



# Impressum

<b>Zitiervorschlag</b>	Christoph Meili;Niels Jungbluth;Martina Eberhart ( 2019) Zusammenstellung von Daten zur Umweltwirkung von alternativen Antrieben und Treibstoffen. ESU-services GmbH im Auftrag von Bundesamt für Umwelt BAFU, Schaffhausen, Schweiz, <a href="http://www.esu-services.ch/de/publications/">www.esu-services.ch/de/publications/</a>
<b>Auftragnehmer</b>	ESU-services GmbH Vorstadt 14, CH-8200 Schaffhausen Tel. 0041 44 940 61 32 <a href="mailto:jungbluth@esu-services.ch">jungbluth@esu-services.ch</a> <a href="http://www.esu-services.ch">www.esu-services.ch</a>
<b>Auftraggeber</b>	Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Ökonomie und Innovation Papiermühlestrasse 172 CH-3003 Bern
<b>Stichwörter</b>	Elektromobilität, Akku, Strom, Brennstoffzelle, Diesel, Benzin, Treibstoffe, alternative Treibstoffe, Elektrifizierung, erneuerbare Energieträger, Reichweite, Lebensdauer, Mobilität, Verkehr Methode der ökologischen Knappheit; Gewichtung; Indikatoren; Wir
<b>Kurztext</b>	
<b>Über uns</b>	ESU-services GmbH wurde im Jahre 1998 gegründet. Die Hauptaktivitäten der Firma sind Beratung, Forschung, Review und Ausbildung im Bereich Ökobilanzen. Fairness, Unabhängigkeit und Transparenz sind wesentliche Merkmale unserer Beratungsphilosophie. Wir arbeiten sachbezogen und führen unsere Analysen unvoreingenommen durch. Wir dokumentieren unsere Studien und Arbeiten transparent und nachvollziehbar. Wir bieten eine faire und kompetente Beratung an, die es den Auftraggebern ermöglicht, ihre Umweltperformance zu kontrollieren und kontinuierlich zu verbessern. Zu unseren Kunden zählen verschiedene nationale und internationale Firmen, Verbände und Verwaltungen. In einigen Bereichen wie Entwicklung und Betrieb webbasierter Ökobilanz-Datenbanken oder Umweltauswirkungen von Nahrungsmitteln und Konsummustern konnte unser Team Pionierarbeit leisten.
<b>Urheberrecht</b>	Soweit nicht anders vermerkt bzw. direkt vereinbart sind sämtliche Inhalte in diesem Bericht urheberrechtlich geschützt. Das Kopieren oder Verbreiten des Berichts als Ganzes oder in Auszügen, unverändert oder in veränderter Form ist nicht gestattet und Bedarf der ausdrücklichen Zustimmung von ESU-services GmbH oder des Auftraggebers. Der Bericht wird auf der Website <a href="http://www.esu-services.ch">www.esu-services.ch</a> und/oder derjenigen des Auftraggebers zum Download bereitgestellt. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder dem Auftragnehmer hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab. Es ist nicht gestattet, den Bericht oder Teile davon auf anderen Websites bereitzustellen. In veränderter Form bedarf die Weiterverbreitung der Inhalte der ausdrücklichen Genehmigung durch ESU-services GmbH. Zitate, welche sich auf diesen Bericht oder Aussagen der Autoren beziehen, sollen den Autoren vorgängig zur Verifizierung vorgelegt werden.
<b>Haftungsausschluss</b>	Die Informationen und Schlussfolgerungen in diesem Bericht wurden auf Grundlage von als verlässlich eingeschätzten Quellen erhoben. Die Erstellung erfolgte im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. ESU-services GmbH und die Autoren geben keine Garantie bezüglich Eignung, oder Vollständigkeit der im Bericht dargestellten Informationen. ESU-services GmbH und die Autoren lehnen jede rechtliche Haftung für jede Art von direkten, indirekten, zufälligen oder Folge-Schäden oder welche Schäden auch immer, ausdrücklich ab.
<b>Inhaltliche Verantwortung</b>	Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die AutorInnen dieses Berichts verantwortlich.
<b>Version</b>	14.10.19 13:45 <a href="https://esuserVICES-my.sharepoint.com/personal/mitarbeiter1_esuserVICES_onmicrosoft_com/Documents/631">https://esuserVICES-my.sharepoint.com/personal/mitarbeiter1_esuserVICES_onmicrosoft_com/Documents/631</a> Kurzrecherche BAFU/Bericht/631-Kurzbericht-Vergleich EV ICE-v2.0.docx

---

# Inhalt

<b>INHALT</b>	<b>II</b>
<b>1 AUSGANGSLAGE</b>	<b>1</b>
<b>2 VORGEHEN</b>	<b>2</b>
2.1 Beschrieb Excel-Datei	2
2.1.1 Datentabelle	2
2.1.2 Referenzen	2
2.1.3 Verbesserungspotenziale	3
2.1.4 Glossar	3
2.2 Auswahl der untersuchten Studien	3
<b>3 RESULTATE</b>	<b>4</b>
3.1 Ausgewertete Daten	4
3.2 Faktoren mit grossem Einfluss auf die Resultate von batterieelektrischen Fahrzeugen	4
3.3 Kritische Diskussion widersprüchlicher Resultate	5
3.3.1 Hauptkritikpunkte an IFO-Studie (Buchal 2019)	5
3.3.2 Hauptkritikpunkte an Fraunhofer ISE-Studie	5
3.4 Verbesserungspotenziale	5
3.4.1 Bei den Nutzern mit Mobilitätsbedürfnis	6
3.4.2 Beim Gesetzgeber	6
<b>4 BEURTEILUNG VON EINZELNEN UMWELTASPEKTEN DER ELEKTROMOBILITÄT</b>	<b>7</b>
4.1 Kobalt für Batterien	7
4.2 Lithium für Batterien	9
4.3 Neodym für Elektromotoren	10
4.4 Fazit	11
<b>5 DISKUSSION</b>	<b>11</b>
<b>6 LITERATUR</b>	<b>12</b>

# 1 Ausgangslage

Das BAFU benötigt für verschiedene Zwecke eine Zusammenstellung von Daten zur Umweltwirkung von alternativen Antrieben und Treibstoffen mit Fokus auf batterieelektrischen Antrieben. Ein Kurzbeschrieb des Projektes wird in Tab. 1.1 gezeigt.

Tab. 1.1 Übersicht zu dieser Studie

Titel	Zusammenstellung von Daten zur Umweltwirkung von alternativen Antrieben und Treibstoffen
Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt BAFU
Untersuchtes Produkt	Personentransporte in Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebssystemen und Treibstoffen pro Fahrzeugkilometer.
Hauptaufgaben	<p>Der Auftragnehmer wurde beauftragt, aktuelle wissenschaftliche Artikel und Berichte zur Umweltwirkung verschiedener alternativer Antriebe und Treibstoffe zu sichten und folgende Informationen in tabellarischer Form zusammenzustellen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Treibhausgasemissionen pro vkm</li> <li>• andere berücksichtigte Umweltwirkungen pro vkm</li> <li>• aggregierte Umweltwirkung pro vkm sofern berücksichtigt.</li> <li>• Annahmen/Einflussgrössen die eine Unterscheidung der einzelnen Studien erlauben.</li> <li>• beschriebene Schlüsselfaktoren</li> <li>• in der Studie beschrieben/betrachtet Verbesserungspotentiale</li> </ul> <p>Folgende alternative Antriebe/Treibstoffe sind zu berücksichtigen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• biogene Treibstoffe</li> <li>• strombasierte Treibstoffe</li> <li>• batterieelektrische Fahrzeuge</li> <li>• Hybride/und Plug-in-Hybride</li> <li>• Brennstoffzellenfahrzeuge</li> <li>• Gasfahrzeuge</li> </ul> <p>Ebenfalls aufgenommen wurde die jeweils betrachtete fossile Referenz. Sofern einzelne Studien verschiedene Untervarianten betrachten (z.B. Einsatz verschiedener Strommixe), so sind diese ebenfalls darzustellen.</p>
Fragestellungen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Welcher Fahrzeugtyp ist unter welchen Bedingungen vorzuziehen?</li> <li>• Welches sind Hauptunterscheidungsmerkmale der betrachteten Studien?</li> <li>• Wo liegen allgemeine Verbesserungspotenziale bezogen auf Umweltbelastungen im Transportsektor?</li> </ul>
Software	MS Excel und Word
Datenbanken <sup>1</sup>	Unterschiedlich je nach untersuchter Studie
Umweltbewertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Treibhausgasemissionen gemäss IPCC2013, 100a,</li> <li>• je nach Studie weitere</li> </ul>
Standards	Bei der Auflistung der Studien wurde nicht speziell auf die angewendeten Standards geachtet.
Vergleichende Studie	Ja – mittels unterschiedlicher Methoden und Produkte für selben Zweck.
Publikation	Nein
Dokumentation	Kurzbericht, Zusatzinformationen in Excel-Tabelle
Kritische Prüfung	Interne Überprüfung durch Niels Jungbluth
Zeitraumen	Beginn: 1.8.2019, Ende: 31.12.2019

<sup>1</sup> Eine Beschreibung der bei uns verfügbaren Datenbanken finden Sie unter <http://www.esu-services.ch/fileadmin/download/tender/ESU-Beschreibung-Datenbanken.pdf>

## 2 Vorgehen

In diesem Projekt wird eine Excel-Datei für die Datensammlung und Auswertung von aktuellen Studien zur Umweltwirkung von Transporten in Fahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebstechnologien und Treibstoffen erstellt.

### 2.1 Beschrieb Excel-Datei

Die Datei enthält vier Tabellenblätter.

#### 2.1.1 Datentabelle

Die Datentabelle enthält von links nach rechts, folgende Informationen:

- Kurzbezeichnung der Studie
- Kriterien zur Unterscheidung der verschiedenen Fahrzeugtypen
  - Fahrzeugtyp
  - Treibstofftyp
  - Rohstoff
  - Produktionsverfahren
  - 2. Treibstoff
  - 2. Treibstoff, Rohstoff
  - 2. Treibstoff, Produktionsverfahren
  - Batteriegewicht
  - Batteriekapazität
  - Fahrzeugklasse
  - Reichweite
  - Lebensfahrleistung
  - Szenario
- Rahmenbedingungen,
  - Referenzjahr
  - Region
  - Systemgrenze
- Angabe ob Fahrzeug als Referenzfahrzeug für Vergleich der Umwelteinflüsse innerhalb der Studie dienen soll (meist aktuelle Technologie)
- Subjektive Bemerkungen der Autoren
  - Entscheidende Faktoren für Studienresultat im Vergleich zu anderen Studien
  - Kommentare
- Umweltbelastungen pro Fahrzeugkilometer:
  - Einzelindikatoren absolut
  - Einzelindikatoren relativ zu Benzin-Referenz
  - Einzelindikatoren relativ zu Diesel-Referenz

#### 2.1.2 Referenzen

Dieses Tabellenblatt gibt Auskunft über die in der Datentabelle berücksichtigten Studien (oberer Teil der Tabelle) und einige zusätzlich gesichtete Studien und Berichte/Artikel, welche aus unserer Sicht relevante Informationen zum Thema enthalten.

- Quelle - Kurzform

- Quelle - Ausführlich
- Zahlen derselben Autorenschaft so oder in ähnlicher Form auch in anderen Quellen?<sup>2</sup>
- Kommentar

### 2.1.3 Verbesserungspotenziale

Das Tabellenblatt Verbesserungspotenziale enthält eine nicht-abschliessende Liste an möglichen Verbesserungspotenzialen in Bezug auf Umweltbelastungen im Mobilitäts- bzw. Verkehrssektor. Die Verbesserungspotenziale werden wie folgt gegliedert:

- Fahrzeugproduktion
- Treibstoffproduktion
- Nutzerverhalten
- Gesetzgeber

### 2.1.4 Glossar

Das Tabellenblatt Glossar enthält die Bezeichnungen, welche in der Datentabelle zur Unterscheidung verschiedene Fahrzeuge und Szenarien benötigt werden. Zusätzlich werden hier verwendete, allgemeingültige Umrechnungsfaktoren aufgelistet.

## 2.2 Auswahl der untersuchten Studien

Eine der aktuellsten Meta-Studien fand 113 Studien zu Ökobilanzen von Lithium-Ionen-Batterien und Elektrofahrzeugen, welche zwischen 2000 und 2016 veröffentlicht wurden (Peters et al. 2017). Für einen möglichst umfassenden Überblick empfehlen wir daher die Lektüre dieser Meta-Studie.

Für die Auflistung im Rahmen der vorliegenden Studie wurde versucht eine relativ heterogene Mischung an aktuellen<sup>3</sup> Studien zu einer Vielzahl an unterschiedlichen Fahrzeugtypen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

Generell wurden jedoch vorzugsweise Studien von Bundesämtern und solche mit Bezug zur Schweiz und/oder europäischen Ländern gewählt, damit die Ergebnisse eine erhöhte Relevanz für das Handlungsfeld des Auftraggebers (BAFU) aufweisen (Agora 2019, BMU 2019, Concawe 2014&2018, EEA 2018, Elgowainy 2018, Ellingsen 2016, Fraunhofer ISE 2019, Fraunhofer ISI 2019, Frischknecht 2018, Messagie 2017, Notter 2010, PSI 2019, Rotta 2016, Umweltbundesamt 2015, Volkswagen 2014).

Zum Vergleich wurden Zahlen einer Studie aus der USA aufgenommen (UCS 2015).

Bei der Auflistung wurden nicht ausschliesslich peer-reviewte Studien aufgenommen.

Aus Zeitgründen wurden keine den Studien zu Grunde liegenden Datengrundlagen von den Autoren eingefordert. Es wurden lediglich Zahlen berücksichtigt, welche entweder direkt in Tabellenform vorlagen oder aus einem Diagramm herausgelesen werden konnten<sup>4</sup>

Die einzigen Kontakte zu Studienautoren fanden mit der EMPA (Marcel Gauch) und dem Paul-Scherer-Institut (Christian Bauer) statt.

---

<sup>2</sup> Hierzu wurde nicht intensiv nachgeforscht. Vermutlich haben etliche Studien Zahlen querreferenziert, wie z.B. in einer Meta-Studie veranschaulicht (Peters 2017).

<sup>3</sup> Nicht älter als 10 Jahre

<sup>4</sup> Auf weitergehende Umrechnungen wurde verzichtet.

Grundsätzlich wurde auch versucht Studien mit unter Wissenschaftlern kontrovers diskutierten Ergebnissen zu berücksichtigen. Diese Zahlen erhalten in den Medien tendenziell eher viel Aufmerksamkeit und tragen so stark zur öffentlichen Meinungsbildung bei (z.B. Fraunhofer ISE 2019).

Interessant in dem Zusammenhang ist auch die Reaktion von anderen Studienautoren und Medien-schaffenden, welche Empfehlungen abgeben, wie Studienresultate kritischer betrachtet werden können (z.B. Hoekstra 2019 und Watson 2019).

Die meisten Studien bzw. Zahlen wurden von Angestellten von öffentlichen oder privaten Institutionen erstellt. Eine Ausnahme bilden die Zahlen in der Zusammenstellung «Mythbuster Elektromobilität» (Rotta 2016 & 2019). Hierbei handelt es sich um eine Zusammenstellung von einer Privatperson, welche offensichtlich fasziniert ist vom Autohersteller Tesla und klar die Vorzüge der Elektromobilität hervorheben möchte. Da diese Auflistung zumindest in der Schweiz auch gelegentlich zitiert wird, wurde sie ebenfalls aufgelistet.

## 3 Resultate

### 3.1 Ausgewertete Daten

Insgesamt wurden bisher etwa 210 Einträge zu Studienresultaten aus 21 Quellen für Umweltbelastungen pro Fahrzeugkilometer erfasst. Davon betreffen etwa 90 Einträge Batterieelektrische Fahrzeuge, etwa 50 Benzin- oder Dieselfahrzeuge und etwa 70 Hybrid-, Gas, Flüssigtreibstoff oder Brennstoffzellenfahrzeuge. Bei der Auswertung wird insbesondere auf Vor- und Nachteile von batterieelektrischen Fahrzeugen eingegangen, da dieser Technologie in den meisten untersuchten Studien die grössten Verbesserungspotenziale gegenüber den fossilen Referenzen zugetraut wird (vgl. z.B. PSI 2019, Umweltbundesamt 2015/2016, Rotta 2019). Einzig in einer Studie der Organisation für Umwelt, Gesundheit und Sicherheit der Europäischen Ölgesellschaften wurden lediglich Antriebe untersucht, bei welchen Treibstoffe an einer Tankstelle bezogen werden müssen (Concawe 2014/2018).

### 3.2 Faktoren mit grossem Einfluss auf die Resultate von batterieelektrischen Fahrzeugen

Beim Lesen der Studien und der Auflistung der Zahlen zeigte sich, dass einige Faktoren häufig relevant waren für den Ausgang des Ökobilanzvergleichs von fossiler Referenz (Benzin- oder Dieselfahrzeug) und batterieelektrischem Fahrzeug. Das Ergebnis verbesserte sich für batterieelektrische Fahrzeuge in Bezug auf Umweltbelastungen pro Fahrzeugkilometer insbesondere bei folgenden Annahmen:

- Hoher Anteil an Strom aus erneuerbaren Energiequellen für Nutzungsphase
- Hoher Anteil an Strom aus erneuerbaren Energiequellen für Fahrzeug- und Akkuproduktion
- Hoher Lebensfahrleistung (Anteil der Umweltbelastung der Fahrzeugproduktion sinkt)
- Eher geringes Batteriegewicht (und entsprechend geringere Reichweite pro Ladezyklus)
- Geringes Gesamtgewicht bzw. eher kleinere Fahrzeugklasse von beiden verglichenen Fahrzeugen
- Hohe Recycling-, bzw. Wiederverwendungsrate für Fahrzeugteile und insbesondere Akkus.
- Nutzung eines intelligenten Akkulademanagements, bei welchem dem Netz nur dann Strom entnommen wird, wenn er im Überfluss vorhanden ist.
- Effizientere Akkuproduktion, z.B. auf Grund grösserer Marktdurchdringung und mehr Know-how (economies of scale)
- Nutzung des elektrisch betriebenen Fahrzeugs als stationärer Energiespeicher für regionales Strommanagement (Vehicle-to-Home bzw. Vehicle-to-grid Option).

### 3.3 Kritische Diskussion widersprüchlicher Resultate

In einigen Studien gibt es im Vergleich zur Mehrzahl der Studien widersprüchliche Resultate. Insbesondere zwei deutsche Studien (z.B. Buchal 2019 und Fraunhofer ISE 2019) wurden hierzu in den Medien intensiv aufgegriffen. Aus unserer Sicht sind diese negativen Beurteilungen der batterieelektrischen Fahrzeuge jedoch aus folgenden Gründen nicht gerechtfertigt wie auch die Analysen von anderen Autoren zeigen (z.B. Wietschel 2019<sup>5</sup> und Hoekstra 2019<sup>6</sup>).

#### 3.3.1 Hauptkritikpunkte an IFO-Studie (Buchal 2019)

- Im Falle des unterstellten Elektrofahrzeugs wird ein nicht repräsentatives Mittelklassefahrzeug mit sehr hoher Batteriekapazität gewählt.
- Ein sehr wahrscheinliches Absinken der Treibhausgasemissionen aus der Stromproduktion in den nächsten Jahren wird nicht in die Bilanz einbezogen.
- Anstelle von Realverbräuchen werden Normverbräuche bei Pkw unterstellt.
- Es erfolgt keine Berücksichtigung der Tatsache, dass Elektrofahrzeugnutzer heute zu knapp 50 % eine PV-Anlage besitzen, überproportional häufig kombiniert mit Speichern, und/oder einen Ökostromvertrag haben.

#### 3.3.2 Hauptkritikpunkte an Fraunhofer ISE-Studie

- Veraltete Daten hinsichtlich Energieverbrauch bei der Batterieherstellung überschätzen Emissionen deutlich.
- Lebensdauer und End-of-Life der Batterie pessimistisch angenommen
- Unvollständige Daten zur fossilen Treibstoffbereitstellung.
- Studie bezahlt von H2 Mobility Deutschland.

### 3.4 Verbesserungspotenziale

In einigen Studien und Berichten wird jedoch korrekterweise darauf hingewiesen, dass wir als globale Gesellschaft keinesfalls mit fossil betriebenen Fahrzeugen weiterfahren sollten, sofern wir die Ziele gemäss Pariser Abkommen<sup>7</sup> und globale netto null CO<sub>2</sub>-Emissionen erreichen wollen.<sup>8</sup>

Nicht betrachtet wird wohl in den meisten Studien die Entwicklung der fossilen Referenz. Aktuelle Studien zur Erdöl- und Erdgasproduktion zeigen, dass bei der Treibstoffherstellung zukünftig eher mit höheren Emissionen zu rechnen ist (z.B. Jungbluth et al. 2018). Bei der Entwicklung fossiler Fahrzeuge erscheint zudem das technische Verbesserungspotenzial eher ausgereizt. Werden diese Aspekte in eine in die Zukunft gerichtete Betrachtung miteinbezogen, so ist von einem sich vergrößernden Vorteil der elektrobasierter Antriebe auszugehen.

Wenn davon ausgegangen wird, dass die globale Fahrleistung in PKWs in Zukunft gleich bleibt bzw. gar steigt, ist gemäss den untersuchten Studien die beste Chance die globalen THG-Emissionen zu senken eine rasche Umstellung auf batterieelektrische Fahrzeuge und die Förderung der oben aufgelisteten Rahmenbedingungen (Faktoren gemäss Liste in Kapitel 3.2).

---

<sup>5</sup> [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2019/Stellungnahme\\_zur\\_ifo-Studie\\_Klimabilanz\\_Elektrofahrzeug.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2019/Stellungnahme_zur_ifo-Studie_Klimabilanz_Elektrofahrzeug.pdf)

<sup>6</sup> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435119302715>

<sup>7</sup> <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

<sup>8</sup> Ein Beispiel, wo dies veranschaulicht wird: <https://www.thinkstep.com/content/ganzheitlich-betrachtet-eindeutig-hoeheres-potenzial-von-elektrofahrzeugen>

Es erscheint allerdings trotzdem fraglich ob die heutigen Mobilitätsbedürfnisse mit neuen Technologien so erfüllt werden können, dass die notwendigen Reduktionen bei den CO<sub>2</sub> Emissionen allein mit solchen technischen Verbesserungen erreicht werden können.

Gleichzeitig sollte deshalb zur Erreichung dieses globalen Zieles auch an den weiteren Rahmenbedingungen gearbeitet werden.

So ergeben sich aus dem Studium der konsultierten Lektüre und eigenen Überlegungen unter anderem folgende weiteren Verbesserungspotenziale insbesondere beim Gesetzgeber und Konsumenten:

### 3.4.1 Bei den Nutzern mit Mobilitätsbedürfnis

Als Nutzer sollte angestrebt werden, dass alle grundlegenden Bedürfnisse mit möglichst geringem Verkehrsaufkommen in möglichst effizienter Weise und mittels Energie aus erneuerbaren Quellen befriedigt werden können. Dies bedeutet im Alltag:

- Sich an einem Ort niederlassen, wo die Wege zu den wichtigen Lokalitäten/Lieferanten/Kunden möglichst kurz sind.
- Wenn kein schwerer Warentransport notwendig ist, sich selbst aktiv Fortbewegen (zu Fuss, per Fahrrad, E-Bike) oder wo Infrastruktur vorhanden ist, öffentliche Verkehrsmittel anstelle von PKW nutzen.
- Fahrzeug nutzen statt besitzen (Carsharing-Angebote nutzen, wenige Autos innerhalb Nachbarschaft/ im Unternehmen teilen)
- Fahrzeuggrösse den realen Alltagsbedürfnissen entsprechend wählen (für Sondertransporte grösseres Fahrzeug mieten/Lieferdienst in Anspruch nehmen)
- Batteriekapazität den realen Bedürfnissen entsprechend wählen (die meisten Fahrten sind kürzer als 20km --> kleine Batterien und damit geringere Reichweite vorziehen)
- Energie für Nutzung aus erneuerbaren Energiequellen beziehen (zertifizierter Strom, PV- oder Windkraftanlage)
- eco-Drive-Technik anwenden - Vorausschauend fahren, unnötig starkes Beschleunigen/Abbremsen vermeiden (sanftes bremsen = höhere Rekuperationsleistung)

### 3.4.2 Beim Gesetzgeber

Der Gesetzgeber kann Rahmenbedingungen schaffen, welche sowohl auf technologischer Ebene in der Produktion, bei der Treibstoffförderung wie auch bei der Mobilitätsnachfragenden Person dafür sorgen, dass die Mobilitätsbedürfnisse auf möglichst umweltschonende Weise befriedigt werden können. Einige Beispiele die dazu beitragen könnten:

- Anreize für lokales Arbeiten schaffen (z.B. mittels gesamtheitlicher Wohnkonzepte wie «Mehr als Wohnen»<sup>9</sup> oder «Nena1»<sup>10</sup> fördern und fordern, individuelles Pendeln verteuern, Steuerabzüge fürs Pendeln streichen)
- Nutzung der öffentlichen Verkehrsmittel fördern (Infrastruktur, Vergünstigung, Werbung).
- Nutzung fossiler Energieträger stärker besteuern/ mit Lenkungsabgabe verbinden.
- Deklarationspflicht zu Lebenszyklus-Emissionen auf Fahrzeug und beim Treibstoff vorschreiben.
- Stromproduktion mit neuen erneuerbaren Energiequellen (z.B. Windkraft, Photovoltaik) und effiziente Nutzung mittels "Smart-Grid"-Technologie verstärkt fördern.
- Stärkere Förderung der Netzeinspeisung von Photovoltaik-Strom und Nutzung auf lokaler Ebene.

---

<sup>9</sup> <https://www.mehralswohnen.ch/>

<sup>10</sup> <https://nena1.ch/>

- Elektrizitätswerke/ PV-Anlagenbauer dazu verpflichten, das ökologisch optimale Angebot für Bauherren aufzuzeigen (oft unterscheidet sich dieses vom aus Anbietersicht finanziell optimalen). --> auch etwas weniger stark beschienene Flächen mit PV-Modulen belegen und die gesamte Dachfläche bei einem Projekt nutzen.
- Aufbau von Schnellladeinfrastruktur fördern (idealerweise in Kombination mit lokaler Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen und Speichern).
- Emissionsgrenzwerte für Befahrung von bevölkerungsreichen Gegenden festlegen (ineffiziente fossile Fahrzeuge ausschliessen).
- Vehicle-to-grid-Optionen unterstützen und fördern (Synergieeffekte zw. erneuerbaren Energielieferanten und parkierten Batteriebetriebenen Fahrzeugen fördern).
- Closed-loop-Recycling fordern und fördern.

## 4 Beurteilung von einzelnen Umweltaspekten der Elektromobilität

In Diskussionen zur Elektromobilität werden oftmals einzelne, negative Aspekte herausgegriffen und die Technologie als Ganzes damit in Frage gestellt. Hier untersuchen wir nun noch die Stichhaltigkeit solcher Einzel-Beurteilungen.

### 4.1 Kobalt für Batterien

Der Kobaltabbau wird in der Öffentlichkeit kontrovers diskutiert, da teilweise von schlechten Umständen auf den Minen berichtet wird. So hat auch Amnesty International einen Bericht über den Kobaltabbau herausgebracht, welcher von sehr schlechten Bedingungen auf den handwerklichen Kleinminen ausserhalb der zugelassenen Abbaugebieten spricht. Gemäss Bericht fehlt es dort an Sicherheitsvorkehrungen und -ausrüstung sowie an legalem Staatsschutz. Auch von arbeitenden Kindern wird berichtet.

Die Kleinminen machen nur 10% der heutigen Kobaltproduktion aus. Auch aufgrund der steigenden Kobaltnachfrage ist es wichtig, dass dafür gesorgt wird, dass auch auf diesen Kleinminen die Menschenrechte und Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden. Hier sind insbesondere auch die Abnehmer gefragt, welche darauf achten sollten, woher sie Ihr Kobalt beziehen (Amnesty International 2017).

Gemäss einer anderen Studie wird Kobalt in 90% der Fälle als Nebenprodukt des Kupfer- oder Nickelbergbaus gewonnen. Im Jahr 2008 kam 50% des Kobalts aus Minen, in welchen Nickel das Hauptprodukt war, 35% aus Minen, in welchen Kupfer das Hauptprodukt war und nur 15% aus Minen wo Kobalt das Hauptprodukt war (Botelho Junior 2019). Somit können die teilweise ungünstigen Bedingungen beim Abbau nicht allein der Kobaltgewinnung oder einem spezifischen Nutzungspfad zugeschrieben werden.

Wie in Fig. 4.1 zu erkennen ist, wurde im Jahr 2015 rund die Hälfte des gewonnenen Kobalts für Batterien verwendet wovon 9% für Batterien für Elektrofahrzeuge und 40% für andere Batterien verwendet wurden. Ebenfalls zu erkennen ist, dass es auf dem Markt auch kobaltfreie Li-Ionen-Varianten, wie z.B. die LMO- und LFP- Batterien gibt, welche im Jahr 2015 zusammen rund 44% der Li-Ionen Batterien ausmachten (Alves Dias 2018). Dies verdeutlicht, dass der Grossteil des Kobaltes (rund 90%) nicht für Autobatterien verwendet wird und es für diese Anwendung auch kobaltfreie Alternativen gibt.

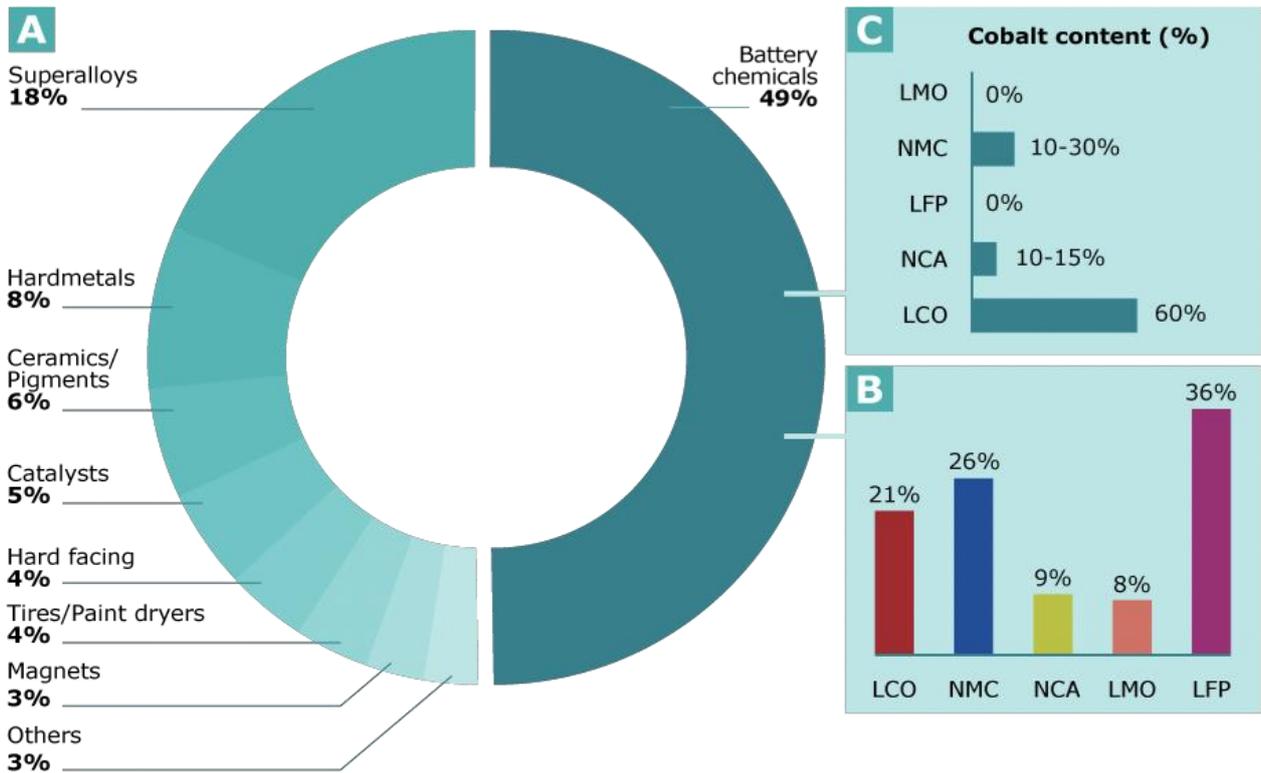


Fig. 4.1 Kobaltnutzung in 2015 (A); Marktanteil der Kathodentypen für Li-ionen Batterien in 2016 (B); Kobaltgehalt der Kathodentypen (C) (Alves Dias 2018)

Die Kobaltnachfrage allgemein und insbesondere im Batterie-Sektor hat in den letzten Jahren stetig zugenommen und wird gemäss Prognosen auch weiterhin stark ansteigen, wie dies in Fig. 4.2 deutlich zu erkennen ist. In Blau ist dort die Kobaltnachfrage eingezeichnet, welche aufgrund von Elektrofahrzeugen besteht und in Rot die restliche Nachfrage. Die Grüne Linie zeigt wie viel des Kobalts durch Primären Kobalt gedeckt werden muss, der Rest kann durch Sekundären, das heisst recycelten Kobalt gedeckt werden. Es ist klar erkennbar, dass davon ausgegangen wird, dass vor allem der Kobaltbedarf für elektrische Fahrzeuge zunehmen wird. Zudem wird prognostiziert, dass bei einem technischen Wandel die Nachfrage mit den vorhandenen Ressourcen gedeckt werden kann, dass aber ansonsten die Kobaltnachfrage die Ressourcen übersteigt (Frauenhofer 2015).

Eine weitere Studie hält fest, dass sich die Entwicklung der Elektromobilität erst im Anfangsstadium befindet, wodurch an der Zusammensetzung und der Energiedichte der Batterien noch stark geforscht wird und ein grosses Verbesserungspotential besteht (ESB 2012). Zudem verbessern sich die Recyclingsysteme meist mit zunehmender Nachfrage.

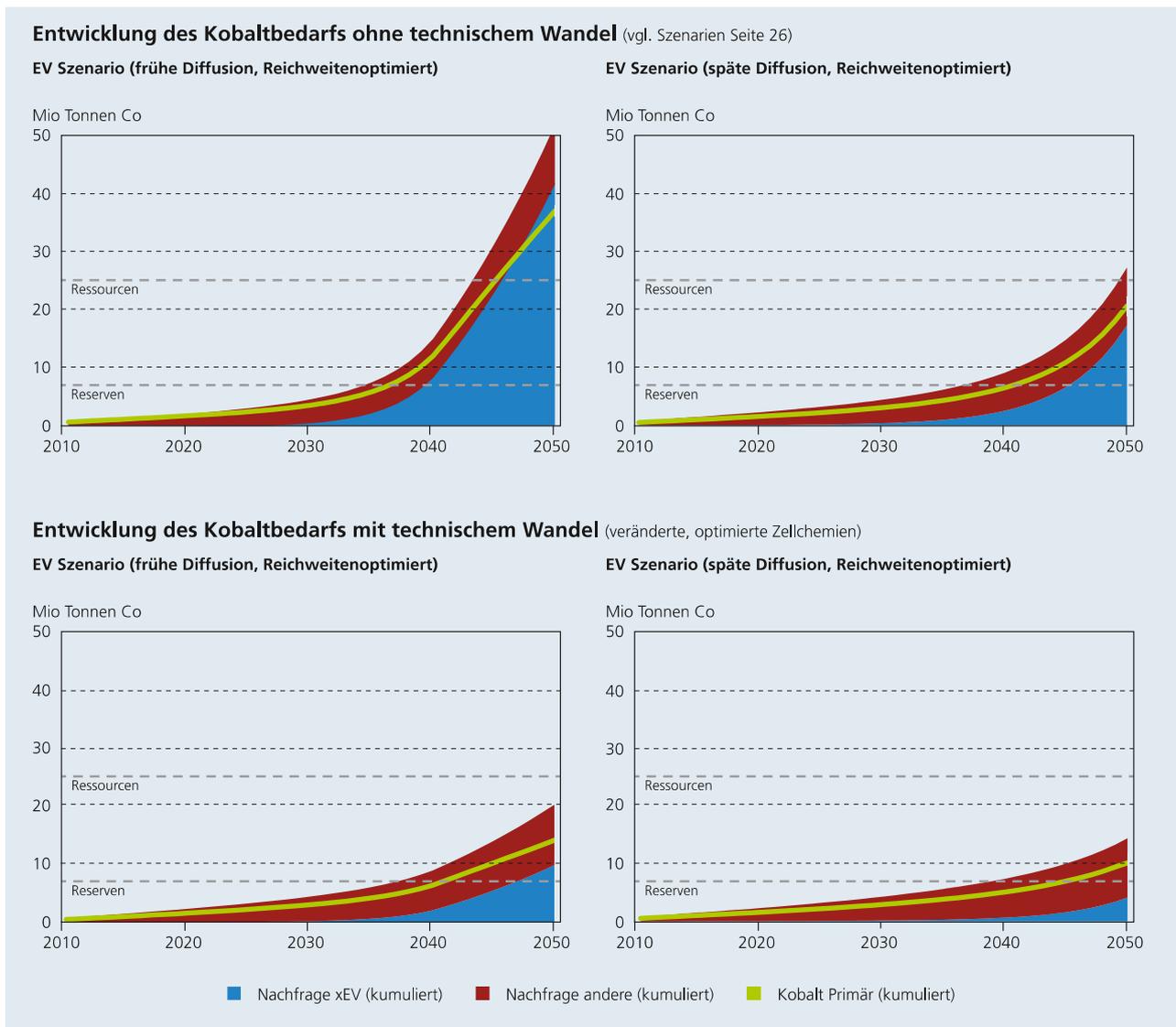


Fig. 4.2 Entwicklung des Kobaltbedarfs mit und ohne technischen Wandel und mit früher oder später Diffusion (Fraunhofer ISI 2015)

## 4.2 Lithium für Batterien

Lithium kommt in verschiedenen Umweltmedien vor, es ist im Wasser, in Gesteinen, in Mineralien und in der salzigen Flüssigkeit unter Salzseen, der sogenannten Sole zu finden. Die Solen sind heutzutage die Hauptquellen für die Lithiumgewinnung, sie liefern rund 50% des Lithiums.

Dieses Abbauverfahren steht aufgrund des angeblich hohen Wasserverbrauchs und – der Wasser- und Luftverschmutzung unter starker Kritik. Wie gross die Belastung der Umwelt aber tatsächlich ist, kann anhand der teilweise widersprüchlichen Literaturquellen nur schwer abgeschätzt werden und ist zudem sehr abhängig davon, wie der Lithiumabbau betrieben und zukünftig ausgebaut wird. Für eine Aussage über die tatsächliche Umweltbelastung bräuchte es daher eine umfassende Literaturrecherche oder weitere Untersuchungen in detaillierten Ökobilanzen (EviroCORE 2018).

Rund 50% des gewonnenen Lithiums wird für Batterien gebraucht, wobei angenommen wird, dass dieser Wert in den nächsten Jahren stark ansteigen wird (EviroCORE 2018). Dies ist ebenfalls in der Fig. 4.3 erkennbar, wobei wiederum vor allem der Bedarf für Lithium für die Elektromobilität stark zunimmt, die Lithium Ressourcen allerdings bei allen Szenarien ausreichen, um die Nachfrage zu decken (Fraunhofer 2015).

In der Batterie für Elektroautos hat Lithium einen Anteil von rund 8% und macht somit nur einen kleinen Massenanteil aus (ESB 2012). Aufgrund dieser Tatsache und da Lithium momentan noch sehr günstig ist wird Lithium kaum recycelt. Da es aber technisch gut möglich ist und sowohl der Preis wie auch die Masse des in Umlauf gebrachten Lithiums in der Zukunft höchstwahrscheinlich zunehmen werden ist zu erwarten, dass sich dies demnächst ändert (VDE 2012).

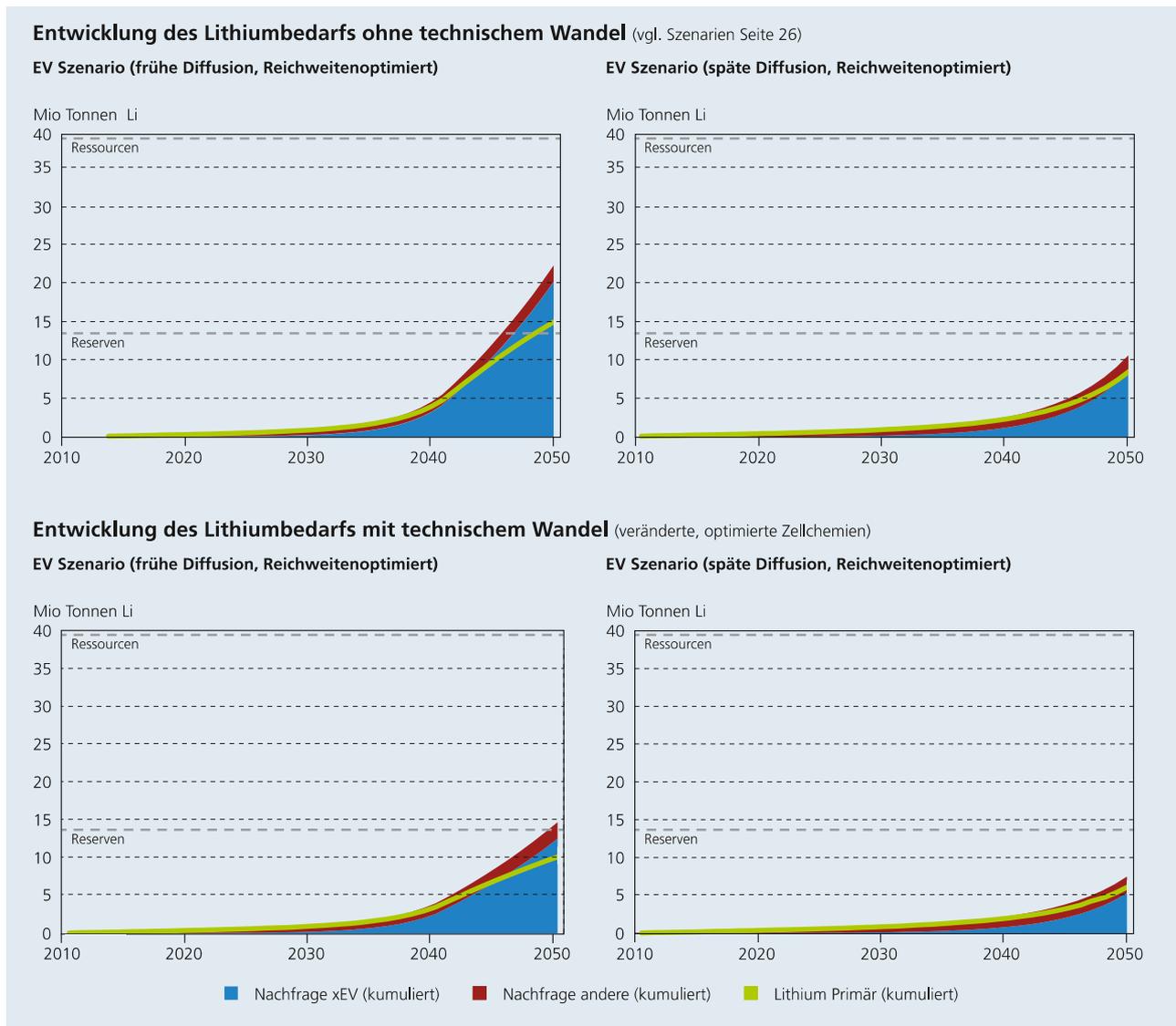


Fig. 4.3 Entwicklung des Lithiumbedarfs mit und ohne technischem Wandel und mit früher oder später Diffusion (Frauenhofer ISI 2015)

### 4.3 Neodym für Elektromotoren

Das Metall Neodym wird häufig in sogenannten Perma-Magneten, insbesondere in Elektroautos und Windkraftanlagen eingesetzt. Aktuelle Trends deuten darauf hin, dass diese beiden Technologien in Zukunft viel häufiger eingesetzt werden, was auch zu einem Anstieg des Neodym Bedarfs führen würde. So wird angenommen, dass im Jahr 2030 ein Neodym Bedarf von 16'000t bestehen wird, wobei die heutige jährliche Produktion bei 18'000t Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (entspricht 15'400t Nd) liegt. In einem Magnet hat es etwa 30% Neodym. Vom Neodymanteil könnten bis zu 25% durch Praseodymium, einer weiteren seltenen Erde, ersetzt werden. Gemäss einer Studie aus dem Jahr 2015 ist Praseodymium teuer als Neodym. Da sich dies aber aufgrund des steigenden Bedarfs von Neodym bald ändern könnte besteht hier die Möglichkeit, den Bedarfsanstieg von Neodym mit Hilfe von Praseodymium zu reduzieren. Beide Elemente gehören zu den häufiger vorkommenden Gruppen von leichten

Seltenen Erden. Im Jahr 2010 wurde kein Praseodymium gebraucht, während vom Neodym rund 995t verwendet wurden. Dies zeigt, dass es Sinn machen würde nicht nur Neodym sondern auch Praseodym zu verwenden (Erdmann 2015, Hart 2013). Weitere Untersuchungen wäre notwendig wie die Umweltbelastungen dabei im Vergleich aussehen.

Des Weiteren können durch ein Magnet-zu-Magnet Recycling die Umweltwirkungen um 64-96% reduziert werden. Der Grund für diese starke Reduktion ist, dass diese Art des Recyclings den Bedarf an seltenen Erden um 99.9% senkt im Vergleich zu einer Neuproduktion. Dadurch würde auch der Bedarf an Neodym gesenkt werden (Jin 2018).

#### 4.4 Fazit

Die Technologie der Elektromobilität kann nicht auf Grundlage von einzelnen evtl. negativen Aspekten beurteilt werden.

Bei Vergleichen zur heutigen Situation ist es notwendig alle Umweltrelevanten Aspekte im Rahmen einer vollständigen Ökobilanz zu untersuchen und dabei möglichst auch zukünftige Entwicklungen z.B. durch erhöhte Nachfrage nach einzelnen Metallen zu berücksichtigen.

Hierzu ist es insbesondere wünschenswert die Entwicklung bei der Förderung von einigen besonders relevanten Materialien weiter im Auge zu behalten und möglichst aktuelle Daten dazu in Ökobilanzen zu verwenden. Es ist zu erwarten, dass mit einem relevanten Anstieg der nachgefragten Menge auch neue Produktionsstätten und Wege erschlossen werden.

Für einen fairen Vergleich mit anderen bestehenden oder neuartigen Systemen ist es zudem immer notwendig in gleicher Detailtiefe spezifische Umweltbelastungen dieser Systeme zu beurteilen (z.B. Platin Verwendung in Katalysatoren, oder spezielle Materialien für Brennstoffzellen, Metalllegierungen für Verbrennungsmotoren, soziale und ökologische Folgen der Erdölgewinnung, etc.).

Alle beteiligten Akteure sollten daran arbeiten mehr Transparenz hinsichtlich der Produktionsbedingungen von diesen Materialien zu fordern und wo möglich auf Produkte zurückgreifen, die mit vergleichsweise niedrigen Umweltbelastungen und sozialen Risiken verbunden sind.

## 5 Diskussion

Wie in Kapitel 2.2 bereits angesprochen ist es im Rahmen dieses Auftrags nicht möglich alle verfügbaren Studien im Detail zu prüfen und in der Tabelle festzuhalten. Die Autoren sind jedoch der Überzeugung, dass die aufgenommenen Studien ein gutes Bild für die Bandbreite der möglichen Resultate, der relevanten Einflussfaktoren und der möglichen Verbesserungspotenziale vermitteln. Allgemein ist darauf hinzuweisen, dass die Resultate von Ökobilanzstudien von einer Vielzahl von Annahmen abhängen, welche von deren Autoren je nach Zielvorgaben unterschiedlich gewählt werden können.

Meta-Studien und kritische Reviews von bestehenden Studien sind daher besonders hilfreich, um die eigene Wahrnehmung zu schärfen.

Die Entwicklung der Batterie- und Fahrzeugtechnologie von elektrisch betriebenen Fahrzeugen steht im Vergleich zu derjenigen beim Verbrennungsmotor noch am Anfang. Es ist daher schwierig voranzusehen, wo zukünftige Stolpersteine wie auch noch unentdeckte Potenziale liegen könnten. Am Beispiel der Photovoltaik ist sichtbar welche hohen Verbesserungspotenziale teilweise bei einer großflächigen Markteinführung erreicht werden können. Das Beispiel zeigt auch das kritische frühe Studien diese Entwicklung eher zu pessimistisch eingeschätzt haben (Jungbluth et al. 2012; Stucki et al. 2012).

Es zeigt sich jedoch relativ eindeutig, dass ein Umstieg auf elektrisch betriebene Fahrzeuge insbesondere auf Grund der Synergieeffekte mit einem gleichzeitigen Ausbau der Stromproduktion mit erneuerbaren Energieträgern aktuell viele Chancen bietet, um die Umweltbelastungen des

motorisierten Individualverkehrs mit technischen Massnahmen zu senken.<sup>11</sup> Dies gilt insbesondere für den alltäglichen Kurzstreckenverkehr. Auf Grund der Prognosen für die Entwicklung bei der Energiedichte in den Batterien, kann zudem auch davon ausgegangen werden, dass das batterieelektrische Fahrzeug auch für Langstreckentransporte immer lukrativer und ökologisch vorteilhafter wird (vgl. z.B. EBP 2018).

Dank ihrer hohen Energiedichte sind jedoch mit erneuerbarem Strom produzierte synthetische Treibstoffe zumindest mittelfristig für manche Anwendungen vermutlich besser geeignet als batteriebetriebene Systeme. Dies dürfte bei schweren, Lastwagen, Schiffen und insbesondere beim Flugverkehr der Fall sein.<sup>12</sup>

Auf der anderen Seite ist deutlich, dass auch der Umstieg auf rein mittels erneuerbarer Treibstoffe bzw. elektrisch betriebene Fahrzeuge allein nicht genügt, um den Verkehrssektor auf Netto-Null-Emissionen runter zu bringen. Dafür erscheint es notwendig, dass gesamtheitliche, bedürfnisorientierte Mobilitätskonzepte auf lokaler, nationaler und globaler Stufe entwickelt und umgesetzt werden.

Ein besonderer Fokus sollte dabei auch auf die Vermeidung von direkten und indirekten Rebound-Effekten gelegt werden.

- Ein Beispiel für einen direkten Rebound-Effekt: Leute, welche aus Umweltschutzgründen bisher auf ein Auto verzichtet haben, kaufen auf Grund der relativ zum Benziner gesehen positiven Ökobilanz ein Elektroauto und erhöhen damit absolut gesehen die individuell verursachten Umweltbelastungen.
- Beispiel für einen indirekten Rebound-Effekt: Bisherige Benzinautofahrer steigen um auf ein sparsameres Elektroauto und sind darauf stolz, dass sie nun endlich umweltfreundlicher unterwegs sind. Dafür belohnen Sie sich nun mit einer Flugreise in die Karibik und senken so die individuell verursachten Umweltbelastungen nur geringfügig oder erhöhen sie sogar.

## 6 Literatur

- Jungbluth et al. 2012 Jungbluth N., Stucki M., Flury K., Frischknecht R. and Buesser S. (2012) Life Cycle Inventories of Photovoltaics. ESU-services Ltd., Uster, CH, retrieved from: [www.esu-services.ch/projects/pv/](http://www.esu-services.ch/projects/pv/).
- Jungbluth et al. 2018 Jungbluth N., Meili C. and Wenzel P. (2018) Update of LCI data for crude oil and mineral oil products. ESU-services Ltd. commissioned by BFE, BAFU, Erdöl-Vereinigung, Schaffhausen, Switzerland, retrieved from: [www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/](http://www.esu-services.ch/data/public-lci-reports/).
- Stucki et al. 2012 Stucki M., Frischknecht R. and Flury K. (2012) The Influence of Market Shifts and Technology Developments on the Environmental Impacts of Photovoltaic Electricity in Central Europe. In: *27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition*, Messe Frankfurt, Germany, retrieved from: [www.photovoltaic-conference.com/](http://www.photovoltaic-conference.com/).
- Agora 2019 - Agora Verkehrswende 2019 - Klimabilanz von Elektroautos - Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial
- Alves Dias 2018- Alves Dias P., Blagoeva D., Pavel C., Arvanitidis N.; Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018

<sup>11</sup> <https://www.thinkstep.com/content/ganzheitlich-betrachtet-eindeutig-hoeheres-potenzial-von-elektrofahrzeugen>

<sup>12</sup> [https://www.verkehrsclub.ch/fileadmin/user\\_upload/20\\_politik/Positionspapiere/PosPapier\\_Fossilfreier\\_Verkehr\\_d.pdf](https://www.verkehrsclub.ch/fileadmin/user_upload/20_politik/Positionspapiere/PosPapier_Fossilfreier_Verkehr_d.pdf)

- Amnesty International 2017- Time to recharge- corporate action and inaction to tackle abuses in the cobalt supply chain
- BMU 2019 - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit - Wie klimafreundlich sind Elektroautos?, Stand: 10.01.2019
- Botelho Junior 2019- Bothelo Junior B., Dreisinger D. B., Espinosa D. C. R.; A Review of Nickel, Copper, and Cobalt Recovery by Chelating Ion Exchange Resins from Mining Processes and Mining Tailings
- Buchal 2019 - Buchal, C., Karl, H.-D., and Sinn, H.-W. (2019). Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO2-Bilanz? Ifo Schnelldienst 72, 40–54.
- Concawe 2014 - Evaluating energy pathways from well to wheels
- Concawe 2018 - THE LOW CARBON PATHWAYS PROJECT  
A HOLISTIC FRAMEWORK TO EXPLORE THE ROLE OF LIQUID FUELS IN THE FUTURE LOW-EMISSION MOBILITY (2050)"
- EBP 2018 - Szenarien Elektromobilität in der Schweiz
- EEA 2018 - Electric vehicles from life cycle and circular economy perspectives
- Ellingsen 2016 - The size and range effect: lifecycle greenhouse gas emissions of electric vehicles
- Ellingsen 2018 - Research for TRAN Committee - Battery-powered electric vehicles development and lifecycle emissions
- EnviroCore 2018- Kavanagh L., Keohane J., Cabellos G.G., Lloyd A., Cleary J.; Global Lithium Sources - Industrial Use and Future in the Electric Vehicle Industry: A Review
- Erdmann 2015- Erdmann L., Bette K., Mari Merino J., Velte D.; Roadmap for the Substitution of Critical Raw Materials in Electric Motors and Drives
- ESB 2012- Kleine-Möhlhoff P., Benad H., Beilard F., Esmail M., Knöll M.; Die Batterie als Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität der Zukunft: Herausforderungen - Potenziale – Ausblick
- Fraunhofer ISI 2015 – Thielmann A., Sauer A., Wietschel M.; Gesamt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030
- Fraunhofer ISE 2019 - Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, André Sternberg, Christoph Hank und weitere
- Christopher Hebling - TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN FÜR BATTERIE- UND BRENNSTOFFZELLENFAHRZEUGE MIT REICHWEITEN ÜBER 300 KM
- Fraunhofer ISI 2019 - Die aktuelle Treibhausgas- emissionsbilanz von Elektrofahrzeugen in Deutschland
- Frischknecht 2018 - Aktualisierung Umweltaspekte von Elektroautos
- Hart 2013 – Hart M.; Evaluating united states and world consumption of neodymium, dysprosium, terbium, and praseodymium in final products
- Hoekstra 2019 - The Underestimated Potential of Battery Electric Vehicles to Reduce Emissions
- Jin 2018- Jin H., Afiuny P., Dove S., Furlan G., Zakotnik M., Yih Y., Sutherland J. W.; Life Cycle Assessment of Neodymium-Iron-Boron Magnet-to-Magnet, Environmental Science & Technology 2018
- Messagie 2017 - Life Cycle Analysis of the Climate Impact of Electric Vehicles
- Nitta 2015- Nitta N., Wu F., Lee J. T., Yushin G.; Li-ion battery materials: present and future 2015

- Notter 2010 - Dominic A. Notter\*, Marcel Gauch, Rolf Widmer, Patrick Wäger, Anna Stamp, Rainer Zah, Hans-Jörg Althaus 2010 - Contribution of Li-ion batteries to the environmental impact of electric vehicles
- PSI 2019 - B. Cox, C. Bauer, A. Mendoza Beltran; D. van Vuuren; C. Mutel (2019, submitted to Applied Energy for review) Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios.
- Rotta 2016 - Reale CO<sub>2</sub>-Emissionen der heute am Markt erhältlichen Fahrzeugtypen und ihrer Treibstoffe
- Rotta 2019 - Mythbuster Elektromobilität
- Stadtrat 2019- Vorlage des Stadtrats- E-Bus: Einführung von Elektrobussen mit Schnellladesystem Erweiterung des VBSH-Depots Ebnat, 30.4.19
- UCS 2015 - Union of concerned scientists 2015 - Cleaner cars from cradle to grave
- Umweltbundesamt 2015 - [https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/presse/news\\_2016/Tabelle\\_Oekobilanz-alternativer-Antriebe.pdf](https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/presse/news_2016/Tabelle_Oekobilanz-alternativer-Antriebe.pdf)
- Umweltbundesamt 2016 - <https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0572.pdf>
- VDE 2012- Rahimzei E., Sann K. Vogel M.; Kompendium: Li-Ionen-Batterien - im BMWi Förderprogramm IKT für Elektromobilität II: Smart Car - Smart Grid - Smart Traffic
- Volkswagen 2014 - Umwelt-Steckbrief e-Golf, Volkswagen AG, Konzernforschung, Umwelt Produkt, Brieffach 011/1774, 38436 Wolfsburg, Stand Januar 2014, Artikelnummer: 415.1245.05.01, [www.volkswagen.de](http://www.volkswagen.de), [www.umweltpraedikat.de](http://www.umweltpraedikat.de)