

# **Umdenken der Mobilität**

Auslastungs-, Nutzungs- und Wirkungsgrad der Fahrzeuge

Urbane Mobilität und Elektromobilität

Sommersemester 2024

Frau Prof. Dr. Birgit Koeppen

Herr Prof. Dr. Tankred Müller

Andres Lück (Mat.-Nummer: 2580735)

Johannes Scherer (Mat.-Nummer: 2583020)

# Inhaltsverzeichnis

1	Abstrakt – (Johannes Scherer, Andres Lück).....	4
2	Einleitung – (Johannes Scherer) .....	5
3	Effizienzanalyse – (Johannes Scherer) .....	6
3.1	PKW – (Johannes Scherer).....	6
3.2	Öffentlicher Verkehr – (Johannes Scherer) .....	8
3.3	Schlussfolgerung der Effizienzanalyse – (Johannes Scherer).....	11
4	Energiebedarf von Mobilität – (Andres Lück) .....	12
4.1	Einleitung – (Andres Lück) .....	12
4.2	PKW – (Andres Lück).....	12
4.2.1	Berechnung des Energiebedarfs – (Andres Lück) .....	13
4.2.2	Fahrzeuggröße und ihre Auswirkung – (Andres Lück).....	15
4.3	Mikromobilität – (Andres Lück) .....	16
4.4	Linienbus – (Andres Lück) .....	17
4.4.1	Elektrifizierung der Busse – (Andres Lück) .....	17
4.5	Bahnverkehr – (Andres Lück) .....	18
4.6	Flugzeuge – (Andres Lück).....	19
4.7	Momentaufnahme Energieerzeugung in Deutschland – (Andres Lück).....	19
4.7.1	Energieherstellungspotential Photovoltaik – (Andres Lück).....	20
5	Zusammenführung der Ergebnisse und Fazit – (Johannes Scherer, Andres Lück).....	21
6	Quellen .....	23
6.1	Quellen – Johannes Scherer .....	23
6.2	Quellen – Andres Lück.....	23
7	Anhang .....	24
8	Eigenständigkeitserklärung.....	25

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modal Split des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung [MiD 2017, S. 45].....	7
Abbildung 2: Tagesstrecke nach Verkehrsmittel und Raumtyp [MiD 2017, S. 48] .....	8
Abbildung 3: Üblicherweise genutzte ÖV-Fahrkarten [MiD 2017, S. 42] .....	8
Abbildung 4: Modal Split des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung [MiD 2017, S. 45].....	9
Abbildung 5: Tagesstrecke nach Verkehrsmittel und Raumtyp [MiD 2017, S. 48] .....	10
Abbildung 6: Verbrauchsverteilung PKW (Diesel, Benzin, Strom) .....	13
Abbildung 7: Einsparpotential vollelektrische PKW .....	14
Abbildung 8: Windwiderstandskräfte diverser PKWs .....	15
Abbildung 9: Verbrauchsverteilung Busse (Diesel, Strom) .....	18
Abbildung 10: Einsparpotential vollelektrischer Busse .....	18

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Verbrauchswerte PKW (Diesel, Benzin, Strom) .....	12
Tabelle 2: Auszug aus Datensatz für Fahrzeugdaten .....	15
Tabelle 3: Verbrauchswerte Mikromobilität (Benzin, Strom) .....	16
Tabelle 4: Verbrauchswerte Linienbus (Diesel, Strom) .....	17
Tabelle 5: Verbrauchswertbeispiele Bahnverkehr (Diesel, Strom) .....	19
Tabelle 6: Verbrauchswertbeispiele Flugzeug (Diesel, Kerosin) .....	19

## 1 Abstrakt – (Johannes Scherer, Andres Lück)

---

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage inwiefern sich der Auslastungs- und der Nutzungsgrad in Kombination mit dem energetischen Wirkungsgrad von verschiedenen Mobilitätsformen auf die benötigte Energie und die Effizienz der Mobilität auswirkt. Dabei werden der motorisierte Individualverkehr (MIV), anhand der PKWs, und der Öffentliche Verkehr (ÖV), anhand des ÖPNVs sowie den Fernzügen, miteinander verglichen.

Neben einer Effizienzanalyse für diese beiden Mobilitätsformen, in denen der Auslastungs- und Nutzungsgrad näher betrachtet wird, wird eine Analyse des Energieverbrauchs durchgeführt. Hier werden die verschiedenen Mobilitätsformen in punkto Energieverbrauch und Einsparpotenziale bei einer kompletten Elektrifizierung analysiert.

## 2 Einleitung – (Johannes Scherer)

---

In Zeiten von Klimawandel und einer immer schneller wachsenden Weltbevölkerung rückt die Nachhaltigkeit immer weiter in den Fokus. Auch wenn das Thema nicht neu ist, so ist es dennoch präsenter als je zuvor. Selbst in Deutschland ist der Klimawandel anhand milderer Winter und häufiger auftretender Extremwetterereignisse spürbar. Eines der größten Probleme stellen dabei die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr dar. Um dem entgegenzuwirken, ist ein Umdenken in der Mobilität erforderlich.

Mobilität betrifft uns alle und hat Deutschland zu einem großen Teil geprägt. Meistens denken wir dabei an Autos, aber Mobilität umfasst viel mehr: Autos, öffentlicher Verkehr (ÖV), Fahrräder und selbst zu Fuß gehen gehören dazu. Jeden Tag verlassen etwa 85% der Deutschen das Haus, unabhängig vom Raumtyp, in dem sie leben, oder der Jahreszeit [MiD 2017, S. 3]. Im Durchschnitt legt jeder Deutsche täglich 3,1 Wege zurück und kommt durchschnittlichen auf eine Strecke von 39 km pro Tag [MiD 2017, S. 28]. Ein Weg definiert sich hierbei als: *„Von einem Weg wird gesprochen, wenn sich eine Person außer Haus zu Fuß oder mit anderen Verkehrsmitteln von einem Ort zu einem anderen Ort bewegt. Hin- und Rückweg werden als zwei Wege gezählt. Erfolgt auf dem Weg zu einem Ziel der Umstieg zwischen verschiedenen Verkehrsmitteln, bleibt es weiterhin ein Weg.“* [MiD 2017, S. 20].

Es gibt jedoch Unterschiede zwischen Stadtregionen und ländlichen Regionen. Der Einfachheit halber werden im Weiteren bei den Stadtregionen immer die „Metropole“ und bei den ländlichen Regionen immer der „kleinstädtische, dörfliche Raum“ betrachtet. Während in Stadtregionen durchschnittlich 37 km pro Tag zurückgelegt werden, sind es in ländlichen Regionen etwa 44 km [MiD 2017, S. 48]. Im Durchschnitt benötigt man für diese Strecke etwa 1 Stunde und 20 Minuten, wobei Menschen in ländlichen Regionen trotz längerer Strecken etwa 18 Minuten weniger Zeit benötigen [MiD 2017, S. 26].

Deutschland verzeichnet täglich ein Verkehrsaufkommen von ca. 257 Millionen Wegen und eine Verkehrsleistung von etwa 3,2 Milliarden Personenkilometern (Pkm) [MiD 2017, S. 3]. Dabei korreliert die Bevölkerungsdichte in den verschiedenen Raumtypen direkt mit dem Verkehrsaufkommen und der Verkehrsleistung: 63% der Deutschen leben in Stadtregionen und verursachen 64% des Verkehrsaufkommens und 63% der Verkehrsleistung, während 37% in ländlichen Regionen leben und 36% des Verkehrsaufkommens und 37% der Verkehrsleistung ausmachen [MiD 2017, S. 30].

### 3 Effizienzanalyse – (Johannes Scherer)

In diesem Abschnitt wird die Effizienz des motorisierten Individualverkehrs (MIV) anhand von PKWs mit Verbrennungsmotor und des öffentlichen Verkehrs analysiert. Beim ÖV werden nur die Verkehrsmittel des öffentlichen Personen Nahverkehrs (ÖPNV) sowie die Fernzüge betrachtet. Im Weiteren werden diese als ÖPNV zusammengefasst behandelt. Dabei werden für beide Mobilitätsformen der Auslastungsgrad und der Nutzungsgrad analysiert. Außerdem wird der Modal Split, bezogen auf die Verkehrsleistung und das Verkehrsaufkommen, sowie die täglich zurückgelegten Kilometer je Mobilitätsform betrachtet.

#### 3.1 PKW – (Johannes Scherer)

Insgesamt befanden sich 2017 in Deutschland 43 Mio. PKW im Privatbesitz [MiD 2017, S. 30]. Das entspricht einer Fahrzeugdichte von 527 PKW je 1000 Einwohner [MiD 2017, S. 4] bzw. 1,1 Autos pro Haushalt [MiD 2017, S. 3]. Der Auslastungsgrad der Autos ist mit durchschnittlich 1,4 Personen pro PKW jedoch sehr gering [MiD 2017, S. 3]. Diese Zahl kann jedoch je nach betrachteter Verkehrsform stark schwanken. Im Berufsverkehr sind es gerade mal 1,2 Personen pro Auto, während bei Freizeitfahrten bis zu 1,9 Personen pro Auto fahren [J2]. Somit liegt der Auslastungsgrad eines PKW mit vier Sitzen im Durchschnitt bei 35 %.

$$\text{Auslastungsgrad} = \frac{1,4 \text{ Personen}}{4 \text{ Sitze}} * 100\% = 35\%$$

Während der Auslastungsgrad, der Fahrzeuge in einem moderaten Rahmen ist, ist der Nutzungsgrad sehr gering. An einem durchschnittlichen Tag ist ein PKW gerade mal 45 min im Einsatz, was etwa 3% eines Tages entspricht [MiD 2017, S. 4].

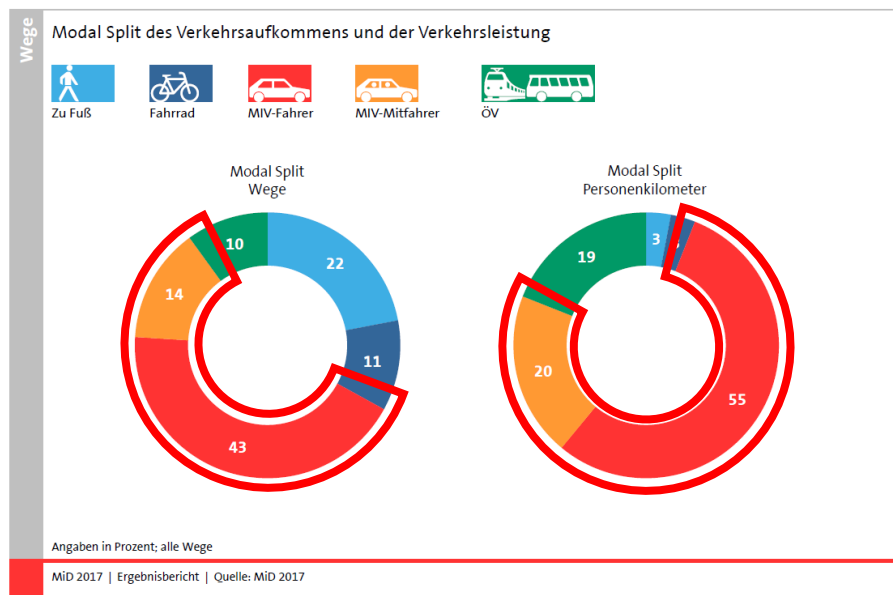
$$\text{Nutzungsgrad} = \frac{45 \text{ min}}{24 * 60 \text{ min}} * 100\% \approx 3\%$$

Trotz dieses geringen Nutzungsgrades dominieren PKWs den Modal Split (siehe Abbildung 1). Betrachtet man den Modal Split des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung, so stellt man fest, dass 57 % aller am Tag zurückgelegten Wege auf den motorisierten Individualverkehr fallen, bzw. 54 % mit dem PKW zurückgelegt werden [MiD 2017, S. 53]. Dies entspricht ca. 139 Mio. Wegen pro Tag. Zur Erinnerung, die 54 % ergeben sich, da an dieser Stelle nur die PKW mit einem Verbrennungsmotor betrachtet werden.

$$PKW_{Wege} = 257 \text{ Mio. Wege} * \frac{54\%}{100\%} \approx 139 \text{ Mio. Wege}$$

Noch stärker fällt die Dominanz der PKWs bei den Personenkilometern aus (siehe Abbildung 1): 75 % aller täglich zurückgelegten Personenkilometer entfallen auf den MIV, davon etwa 70 % auf PKWs [MiD 2017, S. 54]. Somit werden täglich ca. 2,24 Mrd. Personenkilometer mit dem Auto zurückgelegt.

$$PKW_{Pkm} = 3,2 \text{ Mrd. Pkm} * \frac{70\%}{100\%} \approx 2,24 \text{ Mrd. Pkm}$$



**Abbildung 1:** Modal Split des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung [MiD 2017, S. 45]

Gut zu sehen ist diese Dominanz auch in den zurückgelegten Tagesstrecken und den dazu verwendeten Mobilitätsformen (siehe Abbildung 2). Von den durchschnittlich 39 km, die jeder Deutsche täglich zurücklegt, entfallen 29 km auf den MIV [MiD 2017, S. 48]. Da 70 % der Personenkilometer auf PKWs entfallen, bedeutet dies, dass im Durchschnitt ca. 27 km pro Tag mit dem PKW zurückgelegt werden.

$$PKW_{km/Tag-gesamt} = \frac{70\%}{100\%} * 39 \text{ km} \approx 27 \text{ km}$$

Zu sehen sind hier Unterschiede zwischen den Stadtregionen und den ländlichen Regionen (siehe Abbildung 2). In Stadtregionen werden im Durchschnitt etwa 20,5 km der täglichen 37 km [MiD 2017, S. 48] mit dem PKW zurückgelegt, was einem Anteil von ca. 55 % entspricht. In den weiteren Rechnungen wird angenommen, dass die PKW mit Verbrennungsmotor immer denselben Anteil am MIV haben.

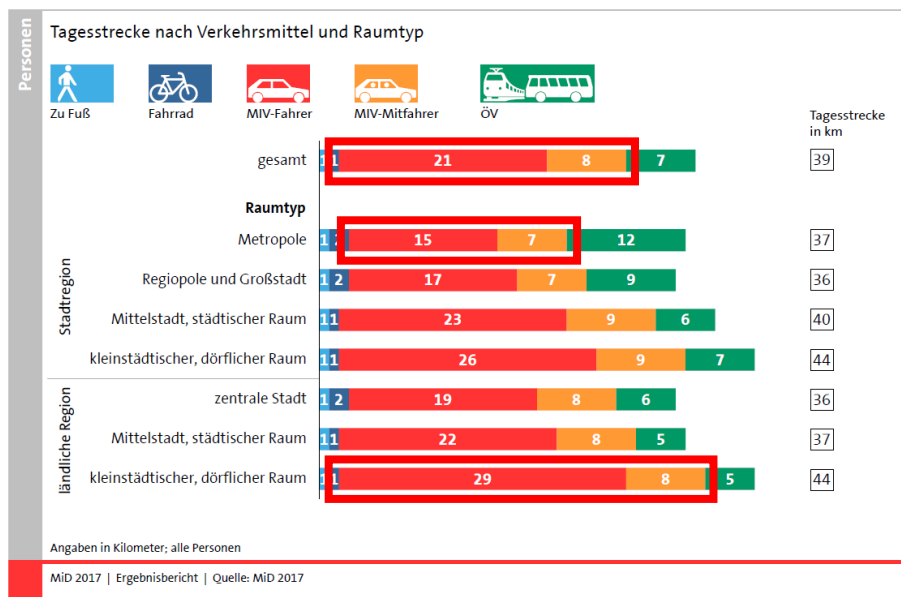
$$PKW_{km/Tag-Stadtregion} = \frac{70\%}{75\%} * 22 \text{ km} \approx 20,5 \text{ km}$$

$$PKW_{km-Anteil\_Stadtregion} = \frac{20,5 \text{ km}}{37 \text{ km}} * 100\% \approx 55\%$$

In den ländlichen Regionen ist dieser Anteil mit ca. 78% nochmal höher. Hier werden in etwa 34,5 km der 44 km [MiD 2017, S. 48] mit dem Auto zurückgelegt.

$$PKW_{km/Tag-ländlicheRegion} = \frac{70\%}{75\%} * 37 \text{ km} \approx 34,5 \text{ km}$$

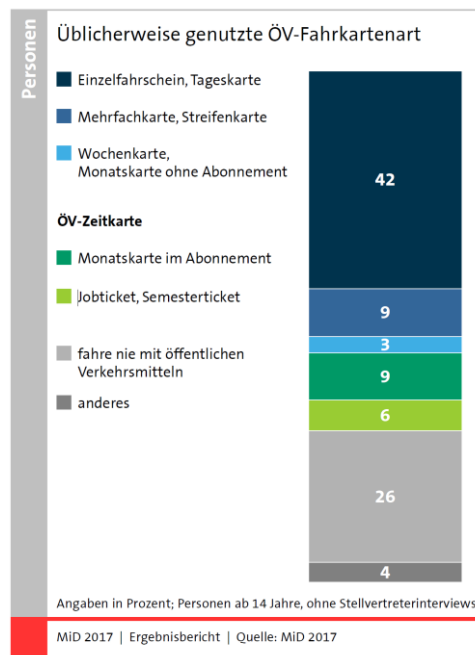
$$PKW_{km-Anteil\_ländlicheRegion} = \frac{34,5 \text{ km}}{44 \text{ km}} * 100\% \approx 78\%$$



**Abbildung 2:** Tagesstrecke nach Verkehrsmittel und Raumtyp [MiD 2017, S. 48]

### 3.2 Öffentlicher Verkehr – (Johannes Scherer)

Während viele Deutsche PKWs besitzen, haben nur wenige eine Zeitfahrkarte für den ÖV. Lediglich 15% der Deutschen ab 14 Jahren besitzen eine solche Karte (siehe Abbildung 3), wobei in Stadtregionen etwa 33,3 % der Menschen eine Zeitfahrkarte haben [MiD 2017, S. 42]. Dabei sind mit Zeitfahrkarten Fahrkarten wie Monatskarten im Abonnement bzw. Jobtickets oder Semestertickets gemeint. Den weitaus größeren Teil, der genutzten Tickets, machen die Einzelfahrkarten bzw. Monats und Wochentickets ohne Abo aus. Diese liegen zusammen bei 54%, was zeigt, dass die meisten Bürger\*innen keine Stammkunden des ÖV sind [MiD 2017, S. 42].



**Abbildung 3:** Üblicherweise genutzte ÖV-Fahrkarten [MiD 2017, S. 42]



Der geringe Anteil der ÖV-Zeitkarten macht sich auch in der bundesweit geringen Auslastung des ÖPNV bemerkbar. Der durchschnittliche Auslastungsgrad des ÖPNV liegt bei nur 30%.

$$Auslastung_{\text{ÖPNV}} = \frac{55,5\% + 26\% + 20\% + 18\%}{4} \approx 30\%$$

Dabei gibt es Unterschiede zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln. Am besten schneiden die Fernzüge mit 55,5% [J5] Auslastung ab. Gefolgt von den Eisenbahnen und S-Bahnen mit 26%, den Linienbussen mit 20% und den Straßen-, Stadt-, und U-Bahnen mit 18% Auslastung [J3]. Dabei ist nicht klar, ob sich diese Auslastung nur auf die Sitzplätze oder die gesamte Platzkapazität bezieht. Zu bedenken ist jedoch, dass bspw. eine U-Bahn mit insgesamt 336 Plätzen [J4] und einer Auslastung von 18% immer noch ca. 60 Personen mobilisiert.

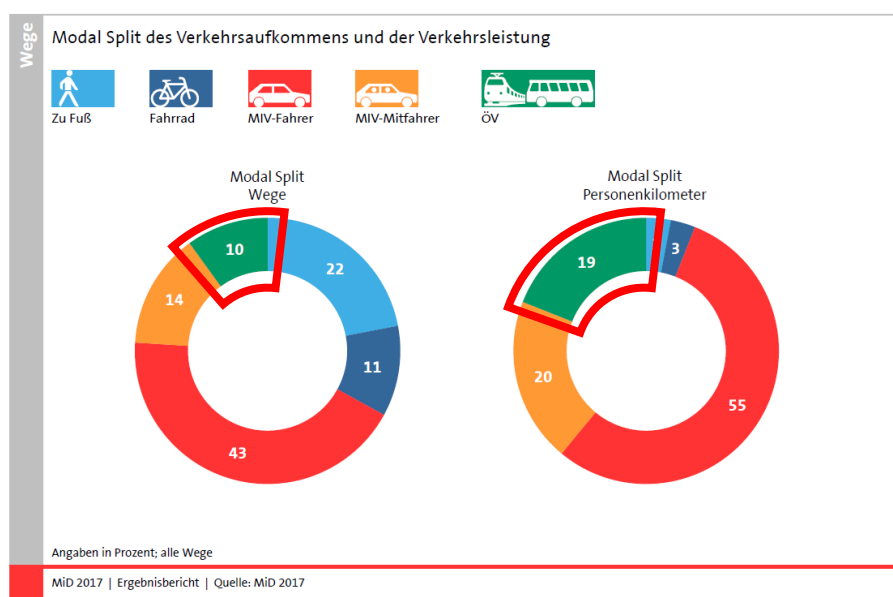
$$U - Bahn_{Auslastung} = 336 \text{ Personen} * \frac{18\%}{100\%} \approx 60 \text{ Personen}$$

Die geringe Auslastung des ÖPNVs macht sich auch im Modal Split bemerkbar (siehe Abbildung 4). Hier kommt der ÖV auf einen Anteil von 10% und der ÖPNV lediglich auf einen Anteil von etwa 8,5% aller täglich zurückgelegten Wege [MiD 2017, S. 53], was ca. 21,8 Millionen Wegen pro Tag entspricht.

$$\text{ÖPNV}_{Wege} = 257 \text{ Mio. Wege} * \frac{8,5\%}{100\%} \approx 21,8 \text{ Mio. Wege}$$

Besser sieht es bei den Personenkilometern aus (siehe Abbildung 4). Hier erreicht der ÖV einen Anteil von 19%, wovon ca. 15% auf den ÖPNV entfallen [MiD 2017, S. 54], was in etwa 480 Millionen Personenkilometern pro Tag entspricht.

$$\text{ÖPNV}_{Pkm} = 3,2 \text{ Mrd. Pkm} * \frac{15\%}{100\%} \approx 0,48 \text{ Mrd. Pkm}$$



**Abbildung 4:** Modal Split des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung [MiD 2017, S. 45]

Von den durchschnittlich 39 täglich zurückgelegten Kilometern entfallen nur 7 km auf den ÖV (siehe Abbildung 5), davon etwa 5,5 km auf den ÖPNV.

$$\text{ÖPNV}_{km/Tag-gesamt} = \frac{15\%}{19\%} * 7 \text{ km} = 5,5 \text{ km}$$

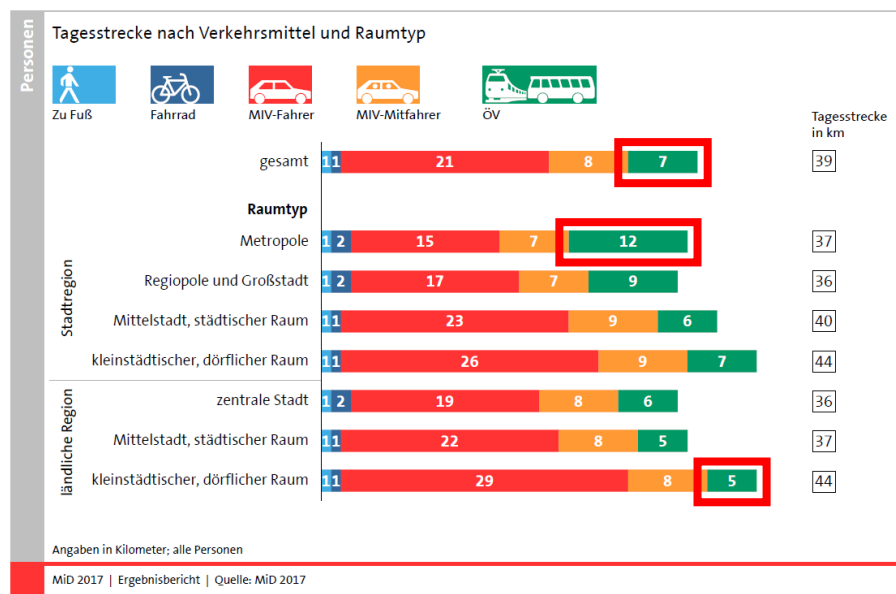
Unterschiede gibt es hier auch wieder zwischen den Stadtregionen und den ländlichen Regionen (siehe Abbildung 5). Während in den Stadtregionen ca. 9,5 km der 37 km Tagestrecke mit dem ÖPNV zurückgelegt werden, kommen die ländlichen Regionen bei Ihren 44 km Tagestrecke gerade mal auf ca. 4 km [MiD 2017, S. 48]. Das entspricht in den Metropolen einem Anteil von ca. 25% und den ländlichen Regionen ca. 9%.

$$\text{ÖPNV}_{km/Tag-Stadtregion} = \frac{15\%}{19\%} * 12 \text{ km} \approx 9,5 \text{ km}$$

$$\text{ÖPNV}_{km-Anteil\_Stadtregion} = \frac{9,5 \text{ km}}{37 \text{ km}} * 100\% \approx 25\%$$

$$\text{ÖPNV}_{km/Tag-ländlicheRegion} = \frac{15\%}{19\%} * 5 \text{ km} \approx 4 \text{ km}$$

$$\text{ÖPNV}_{km-Anteil\_ländlicheRegion} = \frac{4 \text{ km}}{44 \text{ km}} * 100\% \approx 9\%$$



**Abbildung 5:** Tagesstrecke nach Verkehrsmittel und Raumtyp [MiD 2017, S. 48]

### 3.3 Schlussfolgerung der Effizienzanalyse – (Johannes Scherer)

Die Analyse der Mobilität in Deutschland verdeutlicht die Komplexität der Thematik und zeigt, wie der motorisierte Individualverkehr diesen dominiert, während für den ÖV herausfordernde Verhältnisse herrschen. Trotz Bemühungen um Nachhaltigkeit und Klimaschutz bleibt der PKW das vorherrschende Verkehrsmittel, das täglich Millionen Menschen nutzen.

Der PKW dominiert den Verkehr mit einer hohen Fahrzeugdichte und einer durchschnittlich geringen Auslastung von nur 35 %. Trotz dieser Unterlastung sind PKWs für den Großteil der täglich zurückgelegten Wege und Personenkilometer verantwortlich. Diese Zahlen verdeutlichen die ineffiziente Nutzung der Fahrzeuge.

Im Gegensatz dazu steht der öffentliche Verkehr vor großen Herausforderungen. Trotz guter Auslastungen im Fernverkehr, ist der ÖPNV in städtischen Zentren nur mäßig frequentiert. Die geringe Verbreitung von Zeitfahrkarten und die niedrige durchschnittliche Auslastung des ÖPNVs zeigen deutliche Defizite in der Attraktivität und Effizienz dieser Mobilitätsform auf.

Die Unterschiede zwischen Stadt und Land sind deutlich: Während in städtischen Ballungsräumen der ÖPNV mit ca. 25% der täglichen Strecken eine größere Rolle spielt, sind ländliche Regionen stark auf den PKW angewiesen. Hier werden noch etwa 70% der zurückgelegten Strecke mit dem PKW zurückgelegt. Dies verdeutlicht die Herausforderung einer flächendeckenden und effizienten Verkehrsinfrastruktur, die gleichermaßen städtische und ländliche Gebiete berücksichtigt.

Schlussfolgerungen für die Zukunft:

- **Stärkung des ÖPNV:** Durch Investitionen in Infrastruktur, höhere Taktzahlen und attraktivere Tarifmodelle kann die Nutzung des öffentlichen Verkehrs gefördert und dessen Effizienz gesteigert werden.
- **Förderung nachhaltiger Mobilitätsformen:** Anreize für Carsharing, Mikromobilität, Fahrradnutzung und Fußverkehr sollten geschaffen werden, um den Anteil umweltfreundlicher Mobilitätsformen zu erhöhen und den MIV zu entlasten.
- **Technologische Innovationen:** Die Förderung von Elektrofahrzeugen und alternativen Antrieben spielt eine wichtige Rolle bei der Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Verkehr.
- **Integrierte Verkehrsplanung:** Eine ganzheitliche Verkehrsplanung, die sowohl die Bedürfnisse der Ballungsräume als auch ländlicher Regionen berücksichtigt, ist entscheidend, um eine gerechte und effiziente Mobilität für alle Bürger\*innen zu gewährleisten.

## 4 Energiebedarf von Mobilität – (Andres Lück)

### 4.1 Einleitung – (Andres Lück)

In dem Kapitel Energiebedarf von Mobilität werden die Verbrauchswerte unterschiedlicher Mobilitätsarten aufgezeigt, um eine Bewertung der Nutzung und des Umdenkens der Mobilität zu ermöglichen. Hierbei werden nur die tatsächlichen Verbräuche des Subsystems „Fortbewegungsmittels“ betrachtet. Energieaufwendungen zur Herstellung der Treibstoffe und Produktionskosten der Maschinen können im Rahmen dieser Arbeit hierbei nicht berücksichtigt werden. Verbrauchsangaben verschiedener Fortbewegungsmittel sind hier statistische Werte und spiegeln gegebenenfalls nicht die exakte Realität wider, sind aber eine Richtung des Verbrauchs der heutigen Zeit und sollen bei den Einschätzungen helfen. Zur Erstellung der nachfolgenden Plots [A25] und Berechnungen wurden Python-Skripte geschrieben, welche im Anhang zur Verfügung gestellt werden und weiter verwendet werden dürfen.

### 4.2 PKW – (Andres Lück)

Bei einem PKW wird vor allem unter drei Treibstoffen unterschieden. Die Verbrenner mit Diesel und Benzin oder einem elektrischen Antrieb mit Strom. Für eine Auswertung werden Daten des Kraftfahrt-Bundesamtes [A1] über die Verteilung der Antriebsarten sowie Statistiken zu Durchschnittlichen Verbrauchswerten [A2, A3] verwendet.

Kraftstoff	Verbrauch /100km	kWh pro Einheit	Verbrauch in kWh/100km	Anteil in Deutschland
Diesel	6,8 l	9,6 kWh/l	<b>65,28 kWh</b>	<b>29,6%</b>
Benzin	7,7 l	8,5 kWh/l	<b>65,45 kWh</b>	<b>62,7%</b>
Strom	20 kWh*	-	<b>20 kWh*</b>	<b>2,1%</b>

**Tabelle 1:** Verbrauchswerte PKW (Diesel, Benzin, Strom)

**\*Verbräuche inkl. Ladeverluste – Variieren stark je nach Nutzung, Topologie, klimatische Bedingungen, Fahrzeuggröße**

Wenn man den Energieaufwand in kWh umrechnet, lässt sich erkennen, dass im Schnitt der Verbrennungsmotor viel Energie aufzuwenden scheint, um andere Dinge als die Fortbewegung zu realisieren. Der Energieverlust ist vor allem auf Thermische Energien oder Energieverlust durch das Abbremsen von dem Fahrzeug zurückzuführen. Diese kinetischen und potentiellen Energien können von einem Elektroauto durch Rekuperation in den Energiespeicher zurückgeführt und für die Beschleunigung wieder verwendet werden.

In Deutschland werden in einem Jahr 626.423 Mio. Kilometer [A13] mit PKW's zurückgelegt. Unter der Annahme, dass die gefahrenen Kilometer ebenso auf die Anteilige Antriebsart übertragbar wären, berechnen sich im folgenden Kapitel Werte für die Energieaufwendung der Individualmobilität mit dem PKW.

#### 4.2.1 Berechnung des Energiebedarfs – (Andres Lück)

##### Gesamter Weg:

$$s_{ges} = 626.423.000.000 \text{ [km]}$$

##### Teilstrecken für D(iesel), B(enzin), E(lektro):

$$s_D = s_{ges} * 0,296 = 185.421.208.000 \text{ [km]}$$

$$s_B = s_{ges} * 0,627 = 392.767.221.000 \text{ [km]}$$

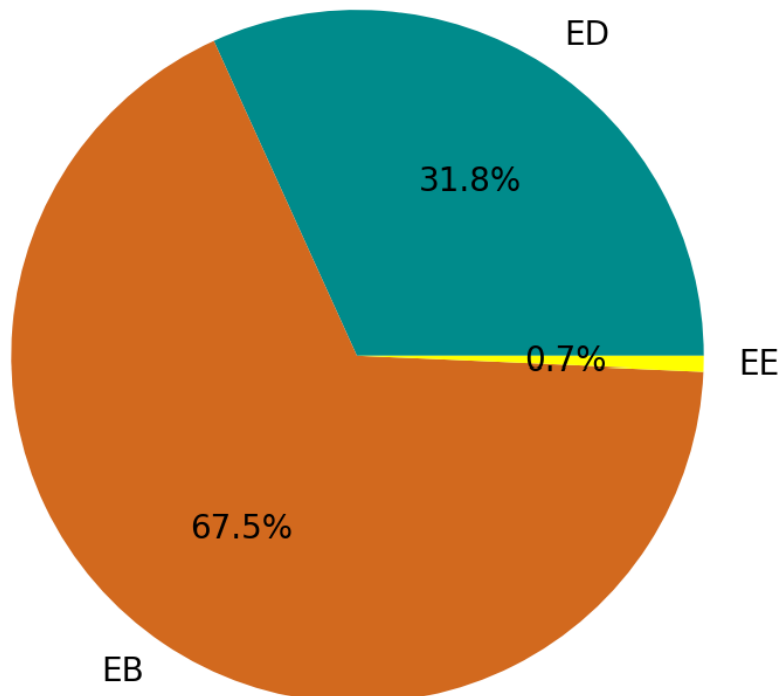
$$s_E = s_{ges} * 0,021 = 13.154.883.000 \text{ [km]}$$

##### Energieaufwand der Kraftstoffarten:

$$E_D = \frac{s_D}{100} * 65,28 = 121.042.964,58 \text{ [MWh]}$$

$$E_B = \frac{s_B}{100} * 65,45 = 257.066.146,14 \text{ [MWh]}$$

$$E_E = \frac{s_E}{100} * 20 = 2.630.976,6 \text{ [MWh]}$$



**Abbildung 6:** Verbrauchsverteilung PKW (Diesel, Benzin, Strom)

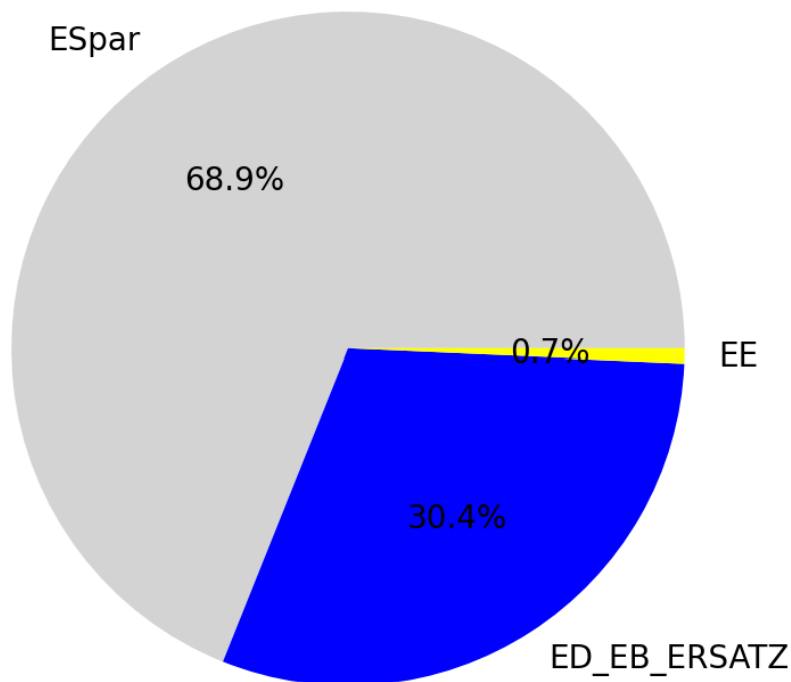
ED – Anteiliger Energiebedarf Diesel, EB – Anteiliger Energiebedarf Benzin, EE – Anteiliger Energiebedarf Elektro

Bei einer Verteilung von 2,1% als Elektrofahrzeuge und nur 0,7% der benötigten Energie zeigt sich, dass durch eine Umstellung auf Elektrofahrzeuge jede Menge Verbrauchsenergie eingespart werden kann.

Im Folgenden werden die gefahrenen Kilometer der Benzin und Diesel betriebenen Fahrzeuge auf Elektrisch betriebene Fahrzeuge umgemünzt und das Einsparpotential aufgezeigt.

$$ED\_EB\_ERSATZ = \left( \frac{E_D}{65,28} + \frac{E_B}{65,45} \right) * 20 = 115.637.685,8 \text{ [MWh]}$$

$$E_{Spar} = ED + EB - ED\_EB\_ERSATZ = 262.471.424,93 \text{ [MWh]}$$



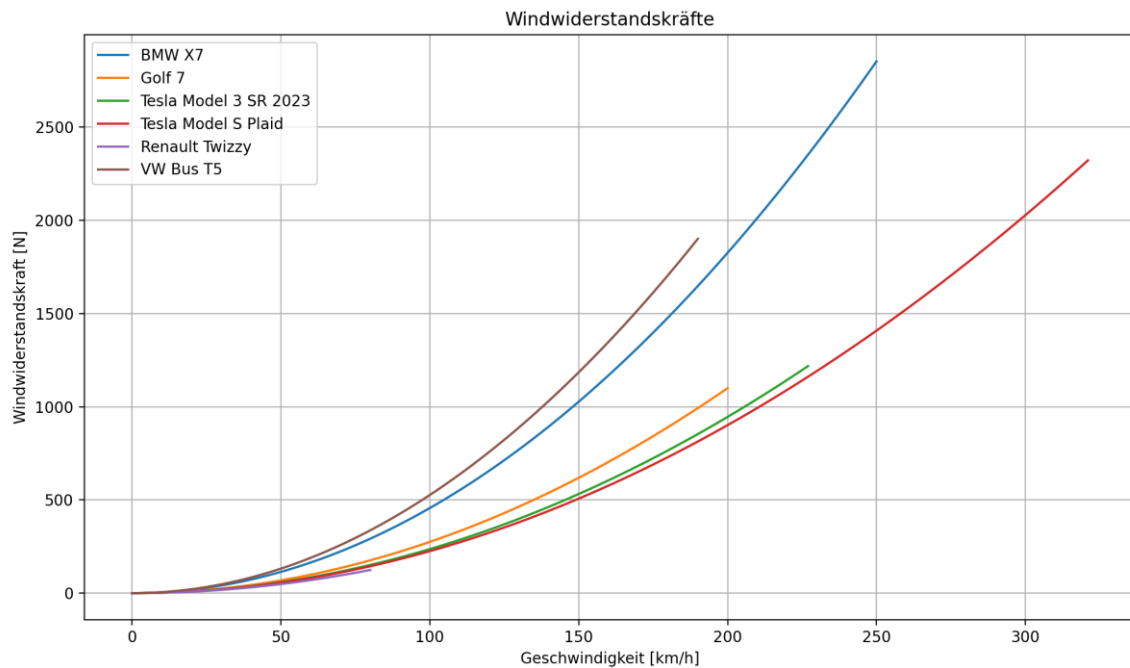
**Abbildung 7:** Einsparpotential vollelektrische PKW

EE – Energiebedarf Elektro (jetzt), ED\_EB\_ERSATZ – Energiebedarf Benzin/Diesel elektrifiziert, ESpar – Einsparpotential auf Energieebene durch Elektrifizierung

Anhand des Kreisdiagramms lässt sich erkennen, dass in einer theoretischen Betrachtung, dass alle gefahrenen Kilometer elektrisch gefahren würden, ein Einsparpotential von 68,9% vorhanden ist. Zur Erinnerung – Hier wird lediglich die Energiegehaltsbetrachtung verwendet. Des Weiteren sind es nur die Energien, die für die Fortbewegung aufgewendet werden. Für weitere Betrachtungen müssen ebenso Herstellungskosten und Energieträgererzeugung beachtet werden, da zum jetzigen Zeitpunkt [08.07.2024] die Herstellung von Akkumulatoren im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren sehr viel Energie kosten und ein hohen CO<sub>2</sub>-Ausstoß verursachen.

#### 4.2.2 Fahrzeuggröße und ihre Auswirkung – (Andres Lück)

Schaut man sich den Trend auf dem Markt an, interessieren sich immer mehr Leute für SUVs. Auch, wenn ein elektrisch betriebener SUV gegenüber Verbrennern einen enormen Vorteil durch die Formel der kinematischen Energie im Stadtbereich hat, führen Gewicht und Querspanfläche der Fahrzeuge zu höheren Verbräuchen im Vergleich zu kleineren Fahrzeugklassen.



**Abbildung 8:** Windwiderstandskräfte diverser PKWs

Aufgrund der deutlich geringeren benötigten Kühlleistung bei Elektrofahrzeugen ist es möglich, den Strömungswiderstand, auch CW-Wert genannt, deutlich zu verringern. In der Fortbewegung kommen wir auf folgenden Beispielvergleichswert anhand des Graphen abgelesen:

Fahrzeug	CW-Wert	Querspanfläche [m²]	Windwiderstandskraft	v [km/h]
VW Bus T5	0,35	3,25	<b>891</b>	<b>130</b>
Tesla Model 3 SR 2023	0,23	2,22	<b>891</b>	<b>194</b>

**Tabelle 2:** Auszug aus Datensatz für Fahrzeugdaten

Informationen zu den CW-Werten & Querspanflächen aus Quelle [A20]

Sicherlich lässt sich darüber streiten, ob der Verwendungszweck eines VW Bus T5 immer gleich einem deutlich kleineren Tesla Model 3 SR 2023 entspricht. Dennoch soll der Graph die Einflüsse von Größe und Geschwindigkeit etwas verdeutlichen, gerade hinsichtlich des SUV-Booms und der Elektrifizierung der Kraftfahrzeuge.

### 4.3 Mikromobilität – (Andres Lück)

Die Mikromobilität behandelt die Fortbewegung mit Hilfsmitteln kleinerer Größe. Von Roller und Fahrrad bis hin zu Kleinstfahrzeugen gehören zu dieser Kategorie. Hierfür werden ebenfalls diverse Beispiele angeführt, um ein Gefühl für den Energiebedarf von Mikromobilität zu bekommen.

Kraftstoff	Verbrauch/100km	kWh pro Einheit	Verbrauch in kWh/100km
E-Roller [Piaggio Vespa]	5,8 kWh [A10]	-	<b>5,8 kWh*</b>
E-Mikrocar [Microlino]	7,3 kWh [A11]	-	<b>7,3 kWh*</b>
Pedelecs	0,5 kWh [A13]	-	<b>0,5 kWh*</b>
Leichtkrafträder [Benzin]	3 l [A12]	8,5 kWh	<b>25,5 kWh</b>

**Tabelle 3:** Verbrauchswerte Mikromobilität (Benzin, Strom)

**\*Verbräuche inkl. Ladeverluste – Variieren stark je nach Nutzung, Topologie, klimatische Bedingungen, Fahrzeuggröße**

Die Mikromobilität ermöglicht die Fortbewegung mit sehr wenig Energie. Das gelingt durch ihr Hauptaugenmerk auf ihre Kernfunktion und weniger auf Komfort und Luxus, im Verhältnis zur herkömmlichen Mobilität, möglichst klein und kompakt für ihr Einsatzgebiet zu sein. Die Reichweiten der Fahrzeuge sind meist durch Ihre Bauart begrenzt. So hat der Microlino in großer Ausführung eine Reichweite nach WLTP-Messverfahren von ca. 228km. [A18, A11] Die Mikromobilität ist wegen ihrer eingeschränkten Einsatzfähigkeit, teils hohen Anschaffungskosten und Einbußen in Bequemlichkeit, Sicherheit und Luxus noch nicht etabliert. E-Scooter sind in Städten als Sharing-System oft anzutreffen und umstritten aufgrund des Verhaltens der Nutzer.



#### 4.4 Linienbus – (Andres Lück)

Die Fahrzeugeigenschaften sind ähnlich zu denen des PKW. Rollwiderstände und Wirkungsgrade der Antriebe lassen den Energiebedarf in einem Verhältnis zur Größe und Gewicht ähnlich ausfallen.

Kraftstoff	Verbrauch/100km	kWh pro Einheit	Verbrauch in kWh/100km	Anteil in Deutschland [A6]
Diesel	31,73 [** [A4]	9,6 kWh/l	<b>304,6 kWh**</b>	<b>88,7%</b>
Strom	Ca. 108 kWh* [A5]	-	<b>Ca. 108 kWh*</b>	<b>3,5%</b>

**Tabelle 4:** Verbrauchswerte Linienbus (Diesel, Strom)

**\*Verbräuche inkl. Ladeverluste – Variieren stark je nach Nutzung, Topologie, klimatische Bedingungen, Fahrzeuggröße**

**\*\*Verbräuche wurden anhand vom Mercedes-Benz Citaro LE & eCitaro übernommen**

An dem Beispiel des Herstellers Mercedes lassen sich sehr ähnliche Modelle miteinander vergleichen. Auch hier kann man erkennen, dass das elektrisch betriebene Fahrzeug etwa 1/3 der Energie benötigt, die ein Diesel betriebenes Fahrzeug braucht. Laut dem Umweltbundesamt liegt die Fahrleistung der Busse in Deutschland bei 3,8 Milliarden Kilometer im Jahr 2022. [A17] Diese Zahl wird hier als Referenz der Energiebilanzierung genutzt. Die Kilometer werden als Annahme so verteilt, wie die Fahrzeugflotte in der vorausgegangenen Tabelle verteilt ist.

##### 4.4.1 Elektrifizierung der Busse – (Andres Lück)

Gesamter Weg:

$$s_{ges} = 3.800.000.000 \text{ [km]}$$

Teilstrecken für D(iesel), E(lektro):

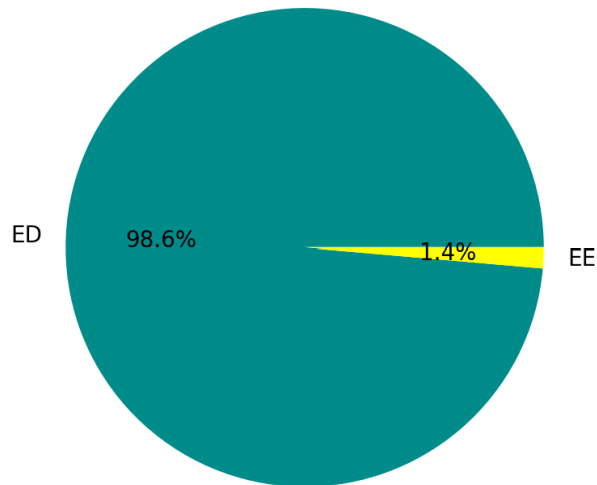
$$s_D = s_{ges} * 0,887 = 3.370.600.000 \text{ [km]}$$

$$s_E = s_{ges} * 0,035 = 133.000.000 \text{ [km]}$$

Energieaufwand der Kraftstoffarten:

$$E_D = \frac{s_D}{100} * 304,6 = 10.266.847,6 \text{ [MWh]}$$

$$E_E = \frac{s_E}{100} * 108 = 143.640 \text{ [MWh]}$$



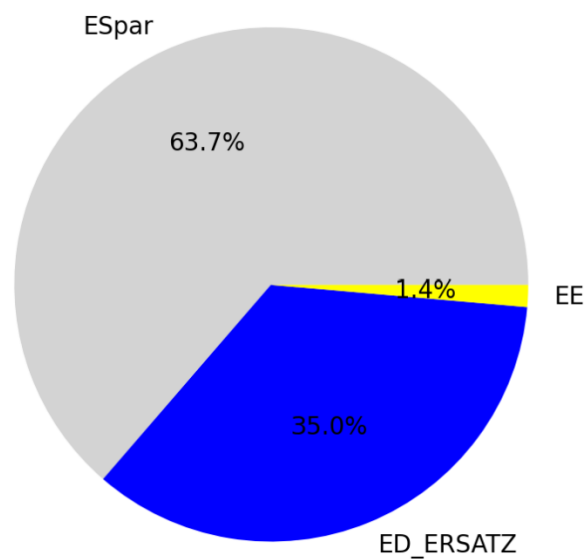
**Abbildung 9:** Verbrauchsverteilung Busse (Diesel, Strom)

ED – Anteiliger Energiebedarf Diesel, EE – Anteiliger Energiebedarf Elektro

Für die weitere Betrachtung wird ebenfalls die Theorie aufgestellt, alle Busse durch elektrisch angetriebene Busse zu ersetzen.

$$ED\_ERSATZ = \left( \frac{ED}{304,6} \right) * 108 = 3.640.248 \text{ [MWh]}$$

$$E_{Spar} = ED - ED\_ERSATZ = 6.626.599,6 \text{ [MWh]}$$



**Abbildung 10:** Einsparpotential vollelektrischer Busse

EE – Energiebedarf Elektro (jetzt), ED\_EB\_ERSATZ – Energiebedarf Benzin elektrifiziert, ESpar – Einsparpotential auf Energieebene durch Elektrifizierung

Der Graph zeigt wie schon bei PKWs ein Einsparpotential von 63,7% in der Energieaufwendung für die Fortbewegung von Bussen.

#### 4.5 Bahnverkehr – (Andres Lück)

Der Bahnverkehr gilt als die klimafreundlichste Methode zur Fortbewegung. Im Folgenden werden für ausgewählte Triebwagen der DB-Verbrauchswerte angegeben.

Um sie mit den vorigen Mobilitätskonzepten vergleichen zu können, ist hier der Verbrauch pro Kilometer zu einem Verbrauch auf 100km verändert worden.

<b>Triebwagen</b>	<b>Verbrauch/100km</b>	<b>kWh pro Einheit</b>	<b>Verbrauch in kWh/100km</b>
Diesellok der BR 232	300 l	9,6 kWh/l	<b>2880 kWh</b>
BR 101	1700 kWh	-	<b>1700 kWh</b>
CE 4 BR 412	1570 kWh	-	<b>1570 kWh</b>

**Tabelle 5:** Verbrauchswertbeispiele Bahnverkehr (Diesel, Strom)

#### 4.6 Flugzeuge – (Andres Lück)

Luftverkehr ist im Volksmunde der Klimazerstörer schlecht hin. Dabei kann man überrascht sein, wie die Bilanz pro Person für den Verbrauch am Ende ausfällt und dass Gründe für die hohe Klimabelastung vor allem Non-CO2-Effekte wie den Kondensstreifen sind [A19]. Im Folgenden mehr zu Verbräuchen von Beispielmaschinen.

<b>Flugzeug</b>	<b>Verbrauch/100km</b>	<b>kWh pro Einheit</b>	<b>Verbrauch in kWh/100km</b>
A320 [Kerosin]	337l [A9]	9,6kWh/l	<b>3235,2 kWh</b>
Cessna 172 [Diesel]	14l [A8]	9,6kWh/l	<b>134,4 kWh</b>

**Tabelle 6:** Verbrauchswertbeispiele Flugzeug (Diesel, Kerosin)

#### 4.7 Momentaufnahme Energieerzeugung in Deutschland – (Andres Lück)

Im vorigen Kapitel haben wir festgestellt, dass durch eine Elektrifizierung aller Fahrzeuge für den Betrieb eine erhebliche Energieeinsparung ermöglicht werden kann. Es stellt sich die Frage, wie viel mehr elektrische Energie im Verhältnis zu Heute dann hergestellt werden muss, um den Mehrverbrauch der Mobilität decken zu können. Nimmt man die Berechnung der vorangegangenen Kapitel zu Hand, ergibt sich bei PKW und Bussen ein Energiebedarf von etwa 262,2 TWh.

Laut des statistischen Bundesamts erzeugt Deutschland aktuell 514,6 TWh Bruttostrom, wovon 48% aus konventionellen Energieträgern und 52% aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. [A15] Aus Gründen der Volatilität, aber auch aus wirtschaftlichen Gründen, wurden im Jahr 2023 54,1 TWh importiert und 42,4 TWh exportiert. [A16]

#### 4.7.1 Energieherstellungspotential Photovoltaik – (Andres Lück)

Im Rahmen dieses Themas betrachten wir als Beispiel einmal die Erzeugung von elektrischer Energie durch Photovoltaikanlagen.

Solarenergie ist ein großes Potential für Energieerzeugung. So behauptet AceFlex, dass ein Quadratmeter Solarfläche in etwa 150-230 kWh pro Jahr erzeugen kann. [A21] Mit Schwierigkeiten Quellen zu finden wurde herausgefunden, dass kumuliert ca. 6770 Quadratkilometer Dachfläche noch nicht von Solaranlagen erschlossen ist. [A23]

Berechnung für potentielle Energieerzeugung aus groben Werten und einem Verringerungsfaktor zur realistischeren Einschätzung:

$$A_{Dach\_DE} * 1000^2 * P_{\frac{durchschnitt}{m^2}} * Verringerungsfaktor = E_{photo, pot}$$
$$6770 * 1000^2 * 190 * 0,5 = 643.150.000.000 \text{ kWh}$$

Somit ergibt sich ein sehr grobes errechnetes Photovoltaikpotential von 643.150.000 MWh bzw. 643,15 TWh. Diese Zahl soll lediglich helfen, um zu erkennen, dass genügend nachhaltig produzierbare Energie für die Fortbewegung vorhanden ist und man hiermit vor allem daran arbeiten muss, Systeme zu entwickeln und zu etablieren, die diese Energie möglichst effizient nutzen können.

## 5 Zusammenführung der Ergebnisse und Fazit – (Johannes Scherer, Andres Lück)

Um die Ergebnisse aus den beiden vorangegangenen Abschnitten zusammenzuführen, wird nun untersucht, inwieweit sich die Auslastung und der Energieverbrauch der verschiedenen Mobilitätsformen auf den Energieverbrauch pro 100 Personenkilometer auswirken.

### PKW:

$$Energy_{Auto} = \frac{0.296 * 65,28 + 0.627 * 65,45 + 0.021 * 20}{0,944} = 64,38 \text{ kWh/100km}$$

$$\varnothing Nutzer_{Auto} = 1,4 \text{ Personen}$$

$$\varnothing EPkm_{Auto} = \frac{Energy_{Auto}}{\varnothing Nutzer_{Auto}} = \frac{64,38}{1,4} = \mathbf{45,99 \text{ kWh/100Pkm}}$$

### Linienbus:

$$Energy_{Linienbus} = \frac{0.887 * 304,6 + 0.035 * 108}{0,922} = 297,14 \text{ kWh/100km}$$

$$\varnothing Nutzer_{Linienbus} = 36 \text{ Personen}$$

$$\varnothing EPkm_{Linienbus} = \frac{Energy_{Linienbus}}{\varnothing Nutzer_{Linienbus}} = \frac{297,14}{36} = \mathbf{8,25 \text{ kWh/100Pkm}}$$

### Bahnverkehr (Fernzug):

$$Energy_{Fernzug} = 1570 \text{ kWh/100km}$$

$$\varnothing Nutzer_{Fernzug} = 190 \text{ Personen}$$

$$\varnothing EPkm_{Auto} = \frac{Energy_{Fernzug}}{\varnothing Nutzer_{Fernzug}} = \frac{1570}{190} = \mathbf{8.26 \text{ kWh/100Pkm}}$$

### Flugzeug:

$$Energy_{A320} = 3235,2 \text{ kWh/100km}$$

$$\varnothing Nutzer_{A320} = 136 \text{ Personen}$$

$$\varnothing EPkm_{Auto} = \frac{Energy_{A320}}{\varnothing Nutzer_{A320}} = \frac{3235,2}{136} = \mathbf{23,79 \text{ kWh/100Pkm}}$$

Anhand der Zahlen ist zu erkennen, dass momentan der motorisierte Individualverkehr energetisch dem ÖV deutlich unterlegen ist. Das liegt vor allem daran, dass PKWs für den Zweck der Fortbewegung deutlich überdimensioniert sind.

Linienbusse, Flugzeuge sowie PKW haben ein sehr großes energetisches Einsparpotential, da Verbrennungsmotoren enorm viel Energie aufwenden, um Kräfte zu erzeugen. Der Bahnverkehr ist bereits größtenteils elektrifiziert, so dass hier das Einsparpotential sehr viel geringer ist. Im Gegensatz zu den frei beweglichen

Mobilitätskonzepten müssen aktuell für die Bahn überwiegend keine Akkus hergestellt werden, was sich wiederum sehr positiv auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz auswirkt.

Würden nun alle PKW elektrisch fahren und die Auslastung gleichbleiben, kämen diese schon von etwa 46 kWh/100Pkm auf ca. 13 kWh/100Pkm. Erhöht sich die Nutzung von Sharing-Angeboten und Mikromobilität, ließe sich der Auslastungs- und Nutzungsgrad von PKWs so erhöhen, dass es naheliegt, dass PKWs energetisch auf 100 Pkm sehr nah an Linienbussen liegen können.

Durch den technologischen Fortschritt und einem Umdenken in der Nutzung der Mobilität ist es in der Zukunft möglich die Vorteile aller Mobilitätskonzepte zu vereinen, während Nachhaltigkeit und Lebensqualität im Fokus stehen.

## 6 Quellen

---

### 6.1 Quellen – Johannes Scherer

- [J1] – MiD 2017, [https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-ergebnisbericht.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/mid-ergebnisbericht.pdf?__blob=publicationFile) (Stand: 05.07.24, 10:31)
- [J2] – <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/79638/> (Stand: 05.07.24, 10:31)
- [J3] – [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2019/PD19\\_04\\_p002.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2019/PD19_04_p002.html) (Stand: 05.07.24, 10:31)
- [J4] – <https://www.hochbahn.de/de/betrieb/fahrzeuge-und-technik/u-bahn-fahrzeugtypen> (Stand: 05.07.24, 10:31)
- [J5] – <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/162886/umfrage/auslastung-der-zuege-der-deutschen-bahn-im-fernverkehr-seit-2006/> (Stand: 08.07.24, 13:12)

### 6.2 Quellen – Andres Lück

- [A1] - [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz\\_Bestand/-fz\\_b\\_jahresbilanz\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz_Bestand/-fz_b_jahresbilanz_node.html) (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A2] - <https://www.hvv-schulprojekte.de/unterrichtsmaterialien/kraftstoffverbrauch/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A3] - <https://www.powertrust.de/news/news-detail/energiebilanz-diesel-pkw> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A4] - <https://www.auto.de/magazin/mercedes-benz-citaro-gewinnt-bus-vergleichstest/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A5] - <https://www.nfz-messe.com/de/news/fahrzeug-und-trailer-tests-der-erste-echte-e-bus-test-2764.html> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A6] - <https://www.pwc.de/de/branchen-und-markte/oeffentlicher-sektor/e-bus-radar.html> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A8] - [https://de.wikipedia.org/wiki/Cessna\\_172](https://de.wikipedia.org/wiki/Cessna_172) (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A9] - <https://www.flyouts.com/de/vliegtuig/airbus-a320> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A10] - <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/zweirad/motorrad-roller/roller/elektoroller-test/piaggio-vespa-elettrica-id-4102/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A11] - <https://www.elektroauto.community/blogs/entry/257-microlino-auf-grosser-fahrt-verbrauch-fahrleistungen-und-komfort/> (Stand: 05.07.24, 11:05)

- [A12] - <https://www.adac.de/verkehr/tanken-kraftstoff-antrieb/tipps-zum-tanken/spritsparen-motorrad-roller/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A13] - <https://www.enercity.de/magazin/mein-leben/elektromobilitaet-e-bikes-pedelects-stromverbrauch> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A14] - [https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/-vk\\_inlaenderfahrleistung/2020/2020\\_vk\\_kurzbericht.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/-vk_inlaenderfahrleistung/2020/2020_vk_kurzbericht.html) (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A15] - [https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Energie/Erzeugung/_inhalt.html) (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A16] - [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/-Pressemitteilungen/DE/2024/20240103\\_SMARD.html](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/-Pressemitteilungen/DE/2024/20240103_SMARD.html) (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A17] - <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/fahrleistungen-verkehrsaufwand-modal-split#fahrleistung-im-personen-und-guterverkehr> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A18] - <https://configurator.microlino-car.com/de/choose-edition/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A19] - [https://www.atmosfair.de/de/fliegen\\_und\\_klima/flugverkehr\\_und\\_klima/-klimawirkung\\_flugverkehr/](https://www.atmosfair.de/de/fliegen_und_klima/flugverkehr_und_klima/-klimawirkung_flugverkehr/) (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A20] - <https://automobil-guru.de/cw-werte-tabelle-stirnflaeche/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A21] - <https://www.aceflex.de/magazin/kwp-pro-m2-so-viel-pv-leistung-erhalten-sie/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A22] - <https://www.garbe-industrial.de/pv-potential/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A23] - [https://efahrer.chip.de/news/wir-nutzen-nur-bruchteil-experten-zeigen-wie-viel-strom-vom-dach-moeglich-ist\\_1016029](https://efahrer.chip.de/news/wir-nutzen-nur-bruchteil-experten-zeigen-wie-viel-strom-vom-dach-moeglich-ist_1016029) (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A24] - <https://www.fluglärm-portal.de/laerm-vermeiden/effiziente-verkehrssteuerung/> (Stand: 05.07.24, 11:05)
- [A25] - <https://matplotlib.org/stable/>

## 7 Anhang

---

PKW.py

Busse.py

Windwiderstandskraft.py



## 8 Eigenständigkeitserklärung

---

### Eigenständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken (dazu zählen auch Internetquellen) entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

08.07.2024, Andres Lück

(Datum, Unterschrift – Andres Lück)

08.07.2024, Johannes Scherer

(Datum, Unterschrift – Johannes Scherer)