

**AG 5 – BERICHT**

# Energiewirtschaftliche Auswirkungen der Sektorkopplung – Energiebedarfe





AG 1

Klimaschutz im Verkehr



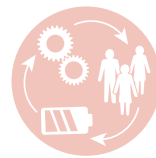
AG 2

Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität



AG 3

Digitalisierung für den Mobilitätssektor



AG 4

Sicherung des Mobilitäts- und Produktionsstandortes, Batteriezellproduktion, Rohstoffe und Recycling, Bildung und Qualifizierung



AG 5

Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung



AG 6

Standardisierung, Normung, Zertifizierung und Typgenehmigung

# INHALT

<b>KURZFASSUNG</b>	<b>4</b>
<b>EXECUTIVE SUMMARY</b>	<b>6</b>
<b>1 AUSGANGSLAGE UND ZIEL DES BERICHTS</b>	<b>8</b>
<b>2 METHODISCHES VORGEHEN ZUR BERECHNUNG – RAHMENPARAMETER UND RECHENANSATZ</b>	<b>8</b>
<b>3 ERGEBNISSE ENERGIEBEDARFE 2030</b>	<b>11</b>
3.1 Einordnung der Ergebnisse	11
3.2 Einschränkungen und Hinweise zur Einordnung	13
<b>4 FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN</b>	<b>15</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>16</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>18</b>
<b>ANHANG</b>	<b>19</b>
<b>IMPRESSUM</b>	<b>23</b>



## KURZFASSUNG

### ZIEL DES BERICHTS

Der Umstieg auf strombasierte Antriebe und Kraftstoffe im Zuge der Klimaschutzziele im Verkehrssektor bis 2030 geht mit einer systemischen Verknüpfung des Verkehrs- und Energiesektors (Sektorkopplung) einher. Ziel dieses Berichts ist es, in einem einfachen und transparenten Modell die Frage zu beantworten, mit welchen **zusätzlichen Strombedarfen für den Verkehrssektor im Jahr 2030** durch den sukzessiven Umstieg auf alternative Antriebe und Kraftstoffe zu rechnen ist. Dies soll Politik und Industrie ermöglichen, die Größenverhältnisse besser einschätzen und fundiertere Entscheidungen in der Diskussion um den Hochlauf der Technologien treffen zu können. Die Basis für die Berechnung im Rahmen des Berichts liefern bestehende Werte zu den Hochlaufszenerarien der alternativen Antriebe und Kraftstoffe aus vorangegangenen NPM-Berichten.

### ZUM METHODISCHEN VORGEHEN UND DEN ZENTRALEN ERGEBNISSEN

Für die Berechnung der Strombedarfe wird in diesem Bericht zwischen den **folgenden drei Kategorien** differenziert:

1. **Strom:** Batterieelektrische Fahrzeuge inklusive Oberleitungs-Hybrid-Lkw (OH-Lkw)
2. **Wasserstoff:** Brennstoffzellenfahrzeuge zuzüglich Wasserstoffeinsatz im Zugverkehr, in Raffinerien und für die Kompression von Wasserstoff
3. **Power to Liquid:** PtL-Einsatz über alle Verkehrsträger inklusive Luftfahrt

Dabei wird bei der Berechnung grundsätzlich davon ausgegangen, dass **inländisch erzeugte erneuerbare Energie** eingesetzt wird. Dies gilt auch für den Bereich Wasserstoff und PtL. Auf Basis der im Bericht dargelegten Rechenwege und zugrundeliegenden Parameter ergibt sich **bis 2030 ein zusätzlicher Strombedarf für den Verkehrssektor von 105,5 TWh**, der sich wie folgt verteilt:

1. Für den **Fahrstrom** von vollelektrischen Pkw und Lkw, Plug-in-Hybriden, Oberleitungshybrid-Lkw sowie sonstigen batterieelektrischen Fahrzeugen ergibt sich ein Bedarf von **69,4 TWh im Jahr 2030**. Die Anzahl der damit betriebenen Fahrzeuge beläuft sich nach Annahmen der NPM AG 1 und 2 auf über 15 Millionen.
2. Für den **Wasserstoffbereich** ergibt sich ein Bedarf von **17,5 TWh**, der etwa zur Hälfte für den Betrieb der Straßenfahrzeuge eingesetzt wird. Der Rest verteilt sich in variierenden Anteilen auf den Betrieb von Zügen, der Wasserstoffraffinerie und der Wasserstoffkompression. Die Anzahl der damit betriebenen Straßenfahrzeuge beläuft sich auf knapp 180.000.
3. Für den Bereich **PtL** wurde auf Basis der Werte aus der NPM AG 1 ein Strombedarf von **18,5 TWh** zugrunde gelegt. Im Bericht wird zwischen dem PtL-Bedarf für den Flugverkehr (5,7 TWh) und dem PtL-Bedarf für den Straßenverkehr (12,9 TWh) differenziert. Dabei wurde die PtL-Quote von 2 % für den Flugverkehr im Jahr 2030 gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz sowie die nach den Annahmen der AG 1 verbleibende PtL-Menge dem Straßenverkehr zugeordnet. Diese durch inländische Erzeugung gedeckte Nachfrage entspricht circa 1 % des THG-quotenrelevanten Endenergieverbrauchs für den Straßenverkehr.

Zur Einordnung des gesamten zusätzlichen Strombedarfs für den Verkehrssektor im Jahr 2030 und der stark variierenden Bedarfe zwischen den drei Kategorien lässt sich auf Folgendes hinweisen:

- Mit einem zusätzlichen Strombedarf von **105,5 TWh für den Verkehrssektor** steigt der Strombedarf im Verkehr bis 2030 deutlich an und entspricht circa **20% des aktuellen Stromverbrauchs** in Deutschland (BDEW 2021) beziehungsweise über **40% der heutigen Stromerzeugung durch erneuerbare Energien** in Deutschland (BDEW 2021). Dem gegenüber steht für Deutschland im Jahr 2020 ein Stromexport (netto), das heißt Überschüsse beim Stromaustausch mit dem Ausland, von rund 20 TWh (AGEB 2021).
- Die **stark variierenden Bedarfe** sind zum einen mit den Unterschieden in den prognostizierten **Fahrzeughochläufen** verbunden. Zum anderen spielt der variierende **Wirkungsgrad** zwischen den Technologien eine Rolle für den einhergehenden Strombedarf. Dies zeigt sich auch in der eingesparten Menge an CO<sub>2</sub> je Technologie und Fahrzeugsegment bis 2030, bei der **vollelektrische Lkw und Pkw je Terrawattstunde Strom am meisten CO<sub>2</sub> einsparen**. Unter der angenommenen Entwicklung der Fahrzeugzahlen kann beispielsweise der Bereich der **vollelektrischen Pkw bis 2030 mit 20,6 Millionen t CO<sub>2</sub>** die höchste Einsparung erzielen.
- Es bestehen Einschränkungen bei der Berechnung des zusätzlichen Bruttostrombedarfs für den Verkehr bis 2030. Zum einen ist im Rahmen des Berichts keine Aussage zu treffen über den zusätzlichen Strombedarf über alle Sektoren hinweg. Darüber hinaus können unterschiedliche Faktoren den Strombedarf im Verkehr erhöhen oder reduzieren. Zu diesen zählen unter anderem die Effizienz der Wallboxen, der Ladevorgänge sowie erhöhte Unsicherheiten bei der Technologieentwicklung von Brennstoffzellenfahrzeugen und PtL.

## FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Eine erfolgreiche Sektorkopplung wird immer wichtiger, denn der Bedarf an erneuerbarem Strom im Verkehrssektor steigt. **Um die Klimaziele 2030 und darüber hinaus zu erreichen, werden alle drei diskutierten Technologien beziehungsweise Kraftstoffe, also batterieelektrische Antriebe, Brennstoffzellenantriebe und PtL, notwendig sein.** Dabei ist Folgendes nach Auffassung der NPM AG 5 zu beachten:

- Für den Umstieg auf strombasierte Antriebe und Kraftstoffe zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist der **Grünstromanteil im Strommix** ausschlaggebend. Daher bedarf es eines **zügigen Ausbaus der erneuerbaren Energien**. Um dies zu erreichen, gilt:
  - **Abbau regulatorischer und bürokratischer Hürden**
  - Deutliche **Anhebung des Ausbaufades für erneuerbare Energien** bis 2030
  - **Bereitstellung geeigneter Flächen** für den Ausbau
  - **Beschleunigung der Genehmigungsprozesse**
  - Verstärkte **Förderung der Eigenerzeugung**
  - Schaffung einer **höheren gesellschaftlichen Akzeptanz** für den Ausbau der erneuerbaren Energien vor Ort
- Aufgrund des zunehmenden Bedarfs an erneuerbarem Strom auch in anderen Sektoren ist es wichtig, **erneuerbaren Strom möglichst effizient einzusetzen** und die Anforderungen der Sektoren bei einem Einsatz der unterschiedlichen Technologien und Kraftstoffe zu berücksichtigen. **Für den Verkehrssektor** ist bereits klar, dass **alle drei Technologien beziehungsweise Kraftstoffe zur Erreichung der Klimaziele** erforderlich sein werden und dafür weiter gefördert werden müssen.
- Aktuell zeichnet sich vor allem im **Pkw-Segment** ab, dass der **batterieelektrische Antrieb ein zentraler Pfeiler** sein wird. Im **Schwerlastverkehr** ist **noch keine klare Tendenz** zu erkennen und abhängig von der technischen Weiterentwicklung, der Kostenstruktur und der Frage nach Kraftstoffverfügbarkeiten, einer konkurrierenden Nachfrage zwischen den Sektoren und der Möglichkeit des grünen Wasserstoff-/PtL-Imports. Für eine bessere Planung der Infrastruktur und benötigten Strombedarfe können **Pfadentscheidungen** (vgl. Roadmap der NPM AG 1) sinnvoll sein und **Clean-Room-Gespräche mit den Fahrzeugherstellern, insbesondere im Nutzfahrzeugbereich**, als Basis dafür dienen.
- Zudem muss die **Finanzierung der Netze durch leistungsfähige Netzbetreiber** sichergestellt werden. Dies ist auch die Basis für eine erfolgreiche **Integration neuer Technologien**, wie dem **bidirektionalen Laden zur Reduktion der Spitzenlast** und verbesserten Integration erneuerbarer Energien.

## EXECUTIVE SUMMARY

### AIM OF THE REPORT

Switching to electricity-based drives and fuels in line with transport-related climate goals by 2030 is closely linked with a systemic integration of the transport and energy sectors (sector integration). The report aims at providing a simple and transparent model to answer the question of how much **additional electricity will be needed in the transport sector in 2030** in line with the successive switchover to alternative drives and fuels. The answer to this question should enable politics and industry to better estimate the scale of the requirement and to make more informed decisions in the debate around the ramp-up of the various technologies. The calculations in this report are based on existing values regarding ramp-up scenarios for alternative drives and fuels taken from previous NPM reports.

### METHODICAL APPROACH AND KEY RESULTS

For the purpose of calculating electricity requirements, the report distinguishes between the **following three categories**:

1. **electricity**: battery-electric vehicles including overhead line-hybrid HGVs (OH-HGV)
2. **hydrogen**: fuel cell vehicles plus hydrogen use in rail transport, in refineries and for hydrogen compression
3. **Power to Liquid**: PtL use via all modes of transport including aviation

The calculations are always based on the use of **domestically produced, renewable energy**, which also applies to hydrogen and PtL.

On the basis of the calculation methods and the parameters used in the report, an **additional electricity need for transport in 2030 of 105.5 TWh** is revealed, which can be broken down as follows:

1. fully **electric** cars and HGVs, plug-in hybrids, overhead line-hybrids as well as other battery-electric vehicles will need **69.4 TWh in 2030**. NPM WG 1 and 2 expect more than 15 million vehicles to be powered in this way.
2. The **hydrogen** sector will need **17.5 TWh**, half of which will be used for road vehicles. The rest is used in varying parts for the operation of trains, in hydrogen refineries and hydrogen compression. The number of hydrogen-fuelled road vehicles is just under 180,000.
3. Based on the values arrived at by NPM WG 1, the **PtL** sector will have an electricity need of **18.5 TWh**. The report differentiates between PtL needs in aviation (5.7 TWh) and PtL needs in road transport (12.9 TWh). A PtL rate of 2% was assigned to aviation in 2030 as per Federal Immission Control Act, and the remaining PtL amount to road transport according to the hypothesis of WG 1. This demand which is satisfied through domestic production makes up about 1% of the end-use energy for road transport which is relevant in terms of GHG quotas.

To put the total additional electricity need for transport in 2030 and the varying needs between the three categories in context:

- The additional electricity need of **105.5 TWh in transport** by 2030 is a massive increase and corresponds to about **20% of the current electricity consumption** in Germany (BDEW 2021) or more than **40% of current energy production by renewable means** in Germany (BDEW 2021). This compares to a net electricity export from Germany in 2020 (the surplus from electricity exchange with other countries) of around 20 TWh (AGEB 2021).
- On the one hand, these **widely diverging needs** are linked to differences in the predicted **vehicle ramp-up**. On the other hand, varying **efficiencies** between the technologies have a bearing on corresponding energy needs. This is also evident when looking at the amounts of CO<sub>2</sub> saved per technology and vehicle segment by 2030, whereby **fully electric lorries and cars save the largest amount of CO<sub>2</sub> per terawatt hour of electricity**.

Based on the projected development of vehicle numbers, the segment of **fully electric cars by 2030** can achieve the biggest **savings of 20.6 million tonnes of CO<sub>2</sub>**.

- There are limitations to the calculation of the gross additional electricity need in transport by 2030. Firstly, the report does not comment on additional energy needs across all sectors. Secondly, different factors can increase or reduce electricity needs in transport. These include the efficiency of wall boxes, of charging processes as well as increased uncertainty around the technological development of fuel cell vehicles and PtL.

## CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Successful sector integration is becoming more and more important as the demand for renewable electricity in transport is increasing. **With a view to achieving the climate targets 2030 and beyond, all three technologies or fuel types, i. e. battery-electric drives, fuel cell drives and PtL, will be needed.** According to NPM WG 5, it should be noted:

- The **share of green electricity as part of the electricity mix** is all-important for the switchover to electricity-based drives and fuels to reduce CO<sub>2</sub> emission. This is why **renewable energies need to be expanded rapidly** by:
  - › **reducing regulatory and administrative hurdles**
  - › **swiftly paving the way for renewable energies** by 2030
  - › **providing suitable land** for expansion
  - › **accelerating approval processes**
  - › **increasingly supporting domestic production**
  - › creating a **higher social acceptance** for expanding renewable energies locally
- Due to the increasing demand for renewable electricity in other sectors, it is important to **use renewable energy in the most efficient way** and to consider the requirements of these sectors as they use different technologies and fuels. When it comes to the **transport sector**, it is clear that **all three technology and fuel**

**types** need to be taken into account and promoted going forward if the **climate targets are to be achieved**.

- There is growing evidence especially in the **car segment** that **battery-electric drive technology will be a fundamental element**. In **heavy goods traffic, no clear tendency** can be seen yet. It all comes down to technological developments, cost structures, fuel availabilities, competing demands between different sectors and import options for green hydrogen/PtL. **Decision pathways** (cf. NPM WG 1 roadmap) can be appropriate to better plan infrastructure and required energy needs. **Clean room talks with vehicle manufacturers, especially in the commercial vehicle sector**, can form the basis for this.
- What is more, **financing of the grid** needs to be secured **by capable grid operators**. This is the foundation of successful **integration of new technologies**, such as **bidirectional charging to reduce peak loads** and better integration of renewable energies.

## 1 AUSGANGSLAGE UND ZIEL DES BERICHTS

Zur Erreichung der Klimaschutzziele hat die Bundesregierung 2019 das Klimaschutzprogramm vorgestellt, aus dem für den Verkehr klare Zielvorgaben zur Emissionsminderung hervorgehen. Dabei sollen im Verkehrssektor bis 2030 die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 40 % bis 42 % gegenüber dem Basisjahr 1990 gesenkt werden. Nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts und der folgenden Novelle des Klimaschutzgesetzes werden die Ambitionen nochmals angepasst, sodass dem aktuellen Gesetzesentwurf der Bundesregierung zufolge im Verkehrssektor im Jahr 2030 nur noch 85 Millionen t CO<sub>2</sub>-Äquivalent anfallen dürfen statt der ursprünglich festgelegten 95 Millionen t CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Um diese ehrgeizigen Ziele zu erreichen, bedarf es eines sukzessiven Umstiegs auf alternative Antriebe und Kraftstoffe in allen Verkehrsbereichen. Konkret heißt das, es bedarf insbesondere eines deutlich schnelleren Umstiegs von fossilen Kraftstoffen auf erneuerbaren Strom. Denn: Nicht nur für den Betrieb batterieelektrischer Fahrzeuge wird erneuerbarer Strom benötigt, sondern auch für die Elektrolyse zur Erzeugung von grünem Wasserstoff oder synthetischen Kraftstoffen (Power to Liquid – PtL).

Dieser Umstieg auf strombasierte Antriebe und Kraftstoffe geht mit einer systemischen Verknüpfung des Verkehrs- und Energiesektors (Sektorkopplung) einher. Dabei ist aktuell noch unklar, welche Auswirkungen die neuen Anforderungen aus dem Verkehrssektor auf den Energie-

sektor haben werden. Ziel dieses Berichts der AG 5 ist es daher, in einem einfachen und transparenten Modell die Frage zu beantworten, mit welchen zusätzlichen Strombedarfen für den Verkehrssektor im Jahr 2030 durch den sukzessiven Umstieg auf alternative Antriebe und Kraftstoffe zu rechnen ist. Dies soll Politik und Industrie ermöglichen, die Größenverhältnisse besser einschätzen und fundiertere Entscheidungen in der Diskussion um den Hochlauf der Technologien treffen zu können. Die Basis für die Berechnung liefern die Hochlaufsznarien zu den alternativen Antrieben und Kraftstoffen aus vorangegangenen Berichten der NPM (NPM 2020 und 2021). Diese Parameter werden um weitere Annahmen zur Effizienz der Erzeugung und Bereitstellung von Strom und strombasierten Kraftstoffen ergänzt. Die Ergebnisse zu den Strombedarfen werden im Rahmen des Berichts eingeordnet und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Der Betrachtungsrahmen für die Berechnung umfasst alle Fahrzeugklassen im Straßenverkehr. Außerdem werden hinsichtlich des Wasserstoff- und PtL-Bedarfs der Schienen- und Luftverkehr gemäß den Szenarien der vorgenannten Berichte berücksichtigt. Da für die Schifffahrt keine NPM-Hochlaufsznarien bestehen, fließen die Energiebedarfe für diesen Bereich nicht in die Berechnung mit ein, müssen jedoch bei einer Gesamtbetrachtung mitgedacht werden. Gleiches gilt für den Strombedarf für den Bahnverkehr 2030, der daher auch nicht in der Berechnung berücksichtigt wurde.

## 2 METHODISCHES VORGEHEN ZUR BERECHNUNG – RAHMENPARAMETER UND RECHENANSATZ

Ziel dieses Berichts ist es, auf Basis der NPM-Hochlaufsznarien für die unterschiedlichen Fahrzeugtechnologien und -klassen den durch die Umstellung des Antriebs bedingten zusätzlichen Strombedarf für den Verkehrssektor (exklusive Schiffsverkehr und zusätzlicher Bahnstrom) im Jahr 2030 zu berechnen. Der Bruttostrombedarf umfasst dabei neben dem direkten Energiebedarf der Verkehrsmittel (zum Beispiel dem jährlichen Fahrstrombedarf eines Elektroautos) auch die Effizienzverluste beim Laden beziehungsweise bei der Elektrolyse sowie bei der Übertragung über das öffentliche Stromnetz und dem Kraftwerkseigenverbrauch.

Für die Berechnung der Strombedarfe wird in diesem Bericht zwischen den folgenden drei Kategorien differenziert:

1. Strom: Batterieelektrische Fahrzeuge inklusive Oberleitungs-Hybrid-Lkw (OH-Lkw)
2. Wasserstoff: Brennstoffzellenfahrzeuge zuzüglich Wasserstoffeinsatz im Zugverkehr, in Raffinerien und für die Kompression von Wasserstoff
3. Power to Liquid: PtL-Einsatz über alle Verkehrsträger inklusive Luftfahrt



Dabei wird bei der Berechnung grundsätzlich davon ausgegangen, dass inländisch erzeugte erneuerbare Energie eingesetzt wird. Dies gilt auch für den Bereich Wasserstoff und PtL. Würde stattdessen ein gewisser Anteil über den Import dieser Energieträger oder ein Erzeugungsanteil von blauem Wasserstoff oder Wasserstoff aus biogenen Quel-

len unterstellt, verringert sich der inländische Strombedarf entsprechend.

Für die **Kategorie „Strom“** ergibt sich zur Ermittlung des Strombedarfs folgende vereinfachte Darstellung des Rechenwegs:

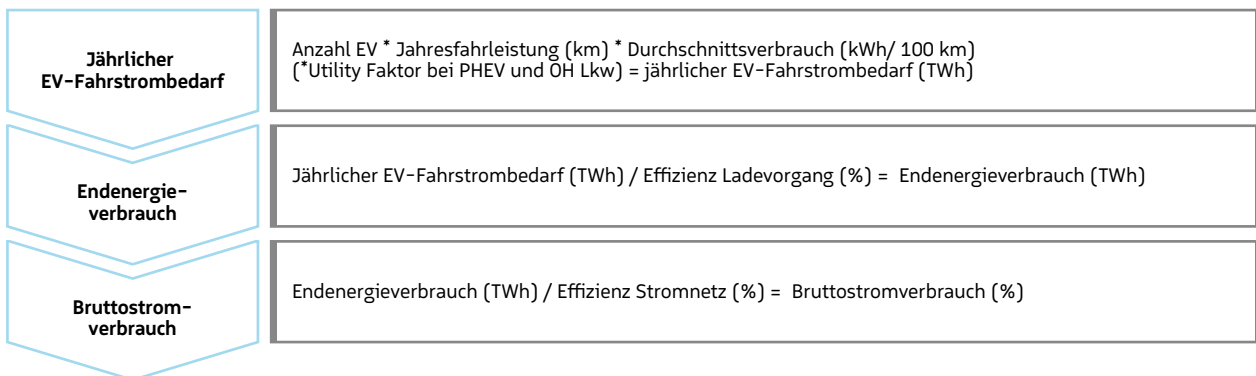


Abbildung 1: Rechenweg für Strombedarf der batterieelektrischen Fahrzeuge inklusive Hybrid-Oberleitungs-Lkw  
Quelle: eigene Darstellung

In einem ersten Schritt wird der jährliche Fahrstrombedarf der Fahrzeuge auf Basis der Anzahl der Fahrzeuge, der Jahresfahrleistung für die einzelnen Fahrzeugklassen, des Durchschnittsverbrauchs sowie des elektrischen Fahranteils (Utility Faktor) bei Plug-in-Hybriden und OH-Lkw ermittelt. Für die Parameter wurden, wenn verfügbar, Werte aus bestehenden NPM-Berichten herangezogen. Wenn entsprechende Werte nicht verfügbar waren, wurden einschlägige Studien herangezogen. Eine Übersicht zu den verwendeten Werten und Quellen ist im Anhang aufgeführt.

Im zweiten Schritt werden zur Ermittlung des Endenergieverbrauchs die Effizienzverluste beim Laden eines Fahrzeugs berücksichtigt. Diese Effizienzverluste umfassen den Stromverbrauch für das Batterie-Management-System, die Akku-Kühlung sowie die elektrischen Widerstände der Kabel und Leitungen. Um das Modell möglichst einfach zu halten, wurde für die Ladeverluste ein Mittelwert von 10 % im Jahr 2030 herangezogen (vgl. Anhang). Je nachdem, wie 2030 geladen wird, kann dieser Wert auch höher oder niedriger ausfallen.<sup>1</sup>

Abschließend werden in einem dritten Schritt für die Berechnung des Bruttostromverbrauchs die Effizienzverluste über die Stromnetze berücksichtigt, die auf 6 % angesetzt wurden (vgl. Anhang). Die Effizienzverluste umfassen die Netz- und Speicherverluste des öffentlichen Stromnetzes sowie den Eigenstrombedarf der Kraftwerke.

Für die **Kategorie „Wasserstoff“** stellt sich für die Berechnung des Bruttostromverbrauchs für Brennstoffzellenfahrzeuge (FCEV) ein ähnlicher Rechenweg dar. Lediglich in Schritt 2 werden statt der Effizienzverluste beim Laden die Effizienzverluste im Rahmen des Elektrolyseprozesses berücksichtigt. Der zugrundeliegende Wirkungsgrad wurde auf 70 % angesetzt (vgl. Anhang). Hinsichtlich der Effizienz der Stromnetze wurde aufgrund der zu erwartenden geringeren Übertragungsdistanzen bei Direktversorgung (räumliche Nähe von Elektrolyseur und EE-Anlage) 98 % angenommen (vgl. Anhang). Abbildung 2 stellt den Rechenweg vereinfacht dar.

<sup>1</sup> Beispielsweise kann der Anteil des Schnellladens oder der Nutzung von Haushaltssteckdosen statt effizienter Wallboxen einen Effekt auf die gesamte Ladeeffizienz haben.

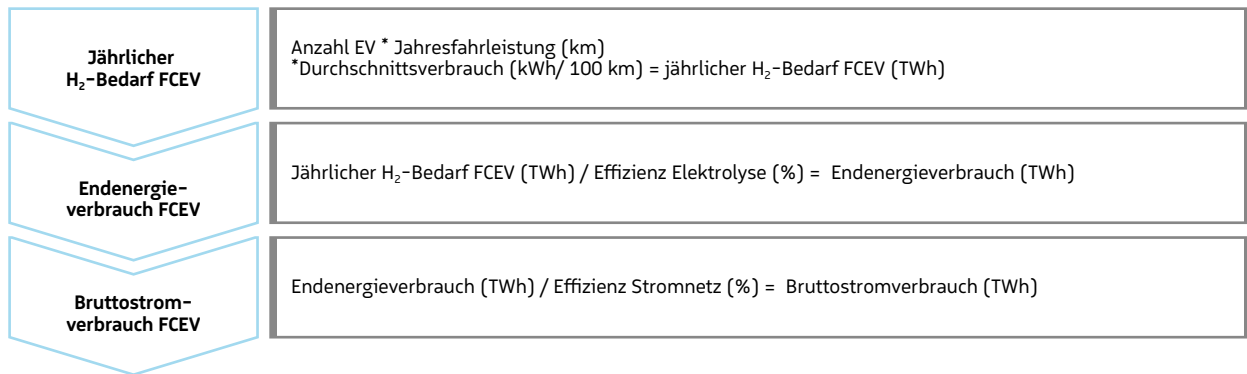


Abbildung 2: Rechenweg für Strombedarf der Brennstoffzellenfahrzeuge  
Quelle: eigene Darstellung

Neben dem Bruttostromverbrauch für die Fahrzeuge müssen für eine Gesamtbetrachtung des Wasserstoffbedarfs zusätzlich die folgenden drei Bereiche berücksichtigt werden:

- Wasserstoffverbrauch im Zugverkehr (unter Berücksichtigung der Effizienzverluste bei Elektrolyse und im Stromnetz)
- Wasserstoffverbrauch der Raffinerien (unter Berücksichtigung der Effizienzverluste bei Elektrolyse und im Stromnetz)

- Wasserstoffverbrauch/Energieeinsatz bei Wasserstoffkompression (unter Berücksichtigung der Effizienzverluste im Stromnetz)

Die herangezogenen Werte für die Berechnung dieser drei zusätzlichen Komponenten sind ebenfalls im Anhang aufgeführt.

Für die Berechnung des gesamten Bruttostromverbrauchs im Wasserstoffbereich lässt sich entsprechend festhalten:

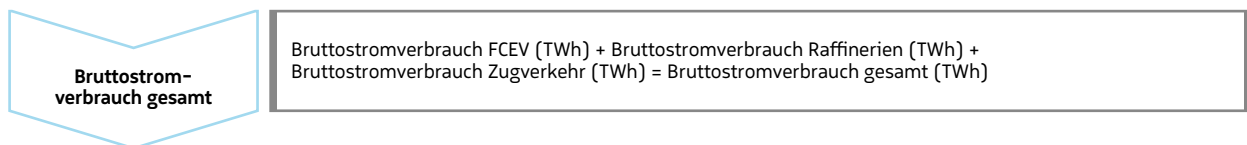


Abbildung 3: Rechenweg für Strombedarf im Wasserstoffbereich insgesamt  
Quelle: eigene Darstellung

Für die **Kategorie „PtL“** wurde der untere Rand der Werte zum PtL-Bedarf 2030 über alle Verkehrsträger aus der NPM AG 1 herangezogen (vgl. Anhang). Für die Berechnung wurde zwischen dem PtL-Bedarf für den Flugverkehr und dem PtL-Bedarf für den Straßenverkehr differenziert und dabei die PtL-Quote von 2 % für den Flugverkehr im Jahr 2030 gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz sowie die nach den Annahmen der AG 1 verbleibende PtL-Menge dem Straßenverkehr zugeordnet. Diese durch inländische Erzeugung gedeckte Nachfrage entspricht circa 1 % des THG-quotenrelevanten Endenergieverbrauchs für den Straßen-

verkehr. Der vereinfachte Rechenweg in Abbildung 4 folgt in den weiteren Schritten zur Ermittlung des Bruttostromverbrauchs für PtL den vorherigen Darstellungen. Der Effizienzgrad der Elektrolyse beziehungsweise des Stromnetzes wurden auf 51 % beziehungsweise 98 % festgelegt (vgl. Anhang).

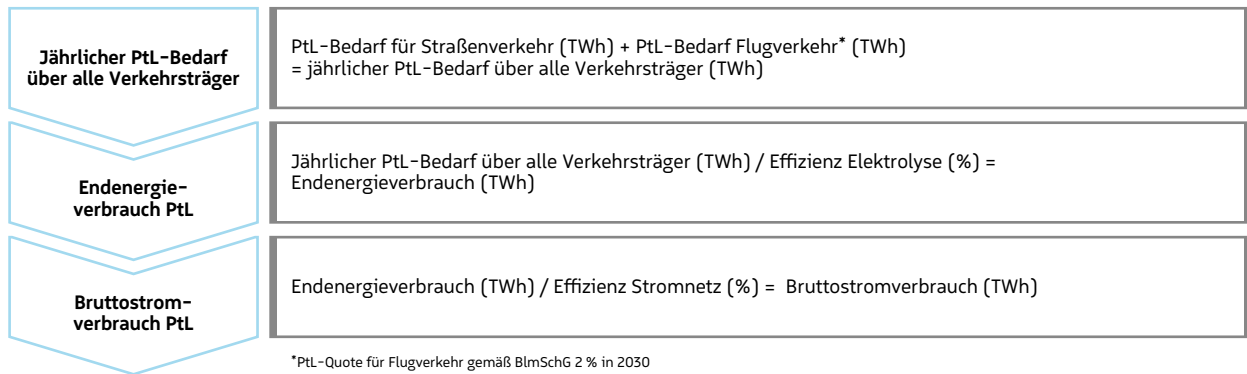


Abbildung 4: Rechenweg für Strombedarf bei PtL über alle Verkehrsträger  
Quelle: eigene Darstellung

## 3 ERGEBNISSE ENERGIEBEDARFE 2030

### 3.1 EINORDNUNG DER ERGEBNISSE

Auf Basis der drei Rechenwege aus Kapitel 3 resultieren daraus für den Verkehrssektor die folgenden zusätzlichen Bruttostrombedarfe im Jahr 2030.

#### BRUTTOSTROMBEDARF IM VERKEHRSSSEKTOR 2030 (IN TWh)

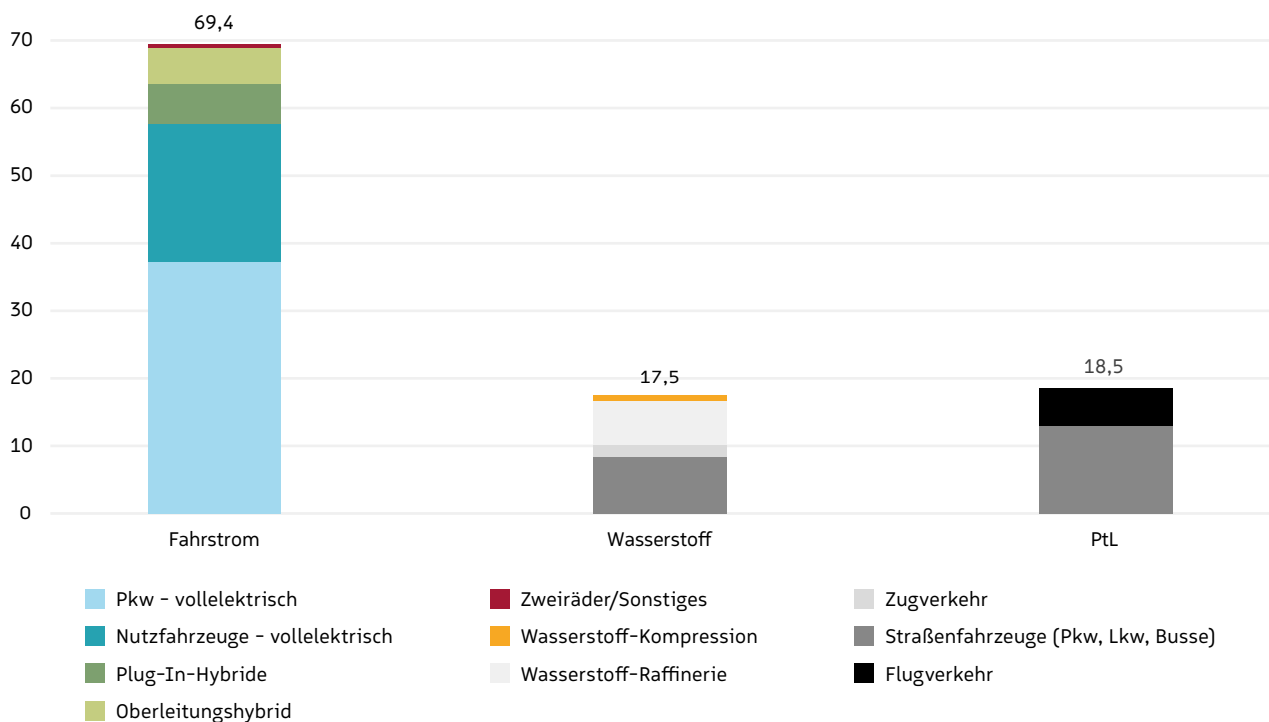


Abbildung 5: Bruttostrombedarf im Verkehrssektor 2030 (ohne Bahnstrom), in TWh  
Quelle: eigene Berechnung

Unter den für diesen Bericht getroffenen Annahmen ist für den gesamten Verkehrssektor im Jahr 2030 mit einem zusätzlichen Bedarf von etwa 105,5 TWh Strom auszugehen. Damit steigt der Strombedarf im Verkehr bis 2030 deutlich an. Für eine Einordnung der Größenverhältnisse lässt sich festhalten, dass 105,5 TWh für circa 20 % des aktuellen Stromverbrauchs in Deutschland (BDEW 2021) beziehungsweise für über 40 % der heutigen Stromerzeugung durch erneuerbare Energien in Deutschland stehen (BDEW 2021). Dem gegenüber steht für Deutschland im Jahr 2020 ein Stromexport (netto), das heißt Überschüsse beim Stromaustausch mit dem Ausland, von rund 20 TWh (AGEB 2021).

Die Ergebnisse machen auch deutlich, dass sich der Strombedarf im Verkehrssektor zwischen den drei Kategorien beziehungsweise Technologien stark unterscheidet. Für den Bereich der batterieelektrischen Fahrzeuge inklusive OH-Lkw ergibt sich ein Bedarf von knapp 70 TWh. Dem gegenüber steht ein Bedarf von jeweils 17,5 TWh beziehungsweise 18,5 TWh für den Bereich Wasserstoff und PtL. Die stark variierenden Bedarfe sind zum einen mit den Unterschieden in den prognostizierten Fahrzeughochläufen verbunden. Während bei den batterieelektrischen Fahrzeugen bis Jahr 2030 über 15 Millionen mit Strom betriebene Pkw, Lkw und Busse erwartet werden, wird für den Wasserstoffbereich mit lediglich 178.500 Brennstoffzellenfahrzeugen gerechnet. Zum anderen spielt der variierende Wirkungsgrad zwischen den Technologien eine Rolle für den einhergehenden Strombedarf. Konkret bedeutet dies, dass mit der fixen Strommenge x deutlich mehr Kilometer batterieelektrisch gefahren werden können als etwa mit Wasserstoff oder PtL.

Dies schlägt sich auch in der eingesparten Menge an CO<sub>2</sub> je Technologie und Fahrzeugsegment bis 2030 nieder. Vollelektrische Lkw und Pkw können je Terrawattstunde Strom am meisten CO<sub>2</sub> einsparen, gefolgt von Brennstoffzellen-Pkw und -Lkw. Konkret heißt das, unter den angenommenen Parametern und einem Diesel-Pkw mit 5 Liter Verbrauch je 100 km als Referenzfahrzeug, dass das Fahrzeugsegment der vollelektrischen Pkw mit 10,8 Millionen Fahrzeugen bis 2030 20,6 Millionen t CO<sub>2</sub> einsparen kann bei einer Betrachtung ohne die Vorkettenemissionen.<sup>2</sup> Unter Annahme des gleichen Referenzfahrzeugs wären es bei 100.000 Brennstoffzellenfahrzeugen bis 2030 eine Einsparung von 0,2 Millionen t CO<sub>2</sub>. Wie in Abbildung 6 dargestellt, ist die Menge des einzusparenden CO<sub>2</sub> je TWh bei batterieelektrischen Pkw etwa doppelt so hoch wie bei Brennstoffzellen-Pkw. Mit Blick auf die schweren Nutzfahrzeuge kann das Segment der vollelektrischen schweren Lkw (Zugmaschinen, > 20 t) bei einer Anzahl von 52.400 Stück im Jahr 2030 1,8 Millionen t CO<sub>2</sub> einsparen. Bei den mit Wasserstoff betriebenen schweren Lkw mit einer Anzahl von 16.500 Stück wären es 0,6 Millionen t CO<sub>2</sub>. Für die mit PtL betriebenen Fahrzeuge lässt sich unabhängig vom Fahrzeugtyp über alle Straßenfahrzeugklassen hinweg eine potenzielle CO<sub>2</sub>-Einsparung von 1,8 Millionen t ermitteln. Für eine Betrachtung der Einsparungspotentiale unter Berücksichtigung der Vorkettenemissionen sind die Werte für die betrachteten Fahrzeugklassen im Anhang aufgeführt.

<sup>2</sup> Eine Betrachtung ohne die Vorkettenemissionen dient zur Abbildung des Beitrags zur Erreichung des Sektorziels nach Klimaschutzgesetz.

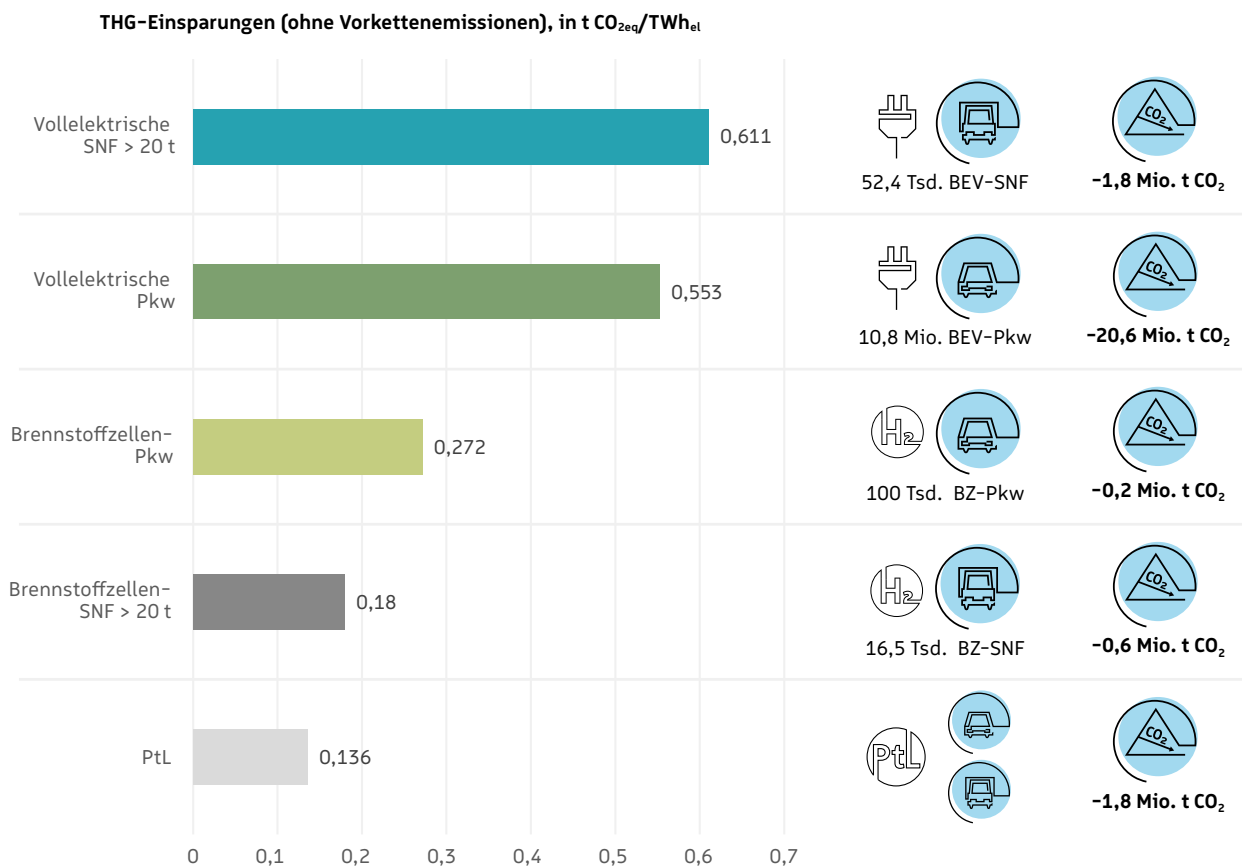


Abbildung 6: Treibhausgas-Einsparungen ohne Berücksichtigung der Vorkettenemissionen (t CO<sub>2eq</sub>/TWh<sub>el</sub>) und entsprechende CO<sub>2</sub>-Einsparungen nach ausgewählten Fahrzeugklassen<sup>3</sup>  
Quelle: eigene Berechnung

Für eine erfolgreiche Verkehrswende werden jedoch alle drei Technologien beziehungsweise Kraftstoffe, also batterieelektrische Antriebe, Brennstoffzellenantriebe und PtL, notwendig sein. Die zentrale Frage ist dabei viel-

mehr, welche Technologie sich für welchen Verkehrsbereich und die damit verbundenen Anforderungen am besten eignet und wie Energie sinnvoll und effizient eingesetzt werden kann.

## 3.2 EINSCHRÄNKUNGEN UND HINWEISE ZUR EINORDNUNG

Eine Aussage dazu, was der steigende Bedarf im Verkehr für den gesamten Strombedarf über alle Sektoren hinweg bedeutet oder den Zubaubedarf an erneuerbaren Energien, kann im Rahmen dieses Berichts nicht getroffen werden: Neben dem steigenden Bedarf im Verkehrssektor ist zu erwarten, dass auch in anderen Sektoren der Strombedarf bis 2030 nicht konstant bleibt, sondern ebenfalls mit einer sich ändernden Nachfrage (das heißt sinkend oder steigend) zu rechnen ist.

Hinsichtlich des zusätzlichen Bruttostrombedarfs im Verkehr 2030 ist zu beachten, dass dieser von vielen weiteren Faktoren abhängig ist, die nicht in die Berechnung mit eingeflossen sind. Dazu zählen beispielsweise eine zunehmende Nutzung effizienter Wallboxen, ein steigender Anteil an Eigenerzeugung über private Photovoltaik-Anlagen und Stromspeicher sowie eine steigende Ladeeffizienz, die den Bedarf reduzieren kann. Auch eine Entwicklung hin zu weniger motorisiertem Verkehr zum Beispiel durch verstärkte Regelungen zum mobilen Arbeiten zählt hier hinzu

<sup>3</sup> Die Einsparung wird gegenüber einem mit Dieselkraftstoff betriebenen Referenzfahrzeug ausgewiesen. Für das Pkw-Segment wird ein Durchschnittsverbrauch von 5 Liter Diesel pro 100 km, für das schwere Nutzfahrzeug > 20 t von 27 Liter Diesel pro 100 km angenommen.

oder ein sinkender Stromeinsatz in den Raffinerieprozessen für Benzin- und Dieselmotoren durch den Hochlauf der Elektromobilität.

Mit Blick auf die Annahmen für den batterieelektrischen Pkw-Verkehr 2030 ist anzumerken, dass der Wert von circa 14 Millionen Fahrzeugen (BEV und PHEV) für die Berechnung tendenziell am oberen Rand der aktuellen NPM-Prognosen für den batterieelektrischen Pkw-Hochlauf liegt. Vor dem Hintergrund des novellierten Klimaschutzgesetzes wird jedoch aller Voraussicht nach dieses Niveau zur Erreichung der Sektorziele erforderlich sein. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass für den Verbrauch der E-Pkw auf 100 km die durchschnittlichen WLTP-Werte herangezogen wurden. Die realen Werte und damit der Strombedarf können etwas höher liegen.

Während die Elektromobilität sich aktuell in einem Hochlauf hin zum Massenmarkt befindet, bestehen bei Wasserstoff und PtL aktuell noch größere Unsicherheiten, wie sich die Bedarfe in den kommenden Jahren entwickeln werden. Entsprechend sind Abweichungen von den Prognosen zu den Fahrzeug- beziehungsweise Kraftstoffhochläufen bis 2030 hier wahrscheinlicher, als es bei den batterieelektrischen Fahrzeugen der Fall ist.

Wie bereits in Kapitel 3 festgehalten, wird für diesen Bericht von 100 % inländisch produzierter erneuerbarer

Energie ausgegangen und somit auch von 100 % inländisch produziertem grünem Wasserstoff und PtL. Aktuell wird im Verkehrsbereich überwiegend sogenannter „grauer“ Wasserstoff eingesetzt. Hierbei wird Wasserstoff durch thermische Konversion aus fossilen Energieträgern hergestellt. Ebenfalls wird Wasserstoff eingesetzt, der als „Abfallprodukt“ in industriellen Prozessen entsteht. Da grauer Wasserstoff in seinem Herstellungsprozess nicht emissionsfrei ist, wird er für die Erreichung der Klimaziele im Verkehr bis 2030 sukzessive durch andere Erzeugungswege ersetzt werden müssen. Neben grünem Wasserstoff könnte hierbei auch „blauer“ Wasserstoff eine Rolle spielen, bei dem Erdgas in Wasserstoff und CO<sub>2</sub> gespalten wird und das CO<sub>2</sub> anschließend gespeichert wird. Bei einer nicht ausreichenden inländischen Erzeugungskapazität für grünen Wasserstoff stellt blauer Wasserstoff folglich eine klimaneutrale Option dar. Zudem können Importe von grünem Wasserstoff das Angebot übersteigende Bedarfe im Jahr 2030 und darüber hinaus decken. Dies gilt auch für den Bereich PtL.

Da für den Schiffsverkehr (Binnen-, Küsten-, Hochseeschifffahrt) aktuell aus der NPM keine Werte zu den Potenzialen für den Einsatz alternativer Kraftstoffe oder Antriebe bis 2030 vorliegen, wurde dieser Bereich in der Berechnung nicht berücksichtigt, stellt aber einen weiteren Bedarfsposten, der bis 2030 gedeckt werden muss. Gleiches gilt für den zusätzlichen Strombedarf für den Bahnverkehr.

## 4 FAZIT UND HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Um die Klimaziele 2030 und darüber hinaus zu erreichen, wird eine erfolgreiche Sektorkopplung immer wichtiger, denn der Bedarf an erneuerbarem Strom im Verkehrssektor steigt. Dies bringt neue Anforderungen an die Energiewirtschaft mit sich, die ein wichtiger Partner für die Umsetzung der Verkehrswende ist.

Trotz bestehender Unsicherheiten und Faktoren, die den zusätzlichen Bruttostrombedarf im Verkehrssektor oder den gesamten Bruttostrombedarf über alle Sektoren hinweg beeinflussen können, ist klar, dass für den Umstieg auf strombasierte Antriebe und Kraftstoffe zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Grünstromanteil im Strommix ausschlaggebend ist und es hierfür weiterhin eines zügigen Ausbaus der erneuerbaren Energien bedarf. Die Energiewirtschaft ist grundsätzlich in der Lage, die erforderlichen Strombedarfe für den Verkehrssektor bis 2030 zu decken und die notwendigen Kapazitäten aufzubauen. Dafür müssen jedoch bestehende regulatorische und bürokratische Hürden abgebaut und die Ausbaupfade für erneuerbare Energien bis 2030 deutlich angehoben werden. Zudem sind die Bereitstellung von geeigneten Flächen, die Beschleunigung von Genehmigungsprozessen, die Unterstützung des erforderlichen Netzausbaus sowie die Schaffung höherer gesellschaftlicher Akzeptanz für den Ausbau der erneuerbaren Energien vor Ort weitere Stellschrauben, die für einen zügigen Ausbau genutzt werden sollten.

Da neben dem Verkehrssektor auch in anderen Sektoren, wie der Industrie und dem Wärmemarkt, fossile Energieträger sukzessiv durch erneuerbare Energien ersetzt werden müssen und neue Strombedarfe entstehen, ist es

wichtig, erneuerbaren Strom möglichst effizient einzusetzen und die Anforderungen der Sektoren bei einem Einsatz der unterschiedlichen Technologien und Kraftstoffe zu berücksichtigen. Für den Verkehrssektor ist bereits klar, dass alle drei Technologien beziehungsweise Kraftstoffe zur Erreichung der Klimaziele erforderlich sein werden und dafür weiter gefördert werden müssen.

Aktuell zeichnet sich vor allem im Pkw-Segment ab, dass aufgrund des technischen Fortschritts und der Preisentwicklung der batterieelektrische Antrieb ein zentraler Pfeiler sein wird. Im Schwerlastverkehr ist noch deutlich offener, welche Technologie einen Schwerpunkt setzen wird und abhängig von der technischen Weiterentwicklung, der Kostenstruktur (besonders vor dem Hintergrund des sehr kompetitiven Logistikmarkts) und der Frage nach Kraftstoffverfügbarkeiten, der konkurrierenden Nachfrage zwischen den Sektoren und der Möglichkeit des grünen Wasserstoff-/PtL-Imports. Für eine bessere Planung der Infrastruktur und benötigten Strombedarfe können Pfadentscheidungen, wie sie in der Roadmap zum Antriebswechsel bei Nutzfahrzeugen vorgeschlagen sind (NPM 2020b), insbesondere hinsichtlich des Nutzfahrzeugbereichs, sinnvoll sein und Clean-Room-Gespräche mit den Fahrzeugherstellern als Basis dafür dienen.

Zudem muss für eine erfolgreiche Sektorkopplung und verbesserte Integration der erneuerbaren Energien die Finanzierung der Netze durch leistungsfähige Netzbetreiber sichergestellt werden. Dies ist auch die Basis für eine erfolgreiche Integration neuer Technologien, wie dem bidirektionalen Laden zur Reduktion der Spitzenlast.

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>AG</b>	Arbeitsgruppe
<b>BDEW</b>	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
<b>BEV</b>	Battery Electric Vehicle (batterieelektrisches Fahrzeug)
<b>BMVI</b>	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
<b>BZ</b>	Brennstoffzelle
<b>BZ-Pkw</b>	Brennstoffzellen-Pkw
<b>CNG</b>	Compressed Natural Gas (komprimiertes Erdgas)
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien
<b>E-Pkw</b>	Elektro-Pkw
<b>EV</b>	Electric Vehicle (Elektrofahrzeug)
<b>FCEV</b>	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug)
<b>H<sub>2</sub></b>	Wasserstoff
<b>KKR</b>	Kleinkraftrad
<b>km</b>	Kilometer (Maßeinheit)
<b>kWh</b>	Kilowattstunde (Maßeinheit)
<b>LIS</b>	Ladeinfrastruktur
<b>Lkw</b>	Lastkraftwagen
<b>LNF</b>	Leichte Nutzfahrzeuge (zulässiges Gesamtgewicht 3,5 t)
<b>LNG</b>	Liquefied Natural Gas (Flüssigerdgas)
<b>Mio.</b>	Millionen (Maßeinheit)



<b>MNF</b>	Mittlere Nutzfahrzeuge (3,5 – 20 t Gesamtgewicht)
<b>NFZ</b>	Nutzfahrzeuge
<b>NPM</b>	Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
<b>NT</b>	Niedertemperatur (hier Kontext Wasserelektrolyse)
<b>OH</b>	Oberleitungshybrid
<b>OH-Lkw</b>	Oberleitungshybrid-Lkw
<b>PHEV</b>	Plug-in-Hybrid
<b>PJ</b>	Petajoule (Maßeinheit)
<b>Pkw</b>	Personenkraftwagen
<b>PtG</b>	Power to Gas
<b>PtL</b>	Power to Liquid
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>SNF</b>	Schwere Nutzfahrzeuge (> 20 t Gesamtgewicht)
<b>t</b>	Tonne(n) (Maßeinheit)
<b>THG</b>	Treibhausgase
<b>TJ</b>	Terajoule (Maßeinheit)
<b>TWh</b>	Terawattstunde (Maßeinheit)
<b>WLTP</b>	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure

## LITERATURVERZEICHNIS

AGEB (2021): Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2020. URL: [https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&fileName=ageb\\_jahresbericht2020\\_20210406b\\_dt.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2020_20210406b_dt.pdf) (Stand: Juni 2021)

BDEW (2021a): Bruttostromerzeugung. Zehnjahresvergleich. URL: <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bruttostromerzeugung-zahnjahresvergleich/> (Stand: Juni 2021)

BDEW (2021b): Stromerzeugung und -verbrauch in Deutschland. URL: [https://www.bdew.de/media/documents/20210322\\_D\\_Stromerzeugung1991-2020.pdf](https://www.bdew.de/media/documents/20210322_D_Stromerzeugung1991-2020.pdf) (Stand: Juni 2021)

NPM (2019): Elektromobilität. Brennstoffzelle. Alternative Kraftstoffe – Einsatzmöglichkeiten aus technologischer Sicht. 1. Kurzbericht der Arbeitsgruppe 2 – Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität. URL: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/2download/elektromobilitaet-brennstoffzelle-alternative-kraftstoffe-einsatzmoeglichkeiten-aus-technologischer-sicht/> (Stand: Juni 2021)

NPM (2019): Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor. Zwischenbericht 03/2019 der Arbeitsgruppe 1 – Klimaschutz im Verkehr. URL: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/2download/wege-zur-erreichung-der-klimaziele-2030-im-verkehrssektor-kapitel-4-schlussfolgerung-und-ausblick/> (Stand: Juni 2021)

NPM (2020): Bedarfsgerechte und wirtschaftliche öffentliche Ladeinfrastruktur – Plädoyer für ein dynamisches NPM-Modell. Bericht der Arbeitsgruppe 5 – Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung. URL: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/2download/bedarfsgerechte-und-wirtschaftliche-oeffentliche-ladeinfrastruktur-plaedoyer-fuer-ein-dynamisches-npm-modell/> (Stand: Juni 2021)

NPM (2020): Empfehlungen zum optimierten Nutzungsgrad von Plug-in-Hybridfahrzeugen. Bericht der PHEV-Taskforce. URL: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/2download/empfehlungen-zum-optimierten-nutzungsgrad-von-plug-in-hybridfahrzeugen/> (Stand: Juni 2021)

NPM (2020a): Alternative Kraftstoffe – Klimawirkungen und Wege zum Einsatz alternativer Kraftstoffe. Werkstattbericht der Arbeitsgruppe 1 – Klimaschutz im Verkehr. URL: [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM\\_AG1\\_Werkstattbericht\\_AK.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM_AG1_Werkstattbericht_AK.pdf) (Stand: Juni 2021).

NPM (2020b): Antriebswechsel Nutzfahrzeuge – Wege zur Dekarbonisierung schwerer Lkw mit Fokus der Elektrifizierung. Werkstattbericht der Arbeitsgruppe 1 – Klimaschutz im Verkehr. URL: [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM\\_AG1\\_Werkstattbericht\\_Nutzfahrzeuge.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2020/12/NPM_AG1_Werkstattbericht_Nutzfahrzeuge.pdf) (Stand: Juni 2021)

NPM (2021): Markthochläufe Alternativer Antriebe und Kraftstoffe aus technologischer Perspektive. Roadmap der Arbeitsgruppe 2 – Alternative Antriebe und Kraftstoffe für nachhaltige Mobilität. URL: [https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/04/NPM\\_AG2\\_Technologie\\_Roadmap.pdf](https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de/wp-content/uploads/2021/04/NPM_AG2_Technologie_Roadmap.pdf) (Stand: Juni 2021)

# ANHANG

## 1 ERGEBNISSE DER BERECHNUNG ZUM BRUTTOSTROMBEDARF

BEREICH	ANZAHL DER FAHRZEUGE	EFFIZIENZ STROMNETZ	EFFIZIENZ LADEVORGANG/ ELEKTROLYSE	KRAFTSTOFF/ STROMBEDARF (FAHRZEUG)		ENDENERGIE- VERBRAUCH	BRUTTO- STROM- VERBRAUCH
				TJ	TWh		
<b>Fahrstrom</b>							
Fahrstrom PHEV	3,2 Mio. Pkw; 50.000 LNF; 4.000 Busse	94 %	90 %	18.000	5,0	5,6	5,9
Fahrstrom OH- Lkw	43.000 SNF > 20 t; 10.000 MNF 12-20t	94 %	90 %	16.200	4,5	5,0	5,3
Fahrstrom BEV-Pkw	10,8 Mio. Pkw	94 %	90 %	113.500	31,5	35,0	37,2
Fahrstrom BEV-Nfz	1 Mio. LNF, 120.000 MNF, 10.000 Busse, 52.400 SNF	94 %	90 %	62.500	17,4	19,3	20,5
Fahrstrom Zweiräder/ Sonstige	12 Mio. Pedelecs; 75.000 Motorräder & KKR	94 %	90 %	1.400	0,4	0,4	0,5
<b>Fahrstrom gesamt</b>				<b>211.600</b>	<b>58,8</b>	<b>65,3</b>	<b>69,4</b>
<b>Wasserstoff</b>							
Straßenfahrzeuge	100.000 BZ-Pkw; 50.000 LNF; 10.000 MNF; 16.500 SNF; 2.000 Busse	98 %	70 %	20.800	5,8	8,3	8,4
Zugverkehr/ Sonstige	850 Züge/Triebwagen (nach BMVI-Studie)	98 %	70 %	4.500	1,3	1,8	1,8
Raffinerie		98 %	70 %	16.000	4,4	6,3	6,5
Kompression		94 %					0,8
<b>Wasserstoff gesamt</b>				<b>41.300</b>	<b>11,5</b>	<b>16,4</b>	<b>17,5</b>
<b>PtL</b>							
PtL Flugverkehr		98 %	51 %	10.200	2,8	5,5	5,7
PtL Straßenverkehr		98 %	51 %	23.200	6,4	12,6	12,9
PtL gesamt				33.400	9,3	18,2	18,5
<b>Gesamt Verkehr</b>				<b>286.300</b>	<b>79,5</b>	<b>99,9</b>	<b>105,5</b>

Quelle: Berechnung durch BDEW auf Basis aufgeführter Annahmen

**2 THG-EINSPARUNG IM VERKEHR PRO EINGESETZTE STROMMENGE FÜR VERSCHIEDENE ALTERNATIVE KRAFTSTOFFE UND ANTRIEBE (BEZOGEN AUF DEN BRUTTOSTROMVERBRAUCH)**

kg CO <sub>2eq</sub> /MWh <sub>el</sub>	REFERENZFAHRZEUG	THG-EINSPARUNG (OHNE VORKETTE) <sup>4</sup>	THG-EINSPARUNG (MIT VORKETTE) <sup>5</sup>
Elektro-Pkw	5 l Diesel/100 km	553	576 - 660
BZ-Pkw		272	264 - 305
Elektro-SNF > 20 t	27 l Diesel/100 km	611	642 - 735
BZ-SNF > 20 t		180	162 - 180
PtL	Unabhängig vom Fahrzeugtyp	136	112 - 133

Quelle: Berechnung durch BDEW auf Basis aufgeführter Annahmen

**Anmerkungen:**

- Die Einsparung wird gegenüber einem mit Dieselmotoren betriebenen Referenzfahrzeug ausgewiesen. Für das Pkw-Segment wird ein Durchschnittsverbrauch von 5 Liter Diesel pro 100 km, für das schwere Nutzfahrzeug > 20 t von 27 Liter Diesel pro 100 km angenommen.
- Die Werte beziehen sich auf ein Referenzfahrzeug, das mit reinem Dieselmotoren betrieben wird. Bei Berücksichtigung einer Biokraftstoffbeimischung zum Dieselmotorenkraftstoff in Höhe von beispielsweise 5 % würde sich die

THG-Einsparung gegenüber dem Referenzfahrzeug entsprechend jeweils um circa 4 - 5 % verringern.

- Für Dieselmotorenkraftstoff weist die Literatur verschiedene Emissionsfaktoren bei der Berücksichtigung der Vorkette aus. Während das Umweltbundesamt (UBA) von 83,6 kg CO<sub>2eq</sub>/GJ ausgeht, setzt die 38. BImSchV einen Referenzwert von 95,1 kg CO<sub>2eq</sub>/GJ aus. Die in der Tabelle ausgewiesene untere Bandbreite bezieht sich auf den Referenzwert des UBA, die obere Bandbreite auf den der 38. BImSchV.

**3 ALLGEMEINE ANNAHMEN**

**Fahrzeugzahlen nach Antriebsart im Jahr 2030 und Jahresfahrleistung:**

	ANNAHMEN			QUELLE
	BEV	Plug-In / Oberleitung	Brennstoffzelle	
Pkw	10,8 Mio.	3,2 Mio. (PHEV)	0,1 Mio.	Vgl. NPM AG 1 - Zwischenbericht (2019)
	<b>Jahresfahrleistung:</b> 14.600 km			7 - 10,5 Mio. E-Pkw 0 - 1,8 Mio. BZ
LNF	1 Mio.	0,05 Mio.	0,05 Mio.	0,35 - 0,8 Mio.
	<b>Jahresfahrleistung:</b> 20.000 km			

<sup>4</sup> Zur Abbildung des Beitrags zur Erreichung des Sektorziels nach Klimaschutzgesetz

<sup>5</sup> Annahme zur Vorkette von Strom: 100 % EE-Strom, jeweils hälftig aus Onshore-Windkraftanlagen und PV-Anlagen. Vorkettenemission nach UBA: Emissionsbilanz Erneuerbare Energieträger (Climate Change 37/2019)

	ANNAHMEN			QUELLE
	MNF 3,5 – 20 t	120.000	10.000	10.000
	<b>Jahresfahrleistung:</b> 17.000 km (3,5 – 6 t)	40.000 km (6 – 12 t)	67.000 km (12 – 20 t)	
SNF > 20 t	52.500	43.000	16.500	20.000 – 130.000
	<b>Jahresfahrleistung:</b> 100.000 km			
Busse	10.000	4.000	2.000	5.000 – 16.000
	<b>Jahresfahrleistung:</b> 57.000 km			

Quelle: Annahme BDEW in Abstimmung mit wissenschaftlicher Begleitung der NPM

#### Netz-/Transport-/Speicherverluste und Kraftwerkseigenverbrauch:

- **Netz- und Speicherverluste:**
  - › Bezug aus dem Stromnetz: 5 %
  - › Direktversorgung (Elektrolyse): 1 %
- **Kraftwerkseigenverbrauch:** 1 % (EE-Mix aus Onshore-, Offshore-Wind und PV)

#### 4 WEITERE ANNAHMEN ZU BEV / PHEV / OBERLEITUNGS-HYBRID-FAHRZEUGEN

##### Verbrauch von Elektrofahrzeugen auf 100 km:

FAHRZEUG-KLASSE	GEWÄHLTE ANNAHME	BEMERKUNG ZUR AUSWAHL	VGL. KURZBERICHT DER AG 2 DER NPM (2019)
E-Pkw	20 kWh	gemäß NPM AG 5 Bericht zur wirtschaftlichen LIS	14 – 26 kWh
LNf (N1)	30,8 kWh bis 3,5 t	Nach BMVI/Fraunhofer/M-Five Studie	20 – 37 kWh
MNF (N2)	55,4 kWh bis 7,5 t 77,4 kWh bis 12 t		65 – 100 kWh
SNF > 12 t	112 – 140 kWh BEV 120 – 150 kWh OH	Gemäß Vereinbarung AG1	130 – 150 kWh
Busse	160 kWh	Verbrauch inklusive Kühlen und Heizen	80 – 160 kWh

#### Elektrischer Fahranteil:

- Der **elektrische Fahranteil von Plug-in-Hybriden** von derzeit knapp 30 % wird im Jahr **2030 auf 50 %** gesteigert. *(Quelle: Annahme BDEW auf Basis NPM Bericht zu Plug-In-Hybriden 2020)*
- Der **elektrische Fahranteil von Oberleitungshybrid-Fahrzeugen** im Jahr **2030 umfasst 65 %** (inklusive batteriebetriebene Hybride im Nicht-Oberleitungsfahrmodus). *(Quelle: Annahme BDEW auf Basis der Auswertung bestehender Fachliteratur)*

#### Ladeverluste:

- Ladeverluste bei **BEV/PHEV**: 5 - 20 % (angenommener Mittelwert: 10 %) *(Quelle: Annahme BDEW in Abstimmung mit wissenschaftlicher Begleitung der NPM)*
- Ladeverluste bei **Oberleitungshybrid-Fahrzeugen**: 10 % *(Quelle: Annahme BDEW in Abstimmung mit wissenschaftlicher Begleitung der NPM)*

### 5 WEITERE ANNAHMEN ZU BRENNSTOFFZELLEN-FAHRZEUGEN (UND ELEKTROLYSE)

- **100 % inländisch produzierter grüner Wasserstoff** wird in Brennstoffzellenfahrzeugen und Raffinerien eingesetzt.
- Die **Umwandlungseffizienz der Wasserstoffelektrolyse (NT)** beträgt 67 - 72 % (angenommener Mittelwert: 70 %). *(Quelle: Annahme BDEW auf Basis der Auswertung bestehender Fachliteratur)*
- Brennstoffzellen-Pkw und -LNF benötigen eine **Kompression des Wasserstoffs auf 700 bar** (12 % des Energiegehalts des gelieferten Wasserstoffs). *(Quelle: Annahme BDEW auf Basis der Auswertung bestehender Fachliteratur)*
- Brennstoffzellen-Lkw, -Busse, -Bahnen und -Zugmaschinen benötigen eine Kompression des Wasserstoffs auf 350 bar (9 % des Energiegehalts des gelieferten Wasserstoffs). *(Quelle: Annahme BDEW auf Basis der Auswertung bestehender Fachliteratur)*
- Angenommen wird zudem eine **Effizienz des Stromnetzes** von 94 %. *(Quelle: Annahme BDEW in Abstimmung mit wissenschaftlicher Begleitung der NPM)*

### 6 WEITERE ANNAHMEN ZU PTL/PTG

- Die Umwandlungseffizienz bei der **Fischer-Tropsch-Synthese** beträgt **73 %**.
- Gemäß BImSchG wird eine **PtL-Quote von 2 % für den Flugverkehr** angenommen.
- Ein **PtL-Einsatz über 33,4 PJ** aus inländisch produzierten grünen Wasserstoff **umfasst alle Verkehrsträger**. *(Quelle: unterer Rand der Werte aus NPM AG 1 Zwischenbericht 2019)*
- Es erfolgt kein Einsatz von PtG-Kraftstoffen in LNG- oder CNG-Fahrzeugen im Jahr 2030.

# IMPRESSUM

## VERFASSER

Nationale Plattform Zukunft der Mobilität,  
Arbeitsgruppe 5 „Verknüpfung der Verkehrs- und Energienetze, Sektorkopplung“,

Juni 2021

## HERAUSGEBER

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

## REDAKTIONELLE UNTERSTÜTZUNG

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften  
ifok GmbH

## SATZ UND GESTALTUNG

ifok GmbH

## LEKTORAT

Nikola Klein – e-squid text konzept lektorat

Die Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) ist per Kabinettsbeschluss von der Bundesregierung eingesetzt und wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur federführend koordiniert. Sie arbeitet unabhängig, überparteilich und neutral.

