PERSPEKTIVEN FÜR UMWELT & GESELLSCHAFT umweltbundesamt

Ökobilanz alternativer Antriebe – Elektrofahrzeuge im Vergleich

PERSPEKTIVEN FÜR UMWELT & GESELLSCHAFT umweltbundesamt

ÖKOBILANZ ALTERNATIVER ANTRIEBE – ELEKTROFAHRZEUGE IM VERGLEICH

Friedrich Pötscher
Ralf Winter
Werner Pölz
Günther Lichtblau
Hanna Schreiber
Ute Kutschera

lebensministerium.at

REPORT
REP-0440

Wien 2014

Projektleitung
Friedrich Pötscher, Ralf Winter

AutorInnen
Friedrich Pötscher
Ralf Winter
Werner Pölz
Günther Lichtblau
Ute Kutschera
Hanna Schreiber

Lektorat
Maria Deweis

Satz/Layout
Elisabeth Riss

Umschlagbild
© B. Gröger

Diese Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft erstellt.

Abteilung Verkehr, Mobilität, Siedlungswesen, Lärm
Abteilungsleitung:
DI Robert Thaler
Gesamtkoordination:
Dr. Peter Wiederkehr
Stubenbastei 5
1010 Wien

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes unter: http://www.umweltbundesamt.at/

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf CO_2-neutralem 100 % Recyclingpapier

Aktualisierte Auflage

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2014
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 978-3-99004-244-1

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG 9

1 EINLEITUNG 15

1.1 Ziel der Studie 19

1.2 Aufbau des Berichtes 20

2 ÖKOBILANZIERUNG 21

2.1 Grundlagen der Ökobilanzierung 21

2.2 Anforderungen an und Struktur von Ökobilanzen 21

2.3 Grenzen der Ökobilanzierung 22

2.4 Berechnungsmodelle zur Ökobilanzierung 22

2.4.1 Die GEMIS-Software zur Durchführung von Ökobilanzen 22

2.4.2 Berechnung der direkten Emissionen 24

2.5 Ökobilanzierung von Kraftfahrzeugen 24

2.5.1 Systemgrenzen bei der Ökobilanzierung von Kraftfahrzeugen 26

2.5.2 Darstellung der Ergebnisse 26

3 UNTERSUCHTE TECHNOLOGIEN 27

3.1 Energiebereitstellung für Mobilität 27

3.1.1 Strombereitstellung 28

3.1.2 Photovoltaik (PV) 30

3.1.3 Windkraft 39

3.1.4 Biokraftstoffe 39

3.1.5 Wasserstoff 44

3.2 Fahrzeug- und Antriebsarten 44

3.2.1 Elektrofahrzeug 46

3.2.2 Hybridfahrzeug 50

3.2.3 H_2-Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug (BZEV) 51

3.2.4 Alternativ betriebenes Fahrzeug 52

3.2.5 Konventionell betriebenes Fahrzeug 53

3.2.6 Einspurige Fahrzeuge 53

3.3 Energiespeicher, Akkutechnologien 53

3.3.1 Aufbau und aktuell verfügbare Typen von Akkumulatoren 55

3.3.2 Für Elektrofahrzeuge geeignete Akku-Systeme 58

4 FAKTOREN ZUR BILANZIERUNG VON ENERGIE- UND MATERIALEINSATZ IM FAHRZEUG UND BEI DER ENERGIEBEREITSTELLUNG 59

4.1 Materialeinsatz bei Fahrzeugherstellung 59

4.2 Emissionsfaktoren für Strom 61

4.3 Energieeinsatz und Emissionsfaktoren in der Energiebereitstellung 62

5 ÖKOBILANZ VON FAHRZEUGEN 64
5.1 Emissionen 64
5.1.1 THG-Emissionen 64
5.1.2 Luftschadstoff-Emissionen 69
5.2 Energieeinsatz 78
5.2.1 Vorgelagerter Energieeinsatz 78
5.2.2 Direkter Energieeinsatz 80
5.2.3 Gesamter Energieeinsatz 80
5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse 81
6 SENSITIVITÄTSANALYSE 85
6.1 Sensitivität der Energiespeichersysteme 85
6.1.1 Treibhausgas-Emissionen 86
6.1.2 Luftschadstoffe 87
6.1.3 Energieeinsatz 89
6.2 Sensitivität der PV-Module 90
6.2.1 THG-Emissionen 91
6.2.2 Luftschadstoffe 92
6.2.3 Energieeinsatz 95
6.3 Schlussfolgerungen und Fazit 96
7 GLOSSAR 98
8 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS E-MOBILITÄT 100
9 LITERATURVERZEICHNIS 102
ANHANG – DETAILERGEBNISSE 110
ANHANG – GRUNDANNAHMEN ZUR BERECHNUNG 113
Dimensionierung der Fahrzeuge 115
Materialzusammensetzung des Basisfahrzeuges 115
Dimensionierung der Fahrzeugvarianten 116
Dimensionierung der Akkumulatoren (Li-Ionen-Akku) 118
DETAILERGEBNISSE 119
Emissionsfaktoren des Handbuches der Emissionsfaktoren 119
Fahrzeugherstellung – vorgelagerte CO_2-/THG-Emissionen und Energieeinsatz 120
Ergebnistabelle gesamt – Auswertung in Fahrzeugkilometern 121
Ergebnistabelle Gesamt – Auswertung in Personenkilometern 123

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Schematische Darstellung einer Prozesskette nach GEMIS 23

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Prozesskette in GEMIS für ein Fahrzeug..... 25

Abbildung 3: Bruttoinlandsverbrauch für Österreich im Jahr 2010, nach Energieträgern 27

Abbildung 4: Österreichische Stromkennzeichnung für das Jahr 2010..... 29

Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Solarzelle..... 31

Abbildung 6: Kumulierte PV-Anlagenleistung in Österreich, 2010 32

Abbildung 7: Fahrzeugvarianten und Varianten der Energiebereitstellung, die in dieser Ökobilanz untersucht werden..... 45

Abbildung 8: Konzepte von Hybridfahrzeugen..... 46

Abbildung 9: Gegenüberstellung von Fahrtenverteilung und Fahrleistungsverteilung . 48

Abbildung 10: Konzeptioneller Aufbau eines Elektrofahrzeuges am Beispiel des „iMieV“ von Mitsubishi..... 49

Abbildung 11: Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle 52

Abbildung 12: Spezifische Leistungs- und Energiedichten unterschiedlicher Batterietypen..... 54

Abbildung 13: Schematischer Aufbau einer Lithium-Ionen-Zelle (Entladevorgang) (Anode: $LiCoO_2$; Kathode: Li-Grafit)..... 56

Abbildung 14: Vorgelagerte THG-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten; der Anteil der Fahrzeugherstellung und der Energiebereitstellung sind getrennt dargestellt 66

Abbildung 15: Direkte THG-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten 67

Abbildung 16: Gesamte THG-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten..... 69

Abbildung 17: Vorgelagerte Stickstoffoxid-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten; der Anteil der Fahrzeugherstellung und der Energiebereitstellung sind getrennt dargestellt 71

Abbildung 18: Direkte Stickstoffoxid-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten..... 72

Abbildung 19: Gesamte Stickstoffoxid-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten .. 73

Abbildung 20: Vorgelagerte Staub-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten; der Anteil der Fahrzeugherstellung und der Energiebereitstellung sind getrennt dargestellt 75

Abbildung 21: Direkte Staub-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten 76

Abbildung 22: Gesamte Staub-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten 77

Abbildung 23: Vorgelagerter Energieeinsatz der einzelnen Fahrzeugvarianten; der Anteil der Fahrzeugherstellung und der Energiebereitstellung sind getrennt dargestellt 79

Abbildung 24: Direkter Energieeinsatz der einzelnen Fahrzeugvarianten 80

Abbildung 25: Gesamter Energieeinsatz der einzelnen Fahrzeugvarianten 81

Abbildung 26: Varianten an Speichersystemen für das betrachtete Elektrofahrzeug (grün/fett: Standardtechnologie) 86

Abbildung 27: Gesamte Treibhausgas-Emissionen für verschiedene Elektrofahrzeuge und Abweichung der verschiedenen Akku-Technologien (LiFePO_4, Li-Polymer, ZEBRA) von der Standard-Technologie (Li-Ionen) 87

Abbildung 28: Gesamte Stickstoffoxid-Emissionen für verschiedene Elektrofahrzeuge und Abweichung der verschiedenen Akku-Technologien (LiFePO_4, Li-Polymer, ZEBRA) von der Standard-Technologie (Li-Ionen) 88

Abbildung 29: Gesamte Staub-Emissionen für verschiedene Elektrofahrzeuge und Abweichung der verschiedenen Akku-Technologien (LiFePO_4, Li-Polymer, ZEBRA) von der Standard-Technologie (Li-Ionen) 89

Abbildung 30: Gesamter Energieeinsatz für verschiedene Elektrofahrzeuge und Abweichung der verschiedenen Akku-Technologien (LiFePO_4, Li-Polymer, ZEBRA) von der Standard-Technologie (Li-Ionen) 90

Abbildung 31: Varianten im Bereich Photovoltaik für das betrachtete Elektrofahrzeug (grün/fett: Standardtechnologie) 91

Abbildung 32: Gesamte Treibhausgas-Emissionen für reine Elektrofahrzeuge und Abweichung für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik (Technologie, Standort und Lebensdauer) 92

Abbildung 33: Gesamte Stickstoffoxid-Emissionen für reine Elektrofahrzeuge und Abweichung für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik (Technologie, Standort und Lebensdauer) 93

Abbildung 34: Gesamte Staub-Emissionen für reine Elektrofahrzeuge und Abweichung für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik (Technologie, Standort und Lebensdauer) 94

Abbildung 35: Gesamter Energieeinsatz für reine Elektrofahrzeuge und Abweichung für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik (Technologie, Standort und Lebensdauer) 96

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Anteile der installierten Solarzellentypen in Österreich 33

Tabelle 2: Vergleich der Erträge in Abhängigkeit von Technologie und Größe eines Moduls 34

Tabelle 3: Auswirkung von Modulausrichtung und Modulneigung auf die Leistung 36

Tabelle 4: Ausbau der Windkraft in Österreich 39

Tabelle 5: Windkraft-Anlagen bis Ende 2010 39

Tabelle 6: Berechnung der möglichen Reichweite eines Elektrofahrzeuges (Gesamtgewicht in kg) für unterschiedliche Akkusysteme (Akkugewicht 200 kg) 58

Tabelle 7: Akkugewicht in Pkw und Mopeds 59

Tabelle 8: Materialeinsatz in Pkw und Mopeds, inklusive Akkumulator 60

Tabelle 9: Spezifische Emissionsfaktoren und kumulierter Energieaufwand (KEA) 61

Tabelle 10: Treibstoffproduktion – vorgelagerte Emissionen 62

Tabelle 11: Treibstoffproduktion – vorgelagerter Energieeinsatz 63

Tabelle 12: THG-Emissionen für verschiedene Akku-Technologien. 86

Tabelle 13: Stickstoffoxid-Emissionen für verschiedene Akku-Technologien 87

Tabelle 14: Staub-Emissionen für verschiedene Akku-Technologien 88

Tabelle 15: Energieeinsatz für verschiedene Akku-Technologien 89

Tabelle 16: THG-Emissionen für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik 91

Tabelle 17: Stickstoffoxid-Emissionen für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik 92

Tabelle 18: Staub-Emissionen für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik 94

Tabelle 19: Energieeinsatz für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik 95

ZUSAMMENFASSUNG

Der Einsatz von alternativen Antrieben und biogenen Kraftstoffen gewinnt aufgrund steigender Umweltbelastungen durch konventionelle, mit fossilen Treibstoffen betriebene Kraftfahrzeuge zunehmend an Bedeutung. Vor allem für jenen Anteil am motorisierten Individualverkehr, der weder vermieden noch verlagert werden kann, spielen alternative Antriebskonzepte eine große Rolle.

Aufgabe der Studie

Die vorliegende Arbeit untersucht Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanzen von Elektrofahrzeugen und anderen alternativen Antriebsformen, um deren Potenzial im Vergleich zu konventionellen Antrieben und auch im Vergleich zu Biokraftstoffen bewerten zu können. Außerdem werden Technologieoptionen zur Energiebereitstellung sowie zum Antrieb von Pkw und Mopeds dargestellt. Die Ergebnisse bilden eine fachlich fundierte Basis für die gesamtheitliche Bilanzierung von konventionellen und alternativen Antriebs- und Energiebereitstellungsoptionen. Eine solche Gesamtbilanzierung hinsichtlich Klimaauswirkungen und Umwelteffekten ist essenziell, da der Energieeinsatz sowohl bei der Herstellung von Kraftfahrzeugen und Treibstoffen als auch beim Betrieb bedeutend ist.

Ökobilanzierng

Fahrzeuge nur nach ihren direkten Emissionen zu beurteilen reicht für einen Vergleich der Antriebs- und Kraftstoffsysteme nicht mehr aus; hier sind neue Methoden und Ansätze zur gesamtheitlichen Bewertung gefragt. Dazu zählt etwa die Ökobilanzierung oder Lebenszyklusanalyse (engl. Life Cycle Assessment, LCA), welche die Umweltaspekte eines Produktsystems darstellt.

Ökobilanz

Mit einer Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA) können die Umweltaspekte eines Produktsystems (Produktion, Energiebereitstellung, Betrieb, Entsorgung) über alle Phasen seines Lebenszyklus evaluiert werden. Dabei werden die Umweltwirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung des Produktes sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe) berücksichtigt.

Umwelt- und energiepolitische Vorgaben in Hinblick auf nachhaltige Verkehrssysteme erfordern eine Verbesserung der Fahrzeugflotte hinsichtlich Effizienz und Emissionsverhalten. Alternative Antriebs- und Kraftstoffsysteme sind hierbei von zentraler Bedeutung.

Ergebnisse Elektrofahrzeuge

In fast allen betrachteten Kategorien schneiden reine Elektrofahrzeuge hinsichtlich der Antriebskonzepte am besten ab. Mit erneuerbarem Strom als Energiequelle lässt sich dieser Effekt bei den Treibhausgas-Emissionen noch bedeutend steigern und die gesamte Ökobilanz verbessern.

Wasserstoff-fahrzeuge

Wasserstofffahrzeuge (mit Verbrennungskraftmaschine und Brennstoffzelle) bilanzieren durch die mehrfachen Energieumwandlungsschritte in der Energieaufbringung weniger positiv, was sich auch auf die Emission von Treibhausgasen und Luftschadstoffen auswirkt. Eine wesentliche Verbesserung könnte hier ebenfalls durch die Energiebereitstellung mittels erneuerbarer Energie erzielt werden, systembedingte Verluste sind jedoch immer einzurechnen.

Treibhausgas-Emissionen

Hinsichtlich der Treibhausgas-Emissionen der untersuchten Fahrzeuge und Treibstoffe können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Bei den verschiedenen Fahrzeugkonzepten zeigen sich die größten Unterschiede an THG-Emissionen aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus den direkten Emissionen. Die Fahrzeugherstellung zeigt hier geringere Schwankungen.
- Fahrzeugvarianten mit reiner Elektrotraktion zeigen durchwegs die niedrigsten THG-Emissionen. Deutlich verbessert werden kann diese Bilanz noch durch den Einsatz von regenerativen Energien.
  - Eine Ausnahme bildet das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug. Mit konventionellem österreichischem Strom produzierter Wasserstoff für die Brennstoffzelle verursacht bei diesem Fahrzeugtyp etwa gleich hohe THG-Emissionen wie ein konventionell betriebenes Fahrzeug. Um wesentliche THG-Reduktionen gegenüber konventionellen Antrieben zu erreichen, muss der Wasserstoff aus regenerativen Quellen stammen.
- Bei Betrieb mit Biogas entstehen THG-Emissionen in der Größenordnung von reinen Elektrofahrzeugen. Einschränkend wirken die nur sehr geringe Verfügbarkeit sowie generell das begrenzte Potenzial zur Versorgung der Fahrzeugflotte.
- Biodiesel aus Raps (RME) als – mit technischen und versorgungstechnischen Einschränkungen – marktfähiger Kraftstoff erzeugt ebenfalls geringere THG-Emissionen als fossil betriebene Fahrzeuge.
- Biokraftstoffe ermöglichen im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen Einsparungen im Bereich der THG-Emissionen.
- Bei der Verwendung von alternativen Anbaumethoden oder gar Reststoffen und Abfällen als Rohstoff für die Biokraftstoffproduktion sind weitere Reduktionen möglich. Besonders durch den Einsatz von Reststoffen (z. B. Gülle etc.) können die für den hohen Anteil an vorgelagerten CO_2-Emissionen verantwortlichen Emissionen deutlich reduziert werden.

Energieeinsatz

Insbesondere hinsichtlich des Energieeinsatzes der betrachteten Varianten können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Die größten Unterschiede bei den verschiedenen Fahrzeugkonzepten ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus dem fahrzeugseitigen Energieverbrauch. Die Fahrzeugherstellung hat einen geringeren Anteil.
- Pkw, die mit Bio-CNG (Compressed Natural Gas/Erdgas) und RME betrieben werden, benötigen etwa die gleiche Antriebsenergie wie moderne Hybridfahrzeuge. Einschränkend wirken die nur sehr geringe Verfügbarkeit sowie generell das Mengenpotenzial zur Versorgung der Fahrzeugflotte.
- Fahrzeugvarianten mit reiner Elektrotraktion zeigen die durchwegs niedrigsten gesamten Energieeinsätze, vor allem aufgrund ihrer sehr hohen Effizienz des Antriebsstranges.
  - Eine Ausnahme bildet das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug, da die Herstellung von Wasserstoff mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist.
  - Sowohl Elektrofahrzeuge als auch Hybridformen bilanzieren beim Energieverbrauch durch ihre hohen Antriebsstrangwirkungsgrade durchwegs am besten. Je weiter fortgeschritten die Elektrifizierung, desto höher ist die-

ser Effekt. Diese Aussage ist auch für die Treibhausgas-Bewertung zulässig. Der Gesamteinsatz an Antriebsenergie kann durch die Elektromobilität somit etwa um 70 % gegenüber konventionellen Kraftfahrzeugen reduziert werden.Beim Wasserstofffahrzeug ist die Energiebereitstellung, welche für die Produktion des Wasserstoffs notwendig ist, noch entscheidender als bei den Elektrofahrzeugen. Über die gesamte Prozesskette betrachtet variieren die Ergebnisse zwischen Energiebereitstellung aus Ökostromanlagen und dem österreichischen Kraftstoffpark massiv.

  - Im Vergleich zu den untersuchten Elektrofahrzeug-Varianten erzielen Wasserstofffahrzeuge deutliche schlechtere Ergebnisse – dies liegt vor allem an dem höheren Materialeinsatz (Brennstoffzelle, Tank, Akku), aber auch an den zusätzlichen Umwandlungsschritten (Strom/Erdgas → Wasserstoff → Strom) der Energieträger.
- Reine Elektrofahrzeuge benötigen durchwegs die geringste Energie in der Betrachtung der Gesamtkette.

Luftschadstoff--Emissionen

Speziell hinsichtlich der Luftschadstoff-Emissionen der betrachteten Varianten können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Die größten Unterschiede an NO_x-Emissionen ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus den direkten Emissionen. Die Fahrzeugherstellung zeigt hier geringere Schwankungen unter den betrachteten Varianten.
- Reine Elektrofahrzeuge sowie Verbrennungskraftmaschinen (VKM) nach dem Otto-Prinzip (Benzin-Euro 5 Abgasnorm, CNG-Euro 5 Abgasnorm, Wasserstoff) erzeugen durchwegs die geringsten NO_x-Emissionen. Diese Bilanz kann – wie bei den THG-Emissionen – durch den Einsatz von regenerativen Energien verbessert werden.
  - Eine Ausnahme bildet das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug. Mit konventionellem österreichischem Strom hergestellter Wasserstoff sorgt im Betrieb für fast gleich hohe NO_x-Emissionen wie ein konventionell betriebenes Diesel-Fahrzeug. Wesentlich günstiger bilanziert hier Wasserstoff aus Erdgas-Reforming.
- Die größten Unterschiede an Staub-Emissionen (PM) ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung. Gemeinsam mit der Fahrzeugherstellung stellen diese den weitaus größten Teil der gesamten PM-Emissionen über den Lebenszyklus dar. Die direkten PM-Emissionen sind in dieser Betrachtung vernachlässigbar gering. Insbesondere deshalb, da in Österreich mittlerweile fast alle neuen VKM-Motoren, die nach dem Diesel-Prinzip funktionieren, mit Dieselpartikelfiltern ausgestattet sind.
- Die Elektrotraktion bietet den signifikanten Vorteil, dass lokal keine Luftschadstoff-Emissionen anfallen. Speziell in ökologisch und gesundheitlich sensiblen Bereichen, wie etwa dem städtischen Umfeld, sind Emissionsvorteile aus Gesundheitssicht besonders positiv zu beurteilen.

Biokraftstoffe

Hinsichtlich der Biokraftstoffe können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Bei den Luftschadstoffen sind keine wesentlichen Veränderungen gegenüber den konventionellen Treibstoffen festzustellen. Die bei der Verbrennung im Fahrzeug anfallenden Emissionen sind auch immer im Zusammenhang mit

der Fahrzeugtechnik zu sehen. Ein mit Biokraftstoffen betriebenes Fahrzeug ermöglicht eine saubere und vollständige Verbrennung und lässt keine negativen Effekte erwarten. Beim Luftschadstoff NO_x liegen die untersuchten Alternativen im Bereich der fossilen Varianten.

Wasserstoff

Hinsichtlich Wasserstoff können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Die Emissionen an Luftschadstoffen liegen je nach Primärenergiequelle in der Größenordnung flüssiger fossiler Kraftstoffe – allerdings ist zu berücksichtigen, dass beim Betrieb – wie auch beim Elektrofahrzeug – keine Emissionen auftreten.

Elektro- und Hybridfahrzeuge

Der hohe Anteil an erneuerbaren Energien im österreichischen Strommix, verbunden mit vorhandenen weiteren Potenzialen und klaren Ausbauzielen, ist eine gute Ausgangsbasis für eine forcierte Elektrifizierung des Verkehrssektors.

gesamtheitliche Energiekonzepte sind notwendig

Um in diesem Kontext der Thematik der CO_2-Emissionen der Elektromobilität vor allem im Vergleich zur konventionellen Antriebstechnik zu begegnen, sind allerdings noch entsprechende gesamtheitliche Konzepte zur Bilanzierung notwendig – entweder auf nationalstaatlicher Ebene oder in einem größeren Maßstab. Zweifelsfrei sinnvoll ist es, den Strombedarf der Elektromobilität im Gesamtsystem zu erfassen und als neuen zusätzlichen Verbraucher zu betrachten, der entsprechend dem Strombedarf und der Bedarfsprognosen mit neu ausgebauten erneuerbaren Energien zu versorgen ist.

Nachfolgend finden sich jeweils die Gesamtergebnisse der Treibhausgas- und Energiebilanzierung in gekürzter Form dargestellt.

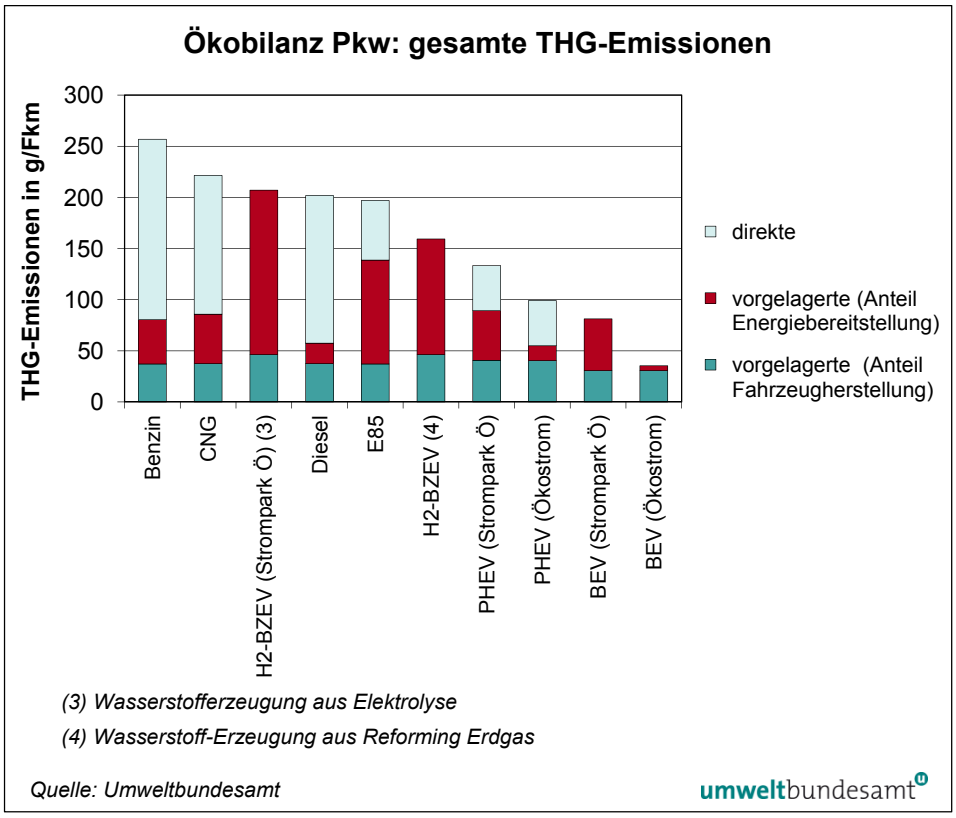


Abbildung 1: Gesamte THG-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten.

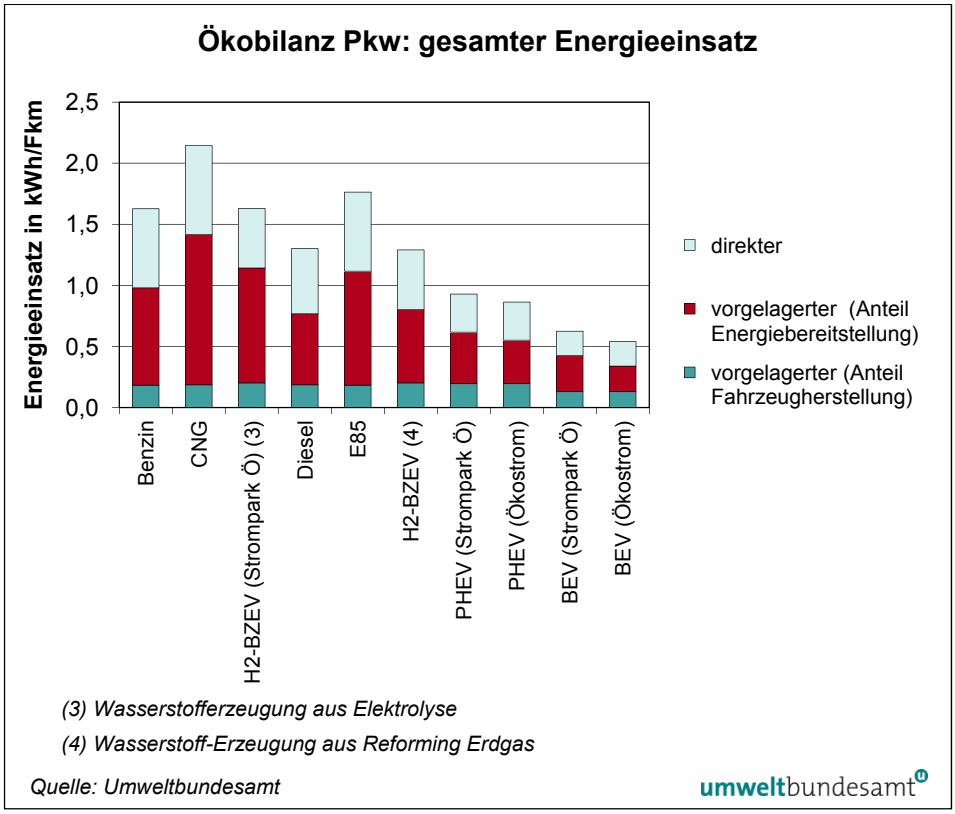


Abbildung 2: Gesamter Energieeinsatz der einzelnen Fahrzeugvarianten.

1 EINLEITUNG

Der Einsatz von alternativen Antrieben und regenerativen Kraftstoffen gewinnt aufgrund steigender Umweltbelastungen durch konventionelle, mit fossilen Treibstoffen betriebenen Kraftfahrzeugen zunehmend an Bedeutung.

Ökobilanz von Elektrofahrzeugen

Diese Studie untersucht die Ökobilanz von Elektrofahrzeugen, um deren Potenzial im Vergleich zu konventionellen Antrieben und auch im Vergleich zu Biokraftstoffen bewerten zu können. Mit den steigenden Absatzzahlen von alternativen Antrieben und entsprechenden Energiequellen ergeben sich zunehmend auch Fragen hinsichtlich der tatsächlichen Einsparungen an Treibhausgasen über den gesamten Produktlebenszyklus.

gesamtheitliche Bewertung

Der Betrieb von Elektrofahrzeugen führt zu keinerlei direkten Abgasemissionen. Neben der Herstellung der Elektrofahrzeuge selbst – und hier speziell der Akkumulatoren – ist die Art und Weise der Energiebereitstellung, insbesondere der Stromproduktion für den Betrieb der Fahrzeuge, ein wesentlicher Faktor für Effizienz und Umweltbilanz. Die Fahrzeuge nur nach ihren direkten Emissionen zu bewerten reicht für einen Vergleich der Antriebs- und Kraftstoffsysteme demnach nicht aus, hier sind neue Methoden und Ansätze zur gesamtheitlichen Bewertung erforderlich.

Ökobilanz

Mit einer Ökobilanz (engl. Life Cycle Assessment, LCA) können die Umweltaspekte eines Produktsystems (Produktion, Energiebereitstellung, Betrieb, Entsorgung) über alle Phasen seines Lebenszyklus evaluiert werden. Dabei werden die Umweltwirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung des Produktes sowie die damit verbundenen vor- und nachgeschalteten Prozesse (z. B. Herstellung der Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe) berücksichtigt.

Diese Methode ermöglicht es, verschiedene Antriebssysteme sowohl hinsichtlich ihrer direkten Emissionen als auch hinsichtlich der Emissionen für die Herstellung der Fahrzeuge und die Energiebereitstellung zu beurteilen. Somit können Elektrofahrzeuge sowie Fahrzeuge mit alternativen Kraftstoffen, wie etwa Biokraftstoffen oder Wasserstoff, hinsichtlich ihrer gesamten Emissionen verglichen und aus Umweltsicht bewertet werden.

Umweltauswirkungen des Verkehrs und die Rolle der alternativen Antriebe

Der Straßenverkehr wächst ständig und zählt nach wie vor zu einem der Hauptverursacher von Luftschadstoff- und Treibhausgas-Emissionen. Um nachteilige Umwelteffekte zu reduzieren und eine langfristige, nachhaltige Mobilität sicherzustellen, ist der verstärkte Einsatz von effizienteren und schadstoffärmeren Fahrzeugen, die keine oder nur sehr geringe Emissionen verursachen, dringend erforderlich.

Motorisierung stark angestiegen

Der Pkw ist das am meisten genutzte Verkehrsmittel im Personenverkehr. Die Motorisierung ist im Zeitraum von 1950 bis 2010 von 7 Pkw auf 530 Pkw pro 1.000 EinwohnerInnen gestiegen (HAUSBERGER 2008). Statistisch betrachtet verfügt in Österreich jede/r Zweite über einen Pkw, wobei Dieselfahrzeuge derzeit überwiegen. Fahrzeuge mit alternativen Antrieben liegen zurzeit noch im Promille-Bereich.

Weglänge ist deutlich gestiegen

Durchschnittlich erledigen die ÖsterreicherInnen drei bis vier Wege am Tag und wenden rund 60–70 Minuten täglich für ihre Mobilität auf. Wesentlich gesteigert hat sich dabei die Weglänge, die von jedem/jeder Einzelnen täglich zurückgelegt wird; diese liegt bei rund 20 km am Tag. Mehr als die Hälfte der Wege in Österreich erfolgt mit dem Pkw bei einer Weglänge unter 5 km (HAUSBERGER 2008).

alternative Antriebe gewinnen an Bedeutung

Alternative Antriebe werden durch steigende Energiepreise und einen Rückgang der Erdölverfügbarkeit zunehmend an Attraktivität gewinnen. Vor allem für jenen Anteil am motorisierten Individualverkehr, der weder vermieden noch verlagert werden kann, spielen alternative Antriebskonzepte eine große Rolle. Gerade die Elektromobilität hat aufgrund der hohen Effizienz der Antriebe ein großes Potenzial zur Reduktion der Umweltbelastungen aus dem Verkehrssektor. Weltweit wird intensiv an der Entwicklung und Verbreitung dieser Technologie geforscht.

Neben der Effizienzsteigerung des Antriebs ist zunehmend auch der Einsatz alternativer und regenerativer Energieformen erforderlich, um die Zielvorgaben für die Reduktion von Treibhausgas- und Luftschadstoff-Emissionen sowie den Einsatz erneuerbarer Energieträger im Verkehr zu erfüllen.

Entwicklung der Neuzulassungen alternativ betriebener Fahrzeuge

Neuzulassungen steigen

Aktuell (Stand 2013) sind in Österreich etwa 20.000 Pkw[1] mit einem alternativen Antrieb zugelassen. Die Entwicklung der Neuzulassungen von alternativ betriebenen Pkw bewegt sich zwar noch immer auf sehr niedrigem Niveau, gewinnt aber in den letzten Jahren an Fahrt. Die Bestandstatistik zeigt, dass der überwiegende Teil dieser Fahrzeuge aus Flexfuel-Fahrzeugen (betrieben mit Benzin oder Ethanol (E85)) und Hybridfahrzeugen (besitzen Benzin- und Elektromotor) besteht.

Es ist absehbar, dass vor allem der Anteil dieser Hybridfahrzeuge durch die voranschreitende Elektrifizierung des Antriebsstranges kurz- und mittelfristig stark ansteigen wird.

Umweltpolitische Zielvorgaben

Kyoto-Protokoll regelt THG-Reduktionsziele

Durch das Kyoto-Protokoll 2005 wurden erstmals verbindliche Treibhausgas-Reduktionsziele für die Industriestaaten festgelegt. Damit verpflichtet sich die Europäische Union, ihre Treibhausgas-Emissionen bis zur Periode 2008–2012 um 8 % gegenüber 1990 zu reduzieren. Österreichs Reduktionsverpflichtung beträgt minus 13 % im Vergleich zu den Emissionen im Basisjahr 1990. Somit dürfen in der Kyoto-Periode von 2008 bis 2012 im Durchschnitt nicht mehr als jährlich 68,8 Mio. t Kohlendioxid-Äquivalent an Treibhausgasen emittiert werden.

[1] Quelle: eigene Statistik, Statistik Austria

Klima- und Energiepaket der EU

Des Weiteren präsentierte die Europäische Kommission im Jänner 2007 das „Klima- und Energiepaket“ (KOM(2007) 2), dem das Europäische Parlament im Dezember 2008 zugestimmt hat. Damit soll sichergestellt werden, dass die EU die folgenden Klimaziele für 2020 erreicht:

- Eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 20 % (ausgehend vom Jahr 1990); für Österreich: – 16% gegenüber dem Jahr 2005;
- eine 20%ige Senkung des Primärenergieverbrauchs im Vergleich zum BAU(„business as usual“)-Szenario;
- eine Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energieträger auf 20 %; für Österreich: + 34 %; mit einem Sektorziel für den Verkehr von 10 % erneuerbaren Energien im Verkehr bis 2020.

Erneuerbare Energieträger und Energieeffizienzmaßnahmen werden als die Schlüssel in der Energiepolitik gesehen, um Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren, die Importabhängigkeit zu senken und die Energiekosten vom Ölpreis abzukoppeln.

kohlenstoffarmes Wirtschaftssystem

Langfristig sind eine Transformation des vorherrschenden Wirtschaftssystems zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft und eine Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch notwendig, um eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 80–95 % bis 2050 (in Relation zu 1990) zu erreichen. Für den Sektor Verkehr bedeutet dies eine Reduktion von etwa 60 % gemäß dem Weißbuch Verkehr (KOM(2011) 144). Eine Reduktion der Treibhausgase in dieser Größenordnung in den Industrieländern wird als Voraussetzung gesehen, um den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf maximal 2 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Zur Unterstützung der Erreichung der Klimaziele wurden mit der VO 443/2009 im April 2009 verbindliche Zielwerte für die CO_2-Emissionen neu zugelassener Pkw in Europa festgelegt. Die durchschnittlichen CO_2-Werte von Neuwagen im gesamten Flottendurchschnitt eines Autoherstellers müssen bis 2015 auf durchschnittlich 130 g CO_2/km gesenkt werden. Langzeit-Ziel bis zum Jahr 2020 sind 95 g CO_2/km. Des Weiteren plant die Kommission derartige Vorgaben auch für schwere Nutzfahrzeuge, welche allerdings mit größerem zeitlichem Abstand folgen werden.

Zielwerte für CO_2-Emissionen

Biokraftstoff-Richtlinie

Die Biokraftstoff-Richtlinie (RL 2003/30/EG) sieht den Einsatz von Biokraftstoffen im Transportsektor vor. Bis 2005 sollten 2 % des Energieinhalts der nationalstaatlich verbrauchten Kraftstoffe durch Biokraftstoffe abgedeckt werden, bis 2010 stieg dieser Anteil auf 5,75 %. In Österreich wurde am 4. November 2004 die Biokraftstoff-Richtlinie im Rahmen der Novelle der Kraftstoffverordnung (BGBl. II Nr. 418/1999 i.d.F.) in nationales Recht umgesetzt. Darin werden jene Stellen, die Treibstoffe in Verkehr bringen (z. B. OMV) dazu verpflichtet, ab 1. Oktober 2005 2,5 % der gesamten in Verkehr gebrachten Energiemenge durch Biotreibstoffe zu ersetzen. Ab 2007 erhöhte sich der Prozentsatz auf 4,3 %, 2008 war das Richtlinienziel von 5,75 % verbindlich zu erreichen.

RL zur Förderung erneuerbarer Energieträger

Ziele für den Einsatz von Biokraftstoffen im Verkehrssektor nach 2010 sind in der Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energieträger (RL 2008/0016/COD) definiert, dem Nachfolgedokument der Biokraftstoffrichtlinie – diese Ziele haben verbindlichen Charakter. Die Mitgliedstaaten haben lt. RL 2009/28/EG bis 2020 einen Mindestanteil von 10 % des Energieeinsatzes im Verkehrssektor durch erneuerbare Energieträger zu substituieren (sektorales Ziel). Zur Zielerreichung können Biokraftstoffe, die gewisse Kriterien der Nachhaltigkeit erfüllen, sowie Strom aus erneuerbaren Quellen herangezogen werden. Die Kriterien, denen

Biokraftstoffe genügen müssen, umfassen neben einem Mindestreduktionsziel an Treibhausgas-Emissionen auch Verbotszonen für den Rohstoffanbau, wie z. B. Regenwälder oder Feuchtwiesen.

Spezielle Biokraftstoffe werden mit dem Faktor 2 gewichtet, womit ein Anreiz für besonders umweltfreundliche Bioenergieträger geschaffen wird. Strom, der in Fahrzeugen zum Einsatz kommt, wird aufgrund der höheren Effizienz von Elektromotoren für die Zielerreichung mit dem Faktor 2,5 gewichtet.

RL zur Qualität von Kraftstoffen

Die Richtlinie zur Qualität von Kraftstoffen (RL 2009/30/EG) sieht vor, dass Anbieter von Kraftstoffen die Treibhausgas-Emissionen, die während Herstellung, Transport und Nutzung entstehen, bis 2020 um bis zu 6 % senken müssen. Für Luftschadstoffe, die erhebliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit oder auf Ökosysteme und die Vegetation haben können, sind Grenz-, Ziel- oder Schwellenwerte im Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L; BGBl. I Nr. 115/1997) bzw. im Ozongesetz (BGBl. I Nr. 210/1992) festgelegt. Diese gesetzlichen Vorgaben basieren auf europäischen Richtlinien zur Luftreinhaltung.

Zielvorgabe für NO_x-Emissionen nicht eingehalten

In der Emissionshöchstmengenrichtlinie (NEC-RL 2001/81/EG) ist für Österreich u. a. für den Luftschadstoff NO_x (Hauptverursacher: Verkehr) eine jährliche Emissionsobergrenze von 103 Kilotonnen (kt) festgelegt, die ab 2010 einzuhalten ist. Diese Zielvorgabe kann derzeit von Österreich infolge der gestiegenen NO_x-Emissionen des Verkehrs nicht eingehalten werden.

Strategien und Förderprogramme

Die Bedeutung alternativer Antriebe und Kraftstoffe für die Erreichung der Klima- und anderer Umweltziele wird auf politischer Ebene erkannt. Sowohl das Österreichische Regierungsprogramm (REPUBLIK ÖSTERREICH 2008) als auch unterschiedliche Strategien wie die Nachhaltigkeits-, die Klima- und die Energiestrategie (BMLFUW 2002, 2007, BMWFJ 2010) nehmen die Förderung von alternativen Antrieben und Kraftstoffen als wichtige Maßnahme auf, entsprechende Förderprogramme sind bereits im Laufen. Im Sommer 2012 wurde der Österreichische Umsetzungsplan zur Einführung der Elektromobilität mit insgesamt 65 Maßnahmen beschlossen (BMLFUW et al. 2012). Dieser soll die breite Einführung von Elektromobilität in Österreich durch Forschung und Entwicklung, Bereitstellung von erneuerbaren Energien, Treibstoffinfrastruktur und Bewusstseinsbildung unterstützen.*****

Ausgangslage: Entwicklung der Emissionen des Verkehrssektors

THG-Emissionen steigen

Der Verkehrssektor zählt in Österreich auch im Jahr 2010 zu den Hauptverursachern für Treibhausgas-Emissionen. Der Pkw-Verkehr hat einen hohen Anteil daran. Von 1990 bis 2011 nahmen im Verkehrssektor die Treibhausgase um rund 54 % zu, durch den Einsatz von Biokraftstoffen konnten 1,7 Mio. t CO_2-Äquivalent eingespart werden. (UMWELTBUNDESAMT 2013a, b)

NO_x-Emissionen seit 1990 um 7 % gestiegen

Hauptverursacher bei den Stickstoffoxiden (NO_x) sind Dieselkraftfahrzeuge. Rund 96 % der NO_x-Emissionen des Verkehrs sind dem Straßenverkehr zuzuordnen, ca. 2/3 davon entfallen auf den Schwerverkehr. Seit dem Jahr 1990 sind die Stickstoffoxid-Emissionen aus dem Verkehr um rund 7 % gestiegen. Seit Einführung des Katalysators für Benzinfahrzeuge Mitte der 80er-Jahre sinken die NO_x-Emissionen bei Kraftfahrzeugen, welche mit Benzin betrieben werden. Der hohe Dieselkraftstoffabsatz – bedingt durch den Trend zum Diesel-Pkw und durch den stärker wachsenden Schwerverkehr – wirkt jedoch diesem positiven Trend entgegen.

Feinstaub-Emissionen sinken

Seit dem Jahr 2006 gehen die Feinstaub-Emissionen aus dem Verkehrssektor leicht zurück. Dies ist in erster Linie auf technologischen Fortschritt und den verstärkte Einsatz von Partikelfiltersystemen zurückzuführen.

Hauptverantwortlich für die Feinstaub-Belastung aus dem Verkehr ist der Straßenverkehr, besonders Dieselmotoren aus dem Personen- und dem Straßengüterverkehr. Weitere wesentliche Komponenten im Straßenverkehr sind Abrieb und Aufwirbelung.

Schlussfolgerungen

All diese Rahmenbedingungen und Ziele für Umweltschutz, Energieeinsatz und Emissionen erfordern eine Verbesserung der Fahrzeugflotte hinsichtlich Effizienz und Emissionsverhalten. Alternative Antriebs- und Kraftstoffsysteme sind hierbei von zentraler Bedeutung für die Erreichung umweltpolitischer Zielsetzungen. Ohne eine deutliche Effizienzsteigerung in der Flotte und die Einführung alternativer und erneuerbarer Kraftstoffe ist ein nachhaltiges Verkehrssystem in Österreich nicht erzielbar.

1.1 Ziel der Studie

Erstellung einer Ökobilanz

Ziel dieses Berichtes ist die Erstellung einer Ökobilanz für Fahrzeuge unterschiedlicher Antriebssysteme unter unterschiedlichen Energiebereitstellungsoptionen. Damit sollen eine Vergleichbarkeit auf hohem Detaillierungslevel erreicht und eine Grundlage für die Bewertung unterschiedlicher Antriebs- und Kraftstoffoptionen geschaffen werden. Eine Ökobilanz ermöglicht eine detaillierte Bilanzierung von THG-Emissionen, Luftschadstoffen und den gesamten Energieeinsätzen. Verglichen werden Elektrofahrzeuge mit Hybrid-Modellen, Fahrzeuge mit alternativen Antriebsvarianten und konventionell betriebene Fahrzeuge. Ein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Energiebereitstellung mit Ökostrom – insbesondere bei Elektrofahrzeugen, die mit Strom aus Photovoltaik-Anlagen betrieben werden – um den Einfluss verschiedener Photovoltaik-Systeme auf die Gesamtbilanz beurteilen zu können. Die Elektrofahrzeug-Technologie wird hinsichtlich des gesamten eingesetzten Energieeinsatzes sowie der Treibhausgas- und Luftschadstoff-Emissionen mit alternativen Antrieben bzw. erneuerbaren Treibstoffen verglichen. Ebenso wird eine Well-to-Wheel[2] Betrachtung durchgeführt.

berücksichtigte Parameter

Die Berechnungen berücksichtigen die Herstellung und die Wartung der Fahrzeuge, der Speichertechnologien sowie die gesamte Kette der Energiebereitstellung (Well-to-Tank[3]), beispielsweise die Herstellung und den Betrieb von Photovoltaik-Anlagen. Die Realverbräuche und -emissionen der betrachteten Fahrzeugkonzepte auf Österreichs Straßen finden dabei entsprechend Berücksichtigung.

[2] von der Energiequelle bis zum Fahrzeugbetrieb

[3] von der Energiequelle bis zum Fahrzeugtank

Als Ergebnisse werden die Treibhausgas-Emissionen (als CO_2-Äquivalente), die Luftschadstoff-Emissionen sowie der Energieeinsatz dargestellt, jeweils getrennt nach direkt im Fahrzeugbetrieb auftretenden Emissionen und den vorgelagerten Prozessemissionen.

Die Studie ist fachlich fundierte Basis für die gesamtheitliche Bilanzierung von konventionellen und alternativen Antriebs- und Energiebereitstellungsoptionen.

1.2 Aufbau des Berichtes

Der Bericht gliedert sich in fünf Abschnitte:

Das Kapitel „Ökobilanzierung“ beschreibt den Ansatz der Ökobilanzierung als Instrument zum Vergleich von Technologien und erklärt die Werkzeuge, mit deren Hilfe die Ökobilanz entsteht.

Das Kapitel „Untersuchte Technologien“ beschreibt die Technologien der Fahrzeuge und der Energiebereitstellung. Schwerpunkte sind dabei die Akku-Technologien und PV-Anlagen.

Im Kapitel „Faktoren zur Bilanzierung von Energie- und Materialeinsatz im Fahrzeug und bei der Energiebereitstellung“ werden die zur Berechnung herangezogenen Werte der einzelnen Fahrzeugkategorien sowie Strom- und Kraftstofftypen behandelt.

Im Kapitel „Ökobilanz von Fahrzeugen“ finden sich schließlich die Ergebnisse der Ökobilanzierung sowie der direkte Vergleich der einzelnen Varianten von Fahrzeugen und Energieformen.

Im Kapitel „Sensitivitätsanalyse“ wird schließlich untersucht, inwieweit die Ergebnisse hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Umwelt durch einzelne Technologieparameter beeinflusst werden.

Detaillierte Tabellen zu der Ökobilanzierung zugrundeliegenden Annahmen (im Anhang) ergänzen den Bericht.

2 ÖKOBILANZIERUNG

2.1 Grundlagen der Ökobilanzierung

Jede Bereitstellung von Produkten und Dienstleistungen führt zu Ressourcenverbrauch und Umwelteinwirkungen und eventuell sogar zu einer negativen Beeinträchtigung der Umwelt. Der Preis von Gütern spiegelt die Beeinträchtigung von Umweltleistungen (Bereitstellen von Rohstoffen, Beseitigung von anthropogenen Abfallströmen und Abgasen) jedoch kaum wider, da diese Ökosystemdienstleistungen in der Regel kostenlos in Anspruch genommen werden können. Damit werden das Ökosystem insgesamt übernutzt und Ressourcen übermäßig verbraucht.

Ökobilanz bewertet ganze Systeme

Um das heutige Wirtschaftssystem bezüglich der gesamten Umweltbelastungen und Umweltschäden zu sensibilisieren, wurden Methoden wie die Ökobilanzierung entwickelt. Mit Hilfe dieser Methode sollen konkrete und messbare Informationen bezüglich des Ressourcenverbrauchs, der Belastung und Schädigung der Umwelt durch Schadstoff-Emissionen und der Ressourcennutzung bereitgestellt werden. Eine Ökobilanz ist in der Lage, ganze Systeme abzubilden und zu bewerten („von der Wiege bis zur Bahre“). Sie ist im internationalen Rahmen wissenschaftlich entwickelt und abgestimmt und in ihren Grundsätzen genormt (EN ISO 14040 ff).

Leistungen einer Ökobilanz

Die Ökobilanz stellt eine ökologisch bewertete Übersicht der von Unternehmen, Produkten oder Dienstleistungen ausgehenden Umwelteinwirkungen dar. Sie dient als Mittel für umfassende Information, zum Erkennen von Prioritäten, Problembereichen oder als Controlling- und Kommunikationshilfe. Beispielsweise können Informationen über Umweltauswirkungen pro Produktionseinheit oder Zeiteinheit generiert und als interne und externe Kommunikations- und Argumentationsbasis verwendet werden. Des Weiteren kann die Ökobilanzierung eine Evaluierung und Festlegung sowie das Controlling von Umweltzielen unterstützen.

2.2 Anforderungen an und Struktur von Ökobilanzen

Ideale Ökobilanzen sollten sachlich vollständig, in der Aussage eindeutig, über die Zeit stabil, bezüglich Annahmen und Erstellung transparent und nachvollziehbar – d. h. gut dokumentiert – und gleichzeitig mit vertretbarem Aufwand erstellbar sein. In der Praxis sind derart ideale Ökobilanzen meist nur teil- oder schrittweise umsetzbar.

Sachbilanz für Material-, Stoff- und Energieflüsse

Das fundamentale Element einer Ökobilanz ist die sogenannte Sachbilanz. In dieser sind alle relevanten Inputs und Outputs auf der Ebene der Material-, Stoff- und Energieflüsse, wie z. B. materielle Entnahmen aus der Umwelt (z. B. Erdöl, Kalkstein) oder Emissionen in die Umweltmedien (z. B. CO_2, NO_2 in die Luft) dargestellt.

Wirkungsabschätzung & Auswertung mittels Indikatoren

Nachdem mit der Sachbilanz das Inventar auftretender Wechselwirkungen mit der Umwelt erstellt wurde, geht es bei der Wirkungsabschätzung und Auswertung darum, diese mittels Indikatoren auf eine überschaubare Anzahl zu verdich-

ten. Die Bewertung der einzelnen Informationen erfolgt nach ökologischen Kriterien. Ziel ist es, die Relevanz der verschiedenen Einwirkungen auf die Umwelt zu bestimmen.

2.3 Grenzen der Ökobilanzierung

spezifische Systemabgrenzungen

Der Forderung nach sachlicher Vollständigkeit folgend, mag eine vollständige Input-/Output-Analyse des zu betrachtenden Gegenstandes (Unternehmen, Produkt, Dienstleistung) als Idealziel gelten. Der Machbarkeit halber wird in der Realität meist eine Teildarstellung der als zentral erachteten Stoff- und Energieflüsse erhoben oder der Fokus wird auf einzelne Umweltaspekte gelegt. Eine derartige Systemabgrenzung ist durchaus gerechtfertigt, sofern in der Dokumentation explizit darauf verwiesen und dies bei der Evaluierung der Ergebnisse in Betracht gezogen wird. Die zu treffende Systemabgrenzung hängt direkt von der Fragestellung ab, zu deren Behandlung die Ökobilanz eingesetzt wird und soll zweckmäßig und plausibel sein. Die Wahl der Systemgrenze beeinflusst die zu bilanzierenden Faktoren und macht die Bilanzierung überhaupt erst möglich.

2.4 Berechnungsmodelle zur Ökobilanzierung

Für Daten verschiedener allgemeiner Prozesse wie Rohstoffvorketten, allgemeine Energiebereitstellung oder Transporte werden das Softwaretool **G**lobales-**E**missions-**M**odell-**I**ntegrierter-**S**ysteme (GEMIS) und Ergebnisse aus vorgehenden Arbeiten des Umweltbundesamtes zugrunde gelegt.

2.4.1 Die GEMIS-Software zur Durchführung von Ökobilanzen

Das Ökoinstitut e. V. und die Gesamthochschule Kassel (GhK) hat die GEMIS-Basisversion in den Jahren 1987–1989 entworfen und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. Das Umweltbundesamt erstellt seit dem Jahr 1997 Ökobilanzen mittels GEMIS, wobei die GEMIS-Datenbasis mit Bezug auf Österreich vom Umweltbundesamt gewartet und jährlich aktualisiert wird. Auf Basis österreichspezifischer Daten berücksichtigt GEMIS somit die wichtigsten Prozesse und bietet die Möglichkeit, neben den direkten Emissionen auch vorgelagerte Prozessemissionen in die Kalkulation aufzunehmen.

berücksichtigte Parameter & Daten

GEMIS berücksichtigt für Produkte, Prozesse und Szenarien alle wesentlichen Schritte (siehe Abbildung 3) – von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie bzw. Stoffbereitstellung und bezieht auch den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit ein. Die Datenbasis enthält für alle diese Prozesse:

- Kenndaten zu Nutzungsgrad, Leistung, Auslastung, Lebensdauer,
- direkte Luftschadstoff-Emissionen (SO_2, NO_x, Halogene, Staub (PM), CO, NMVOC, H_2S, NH_3),
- Treibhausgas-Emissionen (CO_2, CH_4, N_2O sowie SF_6 und FKW),

- feste Reststoffe (Asche, Entschwefelungsprodukte, Klärschlamm, Produktionsabfall, Abraum),
- flüssige Reststoffe (adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX), gelöste organische Stoffe (BSB_5, CSB), N, P, anorganische Salze),
- Flächenbedarf.

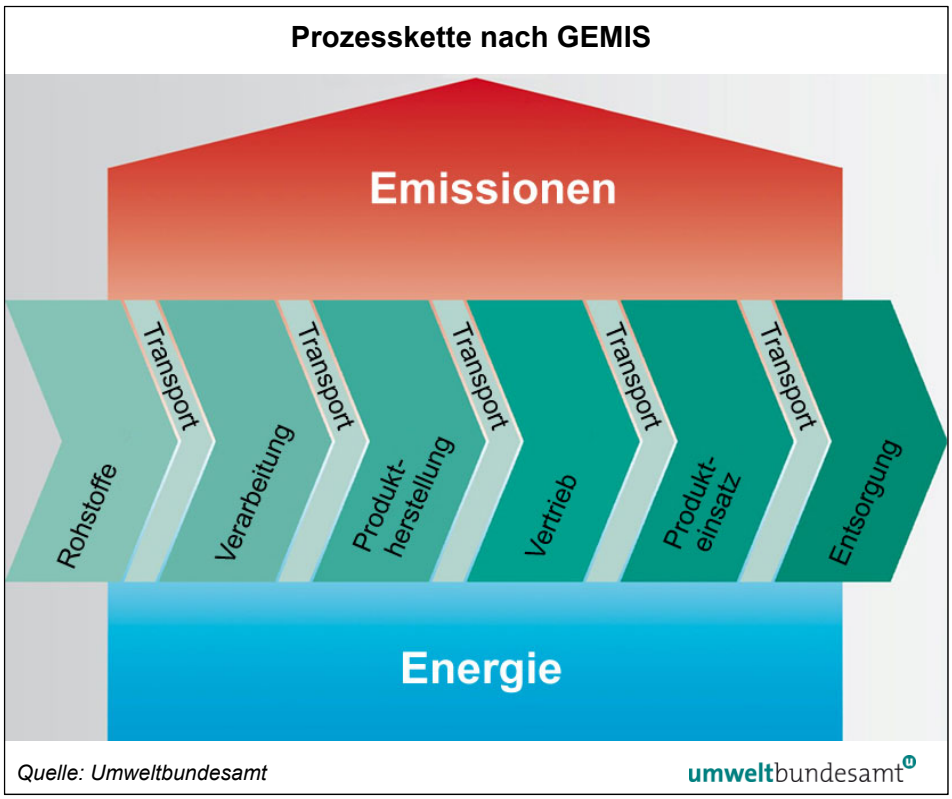


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Prozesskette nach GEMIS.

Bewertung von Umwelt- und Kostenanalysen

Mit GEMIS können die Ergebnisse von Umwelt- und Kostenanalysen auch bewertet werden: durch die Aggregation von Faktoren und Ressourcen zum kumulierten Energieaufwand (KEA), von klimarelevanten Schadstoffen zu sog. CO_2-Äquivalenten, von Luftschadstoffen zu SO_2-Äquivalenten und Ozon-Vorläufer-Äquivalenten sowie die Ermittlung externer Umweltkosten, die zusammen mit den betriebswirtschaftlichen ("internen") Kosten zur Bestimmung der volkswirtschaftlichen Gesamtkosten dienen können.

kumulierter Energieaufwand

Der KEA ist die Gesamtheit aller primärenergetisch bewerteten, direkten und indirekten Energieaufwendungen entlang eines Produktlebensweges. Dies bedeutet, dass auch die Wirkungsgrade von Kraftwerken (Kohle, Gas etc.) über den KEA abgebildet werden. Dabei ist beispielweise für Wasserkraft ein Wirkungsgrad von 100 % hinterlegt. Dies führt dazu, dass der KEA im Strommix von Ländern je nach Kraftwerkspark unterschiedlich ist. Somit errechnen sich je nach verwendetem Strommix für exakt gleiche technische Verfahren unterschiedlich hohe kumulierte Energieaufwendungen.

2.4.2 Berechnung der direkten Emissionen

Berechnung mittels Emissionsfaktoren

Angaben zur spezifischen Emission, d. h. zur direkten Emission eines einzelnen Straßenfahrzeuges, werden benötigt, um etwa das Ausmaß der verkehrsbedingten Belastung durch Luftschadstoffe bzw. auch Treibhausgas-Emissionen zu berechnen, aber auch um entsprechende Maßnahmen zur Reduktion dieser Belastungen zu evaluieren. Zu diesem Zweck haben die Umweltfachstellen von Deutschland, Österreich und der Schweiz seit mehreren Jahren gemeinsam verschiedene Forschungsprojekte und Messreihen gefördert. Das Handbuch für Emissionsfaktoren[4] (HBEFA) ist eine Synthese der Ergebnisse dieser Projekte und wird periodisch aktualisiert.

Die Emissionsfaktoren geben das Abgasverhalten in realen Fahrsituationen wieder. Diesen Werten liegen umfangreiche Messungen und Untersuchungen der vergangenen Jahre zugrunde. Das Handbuch liefert die Emissionsfaktoren für ca. 50 unterschiedliche Verkehrssituationen. Darüber hinaus können Durchschnittswerte für innerorts, außerorts und Autobahn sowie ein globaler Durchschnittswert berechnet werden. Über die Eingabemaske können Fahrzeugkategorie, die zu berechnenden Schadstoffe bzw. der Kraftstoffverbrauch, die Verkehrssituation und das Bezugsjahr ausgewählt werden.

Das Handbuch enthält Daten über die österreichische Flottenzusammensetzung sowie spezifische Fahrleistungen nach Fahrzeugart und Abgasklasse.

2.5 Ökobilanzierung von Kraftfahrzeugen

Energieumwandlung & Infrastruktur

Die Ökobilanz mittels GEMIS-Österreich beinhaltet neben der Fahrzeugherstellung die Energieumwandlung für den Betrieb der Fahrzeuge – von Rohöl zu Diesel und Benzin oder z. B. die Umwandlung von Sonnenlicht in elektrischen Strom mittels Photovoltaik-Anlagen sowie die Bereitstellung anderer Energieformen. Die dafür erforderliche Infrastruktur ist ein wesentlicher Bestandteil der Analyse. Die Lebensdauer der notwendigen Infrastruktur fließt in die Ökobilanz ein und hat starke Auswirkungen auf die gesamten Prozessemissionen.

direkte Fahrzeug-Emissionen & Energieverbrauch

Die Emissionen aus dem Betrieb des Kraftfahrzeuges, also die direkten Emissionen, werden der Software HBEFA 3.1. entnommen. Das Handbuch der Emissionsfaktoren dient diesem Projekt als Ausgangsbasis bei der Festlegung der direkten Fahrzeugemissionen und Energieverbräuche. Detaillierte Beschreibungen der getroffenen Annahmen sind dem Anhang zu entnehmen.

Die Bewertung von Technologien mittels Ökobilanzierung ist direkt von der vorhandenen Datenqualität, den getroffenen Annahmen und den Systemgrenzen abhängig.

In der folgenden Abbildung wird die hier betrachtete Prozesskette für ein Kraftfahrzeug dargestellt.

[4] www.hbefa.net

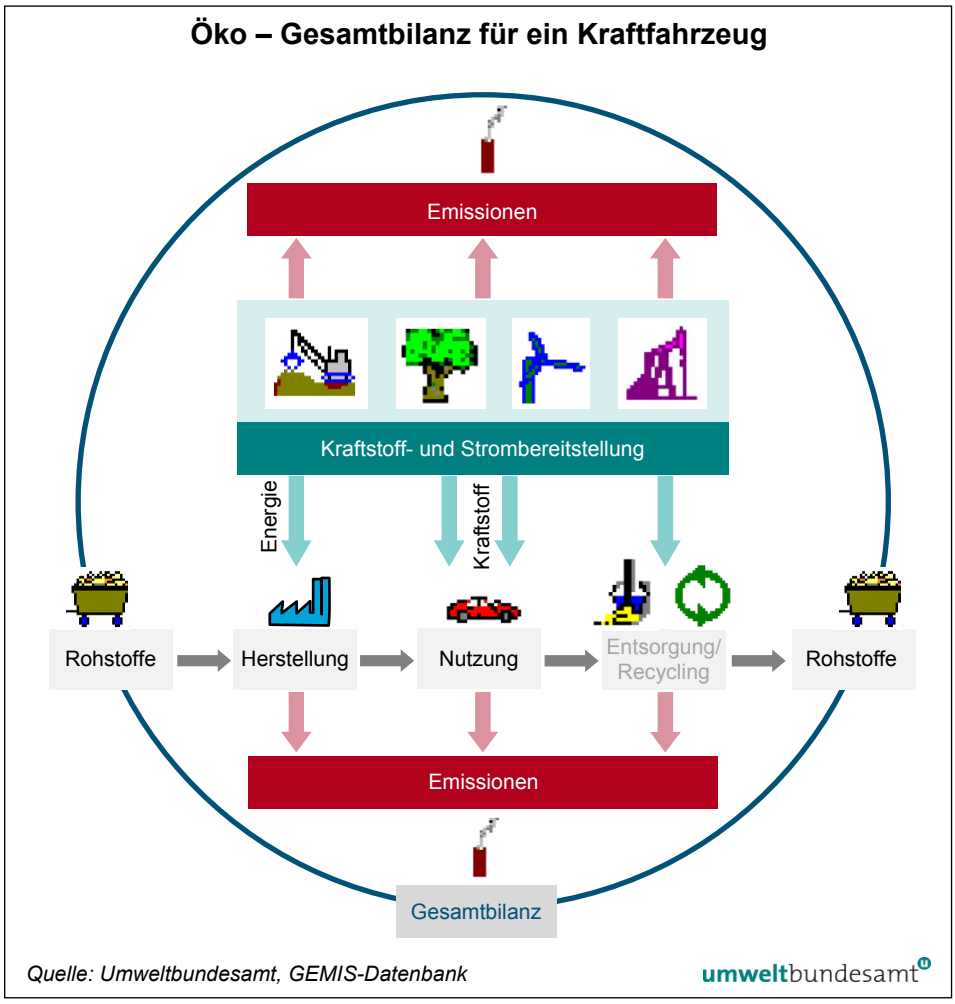


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Prozesskette in GEMIS für ein Fahrzeug.

wesentliche Ergebnisparameter

Für diese Bilanz wesentliche Ergebnisse des GEMIS-Modells sind der kumulierte Energieaufwand (KEA), die Menge an klimarelevanten Emissionen und die Luftschadstoff-Emissionen.

klimarelevante Luftschadstoffe

Zur Berechnung klimarelevanter Emissionen aggregiert GEMIS klimarelevante Luftschadstoffe zu CO_2-Äquivalenten. Dabei werden die Treibhausgase Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Distickstoffoxid (N_2O), Hydrierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC, HFCKW), Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF_6) berücksichtigt. Je nach betrachtetem Material und Produktionsverfahren sind nur die relevanten Treibhausgase in GEMIS abgebildet.

Zeithorizont von 100 Jahren

Als Zeithorizont für die Klimarelevanz der einzelnen Treibhausgase werden in den GEMIS-Berechnungen 100 Jahre angesetzt. Dieser Zeitbezug entspricht der, aus internationalen politischen Bestimmungen stammenden, mittleren Vorgabe des Treibhausgaspotenzials nach IPCC (2007) und wurde gewählt, um eine längerfristige Abschätzung der Folgen für die globale Erwärmung zu ermöglichen.

2.5.1 Systemgrenzen bei der Ökobilanzierung von Kraftfahrzeugen

Innerhalb der Systemgrenzen der Lebenszyklusbetrachtung befinden sich alle Prozesse gemäß der Abbildung 3; das heißt, bezogen auf die betrachteten Fahrzeugkonzepte, liegen Produktion und Nutzung innerhalb der Systemgrenzen. Die Lebensdauer der Fahrzeuge wie auch der Akkumulatoren in den Elektrofahrzeugen wird – übereinstimmend mit generellen automotiven Lebensdauer-anforderungen – mit zehn Jahren festgesetzt. Die Materialaufwendungen für die Herstellung der Akkumulatoren werden in die Lebenszyklusanalyse aufgenommen.

Lebensdauer: 10 Jahre

Spezielle Varianten der Energiebereitstellung werden gesondert tiefer im Detail betrachtet und ebenfalls einer Sensitivitätsanalyse unterzogen, da z. B. standortspezifische Kriterien eine wesentliche Rolle hinsichtlich Energieaufwand und Emissionen spielen.

Entsorgung & Recycling nicht berücksichtigt

Da derzeit keine Studien und somit kaum Daten und Informationen zu Entsorgungs- oder Recyclingverfahren von Akkumulatoren und Photovoltaik-Anlagen im großindustriellen Maßstab vorliegen, befindet sich eine etwaige Verwertung bzw. Entsorgung der betrachteten Fahrzeuge, Akkumulatoren und Anlagen außerhalb der Systemgrenze dieser Studie. Für konventionelle Fahrzeuge ist die Datenlage zwar deutlich besser, aufgrund der Vergleichbarkeit ist es jedoch unerlässlich, die gleiche Systemgrenze für alle Technologien und Antriebsarten zu wählen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dies zu keiner wesentlichen Veränderung in den Gesamtergebnissen führt. Ebenso außerhalb der Betrachtungsgrenze liegt eine verlängerte Nutzung der Fahrzeuge, welche sich tendenziell positiv auf das Ergebnis auswirkt.

Betrachtete Fahrzeugvarianten und die zugehörige Energiebereitstellung werden in den Kapiteln 3.2 und 3.1 beschrieben.

2.5.2 Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Bilanzierung werden personen- bzw. fahrzeugbezogen dargestellt. Personenbezogene Energieeinsätze und Emissionen resultieren aus der typischen Nutzung bzw. einem entsprechenden Besetzungsgrad[5], der aus einer mittleren österreichischen Nutzung resultiert.

Verwendete Einheiten:

- Treibhausgas-Emissionen (THG) in g/Fkm bzw. in g/Pkm
- Luftschadstoff-Emissionen in g/Fkm bzw. in g/Pkm
- kumulierter Energieaufwand (KEA) in kWh/Fkm bzw. in kWh/Pkm

(Fkm…Fahrzeugkilometer)

(Pkm…Personenkilometer)

[5] Durchschnittliche Besetzung Personen je Fahrzeug

3 UNTERSUCHTE TECHNOLOGIEN

Im folgenden Kapitel werden Technologieoptionen zur Energiebereitstellung wie auch für den Antrieb von Fahrzeugen beschrieben und die Annahmen für die im Folgenden durchgeführte Lebenszyklusanalyse hergeleitet.

3.1 Energiebereitstellung für Mobilität

Bruttoinlands-verbrauch

Zur Deckung des inländischen Energiebedarfs (Bruttoinlandsverbrauch) wurden im Jahr 2010 in Österreich 1.458 PJ (Verteilung der Energieträger siehe Abbildung 5) eingesetzt.[6] Der Verkehrssektor hatte daran einen Anteil von 33 %. Der Endverbrauch nahm im Verkehrssektor seit 1990 um 76 % zu. Der Energieverbrauch dieses Sektors wird zu 95 % aus Erdölprodukten gedeckt der Anteil von elektrischem Strom beträgt lediglich 5 %.

Im Jahr 2010 wurden in Österreich insgesamt ca. 9,7 Mrd. Liter Kraftstoff in Umlauf gebracht, davon ca. 2,4 Mrd. Liter Benzin und ca. 7,3 Mrd. Liter Dieselkraftstoff. Gegenüber dem Vorjahr sank die Menge an Benzin um 1,7 % und bei Diesel stieg der Verbrauch um 3,7 % an (FVMI 2011).

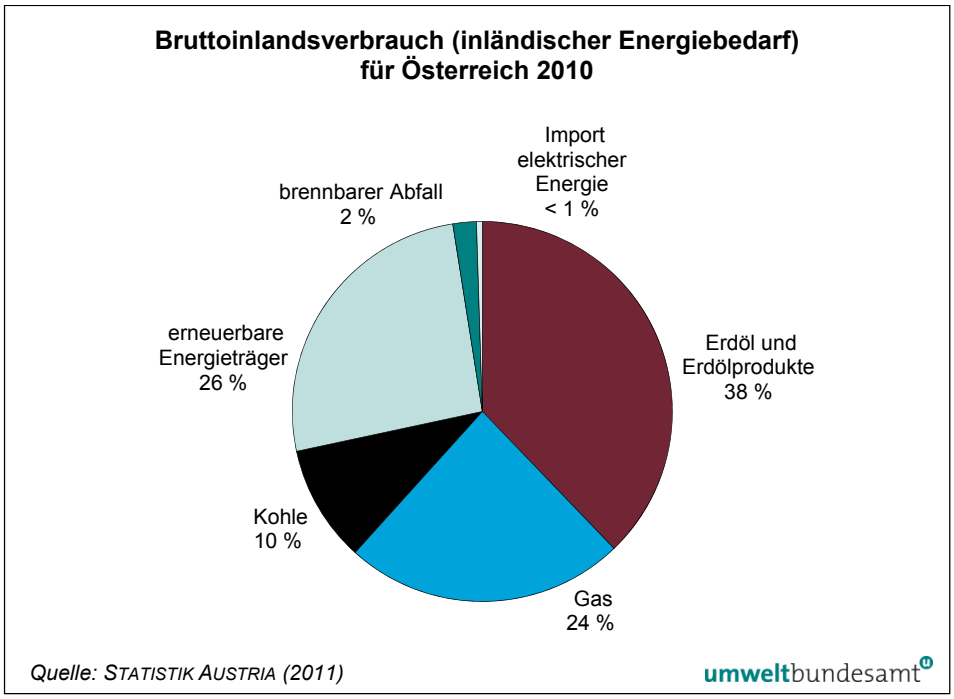


Abbildung 5: Bruttoinlandsverbrauch für Österreich im Jahr 2010 nach Energieträgern.

[6] http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/energie_austria/

3.1.1 Strombereitstellung

Stromverbrauch

Im Jahr 2010 betrug der Inlandsstromverbrauch 64.318 GWh (öffentliche Netze inkl. Pumpspeicher). In Österreich wurde eine Strommenge von 61.932 GWh erzeugt. (http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieversorgung/Documents/Energiestatus2011_Homepage.pdf, http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/statistik/dokumente/pdfs/e-control-statistikbroschuere-2011.pdf).

Die Differenz zwischen Inlandsstromverbrauch und erzeugter Strommenge wird durch Stromimporte bzw. -exporte ausgeglichen. Seit 2001 wird mehr Strom importiert als exportiert. Die Stromimporte stammen hauptsächlich aus Deutschland und der Tschechischen Republik.

Fossile Energieträger werden vermehrt durch Strom ersetzt, z. B. für Wärmepumpen oder für den Betrieb von Elektrofahrzeugen.

3.1.1.1 Strommix Österreich

85,3 % aus bekannten Energieträgern

Im Jahr 2010 wurden den österreichischen KonsumentInnen insgesamt 64.318 GWh Strom geliefert. Dieser bestand im Durchschnitt aus einem Mix aus 67,4 % erneuerbaren, 17,6 % fossilen sowie 0,4 % sonstigen Energieträgern und aus 14,7 % Strom unbekannter Herkunft. 85,3 % der gekennzeichneten Strommengen können somit mit bekannten Energieträgern ausgewiesen werden (E-CONTROL 2011a). Beim österreichischen Stromverbrauch fallen im Durchschnitt pro Kilowattstunde 154,73 g CO_2 und 0,000106 g radioaktiver Abfall an.

Stromkennzeichnung

In Österreich sind Stromlieferanten seit 2001 gesetzlich verpflichtet, die Primärenergieanteile mitzuteilen (§ 45a Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz – ElWOG). Das österreichische Stromkennzeichnungsmodell basiert auf Nachweisen. Stromhändler und -lieferanten müssen gesetzeskonforme Nachweise vorlegen. Kann für eine Strommenge kein Nachweis vorgelegt werden, so ist dieser der Kategorie „Strom unbekannter Herkunft – UCTE-Mix“ zugewiesen.

Die Herkunft des Stroms kann manchmal nicht eindeutig festgestellt werden, zum Beispiel beim Einkauf bei Strombörsen. In diesem Fall ist dieser Strom unbekannter Herkunft als „UCTE-Mix“[7] auszuweisen..

[7] *Der UCTE(Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)-Mix ist ein statistischer Näherungswert für die europaweite Zusammensetzung des Stroms.*

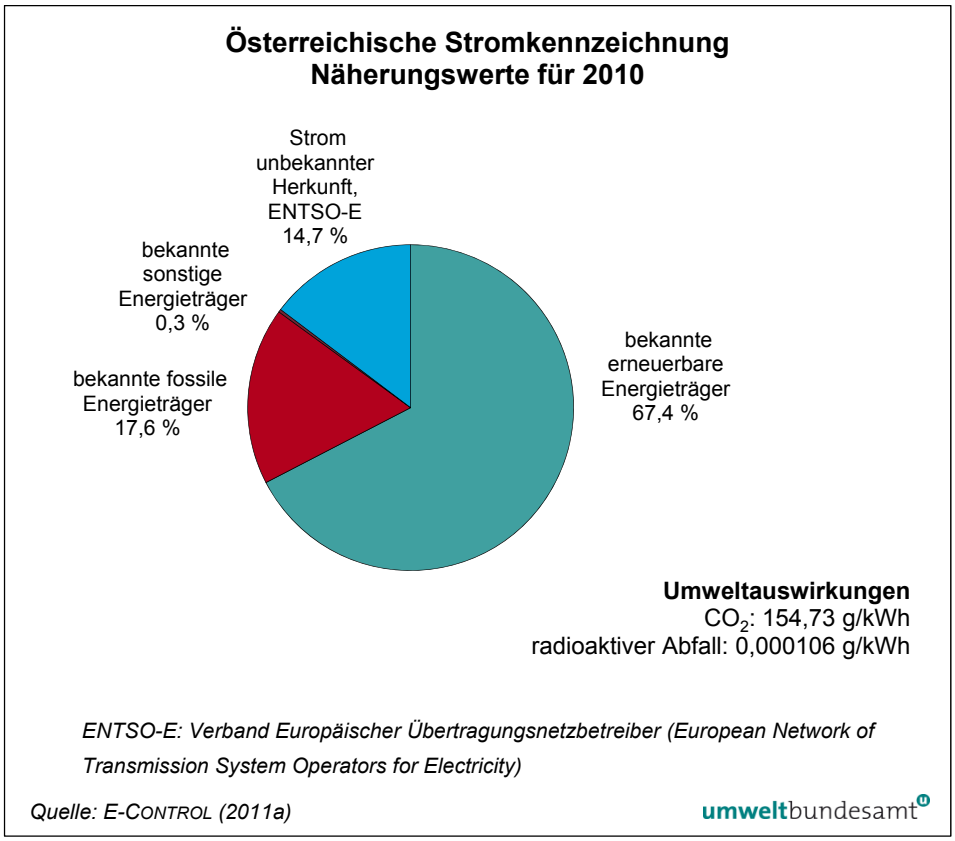


Abbildung 6: Österreichische Stromkennzeichnung für das Jahr 2010.

Strom aus Erneuerbaren

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Österreich im Jahr 2010 teilte sich auf in

- 1,4 % Biogas,
- 7,2 % Biomasse,
- 4,6 % Windkraft,
- 0,1 % Photovoltaik,
- 86,7 % Wasserkraft.

Ökostrom

Der hohe Anteil an erneuerbaren Energien (EE) von 67,4 % im österreichischen Strommix, verbunden mit vorhandenen weiteren Potenzialen und klaren Ausbauzielen, bildet eine gute Ausgangsbasis für eine forcierte Elektrifizierung des Verkehrssektors.

Ausbauziele 2020 lt. Ökostromgesetz

Im Ökostromgesetz 2012 (BGBl. I Nr. 75/2011), welches in Hinblick auf die Ziele des Klima- und Umweltschutzes sowie der Versorgungssicherheit beschlossen wurde, sind folgende Ausbauziele bis 2020 festgelegt:

- Wasserkraft 1.000 MW,
- Windkraft 2.000 MW,
- Biomasse und Biogas 200 MW,
- Photovoltaik 1.200 MW.

Das Ökostromgesetz 2012 trat mit 1. Juli 2012 in Kraft.

Nach dem Ökostromgesetz wurden im Jahr 2010 5.905 GWh gefördert und von der Abwicklungsstelle für Ökostrom AG (OeMAG) abgenommen. (http://www.bmwfj.gv.at/EnergieUndBergbau/Energieversorgung/Documents/Energiestatus2011_Homepage.pdfhttp://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/statistik/dokumente/pdfs/e-control-statistikbroschuere-2011.pdf)

gesamtheitliche Konzepte sind notwendig

Um in diesem Kontext der vieldiskutierten Thematik der Bilanzierung des Stromverbrauchs und der CO_2-Emissionen der Elektromobilität vor allem im Vergleich zur konventionellen Antriebstechnik zu begegnen, sind allerdings noch entsprechende gesamtheitliche Konzepte für die Bilanzierung notwendig, entweder auf nationalstaatlicher Ebene oder in einem größeren Maßstab.

Zweifelsfrei sinnvoll ist es, den Strombedarf der Elektromobilität im Gesamtsystem zu erfassen und als neuen zusätzlichen Verbraucher zu betrachten, der entsprechend dem Strombedarf und der Bedarfsprognosen mit neu ausgebauten, erneuerbaren Energien versorgt werden muss. Die Potenziale sind wie vorangehend beschrieben, auf absehbare Zeit jedenfalls vorhanden.

3.1.2 Photovoltaik (PV)

Unter Photovoltaik wird die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie mittels Solarzellen verstanden. Die erzeugte Elektrizität kann direkt genutzt, in Akkumulatoren gespeichert oder in Stromnetze eingespeist werden. Vor Einspeisung der Energie in Stromnetze, die mit Wechselspannung betrieben werden, ist die von den Solarzellen erzeugte Gleichspannung von einem Wechselrichter umzuwandeln.

Die Höhe der nutzbaren Sonnenenergie hängt von wechselnden Bedingungen wie Tag/Nacht, Jahreszeiten oder orts- und klimabedingten Unterschieden ab. Unter diesen wechselnden Bedingungen sind zusätzliche Speicher notwendig, um die Sonnenenergie technisch für die regelmäßige Energieversorgung nutzbar zu machen.

Aufbau einer Solarzelle

Die Solarzelle selbst besteht aus Halbleiterschichten, die jeweils so dotiert wurden, dass eine Schicht mit einem Elektronenüberschuss und eine darunterliegende mit einem Elektronenmangel entsteht. Durch Lichteinwirkung werden Ladungspaare getrennt und dem Konzentrationsgefälle folgend verschieben sich Elektronen und es entsteht an den Metallkontakten eine elektrische Spannung, die an einem Verbraucher elektrischen Strom erzeugt (siehe Abbildung 7) (VOSS 2006).

Photovoltaik – Standard-Testbedingungen

Leistungsangaben von PV-Anlagen

Die Leistungsangaben von PV-Anlagen sind immer auf die folgenden Standard-Testbedingungen bezogen, die einen Vergleich der Leistungsangaben von PV-Anlagen ermöglichen.

- Sonneneinstrahlung: 1.000 W/m²,
- Umgebungstemperatur: 25 °C,
- Luftmasse (air mass, AM) von 1,5.

Standortbedingte Abweichungen sind möglich und finden in einer Sensitivitätsbetrachtung Berücksichtigung.

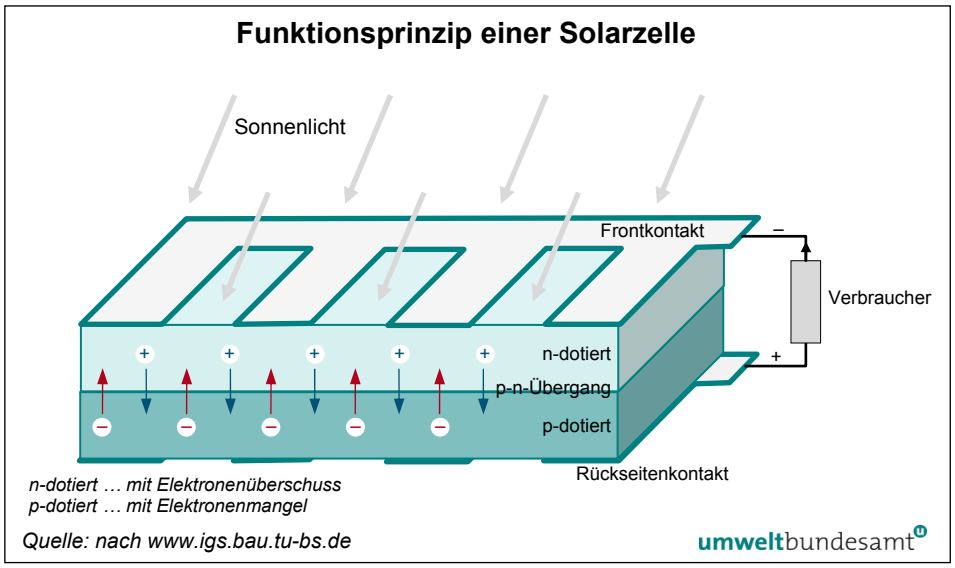


Abbildung 7: Schematische Darstellung einer Solarzelle.

PV-Module

Die PV-Module sind in der Regel hinter Hartglas in ein Kunststofflaminat und einen Aluminiumrahmen eingefasst. Zum Teil ist eine Aufständerung erforderlich. Eine Wartung der PV-Module ist nicht notwendig. Luftverschmutzungen können zu Leistungsverlusten der PV-Anlagen führen, jedoch sollte regelmäßiger Niederschlag für eine Reinigung ausreichen.

Handelsübliche PV-Module bestehen meist aus mehreren einzelnen Solarzellen, die eine Spannung von 12 V oder 24 V abgeben. Der erzeugte elektrische Strom kann entweder über Wechselrichter in das Stromnetz eingespeist werden (netzgestützte Lösung) oder der Strom wird direkt zum Laden eines Speichermediums eingesetzt.

Smart Grids – intelligente Stromnetze

Mit dem steigenden Stromverbrauch und dem höher werdenden Anteil an erneuerbaren Energien verändern sich die Anforderungen an das Stromnetz und seine Komponenten. Ein hoher Anteil Erneuerbarer bedeutet auch schwankende Stromerzeugung, zusätzlich erfolgt die Stromerzeugung und -speicherung vermehrt dezentral. Hier kommen Smart Grids ins Spiel – intelligente Stromnetze. Werden die einzelnen Komponenten – Netze, Speicher, Erzeugung und Verbraucher – aufeinander abgestimmt, lässt sich der Systembetrieb energie- und kosteneffizienter gestalten und ist zukünftigen Anforderungen gegenüber flexibler. Smart Grids lassen sich besser steuern und sind durch Stabilisierungsmechanismen zuverlässig.

Aufeinander abgestimmt lässt sich das Gesamtsystem optimieren, indem dezentrale und konventionelle Kraftwerke besser kombiniert werden und überregional besser zusammenspielen. Hier kann auch die Elektromobilität zukünftig eine Rolle spielen.

Smart Grids für Elektrofahrzeuge

Elektrofahrzeuge sollen künftig nicht nur Strom aus dem Netz entnehmen können, sondern in Zeiten großer Netzlast aus der Fahrzeugbatterie ins Netz auch wieder einspeisen. Damit könnten in Zukunft Kraftwerke für den teuren

Spitzenlaststrom in geringerem Umfang notwendig und die Grund- und Mittellastkraftwerke gleichmäßiger betrieben werden. Voraussetzung hierfür wäre eine entsprechend hohe Marktdurchdringung kompatibler Fahrzeug- und Energiespeicherkonzepte sowie geeignete Lade-/Entladestrategien.

PV-Anlagenleistung

Für das Jahr 2010 belief sich die in Österreich installierte Gesamtleistung aller Photovoltaikanlagen laut BIERMAYR et al. (2011) auf 95.598 kW_{peak} mit einer Gesamtproduktion von etwa 25.880 MWh.

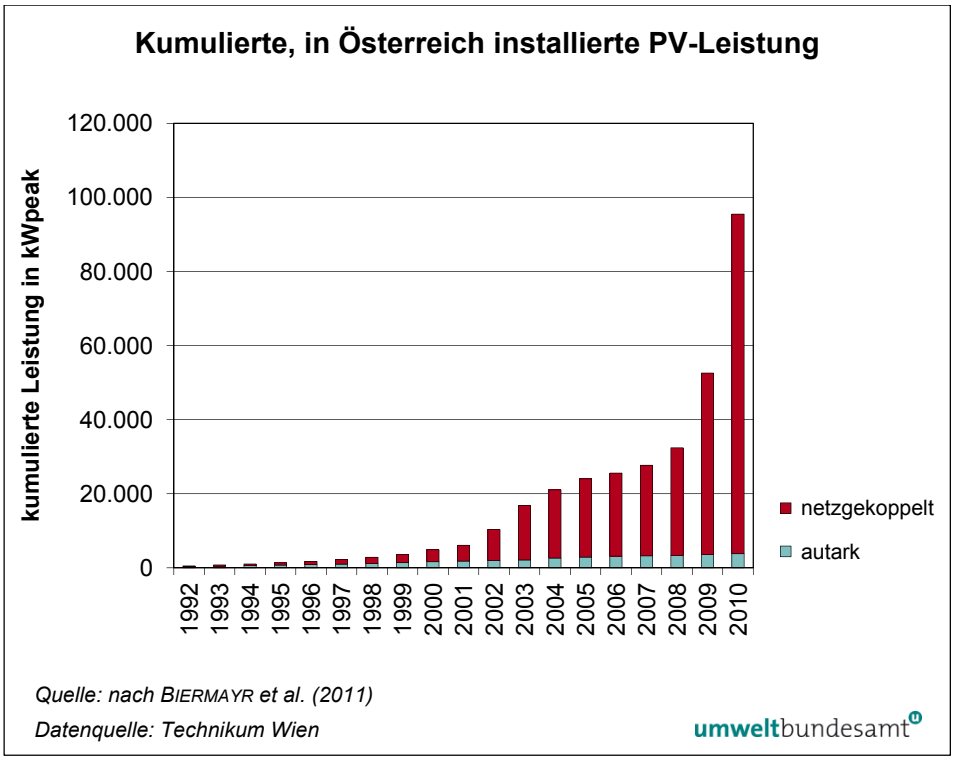


Abbildung 8: Kumulierte PV-Anlagenleistung in Österreich im Jahr 2010.

3.1.2.1 Modultechnologie

Typen von Solarzellen

Auf dem Markt erhältlich sind in erster Linie monokristalline, polykristalline und Dünnschicht-Solarzellen (amorphes Silizium, CIS[8], CdTe[9]), wobei die ersten beiden Technologien den Hauptteil der derzeit installierten PV-Module repräsentieren.

Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht den Anteil der verschiedenen Technologien an den in Österreich installierten PV-Anlagen.

[8] CIS = Kupfer-Indium-(Di-)Selenid

[9] CdTe = Cadmium-Tellurid – die Besonderheit ist, dass diese Technologie gänzlich auf den Rohstoff Silizium verzichtet

Tabelle 1: Anteile der installierten Solarzellentypen in Österreich, in % (Quelle: BIERMAYR et al. 2011).

Jahr	monokristallin	polykristallin	HIT	amorph	andere	Dünn-schicht
2008	37	53	7	1	2	
2009	32	59	7		2	
2010	53	43				4

HIT … Heterojunction with Intrinsic Thin layer. Solarzelle aus einem Verbund aus einer monokristallinen Si-Scheibe, umgeben von einer dünnen amorphen Schicht, erreicht so höhere Wirkungsgrade bis 10 % (WIKIPEDIA 2012).

monokristalline Solarzellen

Monokristalline Zellen werden aus einem hochreinen säulenförmigen Silizium-Einkristall hergestellt. Der Wirkungsgrad kann ca. 16–18 % erreichen, jedoch ist die Herstellung teuer und energieaufwändig (hohe Energierücklaufzeit) (ENERGIEROUTE 2012).

polykristalline Solarzellen

Polykristalline Solarzellen werden aus einem Silizium-Guss-Block hergestellt. Die Herstellung ist kostengünstiger als bei monokristallinen Solarzellen, jedoch verbunden mit einem geringeren Wirkungsgrad von ungefähr 14 %. Die Energierücklaufzeiten sind relativ kurz. Polykristalline Solarzellen bieten ein günstiges Preis-Leistungs-Verhältnis (ENERGIEROUTE 2012).

Dünnschicht-Zellen

Für Dünnschicht-Zellen werden heute verschiedene Halbleiterwerkstoffe verwendet. Vielversprechende Halbleiter sind amorphes (nicht kristallines) Silizium, CIS und CdTe. Diese auf ein Trägermaterial (Glas) aufgedampften oder aufgespritzten Halbleiter versprechen für die Zukunft noch größere Kosteneinsparungspotenziale, sind aber derzeit aufgrund ihrer niedrigen Wirkungsgrade (ca. 6–8 % für amorphes Silizium) noch nicht sehr verbreitet (ENERGIEROUTE 2012).

amorphes Silizium

- Amorphes Silizium: bei diesem Material reichen sehr dünne Schichten (weniger als ein Hundertstel der Dicke einer kristallinen Zelle) für die Herstellung von Solarzellen aus. Auf ein Trägermaterial wird eine Siliziumschicht aus ungeordneten Silizium-Atomen (= amorph) aufgedampft. Dies ist in der Herstellung am kostengünstigsten, der Wirkungsgrad ist mit 6–8 % jedoch vergleichsweise gering. Solarzellen aus amorphem Silizium werden schon seit vielen Jahren industriell produziert und verkauft.
- Kupfer-Indium-Diselenid & Cadmium-Tellurid.
- Kupfer-Indium-Diselenid (CIS): Mit diesem Material werden Wirkungsgrade von ca. 7,5–9,5 % erreicht.
- Cadmium-Tellurid (CdTe): Dünnschichtmaterial mit ähnlichen Vorteilen wie das CIS. Die Verbindung CdTe ist ungiftig und sehr stabil mit Wirkungsgraden von ca. 6–9 %.

Mangels ausreichender Informationen über die vorgelagerten Effekte (Produktionseffekte auf Umwelt und Energiebedarf) einzelner Materialien der Dünnschichtvarianten CIS und CdTe, wird in der vorliegenden Studie für die folgenden Emissionsberechnungen ausschließlich die Dünnschichtzelle mit amorphem Silizium weiterverfolgt. Detaillierte Informationen sind Voraussetzung für eine belastbare Ökobilanz.

3.1.2.2 Einflussfaktoren auf Energieerträge von PV-Anlagen

Für die Berechnungen werden für Österreich repräsentative Bandbreiten hinsichtlich der erzielten Energieerträge angenommen, um die Auswirkungen auf deren Gesamtbilanz darstellen zu können. Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse werden relevante und vernachlässigbare Einflussfaktoren identifiziert und bewertet.

PV-Technologie

Die verschiedenen PV-Technologien führen zu unterschiedlichen Energieausbeuten, die pro installierter Fläche zu erwarten sind.

Unter Standard-Testbedingungen erbringen monokristalline (136 W/m²) und polykristalline PV-Anlagen (129 W/m²) etwa die gleiche Leistung. PV-Anlagen aus Dünnschichtzellen erreichen mit 71 W/m² deutlich niedrigere Werte.

Dünnschichtmodule weisen bei der Erzeugung einen geringeren Material- und Energieeinsatz auf. Vor allem der geringere Bedarf an Silizium führt dazu, dass die vorgelagerten Emissionen bei der Herstellung niedriger sind als bei kristallinen PV-Zellen. Des Weiteren wird bei einem Einsatz von Dünnschichtmodulen der Effekt lichtbedingter Alterung vermieden (PARISI et al. 2004).

Bei amorphen Zellen findet eine 25 %-Degradation im ersten Jahr statt, die bereits bei den Datenangaben von Herstellern berücksichtigt ist.

Größe des PV-Moduls

Tabelle 2 zeigt das Ergebnis eines Vergleichs der jeweils abgegebenen Leistungen verschiedener Technologien, basierend auf den recherchierten Leistungsdaten von PV-Anbietern.

Tabelle 2: Vergleich der Erträge in Abhängigkeit von Technologie und Größe eines Moduls (Quelle: Umweltbundesamt).

Technologie	Leistung in W/m²	
	Fläche < 1 m²	Fläche > 1 m²
Dünnschicht	71	71
monokristallin	122	145
polykristallin	123	134

Bei den Dünnschichtmodulen kann kein Größeneinfluss festgestellt werden. Die Leistung größerer polykristalliner Module liegt um ca. 8 %, jene der monokristallinen Module um ca. 16 % über jener kleinerer Module.

Da Solarmodule für Hausdächer meistens größer als 1 m² sind, werden für die Berechnung die höheren Leistungen herangezogen.

Standort des PV-Moduls

Da die Herstellerangaben auf Messungen unter standardisierten Bedingungen basieren, entspricht die Peak-Leistung nicht der Leistung unter realen Einstrahlungsbedingungen bzw. setzt diese auch nicht in Kontext mit der tatsächlichen Stundenanzahl (pro Jahr), in der die PV-Anlagen Strahlungsenergie der Sonne beziehen.

Strahlungsintensität

Die Strahlungsintensität variiert mit der Jahreszeit und erreicht in Mitteleuropa ihren Höhepunkt in den Sommermonaten. In Österreich liegt die durchschnittliche Sonneneinstrahlung bei rund 1.100 kWh/m²a[10]. Die höher gelegenen Gebiete Österreichs erreichen Werte über 1.400 kWh/m²a.

Die nachfolgenden Berechnungen nehmen für die Sonneneinstrahlung als Standard einen Mittelwert von 1.200 kWh/m²a an. Für die Sensitivitätsbetrachtung wird die Sonneneinstrahlung zusätzlich variiert und als schlechter Standort werden 1.000 kWh/m²a sowie als guter Standort 1.400 kWh/m²a gewählt, da sie die Ober- bzw. Untergrenze der jährlichen solaren Strahlungsenergie in Österreich darstellen.[11]

Betriebstemperatur

Berücksichtigung des Leistungsabfalls

Die optimale Betriebstemperatur von Solarmodulen liegt bei 25 °C. Eine Abweichung davon vermindert die Leistung. Bei gängigen Siliziumzellen beträgt der Leistungsabfall rund 0,4 % pro °C, bei hochqualitativen 0,35 %. Höhere Sonneneinstrahlung (z. B. am Äquator) führt somit zu höheren Erträgen. Die tatsächlichen Temperaturverluste sind jedoch hauptsächlich von der Art der Montage abhängig (LUTZ 2005).

Sind die Solarzellen mit Lüftungs-Zwischenraum zur Befestigungsoberfläche montiert, so vermindern sich die Verluste. So betragen die Temperaturverluste ohne derartige Kühlung bis zu 10 %, bei einem Abstand von 5 cm vom Montageuntergrund verringern sie sich auf 5 % und ab einem Abstand von 15 cm und mehr auf nahezu 0 %.

Für die Lebenszyklus-Berechnungen wird ein Leistungsabfall von 5 % durch Abweichung von der optimalen Betriebstemperatur (25 °C) angenommen.

Ausrichtung der PV-Anlage

Südrichtung bei 30° optimal

Die Erträge hängen auch von der Ausrichtung der Solarzelle in Sonnenrichtung ab. Das ideale Objekt ist nach Süden ausgerichtet und hat eine Neigung von 30°. Abweichungen vom Ideal führen innerhalb gewisser Toleranzen nur zu geringfügigen Ertragsreduzierungen. Ganz entscheidend für den Ertrag der PV-Anlage ist die Vermeidung von Verschattungen der Solarmodule. Schon kleine Verschattungen bringen überproportionale Ertragseinbußen mit sich (REGIO 2005).

---

[10] Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr

[11] Die Leistung der Sonneneinstrahlung kann nicht unmittelbar genutzt werden sondern verringert sich durch Faktoren wie Betriebstemperatur, Ausrichtung, Wirkungsgrad, Wechselrichter, Verminderung des Wirkungsgrades durch Alterungseffekte etc.

Tabelle 3: Auswirkung von Modulausrichtung und Modulneigung auf die Leistung (Quelle: http://www.se-system.de).

Modulausrichtung & Modulneigung		Neigung				
		10°	**20°**	**30°**	**40°**	**50°**
Ausrichtung	Süd (0°)	97 %	99 %	100 %	99 %	95 %
	Südost oder Südwest (+/– 45°)	94 %	95 %	95 %	90 %	88 %
	Ost oder West (+/– 90°)	90 %	88 %	85 %	83 %	80 %

Technologische Entwicklung

PV-Anlagen nach dem heutigen Stand sind leistungsfähiger als ältere und weisen einen geringeren Leistungsabfall über die Zeit auf (BINE INFORMATIONSDIENST 2003).

mögliche Wirkungsgrade

Liegen derzeit die Wirkungsgrade noch bei maximal 20 %, so erreichen sie in den Forschungslabors bereits 35 % und mehr. Theoretische Berechnungen lassen Wirkungsgrade bis zu maximal 80 % für die Zukunft erwarten (BRAUNER 2008).

Alterung

Browning & Degradation

Das UV-Licht der Sonne sorgt für eine Lichtalterung und führt zu einem Ausbleichen der Zellen (Browning) und einer geringen Leistungsabnahme (Degradation). Bei der witterungsbedingten Alterung kommt es selten zu Schäden an der Kunststoffeinkapselung der Zellen (Zellkorrosion).

25 Jahre alte Module mit sichtbaren Alterungserscheinungen (wie z. B. Browningeffekten und Zellkorrosion) erbringen immer noch durchschnittlich 75 % ihrer ursprünglichen Leistung. Nach Recherchen und Untersuchungen des TÜV Rheinland (HASELHUHN 2005) liegt die mittlere jährliche Degradation bei unter 0,5 %.

Bei neuen Modulen kommt es zu einer Anfangsdegradation, wenn sie erstmals dem Sonnenlicht ausgesetzt sind. Sie beträgt bei kristallinen Zellen bis zu 2 %, danach ist die Degradation sehr gering. Solange das Laminat[12] dicht ist, altern die Zellen kaum. Wenn das Laminat mechanisch beschädigt wird oder sich altersbedingt auflöst, dringen Luft und Feuchtigkeit in das Modul ein. Das führt dann zu dessen beschleunigter Alterung (HASELHUHN 2005).

Im Anhang sind Leistungsdaten der im Bericht betrachteten PV-Module zusammengestellt. Die meisten Hersteller geben eine 90%ige Leistungsgarantie auf 10 Jahre und eine 80%ige auf 20 bzw. 25 Jahre an.[13]

Für die weiteren Berechnungen wird eine Leistungsabnahme auf 80 % der Nennleistung in einem Zeitraum von 23 Jahren angenommen.

[12] Werkstoff, der zur Kapselung von Modulen dient, z. B. Ethylenvinylacetat (EVA) oder Tedlar. Beim Laminieren wird das Modul in durchsichtige Folien eingeschweißt.

[13] Allerdings unterliegt auch die Nennleistung einer Toleranz von bis zu +/– 10 %.

3.1.2.3 Spezifische Erträge von PV-Anlagen

Die Energieerträge der untersuchten PV-Anlagen variieren in Abhängigkeit von den unter Kapitel 3.1.2.2 angeführten Einflussgrößen. Die folgenden Kapitel beschreiben weitere untersuchte Größen.

3.1.2.4 Energie- und Materialeinsätze von PV-Anlagen

Die Herstellung von PV-Anlagen benötigt Energie und Rohmaterial. GEMIS-Österreich bietet in der Datenbank detaillierte Basisinformationen, die es ermöglichen, die kumulierten THG-Emissionen zu berechnen. Mit Hilfe der in den vorherigen Kapiteln ermittelten Daten betreffend Leistung, Wirkungsgrad, Lebensdauer etc., gewonnen aus ExpertInneninterviews und Literatur- bzw. Internetrecherche, werden die vorhandenen Basisinformationen aktualisiert und erweitert. Ein Schwerpunkt liegt gemäß Aufgabenstellung in der Adaption der vorhandenen Daten um österreichspezifische Inhalte wie z. B. Berücksichtigung der Strahlungsintensität nach Standorten.

Als Grundlage für einen Abgleich der GEMIS-Datenbank diente speziell eine den Materialeinsatz betreffende Publikation (TUTTLE et al. 2005).

3.1.2.5 Weitere Komponenten von PV-Anlagen

Der von den Modulen abgegebene Gleichstrom muss zunächst über einen Wechselrichter auf Wechselspannung gebracht werden, um in das lokale Stromnetz gespeist zu werden. Des Weiteren benötigen PV-Module Montagesysteme, die meist aus Aluminium- oder Blechrahmen bestehen, um diese auf den gewünschten Oberflächen (v. a. Dächer) zu befestigen.

Wechselrichter

durchschnittlicher Wirkungsgrad

Der durchschnittliche Wirkungsgrad recherchierter Wechselrichter liegt bei 95,3 %. Die Garantiedauer der Hersteller reicht von 5–7 Jahren, die tatsächliche Lebensdauer liegt über den Herstellerangaben (bis zu 30 Jahre). (SOLARENERGIE-NOE 2007)

Die untersuchten Anlagenleistungen reichen von ca. 2–10 kW, das Gewicht von Wechselrichtern umfasst 15–35 kg. Der durchschnittliche Wechselrichter hat ein angenommenes Gewicht von 25 kg.

Der Hauptteil der Masse eines gewöhnlichen Wechselrichter ist die Kupferspule (Annahme 80 %). Dazu kommen noch andere Materialien wie Kunststoff und Eisen; beiden Komponenten wird ein Anteil von 10 % der Masse zugewiesen.

Für die vorliegende Studie wird angenommen, dass Gleichrichter gleiche Materialeinsätze und Wirkungsgrade aufweisen wie Wechselrichter.

Montagesysteme

verwendete Werkstoffe

Montagesysteme sind stark vom Untergrund (hauptsächlich Dächer), auf dem die PV-Module angebracht werden, abhängig. Aufwendige Konzepte können sich z. B. aus Abdeckblechen, Bleibändern, Auflageprofilen, Firnstücken und diversen Schraubsätzen zusammensetzen, während einfache Ausführungen aus wenigen Klemmen bestehen. Verwendete Werkstoffe sind meist Bleche, Edelstahl und Aluminium.

Bei einer Montage auf den Dächern kommen vorwiegend Blechteile zum Einsatz. Bei Montage im Dach selbst (In-Dach-Konstruktion) werden Aluminium, Edelstahl und Bleche verwendet. Soll das PV-Modul auf einem Flachdach eingesetzt werden, dann werden zusätzlich Winkelprofile eingesetzt.

Im Rahmen der Studie werden folgende Komponenten pro m² PV-Modul angesetzt: 1 kg Aluminium, 1 kg Blech und 0,2 kg Edelstahl.

Die Lebensdauer der Trägersysteme wird mit jener von PV-Modulen gleichgesetzt.

3.1.2.6 Annahmen zu Photovoltaik Anlagen für die Ökobilanzierung

Nachfolgend sind die berücksichtigten Varianten bzw. Annahmen zusammenfassend dargestellt:

Technologie: Es werden alle drei derzeit verfügbare Technologien (monokristalline, polykristalline und Dünnschichtmodule) untersucht. Die recherchierten Wirkungsgrade liegen bei 14,5 % für monokristalline, bei 13,4 % für polykristalline und bei Dünnschichtmodulen bei 7,1 %.[14] Als Basis wird die monokristalline Technologie herangezogen, die weiteren Technologien werden in der Sensitivitätsanalyse berücksichtigt.

Größe: Es werden die Durchschnittswerte für PV-Module größer 1 m² angesetzt.

Standort: Als Standard für die Berechnungen wird mit 1.200 kWh/m²a eine mittlere Sonneneinstrahlung angenommen. Die Sensitivitätsanalyse betrachtet zusätzlich einen schlechten Standort mit 1.000 kWh/m²a und einen guten Standort mit 1.400 kWh/m²a. Dies stellt die Ober- und Untergrenze sowie den Mittelwert österreichischer Standorte dar.

Betriebstemperatur: Die als realistisch angesehene Größe von 5 % temperaturabhängige Leistungseinbuße wird in den Berechnungen berücksichtigt.

Ausrichtung der PV-Module: Es wird in weiterer Folge ein Leistungsminderung von 5 % angenommen, da neben einer suboptimalen Ausrichtung auch die Abdeckung durch Gegenstände (z. B. Rauchfang, Bäume etc.) zu berücksichtigen ist.

Alter: Zur Berücksichtigung der altersbedingten Leistungseinbußen (Browning etc.) wird die durchschnittliche von Herstellern garantierte Leistung von 80 % übernommen.

Lebensdauer: Die durchschnittlich garantierte Lebensdauer der untersuchten PV-Module beträgt 23 Jahre. Die Literaturrecherche zeigt allerdings, dass bereits ältere PV-Module eine Lebensdauer von 30 Jahren erreichen und sogar überschreiten können. Daher wird eine Lebensdauer von 30 Jahren in der Sensitivitätsanalyse betrachtet.

[14] ergibt sich aus den durchschnittlichen Leistungserträgen bei Standard-Testbedingungen

3.1.3 Windkraft

Die Luftmassen unserer Atmosphäre sind ständig mehr oder weniger stark in Bewegung. Ausgelöst wird dies durch die Erdrotation und thermische Effekte der Sonneneinstrahlung. Diese kinetische Energie wird mit Hilfe von Windkraftanlagen in elektrische Leistung umgesetzt.

Ausbau der Windkraft

Seit dem Jahr 2003 steigt die Stromerzeugung aus Windkraft stark an. Laut Ökostromgesetz (i.d.F. BGBl I Nr. 104/2009) ist der weitere Ausbau der Windkraft bis zum Jahr 2015 im Ausmaß von 700 MW bzw. 1.500 GWh geplant. In der Österreichischen Energiestrategie (BMWFJ & BMLFUW 2010) ist der Ausbau von 1.400 MW bis zum Jahr 2020 vorgesehen.

Mit Ende 2011 sind Anlagen mit 1.084 MW Windkraft in Betrieb. In Österreich liegen die Schwerpunkte der Windenergienutzung in Niederösterreich und dem Burgenland (E-CONTROL 2011b, IG WINDKRAFT 2012)

Tabelle 4: Ausbau der Windkraft in Österreich (Quelle: IG WINDKRAFT 2012).

Jahr	installierte Leistung	errichtete Leistung	durchschn. Anlagengröße der Neuinstallationen
	MW	MW	MW
1995	0,77	1	0,168
2000	79	37	0,966
2005	817	218	1,861
2010	1.013	18	2,188
2011	1.084	73	2,224

Tabelle 5: Windkraft-Anlagen bis Ende 2010 (Quelle: E-CONTROL 2011b).

Bundesland	Anzahl Windparks	Anzahl Windräder
Burgenland	47	402
Niederösterreich	154	609
Steiermark	16	68
Oberösterreich	15	31
restliche Bundesländer	11	15
kumuliert	**243**	**1.125**

Mit Windkraft-Anlagen wurden im Jahr 2010 in Österreich 2.019 GWh Strom erzeugt – ein Anteil von ca. 3,7 % des an Endverbraucher abgegebenen Stroms aus öffentlichen Netzen.

3.1.4 Biokraftstoffe

Biokraftstoffe werden aus Biomasse sowohl aus der Land- und Forstwirtschaft als auch aus Reststoffen aus Gewerbe und Haushalten hergestellt. Sie werden aus Klimaschutzgründen sowie zur Erhöhung der Unabhängigkeit von fossilen Energieimporten eingesetzt und erzeugen teils deutlich weniger Treibhausgas-Emissionen als Diesel- oder Ottokraftstoffe.

nachhaltige Produktion

Der Biomasseanbau – und somit auch der Biokraftstoffeinsatz – kann jedoch auch negative Konsequenzen für die Umwelt haben. Führt der Anbau von Rohstoffen zu einer Gefährdung oder Zerstörung wertvoller Ökosysteme, zu verstärkter Düngung oder dem Einsatz gentechnisch veränderter Organismen, kann die Umweltbilanz negativ ausfallen. Verbindliche und nachprüfbare Kriterien für eine nachhaltige Produktion sind somit unerlässlich und auch seitens der EU-Gesetzgebung erforderlich. Eine Systematik zur Erfassung der Nachhaltigkeitskriterien wird seitens der Richtlinie Erneuerbare Energien (RL 2009/28/EG) vorgegeben und befindet sich derzeit in Europa in Umsetzung.

Biodiesel

Zu den bekanntesten Biokraftstoffen zählt der Biodiesel, ein Fettsäuremethylester (FME), der in Österreich vor allem aus Raps- (RME) oder Sonnenblumenöl hergestellt wird. Biodiesel kann in reiner Form angewendet werden, aber auch fossilem Diesel beigemischt werden.

Ethanol

Daneben gibt es auch für Benzin biogene Substitute, die beigemengt werden können. Etwa Ethanol oder das zur Erhöhung der Oktanzahl verwendete Additiv Ethyl-tert-Butylether (ETBE), welche aus stärke- bzw. zuckerhaltigen Rohstoffen wie z. B. Weizen oder Zuckerrüben hergestellt werden können.

Biogas

Auch mit Biogas können Fahrzeuge betrieben werden. Biogas wird entweder auf Erdgasqualität aufbereitet und über das Erdgasnetz verteilt oder ohne Aufbereitung an autarken Inseltankstellen vertrieben.

Substitutionsziele

Die Ziele für den Einsatz von Biokraftstoffen im Verkehrssektor nach 2010 wurden in der Richtlinie zur Förderung Erneuerbarer Energieträger (RL 2008/0016/COD) definiert – diese Ziele haben verbindlichen Charakter. Die Mitgliedstaaten haben lt. RL 2009/28/EG bis 2020 einen Mindestanteil von 10 % des Energieeinsatzes im Verkehrssektor durch erneuerbare Energieträger zu substituieren (sektorales Ziel). Zur Zielerreichung können Biokraftstoffe, welche gewisse Kriterien der Nachhaltigkeit erfüllen, sowie Strom aus erneuerbaren Quellen herangezogen werden. Die Kriterien, welchen Biokraftstoffe genügen müssen, umfassen neben einem Mindestreduktionsziel an Treibhausgas-Emissionen auch Verbotszonen für den Rohstoffanbau, wie z. B. Regenwälder oder Feuchtwiesen.

3.1.4.1 Erdgas/Bio-Methangas

Methangas ist primär ist ein fossiler Energieträger, der meist zusammen mit Erdöl aus unterirdischen Lagerstätten gewonnen wird. Die Bedeutung als Kraftstoff im Verkehrssektor ist derzeit von nur untergeordnetem Stellenwert. Aufgrund der günstigen Eigenschaften in Bezug auf Luftschadstoff-Emissionen wird Erdgas jedoch ein höherer Stellenwert für die zukünftige Energieversorgung des Verkehrssektors beigemessen.

Für den Einsatz sind spezielle Adaptionen an Benzinfahrzeugen notwendig. Mittlerweile haben bereits fast alle Autohersteller auch serienmäßige Erdgasfahrzeuge in ihrem Programm.

Biogas kann aus Abfällen und Reststoffen, aber auch aus Früchten (etwa Silomais) gewonnen werden. Für den Einsatz im Fahrzeug kommen aus hygienischen und Kostengründen während der Aufbereitung derzeit v. a. Gülle und Energiepflanzen als Ausgangsstoffe für Biogas in Frage.

gute Kraftstoffausbeute und geringe THG-Emissionen

Bei der Gestehung von Biogas kann die ganze Pflanze genutzt werden und nicht nur die Frucht (Korn, Ölsaat). Damit erzielt Biogas eine höhere Kraftstoffausbeute pro Hektar als flüssige Biokraftstoffe und hat vergleichsweise niedrige THG-Emissionen entlang der Prozesskette. Auch die bei der direkten Nutzung im Fahrzeug anfallenden Luftschadstoff-Emissionen liegen im Vergleich zu flüssigen Kraftstoffen teilweise günstig. Wegen fehlender infrastruktureller Einrichtungen sowie der Wirtschaftlichkeit der Herstellung und Verteilung bleiben die derzeitigen Mengen des im Verkehrssektor eingesetzten Biogases gering.

Aufbereitetes Biogas hat Eigenschaften wie Erdgas und kann in allen Erdgasfahrzeugen eingesetzt werden. Voraussetzung ist die Aufbereitung auf Erdgasqualität.

In Österreich gibt es aktuell etwa 170 Erdgas-Tankstellen sowie einige dezentrale Biogas-Tankstellen.

3.1.4.2 Bioethanol/E85 Superethanol

Bioethanol wird aus Biomasse und/oder biologisch abbaubaren Teilen von Abfällen hergestellt. Ethanol kann in reiner Form oder in Mischungen mit Benzin verwendet werden. Aus Ethanol wird auch Ethyl-tert-Butylether (ETBE) gewonnen, welches als Additiv Ottokraftstoffen zugesetzt werden kann (zur Verbesserung der Klopffestigkeit). „Bio-ETBE“ ist auf der Grundlage von Bioethanol hergestellt, mit einem anrechenbaren Biokraftstoffvolumenprozentanteil von 47 %.

weitere Einsatzgebiete

Während der Biokraftstoff derzeit hauptsächlich in Verbrennungskraftmaschinen in Kraftfahrzeugen Verwendung findet, könnte er zukünftig auch in Flugzeugmotoren und Brennstoffzellen eingesetzt werden. Es gibt jedoch auch Bestrebungen, ein Ethanol-Dieselkraftstoffgemisch in Form einer Emulsion auf den Markt zu bringen. Derzeit gültige Kraftstoffnormen ermöglichen eine Beimengung von Ethanol bis 5 %, von ETBE bis 15 % (jeweils gemessen am Volumen).

Überwiegend gibt es am österreichischen Markt die Kraftstoffsorte E85 Superethanol mit einem höheren Bioethanolanteil von durchschnittlich etwa 75 %, womit sogenannte E85-Fahrzeuge betrieben werden.

Das Tankstellennetz für E85 ist mit etwa 30 Tankstellen im ostösterreichischen Raum aktuell noch wenig ausgebildet.

3.1.4.3 Biodiesel

Biodiesel kann entweder in reiner Form oder beigemischt in den Verkehr gebracht werden.

Das Ziel der Biokraftstoff-Richtlinie wird in Österreich in erster Linie durch die Beimischung von Biodiesel erreichbar sein. Zum einen ist Österreich ein klassisches Dieselland (aktuell sind annähernd 50 % der Neuzulassungen Dieselfahrzeuge), zum anderen wird Biodiesel in Österreich bereits seit 2003 produziert (rund 370.000 t im Jahr 2010). Zusätzlich wird der gesamte Offroad-Verkehr (Traktoren, Baumaschinen etc.) mit Diesel betrieben.

Eine Beimischung bis zu 7 Vol.-% (B7) ist ohne Kennzeichnungspflicht möglich und stellt für die österreichische Dieselflotte aus technischer Sicht kein Problem dar, denn gemäß Vereinbarung der Kraftfahrzeughersteller ist sie in jedem Fahrzeug einsetzbar (auch wenn für das jeweilige Fahrzeug keine Biodiesel-Freigabe besteht).

Biodiesel aus Ölpflanzen

Biodiesel, der aus Ölpflanzen erzeugt wird, wird als FAME (Fatty Acid Methyl Ester) bzw. Fettsäuremethylester (FME) bezeichnet. Theoretisch ist jede Ölpflanze als Ausgangsmaterial möglich, in Österreich werden dazu in erster Linie Raps oder Sonnenblumen angebaut. Aus einem Hektar Rapsanbau können etwa 1.000 Liter Biodiesel gewonnen werden. Daneben gibt est noch hydrierte Pflanzenöle (HVO – Hydrogenated oder Hydrotreated Vegetable Oils), welche durch eine katalytische Reaktion mit Wasserstoff (Hydrierung) in Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden. Durch diesen Prozess werden die Pflanzenöle in ihren Eigenschaften an fossile Kraftstoffe (insbesondere Dieselkraftstoff) angepasst, damit sie diese als Beimischung ergänzen oder auch vollständig ersetzen können.

Von den in Österreich eingesetzten Biokraftstoffen ist Biodiesel mengenmäßig am bedeutendsten. 2010 wurden insgesamt rd. 500.000 t in Verkehr gebracht, etwa 430.000 t wurden den fossilen Kraftstoffen beigemischt, ca. 75.000 t wurden als purer Biokraftstoff bzw. als Dieselkraftstoff mit einem höheren, nicht normkonformen Biokraftstoffanteil (z. B. über Betriebstankstellen von Flottenbetreibern) im österreichischen Verkehrssektor eingesetzt. Neben privaten Betriebstankstellen gibt es etwa 60 öffentliche Tankstellen, die Biodiesel in reiner Form (B100) anbieten.

3.1.4.4 THG-Emissionen und alternative Kraftstoffe

nachhaltig produzierte Biokraftstoffe

Die Richtlinie über erneuerbare Energien ist als Nachfolgedokument der Biokraftstoffrichtlinie zu betrachten – sie definiert neben dem übergeordneten Ziel für erneuerbare Energieträger ein Subziel für den Verkehrssektor von 10 % bis 2020. Die Richtlinie definiert verschiedene Nachhaltigkeitsanforderungen für die Herstellung der Biomasse (Rohstoff für Biokraftstofferzeugung), wie z. B. auch Mindesteinsparungen an THG-Emissionen entlang der Produktionskette im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen. So müssen Biokraftstoffe ab 2010 Minderungen von mindestens 35 %, ab 2017 von mindestens 50 % erzielen (Neuanlagen ab 2017 sogar 60 %). Biokraftstoffe dürfen nur dann zur nationalstaatlichen Zielerreichung angerechnet werden, wenn sie die Auflagen erfüllen.

THG-Reduktion

Die Richtlinie zur Qualität von Kraftstoffen (RL 2009/30/EG) sieht vor, dass Anbieter von Kraftstoffen die Treibhausgas-Emissionen, welche während Herstellung, Transport und Nutzung entstehen, bis 2020 um bis zu 10 % senken sollen; davon 6 % verbindlich. Weitere 4 % können auf freiwilliger Basis über den verstärkten Einsatz von Elektromobilität, CCS[15] oder der Beteiligung an CDM[16]-Projekten erzielt werden.

Die Reduzierungen könnten neben effizienzsteigernden Maßnahmen entlang der Produktionskette – wie z. B. durch weniger Abbrennen von Restgasen bei der Ölförderung und -verarbeitung – auch durch die Verwendung von mehr Biokraftstoffen erreicht werden.

[15] CCS: Carbon Capture and Storage (CO_2-Abscheidung und -Speicherung)

[16] CDM: Clean Development Mechanism

voraussichtliche Entwicklungen

Da die Beimengung von Bio- zu fossilen Kraftstoffen aktuell die wirksamste Maßnahme zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen im Verkehrssektor darstellt, sind folgende zukünftige Entwicklungen zu erwarten:

- Biokraftstoffe aus Alt- und Reststoffen (Altspeiseöl Biodiesel, Biogas aus Gülle etc.) werden primär eingesetzt werden, da sie eine sehr gute Ökobilanz und damit hohe Reduktionen aufweisen.
- Biokraftstoffe mit besserer Ökobilanz werden von den Anbietern jenen Biokraftstoffen, die das 35 %-Ziel nur knapp erreichen, vorgezogen werden.
- Die Emissionen von Biokraftstoffen werden im Allgemeinen sinken (müssen). Dies geschieht durch gezielte Rohstoffnachfrage – dort, wo die Anbauemissionen durch geringere Düngemittelgaben und höhere Erträge geringer sind – und die Weiterentwicklung von günstigen Technologien und Biokraftstoffen der zweiten Generation sowie Biogas.

Gleichzeitig ist als langfristiger Trend mit einer Erhöhung der Bereitstellungsemissionen von fossilen Kraftstoffen zu rechnen, da anstelle der konventionellen Fördermethoden verstärkt Alternativen angewandt werden müssen (Off-Shore Förderung, Rohöl aus Ölschiefern oder Ölsanden).

3.1.4.5 Bilanzierung von Koppelprodukten

Bei der Verarbeitung und Veredelung von landwirtschaftlichen Produkten zu Biokraftstoffen fallen Nebenprodukte an. Diese können einer stofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden. Die Nutzungspfade von Nebenprodukten sind vielfältig, die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Ökobilanzergebnisse ebenfalls.

Koppelprodukte

Sogenannte Koppelprodukte, die neben dem Produkt anfallen, spielen eine gewichtige Rolle, da deren Verwendung die Produktion gleichwertiger Produkte wie z. B. Tierfutter, Düngemittel oder Glycerin substituieren. Dies führt rechnerisch zu einer Reduktion um jene Emissionsmenge, die bei der Produktion der Koppelprodukte anfallen würde.

So entsteht beispielsweise neben der Produktion von Bioethanol als Nebenprodukt ein hochwertiges Eiweißfutter, das als Futtermittel Verwendung findet, welches z. B. Sojaimporte aus Lateinamerika vermeidet. Bei der Produktion von Biodiesel entsteht Bioglycerin, welches – in der Pharmaindustrie eingesetzt – aufwendig produziertes Glycerin aus fossilen Rohstoffen substituiert (Substitutionsmethode).

Um bei der Problematik der Zuordnung von Koppelprodukten zu der tatsächlichen Verwendung und damit zu einer klaren Aussage zur Emissionsreduktion zu gelangen, gibt es einen Ansatz zur Berechnung von THG-Emissionen und zum Umgang mit Koppelprodukten. Dieser ist in der EU-Richtlinie 2009/28/EG beschrieben und wird zur Bewertung von Nebenprodukten vorgeschlagen.

Allokationsvarianten

Es können unterschiedliche Allokationsvarianten gewählt werden:

- **Substitutionsmethode**: Die Nutzung von Nebenprodukten führt zu einer Einsparung der bisherigen Produktionsmengen (z. B. Glycerin aus der RME-Produktion ersetzt Glycerin aus fossilen Ressourcen).
- **Energetische Allokation**: Die Koppelproduktmengen werden mit dem jeweiligen Heizwert multipliziert. In dem daraus resultierenden Verhältnis zwischen den Outputmengen von Biokraftstoff und den Nebenprodukten werden die

vorgelagerten Prozessemissionen aufgeteilt. Diese Methode wird für die Berechnung der THG-Emissionen gem. der Richtlinien 2009/28/EG und 2009/30/EG festgesetzt und ist daher zum Zwecke der Biokraftstoff-Zielerfüllung verbindlich anzuwenden.

- **Monetäre Allokation**: Die Emissionen werden nach den am Markt üblicherweise zu erzielenden Preisen alloziert.
- **Ohne Allokation**: Die Nebenprodukte werden in der Ökobilanz mengenmäßig berücksichtigt, führen jedoch zu keinen Substitutionseffekten. Sämtliche Prozessemissionen werden dem Biokraftstoff angelastet.

In der vorliegenden Studie wird – auch aufgrund der Vorgaben durch einschlägige Richtlinien – der Ansatz der energetischen Allokation verfolgt.

3.1.5 Wasserstoff

Wasserstoff kommt in der Natur nur in gebundener Form vor und muss erst durch den Einsatz von Energie gewonnen werden, um in elementarer Form (H_2) verfügbar zu sein. Die Verfahren zur Herstellung werden nach der Art des Energieträgers (primär oder sekundär) unterschieden.

Primär-Energieträger

Die Erzeugung aus Primär-Energieträgern erfolgt hauptsächlich aus fossilen Quellen über Erdgasreformierung, partielle Oxidation von Schweröl (Diesel) oder Vergasung von Kohle. Wasserstoff kann aber auch aus Biomasse, wie z. B. Holz und Biogas durch Reforming gewonnen werden.

Sekundär-Energieträger

Die Erzeugung von Wasserstoff mit Sekundär-Energieträgern erfolgt über die Wasserelektrolyse und als Nebenprodukt bei der Chlorherstellung. Die Wasserelektrolyse ist unabhängig vom Primärenergieträgereinsatz und wird somit langfristig als das wesentliche Standbein einer regenerativen Wasserstoffenergiewirtschaft gesehen.

Derzeit ist Wasserstoff als alternativer Kraftstoff im Verkehrssektor noch sehr weit von einer Markteinführung entfernt. Nahezu sämtliche infrastrukturelle Einrichtungen, die für eine Etablierung des Kraftstoffs im Verkehrssektor notwendig wären, wie Wasserstoff-Produktion, -Transport, -Verteilung und Speicherung, sind in Österreich beziehungsweise auch international nicht vorhanden.

3.2 Fahrzeug- und Antriebsarten

modellierte Fahrzeugvarianten

Die für die Berechnung modellierten Fahrzeugvarianten entsprechen im Wesentlichen einem österreichischen Durchschnittsfahrzeug des Modelljahrgangs 2010, d. h. einem Fahrzeug der Kompakt- bzw. Mittelklasse.[17]

Das modellierte Elektrofahrzeug entspricht in seiner segmenttypischen Ausprägung einem Kleinst- bzw. Kleinwagen.

[17] Segmentierung gemäß EU-Kommission:
http://ec.europa.eu/competition/mergers/cases/decisions/m1406_en.pdf

Berücksichtigung für die Dimensionierung findet jeweils der Materialeinsatz entsprechend der Antriebsstrangausprägung der verschiedenen Fahrzeugkonzepte.

untersuchte Energiebereitstellung

Für die Bilanz werden die betrachteten Fahrzeugkonzepte mit unterschiedlichen Varianten der Energiebereitstellung mit konventionellen Fahrzeugen verglichen. Zusätzlich wird der Einsatz von alternativen und biogenen Kraftstoffen berücksichtigt.

Bei der Beschreibung jeder Fahrzeugkategorie sind die Fahrzeugbezeichnungen angegeben, wie sie in den Ergebnis-Diagrammen verwendet werden.

Eine Liste mit umfassenden Angaben zu allen Fahrzeugvarianten findet sich im Anhang.

Fahrzeugkonzepte und Varianten der Energiebereitstellung

Energie zur Bereitstellung der Fahrleistung

Elektrofahrzeug	Hybridfahrzeug	alternatives Fahrzeug	konventionelles Fahrzeug
Strompark Österreich Ökostrom AG Photovoltaik-Strom Wind-Strom Wasserstoff-Brennstoffzelle	**HEV** Benzin Diesel **PHEV** Strompark Österreich Ökostrom AG	Biodiesel Bioethanol Erdgas Biogas (Substrat Mais) Biogas (Substrat Gülle) Wasserstoff (VKM)	Benzin[1)] Diesel[2)]

Fahrzeugkonzept

1) *Modelljahr 2010, Euro 5 – Emissionsnorm gem. VO (EG) Nr. 715/2007*
2) *Diesel mit Dieselpartikelfilter (Modelljahr 2010, Euro 5 – Emissionsnorm gem. VO (EG) Nr. 715/2007)*

Quelle: Umweltbundesamt

umweltbundesamt

Abbildung 9: Fahrzeugvarianten und Varianten der Energiebereitstellung, die in dieser Ökobilanz untersucht werden.

Abbildung 10 bietet einen Überblick über Fahrzeugkonzepte im Straßenverkehr im Bereich Elektromobilität. Je nach Ausmaß ihrer Elektrifizierung sind Antriebe, Bauweisen und Energiebereitstellung so konzipiert, dass sie teilweise oder vollständig mit elektrischem Strom betrieben werden können.

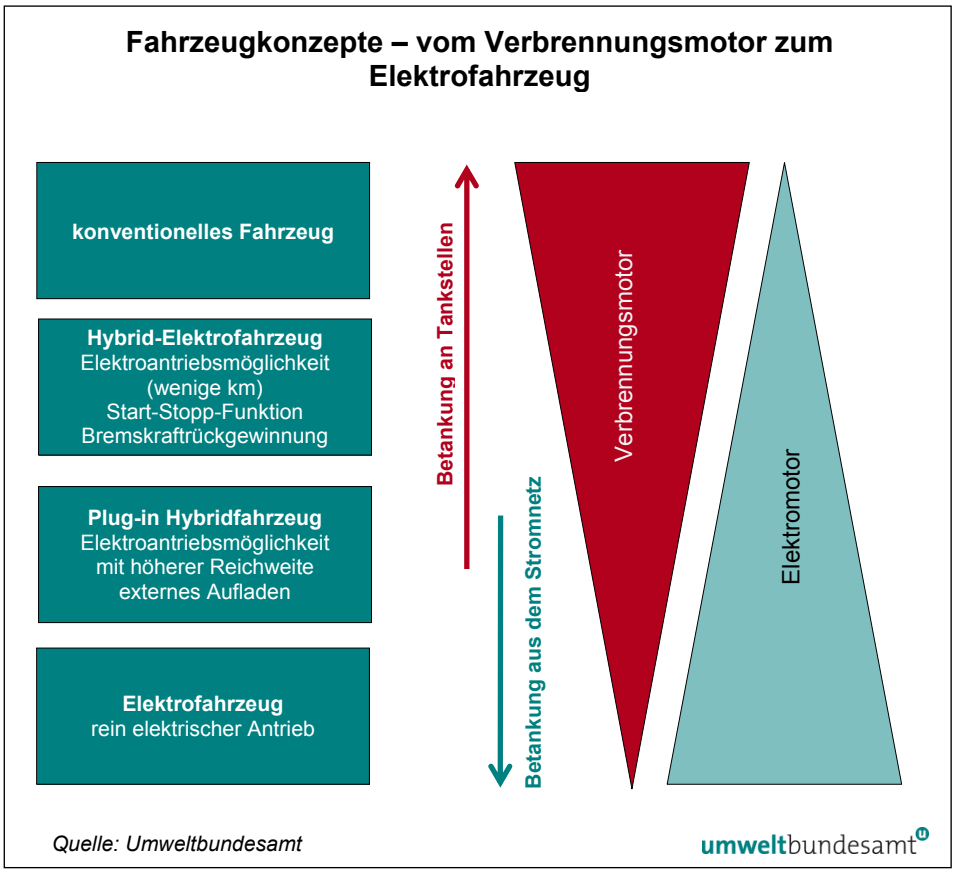


Abbildung 10: Konzepte verschiedener Fahrzeuge.

3.2.1 Elektrofahrzeug

lokale Emissionsfreiheit

Ein Batterieelektrofahrzeug, kurz BEV oder EV, besitzt als Antriebsquelle einen Elektromotor und als Energiespeicher eine Batterie. Durch den rein elektrischen Antrieb verursachen Batterieelektrofahrzeuge im Betrieb keine Emissionen, man spricht daher von lokaler Emissionsfreiheit. Bei der Stromproduktion entstehen aber sehr wohl Emissionen. Die lokale Emissionsfreiheit ist vor allem in schadstoffbelasteten Ballungsräumen ein großer Vorteil. Zusätzlich wird das Geräuschniveau gegenüber konventionellen Fahrzeugen speziell im niedrigeren Geschwindigkeitsbereich gesenkt, was vor allem in urbanen Gebieten zu einer deutlichen Lärmreduktion beitragen kann.

Im vorliegenden Bericht werden die folgenden Elektrofahrzeuge mit unterschiedlichen Energiebereitstellungsformen betrachtet.

- Pkw EV (Strompark Ö),
- Pkw EV (Ökostrom AG),
- Pkw EV (Photovoltaik-Strom),
- Pkw EV (Windstrom).

Im Vergleich zum konventionellen Fahrzeug entfallen beim Elektrofahrzeug Bauteile wie Verbrennungskraftmaschine, Getriebe oder Abgasstrang; Materialeinsatz und Gewicht sind somit geringer. Zusätzliche Vorteile ergeben sich durch die sehr guten dynamischen Eigenschaften des Elektromotors, der prädestiniert für die Antriebstechnik ist. Kompensiert bzw. überkompensiert werden diese Vorteile allerdings noch durch den Energiespeicher.

Die am Markt erhältlichen Elektromobile sind derzeit meistens von kompakter Bauweise und nach Vorgaben der Gewichtsminimierung gefertigt, um bei verfügbarer Akku-Leistung dennoch hinreichende Reichweiten und Fahreigenschaften zu gewährleisten (HYBRID-AUTOS 2011, http://hybrid-autos.info/). Dahingehend wird auch die Lebenszyklusbetrachtung ausgerichtet – sie soll sich möglichst nach dem Marktangebot richten, eine gewisse Einschränkung hinsichtlich der Vergleichbarkeit von Attributen wie Raumangebot und Fahrleistungen bleibt dadurch bestehen.

Energieverbrauch und Effizienz

Bremsenergierückgewinnung

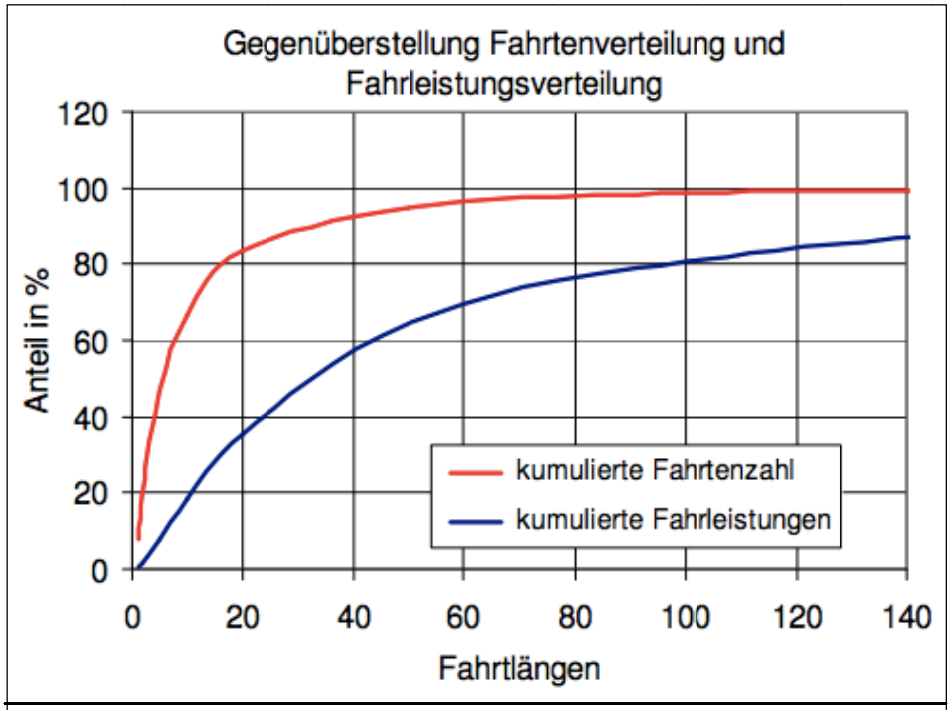
Die beim Bremsvorgang frei werdende Energie kann im Gegensatz zu konventionellen Fahrzeugen durch das Hochvoltsystem besser genutzt werden – sie wird dem Akku über den Elektromotor zugeführt, der hierbei als Generator arbeitet (Bremsenergierückgewinnung oder Rekuperation).

Durch die deutlich höhere Effizienz (höhere Motoreffizienz, Möglichkeit der Bremsenergierückgewinnung während des Betriebes) von Elektrofahrzeugen wird für die gleiche Fahrleistung weniger Energie benötigt als bei konventionellen Fahrzeugen.

Reichweite

Generell sind die derzeit mit Elektrofahrzeugen erzielbaren Reichweiten im Vergleich zu Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben noch gering. Die Energiedichten von modernen Batterien sind auf den ersten Blick nicht zufriedenstellend. Berücksichtigt man allerdings, dass zirka 97 % aller Fahrten und zirka 80 % der Fahrleistung im Bereich unter 100 km liegen und dass die durchschnittliche Weglänge für BerufspendlerInnen bei etwa 15 km liegt (HAUSBERGER 2008), sind die tatsächlichen Einschränkungen in der Reichweite bei Verwendung eines Elektrofahrzeuges für den größten Teil der potenziellen Fahrten gering; jedoch können größere Fahrleistungen nur mit längeren Unterbrechungen zum Aufladen der Batterie bewältigt werden.

Ein bisher wenig beachteter Aspekt ist, dass sich durch die fast überall vorhandene bzw. vergleichsweise einfach zu errichtende Betankungs- bzw. Ladeinfrastruktur ein Vorteil in Bezug zur nominellen Reichweite ergibt. Der Tankvorgang also solches muss nicht vom Fahrzeughalter beaufsichtigt werden, wie dies bei einer konventionellen Betankung mit Treibstoff der Fall ist. Eine Beladung kann ohne Aufsicht zum Beispiel bei jeder Garagierung erfolgen.



Quelle: HAUSBERGER (2008) umweltbundesamt

Abbildung 11: Gegenüberstellung von Fahrtenverteilung und Fahrleistungsverteilung.

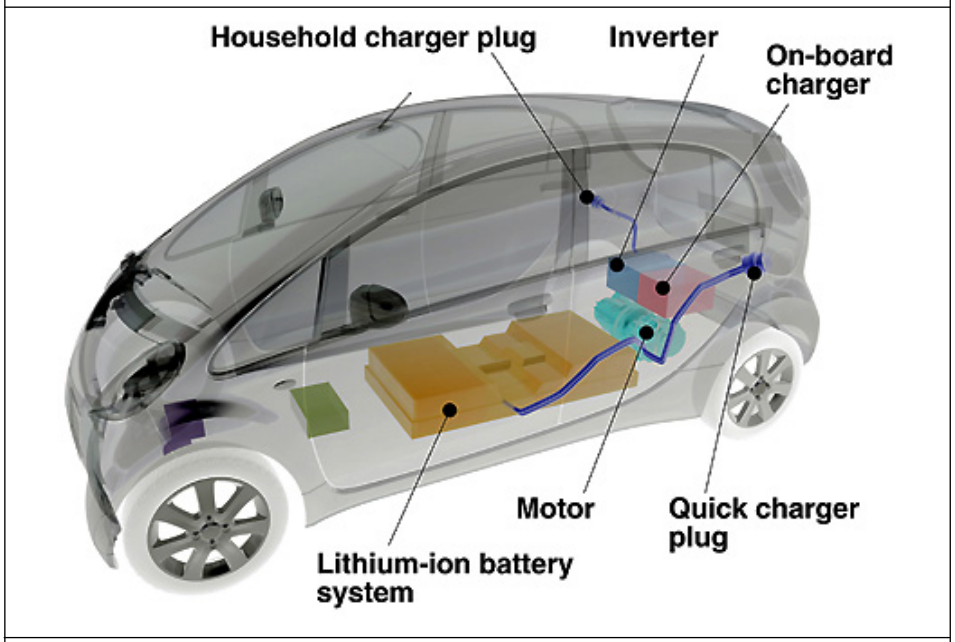
Emissionen

Vor Ort entstehen bei Elektrofahrzeugen keine Luftschadstoff-Emissionen, wodurch sie vor allem für den Einsatz in stark belasteten Gebieten (z. B. Agglomerationen) besonders attraktiv sind. Des Weiteren verursachen Elektrofahrzeuge bei niedrigen Geschwindigkeiten kaum Geräuschemissionen. Bei höheren Geschwindigkeiten überwiegen bei den Geräuschemissionen jene, die durch das Abrollgeräusch und durch die Fahrzeugumströmung erzeugt werden.

Aufbau eines Elektrofahrzeuges

Der konzeptionelle Aufbau eines Elektrofahrzeuges ist in Abbildung 12 dargestellt.

Konzeptioneller Aufbau eines Elektrofahrzeuges



Quelle: Mitsubishi Motor Corporation
Übersetzung: Umweltbundesamt

umweltbundesamt

Abbildung 12: Konzeptioneller Aufbau eines Elektrofahrzeuges am Beispiel des „iMieV“ von Mitsubishi.

Das Modell zeigt einen Fahrzeugstandard mit Komponenten, wie sie aktuell in Elektrofahrzeugen verbaut werden. Das Fahrzeug verfügt über einen simplen Antriebsstrang mit Heck-quer-Motor, Wechselrichter (Inverter) sowie einen Anschluss für Schnellladung und eine Einrichtung zur Ladung an der Steckdose. Das Akkupaket ist bei diesem Modell platzsparend in der Bodenplatte untergebracht.

Akkutechnologie

Elektrofahrzeuge verwenden für die Fortbewegung in Akkumulatoren gespeicherte Energie. Die Ladung des Akkus erfolgt über das Stromnetz. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Elektromotor über eine Brennstoffzelle[18] bzw. einen Range Extender (Reichweitenverlängerer) direkt oder indirekt über die Batterie zu betreiben. Die am häufigsten eingesetzten Range Extender sind Verbrennungsmotoren, die einen Generator antreiben, der wiederum den Elektromotor mit Strom versorgt.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, welche Akkutechnologien in zukünftig verfügbaren Elektrofahrzeugen unter der Voraussetzung eingesetzt werden können, dass das Gesamtgewicht des Fahrzeuges im Bereich des Zielwertes von 1.150 kg liegt und gleichzeitig eine ausreichende Reichweite von mindestens 100 km pro Ladung nicht unterschritten wird.

[18] Da derzeitige Brennstoffzellen nur schlecht dynamisch betrieben werden können, ist auch bei diesen Fahrzeugen ein Zwischenspeicher in Form eines Akkus notwendig.

Auf die Technologie der in den Elektrofahrzeugen einsetzbaren Akkumulatoren wird in Kapitel 3.3 näher eingegangen.

Gewicht

Leichtbau forcieren

Da das Motorengewicht von Elektrofahrzeugen deutlich geringer ist und auch weitere Komponenten, die für den Antrieb von mit Verbrennungskraft getriebenen Fahrzeugen notwendig sind, wegfallen, kann das Fahrzeuggewicht deutlich reduziert werden. Dem entgegen wirkt, wie bereits beschrieben, das hohe Gewicht der Energiespeicher. Da jedoch ein geringeres Fahrzeuggewicht wiederum eine geringere Akku-Leistung bzw. Kapazität erfordert, ist es in Zukunft wichtig, zukünftig die Thematik „Leichtbau“ stark zu forcieren – unabhängig von der Antriebstechnik.

Die Recherche über aktuelle (etwa Mitsubishi i-EV[19]) und zukünftige Elektrofahrzeuge zeigt, dass der Zielwert für das Gewicht von Elektrofahrzeugen inklusive Akku bei etwa 1.000 kg liegt. Die in der Lebenszyklusanalyse betrachtete Variante liegt bei 1.150 kg und entspricht damit dem realen Marktangebot. Die unterschiedlichen Akkutechnologien variieren vor allem in Ihrer Energiedichte. Damit verfügen die verschiedenen Technologien bei gleich bleibender Energiedichte über unterschiedliche Masse und somit Reichweite.

untersch. Energiedichte der Akkus

Der leichtere Elektromotor sowie der Wegfall einiger Komponenten (v. a. Getriebe) unterstützen die Gewichtsreduktion bei Elektrofahrzeugen. Dies kann zusätzlich auch (in Abhängigkeit von den verbauten Materialien) zu einer Verringerung der vorgelagerten Emissionen beitragen.

Kosten

Derzeit befinden sich zahlreiche Elektrofahrzeuge noch in der Konzeptphase, wobei auch manche Hersteller bereits ausgereifte, kompakte Elektrofahrzeuge entwickelt haben. Das Streben nach geringem Gewicht bei hoher Reichweite ist mit hohen Entwicklungskosten der Fahrzeuge verbunden, die sich erst bei einer Realisierung einer entsprechend hohen Stückzahl rechnen werden.

3.2.2 Hybridfahrzeug

2 getrennte Motoren und Energiespeicher

Das Hybridfahrzeug ist eine Kombination zwischen konventioneller Antriebstechnik und Elektroantrieb. Es stellt eine vielversprechende kurz- bis mittelfristige Lösung auf dem Weg zur vollständigen Elektrifizierung des Antriebsstranges dar. Es verfügt über einen konventionellen Verbrennungs- und einen separaten Elektromotor sowie zwei getrennte Energiespeicher. Je nach Fahrsituation befinden sich entweder eine oder beide Antriebstechnologien im Einsatz. Rekuperation ist wie beim Elektrofahrzeug möglich.

Plug-in Hybridfahrzeuge

Plug-in Hybridfahrzeuge sind die nächste Generation von Hybridfahrzeugen und haben eine leistungsstärkere Batterie für rein elektrisches Fahren im Distanzbereich von etwa 20–80 km. Zum Aufladen der Batterie wird das Fahrzeug

[19] http://www.mitsubishi-motors.at/TechnicalSpecification.aspx?PMID=98&BTID=2627&VID1=4793&VID2=0&LangType=3079

über ein externes Kabel mit dem Stromnetz verbunden (Plug-in). Der Verbrennungsmotor wird nur für längere Distanzen benötigt oder um das Ladeniveau der Batterie zu halten.

Der vorliegende Bericht betrachtet die folgenden Hybrid-Fahrzeugkonzepte mit unterschiedlichen Energiebereitstellungsformen.

- Pkw HEV-Benzin
- Pkw HEV-Diesel
- Pkw PHEV (Strompark Ö)
- Pkw PHEV (Ökostrom AG)

HEV … Hybrid Electric Vehicle

PHEV … Plug-in Hybrid Electric Vehicle

3.2.3 H_2-Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug (BZEV)

Tanksysteme

Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (BZEV) entsprechen bezüglich ihrer Antriebstechnik im Wesentlichen dem Elektrofahrzeug, wobei die zur Fortbewegung notwendige elektrische Energie in einer Brennstoffzelle aus Wasserstoff (H_2) erzeugt wird. Dieser Wasserstoff benötigt zusätzlich zum Elektrofahrzeug ein eigenes Wasserstofftanksystem, entweder ausgeführt als Drucktank oder als Flüssigwasserstofftank. Laut aktuellem Stand der Technik wird ein Akkumulator eingesetzt, um die elektrische Energie zwischenzuspeichern und Lastspitzen abzudecken.

Strom aus der Brennstoffzelle

In der Brennstoffzelle wird aus der Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff elektrische Energie gewonnen. Die Brennstoffzelle besteht aus einem Elektrolyten und zwei mit Katalysatoren belegten Elektroden. An der Anode wird Wasserstoff in Wasserstoff-Ionen zersetzt, die durch den für sie durchlässigen Elektrolyten zur Kathode gelangen, wo sie sich mit dem Luftsauerstoff zu Wasser verbinden, ohne dass Wärme abgegeben wird. Dabei entsteht eine elektrische Spannung von ca. 0,6–1 Volt, die durch Hintereinanderschaltung dieser Elemente zu Stacks wesentlich erhöht wird. Mit der so erzeugten elektrischen Spannung wird ein Elektromotor angetrieben.

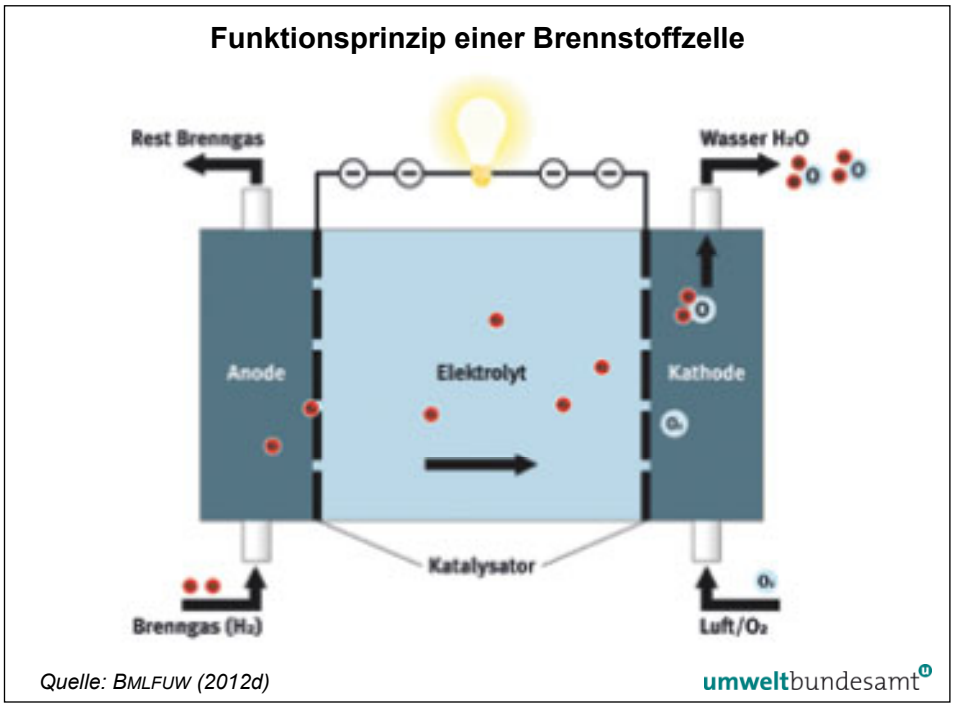


Abbildung 13: Funktionsprinzip einer Brennstoffzelle.

Brennstoffzellen haben den Vorteil, durch den Einsatz von Wasserstoff als einziges „Abgas“ reines Wasser zu erzeugen. Sollte der Wasserstoff „onboard“ – etwa mit Hilfe eines Dampfreformers – erzeugt werden, fallen jedoch Kohlendioxid-Emissionen an. Das ebenfalls bei der Reaktion entstehende Kohlenmonoxid wird in einem nachgeschalteten Shift-Reaktor zu CO_2 umgewandelt.

Der vorliegende Bericht betrachtet die folgenden wasserstoffbetriebenen Elektrofahrzeuge mit unterschiedlichen Energiebereitstellungsformen.

1. Wasserstoff-Erzeugung aus Elektrolyse
   - Pkw BZ EV (Strompark Ö)
   - Pkw BZ EV (Ökostrom AG)

   BZ EV … Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug

2. Wasserstoff-Erzeugung aus Erdgas-Reforming
   - Pkw BZ EV

3.2.4 Alternativ betriebenes Fahrzeug

Derzeit sind Fahrzeuge mit konventionellem Antrieb (Otto- oder Dieselmotor) am weitesten verbreitet. Steigende Rohölpreise, die Notwendigkeit zur Einsparung von Treibhausgas-Emissionen im Verkehr und strengere Abgasbestimmungen erfordern jedoch die Entwicklung alternativer Antriebskonzepte oder eine Adaption der konventionellen Antriebe auf den Betrieb mit alternativen Kraftstoffen.

Es existiert auch die Möglichkeit, konventionelle Verbrennungskraftmaschinen (VKM) mit Wasserstoff zu betreiben.

Der vorliegende Bericht betrachtet die folgenden alternativ betriebenen Antriebskonzepte mit unterschiedlichen Energiebereitstellungsformen.

- Pkw CNG
- Pkw Bio-CNG (Substrat Mais)
- Pkw Bio-CNG (Substrat Gülle)
- Pkw RME
- Pkw E85
- Pkw Wasserstoff (Strompark Ö)
- Pkw Wasserstoff (Erdgas-Reforming)

3.2.5 Konventionell betriebenes Fahrzeug

Als Basis für den Vergleich der Lebenszyklusanalysen werden aktuelle, dem Stand der Technik entsprechende benzin- und dieselbetriebene Fahrzeuge herangezogen. Die Dimensionierung dieser Fahrzeuge orientiert sich am österreichischen Flottendurchschnitt.[20]

Im vorliegenden Bericht werden die folgenden konventionell betriebenen Antriebskonzepte betrachtet.

- Pkw Benzin
- Pkw Diesel

3.2.6 Einspurige Fahrzeuge

Eine zusätzliche Perspektive für den motorisierten Individualverkehr soll durch Berücksichtigung und Vergleichbarkeit mit einspurigen Fahrzeugen in der Lebenszyklusanalyse gegeben werden.

- Moped/Motorrad 4-Takt (Benzin)
- Elektromoped (Strompark Ö)
- Elektromoped (Ökostrom AG)

3.3 Energiespeicher, Akkutechnologien

Akkumulatoren/Akkus (Sekundärzellen) sind elektrochemische Zellen, die zur Speicherung von elektrischer Energie verwendet werden. Von den Batterien (Primärzellen) heben sie sich dadurch ab, dass sie sich wieder aufladen lassen. Dies stellt besondere Anforderungen, da nicht nur die elektrochemischen Reaktionen möglichst reversibel sein müssen, sondern auch die Struktur sich von einem Lade-/Entladezyklus zum nächsten und auch mit der Zeit möglichst wenig ändern sollte.

[20] Die Dimensionierung der alternativen Antriebe orientiert sich an den konventionellen Fahrzeugen.

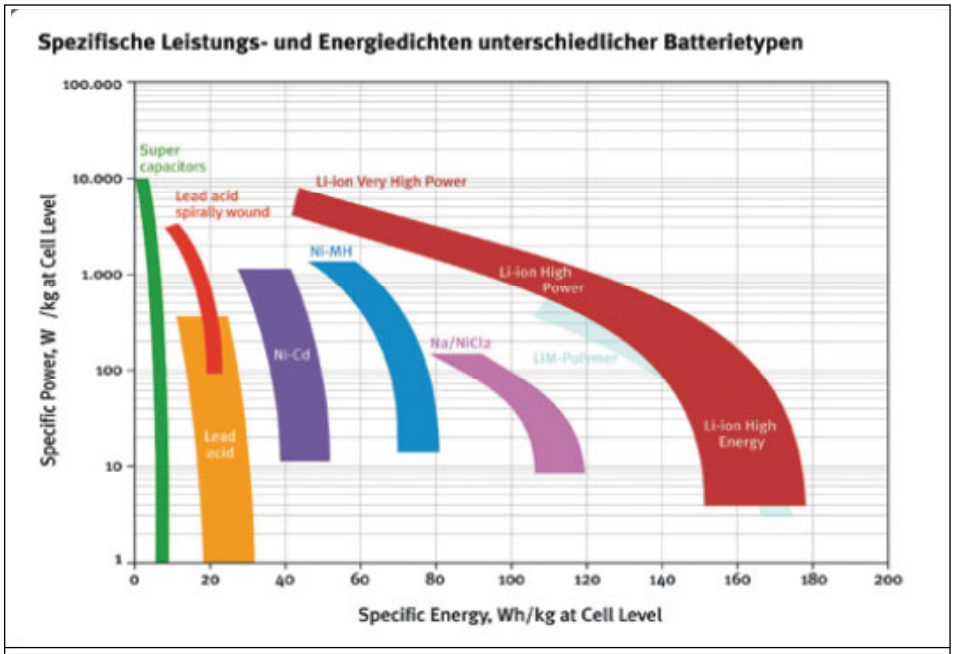
Anforderungen für Akkumulatoren

Weitere Anforderungen für Akkumulatoren sind:

- Geringe Herstellungskosten bei entsprechender Energie- und Leistungsdichte,
- Erfüllung automotiver Lebensdaueranforderungen,
- große Entladeleistung, geringe Selbstentladung,
- volle Leistung über einen weiten Temperaturbereich,
- hoher Wirkungsgrad,
- Verwendung ungiftiger Materialien, umweltschonende Produktion und Entsorgung,
- Wartungsfreiheit.

Ein System, das alle Anforderungen in idealer Weise kombiniert, gibt es derzeit nicht. Daher ist jeder Akkumulator – ob Prototyp oder Serienprodukt – ein für den jeweiligen Einsatzzweck adaptierter, mehr oder weniger guter Kompromiss. Die Anforderung, die eine mobile Anwendung von Akkus für Elektroautos impliziert, wird daher das breite Spektrum auf einige wenige Technologien eingrenzen.

Je nach Batterietyp werden verschiedene Leistungs- und Energiedichten erreicht (siehe Abbildung 14).



Quelle: Saft Batteries umweltbundesamt

Abbildung 14 Spezifische Leistungs- und Energiedichten unterschiedlicher Batterietypen.

weitere Speicher-Technologien

Neben den elektrochemischen Akkumulatoren (Sekundärzellen) gibt es weitere Speicher-Technologien, wie Schwungräder (mechanische Speicher) oder Supercaps (potenzielle Speicher). Schwungräder und Supercaps eignen sich primär für Anwendungen mit hohem kurzzeitigem Leistungsbedarf und können nicht alleine für den Antrieb eines Elektrofahrzeuges oder auch Plug-in Hybridfahrzeuges sorgen.

3.3.1 Aufbau und aktuell verfügbare Typen von Akkumulatoren

Aufbau eines Akkus

Jeder Akkumulator besitzt eine positive und eine negative Elektrode sowie einen Elektrolyten. Als negative Elektrode werden häufig Metallelektroden verwendet. Als Elektrolyt kommen vielfach Wasser mit Leitzusatz (Säure, Base, Salz), organische Lösungsmittel mit Leitsalz oder andere Ionenleiter zum Einsatz. Als positive Elektrode sind mehr oder weniger stark oxidierte Metalle oder auch Salz in Verwendung. Für die Aggregatzustände der Komponenten gibt es neben der Kombination „fest – flüssig – fest“ auch andere Möglichkeiten. In der Praxis hat sich weniger als ein Dutzend verschiedener Systeme durchgesetzt. Dies hat mit der Verfügbarkeit der Materialien, der zu geringen theoretischen Energiedichte, technischen Problemen und vor allem dem hohen Forschungs- und Entwicklungsaufwand zu tun, der nötig ist, um ein neues System zur Serienreife zu entwickeln.

3.3.1.1 Natrium-Nickelchlorid-Akkumulator (ZEBRA)

Bestandteile eines ZEBRA-Akkus:

positive Elektrode	Nickelchlorid ($NiCl_2$)
negative Elektrode	flüssiges Natrium
Elektrolyt	festes beta-Aluminat

Funktionsweise eines ZEBRA-Akkus

An diesem Akkusystem wird seit Ende der 70er-Jahre intensiv gearbeitet. Es ist auch unter dem Namen ZEBRA-Akku bekannt (nach der Projektbezeichnung **z**ero**e**mission**b**attery**r**esearch**a**ctivity). In der Natrium-Nickelchlorid-Zelle wird ein zylinderförmiger Becher aus beta-Aluminat zugleich als Separator und Festelektrolyt verwendet. Als Material für die negative Elektrode ist Natrium im Außenraum untergebracht. Das aktive Material der positiven Elektrode befindet sich im Inneren des Separators. Es ist im geladenen Zustand $NiCl_2$ und im entladenen Zustand Ni. Zur leitenden Verbindung zwischen der positiven Elektrode und dem Separator findet geschmolzenes Natrium-Aluminium-Chlorid ($NaAlCl_4$) als Zwischenelektrolyt Verwendung.

Bei der Herstellung wird ein granuliertes Gemisch aus Kochsalz und Nickelpulver zusammen mit einem aus Nickel hergestellten Stromableiter in den zylinderförmigen Keramikelektrolyten gefüllt und eingekapselt. Ein Umgang mit Natrium bei der Herstellung ist nicht erforderlich, es entsteht erst beim Laden der Zelle. Die Betriebstemperatur im Inneren der Zelle liegt zwischen 270 °C und 350 °C, sodass der Keramikelektrolyt gut leitet. Zur Wärmeisolation ist das Gehäuse mehrwandig und vakuumisoliert aufgebaut. Eine elektrische Heizung bzw. Kühlung regelt die Innentemperatur. Da während der Zellreaktion keine Nebenreaktionen wie Gasentwicklung auftreten, können die einzelnen Zellen hermetisch dicht verschweißt werden, womit das System wartungsfrei ist.

3.3.1.2 Lithium-Ionen-Akkumulator (Li-Ionen-Akku)

Bestandteile eines Li-Ionen-Akkus:

positive Elektrode	Kohlenstoff
negative Elektrode	Lithium-Metall-Oxide
Elektrolyt	gelöstes Lithium-Salz

Neue Maßstäbe setzt der seit Mitte 1990 erhältliche Lithium-Ionen-Akku. Hinsichtlich der Kombination von Speicherdichte, der Baugröße und des Gewichtes besitzt dieser Akkutyp eindeutige Vorteile gegenüber anderen Speichersystemen, der größte Nachteil ist der hohe Preis. Ein Memory-Effekt ist praktisch nicht vorhanden, das Nachladen kann deshalb jederzeit bei jedem Kapazitätszustand erfolgen.

Funktionsweise eines Li-Ionen-Akkus

Das Funktionsprinzip einer Lithium-Ionen-Zelle ist in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Energie wird durch Austausch der Elektronen zwischen den Elektroden erzeugt. Als Elektrolyt wird ein gelöstes Lithium-Salz verwendet, in dem während des Ladens Lithium-Ionen gespeichert werden. Die positive Elektrode besteht aus Kohlenstoff.

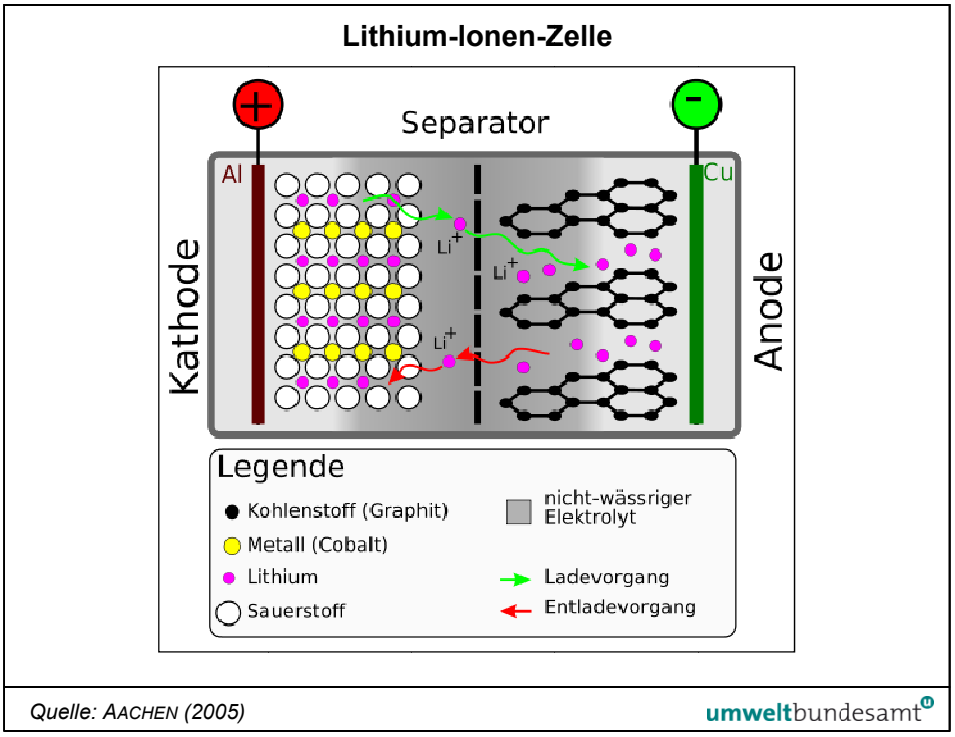


Abbildung 15: Schematischer Aufbau einer Lithium-Ionen-Zelle (Entladevorgang) (Anode: $LiCoO_2$; Kathode: Li-Grafit).

Das aktive Material der Anode besteht aus Graphit. Die Kathode enthält häufig Lithium-Metalloxide wie Lithiumkobaltdioxid ($LiCoO_2$), Lithiumnickeldioxid ($LiNiO_2$) oder Lithiummanganoxid ($LiMn_2O_4$). Der Lithium-Ionen-Akku muss komplett wasserfrei sein, da sonst das Wasser mit dem Leitsalz Lithiumhexafluorophosphat ($LiPF_6$) zu Flusssäure (HF) reagiert. Meist wird eine Mischung von wasserfreien, aprotischen Lösungsmitteln (Ethylencarbonat, Propylencarbonat) mit dünnflüssigen Alkylcarbonaten/Äthern (Dimethylcarbonat, Diethylcarbonat oder 1,2-Dimethoxyethan) und Lithiumsalzen als Elektrolyten verwendet.

Beim Ladevorgang wandern Lithium-Ionen zwischen die Graphitebenen und lagern sich dort ein. Beim Entladen wandern die Lithium-Ionen zurück in das Metalloxid und die Elektronen können über den äußeren Stromkreis zur positiven Elektrode fließen. Auf der negativen Elektrode ist eine Deckschicht, die für die Lithium-Ionen durchlässig, für die größeren Lösungsmittelmoleküle jedoch undurchlässig ist.

In den Lithium-Ionen-Akku wird eine Schutzschaltung eingebaut, die während des Ladevorgangs die Spitzenspannung jeder Zelle begrenzt, und beim Entladen nicht zu tief absinken lässt.

Ein Lithium-Ionen-Akku benötigt wenig Wartungsaufwand und kann bei Raumtemperatur eingesetzt werden. Die Selbstentladung beträgt weniger als die Hälfte eines Nickel-Cadmium-Akkus. Eine große Anzahl an Lade-/Entladezyklen ist möglich. Lithium-Ionen-Zellen verursachen darüber hinaus nur geringe Umweltbelastungen bei der Entsorgung.

Die Li-Ionen-Technologie hat noch großes Entwicklungspotenzial. Weitere Materialvarianten sowie Verbesserungen der bereits erprobten Konzepte werden erwartet.

3.3.1.3 Lithium-Eisen-Phosphat-Akkumulator (LiFe-PO_4-Akku)

Bestandteile eines LiFe-PO_4-Akkus:

positive Elektrode	Kohlenstoff
negative Elektrode	Lithium-Metall-Oxide
Elektrolyt	Lithium-Eisen-Phosphat (LiFe-PO4)

Funktionsweise eines LiFe-PO_4-Akkus

Der Lithium-Eisen-Phosphat-Akkumulator (LiFe-PO_4-Akkumulator) basiert auf dem Lithium-Ionen-Akkumulator, mit LiFe-PO_4 als Kathodenmaterial. Die Energiedichte ist etwas geringer als bei Lithium-Ionen- oder Lithium-Polymer-Akkus. Neben der hohen Lebensdauer ist die hohe Sicherheit ein entscheidender Vorteil: selbst Überladen, Kurzschließen oder mechanische Beschädigung lassen den Akku nicht abbrennen, da die enthaltenen Chemikalien nur eine schwache exotherme Reaktion erzeugen können. LiFe-PO_4-Zellen sind aufgrund der langen Lebensdauer und des Preises wirtschaftlich.

3.3.1.4 Lithium-Polymer-Akkumulator (Li-Polymer-Akku)

Bestandteile eines Li-Polymer-Akkus:

positive Elektrode	Kohlenstoff
negative Elektrode	Lithium-Metall-Oxide
Elektrolyt	Polymer, feste bis gelartige Folie

Funktionsweise eines Li-Polymer-Akkus

Lithium-Polymer-Akkus haben als Elektrolyten einen dünnen (1/10.000 mm) Polymerfilm, der elektrisch isoliert, jedoch ionendurchlässig ist. Er bietet höhere Sicherheit in der Benutzung und ist leichter herstellbar. Allerdings weist das trockene Lithium-Polymer eine schwache Leitfähigkeit auf, was niedrige Spitzenströme zur Folge hat. Der innere Widerstand ist zu hoch, um die für moderne Kommunikationsgeräte nötigen Stromspitzen liefern zu können. Eine Erwärmung der Zellen auf 60 °C und mehr verbessert die Leitfähigkeit.

3.3.2 Für Elektrofahrzeuge geeignete Akku-Systeme

Der Zielwert für das Gewicht des Elektrofahrzeuges für die Lebenszyklusanalyse liegt bei etwa 1.150 kg, daher dürfen die potenziell einsetzbaren Akkusysteme ein Gewicht von etwa 200 kg nicht überschreiten (siehe 3.2.1).

Setzt man nun den Akkutyp in ein Verhältnis zu den in Tabelle 6 angeführten Energiedichten, so erhält man unterschiedliche Energieinhalte. Laut verschiedenen Literaturquellen benötigen Elektrofahrzeuge, die im Bereich des Zielgewichtes liegen, für eine Reichweite von 100 km zwischen 16 und 24 kWh Energie.

Im Folgenden wird der durchschnittliche Wert von 20 kWh angenommen. Daraus ergeben sich folgende Reichweiten der verschiedenen Akkutechnologien (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Berechnung der möglichen Reichweite eines Elektrofahrzeuges (Gesamtgewicht in kg) für unterschiedliche Akkusysteme (Akkugewicht 200 kg).

Akkutyp	Energiedichte (in Wh/kg[21])	Energieinhalt in kWh bei 200 kg Akkugewicht	Reichweite bei 20 kWh/100 km
Blei-Gel	35	7	35
Natrium-Nickelchlorid (ZEBRA)	90	18	90
Lithium-Polymer	120	24	120
Lithium-Ionen	125	25	125
Lithium-Eisen-Phosphat	100	20	100

Neben einer ausreichenden Reichweite sind auch andere Faktoren für die Akzeptanz und damit auch für eine erfolgreiche Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen von Bedeutung. Dazu zählen vor allem der Fahrkomfort, die Beschleunigung sowie die Lebensdauer von Speichersystemen.

Lithium-Akkus am besten geeignet

Aus all diesen Anforderungen sticht die Lithium-Speichertechnologie besonders positiv hervor; zum Vergleich wird in der vorangehenden Tabelle ein Blei-Gel Akkumulator angegeben. Der Lithium-Ionen-, der Lithium-Polymer- sowie der Lithium-Eisen-Phosphat-Akku bestechen durch sehr hohe Leistungsdichte sowie sehr guten Wirkungsgrad bei gleichzeitig niedriger Selbstentladung.

In dieser Studie wird der Li-Ionen-Akkumulator für die Ökobilanz-Berechnungen herangezogen, denn dieser Akkutyp erscheint für aktuelle und zukünftige automotive Anwendungen am geeignetsten zu sein und findet in Elektrofahrzeugen bereits Verwendung.[22] Weitere Akkumulatorvarianten finden in einer Sensitivitätsanalyse Berücksichtigung.

[21] Die Bandbreiten für die jeweiligen Energiedichten aus unterschiedlichen Quellen werden gemittelt und für die Berechnung herangezogen.

[22] Eine vergleichende Betrachtung der verschiedenen Akkusysteme befindet sich als Tabelle im Anhang.

4 FAKTOREN ZUR BILANZIERUNG VON ENERGIE- UND MATERIALEINSATZ IM FAHRZEUG UND BEI DER ENERGIEBEREITSTELLUNG

Die Energie- und Materialeinsätze von Fahrzeugen und Akkusystemen sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

4.1 Materialeinsatz bei Fahrzeugherstellung

In Tabelle 8 findet sich eine Übersicht der wesentlichen Materialgruppen, die für die Herstellung der unterschiedlichen Antriebsvarianten benötigt werden. Die Materialeinsätze legen ein mittleres österreichisches Fahrzeug zugrunde. Unterschiedliche Massen ergeben sich durch teilweise höhere Materialaufwände für alternative Antriebsstränge und Speichertechnologien.

Für die Dimensionierung der Fahrzeuge wurden aus der GEMIS-Datenbank die passenden Prozesse für die Herstellung der verschiedenen Komponenten ausgewählt. Jeweilige typspezifische Änderungen resultieren aus eigenen Recherchen.

Im Anhang („Dimensionierung der Akkumulatoren“) wird die Materialzusammensetzung eines Lithium-Ionen-Akkus für die verschiedenen Elektrofahrzeugtypen zusammengestellt.

Aus den typischen Anforderungen hinsichtlich Leistung und Speichervermögen für diese unterschiedlichen Fahrzeugkonzepte ergeben sich die folgenden Akkumulatoren-Gewichte.

Tabelle 7: Akkugewicht in Pkw und Mopeds (Quelle: eigene Berechnungen).

	EV	HEV	PHEV	BZEV	E-Moped
Akkugewicht in kg	200	25	120	120	20

Tabelle 8: Materialeinsatz in Pkw und Mopeds, inklusive Akkumulator (Quelle: eigene Berechnungen).

		Fahrzeugkonzepte							
Pkw Materialien (2010)		**EV**	**HEV**	**PHEV**	**VKM**	**BZEV**	**Moped**	**E-Moped**	**Vorkommen**
Prozessbezeichnung aus der GEMIS-Datenbank	**Produkt**	**[kg/Fahrzeug]**							
Metall\Stahl-DE-mix	Stahl	482,0	723,0	723,0	753,0	693,0	57,9	60,0	80 % Karosserie; 20 % Motor
Metall\Fe-Guss-DE	Gusseisen	20,0	60,0	60,0	90,0	50,0	9,0	7,0	Motor
Metall\Aluminium-mix-DE	Aluminium	50,0	60,0	60,0	60,0	60,0	4,6	4,6	Karosserie
Steine-Erden\Glas-flach	Glas	25,0	37,0	37,0	37,0	37,0	0,5	0,5	Karosserie
Erzeugung Lacke	Lacke	3,5	5,0	5,0	5,0	5,0	0,4	0,4	Karosserie
Chem-Org\LDPE	Kunststoffe	150,0	226,0	226,0	226,0	226,0	17,4	17,4	Karosserie
Chem-Org\Gummi-EPDM	Gummi	40,0	62,0	62,0	62,0	62,0	4,8	4,8	Karosserie
Erzeugung Motoröl	Kraftstoff, Öl, Fett	25,0	50,0	50,0	70,0	35,0	5,4	5,4	20 kg Motor; Rest Karosserie
Mixer/Metalle	NE/Metalle	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	3,1	3,1	Karosserie
Metall\Kupfer-DE-mix	Elektrik/Kabel	80,0	60,0	80,0	30,0	105,0	2,3	10,0	10 kg Motor, Rest Karosserie
Kunststoff\PUR-Hartschaum	Dämmstoff	14,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,5	0,0	Karosserie
Metall\Blei-DE-sekundär	Blei	20,0	20,0	20,0	20,0	0,0	5,0	0,0	VKM Batterie
Metall\Ni-primär-westl.Welt	Nickel	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	Batterie (E-Pkw und Hybrid)
Erzeugung Graphit	Grafit (in H_2-Tank)	0,0	0,0	0,0	0,0	60,0	0,0	0,0	in H_2-Tank
Edelmetall\Pt-primär-mix-westl. Welt	Platin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	in Brennstoffzelle
Gesamtgewicht		**1.150**	**1.413**	**1.503**	**1.413**	**1.563**	**111**	**133**	

VKM..... Fahrzeug mit Verbrennungskraftmaschine

HEV..... Hybridfahrzeug

PHEV..... Plug-in Hybridfahrzeug

BZEV..... Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug

EV..... Elektrofahrzeug

4.2 Emissionsfaktoren für Strom

Für den Energieträger Strom werden folgende Strommixe eingesetzt, um die Relevanz für die Treibhausgas-Emissionen abschätzen zu können:

- Strompark Österreich (Kraftwerkspark in Österreich, ohne Stromimporte bzw. -exporte),
- Ökostrom AG (Grüner Strom lt. UZ 46[23]),
- PV-Strom,
- Windstrom aus österreichischem Windpark.

Tabelle 9: Spezifische Emissionsfaktoren und kumulierter Energieaufwand (KEA) (Quelle: GEMIS Österreich).

	gesamte CO_2-Emissionen (g/kWh)	gesamte CO_2-Äquivalent-Emissionen (g/kWh)	KEA (kWh/kWh)
Strombereitstellung Österreich	231	253	1,48
Strombereitstellung Ökostrom AG	10	24	1,05
PV-Strom	159	180	1,64
Windstrom	14	16	1,06

[23] http://www.umweltzeichen.at/cms/home/produkte/gruene-energie/content.html?rl=32

4.3 Energieeinsatz und Emissionsfaktoren in der Energiebereitstellung

Die Gesamtemissionen der Energiebereitstellung ergeben sich aus direkten sowie vorgelagerten Emissionen, wobei die direkten CO_2-Emissionen der biogenen Kraftstoffe mit null bilanziert werden. In der nachfolgenden Tabelle finden sich die GEMIS-Datensätze zur Treibstoff- bzw. Energiebereitstellung pro Kilowattstunde, welche in der Lebenszyklusbetrachtung Verwendung finden.

Es ist ersichtlich, dass die unterschiedlichen Formen der Energiebereitstellung signifikant unterschiedliche vorgelagerte Emissionen produzieren.

vorgelagerte Emissionen

Zusammenfassend sind hier folgende Aussagen von Bedeutung:

- Die konventionellen Kraftstoffe Benzin und Diesel und auch Erdgas erzeugen in der Vorkette relativ geringe Emissionen. Voraussetzung dafür ist, dass das Rohöl bzw. -gas auf konventionellem Weg gewonnen wird.
- Bei den unterschiedlichen Biokraftstoffen gibt es, abhängig von den Ausgangsrohstoffen, eine große Bandbreite an Emissionen, je nachdem wie energieintensiv die Aufbereitung auf Marktqualität ist.
- Der österreichische Strommix ist trotz hohem Anteil an erneuerbaren Energien mit in diesem Vergleich hohen Emissionen behaftet. Ökostrom und Windstrom erzeugen hingegen sehr geringe Emissionen. Die Photovoltaik liegt in etwa dazwischen, die Emissionen stammen hier vor allem aus der energieintensiven Herstellung der Photovoltaikmodule.
- Die Herstellung von Wasserstoff erzeugt sowohl bei der Elektrolyse als auch beim Reformingprozess von Erdgas die durchwegs höchsten Emissionen im Vergleich.

Tabelle 10: Treibstoffproduktion und Energiebereitstellung - vorgelagerte Emissionen (Quelle: eigene Berechnungen).

Kraftstoff	vorgelagerte Emissionen			
	THG	CO_2	PM	NO_x
	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
Benzin	67	60	0,02	0,16
SuperEthanol (E85)	157	102	0,04	0,38
Diesel Ö Marktmix	37	33	0,01	0,12
Raps-Methyl-Ester (RME)	105	37	0,02	0,17
Altspeise-Methyl-Ester (AME)	12	10	0,00	0,03
Erdgas (CNG)	66	34	0,01	0,16
Biogas (CNG, Substrat Mais)	28	11	0,01	0,04
Biogas (CNG, Substrat Gülle)	16	5	0,00	0,02
Autogas (LPG)	49	46	0,02	0,16
AUT-Strommix	253	231	0,02	0,64
Öko-Strommix	24	10	0,01	0,48
PV-Strommix	180	159	0,16	0,33
Windkraft-Strom	16	14	0,02	0,04
Wasserstoff aus AUT-Strommix (Elektrolyse)	329	300	0,03	0,91
Wasserstoff aus Reforming Erdgas	231	217	0,00	0,10
Diesel (Raffinerie Diesel Deutschland)	41	39	0,01	0,10
Diesel (Raffinerie Diesel Österreich)	33	27	0,01	0,14
E100	188	116	0,04	0,45

vorgelagerter Energieeinsatz

Die nachfolgende Tabelle zeigt die vorgelagerten Energieeinsätze, die pro Kilowattstunde Antriebsenergie des jeweiligen Treibstoffes in der Vorkette benötigt werden. Die geringsten Energieeinsätze bedingen hier Biokraftstoffe, die aus landwirtschaftlichen Produkten hergestellt werden, da die Herstellung des Rohstoffes, der im günstigsten Fall ein landwirtschaftliches Nebenprodukt ist, wenig Energie verbraucht. Den höchsten Energieeinsatz benötigt wiederum Wasserstoff (Elektrolyse), aber auch Photovoltaik-Strom, da hier wiederum die Herstellung der Module energieintensiv ist.

Berücksichtigung der Effizienz

Die angegebenen Energieeinsätze lassen auch auf die Effizienz und schließlich die Kosten der jeweiligen Energieform schließen. Zu beachten ist hier jedoch, dass die Effizienz des jeweiligen Antriebes mitberücksichtigt werden muss. Ein reiner Elektroantrieb hat beispielsweise einen mehrfach höheren Wirkungsgrad als eine konventionelle Verbrennungskraftmaschine. Wasserstoff als chemischer Energieträger wird in der Brennstoffzelle in elektrische Energie umgewandelt. Jeder Umwandlungsschritt ist verlustbehaftet.

Tabelle 11: Treibstoffproduktion und Energiebereitstellung – vorgelagerter Energieeinsatz.

Treibstoff	**vorgelagerter Energieeinsatz**
	E ($kWh_{Energieeinsatz}/kWh_{Treibstoff}$)
Benzin	1,23
SuperEthanol (E85)	1,44
Diesel Ö Marktmix	1,09
Raps-Methyl-Ester (RME)	0,78
Altspeise-Methyl-Ester (AME)	1,12
Erdgas (CNG)	1,23
Biogas (CNG, Substrat Mais)	0,25
Biogas (CNG, Substrat Gülle)	0,23
Autogas (LPG)	1,19
AUT-Strommix	1,48
Öko-Strommix	1,05
PV-Strommix	1,64
Windkraft-Strom	1,06
Wasserstoff aus AUT-Strommix (Elektrolyse)	1,93
Wasserstoff aus Öko-Strommix (Elektrolyse)	1,37
Wasserstoff aus Reforming Erdgas	1,23
Diesel (Raffinerie Diesel Deutschland)	1,14
Diesel (Raffinerie Diesel Österreich)	1,09
E100	1,50

Daten zu den vorgelagerten Emissionen und zum Energieeinsatz für die Fahrzeugherstellung sind für jeden Fahrzeugtyp im Anhang zusammengestellt.

5 ÖKOBILANZ VON FAHRZEUGEN

Im aktuellen Kapitel finden sich die Ergebnisse der Lebenszyklusanalysen auf Basis der in den vorangehenden Kapiteln getroffenen Annahmen zu den jeweiligen Technologieoptionen. Weiterführende Annahmen sowie Detailergebnisse finden sich im Anhang dieses Berichtes.

Emissionen und Energieeinsätze werden getrennt dargestellt – einerseits als vorgelagerte aus der Fahrzeugherstellung und aus der Energiebereitstellung und andererseits als direkte Emissionen und Energieeinsätze. Ebenso werden Emissionen und Energie jeweils kumuliert dargestellt. Beide Parameter sind pro Fahrzeugkilometer angegeben, zusätzliche Auswertungen in Personenkilometern unter Berücksichtigung der Besetzungsgrade von 1,18 (Pkw) und 1,1 (Moped) finden sich im Anhang.

5.1 Emissionen

Im folgenden Kapitel finden sich Berechnungsergebnisse der Lebenszyklusanalyse für Treibhausgase sowie Luftschadstoff-Emissionen.

5.1.1 THG-Emissionen

Vorgelagerte THG-Emissionen

Abbildung 16 zeigt die vorgelagerten THG-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung sowie der Energiebereitstellung.

Ergebnisse Fahrzeugherstellung

Hinsichtlich der Fahrzeugherstellung zeigt sich Folgendes:

- Die anteiligen THG-Emissionen der Pkw liegen je nach Technologie im Bereich von 30 g/Fkm bis etwas über 40 g/Fkm.
- Die höchsten vorgelagerten Emissionen entstehen bei der Produktion der Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge, da hier der Materialaufwand signifikant am höchsten ist.
- Das reine Elektrofahrzeug besitzt im Vergleich zu einem konventionell betriebenen Pkw niedrigere vorgelagerte Emissionen. Mit ausschlaggebend ist hier allerdings auch die Betrachtung des kleineren marktfähigen Elektrofahrzeuges mit entsprechend geringerem Material- und Fertigungsaufwand (vgl. 1.150 kg gegenüber ca. 1.400 kg). Ein etwa gleich dimensioniertes Elektrofahrzeug auf Basis eines durchschnittlichen österreichischen Pkw würde etwas größere vorgelagerte Emissionen als der vergleichbare konventionelle Pkw erzeugen.
- Durch den geringen Materialaufwand bei einem Moped bzw. Motorrad entstehen hier nur sehr geringe vorgelagerte Emissionen von bis zu 4 g/Fkm.

Ergebnisse Energiebereitstellung

Hinsichtlich der Energiebereitstellung zeigt sich Folgendes:

- Konventionelle und Biokraftstoffe wie auch CNG (Compressed Natural Gas/ Erdgas) verursachen in der Energiebereitstellung etwa gleich hohe THG-Emissionen im Bereich von ca. 20–50 g/Fkm. Ausnahmen stellen Bio-CNG (Biogas) aus Gülle mit sehr niedrigen Emissionen bzw. E85 mit etwa doppelt so hohen Emissionen von etwa 100 g/Fkm dar.
- Wasserstoff verursacht bei der Energiebereitstellung die höchsten Emissionen. Je nach Einsatz in der VKM oder in der Brennstoffzelle und dem damit verbundenen Wirkungsgrad bzw. Energieverbrauch variieren die Ergebnisse deutlich. THG-intensivste Form ist die Verbrennung von Wasserstoff in einem Verbrennungsmotor. Hier entstehen vorgelagerte THG-Emissionen von etwa 230 g/Fkm. In Kombination mit einem Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug sind es immerhin noch 160 g/Fkm.

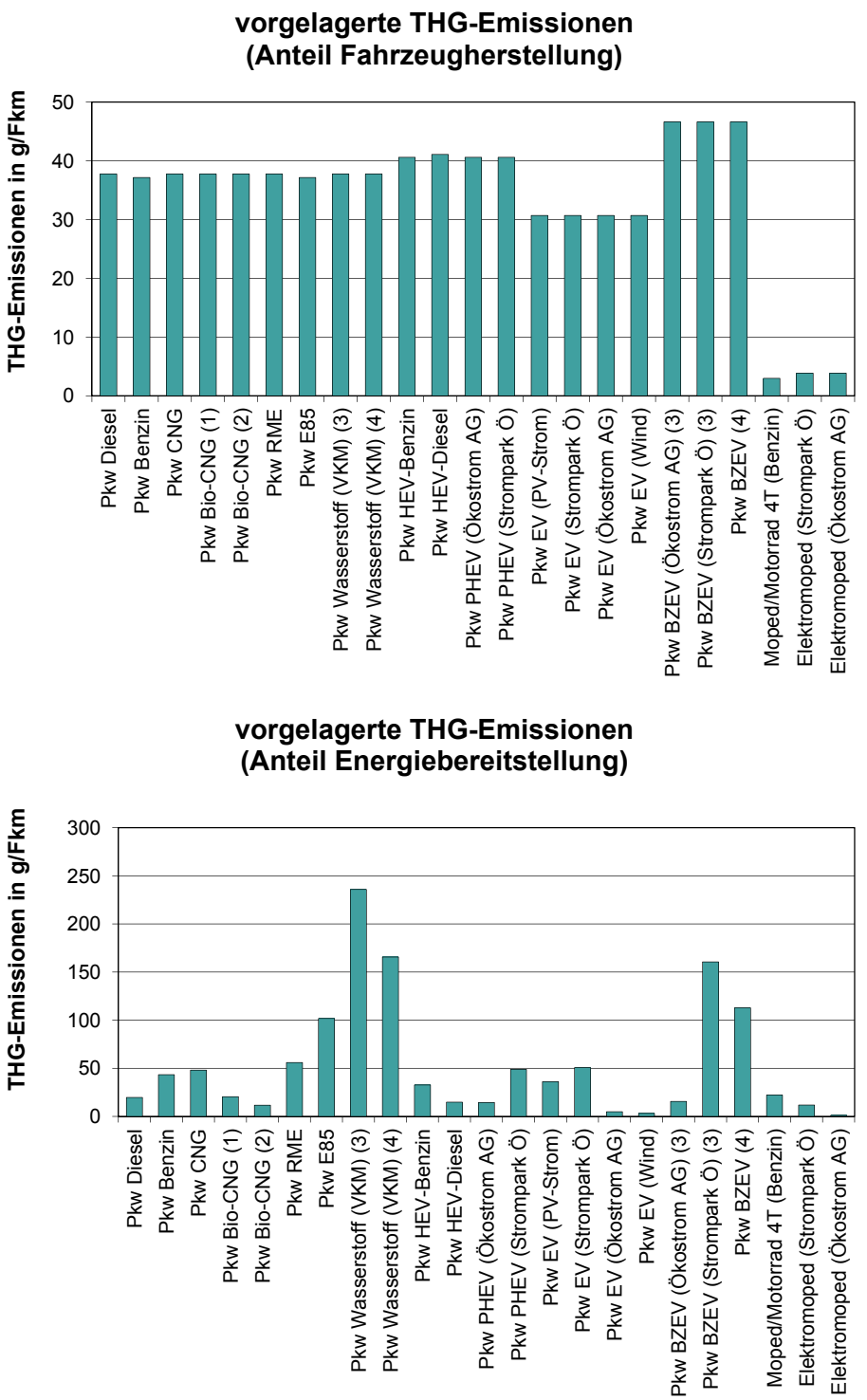


Abbildung 16: Vorgelagerte THG-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten; der Anteil der Fahrzeugherstellung und der Energiebereitstellung sind getrennt dargestellt.

Direkte THG-Emissionen

Hinsichtlich der direkten Emissionen im Fahrbetrieb können sowohl konventionelle Fahrzeuge, betrieben mit Biokraftstoffen (hier bilanziert die Verbrennung der nachwachsenden Komponenten neutral) sowie elektrisch, wie auch teilelektrisch betriebene Konzepte ihre Vorteile geltend machen.

Ergebnisse direkte THG-Emissionen

- Konventionelle Antriebe bilanzieren mit etwa 140–175 g/Fkm, ebenso das CNG-betriebene Fahrzeug. Der Benzinhybrid liegt dabei im Bereich des Dieselfahrzeuges. Mit der Kombination von Diesel und Hybrid kann hier nochmals eine signifikante Reduktion auf etwa 115 g/Fkm erreicht werden.
- Mit einer Plug-in Hybridisierung unter der Annahme einer Nutzung von rund 75 % im Elektrobetrieb können die THG nochmals sehr deutlich auf etwa 45 g/Fkm reduziert werden.
- Elektrofahrzeuge und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge emittieren im Betrieb keine THG-Emissionen.

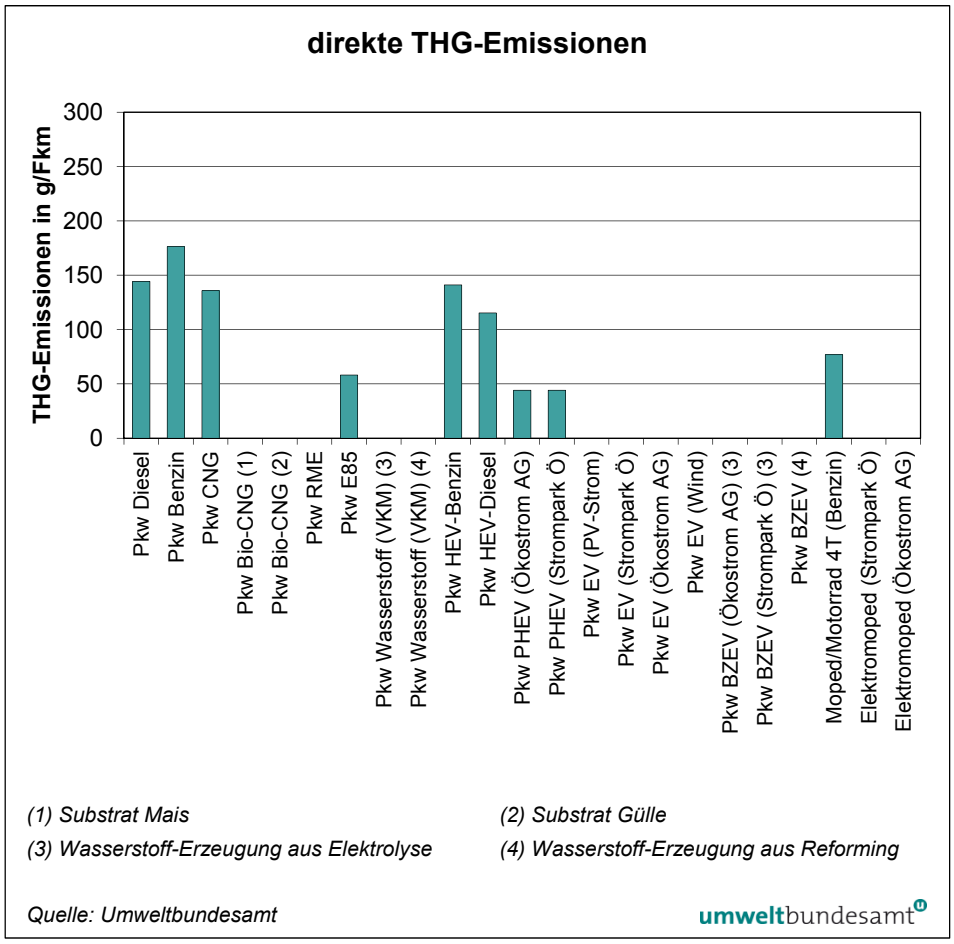


Abbildung 17: Direkte THG-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten.

Gesamte THG-Emissionen

Abbildung 18 zeigt die aufaddierten vorgelagerten und direkten THG-Emissionen, gekennzeichnet nach ihrem Ursprung. Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

Ergebnisse gesamte THG-Emissionen

- Sowohl die größten Anteile als auch Variationen der THG-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus den direkten Emissionen. Die Fahrzeugherstellung hat einen geringeren Anteil und zeigt auch weniger Schwankungen.
- Fahrzeugvarianten mit reiner Elektrotraktion zeigen die durchwegs niedrigsten gesamten THG-Emissionen. Eine Ausnahme stellt das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug dar. Mit konventionellem österreichischem Strom betrieben, sorgt der Betrieb für etwa gleich hohe THG-Emissionen wie ein konventionell betriebenes Fahrzeug. Um mit diesem Fahrzeugtyp wesentliche THG-Reduktionen gegenüber konventionellen Antrieben zu erreichen, muss der Wasserstoff aus regenerativen Quellen stammen.
- Eine weitere signifikante Ausnahme bildet der Betrieb mit Bio-CNG. Hier entstehen THG-Emissionen im Bereich der reinen Elektrofahrzeuge. Einschränkend wirken hier allerdings die nur sehr geringe Verfügbarkeit sowie generell das Potenzial zur Versorgung der Fahrzeugflotte.
- RME als – mit Einschränkungen – marktfähiger Kraftstoff erzeugt ebenfalls geringe THG-Emissionen.
- Reine Elektrofahrzeuge sowie das Elektromoped verursachen durchwegs die geringsten THG-Emissionen. Gesteigert werden kann diese Bilanz noch durch den Einsatz von regenerativen Energien. Die Einschränkungen hinsichtlich des Realbetriebes finden sich hier nicht in der Energiebereitstellung sondern bei der Fahrzeugverfügbarkeit.

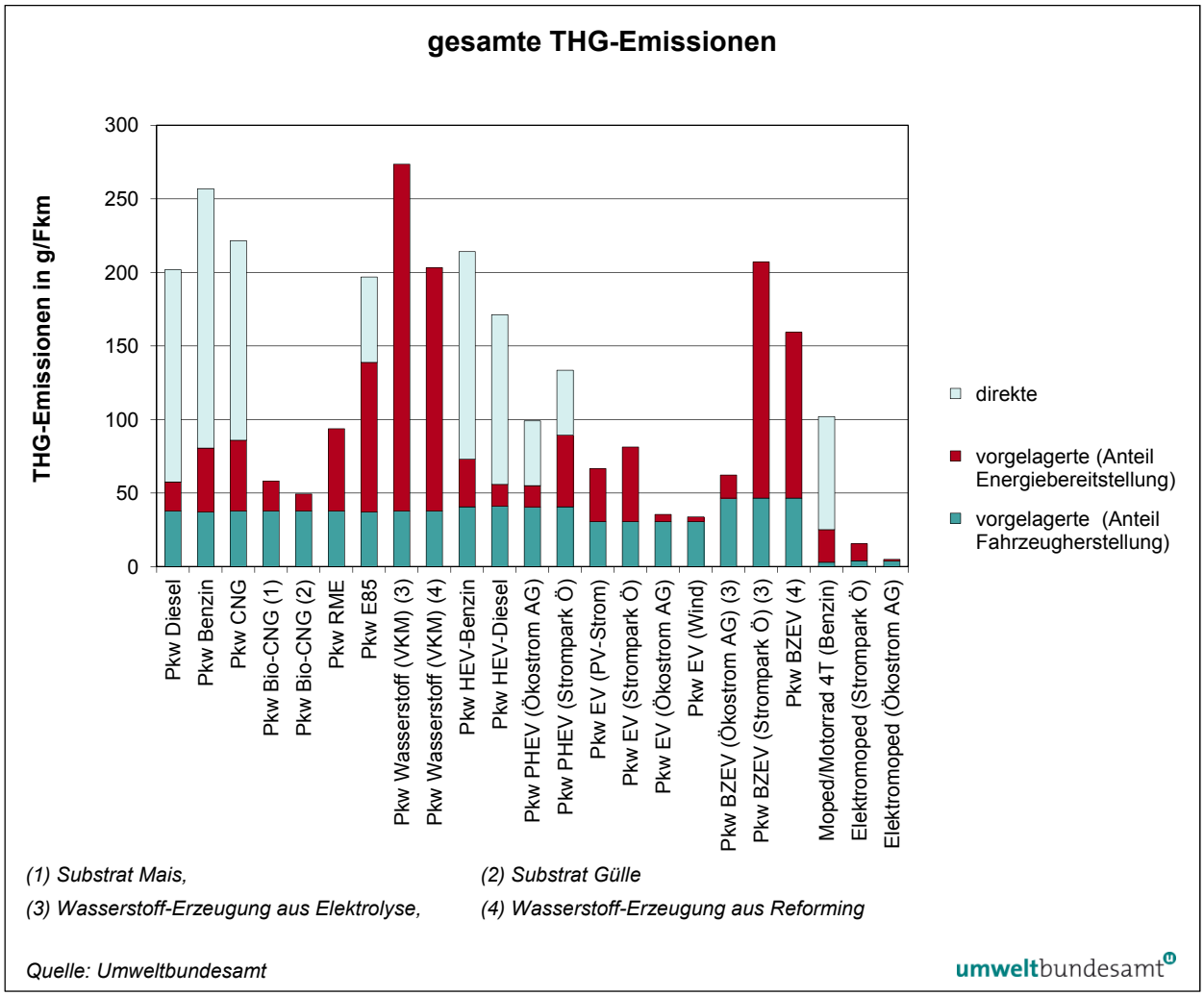


Abbildung 18: Gesamte THG-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten.

5.1.2 Luftschadstoff-Emissionen

5.1.2.1 Stickstoffoxide (NO_x)

Vorgelagerte NO_x-Emissionen

Abbildung 19 zeigt die vorgelagerten NO_x-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung sowie der Energiebereitstellung.

Ergebnisse Fahrzeugherstellung

Hinsichtlich der Fahrzeugherstellung zeigt sich Folgendes:

- Die Ergebnisse liegen in einem ähnlichen Bereich wie die Treibhausgas-Emissionen, die Varianz ist ähnlich gering wie bei der Betrachtung der THG.
- Die anteiligen NO_x-Emissionen der Pkw liegen im Bereich von 0,1 g/Fkm.
- Die höchsten vorgelagerten Emissionen entstehen bei der Produktion der Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge, da hier der Materialaufwand signifikant am höchsten ist.
- Durch den geringen Materialaufwand bei einem Moped bzw. Motorrad entstehen hier nur sehr geringe vorgelagerte Emissionen von etwa einem Zehntel im Vergleich zum Pkw.

Ergebnisse Energiebereitstellung

Hinsichtlich der Energiebereitstellung zeigt sich Folgendes:

- Konventionelle und Biokraftstoffe wie auch CNG erzeugen in der Energiebereitstellung NO_x-Emissionen in etwa gleicher Höhe. Ausnahmen stellen Bio-CNG aus Gülle mit sehr niedrigen Emissionen bzw. E85-Fahrzeuge mit mehrfach höheren Emissionen von etwa 0,25 g/Fkm dar.
- Wasserstoff erzeugt bei der Energiebereitstellung die deutlich höchsten Emissionen. Je nach Einsatz in der VKM oder in der Brennstoffzelle und dem damit verbundenen Wirkungsgrad bzw. Energieverbrauch variieren die Ergebnisse deutlich. NO_x-intensivste Form ist die Verbrennung von Wasserstoff in der VKM, hier entstehen vorgelagerte THG-Emissionen von etwa 0,65 g/Fkm. In Kombination mit einem Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug, betrieben mit Wasserstoff aus konventionellem österreichischem Strom sind es immerhin noch 0,44 g/Fkm.

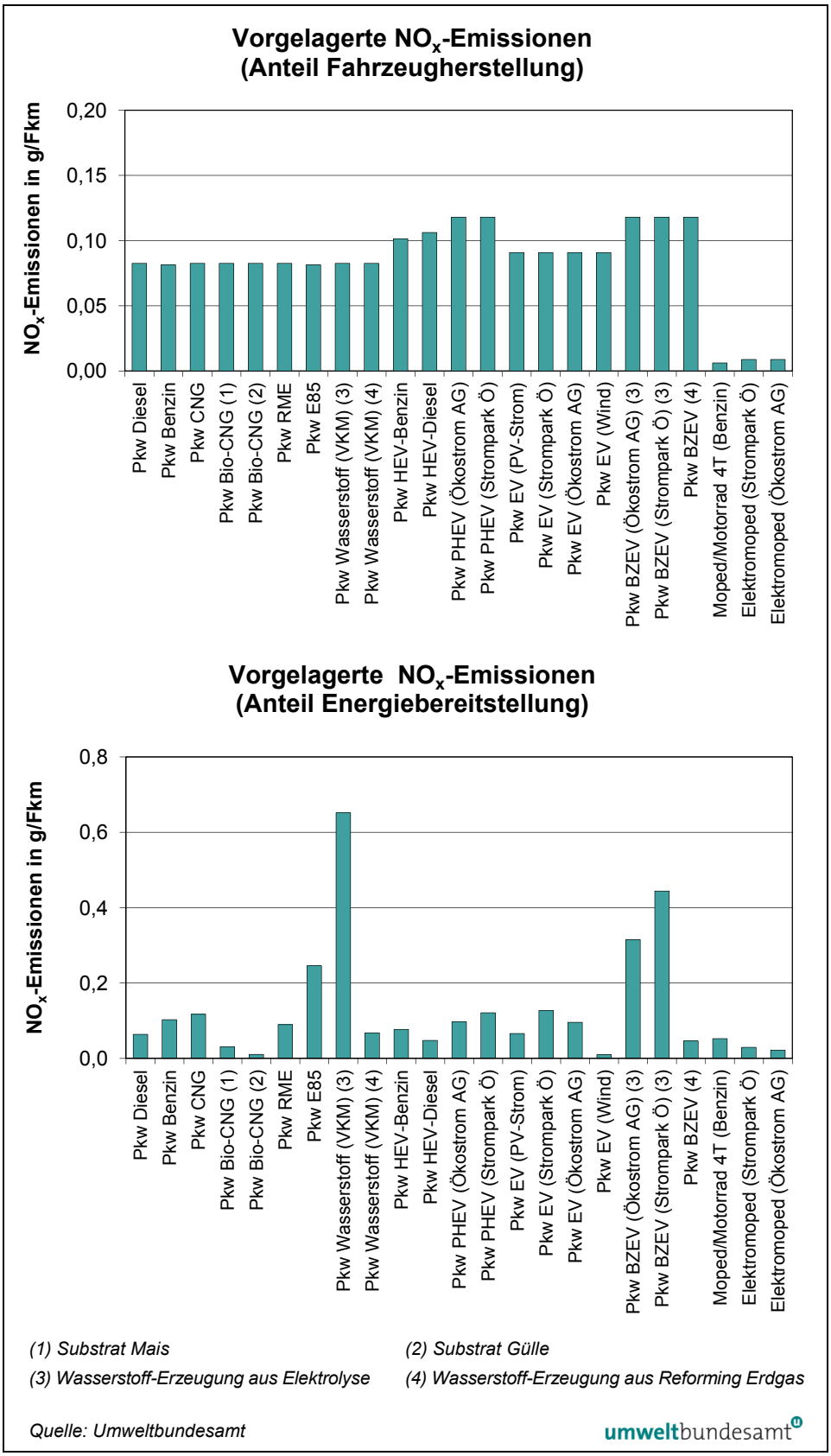


Abbildung 19: Vorgelagerte Stickstoffoxid-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten; der Anteil der Fahrzeugherstellung und der Energiebereitstellung sind getrennt dargestellt.

Direkte NO_x-Emissionen

Bei den direkten Emissionen zeigt sich im Vergleich aller Varianten, dass hauptsächlich Diesel-VKM (Euro 5) signifikant hohe NO_x-Emissionen verursachen. Die Emissionen von purem Biodiesel sind etwas höher als beim konventionellen Diesel.

Ergebnisse direkte NO_x-Emissionen

- Elektrofahrzeuge und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge emittieren im Betrieb keine NO_x-Emissionen.
- Das benzinbetriebene Moped emittiert ebenfalls aufgrund geringerer Anforderungen in der Abgasgesetzgebung mehr NO_x als die Pkw Benzin-VKM.

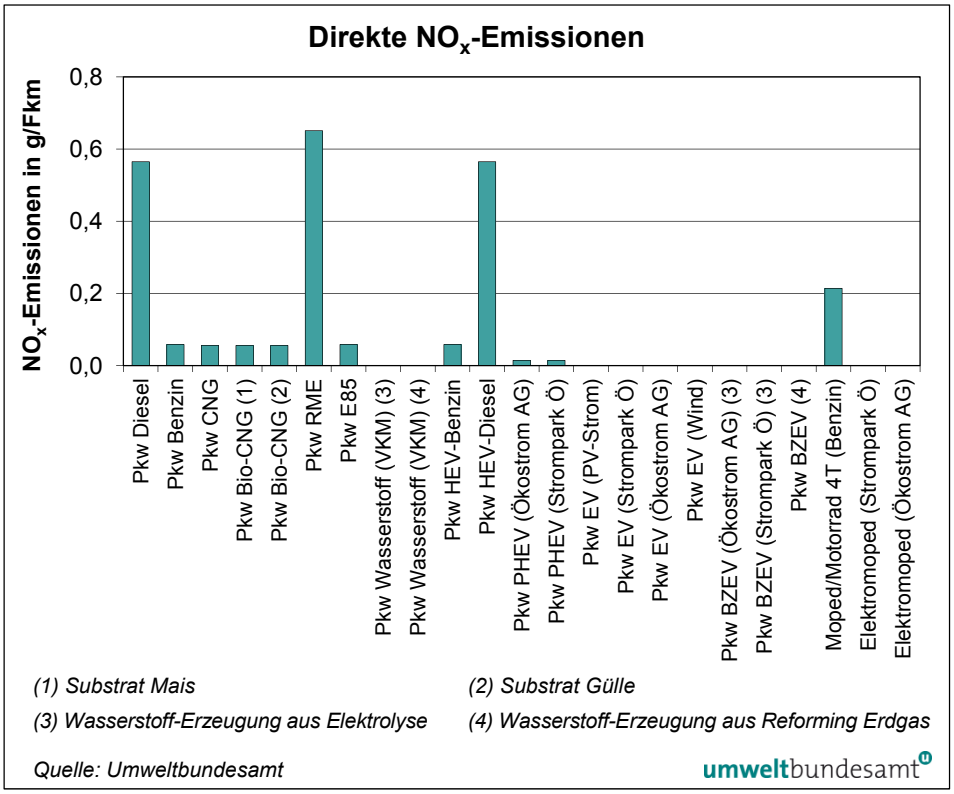


Abbildung 20: Direkte Stickstoffoxid-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten.

Gesamte NO_x-Emissionen

Abbildung 21 zeigt die aufaddierten vorgelagerten und direkten NO_x-Emissionen, gekennzeichnet nach ihrem Ursprung. Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

Ergebnisse gesamte NO_x-Emissionen

- Sowohl die größten Anteile als auch Variationen der NO_x-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus den direkten Emissionen. Die Fahrzeugherstellung hat einen geringeren Anteil und zeigt weniger Schwankungen.
- Fahrzeugvarianten mit reiner Elektrotraktion zeigen die durchwegs niedrigsten gesamten NO_x-Emissionen. Ausnahme ist hier das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug. Mit konventionellem, österreichischem Strom zur Herstellung von Wasserstoff sorgt der Betrieb für fast gleich hohe NO_x-Emissionen als ein konventionell betriebenes Diesel-Fahrzeug. Wesentlich günstiger bilanziert hier Wasserstoff aus Erdgas-Reforming.

- RME bilanziert ebenfalls sehr hoch hinsichtlich der NO_x-Emissionen. Zudem fallen signifikant hohe Emissionen im Betrieb des Fahrzeuges an.
- Reine Elektrofahrzeuge sowie VKM nach dem Otto-Prinzip (Benzin, CNG, Wasserstoff) sowie das Elektromoped erzeugen durchwegs die geringsten NO_x-Emissionen. Verbessert werden kann diese Bilanz wie bei Betrachtung der THG-Emissionen durch den Einsatz von regenerativen Energien.

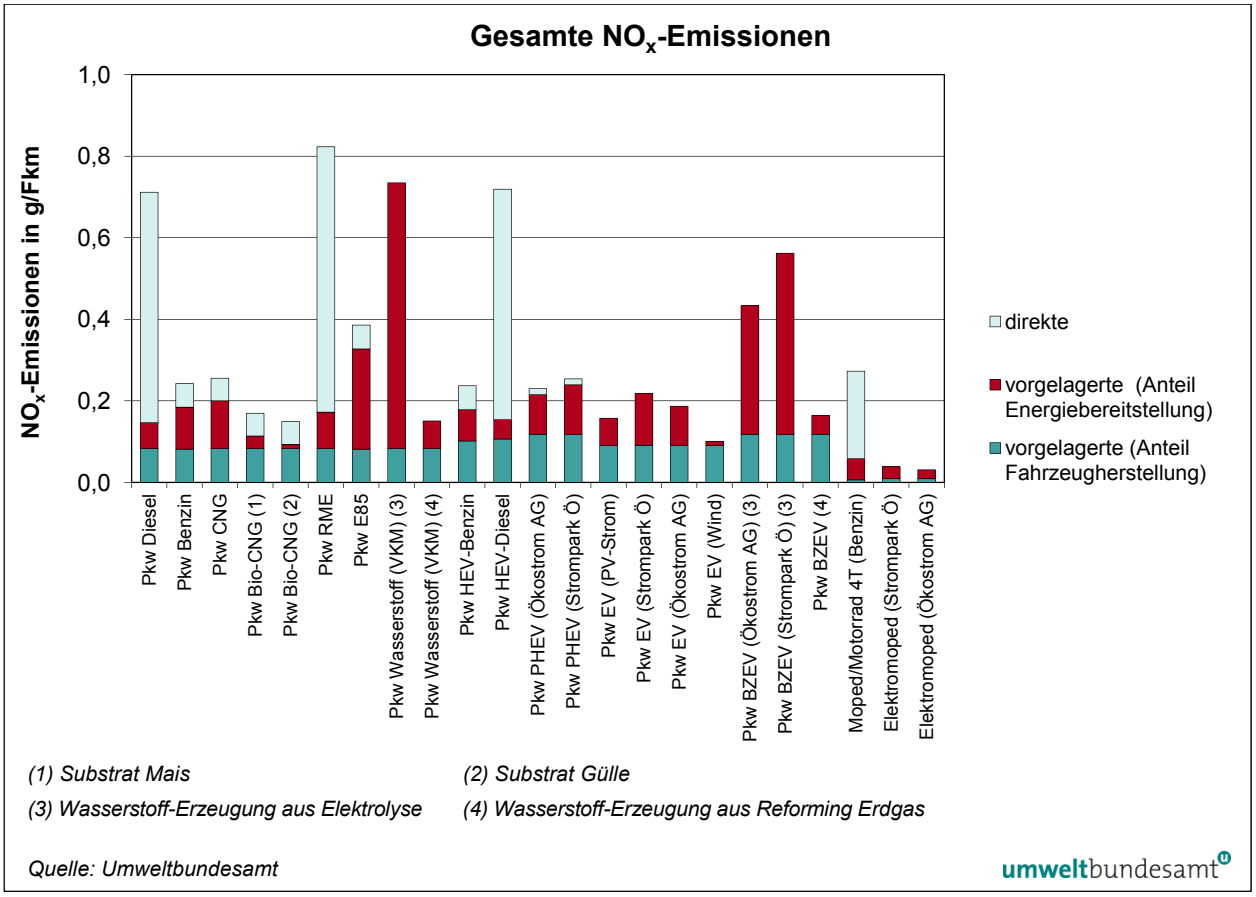


Abbildung 21: Gesamte Stickstoffoxid-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten.

5.1.2.2 Feinstaub (PM)

Vorgelagerte PM-Emissionen

Abbildung 22 zeigt die vorgelagerten PM-Emissionen aus der Fahrzeugherstellung sowie der Energiebereitstellung.

Ergebnisse Fahrzeugherstellung

Hinsichtlich der Fahrzeugherstellung zeigt sich Folgendes:

- Die Ergebnisse liegen in einem ähnlichen Bereich wie bei den Treibhausgas-Emissionen und den Stickstoffoxiden, die Varianz ist ähnlich gering.
- Pkw nach dem Otto-Prinzip, in diesem Fall benzin- und E85-betriebene Fahrzeuge, weisen aufgrund des geringeren Herstellungsaufwandes hinsichtlich der PM-Emissionen Vorteile auf.
- Die anteiligen PM-Emissionen der Pkw-Herstellung liegen im Bereich von 0,04–0,06 g/Fkm.

- Die höchsten vorgelagerten Emissionen entstehen bei der Produktion der Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge, da hier der Materialaufwand signifikant am höchsten ist.
- Durch den geringen Materialaufwand bei einem Moped bzw. Motorrad entstehen hier nur sehr geringe vorgelagerte Emissionen von weniger als einem Zehntel im Vergleich zum Pkw.

Ergebnisse Energiebereitstellung

Hinsichtlich der Energiebereitstellung zeigt sich Folgendes:

- Konventionelle Kraftstoffe und auch (Bio)-CNG erzeugen in der Energiebereitstellung PM-Emissionen in etwa gleicher Höhe.
- E85 hat im Vergleich zu konventionellen Kraftstoffen mehrfach höhere PM-Emissionen von etwa 0,03 g/Fkm.
- Stromgestehung aus dem Kraftwerksmix, aus Ökostrom und aus Windkraft erzeugt sehr niedrige vorgelagerte Prozessemissionen. Dagegen ergeben sich die höchsten PM-Emissionen aus dem PV-Strom. Ursache hierfür ist die energieaufwändige Produktion der PV-Module.

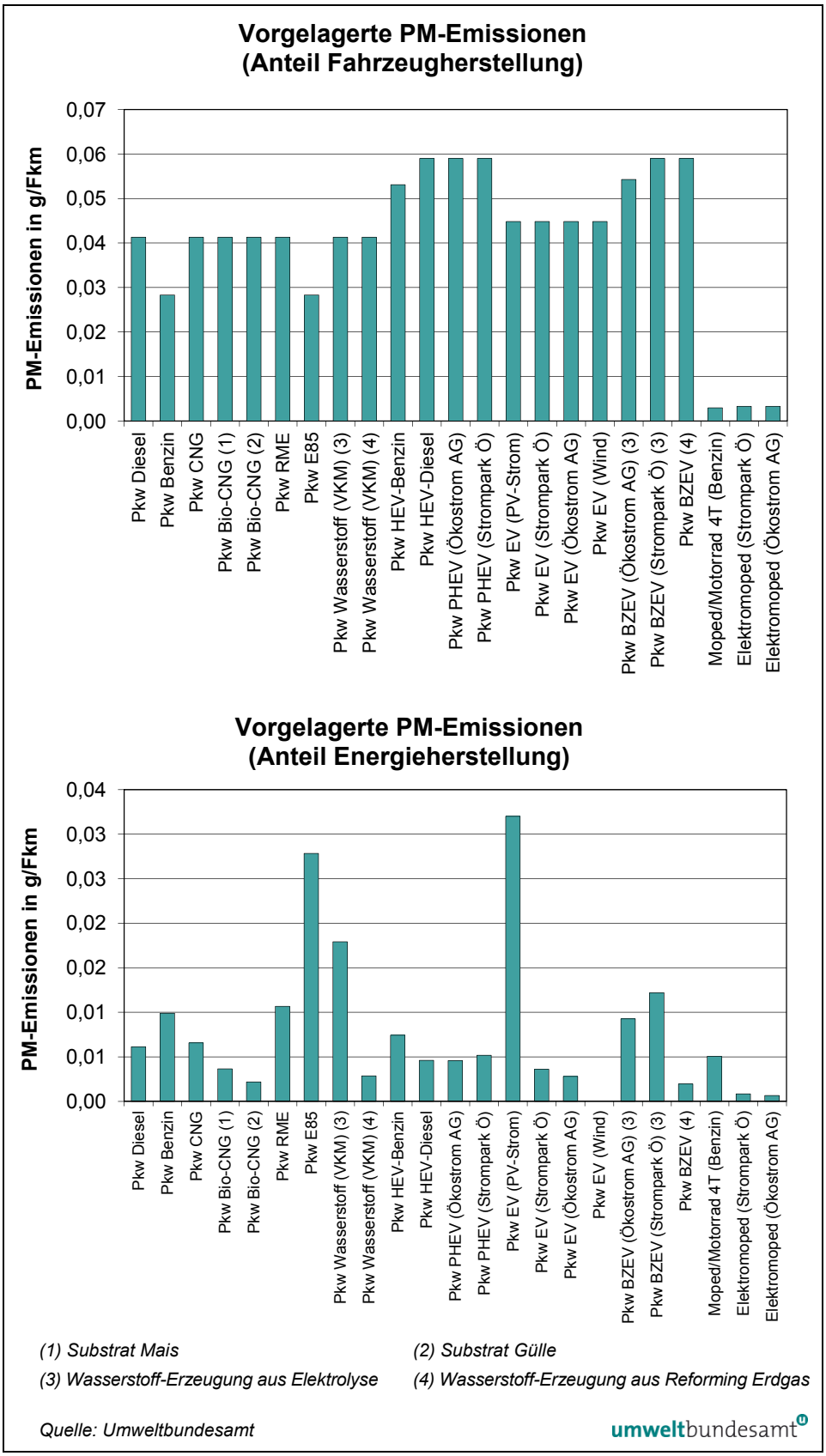


Abbildung 22: Vorgelagerte Staub-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten; der Anteil der Fahrzeugherstellung und der Energiebereitstellung sind getrennt dargestellt.

Direkte PM-Emissionen

Ergebnisse direkte PM-Emissionen

Die PM-Emissionen aller Antriebskonzepte sind durchwegs auf sehr niedrigem Niveau bzw. emittieren elektrisch angetriebene Fahrzeuge keine PM-Emissionen. Diesel-Pkw emittieren durch den Einsatz von Partikelfiltern aktuell in etwa die gleichen Mengen Partikel wie vergleichbare Benzinfahrzeuge.

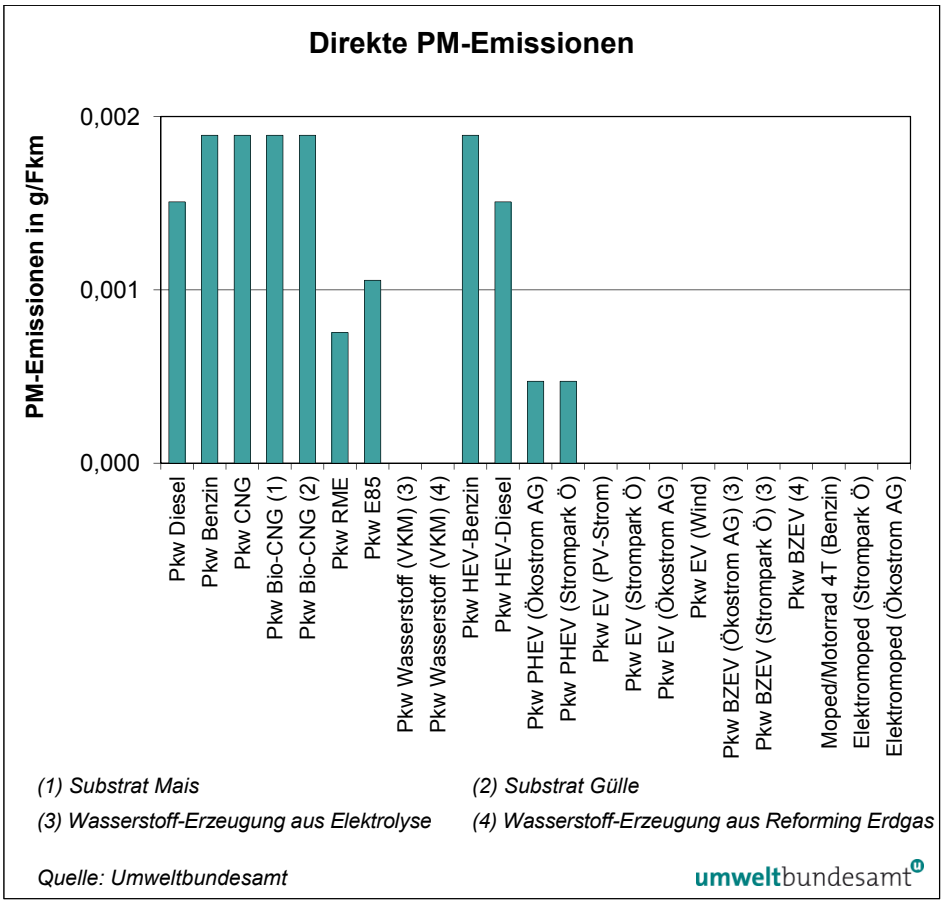


Abbildung 23: Direkte Staub-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten.

Gesamte PM-Emissionen

Abbildung 24 zeigt die aufaddierten vorgelagerten und direkten PM-Emissionen, gekennzeichnet nach ihrem Ursprung. Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

Ergebnisse gesamte PM-Emissionen

- Die größten Anteile an den PM-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte ergeben sich aus der Fahrzeugherstellung, die größte Variationsbreite aus der vorgelagerten Energiebereitstellung. Zusammen stellen sie den weitaus größten Teil der gesamten Lebenszyklus PM-Emissionen dar. Die unmittelbar gesundheitsschädlichen direkten PM-Emissionen sind in dieser Betrachtung vernachlässigbar gering – zumal auch mittlerweile fast alle VKM-Motoren, die nach dem Diesel-Prinzip funktionieren, mit Dieselpartikelfiltern ausgestattet sind.
- Elektrofahrzeuge, welche theoretisch mit 100 % PV-Strom betrieben werden, bilanzieren hier am schlechtesten. Grund ist die energieintensive Herstellung der PV-Module.

- Mopeds bilanzieren aufgrund ihres geringen Material- und Energiebedarfes sowohl in der Vorkette als auch direkt am besten hinsichtlich ihrer Lebenszyklus PM-Emissionen.

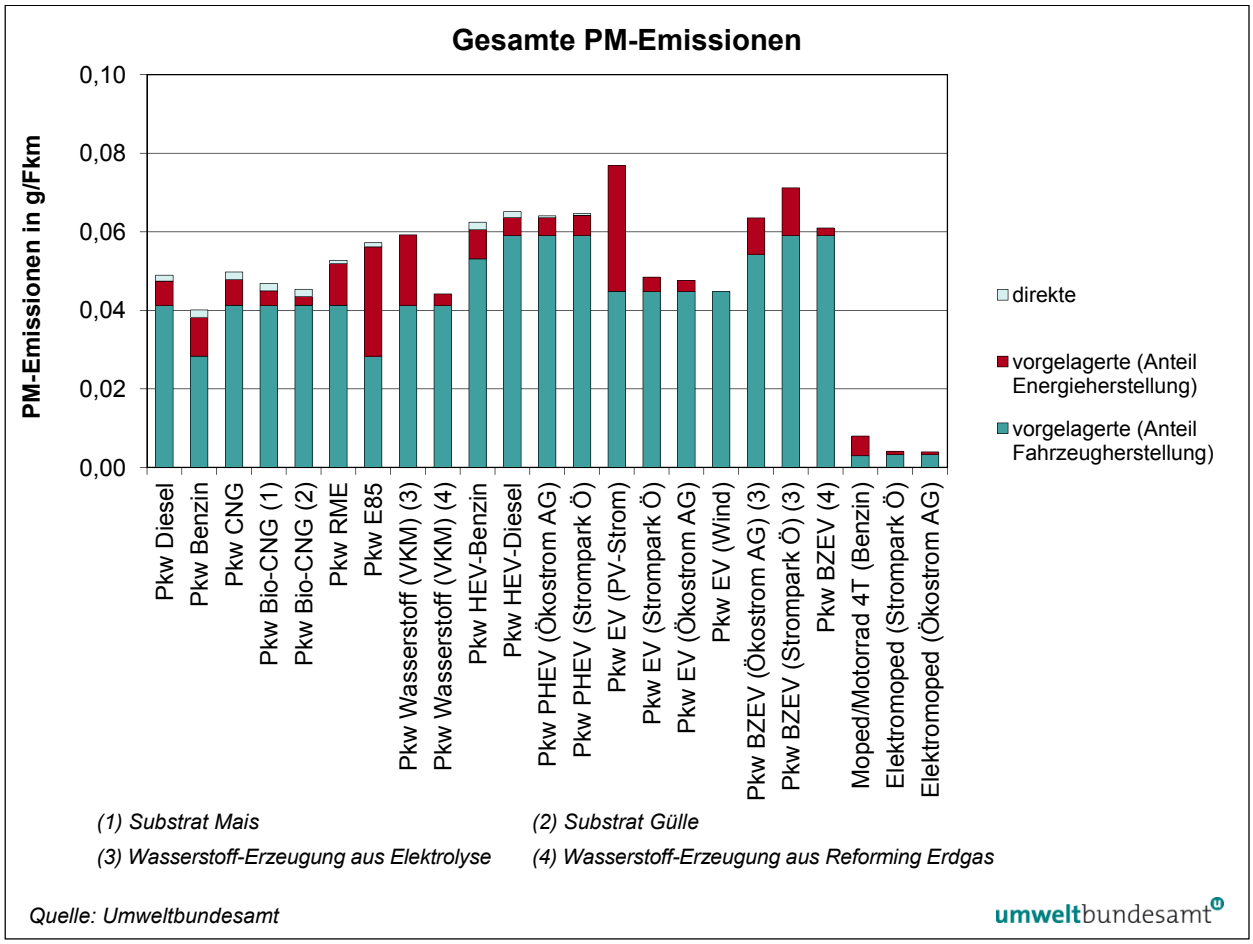


Abbildung 24: Gesamte Staub-Emissionen der einzelnen Fahrzeugvarianten.

5.2 Energieeinsatz

Im folgenden Unterkapitel finden sich Berechnungsergebnisse der Lebenszyklusanalyse für den Energiebedarf.

5.2.1 Vorgelagerter Energieeinsatz

Die Diagramme in Abbildung 25 zeigen den vorgelagerten Energiebedarf aus der Fahrzeugherstellung sowie der Energiebereitstellung.

Ergebnisse Fahrzeugherstellung

Hinsichtlich der Fahrzeugherstellung zeigt sich Folgendes:

- Der anteilige Energieeinsatz der Pkw liegt im Bereich von etwa 0,13–0,2 kWh/Fkm.
- Der höchste vorgelagerte Energieeinsatz entsteht bei der Produktion der Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge, da hier der Materialaufwand signifikant am höchsten ist.
- Das reine Elektrofahrzeug besitzt einen niedrigeren vorgelagerten Energieeinsatz im Vergleich mit dem konventionell betriebenen Pkw. Mit ausschlaggebend ist hier wiederum – wie auch bei den THG- und den Luftschadstoff-Emissionen – die Betrachtung des kleineren marktfähigen Elektrofahrzeuges mit entsprechend geringerem Material- und Fertigungsaufwand.
- Durch den geringen Materialaufwand bei einem Moped bzw. Motorrad entsteht hier nur ein geringer vorgelagerter Energieeinsatz.

Ergebnisse Energiebereitstellung

Hinsichtlich der Energiebereitstellung zeigt sich Folgendes:

- Konventionelle und Biokraftstoffe sind in der Energiebereitstellung durch einen etwa gleichwertigen Energieaufwand im Bereich von etwa 0,4–0,9 kWh/Fkm gekennzeichnet. Ausnahmen sind Bio-CNG aus Mais und Gülle mit einem sehr niedrigen Energieeinsatz bzw. CNG mit hohem Energiebedarf von etwa 1,2 kWh/Fkm.
- Wasserstoff aus der Hydrolyse benötigt am meisten Energie zur Herstellung. Je nach Einsatz in der VKM oder in der Brennstoffzelle und dem damit verbundenen Wirkungsgrad bzw. Energieverbrauch variieren die Ergebnisse deutlich.
- Elektrofahrzeuge und auch die Hybridformen bilanzieren in der Energiebereitstellung durch ihre hohen Antriebsstrangwirkungsgrade durchwegs am besten.

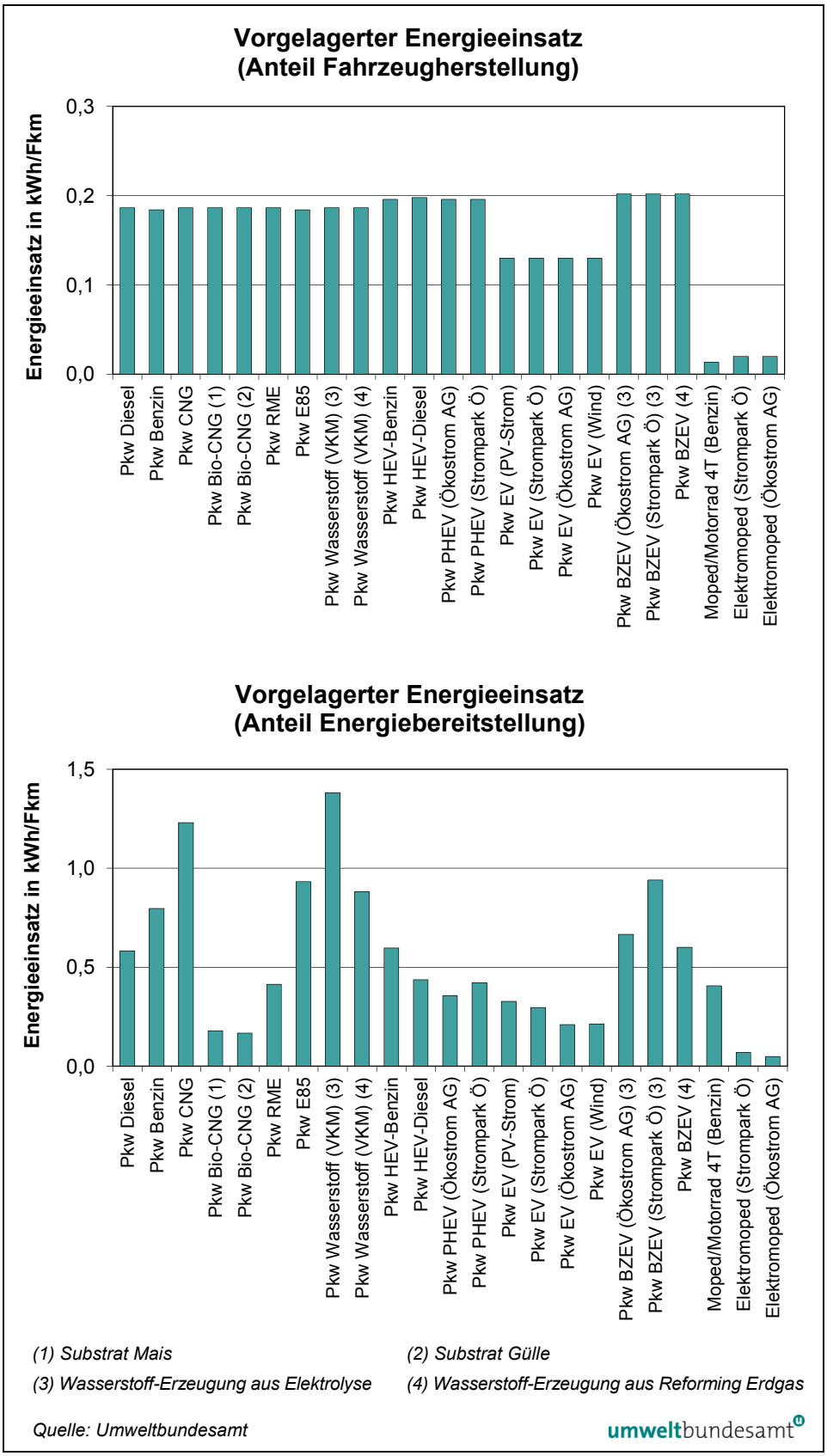


Abbildung 25: Vorgelagerter Energieeinsatz der einzelnen Fahrzeugvarianten; der Anteil der Fahrzeugherstellung und der Energiebereitstellung sind getrennt dargestellt.

5.2.2 Direkter Energieeinsatz

Ergebnisse direkter Energieeinsatz

Hinsichtlich des direkten Energieeinsatzes im Fahrbetrieb ergeben sich die wesentlichen Unterschiede bei den VKM hinsichtlich ihres Funktionsprinzips Otto- oder Dieselmotor. CNG oder E85 haben hier keinen wesentlichen Vorteil, da diese Fahrzeugkonzepte herstellerseitig auf Bi-Fuel-Betrieb ausgelegt sind und damit die Vorteile der höheren Oktanzahlen dieser Kraftstoffe nicht nutzen können.

Elektrische oder teilelektrische Fahrzeugkonzepte haben wesentlich höhere Antriebsstrangwirkungsgrade und benötigen dadurch signifikant weniger Energie. Da die Brennstoffzelle allerdings einen wesentlich geringeren Wirkungsgrad (etwa 50 % im dynamischen Betrieb) besitzt, ist bei BZEV der Energieverbrauch vergleichsweise deutlich höher.

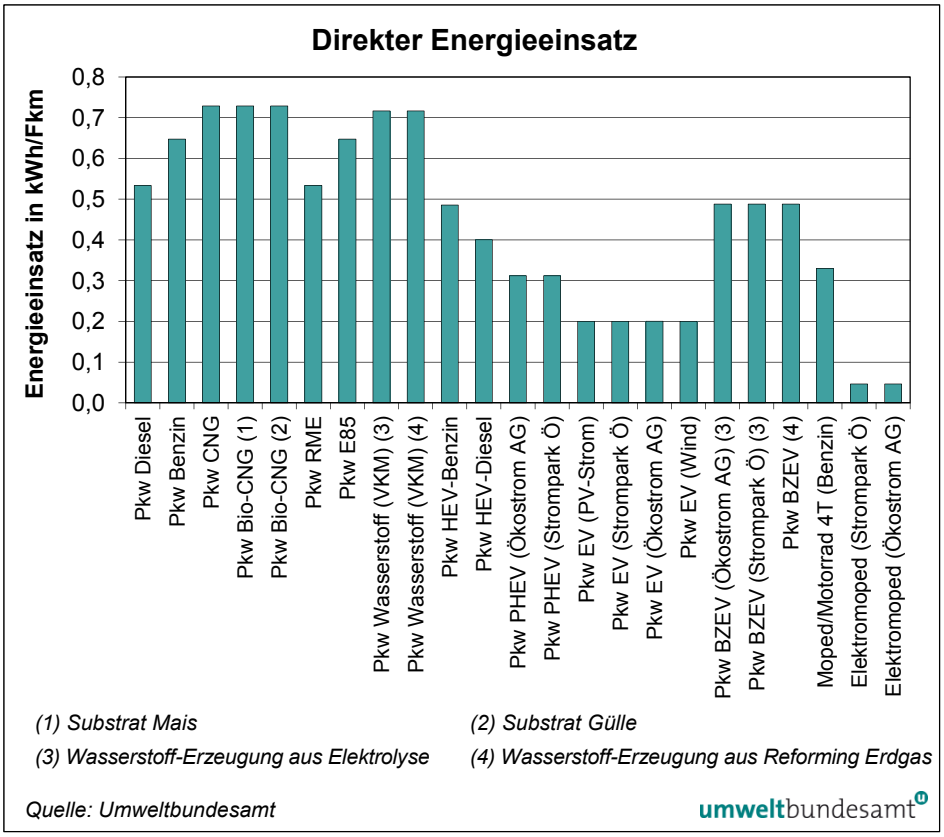


Abbildung 26: Direkter Energieeinsatz der einzelnen Fahrzeugvarianten.

5.2.3 Gesamter Energieeinsatz

Ergebnisse gesamter Energieeinsatz

Abbildung 27 zeigt die aufaddierten vorgelagerten und direkten Energieeinsätze, gekennzeichnet nach ihrem Ursprung. Zusammenfassend können folgende Aussagen getroffen werden:

- Sowohl die größten Anteile als auch Variationen der Energieeinsätze der verschiedenen Fahrzeugkonzepte ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus dem fahrzeugseitigen Energieverbrauch. Die Fahrzeugherstellung hat einen geringeren Anteil und zeigt auch geringere Schwankungen.

- Pkw, welche mit Bio-CNG und RME betrieben werden, benötigen etwa dieselbe Energie wie moderne Hybridfahrzeuge. Einschränkend wirken hier allerdings die derzeit nur sehr geringe Verfügbarkeit sowie generell das Potenzial zur Versorgung der Fahrzeugflotte.
- Fahrzeugvarianten mit reiner Elektrotraktion zeigen die durchwegs niedrigsten gesamten Energieeinsätze, vor allem aufgrund ihrer sehr hohen Antriebsstrangeffizienz. Ausnahme ist hier das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug, da die Herstellung von Wasserstoff mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist.
- Reine Elektrofahrzeuge sowie das Elektromoped benötigen durchwegs die geringste Energie in der Betrachtung der Gesamtkette. Gesteigert werden kann diese Bilanz noch durch den Einsatz von regenerativen Energien. Die Einschränkungen hinsichtlich des Realbetriebs finden sich hier nicht in der Energiebereitstellung sondern bei der Fahrzeugverfügbarkeit.

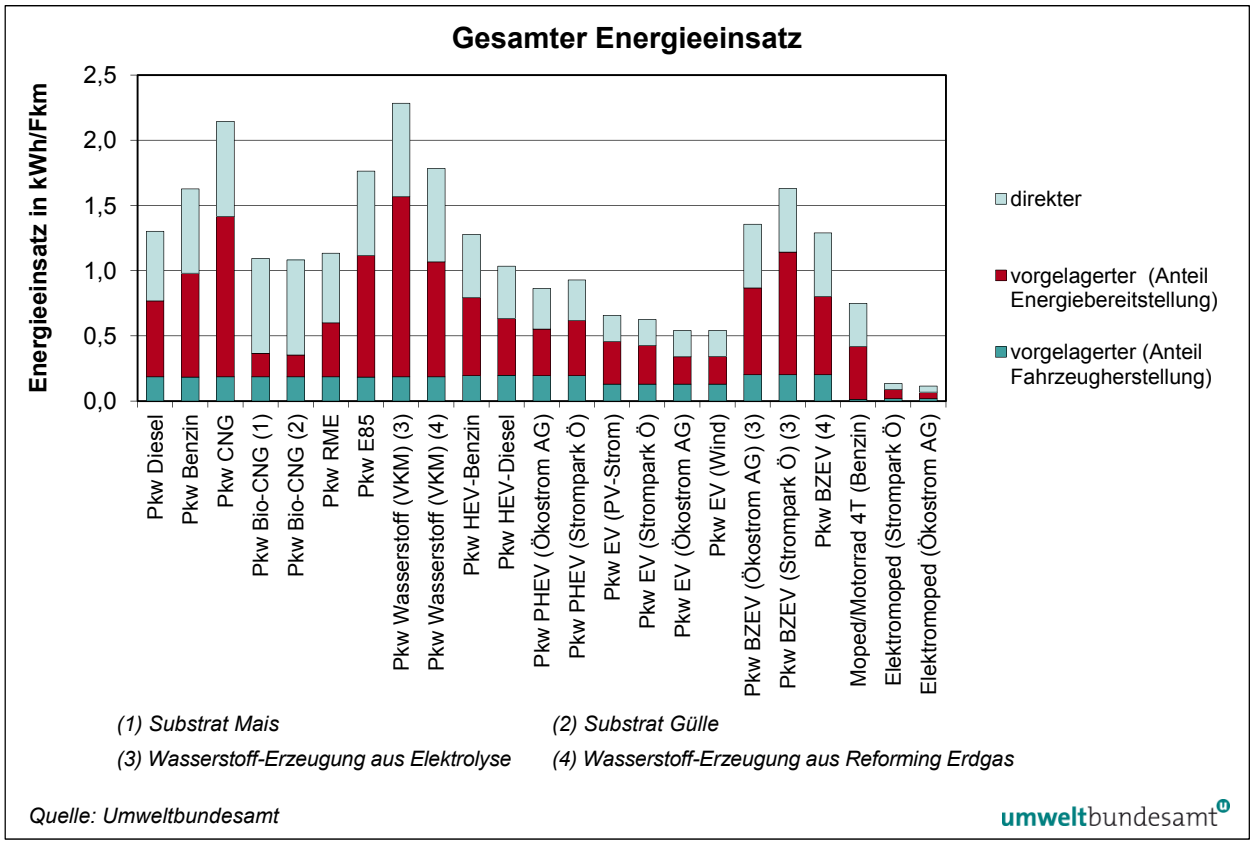


Abbildung 27: Gesamter Energieeinsatz der einzelnen Fahrzeugvarianten.

5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Reine Elektrofahrzeuge (EV) schneiden in der Gesamtbetrachtung in fast allen Kategorien durchwegs am besten ab, mit erneuerbarem Strom als Energiequelle lässt sich dieser Effekt noch bedeutend verbessern. Die aus heutiger Sicht praxistauglichere Fahrzeugvariante der Plug-in Hybriden bilanziert bei einer entsprechenden Verwendung unter Einsatz hoher Anteile Strom am Gesamtenergieeinsatz ebenfalls sehr gut.

THG-Emissionen

Speziell hinsichtlich der Treibhausgas-Emissionen der betrachteten Varianten können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Sowohl die größten Anteile als auch Variationen der THG-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus den direkten Emissionen. Die Fahrzeugherstellung zeigt hier geringere Anteile und weniger Schwankungen.
- Fahrzeugvarianten mit reiner Elektrotraktion zeigen die durchwegs niedrigsten gesamten THG-Emissionen. Eine Ausnahme bildet das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug. Mit konventionellem österreichischem Strom betrieben sorgt der Betrieb für etwa gleich hohe THG-Emissionen wie ein konventionell betriebenes Fahrzeug. Um mit diesem Fahrzeugtyp wesentliche THG-Reduktionen gegenüber konventionellen Antrieben zu erreichen, muss der Wasserstoff aus regenerativen Quellen stammen. Wasserstofffahrzeuge (VKM und BZEV) bilanzieren durch die mehrfachen Energieumwandlungsschritte in der Energieaufbringung eher schlecht, was sich auch auf THG- und Luftschadstoff-Emissionen auswirkt.
- Reine Elektrofahrzeuge sowie das Elektromoped erzeugen durchwegs die geringsten THG-Emissionen. Gesteigert werden kann diese Bilanz noch durch den Einsatz von regenerativen Energien. Die Einschränkungen hinsichtlich des Realbetriebs finden sich hier nicht in der Energiebereitstellung sondern bei der Fahrzeugverfügbarkeit.
- Eine weitere signifikante Ausnahme bildet der Betrieb mit Bio-CNG. Hier entstehen THG-Emissionen in Höhe der reinen Elektrofahrzeuge. Einschränkend wirken hier allerdings die nur sehr geringe Verfügbarkeit sowie generell das Potenzial zur Versorgung der Fahrzeugflotte.
- RME als – mit Einschränkungen – marktfähiger Kraftstoff erzeugt ebenfalls geringe THG-Emissionen.

Energieeinsatz

Speziell hinsichtlich der Energieeinsätze der betrachteten Varianten können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Sowohl die größten Anteile als auch Variationen der Energieeinsätze der verschiedenen Fahrzeugkonzepte ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus dem fahrzeugseitigen Energieverbrauch. Die Fahrzeugherstellung hat einen geringeren Anteil und zeigt kleinere Schwankungen.
- Pkw, welche mit Bio-CNG und RME betrieben werden, benötigen etwa dieselbe Energie wie moderne Hybridfahrzeuge. Einschränkend wirken hier allerdings die nur sehr geringe Verfügbarkeit sowie generell das Potenzial zur Versorgung der Fahrzeugflotte.
- Fahrzeugvarianten mit reiner Elektrotraktion zeigen die durchwegs niedrigsten gesamten Energieeinsätze, vor allem aufgrund ihrer sehr hohen Antriebsstrangeffizienz. Eine Ausnahme stellt das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug dar, da die Herstellung von Wasserstoff mit einem hohen Energieaufwand verbunden ist.
- Reine Elektrofahrzeuge sowie das Elektromoped benötigen durchwegs die wenigste Energie in der Betrachtung der Gesamtkette. Gesteigert werden kann diese Bilanz noch durch den Einsatz von regenerativen Energien. Die Einschränkungen hinsichtlich des Realbetriebs finden sich hier nicht in der Energiebereitstellung sondern bei der Fahrzeugverfügbarkeit.

Luftschadstoff-Emissionen

Speziell hinsichtlich der Luftschadstoff-Emissionen der betrachteten Varianten, können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Sowohl die größten Anteile als auch Variationen der NO_x-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung sowie aus den direkten Emissionen. Die Fahrzeugherstellung hat einen geringen Anteil und zeigt weniger Schwankungen.
- Fahrzeugvarianten mit reiner Elektrotraktion zeigen die durchwegs niedrigsten gesamten NO_x-Emissionen. Eine Ausnahme bildet das Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug. Mit konventionellem österreichischem Strom zur Herstellung von Wasserstoff sorgt der Betrieb für fast gleich hohe NO_x-Emissionen wie ein konventionell betriebenes Diesel Fahrzeug. Wesentlich günstiger bilanziert hier Wasserstoff aus Erdgas-Reforming
- Reine Elektrofahrzeuge, VKM nach dem Otto-Prinzip (Benzin, CNG, Wasserstoff) sowie das Elektromoped erzeugen durchwegs die geringsten NO_x-Emissionen. Verbessert kann diese Bilanz, wie bei Betrachtung der THG-Emissionen, durch den Einsatz von regenerativen Energien werden.
- Die größten Anteile an der Variation der PM-Emissionen der verschiedenen Fahrzeugkonzepte ergeben sich aus der vorgelagerten Energiebereitstellung Gemeinsam mit der Fahrzeugherstellung stellen diese den weitaus größten Teil der gesamten Lebenszyklus PM-Emissionen dar. Die unmittelbar gesundheitsschädlichen direkten PM-Emissionen sind in dieser Betrachtung vernachlässigbar gering – zumal auch mittlerweile fast alle VKM-Motoren, die nach dem Diesel-Prinzip funktionieren, mit Dieselpartikelfiltern ausgestattet sind.
- Die Elektrotraktion bietet bei der Schadstoffbetrachtung den signifikanten Vorteil, dass die Luftschadstoff-Emissionen nicht lokal anfallen.

Biokraftstoffe

Speziell hinsichtlich der Biokraftstoffe können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Biokraftstoffe ermöglichen im Vergleich zu fossilen Kraftstoffen Einsparungen im Bereich der THG-Emissionen.
- Bei der Verwendung von alternativen Anbaumethoden oder gar Reststoffen und Abfällen für die Biokraftstoffproduktion sind weitere Reduktionen möglich. Besonders durch den Einsatz von Reststoffen (bspw. Gülle etc.) können die für den hohen Anteil an vorgelagerten CO_2-Emissionen verantwortlichen Emissionen vermieden werden.
- Bei den Luftschadstoffen sind keine wesentlichen Veränderungen festzustellen. Die bei der Verbrennung im Fahrzeug anfallenden Ausstöße sind auch immer im Zusammenhang mit der Fahrzeugtechnik zu sehen – ein für den Einsatz von Biokraftstoffen freigegebenes Fahrzeug ermöglicht eine saubere und vollständige Verbrennung der Biokraftstoffe und lässt keine negativen Effekte erwarten. Bei NO_x liegen die untersuchten Alternativen im Bereich der fossilen Varianten

Wasserstoff

Speziell hinsichtlich Wasserstoff können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Beim Wasserstofffahrzeug ist die Energiebereitstellung, welche für die Produktion des Wasserstoffs notwendig ist, noch entscheidender als bei den Elektrofahrzeugen – über die gesamte Prozesskette betrachtet variieren die Ergebnisse zwischen Energiebereitstellung aus Ökostromanlagen und dem Österreichischen Kraftstoffpark massiv.

- Im Vergleich zu den untersuchten Elektrofahrzeugvarianten erzielen Wasserstofffahrzeuge deutliche schlechtere Ergebnisse – dies liegt vor allem an dem höheren Materialeinsatz (Brennstoffzelle, Tank, Akku), aber auch an zusätzlichen Umwandlungsschritten (Strom → Wasserstoff → Strom) der Energieträger.
- Bei den Luftschadstoffen liegen die Gesamthöhen je nach Antriebsart in der Größenordnung flüssiger fossiler Kraftstoffe – allerdings ist zu berücksichtigen, dass beim Betrieb von BZEV, wie auch beim Elektrofahrzeug, keinerlei Emissionen anfallen.

Elektro- und Hybridfahrzeuge

Speziell hinsichtlich der Elektro- und Hybridfahrzeuge (HEV, PHEV) können folgende Ergebnisse abgeleitet werden:

- Elektrofahrzeuge und auch die Hybridformen bilanzieren in der Energiebereitstellung durch ihre hohen Antriebsstrangwirkungsgrade durchwegs am besten. Je weiter fortgeschritten die Elektrifizierung, desto höher gewöhnlich der Effekt. Diese Aussage ist auch für die Treibhausgasbewertung zulässig.

6 SENSITIVITÄTSANALYSE

Dieser Abschnitt beschreibt, wie stark das Ergebnis der Berechnungen beeinflusst wird, wenn sich ein wesentlicher Parameter der Eingangsdaten verändert. Dazu werden Sensitivitäten der untersuchten Varianten bezüglich klimarelevanter (THG) und Luft-Schadstoffe (NO_x, Staub) sowie des Energieeinsatzes untersucht. Ziel ist es, kritische Einflussfaktoren systematisch zu überprüfen und allfällige Optimierungspotenziale bzw. besonders kritische Faktoren aufzuzeigen.

variierte Parameter

Folgende Parameter werden variiert und deren (maximale) Einflüsse dargestellt:

- Speichertechnologie: Für Fahrzeuge mit mindestens teilweisem Elektroantrieb wurde die Akkutechnologie variiert.
- PV-Technologie: Für Fahrzeuge mit reinem Elektroantrieb wurde jeweils ein Parameter der Photovoltaik variiert.

Während der Variation eines Parameters bleiben alle anderen Parameter in ihrer Ausprägung unverändert.

Bei den Speichertechnologien ist der Lithium-Ionen-Akku die Standard-Technologie.

PV-Anlage als Standard

Für die PV-Anlage gelten folgende Annahmen als Standard-Technologie:

- Technologie: monokristalline PV-Anlage,
- Standort: Sonneneinstrahlung 1.200 W/m²a (mittlerer Standort),
- Lebensdauer: 23 Jahre (der PV-Anlage),

Die Ergebnisse aus den Berechnungen zu den Ökobilanzen aus Kapitel 2.4 werden hier für die betrachteten Fahrzeuge übernommen. Der mit Standard-Technologie erreichbare Wert wird jeweils mit 100 % angenommen. Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf Fahrzeugkilometer (Fkm).

6.1 Sensitivität der Energiespeichersysteme

Eine zentrale Frage, die sich im Zuge dieser Studie stellt, ist jene nach dem Einfluss des Energiespeichers auf die Ergebnisse der Lebenszyklusanalyse. An dieser Stelle wird die Sensitivität anhand der vier untersuchten Akkutechnologien Li-Ionen (festgelegte Standard-Technologie), $LiFePO_4$, Li-Polymer und ZEBRA behandelt. Verglichen werden die Pkw-Fahrzeuge mit teilweisem oder reinem Elektroantrieb.

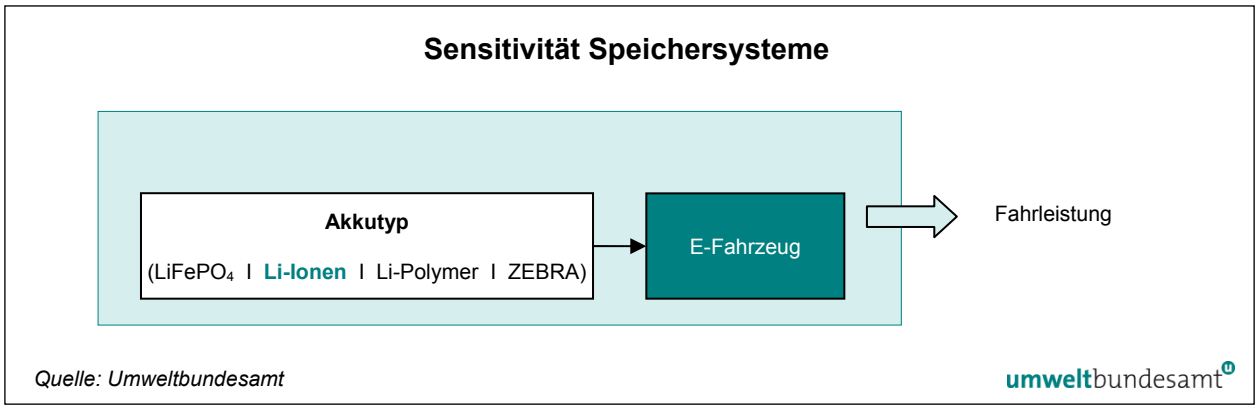


Abbildung 28: Varianten an Speichersystemen für das betrachtete Elektrofahrzeug (Li-Ionen: Standardtechnologie).“

Die Emissionen der festgelegten Standard-Technologie entsprechen in der folgenden Tabelle und der Abbildung beim Fehlerbalken 100 %. Die Variation bezieht sich hierbei auf den Akku-Anteil, der restliche Anteil bleibt gleich.

6.1.1 Treibhausgas-Emissionen

Die Tabelle zeigt den Einfluss auf die THG-Emissionen, wenn ein Akku aus einer anderen Technologie eingesetzt wird.

Tabelle 12: THG-Emissionen für verschiedene Akku-Technologien.

Akku-Technologie	THG-Emissionen des Akku-Anteils in %
$LiFePO_4$	79
Li-Ionen (Standard-Technologie)	100
Li-Polymer	183
ZEBRA	157

Beim Tausch des Standard-Akkus gegen einen $LiFePO_4$-Akku verringern sich die THG-Emissionen des Akku-Anteils über den gesamten Lebensweg auf 79 %. Der ZEBRA-Akku weist höhere THG-Emissionen (157 %) auf, die höchsten THG-Emissionen treten auf, wenn als Speichertechnologie der Li-Polymer-Akku (183 %) eingesetzt wird.

Einfluss des Akkugewichtes

Das Akkugewicht beeinflusst die Höhe der Varianz deutlich. Die kleinste Varianz tritt bei Hybrid-Elektrofahrzeugen auf (Akkugewicht 25 kg) und die größte bei den reinen Elektrofahrzeugen (Akkugewicht 200 kg) (siehe auch die Aufstellung der Akkugewichte im Anhang).

Wie in der folgenden Grafik dargestellt, kommt es – bezogen auf die THG-Emissionen der unterschiedlichen Fahrzeugkonzepte – zu keinen signifikanten Verschiebungen in der Reihung durch eine Variation der Akkusysteme (vgl. Abbildung 18).

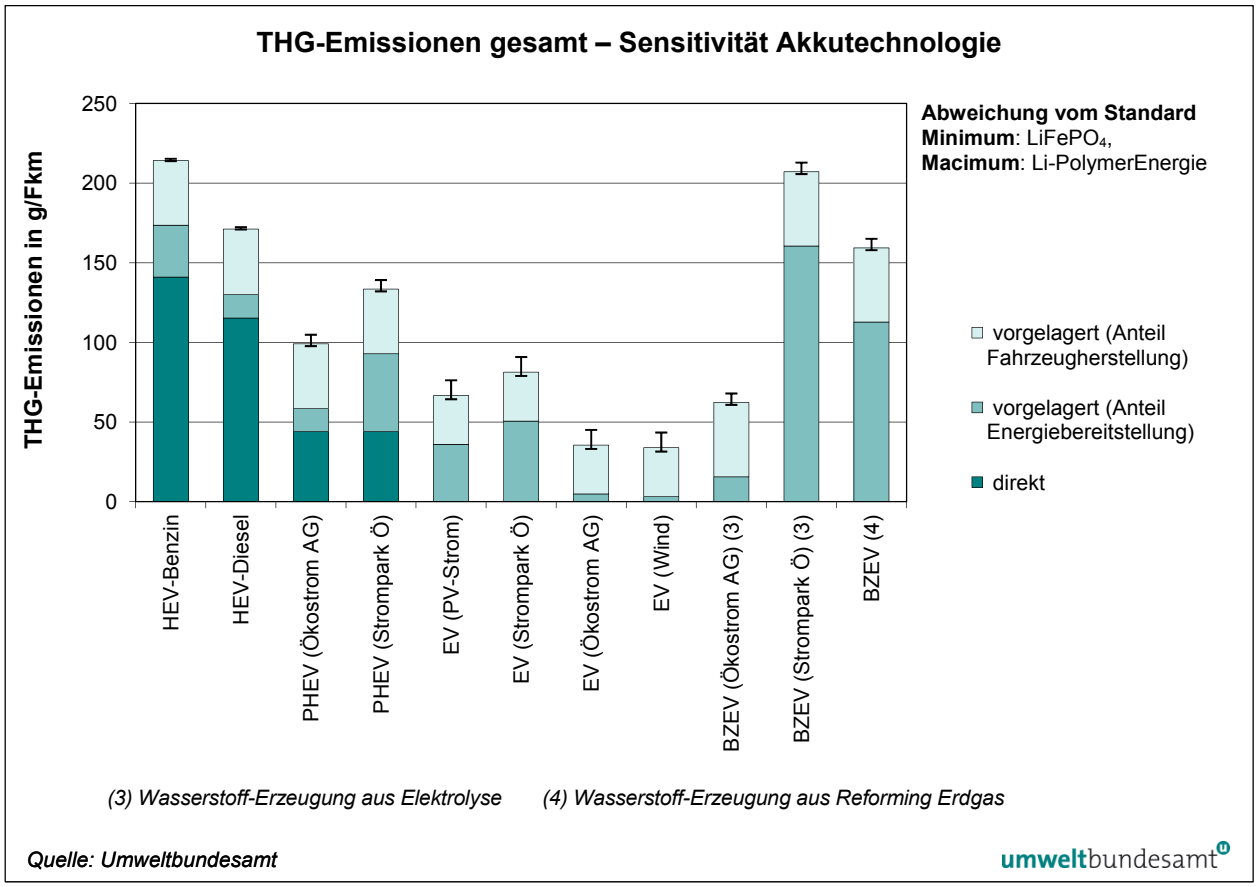


Abbildung 29: Gesamte THG-Emissionen für verschiedene Elektrofahrzeuge und Abweichung der verschiedenen Akku-Technologien ($LiFePO_4$, Li-Polymer, ZEBRA) von der Standard-Technologie (Li-Ionen).

6.1.2 Luftschadstoffe

6.1.2.1 Stickstoffoxide (NO_x)

Wie sich die unterschiedlichen Akkutechnologien auf die NO_x-Emissionen des Akkuanteils auswirken, zeigen Tabelle 13 und Abbildung 30.

Tabelle 13: Stickstoffoxid-Emissionen für verschiedene Akku-Technologien.

Akku-Technologie	NO_x-Emissionen des Akku-Anteils in %
$LiFePO_4$	92
Li-Ionen (Standard-Technologie)	100
Li-Polymer	132
ZEBRA	101

Bei Einsatz eines $LiFePO_4$-Akkus verringern sich die NO_x-Emissionen des Akku-Anteils über den gesamten Lebensweg auf 92 %. Der ZEBRA-Akku weist nahezu gleiche NO_x-Emissionen (101 %) wie die Standard-Technologie auf, die höchsten NO_x-Emissionen werden bei diesem Vergleich dem Li-Polymer-Akku (132 %) zugeordnet.

Einfluss des Akkugewichtes

Das Akkugewicht hat einen deutlichen Einfluss auf die Größe der Varianz. Die kleinste Varianz tritt wiederum bei Hybrid-Elektrofahrzeugen (Akkugewicht 25 kg), und die größte bei den reinen Elektrofahrzeugen (Akkugewicht 200 kg).

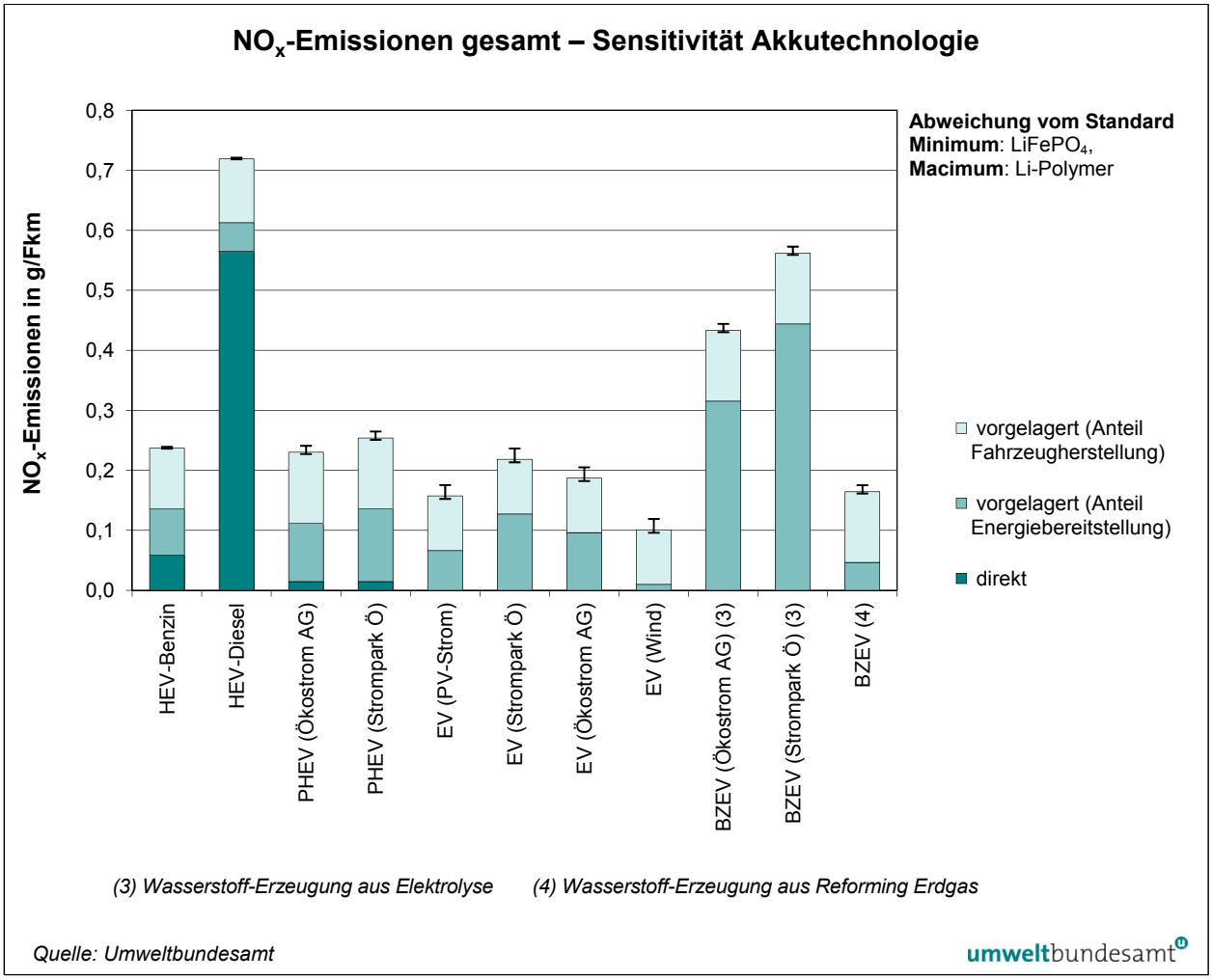


Abbildung 30: Gesamte NO_x-Emissionen für verschiedene Elektrofahrzeuge und Abweichung der verschiedenen Akku-Technologien ($LiFePO_4$, Li-Polymer, ZEBRA) von der Standard-Technologie (Li-Ionen).

6.1.2.2 Feinstaub (PM)

Die folgende Tabelle zeigt den Einfluss verschiedener Akku-Technologien auf die Feinstaub-Emissionen.

Tabelle 14: Staub-Emissionen für verschiedene Akku-Technologien.

Akku-Technologie	PM-Emissionen des Akku-Anteils in %
$LiFePO_4$	65
Li-Ionen (Standard-Technologie)	100
Li-Polymer	190
ZEBRA	134

Hinsichtlich der PM-Emissionen ergibt sich durch Variation der Akkutechnologie eine relativ große absolute Schwankung, da der Akkumulator bei der Fahrzeugproduktion eine gewichtige Rolle für Feinstaub-Emissionen spielt. In der Gesamtbetrachtung ergeben sich durch die Akkuauswahl Unterschiede von bis zu etwa einem Zehntel der Lebenszyklus-Emissionen.

große Schwankungsbreite

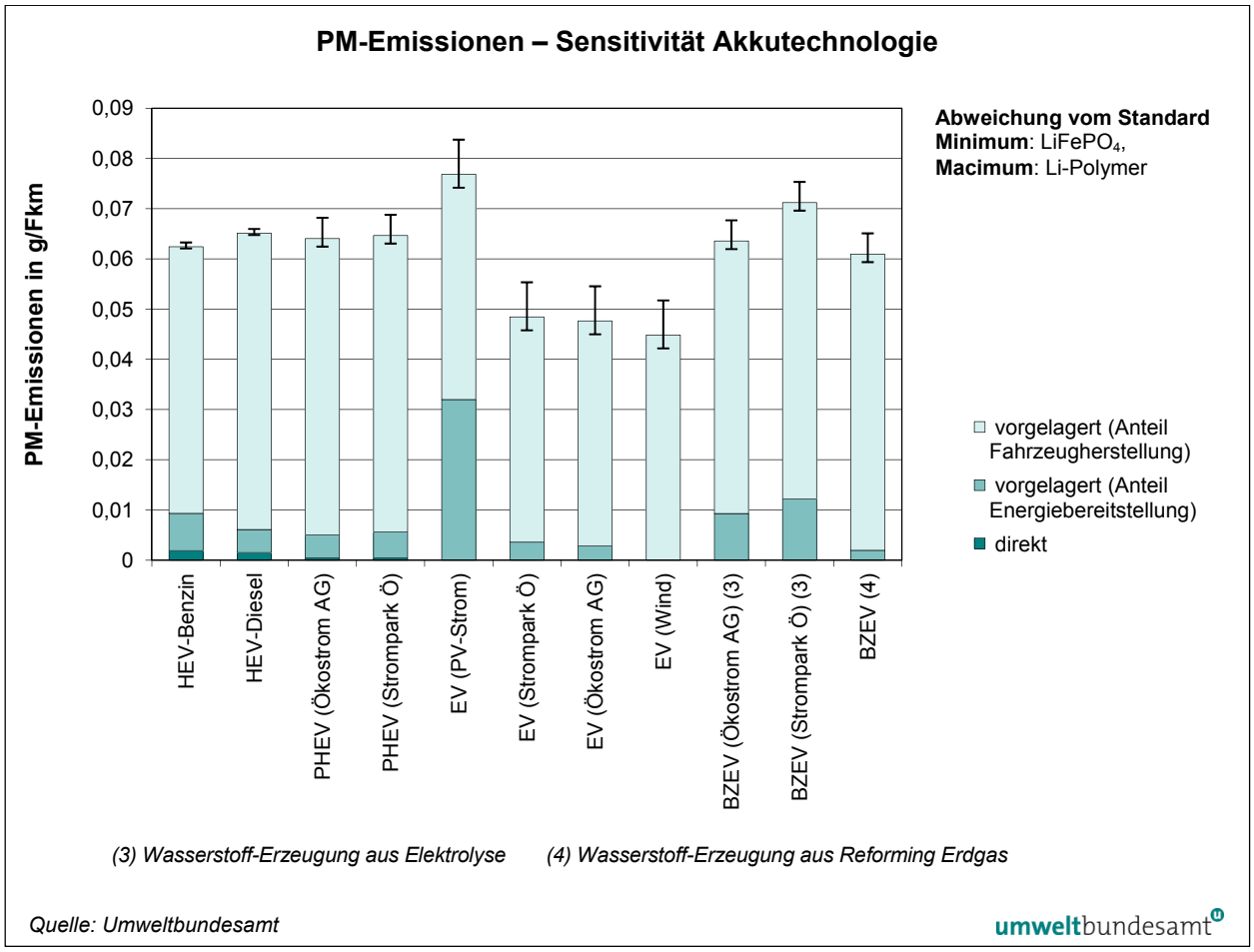


Abbildung 31: Gesamte Staub-Emissionen für verschiedene Elektrofahrzeuge und Abweichung der verschiedenen Akku-Technologien ($LiFePO_4$, Li-Polymer, ZEBRA) von der Standard-Technologie (Li-Ionen).

6.1.3 Energieeinsatz

Die Tabelle zeigt den Einfluss auf den Energieeinsatz wenn ein Akku aus einer anderen Technologie eingesetzt wird.

Tabelle 15: Energieeinsatz für verschiedene Akku-Technologien.

Akku-Technologie	Energieeinsatz des Akku-Anteils in %
$LiFePO_4$	91
Li-Ionen (Standard-Technologie)	100
Li-Polymer	136
ZEBRA	83

signifikante Auswirkungen

Durch den geringen direkten Energieeinsatz, vor allem von reinen Elektrofahrzeugen, wirkt sich die eingesetzte Akkutechnologie in einer Sensitivitätsbetrachtung signifikant aus. Die Variation des Akkumulators resultiert in einer Änderung des Gesamtenergieeinsatzes pro Fahrzeugkilometer von mehr als 10 %, entsprechend geringer sind die Varianzen bei Fahrzeugkonzepten mit geringeren Akkukapazitäten.

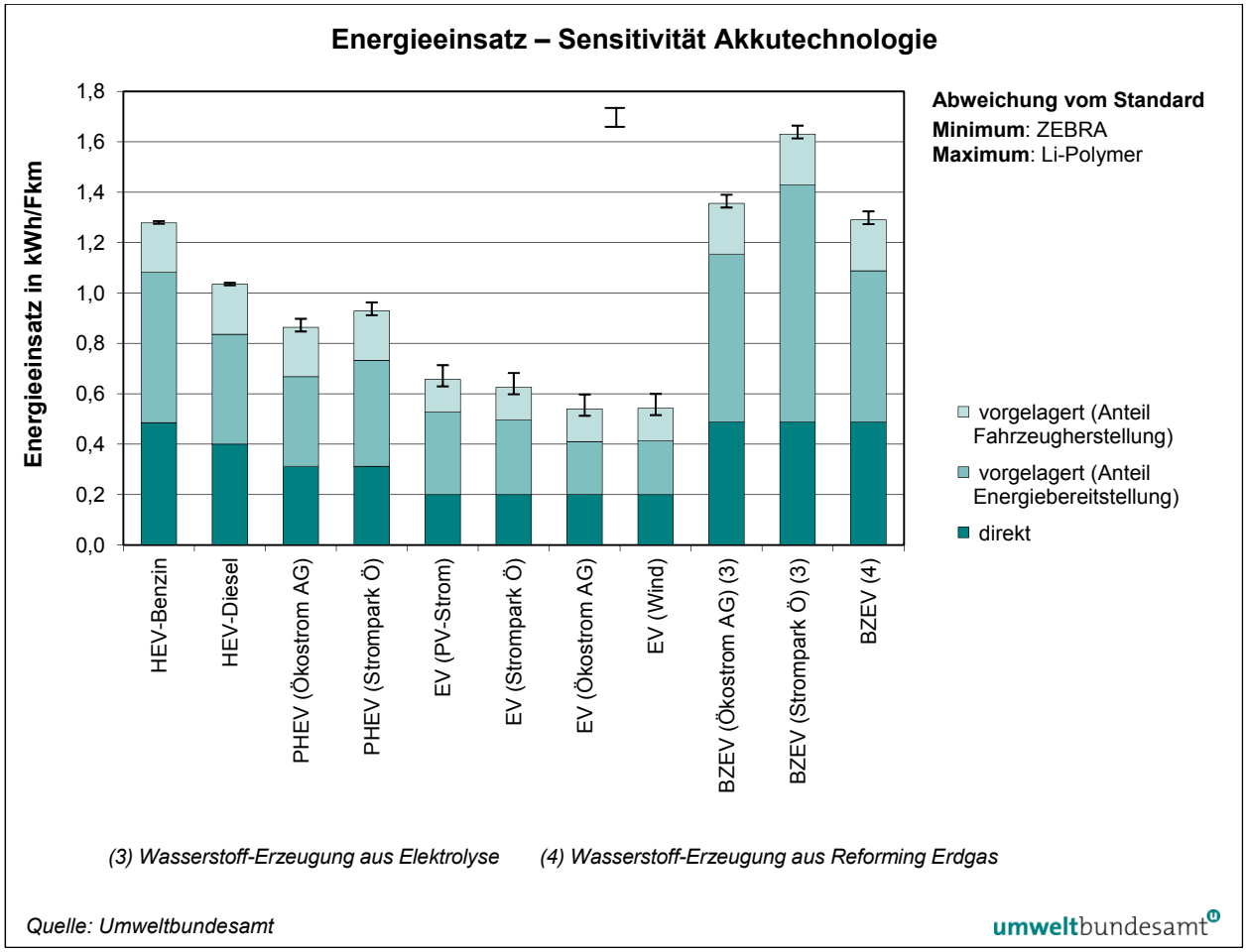


Abbildung 32: Gesamter Energieeinsatz für verschiedene Elektrofahrzeuge und Abweichung der verschiedenen Akku-Technologien ($LiFePO_4$, Li-Polymer, ZEBRA) von der Standard-Technologie (Li-Ionen).

6.2 Sensitivität der PV-Module

Es werden Fahrzeuge mit reinem Elektroantrieb betrachtet, die ihren Strom aus Photovoltaik-Anlagen beziehen.

Betrachtet werden folgende Parameter der Photovoltaik (siehe Abbildung 33):

- PV-Technologien,
- Strahlungsintensität (Standort),
- Lebensdauer der PV-Module.

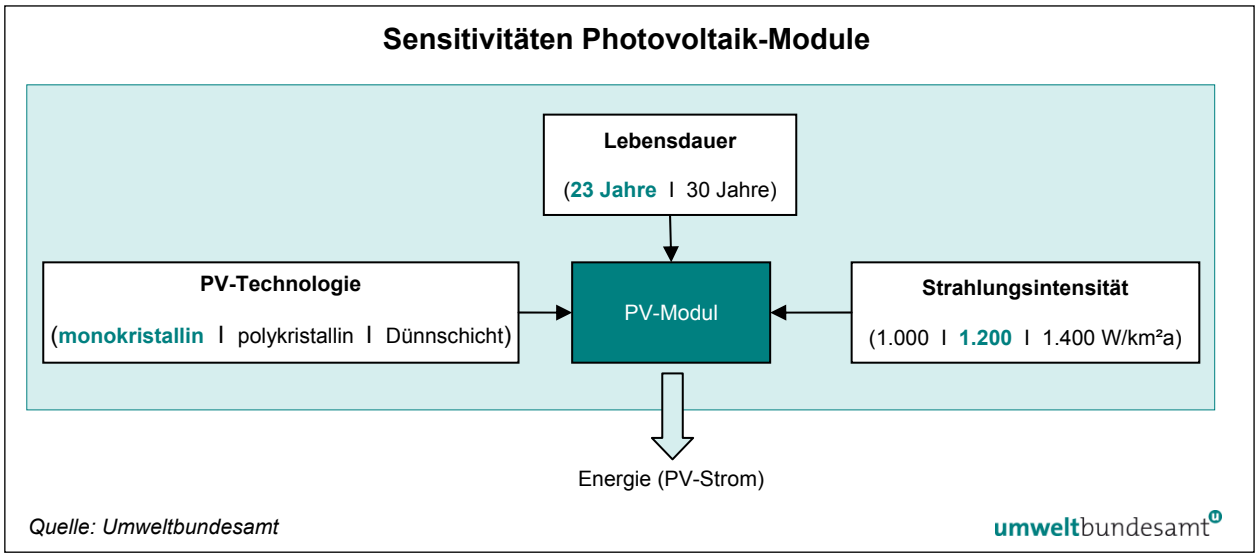


Abbildung 33: Varianten im Bereich Photovoltaik für das betrachtete Elektrofahrzeug (fett gedruckt: Standardtechnologie).

Die Variationen der Sonneneinstrahlung werden anhand von Österreich-spezifischen Standorten von 1.000 bis 1.400 kWh/m²a angenommen.

Der Einfluss verschiedener Technologien von Photovoltaikmodulen wird dargestellt und verglichen. Die besten Werte ergeben sich bei Dünnschichtzellen, die schlechtesten bei der Verwendung von monokristallinen Zellen. Die Abweichungen der THG-Emissionen je Technologie reichen von – 5,3 % bis – 6,3 % und sind weniger relevant als die Einflüsse von Standort und Lebensdauer.

6.2.1 THG-Emissionen

Wie sich Variationen der PV-Technologie sowie der Standort und die Lebensdauer auf die THG-Emissionen der Stromproduktion auswirken, zeigen nachfolgende Tabelle und Abbildung.

Tabelle 16: THG-Emissionen für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik.

PV-Module	**THG-Emissionen**
Technologie	**Emissionen im Vergleich zur Standard-Technologie**
monokristallin (Standard-Technologie)	100 %
polykristallin	93,7 %
amorph	84,7 %
Standort	**Abweichung vom mittleren Standort[1)] in beide Richtungen**
monokristallin (Standard-Technologie)	14,4 %
polykristallin	14,3 %
amorph	14,3 %
Lebensdauer	**Veränderung der PV-Lebensdauer von 23 auf 30 Jahre**
monokristallin (Standard-Technologie)	– 23,3 %
polykristallin	– 23,3 %
amorph	– 23,3 %

[1)] *schlechter Standort: 1.000 kWh/m², mittlerer Standort: 1.200 kWh/m², guter Standort: 1.400 kWh/m²*

Faktoren zur THG-Einsparungen

Wie in der folgenden Abbildung dargestellt, könnten durch den Einsatz von amorphen Solarzellen THG-Einsparungen erreicht werden, ein geeigneter Standort sowie eine Optimierung der Lebensdauer gemeinsam sind jedoch gewichtigere Faktoren bei der Verbesserung der Lebenszyklus-Emissionen. Obschon die PV-Anlagen in Summe gut bilanzieren, erreichen sie nicht das niedrige THG-Niveau des Ökostroms mit hohem Wasserkraftanteil sowie das Niveau des Windstromes.

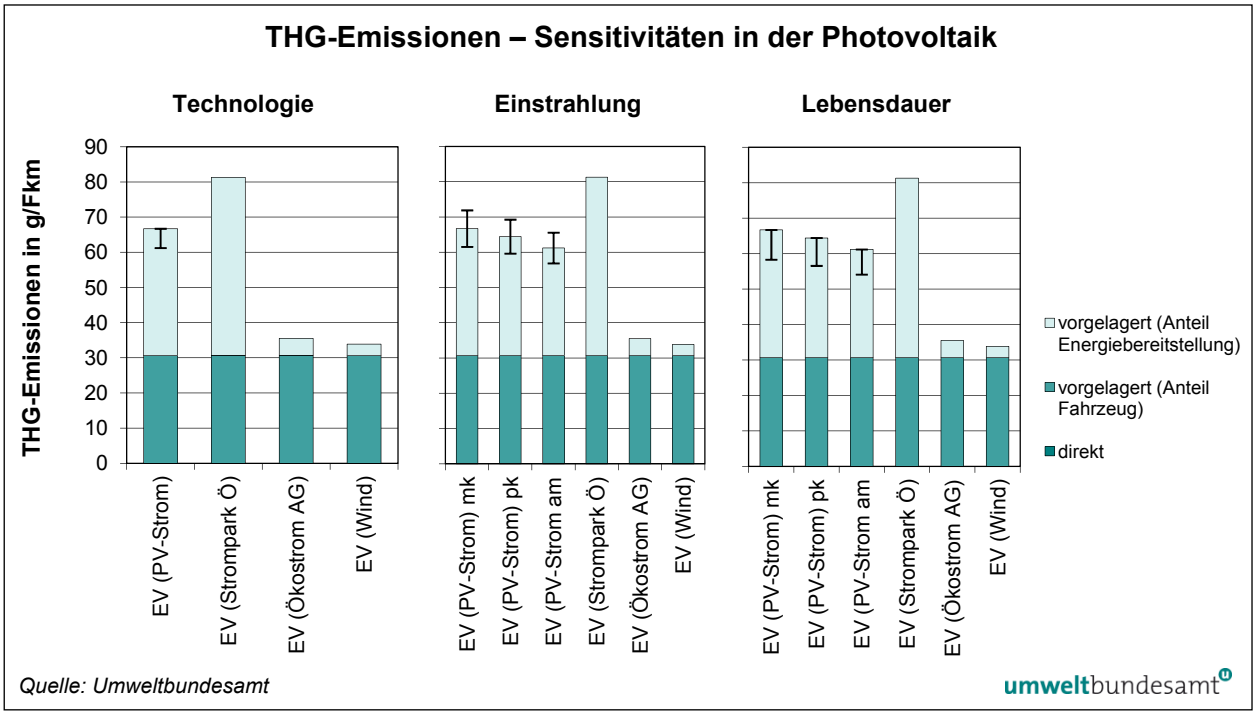


Abbildung 34: Gesamte THG-Emissionen für reine Elektrofahrzeuge und Abweichung für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik (Technologie, Standort und Lebensdauer).

6.2.2 Luftschadstoffe

6.2.2.1 Stickstoffoxid-Emissionen

Wie sich Variationen der PV-Technologie sowie der Standort und die Lebensdauer auf die NO_x-Emissionen der Stromproduktion auswirken, zeigen nachfolgende Tabelle und Abbildung.

Tabelle 17: Stickstoffoxid-Emissionen für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik.

PV-Module	**NO_x-Emissionen**
Technologie	**Emissionen im Vergleich zur Standard-Technologie**
monokristallin (Standard-Technologie)	100 %
polykristallin	97,8 %
amorph	123,0 %
Standort	**Abweichung vom mittleren Standort[1)] in beide Richtungen**
monokristallin (Standard-Technologie)	14,5 %
polykristallin	14,3 %
amorph	14,2 %

PV-Module	NO_x-Emissionen
Lebensdauer	**Veränderung der PV-Lebensdauer von 23 auf 30 Jahre**
monokristallin (Standard-Technologie)	– 23,3 %
polykristallin	– 23,4 %
amorph	– 23,3 %

[1)] *schlechter Standort: 1.000 kWh/m², mittlerer Standort: 1.200 kWh/m², guter Standort: 1.400 kWh/m²*

Hinsichtlich der NO_x-Emissionen stellt die aktuelle Standard-Technologie einen guten Kompromiss zwischen Wirkungsgrad und Emissionen dar. Ebenso wie bei den THG-Emissionen stellt ein optimaler Standort in Kombination mit langer Lebensdauer Idealbedingungen dar. Windstrom bilanziert in der Gesamtbetrachtung allerdings auch unter idealen Bedingungen für Photovoltaik besser.

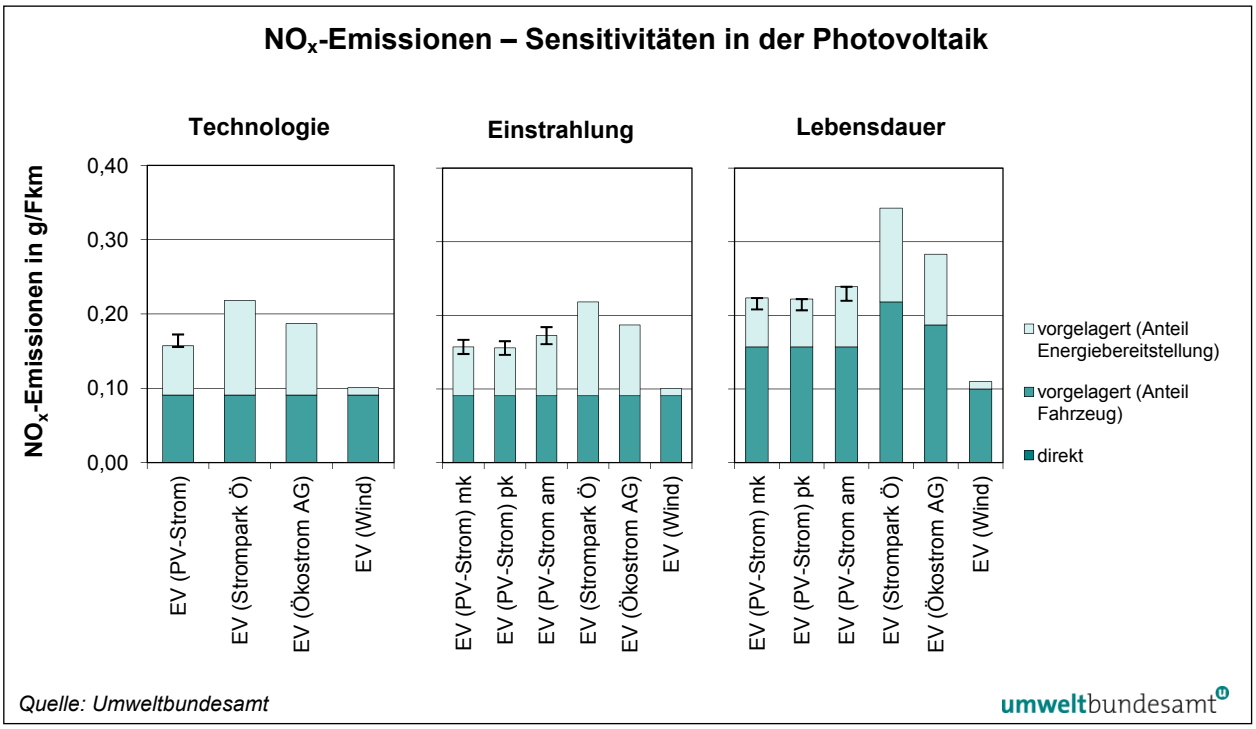


Abbildung 35: Gesamte NO_x-Emissionen für reine Elektrofahrzeuge und Abweichung für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik (Technologie, Standort und Lebensdauer).

6.2.2.2 Feinstaub

Wie sich Variationen der PV-Technologie sowie der Standort und die Lebensdauer auf die PM-Emissionen der Stromproduktion auswirken, zeigen nachfolgende Tabelle und Abbildung.

Tabelle 18: Staub-Emissionen für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik.

PV-Module	PM-Emissionen
Technologie	**Emissionen im Vergleich zur Standard-Technologie**
monokristallin (Standard-Technologie)	100 %
polykristallin	96,9 %
amorph	126,8 %
Standort	**Abweichung vom mittleren Standort[1)] in beide Richtungen**
monokristallin (Standard-Technologie)	14,3 %
polykristallin	14,6 %
amorph	14,1 %
Lebensdauer	**Veränderung der PV-Lebensdauer von 23 auf 30 Jahre**
monokristallin (Standard-Technologie)	– 23,3 %
polykristallin	– 23,1 %
amorph	– 23,1 %

[1)] *schlechter Standort: 1.000 kWh/m², mittlerer Standort: 1.200 kWh/m², guter Standort: 1.400 kWh/m²*

Wie bei den NO_x-Emissionen stellt die aktuelle Standard-Technologie ein Optimum dar. Die PV-Technologie ist im Wesentlichen nicht so ausschlaggebend wie der Standort in Kombination mit langer Lebensdauer. Ökostrom und Windstrom bilanzieren in der Gesamtbetrachtung allerdings auch unter idealen Bedingungen für Photovoltaik besser.

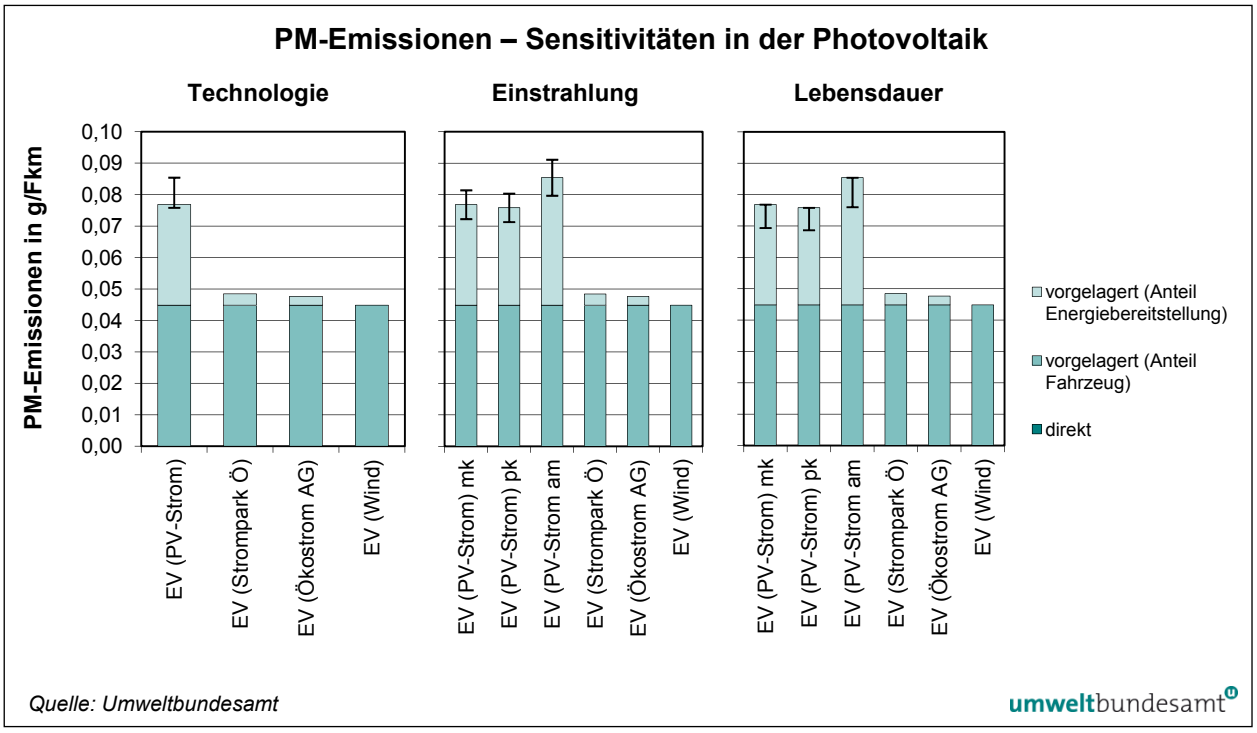


Abbildung 36: Gesamte Staub-Emissionen für reine Elektrofahrzeuge und Abweichung für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik (Technologie, Standort und Lebensdauer).

6.2.3 Energieeinsatz

Wie sich Variationen der PV-Technologie sowie der Standort und die Lebensdauer auf die Gesamtenergiebilanz der Stromproduktion auswirken, zeigen nachfolgende Tabelle und Abbildung.

Tabelle 19: Energieeinsatz für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik.

PV-Module	**Energieeinsatz**
Technologie	**Energieeinsatz im Vergleich zur Standard-Technologie**
monokristallin (Standard-Technologie)	100 %
polykristallin	95,2 %
amorph	91,4 %
Standort	**Abweichung vom mittleren Standort1) in beide Richtungen**
monokristallin (Standard-Technologie)	14,3 %
polykristallin	14,6 %
amorph	14,1 %
Lebensdauer	**Veränderung der PV-Lebensdauer von 23 auf 30 Jahre**
monokristallin (Standard-Technologie)	– 23,3 %
polykristallin	– 23,1 %
amorph	– 23,1 %

1) schlechter Standort: 1.000 kWh/m², mittlerer Standort: 1.200 kWh/m², guter Standort: 1.400 kWh/m²

Faktoren für geringeren Energieeinsatz

Durch den Einsatz von amorphen Solarzellen könnten wesentliche Energieeinsparungen erreicht werden. Ein geeigneter Standort sowie eine Optimierung der Lebensdauer gemeinsam sind jedoch gewichtigere Faktoren bei der Verringerung des Energieeinsatzes. Obschon die PV-Anlagen in Summe gut bilanzieren, erreichen sie nicht das niedrige Niveau des Ökostroms mit hohem Wasserkraftanteil sowie das Niveau des Windstromes.

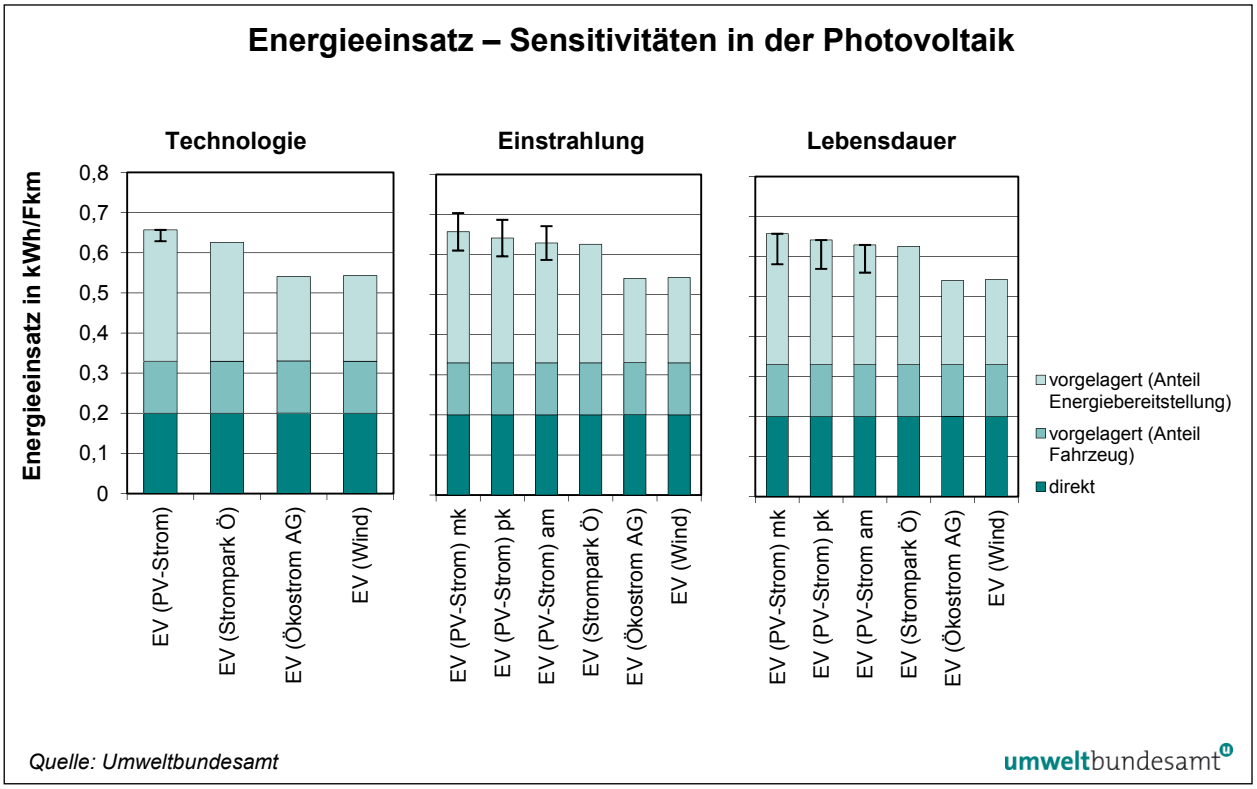


Abbildung 37: Gesamter Energieeinsatz für reine Elektrofahrzeuge und Abweichung für die Sensitivitäten im Bereich Photovoltaik (Technologie, Standort und Lebensdauer).

6.3 Schlussfolgerungen und Fazit

Veränderung der Akkutechnologie

Generell kommt es, bezogen auf die THG-Emissionen der unterschiedlichen Fahrzeugkonzepte, zu keinen signifikanten Verschiebungen in der Reihung durch eine Variation der Akkusysteme. Ebenso verhält es sich bei Stickstoffoxiden und Feinstaub.

große Schwankungsbreite bei PM

Hinsichtlich der PM-Emissionen ergibt sich durch Variation der Akkutechnologie eine relativ große absolute Schwankung, da der Akkumulator bei der Fahrzeugproduktion eine gewichtige Rolle für Feinstaub-Emissionen spielt. In der Gesamtbetrachtung ergeben sich durch die Akkuauswahl Unterschiede von bis zu etwa einem Zehntel der Lebenszyklus-Emissionen.

Reduktion bei Energieeinsatz

Durch den geringen direkten Energieeinsatz von vor allem reinen Elektrofahrzeugen wirkt sich die eingesetzte Akkutechnologie in einer Sensitivitätsbetrachtung signifikant aus. Die Variation des Akkumulators resultiert in einer Änderung des Gesamtenergieeinsatzes pro Fahrzeugkilometer von mehr als 10 % beim reinen Elektrofahrzeug, entsprechend geringer sind die Varianzen bei Fahrzeugkonzepten mit geringeren Akkukapazitäten.

Änderungen der PV- Module

Bei den PV-Anlagen wurden verschiedene Parameter verändert (Technologie, Strahlungsintensität und Lebensdauer der PV-Module), um die Auswirkungen verschiedener Standorte und Bedingungen in Österreich auf die Ergebnisse der Ökobilanzrechnung zu untersuchen.

wesentliche THG-Einsparung

Generell können durch den Einsatz von amorphen Solarzellen zusätzliche THG-Einsparungen erreicht werden, ein geeigneter Standort sowie eine Optimierung der Lebensdauer gemeinsam sind jedoch gewichtigere Faktoren bei der Verbesserung der Lebenszyklus-Emissionen.

Obschon die PV-Anlagen in Summe gut bilanzieren, erreichen sie nicht das niedrige THG-Niveau des Ökostroms mit hohem Wasserkraftanteil sowie das Niveau des Windstromes.

Bei den NO_x-/PM-Emissionen stellt die aktuelle Standard-Technologie ein Optimum dar. Die PV-Technologie ist im Wesentlichen nicht so ausschlaggebend wie der Standort in Kombination mit einer langen Lebensdauer. Ökostrom und Windstrom bilanzieren in der Gesamtbetrachtung allerdings auch unter idealen Bedingungen für Photovoltaik meist besser.

wesentliche Energieeinsparung

Wie bei der Betrachtung der Treibhausgase könnten durch den Einsatz von amorphen Solarzellen auch wesentliche Energieeinsparungen erreicht werden. Ein geeigneter Standort sowie eine Optimierung der Lebensdauer gemeinsam sind jedoch gewichtigere Faktoren bei der Verringerung des Energieeinsatzes.

7 GLOSSAR

Akku ..... wiederaufladbarer elektrischer Energiespeicher

amorph ..... Atome gehen ein unregelmäßiges Muster ein

Anode ..... negative Elektrode

aprotisch ..... Lösungsmittel, in denen alle Wasserstoff-Atome kovalent an Kohlenstoff gebunden sind und dementsprechend nicht oder nur sehr schwer als Protonen abgespalten werden können. Aprotisch-unpolare Lösungsmittel: z. B. Alkane, Aromaten, halogenierte Alkane; aprotisch-polare Lösungsmittel: z. B. Aceton, Nitromethan. (ChemgaPedia 2012)

Be- und Entladevorgang eines Akkus: Während des Entladevorganges ist die Anode negativ und die Kathode positiv geladen; der Akku fungiert als Spannungsquelle. Beim Laden des Akkus, d. h. beim Anlegen eines äußeren Potenzials, kehrt sich die Ladung der Elektroden um.

Elektrolyt ..... Ionenleiter, chemische Verbindung, die in Ionen dissoziiert ist, kann fest, flüssig oder gelöst vorliegen; mit einer geringeren Leitfähigkeit als Metalle

Energiedichte ..... Wh/kg, Kapazität pro Masse

Engpassleistung ..... max. Dauerleistung eines elektrischen Kraftwerks unter Normalbedingungen, begrenzt wird sie durch den schwächsten Anlagenteil

GEMIS-Österreich .... **G**esamt **E**missions-**M**odell **I**ntegrierter **S**ysteme für Österreich. Modell zur Erstellung von Umweltbilanzen für Österreich

Halbleiter ..... Material, das weder Isolatoren noch Leitern zugeordnet werden kann. Die elektrischen Eigenschaften können durch die Beimengung von Fremdstoffen (Dotierung) gravierend beeinflusst werden. n-dotiert mit Elektronenüberschuss, p-dotiert mit Elektronenmangel n = negativ, p = positiv

Ionen ..... elektrisch geladene Atome oder Gruppen von Atomen

Kathode ..... positive Elektrode

Ladevorgang ..... Beim Laden eines elektrischen Energiespeichers wird ein äußeres Potenzial angelegt

Laminat ..... Werkstoff, der zur Kapselung von PV-Modulen dient, z. B. Ethylenvinylacetat (EVA) oder Polyvinylfluorid (PVF). Beim Laminieren wird das Modul in durchsichtige Folien eingeschweißt

Luftmasse ..... AM („Airmass“) ist ein relatives Maß für die Länge des Weges, den das Licht eines Himmelskörpers durch die Atmosphäre der Erde bis zum Erdboden zurücklegt. Sie definiert sich als Verhältnis der jeweiligen Weglänge, bezogen auf die minimale Länge des Lichtes bei senkrechtem Einfall. Die praktische Relevanz der Luftmasse für PV- Anwendungen ist die in Abhängigkeit der Weglänge entstehende Abschwächung des Lichtes (aufgrund von Streuung und Absorption) sowie deren veränderte spektrale Zusammensetzung

monokristallin..... Atome, Ionen oder Moleküle bilden ein durchgehendes einheitliches, homogenes Kristallgitter im makroskopischen Bereich

Ökostrom..... umfasst ausschließlich die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen lt. Ökostromgesetz

polykristallin..... kristalliner Festkörper, der aus vielen Einzelkristallen besteht

Primärenergien..... Ressourcen wie Erdöl, Sonnen- und Windenergie oder auch Uran, aus denen nutzbare Energieträger wie Heizöl, Benzin, Strom oder Fernwärme erzeugt werden

Sensitivitätsanalyse. Empfindlichkeitsanalyse. Wird für komplexe Systeme verwendet. Einfache Wirkbeziehungen zwischen Systemvariablen werden zu einem Wirkungsnetz verbunden.

Strompark bzw. Strommix prozentuelle Aufteilung der Energieträger, aus denen der Strom erzeugt wurde, den der Anbieter an die Verbraucher verkauft hat.

Einheiten

Energie..... (M)Wh oder J

Fkm ..... Fahrzeugkilometer

Leistung..... W

Leistungsdichte ..... W/kg

kW_{peak}..... Kilowattpeak Spitzenleistung: abgegebene Leistung eines Solarmoduls unter voller Sonneneinstrahlung bei Standard-Testbedingungen

Jahreseintrag..... kWh/m²a

Leistungsdaten ..... W/m²

Pkm ..... Personenkilometer

Strahlungsintensität.. W/m²

8 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS E-MOBILITÄT

AME ..... Altspeise-Methyl-Ester

AOX ..... Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene

BEV ..... Batterieelektrofahrzeug

BSB_5..... Biochemischer Sauerstoffbedarf

BZ ..... Brennstoffzelle

BZEV..... Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug

CDM..... Clean Development Mechanism

CCS ..... Carbon Capture and Storage (CO_2-Abscheidung und -Speicherung

CH_4..... Methan

CNG ..... Compressed Natural Gas/Erdgas

CO..... Kohlenstoffmonoxid

CO_2 ..... Kohlenstoffdioxid

CSB..... Chemischer Sauerstoffbedarf

E85..... **Ethanol-Kraftstoff**, besteht aus 85 % Ethanol und 15 % Benzin

EE ..... Erneuerbare Energie

ETBE..... Ethyl-tert-Butylether

EV ..... Electric Vehicle – Elektrofahrzeug

FAME ..... Fatty Acid Methyl Ester

FKW ..... Fluorkohlenwasserstoff

Fkm ..... Fahrzeugkilometer

FME ..... Fettsäuremethylester

GEMIS..... Globales-Emissions-Modell-Integrierter-Systeme

H_2S..... Schwefelwasserstoff

HBEFA ..... Handbuch für Emissionsfaktoren

HEV..... Hybrid Electric Vehicle – Hybrid-Elektrofahrzeug

HFC & HFCKW .. Hydrierte Fluorkohlenwasserstoffe

HVO ..... Hydrogenated oder Hydrotreated Vegetable Oils

KEA..... Kumulierter Energieeinsatz oder -aufwand; Summe aller Primärenergieinputs (inklusive der zur Materialherstellung notwendigen Energie), die für ein Produkt/eine Dienstleistung aufgewendet werden

LCA ..... Life Cycle Assessment – Lebenszyklusanalyse

LPG..... Autogas, Englisch: Liquefied Petroleum Gas

N ..... Stickstoff

N_2O ..... Distickstoffoxid – Lachgas

NH_3 ..... Ammoniak

NMVOC ..... Non Methane Volatile Organic Compounds – flüchtige Organische Verbindungen ohne Methan

NOx ..... Stickstoffoxid

P ..... Phosphor

PJ ..... Petajoule

PFC ..... Perfluorierte Fluorkohlenwasserstoffe

PHEV ..... Plug-in Hybrid Electric Vehicle – Plug-in-Hybridfahrzeug

Pkm ..... Personenkilometer

PM ..... Feinstaub

PV ..... Photovoltaik

RME ..... Rapsölmethylester – Biodiesel aus Raps

SF_6 ..... Schwefelhexafluorid

SO_2 ..... Schwefeldioxid

THG ..... Treibhausgase

UCTE ..... Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity)

VKM ..... Verbrennungskraftmaschine

9 LITERATURVERZEICHNIS

AACHEN (2005): Hybridtechnik im Kraftfahrzeug. Präsentation. Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen.

BIERMAYR, P.; EBERL, M.; EHRIG, R.; FECHNER, H.; GALOSI, A.; KRISTÖFEL, C.; PRÜGGLER, N.; STRASSER, C.; WEISS, W. & WÖRGETTER, M. (2011): Innovative Energietechnologien in Österreich Marktentwicklung 2010, Mai 2011. Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Nr. 6/2011. PV Austria. Wien. http://www.pvaustria.at/upload/3032_Marktstatistik-2010.pdf

BINE INFORMATIONSDIENST (2003): Lang J.: Performance von Photovoltaikanlagen. Projektinfo 03/03. BINE Informationsdienst. Fachinformationszentrum Karlsruhe – Büro Bonn. http://www.ecotec-energiesparhaus.de/Daten/BINE-Performance-von-Photovoltaik-Anlagen.pdf. www.bine.info

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2002): Die Österreichische Strategie zur nachhaltigen Entwicklung. Eine Initiative der Bundesregierung. Wien.

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2007): Klimastrategie 2007. Anpassung der Klimastrategie Österreichs zur Erreichung des Kyoto-Ziels 2008–2012. Wien, 21.03.2007.

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft & WKÖ – Wirtschaftskammer Österreich (2010): 10 Punkte-Aktionsprogramm zur Markteinführung von Elektromobilität. http://www.klimabuendnis.at/start.asp?ID=231718

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2012a): CO_2-Monitoring 2011. http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/umweltthemen/verkehr/2_fahrzeugtechnik/CO2Monitoring_2011.pdf

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2012b): CO_2-Monitoring 2012. http://www.lebensministerium.at/publikationen/umwelt/laerm_verkehr_mobilitaet/co2monitoring.html

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2012c): Biokraftstoffe im Verkehrssektor 2012. Zusammenfassung der Daten der Republik Österreich gemäß Art. 4, Abs. 1 der Richtlinie 2003/30/EG für das Berichtsjahr 2011. http://www.lebensministerium.at/

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2012d): Klimafreundlich elektrisch unterwegs. Leitfaden für Fuhrparkbetreiber. 4. Aktualisierte Auflage. http://www.lebensministerium.at/umwelt/luft-laerm-verkehr/verkehr-laermschutz/e-mobilitaet/Leitfadenupdate.html

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie & BMWFJ – Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (2012): Elektromobilität in und aus Österreich. Umsetzungsplan 2012. http://www.klimaaktiv.at/filemanager/download/82997

BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2009): Alternative Antriebssysteme und Treibstoffe (A3plus).
http://www.bmvit.gv.at/innovation/verkehrstechnologie/a3plus/index.html

BMVIT – Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2010): Masterplan Elektromobilität.
http://www.bmvit.gv.at/verkehr/elektromobilitaet/index.html

BMWFJ – Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend & BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2010): Energiestrategie Österreich.
http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf

BRAUNER, G. (2008): Solare Mobilität 2030 – Machbarkeitsstudie zur solaren Vollversorgung im Verkehrsbereich 2030. TU-Wien.

CADEX – Cadex Electronics Inc (2012): Online-Informationsservice über Batterien. Stand 13.03.2012.
http://batteryuniversity.com/partone-5-german.htm

CHEMGAPEDIA (2012): Online-Enzyklopädie zur Chemie Stand 13.03.2012.
http://www.chemgapedia.de/vsengine/popup/vsc/de/glossar/a/ap/aprotisch.glos.html

ECOCAR (2002): Wegmann, S. & Blum, W.: Vom Elektrofahrzeug zum Wasserstoffauto. EnergieSchweiz. EcoCar News 1, März 2002. Zürich.
www.energieschweiz.ch,
http://www.e-mobile.ch/pdf/2002/EcoCarNews_1_d.pdf

E-CONTROL – Energie-Control Austria (2011a): Stromkennzeichnungsbericht 2011. Energie-Control Austria, Wien.
www.e-control.at

E-CONTROL – Energie-Control Austria (2011b): Ökostrombericht 2011. Energie-Control Austria. November 2011, Wien.
www.e-control.at

ENERGIEROUTE (2012): Online-Wegweiser im Rahmen der Solarinitiative des Ilm-Kreises und der Landeshauptstadt Erfurt. Stand 16.3.2012.
http://www.energieroute.de/solar/solarzellen.php

ENGEL, T. (2005): Das Elektrofahrzeug als Regelenergiekraftwerk des Solarzeitalters. Gesellschaft für Sonnenenergie – Arbeitsschwerpunkt Solare Mobilität. Objectfarm Bad Winsheim. November 2005.
http://www.objectfarm.org/Solarkonzepte/Mobilitaet/V2G/V2G_Regelenergiekraftwerk_Solarzeitalter_112005.pdf

FANINGER, G. (2007): Der Photovoltaikmarkt in Österreich 2006. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, BMVIT. April 2007.
http://www.uni-klu.ac.at/iff/ikn/downloads/PV-Markt-2006.pdf

FECHNER, H. et al. (2007): Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich. BMVIT, Berichte aus Energie-und Umweltforschung. 28/2007.
http://www.pvaustria.at/upload/269_Roadmap%20Oesterreich%202007.pdf

FVMI – Fachverband der Mineralölindustrie (2011): Capek, C.: Benzinverbrauch sank 2010 leicht, Dieselverbrauch stieg an. Pressemitteilung vom 29.11.2011.

HAAS, R.; BIERMAYR, P. & KRANZL, L. (2006): Erneuerbare aus und in Österreich. Endbericht zum Forschungsprojekt. Energy Economics Group, TU Wien. www.pvaustria.at/upload/311_Endbericht-Wko-Ern-2006-02-13.pdf

HASELHUHN, R. (2005): Photovoltaik-Gebäude liefert Strom. Beuth-Verlag.

HAUSBERGER, S. (2008): Aktualisierung der Emissionsdaten und Modellberechnungen zum Verkehr in Österreich, 2005-Trends und Ausblick bis 2030. Erstellt im Auftrag von Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, TU Graz, Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik, Graz 2008.

IEA – International Energy Agency (2002): Potentials for Building Integrated Photovoltaics. Report IEA-PVPST 7-4:2002. Ursen. www.iea-pvps.org

IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (2012): UMBReLA – Umweltbilanzen Elektromobilität. Forschungsprojekt des Instituts für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. www.emobil-umwelt.de

IGS – Intstitut für Gebäude- und Solartechnik & TU Braunschweig (2012): Vorlesung Regenerative Energiequellen, Kapitel Photovoltaik. an der TU Clausthal Institut für Elektrische Energietechnik,Stand 13.03.2012. www.igs.bau.tu-bs.de

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007): Climate Change – The 4th Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.

KING, D.M. & MAZZOTTA, M.J. (2000): Ecosystem valuation (Bewertung von Ökosystemen). Online-Publikation. http://www.ecosystemvaluation.org

KÖTZ, R. et al. (2005): Supercaps – Eigenschaften und Fahrzeuganwendungen. VDI-Bericht Nr.1874, Paul Scherrer Institut, Schweiz.

LIPMAN, T.E. (2003): Hybrid-Electric Vehicle Design Retail and Lifecycle Cost Analysis – final report. Energy and Resources Group University of California.

LUCIEN, F. & RÜETSCHI, P (1998): Batterien und Akkumulatoren – Mobile Energiequellen für heute und morgen. Springer.

LUPOWER (2008): Essel, J.: Datenzettel Materialeinsatz Elektrofahrzeug und Akkumulator. Fa. E4you GmbH, Salzburg. www.lupower.at

LUTZ, H.P. (2005): Netzgekoppelte Photovoltaikanlagen. 11. überarbeitete Auflage, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg. Stuttgart. http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/84039/Netzgekoppelte%20PVAnlage.pdf?command=downloadContent&filename=Netzgekoppelte%20PVAnlage.pdf

MMC – Mitsubishi Motor Corporation (2012): Mitsubishi iMIEV on display at the 2011 Bridgestone Eco-Rally Exhibition. http://www.eco-rally.org/mitsubishi-imiev-display-2011-bridgestone-eco-rally-exhibition

PARISI, J.; DYAKONOV, V.; DEIBEL, C. & INGO RIEDELL, I. (2004): Perspektiven der Photovoltaik. Einblicke Nr.40 – Herbst 2004. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
http://www.presse.uni-oldenburg.de/einblicke/40/parisi.pdf

PV AUSTRIA (2012): Innovative Energietechnologien in Österreich. Marktentwicklung 2011. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 12/2012.
http://www.pvaustria.at/upload/3730_Marktstatistik-2011.pdf

RANTIK, M. (1999): Life Cycle Assesment of five Batteries for Electric Vehicle under different charging regimes! KFB Meddelande 1999:28. Chalmers University of Technology.
http://www.kfb.se/pdfer/M-99-28.pdf

REGIO (2005): Wegweiser Solarstromanlagen. Anlagenauswertung zur Qualitätssicherung. Energieagentur Regio Freiburg, Freiburg.

REICHEL, R. (2010): Die Liste käuflicher Elektroautos. September 2010. EMobile plus solar.
http://www.solarmobil.net/download/sm59-fahrzeugliste.pdf

REPUBLIK ÖSTERREICH (2008): Regierungsprogramm 2008–2013 Gemeinsam für Österreich.
http://www.bka.gv.at/DocView.axd?CobId=32965

ROADMAP PV (2007): Fechner, H. et al.: Technologie-Roadmap für Photovoltaik in Österreich, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 28/2007.
http://www.pvaustria.at/upload/269_Roadmap %20Oesterreich %202007.pdf

SALWA, G. (2013): Pro und Contra Photovoltaik.
http://www.salwa.de/photovoltaik/photovoltaik2.htm (8.7.2013)

SAUER, D.U. (2007a): Optionen zur Speicherung elektrischer Energie in Energieversorgungssystemen mit regenerativer Stromerzeugung. Solarzeitalter 4/2006. RWTH Aachen.
http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/SZA-4_06_Sauer_Optionen_Speicher_layout.pdf

SAUER, D.U. (2007b): Energiespeicher in Fahrzeugen. Vortragsunterlagen 19.04.2007 für Fachtagung „Life needs power“, Hannover. RWTH Aachen.

SOLARMOBIL (2006): Reichel, R.: „Solarmobil Mitteilungen“, Nummer 62, 2006. Bundesverband Solare Mobilität (BSM). Berlin.

SOUSA, C. (2005): Elektrische Fahrzeuge. Ageneal, lokaleEnergieagentur, Almada, 20th European Photovoltaik Solar Energy Conference and Exhibition, Barcelona. 6.-10.6.2005.

STATISTIK AUSTRIA (2011): Kfz-Zulassungen 2011. Pressekonferenz Unterlagen.

TMS – Minerals, Metalsand Materials Society (1998): Materialeinsatz Fahrzeuge – Material used in European Union carproduction.
http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0308/Kanari-0308.html

TU WIEN – Technische Universiät Wien (2009): ELEKTRA – Entwicklung von Szenarien der Verbreitung von Pkw mit teil- und voll-elektrifiziertem Antriebsstrang unter verschiedenen politischen Rahmenbedingungen. Projektbericht. Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft der TU Wien. http://www.eeg.tuwien.ac.at/eeg.tuwien.ac.at_pages/research/downloads/PR_216_ELEKTRA-Studie.pdf

TUTTLE, J.R. et al. (2005): Design Considerations and Implementation of very large scale manufacturing of Cigs solar cells and related products.

UMWELTBUNDESAMT (2006): Spangl, W.; Nagl, C. & Moosmann, L: Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2006. Reports, Bd. REP-0104. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2007): Plankensteiner, B. & Winter R.: CO_2-Monitoring 2006. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtsch2020t. Reports, Bd. REP-0124. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2008): Winter, R.: Biokraftstoffe im Verkehrssektor in Österreich 2008. Reports, Bd. REP-0169. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2010a): Pötscher, F.; Winter, R. & Lichtblau, G.: Elektromobilität in Österreich. Szenario 2020 und 2050. Reports, Bd. REP-0257. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2010b): Frischenschlager, H.; Karigl, B.; Lampert, C.; Pölz ,W.; Schindler, I.; Tesar, M.; Wiesenberger, H. & Winter, B.: Klimarelevanz ausgewählter Recycling-Prozesse in Österreich. Reports, Bd. REP-0303. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2011): Kranzl, S.; Lichtblau, G.; Pötscher, F. & Winter, R.: Elektromobilität. Szenarien 2020. Reports, Bd. REP-0346. Umweltbundesamt, Wien (noch nicht veröffentlicht).

UMWELTBUNDESAMT (2012): Winter, R.: FQMS – Fuel Quality Monitoring System 2011. Reports, Bd. REP-0392. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2013a): Anderl, M.; Freudenschuß, S.; Friedrich, A.; Haider, S.; Jobstmann, H.; Köther, T.; Kriech, M.; Lampert, C.; Pazdernik, K.; Poupa, S.; Schindlbacher, S.; Stranner, G.; Schwaiger, E.; Seuss, K.; Weiss, P.; Wieser, M.; Zechmeister, A. & Zethner, G.: Austria's National Inventory Report 2013. Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Reports, Bd. REP-0416. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2013b): Anderl, M.; Bednar, W.; Gössl, M.; Haider, S.; Heller, C.; Jobstmann, H.; Köther, T.; Lampert, C.; Pazdernik, K.; Poupa, S.; Rigler, E.; Schieder, W.; Schindlbacher, S.; Schmid, C.; Schneider, J.; Schmid-Ruzicka, S.; Seuss, K.; Stranner, G.; Storch, A.; Weiss, P.; Wiesenberger, H.; Winter, R.; Zechmeister, A. & Zethner, G.: Klimaschutzbericht 2013. Reports, Bd. REP-0420. Umweltbundesamt, Wien.

VARTA – Johnson Controls Autobatterie GmbH & Co. KGa: Batterie Glossar der Varta Automotive. http://www.varta-automotive.com/de/index2.php?p=4&s=3&content=knowhow/batterielexikon/entwicklung.html

VOSS, J. (2006): Unterlagen zu Praktikum Photovoltaik. Universität Paderborn, Fakultät nachhaltige Energiekonzepte.

WKÖ – Wirtschaftskammer Österreich (2011): Mineralölbericht 2010 des Fachverband der Mineralölindustrie Österreichs (FVMI).

Rechtsnormen und Leitlinien

Batterienverordnung (BGBl. II Nr. 159/2008 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von Altbatterien und -akkumulatoren.

Biokraftstoffrichtlinie (RL 2003/30/EG): Richtlinie zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor.

Elektrizitätswirtschafts- und -organisationsgesetz (ElWOG; BGBl. I Nr 143/1998 i.d.F. BGBl I Nr 146/2006): Bundesgesetz, mit dem die Organisation auf dem Gebiet der Elektrizitätswirtschaft neu geregelt wird.

Emissionshöchstmengenrichtlinie (NEC-RL 2001/81/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe. ABl. Nr. L 309.

Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L; BGBl. I Nr. 115/1997 i.d.g.F.): Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe, mit dem die Gewerbeordnung 1994, das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen, das Berggesetz 1975, das Abfallwirtschaftsgesetz und das Ozongesetz geändert werden.

EN ISO 14040: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (2006).

EN ISO 14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (2006).

KOM(2007) 2 endg.: Mitteilung der Kommission an den Rat, das Europäische Parlament, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Begrenzung des globalen Klimawandels auf 2 Grad Celsius. Der Weg in die Zukunft bis 2020 und darüber hinaus.

KOM(2011) 144: Weißbuch – Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem.

Kraftstoffverordnung 1999 (BGBl. II Nr. 418/1999 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung der Qualität von Kraftstoffen.

Ökostromgesetz 2012 (BGBl. I Nr. 75/2011): Bundesgesetz über die Förderung der Elektrizitätserzeugung aus erneuerbaren Energieträgern (Ökostromgesetz 2012 – ÖSG 2012).

Ozongesetz (BGBl. I Nr. 210/1992 i.d.g.F.): Bundesgesetz über Maßnahmen zur Abwehr der Ozonbelastung und die Information der Bevölkerung über hohe Ozonbelastungen, mit dem das Smogalarmgesetz (BGBl. I 38/1989) geändert wird.

RL 2008/0016/COD: Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Vormals Vorschlag der Kommission 2008/18/EG).

RL 2009/28/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG. ABl. Nr. L 140.

RL 2009/30/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG im Hinblick auf die Spezifikationen für Otto-, Diesel- und Gasölkraftstoffe und die Einführung eines Systems zur Überwachung und Verringerung der Treibhausgas-Emissionen sowie zur Änderung der Richtlinie 1999/32/EG des Rates im Hinblick auf die Spezifikationen für von Binnenschiffen gebrauchte Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 93/12/EWG. ABl. Nr. L 140.

VO (EG) Nr. 715/2007: Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2007 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich der Emissionen von leichten Personenkraftwagen und Nutzfahrzeugen (Euro 5 und Euro 6) und über den Zugang zu Reparatur- und Wartungsinformationen für Fahrzeuge. Abl. Nr. L 171/1.

VO (EG) Nr. 443/2009: Verordnung zur Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO_2-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen.

Weiterführende Links

ACCC – Austrian Council on Climate Change (Österreichisches Klimaportal): http://www.accc.gv.at. BLESSING, U.C.: Die Plattform für alternative Antriebskonzepte. http://www.hybrid-autos.info/Elektro-Auto-Ueberblick.html

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Klimaschutzinitiative klima:aktiv des BMLFUW: www.klimaaktiv.at

FVEE – Forschungsverbund Erneuerbare Energien: Photovoltaik: http://www.fv-sonnenenergie.de/forschung/forschungsthemen/photovoltaik/

I & M – Internet + Marketing: Photovoltaische Anlagen. http://www.iundm.de/lars/4_2_Photovoltaik.html

IG WINDKRAFT (2012): Homepage der Interessengemeinschaft Windkraft Österreich. St. Pölten. www.igwindkraft.at

KLI.EN – Klima- und Energiefonds: Homepage des Klima- und Enegiefonds: www.klimafonds.gv.at

NEUE ENERGIE: Das Magazin für erneuerbare Energien: http://www.neueenergie.net

PVT-AUSTRIA – Photovoltaik Technik: Homepage der Firma:
http://www.pvt-austria.at/daten.html SE SYSTEM: Sonnenenergie und Solaranlagen. Homepage der Firma SE System GmbH&Co.KG.
http://www.se-system.de

SOLARENERGIE-NOE (2007):
http://www.solarenergie-noe.at/solarenergie/38691.htm (Stand 2007)

SOLARSERVER: Dünnschichtsolartechnik. Solarserver, das Internetportal zur Sonnenenergie:
http://www.solarserver.de/solarmagazin/artikeljuni2006.html

SOLARWÄRME: Umfassende und firmenunabhängige Infos rund um Solaranlagen. Austria Solar. Austria Solar – Verein zur Förderung der thermischen Solarenergie:
http://www.solarwaerme.at/Sonne-und-Energie/

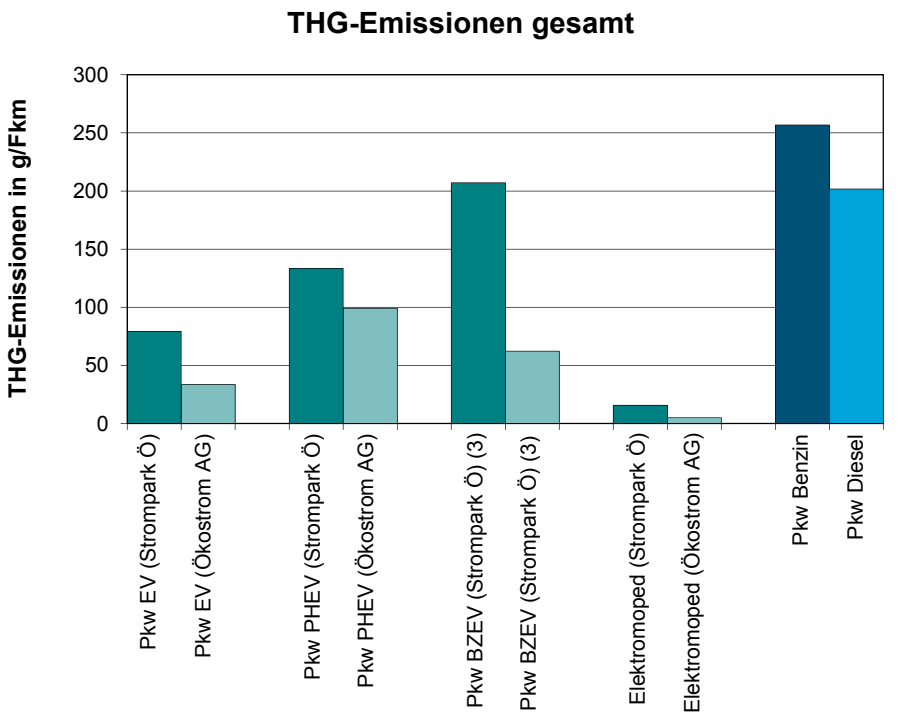
SSES – Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie (o.J.):
http://www.sses.ch/de/zeitschrift/markt.html

TWIKEKLUB:Linkliste zum Thema Elektrofahrzeuge:
http://www.twikeklub.ch/web/Links.htm

ANHANG – DETAILERGEBNISSE

THG-Emissionen

Vergleich Strompark Österreichs mit Ökostrom AG und konventionellen Fahrzeugen



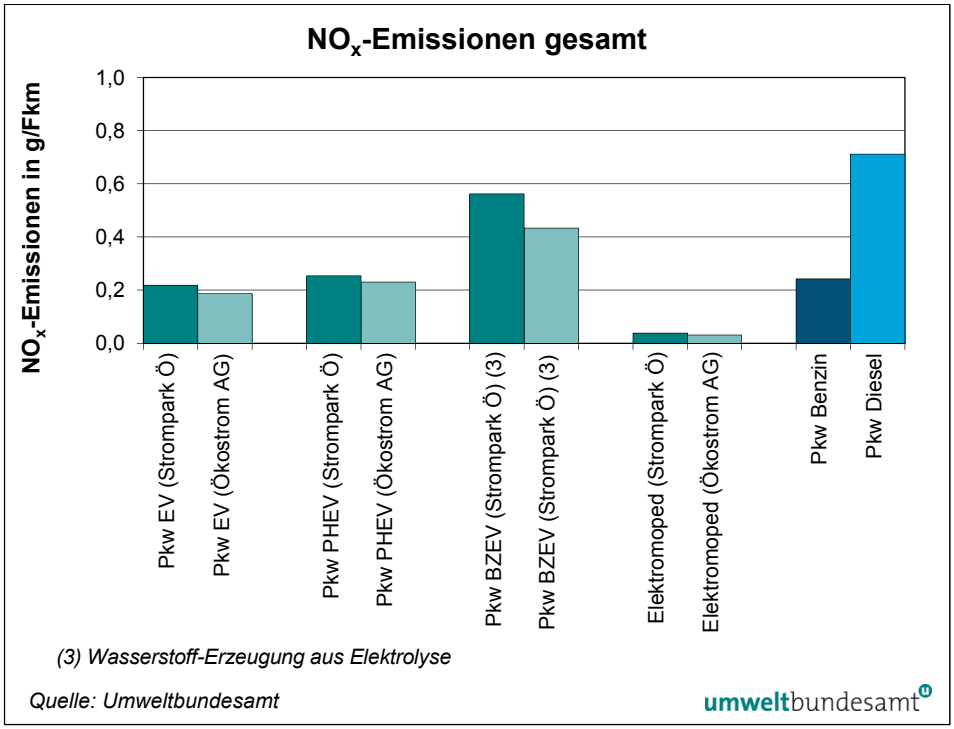
(3) Wasserstoff-Erzeugung aus Elektrolyse

Quelle: Umweltbundesamt

umweltbundesamt

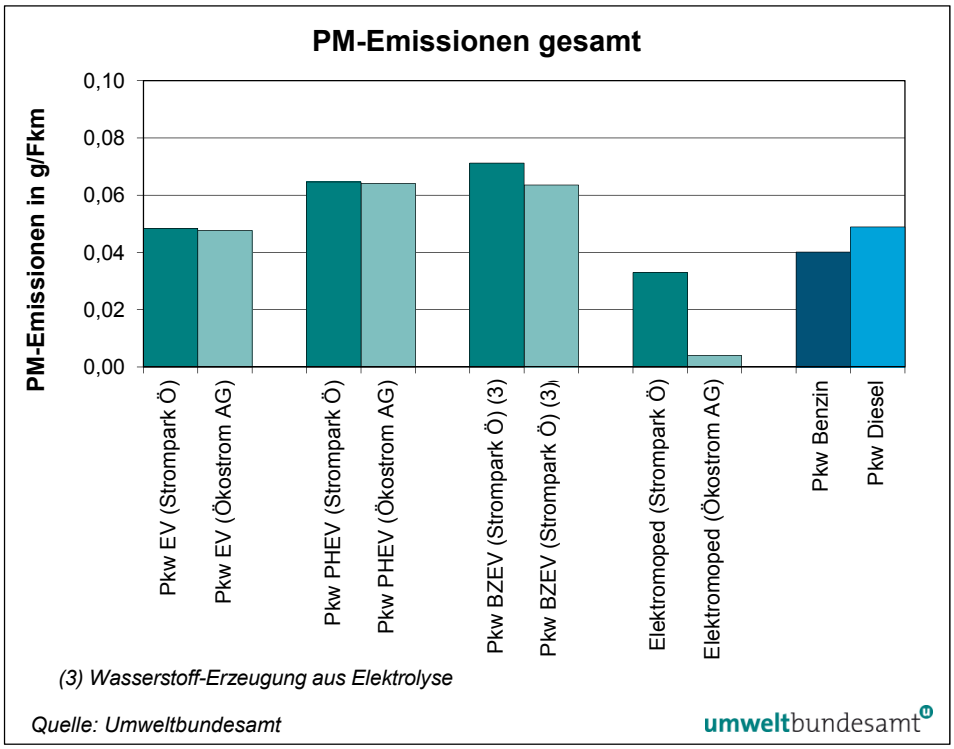
NO_x-Emissionen

Vergleich Strompark Österreichs mit Ökostrom AG und konventionellen Fahrzeugen



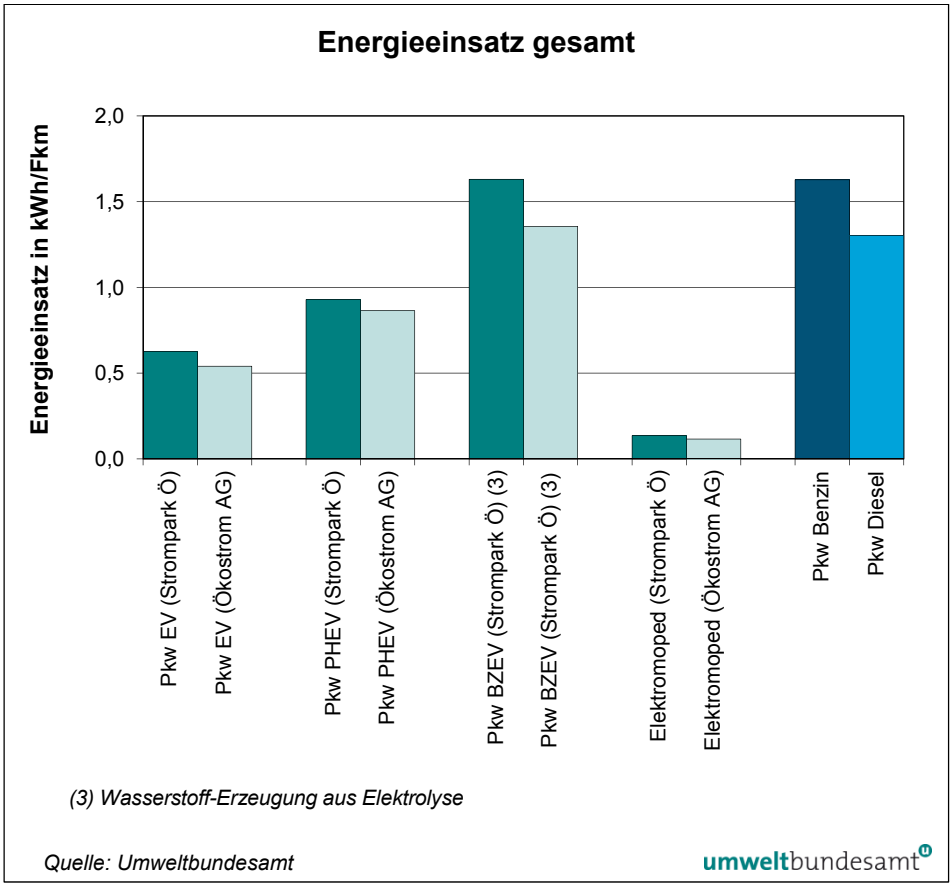
Staub-Emissionen

Vergleich Strompark Österreichs mit Ökostrom AG und konventionellen Fahrzeugen



Energieeinsatz

Vergleich Strompark Österreichs mit Ökostrom AG und konventionellen Fahrzeugen



ANHANG – GRUNDANNAHMEN ZUR BERECHNUNG

Verbrauchsdaten Pkw, Fahrzeuge Größenklasse 1,4–2 l, EURO 5, Fahrzeuglebensdauer 10 Jahre (HBEFA 3.1, Stand 2010, www.hbefa.net)

Biokraftstoffanteile mit 5,3 % Biokraftstoff im Diesel und 5,03 % Biokraftstoff im Benzin

Besetzungsgrad: 1,18 Pkw; 1,10 Moped

Emissionsfaktoren direkte Emissionen (HBEFA 3.1), eigene Adaption für alternative Fahrzeugtypen

Emissionsfaktoren indirekte Emissionen (aus GEMIS 4.5., Version Mitte 2010), GEMIS 4.7 (Version März 2012) (für Wind)

Fahrzeugvariante	Beschreibung
Pkw EV (Strompark Ö)	EV (Strompark Ö): Elektrofahrzeug Verbrauch 0,2 kWh/km; Lithium-Ionen-Batterie; Lebensdauer der Batterie 10 Jahre; Größenklasse Kleinwagen/Kleinstwagen; Stromlieferant Strompark in Österreich im Jahr 2007 (ink. KWK-Anlagen); rund 60 % Wasserkraftanteil
Pkw EV (Ökostrom AG)	EV (Ökostrom AG): Elektrofahrzeug Verbrauch 0,2 kWh/km; Lithium-Ionen-Batterie; Lebensdauer der Batterie 10 Jahre; Größenklasse Kleinwagen/Kleinstwagen; Stromlieferant Ökostrom AG (ausschließlich erneuerbare Energieträger)
Pkw EV (PV-Strom)	EV (PV-Strom): Elektrofahrzeug Verbrauch 0,2 kWh/km; Lithium-Ionen-Batterie; Lebensdauer der Batterie 10 Jahre; Größenklasse Kleinwagen/Kleinstwagen; PV-Strom-Anlage Standort 1.200 kWh amorphe Zellen
Pkw EV (Wind)	EV (Wind): Elektrofahrzeug Verbrauch 0,2 kWh/km; Lithium-Ionen-Batterie; Lebensdauer der Batterie 10 Jahre; Größenklasse Kleinwagen/Kleinstwagen; Stromlieferant Wind-Turbine mit 1,8 MW Leistung (Strompark Binnenland)
Pkw HEV-Benzin	Benzinverbrauch um 25 % niedriger als bei konventionellen Benzin-Fahrzeugen
Pkw HEV-Diesel	Dieselverbrauch um 25 % niedriger als bei konventionellen Diesel-Fahrzeugen
Pkw PHEV (Ökostrom AG)	Plug-in-Hybrid wurde modelliert mit der Annahme Fahrleistungsanteile 75 % Elektrofahrzeug, 25 % konventionell betriebenes Fahrzeug (Benzin); Stromlieferant Ökostrom AG
Pkw PHEV (Strompark Ö)	Plug-in-Hybrid wurde modelliert mit der Annahme Fahrleistungsanteile 75 % Elektrofahrzeug, 25 % konventionell betriebenes Fahrzeug (Benzin); Stromlieferant Strompark in Österreich (60 % Wasserkraft) inkl. KWK-Anlagen
Pkw CNG	Verbrauchsdaten CNG wie Benzin-Fahrzeug (0,65 kWh/km)
Pkw Bio-CNG (1)	Die energetische Allokation führt bei Bio-CNG (Gülle und Mais) zu niedrigen KEA-Werten; Verbrauch wie bei konventionellen Fahrzeug (0,65 kWh/km)
Pkw Bio-CNG (2)	
Pkw RME	Biodiesel aus Raps; energetische Allokation lt. Richtlinie; Verbrauch wie Dieselfahrzeug (0,53 kWh/km)
Pkw E85	Bioethanol aus Weizen (Anlagenkonzept Pischelsdorf); energetische Allokation lt. Richtlinie; Verbrauch wie Benzin-Fahrzeug (0,65 kWh/km)
Pkw Wasserstoff (VKM) (3)	Verbrauch entsprechend Benzinfahrzeug adaptiert auf Basis eigener Recherchen (1,4–2 l, EURO 5) 0,7165 kWh/km

Fahrzeugvariante	Beschreibung
Pkw Wasserstoff (VKM) (4)	Für die Verbrennung von H_2 (VKM) wird das Reforming von H_2 aus Erdgas modelliert; Reforming zentral; Erdgasbereitstellung vom deutschen Erdgasmarkt
Pkw BZEV (Ökostrom AG) (3)	Für die Brennstoffzelle wurde der Verbrauch von 0,2444 kWh/km mit einem Umwandlungswirkungsgrad (Verbrennung zu Strom) von 50 % angenommen; Wasserstoffproduktion mittels Synthese; Stromlieferant Ökostrom AG
Pkw BZEV (Strompark Ö) (3)	Für die Brennstoffzelle wurde der Verbrauch von 0,2444 kWh/km mit einem Umwandlungswirkungsgrad (Verbrennung zu Strom) von 50 % angenommen; Wasserstoffproduktion mittels Synthese; Stromlieferant Strompark in Österreich (60 % Wasserkraft) inkl. KWK
Pkw BZEV (4)	Für die Brennstoffzelle wurde der Verbrauch von 0,2444 kWh/km mit einem Umwandlungswirkungsgrad (Verbrennung zu Strom) von 50 % angenommen; Wasserstoffproduktion aus Erdgas;
Moped (Benzin)	Verbrauch 0,03 kWh/km
Elektromoped (Strompark Ö)	Verbrauch 0,05 kWh/km; Stromlieferant Strompark in Österreich (60 % Wasserkraft) inkl. KWK-Anlagen
Elektromoped (Ökostrom AG)	Verbrauch 0,05 kWh/km; Stromlieferant Ökostrom AG

(1) Substrat Mais

(2) Substrat Gülle

(3) Wasserstoff-Erzeugung aus Elektrolyse

(4) Wasserstoff-Erzeugung aus Reforming Erdgas

Dimensionierung der Fahrzeuge

Materialzusammensetzung des Basisfahrzeuges

Material	Konventionelles Fahrzeug			
	Motor	Karosserie	Gesamt	Anteil
	(kg/Pkw)			
Stahl	150	603	753	53 %
Gusseisen	90	0	90	6 %
Aluminium/Leichtmetall		60	60	4 %
Glas		37	37	3 %
Lacke		5	5	0 %
Kunststoffe		226	226	16 %
Gummi		62	62	4 %
Kraftstoff/Öl/Fett	40	30	70	5 %
NE/Metalle		40	40	3 %
Elektrik/Kabel	10	20	30	2 %
Dämmstoff		20	20	1 %
Blei	20	0	20	1 %
Summe	**310**	**1.103**	**1.413**	**100 %**

NE … Nichteisenmetalle

Dimensionierung der Fahrzeugvarianten

Detaillierte Materialzusammensetzung der Fahrzeugvarianten

Prozess	Produkt	Motor (+ Getriebe, Nebenaggregate)							Batterie (Blei)							Karosserie							Gesamt							
Pkw Materialien 2010	*[kg/Pkw]*	VKM	HEV	PHEV	BZEV	EV	Moped	E-Moped	VKM	HEV	PHEV	BZEV	EV	Moped	E-Moped	VKM	HEV	PHEV	BZEV	EV	Moped	E-Moped	VKM	HEV	PHEV	BZEV	EV	Moped	E-Moped	wo sie im Auto vorkommen
Metall\Stahl-DE-mix	Stahl	150	120	120	90	32	30	20								603	603	603	603	450	27,9	40,0	753,0	723,0	723,0	693,0	482,0	57,9	60,0	80 % Karosserie, 20 % Motor
Metall\Fe-Guss-DE	Gusseisen	90	60	60	50	20	7	5								0	0	0	0	0	2,0	2,0	90,0	60,0	60,0	50,0	20,0	9,0	7,0	Motor
Metall\Aluminium-mix-DE	Aluminium						2	2								60	60	60	60	50	2,6	2,6	60,0	60,0	60,0	60,0	50,0	4,6	4,6	Karosserie
Steine-Erden\Glas-flach	Glas															37	37	37	37	25	0,5	0,5	37,0	37,0	37,0	37,0	25,0	0,5	0,5	Karosserie
Erzeugung Lacke	Lacke															5	5	5	5	3,5	0,4	0,4	5,0	5,0	5,0	5,0	3,5	0,4	0,4	Karosserie
Chem-Org\ LDPE	Kunststoffe															226	226	226	226	150	17,4	17,4	226,0	226,0	226,0	226,0	150,0	17,4	17,4	Karosserie
Chem-Org\ Gummi-EPDM	Gummi															62	62	62	62	40	4,8	4,8	62,0	62,0	62,0	62,0	40,0	4,8	4,8	Karosserie
Erzeugung Motoröl	Kraftstoff Öl Fett	40	20	20	5	5	5,4	5,4								30	30	30	30	20			70,0	50,0	50,0	35,0	25,0	5,4	5,4	20 kg Motor; Rest Karosserie
Mixer/Metalle	NE/Metalle						3,1	3,1								40	40	40	40	40			40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	3,1	3,1	Karosserie
Metall\Kupfer-DE-mix	Elektrik/ Kabel	10	40	60	80	60	2,3	10,0								20	20	20	25	20			30,0	60,0	80,0	105,0	80,0	2,3	10,0	Karosserie, 10 kg Motor
Kunststoff\PUR-Hartschaum	Dämmstoff															20	20	20	20	14	0,5		20,0	20,0	20,0	20,0	14,0	0,5	0,0	Karosserie
Metall\Blei-DE-sekundär	Blei								20	20	20		20	5		0	0	0	0	0			20,0	20,0	20,0	0,0	20,0	5,0	0,0	VKM Batterie

Prozess	Produkt	Motor (+ Getriebe, Nebenaggregate)							Batterie (Blei)							Karosserie							Gesamt							
Pkw Materialien 2010	***[kg/Pkw]***	**VKM**	**HEV**	**PHEV**	**BZEV**	**EV**	**Moped**	**E-Moped**	**VKM**	**HEV**	**PHEV**	**BZEV**	**EV**	**Moped**	**E-Moped**	**VKM**	**HEV**	**PHEV**	**BZEV**	**EV**	**Moped**	**E-Moped**	**VKM**	**HEV**	**PHEV**	**BZEV**	**EV**	**Moped**	**E-Moped**	**wo sie im Auto vorkommen**
Metall\-Ni-primär westl. Welt	Nickel				50											0	0	0	0	0			0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	0,0	0,0	Batterie (E-Pkw und Hybrid)
Erzeugung Grafit	Grafit (in H_2-Tank)				60											0	0	0	0	0			0,0	0,0	0,0	60,0	0,0	0,0	0,0	in H2 Tank
Edelmetall\ Pt-primär-mix westl. Welt	Platin				0,01											0	0	0	0	0			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	in BZ
Gesamt		290	240	260	**335,01**	**117**	**49,8**	**45,5**	**20**	**70**	**140**	**120**	**220**	**5**	**20**[24]	**1.103**	**1.103**	**1.103**	**1.108**	**812,5**	**56,0**	**67,6**	1.413	1.413	1.503	1.563	1.150	111	133	

VKM..... konventionelles Fahrzeug (Verbrennungskraftmaschine)

HEV..... Hybridelektrofahrzeug

PHEV..... Plug-in Hybridelektrofahrzeug

BZEV..... Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug

EV..... Elektrofahrzeug (electric vehicle)

BZ..... Brennstoffzelle

[24] Traktionsbatterie siehe Dimensionierung der Akkumulatoren

Dimensionierung der Akkumulatoren (Li-Ionen-Akku)

Materialzusammensetzung des Akkumulators (Li-Ionen-Akku) für verschiedene Elektrofahrzeuge

Chem. Element	Gewichts-Anteil (%)	Elektrofahr-zeug (EV) 20–25 kWh	Brennstoffzellen-Elektrofahrzeug (BZEV) 10 kWh	Plug-in Hybrid-fahrzeug (PHEV) 10 kWh	Hybridelektro-fahrzeug (HEV) 2 kWh	Elektromoped (E-Moped) 2 kWh[2)]
		Masse (kg)	Masse (kg)	Masse (kg)	Masse (kg)	Masse (kg)
Fe	32	64	38	38	8,0	6
Co	20	40	24	24	5,0	4
Mn	0,50	1	1	1	0,1	0
Grafit	5	10	6	6	1,3	1
Na	0,01	0	0	0	0,0	0
C	3,10	6	4	4	0,8	1
Li	10	20	12	12	2,5	2
PP	3,30	7	4	4	0,8	1
Ca	0,30	1	0	0	0,1	0
Elektrolyt[1)]		52	31	31	6,4	5,2

[1)] *Lithiumhexafluorophosphat ($LiPF_6$) in Kombination mit Ethylenkarbonat (EC) + Dimethylkarbonat (DMC) + Diethylkarbonat (DEC) + Ethyazetat (EA). Der Elektrolyt-Anteil beträgt 27 % des Akkugewichtes.*

[2)] *Quelle: http://www.io-scooter.com/index.php?option=com_content&task=view&id=41&Itemid=56*

DETAILERGEBNISSE

Emissionsfaktoren des Handbuches der Emissionsfaktoren

Folgende Emissionsfaktoren wurden für die Berechnungen der direkten Emissionen als Basis herangezogen:

Komponente	Fahrzeugsubsegment	Emissionsfaktor	Einheit
mKr	Pkw Benzin 1,4–< 2L Euro-5	55,85456467	g/km
NO_x	Pkw Benzin 1,4–< 2L Euro-5	0,055674072	g/km
CO_2(total)	Pkw Benzin 1,4–< 2L Euro-5	176,109436	g/km
PM	Pkw Benzin 1,4–< 2L Euro-5	0,001891833	g/km
CH_4	Pkw Benzin 1,4–< 2L Euro-5	0,00065198	g/km
N_2O	Pkw Benzin 1,4–< 2L Euro-5	0,000484382	g/km
mKr	Pkw CNG/Benzin Euro-5	55,11664581	g/km
NO_x	Pkw CNG/Benzin Euro-5	0,055674072	g/km
CO_2(total)	Pkw CNG/Benzin Euro-5	151,184967	g/km
PM	Pkw CNG/Benzin Euro-5	0,001891833	g/km
CH_4	Pkw CNG/Benzin Euro-5	0,014006518	g/km
mKr	Pkw Diesel 1,4–< 2L Euro-5 DPF	45,29543686	g/km
NO_x	Pkw Diesel 1,4–< 2L Euro-5 DPF	0,564817846	g/km
CO_2(total)	Pkw Diesel 1,4–< 2L Euro-5 DPF	142,8165283	g/km
PM	Pkw Diesel 1,4–< 2L Euro-5 DPF	0,001507481	g/km
CH_4	Pkw Diesel 1,4–< 2L Euro-5 DPF	0,000245646	g/km
N_2O	Pkw Diesel 1,4–< 2L Euro-5 DPF	0,004813561	g/km
mKr	Pkw E85 Euro-5	87,73506165	g/km
NO_x	Pkw E85 Euro-5	0,055674072	g/km
CO_2(total)	Pkw E85 Euro-5	178,6373596	g/km
PM	Pkw E85 Euro-5	0,001891833	g/km
CH_4	Pkw E85 Euro-5	0	g/km
mKr	Pkw LPG Euro-5	52,53480911	g/km
NO_x	Pkw LPG Euro-5	0,097429626	g/km
CO_2(total)	Pkw LPG Euro-5	156,973999	g/km
PM	Pkw LPG Euro-5	0,001891833	g/km
CH_4	Pkw LPG Euro-5	0	g/km
N_2O	Pkw LPG Euro-5	0,002093057	g/km

Fahrzeugherstellung – vorgelagerte CO_2-/THG-Emissionen und Energieeinsatz

Fahrzeugherstellung – vorgelagerte Emissionen und Energieeinsatz

Fahrzeug	vorgelagerte CO_2-Emissionen		vorgelagerte THG-Emissionen	vorgelagerter Energieeinsatz	
	g/Pkm	g/Fkm	g/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Fkm
Pkw EV (Strompark Ö) (Kleinfahrzeug)	21,8	25,724	24,3	0,11	0,130
Pkw EV (Ökostrom AG) (Kleinfahrzeug)	21,8	25,724	24,3	0,11	0,130
Pkw EV (PV-Strom) (Kleinfahrzeug)	21,8	25,724	24,3	0,11	0,130
Pkw EV (Windstrom) (Kleinfahrzeug)	21,8	25,724	24,3	0,11	0,130
Pkw HEV-Benzin	30,9	36,462	34,4	0,166	0,196
Pkw HEV-Diesel	30,9	36,462	34,4	0,166	0,196
Pkw PHEV (Strompark Ö)	30,9	36,462	34,4	0,166	0,196
Pkw PHEV (Ökostrom AG)	30,9	36,462	34,4	0,166	0,196
Pkw CNG	28,6	33,748	32	0,158	0,186
Pkw Bio-CNG (SubstratMais)	28,6	33,748	32	0,158	0,186
Pkw Bio-CNG (Substrat Schweingegülle)	28,6	33,748	32	0,158	0,186
Pkw RME	28,2	33,276	32	0,156	0,184
Pkw E85	28,2	33,276	31,5	0,156	0,184
Pkw Wasserstoff (VKM) – Wasserstoff-Erzeugung aus Synthese	28,2	33,276	32	0,156	0,184
Pkw Wasserstoff (VKM) – Wasserstoff-Erzeugung aus Reforming Erdgas	28,2	33,276	32	0,156	0,184
Pkw BZEV (Ökostrom AG) – Wasserstoff-Erzeugung aus Synthese	34	40,120	39,5	0,171	0,202
Pkw BZEV (Strompark Ö) – Wasserstoff-Erzeugung aus Synthese	34	40,120	39,5	0,171	0,202
Pkw BZEV – Wasserstoff-Erzeugung aus Reforming Erdgas	34	40,120	39,5	0,171	0,202
Pkw Diesel	28,2	33,276	32	0,156	0,184
Pkw Benzin	28,2	33,276	31,5	0,156	0,184
Moped/Motorrad (Benzin)	2,2	2,631	2,52	0,012	0,014
Elektromoped (Strompark Ö)	3,6	4,248	3,26	0,018	0,021
Elektromoped (Ökostrom AG)	3,6	4,248	3,26	0,018	0,021

Ergebnistabelle gesamt – Auswertung in Fahrzeugkilometern

	Direkte THG-Emissionen	vorgelagerte THG-Emissionen	vorgelagerte THG-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte THG-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	THG-Emissionen gesamt	Direkte NO_x-Emissionen	vorgelagerte NO_x-Emissionen	vorgelagerte NO_x-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte NO_x-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	NO_x-Emissionen gesamt	Direkte PM-Emissionen	vorgelagerte PM-Emissionen	vorgelagerte PM-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte PM-Emissionen (Anteil Energiehersstellung)	PM-Emissionen gesamt	Direkter Energie-einsatz	vorgelagerter Ener-gieeinsatz	vorgelagerter Energie-einsatz (Anteil Fahr-zeugherstellung)	vorgelagerter Ener-gieeinsatz (Anteil Energiebereitstellung)	Energieeinsatz gesamt
	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Pkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	kWh/Fkm	kWh/Fkm	kWh/Fkm	kWh/Fkm	kWh/Fkm
Pkw EV (Strompark Ö)	–	79,30	28,70	50,60	79,30	–	0,22	0,09	0,13	0,22	–	0,05	0,04	0,00	0,05	0,20	0,43	0,1298	0,296	0,626
Pkw EV (Ökostrom AG)	–	33,51	28,70	4,81	33,51	–	0,19	0,09	0,10	0,19	–	0,05	0,04	0,00	0,05	0,20	0,34	0,1298	0,210	0,540
Pkw EV (PV-Strom)	–	64,70	28,70	36,00	64,70	–	0,16	0,09	0,07	0,16	–	0,08	0,04	0,03	0,08	0,20	0,46	0,1298	0,327	0,657
Pkw EV (Wind-Strom)	–	31,86	28,70	3,16	31,86	–	0,10	0,09	0,01	0,10	–	0,05	0,04	0,00	0,05	0,20	0,34	0,1298	0,213	0,543
Pkw HEV-Benzin	141,00	73,13	40,60	32,53	214,13	0,06	0,18	0,10	0,08	0,24	0,00189	0,14	0,05	0,08	0,14	0,49	0,79	0,19588	0,597	1,279
Pkw HEV-Diesel	115,30	54,31	41,10	13,21	169,61	0,56	0,16	0,11	0,06	0,73	0,00151	0,06	0,06	0,01	0,07	0,40	0,63	0,19788	0,436	1,034
Pkw PHEV (Strompark Ö)	44,07	89,39	40,60	48,79	133,46	0,01	0,24	0,12	0,12	0,25	0,00028	0,07	0,06	0,02	0,07	0,24	0,54	0,19588	0,34	0,780
Pkw PHEV (Ökostrom AG)	44,07	55,04	40,60	14,44	99,11	0,01	0,22	0,12	0,10	0,23	0,00028	0,07	0,06	0,01	0,07	0,24	0,46	0,19588	0,27	0,706
Pkw CNG	135,70	85,86	37,76	48,10	221,56	0,06	0,20	0,08	0,12	0,26	0,00189	0,05	0,04	0,01	0,05	0,73	1,42	0,18644	1,230	2,145
Pkw Bio-CNG(1)	–	58,17	37,76	20,41	58,17	0,06	0,11	0,08	0,03	0,17	0,00189	0,04	0,04	0,00	0,05	0,73	0,37	0,18644	0,179	1,094
Pkw Bio-CNG(2)	–	49,42	37,76	11,66	49,42	0,06	0,09	0,08	0,01	0,15	0,00189	0,04	0,04	0,00	0,05	0,73	0,35	0,18644	0,167	1,082
Pkw RME	–	93,79	37,76	56,03	93,79	0,65	0,17	0,08	0,09	0,82	0,00075	0,05	0,04	0,01	0,05	0,53	0,60	0,18644	0,414	1,134
Pkw E85	58,12	158,87	37,17	121,70	216,99	0,06	0,37	0,08	0,29	0,43	0,00106	0,06	0,03	0,03	0,06	0,65	1,16	0,18408	0,971	1,802
Pkw Wasserstoff (VKM) (3)	–	273,49	37,76	235,73	273,49	–	0,73	0,08	0,65	0,73	–	0,06	0,04	0,02	0,06	0,72	1,57	0,18644	1,381	2,284
Pkw Wasserstoff (VKM) (4)	–	203,27	37,76	165,51	203,27	–	0,15	0,08	0,07	0,15	–	0,04	0,04	0,00	0,04	0,72	1,07	0,18644	0,881	1,784
Pkw BZEV (Ökostrom AG) (3)	–	54,42	46,61	7,81	54,42	–	0,28	0,12	0,16	0,28	–	0,06	0,05	0,00	0,06	0,24	0,53	0,20178	0,33	0,779
Pkw BZEV (Strompark Ö) (3)	–	126,89	46,61	80,28	126,89	–	0,34	0,12	0,22	0,34	–	0,07	0,06	0,01	0,07	0,24	0,67	0,20178	0,47	0,916
Pkw BZEV (4)	–	102,97	46,61	56,36	102,97	–	0,14	0,12	0,02	0,14	–	0,06	0,06	0,00	0,06	0,24	0,50	0,20178	0,30	0,746

	Direkte THG-Emissionen	vorgelagerte THG-Emissionen	vorgelagerte THG-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte THG-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	THG-Emissionen gesamt	Direkte NO_x-Emissionen	vorgelagerte NO_x-Emissionen	vorgelagerte NO_x-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte NO_x-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	NO_x-Emissionen gesamt	Direkte PM-Emissionen	vorgelagerte PM-Emissionen	vorgelagerte PM-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte PM-Emissionen (Anteil Energieherstellung)	PM-Emissionen gesamt	Direkter Energie-einsatz	vorgelagerter Ener-gieeinsatz	vorgelagerter Energie-einsatz (Anteil Fahr-zeugherstellung)	vorgelagerter Ener-gieeinsatz (Anteil Energiebereitstellung)	Energieeinsatz gesamt
	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Pkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	g/Fkm	kWh/Fkm	kWh/Fkm	kWh/Fkm	kWh/Fkm	kWh/Fkm
Pkw Benzin	176,27	80,54	37,17	43,37	256,81	0,06	0,18	0,08	0,10	0,24	0,00189	0,14	0,03	0,11	0,14	0,65	0,98	0,18408	0,796	1,628
Pkw Diesel	144,26	55,37	37,76	17,61	199,63	0,56	0,16	0,08	0,07	0,72	0,00151	0,05	0,04	0,01	0,05	0,53	0,77	0,18644	0,582	1,302
Moped/Motorrad 4T (Benzin)	76,89	25,08	2,97	22,11	101,97	0,21	0,06	0,01	0,05	0,27	0	0,06	0,00	0,06	0,06	0,33	0,42	0,0132	0,41	0,749
Elektromoped (Strompark Ö)	–	15,64	3,85	11,79	15,64	–	0,04	0,01	0,03	0,04	–	0,03	0,00	0,03	0,03	0,05	0,09	0,0198	0,07	0,135
Elektromoped (Ökostrom AG)	–	4,97	3,85	1,12	4,97	–	0,03	0,01	0,02	0,03	–	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,07	0,0198	0,05	0,115

(1) Substrat Mais

(2) Substrat Gülle

(3) Wasserstoff-Erzeugung aus Elektrolyse

(4) Wasserstoff-Erzeugung aus Reforming Erdgas

Ergebnistabelle Gesamt – Auswertung in Personenkilometern

	direkte THG-Emissionen	vorgelagerte THG-Emissionen	vorgelagerte THG-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte THG-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	THG-Emissionen gesamt	direkte NO_x-Emissionen	vorgelagerte NO_x-Emissionen	vorgelagerte NO_x-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte NO_x-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	NO_x-Emissionen gesamt	direkte PM-Emissionen	vorgelagerte PM-Emissionen	vorgelagerte PM-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte PM-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	PM-Emissionen gesamt	direkte Energieeinsatz	vorgelagerter Energieeinsatz	vorgelagerter Energieeinsatz (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerter Energieeinsatz (Anteil Energiebereitstellung)	Energieeinsatz gesamt
	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Pkm
Pkw EV (Strompark Ö)	–	67,20	24,32	42,88	67,20	–	0,18	0,08	0,11	0,18	–	0,04	0,04	0,00	0,04	0,17	0,36	0,11	0,25	0,53
Pkw EV (Ökostrom AG)	–	28,40	24,32	4,08	28,40	–	0,16	0,08	0,08	0,16	–	0,04	0,04	0,00	0,04	0,17	0,29	0,11	0,18	0,46
Pkw EV (PV-Strom)	–	54,83	24,32	30,51	54,83	–	0,13	0,08	0,06	0,13	–	0,07	0,04	0,03	0,07	0,17	0,39	0,11	0,28	0,56
Pkw EV (Wind-Strom)	–	27,0	24,32	2,68	27,0	–	0,08	0,08	0,008	0,08	–	0,04	0,03	0	0,04	0,17	0,29	0,11	0,18	0,46
Pkw HEV-Benzin	119,50	61,97	34,41	27,57	181,47	0,05	0,15	0,09	0,07	0,20	0,00	0,11	0,05	0,07	0,12	0,41	0,67	0,17	0,51	1,08
Pkw HEV-Diesel	97,71	46,02	34,83	11,19	143,73	0,48	0,14	0,09	0,05	0,62	0,00	0,05	0,05	0,00	0,06	0,34	0,54	0,17	0,37	0,88
Pkw PHEV (Ökostrom AG)	17,92	42,00	34,41	7,59	59,92	0,01	0,18	0,10	0,08	0,19	0,00	0,06	0,05	0,01	0,06	0,21	0,39	0,17	0,23	0,60
Pkw PHEV (Strompark Ö)	17,92	74,99	34,41	40,58	92,92	0,01	0,20	0,10	0,10	0,21	0,00	0,06	0,05	0,01	0,06	0,21	0,45	0,17	0,29	0,66
Pkw CNG	115,00	72,77	32,00	40,77	187,77	0,05	0,17	0,07	0,10	0,22	0,00	0,04	0,04	0,01	0,04	0,62	1,20	0,16	1,04	1,82
Pkw Bio-CNG(1)	–	49,29	32,00	17,29	49,29	0,05	0,10	0,07	0,03	0,14	0,00	0,04	0,04	0,00	0,04	0,62	0,31	0,16	0,15	0,93
Pkw Bio-CNG(2)	–	41,88	32,00	9,88	41,88	0,05	0,08	0,07	0,01	0,13	0,00	0,04	0,04	0,00	0,04	0,62	0,30	0,16	0,14	0,92
Pkw RME	–	79,48	32,00	47,48	79,48	0,55	0,15	0,07	0,08	0,70	0,00	0,04	0,04	0,01	0,04	0,45	0,51	0,16	0,35	0,96
Pkw E85	49,25	134,64	31,50	103,14	183,89	0,05	0,32	0,07	0,25	0,36	0,00	0,05	0,02	0,02	0,05	0,55	0,98	0,16	0,82	1,53
Pkw Wasserstoff (VKM) (3)	–	231,77	32,00	199,77	231,77	–	0,62	0,07	0,55	0,62	–	0,05	0,04	0,02	0,05	0,61	1,33	0,16	1,17	1,94
Pkw Wasserstoff (VKM) (4)	–	172,26	32,00	140,26	172,26	–	0,13	0,07	0,06	0,13	–	0,04	0,04	0,00	0,04	0,61	0,90	0,16	0,75	1,51
Pkw BZEV (Ökostrom AG) (3)	–	46,12	39,50	6,62	46,12	–	0,23	0,10	0,13	0,23	–	0,05	0,05	0,00	0,05	0,21	0,45	0,17	0,28	0,66
Pkw BZEV (Strompark Ö) (3)	–	107,53	39,50	68,03	107,53	–	0,29	0,10	0,19	0,29	–	0,06	0,05	0,01	0,06	0,21	0,57	0,17	0,40	0,78
Pkw BZEV (4)	–	87,27	39,50	47,77	87,27	–	0,12	0,10	0,02	0,12	–	0,05	0,05	0,00	0,05	0,21	0,43	0,17	0,25	0,63

	direkte THG-Emissionen	vorgelagerte THG-Emissionen	vorgelagerte THG-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte THG-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	THG-Emissionen gesamt	direkte NO_x-Emissionen	vorgelagerte NO_x-Emissionen	vorgelagerte NO_x-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte NO_x-Emissionen (Anteil Energiebereitstellung)	NO_x-Emissionen gesamt	direkte PM-Emissionen	vorgelagerte PM-Emissionen	vorgelagerte PM-Emissionen (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerte PM-Emissionen (Anteil Energieherstellung)	PM-Emissionen gesamt	direkte Energieeinsatz	vorgelagerter Energieeinsatz	vorgelagerter Energieeinsatz (Anteil Fahrzeugherstellung)	vorgelagerter Energieeinsatz (Anteil Energiebereitstellung)	Energieeinsatz gesamt
	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	g/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Pkm	kWh/Pkm
Pkw Benzin	149,38	68,26	31,50	36,76	217,64	0,05	0,16	0,07	0,09*	0,21	0,00	0,12	0,02	0,09	0,12	0,55	0,83	0,16	0,67	1,38
Pkw Diesel	122,25	46,92	32,00	14,92	169,17	0,48	0,13	0,07	0,06	0,61	0,00	0,04	0,04	0,01	0,04	0,45	0,65	0,16	0,49	1,10
Moped/Motorrad 4T (Benzin)	76,89	23,07	2,97	20,10	92,70	0,19	0,05	0,01	0,05	0,25	–	0,05	0,00	0,05	0,05	0,30	0,38	0,01	0,37	0,68
Elektromoped (Strompark Ö)	–	14,57	3,85	10,72	14,22	–	0,03	0,01	0,03	0,03	–	0,03	0,00	0,03	0,03	0,04	0,08	0,02	0,06	0,12
Elektromoped (Ökostrom AG)	–	4,87	3,85	1,02	4,52	–	0,03	0,01	0,02	0,03	–	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,02	0,04	0,10

(1) Substrat Mais

(2) Substrat Gülle

(3) Wasserstoff-Erzeugung aus Elektrolyse

(4) Wasserstoff-Erzeugung aus Reforming Erdgas

PERSPEKTIVEN FÜR UMWELT & GESELLSCHAFT **umwelt**bundesamt

Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Der Einsatz von alternativen Antrieben und biogenen Kraftstoffen gewinnt aufgrund steigender Umweltbelastungen durch konventionelle, mit fossilen Treibstoffen betriebene Kraftfahrzeuge zunehmend an Bedeutung.

Der Report untersucht Treibhausgas- und Luftschadstoffbilanzen von Elektrofahrzeugen und anderen alternativen Antriebsformen, um deren Potenzial im Vergleich zu konventionellen Antrieben und auch im Vergleich zu Biokraftstoffen bewerten zu können. Die Ergebnisse bilden eine fundierte Basis für die gesamtheitliche Bilanzierung von konventionellen und alternativen Antriebs- und Energiebereitstellungsoptionen.

In fast allen betrachteten Kategorien schneiden reine Elektrofahrzeuge hinsichtlich der Antriebskonzepte am besten ab. Mit erneuerbarem Strom als Energiequelle lässt sich dieser Effekt noch bedeutend steigern.

EMAS
Geprüftes Umweltmanagement
REG.NO. AT- 000484

ISBN 978-3-99004-244-1