

Angetrieben

2.7.2023

Für Jahrtausende waren Muskeln für den Menschen die ausschließliche und zudem zuverlässigste Antriebsart. Entweder wurden die eigenen Muskeln oder die von Haustieren zur Fortbewegung genutzt. Erst allmählich unterstützte der teilweise oder vollständige Antrieb durch Wind die Fortbewegung auf dem Wasser. Galeeren waren dennoch bis ins 19. Jahrhundert in Verwendung [1]. Pferdefuhrwerke verschwanden erst im 20. Jahrhundert aus dem Straßenverkehr.

Für den mechanischen Antrieb stehen heute im wesentlichen zwei Motoren zur Diskussion:

1. Der Elektromotor
2. Die Verbrennungskraftmaschine

Gegenüber der Verbrennungskraftmaschine weist der Elektromotor eine Reihe von Vorteilen auf. Diese beginnen bereits mit dem deutlich einfacheren mechanischen Aufbau womit der Motor langlebiger und einfacher in der Wartung ist. Die Umsetzung von elektrischer in mechanische Leistung geschieht fast verlustfrei und ist unabhängig von Drehzahl und Last. Im Unterschied dazu unterliegt der Verbrennungsmotor den thermodynamischen Gesetzen die seinen Wirkungsgrad durch eine Temperaturdifferenz begrenzen. Die minimale Temperatur ist durch die Umgebung festgelegt die maximale Temperatur von etwa 1000 °C ist durch die thermische Beständigkeit der Motorkomponenten begrenzt. Die Leistungsabgabe des Verbrennungsmotors ist Drehzahl und Lastabhängig. Das bedeutet, dass er lediglich bei einer bestimmten Umdrehungszahl seine größtmögliche mechanische Leistung abgibt. Um die optimale Motordrehzahl an die benötigte Umdrehungszahl im Antrieb anzupassen muss eine geeignete Übersetzung angeschlossen werden. Im Fahrzeugbau geschieht das durch eine abgestufte oder kontinuierliche Getriebebeschaltung. Die Übersetzung ist jedoch verlustbehaftet. Die Leistungsabgabe des Elektromotor hängt nicht von äußeren Einflüssen wie Temperatur oder Luftdruck ab. Da die Energiezufuhr beim Verbrennungsmotor durch die Einstellung eines Treibstoff- Luftgemisches gesteuert wird haben sowohl Temperatur als auch Luftdruck einen Einfluss auf die erzielbare Motorleistung. In großen Höhen über dem Meeresspiegel etwa lässt die mechanische Leistung des Verbrennungsmotors spürbar nach. Da ein Elektromotor im Unterschied zum Verbrennungsmotor während des Betriebs keine Schadstoffe abgibt entfallen Vorkehrungen um gesundheitsgefährdende Abgase mittels Katalysators und Partikelfilters abzuscheiden.

Betrachtet man alleine den Antrieb so hat der Verbrennungsprozess gegenüber dem Elektromotor nur Nachteile. In allen stationären Anwendungen, so auch beim Seilbahnbetrieb kommen nahezu immer Elektromotoren zum Einsatz. Etwas salopp formuliert, überall wo es eine Steckdose gibt wird ein Elektromotor für den Antrieb bevorzugt verwendet. Mobilien Anwendungen hingegen fehlt diese Steckdose. Es stellt sich die Frage wie der Motor mit ausreichender elektrischer Energie versorgt kann. Ein Gefährt das von einem Verbrennungsmotor angetrieben wird führt sein energetisches Reservoir in Form eines kompakten Treibstofftanks mit sich. Dessen Inhalt reicht aus um einen modernen PKW fast 1000 km weit energieautark zu betreiben. Die Wiederbefüllung des

Treibstofftanks geschieht einfach und in kurzer Zeit. In der bisherigen Entwicklung von Straßenfahrzeugen wog diese einfache Lösung der Treibstoffversorgung eines Verbrennungsmotors ganz offensichtlich all seine Nachteile auf. Dazu kommt, dass der Verbrennungsmotor in Bezug auf Art und Qualität des verwendeten Treibstoffs weit weniger anspruchsvoll ist als der Elektromotor. Das erlaubt es etwa den Mineralöl basierten Treibstoff teilweise durch Alkohol oder durch pflanzliches Öl zu ersetzen. Die, heute an der Tankstelle abgegebenen Treibstoffe sind mit 7 % bis 10 % auf pflanzlicher Basis hergestellten Substituten versetzt ohne dass der Motor Schaden nimmt. Im Vergleich dazu reagieren die Elektromotoren im Bahnverkehr sehr empfindlich auf, selbst kleine Abweichungen der Wechselspannungsfrequenz von 16,7 Hz. Wollte man im 20. Jahrhundert ein Fahrzeug mit Elektromotor aus einem mitgeführten, aufladbaren Blei-Säure-Akkumulator versorgen so musste dafür im Vergleich zum gefüllten Treibstofftank die 250 fache Masse untergebracht werden. Dieser Umstand war für die Automobilindustrie fast 1 Jahrhundert lang derart unattraktiv, dass die Entwicklung in der Antriebstechnik sich gänzlich auf Verbesserungen der Verbrennungskraftmaschine beschränkte. Erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts setzte ein verstärktes Interesse am Elektroantrieb im Straßenverkehr ein. Zum Teil erprobte und zum Teil neue Möglichkeiten der Nutzung des Elektroantriebs wurden neu überdacht. Heute stehen 4 Ansätze auf dem intellektuellen Prüfstand. Die Versorgung des Elektroantriebs während der Fahrt geschieht mittels

1. Abgriff durch Bügel von Stromleitungen
2. mitgeführtem Stromgenerator
3. Brennstoffzelle
4. Akkumulatoren neuerer Generation

Vom Blickwinkel des Vehikels ist die 1. Lösung unübertroffen. Das anzutreibende Gefährt braucht außer dem Elektromotor nur elektrisch leitende Bügel als Sonderausstattung. Die Anforderungen an die notwendige Infrastruktur sind hingegen aufwändig. Bei der Bahn hat sich der Ansatz bereits in der Vergangenheit bestens bewährt. Unabhängig ob Straßenbahn, U-Bahn oder Eisenbahn benötigt diese Lösung metallische Gleisanlagen und eine stromführende Oberleitung oder eine Stromschiene. Im Straßenverkehr nutzen bisher lediglich Trolleybusse (Oberleitungsbusse) in mehreren Städten die Technik. Ob die Methode im Individualverkehr massentauglich eingesetzt werden kann ist fraglich. Der Schwachpunkt ist der „direkte Draht“ des Verbrauchers, des Motors mit dem Erzeuger, dem Kraftwerk das die elektrische Energie jederzeit bereitstellen muss. Denkt man an einen ausgedehnten Verkehrsstau mit dem kollektiven *Stopp- and Go* Einsatz zahlreicher Elektromotoren so bedeutet das für das verbundene Kraftwerk viele kräftige, kurzzeitige Lastwechsel die es ausgleichen sollte. Eine Destabilisierung bis hin zum vollständigen Zusammenbruch des lokalen Netzes wären vorhersehbar. Wie aufwändig der Aufbau einer erforderlichen Infrastruktur für den Straßenverkehr wäre lässt sich erahnen wenn man bedenkt, dass die Österreichischen Bundesbahnen nach 100 Jahren erst $\frac{3}{4}$ ihrer Streckennetzes elektrifiziert haben (siehe Table 1).

Zur 2. genannten Möglichkeit. In diesem Fall führt das Fahrzeug sein eigenes Kraftwerk mit sich.

Dieses besteht aus einem Verbrennungsmotor mit angeflanschem Stromgenerator. Auf dem ersten Blick scheint das wenig sinnvoll, könnte man den Verbrennungsmotor doch auch direkt für den Antrieb nutzen. Der Vorteil liegt darin, dass der Motor wie bei Notstromaggregaten üblich mit konstanter Drehzahl im optimalen Arbeitspunkt betrieben wird. Ein Getriebe ist dadurch nicht notwendig und der Treibstoffverbrauch reduziert sich auf ein Minimum. Weitere Vor- und Nachteile sind ähnlich jenen beim Verbrennungsmotor zu betrachten und werden weiter unten ausgeführt. Auch diese Form des Elektroantriebs erlangte im Bahnverkehr seine bisher stärkste Verbreitung [2].

Chemisch gesehen nutzt auch die Brennstoffzelle einen Verbrennungsprozess [3]. Um luftschädigende Abgase zu vermeiden wird bei dem Einsatz im Verkehr bevorzugt Wasserstoff als Treibstoff verwendet. Mit Sauerstoff aus der Luft oxidiert der Wasserstoff zu Wasser. Im Unterschied zum Verbrennungsmotor läuft der Prozess in der Brennstoffzelle bei Raumtemperatur ab. Der Vorgang entspricht einer Umkehr der Elektrolyse. Bei der elektrolytischen Zersetzung von Wasser durch die Zufuhr von elektrischem Strom entstehen Wasserstoff und Sauerstoff. Beim Umkehrprozess in der Brennstoffzelle wird elektrischer Strom durch die Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff generiert. Der Treibstoff, Wasserstoffgas wird im Hochdrucktank im Fahrzeug mitgeführt. Der Sauerstoff kommt aus der umgebenden Luft. Eine Reihe von Automobilherstellern engagieren sich in der Herstellung von Fahrzeugen die mittels Brennstoffzellen betrieben werden. Der Fokus liegt hierbei im Schwerlastbereich. Die geringe Anzahl von Wasserstofftankstellen hemmen die rasche Verbreitung dieses Fahrzeugtyps im Individualverkehr. Als Rückkopplung erfolgt der Ausbau eines flächendeckenden Tankstellennetzes nur zögerlich. In Österreich gibt es aktuell (Juni 2023) lediglich fünf öffentliche, von der OMV betriebene Tankstellen für die Abgabe von Wasserstoffgas [4]. Einige Transportunternehmen mit einem großen Fuhrpark errichten daher ihre eigenen Stützpunkte für die Wasserstoffbetankung.

Wiederaufladbare Akkumulatoren werden derzeit bei der Entwicklung von Elektrofahrzeugen für den Individualverkehr favorisiert. Im Vergleich zum altgedienten Blei-Säureakkumulator haben neue Akkumulatoren bemerkenswerte Fortschritte in ihrer Speicherkapazität aufzuweisen. Ihr Gewicht (korrekt wäre der Begriff Masse) das erforderlich ist um die gleiche Menge an elektrischer Energie wie ein Blei-Säureakkumulator zu speichern beträgt lediglich 1/5 [5]. Alle, vom Blei-Säureakkumulator bekannten Schwächen wurden zwar deutlich abgemindert bleiben aber grundsätzlich bestehen:

- Die Speicherkapazität nimmt mit zunehmender Anzahl von Ladezyklen ab. Insbesondere die oft beworbene Schnellladung bedingt einen enormen Stress der Akkumulatoren und führt zu deren frühzeitigem Altern.
- Durch Selbstentladung reduziert sich der gespeicherte Energievorrat in kurzer Zeit. Eine Standzeit des Fahrzeuges von einer Woche haben selbst bei moderaten Lufttemperaturen einen spürbaren Effekt.
- Der gespeicherte Energievorrat reduziert sich sowohl bei Frost als auch Hitze deutlich.
- Der Ladevorgang ist zeitaufwändig. Eine Beschleunigung ist nur bedingt möglich und erfordert dann eine komplexe Ladeinfrastruktur mit Kühleinrichtung für die Akkumulatoren.

Zusammengefasst verhält sich der Akkumulator im Elektrofahrzeug wie ein Treibstofftank mit variablem Fassungsvermögen im Fall des Verbrennungsmotors. Dieser variierende und nicht abschätzbare Füllstand des Treibstoffvorrats vor Antritt einer Fahrt erzwingt vom Nutzer eine wohl überlegte und vorausschauende Planung seiner Fahrten.

Es ist die gesellschaftspolitische Absicht in den nächsten 20 Jahren den Verkehr auf ausschließlich elektrobetriebene Fahrzeuge umzustellen. Im Hinblick auf das eben geschriebene ein äußerst ambitioniertes Ziel. Um mir eine grobe Vorstellung machen zu können welche Maßnahmen dafür ergriffen werden müssten habe ich mir drei große österreichische Transportunternehmen angesehen:

1. Die Fluglinie Austrian Airlines die mit 63 Flugzeugen den Personenverkehr bedient [7]
2. Die Österreichische Bundesbahn, ÖBB, die sowohl im Personennahverkehr, im Personenfernverkehr als auch im Gütertransport tätig ist. Da der, ausschließlich mit Dieseln betriebene Postbus erst nachträglich in das Unternehmen eingegliedert wurde habe ich ihn gesondert dargestellt [8]
3. Die Wiener Linien die für den Personennahverkehr in Wien zuständig sind [9].

Schon die Frage wie groß der derzeitige Anteil an elektrobetriebenen Verkehr ist überrascht einigermaßen. Obwohl sowohl ÖBB als auch Wiener Linien als umweltfreundliche, „elektrische“ Beförderer in der Öffentlichkeit wahrgenommen werden „dieselt“ es selbst bei diesen Betrieben weiterhin gewaltig. Immerhin $\frac{1}{4}$ des Gleisnetzes der ÖBB sind nicht elektrifiziert und müssen mit Dieselantrieb befahren werden. 88 Dieseltriebwagen der Baureihe 5047 sind im Personennahverkehr weiterhin unterwegs und können im Großraum Wien des öfteren auch gesichtet und bei Bedarf genutzt werden [6]. Die Sparte Postbus umfasst 2545 dieseln betriebene Busse hauptsächlich für den öffentlichen Nahverkehr. Bei den Wiener Linien ist das mit 447 Autobussen betriebene Streckennetz 3 mal länger als die Netze von U-Bahn und Straßenbahnlinien zusammen. Will man alle derzeit in Betrieb befindlichen Autobusse der beiden Unternehmen in den nächsten Jahren durch elektrobetriebene Busse ersetzen so ist das für diese beiden Betriebe ein Auftragsvolumen von knapp 3000 Einheiten. Abgesehen von der enormen finanziellen Belastung der beiden Betriebe reichen die derzeitigen Produktionskapazitäten aller am Markt tätigen Anbieter geeigneter Fahrzeuge kaum aus um dieser Nachfrage zu entsprechen. Bedenkt man zudem, dass in vielen Europäischen Staaten ein ähnlicher verkehrspolitischer Ansatz verfolgt wird ist abzusehen, dass es auf dem Markt in nächster Zeit zu einer drastischen Verknappung des Angebots und damit einhergehend deutlichen Verteuerung geeigneter Fahrzeuge kommen wird. Weiters müssten von den Unternehmen geeignete Serviceeinrichtungen neu errichtet werden. Außerdem müsste auch sichergestellt werden, dass etwa 1 TWh pro Jahr an elektrischer Energie ausschließlich für den Betrieb der Busflotte bereit steht. Im Vergleich zu dieser vollständigen Umstellung von Dieseln betriebenen Bussen auf neu zu beschaffende Elektrobusse scheint der zügige weitere Ausbau der Elektrifizierung im Bahnverkehr durchaus bewältigbar. Für den Flugverkehr hingegen ist zur Zeit keine „Elektrifizierung“ in Aussicht.

Vor diesem Hintergrund stelle ich mir die Frage ob die vollständige Verbannung des Verbrennungsmotors aus dem öffentlichen Leben unerlässlich ist. Zu den Treibstoffen aus fossilen

Quellen gibt es hochwertigen Ersatz. Biomasse aus landwirtschaftlicher Produktion bildet heute die Basis für die Herstellung von „grünen“ Treibstoffen. In seinen flüssigen Formen von Öl und Ethanol werden sie bereits den Mineralöl basierten Treibstoffen beigemischt. Ebenso interessant ist die Gewinnung von Methan aus Klärschlamm oder Gülle. Für Erdgasbetriebene Motoren ein bestens geeignetes Substitut des originalen Treibstoffs. Neben den technisch bereits weit gediehenen Ansätzen Treibstoffersatz aus organischer Biomasse zu gewinnen besteht auch die Möglichkeit Treibstoffe vollständig synthetisch herzustellen. Die Basis bilden hierbei elektrolytisch gewonnenes Wasserstoffgas und gegebenenfalls Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre. Angefangen bei reinem Wasserstoff über Methan können verschiedene synthetische Gase dem traditionellen Erdgas beigemischt werden oder es auch komplett ersetzen. Kohlenwasserstoffverbindungen in flüssiger Form sind aus den gleichen Ausgangsstoffen ebenfalls synthetisierbar. Im Technikjargon werden diese Treibstoffe dann als *e-fuels* bezeichnet und können Mineralöl ersetzen. Die Möglichkeit den Übergang von 100 % „fossil“ zu 100 % „grün“ graduell zu gestalten erleichtert die Transformation ungemein. Dieser Ansatz mag nicht besonders „sauber“ wirken erscheint mir aber auch in relativ kurzer Zeit als praktikabel. Insbesondere im Hinblick auf die extrem hohen finanziellen Anforderungen die eine „Ho-Ruck“-Verbannung des Verbrennungsmotors bedeuten würde. Staatliche Förderungen mögen kurzfristige Anreize bilden müssten aber letztlich in Form einer erhöhten Steuerlast dennoch bezahlt werden.

Im Fall der Produktion von Treibstoffen aus Biomasse wird vielfach kritisiert, dass darunter die Nahrungsmittelproduktion leide. Ein schwerwiegender Vorwurf, der mitunter auch zutreffen kann. Etwa dann wenn Zuckerrohr angebaut wird um als Industriealkohol dem Treibstoff beigemischt zu werden. Weder Gülle noch Klärschlamm stehen jedoch in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Vielmehr sind sie die Folge der Nahrungsmittelproduktion und werden heute vielfach als Abfall um teures Geld entsorgt. Vergegenwärtigt man sich weiters, dass von jedem Weizenfeld nur ein Teil der Ähren tatsächlich als Nahrungsmittel genutzt wird bleibt noch viel Biomasse des Weizenfelds zu andersartiger Verwendung übrig. Sehr oft ist auch zu hören, dass synthetische Treibstoffe um ein vielfaches zu teuer sein werden. Ein Argument, das ich nicht nachvollziehen kann. Eine sehr einfache Abschätzung beginne ich mit den aktuellen Treibstoffpreisen an der Zapfsäule. Mit diesem Preis gelte ich auch die 10 % des Treibstoffs ab, die aus Biomasse hergestellt wurde. Die Photosynthese ist die Grundlage der Wandlung von Sonnenenergie in Biomasse. Energetisch gesehen ist die Photosynthese höchst ineffizient. Der Wirkungsgrad liegt bei etwa 1 %. Nutze ich anstelle von Biomasse die Photovoltaik zur Stromgeneration so kann ich einen Wirkungsgrad von 10 % bis 15 % erwarten. Nutze ich den Strom zur Elektrolyse von Wasser reduziert sich der Wirkungsgrad mit dem ich synthetischen Wasserstoff durch Solarenergie erzeuge auf etwa 5 %. Also ist dieser Prozess wenigstens 5 fach effizienter als die Photosynthese. Das bedeutet, dass ich anstelle der bisherigen 10 % sogar 50 % des Treibstoffs an der Tankstelle durch *e-fuels* ersetzen könnte ohne, dass sich dadurch der Preis erhöhen dürfte. Bei einem Anteil von 100 % *e-fuels* müsste ich mit einem höchstens doppelt so hohen Preis wie bisher rechnen. Das auch nur dann wenn die Besteuerung durch den Staat unverändert hoch bleibt. Da die Einhebung einer Mineralölsteuer bei synthetischen Treibstoffen sinnentleert wäre müsste sie konsequenterweise abgeschafft werden. Dann bliebe ein fast unveränderter Preis des synthetischen Treibstoffs übrig. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Antriebssysteme ist in Abb. 1 gezeigt.

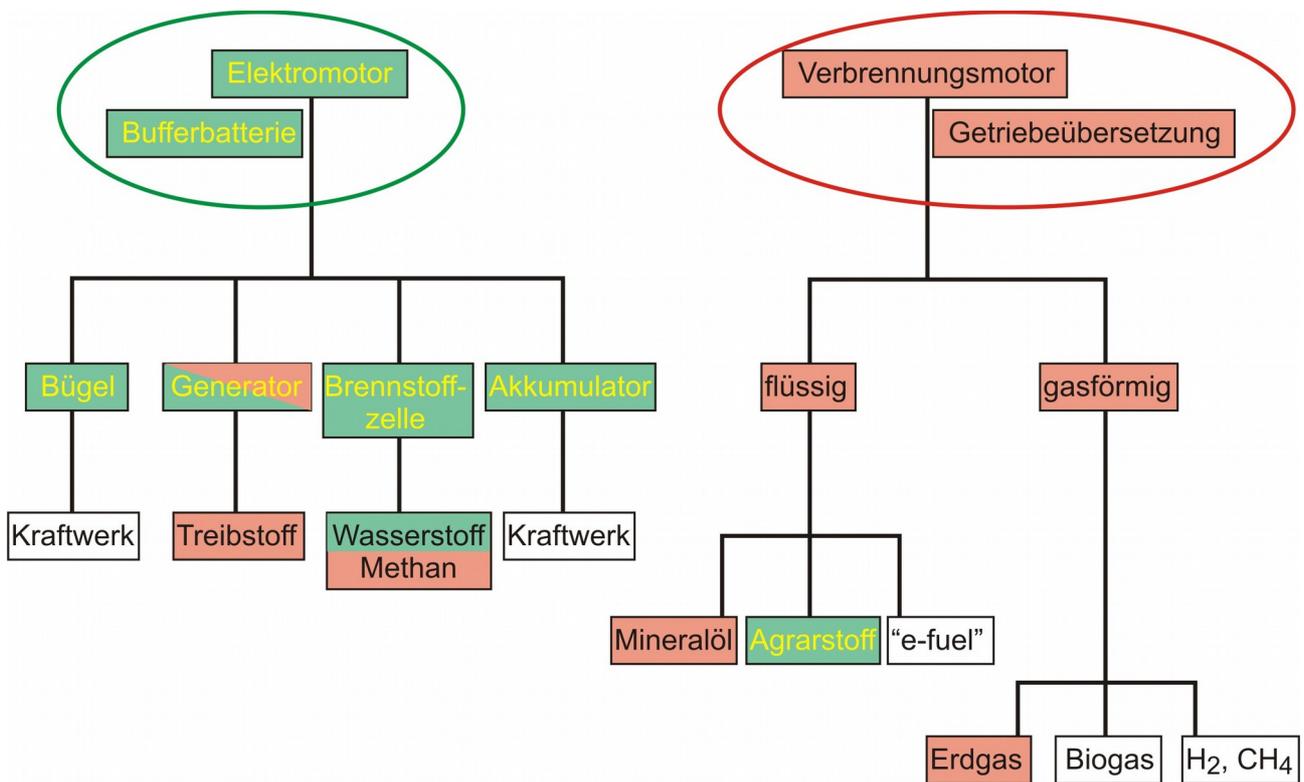


Abb. 1: Mögliche Antriebsarten im Verkehr

Table 1: Zusammenfassung der wichtigsten öffentlichen Personenverkehrsunternehmen in Österreich

Unternehmen	Zurückgelegte Strecke (km/a)	Anteil elektr. Streckenkilometer (%)	Beförderte Passagiere (a ⁻¹)	Mineralölbasierter Treibstoffverbrauch (l/a) [†]
Austrian [7]	148×10 ⁶	0	11.1×10 ⁶	590×10 ⁶
ÖBB Bahn [8]	61×10 ⁶	74	252.5×10 ⁶	52×10 ⁶
ÖBB Postbus [8]	152×10 ⁶	0	194.4×10 ⁶	83×10 ⁶
Wiener Linien [9]	133×10 ⁶	26	965.9×10 ⁶	25×10 ⁶

Für die Berechnung des Treibstoffverbrauchs im Flugverkehr der Austrian Airlines wurde ein Kerosinbedarf von 4 l/km angenommen [10]. Dieser Wert basiert auf der, aus den Daten ableitbaren Annahme, dass bei einem durchschnittlichen Flug 117 Passagiere 1553 km weit transportiert wurden. Für diesen Zweck eignen sich die 29 Maschinen Airbus A320-200 und die 17 Maschinen Embraer 195 am besten. Diese beiden Flugzeugtypen machen fast $\frac{3}{4}$ des gesamten Flottenbestands aus. Für beide Flugzeuge nennt [10] einen Treibstoffbedarf von etwa 4 l/km. Austrian Airlines führten im Jahr 2022 95 040 Flüge durch. Beim Personenverkehr mit der Bahn führten die ÖBB 2022 mehr als 2,5 Millionen Fahrten (Nah- und Fernverkehr) durch. Bei jeder Fahrt wurden im Mittel knapp 100 Personen befördert. Die durchschnittliche Wegstrecke für eine beförderte Person

[†] Die Angaben sind als Richtwerte zu verstehen. Die tatsächlichen Mengen können aus den jeweiligen Unternehmensbilanzen abgelesen werden.

lag im Nahverkehr bei 22 km und im Fernverkehr bei 160 km. Der fossile Treibstoffverbrauch von Austrian Airlines in obiger Tabelle erweckt den Eindruck, dass Flugreisen eine extrem „schmutzige“ Art der Fortbewegung seien. Ermittelt man den Bedarf an Treibstoff um einen Fluggast einen Kilometer weit zu befördern so erhält man den Wert von 0,034 l/km. Für jeden Fahrgast der in den Autobussen der Wiener Linien unterwegs ist muss dem hingegen mit 0,098 l/km fast das dreifache an Treibstoff aufgewendet werden. Der, nur auf den ersten Blick überraschende Vergleich ist in der geringen Auslastung der Linienbusse begründet. Im Mittel war jeder der Busse mit 5 – 6 Fahrgästen besetzt obwohl 90 Passagiere Platz gehabt hätten. Im Flugverkehr waren hingegen 8 von 10 Sitzplätzen besetzt. Um im Personennahverkehr mit Bussen wenigstens ebenso energieeffizient unterwegs zu sein wie die Fluglinie müssten 15 bis 18 Fahrgäste jeden Bus nutzen. Im Hinblick auf das Platzangebot wäre das kein Problem. Es gibt daher genau zwei Möglichkeiten um die Auslastung der Linienbusse zu erhöhen:

1. Bei unverändertem Fahrplan müssten 2 bis 3 Mal mehr Passagiere befördert werden.
2. Bei unveränderter Zahl an Fahrgästen wird der Fahrplan „ausgedünnt“.

Die erste Möglichkeit hängt alleine von der Nachfrage der Kunden ab. Diese mag durch Werbung und (Kosten)Anreizen von Seiten des Verkehrsbetriebs gesteigert werden können. Sicher aber nicht in der genannten Größenordnung. Die zweit genannte Möglichkeit liegt in der alleinigen Verantwortung des Verkehrsbetriebs verringert jedoch die Attraktivität für die Kunden erheblich. Wenn ein Fahrgast anstelle einer Wartezeit von bisher 15 Minuten danach eine Wartezeit an der Haltestelle von 30 oder 45 Minuten zu erwarten hätte. Die, von der Mehrzahl der heimischen Politikern geäußerte Absicht den Personennahverkehr zukünftig deutlich auszuweiten ist zu mindestens unter dem Aspekt des Energieaufwands sehr kritisch zu hinterfragen. Auch die Aussicht, dass bei elektrisch betriebenen Busse während der Fahrt keine schädlichen Abgase emittiert werden rechtfertigt einen übermäßigen Bedarf an elektrischer Energie keineswegs.

Bibliografie:

- [1] „Galeere“, Wikipediaeintrag vom 12.5.2023 online abrufbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Galeere>
- [2] „ÖBB 2050“, Wikipediaeintrag vom 9.4.2023 online abrufbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96BB_2050
- [3] „Brennstoffzelle“ Wikipediaeintrag vom 18.6.2023 online abrufbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>
- [4] glpautogas.info abgerufen 28.6.2023 unter <https://www.glpautogas.info/de/wasserstoff-tankstellen-osterreich.html>
- [5] „Battery Cell Comparison“ der Fa. Epec online abrufbar unter <https://www.epectec.com/batteries/cell-comparison.html>
- [6] „ÖBB 5047“, Wikipediaeintrag vom 7.4.2023 online abrufbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96BB_5047
- [7] „Jahresergebnis 2022: Austrian Airlines mit leichtem Jahresgewinn im Aufwind“, online

abrufbar unter <https://www.austrianairlines.ag/2023/03/03/jahresergebnis-2022-austrian-airlines-mit-leichtem-jahresgewinn-im-aufwind/>

- [8] „Zahlen Daten Fakten 2022/23“, Statistische Veröffentlichung der ÖBB online abrufbar unter https://konzern.oebb.at/dam/jcr:58b03a4f-07d2-46e0-ae40-4900fb5062b4/OEBB_Zahlen_2023-1_web.pdf
- [9] „2018 Zahlen Daten Fakten“ Statistisch Veröffentlichung der Wiener Linien online unter https://www.wienerlinien.at/media/files/2019/betriebsangaben_2018_310521.pdf
- [10] „Fuel economy in aircraft“, Wikipediaeintrag vom 8.2.2023 unter https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_economy_in_aircraft