Werte zu den Abbildungen sind in Tabelle 19 (Teil 1 bis 6) zu finden.

Die Sensitivität der Ergebnisse hinsichtlich des Anteils an Netzstrom beim Betrieb der Plug-in-Hybridfahrzeuge ist in Abbildung 10 dargestellt. Die meisten Indikatoren werden durch einen erhöhten Anteil an Netzstrom zum Teil drastisch reduziert. Die Indikatoren für radioaktive Abfälle und der CED nuklear steigen dagegen mit steigendem Netzstromanteil relativ stark an. Einen leichten Anstieg zeigen auch die Indikatoren für Landverbrauch und der kumulierte Exergiebedarf für Metalle.

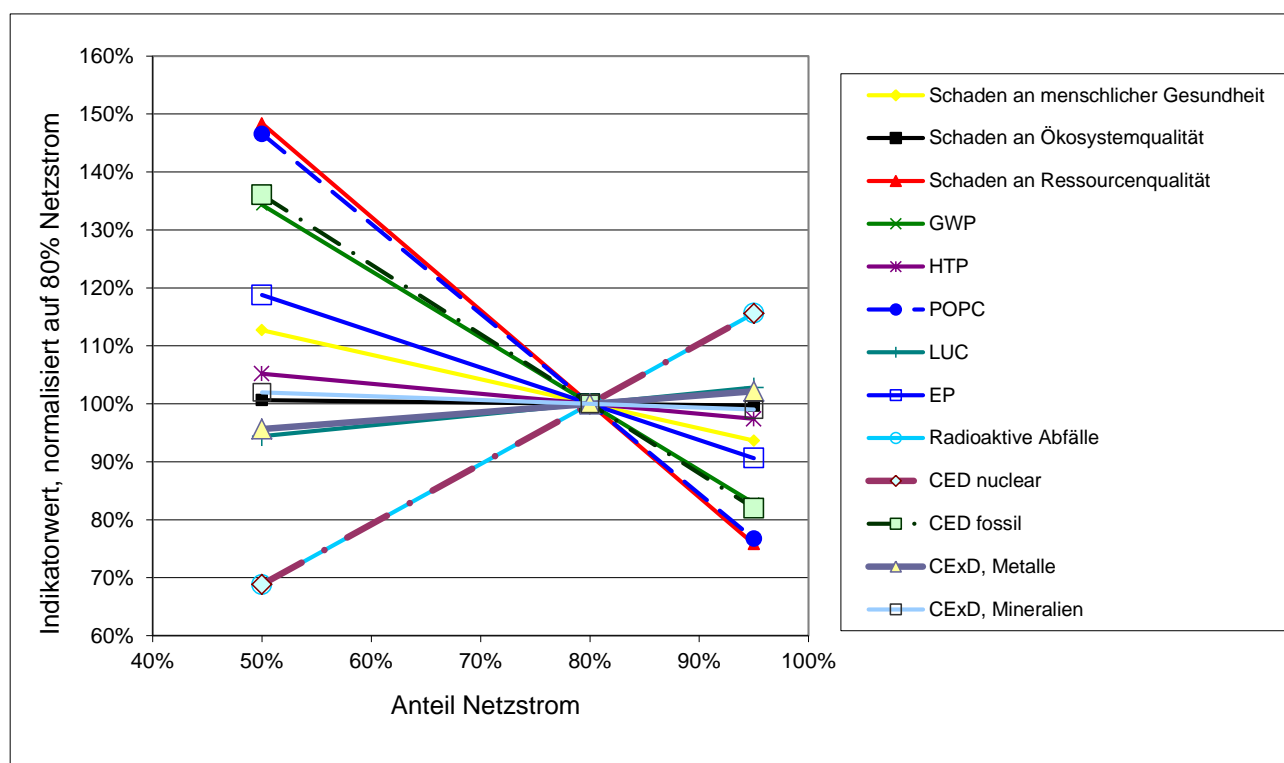


Abbildung 10 Sensitivitätsanalyse bezüglich Anteil Strom ab Netz bei Plug-in-Hybridfahrzeugen.

Die dissipativen Verluste wichtiger Materialien durch Herstellung, Unterhalt und Entsorgung wird in den Szenarien nur für die Batterielebensdauer und damit nur für die Elektrofahrzeuge verändert. Die Werte sind in Tabelle 18 ausgewiesen. Während viele Werte nicht sehr sensitiv darauf reagieren, ob eine oder zwei Batterien im Elektrofahrzeug benötigt werden, zeigen andere doch deutliche Unterschiede. Die grössten Unterschiede sehen wir bei Lithium und Aluminium, die beim Recycling der Batterien nicht



zurückgewonnen werden. Wie schon bei den Basisvarianten ist zu beachten, dass in diesen Werten die Phase „Betrieb Fahrzeug“ nicht enthalten ist, da für diese Phase aufgrund der Modellierung von EOL-Recycling in der ecoinvent Datenbank keine sinnvollen Werte berechnet werden können.

Metall	Masse [kg]		Veränderung zu Basisvariante	
	best case	worst case	best case	worst case
Al	3.52E+01	2.02E+02	39%	223%
Co	2.17E-04	2.25E-04	99%	102%
Cu	7.71E+00	2.31E+01	60%	180%
Au	1.21E-04	3.24E-04	64%	172%
In	1.10E-03	1.11E-03	100%	101%
Fe	2.05E+02	3.40E+02	82%	136%
La	1.18E-01	1.18E-01	100%	100%
Pb	1.07E-01	2.14E-01	75%	150%
Li	4.93E+00	3.46E+01	33%	233%
Mn	3.35E+01	2.22E+02	35%	230%
Mo	1.22E+00	1.66E+00	89%	121%
Ni	6.72E+00	1.20E+01	79%	141%
Pd	5.69E-06	1.51E-05	65%	171%
Pt	2.45E-07	4.48E-07	78%	143%
Rh	6.08E-08	1.28E-07	73%	154%
Ag	3.71E-03	5.94E-03	83%	133%
Sn	1.86E-01	2.80E-01	86%	129%
Zn	1.50E+01	1.64E+01	97%	106%
Zr	1.10E-02	1.17E-02	98%	104%

**Tabelle 18** Sensitivitäten der dissipativen Verluste an wichtigen Materialien durch Elektrofahrzeuge (pro Fahrzeug, ohne Betrieb) in den Szenarien. Mit Ausnahme der Werte für Lithium überschätzen diese Ergebnisse die effektiven dissipativen Verluste aufgrund der Modellierung des Hintergrundsystems in ecoinvent (siehe Diskussion).

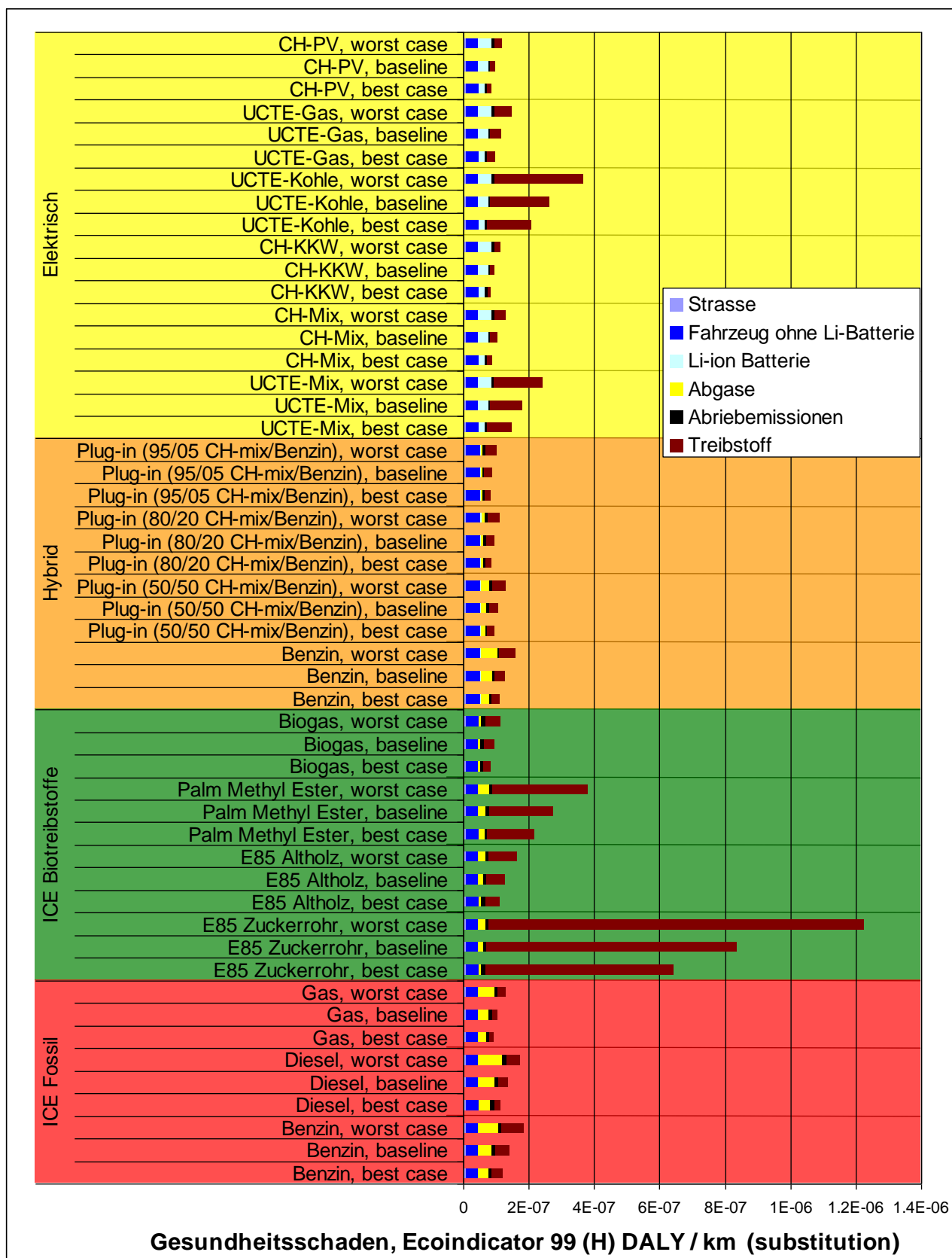


Abbildung 11 Szenarienvergleich bezüglich Ecoindicator-99-(H)-Endpoints „Schaden an menschlicher Gesundheit“.

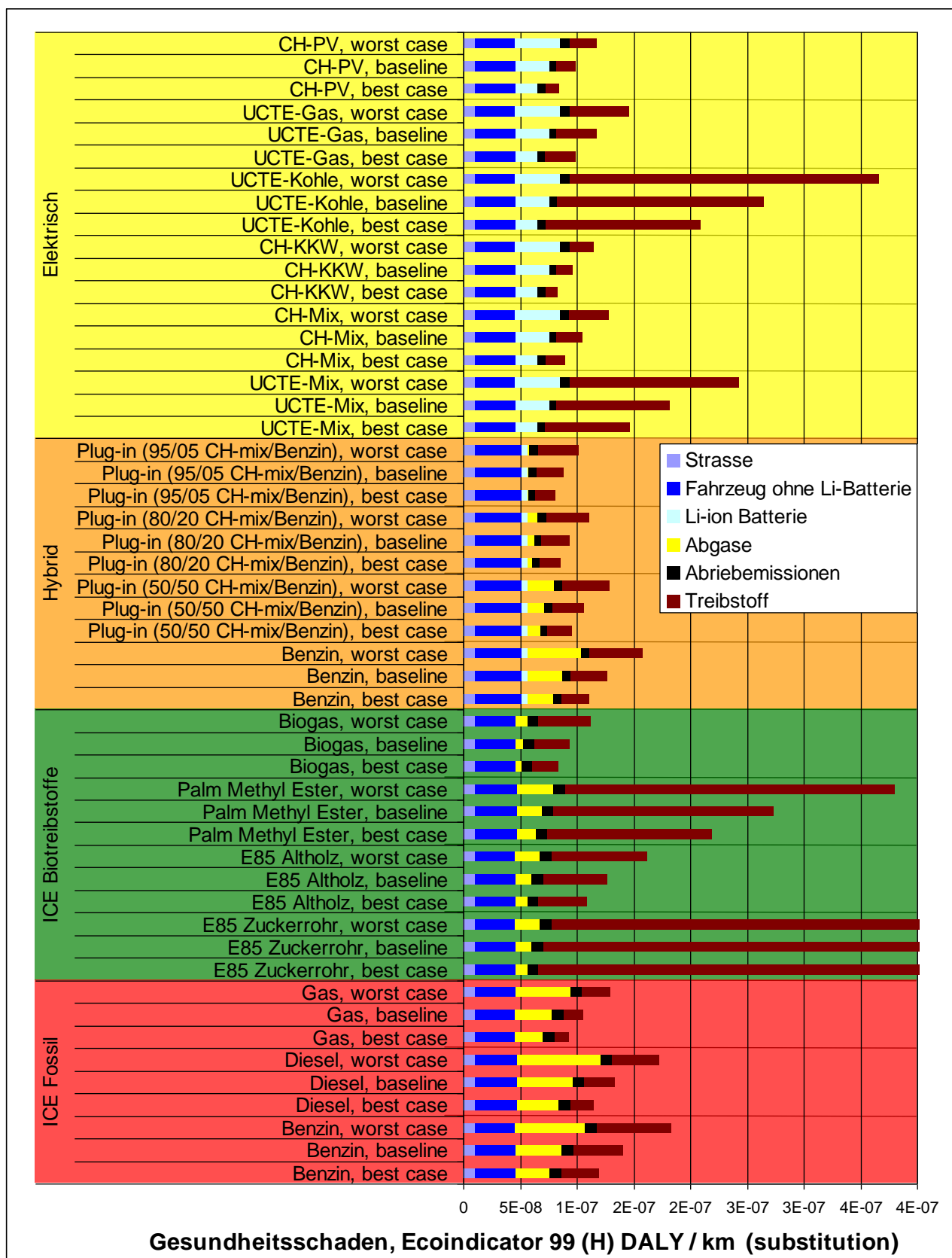


Abbildung 11 Szenarienvergleich bezüglich Ecoindicator-99-(H)-Endpoints „Schaden an menschlicher Gesundheit“, mit angepasster Skalierung.

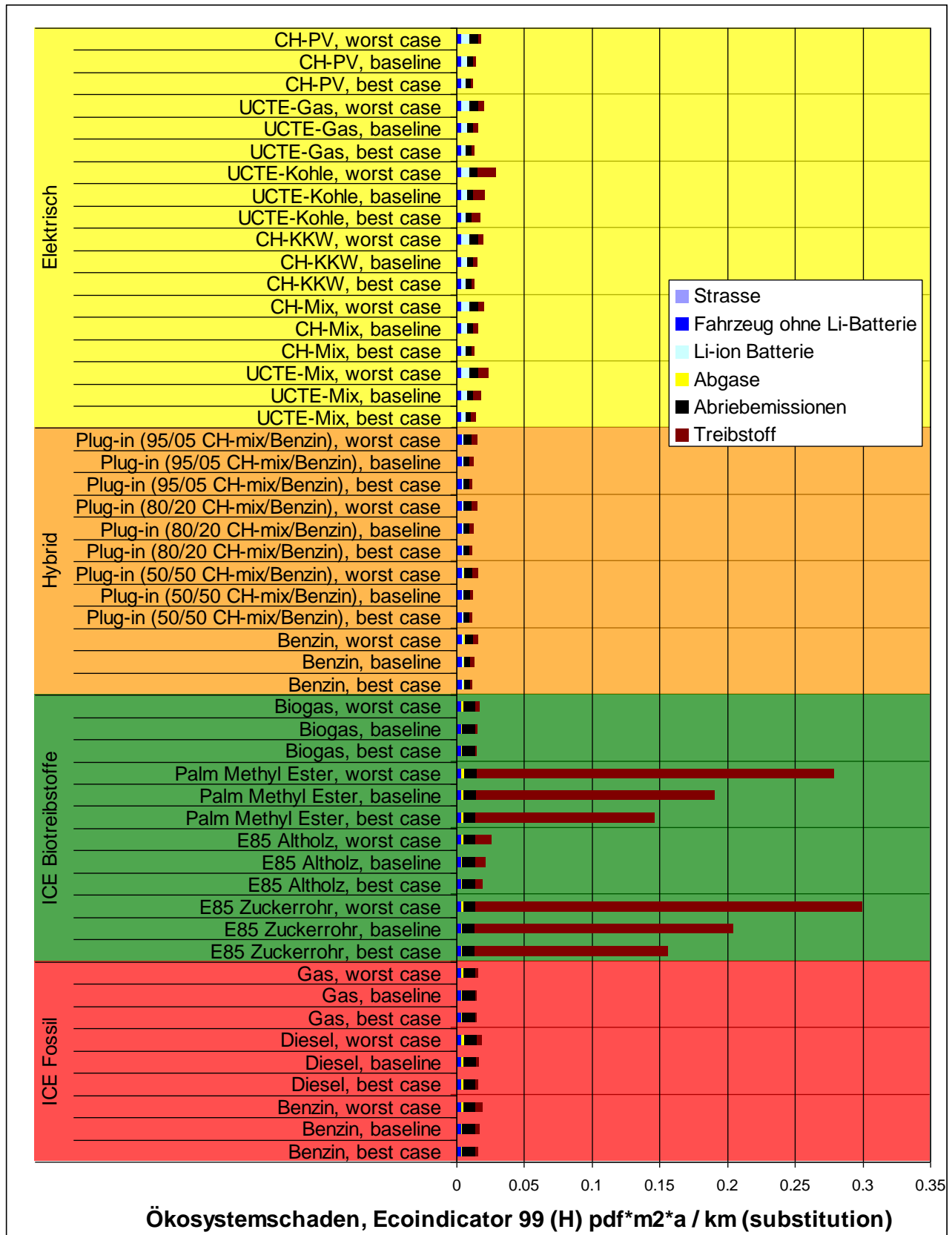


Abbildung 12 Szenarienvergleich bezüglich Ecoindicator-99-(H)-Endpoints „Schaden an Ökosystemqualität“.

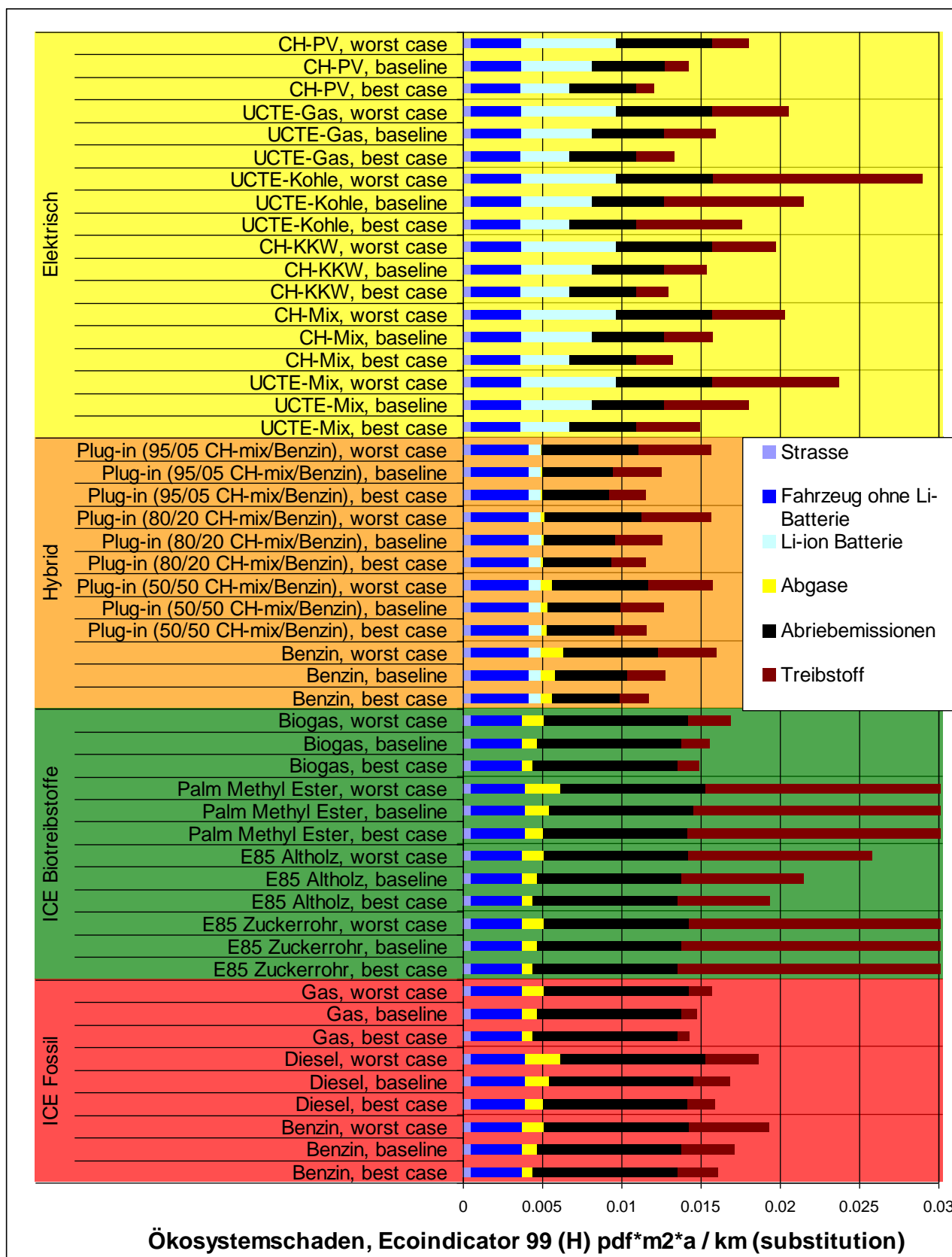


Abbildung 12 Szenarienvergleich bezüglich Ecoindicator-99-(H)-Endpoints „Schaden an Ökosystemqualität“ mit angepasster Skalierung.

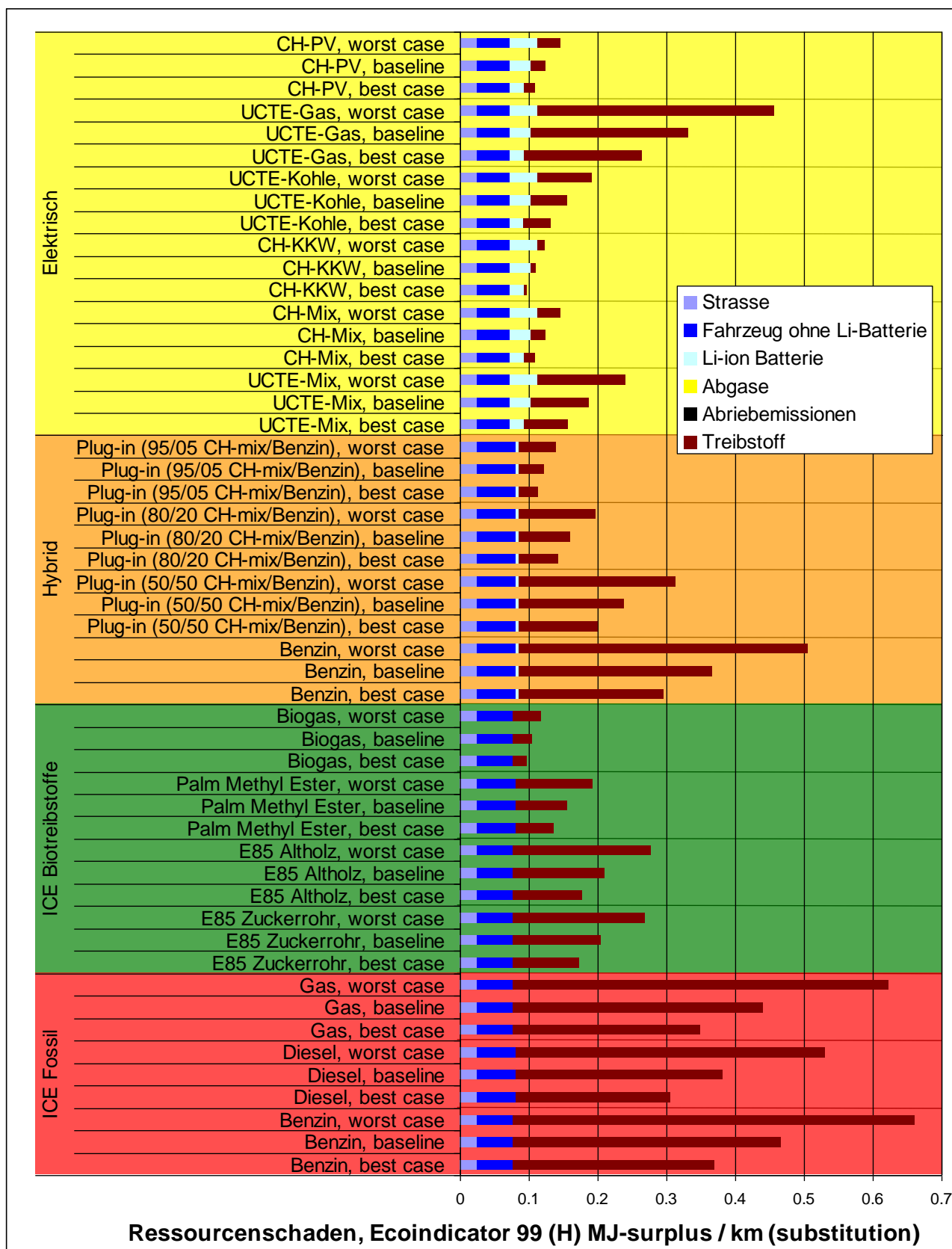


Abbildung 13 Szenarienvergleich bezüglich Ecoindicator-99-(H)-Endpoints „Schaden an Ressourcenqualität“.

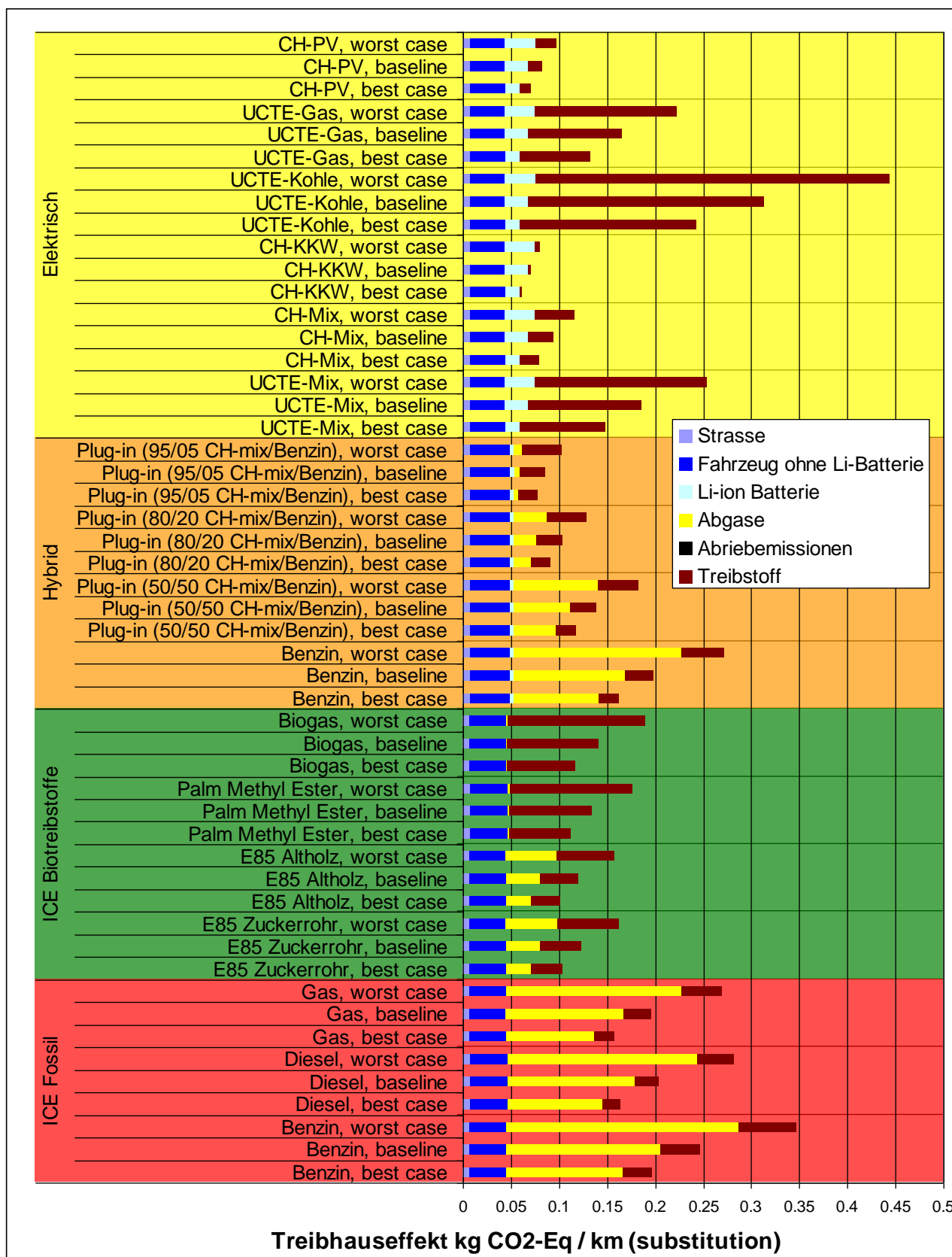


Abbildung 14 Szenarienvergleich bezüglich Treibhauseffekt.

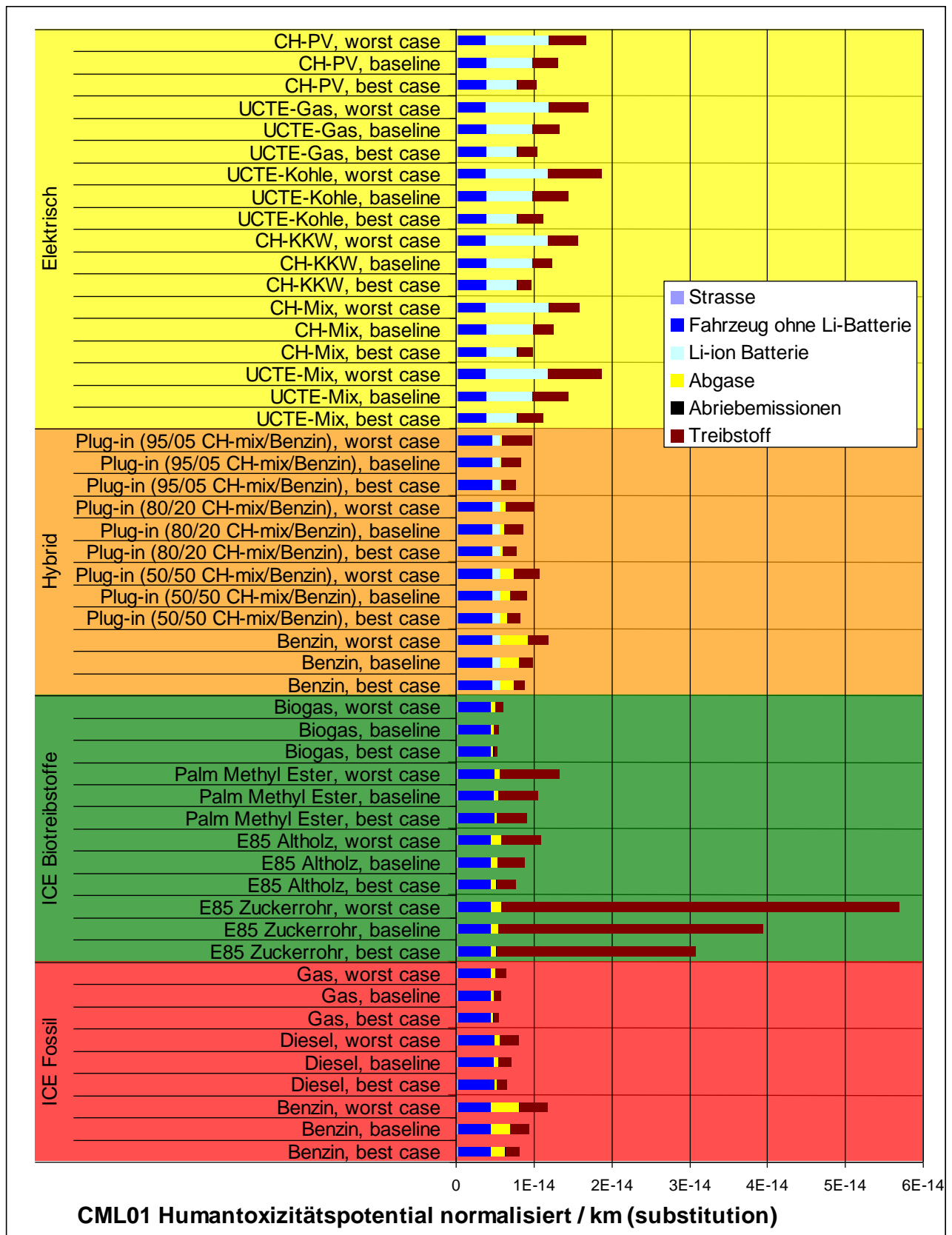


Abbildung 15 Szenarienvergleich bezüglich CML-01-Indikator „Humantoxizitätspotenzial (HTP)“.



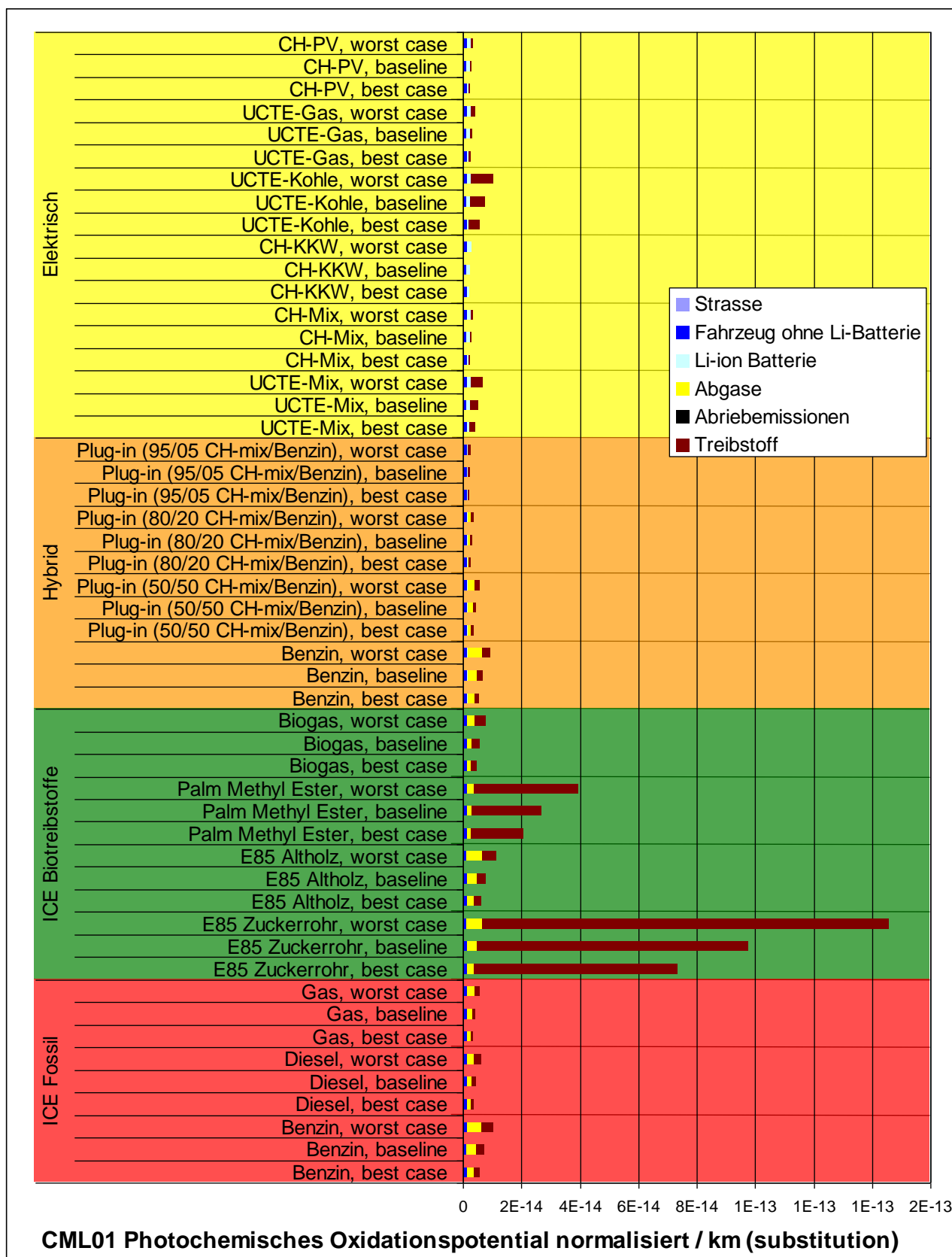


Abbildung 16 Szenarienvergleich bezüglich CML-01-Indikator „photochemisches Oxidationspotenzial (POPC)“.

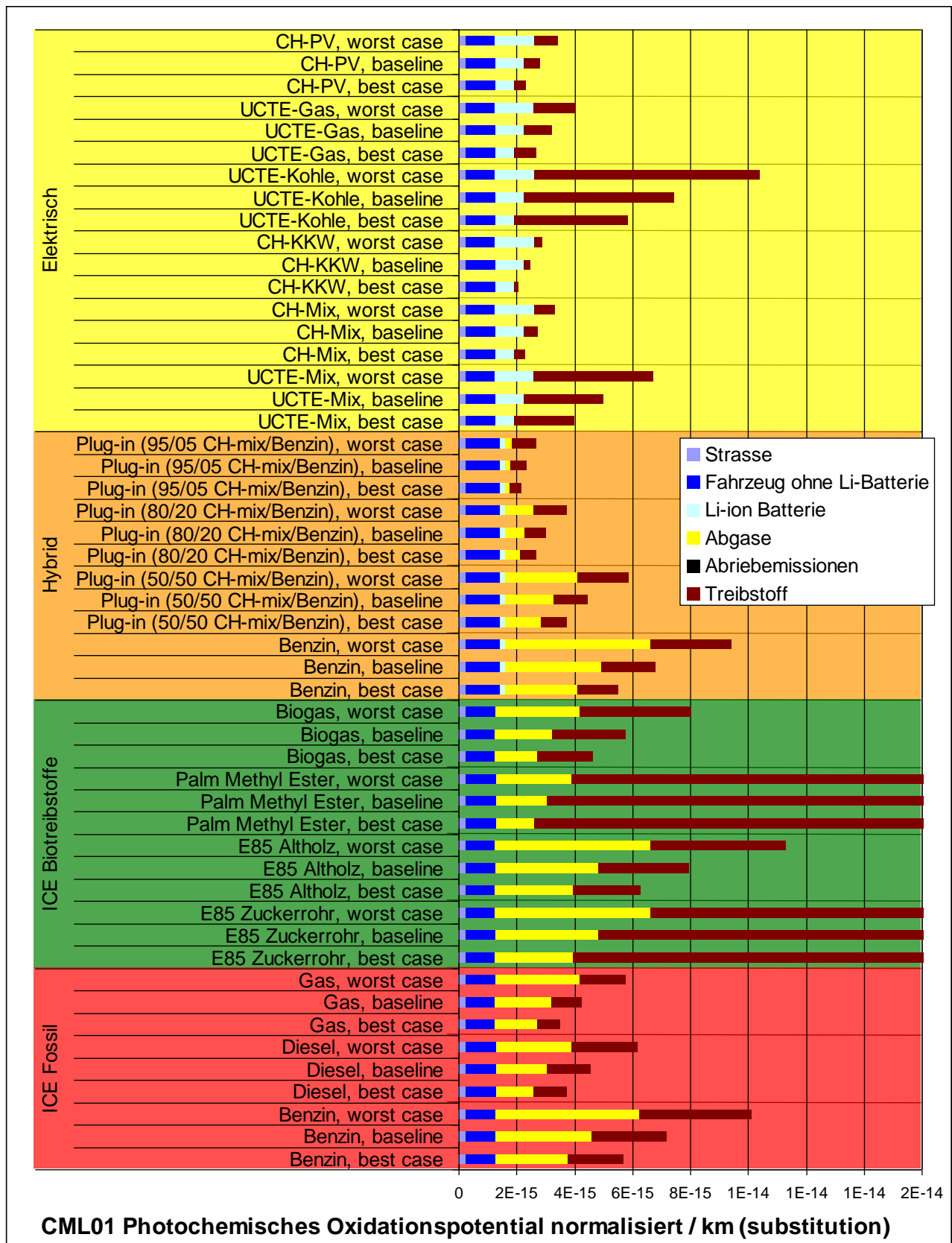


Abbildung 16 Szenarienvergleich bezüglich CML-01-Indikator „photochemisches Oxidationspotenzial (POPC)“ mit angepasster Skalierung,

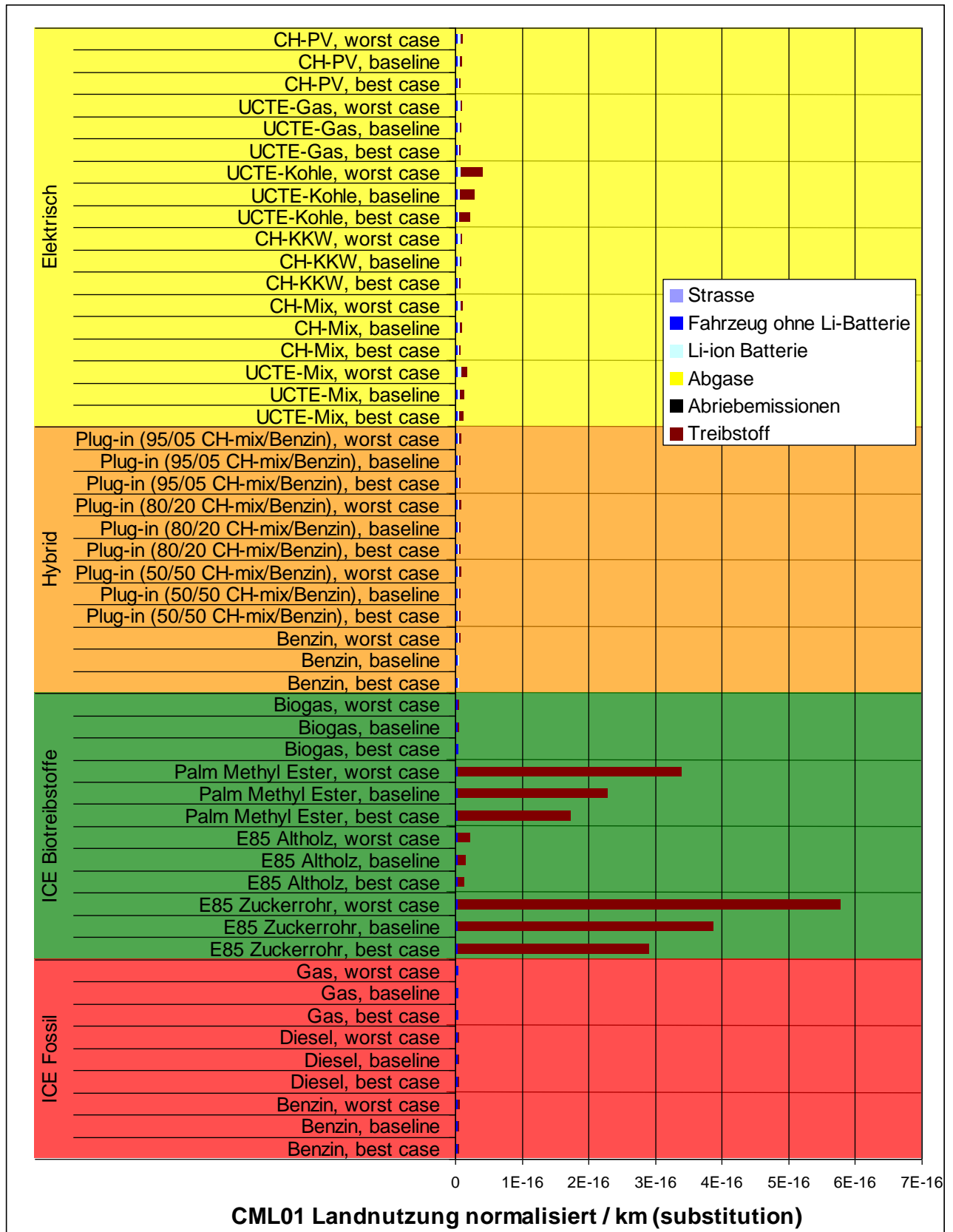


Abbildung 17 Szenarienvergleich bezüglich CML-01-Indikator „Landnutzung (LUC)“.

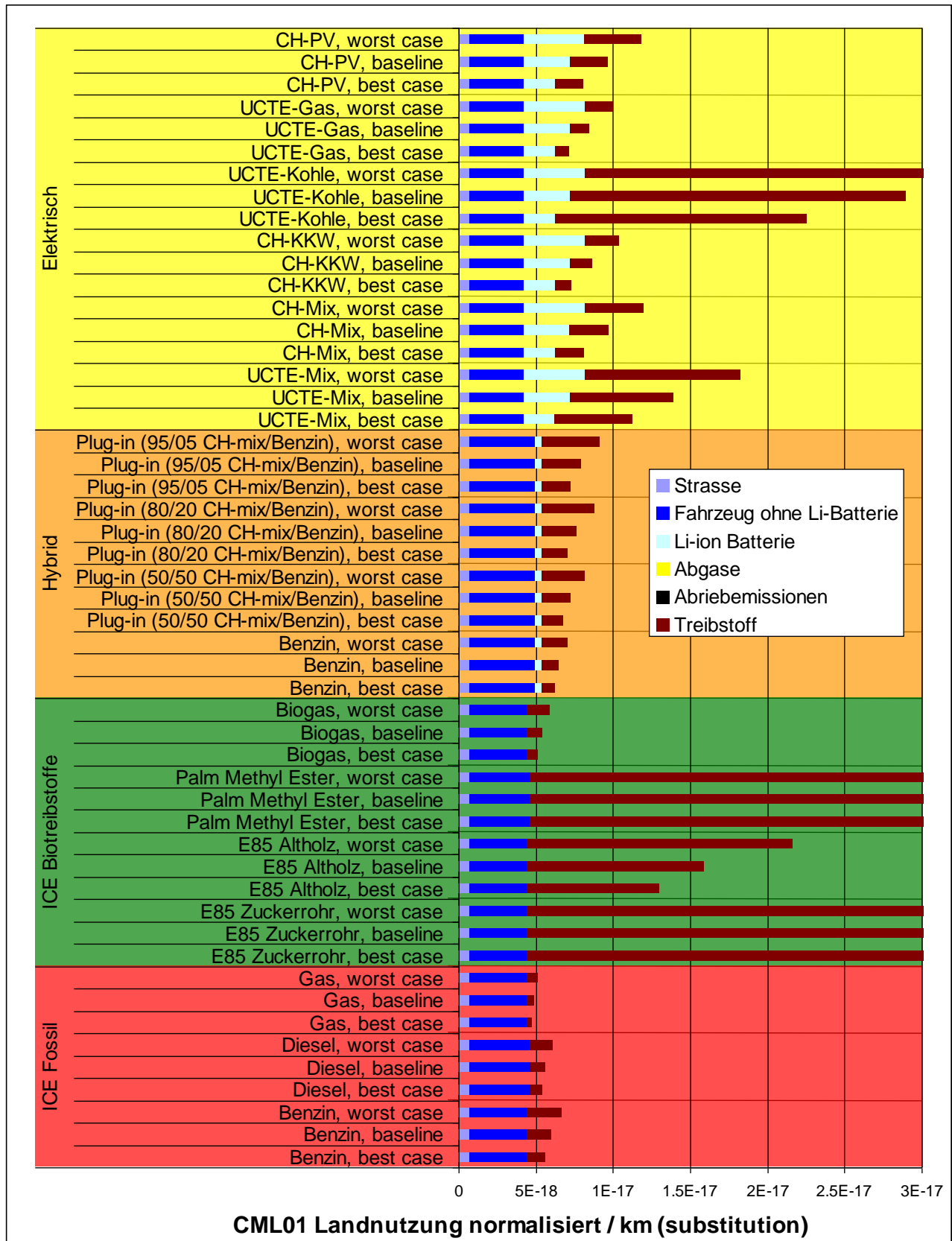


Abbildung 17 Szenarienvergleich bezüglich CML-01-Indikator „Landnutzung (LUC)“ mit angepasster Skalierung.

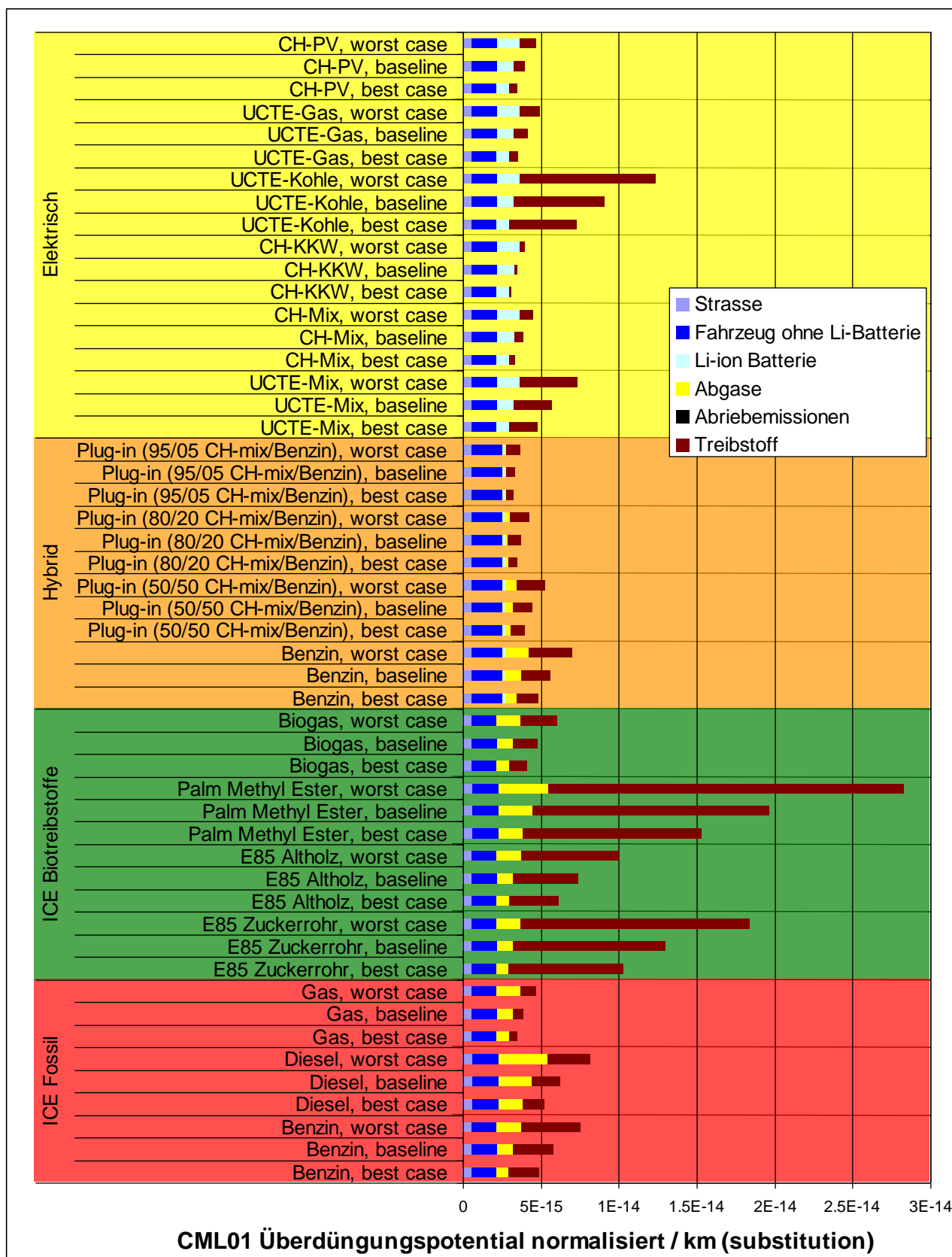


Abbildung 18 Szenarienvergleich bezüglich CML-01-Indikator „Überdüngung (EP)“.

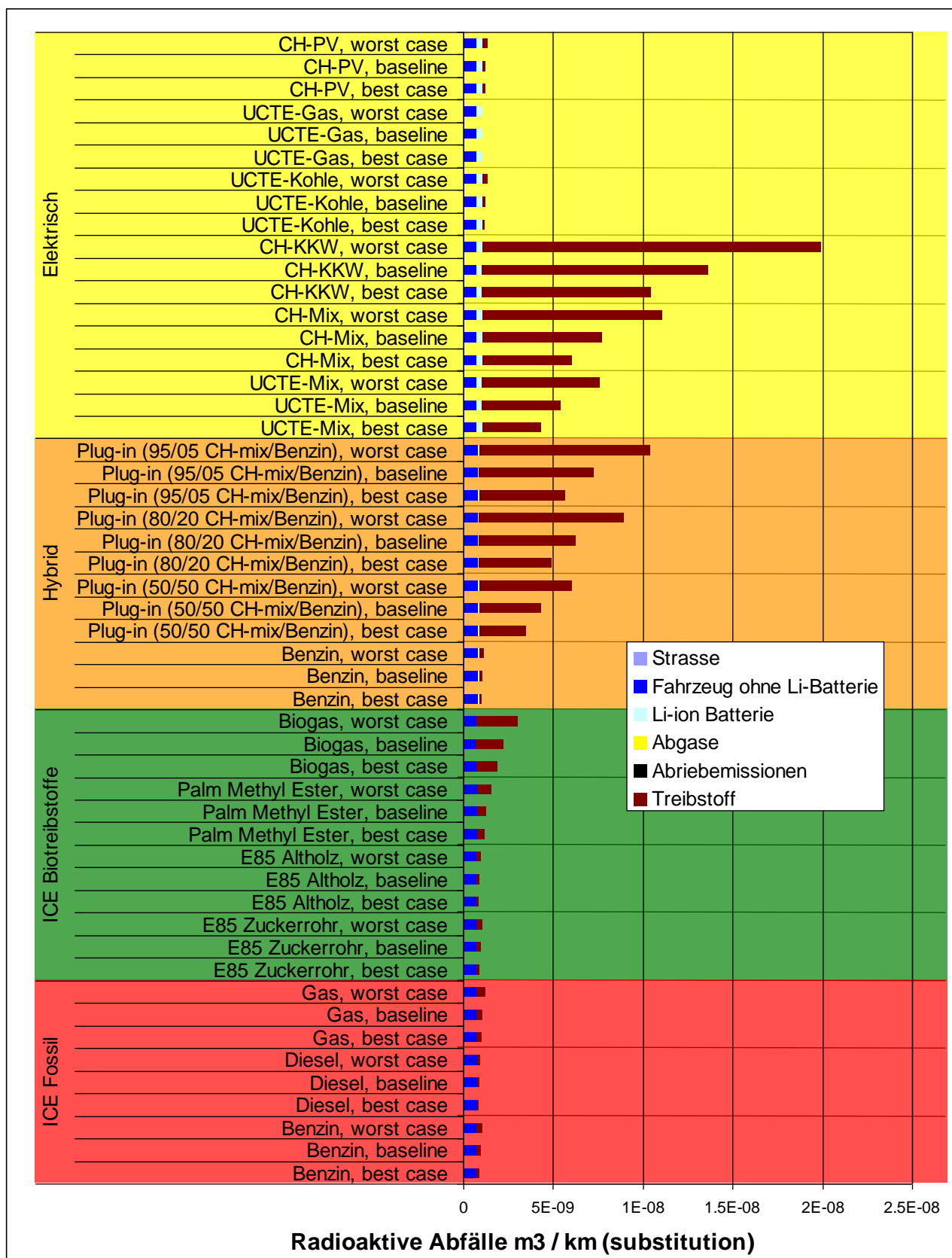


Abbildung 19 Szenarienvergleich bezüglich Volumen radioaktiver Abfälle.

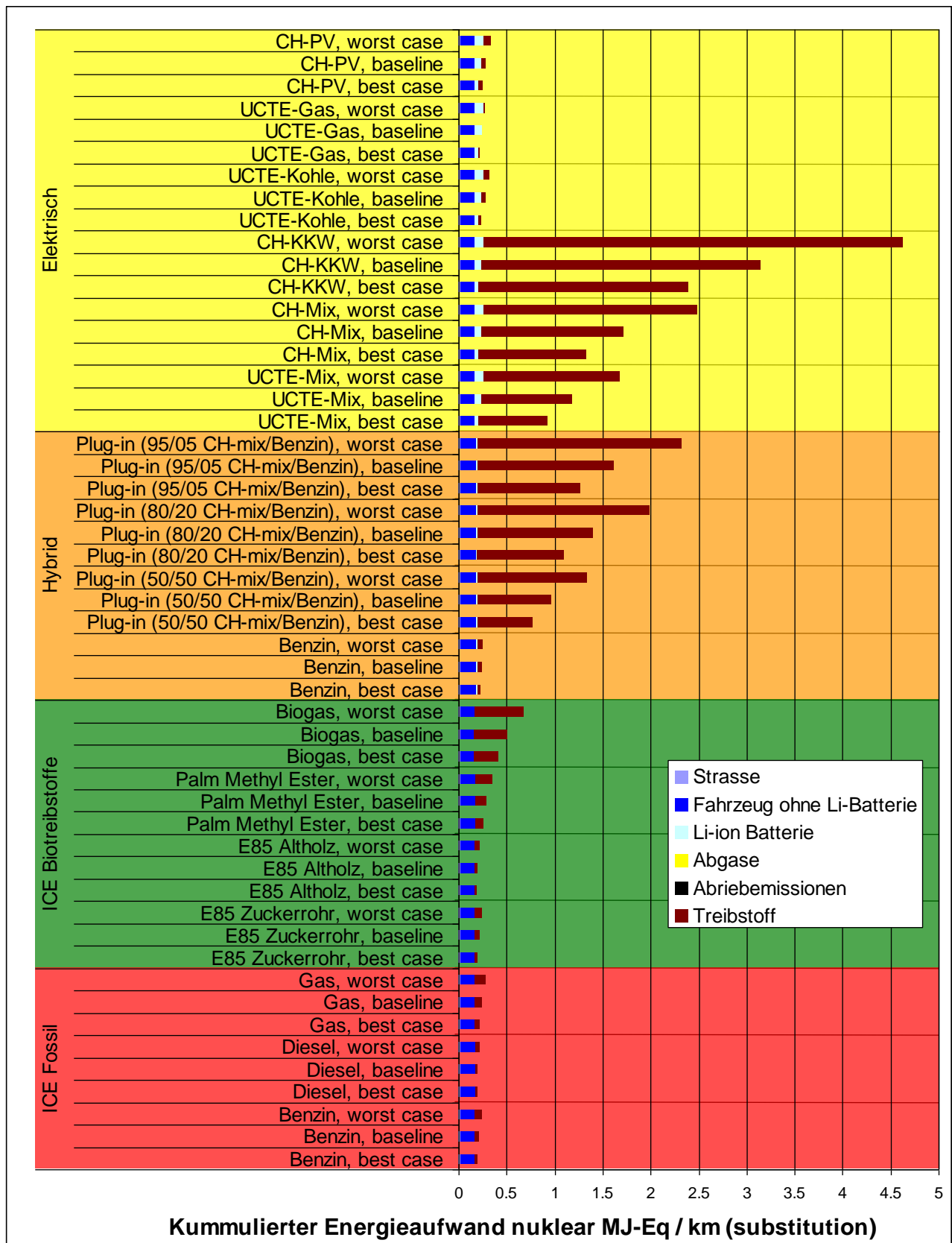


Abbildung 20 Szenarienvergleich bezüglich kumulierten Energiebedarfs nuklear.

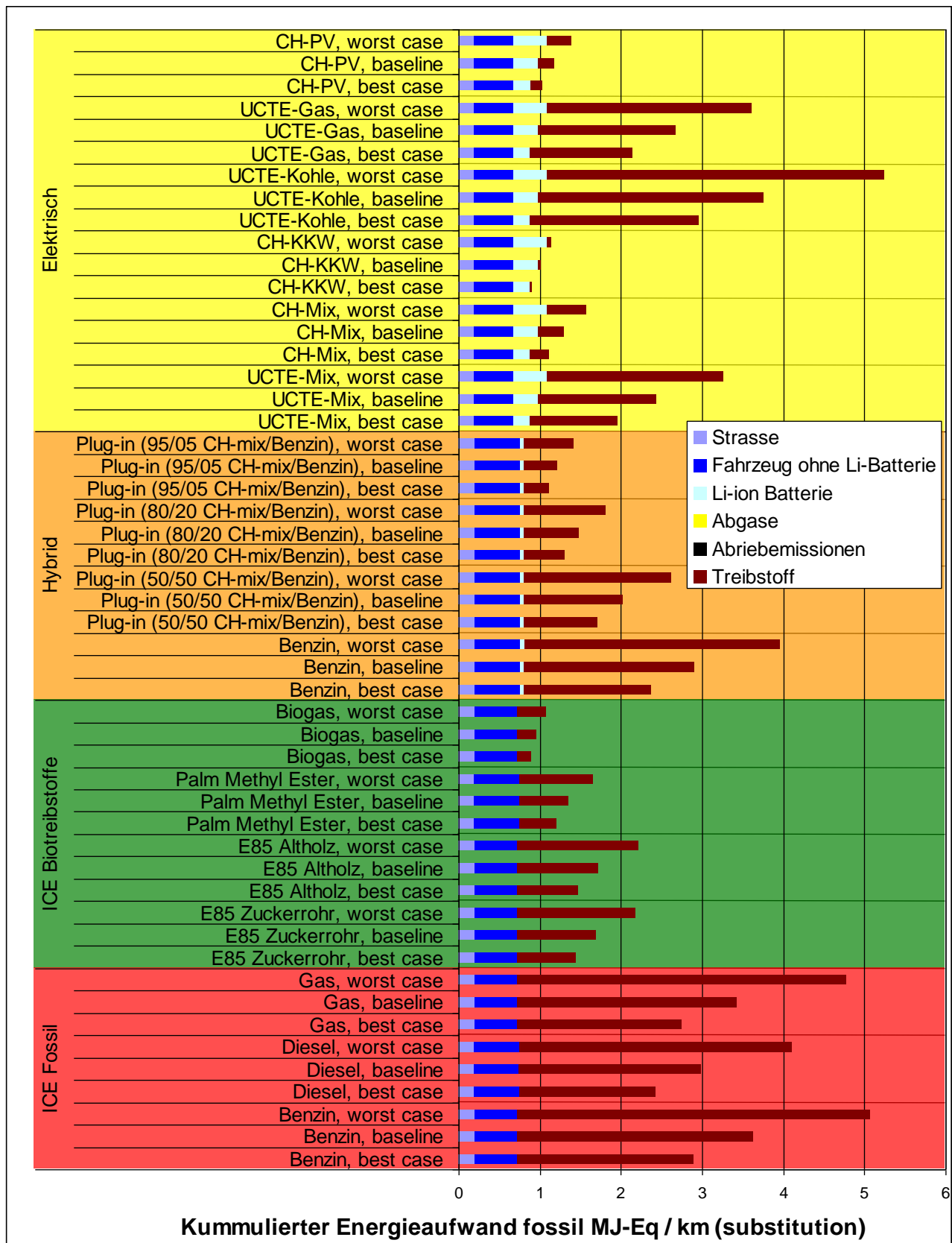


Abbildung 21 Szenarienvergleich bezüglich kumulierten Energiebedarfs fossil.



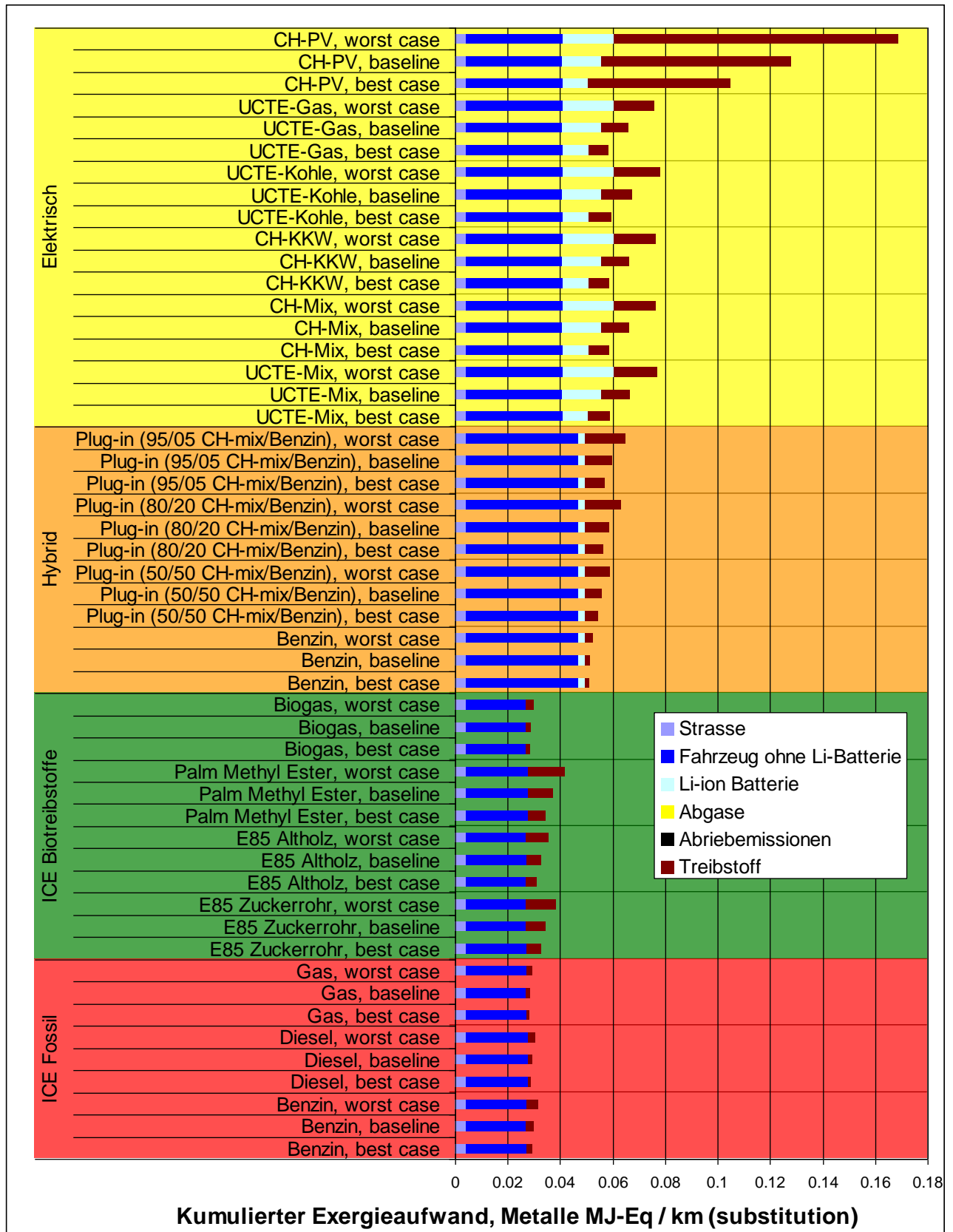


Abbildung 22 Szenarienvergleich bezüglich kumulierten Exergiebedarfs Metalle.

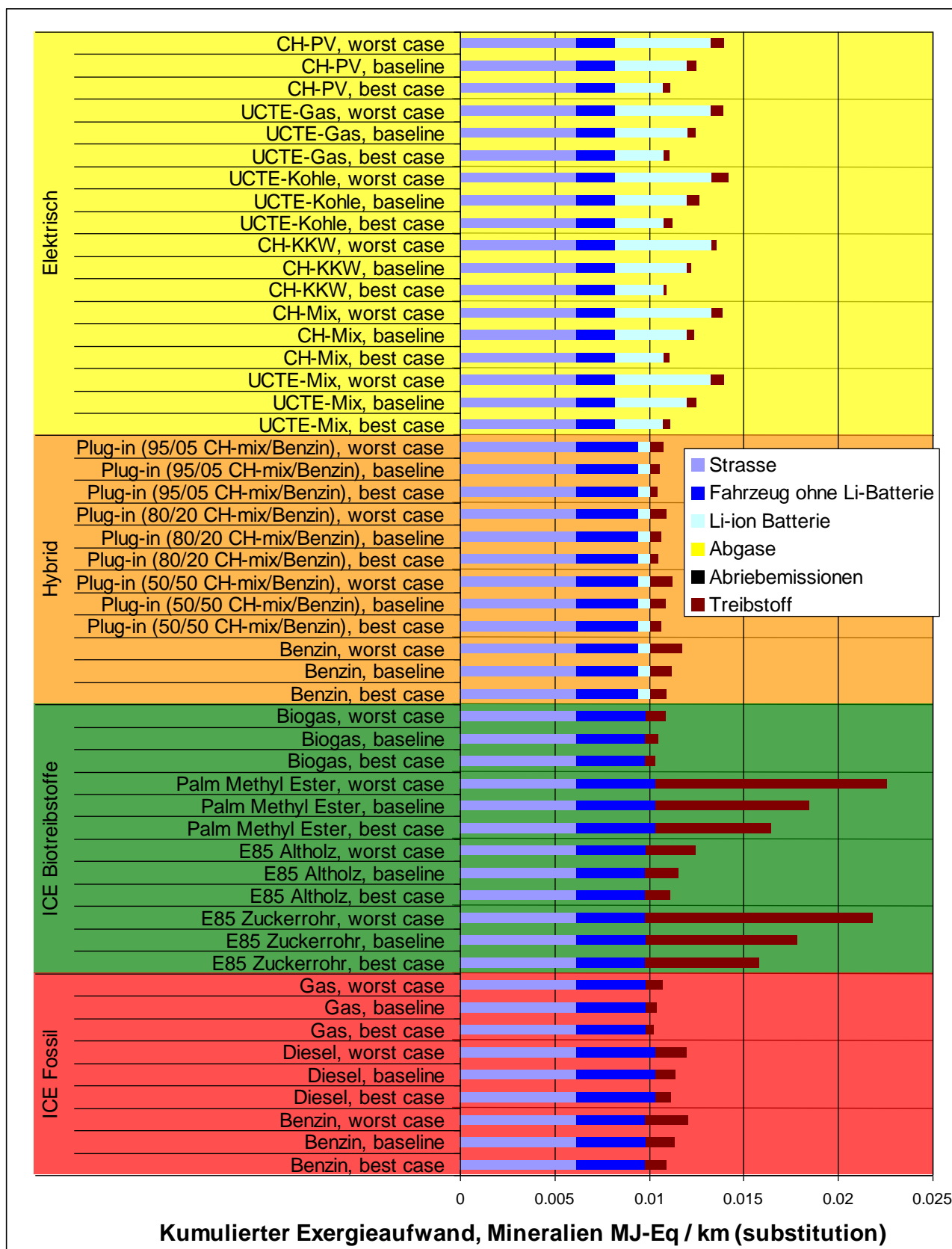


Abbildung 23 Szenarienvergleich bezüglich kumulierten Exergiebedarfs Mineralien.



		ICE Fossil																		ICE Biotreibstoffe									
		Benzin			Diesel			Gas			E85 Zuckerrohr			E85 Altholz			Palm Methyl Ester			Biogas									
		best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case							
Überdüngung [1 / km]	Strasse	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16							
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.74E-15	1.74E-15	1.74E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15							
	Li-ion Batterie																												
	Abgase	7.64E-16	1.02E-15	1.53E-15	1.58E-15	2.11E-15	3.17E-15	7.64E-16	1.02E-15	1.53E-15	7.64E-16	1.02E-15	1.53E-15	7.64E-16	1.02E-15	1.53E-15	1.58E-15	2.11E-15	3.17E-15	7.64E-16	1.02E-15	1.53E-15							
	Abriebemissionen																												
	Treibstoff	1.92E-15	2.56E-15	3.84E-15	1.36E-15	1.81E-15	2.71E-15	4.96E-16	6.61E-16	9.91E-16	7.35E-15	9.8E-15	1.47E-14	3.15E-15	4.19E-15	6.29E-15	1.14E-14	1.52E-14	2.28E-14	1.17E-15	1.57E-15	2.35E-15							
Total	4.87E-15	5.76E-15	7.55E-15	5.24E-15	6.22E-15	8.18E-15	3.44E-15	3.86E-15	4.7E-15	1.03E-14	1.3E-14	1.84E-14	6.09E-15	7.4E-15	1E-14	1.53E-14	1.96E-14	2.83E-14	4.12E-15	4.77E-15	6.06E-15								
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	Strasse	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11							
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.84E-10	6.84E-10	6.84E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.5E-10	6.84E-10	6.84E-10	6.84E-10	6.5E-10	6.5E-10							
	Li-ion Batterie																												
	Abgase																												
	Abriebemissionen																												
	Treibstoff	1.59E-10	2.13E-10	3.19E-10	1.02E-10	1.35E-10	2.03E-10	2.59E-10	3.46E-10	5.19E-10	1.71E-10	2.27E-10	3.41E-10	1.21E-10	1.62E-10	2.43E-10	3.97E-10	5.29E-10	7.93E-10	1.15E-09	1.53E-09	2.29E-09							
Total	8.89E-10	9.42E-10	1.05E-09	8.64E-10	8.98E-10	9.66E-10	9.89E-10	1.07E-09	1.25E-09	9E-10	9.57E-10	1.07E-09	8.51E-10	8.91E-10	9.72E-10	1.16E-09	1.29E-09	1.56E-09	1.87E-09	2.26E-09	3.02E-09								
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	Strasse	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174							
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.147	0.147	0.147	0.154	0.154	0.154	0.147	0.147	0.147	0.147	0.147	0.147	0.147	0.147	0.147	0.154	0.154	0.154	0.147	0.147	0.147							
	Li-ion Batterie																												
	Abgase																												
	Abriebemissionen																												
	Treibstoff	0.0357	0.0476	0.0714	0.0221	0.0295	0.0443	0.0576	0.0768	0.115	0.0376	0.0501	0.0752	0.0269	0.0359	0.0539	0.0888	0.118	0.178	0.254	0.339	0.508							
Total	0.2	0.212	0.235	0.194	0.201	0.216	0.222	0.241	0.279	0.202	0.214	0.239	0.191	0.2	0.218	0.26	0.29	0.349	0.418	0.503	0.672								
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	Strasse	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194							
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.523	0.523	0.523	0.553	0.553	0.553	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.523	0.553	0.553	0.553	0.523	0.523	0.523							
	Li-ion Batterie																												
	Abgase																												
	Abriebemissionen																												
	Treibstoff	2.18	2.91	4.36	1.68	2.24	3.36	2.03	2.71	4.06	0.732	0.977	1.46	0.752	1	1.5	0.452	0.603	0.904	0.179	0.239	0.358							
Total	2.9	3.62	5.07	2.43	2.99	4.1	2.75	3.42	4.78	1.45	1.69	2.18	1.47	1.72	2.22	1.2	1.35	1.65	0.896	0.956	1.07								
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	Strasse	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004							
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.023	0.023	0.023	0.0237	0.0237	0.0237	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.0237	0.0237	0.0237	0.023	0.023	0.023							
	Li-ion Batterie																												
	Abgase																												
	Abriebemissionen																												
	Treibstoff	0.00225	0.003	0.0045	0.00135	0.0018	0.00269	0.00118	0.00157	0.00235	0.00562	0.00749	0.0112	0.00433	0.00577	0.00865	0.00708	0.00943	0.0142	0.00154	0.00205	0.00308							
Total	0.0293	0.03	0.0315	0.029	0.0295	0.0304	0.0282	0.0286	0.0294	0.0326	0.0345	0.0383	0.0314	0.0328	0.0357	0.0347	0.0371	0.0418	0.0286	0.0291	0.0301								
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	Strasse	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616							
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.00363	0.00363	0.00363	0.00417	0.00417	0.00417	0.00363	0.00363	0.00363	0.00363	0.00363	0.00363	0.00363	0.00363	0.00363	0.00417	0.00417	0.00417	0.00363	0.00363	0.00363							
	Li-ion Batterie																												
	Abgase																												
	Abriebemissionen																												
	Treibstoff	0.00115	0.00153	0.00229	0.000813	0.00108	0.00163	0.000454	0.000605	0.000907	0.00602	0.00802	0.012	0.00132	0.00176	0.00264	0.00611	0.00815	0.0122	0.000549	0.000732	0.0011							
Total	0.0109	0.0113	0.0121	0.0111	0.0114	0.012	0.0102	0.0104	0.0107	0.0158	0.0178	0.0218	0.0111	0.0115	0.0124	0.0164	0.0185	0.0226	0.0103	0.0105	0.0109								

Tabelle 19, Teil 2 Resultate pro Fahrzeugkilometer.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

		Hybrid			Plug-in Hybrid									
		Benzin			Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)			Plug-in (80/20 CH-mix/ Benzin)			Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)			
		best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	Strasse	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08	4.05E-08
	Li-ion Batterie	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09	5.01E-09
	Abgase	2.36E-08	3.15E-08	4.72E-08	1.18E-08	1.57E-08	2.36E-08	4.72E-09	6.29E-09	9.44E-09	1.18E-09	1.57E-09	2.36E-09	
	Abriebemissionen	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	
	Treibstoff	2.36E-08	3.15E-08	4.73E-08	2.05E-08	2.73E-08	4.1E-08	1.86E-08	2.48E-08	3.72E-08	1.76E-08	2.35E-08	3.53E-08	
	Total	1.1E-07	1.26E-07	1.59E-07	9.52E-08	1.06E-07	1.29E-07	8.63E-08	9.42E-08	1.11E-07	8.18E-08	8.82E-08	1.02E-07	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	Strasse	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	0.00371	
	Li-ion Batterie	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	0.000748	
	Abgase	0.000678	0.000904	0.00136	0.000339	0.000452	0.000678	0.000136	0.000181	0.000271	3.39E-05	4.52E-05	6.78E-05	
	Abriebemissionen	0.00426	0.00451	0.00605	0.00426	0.00451	0.00605	0.00426	0.00451	0.00605	0.00426	0.00451	0.00605	
	Treibstoff	0.00182	0.00242	0.00363	0.00205	0.00274	0.00411	0.0022	0.00293	0.00439	0.00227	0.00302	0.00454	
	Total	0.0117	0.0128	0.016	0.0116	0.0127	0.0158	0.0115	0.0126	0.0157	0.0115	0.0125	0.0156	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	Strasse	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	0.0564	
	Li-ion Batterie	0.00514	0.00514	0.00514	0.00514	0.00514	0.00514	0.00514	0.00514	0.00514	0.00514	0.00514		
	Abgase													
	Abriebemissionen													
	Treibstoff	0.21	0.28	0.42	0.114	0.151	0.227	0.0555	0.074	0.111	0.0265	0.0354	0.0531	
	Total	0.296	0.366	0.506	0.199	0.237	0.313	0.141	0.16	0.197	0.112	0.121	0.139	
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	Strasse	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	0.042	
	Li-ion Batterie	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	0.00397	
	Abgase	0.0873	0.116	0.175	0.0437	0.0582	0.0873	0.0175	0.0233	0.0349	0.00437	0.00582	0.00873	
	Abriebemissionen													
	Treibstoff	0.0217	0.0289	0.0434	0.0209	0.0278	0.0418	0.0204	0.0272	0.0408	0.0201	0.0269	0.0403	
	Total	0.162	0.199	0.271	0.118	0.139	0.182	0.0911	0.104	0.129	0.0777	0.0859	0.102	
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	Strasse	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	4.32E-15	
	Li-ion Batterie	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	1.01E-15	
	Abgase	1.76E-15	2.35E-15	3.53E-15	8.82E-16	1.18E-15	1.76E-15	3.53E-16	4.71E-16	7.06E-16	8.82E-17	1.18E-16	1.76E-16	
	Abrieb-emissionen	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	
	Treibstoff	1.3E-15	1.73E-15	2.6E-15	1.62E-15	2.16E-15	3.24E-15	1.81E-15	2.42E-15	3.63E-15	1.91E-15	2.54E-15	3.82E-15	
	Total	8.83E-15	9.85E-15	1.19E-14	8.27E-15	9.1E-15	1.08E-14	7.93E-15	8.65E-15	1.01E-14	7.76E-15	8.43E-15	9.77E-15	
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	Strasse	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	1.21E-15	
	Li-ion Batterie	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	1.68E-16	
	Abgase	2.5E-15	3.33E-15	4.99E-15	1.25E-15	1.66E-15	2.5E-15	4.99E-16	6.66E-16	9.99E-16	1.25E-16	1.66E-16	2.5E-16	
	Abriebemissionen													
	Treibstoff	1.4E-15	1.86E-15	2.79E-15	8.77E-16	1.17E-15	1.75E-15	5.65E-16	7.54E-16	1.13E-15	4.1E-16	5.46E-16	8.19E-16	
	Total	5.51E-15	6.81E-15	9.4E-15	3.74E-15	4.45E-15	5.87E-15	2.68E-15	3.04E-15	3.75E-15	2.15E-15	2.33E-15	2.69E-15	
Landnutzung [1 / km]	Strasse	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	4.24E-18	
	Li-ion Batterie	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	4.88E-19	
	Abgase													
	Abriebemissionen													
	Treibstoff	8.28E-19	1.1E-18	1.66E-18	1.37E-18	1.82E-18	2.73E-18	1.69E-18	2.25E-18	3.38E-18	1.85E-18	2.47E-18	3.7E-18	
	Total	6.25E-18	6.53E-18	7.08E-18	6.79E-18	7.24E-18	8.15E-18	7.11E-18	7.67E-18	8.8E-18	7.27E-18	7.89E-18	9.12E-18	

**Tabelle 19, Teil 3 Resultate pro Fahrzeugkilometer.**

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

		Hybrid			Plug-in Hybrid								
		Benzin			Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)			Plug-in (80/20 CH-mix/ Benzin)			Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)		
		best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case
Überdüngung [1 / km]	Strasse	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15	1.96E-15
	Li-ion Batterie	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16	1.88E-16
	Abgase	7.64E-16	1.02E-15	1.53E-15	3.82E-16	5.1E-16	7.64E-16	1.53E-16	2.04E-16	3.06E-16	3.82E-17	5.1E-17	7.64E-17
	Abriebemissionen												
	Treibstoff	1.38E-15	1.84E-15	2.77E-15	8.94E-16	1.19E-15	1.79E-15	6E-16	8E-16	1.2E-15	4.53E-16	6.04E-16	9.06E-16
	Total	4.86E-15	5.58E-15	7.01E-15	3.99E-15	4.41E-15	5.26E-15	3.47E-15	3.72E-15	4.22E-15	3.2E-15	3.37E-15	3.7E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	Strasse	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10	7.67E-10
	Li-ion Batterie	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11	5.23E-11
	Abgase												
	Abriebemissionen												
	Treibstoff	1.15E-10	1.53E-10	2.3E-10	2.56E-09	3.41E-09	5.12E-09	4.03E-09	5.37E-09	8.05E-09	4.76E-09	6.35E-09	9.52E-09
	Total	1.01E-09	1.05E-09	1.13E-09	3.46E-09	4.31E-09	6.02E-09	4.93E-09	6.27E-09	8.95E-09	5.66E-09	7.25E-09	1.04E-08
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	Strasse	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172	0.172
	Li-ion Batterie	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
	Abgase												
	Abriebemissionen												
	Treibstoff	0.0257	0.0343	0.0514	0.568	0.758	1.14	0.894	1.19	1.79	1.06	1.41	2.11
	Total	0.227	0.235	0.253	0.77	0.959	1.34	1.1	1.39	1.99	1.26	1.61	2.31
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	Strasse	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563	0.563
	Li-ion Batterie	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527	0.0527
	Abgase												
	Abriebemissionen												
	Treibstoff	1.57	2.09	3.14	0.903	1.2	1.81	0.503	0.671	1.01	0.303	0.404	0.606
	Total	2.38	2.9	3.95	1.71	2.01	2.62	1.31	1.48	1.82	1.11	1.21	1.42
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	Strasse	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043	0.043
	Li-ion Batterie	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244	0.00244
	Abgase												
	Abriebemissionen												
	Treibstoff	0.00162	0.00216	0.00325	0.00482	0.00643	0.00964	0.00674	0.00899	0.0135	0.0077	0.0103	0.0154
	Total	0.0511	0.0516	0.0527	0.0543	0.0559	0.0591	0.0562	0.0585	0.063	0.0572	0.0597	0.0649
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	Strasse	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
	Li-ion Batterie	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627	0.000627
	Abgase												
	Abriebemissionen												
	Treibstoff	0.000825	0.0011	0.00165	0.000564	0.000752	0.00113	0.000407	0.000542	0.000814	0.000328	0.000438	0.000657
	Total	0.0109	0.0112	0.0117	0.0107	0.0108	0.0112	0.0105	0.0106	0.0109	0.0104	0.0105	0.0107

**Tabelle 19, Teil 4 Resultate pro Fahrzeugkilometer.**

		Elektrisch																	
		UCTE-Mix			CH-Mix			CH-KKW			UCTE-Kohle			UCTE-Gas			CH-PV		
		best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	Strasse	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08	1.07E-08
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08	3.49E-08
	Li-ion Batterie	2.01E-08	3.01E-08	4.01E-08	2.01E-08	3.01E-08	4.01E-08	2.01E-08	3.01E-08	4.01E-08	2.01E-08	3.01E-08	4.01E-08	2.01E-08	3.01E-08	4.01E-08	2.01E-08	3.01E-08	4.01E-08
	Abgase																		
	Abriebemissionen	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09	6.75E-09	6.94E-09	8.07E-09
	Treibstoff	7.44E-08	9.93E-08	1.49E-07	1.73E-08	2.31E-08	3.46E-08	1.05E-08	1.4E-08	2.09E-08	1.36E-07	1.82E-07	2.73E-07	2.62E-08	3.5E-08	5.25E-08	1.2E-08	1.6E-08	2.41E-08
	Total	1.47E-07	1.82E-07	2.43E-07	8.97E-08	1.06E-07	1.28E-07	8.29E-08	9.66E-08	1.15E-07	2.09E-07	2.64E-07	3.66E-07	9.87E-08	1.18E-07	1.46E-07	8.45E-08	9.87E-08	1.18E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	Strasse	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493	0.000493
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032	0.0032
	Li-ion Batterie	0.00299	0.00449	0.00599	0.00299	0.00449	0.00599	0.00299	0.00449	0.00599	0.00299	0.00449	0.00599	0.00299	0.00449	0.00599	0.00299	0.00449	0.00599
	Abgase																		
	Abriebemissionen	0.00426	0.00451	0.00605	0.00426	0.00451	0.00605	0.00426	0.00451	0.00605	0.00426	0.00451	0.00605	0.00426	0.00451	0.00605	0.00426	0.00451	0.00605
	Treibstoff	0.004	0.00534	0.00801	0.00229	0.00306	0.00458	0.00202	0.00269	0.00404	0.00663	0.00884	0.0133	0.00242	0.00323	0.00485	0.00116	0.00155	0.00233
	Total	0.0149	0.018	0.0237	0.0132	0.0158	0.0203	0.013	0.0154	0.0198	0.0176	0.0215	0.029	0.0134	0.0159	0.0206	0.0121	0.0142	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	Strasse	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243	0.0243
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475	0.0475
	Li-ion Batterie	0.0206	0.0309	0.0412	0.0206	0.0309	0.0412	0.0206	0.0309	0.0412	0.0206	0.0309	0.0412	0.0206	0.0309	0.0412	0.0206	0.0309	0.0412
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	0.0637	0.0849	0.127	0.0169	0.0225	0.0337	0.00521	0.00694	0.0104	0.0392	0.0523	0.0784	0.172	0.229	0.344	0.017	0.0227	0.034
	Total	0.156	0.188	0.24	0.109	0.125	0.147	0.0976	0.11	0.123	0.132	0.155	0.191	0.264	0.332	0.457	0.109	0.125	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	Strasse	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718	0.00718
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364	0.0364
	Li-ion Batterie	0.0159	0.0239	0.0318	0.0159	0.0239	0.0318	0.0159	0.0239	0.0318	0.0159	0.0239	0.0318	0.0159	0.0239	0.0318	0.0159	0.0239	0.0318
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	0.0892	0.119	0.178	0.0201	0.0268	0.0401	0.00249	0.00332	0.00497	0.184	0.245	0.368	0.0732	0.0976	0.146	0.0111	0.0148	0.0222
	Total	0.149	0.186	0.254	0.0796	0.0942	0.116	0.062	0.0708	0.0804	0.244	0.313	0.443	0.133	0.165	0.222	0.0706	0.0822	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	Strasse	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16	4.18E-16
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15	3.47E-15
	Li-ion Batterie	4.03E-15	6.05E-15	8.07E-15	4.03E-15	6.05E-15	8.07E-15	4.03E-15	6.05E-15	8.07E-15	4.03E-15	6.05E-15	8.07E-15	4.03E-15	6.05E-15	8.07E-15	4.03E-15	6.05E-15	8.07E-15
	Abgase																		
	Abriebemissionen	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17	1.21E-17	1.47E-17	3.01E-17
	Treibstoff	3.41E-15	4.55E-15	6.83E-15	1.94E-15	2.59E-15	3.88E-15	1.85E-15	2.46E-15	3.7E-15	3.41E-15	4.54E-15	6.81E-15	2.53E-15	3.38E-15	5.07E-15	2.41E-15	3.21E-15	4.81E-15
	Total	1.13E-14	1.45E-14	1.88E-14	9.87E-15	1.25E-14	1.59E-14	9.78E-15	1.24E-14	1.57E-14	1.13E-14	1.45E-14	1.88E-14	1.05E-14	1.33E-14	1.71E-14	1.03E-14	1.32E-14	1.68E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	Strasse	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16	2.42E-16
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15	1.02E-15
	Li-ion Batterie	6.73E-16	1.01E-15	1.35E-15	6.73E-16	1.01E-15	1.35E-15	6.73E-16	1.01E-15	1.35E-15	6.73E-16	1.01E-15	1.35E-15	6.73E-16	1.01E-15	1.35E-15	6.73E-16	1.01E-15	1.35E-15
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	2.07E-15	2.76E-15	4.14E-15	3.58E-16	4.77E-16	7.15E-16	1.41E-16	1.88E-16	2.82E-16	3.9E-15	5.19E-15	7.79E-15	7.31E-16	9.75E-16	1.46E-15	4.1E-16	5.47E-16	8.2E-16
	Total	4E-15	5.03E-15	6.74E-15	2.29E-15	2.75E-15	3.32E-15	2.07E-15	2.46E-15	2.89E-15	5.83E-15	7.46E-15	1.04E-14	2.66E-15	3.24E-15	4.07E-15	2.34E-15	2.82E-15	3.43E-15
Landnutzung [1 / km]	Strasse	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19	7.01E-19
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18	3.58E-18
	Li-ion Batterie	1.95E-18	2.93E-18	3.9E-18	1.95E-18	2.93E-18	3.9E-18	1.95E-18	2.93E-18	3.9E-18	1.95E-18	2.93E-18	3.9E-18	1.95E-18	2.93E-18	3.9E-18	1.95E-18	2.93E-18	3.9E-18
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	5.03E-18	6.7E-18	1.01E-17	1.9E-18	2.54E-18	3.81E-18	1.08E-18	1.44E-18	2.15E-18	1.63E-17	2.18E-17	3.26E-17	8.99E-19	1.2E-18	1.8E-18	1.82E-18	2.42E-18	3.64E-18
	Total	1.13E-17	1.39E-17	1.82E-17	8.13E-18	9.74E-18	1.2E-17	7.31E-18	8.64E-18	1.03E-17	2.26E-17	2.9E-17	4.08E-17	7.13E-18	8.4E-18	9.98E-18	8.05E-18	9.63E-18	1.18E-17

Tabelle 19, Teil 5 Resultate pro Fahrzeugkilometer.

		Elektrisch																	
		UCTE-Mix			CH-Mix			CH-KKW			UCTE-Kohle			UCTE-Gas			CH-PV		
		best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case	best case	baseline	worst case
Überdüngung [1 / km]	Strasse	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16	5.6E-16
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15	1.62E-15
	Li-ion Batterie	7.54E-16	1.13E-15	1.51E-15	7.54E-16	1.13E-15	1.51E-15	7.54E-16	1.13E-15	1.51E-15	7.54E-16	1.13E-15	1.51E-15	7.54E-16	1.13E-15	1.51E-15	7.54E-16	1.13E-15	1.51E-15
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	1.83E-15	2.44E-15	3.65E-15	4.04E-16	5.39E-16	8.09E-16	1.45E-16	1.93E-16	2.9E-16	4.32E-15	5.76E-15	8.64E-15	6.32E-16	8.42E-16	1.26E-15	5.12E-16	6.83E-16	1.02E-15
Total	4.76E-15	5.75E-15	7.35E-15	3.34E-15	3.85E-15	4.5E-15	3.08E-15	3.51E-15	3.98E-15	7.26E-15	9.07E-15	1.23E-14	3.57E-15	4.16E-15	4.96E-15	3.45E-15	4E-15	4.72E-15	
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	Strasse	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11	7.88E-11
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10	6.48E-10
	Li-ion Batterie	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10	3.14E-10
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	3.28E-09	4.37E-09	6.56E-09	5E-09	6.67E-09	1E-08	9.44E-09	1.26E-08	1.89E-08	1.44E-10	1.92E-10	2.87E-10	1.69E-11	2.26E-11	3.38E-11	1.63E-10	2.18E-10	3.27E-10
Total	4.32E-09	5.41E-09	7.6E-09	6.04E-09	7.71E-09	1.1E-08	1.05E-08	1.36E-08	1.99E-08	1.18E-09	1.23E-09	1.33E-09	1.06E-09	1.06E-09	1.07E-09	1.2E-09	1.26E-09	1.37E-09	
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	Strasse	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174	0.0174
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145	0.145
	Li-ion Batterie	0.048	0.0719	0.0959	0.048	0.0719	0.0959	0.048	0.0719	0.0959	0.048	0.0719	0.0959	0.048	0.0719	0.0959	0.048	0.0719	0.0959
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	0.711	0.947	1.42	1.11	1.48	2.22	2.18	2.91	4.36	0.0316	0.0421	0.0631	0.00412	0.00549	0.00823	0.0366	0.0487	0.0731
Total	0.921	1.18	1.68	1.32	1.72	2.48	2.39	3.14	4.62	0.242	0.277	0.322	0.215	0.24	0.267	0.247	0.283	0.332	
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	Strasse	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194	0.194
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475	0.475
	Li-ion Batterie	0.211	0.317	0.422	0.211	0.317	0.422	0.211	0.317	0.422	0.211	0.317	0.422	0.211	0.317	0.422	0.211	0.317	0.422
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	1.08	1.45	2.17	0.236	0.315	0.473	0.0262	0.0349	0.0524	2.08	2.77	4.15	1.26	1.68	2.52	0.145	0.193	0.29
Total	1.96	2.43	3.26	1.12	1.3	1.56	0.906	1.02	1.14	2.96	3.76	5.25	2.14	2.67	3.62	1.02	1.18	1.38	
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	Strasse	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368	0.0368
	Li-ion Batterie	0.00978	0.0147	0.0196	0.00978	0.0147	0.0196	0.00978	0.0147	0.0196	0.00978	0.0147	0.0196	0.00978	0.0147	0.0196	0.00978	0.0147	0.0196
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	0.00835	0.0111	0.0167	0.00802	0.0107	0.016	0.00805	0.0107	0.0161	0.00888	0.0118	0.0178	0.00776	0.0103	0.0155	0.0541	0.0722	0.108
Total	0.0589	0.0666	0.0771	0.0586	0.0662	0.0764	0.0586	0.0662	0.0765	0.0594	0.0673	0.0781	0.0583	0.0658	0.0759	0.105	0.128	0.169	
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	Strasse	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616	0.00616
	Fahrzeug ohne Li-Batterie	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209	0.00209
	Li-ion Batterie	0.00251	0.00376	0.00502	0.00251	0.00376	0.00502	0.00251	0.00376	0.00502	0.00251	0.00376	0.00502	0.00251	0.00376	0.00502	0.00251	0.00376	0.00502
	Abgase																		
	Abriebemissionen																		
	Treibstoff	0.00036	0.00048	0.00072	0.000302	0.000403	0.000604	0.000148	0.000197	0.000296	0.000465	0.00062	0.000931	0.000321	0.000428	0.000641	0.000349	0.000466	0.000699
Total	0.0111	0.0125	0.014	0.0111	0.0124	0.0139	0.0109	0.0122	0.0136	0.0112	0.0126	0.0142	0.0111	0.0124	0.0139	0.0111	0.0125	0.014	

Tabelle 19, Teil 6 Resultate pro Fahrzeugkilometer.



### 6.2.1 Einfluss EOL-Modellierung

Zum Aufzeigen der Relevanz des Allokationsprinzips für EOL Materialien, die ins Recycling gehen, werden in Tabelle 20 (Teil 1 und 2) die Abweichungen der Resultate aus der Cut-off-Berechnung im Vergleich zur angewendeten Substitutionsberechnung in Form der Verhältnisse ausgewiesen.

Cut-off / Substitution		ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	
		Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.71	1.76	1.71	1.71	1.71	1.76	1.71	1.7	1.7
	Total	1.18	1.21	1.24	1.03	1.2	1.1	1.27	1.25	1.34
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF·m <sup>2</sup> ·a / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.38	1.39	1.38	1.38	1.38	1.39	1.38	1.54	1.54
	Total	1.07	1.08	1.08	1.01	1.06	1.01	1.08	1.19	1.19
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.36	1.37	1.36	1.36	1.36	1.37	1.36	1.43	1.43
	Total	1.04	1.05	1.04	1.09	1.09	1.13	1.19	1.07	1.17
Treibhauseffekt [kg CO <sub>2</sub> -Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.28	1.3	1.28	1.28	1.28	1.3	1.28	1.25	1.25
	Total	1.04	1.06	1.05	1.09	1.09	1.09	1.08	1.06	1.11
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.91	1.99	1.91	1.91	1.91	1.99	1.91	2.2	2.2
	Total	1.4	1.63	1.65	1.1	1.43	1.42	1.68	1.65	1.74
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	2.13	2.2	2.13	2.13	2.13	2.2	2.13	1.89	1.89
	Total	1.16	1.28	1.27	1.01	1.14	1.05	1.2	1.18	1.4
Landnutzung [1 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.45	1.46	1.45	1.45	1.45	1.46	1.45	1.62	1.62
	Total	1.28	1.32	1.34	1	1.11	1.01	1.31	1.45	1.38
Überdüngung [1 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.38	1.39	1.38	1.38	1.38	1.39	1.38	1.35	1.35
	Total	1.11	1.11	1.16	1.05	1.08	1.03	1.13	1.14	1.21
Radioaktive Abfälle [m <sup>3</sup> / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.19	1.2	1.19	1.19	1.19	1.2	1.18	1.17	1.17
	Total	1.13	1.16	1.12	1.13	1.14	1.11	1.05	1.13	1.02
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.19	1.2	1.19	1.19	1.19	1.2	1.19	1.16	1.16
	Total	1.13	1.15	1.11	1.13	1.14	1.11	1.05	1.13	1.02
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.37	1.38	1.37	1.37	1.37	1.38	1.37	1.34	1.34
	Total	1.05	1.07	1.06	1.12	1.11	1.16	1.2	1.07	1.14
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	3.23	3.35	3.23	3.23	3.23	3.35	3.23	2.71	2.71
	Total	2.71	2.88	2.8	2.49	2.57	2.5	2.77	2.51	2.33
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
	Total	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

**Tabelle 20** Verhältnis der Resultate in Abhängigkeit der EOL-Modellierung (Cut-off-Resultate / Substitutionsresultate) (Teil 1).

Cut-off / Substitution		Plug-in Hybrid			Elektrisch					
		Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)	UCTE- Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE- Kohle	UCTE- Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	Total	1.3	1.34	1.36	1.25	1.43	1.47	1.17	1.38	1.46
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.54	1.54	1.54	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
	Total	1.19	1.19	1.19	1.23	1.27	1.27	1.2	1.27	1.3
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.43	1.43	1.43	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52	1.52
	Total	1.11	1.17	1.22	1.22	1.33	1.37	1.26	1.12	1.33
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.25	1.25	1.25	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
	Total	1.08	1.11	1.13	1.05	1.1	1.13	1.03	1.06	1.11
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	2.2	2.2	2.2	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21	2.21
	Total	1.71	1.74	1.76	1.79	1.92	1.93	1.79	1.86	1.87
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.89	1.89	1.89	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67	1.67
	Total	1.27	1.49	1.55	1.18	1.42	1.48	1.28	1.4	1.53
Landnutzung [1 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.62	1.62	1.62	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
	Total	1.33	1.47	1.53	1.16	1.54	1.47	1.41	1.38	1.37
Überdüngung [1 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.35	1.35	1.35	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
	Total	1.16	1.23	1.25	1.1	1.21	1.22	1.17	1.21	1.23
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.17	1.17	1.17	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
	Total	1.02	1.01	1.01	1.09	1.1	1.09	1.03	1.02	1.02
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.16	1.16	1.16	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
	Total	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.09	1.11	1.09
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.34	1.34	1.34	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25
	Total	1.1	1.14	1.17	1.08	1.15	1.2	1.05	1.08	1.17
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	2.71	2.71	2.71	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29	3.29
	Total	2.77	2.78	2.78	2.75	2.79	1.92	2.39	2.33	2.31
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	Fahrzeug (mit Li-Batterie)	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
	Total	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

**Tabelle 20** Verhältnis der Resultate in Abhängigkeit der EOL-Modellierung  
(Cut-off-Resultate / Substitutionsresultate) (Teil 2).

## 7 Diskussion

### 7.1 Strasseninfrastruktur

Die absoluten Resultate für die Strasseninfrastruktur sind, aufgrund der identischen Modellierung, für alle Fahrzeuge identisch. Der höchste Beitrag der Strasse zum Gesamtergebn ist mit knapp 52% bei dem Indikator „CExD-Mineralien“ zu finden. Da die Strasseninfrastruktur als Hintergrundprozess betrachtet wurde, ist ihre Modellierung direkt aus der ecoinvent Datenbank übernommen worden. Diese Daten sind entsprechend relativ grob. Beispielsweise wurde bei der Modellierung der Entsorgung der Strasseninfrastruktur nicht berücksichtigt, dass die dabei rezyklierten Materialien wiederum neue Materialien ersetzen können. Insgesamt führt dieser Ansatz zu höheren Resultaten als bei der Substitutionsmodellierung, die für die Fahrzeuge angewendet wurde. Das ist vor allem für den Indikator „CExD-Mineralien“ so, da im Strassenbau eine sehr hohe Wiederverwertungsquote für mineralische Ressourcen erreicht wird. Im Durchschnitt über alle Fahrzeugvarianten liegen die Beiträge der Strasse zu den Indikatoren „CED fossil“, „EP“ und „Ecoindicator 99 Ressourcenqualität“ zwischen 10% und 15% während ihr Anteil bei den übrigen Indikatoren unter 10% liegt. Obwohl die Hintergrunddaten relativ grob sind und den „CExD-Mineralien“ überschätzen, sind sie ausreichend für diese Studie. Hintergrund ist, dass sie den absoluten Vergleich der Fahrzeuge nicht beeinflussen und auch im relativen Vergleich eine eher untergeordnete Rolle spielen.

### 7.2 Fahrzeuginfrastruktur

#### 7.2.1 Vergleich ICE-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge

Bei den Fahrzeugen ist zu sehen, dass rein elektrisch betriebene Fahrzeuge (inkl. Batterie) die absolut höchsten Indikatorresultate erreichen, während die ICE-Fahrzeuge die tiefsten absoluten Werte zeigen. Der Antriebsstrang der elektrischen Autos zeigt bei allen Indikatoren zwar tiefere Werte als der ICE-Antriebsstrang, doch die Li-Ionen-Batterie führt zu einem Nachteil der Elektroautos. Die Hybride zeigen ohne Li-Ionen-Batterie zwar etwas höhere Werte als die reinen Elektrofahrzeuge. Da sie aber deutlich weniger Batterien brauchen, liegen ihre Indikatoren insgesamt zwischen ICE-Fahrzeugen und Elektrofahrzeugen. Die Unterschiede zwischen ICE- und anderen Fahrzeugen sind jeweils für alle Indikatoren grösser als 20% des ICE-Fahrzeug-Wertes. Auch die Unterschiede zwischen Hybrid- und reinen Elektrofahrzeugen sind bei den meisten Indikatoren relativ deutlich (Tabelle 21). Bei den ICE-Fahrzeugen ist zu sehen, dass die Dieselfahrzeuge aufgrund des höheren Gewichtes zwischen 3% und 15% höhere Indikatorwerte zeigen als die Benzinfahrzeuge.

Ein besonders grosser Unterschied zwischen ICE- und Elektrofahrzeugen zeigt sich beim Humantoxizitätspotenzial nach CML. Beim Elektrofahrzeug wird dieser Indikator stark vom Aluminium der Kathode der Batterie dominiert. Dieses Aluminium dient als Träger für das aktive Kathodenmaterial und als elektrischer Leiter. Es wird von der heutigen Recyclingtechnologie nicht zurückgewonnen und trägt darum alle Umweltbelastungen der Primärproduktion. Da Aluminium aus Sekundärproduktion nur 1.5% des

Humantoxizitätspotentials des Primäraluminiums verursacht, könnte durch den Einsatz eines Recyclingprozesses, der Aluminium zurückgewinnt, diese Belastung massiv reduziert werden. Eine Reduktion dieser Belastung könnte auch durch den Einsatz dünnerer Folien erreicht werden. Eine minimale Dicke ist allerdings für eine gute Verarbeitbarkeit notwendig.

Auch beim CML-01-Indikator für Sommersmog (POPC) ist ein grosser Unterschied zwischen ICE- und Elektrofahrzeugen zu sehen. Dieser Indikator wird beim Elektrofahrzeug dominiert vom Glider und der Batterie. Bei der Batterie trägt vor allem das Aluminium in der Kathode stark dazu bei. Auch diese Belastung würde reduziert durch den Einsatz eines Recyclingprozesses für die Batterie, in dem das Aluminium zurückgewonnen wird (Sekundärproduktion von Alu verursacht 6.2% des POCP der entsprechenden Primärproduktion).

	ICE (Benzin)	Hybrid	Elektrisch
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	100%	130%	185%
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	100%	137%	236%
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	100%	116%	148%
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	100%	123%	161%
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	100%	128%	228%
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	100%	134%	198%
Landnutzung [1 / km]	100%	127%	174%
Überdüngung [1 / km]	100%	132%	170%
Radioaktive Abfälle [m <sup>3</sup> / km]	100%	126%	148%
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	100%	125%	148%
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	100%	118%	151%
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	100%	198%	223%
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	100%	108%	161%

**Tabelle 21 Relative Unterschiede der Resultate unterschiedlicher Fahrzeuge (inkl. Li-Batterie).**

Elektrofahrzeuge verursachen höhere dissipative Verluste für alle betrachteten Metalle ausser für die Platingruppenmetalle (PGM), die vor allem in den Katalysatoren der ICE-Fahrzeuge verwendet werden. Allerdings ist zu den absoluten Werten, die in dieser Studie resultieren, zu sagen, dass sie aufgrund der Cut-off-Modellierung des Hintergrundsystems generell überschätzt sind. Gehen wir davon aus, dass im Schnitt über alle Anwendungen 10% des Kupfers verlorengehen, so würde der dissipative Verlust von 12.8 kg Kupfer pro

Elektrofahrzeug bedeuten, dass pro Fahrzeug 128 kg Kupfer benötigt werden. Unter der Annahme von 1% Kupferverlust wären es entsprechend 1280 kg Kupfer. Der Vergleich zu den 30-35 kg Kupfer, die total in einem Elektrofahrzeug (inkl. 600 kg Batterien) enthalten sind, legt nahe, dass diese Werte massiv überschätzt sein müssen. Entsprechend muss leider gefolgert werden, dass die Abschätzung der dissipativen Verluste auf Basis der kumulierten Ressourcenentnahme, die mittels eines gemischten (Cut-off- / Substitutions-) Modells berechnet werden, nicht möglich ist.

### 7.2.2 Anteil der Fahrzeuginfrastruktur an Mobilitätsergebnissen

Der Beitrag der Fahrzeuginfrastruktur (inkl. Li-Batterien) liegt je nach Indikator zwischen 1% und knapp 90%. Diese grosse Spanne ist vor allem auf die grossen Unterschiede in den Resultaten aus dem Betrieb zurückzuführen. Bei einer anderen Wahl des Umgangs mit Allokationsproblemen, die mit dem EOL-Recycling der Fahrzeuge zusammenhängen, wäre der Anteil der Fahrzeuge am Gesamtergebnis tendenziell höher (siehe „7.2.3 Einfluss EOL-Modellierung“ unten). Somit ist zu sagen, dass Produktion und Entsorgung der Fahrzeuge eine durchaus relevante Rolle spielen können. Entsprechend muss für eine belastbare Aussage über die ökologische Auswirkung von Mobilität mit einem spezifischen Fahrzeug dieses spezifische Fahrzeug im Detail abgebildet werden.

### 7.2.3 Einfluss EOL-Modellierung

Durch den Vergleich mit der Cut-off-Modellierung wird deutlich, dass die Vermeidung von Allokation durch Systemerweiterung und Substitution bei EOL-Recycling bei allen Indikatoren zu einem tieferen Beitrag der Fahrzeuginfrastruktur am Gesamtergebnis führt. Die Cut-off-Modellierung führt nur für die Fahrzeuge zu 2% bis 235% höheren Ergebnissen (relativ zu den Werten mit Substitution) (Tabelle 20). Der Effekt ist für die Elektrofahrzeuge kleiner als für ICE-Fahrzeuge, ausser bei dem Ecoindicator 99 (H) „Schaden an Ökosystemqualität“ und „Schaden an Ressourcenqualität“ sowie bei den CML-01-Indikatoren für Humantoxizitätspotenzial und Landnutzung. Für den „kumulierten Exergieaufwand, Metalle“ ist der Unterschied für ICE- und Elektrofahrzeuge etwa gleich gross und insgesamt am höchsten, da der Hauptunterschied der beiden EOL-Modelle ja im Rezyklatanteil bei den Metallen besteht (Ausbeuten bzw. Anteile siehe Tabelle 22).

Element	Substitution	Cut-off	Element	Substitution	Cut-off
	Ausbeute Recycling	Anteil Recyclingmaterial		Ausbeute Recycling	Anteil Recyclingmaterial
Ag	99.5%	27.5%	Mo	99.0%	0.0%
Al <sup>1</sup>	95.0%	32.0%	Ni	99.0%	0.0%
Au	99.5%	31.0%	Pb	95.0%	75.0%
Co	99.0%	0.0%	Pd	99.5%	3.0%
Cr	99.0%	0.0%	Pt	99.5%	5.0%
Cu	99.0%	44.0%	Sn	95.0%	0.0%
Fe	95.0%	37.0%	Zn	95.0%	0.0%
Mn	99.0%	0.0%			

<sup>1</sup>: Im Substitutionsmodell nur wenn rein rezykliert. Wenn Aluminium für's Recycling nicht von anderen Metallen getrennt werden kann, 0%.

**Tabelle 22 Rückgewinnungsquoten der Substitutionsmodellierung und Recyclinganteile der Cut-off-Modellierung.**

## 7.3 Treibstoffe

### 7.3.1 Vergleich ICE-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge

Die Indikatorresultate der Treibstoffbereitstellung zeigen grosse Unterschiede zwischen den Fahrzeugen, die mit unterschiedlichen Treibstoffen bzw. mit Strom aus unterschiedlichen Quellen betrieben werden.

E85 aus Zuckerethanol verursacht bei weitem den grössten „**Schaden an menschlicher Gesundheit**“. Die Zuckerrohrproduktion trägt 86% zu diesem Resultat bei. Die wichtigsten Emissionen aus diesem Prozess sind Arsen und Cadmium in den landwirtschaftlichen Boden. Bei diesem Indikator folgen PME und der UCTE Kohlestrom mit ähnlich hohen Werten. Der Grossteil der PME-Beiträge (ca. 59%) resultieren aus der Bereitstellung von Land für die Etablierung von Palmölplantagen. Dabei ist der Hauptanteil den Partikelemissionen zuzuschreiben, die aus der Verbrennung der ursprünglich auf dem Land vorhandenen Biomasse resultieren. Der „Schaden an menschlicher Gesundheit“ von Kohlestrom wird dominiert von den CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen der Kohlekraftwerke. Die Produktion von UCTE-Strom und E85 aus Altholzethanol zeigen etwas höhere Werte als die Produktion der restlichen Treibstoffe, die sich untereinander noch um maximal knapp einen Faktor 4 unterscheiden.

Der weitaus grösste „**Schaden an der Ökosystemqualität**“ wird durch den Anbau von Biotreibstoffen verursacht. Bei E85 aus Zuckerethanol trägt die Zuckerrohrproduktion 97% zu diesem Indikator bei. Der relevanteste Beitrag stammt von der Landnutzung (occupation). Auch bei PME ist der grösste Anteil (ca. 50%) der Bereitstellung von Land für die Etablierung von Palmölplantagen zuzuschreiben. Insgesamt ist die Landtransformation und -nutzung für diesen Prozess und Indikator am relevantesten. Von den verbleibenden Treibstoffen zeigt E85 aus Altholzethanol einen relativ hohen Wert. Für die Produktion von E85 aus Altholzethanol werden pro km Fahrt mit dem E85 betriebenen Fahrzeug knapp 2 g Maisstärke verwendet, die 44% zu diesem Indikator beitragen. Auch der Wert von der Kohlestrombereitstellung ist relativ gross. Dieser wird dominiert von NO<sub>x</sub>- und SO<sub>2</sub>-Emissionen der Kraftwerke sowie durch Chrom(VI)-Emissionen in den Boden aus der Kupferproduktion für das Übertragungsnetzwerk.

Bezüglich dem „**Schaden an der Ressourcenqualität**“ zeigen die fossilen Treibstoffe die höchsten Resultate. In einer ähnlichen Grössenordnung liegt das Ergebnis für Strom aus Gaskraftwerken. Darauf folgen Biodiesel und Bioethanol. Bei Bioethanol tragen die 15% Benzinbeimischung wesentlich zu dem Ergebnis bei, während bei PME vor allem der Öl- und Gasverbrauch in der Produktions- und Transportkette das Resultat dominieren. Kohlestrom schneidet noch tiefer ab als der UCTE-Strom, da die Kohleressource aufgrund der guten Verfügbarkeit relativ gering bewertet wird.

Die fossile Strombereitstellung verursacht die grössten Beiträge zum **Treibhauseffekt**. Hintergrund ist, dass die Verbrennungsemissionen beim Strom als Energieträger schon im Energieträger enthalten sind, während diese Emissionen bei den anderen Treibstoffen erst beim Betrieb des Fahrzeuges entstehen, wo sie unter der Kategorie „Abgase“ erscheinen. Der Treibhauseffekt ist auch bei der Bereitstellung von Biotreibstoffen relativ hoch. Bei PME kommt ein wesentlicher Teil aus den CO<sub>2</sub>-Emissionen, die durch die

Landumwandlung verursacht werden. Bei Biogas verursacht vor allem der Methanschluß diesen relativ hohen Wert.

Das bei Weitem höchste **Humantoxizitätspotenzial** verursacht die Herstellung des E85 aus Zuckerrohr. Wie schon bei dem „Schaden an menschlicher Gesundheit“ ist auch hier die Zuckerrohrproduktion mit über 90% hauptverantwortlich. Allerdings ist bei diesem Indikator die Bodenemission von Aldrin wichtiger als die von Arsen. Anders als beim „Schaden an menschlicher Gesundheit“ leistet Cadmium hier keinen relevanten Beitrag. Ebenfalls hoch ist das Resultat für PME. Dieses wird zu ca. 25% bestimmt von der Benzolemission aus der Bereitstellung von Land für die Plantagen. Dieser Prozess verursacht weitere relevante Emissionen und hat einen Anteil am Gesamtergebnis von insgesamt 32%. Der grösste Teil der restlichen Beiträge kommt von Pestizidemissionen in der Plantage.

PME und zuckerethanolbasiertes E85 verursachen auch bezüglich **Sommersmogpotenzial (POPC)** deutlich höhere Auswirkungen als alle anderen Treibstoffe. Wieder sind die Landbereitstellung für die Palmölplantage (67%) bzw. die Zuckerrohrproduktion (>90%) die Hauptverantwortlichen für die hohen Auswirkungen. Bei PME sind die Verbrennungsemissionen relevant. Bei E85 trägt vor allem die Kohlenmonoxidemission der Zuckerrohrproduktion zum Ergebnis bei. Von den übrigen Energieträgern zeigt Kohlestrom den höchsten POPC-Wert. Ebenfalls relativ hoch sind die Werte für E85 aus Altholzethanol, Biogas, Benzin und UCTE-Strom. Der Wert für altholz-basiertes E85 wird dominiert von der Ethanolemission an der Tankstelle. Bei Biogas ist der Methanschluß der wesentliche Verursacher.

Auch bezüglich der **Landnutzung** zeigen die beiden primären Biotreibstoffe<sup>25</sup> die weitaus höchsten Werte. Relativ hohe Werte zeigen aber auch der Kohlestrom und E85 aus Altholzethanol. 75% des Indikatorwerts für Kohlestrom kommt aus der Produktion von Holz, das zum Abstützen der Stolle in Kohleminen verwendet wird. Beim E85 stammt der Beitrag nicht aus der Holzproduktion, da das Altholz im ecoinvent-Modell ohne Belastungen aus seinem früheren Leben in dieses Produktsystem eintritt. Der Wert wird zu 78% vom Anbau des Mais verursacht, der schon stark zum „Schaden an der Ökosystemqualität“ beigetragen hat.

Die Resultate zum **Überdüngungspotenzial** ähneln den Resultaten der Landnutzung. PME und E85 aus Zuckerethanol zeigen die höchsten Werte. Bei PME resultieren sie vor allem aus dem Anbau, d.h. im Detail aus Nitratemissionen ins Wasser und Ammoniakemissionen in die Luft. Bei E85 aus Zuckerethanol stammen 59% des Überdüngungspotenzials aus dem Zuckerrohranbau und 28% aus der darauf folgenden Ethanolproduktion. Letzteres ist vor allem Ammoniakemission in die Luft zuzuschreiben. Der relativ hohe Wert des Kohlestroms stammt von Stickoxidemissionen aus der Kohleverbrennung. Der Wert der E85-Produktion aus Altholzethanol resultiert aus Emissionen aus der Destillation.

Grosse Volumen an **radioaktiven Abfällen** entstehen bei der nuklearen Stromproduktion sowie bei den Strommischen mit ihrem relativ hohen nuklearen Anteil. Bemerkenswert ist,

---

<sup>25</sup> „Primäre Biotreibstoffe“ nennen wir Biotreibstoffe, die aus vorsätzlich produzierter Biomasse (also nicht aus Abfällen) hergestellt werden.

dass die Biogasproduktion einen relativ grossen Wert aufweist. Dieser ist ein Ergebnis des Schweizer Strommixes, der zur Biogasproduktion benötigt wird.

Der **kumulierte Energieaufwand nuklear** zeigt genau dasselbe Bild wie die radioaktiven Abfallvolumina.

Der **kumulierte Energieaufwand fossil** ist für die fossilen Treibstoffe und für den Strom auf fossiler Basis am höchsten. Die Biotreibstoffe zeigen, vor allem aufgrund von Wärme- und Strombedarf in der Produktion, noch recht hohe Werte. Der Schweizer Strommix liegt aufgrund der Stromimporte höher als der Strom aus KKW und PV.

Die Resultate des „**kumulierten Exergieaufwand Metalle**“ sind aufgrund der Materialien für die Solarzellen und vor allem für deren Installationsinfrastruktur am höchsten für PV-Strom. Die Werte der anderen Strombereitstellungspfade stammen im Wesentlichen aus dem Übertragungsnetz. Da die Installationsinfrastruktur für PV-Anlagen wie auch die Materialien der Übertragungsnetze am Lebensende zu einem sehr grossen Teil entweder direkt wieder verwendet oder zumindest rezykliert werden, wären diese Werte deutlich tiefer, wenn die Vorketten der Stromproduktion mit demselben Substitutionsansatz modelliert wären wie die Fahrzeuge. Da die Datenlage nicht erlaubt zu bestimmen, wie gross dieser Artefakt ist, können diese Werte praktisch nicht interpretiert werden. Bei den primären Biotreibstoffen stammt ein grosser Teil der Gesamtauswirkung aus der Infrastruktur für die chemischen Prozesse, die Bewässerung und den Transporten.

Die Resultate des „**kumulierten Exergieaufwand Mineralien**“ sind für Biotreibstoffe aufgrund des Düngereinsatzes (Kalium- und Phosphordünger) deutlich höher als für alle anderen Treibstoffe, bei denen der Indikator von Kies aus dem Strassenbau und Lehm für die Backsteine der Fabrikationsgebäude bestimmt wird.

### 7.3.2 Anteil des Treibstoffs an Mobilitätsergebnissen

Dominante Beiträge zum „**Schaden an menschlicher Gesundheit**“ verursachen die Biotreibstoffe aus primärer Biomasse (E85 aus Zuckerethanol 92%, PME 71%) sowie der Kohlestrom (69%). Der UCTE-Strom und das E85 aus Altholzethanol tragen 55% bzw. 45% zum Gesamtergebnis bei, Benzin und Biogas noch 31% bzw. 33%. Die Beiträge der anderen Treibstoffe bzw. Energieträger bewegen sich im Bereich von 15% bis 30%. Insgesamt tragen die Treibstoffe signifikant zu diesem Indikator bei.

Zum „**Schaden an der Ökosystemqualität**“ tragen die Treibstoffe im Allgemeinen weniger, aber immer noch relevant bei. Ausnahmen sind wieder das PME und das zuckerethanolbasierte E85, bei denen der Treibstoffbeitrag über 90% beträgt. Der prozentuale Anteil von E85 aus Altholzethanol und von Kohlestrom liegen bei 36% und 42%. Die Beiträge der übrigen Treibstoffe liegen unter 25%, wobei Biogas und Erdgas mit 11% und knapp 7% am unteren Ende des Bereichs liegen.

Der „**Schaden an der Ressourcenqualität**“ wird bei den meisten Fahrzeugen vom Treibstoff dominiert. Bei den fossil betriebenen Fahrzeugen sowie beim Elektrofahrzeug mit Gasstrom machen die Treibstoffe zwischen 68% und 84% des Gesamtergebnisses aus. Auch bei beiden E85-Varianten tragen sie mehr als 60% zum Gesamtergebnis bei. Die Beiträge von PME sowie UCTE-Strom und der Benzinteil der Plug-in-Hybridfahrzeuge (mit 50% und 80% Netzstromanteil) sind mit einem Anteil von 45% bis 65% ebenfalls hoch. Den mit Abstand kleinsten Wert sehen wir beim Elektrofahrzeug mit Nuklearstrom (6.3%).



Dabei ist aber zu beachten, dass die Uranressource von diesem Indikator nicht bewertet wird.

Die Beiträge von den Treibstoffen sind auch beim Indikator für den **Treibhauseffekt** recht dominant. Den Spitzenwert von 78% nimmt bei diesem Indikator der Kohlestrom ein. Die Beiträge des UCTE-Strommixes, aber auch der Biotreibstoffe PME und Biogas liegen ebenfalls über 60%. Knapp darunter liegt der Beitrag von Gasstrom. Auch an diesem Indikator weist Nuklearstrom (mit knapp 5%) den tiefsten Beitrag aus.

Das **Humantoxizitätspotenzial** ist nur für das E85-Fahrzeug mit Zuckerethanol vom Treibstoff dominiert (86%). Die Beiträge des Stroms aus unterschiedlichen Quellen liegen zwischen 20% und 32%. In dem Bereich liegen auch die Beiträge von PME und E85 aus Altholzethanol. Die Beiträge von Benzin, Diesel und Gas liegen bei 26%, 22% und 16%. Den tiefsten Beitrag leistet Biogas mit knapp 11%.

Das gesamte **Sommersmogpotenzial (POPC)** wird insbesondere bei E85 aus Zuckerethanol, aber auch deutlich bei PME von den Beiträgen der Treibstoffe dominiert (95% bzw. 89%). Aber auch für die meisten anderen Varianten sind die Treibstoffe bei diesem Indikator nicht unerheblich (über 20%). Weniger tragen Treibstoffe nur bei PV-Strom, Schweizer Strommix sowie Nuklearstrom bei.

Obwohl es auf den ersten Blick so aussieht, als ob die Treibstoffbeiträge zur **Landnutzung** nur für E85 aus Zuckerethanol, PME, Kohlestrom und E85 aus Altholz signifikant sind (99%, 98%, 75% und 72%), tragen praktisch alle Treibstoffe wesentlich zum Gesamtergebnis bei. Der tiefste Beitrag liegt bei 10% für das Gasfahrzeug. Treibstoffe tragen auch signifikant zum **Überdüngungspotenzial** bei. Die höchsten Beiträge zeigen mit über 70% wieder die primären Biotreibstoffe, den tiefsten Wert sehen wir bei Nuklearstrom (5.5%).

Das ändert für das **Volumen radioaktiver Abfälle** und für den **kumulierten Energieaufwand nuklear**, wo Nuklearstrom mit einem prozentualen Anteil von 93% das Gesamtergebnis dominiert. Auch bei diesen Indikatoren tragen Treibstoffe zu den meisten Indikatoren deutlich bei. Einen unwesentlichen Beitrag zum gesamten Ergebnis leistet der Treibstoff mit ca. 2% nur für das mit Gasstrom betriebene Elektrofahrzeug.

Der Treibstoff trägt auch zum Gesamtergebnis des **kumulierten Energiebedarf fossil** für fast alle Fahrzeuge deutlich bei. Der einzige nicht signifikante Beitrag zu diesem Indikator kommt vom Nuklearstrom (ca. 3%).

Die Treibstoffbeiträge zum **kumulierten Exergieaufwand Metalle** sind demgegenüber eher moderat. Den höchsten Beitrag (56%) sehen wir beim PV-strombetriebenen Elektrofahrzeug, den tiefsten (ca. 4%) beim Hybridfahrzeug.

Eher kleine Beiträge leistet der Treibstoff beim „**kumulierten Exergieaufwand Mineralien**“. Die höchsten Beiträge sehen wir bei den E85-Fahrzeugen mit Zuckerethanol (45%) und PME (44%). Benzin und E85 aus Altholz tragen ca. 15% zum jeweiligen Gesamtergebnis bei, alle anderen Treibstoffe liegen unter 10%.

#### 7.4 Abgase

Abgase werden von den energie- und ressourcenorientierten Indikatoren nicht bewertet. Dementsprechend leisten die Abgase keinen Beitrag zu den Resultaten bei der Bewertung mit dem Ecoindicator 99 „Schaden an Ressourcenqualität“, dem CML-01-Indikator für

Landnutzung, dem kumulierten Energieaufwand, dem kumulierten Exergieaufwand und dem Volumen an radioaktiven Abfällen.

#### 7.4.1 Vergleich ICE-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge

**Elektrofahrzeuge** haben generell keine direkten Abgase.

**Benzinbetriebene Fahrzeuge** zeigen bei den Abgasen alle dasselbe Emissionsprofil<sup>26</sup>. Entsprechend stammen die Unterschiede in den Ergebnissen direkt aus unterschiedlichem Benzinverbrauch. Die Resultate für Plug-in-Hybridfahrzeuge sind entsprechend mit zunehmendem Netzstromanteil am Betrieb tiefer. Sie sind folglich auch tiefer als die Resultate für die Hybridfahrzeuge, die mit 0% Netzstrom fahren. Aufgrund des tieferen Treibstoffbedarfs sind die Werte für Hybridfahrzeuge auch generell tiefer als bei den reinen ICE-Benzinfahrzeugen.

**Gasfahrzeuge** emittieren weniger CO<sub>2</sub>, Benzol, Kohlenmonoxid, Toluol und NMVOC als Benzinfahrzeuge und dafür mehr Methan (siehe Tabelle 11). Insgesamt führt das dazu, dass Gasfahrzeuge für die Abgase bei allen Indikatoren tiefere Resultate zeigen als Benzinfahrzeuge. Gasfahrzeuge schneiden bezüglich Abgasen auch bei fast allen Indikatoren besser ab als Dieselfahrzeuge. Einzig bezüglich Sommersmogbildungspotenzial (POPC) schneiden Dieselfahrzeuge aufgrund der tieferen Kohlenmonoxid- und Toluolemissionen besser ab.

Auch ICE-Benzin- und ICE-Dieselfahrzeuge haben nicht dasselbe Emissionsprofil und zeigen darum bei unterschiedlichen Indikatoren auch unterschiedliche Verhältnisse.

**Dieselfahrzeuge** schneiden bezüglich Treibhauseffekt, Sommersmog (POPC) und Humantoxizität (HTP) besser ab als Benzinfahrzeuge. Der Unterschied beim Treibhauseffekt kommt direkt vom tieferen Treibstoffbedarf des Dieselfahrzeuges. Der hohe Wert des Benzinfahrzeugs beim Sommersmog (POPC) kommt zum grössten Teil von der Kohlenmonoxidemission. Diese Emission ist gemässecoinvent im Betrieb des Dieselfahrzeuges tiefer als beim Benzinfahrzeug. Der Unterschied bei der Humantoxizität resultiert im Wesentlichen von der ca. 7-mal höheren Benzolemission des Benzinfahrzeuges, die zu einem höheren HTP-Resultat für den Betrieb des Benzinfahrzeuges führt als für den Betrieb eines Dieselfahrzeuges.

Dafür schneiden Benzinfahrzeuge beim Ecoindicator-99-Indikator für „Schaden an menschlicher Gesundheit“ und „Schaden an der Ökosystemqualität“ sowie bezüglich des Überdüngungspotenzials besser ab als die Dieselfahrzeuge. Verantwortlich hierfür sind bei all diesen Indikatoren die relativ hohen Stickoxidemissionen der Dieselfahrzeuge.

Die **Biotreibstofffahrzeuge** zeigen bezüglich Treibhauseffekt bessere Resultate als die fossil betriebenen Fahrzeuge. Bezüglich „Schaden an der Ökosystemqualität“ und Überdüngungspotenzial sind keine Unterschiede zwischen den Abgasen von biotreibstoffbetriebenen- und fossilbetriebenen Fahrzeugen festzustellen. Aufgrund der Unterschiede in den Emissionsprofilen schneiden die Biotreibstofffahrzeuge aber beim „Schaden an menschlicher Gesundheit“ und beim Humantoxizitätspotenzial besser ab als

---

<sup>26</sup> Das ist eine im Modell gemachte Vereinfachung. In der Realität zeigen Hybridfahrzeuge eher tiefere Emissionen, da sie aufgrund der anderen Auslegung in der Regel bei einem günstigeren Betriebspunkt gefahren werden.

die fossilen Alternativen. Bezüglich Sommersmog schneiden Biogas- und Erdgasfahrzeuge sowie PME- und Dieselfahrzeuge identisch ab, während E85-Fahrzeuge etwas höhere Resultate zeigen als Benzinfahrzeuge. Dies kommt von der etwas höheren Kohlenmonoxidemission der E85-Fahrzeuge.

#### 7.4.2 Anteil der Abgase an Mobilitätsergebnissen

Die Beiträge der Abgase zu dem totalen „**Schaden an menschlicher Gesundheit**“ liegen für die fossil betriebenen Fahrzeuge zwischen 29% und 37%. Beim Hybridfahrzeug beträgt der Anteil der Abgase ca. 25%. Bei den Biotreibstofffahrzeugen und den Plug-in-Hybriden spielen die Abgase eine relativ geringe Rolle. Insbesondere bei den PME- und E85-Fahrzeugen mit Zuckerethanol ist der prozentuale Beitrag der Abgase gering, da die Treibstoffe selbst einen sehr hohen Beitrag zum Gesamtergebnis dieses Indikators haben. Der prozentuale Beitrag der Abgase an dem totalen „**Schaden an der Ökosystemqualität**“ liegt maximal bei knapp 9% (Dieselfahrzeug) und ist somit für alle Fahrzeuge relativ gering.

Der Anteil der Abgase am gesamten **Treibhauseffekt** ist grösser. Bei diesem Indikator liegen die Abgasbeiträge der fossil betriebenen Fahrzeuge bei über 60%, aber auch die der E85-Fahrzeuge sind mit knapp 30% bedeutend. Dies resultiert im Wesentlichen aus dem 15% Benzinanteil in diesem Treibstoff. Hingegen tragen die Abgase der PME- und Biogasfahrzeuge nur etwas mehr als 1% zum totalen Treibhauseffekt pro Fahrzeugkilometer bei. Das ist deutlich weniger als die Abgase der Plug-in-Hybride, die je nach Anteil an Netzstrom zwischen 7% und 42% zum Treibhauseffekt der Mobilität beitragen.

Wieder relativ gering liegt der Beitrag der Abgase am totalen **Humantoxizitätspotenzial**. Über 15% liegt er nur für das Benzin- (25%) und das Hybridfahrzeug (24%).

Der Beitrag der Abgase an das totale **Sommersmogpotenzial (POPC)** der fossil betriebenen Fahrzeuge liegt zwischen 38% und 46%. Auch beim Hybridfahrzeug sowie bei den E85-Fahrzeugen mit Altholzethanol verursachen die Abgase einen hohen Anteil an den Gesamtauswirkungen (49% respektive 45%). Bei den Plug-in-Hybriden und den Biogasfahrzeugen spielen Abgase bezüglich Sommersmogpotenzial ebenfalls eine relativ grosse Rolle. Bei den PME- und E85-Fahrzeugen mit Zuckerethanol fallen die Beiträge gering aus. Dies beruht vor allem darauf, dass das Gesamtergebnis bereits von den hohen Auswirkungen der Treibstoffproduktion dominiert ist.

Die Abgase tragen bei den fossil betriebenen Fahrzeugen sowie bei den Hybriden deutlich (17%-34%) zum **Überdüngungspotenzial** bei. Bei den biotreibstoffbetriebenen Fahrzeugen spielen sie eine kleinere Rolle (7-21%), obwohl die Resultate absolut gleich gross sind wie für die fossil betriebenen Fahrzeuge. Dies hat mit den höheren Beiträgen der Treibstoffbereitstellung, vor allem von PME und E85 aus Zuckerethanol, zu diesen Indikatoren zu tun, die das totale Ergebnis erhöhen.

#### 7.5 Abriebemissionen

Bei den Abriebemissionen handelt es sich um Partikelemissionen in die Luft sowie um Schwermetalle in Luft, Boden und Grundwasser. Diese Emissionen werden nur von den

Ecoindicator-99-Indikatoren „Schaden an Gesundheit“ und „Schaden an Ökosystem“ sowie vom CML-01-Indikator fürs Humantoxizitätspotenzial bewertet.

### 7.5.1 Vergleich ICE-, Hybrid- und Elektrofahrzeuge

Bei diesen Indikatoren schneiden die ICE-Fahrzeuge 1.4- bis 4-mal höher ab als die Elektro- und Hybridfahrzeuge, da letztere nur 10% der Bremsemissionen verursachen. Im worst-case-Szenario sind ICE-Fahrzeuge noch 1.2- bis 2-mal höher, im best-case-Szenario sogar bis zu 5-mal höher als die Elektro- und Hybridfahrzeuge.

### 7.5.2 Anteil der Abriebemissionen an Mobilitätsergebnissen

Die Abriebemissionen tragen nur wenig zum totalen „**Schaden an menschlicher Gesundheit**“ bei. Der maximale Beitrag liegt, für das Biogasfahrzeug, bei knapp 11%. Hingegen tragen die Abriebemissionen relativ viel zum „**Schaden an der Ökosystemqualität**“ bei. Den höchsten Beitrag sehen wir beim Erdgasfahrzeug mit knapp 62%.

Der Beitrag der Abriebemissionen an das **Humantoxizitätspotenzial** der Mobilität ist vernachlässigbar. Der höchste Wert liegt bei ca. 1% für Biogasfahrzeuge.

## 7.6 Gesamtergebnisse

Tabelle 23 stellt die Gesamtergebnisse in einem grafischen Vergleich noch einmal dar. In dieser Tabelle sind die Werte grün, die unter dem 30%-Quantil des jeweiligen Indikators liegen, die Werte über dem 70%-Quantil des Indikators sind rot eingefärbt. Somit gehören für einen bestimmten Indikator die grün eingefärbten Werte zu den besten 30% und die rot eingefärbten Werte zu den schlechtesten 30%. Die farblosen Werte gehören zu den 40%, die im Mittelfeld liegen. Diese Tabelle wird in 7.6.1 bezüglich Spalten verglichen und diskutiert. Eine Diskussion der Beiträge einzelner Phasen des Lebenszyklus findet sich in den Kapiteln 7.1 bis 7.5. Dort werden auch die Unterschiede zwischen den Fahrzeugvarianten im Detail diskutiert. Eine Diskussion der Fahrzeuge im Vergleich, also entlang der Zeilen von Tabelle 23, wird in Kapitel 7.7 geführt.

### 7.6.1 Vergleich innerhalb der Indikatoren

#### 7.6.1.1 Schaden an menschlicher Gesundheit

Bezüglich „Schaden an menschlicher Gesundheit“ gehören von den **fossilbetriebenen ICE-Fahrzeuge** nur die Erdgasfahrzeuge in der best-case-Variante zu den besten 30%. Allerdings gehören auch nur die worst-case-Varianten von Benzin- und Dieselfahrzeugen zu den schlechtesten 30%. Insgesamt bewegen sich diese Fahrzeuge also im Durchschnitt mit leichter Tendenz zu grossen Schäden bei Benzin- und Dieselfahrzeugen und leichter Tendenz zu geringen Schäden bei Gasfahrzeugen.

Bei den **biotreibstoffbetriebenen Fahrzeuge** machen die Treibstoffe einen grossen Unterschied bezüglich dieses Indikators. E85 aus Zuckerrohr und Biodiesel aus Palmöl (PME) gehören selbst in ihren best-case-Varianten zu den schlechtesten 30% der untersuchten Fahrzeugvarianten. Ein mit E85 aus Altholz betriebenes Fahrzeug schneidet in diesem Ranking ähnlich ab wie Diesel- und Benzinfahrzeuge, obwohl es noch etwas



Der **Benzinhybrid** schneidet sehr ähnlich ab wie das E85-Fahrzeug mit Altholzethanol. Die **Plug-in-Hybride** gehören zu den besten 30%. Mit einem reduzierten Anteil an Netzstrom nur in der best-case-Variante, mit höheren Anteilen auch in den baseline- und worst-case-Varianten. Werden Plug-in-Hybride also mit über 80% Netzstrom (Schweizer Mix) betrieben, gehören sie bezüglich dieses Indikators zu den Besten Fahrzeugvarianten in unserem Vergleich.

Die Bewertung der **Elektrofahrzeuge** hängt stark von der gewählten Stromherkunft ab. Mit Strom aus durchschnittlichen europäischen Kohlekraftwerken gehören Elektrofahrzeuge klar zu den schlechtesten 30%. Auch wenn wir für den Betrieb den durchschnittlichen Europäischen Strom, den UCTE-Mix, annehmen, rangieren Elektrofahrzeuge unter den schlechtesten 30%. Mit dem Schweizer Strommix und mit Strom aus einem modernen Gaskombikraftwerk kommen Elektrofahrzeuge im besten Fall unter die besten 30%. In den Basis- und worst-case-Varianten kommen sie (knapp) nicht in diese Kategorie. Die Elektrofahrzeuge mit Solar- und Nuklearstrom gehören in der Basisvariante und im besten Fall zu den besten 30% und erreichen bezüglich dieses Indikators die besten Werte aller Elektrofahrzeuge.

Damit sind biogasbetriebene ICE-Fahrzeuge, Plug-in-Hybride sowie nuklear- und solarbetriebene Elektrofahrzeuge in der Wahrnehmung dieses Indikators die besten Varianten.

#### 7.6.1.2 Schaden an Ökosystemqualität

Bezüglich Schaden an der Ökosystemqualität liegen die **fossilbetriebenen ICE-Fahrzeuge** im mittleren Bereich. Nur die Erdgasfahrzeuge zählen in der best-case- und in der Basisvariante zu den besten 30% aller Fahrzeugvarianten.

Die **biotreibstoffbetriebenen ICE-Fahrzeuge** schneiden in diesem Indikator relativ schlecht ab. Ausser den drei Biogasszenarien und der best-case-Variante des mit Altholzethanol betriebenen E85-Fahrzeuges, gehören alle Varianten zu den schlechtesten 30%.

Das **Hybridfahrzeug sowie die Plug-in-Hybride** mit den unterschiedlichen Anteilen an Netzstrom gehören jeweils mit den Basisvarianten und den best-case-Szenarien zu den besten 30% bezüglich dieses Indikators. In den worst-case-Szenarien rangieren diese Fahrzeuge im Mittelfeld.

Bei den **Elektrofahrzeugen** zeigt sich wieder die Abhängigkeit von der Strombereitstellung: Mit Kohlestrom betrieben, rangieren sie unter den schlechtesten 30%, ausser in der best-case-Variante, in der sie ins Mittelfeld fallen. Mit Solarstrom hingegen fallen Elektrofahrzeuge bezüglich des Ökosystemschadens in der Basisvariante und im best-case-Szenario unter die besten 30%, während sie im schlechtesten Fall im Mittelfeld liegen. Elektrofahrzeuge mit Schweizer Strommix, Strom aus dem Gaskombikraftwerk oder Nuklearstrom liegen in der Basisvariante jeweils im Mittelfeld, im best-case-Szenario bei den besten 30% und im worst-case-Szenario bei den schlechtesten 30% der betrachteten Fahrzeugvarianten.

Damit sind erdgasbetriebene ICE-Fahrzeuge, Hybride und Plug-in-Hybride sowie solarbetriebene Elektrofahrzeuge bezüglich dieses Indikators die besten Varianten.

### 7.6.1.3 Schaden an Ressourcenqualität

Bezüglich Schaden an der Ressourcenqualität zählen die **fossilbetriebenen ICE-Fahrzeuge** ausnahmslos und in allen Szenarien zu den schlechtesten 30% aller untersuchten Fahrzeugvarianten.

Hingegen rangieren die **biotreibstoffbetriebenen ICE-Fahrzeuge** in diesem Indikator im Mittelfeld, PME-betriebene Fahrzeuge gehören im best-case und biogasbetriebene Fahrzeuge in allen Szenarien zu den besten 30%.

Das **Hybridfahrzeug** rangiert unter den schlechtesten 30%, **die Plug-in-Hybride** mit tiefem Anteilen an Netzstrom zählen jeweils mit den Basisvarianten und den best-case-Szenarien zum Mittelfeld. In den worst-case-Szenarien rangieren diese Fahrzeuge im Mittelfeld bzw. unter den schlechtesten 30%. Wird ein Plug-in-Hybridfahrzeug mit 95% Schweizer Netzstrom betrieben, rangiert es in allen Szenarien unter den besten 30%. Von den **Elektrofahrzeugen** schneidet das mit Strom aus einem Gaskombikraftwerk betriebene am schlechtesten ab und rangiert im baseline- und worst-case-Szenario im schlechtesten Drittel der untersuchten Fahrzeugvarianten. In allen Szenarien zu den besten 30% gehören die Elektrofahrzeuge mit Nuklearstrom. Wird das Elektrofahrzeug mit Solarstrom oder dem Schweizer Strommix betrieben, rangieren diese Fahrzeuge im best-case- und baseline-Szenario unter den besten 30%. Die anderen Varianten liegen im Mittelfeld.

Damit sind biogasbetriebene ICE-Fahrzeuge, nuklearstrombetriebene Elektrofahrzeuge sowie Plug-in-Hybride mit hohem Netzstromanteil bezüglich dieses Indikators die besten Varianten. Mit Solarstrom und Schweizer Strommix betriebene Elektrofahrzeuge folgen knapp dahinter.

### 7.6.1.4 Treibhauseffekt

Auch bezüglich Treibhauseffekt rangieren die **fossilbetriebenen ICE-Fahrzeuge** in unserem Vergleich unter den schlechtesten Varianten. Diesel- und erdgasbetriebene Fahrzeuge schaffen es im besten Fall ins Mittelfeld.

Hingegen liegen bei diesem Indikator die **E85-Fahrzeuge**, diesmal unabhängig von der Ethanolherkunft, im best-case-Szenario im vorderen Drittel, in den baseline- und worst-case-Szenarien im Mittelfeld. Dort sind auch alle Szenarien von **Biodiesel**- sowie die baseline- und best-case-Szenarien von **Biogasfahrzeugen** zu finden. Im worst-case-Szenario rangiert Biogas – aufgrund des relativ hohen Methanschlupfs bei der Produktion – unter den schlechtesten 30% der Fahrzeugvarianten.

Die **Hybridfahrzeuge** gehören bei diesem Indikator zu den schlechteren Varianten und erreichen nur im besten Fall das Mittelfeld. **Plug-in-Hybride** werden mit zunehmendem Anteil an Netzstrom besser und platzieren sich so im Mittelfeld (50% und 80% Netzstrom) oder sogar im vordersten Drittel (95% Netzstrom)

Wird das Elektrofahrzeug mit Strom aus einem Kohlekraftwerk betriebene rangiert es im untersten Drittel der untersuchten Fahrzeugvarianten. Mit UCTE-Strom und Strom aus einem Gaskombikraftwerk betrieben, rangieren die Elektrofahrzeuge in den worst-case-Szenarien unter den schlechtesten 30%, in den anderen Szenarien im Mittelfeld. Dort ist auch das worst-case-Szenario mit Schweizer Strommix zu finden, während die baseline-

und best-case-Szenarien dieses Strommixes im vorderen Drittel rangieren. Zu den besten 30% gehören in allen Szenarien die Elektrofahrzeuge mit Solar- und Nuklearstrom. Damit sind nuklear- und solarstrombetriebene Elektrofahrzeuge sowie Plug-in-Hybride mit hohem Netzstromanteil bezüglich dieses Indikators die besten Varianten. Mit Schweizer Strommix betriebene Elektrofahrzeuge folgen knapp dahinter.

#### 7.6.1.5 Humantoxizitätspotenzial

Bezüglich Humantoxizitätspotenzial rangieren die **fossilbetriebenen ICE-Fahrzeuge** in unserem Vergleich bei den besten 30% der Varianten. Diesel- und erdgasbetriebene Fahrzeuge in allen Szenarien, benzinbetriebene nur im best-case, während sie in den anderen Szenarien im Mittelfeld liegen.

**Biotreibstoffbetriebene Fahrzeuge** sind bei den besten 30% (Biogas in allen Szenarien unter den besten 30%), aber auch bei den schlechtesten 30% (E85 aus Zuckerethanol in allen Szenarien unter den schlechtesten 30%) zu finden. Mit dem best-case-Szenario unter den besten 30% liegt E85 aus Altholz im vorderen Mittelfeld, während PME mit dem worst-case-Szenario unter den schlechtesten 30% platziert ist. **Hybride** sind im Mittelfeld des Vergleiches anzutreffen, während die **Plug-in-Hybride** sich im vorderen Mittelfeld bzw. unter den besten 30% platzieren (mit zunehmendem Netzstromanteil besser).

Bei diesem Indikator schneiden die **Elektrofahrzeuge** relativ schlecht ab. Sie liegen in den Basisvarianten nur mit Nuklearstrom im Mittelfeld, mit Strom aus allen anderen Quellen bei den schlechtesten 30%. Die best-case-Szenarien liegen jeweils im Mittelfeld.

Somit sind biogas-, erdgas- und dieselbetriebene ICE-Fahrzeuge sowie Plug-in-Hybride mit hohem Netzstromanteil bezüglich Humantoxizitätspotenzial die besten Varianten.

#### 7.6.1.6 Sommersmogpotenzial (Photochemisches Oxidationspotenzial)

Bei diesem Indikator platzieren sich benzinbetriebene ICE-Fahrzeuge im hintersten Drittel. Nur im best-case-Szenario kommen sie ins Mittelfeld, wo die verbleibenden **fossilbetriebenen ICE-Fahrzeuge** für alle Szenarien zu finden sind.

Auch die **biotreibstoffbetriebenen Fahrzeuge** rangieren bezüglich Sommersmog unter den schlechtesten 30%. E85 aus Altholzethanol schafft es im best-case, Biogas in den baseline- und best-case-Szenarien ins Mittelfeld.

Die **Hybridfahrzeuge** gehören bei diesem Indikator zu den schlechteren Varianten und erreichen nur im best-case-Szenario das Mittelfeld. **Plug-in-Hybride** werden mit zunehmendem Anteil an Netzstrom besser und platzieren sich so im Mittelfeld (50% Netzstrom) oder sogar im vordersten Drittel (80% und 95% Netzstrom).

Auch die kohlestrombetriebenen **Elektrofahrzeuge** rangieren im schlechtesten Drittel des Vergleichs. Nur in der best-case-Variante kommen sie ins Mittelfeld, wo alle Szenarien mit UCTE-Strommix und die worst-case-Szenarien mit Gas- und Solarstrom zu finden sind.

Die besseren zwei Szenarien mit Gas- und Solarstrom sowie alle Szenarien mit Nuklearstrom und Schweizer Strommix rangieren unter den besten 30%.

Damit sind es in der Wahrnehmung dieses Indikators die mit Nuklearstrom und Schweizer Strommix betriebenen Elektrofahrzeuge sowie die Plug-in-Hybride mit 95% Schweizer Netzstrom, die am besten abschneiden. Die Elektrofahrzeuge, die mit Solarstrom und Strom aus Gaskombikraftwerken betrieben werden, schneiden ebenfalls gut ab.



### 7.6.1.7 Landnutzung

**Fossilbetriebene ICE-Fahrzeuge** tragen nur wenig zu diesem Indikator bei und rangieren durchwegs unter den besten 30%.

Dasselbe gilt für biogasbetriebene ICE-Fahrzeuge, denen keine Landnutzung für die Biomasseproduktion angelastet wird, weil das Biogas aus Grünabfällen hergestellt wird.

Die übrigen **biotreibstoffbetriebenen Fahrzeuge** rangieren bezüglich Landnutzung unter den schlechtesten 30%.

Die **Hybridfahrzeuge** gehören bei diesem Indikator zu den besten Varianten und fallen nur im worst-case-Szenario in das Mittelfeld. **Plug-in-Hybride** sind durchweg im Mittelfeld zu finden.

Auch die **Elektrofahrzeuge** rangieren meist im Mittelfeld. Im schlechtesten Drittel finden wir alle Szenarios, die mit Kohlestrom betrieben werden. Hier ist auch das worst-case-Szenario von mit UCTE-Strom und mit Schweizer Strommix betriebenen Fahrzeugen sowie das Basisszenario des UCTE-strombetriebenen Elektrofahrzeugs aufzufinden. Insgesamt schneiden in der Wahrnehmung dieses Indikators die gas-, biogas-, benzin- und dieselbetriebenen Fahrzeuge am besten ab.

### 7.6.1.8 Überdüngung

**Fossilbetriebene ICE-Fahrzeuge** tragen unterschiedlich zu diesem Indikator bei.

Erdgasbetriebene Fahrzeuge rangieren unter den besten 30%. Nur im worst-case-Szenario fallen diese Fahrzeuge ins Mittelfeld. Benzin- und dieselbetriebene Fahrzeuge liegen meist im Mittelfeld, in den worst-case-Szenarien unter den schlechtesten 30%.

Vergleichsweise schlechter schneiden **biotreibstoffbetriebene Fahrzeuge** ab. So rangieren biogasbetriebene ICE-Fahrzeuge zusammen mit dem best-case der E85-Fahrzeuge mit Altholzethanol im Mittelfeld, während die biodiesel- und die übrigen E85-Varianten zu den schlechtesten 30% zählen.

Die **Hybridfahrzeuge** rangieren bei diesem Indikator im hinteren Mittelfeld und sind im worst-case-Szenario unter den schlechtesten 30% zu finden. **Plug-in-Hybride** werden mit zunehmendem Anteil an Netzstrom besser und platzieren sich so im Mittelfeld (50% Netzstrom baseline und worst-case sowie 80% worst-case) oder sogar im vordersten Drittel (alle Szenarien bei 95% Netzstrom und übrige Szenarien bei 80% und 50% Netzstrom).

Auch die **Elektrofahrzeuge** tragen unterschiedlich zu diesem Indikator bei. Im schlechtesten Drittel finden wir alle kohlestrombetriebenen Varianten sowie das worst-case-Szenario von UCTE-strommixbetriebenen Fahrzeugen. Zu den besten 30% zählen alle Szenarien mit Nuklearstrom, das Basis- und das best-case-Szenario mit Schweizer Strommix sowie die best-case-Szenarien mit Gaskombikraftwerk- und Solarstrom. Die restlichen Varianten rangieren im Mittelfeld.

Damit schneiden bezüglich dieses Indikators die nuklearstrombetriebenen Elektrofahrzeuge sowie die Plug-in-Hybride mit 95% Schweizer Netzstrom am besten ab. Die Elektrofahrzeuge, die mit Schweizer Strommix betrieben werden, sowie Erdgasfahrzeuge schneiden insgesamt ebenfalls sehr gut ab.

#### 7.6.1.9 Radioaktive Abfälle und kumulierter Energieaufwand nuklear

Diese beiden Indikatoren werden zusammen diskutiert, da Beiträge zu ihnen durch dieselben Prozesse verursacht werden und sie daher dieselben Muster zeigen.

**Fossilbetriebene ICE-Fahrzeuge** tragen nur wenig zu diesen Indikatoren bei und rangieren meist unter den besten 30%. Nur die erdgasbetriebenen Fahrzeuge liegen mit im Basis- und im worst-case-Szenario im Mittelfeld, da für die Erdgaskomprimierung relativ viel Schweizer Strom benötigt wird.

Die **biotreibstoffbetriebenen Fahrzeuge** rangieren unter den besten 30% oder im Mittelfeld. Zu den besten 30% gehören die E85-betriebenen Fahrzeuge. Nur das worst-case-Szenario der E85-Variante mit Zuckerethanol liegt im Mittelfeld. Dort liegen auch biodiesel- und biogasbetriebene ICE-Fahrzeuge. Bei PME kommt der grösste Teil des Indikatorbeitrages vom Pumpstrom zur Bewässerung. Dies ist allerdings ein Artefakt, da ecoinvent den für die Schweiz gültigen Datensatz für die Bewässerung auf die Palmölplantage in Malaysia anwendet. Somit wird Schweizer Strom für die Bewässerung eingesetzt. Beim Biogas stammt der grösste Teil des Indikatorresultats von der Produktion und dem Transport.

Die **Hybridfahrzeuge** gehören bei diesen Indikatoren zu den besten Varianten und fallen nur im schlechtesten Fall ins Mittelfeld. **Plug-in-Hybride** sind bei tiefem Netzstromanteil (50%) im Mittelfeld anzutreffen, bei höherem Netzstromanteil unter den schlechtesten 30%.

Die **Elektrofahrzeuge** rangieren unter den schlechtesten 30% oder im Mittelfeld. Die schlechtesten Ergebnisse zeigen hier mit Nuklearstrom, Schweizer Strommix und UCTE-Strommix betriebene Fahrzeuge. Die übrigen Elektrofahrzeugvarianten rangieren im Mittelfeld, der best-case von mit Gaskombikraftwerkstrom betriebenen Fahrzeugen im vordersten Drittel.

Bei diesen Indikatoren schneiden ICE-Fahrzeuge mit E85 aus Altholzethanol vor solchen mit Diesel, Benzin und E85 aus Zuckerethanol am besten ab.

#### 7.6.1.10 Kumulierter Energieaufwand fossil

Die Ergebnisse bei diesem Indikator ähneln denen bezüglich Schaden an der Ressourcenqualität, da auch dieser relativ viel Gewicht auf fossile Ressourcen legt. Bezüglich CED fossil zählen die **fossilbetriebenen ICE-Fahrzeuge** praktisch in allen Szenarien zu den schlechtesten 30% aller untersuchten Fahrzeugvarianten. Einzig das best-case-Szenario des Dieselfahrzeugs rangiert im Mittelfeld.

Hingegen rangieren die **biotreibstoffbetriebenen ICE-Fahrzeuge** in diesem Indikator im Mittelfeld oder unter den besten 30%. PME- und biogasbetriebene Fahrzeuge finden wir, zusammen mit dem worst-case-Szenario von E85 aus Zuckerrohr, im Mittelfeld. Allen anderen Szenarien zu E85 gehören zu den besten 30%.

Das **Hybridfahrzeug** rangiert nur im besten Fall im Mittelfeld, sonst unter den schlechtesten 30%. Die **Plug-in-Hybride** mit tiefem Anteil an Netzstrom zählen zum Mittelfeld. Mit 80% Netzstrom kommt der best-case unter die besten 30%. Wird ein Plug-in-Hybridfahrzeug mit 95% Schweizer Netzstrom betrieben, rangiert es in dem Basis- und best-case-Szenario unter den besten 30%, im worst-case-Szenario im Mittelfeld.

Bei den **Elektrofahrzeugen** schneidet das mit Strom aus einem Kohlekraftwerk betriebene bei diesem Indikator am schlechtesten ab und rangiert im schlechtesten Drittel der untersuchten Fahrzeugvarianten. Ebenfalls zu den schlechtesten 30% zählen die worst-case-Szenarien mit UCTE-Strom und Gaskombikraftwerkstrom. In allen Szenarien zu den besten 30% gehören die Elektrofahrzeuge mit Nuklearstrom. Mit Solarstrom und dem Schweizer Strommix betrieben, rangieren diese Fahrzeuge im best-case- und baseline-Szenario unter den besten 30%. Die anderen Varianten bzw. Szenarien liegen im Mittelfeld.

Damit sind biogasbetriebene ICE-Fahrzeuge und nuklearstrombetriebene Elektrofahrzeuge in der Wahrnehmung dieses Indikators die besten Varianten. Mit Solarstrom und Schweizer Strommix betriebene Elektrofahrzeuge sowie Plug-in-Hybride mit hohem Netzstromanteil folgen knapp dahinter.

#### 7.6.1.11 Kumulierter Exergieaufwand Metalle

**Fossilbetriebene ICE-Fahrzeuge** tragen nur wenig zu diesem Indikator bei und rangieren durchwegs unter den besten 30%.

Auch einige **biotreibstoffbetriebene Fahrzeuge**, namentlich mit Biogas und mit Altholzethanol betriebene Fahrzeuge rangieren unter den besten 30%, letztere allerdings nicht im worst-case-Szenario. Auch das best-case-Szenario mit E85 aus Zuckerethanol gehört zu den besten 30%, während die anderen Szenarien mit diesem Treibstoff sowie alle Szenarien mit PME im Mittelfeld anzutreffen sind.

Die **Hybridfahrzeuge** fallen bei diesem Indikator ins Mittelfeld. **Plug-in-Hybride** sind ebenfalls fast durchweg im Mittelfeld anzutreffen. Nur die worst-case-Szenarien der Varianten mit 80% Netzstromanteil und mehr rangieren unter den schlechtesten 30%. Die **Elektrofahrzeuge** rangieren bezüglich dieses Indikators meist im schlechtesten Drittel. Im Mittelfeld rangieren, mit Ausnahme der Solarstromvariante, nur die jeweiligen best-case-Szenarien. Solarstrombetriebene Elektrofahrzeuge finden wir durchwegs unter den schlechtesten 30%.

Somit schneiden gas-, biogas-, benzin- und dieselbetriebene Fahrzeuge bezüglich CExD-Metalle am besten ab.

#### 7.6.1.12 Kumulierter Exergieaufwand Mineralien

**Fossilbetriebene ICE-Fahrzeuge** tragen mässig zu diesem Indikator bei und rangieren im Mittelfeld (diesel- und benzinbetriebene) oder unter den besten 30% (erdgasbetriebene Fahrzeuge).

Bei den **biotreibstoffbetriebenen Fahrzeugen** zeigt sich ein grosser Unterschied in Abhängigkeit dessen, ob die Treibstoffvariante aus Abfällen oder auf Basis anderer Feedstocks produziert werden. Letztere rangieren unter den schlechtesten 30%. Die Variante mit E85 aus Altholzethanol hingegen rangiert im Mittelfeld und die mit Biogas gehört zu den besten 30% (im worst-case-Szenario nur im Mittelfeld).

Die **Hybridfahrzeuge** erreichen bei diesem Indikator das Mittelfeld während **Plug-in-Hybride** fast durchweg unter den besten 30% anzutreffen sind. Nur die worst-case-Szenarien der Varianten mit 50% und 80% Netzstromanteil rangieren im Mittelfeld.

Die **Elektrofahrzeuge** rangieren bezüglich dieses Indikators zwischen Mittelfeld (alle best-case-Szenarien) und dem schlechtesten Drittel (alle worst-case-Szenarien). Die Basisszenarien der Varianten mit Schweizer Strommix, mit Nuklearstrom und mit Gaskombikraftstrom sind im Mittelfeld zu finden, diejenigen der übrigen Varianten unter den schlechtesten 30%.

Somit schneiden erdgasbetriebene Fahrzeuge und Plug-in-Hybride mit hohem Netzstromanteil in der Wahrnehmung dieses Indikators am besten ab.

#### 7.6.1.13 Ressourcenverlust

Wie unter 7.2 bereits erwähnt, werden diese Ergebnisse durch die Modellierung im Hintergrundsystem verfälscht. Die absoluten Zahlen sind, mit Ausnahme von Lithium, das in keinem der Hintergrunddatensätze verwendet wird, jedenfalls deutlich zu hoch. Hingegen können wir davon ausgehen, dass die Reihenfolge der Varianten durch diesen Artefakt nicht beeinflusst wird.

Elektrofahrzeuge brauchen deutlich mehr Kupfer und Elektronikteile als ICE-Fahrzeuge. Entsprechend wird, trotz hoher Recyclingquote, der Verlust an Kupfer, Silber und Gold bei Elektrofahrzeugen höher als bei ICE-Fahrzeugen (Abbildung 9). Andererseits brauchen Elektrofahrzeuge keine Katalysatoren und reduzieren damit die Verluste an Platingruppenmetallen. Die Kobaltverluste sind in allen Varianten etwa gleich gering, da wir von Li-Ionen-Batterien ohne Kobalt in den Elektroden ausgehen. Wäre Kobalt enthalten, so würde der Verlust für Elektrofahrzeuge natürlich höher, allerdings nicht wesentlich, da Kobalt im Batterie-Recycling zurückgewonnen wird. Lithium hingegen wird im Recyclingprozess nicht zurückgewonnen, was dazu führt, dass das gesamte Lithium, das in den Batterien enthalten ist, als verloren betrachtet werden muss. Der Grund dafür, dass Lithium heute nicht aus den Batterien zurückgewonnen wird, ist, dass Batterien im Allgemeinen in pyrometallurgischen Prozessen rezykliert werden. Eine Rückgewinnung des Lithiums aus solchen Prozessen wäre aufwändiger und kostspieliger als die Primärgewinnung. Sollte Lithium dereinst knapp werden, könnte das Lithium in den Batterien über hydrometallurgischen Prozessen rezykliert respektive wiedergewonnen werden.

### **7.7 Beurteilung der Fahrzeugvarianten**

Von den in dieser Studie verglichenen Mobilitätsvarianten gibt es keine, die bezüglich aller betrachteten Umweltaspekte als die vorteilhafteste gelten könnte. Aber es gibt Varianten, die bezüglich vieler Aspekte zu den vorteilhafteren gehören, während andere bezüglich vieler Aspekte schlechter oder sogar deutlich schlechter abschneiden als andere. Ein Vergleich der Resultate aller Fahrzeuge zu jeweils einem spezifischen Fahrzeug ist in Tabelle 24 bis Tabelle 40 dargestellt. In den Tabellen ist jeweils das Referenzfahrzeug gelb markiert. Indikatorwerte, die unter dem entsprechenden Wert des Referenzfahrzeugs liegen, sind grün, die anderen weiss hinterlegt. Da eine objektive Gewichtung der Aspekte bzw. Indikatoren relativ zu einander prinzipiell unmöglich ist, wird dies vermieden.

Allerdings könnte schon die in den nachfolgenden Diskussionen gemachten Auszählungen der Anzahl Indikatoren, bei denen eine Technologie zum Beispiel zu den „vorteilhaftesten“ oder zu den „schlechtesten 30%“ gezählt wird, als implizite Gewichtung („alle Indikatoren

sind gleich wichtig“) verstanden werden. Um der ISO-Norm Genüge zu tun wird darum explizit darauf hingewiesen, dass zum Beispiel die Aussage: „Technologie A schneidet bei 10 von 13 Indikatoren besser ab als Technologie B“ nicht a priori verstanden werden darf als: „Technologie A ist besser als Technologie B“. Eine solche Schlussfolgerung würde einer subjektiven Werthaltung entspringen. Die Werthaltungen und Beurteilungen innerhalb der Ordnungsverfahren liegen in alleiniger Verantwortung des Auftraggebers der Studie. ISO 14'044 legt weder spezifische Verfahren fest, noch unterstützt sie die zugrunde liegenden, für die Ordnung der Wirkungskategorien verwendeten Werthaltungen. Da weder die Auftraggeber noch die Autoren der Studie das Auszählen der Indikatoren als Gewichtung verstanden haben wollen, obliegt es dem Leser oder der Leserin zu beurteilen, für wie wichtig er oder sie die unterschiedlichen Indikatoren betrachten will. Damit sind zwar keine eindeutigen Aussagen (A ist besser als B) mehr möglich, dafür werden die Ergebnisse aber auch nicht (oder zumindest viel weniger) durch den Filter individueller Wertsysteme beeinflusst.

**Fossilbetriebene ICE-Fahrzeuge** zählen bei einigen Indikatoren zu den besten, bei anderen Indikatoren zu den schlechtesten Varianten. Innerhalb dieser Klasse sind die erdgasbetriebenen Fahrzeuge bei 9 von 13 Indikatoren die vorteilhaftesten und Dieselfahrzeuge schneiden bezüglich 11 von 13 Indikatoren besser ab als Benzinfahrzeuge. Im Gesamtvergleich wird ein Trade-off zwischen verschiedenen potenziellen Problemgebieten sichtbar: Bezüglich Treibhauseffekt und bezüglich Verbrauch fossiler Ressourcen schneiden fossilbetriebene ICE-Fahrzeuge vergleichsweise schlecht ab. Bei diesen Indikatoren zeigen nur die mit Kohlestrom betriebenen Elektrofahrzeuge noch höhere Werte als das Benzin- und Dieselfahrzeug. Der Beitrag dieser Fahrzeuge zur Sommersmogbildung gehört auch nicht zu den tiefsten im Vergleich. Andererseits verursachen sie wenig radioaktive Abfälle und tragen mit ihrem geringen nuklearen Energiebedarf auch nicht wesentlich zu den potenziellen Risiken der Kernenergienutzung bei. Auch bezüglich Land- und Metallnutzung (als CExD-Metalle) sowie bezüglich des Humantoxizitätspotenzials gehören sie zu den vorteilhaftesten Varianten.

Mit Ausnahme der Biogasfahrzeuge zählen **biotreibstoffbetriebene ICE-Fahrzeuge** in den Basisvarianten bei 5-7 Indikatoren zu den schlechtesten und bei 1-3 Indikatoren zu den besten Varianten im Vergleich. Die biogasbetriebenen Fahrzeuge zählen oft zu den Vorteilhafteren und nur in den worst-case-Varianten bezüglich zweier Indikatoren zu den schlechtesten.

In einer schadensorientierten Betrachtung<sup>27</sup> rangieren **Plug-in-Hybridfahrzeuge** zwischen eher vorteilhaft und sehr vorteilhaft, da sie nur bezüglich Schaden an der Ressourcenqualität in der worst-case-Variante des einen Szenarios zu den schlechtesten 30% des Vergleichs gehören. Bei dieser (schadensorientierten) Betrachtung führt ein zunehmender Anteil an Schweizer Netzstrom am Antriebsenergiemix zu einer besseren Beurteilung. Plug-in-Hybride mit über 80% Netzstromanteil gehören auch aus einer problemorientierten Sichtweise bei den meisten Indikatoren zu den vorteilhaftesten Varianten. Allerdings gibt es bei diesen Varianten einen Trade-off bei den radioaktive

---

<sup>27</sup> Gemäss ecoindicator 99, Hierarchist perspektive

Abfälle und beim nuklearen Energiebedarf, wo sie zu den unvorteilhaftesten zählen. Bezüglich letzteren Indikatoren wirkt sich ein steigender Anteil an Netzstrom auch negativ auf die Beurteilung aus.

**Hybride**, die nicht am Netz aufgeladen werden zeigen einen Trade-off zwischen vergleichsweise geringen Schäden an der Ökosystemqualität und relativ grossen Schäden an der Ressourcenqualität. Auch bei den wirkungsorientierten Indikatoren gehören diese Fahrzeuge mal zu den besten, mal zu den schlechtesten 30%.

**Elektrofahrzeuge** schneiden je nach Strombereitstellungsart sehr unterschiedlich ab. Entsprechend werden sie einzeln diskutiert:

Mit Strom aus **Kohlekraftwerken** oder mit dem **UCTE-Strommix** betrieben zählen Elektrofahrzeuge bei keinem Indikator zu den besten 30% der Varianten. Dies gilt auch für die best-case und worst-case-Szenarien mit Ausnahme der best-case-Variante des kohlestrombetriebenen Fahrzeuges bezüglich Schadens an der Ressourcenqualität. Elektrofahrzeuge, die mit **Strom aus Gaskombikraftwerken** betrieben werden, gehören in der Basisvariante nur bei einem Indikator (POCP) zu den besten 30% der verglichenen Fahrzeuge, hingegen bei 3 Indikatoren zu den schlechtesten 30%. Im best-case schneiden diese Fahrzeuge bei 5 Indikatoren relativ gut ab, im worst-case bei 8 Indikatoren relativ schlecht.

Werden Elektrofahrzeuge mit **Schweizer Strommix** betrieben, zeigen sie im baseline-Szenario bei 5 Indikatoren ein vorteilhaftes Resultat, bei 4 Indikatoren ein relativ schlechtes. Die problemorientierte Betrachtungsweise zeigt einen Trade-off mit vorteilhaftem Abschneiden bezüglich Treibhauseffekt, Sommersmog, Überdüngung und dem Bedarf an fossilen Ressourcen gegenüber nachteiligen Resultaten bezüglich Humantoxizitätspotenzial, radioaktiven Abfällen und Bedarf an nuklearen und metallischen Ressourcen. Im best-case gehören diese Fahrzeuge nur bezüglich radioaktiven Abfällen und nuklearem Energiebedarf zu den schlechtesten 30% der Varianten während sie so bei 7 Indikatoren zu den besten zählen. Im worst-case hingegen liegen diese Fahrzeuge nur noch beim Sommersmogpotenzial (POPC) unter den besten und bei 7 Indikatoren unter den schlechtesten 30%.

Auch mit **Nuklearstrom** betrieben, zeigen die Elektrofahrzeuge ähnliche Trade-offs wie beim Schweizer Strommix: Den unvorteilhaftesten Resultaten bezüglich nuklearer Abfälle und nuklearen Ressourcenbedarfs sowie unvorteilhaften Ergebnissen bezüglich Metallnutzung (CExD, Metalle) stehen vorteilhafte Resultate bei Schaden an Gesundheit und Ressourcenqualität, Treibhauseffekt, Sommersmogpotenzial, Überdüngung und fossilem Ressourcenbedarf gegenüber.

Mit **Solarstrom** betrieben, zeigen die Elektrofahrzeuge in einer wirkungsorientierten Betrachtung ein sehr vorteilhaftes Resultat, da sie bezüglich aller Schutzgüter zu den vorteilhaftesten Varianten zählen. In der problemorientierten Betrachtungsweise sind aber auch hier Trade-offs zu beobachten. So stehen vorteilhafte Resultate beim Treibhauseffekt, beim fossilen Ressourcenbedarf und beim Sommersmogpotenzial den unvorteilhaften bezüglich Humantoxizitätspotenzial und Bedarf an Metallen und Mineralien gegenüber.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 24** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für benzinbetriebene ICE-Fahrzeuge.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 25 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für dieselbetriebenen ICE-Fahrzeuge.**



Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 26 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für erdgasbetriebene ICE-Fahrzeuge.**

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 27 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für zuckerrohrethanolbetriebene ICE-Fahrzeuge.**

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zucker- rohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)	UCTE- Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE- Kohle	UCTE- Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO <sub>2</sub> -Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m <sup>3</sup> / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 28** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für altholzethanolbetriebene ICE-Fahrzeuge.

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 29 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für PME-betriebene ICE-Fahrzeuge.**

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 30** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für biogasbetriebene ICE-Fahrzeuge.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe			Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch						
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 31 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für benzinbetriebene Hybridfahrzeuge.**

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 32 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für Plug-in-Hybridfahrzeuge mit 50% Stromanteil.**

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 33** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für Plug-in-Hybridfahrzeuge mit 80% Stromanteil.



Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO <sub>2</sub> -Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m <sup>3</sup> / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 34** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für Plug-in-Hybridfahrzeuge mit 95% Stromanteil.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 35** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für mit UCTE-Strommix betriebene Elektrofahrzeuge.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 36 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für mit Schweizer Strommix betriebene Elektrofahrzeuge.**

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 37 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für nuklearstrombetriebene Elektrofahrzeuge.**

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe			Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch						
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester		Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 38 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für kohlestrombetriebene Elektrofahrzeuge.**

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe			Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch						
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester		Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 39 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für gaskombikraftwerkstrombetriebene Elektrofahrzeuge.**

	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid			Elektrisch					
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (80/20 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.4E-07	1.3E-07	1.1E-07	8.4E-07	1.3E-07	2.7E-07	9.4E-08	1.3E-07	1.1E-07	9.4E-08	8.8E-08	1.8E-07	1.1E-07	9.7E-08	2.6E-07	1.2E-07	9.9E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0171	0.0168	0.0148	0.204	0.0215	0.19	0.0156	0.0128	0.0127	0.0126	0.0125	0.018	0.0158	0.0154	0.0215	0.0159	0.0142
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.466	0.381	0.441	0.204	0.21	0.156	0.104	0.366	0.237	0.16	0.121	0.188	0.125	0.11	0.155	0.332	0.125
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.246	0.203	0.195	0.123	0.12	0.133	0.141	0.199	0.139	0.104	0.0859	0.186	0.0942	0.0708	0.313	0.165	0.0822
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	9.4E-15	7.1E-15	5.9E-15	4E-14	8.8E-15	1.1E-14	5.6E-15	9.9E-15	9.1E-15	8.7E-15	8.4E-15	1.5E-14	1.3E-14	1.2E-14	1.5E-14	1.3E-14	1.3E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	7.2E-15	4.6E-15	4.3E-15	9.8E-14	8E-15	2.7E-14	5.8E-15	6.8E-15	4.5E-15	3E-15	2.3E-15	5E-15	2.8E-15	2.5E-15	7.5E-15	3.2E-15	2.8E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	5.6E-18	4.9E-18	3.9E-16	1.6E-17	2.3E-16	5.4E-18	6.5E-18	7.2E-18	7.7E-18	7.9E-18	1.4E-17	9.7E-18	8.6E-18	2.9E-17	8.4E-18	9.6E-18
Überdüngung [1 / km]	5.8E-15	6.2E-15	3.9E-15	1.3E-14	7.4E-15	2E-14	4.8E-15	5.6E-15	4.4E-15	3.7E-15	3.4E-15	5.8E-15	3.9E-15	3.5E-15	9.1E-15	4.2E-15	4E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9.4E-10	9E-10	1.1E-09	9.6E-10	8.9E-10	1.3E-09	2.3E-09	1.1E-09	4.3E-09	6.3E-09	7.3E-09	5.4E-09	7.7E-09	1.4E-08	1.2E-09	1.1E-09	1.3E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.212	0.201	0.241	0.214	0.2	0.29	0.503	0.235	0.959	1.39	1.61	1.18	1.72	3.14	0.277	0.24	0.283
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	3.62	2.99	3.42	1.69	1.72	1.35	0.956	2.9	2.01	1.48	1.21	2.43	1.3	1.02	3.76	2.67	1.18
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.03	0.0295	0.0286	0.0345	0.0328	0.0371	0.0291	0.0516	0.0559	0.0585	0.0597	0.0666	0.0662	0.0662	0.0673	0.0658	0.128
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0113	0.0114	0.0104	0.0178	0.0115	0.0185	0.0105	0.0112	0.0108	0.0106	0.0105	0.0125	0.0124	0.0122	0.0126	0.0124	0.0125

**Tabelle 40 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für PV-strombetriebene Elektrofahrzeuge.**

## **7.8 Sensitivitätsanalysen**

### *7.8.1 Treibstoffbedarf, Batterielebensdauer und Abriebemissionen*

Die Unterschiede zwischen den Basisvarianten und den gesamthaften best-case- und worst-case-Szenarien liegen im Bereich von -25% bis +50% des Wertes der Basisvariante. Da für die ICE-Fahrzeuge ausschliesslich die Auswirkungen der Szenariovariationen bei den Treibstoffen eine Rolle spielen, zeigen sich die grössten Bereiche bei den Treibstoffen mit dem grössten prozentualen Anteil an den jeweiligen Indikatorergebnissen. Aber auch bei den übrigen Fahrzeugen werden die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtungen weitgehend vom Treibstoff- bzw. Energiebedarf dominiert. Dies liegt daran, dass die Bremsabriebemission nur relevant zum „Schaden an der Ökosystemqualität“ beitragen, und das vor allem bei den ICE-Fahrzeugen. Die Variation der Batterielebensdauer wirkt sich vor allem auf das Humantoxizitätspotenzial aus, da dieser Indikator insbesondere durch die Batterie stark beeinflusst wird.

### *7.8.2 Anteil Strom ab Netz bei Plug-in-Hybridfahrzeugen*

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse sind in Abbildung 10 gezeigt. Ausgehend von einem 80 / 20 Verhältnis zwischen Netzstrom und Benzin, zeigt sich, dass die Indikatorwerte für einen für Schweizer Verhältnisse plausiblen Anteil der Fahrten mit Netzstrom im Bereich von 70% bis 145% variieren. Eine Erhöhung des Netzstromanteils führt im Allgemeinen zu tieferen Ergebnissen. Ausnahmen bilden die Indikatoren zum kumulierten Energieaufwand nuklear, zu radioaktiven Abfällen, zum kumulierten Exergieaufwand Metalle und zur Landnutzung.

### *7.8.3 Einfluss EOL-Modellierung*

Eine Cut-off-Modellierung würde für die Gesamtergebnisse um 0% bis 188% höhere Ergebnisse (relativ zu den Werten mit Substitution) ergeben (Tabelle 20). Grosse Differenzen ergeben sich bei den Indikatoren zum kumulierten Exergieaufwand Metalle, Humantoxizitätspotenzial, Landnutzung und „Schaden an menschlicher Gesundheit“. Eine andere Wahl der EOL-Modellierung würde aber bei keinem Indikator die relative Rangierung der unterschiedlichen Mobilitätsvarianten grundlegend verändern (siehe Tabelle 41 im Vergleich zu Tabelle 23). Allerdings muss dazu gesagt werden, dass im Hintergrundsystem die EOL-Modellierung nicht angepasst wurde und dass bei konsequenter Substitutionsmodellierung aller Prozesse die Ergebnisse anders, aller Wahrscheinlichkeit nach tiefer, ausfallen würden als in dieser Studie. Entsprechend erwarten wir, dass der Einfluss der EOL-Modellierung effektiv grösser wäre, als er hier erscheint. Wir erwarten, dass das bei strombetriebenen Fahrzeugen und Indikatoren, die metallische Ressourcen bewerten, relevant wird, da bei der Strombereitstellung (v.a. mit PV) und der Stromübertragung (Stromnetze) mit dem Cut-off viel Metall aus dem Modell verschwindet und so vom Modell viel mehr metallische Ressourcen nachgefragt werden, als dies bei einer Substitutionsmodellierung der Fall wäre. Diese Hypothesen können aufgrund fehlender Daten leider noch nicht überprüft werden. Mit der ecoinvent Version 3 soll das möglich werden.





#### 7.8.4 Einfluss auf die Beurteilung der Fahrzeugvarianten

Die Vergleiche der Resultate der best- und worst-case-Szenarien zu jeweils einer best- oder worst-case-Variante eines Fahrzeuges sind in Tabelle 42 bis Tabelle 71 dargestellt. Ein solcher Vergleich macht nur Sinn, wenn unterschiedliche Fahrzeugtypen (z.B. ICE- mit Elektrofahrzeugen oder ICE mit Plug-in-Hybrid) verglichen werden, da der Hintergrund für die Szenarien innerhalb der Fahrzeugtypen derselbe ist. So ist es z.B. nicht sinnvoll anzunehmen, dass der Strombedarf oder die Abriebemission eines Elektrofahrzeuges von der Herkunft des Stromes abhängig ist oder auch dass der Benzinbedarf eines Fahrzeuges im baseline-Szenario massiv unterschätzt würde, während der Dieselbedarf massiv überschätzt wird. In den Tabellen werden nur die sinnvollen Vergleiche gezeigt. Wie schon unter 7.7 erwähnt, darf eine Aussage, dass zum Beispiel Technologie A bei 10 von 13 Indikatoren besser abschneidet als Technologie B, nicht a priori verstanden werden als „Technologie A ist besser als Technologie B“. Eine solche Aussage wäre nur möglich, wenn die Indikatoren gewichtet würden, worauf in dieser Studie aus Gründen der Objektivität verzichtet wird, weil eine „objektive Gewichtung“ ein Widerspruch in sich selbst darstellt.

Vergleicht man Tabelle 42 bis Tabelle 71 mit den entsprechenden Tabellen der baseline-Szenarien (Tabelle 24 bis Tabelle 40), sieht man, dass ein Vergleich der Ergebnisse innerhalb der jeweiligen Szenarien (also worst-case mit worst-case, baseline mit baseline etc.) ein sehr ähnliches Bild ergibt. Auffällige Ausnahmen sind:

- Alle Varianten von Elektrofahrzeugen ausser dem kohlestrombetriebenen zeigen bezüglich Schaden an der Ökosystemqualität in den best-case-Szenarien tiefere Ergebnisse als ein Dieselfahrzeug. Im baseline-Szenario ist auch das mit UCTE-Strommix betriebene Fahrzeug bezüglich dieses Indikators schlechter und im worst-case schneidet nur noch das mit PV-Strom betriebene Elektrofahrzeug besser ab als das Dieselfahrzeug.
- Ähnliches gilt für den Vergleich von Erdgasfahrzeugen mit Hybriden, Plug-in-Hybriden und Elektrofahrzeugen bezüglich Schaden an der Ökosystemqualität.
- Plug-in-Hybride sehen im Vergleich zu Elektrofahrzeugen im best und im worst-case deutlich anders aus, da der Anteil des Netzstroms bei den Szenarien des Plug-in-Hybrids stark unterschiedlich ist.

Vergleicht man die worst-case-Resultate eines Fahrzeuges mit den best-case-Resultaten der andern ergibt sich ein deutlich anderes Bild als beim Vergleich der jeweiligen baseline-Szenarien. So sind, mit Ausnahme der ICE-Fahrzeuge mit Zuckerrohrethanol und PME alle Alternativen im best-case bei den meisten Indikatoren vorteilhafter als das Benzin- oder Dieselfahrzeug im worst-case-Szenario. Hingegen liegen die best-case Resultate der Benzin- und Dieselfahrzeuge bei vielen Indikatoren tiefer als die der Elektrofahrzeuge. Ein ähnliches Bild, wenn auch nicht so ausgeprägt, sieht man im Vergleich von Erdgasfahrzeugen zu den Alternativen.

Zuckerethanol- oder PME-betriebene Fahrzeuge schneiden in ihrem best-case in 6 bis 10 der 13 Indikatoren schlechter ab als die anderen Fahrzeuge in deren worst-case. Werden die Biotreibstoffe hingegen aus Altholz oder Kompost gewonnen, schneiden die damit betriebenen Fahrzeuge in ihrem best-case wieder bei vielen Indikatoren besser ab als die

anderen Fahrzeuge in deren worst-case. Die worst-case-Resultate aller biotreibstoffbetriebenen Fahrzeuge sind aber bezüglich den meisten Indikatoren schlechter als die best-case-Szenarien der Fahrzeuge mit Elektromotoren. Die best-case-Variante der Plug-in-Hybride schneidet bezüglich der meisten Indikatoren besser ab als die ICE-Fahrzeuge oder auch die reinen Elektrofahrzeuge in deren worst-case-Szenario. Hingegen sind, mit Ausnahme des kohlestrombetriebenen Elektrofahrzeuges, alle Alternativen in deren best-case bezüglich der meisten Indikatoren vorteilhafter als das worst-case-Szenario des Plug-In-Hybrides. Alle Elektrofahrzeuge schneiden in ihrem worst-case-Szenario bezüglich vieler, je nach Stromgeneration und Vergleichsfahrzeug sogar bezüglich aller, Indikatoren schlechter ab als die Alternativen in deren best-case-Szenarien. Die best-case-Szenarien der Elektrofahrzeuge hingegen schneiden im Vergleich zu den worst-case-Szenarien der Alternativen unterschiedlich ab. Bei Betrieb mit Strom von Schweizer Mix, KKW, Gaskombikraftwerk oder PV schneiden sie bezüglich der meisten Indikatoren besser ab als die ICE-Fahrzeuge und (Plug-in-)Hybride. Werden sie aber mit UCTE-Strom betrieben, zeigen sogar in diesem Vergleich ähnlich viele Indikatoren ein positiveres Bild für die Elektrofahrzeuge als für die Alternativen. Mit Strom aus Kohlekraftwerken betrieben, schneiden die erd- und biogasbetriebenen ICE-Fahrzeuge sogar in der Mehrzahl der Indikatoren besser ab als das Elektrofahrzeug.

Referenz: Benzin, best case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	worst case	best case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.2E-07	1.15E-07	9.3E-08	6.41E-07	1.09E-07	2.19E-07	8.43E-08	1.1E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0159	0.0143	0.156	0.0193	0.146	0.0149	0.0117	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.306	0.35	0.173	0.177	0.137	0.0972	0.296	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.164	0.157	0.103	0.101	0.112	0.117	0.162	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8.23E-15	6.56E-15	5.6E-15	3.08E-14	7.78E-15	9.14E-15	5.35E-15	8.83E-15	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	5.7E-15	3.74E-15	3.5E-15	7.35E-14	6.29E-15	2.05E-14	4.64E-15	5.51E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	5.58E-18	5.38E-18	4.8E-18	2.92E-16	1.3E-17	1.73E-16	5.17E-18	6.25E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	4.87E-15	5.24E-15	3.4E-15	1.03E-14	6.09E-15	1.53E-14	4.12E-15	4.86E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	8.89E-10	8.64E-10	9.9E-10	9E-10	8.51E-10	1.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.194	0.222	0.202	0.191	0.26	0.418	0.227	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	2.43	2.75	1.45	1.47	1.2	0.896	2.38	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.029	0.0282	0.0326	0.0314	0.0347	0.0286	0.0511	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0111	0.0102	0.0158	0.0111	0.0164	0.0103	0.0109	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 42 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.**

Referenz: Benzin, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 43** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.

Referenz: Diesel, best case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch												
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV		
	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	worst case	best case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.2E-07	1.15E-07	9.3E-08	6.41E-07	1.09E-07	2.19E-07	8.43E-08	1.1E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0159	0.0143	0.156	0.0193	0.146	0.0149	0.0117	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.306	0.35	0.173	0.177	0.137	0.0972	0.296	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147	
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.164	0.157	0.103	0.101	0.112	0.117	0.162	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976	
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8.23E-15	6.56E-15	5.6E-15	3.08E-14	7.78E-15	9.14E-15	5.35E-15	8.83E-15	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	5.7E-15	3.74E-15	3.5E-15	7.35E-14	6.29E-15	2.05E-14	4.64E-15	5.51E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15	
Landnutzung [1 / km]	5.58E-18	5.38E-18	4.8E-18	2.92E-16	1.3E-17	1.73E-16	5.17E-18	6.25E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17	
Überdüngung [1 / km]	4.87E-15	5.24E-15	3.4E-15	1.03E-14	6.09E-15	1.53E-14	4.12E-15	4.86E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15	
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	8.89E-10	8.64E-10	9.9E-10	9E-10	8.51E-10	1.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.194	0.222	0.202	0.191	0.26	0.418	0.227	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332	
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	2.43	2.75	1.45	1.47	1.2	0.896	2.38	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38	
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.029	0.0282	0.0326	0.0314	0.0347	0.0286	0.0511	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169	
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0111	0.0102	0.0158	0.0111	0.0164	0.0103	0.0109	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014	

**Tabelle 44 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.**

Referenz: Diesel, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 45 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.**

Referenz: Gas, best case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	worst case	best case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.2E-07	1.15E-07	9.3E-08	6.41E-07	1.09E-07	2.19E-07	8.43E-08	1.1E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0159	0.0143	0.156	0.0193	0.146	0.0149	0.0117	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.306	0.35	0.173	0.177	0.137	0.0972	0.296	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.164	0.157	0.103	0.101	0.112	0.117	0.162	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8.23E-15	6.56E-15	5.6E-15	3.08E-14	7.78E-15	9.14E-15	5.35E-15	8.83E-15	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	5.7E-15	3.74E-15	3.5E-15	7.35E-14	6.29E-15	2.05E-14	4.64E-15	5.51E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	5.58E-18	5.38E-18	4.8E-18	2.92E-16	1.3E-17	1.73E-16	5.17E-18	6.25E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	4.87E-15	5.24E-15	3.4E-15	1.03E-14	6.09E-15	1.53E-14	4.12E-15	4.86E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	8.89E-10	8.64E-10	9.9E-10	9E-10	8.51E-10	1.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.194	0.222	0.202	0.191	0.26	0.418	0.227	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	2.43	2.75	1.45	1.47	1.2	0.896	2.38	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.029	0.0282	0.0326	0.0314	0.0347	0.0286	0.0511	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0111	0.0102	0.0158	0.0111	0.0164	0.0103	0.0109	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 46 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.**



Referenz: Gas, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 47 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.**

Referenz: E85 Zuckerrohr, best case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.2E-07	1.15E-07	9.3E-08	6.41E-07	1.09E-07	2.19E-07	8.43E-08	1.1E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0159	0.0143	0.156	0.0193	0.146	0.0149	0.0117	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.306	0.35	0.173	0.177	0.137	0.0972	0.296	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.164	0.157	0.103	0.101	0.112	0.117	0.162	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8.23E-15	6.56E-15	5.6E-15	3.08E-14	7.78E-15	9.14E-15	5.35E-15	8.83E-15	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	5.7E-15	3.74E-15	3.5E-15	7.35E-14	6.29E-15	2.05E-14	4.64E-15	5.51E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	5.58E-18	5.38E-18	4.8E-18	2.92E-16	1.3E-17	1.73E-16	5.17E-18	6.25E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	4.87E-15	5.24E-15	3.4E-15	1.03E-14	6.09E-15	1.53E-14	4.12E-15	4.86E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	8.89E-10	8.64E-10	9.9E-10	9E-10	8.51E-10	1.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.194	0.222	0.202	0.191	0.26	0.418	0.227	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	2.43	2.75	1.45	1.47	1.2	0.896	2.38	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.029	0.0282	0.0326	0.0314	0.0347	0.0286	0.0511	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0111	0.0102	0.0158	0.0111	0.0164	0.0103	0.0109	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 48** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.

Referenz: E85 Zuckerrohr, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 49 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.**

Referenz: E85 Altholz, best case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch												
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV		
	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	worst case	best case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.2E-07	1.15E-07	9.3E-08	6.41E-07	1.09E-07	2.19E-07	8.43E-08	1.1E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0159	0.0143	0.156	0.0193	0.146	0.0149	0.0117	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.306	0.35	0.173	0.177	0.137	0.0972	0.296	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147	
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.164	0.157	0.103	0.101	0.112	0.117	0.162	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976	
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8.23E-15	6.56E-15	5.6E-15	3.08E-14	7.78E-15	9.14E-15	5.35E-15	8.83E-15	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	5.7E-15	3.74E-15	3.5E-15	7.35E-14	6.29E-15	2.05E-14	4.64E-15	5.51E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15	
Landnutzung [1 / km]	5.58E-18	5.38E-18	4.8E-18	2.92E-16	1.3E-17	1.73E-16	5.17E-18	6.25E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17	
Überdüngung [1 / km]	4.87E-15	5.24E-15	3.4E-15	1.03E-14	6.09E-15	1.53E-14	4.12E-15	4.86E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15	
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	8.89E-10	8.64E-10	9.9E-10	9E-10	8.51E-10	1.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.194	0.222	0.202	0.191	0.26	0.418	0.227	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332	
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	2.43	2.75	1.45	1.47	1.2	0.896	2.38	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38	
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.029	0.0282	0.0326	0.0314	0.0347	0.0286	0.0511	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169	
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0111	0.0102	0.0158	0.0111	0.0164	0.0103	0.0109	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014	

**Tabelle 50 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.**

Referenz: E85 Altholz, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

Tabelle 51 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.

Referenz: Palm Methyl Ester, best case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.2E-07	1.15E-07	9.3E-08	6.41E-07	1.09E-07	2.19E-07	8.43E-08	1.1E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0159	0.0143	0.156	0.0193	0.146	0.0149	0.0117	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.306	0.35	0.173	0.177	0.137	0.0972	0.296	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.164	0.157	0.103	0.101	0.112	0.117	0.162	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8.23E-15	6.56E-15	5.6E-15	3.08E-14	7.78E-15	9.14E-15	5.35E-15	8.83E-15	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	5.7E-15	3.74E-15	3.5E-15	7.35E-14	6.29E-15	2.05E-14	4.64E-15	5.51E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	5.58E-18	5.38E-18	4.8E-18	2.92E-16	1.3E-17	1.73E-16	5.17E-18	6.25E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	4.87E-15	5.24E-15	3.4E-15	1.03E-14	6.09E-15	1.53E-14	4.12E-15	4.86E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	8.89E-10	8.64E-10	9.9E-10	9E-10	8.51E-10	1.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.194	0.222	0.202	0.191	0.26	0.418	0.227	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	2.43	2.75	1.45	1.47	1.2	0.896	2.38	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.029	0.0282	0.0326	0.0314	0.0347	0.0286	0.0511	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0111	0.0102	0.0158	0.0111	0.0164	0.0103	0.0109	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

Tabelle 52 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.

Referenz: Palm Methyl Ester, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 53 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.**

Referenz: Biogas, best case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	worst case	best case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.2E-07	1.15E-07	9.3E-08	6.41E-07	1.09E-07	2.19E-07	8.43E-08	1.1E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0159	0.0143	0.156	0.0193	0.146	0.0149	0.0117	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.306	0.35	0.173	0.177	0.137	0.0972	0.296	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.164	0.157	0.103	0.101	0.112	0.117	0.162	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8.23E-15	6.56E-15	5.6E-15	3.08E-14	7.78E-15	9.14E-15	5.35E-15	8.83E-15	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	5.7E-15	3.74E-15	3.5E-15	7.35E-14	6.29E-15	2.05E-14	4.64E-15	5.51E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	5.58E-18	5.38E-18	4.8E-18	2.92E-16	1.3E-17	1.73E-16	5.17E-18	6.25E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	4.87E-15	5.24E-15	3.4E-15	1.03E-14	6.09E-15	1.53E-14	4.12E-15	4.86E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	8.89E-10	8.64E-10	9.9E-10	9E-10	8.51E-10	1.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.194	0.222	0.202	0.191	0.26	0.418	0.227	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	2.43	2.75	1.45	1.47	1.2	0.896	2.38	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.029	0.0282	0.0326	0.0314	0.0347	0.0286	0.0511	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0111	0.0102	0.0158	0.0111	0.0164	0.0103	0.0109	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 54 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.**



Referenz: Biogas, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch												
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV		
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147	
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976	
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15	
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17	
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15	
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332	
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38	
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169	
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014	

Referenz: Biogas, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotential [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotential [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

Tabelle 55 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.

Referenz: Hybrid, best case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch												
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV		
	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	worst case	best case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.2E-07	1.15E-07	9.3E-08	6.41E-07	1.09E-07	2.19E-07	8.43E-08	1.1E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0159	0.0143	0.156	0.0193	0.146	0.0149	0.0117	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.306	0.35	0.173	0.177	0.137	0.0972	0.296	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147	
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.164	0.157	0.103	0.101	0.112	0.117	0.162	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976	
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8.23E-15	6.56E-15	5.6E-15	3.08E-14	7.78E-15	9.14E-15	5.35E-15	8.83E-15	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	5.7E-15	3.74E-15	3.5E-15	7.35E-14	6.29E-15	2.05E-14	4.64E-15	5.51E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15	
Landnutzung [1 / km]	5.58E-18	5.38E-18	4.8E-18	2.92E-16	1.3E-17	1.73E-16	5.17E-18	6.25E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17	
Überdüngung [1 / km]	4.87E-15	5.24E-15	3.4E-15	1.03E-14	6.09E-15	1.53E-14	4.12E-15	4.86E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15	
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	8.89E-10	8.64E-10	9.9E-10	9E-10	8.51E-10	1.16E-09	1.87E-09	1.01E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.194	0.222	0.202	0.191	0.26	0.418	0.227	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332	
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	2.43	2.75	1.45	1.47	1.2	0.896	2.38	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38	
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.029	0.0282	0.0326	0.0314	0.0347	0.0286	0.0511	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169	
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0111	0.0102	0.0158	0.0111	0.0164	0.0103	0.0109	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014	

**Tabelle 56 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.**

Referenz: Hybrid, worst case	ICE Fossil			ICE Biotreibstoffe				Hybrid	Plug-in Hybrid		Elektrisch											
	Benzin	Diesel	Gas	E85 Zuckerrohr	E85 Altholz	Palm Methyl Ester	Biogas	Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1.83E-07	1.72E-07	1E-07	1.23E-06	1.62E-07	3.81E-07	1.12E-07	1.59E-07	1.29E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0193	0.0187	0.0157	0.3	0.0258	0.279	0.0169	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.661	0.531	0.622	0.268	0.276	0.193	0.117	0.506	0.313	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.347	0.282	0.27	0.162	0.158	0.177	0.19	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	1.18E-14	8.12E-15	7E-15	5.69E-14	1.09E-14	1.33E-14	6.03E-15	1.19E-14	1.08E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	1.01E-14	6.17E-15	6E-15	1.46E-13	1.13E-14	3.96E-14	8.02E-15	9.4E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6.73E-18	6.13E-18	5E-18	5.79E-16	2.16E-17	3.41E-16	5.91E-18	7.08E-18	8.15E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	7.55E-15	8.18E-15	5E-15	1.84E-14	1E-14	2.83E-14	6.06E-15	7.01E-15	5.26E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	1.05E-09	9.66E-10	1E-09	1.07E-09	9.72E-10	1.56E-09	3.02E-09	1.13E-09	6.02E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.235	0.216	0.279	0.239	0.218	0.349	0.672	0.253	1.34	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	5.07	4.1	4.78	2.18	2.22	1.65	1.07	3.95	2.62	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0315	0.0304	0.0294	0.0383	0.0357	0.0418	0.0301	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0121	0.012	0.0107	0.0218	0.0124	0.0226	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 57 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.**

Referenz: Plug-in Hybrid, best case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in	Elektrisch													
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE-Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	best case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1.1E-07	2E-07	8.18E-08	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0115	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.112	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.0777	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	8.83E-15	1E-14	7.76E-15	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	5.51E-15	9E-15	2.15E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6.25E-18	7E-18	7.27E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	4.86E-15	7E-15	3.2E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1.01E-09	1E-09	5.66E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.26	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	1.11	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0572	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0104	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014

**Tabelle 58 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.**

Referenz: Plug-in Hybrid, worst case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)		Elektrisch													
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin				UCTE-Mix		CH-Mix		CH-KKW		UCTE- Kohle		UCTE-Gas		CH-PV	
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1E-07	2E-07	1.29E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	8E-08	1E-07	2E-07	4E-07	1E-07	1E-07	8E-08	1E-07	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0149	0.0237	0.0132	0.0203	0.013	0.0198	0.0176	0.029	0.0134	0.0206	0.0121	0.0181	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.156	0.24	0.109	0.147	0.0976	0.123	0.132	0.191	0.264	0.457	0.109	0.147	
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.149	0.254	0.0796	0.116	0.062	0.0804	0.244	0.443	0.133	0.222	0.0706	0.0976	
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	9E-15	1E-14	1.08E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	1E-14	2E-14	
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	6E-15	9E-15	5.87E-15	4E-15	7E-15	2E-15	3E-15	2E-15	3E-15	6E-15	1E-14	3E-15	4E-15	2E-15	3E-15	
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6E-18	7E-18	8.15E-18	1E-17	2E-17	8E-18	1E-17	7E-18	1E-17	2E-17	4E-17	7E-18	1E-17	8E-18	1E-17	
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	5E-15	7E-15	5.26E-15	5E-15	7E-15	3E-15	5E-15	3E-15	4E-15	7E-15	1E-14	4E-15	5E-15	3E-15	5E-15	
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1E-09	1E-09	6.02E-09	4E-09	8E-09	6E-09	1E-08	1E-08	2E-08	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	1E-09	
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	0.921	1.68	1.32	2.48	2.39	4.62	0.242	0.322	0.215	0.267	0.247	0.332	
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.96	3.26	1.12	1.56	0.906	1.14	2.96	5.25	2.14	3.62	1.02	1.38	
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0589	0.0771	0.0586	0.0764	0.0586	0.0765	0.0594	0.0781	0.0583	0.0759	0.105	0.169	
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0111	0.014	0.0111	0.0139	0.0109	0.0136	0.0112	0.0142	0.0111	0.0139	0.0111	0.014	

**Tabelle 59 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.**

Referenz: UCTE-Mix, best case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe								Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch					
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1.1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	1.5E-07	9E-08	8E-08	2.09E-07	9.9E-08	8E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0132	0.013	0.0176	0.0134	0.0121
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.156	0.109	0.0976	0.132	0.264	0.109
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.0796	0.062	0.244	0.133	0.0706
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	8.83E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.1E-14	1E-14	1E-14	1.13E-14	1.1E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	5.51E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	2E-15	2E-15	5.83E-15	2.7E-15	2E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6.25E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.1E-17	8E-18	7E-18	2.26E-17	7.1E-18	8E-18
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	4.86E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	4.8E-15	3E-15	3E-15	7.26E-15	3.6E-15	3E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1.01E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	4.3E-09	6E-09	1E-08	1.18E-09	1.1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	0.921	1.32	2.39	0.242	0.215	0.247
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	1.96	1.12	0.906	2.96	2.14	1.02
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0586	0.0586	0.0594	0.0583	0.105
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.0111	0.0109	0.0112	0.0111	0.0111

Tabelle 60 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

Referenz: UCTE-Mix, worst case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch							
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin	Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV	
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	2.4E-07	1E-07	1.2E-07	3.66E-07	1.46E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0237	0.0203	0.0198	0.029	0.0206	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.24	0.147	0.123	0.191	0.457	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.254	0.116	0.0804	0.443	0.222	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	9E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.9E-14	2E-14	1.6E-14	1.88E-14	1.71E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	6E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	6.7E-15	3E-15	2.9E-15	1.04E-14	4.07E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.8E-17	1E-17	1E-17	4.08E-17	9.98E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	5E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	7.4E-15	5E-15	4E-15	1.23E-14	4.96E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	7.6E-09	1E-08	2E-08	1.33E-09	1.07E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	1.68	2.48	4.62	0.322	0.267	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	3.26	1.56	1.14	5.25	3.62	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0771	0.0764	0.0765	0.0781	0.0759	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.014	0.0139	0.0136	0.0142	0.0139	0.014

**Tabelle 61 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.**



Referenz: CH-Mix, best case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch							
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1.1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	1.5E-07	9E-08	8E-08	2.09E-07	9.9E-08	8E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0132	0.013	0.0176	0.0134	0.0121
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.156	0.109	0.0976	0.132	0.264	0.109
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.0796	0.062	0.244	0.133	0.0706
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	8.83E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.1E-14	1E-14	1E-14	1.13E-14	1.1E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	5.51E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	2E-15	2E-15	5.83E-15	2.7E-15	2E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6.25E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.1E-17	8E-18	7E-18	2.26E-17	7.1E-18	8E-18
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	4.86E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	4.8E-15	3E-15	3E-15	7.26E-15	3.6E-15	3E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1.01E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	4.3E-09	6E-09	1E-08	1.18E-09	1.1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	0.921	1.32	2.39	0.242	0.215	0.247
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	1.96	1.12	0.906	2.96	2.14	1.02
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0586	0.0586	0.0594	0.0583	0.105
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.0111	0.0109	0.0112	0.0111	0.0111

Tabelle 62 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.

Referenz: CH-Mix, worst case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe								Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch					
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	2.4E-07	1E-07	1.2E-07	3.66E-07	1.46E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0237	0.0203	0.0198	0.029	0.0206	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.24	0.147	0.123	0.191	0.457	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.254	0.116	0.0804	0.443	0.222	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	9E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.9E-14	2E-14	1.6E-14	1.88E-14	1.71E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	6E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	6.7E-15	3E-15	2.9E-15	1.04E-14	4.07E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.8E-17	1E-17	1E-17	4.08E-17	9.98E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	5E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	7.4E-15	5E-15	4E-15	1.23E-14	4.96E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	7.6E-09	1E-08	2E-08	1.33E-09	1.07E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	1.68	2.48	4.62	0.322	0.267	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	3.26	1.56	1.14	5.25	3.62	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0771	0.0764	0.0765	0.0781	0.0759	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.014	0.0139	0.0136	0.0142	0.0139	0.014

Tabelle 63 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.

Referenz: CH-KKW, best case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch							
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1.1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	1.5E-07	9E-08	8E-08	2.09E-07	9.9E-08	8E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0132	0.013	0.0176	0.0134	0.0121
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.156	0.109	0.0976	0.132	0.264	0.109
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.0796	0.062	0.244	0.133	0.0706
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	8.83E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.1E-14	1E-14	1E-14	1.13E-14	1.1E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	5.51E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	2E-15	2E-15	5.83E-15	2.7E-15	2E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6.25E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.1E-17	8E-18	7E-18	2.26E-17	7.1E-18	8E-18
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	4.86E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	4.8E-15	3E-15	3E-15	7.26E-15	3.6E-15	3E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1.01E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	4.3E-09	6E-09	1E-08	1.18E-09	1.1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	0.921	1.32	2.39	0.242	0.215	0.247
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	1.96	1.12	0.906	2.96	2.14	1.02
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0586	0.0586	0.0594	0.0583	0.105
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.0111	0.0109	0.0112	0.0111	0.0111

Tabelle 64 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.

Referenz: CH-KKW, worst case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe								Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch					
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	2.4E-07	1E-07	1.2E-07	3.66E-07	1.46E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0237	0.0203	0.0198	0.029	0.0206	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.24	0.147	0.123	0.191	0.457	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.254	0.116	0.0804	0.443	0.222	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	9E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.9E-14	2E-14	1.6E-14	1.88E-14	1.71E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	6E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	6.7E-15	3E-15	2.9E-15	1.04E-14	4.07E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.8E-17	1E-17	1E-17	4.08E-17	9.98E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	5E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	7.4E-15	5E-15	4E-15	1.23E-14	4.96E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	7.6E-09	1E-08	2E-08	1.33E-09	1.07E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	1.68	2.48	4.62	0.322	0.267	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	3.26	1.56	1.14	5.25	3.62	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0771	0.0764	0.0765	0.0781	0.0759	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.014	0.0139	0.0136	0.0142	0.0139	0.014

**Tabelle 65 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.**

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

Referenz: UCTE-Kohle, best case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch							
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1.1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	1.5E-07	9E-08	8E-08	2.09E-07	9.9E-08	8E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0132	0.013	0.0176	0.0134	0.0121
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.156	0.109	0.0976	0.132	0.264	0.109
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.0796	0.062	0.244	0.133	0.0706
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	8.83E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.1E-14	1E-14	1E-14	1.13E-14	1.1E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	5.51E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	2E-15	2E-15	5.83E-15	2.7E-15	2E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6.25E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.1E-17	8E-18	7E-18	2.26E-17	7.1E-18	8E-18
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	4.86E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	4.8E-15	3E-15	3E-15	7.26E-15	3.6E-15	3E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1.01E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	4.3E-09	6E-09	1E-08	1.18E-09	1.1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	0.921	1.32	2.39	0.242	0.215	0.247
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	1.96	1.12	0.906	2.96	2.14	1.02
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0586	0.0586	0.0594	0.0583	0.105
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.0111	0.0109	0.0112	0.0111	0.0111

**Tabelle 66** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.

Referenz: UCTE-Kohle, worst case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch							
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	2.4E-07	1E-07	1.2E-07	3.66E-07	1.46E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0237	0.0203	0.0198	0.029	0.0206	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.24	0.147	0.123	0.191	0.457	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.254	0.116	0.0804	0.443	0.222	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	9E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.9E-14	2E-14	1.6E-14	1.88E-14	1.71E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	6E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	6.7E-15	3E-15	2.9E-15	1.04E-14	4.07E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.8E-17	1E-17	1E-17	4.08E-17	9.98E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	5E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	7.4E-15	5E-15	4E-15	1.23E-14	4.96E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	7.6E-09	1E-08	2E-08	1.33E-09	1.07E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	1.68	2.48	4.62	0.322	0.267	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	3.26	1.56	1.14	5.25	3.62	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0771	0.0764	0.0765	0.0781	0.0759	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.014	0.0139	0.0136	0.0142	0.0139	0.014

**Tabelle 67** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.

Referenz: UCTE-Gas, best case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch							
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1.1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	1.5E-07	9E-08	8E-08	2.09E-07	9.9E-08	8E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0132	0.013	0.0176	0.0134	0.0121
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.156	0.109	0.0976	0.132	0.264	0.109
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.0796	0.062	0.244	0.133	0.0706
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	8.83E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.1E-14	1E-14	1E-14	1.13E-14	1.1E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	5.51E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	2E-15	2E-15	5.83E-15	2.7E-15	2E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6.25E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.1E-17	8E-18	7E-18	2.26E-17	7.1E-18	8E-18
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	4.86E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	4.8E-15	3E-15	3E-15	7.26E-15	3.6E-15	3E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1.01E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	4.3E-09	6E-09	1E-08	1.18E-09	1.1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	0.921	1.32	2.39	0.242	0.215	0.247
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	1.96	1.12	0.906	2.96	2.14	1.02
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0586	0.0586	0.0594	0.0583	0.105
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.0111	0.0109	0.0112	0.0111	0.0111

**Tabelle 68** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.

Referenz: UCTE-Gas, worst case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe								Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch					
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	2.4E-07	1E-07	1.2E-07	3.66E-07	1.46E-07	1E-07
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0237	0.0203	0.0198	0.029	0.0206	0.0181
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.24	0.147	0.123	0.191	0.457	0.147
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.254	0.116	0.0804	0.443	0.222	0.0976
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	9E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.9E-14	2E-14	1.6E-14	1.88E-14	1.71E-14	2E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	6E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	6.7E-15	3E-15	2.9E-15	1.04E-14	4.07E-15	3E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.8E-17	1E-17	1E-17	4.08E-17	9.98E-18	1E-17
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	5E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	7.4E-15	5E-15	4E-15	1.23E-14	4.96E-15	5E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	7.6E-09	1E-08	2E-08	1.33E-09	1.07E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	1.68	2.48	4.62	0.322	0.267	0.332
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	3.26	1.56	1.14	5.25	3.62	1.38
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0771	0.0764	0.0765	0.0781	0.0759	0.169
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.014	0.0139	0.0136	0.0142	0.0139	0.014

**Tabelle 69** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.



Referenz: CH-PV, best case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe						Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch							
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	best case	best case	best case	best case	best case	best case
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1.1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	1.5E-07	9E-08	8E-08	2.09E-07	9.9E-08	8E-08
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0149	0.0132	0.013	0.0176	0.0134	0.0121
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.156	0.109	0.0976	0.132	0.264	0.109
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.149	0.0796	0.062	0.244	0.133	0.0706
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	8.83E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.1E-14	1E-14	1E-14	1.13E-14	1.1E-14	1E-14
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	5.51E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	4E-15	2E-15	2E-15	5.83E-15	2.7E-15	2E-15
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6.25E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.1E-17	8E-18	7E-18	2.26E-17	7.1E-18	8E-18
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	4.86E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	4.8E-15	3E-15	3E-15	7.26E-15	3.6E-15	3E-15
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1.01E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	4.3E-09	6E-09	1E-08	1.18E-09	1.1E-09	1E-09
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	0.921	1.32	2.39	0.242	0.215	0.247
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	1.96	1.12	0.906	2.96	2.14	1.02
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0589	0.0586	0.0586	0.0594	0.0583	0.105
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.0111	0.0111	0.0109	0.0112	0.0111	0.0111

**Tabelle 70** Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im best-case.

Referenz: CH-PV, worst case	ICE Fossil						ICE Biotreibstoffe								Hybrid		Plug-in Hybrid		Elektrisch						
	Benzin		Diesel		Gas		E85 Zuckerrohr		E85 Altholz		Palm Methyl Ester		Biogas		Benzin		Plug-in (50/50 CH-mix/ Benzin)	Plug-in (95/05 CH-mix/ Benzin)	UCTE-Mix	CH-Mix	CH-KKW	UCTE-Kohle	UCTE-Gas	CH-PV	
	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	best case	worst case	worst case	best case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	worst case	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an menschlicher Gesundheit [DALY / km]	1E-07	2E-07	1E-07	2E-07	9E-08	1E-07	6E-07	1E-06	1E-07	2E-07	2E-07	4E-07	8E-08	1E-07	1E-07	2E-07	1.29E-07	8.18E-08	2.4E-07	1E-07	1.2E-07	3.66E-07	1.46E-07	1E-07	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ökosystemqualität [PDF*m2*a / km]	0.0161	0.0193	0.0159	0.0187	0.0143	0.0157	0.156	0.3	0.0193	0.0258	0.146	0.279	0.0149	0.0169	0.0117	0.016	0.0158	0.0115	0.0237	0.0203	0.0198	0.029	0.0206	0.0181	
Ecoindicator 99 (H) Schaden an Ressourcenqualität [MJ surplus / km]	0.369	0.661	0.306	0.531	0.35	0.622	0.173	0.268	0.177	0.276	0.137	0.193	0.0972	0.117	0.296	0.506	0.313	0.112	0.24	0.147	0.123	0.191	0.457	0.147	
Treibhauseffekt [kg CO2-Eq / km]	0.196	0.347	0.164	0.282	0.157	0.27	0.103	0.162	0.101	0.158	0.112	0.177	0.117	0.19	0.162	0.271	0.182	0.0777	0.254	0.116	0.0804	0.443	0.222	0.0976	
Humantoxizitätspotenzial [1 / km]	8E-15	1E-14	7E-15	8E-15	6E-15	7E-15	3E-14	6E-14	8E-15	1E-14	9E-15	1E-14	5E-15	6E-15	9E-15	1E-14	1.08E-14	7.76E-15	1.9E-14	2E-14	1.6E-14	1.88E-14	1.71E-14	2E-14	
Photochemisches Oxidationspotenzial [1 / km]	6E-15	1E-14	4E-15	6E-15	4E-15	6E-15	7E-14	1E-13	6E-15	1E-14	2E-14	4E-14	5E-15	8E-15	6E-15	9E-15	5.87E-15	2.15E-15	6.7E-15	3E-15	2.9E-15	1.04E-14	4.07E-15	3E-15	
Landnutzung [1 / km]	6E-18	7E-18	5E-18	6E-18	5E-18	5E-18	3E-16	6E-16	1E-17	2E-17	2E-16	3E-16	5E-18	6E-18	6E-18	7E-18	8.15E-18	7.27E-18	1.8E-17	1E-17	1E-17	4.08E-17	9.98E-18	1E-17	
Überdüngung [1 / km]	5E-15	8E-15	5E-15	8E-15	3E-15	5E-15	1E-14	2E-14	6E-15	1E-14	2E-14	3E-14	4E-15	6E-15	5E-15	7E-15	5.26E-15	3.2E-15	7.4E-15	5E-15	4E-15	1.23E-14	4.96E-15	5E-15	
Radioaktive Abfälle [m3 / km]	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	1E-09	9E-10	1E-09	9E-10	1E-09	1E-09	2E-09	2E-09	3E-09	1E-09	1E-09	6.02E-09	5.66E-09	7.6E-09	1E-08	2E-08	1.33E-09	1.07E-09	1E-09	
Kumulierter Energieaufwand nuklear [MJ-Eq / km]	0.2	0.235	0.194	0.216	0.222	0.279	0.202	0.239	0.191	0.218	0.26	0.349	0.418	0.672	0.227	0.253	1.34	1.26	1.68	2.48	4.62	0.322	0.267	0.332	
Kumulierter Energieaufwand fossil [MJ-Eq / km]	2.9	5.07	2.43	4.1	2.75	4.78	1.45	2.18	1.47	2.22	1.2	1.65	0.896	1.07	2.38	3.95	2.62	1.11	3.26	1.56	1.14	5.25	3.62	1.38	
Kumulierter Exergieaufwand Metalle [MJ-Eq / km]	0.0293	0.0315	0.029	0.0304	0.0282	0.0294	0.0326	0.0383	0.0314	0.0357	0.0347	0.0418	0.0286	0.0301	0.0511	0.0527	0.0591	0.0572	0.0771	0.0764	0.0765	0.0781	0.0759	0.169	
Kumulierter Exergieaufwand Mineralien [MJ-Eq / km]	0.0109	0.0121	0.0111	0.012	0.0102	0.0107	0.0158	0.0218	0.0111	0.0124	0.0164	0.0226	0.0103	0.0109	0.0109	0.0117	0.0112	0.0104	0.014	0.0139	0.0136	0.0142	0.0139	0.014	

Tabelle 71 Vergleich der Resultate pro Fahrzeugkilometer. Grüne Werte sind tiefer als diejenigen für das Referenzfahrzeug (gelb markiert) im worst-case.

## 8 Schlussfolgerungen

Die Studie wollte zur Schaffung einer wissenschaftliche Basis beitragen, um das „ökologische Potenzial“ von batteriebetriebenen Fahrzeugen abzuschätzen. Im Vordergrund stand die Frage, ob und wenn „ja“ unter welchen Bedingungen Elektrofahrzeuge theoretisch zu einer Verringerung der Umweltbelastung der individuellen motorisierten Mobilität auf Basis von PKWs beitragen können.

Elektrofahrzeuge können keine Lösung für alle Umweltprobleme der individuellen Mobilität sein, wohl aber bei einzelnen Aspekten zu einer Verbesserung gegenüber fossiler Mobilität beitragen. Der Art der Strombereitstellung kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Wird Strom aus Kohle oder im UCTE-Mix generiert, macht der Ersatz von fossilbetriebenen Fahrzeugen durch Elektrofahrzeuge auf Basis vieler betrachteten Indikatoren (12 bzw. 8 von 13) keinen Sinn. Kohlestrombetriebene Elektrofahrzeuge schneiden nur gerade bezüglich Schaden an der Ressourcenqualität nach Ecoindicator 99 H besser ab als die 3 fossil betriebenen ICE-Fahrzeuge. Selbst ein Vergleich des best-case-Szenarios von kohlestrombetriebenen Fahrzeugen zu den worst-case-Szenarien der fossilbetriebenen Fahrzeugen zeigt bei 5 (Benzin), 6 (Diesel) bzw. 8 (Erdgas) der 13 Indikatoren einen Vorteil für die ICE-Fahrzeuge. Wird Strom im Wesentlichen aus Wasser- und Kernkraft und nur wenig fossilen Ressourcen generiert (CH-Mix), schneiden Elektrofahrzeuge in 8 von 13 Indikatoren besser ab als die fossilen ICEs. So betrieben tragen Elektrofahrzeuge zum Beispiel weniger zum Treibhauseffekt und zum Schaden an menschlicher Gesundheit nach Ecoindicator 99 H bei als fossil- oder biotreibstoffbetriebene ICE-Fahrzeuge. Dafür verursacht diese Mobilitätsform grössere Belastungen vor allem beim nuklearen Ressourcenbedarf und entsprechend bei den radioaktiven Abfällen, aber auch bei der Landnutzung und dem Humantoxizitätspotential. Vergleicht man von dieser Variante den best-case mit den worst-cases der Alternativen, so sieht man einen Vorteil für die Elektrofahrzeuge in 9 (Benzin), 8 (Diesel) bzw. 7 (Erdgas) der 13 Indikatoren. Dasselbe gilt für den Betrieb von Elektrofahrzeugen mit Strom, der ausschliesslich aus Kernkraft stammt. Bei Solarstrombetrieben Fahrzeugen ist dieses Bild sogar noch etwas positiver, da diese Variante im best-case dem worst-case der erdgasbetriebenen ICE-Fahrzeuge sogar in 8 Indikatoren überlegen ist. Hingegen zeigt der Vergleich der worst-case-Ergebnisse der Elektrofahrzeuge mit den best-case-Resultaten der ICE-Fahrzeuge oder der (Plug-in-)Hybride ein schlechteres Resultat für die Elektrofahrzeuge bezüglich der meisten Indikatoren.

Der Vergleich der Ergebnisse von Plug-in-Hybridfahrzeugen mit den Elektrofahrzeugen mit Schweizer Strommix zeigt, dass das Plug-in-Hybridfahrzeug unter der Annahme, dass es zu 95% mit Schweizer Strom gefahren wird, in allen Indikatoren besser abschneidet als das Elektrofahrzeug. Daraus kann geschlossen werden, dass sich der Einsatz einer schweren Batterie mit grosser Reichweite nicht lohnt, wenn ein Fahrzeug vor allem für relativ kurze Strecken eingesetzt wird und regelmässig geladen werden kann. In solchen Fällen wäre ein Plug-in-Hybridfahrzeug einem reinen Elektrofahrzeug aus ökologischer Sicht überlegen.

Die Sensitivitätsanalyse hat gezeigt, dass die Vergleiche verschiedener Fahrzeuge bezüglich der meisten Indikatoren zu unterschiedlichen Beurteilungen führen, wenn worst-

cases mit best-cases verglichen werden oder umgekehrt. Stabil ist zum Beispiel das Resultat, dass Elektrofahrzeuge mit Ausnahme des gaskombistrombetriebenen auch im worst-case einen geringeren Schaden an der Ressourcenqualität verursachen als die fossilbetriebenen ICE-Fahrzeuge im besten Fall. Auch gilt, dass das Resultat für den Schaden an der Ökosystemqualität sowie 4 andere Indikatoren im schlechtesten Fall durch alle anderen Fahrzeuge geringer ist als das best-case-Resultat der ICE-Fahrzeuge, die mit PME oder Zuckerrohrethanol betrieben werden. Die Indikatoren für radioaktive Abfälle und für den kumulierten Energiebedarf nuklear sind in jedem Fall am höchsten für Elektrofahrzeuge mit CH-Mix oder KKW-Strom und der kumulierte Exergieaufwand Metalle ist für alle Elektro- und Plug-in-Hybridvarianten in jedem Fall höher als für die ICE-Fahrzeuge und sicher am höchsten für die PV-Strom betriebenen Fahrzeuge. Der Einfluss der EOL-Modellierung auf die Fahrzeuginfrastruktur ist beträchtlich. Auch die Ergebnisse pro Fahrzeugkilometer werden noch deutlich von der Wahl der Modellierung bestimmt. Obwohl die Substitutionsmodellierung bezüglich Humantoxizitätspotenzial zu einer schlechteren und bezüglich dem kumulierten Exergieaufwand Metalle zu einer vorteilhafteren Beurteilung der Elektrofahrzeuge führt, hat die Wahl der EOL-Modellierung bei den meisten Indikatoren keinen grossen Einfluss auf den Vergleich der Varianten. Allerdings werden aufgrund der in den Hintergrunddaten verwendeten EOL-Modellierung die Resultate zur dissipativen Ressourcennutzung überschätzt und erlauben keine sinnvolle Interpretation.

Die Qualität der in dieser Studie verwendeten Daten kann als „beste verfügbare Qualität“ bezeichnet werden. Da die Studie Systeme der Zukunft untersucht, mussten Daten zum Teil, vor allem für neue, sich rasch entwickelnde Bereiche wie die Batterie- oder auch die Elektrofahrzeugherstellung, auf Basis von Prototypen oder sogar theoretischen Überlegungen modelliert werden. Entsprechend sind die Daten für die Infrastruktur der Elektrofahrzeuge unsicherer als diejenigen für die etablierten ICE-Fahrzeuge. Der mechanische Energiebedarf der Fahrzeuge wurde für alle Typen auf derselben Basis modelliert. Die Effizienz der ICE-Fahrzeuge entspricht heute den klassenbesten Fahrzeugen. Die Effizienz der Elektrofahrzeuge (inkl. Laden / Entladen der Batterie) entspricht den heute besten verfügbaren Komponenten. Die Daten für die direkten Emissionen und den Abrieb stammen aus ecoinvent und sind von eher mässiger Qualität. Die Emissionen des Verbrennungsmotors wurden, mit Ausnahme der CO<sub>2</sub>-Emission nicht an den reduzierten Treibstoffbedarf der Hybridfahrzeuge angepasst, was zu einer leichten Überschätzung einiger Resultate dieser Fahrzeuge führt. Die Anpassung der Daten zur Berücksichtigung der Rekuperierung bei Elektromobilen basiert auf einer Schätzung. Trotzdem können die Daten für den Betrieb der Fahrzeuge insgesamt als sehr gut bezeichnet werden, da klar ist, dass die Streuung von Energiebedarf unterschiedlicher Fahrzeuge und Fahrzeugnutzung (Fahrstil) sehr gross ist und dies auch in Zukunft bleiben wird. Damit ist auch klar, dass die vorliegende Studie keine allgemeingültigen Aussagen zur Elektromobilität per se machen kann. Sie legt aber, gemäss des erklärten Ziels der Studie, eine gute Basis, um spezifische Elektroautos mit spezifischen ICE-Autos zu vergleichen. Dabei sind sowohl die spezifische Fahrzeuginfrastruktur als auch die spezifischen Daten zu Energieverbrauch und Emissionen zu verwenden.

## 9 Ausblick

Die wissenschaftliche Basis, die in der vorliegende Studie geschaffen wurde kann dazu dienen, das Feld der Umweltbelastung individueller Elektromobilität weiter zu analysieren. Spannende Punkte wären zum Beispiel:

- die Palette der Stromerzeugung zu erweitern (z.B. Wasser- oder Windkraft)
- Plug-in-Hybride mit anderer Stromerzeugung zu analysieren
- die Palette der Biotreibstoffe zu erweitern
- andere – spezifische - Fahrzeuge abzubilden und zu vergleichen
- die Daten dieser Studie zu nutzen, um Szenarien künftiger Mobilität zu bewerten

## 10 Dank

Wir danken Michael Stalder, Christian Capello und Stefan Roth, dass sie uns die Möglichkeit gegeben haben, uns mit diesem aktuellen und spannenden Thema auseinanderzusetzen. Wir haben den konstruktiven Dialog mit guten und hilfreichen Inputs sehr geschätzt, sowie auch die Freiheit, alle relevanten Aspekte zu betrachten. Dank gebührt ebenfalls den drei externen Reviewern, Rolf Frischknecht, Arthur Braunschweig und Martin Pehnt, die mit ihren Empfehlungen, kritischen Fragen und Kommentaren viel zur Vollständigkeit und Qualität der Studie beigetragen haben. Bedanken möchten wir uns auch bei unseren Kollegen Patrik Soltic und Robert Alvarez von der Empa-Abteilung „Verbrennungsmotoren“ für die Unterstützung bei der Fahrzeugmodellierung sowie für viele Hinweise und Abschätzungen zu den Fahrzeuginventaren.

Last, but not least, danken wir ferner den Kollegen und der Kollegin unsrer Abteilung, die in unterschiedlicher Weise zu diesem Projekt beigetragen haben: Rolf Widmer für die Unterstützung bei der Fahrzeuginfrastrukturmodellierung, Dominic Notter für das Erarbeiten der Inventare der Lithiumbatterie, Anna Stamp für das Erarbeiten der Daten zur Lithiumgewinnung und Aufarbeitung sowie schliesslich Jürgen Reinhard für das Gegenlesen des Berichtes.

## Anhang 1: Externe kritische Prüfung

---

# Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität: Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

Prüfbericht gemäss ISO 14040 und 14044

von Rolf Frischknecht (Vorsitz), Arthur Braunschweig und Martin Pehnt

im Auftrag von Axpo Holding AG

September 2010

---

### 1 Ausgangslage und Auftrag

Im Jahr 2009 hat die Axpo Holding AG die Eidgenössische Materialprüf- und Forschungsanstalt Empa beauftragt, eine vergleichende Ökobilanz von individueller Mobilität zu erarbeiten. Die Studie soll gemäss den Anforderungen der ISO 14040 und 14044 durchgeführt werden. In der vorliegenden Studie werden vergleichende Aussagen über verschiedene Personenkraftwagen (Pkw) gemacht, die zur Veröffentlichung bestimmt sind. Deshalb ist die Durchführung einer kritischen Prüfung der Ökobilanz nach ISO 14040 Abschnitt 7.3.3 obligatorisch. Die Axpo Holding AG beauftragte Dr. Rolf Frischknecht, ESU-services GmbH, als Vorsitzenden des Prüfungsausschusses, der seinerseits Dr. Arthur Braunschweig, E2 Management Consulting AG und Dr. Martin Pehnt, ifeu Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH, als weitere externe Experten beizog. Alle drei besitzen langjährige Erfahrungen mit Ökobilanzen. sind mit den ISO Normen gut vertraut und Fachleute auf dem Gebiet der Mobilität. Der so zusammengesetzte Prüfungsausschuss wurde mit der Durchführung einer kritischen Prüfung ex post betraut.

### 2 Ziel und Untersuchungsrahmen der kritischen Prüfung

Durch die kritische Prüfung soll gemäss ISO 14044, Abschnitt 6.1 sichergestellt werden, dass

- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit der internationalen Norm übereinstimmen;
- die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der internationalen Ökobilanz-Technik entsprechen;
- die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmässig sind;
- die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Studie berücksichtigen;
- der Bericht transparent und in sich stimmig ist.

### 3 Vorgehen

Der Prüfungsausschuss wurde gemäß der Entscheidung des Auftraggebers nach Vorliegen der ersten Version des Berichtes zur Studie "Vergleichende Ökobilanz

individueller Mobilität: Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen" (datiert Dezember 2009) beigezogen.

Die kritische Prüfung fand in mehreren Etappen statt. Die individuell formulierten Empfehlungen der Gutachter wurden mit dem Projektteam am 9. Februar 2010 diskutiert.

Die wesentlichen Empfehlungen betrafen

- eine Erhöhung der Konsistenz bei der Auswahl und dem Treibstoffbedarf der Fahrzeuge
- eine Erhöhung der Konsistenz und Relevanz der Modellierung durch eine Erweiterung der zu berücksichtigenden Umweltwirkungen
- eine Erweiterung der Sensitivitätsanalysen auf Treibstoffverbrauch und Batterielebensdauer und Batterieherstellung
- eine Abstimmung der Folgerungen auf die in der Studie gewonnenen Erkenntnisse

Das Projektteam hat daraufhin nach Rücksprache mit dem Auftraggeber den Bericht gründlich überarbeitet und die Empfehlungen der kritischen Gutachter weitestgehend übernommen.

Für die kritische Prüfung lagen die folgenden Dokumente vor:

- Bericht "Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität: Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen", Althaus H.-J., Gauch M., Dezember 2009
- Bericht "Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität: Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen", Althaus H.-J., Gauch M., Februar 2010
- Bericht "Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität: Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen", Althaus H.-J., Gauch M., August 2010
- Notter D A, Gauch M, Widmer R, Wäger P, Stamp A, Zah R, Althaus H-J, 2010, Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles, submitted to Environmental Science and Technology
- Supporting Information to the manuscript entitled "Notter D A, Gauch M, Widmer R, Wäger P, Stamp A, Zah R, Althaus H-J, 2010, Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles"

Während der Phase der Prüfung fand das folgende Treffen statt:

9.2.2010 in Baden: Prüfung der erstellten Modelle in SimaPro und Besprechung der bis dann erfolgten schriftlichen Rückmeldungen; Teilnehmer: Hans-Jörg Althaus (Empa), Christian Capello (Axpo Holding AG), Stefan Roth (Axpo Holding AG), Rolf Frischknecht (ESU-services Ltd.), Arthur Braunschweig (E2 Management Consulting AG), Martin Pehnt (ifeu Heidelberg GmbH).

#### **4 Inhalt der Studie**

Die vorliegende Studie bezweckt einen Vergleich der Umweltauswirkungen des Fahrens mit Personenkraftwagen (Pkw) unterschiedlicher Technik. Das Fahren mit Pkw's mit

Elektroantrieb werden verglichen mit Hybrid-Fahrzeugen (rein und plug-in), und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Bei den Elektrofahrzeugen werden verschiedene Arten der Stromerzeugung, bei den Verbrennungsmotoren Treibstoffe auf Basis fossiler und biogener Rohstoffe untersucht.

## **5 ISO-Konformität und Wissenschaftlichkeit der angewendeten Methoden**

Das Ziel und der Untersuchungsrahmen sind ausführlich beschrieben. Der zeitliche Geltungsbereich wird mit "naher Zukunft (ca. 2015)" angegeben, als geographischer Geltungsbereich wird die Schweiz explizit genannt. Dies erachten die Gutachter als sinnvoll, denn verschiedene Rahmenbedingungen können nicht ohne Modifikation auf andere Länder übertragen werden. Beispielsweise erfolgt in Deutschland die Biogas-Produktion überwiegend aus Energiepflanzen und Gülle, und Biokraftstoffe müssten die Biomasse-Nachhaltigkeits-Verordnung einhalten und dürften daher nicht von gerodeten Regenwald-Flächen stammen.

Das Ziel der Studie ist es, zu Schaffung einer wissenschaftlichen Basis beizutragen, um das „ökologische Potenzial“ von batteriebetriebenen Fahrzeugen abzuschätzen. Die Studie hat nicht den Anspruch, Rückkopplungseffekte (beispielsweise Mengenwachstum dank Effizienzgewinnen oder Ausbau der Kapazitäten beispielsweise des Kraftwerksparks), aber auch Fortentwicklungspotenziale der Fahrzeugkonzept und der Einsatzbereiche zu berücksichtigen. Diese für die Modellierung bedeutsame Eingrenzung könnte insbesondere in den Schlussfolgerungen präziser formuliert werden.

Die gewählte Modellierung beschreibt teilweise mögliche Auswirkungen eines Ausbaus der elektrischen Mobilität, teilweise einen (heutigen) Zustand. Fossile Treibstoffe, Treibstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe und Schweizer Strom sowie Strom aus dem europäischen Verbundnetz sind auf der Basis der heutigen Situation modelliert, während Solarstrom, Strom aus Kernkraftwerken und Gaskombikraftwerken mögliche Ausbausituationen beschreiben. Die Gutachter erachten diese Unterscheidung als sinnvoll. Die Unterscheidung hätte in der Ergebnis-Diskussion und den Schlussfolgerungen noch stärker herausgestellt werden können.

Die funktionelle Einheit und der Referenzfluss sind zweckmässig gewählt. Das Produktsystem beinhaltet alle relevanten Bereiche individueller Mobilität wie Herstellung, Betrieb, Unterhalt und Entsorgung des Fahrzeugs sowie Bau, Betrieb, Unterhalt und Rückbau der Infrastruktur (Strassen).

Die Auswahl der untersuchten Alternativen ist sehr umfassend und berücksichtigt wesentliche Technologien und Treibstoffe der in naher Zukunft verfügbaren Personenkraftwagen. Bei den strombetriebenen Varianten fehlt die auch ökonomisch interessante und im Bereich ökologisch zertifizierter Stromprodukte volumenmässig dominierende Alternative Wasserkraft. Abgesehen davon ist die Liste der untersuchten Antriebstechnologien und Treibstoffe im Hinblick auf das Ziel der Studie sehr umfassend und zweckmässig.

In der Bilanzierung der Fahrzeugherstellung wird das Recycling mit einem Ansatz der Systemerweiterung und Gewähren von Gutschriften modelliert. Alternativ dazu wird der Allokationsansatz verwendet, der mit den im Hintergrundsystem verwendeten ecoinvent



Daten konsistent ist, und bei welchem dem anfallenden Schrott 0 % der Umweltbelastung zugeordnet wird. Es zeigt sich, dass die Gesamtergebnisse (auf Ebene gefahrener Fahrzeugkilometer) und damit die Folgerungen durch die Wahl eines der beiden Ansätze kaum beeinflusst werden. Diese Erkenntnis wertet die Qualität der Ergebnisse deutlich auf.

Die Wirkungsabschätzung erfolgt einerseits auf der Basis der drei Schutzgut-Indikatoren des Eco-indicators 99 (H,A) und andererseits auf teilweise normierten Ergebnissen einer breiten Auswahl an Wirkungsindikatoren. Die Wahl der verwendeten Indikatoren wird begründet. Die Indikatorenliste basiert teilweise auf einem Vorschlag der Gutachter. Die Indikatoren sind geeignet, um die wesentlichen und vielfältigen Umweltaspekte der hier analysierten Technologien abzudecken. Die in Kapitel 7.7 und 7.8 angewendete Ordnung („jeder Indikator wird als gleich wichtig erachtet“) wird plausibel begründet. Der Schritt der Ordnung beinhaltet Werturteile, welche klar als solche gekennzeichnet sind.

## **6 Einschätzung von Umfang, Zweckmässigkeit und Konsistenz der verwendeten Daten**

Die Produktsysteme werden in ein Vordergrund- und in ein Hintergrundsystem unterteilt. Die Herstellung der Fahrzeuge, deren Betrieb (Treibstoff- beziehungsweise Stromverbrauch und Emissionen) wie auch die Herstellung der Batterien werden spezifisch modelliert. Die Treibstoff- und Strombereitstellung, die Herstellung und der Betrieb und Unterhalt der Strasseninfrastruktur sowie weitere benötigte Inputs basieren auf den Daten desecoinvent Datenbestandes v2.01. Diese Unterteilung ist zweckmässig.

Die Sachbilanz der Fahrzeugherstellung basieren auf Daten einer Ökobilanz aus dem Jahr 2000. Diese wurde von den Autoren auf Basis von Expertenschätzungen weiter detailliert und auf die als Basis verwendete Fahrzeuggeneration angepasst. Die Gutachter erachten dieses Vorgehen als zweckmässig.

Die Treibstoff-Verbrauchswerte basieren auf den Messwerten des Neuen Europäischen Fahr-Zyklus' (NEFZ), ergänzt um den Energiebedarf von Nebenverbrauchern und einen Realsituationszuschlag. Der Strombedarf basiert auf theoretischen Überlegungen (Energieanalysen auf der Basis von Fahrzeugsimulationen, theoretische Berechnung der erforderlichen Antriebsenergie), ergänzt um den Strombedarf der Nebenverbraucher und einem Realsituationszuschlag. Die Gutachter erachten diese Modellierung als realitätsnah, plausibel und zielführend. Der Fahrzeugvergleich basiert seitens des Verbrennungsmotors auf technisch realisierten Fahrzeugen, während er seitens des Elektroantriebs auf typisierten Fahrzeugen beruht.

Zugleich weisen die Gutachter darauf hin, dass in der längerfristigen Fortentwicklung von Elektroautos – die nicht Gegenstand der vorliegenden Studie sind – gerade bei den Nebenverbrauchern antriebsspezifische Modifikationen wahrscheinlich sind (z. B. Isolierung der Fahrgastzelle zur Senkung des Heizstrombedarfs; Umgestaltung der Fahrgastzelle durch Radnabenmotoren etc.), durch die ein längerfristiger Vergleich der Fahrzeugkonzepte nicht von identischen Karosserien, Fahrwiderständen und Nebenverbrauchern ausgehen kann.

Die Prozesskette von der Lithiumgewinnung bis zur Herstellung der Batterie wurde in einem separaten Projekt detailliert modelliert. Während die Lithium-Herstellung auf

Firmenangaben beruht, wurde die Batterieherstellung auf Basis theoretischer Überlegungen modelliert. Ein Verifizieren der theoretischen Daten mit Informationen führender Hersteller beziehungsweise eine kritische Gegenüberstellung der eigenen Bilanz mit verfügbaren Sachbilanzen würde ein Einordnen der in der Studie verwendeten Batterien-Bilanz erleichtern.

Treibstoff-Bereitstellung: Durch den Rückgriff auf die Bilanzierung von Biotreibstoffen aus demecoinvent Datenbestand wird der Einschränkung bezüglich des geografischen Geltungsbereichs "Schweiz" Rechnung getragen. Die formulierten Bewertungen für Biokraftstoffe gelten nur für diese ausgewählten Pfade. Beispielsweise gibt es große Unterschiede bei der landwirtschaftlichen Vornutzung von Palmöl-Anbauflächen. Hier wird nur der Fall einer Umwandlung von Regenwald abgebildet. Solchermaßen produziertes Palmöl wäre in Deutschland auf Grund der europäischen Erneuerbaren-Richtlinie und deren Umsetzung in der Biomasse-Nachhaltigkeitsverordnung nicht zulässig. Die Studie enthält ausführliche Sensitivitätsanalysen, welche es erlauben, die Ergebnisse auf ihre Robustheit zu prüfen. Die Autoren haben Anregungen der Autoren aufgenommen und Sensitivitätsanalysen auch zum Treibstoffbedarf und zur Batterielebensdauer durchgeführt.

## **7 Einschätzung der Inhaltlichen Konsistenz von Zielsetzung und Folgerungen**

Das in Kapitel 2 formulierte Ziel stimmt mit dem nachfolgend definierten Systemumfang überein. Da Rückkopplungseffekte explizit ausgeschlossen werden, kann die Studie keine Antwort zum ökologischen Potenzial von Elektrofahrzeugen und zur potenziellen Verringerung der Umweltbelastung der Mobilität geben, sondern einzig ökologische Vor- und Nachteile des Einsatzes einzelner Fahrzeuge beschreiben.

Es bleibt unklar, ob die Bilanz zur Entscheidungsunterstützung (intern wie auch extern) verwendet werden soll. Die Bilanzen sollen einerseits eine Situation im Jahr 2015 repräsentieren. Andererseits sind die verwendeten Strommixe nur teilweise entscheidungsorientiert definiert (Kernenergiestrom, Strom aus Photovoltaikanlagen). Hier ist eine klärende Ergänzung der Zielsetzung empfehlenswert.

Die Schlussfolgerungen sind selektiv und geben nur punktuell die in den umfangreichen Modellierungen gewonnenen Erkenntnisse wieder. Die Schlussfolgerungen wie auch die Beurteilungen der Fahrzeugvarianten enthalten Formulierungen ("... System X schneidet bei 8 von 13 Indikatoren besser ab"), welche eine implizite Ordnung der berücksichtigten Umweltindikatoren suggeriert. Auf die dazu erforderlichen Werturteile wird normenkonform hingewiesen.

Die Ergebnisse der ausführlichen Sensitivitätsanalysen werden in der Ergebnisdiskussion mitverwendet. Die Schlussfolgerungen werden durch eine abschliessende Würdigung der Datenqualität abgerundet. Die dort gemachten Ausführungen geben ein realistisches Bild der Qualität der verwendeten Informationen.

## **8 Einschätzung von Transparenz und Konsistenz des Berichts**

Die im Kapitel 2 formulierte und in Kapitel 8 wiederholte Zielsetzung stimmt mit dem im nachfolgenden Kapitel beschriebenen Systemumfang überein. Die Sachbilanzen werden

ausführlich und nachvollziehbar dokumentiert. Die wesentlichen Annahmen und Informationsquellen sind mit vorbildlich beschrieben.

Die Sachbilanzen von Batterie und Lithium-Gewinnung sind ausführlich in einem publizierten wissenschaftlichen Beitrag dokumentiert. Die dort gewählte und beschriebene Modellierung entspricht dem "recycled content" ("cut-off") Ansatz.

Die Ergebnisse werden systematisch und sehr detailliert diskutiert, beginnend mit dem Strassenbau. Der aufmerksame Leser erhält durch ein Strukturieren des Lebensweges in die sechs Anteile Strasse, Fahrzeug, Batterie, Abgase, Abrieb und Treibstoff einen vertieften Einblick in die Umweltauswirkungen der einzelnen Lebensphasen individueller Mobilität. Aus Sicht des Prüfungsausschusses würde die Lesbarkeit des Ergebniskapitels weiter erhöht, wenn mit der Diskussion des Gesamtergebnisses auf Ebene Fahrzeugkilometer begonnen würde.

Die Parameter zur Durchführung von Sensitivitätsanalysen sind mit Bedacht gewählt und ausführlich begründet. Die Clusterung der Sensitivitäten in best-case und worst-case modelliert nicht ein im strengen Sinn minimal oder maximal schlechtes Abbild des Systems, sondern eher ein insgesamt plausibles Set mit realistischen Abweichungen kritischer Parameter.

Die Ergebnisse sind detailliert dokumentiert und kommentiert und ermöglichen dem Leser eine Einschätzung der Stabilität der Ergebnisse.

Die gewährten Gutschriften bei den eingesetzten Materialien werden direkt in den Sachbilanzen der Materialien oder Komponenten verrechnet und sind deshalb nicht mehr individuell erkennbar. Damit lässt sich deren Einfluss nicht mehr direkt erkennen, was die Transparenz der Modellierung in diesem Bereich reduziert. Der Prüfungsausschuss erachtet im vorliegenden Fall diesen Mangel als nicht sehr gravierend, da eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt wurde und der Einfluss der hier gewählten Modellierung auf die Gesamtbilanzen relativ gering ist.

## **9 Einschätzung der Korrektheit der Modellierung und der Ergebnisse**

Die Gutachter hatten Gelegenheit, die Implementierung der Daten in der verwendeten Software SimaPro am Bildschirm zu überprüfen. Die Übereinstimmung der Beschreibung der Modellierung im Bericht und die entsprechende Modellierung in SimaPro wurde ebenfalls stichprobenartig überprüft. Diese Kontrollen des Prüfungsausschusses haben in wenigen Einzelfällen untergeordneter Bedeutung zu Korrekturen in den Datenmodellen geführt. Insgesamt beurteilt der Prüfungsausschuss die Modellierung der Ökobilanzen als sehr detailliert und sorgfältig.

## **10 Fazit**

Die in der Ökobilanz verwendeten Methoden sind ISO-konform und entsprechen weitgehend dem heutigen Stand der Wissenschaft. Die der Studie zugrundeliegenden Daten sind umfangreich, detailliert und genügen dem Zweck der vorliegenden Studie. Die Konsistenz von Zielsetzung und Folgerungen liesse sich durch eine präzisere Formulierung der Studienziele steigern. Der Bericht ist sehr transparent und konsistent. Die Modellierung der Ökobilanz ist sehr detailliert und sorgfältig.

Die Studie liefert einen wertvollen und fundierten Beitrag zur aktuellen Diskussion über die Umweltauswirkungen von Elektrofahrzeugen im Vergleich mit Hybridfahrzeugen und mit

Treibstoff betriebenen Pkw auf Basis fossiler und nachwachsender Rohstoffe. Die Studie quantifiziert die derzeit noch hohen Unsicherheiten insbesondere im Bereich der Batterie-lebensdauer und des spezifischen Strom- und Treibstoffbedarfs der verschiedenen Pkw-Technologien. Eine ähnlich profunde Diskussion bezüglich der Herstellungsaufwendungen der Lithium-Batterie würde den bereits hohen Informationsgehalt der Studie weiter steigern.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Güterabwägung zwischen verschiedenen Umweltwirkungen erforderlich ist. Elektrofahrzeuge verursachen die höchsten Verluste wertvoller Metalle und Mineralien und (bei Einsatz von substantziellen Anteilen Nuklearstrom) das grösste Volumen hochradioaktiver Abfälle, mit Biotreibstoffen aus landwirtschaftlicher Produktion betriebene Fahrzeuge benötigen am meisten Land und emittieren am meisten überdüngende und Sommersmog bildende Substanzen, während mit Benzin, Diesel und Erdgas betriebene Fahrzeuge (sowie mit fossilem Strom betriebene Elektrofahrzeuge) am meisten Treibhausgase emittieren.

Der Prüfungsausschuss kommt zum Schluss, dass die Studie den Anforderungen der Normen ISO 14040 und 14044 entspricht.

Uster, 29. September 2010



Dr. Rolf Frischknecht (Vorsitz)

im Namen des Prüfungsausschusses

ANHANG 2: LCI Daten

## Anhang 2: LCI Daten

Compartmen ent	Product/Substance	Type	## Transport, passenger car, 100% Palm Methyl Ester MY, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, diesel, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, E85 sugar cane BR, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, E85 wood waste CH, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, electric, CH-grid-mix, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, electric, CH-nuclear, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, electric, CH-PV, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, electric, UCTE-coal, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, electric, UCTE-mix, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, electric, UCTE-natural gas, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, hybrid petrol, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, kompogas, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, natural gas, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, petrol, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, petrol, 2015, CH-mix, petrol, 2015, EURO5, substitution/k m/CH U	## Transport, passenger car, plug-in hybrid, 50/50 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U	## Transport, passenger car, plug-in hybrid, 80/20 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U	## Transport, passenger car, plug-in hybrid, 95/05 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U
			Unit	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
Category	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road
	# Operation, electric car, CH-grid-mix/CH U	m					1000													
	# Operation, electric car, CH-nuclear/CH U	m						1000												
	# Operation, electric car, CH-PV/CH U	m							1000											
	# Operation, electric car, UCTE-hard coal/CH U	m								1000										
	# Operation, electric car, UCTE-mix/CH U	m									1000									
	# Operation, electric car, UCTE-natural gas BAT/CH U	m										1000								
	# Operation, passenger car, 100% Palm Methyl Ester MY, 2015, EURO5/CH U	m	1000																	
	# Operation, passenger car, diesel, 2015, EURO5/CH U	m		1000																
	# Operation, passenger car, E85 sugar cane BR, 2015, EURO5/CH U	m			1000															
	# Operation, passenger car, E85 wood waste CH, 2015, EURO5/CH U	m				1000														
	# Operation, passenger car, hybrid petrol, 2015, EURO5/CH U	m											1000							
	# Operation, passenger car, kompogas, 2015, EURO5/CH U	m												1000						
	# Operation, passenger car, natural gas, 2015, EURO5/CH U	m													1000					
	# Operation, passenger car, petrol, 2015, EURO5/CH U	m														1000				
	# Operation, plug-in hybrid car, 50/50 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U	m															1000			
	# Operation, plug-in hybrid car, 80/20 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U	m																1000		
	# Operation, plug-in hybrid car, 95/05 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U	m																	1000	
	## Maintenance, passenger car Electric, incl. EOL and substitution /RER U	p					6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06								
	## Maintenance, passenger car, incl. EOL and substitution /RER U	p	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06							6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06
	## Passenger car with electric drivetrain and Lilon battery, incl. EOL and substitution /RER U	p					6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06								
	## Passenger car with electric drivetrain, Lilon battery and ICE range extender, substitution/RER U	p											6.662E-06				6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	
	## Passenger car with ICE drivetrain, diesel, incl. EOL and substitution /RER U	p	6.662E-06	6.662E-06																
	## Passenger car with ICE drivetrain, petrol, incl. EOL and substitution /RER U	p			6.662E-06	6.662E-06								6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06				
	Disposal, road/RER/I U	my	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932
	Operation, maintenance, road/CH/I U	my	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175
	Road/CH/I U	my	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932

Tabelle 72 Transporte, Substitutionsmodellierung

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

ANHANG 2: LCI Daten

Compartm ent	Product/Substance	Type	Product																	
			Unit	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
			Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road	Road
	# Maintenance, passenger car Electric, cut-off	p						6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06							
	# Operation, electric car, CH-grid-mix/CH U	m					1000													
	# Operation, electric car, CH-nuclear/CH U	m							1000											
	# Operation, electric car, CH-PV/CH U	m								1000										
	# Operation, electric car, UCTE-hard coal/CH U	m									1000									
	# Operation, electric car, UCTE-mix/CH U	m										1000								
	# Operation, electric car, UCTE-natural gas BAT/CH U	m											1000							
	# Operation, passenger car, 100% Palm Methyl Ester MY, 2015, EURO5/CH U	m	1000																	
	# Operation, passenger car, diesel, 2015, EURO5, cut-off/km/CH U	m		1000																
	# Operation, passenger car, E85 sugar cane BR, 2015, EURO5/CH U	m			1000															
	# Operation, passenger car, E85 wood waste CH, 2015, EURO5/CH U	m				1000														
	# Operation, passenger car, hybrid petrol, 2015, EURO5, cut-off/km/CH U	m											1000							
	# Operation, passenger car, kompogas, 2015, EURO5, cut-off/km/CH U	m												1000						
	# Operation, passenger car, natural gas, 2015, EURO5, cut-off/km/CH U	m													1000					
	# Operation, passenger car, petrol, 2015, EURO5, cut-off/km/CH U	m														1000				
	# Operation, plug-in hybrid car, 50/50 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U	m															1000			
	# Operation, plug-in hybrid car, 80/20 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U	m																1000		
	# Operation, plug-in hybrid car, 95/05 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U	m																	1000	
	# Passenger car with electric drivetrain and Lilon battery, cut-off /RER U	p						6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06							
	# Passenger car with electric drivetrain, Lilon battery and ICE range extender, cut-off /RER U	p												6.662E-06				6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06
	# Passenger car with ICE drivetrain, diesel, cut-off /RER U	p	6.662E-06	6.662E-06																
	# Passenger car with ICE drivetrain, petrol, cut-off /RER U	p			6.662E-06	6.662E-06														
	Disposal, passenger car/RER/I U	p	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06
	Disposal, road/RER/I U	my	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932
	Maintenance, passenger car/RER/I U	p	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06	6.662E-06
	Operation, maintenance, road/CH/I U	my	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175	0.00001175
	Road/CH/I U	my	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932	0.0006932

Tabelle 73 Transporte, Cut-off-Modellierung

ANHANG 2: LCI Daten

Compartmen ent	Product/Substance	Type	Unit	Category	#	#	#	#	#	#	#	#
					Operation, electric car, UCTE-natural gas BAT/CH U	Operation, electric car, CH-grid-mix/CH U	Operation, electric car, CH-nuclear/CH U	Operation, electric car, CH-PV/CH U	Operation, electric car, UCTE-hard coal/CH U	Operation, electric car, UCTE-mix/CH U	Non-Exhaust emissions electric passenger car U	Operation, plug-in hybrid car, 50/50 CH-grid-mix, petrol, 2015, Euro5/CH U
	# Break emissions passenger car U	m		Road\Operations							100	
	# Non-Exhaust emissions electric passenger car U	m	1000	Road\Operations	1000	1000	1000	1000	1000	1000		
	# Operation, electric car, CH-grid-mix/CH U	m		Road\Operations							500	800
	# Operation, passenger car, hybrid petrol, 2015,	m		Road\Operations							500	200
	# Road emissions passenger car U	m		Road\Operations							1000	50
	# tyre emissions passenger car U	m		Road\Operations							1000	
	#Electricity, hard coal, low-voltage, at grid, UCTE U	MJ		Road\Operations				0.72				
	#Electricity, natural gas BAT, low-voltage, at grid,	MJ	0.72	Road\Operations								
	#Electricity, nuclear, low-voltage, at grid, CH	MJ		Road\Operations			0.72					
	Electricity, low voltage, at grid/CH U	MJ		Road\Operations		0.72						
	Electricity, low voltage, production UCTE, at	MJ		Road\Operations					0.72			
	Electricity, production mix photovoltaic, at plant/CH	MJ		Road\Operations				0.72				

**Tabelle 74 Fahrzeugbetrieb, Elektro- und Plug-in-Hybridfahrzeuge, beide Modellierungsarten**

ANHANG 2: LCI Daten

Compartm ent	Product/Substance	Type	#	#	#	#	#	#	#
			Operation, #	Operation, #	Operation, #	Operation, #	Operation, #	Operation, #	Operation, #
			passenger car, 100% palm methyl ester MY, 2015, EURO5/C H U	passenger car, diesel, EURO5/C H U	passenger car, E85 sugar cane BR, 2015, EURO5/C H U	passenger car, E85 wood waste CH, 2015, EURO5/C H U	passenger car, hybrid petrol, 2015, EURO5/C H U	passenger car, kompogas, 2015, EURO5/C H U	passenger car, natural gas, 2015, EURO5/C H U
Unit	m	m	m	m	m	m	m	m	
Category	Road/Operations	Road/Operations	Road/Operations	Road/Operations	Road/Operations	Road/Operations	Road/Operations	Road/Operations	Road/Operations
	# Break emissions passenger car U	m							-900
	# Ethanol, 99.7% in H2O, from wood waste, at service station/CH U	kg				0.063192			
	# Methane, 96 vol-%, from Kompogas, at service station/CH U	kg						0.047325	
	Diesel, low-sulphur, at regional storage/CH U	kg		0.04116					
	Ethanol, 99.7% in H2O, from biomass, production BR, at service station/CH U	kg			0.063192				
	Natural gas, production mix, at service station/CH U	kg						0.047325	
	Palm methyl ester, production MY, at service station/CH U	kg	0.047356						
	Petrol, low-sulphur, at regional storage/CH U	kg			0.011152	0.011152	0.03675		0.051
Air	Ammonia	kg	1E-06	1E-06	2.31E-05	2.31E-05	2.31E-05	2.31E-05	2.31E-05
Air	Benzene	kg	1.33E-06	1.33E-06	2.73E-06	2.74E-06	8.89E-06	7.62E-07	7.62E-07
Air	Cadmium	kg	1.26E-09	1.26E-09	1.27E-09	1.27E-09	1.27E-09	1.27E-09	1.27E-09
Air	Carbon dioxide, biogenic	kg	0.126404		0.119971	0.119971		0.120593	
Air	Carbon dioxide, fossil	kg		0.13006		0.03516	0.11587		0.120593
Air	Carbon monoxide, biogenic	kg	0.000509		0.000792	0.000792		0.000447	
Air	Carbon monoxide, fossil	kg		0.000509	0.00014	0.00014	0.000755		0.000447
Air	Chromium	kg	9.19E-09	9.19E-09	9.24E-09	9.24E-09	9.24E-09	9.24E-09	9.24E-09
Air	Chromium VI	kg	5.27E-12	5.27E-12	5.36E-12	5.36E-12	5.36E-12	5.36E-12	5.36E-12
Air	Copper	kg	1.01E-07	1.01E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07	1.02E-07
Air	Dinitrogen monoxide	kg	5.61E-06	5.61E-06	1.33E-06	1.33E-06	1.33E-06	1.33E-06	1.33E-06
Air	Heat, waste	MJ	2.3948	2.3948	2.419	2.419	2.419	2.419	2.419
Air	Lead	kg	3.65E-09	3.65E-09	3.65E-09	3.65E-09	3.65E-09	3.65E-09	3.65E-09
Air	Mercury	kg	1.06E-12	1.06E-12	3.75E-12	3.75E-12	3.75E-12	3.75E-12	3.75E-12
Air	Methane, biogenic	kg	2.73E-06		1.23E-06	1.23E-06		4.51E-05	
Air	Methane, fossil	kg		2.73E-06	2.17E-07	2.17E-07	5.5E-06		4.51E-05
Air	Nickel	kg	9.52E-09	9.52E-09	9.59E-09	9.59E-09	9.59E-09	9.59E-09	9.59E-09
Air	Nitrogen oxides	kg	0.0002	0.0002	3.56E-05	3.56E-05	3.56E-05	3.56E-05	3.56E-05
Air	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	0.000108	0.000108	5.18E-05	5.18E-05	9.33E-05	1.05E-05	1.05E-05
Air	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	7E-10	7E-10	4E-10	4E-10	4E-10	4E-10	4E-10
Air	Particulates, < 2.5 um	kg	1.11E-05	1.11E-05	8.48E-06	8.48E-06	8.48E-06	8.48E-06	8.48E-06
Air	Particulates, > 10 um	kg	7.82E-05	7.82E-05	7.81E-05	7.81E-05	7.81E-05	7.81E-05	7.81E-05
Air	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg	1.38E-05	1.38E-05	1.35E-05	1.35E-05	1.35E-05	1.35E-05	1.35E-05
Air	Selenium	kg	5.27E-10	5.27E-10	5.36E-10	5.36E-10	5.36E-10	5.36E-10	5.36E-10
Air	Sulfur dioxide	kg	1.07E-06	1.07E-06	5.36E-06	5.36E-06	5.36E-06	5.36E-06	5.36E-06
Air	Toluene	kg	3.64E-07	3.64E-07	5.56E-06	5.56E-06	7.68E-06	5.25E-06	5.25E-06
Air	Xylene	kg	9.11E-07	9.11E-07	7.68E-06	7.68E-06	7.68E-06	7.68E-06	7.68E-06
Air	Zinc	kg	6.38E-07	6.38E-07	6.39E-07	6.39E-07	6.39E-07	6.39E-07	6.39E-07
Water	Cadmium, ion	kg	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09
Water	Chromium, ion	kg	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08
Water	Copper, ion	kg	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08
Water	Lead	kg	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08
Water	Nickel, ion	kg	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08
Water	Zinc, ion	kg	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06
Soil	Cadmium	kg	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09	2.89E-09
Soil	Chromium	kg	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08	2.6E-08
Soil	Copper	kg	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08
Soil	Lead	kg	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08	1.44E-08
Soil	Nickel	kg	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08	2.31E-08
Soil	Zinc	kg	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06	2.32E-06

**Tabelle 75 Fahrzeugbetrieb, ICE- und Hybridfahrzeuge, beide Modellierungsarten**



ANHANG 2: LCI Daten

Product	#Electricity, hard coal, low-voltage, at grid, UCTE U	#Electricity, natural gas BAT, low-voltage, at grid, UCTE U	#Electricity, nuclear, low-voltage, at grid, CH	# Ethanol, 99.7% in H2O, from wood waste, at distillation/CH U	# Ethanol, 99.7% in H2O, from wood waste, at service station/CH U	# Methane, 96 vol-%, from Kompogas, at purification/CH U	# Methane, 96 vol-%, from Kompogas, at service station/CH U	# Methane, 96 vol-%, from Kompogas, high pressure, at consumer/CH U	# Methane, 96 vol-%, from Kompogas, low pressure, at consumer/CH U	# Biogas, Kompogas, at storage/CH U
Unit	MJ	MJ	MJ	kg	kg	m3	kg	MJ	MJ	m3
Category	Electricity by fuel\Coal	Cogeneration\Gas	Electricity by fuel\Nuclear	Fuels\Biofuels\Ethanol	Fuels\Biofuels\Ethanol	Fuels\Biofuels\Methane	Fuels\Biofuels\Methane	Fuels\Biofuels\Methane	Fuels\Biofuels\Methane	Fuels\Biofuels\Biogas
Compartment	Product/Substance	Type	Energy	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material
	# Biogas, Kompogas, at storage/CH U	m3				1.5				
	# Ethanol, 95% in H2O, from waste wood, at distillery/CH U	kg		1						
	# Ethanol, 99.7% in H2O, from wood waste, at distillation/CH U	kg			1.0005					
	# Methane, 96 vol-%, from Kompogas, at purification/CH U	m3					0.029042			
	# Methane, 96 vol-%, from Kompogas, high pressure, at consumer/CH U	MJ					44.916		1.0072	
	# Methane, 96 vol-%, from Kompogas, low pressure, at consumer/CH U	MJ					0.91665			
	Biogas, from biowaste, at storage/CH U	m3								1
	Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to sanitary landfill/CH U	kg			6.27E-06					
	Disposal, separator sludge, 90% water, to hazardous waste incineration/CH U	kg			0.000168					
	Distribution network, electricity, low voltage/CH/I U	m	0.000294	0.000294	0.000294					
	Electricity, hard coal, at power plant/UCTE U	MJ	4.068							
	Electricity, low voltage, at grid/CH U	MJ				0.02412				
	Electricity, medium voltage, at grid/CH U	MJ			0.000301		1.8	0.818856	0.000261	
	Electricity, natural gas, at combined cycle plant, best technology/RER U	MJ		4.068						
	Electricity, nuclear, at power plant/CH U	MJ		4.068						
	Facilities, chemical production/RER/I U	kg				4E-11				
	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	MJ			0.0625					
	Light fuel oil, burned in boiler 100kW, non-modulating/CH U	MJ				0.000621				
	Natural gas service station/CH/I U	p					8.48E-08			
	Natural gas, burned in boiler atm. low-NOx condensing non-modulating <100kW/RER U	MJ						0.001669	0.0002	
	Pipeline, natural gas, high pressure distribution network/CH/I U	m						9.5E-07		
	Pipeline, natural gas, low pressure distribution network/CH/I U	m							2.81E-06	
	Regional distribution, oil products/RER/I U	p				2.6E-10				
	Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	kg	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08					
	Tap water, at user/CH U	kg				0.000689				
	Transmission network, electricity, high voltage/CH/I U	m	9.41E-06	9.41E-06	9.41E-06					
	Transmission network, electricity, medium voltage/CH/I U	m	3.58E-05	3.58E-05	3.58E-05					
	Transport, freight, rail/CH U	tkm				0.10035				
	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	tkm				0.15053				
	Treatment, rainwater mineral oil storage, to wastewater treatment, class 2/CH U	m3				0.000075				
	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 2/CH U	m3				6.89E-07				
Air	Carbon dioxide, biogenic	kg					1.04E-05	5.7E-07	8.2E-06	
Air	Carbon dioxide, biogenic	kg				0.86586				
Air	Dinitrogen monoxide	kg	5.58E-06	5.58E-06	5.58E-06					
Air	Ethanol	kg				0.0005				
Air	Heat, waste	MJ			0.000301	0.02412		0.81886	0.000261	
Air	Heat, waste	MJ					1.8			
Air	Hydrogen sulfide	kg					4.01E-09	2.2E-10	3.17E-09	
Air	Hydrogen sulfide	kg				3.49E-06				
Air	Methane, biogenic	kg					0.000181	9.95E-06	0.000143	
Air	Methane, biogenic	kg				0.022257				
Air	Ozone	kg	5.02E-06	5.02E-06	5.02E-06					
Air	Sulfur dioxide	kg				0.000552				
Air	Sulfur hexafluoride	kg	4.33E-08	4.33E-08	4.33E-08					

Tabelle 76 Spezifische Strom- und Treibstoffdaten

ANHANG 2: LCI Daten

Compartment	Product/Substance	Type	Material
			# Ethanol, 95% in H <sub>2</sub> O, from waste wood, at distillery/CH U
		kg	1
			Fuels/Biofuels/Ethanol
			0.065875
			0.001181
			0.001198
			0.000239
			5.81E-06
			4.28E-09
			1.71E-08
			1.71E-08
			0.001666
			0.10851
			5.81E-05
			5.81E-05
			0.002337
			0.002337
			0.004692
			4.12E-10
			0.00725
			5.81E-05
			0.000543
			0.026384
			0.03207
			7.26E-05
			0.082587
			8.0255
			0.13252
			0.46071
			0.03459
			1.39E-05
			0.000474
			0.013933
Air	Acetaldehyde	kg	1.08E-06
Air	Ammonia	kg	0.000301
Air	Arsenic	kg	1.77E-08
Air	Benzene	kg	1.74E-05
Air	Benzene, ethyl-	kg	5.75E-07
Air	Benzene, hexachloro-	kg	1.38E-13
Air	Benzo(a)pyrene	kg	9.59E-09
Air	Bromine	kg	1.06E-06
Air	Cadmium	kg	1.24E-08
Air	Calcium	kg	0.000104
Air	Carbon dioxide, biogenic	kg	5.1308
Air	Carbon monoxide, biogenic	kg	0.000134
Air	Chlorine	kg	3.19E-06
Air	Chromium	kg	7.01E-08
Air	Chromium VI	kg	7.08E-10
Air	Copper	kg	3.9E-07
Air	Dinitrogen monoxide	kg	0.00039
Air	Dioxins, measured as 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin	kg	5.94E-13
Air	Fluorine	kg	8.85E-07
Air	Formaldehyde	kg	2.49E-06
Air	Heat, waste	MJ	20.162
Air	Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	kg	1.74E-05
Air	Hydrocarbons, aliphatic, unsaturated	kg	5.94E-05
Air	Lead	kg	4.41E-07
Air	m-Xylene	kg	2.3E-06
Air	Magnesium	kg	6.39E-06
Air	Manganese	kg	3.03E-06
Air	Mercury	kg	5.31E-09
Air	Methane, biogenic	kg	8.32E-06
Air	Nickel	kg	1.06E-07
Air	Nitrogen oxides	kg	0.000779
Air	NM VOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	kg	1.17E-05
Air	PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	kg	2.11E-07
Air	Particulates, < 2.5 um	kg	9.59E-05
Air	Phenol, pentachloro-	kg	1.55E-10
Air	Phosphorus	kg	5.31E-06
Air	Potassium	kg	0.000414
Air	Sodium	kg	2.3E-05
Air	Sulfur dioxide	kg	4.41E-05
Air	Toluene	kg	5.75E-06
Air	Zinc	kg	5.31E-06

Tabelle 77 Daten für Ethanol aus Altholz

ANHANG 2: LCI Daten

Compartm ent	Product/Substance	Type	##				# Break emissions passenger car U	# Road emissions passenger car U	# tyre emissions passenger car U
			#	Maintenan ce, passenger car Electric, incl. EOL and substitutio n/RER U	##	Maintenan ce, passenger car, incl. EOL and substitutio n/RER U			
			p	p	p	m	m	m	
			1	1	1	1000	1000	1000	
			Road\Ope rations\Infr astructure	Road\Ope rations\Infr astructure	Road\Ope rations\Infr astructure	Road\Ope rations	Road\Ope rations	Road\Ope rations	
			Transport	Transport	Transport	Transport	Transport	Transport	
	## Lithium-ion battery 2009, incl. EOL and substitution	kg		200					
	Copper, at regional storage/RER U	kg	0.3						
	Copper, primary, at refinery/GLO U	kg		0.003	0.003				
	Copper, secondary, at refinery/RER U	kg		0.297	0.297				
	Disposal, emulsion paint, 0% water, to municipal incineration/CH U	kg		40	40				
	Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	kg		127	127				
	Electricity, low voltage, production UCTE, at grid/UCTE	MJ	2098.8	2098.8	2098.8				
	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	MJ		-476	-476				
	Ethylene glycol, at plant/RER U	kg	2	2	2				
	Ethylene, average, at plant/RER U	kg	38	38	38				
	Heat, natural gas, at boiler fan burner low-NOx non-modulating <100kW/RER U	MJ		-967	-967				
	Lead, primary, at plant/GLO U	kg			48.8				
	Lead, secondary, at plant/RER U	kg			23.8				
	Lithium-ion battery 2009/RER U	kg	200						
	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	kg	5	5	5				
	Polypropylene, granulate, at plant/RER U	kg	6	6	6				
	Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U	kg		0.6	0.6				
	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	kg		10.4	10.4				
	Steel, low-alloyed, at plant/RER U	kg	11						
	Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	kg	0		1.4				
	Synthetic rubber, at plant/RER U	kg	116	116	116				
	Transport, freight, rail/RER U	tkm	59.3	59.3	59.3				
	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	tkm	29.6	29.6	29.6				
Air	Cadmium	kg				6.09E-10		1.2E-10	
Air	Chromium	kg				6.45E-09		1.14E-10	
Air	Copper	kg				1.09E-08		3.7E-11	
Air	Heat, waste	MJ	2100	2100	2100				
Air	Lead	kg				3.35E-09		1.2E-10	
Air	Nickel	kg				5.44E-09		3.95E-10	
Air	Particulates, < 2.5 um	kg				2.66E-06	2.66E-06	2.32E-06	
Air	Particulates, > 10 um	kg				1.3E-06	1.3E-06	0.000028	
Air	Particulates, > 2.5 um, and < 10um	kg				4.27E-06	4.27E-06	3.67E-06	
Air	Zinc	kg				3.17E-07		2.67E-07	
Water	Cadmium, ion	kg				2.41E-09		4.75E-10	
Water	Chromium, ion	kg				2.55E-08		4.53E-10	
Water	Copper, ion	kg				4.32E-08		1.47E-10	
Water	Lead	kg				1.39E-08		4.67E-10	
Water	Nickel, ion	kg				2.15E-08		1.56E-09	
Water	Zinc, ion	kg				1.25E-06		1.07E-06	
Soil	Cadmium	kg				2.41E-09		4.75E-10	
Soil	Chromium	kg				2.55E-08		4.53E-10	
Soil	Copper	kg				4.32E-08		1.47E-10	
Soil	Lead	kg				1.39E-08		4.76E-10	
Soil	Nickel	kg				2.15E-08		1.56E-09	
Soil	Zinc	kg				1.25E-06		1.07E-06	

**Tabelle 78** Daten für Fahrzeugunterhalt und Abriebemissionen

Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen



ANHANG 2: LCI Daten

Product	Unit	Category	Road/Op rations\Infr astructure	Road/Op rations\Infr astructure	Road/Op rations\Infr astructure	Road/Op rations\Infr astructure	Road/Op rations\Infr astructure	Road/Op rations\Infr astructure	Road/Op rations\Infr astructure	Road/Op rations\Infr astructure	Road/Op rations\Infr astructure
## Passenger car with electric drivetrain and Lilon battery, incl. EOL and substitution /RER U	p	Transport									
## Passenger car with electric drivetrain, Lilon battery and ICE range extender, substitution /RER U	p	Transport									
## Passenger car with ICE drivetrain, diesel, incl. EOL and substitution /RER U	p	Transport									
## Passenger car with ICE drivetrain, petrol, incl. EOL and substitution /RER U	p	Transport									
## Passenger car, generator for range extender 25kW, incl. EOL and substitution /RER U	p	Transport									
## Passenger car, glider without drivetrain, incl. EOL and substitution /RER U	p	Transport									
## passenger car, only electric drivetrain 55kW, incl. EOL and substitution /RER U	p	Transport									
## passenger car, only ICE drivetrain 1.4L 55kW, incl. EOL and substitution /RER U	p	Transport									
## passenger car, Range Extender with ICE drivetrain 1.4L 55kW, incl. EOL and substitution /RER U	p	Transport									
## PWB, mixed mounted, unspec., solder mix, incl. substitution /GLO U	kg										
Alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant/RER U	kg										
Aluminium, primary, at plant/RER U	kg										
Aluminium, secondary, from old scrap, at plant/RER U	kg										
Boron carbide, at plant/GLO U	kg										
Copper, primary, at refinery/GLO U	kg										
Copper, primary, at refinery/RER U	kg										
Copper, secondary, at refinery/RER U	kg										
Copper, secondary, from electronic and electric scrap recycling, at refinery/SE U	kg										
Disposal, antifreezer liquid, 51.8% water, to hazardous waste incineration/CH U	kg										
Disposal, emulsion paint, 0% water, to municipal incineration/CH U	kg										
Disposal, glass, 0% water, to municipal incineration/CH U	kg										
Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	kg										
Disposal, polyethylene terephthalate, 0.2% water, to municipal incineration/CH U	kg										
Disposal, polyethylene, 0.4% water, to municipal incineration/CH U	kg										
Disposal, rubber, unspecified, 0% water, to municipal incineration/CH U	kg										
Disposal, used mineral oil, 10% water, to hazardous waste incineration/CH U	kg										
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	MJ										
Ethylene glycol, at plant/RER U	kg										
Ferrite, at plant/GLO U	kg										
Flat glass, uncoated, at plant/RER U	kg										
Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up, at plant/RER U	kg										
Heat, natural gas, at boiler fan burner low-NOx non-modulating <100kW/RER U	MJ										
Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	MJ										
Injection moulding/RER U	kg										
Lead, primary, at plant/GLO U	kg										
Lead, secondary, at plant/RER U	kg										
Light emitting diode, LED, at plant/GLO U	kg										
Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/RER U	MJ										
Lubricating oil, at plant/RER U	kg										
Neodymium oxide, at plant/CN U	kg										
Palladium, secondary, at refinery/RER U	kg										
Petrol, low-sulphur, at regional storage/RER U	kg										
Platinum, secondary, at refinery/RER U	kg										
Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER U	kg										
Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	kg										
Refrigerant R134a, at plant/RER U	kg										
Reinforcing steel, at plant/RER U	kg										
Road vehicle plant/RER/U	p										
Sheet rolling, steel/RER U	kg										
Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U	kg										
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	kg										
Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	kg										
Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	kg										
Synthetic rubber, at plant/RER U	kg										
Tap water, at user/RER U	kg										
Transport, freight, rail/RER U	tkm										
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	tkm										
Wire drawing, copper/RER U	kg										
Zinc, primary, at regional storage/RER U	kg										
Air Heat, waste	MJ										
Air NMVOC, non-methane volatile organic compounds,	kg										
Water BOD5, Biological Oxygen Demand	kg										
Water COD, Chemical Oxygen Demand	kg										
Water Phosphate	kg										

**Tabelle 79 Daten für Fahrzeuge, Substitutionsmodellierung**

Compartmen ent	Product/Substance	Type	# Passenger car, Range Externder with ICE engine and generator, generic 25kW, cut-off /RER U									
			Product	# Passenger car with electric drivetrain and Lilon battery, cut-off /RER U	# Passenger car with electric drivetrain, Lilon battery and ICE range extender, cut-off /RER U	# Passenger car with ICE drivetrain, diesel, cut-off /RER U	# Passenger car with ICE drivetrain, petrol, cut-off /RER U	# Passenger car, generator for range extender 25kW, cut-off /RER U	# Passenger car, glider without drivetrain, cut-off /RER U	# Passenger car, only electric drivetrain 55kW, cut-off /RER U	# Passenger car, only ICE drivetrain 1.4L 55kW, cut-off /RER U	# Passenger Range Externder with ICE engine and generator, generic 25kW, cut-off /RER U
Unit			p	p	p	p	p	p	p	p	p	
Category			Road\Ope rations\Infr structure	Road\Ope rations\Infr structure	Road\Ope rations\Infr structure	Road\Ope rations\Infr structure	Road\Ope rations\Infr structure	Road\Ope rations\Infr structure	Road\Ope rations\Infr structure	Road\Ope rations\Infr structure	Road\Ope rations\Infr structure	
	# Passenger car, generator for range extender 25kW, cut-off /RER U	p									1	
	# Passenger car, glider without drivetrain, cut-off /RER U	p	1.166	1.166	1.166	1.166						
	# Passenger car, only electric drivetrain 55kW, cut-off /RER U	p	1	1								
	# Passenger car, only ICE drivetrain 1.4L 55kW, cut-off /RER U	p			1.456	1.166						
	# Passenger car, Range Externder with ICE engine and generator, generic 25kW, cut-off /RER U	p		1								
	# Polyphenylene sulfide, CORRECTED v2.1, at Alkyd paint, white, 60% in H2O, at plant/RER U	kg					0.7	2.2	3.57	27.5	15.4	
	Aluminium, production mix, at plant/RER U	kg					10.5	8.75	41.95	61.875	25.42	
	Boron carbide, at plant/GLO U	kg					0.01		0.025			
	Cable, connector for computer, without plugs, at plant/RER U	m						50				
	Cable, three-conductor cable, at plant/GLO U	m					1.2		3			
	Copper, at regional storage/RER U	kg					4	4	10	2	0	
	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	MJ						5688	874.8	2008.8	2008.8	
	Ethylene glycol, at plant/RER U	kg						5	2.1	7	4.67	
	Ferrite, at plant/GLO U	kg					0.576		1.44			
	Flat glass, uncoated, at plant/RER U	kg						30				
	Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up, at plant/RER U	kg						101.7				
	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	MJ						1640	252	579	579	
	Injection moulding/RER U	kg								13.2	8.8	
	Lead, at regional storage/RER U	kg								13	0	
	Light emitting diode, LED, at plant/GLO U	kg						0.1				
	Light fuel oil, burned in industrial furnace 1MW, non-modulating/RER U	MJ						46.6	7.14	16.4	16.4	
	Lithium-ion battery 2009/RER U	kg	400	100						6	4	
	Lubricating oil, at plant/RER U	kg										
	Neodymium oxide, at plant/CN U	kg					0.212		0.53			
	Palladium, at regional storage/RER U	kg								0.0003	0.0002	
	Petrol, low-sulphur, at regional storage/RER U	kg								42	28	
	Platinum, at regional storage/RER U	kg								0.0016	0.00107	
	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER U	kg						44				
	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	kg						11	0.66	15.4	10.266	
	Printed wiring board, mixed mounted, unspec., solder mix, at plant/GLO U	kg					0.8	2	4			
	Refrigerant R134a, at plant/RER U	kg						1				
	Reinforcing steel, at plant/RER U	kg						602	1.35	42	28	
	Road vehicle plant/RER/I U	p						2.15E-07	3.3E-08	7.58E-08	7.58E-08	
	Sheet rolling, steel/RER U	kg					15	423	37.5			
	Steel, low-alloyed, at plant/RER U	kg					16	161.25	52.5	108.195	33.823	
	Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U	kg								1	0	
	Synthetic rubber, at plant/RER U	kg						41	0.6	3	1.997	
	Tap water, at user/RER U	kg						2380	365	839	839	
	Transport, freight, rail/RER U	tkm						392	60.1	138	138	
	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	tkm						39.2	6.01	13.8	13.8	
	Wire drawing, copper/RER U	kg					4	4	10	2	0	
	Zinc, primary, at regional storage/RER U	kg						6				
Air	Heat, waste	MJ						5690	873	2010	2010	
Air	NM VOC, non-methane volatile organic compounds,	kg						3.55	0.544	1.25	1.25	
Water	BOD5, Biological Oxygen Demand	kg						0.0192	0.00295	0.00678	0.00678	
Water	COD, Chemical Oxygen Demand	kg						0.143	0.0219	0.0503	0.0503	
Water	Phosphate	kg						0.000739	0.000113	0.000261	0.000261	

**Tabelle 80 Daten für Fahrzeuge, Cut-off-Modellierung**

ANHANG 2: LCI Daten

Compartment	Product/Substance	Type	## Anode, lithium-ion battery for substitution modeling/CN U	## Cathode, lithium-ion battery for substitution modeling /CN U	## Li-ion cell recycling, incl. substitution /RER U	## Lithium-ion battery 2009, incl. EOL and substitution /RER	## single cell, lithium-ion battery for substitution modeling/CN U
			kg	kg	kg	kg	kg
			1	1	1	1	1
		Category	empa_projects\Lithium ion battery	empa_projects\Lithium ion battery	empa_projects\Lithium ion battery	empa_projects\Lithium ion battery	empa_projects\Lithium ion battery
			Use	Use	Use	Use	Use
	## Anode, lithium-ion battery for substitution	kg					0.4011
	## Cable, data cable infrastructure, incl. disposal and substitution/GLO U	m				0.37221	
	## Cable, three-conductor cable, incl. disposal and substitution/GLO U	m				0.024909	
	## Cathode, lithium-ion battery for substitution modeling /CN U	kg					0.32686
	## Li-ion cell recycling, incl. substitution /RER U	kg				0.797899	
	## PWB, surface mounted, unspec., solder mix, incl. substitution/GLO U	kg				0.003384	
	## single cell, lithium-ion battery for substitution modeling/CN U	kg				0.797899	
	Aluminium, primary, at plant/RER U	kg		0.39309			0.016485
	Carbon black, at plant/GLO S	kg	0.015855	0.026382			
	Chemical plant, organics/RER/I S	p	4E-10	4E-10			4E-10
	Copper, primary, at refinery/GLO U	kg	0.52414		-0.208		
	Copper, secondary, from electronic and electric scrap recycling, at refinery/SE U	kg			0.001962		
	Disposal, residues, shredder fraction from manual dismantling, in MSWI/CH S	kg		0.052632			
	Electricity, low voltage, production UCTE, at grid/UCTE	MJ				0.386473	
	Electricity, medium voltage, at grid/CN S	MJ	0.0072	0.0072			0.38016
	ethylene carbonate, at plant/CN U	kg					0.15957
	Extrusion, plastic film/RER S	kg					0.07329
	Graphite, battery grade, at plant/CN U	kg	0.49414				
	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER S	MJ	1.2163	0.64581			0.0625
	Latex, at plant/RER S	kg	0.018497	0.009893			
	lithium hexafluorophosphate, at plant/CN U	kg					0.019037
	lithium manganese oxide 2009, at plant/CN U	kg		0.62327			
	Metal values from electric waste, in blister-copper, at converter/SE U	kg			0.00017		
	Metal working factory/RER/I S	p				4.58E-10	
	Nitrogen, liquid, at plant/RER S	kg					0.01
	Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER S	kg					0.07329
	Separator, lithium-ion battery/CN U	kg					0.053655
	Sheet rolling, aluminium/RER S	kg					0.016485
	Sheet rolling, aluminium/RER S (modified for Li-ion battery) System	kg		0.39309			
	Sheet rolling, copper/RER S (modified for Li-ion battery) System	kg	0.52414				
	Sheet rolling, steel/RER S	kg				0.145073	
	Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER S	kg		0.13174			
	Steel, converter, unalloyed, at plant/RER U	kg				0.007072	
	Steel, electric, un- and low-alloyed, at plant/RER U	kg				0.138	
	Sulphuric acid, liquid, at plant/RER S	kg	0.080763				
	Transport, freight, rail/RER S	tkm	0.47038	0.758			0.16703
	Transport, lorry >16t, fleet average/RER S	tkm	0.11334	0.126			0.027838
	Transport, lorry >28t, fleet average/CH S	tkm				1.02	
	Transport, transoceanic freight ship/OCE S	tkm				7.814	
	Treatment, sewage, to wastewater treatment, class	m3	0.000105	0.000106			
	Water, deionised, at plant/CH S	kg	0.42369	0.20043			
Air	Heat, waste	MJ	0.0072	0.0072		0.386473	0.38
Air	water	kg	0.42369	0.20043			

Tabelle 81 Daten Substitutionsmodellierung, Li-Ionen Batterie

ANHANG 2: LCI Daten

Compartment	Product/Substance	Type	Product											
			Unit	kg	m	m	m	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
			Category	Metals/Non ferrous	Electronic Modules/Component	Electronic Devices/Component	Electronic Modules/Component	Electronic Devices/Component	Electronic Modules/Component	Electronic Devices/Component	Electronic Modules/Component	Electronic Devices/Component	Electronic Modules/Component	Electronic Devices/Component
	# palladium, primary, at regional storage/kg/RER U	kg											2E-06	
	# Silver, primary, at regional storage/RER U	kg												
	## Brass, primary, at plant/CH U	kg							0.00016				0.000188	
	## Capacitor, electrolyte type, < 2cm height, incl. substitution/GLO U	kg											0.00022	
	## Capacitor, electrolyte type, > 2cm height, incl. substitution/GLO U	kg												0.2
	## Capacitor, film, through-hole mounting, incl. substitution/GLO U	kg												0.2
	## Capacitor, SMD type, surface-mounting, incl. substitution/GLO U	kg												0.2
	## Capacitor, Tantalum-, through-hole mounting, incl. substitution/GLO U	kg												0.2
	## Disposal, treatment of printed wiring boards for substitution/GLO U	kg							1	1	1	1	1	1
	Aluminium casting, plant/RER/I U	p		4.9E-11										
	Aluminium, primary, at plant/RER U	kg						0.69856	0.75332	0.046472				
	Barite, at plant/RER U	kg										0.79062		
	Chemicals inorganic, at plant/GLO U	kg											0.01628	
	Copper, primary, at refinery/RER U	kg		0.707	0.0002	0.00015	0.00538	0.000116	0.000116	0.00323	0.00016			-0.142
	Copper, secondary, at refinery/RER U	kg			0.0193	0.0154	0.487							
	Disposal, glass, 0% water, to municipal incineration/CH U	kg				0.01975								
	Disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration/CH U	kg			0.000199									
	Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	kg			0.001643									
	Disposal, wire plastic, 3.55% water, to municipal incineration/CH U	kg				0.54762	0.54762							
	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	MJ		0.07092	0.332034	-0.0978	-1.57							23.436
	Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	kg						0.08584		0.34477			0.6068	
	Ethylene glycol, at plant/RER U	kg						0.2738	0.37					
	Extrusion, plastic pipes/RER U	kg			0.0454	0.0342	0.54762							
	Flat glass, uncoated, at plant/RER U	kg									0.00222			
	Glass fibre, at plant/RER U	kg				0.01975								
	Gold, primary, at refinery/GLO U	kg												1E-05
	Heat, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U	MJ		0.283	0.040677									
	Heat, natural gas, at boiler fan burner low-NOx non-modulating <100kW/RER U	MJ			-0.00954	-0.198	-3.17							
	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	MJ		0.354										
	Kraft paper, unbleached, at plant/RER U	kg						0.083546	0.13172					
	Lead, primary, at plant/GLO U	kg						2.44E-06		0.000308				
	Manganese, at regional storage/RER U	kg										0.000547		
	Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	kg								0.00062	0.00984	0.003152		
	Nylon 6, at plant/RER U	kg						0.00037	0.00962					
	Nylon 66, at plant/RER U	kg												0.795
	Phenolic resin, at plant/RER U	kg							0.00962	0.003552				
	Phosphorus, white, liquid, at plant/RER U	kg								0.01554				
	Pig iron, at plant/GLO U	kg						0.00426	0.0015	0.00592		0.004328		
	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER U	kg						0.05476	0.05846	0.03515				
	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	kg			0.0342	0.54762								
	Polyphenylene sulfide, at plant/GLO U	kg						0.023828		0.25996				
	Polypropylene, granulate, at plant/RER U	kg								0.074074				
	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	kg			0.0325			0.06956	0.07326					
	Printed wiring board mounting plant/GLO/I U	p			1.35E-08									2.08E-07
	Production efforts, capacitors/GLO U	kg												
	Propane/ butane, at refinery/RER U	kg			1.21E-05					1	1	1	1	1
	Rolling mill/RER/I U	p				3.38E-11	3.38E-11							
	Synthetic rubber, at plant/RER U	kg						0.065786	0.03256					
	Tantalum, powder, capacitor-grade, at regional storage/GLO U	kg											0.54316	
	Tap water, at user/RER U	kg			1.3108									
	Tetrafluoroethylene, at plant/RER U	kg											0.0074	
	Tin, at regional storage/RER U	kg						0.000102	5.04E-05	0.001692	0.00122	0.00174		
	Titanium dioxide, production mix, at plant/RER U	kg									0.40729			
	Transport, freight, rail/RER U	tkm		0.606	0.01298	0.0139	0.208							0.6
	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	tkm			0.00649	0.00695	0.104							0.1
	Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	tkm		0.0505										
	Tube insulation, elastomere, at plant/DE U	kg			0.0129									
	Wire drawing, copper/RER U	kg			0.0195	0.04555	0.49238							
	Zinc, primary, at regional storage/RER U	kg		0.303						0.00632				-0.0565
Air	Heat, waste	MJ												23.436
Air	Heat, waste	MJ		0.0708										
Air	Methanol	kg				8.39E-06								
Air	NM VOC, non-methane volatile organic compounds,	kg				6.29E-06								
Air	Zinc	kg		0.000303										

Tabelle 82 Hilfsdaten Substitutionsmodellierung, A-C

ANHANG 2: LCI Daten

Compartment	Product/Substance	Type	## Diode, glass-, SMD type, surface mounting, incl. substitution/GLO U		## Diode, glass-, through-hole mounting, incl. substitution/GLO U		## Disposal, treatment of printed wiring boards for substitution/GLO U		## Inductor, ring core choke type, incl. substitution/GLO U		## Integrated circuit, IC, logic type, incl. substitution/GLO U		# Light emitting diode, LED, incl. substitution/GLO U		# palladium, primary, regional storage/kg /RER U		# Platinum, primary, regional storage/kg /RER U		
			kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	# Silver, primary, at regional storage/RER U	kg																	
	## Disposal, treatment of printed wiring boards for substitution/GLO U	kg		1	1					1		1		1					
	Aluminium oxide, at plant/RER U	kg	0.31876																
	Chemicals organic, at plant/GLO U	kg										0.0086							
	Copper, primary, at refinery/GLO U	kg										0.0008							
	Copper, primary, at refinery/RER U	kg	0.00291	0.00214					0.000892				0.00214						
	Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	MJ					0.144					2406.996							
	Electronic component production plant/GLO/I U	p																	
	Epoxy resin insulator (SiO2), at plant/RER U	kg																	
	Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	kg	0.021944	0.000104					0.025012		0.0025		0.000104						
	Funnel glass, CRT screen, at plant/GLO U	kg	0.26104	0.26146					0.39856				0.26146						
	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant/RER U	kg											0.3169						
	Gold, primary, at refinery/GLO U	kg																	
	Gold, secondary, at precious metal refinery/SE U	kg					0.000428												
	Heat, heavy fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U	MJ																	
	Lead, primary, at plant/GLO U	kg	0.000406	0.000828					0.00184		0.0019		0.000828						
	Lead, secondary, from electronic and electric scrap recycling, at plant/SE U	kg						11.5											
	Manual treatment plant, WEEE scrap/GLO/I U	p						4E-10											
	Molybdenum, at regional storage/RER U	kg	0.00168	0.000208									0.000208						
	Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	kg		0.000188							0.00016		0.001138						
	Nickel, secondary, from electronic and electric scrap recycling, at refinery/SE U	kg					0.26												
	Palladium, primary, at refinery/RU U	kg															0.706		
	Palladium, primary, at refinery/ZA U	kg															0.294		
	Pig iron, at plant/GLO U	kg																	
	Platinum, primary, at refinery/RU U	kg		0.02274					0.000511				0.02274						
	Platinum, primary, at refinery/ZA U	kg																	0.218
	Polycarbonate, at plant/RER U	kg										0.8584							0.782
	Production efforts, diodes/GLO U	kg		1	1														
	Production efforts, inductor/GLO U	kg																	
	Silicon, electronic grade, at plant/DE U	kg	0.004784	0.00468							1		0.00468						
	Tin, at regional storage/RER U	kg	0.000788	0.002288					0.00184		0.0031		0.002288						
	Transport, aircraft, freight/RER U	tkm															8.98		17.5
	Transport, freight, rail/RER U	tkm																	
	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	tkm																	
	Transport, transoceanic freight ship/OCE U	tkm							0.5										
	Wafer, fabricated, for integrated circuit, at plant/GLO U	m2																	
	Zinc, primary, at regional storage/RER U	kg																	
	Zircon, 50% zirconium, at plant/AU U	kg																	
Air	Heat, waste	MJ																	

Tabelle 83 Hilfsdaten Substitutionsmodellierung, D-Pb



Vergleichende Ökobilanz individueller Mobilität:  
 Elektromobilität versus konventionelle Mobilität mit Bio- und fossilen Treibstoffen

ANHANG 2: LCI Daten

Product	## PWB, mixed mounted, unspec., mix, incl. substitution /GLO U	## PWB, surface mount, lead-free surface, incl. substitution /GLO U	## PWB, surface mounted, unspec., Pb containing, incl. substitution /GLO U	## PWB, surface mounted, unspec., Pb free, incl. substitution /GLO U	## PWB, surface mounted, unspec., solder mix, incl. substitution /GLO U	## PWB, through-hole mounted, unspec., Pb containing, incl. substitution /GLO U	## PWB, through-hole mounted, unspec., Pb free, incl. substitution /GLO U	## PWB, through-hole mounted, unspec., solder mix, incl. substitution /GLO U	## PWB, through-hole, lead-containing surface, incl. substitution /GLO U	## PWB, through-hole, lead-free surface, incl. substitution /GLO U
	kg	m2	kg	kg	kg	kg	kg	kg	m2	m2
Product/Substance	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material
# Silver, primary, at regional storage/RER U		2.74E-06								4.53E-06
## Capacitor, electrolyte type, < 2cm height, incl. substitution/GLO U						0.021837	0.021837			
## Capacitor, electrolyte type, > 2cm height, incl. substitution/GLO U						0.036939	0.036939			
## Capacitor, film, through-hole mounting, incl. substitution/GLO U						0.076429	0.076429			
## Capacitor, SMD type, surface-mounting, incl. substitution/GLO U			0.032653	0.032653		0.012551	0.012551			
## Capacitor, unspecified, incl. substitution/GLO U										
## Connector, PCI bus, incl. substitution/GLO U			0.019388	0.019388						
## Diode, glass-, SMD type, surface mounting, incl. substitution/GLO U			0.004082	0.004082						
## Diode, glass-, through-hole mounting, incl. substitution/GLO U						0.006082	0.006082			
## Disposal, treatment of printed wiring boards for substitution/GLO U		3.26	0.020408	0.020408		0.020408	0.020408		3.08	3.08
## Inductor, ring core choke type, incl. substitution/GLO U						0.33061	0.33061			
## Integrated circuit, IC, logic type, incl. substitution/GLO U			0.17347	0.17347		0.017959	0.017959			
## Light emitting diode, LED, incl. substitution/GLO U			0.00102	0.00102						
## PWB, mixed mounted, unspec., solder mix, incl. substitution /GLO U			0.23225							
## PWB, surface mount, lead-free surface, incl. substitution/GLO U				0.23225						
## PWB, surface mounted, unspec., Pb containing, incl. substitution/GLO U						0.3				
## PWB, surface mounted, unspec., Pb free, incl. substitution/GLO U						0.7				
## PWB, surface mounted, unspec., solder mix, incl. substitution/GLO U		0.5								
## PWB, through-hole mounted, unspec., Pb containing, incl. substitution/GLO U									0.3	
## PWB, through-hole mounted, unspec., Pb free, incl. substitution/GLO U									0.7	
## PWB, through-hole mounted, unspec., solder mix, incl. substitution/GLO U		0.5								
## PWB, through-hole, lead-containing surface, incl. substitution/GLO U						0.058367				
## PWB, through-hole, lead-free surface, incl. substitution/GLO U							0.058367			
## Resistor, metal film type, through-hole mounting, incl. substitution/GLO U						0.02051	0.02051			
## Resistor, SMD type, surface mounting, incl. substitution/GLO U										
## Transformer, high voltage use, incl. substitution/GLO U			0.023469	0.023469		0.096735	0.096735			
## Transformer, low voltage use, incl. substitution/GLO U						0.030714	0.030714			
## Transistor, SMD type, surface mounting, incl. substitution/GLO U			0.010204	0.010204						
## Transistor, wired, big size, through-hole mounting, incl. substitution/GLO U						0.026224	0.026224			
## Transistor, wired, small size, through-hole mounting, incl. substitution/GLO U						0.000896	0.000896			
Acrylic varnish, 87.5% in H2O, at plant/RER U									0.137	0.137
Aluminium, primary, at plant/RER U						0.16	0.16			
Ammonium chloride, at plant/GLO U									1.868	1.868
Copper, primary, at refinery/RER U		0.0246							0.00745	0.00745
Dipropylene glycol monomethyl ether, at plant/RER U		0.50669							0.0546	0.0546
Disposal, emulsion paint, 0% water, to municipal incineration/CH U		0.18204								
Disposal, hazardous waste, 25% water, to hazardous waste incineration/CH U		13.899							1.96	1.96
Disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/CH U		0.052276							0.9414	0.9414
Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration/CH U									0.227	0.227
Disposal, sludge from steel rolling, 20% water, to residual material landfill/CH U									0.743	0.743
Disposal, sludge, pig iron production, 8.6% water, to residual material landfill/CH U		4.1222								
Disposal, solvents mixture, 16.5% water, to hazardous waste incineration/CH U									0.109	0.109
Electricity, medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U		1175.4							340.56	340.56
Electronic component production plant/GLO/I U		2E-08							2E-08	2E-08
Ethanol from ethylene, at plant/RER U									0.02335	0.02335
Glass fibre reinforced plastic, polyester resin, hand lay-up, at plant/RER U		1.8897							2.9916	2.9916
Gold, primary, at refinery/GLO U		7.4E-07								
Heat, light fuel oil, at industrial furnace 1MW/RER U									0.755	0.755
Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U		379.39							126	126
Hydrochloric acid, 30% in H2O, at plant/RER U		13.644							1.61	1.61
Hydrogen peroxide, 50% in H2O, at plant/RER U		1.7693							0.239	0.239
Iron (III) chloride, 40% in H2O, at plant/CH U		0.86093							0.183	0.183
Isopropanol, at plant/RER U									0.137	0.137
Mounting, surface mount technology, Pb-containing solder/GLO U			0.23225							
Mounting, surface mount technology, Pb-free solder/GLO U						0.23225				
Mounting, through-hole technology, Pb-containing solder/GLO U						0.058367				
Mounting, through-hole technology, Pb-free solder/GLO U							0.058367			
Nickel, 99.5%, at plant/GLO U		3.87E-05							0.00021	
Phenolic resin, at plant/RER U		0.21332							0.061989	0.061989
Polyethylene, LLDPE, granulate, at plant/RER U									0.02335	0.02335
Potassium carbonate, at plant/GLO U									3.7827	3.7827
Section bar extrusion, aluminium/RER U						0.16	0.16			
Sheet rolling, copper/RER U		1.8167							1.8167	1.8167
Sodium chloride, powder, at plant/RER U		0.51072							0.327	0.327
Sodium hydroxide, 50% in H2O, production mix, at plant/RER U		6.9677							0.434	0.434
Sodium persulfate, at plant/GLO U									0.6538	0.6538
Sulphuric acid, liquid, at plant/RER U		1.1674							0.239	0.239
Tap water, at user/RER U		23.967							308	308
Tin, at regional storage/RER U		0.000138							0.000357	0.000178
Transport, freight, rail/RER U		19.303	0.14286	0.14286		0.14286	0.14286		9.2075	9.177
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U		3.2172	0.13265	0.13265		0.13265	0.13265		1.5346	1.5295
Transport, transoceanic freight ship/OCE U			0.80612	0.80612		0.80612	0.80612			
Water, ultrapure, at plant/GLO U		1087.1							0.205	0.205
Water, unspecified natural origin/m3		5.5814								
Air Copper		0.00498							0.00498	0.00498
Air Heat, waste		1175.4							340.56	340.56
Air Hydrogen chloride		0.002856							0.002944	0.002944
Air Hydrogen peroxide		0.000345							0.000414	0.000414
Air Lead									0.00155	
Air NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin		0.042682							0.00852	0.00852
Air Particulates, < 2.5 um		0.000337								
Air Particulates, > 2.5 um, and < 10um		0.000112								
Air Sodium hydroxide		0.001477							0.000782	0.000782
Air Sulfuric acid		0.000246							0.000414	0.000414
Water AOX, Adsorbable Organic Halogen as Cl		0.000134							0.000134	0.000134
Water Arsenic, ion		2.18E-06							2.18E-06	2.18E-06
Water BOD5, Biological Oxygen Demand		0.081715							0.000084	0.000084
Water Cadmium, ion		1.84E-05							1.84E-05	1.84E-05
Water Chromium, ion		5.22E-05							5.22E-05	5.22E-05
Water COD, Chemical Oxygen Demand		0.081715							0.000084	0.000084
Water Copper, ion		0.000175							2.07E-08	2.07E-08
Water Fluoride		0.000376							0.000376	0.000376
Water Lead									9.33E-09	
Water Mercury		6.09E-07							6.09E-07	6.09E-07
Water Nickel, ion		6.09E-05							8E-09	8E-09
Water Zinc, ion		5.14E-05							8.33E-09	8.33E-09

Tabelle 84 Hilfsdaten Substitutionsmodellierung, PWB

ANHANG 2: LCI Daten

Compartmen ent	Product/Substance	Type	## Resistor, metal film type, through- hole mounting, incl. substitution/ GLO U	## Resistor, SMD type, surface mounting, incl. substitution/ GLO U	# Silver, primary, at regional storage/RE R U	## Transforme r, high voltage use, incl. substitution/ GLO U	## Transforme r, low voltage use, incl. substitution/ GLO U	## Transistor, SMD type, surface mounting, incl. substitution/ GLO U	## Transistor, wired, big size, through- hole mounting, incl. substitution/ GLO U	## Transistor, wired, small size, through- hole mounting, incl. substitution/ GLO U
			kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
	# palladium, primary, at regional storage/kg/RER U	kg		1.2E-05						
	# Silver, primary, at regional storage/RER U	kg		1E-04						
	## Disposal, treatment of printed wiring boards for substitution/GLO U	kg	1	1					1	1
	Aluminium oxide, at plant/RER U	kg	0.13481	0.86038					0.0783	
	Aluminium, primary, at plant/RER U	kg	0.000369					0.01218	0.00232	0.00058
	Chemicals inorganic, at plant/GLO U	kg							0.09512	
	Chromium, at regional storage/RER U	kg								
	Copper, primary, at refinery/RER U	kg	0.00456	4.1E-05		0.00111	0.00289	0.0254	0.0238	0.0228
	Disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration/CH U	kg				0.050056	0.016278			
	Epoxy resin insulator (SiO2), at plant/RER U	kg						2.8495	2.4128	2.7231
	Epoxy resin, liquid, at plant/RER U	kg	0.020664	0.011562		0.37026	0.018473			
	Ferrite, at plant/GLO U	kg				0.50056	0.62833			
	Glass tube, borosilicate, at plant/DE U	kg		0.008118					0.07482	0.00406
	Gold, primary, at refinery/GLO U	kg		6.3E-05						
	Injection moulding/RER U	kg				0.51057	0.16603			
	Lead, primary, at plant/GLO U	kg	0.003069	0.000272				0.01278	0.01102	0.01246
	Limestone, milled, packed, at plant/CH U	kg	0.029643	0.000615						
	Magnesium oxide, at plant/RER U	kg	0.005166							
	Methyl acrylate, at plant/GLO U	kg	0.000123							
	MG-silicon, at plant/NO U	kg		0.000123						
	Nickel, 99.5%, at plant/GLO U	kg	0.001428	0.000995				0.0023	0.00038	0.0041
	Nylon 6, at plant/RER U	kg							0.20996	
	Pig iron, at plant/GLO U	kg	0.05622	0.001405				0.00302	0.0073	0.00578
	Polycarbonate, at plant/RER U	kg				0.14031	0.14756			
	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, at plant/RER U	kg	0.025215							
	Polymethyl methacrylate, beads, at plant/RER U	kg		0.007872						
	Polyurethane, flexible foam, at plant/RER U	kg	0.001476							
	Production efforts, resistors/GLO U	kg	1	1						
	Production efforts, transistors/GLO U	kg								
	Silica sand, at plant/DE U	kg	0.15375	0.24625					1	1
	Silicon, electronic grade, at plant/DE U	kg						0.02958	0.01624	0.01856
	Silicone product, at plant/RER U	kg	0.001968							
	Silver, from combined gold-silver production, at refinery/GLO U	kg				0.2				
	Silver, from copper production, at refinery/GLO U	kg				0.357				
	Silver, from lead production, at refinery/GLO U	kg				0.443				
	Steel, converter, low-alloyed, at plant/RER U	kg	0.0536							
	Tin, at regional storage/RER U	kg	0.00562	0.000691		0.00025				
	Titanium dioxide, production mix, at plant/RER U	kg	0.000738					0.02238	0.02338	0.02168
	Transport, aircraft, freight/RER U	tkm			8.8941					
	Transport, freight, rail/RER U	tkm				0.67274	0.66855			
	Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	tkm			0.75	0.11212	0.11143			
	Wire drawing, copper/RER U	kg				0.11011	0.31989			
	Zinc, primary, at regional storage/RER U	kg							0.00142	0.00064

Tabelle 85 Hilfsdaten Substitutionsmodellierung, Q-Z