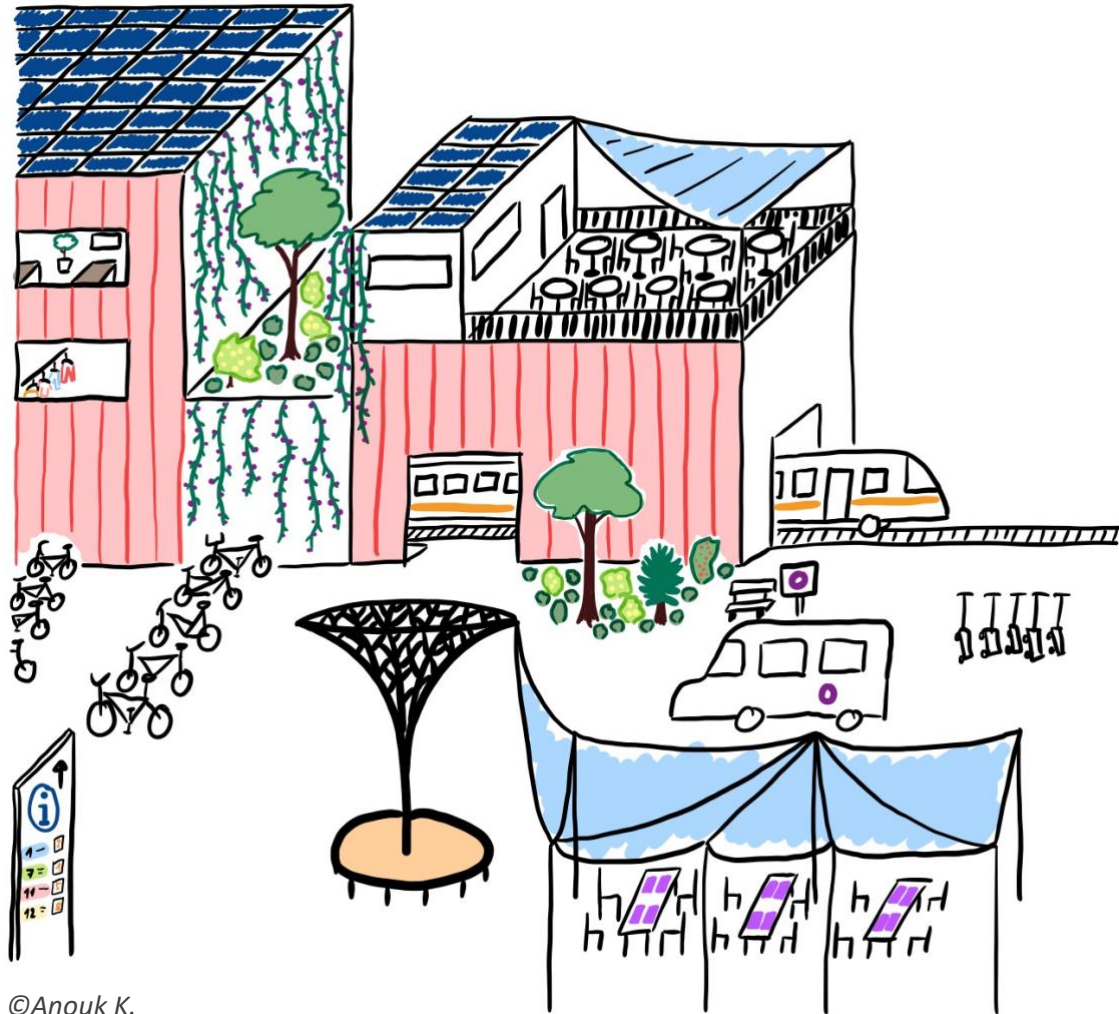


Zukünftige Personenmobilität in der Schweiz

Erreichen wir Netto-Null 2030?



©Anouk K.

Anouk Kronawitter, 22i
Gymnasium Lerbermatt
Oktober 2021

Betreut durch Rudolf Stucki

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Glossar & Abkürzungsverzeichnis	6
Einleitung	8
<i>Eingrenzung</i>	9
<i>Aufbau</i>	11
<i>Methodik</i>	12
Hauptteil	13
<i>Aktueller Stand</i>	13
Wissenschaft	13
IPCC-Bericht 2021	13
Lösungsansätze.....	14
Mobilitätsstrategie Region Bern-Mittelland 2040	14
Climate Action Plan (CAP)	14
<i>Auswertung, Verknüpfung, Erkenntnisse aus Expert*inneninterviews</i>	15
Interviewpartner*innen	15
Allgemeiner Teil.....	15
Interviews: Individuelle Teile	18
Mobilitäts-Hubs.....	18
Fuss- und Veloverkehr	19
First-/last-mile-Angebote — mybuxi	21
Nachhaltige Antriebstechnik: Brennstoffzelle	22
Funktionsweise der Brennstoffzelle und ihre Bedeutung	22
Farben des Wasserstoffs	22
Interview — nachhaltige Antriebstechnik	23
Reaktionsgleichung	24
Experiment.....	25
Ziel	25
Aufbau	25
Vorgehen	26
Leistung P.....	26
Wirkungsgrad.....	28
Fehlerrechnung.....	29
Beobachtung.....	29
Fazit.....	30
<i>Berechnung zur Verifizierung / Falsifizierung der Forschungsfrage</i>	31
Mobilitäts-Hubs	31
Fuss- und Veloverkehr.....	31
First-/last-mile-Angebote — mybuxi.....	31
<i>Gedanken einer Klimaaktivistin</i>	32
Schluss	33
<i>Fazit</i>	33
<i>Verdankung</i>	34
Anhang	35
<i>Expert*inneninterviews</i>	35
Gisela Hinrichs — Mobilitätshubs	35
Tanja Hug — Langsamverkehr.....	38

Milena Rechsteiner — mybuxi	42
Auto AG Group – nachhaltige Antriebstechnik.....	45
<i>Berechnungen Messungen</i>	<i>48</i>
Leistung	49
Wirkungsgrad	50
Chemische Energie.....	50
Elektrische Energie.....	50
Quellen / Literaturverzeichnis	51
<i>Podcasts & Dokus</i>	<i>51</i>
<i>Bücher.....</i>	<i>51</i>
<i>Internetliteratur.....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildungen.....</i>	<i>52</i>

Glossar & Abkürzungsverzeichnis

Alphabetisch geordnet und im Text unterstrichen:

Anode	Elektrode, an der <u>Oxidations</u> reaktionen ablaufen ¹
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für <u>Verkehr</u>
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BEV	Battery electric vehicle: batteriebetriebenes Elektrofahrzeug ohne sekundäre Antriebsquelle (z.B. Verbrennungsmotor oder Brennstoffzelle) ²
CO ₂ -Äquivalent	Treibhauspotential: Masszahl für den relativen Beitrag zum <u>Treibhauseffekt</u> einer chemischen Verbindung ³
Fuss- und Veloverkehr	Nicht-motorisierte, durch Muskelkraft angetriebene Fortbewegungsmittel (zu Fuss, per Fahrrad, ...) ⁴ mit e-Bikes entsteht eine Mischform zum <u>MIV</u>
Graue Energie	Benötigte Energie für die Herstellung, den <u>Transport</u> , die Lagerung und Entsorgung eines Produktes ⁵
Kathode	Elektrode, an der <u>Reduktions</u> reaktionen ablaufen ⁶
Klimakrise	Wird in dieser Maturaarbeit anstelle von „ <u>Klimawandel</u> “ verwendet, beschreibt die ökologische, politische und gesellschaftliche Krise im Zusammenhang mit der menschengemachten globalen Erwärmung ⁷
Klimaneutralität	Durch einen Prozess oder eine Tätigkeit wird das Klima nicht beeinflusst ⁸
kV	kollektiver <u>Verkehr</u> : beinhaltet alle Arten von gemeinsamen <u>Verkehrsarten</u> und geht über den <u>öV</u> hinaus ⁹
Klimawandel	Umgangssprachlich für „globale Erwärmung“ ¹⁰ , harmloser Begriff für „ <u>Klimakrise</u> “ ²
Kfz	Kraftfahrzeug: Fahrzeuge, die durch einen Motor angetrieben werden und nicht an Schienen gebunden sind ¹¹
LITRA	Verein, der sich für den <u>öV</u> der Schweiz einsetzt ¹²
MIV	Motorisierter Individual <u>verkehr</u> : <u>Kraftfahrzeuge</u> zur individuellen Nutzung (<u>Pkw</u> , Motorräder, Mofas, Carsharing, Taxi, ...) ¹³
Mobilität	Geografische Beweglichkeit von Personen und Gütern ¹⁴
Modalsplit	Bezeichnung in <u>Verkehrsstatistik</u> zur Verteilung des <u>Transportaufkommens</u> auf verschiedene <u>Verkehrsträger</u> / -mittel ¹⁵

¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Anode>, 30.9.2021

² https://en.wikipedia.org/wiki/Battery_electric_vehicle, 30.9.2021

³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauspotential>, 30.9.2021

⁴ <https://de.wikipedia.org/wiki/Langsamverkehr>, 30.9.2021

⁵ https://de.wikipedia.org/wiki/Graue_Energie, 30.9.2021

⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Kathode>, 30.9.2021

⁷ <https://de.wikipedia.org/wiki/Klimakrise>, 30.9.2021

⁸ <https://de.wikipedia.org/wiki/Klimaneutralit%C3%A4t>, 30.9.2021

⁹ https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/_00669382.html, 30.9.2021

¹⁰ https://de.wikipedia.org/wiki/Globale_Erw%C3%A4rmung, 30.9.2021

¹¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Kraftfahrzeug>, 30.9.2021

¹² <https://litra.ch/de/>, 30.9.2021

¹³ https://de.wikipedia.org/wiki/Individualverkehr#Motorisierter_Individualverkehr, 30.9.2021

¹⁴ https://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%A4umliche_Mobilit%C3%A4t, 30.9.2021

¹⁵ https://de.wikipedia.org/wiki/Modal_Split, 30.9.2021

Netto-Null	Auf einer bestimmten Fläche werden nicht mehr (Treibhausgas)Emissionen verursacht, als auf derselben durch natürliche Ökosysteme gebunden werden können.
Nachhaltigkeit ÖV	Dauerhafte Ressourcennutzung, ohne Schaden zu hinterlassen ¹⁶ öffentlicher <u>Verkehr</u> (in der CH auch konzessionierter <u>Verkehr</u>): Teil des <u>Verkehrs</u> von Personen und Gütern, der für die ganze Bevölkerung zugänglich ist ¹⁷ gemäss Personenbeförderungsgesetz ¹⁸ , Teil des <u>kV</u>
Oxidation	Elektronenabgabe
Personenmobilität	Geografische Beweglichkeit von Personen (→ <u>Mobilität</u>)
Personenverkehr	Ortsveränderung / Beförderung von Personen ¹⁹
<u>Pkw</u>	Personenkraftwagen (auch PW): Fahrzeug mit eigenem Antrieb, das zur Teilnahme am öffentlichen <u>Strassenverkehr</u> zugelassen ist und vorwiegend der Personenbeförderung dient
<u>Reduktion</u>	Elektronenaufnahme
Road-pricing	Strassennutzungsgebühren: direkte Gebühren für die Nutzung von Strassen, die davon abhalten sollen, bestimmte Fahrzeugklassen, Kraftstoffquellen oder umweltschädliche Fahrzeuge zu benutzen. ²⁰
Schwerverkehr	Strassent <u>ransport</u> mit schweren Nutzfahrzeugen, keine einheitliche Klassifizierung vorhanden ²¹
Stakeholder	Anspruchsberechtigte* ^r oder Anspruchsgruppe: Person oder Gruppe, die ein Interesse am Verlauf eines Projektes hat ²²
Transport	<u>Verkehr</u> in Form von Bewegung ²¹
Treibhauseffekt	Wirkung von Treibhausgasen in einer Atmosphäre auf die Temperatur der Planetenoberfläche ²³
Verkehr	Ortsveränderung von Personen und Gütern ²⁴
Well-to-wheel	Analysemethode im Bereich der <u>Kraftfahrzeuge</u> (→ <u>Kfz</u>), welche die Wirkungskette von der Gewinnung der Antriebsenergie bis zur Umwandlung in kinetische Energie beschreibt. ²⁵

¹⁶ <https://de.wikipedia.org/wiki/Nachhaltigkeit>, 30.9.2021

¹⁷ https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%96ffentlicher_Verkehr, 30.9.2021

¹⁸ <https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2009/680/20180301/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-2009-680-20180301-de-pdf-a.pdf>, 30.9.2021

¹⁹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Personenverkehr>, 30.9.2021

²⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Road_pricing, 30.9.2021

²¹ <https://de.wikipedia.org/wiki/Schwerlastverkehr>, 30.9.2021

²² <https://de.wikipedia.org/wiki/Stakeholder>, 30.9.2021

²³ <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt>, 30.9.2021

²⁴ <https://de.wikipedia.org/wiki/Verkehr>, 30.9.2021

²⁵ <https://de.wikipedia.org/wiki/Well-to-Wheel>, 30.9.2021

Einleitung

Ist Netto-Null in der Personenmobilität der Schweiz realistisch oder möglich?
Und falls ja, wie?

Über Klimaziele wird viel gesprochen, mal ernsthaft, mal weniger. Die Schweiz hat zwar 2015 das Pariser Klimaabkommen unterzeichnet, doch ist sie von Netto-Null noch weit entfernt. Netto-Null, auch als „Klimaneutralität“ bezeichnet, will heissen, dass auf einer bestimmten Fläche - hier der Schweiz - nicht mehr Emissionen verursacht werden, als durch natürliche Ökosysteme derselben Fläche aufgenommen werden können. Die Schweiz hat sich dazu verpflichtet, Netto-Null bis 2050 zu erreichen²⁶. In den Strategie- und Planungsdokumenten des Bundes sind daraus abgeleitete Ziele und zugehörige Massnahmen nicht klar ersichtlich.

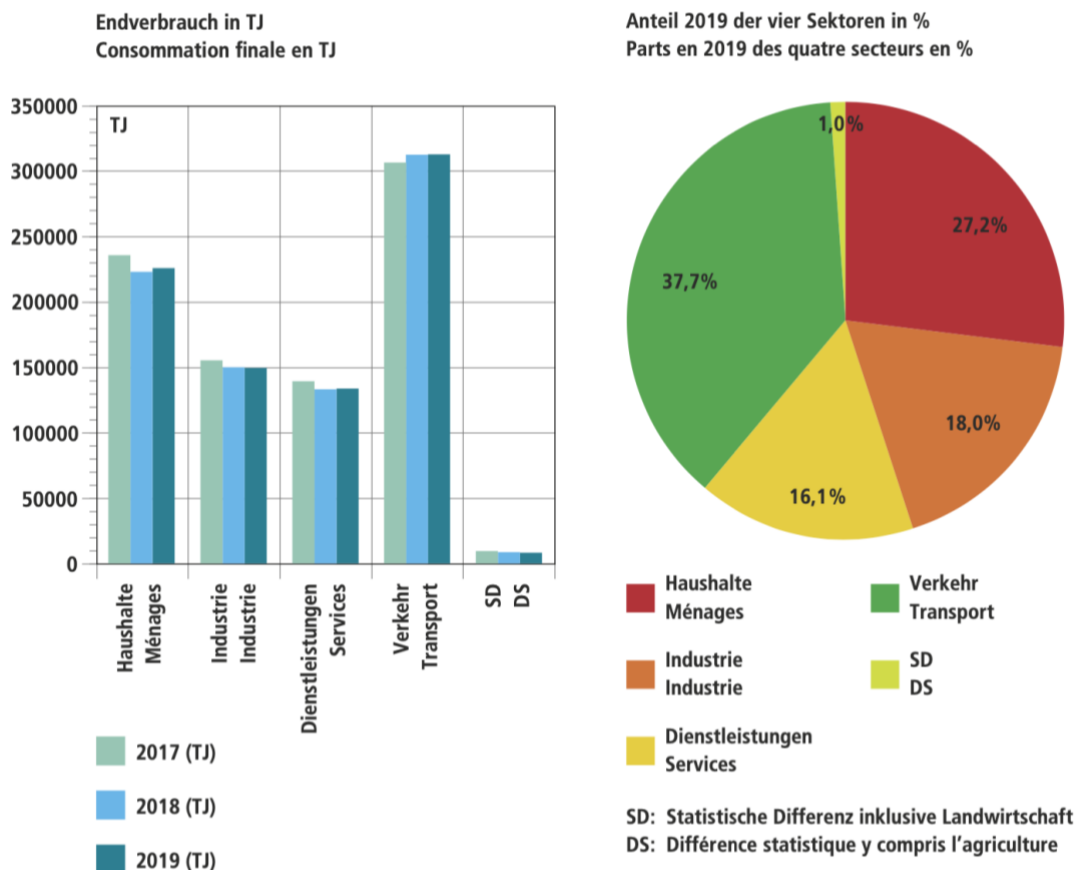
Die Klimabewegung – in der Schweiz der „Klimastreik“ – fordert die Reduzierung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null bis 2030. Würden wir weiterfahren wie bisher, ist die Erderwärmung um 1,5°C bis dahin erreicht, so der aktuellste IPCC-Bericht²⁷ (→ S. 13). Um das Netto-Null Ziel in gerade einmal neun Jahren zu erreichen, muss viel getan werden. Fest steht: Je schneller wir die Emissionen senken und sogar kompensieren, desto langsamer schreitet die Erderwärmung voran und desto weniger verheerend sind deren Auswirkungen. Trotz zahlreicher langjähriger Bemühungen Einzelner ist die Erreichung der Klimaziele in weiter Ferne. Die Katastrophenmeldungen überschlagen sich, die Wissenschaft warnt vor irreversiblen Schäden.

Was muss sich also ändern? Klar ist, dass es nicht die *eine Lösung* gibt und auch nicht geben wird. Es braucht Veränderungen in all unseren Lebensbereichen. Vieles ist bereits im Gange.

²⁶ <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76206.html>, 9.10.2021

²⁷ https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf, 26.8.2021

Eingrenzung



BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019 (Fig.3)
OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2019 (fig.3)

Abbildung 1: Entwicklung und Anteil der fünf Verbrauchsgruppen am Energieverbrauch (TJ = Terajoule)²⁸

Den Zahlen der Bundesämter für Statistik (BFS) und für Energie (BFE) ist zu entnehmen, welche Bereiche unseres Lebens den grössten Energiebedarf haben. Unterteilt wird in Haushalte, Industrie, Dienstleistungen, Verkehr und SD (inkl. Landwirtschaft). Den grössten Anteil hat der Verkehr mit 37,7%²⁸. Andere Quellen gehen gar von 40% aus²⁹.

Der Energiebedarf des Verkehrs wurde 2019 zu 94% mit Erdölprodukten – Benzin, Diesel, Flugtreibstoffe – gedeckt (→ Abbildung 2)³⁰. Um klimaneutral zu werden, muss von ebendiesen fossilen Brennstoffen abgesehen werden.

²⁸ <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>, 14.10.2021

²⁹ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr.html>, 27.9.2021

³⁰ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/grafiken.assetdetail.13887394.html>, 5.10.2021

Energieverbrauch im Verkehr

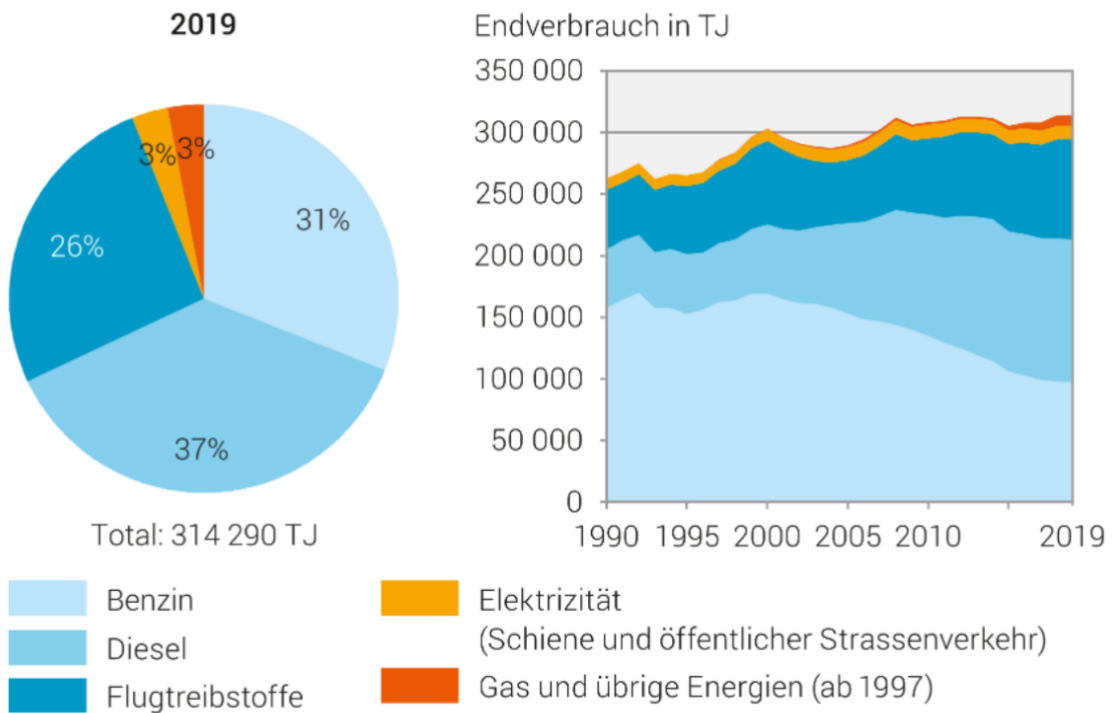


Abbildung 2: Deckung Energieverbrauch Verkehr Schweiz 2019³⁰

Das Fliegen wird als besonders grosse Klimaschleuder angesehen. Da die Luftfahrt sich nur schlecht auf die Schweiz herunterbrechen lässt und es für Inlandflüge schon heute Alternativen gibt, wird sie aus dieser Maturaarbeit ausgeklammert, ebenso die Schifffahrt.

Der Güterverkehr wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da dies den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde. Trotzdem können auch in diesem Sektor weitere Fortschritte erzielt werden, beispielsweise durch *Vermeidung* und *Verkürzung* von Transportwegen. Eine Möglichkeit, dies zu erleichtern sind Herstellungsstätten, die näher an den Konsument*innen liegen.

Seit 10 Jahren stagniert der Anteil des öffentlichen Verkehrs in der Schweiz trotz bedeutenden Investitionen in den Ausbau.

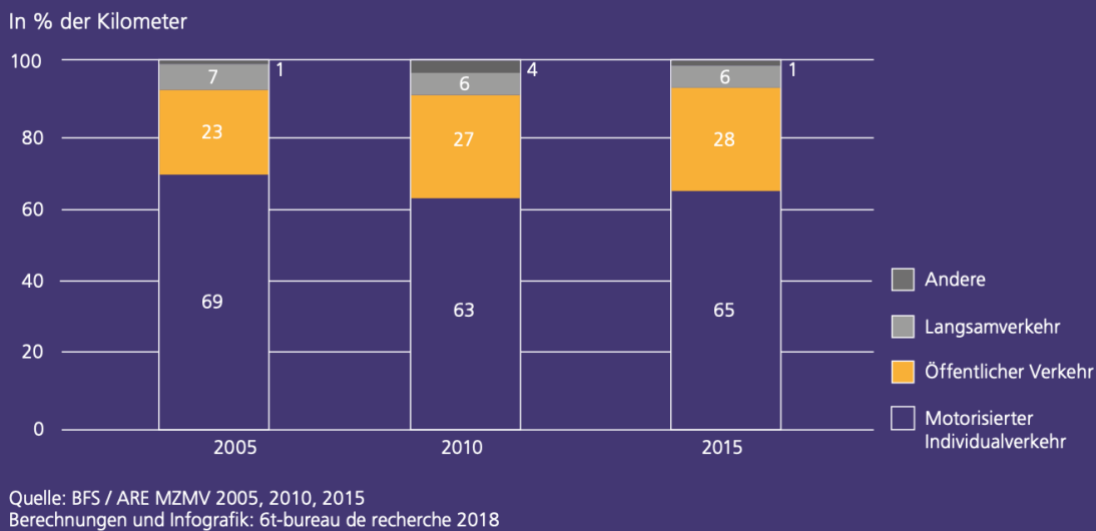


Abbildung 3: Modalsplit Schweiz 2005-2015³¹

Der Begriff Modalsplit dient in der Verkehrsstatistik dazu, den Verkehr nach Transportmittel zu unterteilen. Gemäss LITRA hat der öffentliche Verkehr (öV)³¹ im Jahr 2015 einen Anteil von 28%, während das BFS diesen im gleichen Jahr mit 20% angibt³². In diesem Bereich laufen diverse Bemühungen die Emissionen zu senken und das Netto-Null-Ziel wird vielerorts bereits angestrebt.

Die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), die grösste Eisenbahnbetreiberin der Schweiz, bezieht bereits heute 90% ihrer benötigten Energie aus Wasserkraft und will dies bis 2025 zu 100% tun³³. Nach ihrem Plan werden die SBB in vier Jahren klimaneutral fahren.

Auch Bus- und Tramunternehmen steuern die Klimaneutralität an. Im Falle von Bernmobil ist dieses Ziel für 2035 festgeschrieben³⁴. Dies soll durch die Elektrifizierung der Busflotte gelingen.

Aufbau

Somit bleibt der motorisierte Individualverkehr (MIV), der 2015 65% des Modalsplits ausmachte³¹ und zu dem es heute ausserhalb der Stadtzentren kaum Alternativen gibt. Dieser Bereich soll das **Kernstück** des theoretischen Teils dieser Arbeit werden.

Im Mittelteil werden Messungen mit einer Brennstoffzelle als mögliche nachhaltige Antriebsart vorgenommen und mit der Literatur abgeglichen. Dazu soll beleuchtet werden, wie sinnvoll deren flächendeckender Ausbau ist und was es dazu braucht.

Zum Schluss soll durch ein Gedankenexperiment beantwortet werden, ob und allenfalls wie Netto-Null 2030 in der Personenmobilität erreicht werden kann.

³¹ BFS / ARE MZMV 2005, 2010, 2015, Berechnungen und Infografik: 6t-bureau de recherche 2018

³² <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/nachhaltige-entwicklung/monet-2030/alle-nach-themen/11-staedte-gemeinden/modalsplit-personenverkehr.html>, 9.10.2021

³³ <https://company.sbb.ch/de/sbb-als-geschaeftpartner/leistungen-evu/energie/energiestrategie.html>, 5.9.2021

³⁴ <https://geschaeftsbericht.bernmobil.ch/de/fokus-2019/fahrzeuge/?oid=61&lang=de>, Abschnitt «Strom statt Gas», 5.9.2021

Methodik

Zur übersichtlichen Gliederung wird in dieser Maturaarbeit auf die vierteilige Einteilung, die *vier V's*, der *Mobilitätsstrategie Region Bern-Mittelland 2040*³⁵ zurückgegriffen. Die vier Begriffe sind:

- *Vernetzen*
- *Vermeiden*
- *Verlagern*
- *Verträglich gestalten*

Der aktuelle Stand der Wissenschaft und bestehende Lösungsansätze werden zu Beginn anhand von Literaturrecherchen dargelegt.

Weiter werden vier Expert*innen aus unterschiedlichen Feldern der Mobilität schriftlich zu ihrem Fachgebiet (Mobilitäts-Hubs, Fuss- und Veloverkehr, first-/last-mile-Angebote, nachhaltige Antriebstechnik) befragt und die Erkenntnisse miteinander verknüpft. Die Befragungen bestehen jeweils aus einem allgemeinen Teil, in dem alle Befragten dieselben Fragen beantworten, und einem individuellen Teil, in dem näher auf das Kerngebiet der Befragten eingegangen wird. Die kompletten Fragebögen sind im Anhang zu finden.

Die Brennstoffzelle ist eine nachhaltige Antriebsart. Um näher auf sie einzugehen, werden Messungen zu Leistung und Wirkungsgrad im Labor durchgeführt. Gelingt es, den für Brennstoffzellen benötigten Wasserstoff flächendeckend klimaneutral herzustellen, ist dies ein bedeutender Schritt in eine Netto-Null-Gesellschaft.

Damit die Forschungsfrage beantwortet werden kann, werden zum Schluss in einem Gedankenexperiment Berechnungen angestellt und die wichtigsten Erkenntnisse zusammengefasst.

³⁵Regionalkonferenz Bern-Mittelland RKBM: Mobilitätsstrategie Region Bern-Mittelland 2040, S. 31ff., Dezember 2019,
https://www.bernmittelland.ch/wAssets/docs/themen/verkehr/projekte/mobilitaetsstrategie-2040/Mobilitaetsstrategie_Region_Bern-Mittelland_2040.pdf, 20.7.2021

Hauptteil

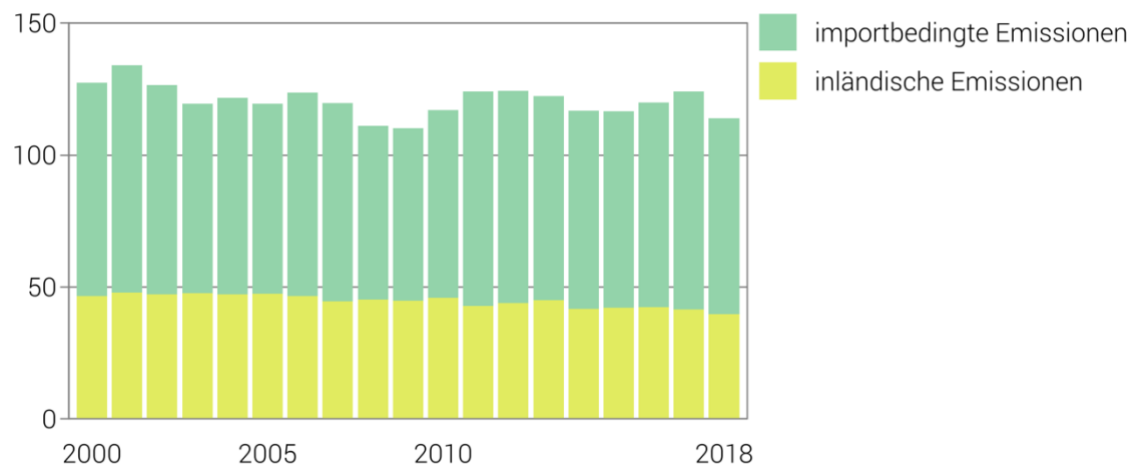
Aktueller Stand

Die durch Importgüter im Ausland verursachten Emissionen eingerechnet, ist in der Schweiz jede Person jährlich für durchschnittlich 14t CO₂-Äquivalente verantwortlich (2015)³⁶. Andere Quellen gehen von 4-5t jährlichen CO₂-Äquivalenten aus, haben jedoch die importbedingten Emissionen nicht miteinberechnet. Durch die in den letzten Jahrzehnten zunehmende Auslagerung von Industrieproduktionen ins Ausland lassen sich teils sinkende Emissionspfade erklären. Da diese Emissionen allerdings ebenfalls durch unser Konsumverhalten entstehen und quantitativ nicht unbedeutend sind, (→ Abbildung 4) müssen sie ebenfalls in Überlegungen und Berechnungen zur Erreichung der Klimaneutralität einfließen. Um die planetaren Belastbarkeitsgrenzen einzuhalten, dürfen 0,6t CO₂-Äquivalente jährlich pro Kopf nicht überschritten werden³⁶.

Treibhausgas-Fussabdruck

Treibhausgasemissionen aufgrund der Schweizer Endnachfrage

Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente



Quelle: BFS – Umweltgesamtrechnung

© BFS 2020

Abbildung 4: Treibhausgasausstoss durch die Schweizer Bevölkerung verursacht³⁷

Wissenschaft

IPCC-Bericht 2021³⁸

Der neueste, im August 2021 erschienene IPCC-Bericht (The Intergovernmental Panel on Climate Change) der Vereinten Nationen zeichnet ein düsteres Bild. Der alle fünf Jahre erscheinende Bericht fasst den aktuellen Forschungsstand der Klimawissenschaften zusammen und umfasst paläoklimatische Beobachtungen³⁹ sowie globale und regionale Klimasimulationen. Zum einen enthält der Bericht die Erkenntnis, die Erderwärmung sei durch den Menschen verursacht. Zum anderen Voraussage, die Erde werde sich bei der aktuellen Entwicklung bereits gegen 2030, also in knapp neun Jahren, um 1,5°C im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter erwärmt haben. 2018 war die Überschreitung der 1,5°C-Grenzen noch zehn Jahre später prognostiziert worden. Einige Schäden werden Jahrhunderte, wenn nicht Jahrtausende bestehen bleiben, so zum Beispiel der Gletscherschwund und das Abschmelzen der Polkappen. Als weitere Folgen werden Einschränkungen der Lebensmittelproduktion, Folgen der extremen Hitze und der Anstieg des

³⁶ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/inkuerze.html#-1439031040>, 28.8.2021

³⁷ <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltgesamtrechnung/luftemissionen.assetdetail.14447849.html>, 14.10.2021

³⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=NPdqSakXwUM> 9.8.2021

³⁹ Erforschung des Klimas vor instrumentalen Aufzeichnungen: <https://en.wikipedia.org/wiki/Paleoclimatology>, 7.10.2021

Meeresspiegels genannt. Sie alle können Flüchtlingskrisen mit negativen Auswirkungen auf die Weltwirtschaft und die Biosphäre auslösen.

Da sich die Klimakrise noch weitere Jahrzehnte und länger verschärfen wird, wird beim IPCC neben deren Abmilderung auch ein Augenmerk auf die Klimaanpassung gelegt. Um nicht noch mehr Menschenleben zu fordern, bedarf es mehr und ausgebauten Frühwarnsystemen sowie Wettervorhersagen.

Lösungsansätze

Mobilitätsstrategie Region Bern-Mittelland 2040

Die Mobilitätsstrategie der Regionalkonferenz Bern-Mittelland wurde Ende 2019 fertiggestellt. Sie strebt eine «effiziente, nachhaltige und vernetzte Mobilität für alle» an. Ziel der Strategie ist es, einen Rahmen für drei Herausforderungen bis ins Jahr 2040 zu geben. Die drei sind: *Bevölkerungs- und Arbeitsplatzwachstum, Dekarbonisierung sowie Digitalisierung & Automatisierung*. Die Dekarbonisierung, die für Klimaneutralität notwendig ist, wird allerdings erst mittel- oder langfristig angestrebt.

Climate Action Plan (CAP)

Für Klimastreikende steht fest: Netto-Null muss bis spätestens 2030 erreicht sein. Gemeinsam mit Wissenschaftler*innen und Expert*innen aus allen Fachgebieten (Mobilität, Gebäude & Raumentwicklung, Industrie & Dienstleistungssektor, Energieversorgung, Landwirtschaft & Ernährung, Finanzsektor, Bildung, ...) wurde der rund 300-seitige Klimaaktionsplan ehrenamtlich ausgearbeitet und anfangs 2021 veröffentlicht. Da es sich um eine Sammlung möglicher Massnahmen handelt, ist die Wirkung der einzelnen Massnahmen oder von Kombinationen unklar. Eine Lösung für eine klimaneutrale Mobilität für Menschen in ländlichen Regionen ist auch hier nicht zu finden.

Auswertung, Verknüpfung, Erkenntnisse aus Expert*inneninterviews

Interviewpartner*innen

Gisela Hinrichs:	Mobility Intrapreneur bei den Schweizerischen Bundesbahnen, Expertin Mobilitäts-Hubs, beantwortet die Fragen als Privatperson
Tanja Hug:	Projektleiterin „Fuss Velo Köniz“ der Gemeinde Köniz, Expertin <u>Fuss- und Veloverkehr</u> , beantwortete die allgemeinen Fragen als Privatperson
Milena Rechsteiner:	Stellvertretende Geschäftsleiterin bei mybuxi, Expertin first-/last-mile
Auto AG Group:	Schweizer Pionierin <u>nachhaltige</u> Antriebstechnik, tätig in den Bereichen <u>öV</u> , Nutzfahrzeugverkauf sowie -service und Fahrzeugbau, Expertin Brennstoffzelle

Die vollständigen Fragebögen sind im Anhang zu finden.

Allgemeiner Teil

1. Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr auf der Fläche der Schweiz (ohne Einbezug der grauen Energie) möglich / realistisch?

Die Auto AG Group und Rechsteiner halten dieses Ziel rein technisch für machbar. Die heute vorhandenen grünen Ressourcen reichten dazu allerdings noch nicht aus. Beide betonen, die Schwierigkeiten lägen bei der Finanzierung und der Einstellung der Leute. Auch Hug schreibt, die Akzeptanz und der Wille für Veränderung seien in der Bevölkerung noch nicht genügend vorhanden. Hoffnungsvoll stimmen sie die Bemühungen auf strategischer Ebene, welche in die richtige Richtung gingen. Darüber, ob diese für Netto-Null 2030 ausreichen, gibt sie keine Einschätzung ab. Weniger hoffnungsvoll ist Rechsteiner und überträgt die ausgebliebenen Veränderungen der letzten 10 Jahre auf die kommenden. Die Auto AG Group nennt eine Herausforderung in der aktuellen gesetzlichen Lage – beispielsweise bezüglich der Arbeitszeiten – die eine gleichmässige Auslastung der Infrastruktur blockieren und damit den nötigen Umbau der gesamten Wirtschaft verhindert. Netto-Null verzögern könne ausserdem der motorisierte Individualverkehr (MIV), denn die Nutzungsdauer vieler Fahrzeuge betrage 10 Jahre oder sogar länger. Von nun an müssten folglich alle Neubeschaffungen emissionsfrei sein. Später im Interview führt sie aus, die Bevölkerung wolle Energie, möchte dafür aber keine weiteren Anlagen (Bau von Windparks, Erhöhung von Staumauern, Solarparks, Fassadeneinkleidung mit Solarzellen, ...) bauen, um die Energie nachhaltig herzustellen. Wie auch Rechsteiner und Hug wird der Knackpunkt also bei der Bereitschaft der Menschen gesehen.

2. Was braucht es, um dieses Ziel [Netto-Null 2030] zu erreichen?

Hinrichs und Hug sind sich einig: Die Zugänglichkeit der Angebote und die Zahlungsmöglichkeiten werden vereinfacht werden. Hug nennt die „sichere Infrastruktur fürs Velo“ und ein nach wie vor gutes öV-Angebot. Dies wird von Rechsteiner ergänzt,



Abbildung 5: Cartoon, Quelle: CAP

die schreibt, die Menschen müssten vermehrt auf das eigene Auto und das Fliegen verzichten. Hinrichs fasst zusammen, das Zusammenspiel aller Verkehrsträger sei gefordert. Sie bringt zudem ein, es brauche „ein Umdenken, wo Arbeit / Ausbildung / Freizeit erfolgen soll und kann“. „Es braucht das Bewusstsein der Menschen, dass eine Änderung ihrer Gewohnheiten unabdingbar ist“, so auch Rechsteiner. Die Auto AG Group rechnet mit hohen Kosten, geht aber davon aus, dass wir uns diese leisten könnten, wenn wir nur wollten. Heute sei die Schweiz zwar noch nicht in der Lage, die notwendige Energie

für Batterien und die H₂-Produktion selbstständig auf grüner Basis herzustellen, doch sei die Technologie mittelfristig in der Lage, Netto-Null möglich zu machen. Dazu müsse der Strom dort produziert werden können, wo dieser benötigt werde. Dazu nötige Gesetze werden derzeit noch bekämpft. Rechsteiner sieht trotzdem Chancen, über die Politik vorzugehen, denn es brauche CO₂-Abgaben für den Flugverkehr und bei den Autos eine Lenkungsabgabe für das Benzin. Neben einem Verbot von fossilen Motoren müssten auch Anreize geschaffen werden, damit die Leute ihre Gewohnheiten änderten. Eine Möglichkeit dazu sieht sie in den Subventionen. Ohne Hebel am Portemonnaie seien Menschen leider nicht zu einem Umdenken oder anderem Handeln zu bewegen, so auch die Einschätzung Hugs. Sie schlägt road-pricing insbesondere in den Städten vor.

3. Welches der vier V's sehen Sie zur Erreichung dieses Zieles als das wichtigste an?

Am wirkungsvollsten, aber auch am schwersten umsetzbar sei das *Vermeiden* denken Hug und Hinrichs. Hug meint, der Grund hierfür sei, dass es den Einzelnen / die Einzelne in seinem / ihrem Handeln einschränken könnte. Als realistischstes Ziel sieht Hinrichs deswegen das *Verlagern* mit *Vernetzen* als Voraussetzung. Ebenfalls auf *Verlagern* setzt Rechsteiner und betont, dass dies gesetzlich vorgegeben gehöre. Anders die Auto AG Group, die neben dem *Vernetzen* als einzige *Verträglich gestalten* nennt. Hug hält fest: „Die Idee der vier V's ist doch gerade, dass sie nur in Kombination genügend Durchschlagskraft erhalten.“

4. Inwiefern trägt Ihr Projekt zur Erreichung dieses Zieles bei?

Tanja Hug schreibt, „Fuss Velo Köniz“ als Programm zur Förderung des Fuss- und Veloverkehrs setze bei *Verlagern* an. Wer unterwegs sei, solle dies bitte, wenn immer möglich, zu Fuss oder mit dem Velo tun.

Das Projekt mybuxi, so Rechsteiner, fahre nach Möglichkeit mit lokal produziertem E-Strom, transportiere mehrere Personen auf einmal (*Ride-sharing*) und kombiniere Fahrten (*Pooling*). Damit würden mit einem mybuxi bis zu 30 Pkw ersetzt.

Die Auto AG Group sei die erste gewesen, die Nutzfahrzeuge (<3,5t) mit elektrischem Antrieb ins Angebot aufgenommen habe. Ausserdem ist sie führend im Warentransport: Mit *HMM (Hyundai Hydrogen Mobility)*⁴⁰ bringt sie derzeit wasserstoffbetriebene Lastwagen auf die Strasse. Ziel sei es, nimmt die Auto AG Group eine Herausforderung vorneweg, dass die Fahrzeuge ausschliesslich mit grünem Wasserstoff unterwegs seien, sofern die grüne Produktion nicht ausfällt (→ S. 23).

5. Welche Konzepte wie Mobilitäts-Hubs, first- / last mile-Angebote, Förderung Fuss- und Veloverkehr oder weitere haben für sich alleine oder in Kombination ein Potential zur Erreichung des Netto-Null-Ziels?

Rechsteiner bemerkt, die Menschen müssten vermehrt auf das eigene Auto verzichten. Hinrichs hält dem entgegen, das Privatfahrzeug erfülle die vielfältigen und individuellen Bedürfnisse der Menschen häufig schon sehr gut. „Nur die Bedürfnisse aus gesamtgesellschaftlicher Sicht werden nicht so gut erfüllt (z.B. Stau, Unfälle, CO₂-Ausstoss)“. Da sich die Bedürfnisse sehr unterschieden, seien verschiedene Massnahmen und Angebote erforderlich, um möglichst viele Mobilitätsbedürfnisse zu erfüllen. Auch die Auto AG Group sieht den Schlüssel in der Kombination. Ebenso Rechsteiner, die ausführt, am wichtigsten sei es, von den Treibhausgasen wegzukommen, was durch E-Mobilität erreichbar sei. Aufgrund der grauen Energie und der Form des Einsatzes sei Wasserstoff bei dauerhaft eingesetzten Fahrzeugen – wie das bei mybuxi der Fall sei – die bessere Alternative als es Batterien seien. Auch im Fuss- und Veloverkehr sieht sie Chancen und legt die Wichtigkeit dar, dass die Erreichbarkeit auch auf dem Land ohne Privatauto gegeben sei.

⁴⁰ <https://hyundai-hm.com/>: Unternehmen, das sich der Dekarbonisierung des Schwerverkehrs verschrieben hat, 30.8.2021

Interviews: Individuelle Teile

Mobilitäts-Hubs

Gisela Hinrichs beschreibt Mobilitäts-Hubs, die vom Bund auch „Verkehrsdrehscheiben“ genannt werden, als eine Verbindung zwischen verschiedenen Transportangeboten. Bahnhöfe sind nicht mehr nur Standort für eine Bahn; sie sind Elemente in einem Netzwerk aus Verbindungen, deswegen der Name „hub“ (engl. Mittel- / Angelpunkt).

Mobilitäts-Hubs sollen zum einen attraktiven Zugang zum kollektiven Verkehr bieten und beispielsweise einen Umstieg vom MIV auf den öV ermöglichen. Zum anderen soll der öV physisch optimal vernetzt werden, was den Umstieg zwischen den Verbindungen erleichtert und auch Menschen mit körperlichen Beeinträchtigungen zugänglich macht. Mobilitäts-Hubs gehören somit in den Bereich der *Vernetzung*, können aber auch die *Verlagerung* unterstützen. Sind sie richtig ausgestaltet, bieten sie auch Potential zur *Vermeidung* von Mobilität.

Nicht nur grosse Zentren, auch kleine und mittlere Zentren sollen durch Hubs gestärkt werden. Um die Bedürfnisse **aller** Menschen zu erfüllen, müssen mehrere Funktionen vorhanden sein: Hubs sollen einen Wechsel der Transportmittel ermöglichen, die Durchlässigkeit für Stadtbeziehungsweise Gemeindeteile sicherstellen, die kommerzielle Nutzung ermöglichen sowie Produkt- und Dienstleistungsangebote beinhalten, wie gegebenenfalls auch ein kulturelles Angebot beherbergen. Zudem müssen Hubs das Kriterium nach räumlicher und gesellschaftlicher Integration in der Stadt beziehungsweise Gemeinde erfüllen.

Eine klare Definition, ab wann ein Bahnhof ein Mobilitäts-Hub ist, gibt es heute nicht. Es ist deshalb schwer festzustellen, ob bereits erste Hubs realisiert wurden oder ob jeder Bahnhof schon heute ein Hub ist. Eindeutige Erfahrungen sind aus diesem Grund noch keine vorhanden. Hinrichs sieht in Mobilitäts-Hubs ein Potential zur Stärkung des öV sowie des kollektiven Verkehrs. Je einfacher zugänglich ein Hub mit den einzelnen Transportangeboten sei und je mehr er den Menschen das Leben vereinfache – beispielsweise um Einkäufe zu erledigen – desto attraktiver werde es, Mobilitäts-Hubs und damit das dortige Mobilitätsangebot zu nutzen. Für den Modalshift seien sie zentral.

Als Herausforderungen nennt sie die grosse Anzahl Stakeholder mit sehr unterschiedlichen Zielsetzungen und eine fehlende Gesamtsicht. Auch die Finanzierung ist noch nicht gelöst. Nach Möglichkeit soll es nun konkrete Projekte geben.

Fuss- und Veloverkehr

Gemäss Tanja Hug sollen neue, sichere und direkte Fuss- und Velowege entstehen. Zusätzlich sind Veloabstellplätze sowie Sitzgelegenheiten im öffentlichen Raum in Planung. Weiter werden die Dienstleistungen ausgebaut: Velopumpen, Velozählstellen, mehr Leihvelos und Cargovelos wie auch weitere Massnahmen ergänzen das Vorhaben. Vom Könizer Parlament wurden für die Projektlaufzeit von vier Jahren jährlich 300'000 CHF gesprochen.

Ziel ist es, dass die Könizer*innen die Vorteile des Zu-Fuss-Gehens und des Velofahrens für sich entdecken und vermehrt nutzen. Hug sieht gleich mehrere Vorteile in dieser Verlagerung: „Das ist gesund, schafft Platz im öffentlichen Verkehr und auf unseren Strassen, senkt die Umweltbelastung und die Kosten der Gemeinde.“ Die Gemeinde Köniz, die seit Jahren rote Zahlen schreibt, lebt mit diesem einen Beispiel vor, wie ökologische Massnahmen zugleich ökonomisch sein können.



Abbildung 6: Stimmungsbild, Quelle: CAP

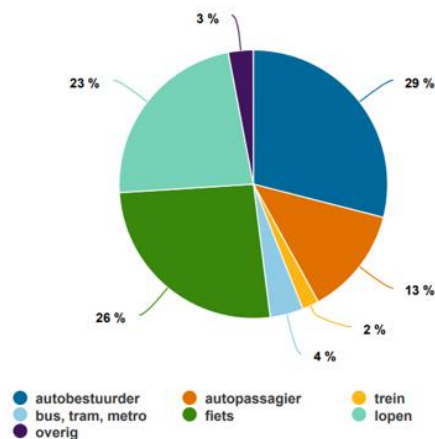


Abbildung 7: Verteilung der Verkehrsmittel für Fahrten im Personenverkehr, 2017. Quelle: Tom van Dam; Rohdaten: CBS, OViN 2017.

Die Regionalkonferenz Bern-Mittelland (RKBM) geht bis 2030 von einem Gesamtverkehrswachstum von 27% aus³⁵. Das Ziel der Gemeinde Köniz ist, den Modalsplit des Veloverkehrs von momentan 5% bis 2030 zu verdoppeln. Der Fussverkehr soll auf 32% gehalten werden. Auch der Modalsplit des öV von 20% soll gehalten werden, während der des MIV von 43% auf 38% gesenkt werden soll⁴¹. Zum Vergleich (→ Abbildung 7): In den Niederlanden machte der Fahrradverkehr 2017 26% der Fahrten aus, der Fussverkehr 23%, der öV 6% (2%+4%) und der MIV 42% (29%+13%). Der Fuss- und Veloverkehr kommt somit auf einen Anteil von fast 50%.

Für die Umsetzung der Könizer Ziele ist „Fuss Velo Köniz“ zuständig und setzt dabei Schwerpunkte in den drei Bereichen Infrastruktur, Dienstleistungs- und Fördermassnahmen sowie Kommunikation. In

freundlichem und animierendem Ton soll vermittelt werden, dass es für jeden Zweck geeignetere und weniger geeignete Verkehrsmittel gibt. Wichtig sei es, Grabenkämpfe zu vermeiden indem nicht „vom Autofahrer“ und „der Velofahrerin“ gesprochen wird.

Die Förderung des Fuss- und Veloverkehrs gehört dem Verlagern an. Hug bemerkt, dass ideal aufeinander abgestimmte Verkehrs- und Siedlungsplanung einen Beitrag zum Vermeiden leisten kann. Dies zu erreichen sei aufgrund unterschiedlicher Zeithorizonte von Projekten, vielen Stakeholdern und unterschiedlichen sich widersprechenden Interessen schwierig.

Zielgruppen gibt es mehrere: Während mit der Veloförderung vor allem ein Augenmerk auf Kinder und Jugendliche gelegt wird, soll besonders bei Senior*innen der Fussverkehr attraktiver werden. Jugendliche sollen fürs Velofahren sensibilisiert werden, da sich in diesem Alter das spätere Mobilitätsverhalten ausbildet. Allen Bevölkerungsgruppen sollen der hindernisfreie Zugang und Orte für Pausen – etwa Sitzbänke – gewährleistet werden.

Fuss-Velo-Konzepte entstehen derzeit vielerorts, die Gründe seien oft dieselben: Der öV kommt an die Kapazitätsgrenzen und steht immer mal wieder selber im Stau, der Ausbau der

⁴¹ https://www.koeniz.ch/public/upload/assets/15271/2019-03-18_Protokoll.pdf, S. 120, 1.10.2021

Infrastruktur fürs Auto ist teuer im Vergleich zu der des Fuss- und Veloverkehrs. Schweizer (beispielsweise Luzern und Bern), deutsche und französische Städte wollen das Defizit der 1950er bis 80er Jahre aufholen, in denen das Angebot für nicht-motorisierten Verkehr vernachlässigt wurde. Sie begrüßen am Fuss- und Veloverkehr die Emissions- und Platzsparsamkeit sowie die körperliche Bewegung, die Freude bereitet. Vorreiterinnen sind niederländische und dänische Städte.

Hug nimmt wahr, wie mit der vermehrten Thematisierung der Wichtigkeit, des Nutzens und der Vorteile von Fuss- und Veloverkehr, dessen Förderung vermehrt mitgetragen wird. Dies erleichtert die Umsetzung von Massnahmen, auch unbeliebteren, wie die Aufhebung von Autoparkplätzen. Nicht, dass es keinen Aufschrei mehr gebe, wenn beispielsweise in der Stadt Bern Parkplätze oder Autofahrspuren aufgehoben werden, doch wird dies inzwischen durchgezogen. Um diese Entscheidungen zu legitimieren und den Erfolg messen zu können, sei es ein wichtiger Faktor, den Anstieg im Veloverkehr beziffern zu können. Dazu wird das Velozählstellennetz ausgebaut. In Köniz kamen im vergangenen Jahr elf zu den vier bisherigen Zählstellen dazu. Deren Daten sind öffentlich zugänglich und können auf der Webseite der Gemeinde eingesehen werden⁴².

Weiter wird die bestehende Infrastruktur aus- beziehungsweise umgebaut, damit sich die Menschen sicher fühlen und sich überhaupt auf ein Velo oder zu Fuss aus dem Haus wagen. Im Vergleich zu Kommunikations-, Dienstleistungs- und Fördermassnahmen (KDF-Massnahmen) sind Infrastrukturmassnahmen kostspielig und eine langfristige Investition mit entsprechend langer Planungsphase, was sie herausfordernd macht. KDF-Massnahmen sind breiter akzeptiert, da sie niemanden in seinem / ihrem Privatbesitz einschränken. Indem sie Akzeptanz, Goodwill und öffentlichen Druck schaffen, ebnen sie im besten Fall den Weg für Infrastrukturmassnahmen.

In nächster Zeit wird „Fuss Velo Köniz“ weitere Dienstleistungsangebote, wie Velopumpen, schaffen und sich mit den Schulen für alternative Lösungen zu Eltern-Taxis engagieren. Mit dem Ansatz an den Schulen erhofft sich Hug, die Kinder nachhaltig zu sensibilisieren. Auch möchte sie Eigeninitiativen von Privatpersonen weiter unterstützen und erwähnt in diesem Zusammenhang ein älteres Paar aus dem Liebfeld, das mit einer Velo-Rikscha Ausfahrten für mobilitätseingeschränkte Menschen anbietet.⁴³



Abbildung 8: Velo-Rikscha von VeloRes⁴³

⁴² <https://www.fussveloköniz.ch/fuss-velo/mit-dem-velo/velozaehlung.page/1281>, 14.10.2021

⁴³ www.velores.ch, 20.8.2021

*First-/last-mile-Angebote — mybuxi**

Milena Rechsteiner, beschreibt das Vorhaben folgendermassen: „mybuxi bringt als soziales und nachhaltiges Mobilitätsangebot «Fahrt auf Verlangen» in den ländlichen Raum der Schweiz. Mit dem «erste & letzte Meile-Angebot» kann die ganze Schweiz ohne eigenes Auto mobil sein. mybuxi fährt nicht nach einem starren Fahrplan oder nach Linien, sondern flexibel in einer Region, genau wann und wo es gebraucht wird. Über die mybuxi-App buchen Passagiere die Fahrt zum Bahnhof, zum Arzt, zu Sehenswürdigkeiten, zum Einkaufen oder nach Hause. Nach der Eingabe von Startort, Anzahl Fahrgäste und Zielort werden sie vom mybuxi abgeholt, entweder «vor der Haustüre» (Tür-zu-Tür-Modus) oder an einem «virtuellen Haltepunkt» in der Nähe (Ecke-zu-Ecke-Modus). Das System von mybuxi bündelt Fahrgäste, die in der gleichen Richtung unterwegs sind. Durch dieses «Pooling» wird das Angebot von mybuxi einerseits wirtschaftlicher und verbessert andererseits die Ökobilanz der Mobilität.“ Auch hier wird daran gearbeitet, ein ökologisches Angebot zugleich ökonomisch zu gestalten.

Neben dem Personentransport gibt es in einigen Regionen die Möglichkeit, Einkäufe zu transportieren. Kund*innen können bei lokalen Geschäften eine Bestellung aufgeben, die dann mit *mybuxi market* geliefert wird.

Die Beweggründe sind klar: Während in der Stadt unzählige Alternativen zum Privatauto vorhanden sind, fehlen diese auf dem Land und für viele lässt sich der Alltag nicht ohne ein oder gar mehrere Autos organisieren. Staus in der Stadt, hoher Platzverbrauch für Parkplätze, Strassenspuren und Tankstellen wie auch der hohe CO₂-Ausstoss können durch Angebote wie mybuxi reduziert werden. mybuxi will deshalb bis 2025 ein flächendeckendes first-last-mile-Angebot in der Schweiz aufbauen. So sollen alle Bewohner*innen an das Netz des öV angebunden werden. Im Vordergrund steht, das Benutzen für Kund*innen so einfach und durchgängig nutzbar wie möglich zu machen. So wird auch die Zusammenarbeit mit Nachbarländern angestrebt, um die Grenzgebiete ebenfalls an das Angebot anzuschliessen. Das ehrgeizige Ziel lautet, 20% des Modalsplits zu Lasten des MIV zu erreichen und gleichzeitig den des öV von heute etwa 20% (Angabe BFS) auf 25% zu steigern. Hiermit unterscheidet sich die Zielsetzung von mybuxi mit derjenigen der Gemeinde Köniz, die für den MIV lediglich einen Abfall von 5% anstrebt. (→ siehe Abschnitt „Fuss- und Veloverkehr“)

mybuxi möchte zu allen *V's* etwas beitragen: Durch das App-System werden die Personentransporte digital *vernetzt*, durch die Bündelung von Waren werden Fahrten *vermieden*, mehrere Autos werden mit einem ersetzt – es wird somit *verlagert* – und die Autos sind elektrisch betrieben, was in den Bereich *Verträglich gestalten* gehört.

Weil mehrere Personen im selben Fahrzeug transportiert werden, wann immer dies machbar ist, wird die Auslastung der Fahrzeuge erhöht.

Zielgruppen gibt es auch bei mybuxi viele. mybuxi ist für all diejenigen Personen gedacht, die in den ländlichen Regionen der Schweiz wohnen, tätig sind oder ihre Freizeit verbringen und auf das Privatauto verzichten möchten oder müssen.

Stand August 2021 gibt es mybuxi in der Region Herzogenbuchsee, Emmental und Andermatt. Erfreulich sei, dass Personen, die bereits mit mybuxi gefahren sind, immer wieder damit unterwegs sind. Schwierig dagegen sei, neue Personen zu gewinnen. „Man verkauft mit mybuxi nicht einfach ein Produkt, sondern eine Idee / eine Einstellung. Die Leute müssen anfangen, auf ihr eigenes Auto verzichten zu wollen. Und eine Einstellungsänderung zu bewirken, ist unglaublich schwierig.“ Eine weitere Schwierigkeit liege in der Politik: Noch gebe es viele Regeln und Gesetze, die starr seien und sich in Richtung on-demand Mobilität verändern müssten. Viele Maschen gebe es, durch die neue Ideen hindurch fallen, da es schlicht keine Gesetze für sie gibt. Bis 2025 will mybuxi die ganze Schweiz abdecken. Um das Potential von first-/last-mile-Angeboten auszuschöpfen, sollen sie CO₂-neutral sein, den MIV ersetzen und den öV ergänzen. Kommt es soweit, haben diese Angebote grosses Potential, dem Netto-Null-Ziel näher zu kommen.

*Autorinnenanmerkung: Ich bin selbst Praktikantin bei mybuxi. Daher sind mir die Vorgänge und Zielsetzungen bekannt.

Nachhaltige Antriebstechnik: Brennstoffzelle

Funktionsweise der Brennstoffzelle und ihre Bedeutung

Nun sind die Wegstrecken verkürzt, die kurzen Strecken auf nicht-motorisierten Verkehr verlagert und die verbleibenden Autos bestmöglich ausgelastet. Bei diesen spielt neben der grauen Energie auch der Antrieb eine grosse Rolle auf dem Weg zur Klimaneutralität. Aktuell werden verschiedene Möglichkeiten erforscht und getestet. Der Elektromotor und der Wasserstoffantrieb (Brennstoffzelle) sind derzeit führend. Im Folgenden wird durch Experimente zur Leistung und zum Wirkungsgrad weiter auf die Brennstoffzelle eingegangen.

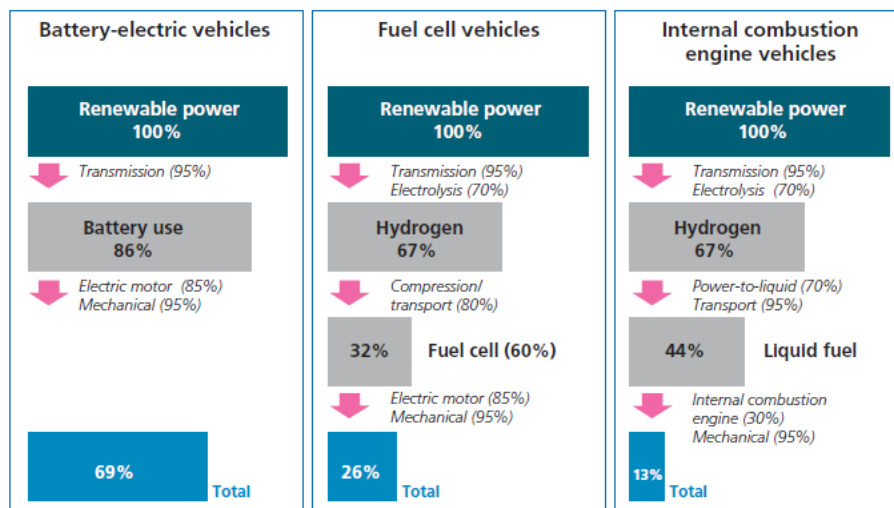


Figure 3.1 Conversion efficiency comparison for electricity used in BEVs, FCEVs and synthetic fuel ICES. (Redrawn from figure 5 in Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina et al. 2017.)

Abbildung 9: Vergleich Wirkungsgrad dreier Antriebsarten (batterie-elektrisch, Brennstoffzelle, Verbrennungsmotor), Quelle: Christoph Schreyer

Obenstehende Grafik soll die Anzahl Produktionsschritte und Energieverluste dreier Fahrzeugantriebe verbildlichen. Der Fachbegriff hierfür ist well-to-wheel. Brennstoffzellen (Spalte 2) schneiden verglichen mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren (Spalte 3) zwar gut ab, doch haben auch sie nur einen Wirkungsgrad von gut einem Viertel. Batterie-elektrische Antriebe (BEV) benötigen einen Verarbeitungsschritt weniger als die anderen beiden. Dies vereinfacht es, einen hohen Wirkungsgrad zu erhalten. Elektromotoren haben zudem den Vorteil, dass sich die Bremsenergie zurückgewinnen lässt, anstatt wie bei Verbrennungsmotoren in Wärme umgewandelt zu werden.

Da Brennstoffzellen jetzt schon einen doppelt so hohen Wirkungsgrad wie Verbrennungsmotoren haben, würde sich der Energiebedarf von heute rund 300'000 TJ (→ Abbildungen 1&2) bereits um die Hälfte auf 150'000 TJ verringern, wenn alle Fahrzeuge mit Brennstoffzellen betrieben würden. Damit die Brennstoffzelle flächendeckend eingesetzt werden kann, ist weitere Forschung erforderlich, um die Energieeffizienz zu erhöhen.

Der schlechte Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren zeigt auf, dass es nicht sinnvoll sein kann, auf Wasserstoff als Brennstoff umzustellen. Um Wasserstoff zu verbrennen ist er zu wertvoll und der Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren zu niedrig.

Farben des Wasserstoffs⁴⁴

Wasserstoff als Gas ist durchsichtig und geruchslos. Um die Klimafreundlichkeit der Herstellung von Wasserstoff auszuweisen, werden Farben verwendet. Grüner Wasserstoff ist die einzige

⁴⁴ <https://www.ewe.com/de/zukunft-gestalten/wasserstoff/die-farben-des-wasserstoffs>, 29.9.2021

klimateure Herstellungsvante von Wasserstoff. Die Elektrolyse wird mit nachhaltig produzierten Strom durchgeföhrt. Dazu könnten sich Überschüsse der Stromproduktion eignen. Das Gegenteil ist grauer Wasserstoff: Da zur Herstellung fossile Brennstoffe benötigt werden, verursacht jede produzierte Tonne Wasserstoff zehn Tonnen Kohlenstoffdioxid.

Interview — nachhaltige Antriebstechnik

Nachhaltige Antriebstechniken gehören in den Bereich *Verträglich gestalten* und nach der Einteilung von Marcel Hänggi⁴⁵ zur *Substitution*.

Die Auto AG Group geht davon aus, dass es in Zukunft nicht DIE Antriebsart geben wird. Je nach Anwendungsfall wird sich diese unterscheiden. Im urbanen Gebiet mag für kurze Strecken, auch für den öV ein Elektroantrieb von Vorteil sein. Für den öV in ländlichen Gebieten eher Wasserstoff, da das Aufladen von Batterien zu viel Zeit in Anspruch nimmt. Das Betanken von Wasserstoff ist zeitmässig vergleichbar mit dem Betanken von Diesel. Zudem hat Wasserstoff die grössere Reichweite, einen geringeren Platzbedarf sowie weniger zu bewegende Masse, was ihn für Überlandverkehrsmittel attraktiv macht.

Heute bevorzugt die Politik im öV batteriebetriebene Fahrzeuge, die in den Städten einen guten Dienst erweisen, auf dem Land allerdings an ihre Grenzen stossen. Zu wenige Lademöglichkeiten und Elektroinstallationen wie Schnelllader sowie die lange Ladedauer trotz nur kurzer Verweilstationen an Haltestellen lassen nach anderen Alternativen suchen. Wasserstoff ist in all diesen Punkten – mit Ausnahme der Ladestandorte – die bessere Antriebsart. Da diese allerdings noch im Prototyp-Stadium ist, sind die Fahrzeuge im Vergleich zu BEV teuer und die zusätzlichen Kosten werden nicht übernommen. Um die Kosten nicht weiter in die Höhe zu treiben, ist es wünschenswert, bestehende Infrastruktur umzunutzen.

Damit sich nachhaltige Antriebstechniken langfristig durchsetzen, bedürfe es des Willens des Gesetzgebers und – besonders für die Wasserstoffherstellung – tieferer Stromkosten.

Denn eingesetzt werden kann die Wasserstofftechnik fast überall, genutzt werden wird sie allerdings nur dort, wo sie Elektroantriebe nicht konkurriert, also dort, wo wenig Gewicht und eine kurze Tankdauer von besonderer Wichtigkeit sind.

Auch in der Schifffahrt kann die Brennstoffzelle als Antrieb denkbar und sinnvoll sein. In der EU gibt es bereits Studien dazu.

Die Wasserstofftechnologie erhält sehr gutes Kundenfeedback. Kritischer Punkt sind die wenigen Tankstellen: In der ganzen Schweiz gibt es gerade einmal deren sieben. Wasserstoffhersteller gibt es momentan schweizweit einen einzigen, was eine Abhängigkeit darstellt. Von diesem einen Hersteller aus werden die Tankstellen mit einem LKW beliefert. Pro Lieferung können circa zehn Lastwagen betankt werden. 2025 sollen 1'600 wasserstoffbetriebene Lastwagen in der Schweiz unterwegs sein, so das Ziel des H₂-Fördervereins⁴⁶. Momentan ist weder die Kapazität zur Herstellung von genügend Wasserstoff vorhanden, noch lässt sich der logistische Aufwand betreiben, um den Wasserstoff stets zur richtigen Zeit am richtigen Ort vorhanden zu haben. Sinnvollerweise sollte der Wasserstoff dort produziert werden, wo dieser auch benötigt wird. So werden die Lieferfahrten vermieden, das Abhängigkeitsrisiko vermindert und die Organisation gering gehalten.

Zu tun gibt es bei der Auto AG Group in nächster Zeit viel: Es soll ein Pilotprojekt zu wasserstoffangetriebenen Bussen im öV geben und die eigene Herstellung von H₂ für den Bedarf in den eigenen Werkstätten geprüft werden.

⁴⁵ Hänggi, Marcel: NULL ÖL. NULL GAS. NULL KOHLE., Zürich 2018, Rotpunktverlag, S. 138ff.

⁴⁶ <https://umweltzeitung.ch/news/wasserstoff-lkw-erobern-schweizer-strassen/>, 9.10.2021

Reaktionsgleichung

Beim Betreiben einer Brennstoffzelle entsteht Wasser, da für Wasserstoff wie auch für Sauerstoff die Verbindung zu Wasser die energetisch bevorzugte Form ist. Die Reaktionsgleichung lautet:

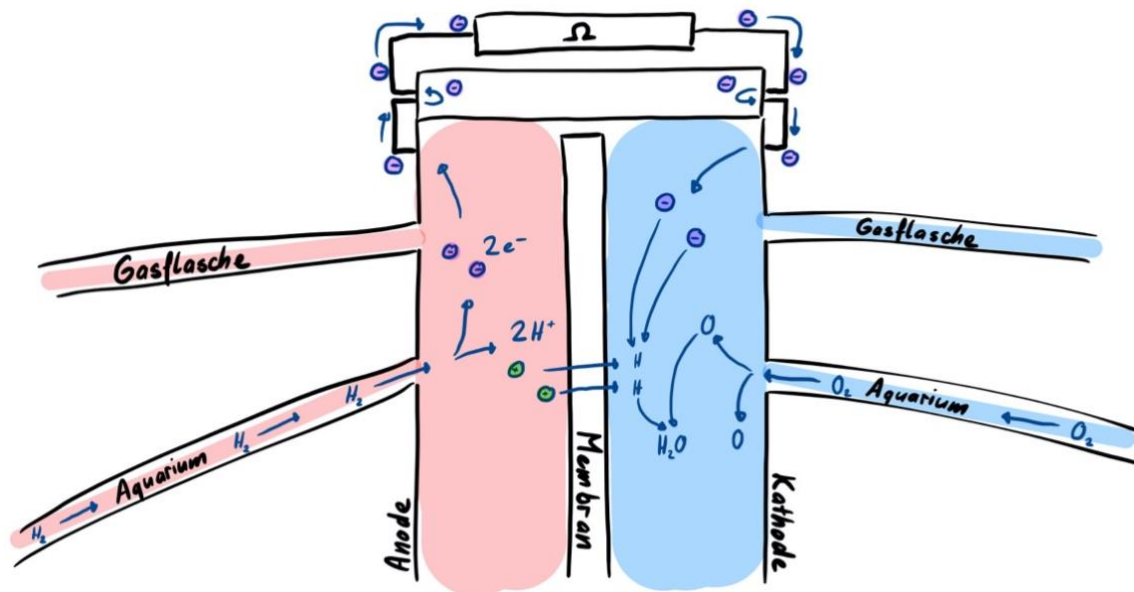
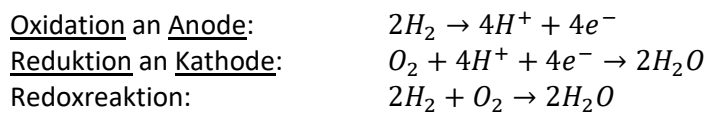


Abbildung 10: Skizze Aufbau Brennstoffzelle, ©Anouk K.

Experiment

Ziel

Ziel des Experimentes ist, durch Messung der Spannung über diversen Lastwiderständen zum Einen die optimale Leistung und zum Anderen den optimalen Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle zu berechnen.

Aufbau

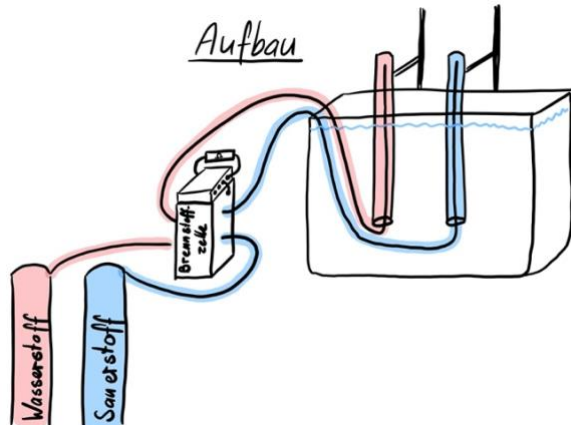


Abbildung 11: Skizze Aufbau, ©Anouk K.



Abbildung 12: Foto Aufbau, ©Anouk K.

Für den Experimentaufbau werden folgende Materialien benötigt (→ Abbildungen 10, 11 & 13):

- Sauerstoff- & Wasserstoff flasche (gasförmig)
- Aquarium mit Wasser gefüllt
- 2 Stative mit Klemmen
- 2 hohe Bechergläser 100ml mit Volumenmarkierungen
- Verschieden dicke Schläuche und Übergangsstücke
- Brennstoffzelle⁴⁷
- Widerstände verschiedener Größen (0.01Ω – 47Ω)
- Voltmeter (Anschlüsse über „Ameisenbären“)
- Thermometer
- Barometer
- Zeitstoppuhr
- Kabelbinder & Klebeband zur Fixierung und Kennzeichnung

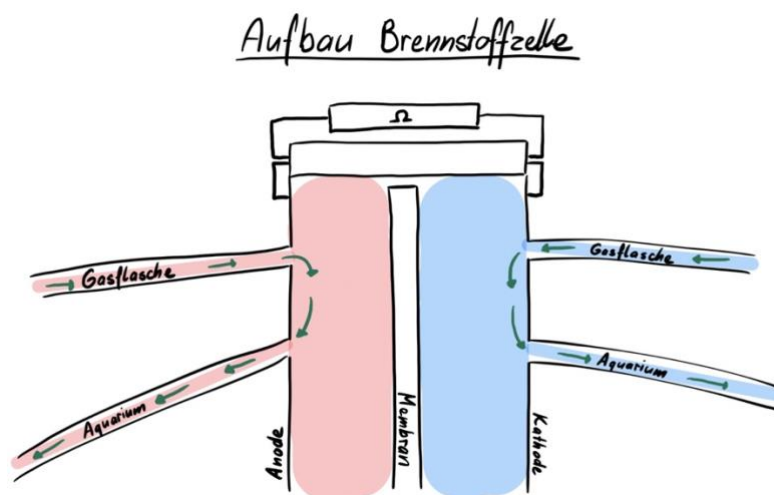


Abbildung 14: Skizze Seitenansicht Brennstoffzelle, beim Durchspülen

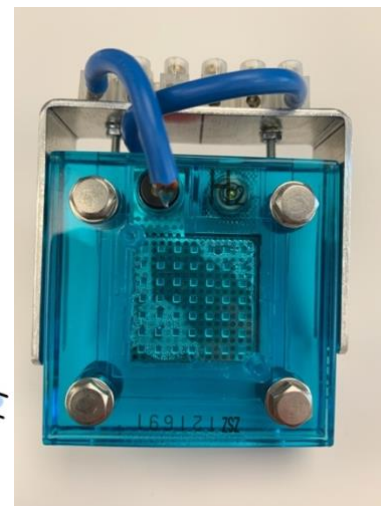


Abbildung 14: Frontansicht Brennstoffzelle

⁴⁷ Professionelles Modell PEM Blue Reversible Fuel Cell – 1 unit von Horizon Fuel Cell Technologies: Modell mit vier Anschlüssen, was das Durchspülen der Gase ermöglicht.

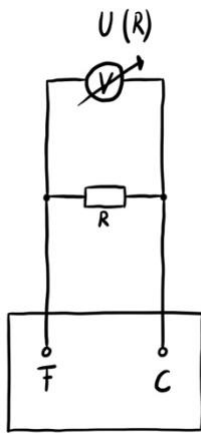


Abbildung 15:
elektrischer Schaltkreis
Experimentaufbau

Vorgehen

Das Aquarium wird bis zum Rand mit Wasser gefüllt, die beiden Bechergläser jeweils kopfüber soweit als möglich unter Wasser fixiert. Dadurch wird ein Überdruck erzeugt und der Druck konstant gehalten. Für die Brennstoffzelle haben wir einen Aufsatz gebaut, um die Widerstände und Anschlüsse befestigen zu können (→ Abbildung 2). Dazu werden ein Stück Aluminium, eine Lüsterklemme, einige Schrauben, Stecker und Kabelstücke sowie Metallbearbeitungswerkzeuge und ein Lötkolben benötigt. Das Aluminiumstück wird in Π -Form gebogen, die Lüsterklemme darauf festgeschraubt und die Kabel an diesem fixiert. An das andere Kabelende wird ein Stecker gelötet, der in die Brennstoffzelle gesteckt wird.

Die eine Seite der Brennstoffzelle ist für Wasserstoff bestimmt, die andere für Sauerstoff. Auf beiden Seiten befinden sich zwei Schlauchanschlüsse: Jeweils einer wird mit der jeweiligen Gasflasche verbunden, der andere wird in das jeweilige Becherglas geleitet.

Die Widerstände werden in der Lüsterklemme festgeschraubt. Das Voltmeter wird mit den Ameisenbären über dem Widerstand fixiert. Das Thermometer wird ins Aquarium gehalten. Das Barometer steht neben der Arbeitsfläche.

Um einer Knallgasreaktion vorzubeugen, ist die Durchführung in einem Abzug empfehlenswert.

Leistung P

Um die maximale Leistung ausfindig zu machen, sind unterschiedliche Widerstände R und ein Voltmeter zur Messung der Spannung U von Nöten. Mit der Formel $I = \frac{U}{R}$ kann die Stromstärke I berechnet werden. Um die Leistung P zu erhalten, wird die Formel $P = U * I$ benutzt.

Vereinfacht können die beiden Formeln zu $P = \frac{U^2}{R}$ zusammengesetzt werden. R ist bekannt, U wird gemessen.

→ Herleitung und Messwerte im Anhang

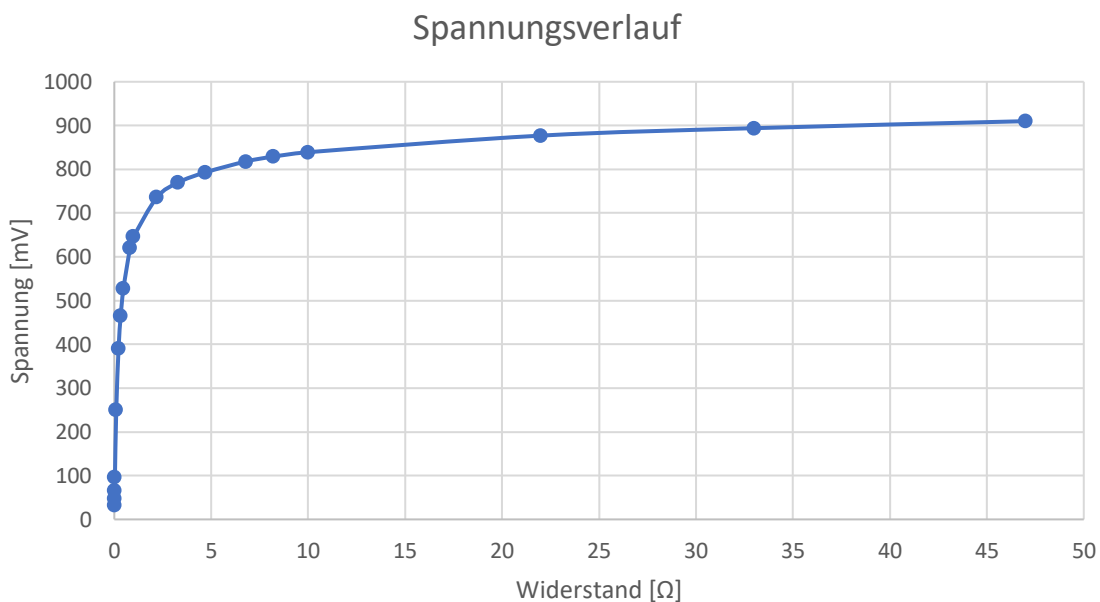


Abbildung 16: Verhältnis von Spannung und Widerstand

Wie erwartet steigt die Spannung je grösser der Widerstand und scheint auf einen Wert zu zustreben. Die Kurve flacht ab. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Widerstände konnten wenige grössere Widerstände gemessen werden. Die berechnete Leistung hat einen Höhepunkt bei $0,22\Omega$. An diesem Wert gespiegelt nimmt die Leistung der kleineren und grösseren Widerstände ab.

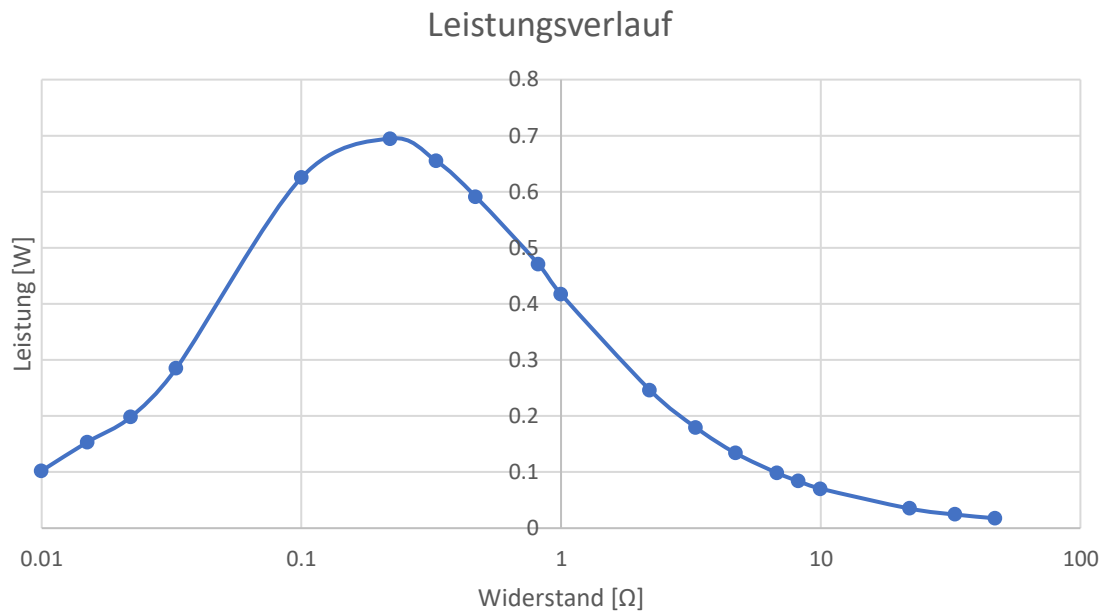


Abbildung 17: Verhältnis von Leistung und Widerstand

Wirkungsgrad

In einem zweiten Schritt soll der maximale Wirkungsgrad ausfindig gemacht werden. Erneut wird die Spannung über allen Widerständen gemessen. Neu wird die Zeit gestoppt, die vergeht, bis 20ml Wasserstoff verbraucht sind. Da der Wirkungsgrad die Differenz zwischen der zugeführten chemischen Leistung P_{ch} und der Nutzleistung, hier elektrische Leistung P_{el} , beschreibt, werden nun diese beiden Leistungswerte über jedem Widerstand berechnet.

Herleitung im Anhang:

Variabel	Bedeutung	Einheit
P_{ch}	Chemische Leistung	Watt (W)
P_{el}	Elektrische Leistung	Watt (W)
p	Druck	Pascal
V	Volumen	m^3
n	Stoffmenge	mol
R	Gaskonstante	J/mol*K
T	Temperatur	Kelvin (K)
H	Heizwert	J/kg
μ	Molare Masse	kg/mol
t	Zeit	sec
η	Wirkungsgrad	%
m	Masse	kg
ΔE	Energie	H*m

$$\eta := \frac{\Delta E_{el}}{\Delta E_{ch}} * 100 = \frac{\Delta E_{out}}{\Delta E_{in}} * 100$$

$$\Delta E_{ch} = H_{H_2} * m_{H_2}$$

$$\Delta E_{el} = P_{el} * \Delta t$$

→ Herleitung und Messwerte im Anhang

Wirkungsgrad & Widerstand

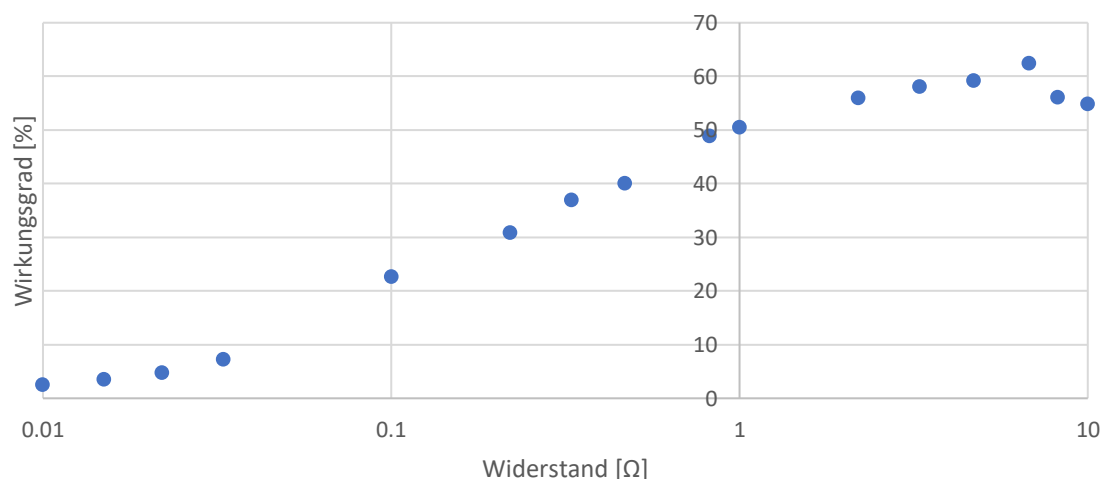


Abbildung 18: Verhältnis von Wirkungsgrad und Widerstand

Der Wirkungsgrad des 6,8Ω-Widerstand sticht heraus. Eine wiederholte Messung bestätigte den Messwert. Da Messungen an solch grossen Widerständen über eine halbe Stunde dauern, konnten aus Zeitgründen weder Messungen mit Widerständen über 10Ω vorgenommen, noch konnte die Unregelmässigkeit um den 6,8Ω-Widerstand ergründet werden.

Da es sich um eine professionelle Brennstoffzelle handelt, konnten Wirkungsgrade, wie sie in der Literatur zu finden sind, gemessen werden. Die gemessenen Höchstwerte lassen sich mit dem Wirkungsgrad von batterie-elektrischen Antrieben vergleichen. Solche Polymerelektrolyt-Brennstoffzellen können heute einen Wirkungsgrad von 35-60% erreichen⁴⁸.

Beim Vergleichen der beiden Kurven (Leistung & Wirkungsgrad) fällt auf, dass die beiden ihr **Maximum nicht über demselben Widerstand** erreichen. Die optimale Leistung lässt sich mit 0,69W über dem 0,22Ω-Widerstand messen. Um hingegen den höchsten Wirkungsgrad zu finden, bedarf es einem 6,8Ω-Widerstand.

Diese Diskrepanz bringt ernsthafte Schwierigkeiten mit sich: Bei maximaler Leistung beträgt der Wirkungsgrad nur rund 30%, es wird folglich doppelt so viel Wasserstoff benötigt. Bei maximalem Wirkungsgrad hingegen kann nur ein Siebtel der optimalen Leistung in Anspruch genommen werden.

Fehlerrechnung

Bei der Fehlerrechnung ist festzustellen, dass es bei mehrfach gemessenen Widerständen einen kaum nennenswerten Unterschied in der Spannung gibt. Dies lässt darauf schließen, dass die Messwerte ziemlich genau gemessen werden konnten.

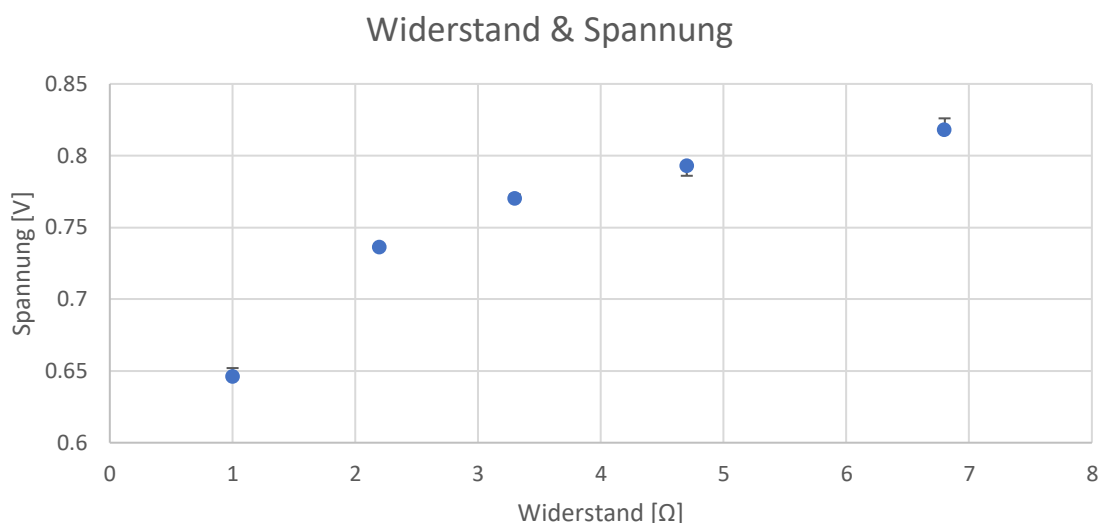


Abbildung 19: Grafik Fehlerrechnung

Beobachtung

Bei einem ersten Versuch waren starke Spannungsunterschiede im Zusammenhang mit der Wasserstoffmenge im Glasbehälter festzustellen, die sich nicht durch den Druckunterschied erklären lassen, da sich der Druck nur im %-Bereich verändert. Nach wiederholter Spülung der Schläuche und Glasbehälter wie auch deren Installierung vollständig unter Wasser – was einen Überdruck erzeugt – blieb die Spannung unabhängig der Gasmengen konstant. Im weiteren Verlauf der Messungen wurden die Schläuche regelmässig gespült, um Messfehler zu verhindern.

⁴⁸ <https://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzelle>, Abschnitt Brennstoffzellentypen, 8.10.2021

Fazit

Vermutlich diffundiert laufend Sauerstoff (allenfalls auch andere Stoffe / Gase) aus dem Wasser in den mit Wasserstoff befüllten Glasbehälter, was die Spannungsunterschiede herbeigeführt hat. Wasserstoff als leichtes Gas liegt im Glasbehälter oben auf und wird als erstes in die Brennstoffzelle geleitet. Die anderen Gase sind schwerer und werden nach und nach in die Brennstoffzelle geleitet. Die Konzentration von Wasserstoff nimmt ab und damit auch die Spannung.

Um die Gase möglichst homogen vorliegen zu haben, ist ein regelmässiges und häufiges Spülen des Aufbaus wichtig. Ausserdem sollte von Anfang an darauf geachtet werden, die Glasbehälter im Überdruck (unter Wasser) zu installieren.

Berechnung zur Verifizierung / Falsifizierung der Forschungsfrage

Im Laufe dieser Arbeit wurden drei Mobilitätsformen sowie eine Antriebsform näher betrachtet. Anhand von ihnen sollte herausgefunden werden, ob Netto-Null 2030 in der Personenmobilität der Schweiz möglich ist. Um diese Frage zu beantworten, folgt ein Gedankenexperiment:

Mobilitäts-Hubs

Mobilitäts-Hubs sollen durch *Vernetzung* und *Verlagerung* Fahrten vermeiden. Ohne näher auf klimaneutrale Gebäudetechnik einzugehen, lässt sich festhalten, dass die Hubs an sich klimaneutral sind.

Zwischen den Hubs lassen sich per Eisenbahn und öffentlichem Nahverkehr (Busse, Trams, ...) schon heute oder in naher Zukunft klimaneutrale Fahrten zurücklegen, solange der zum Antrieb benötigte Strom beziehungsweise Wasserstoff nachhaltig hergestellt werden kann.

Fuss- und Veloverkehr

Wer nahe der Hubs wohnhaft ist, zur Arbeit geht, eine Ausbildungsstätte besucht oder die Freizeit verbringt, kann die Strecken neben dem öffentlichen Nahverkehr auch zu Fuss, per Fahrrad, Trottinett oder ähnlichem zurücklegen. Für gehbehinderte Menschen werden Angebote wie VeloRes⁴⁰ entwickelt, um auch ihnen diese Wege zugänglich zu machen. Viel Infrastruktur braucht es dazu nicht, die meiste ist bereits vorhanden und verursacht vorerst keine weiteren Emissionen. Auch der Fuss- und Veloverkehr ist klimaneutral.

First-/last-mile-Angebote — mybuxi

Die Strecken ausserhalb der Ballungszentren und Mobilitäts-Hubs, die nicht aus eigener Körperkraft zurückgelegt werden können, lassen sich mithilfe von first-/last-mile-Angeboten zurücklegen. Am Beispiel von mybuxi lässt sich festhalten, dass auch diese Angebote klimaneutral sein können: Die Energie zur Herstellung und Recycling am Ende der Lebensdauer der Fahrzeuge ignorierend, bleibt nur der Antrieb. Wie beim öV verursacht dieser keine Emissionen, solange grüner Wasserstoff oder aus erneuerbaren Quellen gewonnener Strom benutzt wird.

Je weniger wir gesamthaft unterwegs sind, desto weniger Strom und Wasserstoff muss produziert werden, was bedeutet, dass umso weniger Kraftwerke gebaut und unterhalten werden müssen.

Zusammenfassend heisst das, Netto-Null ist möglich. Viel braucht es dazu nicht. öV – wo sinnvoll – verbunden mit Mobilitäts-Hubs, Fuss- und Veloverkehr sowie Anbindung an first-/last-mile-Angebote, allesamt mit nachhaltiger Antriebstechnik unterwegs, reichen aus, um dieses Ziel zu erreichen.

Bis 2030 wird es wohl kaum erreicht werden. Dennoch oder erst recht müssen wir heute mit der Umstellung beginnen, denn jedes Jahr, das wir auf dem Weg zur Klimaneutralität einsparen, kann entscheidend sein. Projekte, deren lange Zeithorizonte Netto-Null 2030 verhindern mögen, müssen jetzt angegangen werden.

Gedanken einer Klimaaktivistin

Beim Erstellen dieser Maturaarbeit habe ich Vieles gehört und gelernt. Ich habe einmal mehr festgestellt, wie schrecklich gross die Probleme sind, gesehen, welche tollen Lösungen es gibt und war ernüchert, wie wenig diese umgesetzt werden.

Neben dem vielen bereits vorhandenen Wissen bin ich auf Halbwahrheiten gestossen, bewusst oder unbewusst verbreitet. Meine Gedanken möchte ich in der Folge aufzeigen:

- Klimaschutz kostet: Menschen, die mit den Kosten argumentieren, sind sich nicht einig, ob wir uns diese Kosten leisten können, oder ob sie ein Argument sind, Klimaschutz erst gar nicht weiter zu diskutieren, geschweige denn umzusetzen. Letztere möchte ich darauf aufmerksam machen, dass auch kein Klimaschutz etwas kostet. Wollen wir Status quo ohne Veränderungen beibehalten, werden uns Klimaveränderungen zunehmend zu schaffen machen, die sich nicht mit den Ereignissen der letzten Jahre vergleichen lassen. Die Kosten, Beschädigtes zu reparieren, werden uns einholen, bis wir uns Reparaturen nicht mehr leisten können.
- Wir sind noch nicht so weit: Diese Ausrede ist Jahrzehnte alt... Lösungen sind vorhanden. Klar, können sie verbessert werden, aber das geht nur, wenn sie umgesetzt werden.
- Entwicklung der Krise: Die Ausgabe des IPCC-Berichts vom Sommer 2021 zeigt einmal mehr, wie wir uns in unseren Schätzungen vertun: Wurde im vorgängigen Bericht noch damit gerechnet, die 1,5°C-Erwärmung 2040 zu erreichen, wird in der aktuellen Ausgabe damit gerechnet, dieselbe Grenze bereits 2030 zu überschreiten.
- Zusammenhänge des Klimasystems: Obwohl wir noch nie so viel über die Erde und ihr Klimasystem gewusst haben, liegt uns noch immer Vieles verborgen. Es gibt Kippunkte, die weitere Vorgänge befeuern, das Geschehen womöglich verselbstständigen und die Lebensräume, auch unseren, unwiederbringlich zerstören. Das Überleben von uns Menschen ist nicht garantiert.
- Einfluss der Menschen: Dass der Mensch die Klimakrise verursacht und zu verantworten hat, ist wissenschaftlich bewiesen. Auch der diesjährig veröffentlichte IPCC-Bericht kommt zu diesem Schluss. Diesen Fakt zu leugnen, ändert daran nichts. Optimistisch stimmt mich, dass im Rückkehrschluss auch alleine der Mensch in der Lage sein muss, das Geschehen derzeit noch in den Griff zu kriegen und die Umweltzerstörung zumindest teilweise rückgängig zu machen. Durch unser Handeln ausgestorbene Tier- und Pflanzenarten sind unwiederbringlich fort, je länger wir zuschauen, desto mehr werden es. Das bringt mich zum letzten Punkt:
- Veränderungen: Je offensichtlicher die Folgen der Klimakrise werden, desto mehr Menschen werden den Ernst der Lage erkennen und umso verbitterter um ihr / unser Überleben kämpfen. Die Veränderungen werden also so oder so kommen. Wir entscheiden darüber, ob wir sie jetzt umsetzen, um eine lebenswerte Zukunft für alle zu gestalten, oder ob wir aus Trotz damit zuwarten.

Schluss

Fazit

Netto-Null 2030 in der Personenmobilität der Schweiz ist nötig und technisch möglich, in Anbetracht unseres bisherigen Verhaltens jedoch nicht zu erreichen. Mobilitäts-Hubs, Fuss- und Veloverkehr wie auch first-/last-mile-Angebote können ihren Beitrag leisten. Brennstoffzellen ermöglichen klimaneutrale Mobilität und sind sinnvoll eingesetzt, wann immer Fahrzeuge leicht und schnell zu betanken sein müssen. Da künftig so wenige Fahrzeuge wie möglich unterwegs sein sollen, die dafür möglichst rund um die Uhr ausgelastet sind, wird das bei annähernd allen Fahrzeugen der Fall sein. Es gilt die verbleibenden Hindernisse zu bewältigen. Einige weiterführende Fragen hierzu bezüglich Antriebstechnik sind:

- Wie kann die Herstellung von grünem Wasserstoff energieeffizienter werden?
- Wie lässt sich die Produktion von grünem Wasserstoff sicherstellen?
- Wie werden Tankangebote zuverlässig und sicher? Wie werden Verluste minimalisiert?
- Wie lässt sich das Dilemma zwischen optimaler Leistung und maximalem Wirkungsgrad sinnvoll lösen?

Auch die Wissenschaft hat zu tun: Die Energieproduktion gilt optimiert zu werden, neue oder bessere Verfahren zur Energiespeicherung und Transport werden gesucht, das Mobilitätsmanagement soll weiterentwickelt werden, Verfahren zur Bindung von CO₂ zur Rückgängigmachung von Emissionen sind gesucht und die Psychologie kann aufzeigen, wie wir funktionieren und wie wir uns ändern können. Wieso ist Menschen ein Auto als Statussymbol wichtig? Wie werden neben funktionalen Bedürfnissen auch emotionale und soziale erfüllt, sodass sich alle Menschen sicher fühlen?

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Bildung. Um ebengenannte Herausforderungen zu meistern, ist eine breite und fundierte Grundbildung für alle fördernd. Weiterbildungen und Umschulungen sollen Menschen, die heute in klimaschädigenden Bereichen tätig sind, eine berufliche Zukunft ermöglichen.

Die Dringlichkeit der Klimakrise muss verständlich kommuniziert werden.

Die Wirtschaft steht ebenfalls vor Herausforderungen. In der Auto-, Erdöl- und Erdgasbranche tätige Menschen fürchten um ihre Anstellung und wehren sich dadurch bisher gegen Klimamassnahmen. Diese Arbeitsplätze wird es so nicht mehr geben, stattdessen gibt es Möglichkeiten, Innovationen können realisiert werden und eröffnen neue Geschäftszweige. Wird auf verkehrsminimierende Arbeits- und Produktionsverfahren gesetzt, vermeidet dies viel Verkehr und somit Emissionen.

Die Politik kann zu all dem Rahmenbedingungen und Finanzierungsmöglichkeiten schaffen. Sie ist es, die eine öffentliche Diskussion führt. Kostenwahrheit in der Mobilität kann das Ihrige tun.

Es bleibt also viel zu tun. Wichtig ist, dass wir in die Gänge kommen, den Verkehr gestalten, wie er zukünftig sein soll: nachhaltig und für jeden Zweck das Passende bietend.

Ein letzter Satz zum Schluss: Der Weg, den wir zu gehen haben muss keiner des Verzichtes und der sozialen oder ökologischen Ungerechtigkeit sein: Wir sind diejenigen, die ihn gestalten.

Verdankung

Herzlichen Dank an Rudolf Stucki, der mich beim Erstellen dieser Arbeit betreut und spannende Gespräche mit mir geführt hat.

Bei Martin Zysset, der die Materialien und das Labor für die Messungen zur Verfügung gestellt hat, möchte ich mich ebenfalls bedanken.

Ein weiterer Dank geht an die vier Expert*innen Gisela Hinrichs, Tanja Hug, Milena Rechsteiner und Marco Villiger für die freundliche und zeitnahe Beantwortungen meiner Fragen.

Zum Schluss möchte ich mich bei Verwandten – besonders meinen Eltern – und Freund*innen bedanken, die mir stets zur Seite gestanden, mich mit Tipps und Kontakten eingedeckt und unterstützt haben!

Anhang

Expert*inneninterviews

Gisela Hinrichs — Mobilitätshubs

Fragebogen Maturaarbeit zum Ziel Netto-Null 2030*

Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr der Schweiz möglich und, falls ja, wie?

Allgemein:

1. Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr auf der Fläche der Schweiz (ohne Einbezug der grauen Energie) möglich / realistisch?
 - Dazu habe ich keine Zahlen
2. Was braucht es, um dieses Ziel zu erreichen?
 - Das Zusammenspiel praktisch aller Verkehrsträger, einfache Zugänglichkeit zu diesen Angeboten genauso wie ein Umdenken, wo Arbeit/Ausbildung/Freizeit erfolgen soll und kann.
3. Welches der „vier v’s“** sehen Sie zur Erreichung dieses Zieles als das wichtigste an?
 - Vermeiden kann möglicherweise am meisten bringen, ist aber auch am schwersten zu erreichen.
 - Verlagern ist wahrscheinlich das realistischste Ziel, Vernetzen eher eine Voraussetzung für Verlagern
4. Inwiefern trägt Ihr Projekt zur Erreichung dieses Zieles bei?
 - n/a (Kein konkretes Projekt)
5. Welche Konzepte wie First / last mile-Angebote, Förderung Langsamverkehr oder weitere haben für sich alleine oder in Kombination ein Potential zur Erreichung des Netto-Null-Ziels?
 - Die Bedürfnisse der Menschen sind vielfältig, genauso wie Menschen individuell sehr unterschiedlich sind. Das Privatfahrzeug erfüllt diese Bedürfnisse häufig schon sehr gut, nur die Bedürfnisse aus gesamtgesellschaftlicher Sicht werden nicht so gut erfüllt (z.B. Stau, Unfälle, CO₂-Ausstoss). Eine Veränderung kann daher nicht mit einer einzigen Massnahme erreicht werden, es sind unterschiedliche Massnahmen und Angebote erforderlich, um möglichst viele Mobilitätsbedürfnisse zu erfüllen.

Vermeidung & Verkürzung von Wegstrecken — Mobilitäts-Hubs („Verkehrsdrehscheiben“):

1. Was ist ein Mobilitäts-Hubs?
 - Rein funktional betrachtet ermöglicht ein Hub eine Verbindung zwischen verschiedenen Transportangeboten
2. Welche Idee steckt dahinter?
 - Der Begriff «Hub» veranschaulicht viel eher, dass es sich um ein Element in einem Netzwerk aus Verbindungen handelt und nicht um einen «Bahnhof» im Sinne eines Standortes für eine Bahn.
3. Welche Ziele sollen mit Mobilitäts-Hubs erreicht werden?

- Einen attraktiven Zugang zum kollektiven Verkehr bieten (Umstieg vom MIV auf den kollektiven Verkehr)
 - Den kollektiven Verkehr optimal vernetzten (physisch) und so den Umstieg erleichtern (zwischen den Verbindungen)
4. Zu welchem "v" gehören Mobilitäts-Hubs?
- Mobilitätshubs können und sollen die Vernetzung (physisch) und Verlagerung unterstützen. Richtig ausgestaltet bieten sie auch Potenzial für Vermeidung von Mobilität
5. Welche Arten von Mobilitäts-Hubs braucht es dafür?
- Das ist nicht so pauschal zu beantworten. Wichtig ist es, nicht nur an grosse Zentren zu denken, sondern vor allem auch kleine und mittlere Zentren zu stärken
 - Ein Mobilitätshub sollte Anschluss an den ÖV bieten oder zumindest an ein Angebot des kollektiven Verkehrs
6. Welche Funktionen soll ein Mobilitäts-Hub haben?
- Wechsel des Transportmittels ermöglichen
 - Durchlässigkeit für Stadt- bzw. Gemeindeteile sicherstellen
 - Kommerzielle Nutzungen ermöglichen, Produkt- und vor allem Dienstleistungsangebot
 - Ggf. kulturelles Angebot
 - Räumliche und gesellschaftliche Integration in Stadt bzw. Gemeinde
7. Wer ist die Zielgruppe?
- alle
8. Wo gibt es erste Mobilitäts-Hubs?
- Im Grunde kann man jeden Bahnhof bereits als Mobilitätshub bezeichnen. Ab wann ein Bahnhof ein Mobilitätshub ist nicht klar definiert.
9. Was sind die Erfahrungen damit?
- es sind noch keine eindeutigen Erfahrungen vorhanden.
10. Welches Potential sehen Sie in Mobilitäts-Hubs?
- Mobilitätshubs sind zentral für den Modalshift. Je mehr jemand am Mobilitätshub erledigen kann, d.h. also das Leben vereinfacht, desto attraktiver wird es, den Mobilitätshub und damit auch das Mobilitätsangebot dort zu nutzen
 - Je besser und einfacher zugänglich der Hub und die einzelnen Transportangebote sind, desto stärker wird die Nutzung des kollektiven Verkehrs / öV gestärkt.
11. Wo liegen die Herausforderungen?
- Extrem viele Stakeholder mit recht unterschiedlichen Zielsetzungen
 - Fehlende Gesamtsicht
 - Finanzierung
12. Was sind Ihre nächsten Schritte?
- Nach Möglichkeit gezielte Experimente
13. Haben Sie Bemerkungen?
- Ich habe diese Fragen als Privatperson beantwortet.

Ich bin damit einverstanden, namentlich in dieser Maturaarbeit erwähnt zu werden.

* Netto-Null soll heissen, dass auf einer bestimmten Fläche (hier der Schweiz) nicht mehr Emissionen ausgestossen werden, als auf derselben durch natürliche Ökosysteme gebunden werden können. Die Klimastreikbewegung fordert die Erreichung dieses Zieles bis 2030.

** vier v's

(https://www.bernmittelland.ch/wAssets/docs/themen/verkehr/projekte/mobilitaetsstrategie-2040/Mobilitaetsstrategie_Region_Bern-Mittelland_2040.pdf ab S. 31):

- Vernetzen:
 - digitale Vernetzung
 - Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel fördern
- Vermeiden:
 - Abstimmung von Verkehrs- und Siedlungsplanung (Personenverkehr)
 - Förderung von ortsunabhängigem Arbeiten
 - Bündelung von Warenströmen
- Verlagern:
 - Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf energie- und flächensparende Verkehrsmittel
- Verträglich gestalten:
 - Optimierung des Verkehrsaufkommens
 - Optimierung des Modalsplits
 - Optimierung von Fahrzeugen und Antrieben

➤ Fragebogen Maturaarbeit zum Ziel Netto-Null 2030*

Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr der Schweiz möglich und, falls ja, wie?

Allgemein:

Bei diesen allgemeinen Fragen bin ich nicht Expertin. Meine Antworten sind daher nur als persönliche Einschätzung von mir als Privatperson zu verstehen.

6. Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr auf der Fläche der Schweiz (ohne Einbezug der grauen Energie) möglich / realistisch?
Das kann ich nicht einschätzen respektive nur allgemeine Aussagen dazu machen wie: Die Bemühungen auf strategischer Ebene gehen zwar in die richtige Richtung (siehe beispielsweise Mobilitätsstrategie 2024 der RKBM), aber die konkrete Umsetzung respektive die Akzeptanz und der Wille sind noch nicht genügend vorhanden.
7. Was braucht es, um dieses Ziel zu erreichen? Sichere Infrastruktur fürs Velo, nach wie vor gutes ÖV-Angebot (mit vereinfachten Bezahlmöglichkeiten) und Road Pricing insbesondere in den Städten. Meine Einschätzung: Ohne Hebel am Portemonnaie sind Menschen leider nicht absolut zu einem Umdenken/anders Handeln zu bewegen.
8. Welches der „vier v’s“** sehen Sie zur Erreichung dieses Zieles als das wichtigste an?
Die Idee der vier v's ist doch gerade, dass sie nur in Kombination genügend Durchschlagskraft erhalten. Am wichtigsten ist aus meiner Sicht sicher das "Vermeiden", dies ist aber sicher am wenigsten breit akzeptiert, da es den Einzelnen in seinem Handeln einschränken könnte.
9. Inwiefern trägt Ihr Projekt zur Erreichung dieses Zieles bei? "Fuss Velo Köniz" als Programm zur Förderung des Fuss- und Veloverkehrs setzt bei "Verlagern" an: Wenn man schon unterwegs sein muss, dann bitte zu Fuss oder mit dem Velo.
10. Welche Konzepte wie Mobilitäts-Hubs, First / last mile-Angebote oder weitere haben für sich alleine oder in Kombination ein Potential zur Erreichung des Netto-Null-Ziels? *Das ist nicht mein Fachgebiet. Ich möchte dazu nichts sagen.*

Verlagerung vom Privatauto auf andere Verkehrsmittel — Fuss Velo Köniz:

1. Was ist „Fuss Velo Köniz“? "Fuss Velo Köniz" ist ein Programm der Gemeinde Köniz zur Förderung des Fuss- und Veloverkehrs. Unter der Marke "Fuss Velo Köniz" entstehen in der Gemeinde neue, sichere und direkte Fuss-und Velowege, zusätzliche Veloabstellplätze und mehr Sitzgelegenheiten im öffentlichen Raum. Dienstleistungen wie Velopumpen, Velozählstellen, mehr Leihvelos, Cargovelos und vieles mehr ergänzen die baulichen Massnahmen. Ziel ist es, dass noch mehr Könizerinnen und Könizer die Vorteile des Zu-Fuss-Gehens und des Velofahrens für sich entdecken und nutzen. Das ist gesund, schafft Platz im öffentlichen Verkehr und auf unseren Strassen, senkt die Umweltbelastung und die Kosten

- der Gemeinde. Das Könizer Parlament hat das Programm für die Laufzeit 2020 bis 2024 bewilligt und dafür einen Kredit von jährlich 300'000 CHF gesprochen.
2. Welche Idee steckt dahinter? Mit verschiedenen Massnahmen, die sich in drei Schwerpunkte einteilen lassen, sollen die Menschen zum Umsteigen aufs Velo oder das Zu-Fuss-Gehen bewegt werden. Die drei Schwerpunkte sind: Infrastruktur, Dienstleistungs- und Fördermassnahmen und Kommunikation.
 3. Welche Ziele sollen erreicht werden?
Die Regionalkonferenz Bern-Mittelland (RKBM) geht gemäss Regionalem Gesamtverkehrs- und Siedlungskonzept RGSK II von einem Gesamtverkehrswachstum von 27 % bis 2030 aus, wobei die Zunahme im ÖV grösser sein wird als beim MIV. Das Ziel von "Fuss Velo Köniz" ist im Parlamentsbeschluss von 2019 wie folgt definiert: Der Modalsplit des Veloverkehrs soll bis ins Jahr 2030 von 5% auf 10 % erhöht, derjenige des MIV von 43 % auf 38 % gesenkt und die Modalsplits des Fussverkehrs (32 %) und des ÖV (20 %) gehalten werden.
 4. Zu welchem „v“ gehört es? In erster Linie "Verlagern". Aber auch das "Vermeiden" ist eine wichtige, wenn nicht die wichtigste Aufgabe der Gemeinde: Mit guter Abstimmung von Verkehrs- und Siedlungsplanung würde sehr viel erreicht. Diese Abstimmung ist allerdings in der Praxis oft eine grosse Herausforderung: Wegen unterschiedlichen Zeithorizonten von Projekten, vielen Stakeholdern, unterschiedlichen sich widersprechenden Interessen, ...
 5. Welche positiven Aspekte haben Fuss-Velo-Konzepte? Ich kann nur von "Fuss Velo Köniz" sprechen, will das nicht verallgemeinern. "Fuss Velo Köniz" soll nicht mit dem Mahnfinger oder Einschränkungen daher kommen, sondern in einem freundlichen und animierenden Tonfall die Menschen zum Umsteigen animieren. Das ist jedenfalls mein Ansatz als Programmleiterin. Ich versuche daher auch bewusst nicht "vom Autofahrer" oder von der "Velofahrerin" zu reden. Grabenkämpfe führen nur zu Verhärtung von Fronten. Viel wichtiger ist es, den Menschen aufzuzeigen, dass es geschicktere oder weniger geeignete Verkehrsmittel für verschiedene Zwecke gibt. Eine Autofahrt hat je nach Kontext durchaus seine Berechtigung – einfach nicht als tägliches Verkehrsmittel, wenn man in Niederwangen wohnt und im Liebefeld arbeitet! Ich sehe es also als positiven Aspekt von "Fuss Velo Köniz", dass ich auf den ersten Blick niemandem auf die Füsse treten muss mit dem Programm und damit mit einem gewissen "Good will" an die Arbeit gehen kann.
 6. Wer ist die Zielgruppe? Ein besonderer Fokus liegt gemäss Parlamentsbeschluss auf der Zielgruppe Kinder und Jugendliche (Velo) sowie bei den Seniorinnen und Senioren (Fussverkehr). Gemäss Beschluss ist es wichtig, der abnehmenden Velonutzung der Jungen entgegen zu wirken, weil die Verkehrsmittelwahl in diesem Alter das zukünftige Mobilitätsverhalten entscheidend prägt. Seniorinnen und Senioren brauchen hindernisfreie Zugänge und ein sicheres, qualitativ gut ausgestattetes Fussverkehrsnetz. Dazu zählen auch Orte für Pausen, etwa Sitzbänke. Aber auch Pendler und Pendlerinnen, der Einkaufs- und Freizeitverkehr – in allen Altersgruppen – liegen mir am Herzen!
 7. Wo gibt es Fuss-Velo-Konzepte bereits? Vor allem Städte haben in den letzten Jahren begriffen, dass sie nicht mehr nur auf die Verkehrsmittel Auto und ÖV setzen können. Der ÖV kommt an Kapazitätsgrenzen und steht je nach dem selber im Stau. Der Ausbau von Infrastruktur fürs Auto ist teuer. Oft teurer

jedenfalls als Infrastruktur für den Fuss- und Veloverkehr. Das Angebot für den Fuss- und Veloverkehr wurde in der Verkehrsplanung der 50er bis 80er Jahren vernachlässigt. Dieses Defizit gilt es aufzuholen. Ein weiterer Vorteil: Der Fuss- und Veloverkehr verursacht keine Emissionen, braucht kaum Platz und die Bewegung tut gut und macht Freude. Entsprechend sind viele Städte auf den Geschmack gekommen: Luzern hatte eine Velooffensive, Bern will Velohauptstadt werden. Es laufen aber in vielen Schweizer Städten entsprechende Bemühungen. Ein Blick ins Ausland ist ebenfalls erfreulich: Vorreiter sind Städte in den Niederlanden und in Dänemark, aber auch Deutschland und Frankreich hat den Wert vor allem vom Veloverkehr erkannt.

8. Was sind die Erfahrungen damit? Das kann ich so pauschal nicht beantworten. Meine Wahrnehmung: Je mehr über die Wichtigkeit, die Vorteile, der Nutzen von Fuss- und Veloverkehr insbesondere in Städten gesprochen wird und je mehr Massnahme umgesetzt und dieser Verkehr gefördert wird, desto mehr werden auch die vielleicht etwas weniger liebsamen Massnahmen wie die Aufhebung von Parkplätzen mitgetragen. In der Stadt Bern beispielsweise ist der Aufschrei natürlich noch da, wenn Parkplätze aufgehoben oder Fahrspuren fürs Auto aufgehoben werden. Aber es wird inzwischen gemacht. Und die Legitimation ist da, weil es auch immer mehr Veloverkehr gibt. Daher ist auch die Verkehrszählung (nicht nur Autoverkehr und ÖV-Frequenzen, sondern auch Fuss- und insbesondere Veloverkehr) ein wichtiger Faktor bei der Fuss- und Veloförderung. Nur so kann der Erfolg von Massnahmen auch gemessen und ausgewiesen werden. Die Gemeinde Köniz hat ihr Velozählstellennetz deshalb 2020 von vier auf 15 Zählstellen ausgebaut (siehe [Website](#)).
9. Welches Potential sehen Sie in Fuss-Velo-Konzepten? Der Ausbau/Umbau von Infrastruktur ist die Grundlage, damit sich die Menschen sicher fühlen, sonst setzen sie sich gar nicht erst auf ein Velo oder wagen sich zu Fuss aus dem Haus. Die Planung und Umsetzung von Infrastrukturmassnahmen ist aber ein anspruchsvoller langfristiger Prozess. Mit Förderprogrammen wie "Fuss Velo Köniz" wird dem Rechnung getragen, in dem nebst der Infrastruktur auch Kommunikations-, Dienstleistungs- und Fördermassnahmen angegangen werden. Diese kosten nicht viel im Vergleich zu Infrastrukturausbauten und schränken auch niemanden in seinem Privatbesitz ein und sind daher breiter akzeptiert. Sie begünstigen aber im besten Fall die Arbeiten an den Infrastrukturmassnahmen, weil sie Goodwill, Akzeptanz oder sogar einen gewissen öffentlichen Druck schaffen (siehe Ausführungen bei Frage 8).
10. Wo liegen die Herausforderungen? Welches Verkehrsmittel zu welchem Zweck gewählt wird, hängt auch davon ab, wie sicher man sich unterwegs fühlt. Deshalb legt die Gemeinde Köniz mit "Fuss Velo Köniz" ein grosses Augenmerk auf sichere Fuss- und Velowege. Solche Projekte sind aber meistens nicht von heute auf morgen umsetzbar – wie oben ausgeführt.
11. Was sind Ihre nächsten Schritte? Ich konzentriere mich als Programmleiterin weiterhin darauf, in allen drei Schwerpunkten Massnahmen voranzutreiben und dabei das mir für das Programm zur Verfügung stehende Geld sinnvoll und effizient einzusetzen. Konkret werden wir weiterhin Infrastrukturprojekte vorantreiben wie der Fuss- und Radweg entlang der S-Bahn in Wabern, werden weitere Dienstleistungsangebote schaffen wie z.B. öffentliche Velopumpen und uns vermehrt mit den Schulen an die Eltern-Taxi-Thematik machen. Wenn unsere

Kinder lernen, dass zu Fuss gehen "fägt" und mit dem Velo zur Schule zu gehen praktisch ist, werden sie das bestimmt auch als Erwachsene noch wissen!
Zudem will ich auch weiterhin Ressourcen anzuzapfen, d.h. gute, laufende Ideen aufgreifen und unterstützen, wie beispielsweise das ältere Paar aus dem Liebfeld, dass sich eine Velorikscha angeschafft, einen Verein gegründet hat und nun Ausfahrten für mobilitätseingeschränkte Menschen anbietet (siehe www.velores.ch). Eine schöne und absolut unterstützungswürdige Initiative!

12. Haben Sie Bemerkungen?

Ich bin damit einverstanden, namentlich in dieser Maturaarbeit erwähnt zu werden.

* Netto-Null soll heissen, dass auf einer bestimmten Fläche (hier der Schweiz) nicht mehr Emissionen ausgestossen werden, als auf derselben durch natürliche Ökosysteme gebunden werden können. Die Klimastreikbewegung fordert die Erreichung dieses Zieles bis 2030.

** vier v's

(https://www.bernmittelland.ch/wAssets/docs/themen/verkehr/projekte/mobilitaetsstrategie-2040/Mobilitaetsstrategie_Region_Bern-Mittelland_2040.pdf ab S. 31):

- Vernetzen:
 - digitale Vernetzung
 - Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel fördern
- Vermeiden:
 - Abstimmung von Verkehrs- und Siedlungsplanung (Personenverkehr)
 - Förderung von ortsunabhängigem Arbeiten
 - Bündelung von Warenströmen
- Verlagern:
 - Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf energie- und flächensparende Verkehrsmittel
- Verträglich gestalten:
 - Optimierung des Verkehrsaufkommens
 - Optimierung des Modalsplits
 - Optimierung von Fahrzeugen und Antrieben

Fragebogen Maturaarbeit zum Ziel Netto-Null 2030*

Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr der Schweiz möglich und, falls ja, wie?

Allgemein:

11. Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr auf der Fläche der Schweiz (ohne Einbezug der grauen Energie) möglich / realistisch?
 - Ich denke, dass es möglich wäre, rein technisch. Das Problem ist die Einstellung der Leute. Die Letzt Abstimmung über das CO₂-Gesetz hat wieder einmal gezeigt, dass Geld immer wichtiger ist, als der Klimaschutz. Wenn man sieht, wie wenig sich in dem Bereich in den letzten 10 Jahren verändert hat, dann sehe ich schwarz für die nächsten 10 Jahre.
12. Was braucht es, um dieses Ziel zu erreichen?
 - Es braucht das Bewusstsein der Menschen, dass eine Änderung ihrer Gewohnheiten unabdingbar ist. Die Menschen müssen vermehrt auf das eigene Auto und das Fliegen verzichten. Es braucht CO₂-Abgaben für den Flugverkehr und bei den Autos eine Lenkungsabgaben fürs Benzin. Verbot von fossilen Motoren. Verbot von Ölheizungen. Es müssen Anreize geschaffen werden, damit die Leute ihre Gewohnheiten ändern, zum Beispiel durch Subventionen.
13. Welches der „vier v’s“** sehen Sie zur Erreichung dieses Zieles als das wichtigste an?
 - Verlagern: Und das gesetzlich vorgeben.
14. Inwiefern trägt Ihr Projekt zur Erreichung dieses Zieles bei?
 - mybuxi fährt mit E-Strom, transportiert mehrere Personen auf einmal (Ride-sharing), und kombiniert Fahrten (pooling), damit ersetzt es bis zu 30 Pws.
15. Welche Konzepte wie Mobilitäts-Hubs, Förderung Langsamverkehr oder weitere haben für sich alleine oder in Kombination ein Potential zur Erreichung des Netto-Null-Ziels?
 - Das Wichtigste ist, von den Treibhausgasen wegzukommen. Dies ist durch die E-Mobilität zu erreichen. Auch Batterien haben aber graue Energie, weshalb Wasserstoff eine bessere Alternative wäre. Förderung des Langsamverkehrs ist sicher auch wichtig, wenn Fahrradwege ausgebaut werden und Erreichbarkeit auf dem Land auch ohne Privatauto gegeben ist.

Teilen von Autos, First-/last-mile-Angebote — mybuxi:

1. Was ist mybuxi?
 - Einer nachhaltigen Mobilität kommt in der Energiewende und dem Klimaschutz eine Schlüsselrolle zu. mybuxi bringt als soziales und nachhaltiges Mobilitätsangebot «Fahrt auf Verlangen» in den ländlichen Raum der Schweiz. Mit dem «erste & letzte Meile-Angebot» kann die ganze Schweiz ohne eigenes Auto mobil sein. mybuxi fährt nicht nach einem starren Fahrplan oder nach Linien, sondern flexibel in einer

Region, genau wann und wo es gebraucht wird. Über die mybuxi-App buchen Passagiere die Fahrt zum Bahnhof, zum Arzt, zu Sehenswürdigkeiten, zum Einkaufen oder nach Hause. Nach der Eingabe von Startort, Anzahl Fahrgäste und Zielort werden sie vom mybuxi abgeholt, entweder «vor der Haustüre» (Tür-zu-Tür-Modus) oder an einem «virtuellen Haltepunkt» in der Nähe (Ecke-zu-Ecke-Modus). Das System von mybuxi bündelt Fahrgäste, die in der gleichen Richtung unterwegs sind. Durch dieses «Pooling» wird das Angebot von mybuxi einerseits wirtschaftlicher und verbessert andererseits die Ökobilanz der Mobilität.

2. Welche Idee steckt dahinter?
 - In der Stadt gibt es viele Alternativen zum Privatauto, auf dem Land jedoch nicht. Die erste und die letzte Meile wird da meist mit dem Privatauto zurückgelegt. Dies führt zu hohem Cos-Ausstoss und Stau in der Stadt. mybuxi bietet eine neue Alternative zum Privatauto auf dem Land.
3. Welche Ziele sollen erreicht werden?
 - Wir wollen schnell, bis 2025, ein flächendeckendes First-/Lastmile Angebot in der Schweiz aufbauen. Damit wollen wir einen signifikanten Beitrag zur Erreichung der Nachhaltigkeits- und Klimaziele der Schweiz im Mobilitätssektor leisten. Das Angebot wird im Grenzgebiet um die Schweiz grenzüberschreitend ausgestaltet. Eine Ausweitung auf andere (europäische) Länder wird angestrebt, um für die NutzerInnen eine durchgängige und einfache Alternative zum Privatauto zu ermöglichen. In dieser Vision verfolgen wir das Ziel, einen Anteil von 20% des Modalsplits zu Lasten des motorisierten Individualverkehrs (MIV) zu erreichen und damit den Anteil des öffentlichen Verkehrs von heute etwa 20% auf 25% zu steigern.
4. Zu welchem «v» gehören First-/last-mile-Angebote?
 - mybuxi kann zu jedem «v» zugeordnet werden.
 - Mit einem App-System sollen alle Personentransporte digital vernetzt werden.
 - Warenströme sollen gebündelt werden, bzw. kann man auf dem Land über mybuxi-market bei lokalen Geschäften bestellen und beliefert werden.
 - Verlagerung vom Privatauto auf geteiltes E-car-sharing.
 - Emissionsfreie Autos testen und ein neues Verkehrsmittel fürs Land bieten
5. Wieso ist mybuxi nachhaltiger als die Alternativen (MIV, car-sharing, Taxi)?
 - E-Mobilität
 - Mehrere Personen fahren in einem Auto mit
 - Fahrten in die gleiche Richtung werden gebündelt
6. Wer ist die Zielgruppe?
 - Alle Personen, von Jung bis Alt, die in den ländlichen Regionen der Schweiz wohnen und auf das Privatauto verzichten möchten oder müssen.
7. Wo gibt es mybuxi bereits?
 - Emmental, Herzogenbuchsee, Andermatt
8. Was sind die Erfahrungen damit?

- Grundsätzlich finden die Leute das Angebot gut. Die Personen, die bereits mit mybuxi gefahren sind, fahren immer wieder. Es ist eher schwierig, neue Personen zu gewinnen. Man «verkauft» mit mybuxi nicht einfach ein Produkt, sondern eine Idee/eine Einstellung. Die Leute müssen anfangen, auf ihr eigenes Auto zu verzichten zu wollen. Und eine Einstellungsänderung zu bewirken, ist unglaublich schwierig.
9. Welches Potential sehen Sie in First-/last-mile-Angeboten?
- Wenn die Angebote CO₂ neutral sind, den MIV ersetzen und den öV ergänzen, dann sehe ich ein grosses Potenzial in diesen Angeboten, um dem Ziel des Netto-Null näher zu kommen.
10. Wo liegen die Herausforderungen?
- Siehe Punkt 8 : Einstellungsveränderung bei den Leuten
 - Politik: Es gibt zu viele Regeln und Gesetze, die starr sind und die sich in Richtung on-demand Mobilität verändern müssten. Die Politik muss sich mehr zur on-demand mobilität bekennen.
 - Konkurrenz: Das Auto hat eine starke Lobby. Der öV fühlt sich grundlos bedroht. Die Gefahr besteht, dass es wie beim öV, irgendeinmal 100 verschiedene on-demand Anbieter gibt.
11. Was sind Ihre nächsten Schritte?
- Die jetzigen Regionen ausweiten und neue Gemeinden dazu nehmen, damit wir 2025 flächendeckend in der Schweiz fahren können.
 - Verschiedene Regionen ausprobieren: Alpin, Stadtnah, Land
12. Haben Sie Bemerkungen?

Ich bin damit einverstanden, namentlich in dieser Maturaarbeit erwähnt zu werden.

* Netto-Null soll heissen, dass auf einer bestimmten Fläche (hier der Schweiz) nicht mehr Emissionen ausgestossen werden, als auf derselben durch natürliche Ökosysteme gebunden werden können. Die Klimastreikbewegung fordert die Erreichung dieses Zieles bis 2030.

** vier v's

(https://www.bernmittelland.ch/wAssets/docs/themen/verkehr/projekte/mobilitaetsstrategie-2040/Mobilitaetsstrategie_Region_Bern-Mittelland_2040.pdf ab S. 31):

- Vernetzen:
 - digitale Vernetzung
 - Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel fördern
- Vermeiden:
 - Abstimmung von Verkehrs- und Siedlungsplanung (Personenverkehr)
 - Förderung von ortsunabhängigem Arbeiten
 - Bündelung von Warenströmen
- Verlagern:
 - Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf energie- und flächensparende Verkehrsmittel
- Verträglich gestalten:
 - Optimierung des Verkehrsaufkommens
 - Optimierung des Modalsplits
 - Optimierung von Fahrzeugen und Antrieben

Fragebogen Maturaarbeit zum Ziel Netto-Null 2030*

Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr der Schweiz möglich und, falls ja, wie?

Allgemein:

16. Ist Netto-Null 2030 im Personenverkehr auf der Fläche der Schweiz (ohne Einbezug der grauen Energie) möglich / realistisch?

Sehe ich nicht als realistisch. Der MIV kann nicht in der Art beschränkt werden, dass wir auf Netto-Null kommen. Hierzu wäre ein kompletter Umbau der gesamten Wirtschaft notwendig – was wiederum mit unseren Gesetzen (Arbeitszeiten) nicht ohne weiteres möglich ist, da solche Anpassungen von diversen Gruppen bekämpft werden. Ebenso ist die Bereitstellung von rein grüner Energie (Eigenproduktion) in dieser kurzen Zeit nicht möglich. Den gesamten öV auf elektrisch umzustellen sehe ich technisch und mit Einbezug der heute vorhandenen (grünen) Ressourcen nicht möglich, da es v.a. in den ländlichen Gebieten an den notwendigen technischen Infrastrukturen fehlt. Zusätzlich ist die Schweiz nicht in der Lage, den notwendigen Strom selber (grün) zu produzieren. Wenn 2030 alles Null-Emissionen sein sollte, müssten alle Neubeschaffungen ab jetzt Emissionsfrei sein. Die Nutzungsdauer vieler Fahrzeuge ist 10 Jahre oder sogar länger.

17. Was braucht es, um dieses Ziel zu erreichen?

Die Kosten werden hoch sein. Leisten könnten wir es uns. Es ist mehr die Frage ob wir gewillt sind diese Kosten zu tragen. Von der Technologie her wären wir mittelfristig in der Lage. Heute ist die Schweiz nicht in der Lage, die notwendige Energie (für Batterien oder auch für die H2-Produktion) selbständig, auf grüner Basis herzustellen. Es klappt nicht, weil wir nicht wollen. Wir wollen Energie aber keine Windkraftwerke in der Nachbarschaft, keine neuen Stauseen etc. Gesetze, welche dies ermöglichen sollten, werden bekämpft (z.B. Windparks, Erhöhung von Staumauern, Grossangelegte Solarparks, weitreichende Fassadeneinkleidung mit Solar, etc.). Um dieses Ziel zu erreichen, müsste der Strom dort produziert werden können, wo dieser benötigt wird.

18. Welches der „vier v’s“** sehen Sie zur Erreichung dieses Zieles als das wichtigste an?

Vernetzten und Verträglich.

19. Inwiefern trägt Ihr Projekt zur Erreichung dieses Zieles bei?

Wir waren die ersten, welche Nutzfahrzeuge (< 3.5 to) mit elektrischem Antrieb im Angebot gehabt haben und sind nun die einzigen, welche in Zusammenarbeit mit der HHM (Hyundai Hydrogen Mobility) ein Wasserstoffbetriebenen Lastwagen auf der Strasse haben (aktuell 50 Stk., Ende Jahr zusätzlich 150 Stk., Ziel bis 2026: 1'600 Stk.)

Diese Fahrzeuge sollten – sofern die grüne Produktion nicht ausfällt – ausschliesslich mit grünem Wasserstoff fahren.

20. Braucht es die Brennstoffzelle, um Netto-Null 2030 zu erreichen?

Unabhängig von Netto-Null, braucht es die Brennstoffzelle. Es gibt nicht DIE Antriebsart für die Zukunft. Je nach Nutzung ist eine andere Antriebsart sinnvoll. (Distanz, Geografie, Art der Nutzung, Zuladung, etc.) Zusätzlich kann der Einsatz

von Brennstoffzellen beim Einsatz von Wasserstoff als Energiespeicher (z.B. bei Gebäuden) eingesetzt werden.

21. Welche Konzepte wie First / last mile-Angebote, Förderung Langsamverkehr, Mobilitäts Hubs („Mobilitätsdreh scheiben“) oder weitere haben für sich alleine oder in Kombination ein Potential zur Erreichung des Netto-Null-Ziels?
Siehe 3) das geht nur in Kombination

Nachhaltige Antriebstechnik — Auto AG Group:

14. Welche nachhaltigen Antriebsmöglichkeiten gibt es heute?. Wir haben alles im Angebot. H2 mit Hyundai, BEV mit Fiat Professional, MAN und Maxus, CNG & LNG sowie LPG mit Iveco.
15. Zu welchem “v“ gehören nachhaltige Antriebstechniken?
Verträglich (Substitution)
16. Was ist Ihre Einschätzung: Braucht es eine Kombination von Antrieben oder wird eine Technik das Rennen machen?
Es wird in Zukunft nicht DIE Antriebsart geben. Je nach Nutzung des Fahrzeuges wird die Antriebsart verschieden sein. Im städtischen / urbanen Gebiet kann die für kurze Strecken durchaus Elektro sein (auch für den öV), aber sobald der öV in die ländlichen Gebiete geht, wird der Wasserstoff eine benötigte Alternative sein. Strom und Batterie haben eine begrenzte Kapazität. Auch die benötigte Zeit zum Aufladen einer Batterie ist für den öV im ländlichen Gebiet ein Faktor, welcher es zu berücksichtigen gilt. Wasserstoff hat eine grösserer Reichweite, weniger Platzbedarf als eine adäquate Batterie und die Zeit zum Betanken mit Wasserstoff ist vergleichbar mit den betanken von Diesel.
17. Was braucht es, damit sich nachhaltige Antriebstechniken / die Brennstoffzelle langfristig durchsetzen / durchsetzt?
Den Willen des Gesetzgebers und tiefere Stromkosten (Herstellungskosten für H2)
18. Wo soll die Brennstoffzelle im Einsatz sein?
Aktuell wird von der Politik im öV nur Batterie- Elektro favorisiert. Dieser hat durchaus seine Berechtigung, v.a. im urbanen Gebiet, insbesondere in den Städten. Überland jedoch, oder bei langen Distanzen, kommt der öV mit Elektrobussen nicht weit (Lademöglichkeit, Zeitdauer zum Laden, Elektroinstallationen (z.B. Schnellader) funktionieren heute nicht für die kurze Zeit, welche ein Bus an der Haltestelle verweilt. Hier ist Wasserstoff eindeutig die bessere Antriebsart. Da aber noch im «Prototyp-Stadium» sind diese Fahrzeuge teurer (BEV ist fast gleich teuer wie H2 und wenn man bei H2 bestehende Infrastruktur nutzt ist das nicht mehr teurer) und die zusätzlichen Kosten werden nicht übernommen.
Wasserstoff kann überall als Alternative eingesetzt werden. Sinnvoll (bzw. weniger in Konkurrenz) zur Batterie sind die weiteren Distanzen, weniger Gewicht und kürzerer Tankdauer).
Auch der Einsatz von Brennstoffzellen als Antrieb für die Schifffahrt ist möglich und denkbar. Studien in der EU zeigen, dass dies durchaus einfach machbar ist.
19. Wie steht die Brennstoffzelle kostenmässig und im Bezug auf den Wirkungsgrad / die optimale Leistung im Vergleich zu Benzin- / Diesel- und Elektroantrieben da?
Anschaffungskosten:
Basis Dieselfahrzeug (öV): Elektro (E-Depotlader) +65%, Trolley +120%,

Brennstoffzelle +200%) Denke nicht das das stimmt, ausser man rechnet alle kosten proprietär, also eigene Tankstelle etc.

Der Wirkungsgrad von «well to wheel» (Quelle zu Rad) von H2 ist sicher schlechter als von BEV

20. Was sind die Erfahrungen mit Brennstoffzellen?

Fahrzeugtechnologie sehr gutes Kundenfeedback.

Kritischer Punkt sind die wenigen Tankstelle (7 in der CH), die Tankinfrastruktur und die Abhängigkeit von einem Wasserstoffherstellen in der Schweiz.

21. Wo liegen die Herausforderungen?

Ab diesem Hersteller werden die Tankstellen mit einem LKW beliefert. Pro Tank können damit ca. 10 Lastwagen betankt werden. D.h. wenn einmal 1'600 Lastwagen im Einsatz sind und diese täglich tanken, haben wir a) gar nicht die Kapazität um den Wasserstoff herzustellen und b) gibt es einen riesigen logistischen Aufwand, den Wasserstoff in den ganzen CH zu verteilen. Sinnvollerweise sollte der Wasserstoff dort produziert werden, wo dieser auch benötigt wird.

22. Was sind Ihre nächsten Schritte?

Auslieferung der ersten 3-Achser Hyundai Xcients und Ausbau der Flotte im allgemeinen (1660 bis 2025) Wir möchten einen Prototyp/Pilotprojekt für Wasserstoffangetriebene Busse im öV machen.

Prüfen von eigener Herstellung von H2 für den H2-Bedarf in den eigenen Werkstätten.

23. Haben Sie Bemerkungen?

Ich bin damit einverstanden, namentlich in dieser Maturaarbeit erwähnt zu werden.

* Netto-Null soll heissen, dass auf einer bestimmten Fläche (hier der Schweiz) nicht mehr Emissionen ausgestossen werden, als auf derselben durch natürliche Ökosysteme gebunden werden können. Die Klimastreikbewegung fordert die Erreichung dieses Zieles bis 2030.

** vier v's

(https://www.bernmittelland.ch/wAssets/docs/themen/verkehr/projekte/mobilitaetsstrategie-2040/Mobilitaetsstrategie_Region_Bern-Mittelland_2040.pdf ab S. 31):

- Vernetzen:
 - digitale Vernetzung
 - Vernetzung verschiedener Verkehrsmittel fördern
- Vermeiden:
 - Abstimmung von Verkehrs- und Siedlungsplanung (Personenverkehr)
 - Förderung von ortsunabhängigem Arbeiten
 - Bündelung von Warenströmen
- Verlagern:
 - Verlagerung des Verkehrsaufkommens auf energie- und flächensparende Verkehrsmittel
- Verträglich gestalten:
 - Optimierung des Verkehrsaufkommens
 - Optimierung des Modalsplits
 - Optimierung von Fahrzeugen und Antrieben

Berechnungen Messungen

Variabel	Bedeutung	Einheit
P_{ch}	Chemische Leistung	Watt (W)
P_{el}	Elektrische Leistung	Watt (W)
p	Druck	Pascal
V	Volumen	m^3
n	Stoffmenge	mol
R	Gaskonstante	$J/mol \cdot K$
T	Temperatur	Kelvin (K)
H	Heizwert	J/kg
μ	Molare Masse	kg/mol
t	Zeit	sec
η	Wirkungsgrad	%
m	Masse	kg
ΔE	Energie	J

Konstanten:

$$p = 95'050 Pa$$

$$T = 295,24 K$$

$$V = 2E - 05 m^3$$

$$n = 7,75E - 04 mol$$

$$R = 8,314 \frac{J}{mol} \cdot K$$

$$H_{H_2} = 120'000'000 \frac{J}{kg}$$

$$\mu_{H_2} = 2,02 \frac{g}{mol} = 0,00202 \frac{kg}{mol}$$

$$m_{H_2} = 1,56515E - 06 kg$$

Leistung

$$P_{el} = \frac{U^2}{R}$$

da $P = U * I$ und $I = \frac{U}{R}$

	Widerstand R [Ω]	Spannung U [mV] (Messwert)	Stromstärke I [A]	Leistung P [W]
1	47	910	0.019361702	0.017619149
2	33	894	0.027090909	0.024219273
3	22	877	0.039863636	0.034960409
4	10	839	0.0839	0.0703921
5	8.2	829	0.101097561	0.083809878
6	6.8	818	0.120294118	0.098400588
7	4.7	793	0.168723404	0.13379766
8	3.3	770	0.233333333	0.179666667
9	2.2	736	0.334545455	0.246225455
10	1	646	0.646	0.417316
11	0.82	621	0.757317073	0.470293902
12	0.47	527	1.121276596	0.590912766
13	0.33	465	1.409090909	0.655227273
14	0.22	391	1.777272727	0.694913636
15	0.1	250	2.5	0.625
16	0.033	97	2.939393939	0.285121212
17	0.022	66	3	0.198
18	0.015	48	3.2	0.1536
19	0.01	32	3.2	0.1024

Wirkungsgrad

$$\eta := \frac{\Delta E_{el}}{\Delta E_{ch}} * 100 = \frac{\Delta E_{out}}{\Delta E_{in}} * 100$$

Chemische Energie

$$\Delta E_{ch} = H_{H_2} * m_{H_2}$$

Herleitung aus der Gleichung der idealen Gase:

$$p * V = n * R * T \quad | : (T * R)$$

$$n = \frac{p * V}{R * T}$$

Einsetzen in $m_{H_2} = \mu * n$

$$\Delta E_{ch} = H_{H_2} * m_{H_2} = H_{H_2} * \mu * n = H_{H_2} * \mu * \frac{p * V}{R * T}$$

Elektrische Energie

$$\Delta E_{el} = P_{el} * \Delta t$$

Herleitung:

$$P_{el} = U * I = \frac{U^2}{R}$$

$$\Delta E_{el} = P_{el} * \Delta t = U * I * \Delta t = \frac{U^2}{R} * \Delta t$$

Widerstand R [Ω]	Spannung U [V]	Zeit Δt [sec]	Leistung P [W]	Energie Input Ei [J]	Energie Output Eo [J]	Wirkungsgrad
47			0	187.8185623	0	0
33			0	187.8185623	0	0
22			0	187.8185623	0	0
10	0.844	1445	0.0712336	187.8185623	102.932552	54.80424869
8.2	0.82	1283	0.082	187.8185623	105.206	56.01469774
6.8	0.81	1215	0.096485294	187.8185623	117.2296324	62.41642513
4.7	0.787	843	0.131780638	187.8185623	111.0910781	59.14808244
3.3	0.755	631	0.172734848	187.8185623	108.9956894	58.03243728
2.2	0.737	425	0.246895	187.8185623	104.930375	55.86794707
1	0.64	231	0.4096	187.8185623	94.6176	50.3771293
0.82	0.616	198	0.46275122	187.8185623	91.62474146	48.78364541
0.47	0.519	131	0.573108511	187.8185623	75.07721489	39.97326673
0.33	0.456	110	0.630109091	187.8185623	69.312	36.90370064
0.22	0.38	88	0.656363636	187.8185623	57.76	30.75308387
0.1	0.25	68	0.625	187.8185623	42.5	22.62822134
0.033	0.094	50	0.267757576	187.8185623	13.38787879	7.128091399
0.022	0.058	57	0.152909091	187.8185623	8.715818182	4.64055207
0.015	0.044	51	0.129066667	187.8185623	6.5824	3.504658921
0.01	0.031	47	0.0961	187.8185623	4.5167	2.404820878

Quellen / Literaturverzeichnis

Podcasts & Dokus

- digital kompakt, Deep Dive Mobility – Mobility in Stadt vs. Land: Vergessen wir den ländlichen Raum? #11, 17.3.2021, <https://www.digitalkompakt.de/podcastformate/deep-dive-mobility/>, 21.3.2021
- SWR, Mobilität der Zukunft – Geht es auch ohne Autos?, 28.1.2021, <https://www.ardmediathek.de/ard/video/planet-wissen/mobilitaet-der-zukunft-geht-es-auch-ohne-autos/swr-fernsehen/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWl0cmFnLTdmNzdlODIyLWLM2YTgtNDQxMC1hNTg5LTg0NmYzNjM2YzM3ZA/>, 21.3.2021
- Nationaler Klimatag, Mission Mobilität: Panel mit Peter Arnet, Roland Lötscher, Dr. Alois Freidhof und Judith Häberli, 31.5.2021 <https://youtu.be/zDOZeGR8syI>, 31.5.2021
- Tagesschau, Stand der Erderwärmung – UN-Weltklimarat IPCC legt neuen Bericht vor, 9.8.2021, <https://www.youtube.com/watch?v=NPdqSakXwUM>, 9.8.2021

Bücher

- Hänggi, Marcel: NULL ÖL. NULL GAS. NULL KOHLE., Zürich 2018, Rotpunktverlag, S. 138ff.

Internetliteratur

- Wikipedia, diverse Unterseiten, <https://de.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Hauptseite>, 30.9.2021
- Umweltbundesamt, kollektiver Verkehr Begriff, https://sns.uba.de/umthes/de/concepts/_00669382.html, 30.9.2021
- LITRA, Startseite, <https://litra.ch/de/>, 30.9.2021
- Fedlex, Bundesgesetz über die Personenbeförderung, 20.3.2009, <https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/2009/680/20180301/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-2009-680-20180301-de-pdf-a.pdf>, 30.9.2021
- Schweizerische Eidgenossenschaft, Bundesrat will bis 2050 eine klimaneutrale Schweiz, 28.8.2019, <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-76206.html>, 9.10.2021
- Intergovernmental panel on climate change (IPCC), climate change 2021 – the physical science basis – summary for policymakers, https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf, 26.8.2021
- Bundesamt für Energie, Gesamtenergiestatistik 2019, 9.7.2020, <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>, 14.10.2021
- Bundesamt für Statistik, Mobilität und Verkehr – Das Wichtigste in Kürze, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr.html>, 27.9.2021
- Bundesamt für Statistik, Energieverbrauch im Verkehr, 10.8.2020, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/grafiken.assetdetail.13887394.html>, 5.10.2021
- LITRA, VÖV & Bundesamt für Raumentwicklung, Der Modalsplit des Personenverkehrs in der Schweiz, S. 2, 6t-bureau de recherche (2019), 29.9.2021
- Bundesamt für Statistik, MONET 2030: Modalsplit im Personenverkehr, 13.10.2020, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/nachhaltige-entwicklung/monet-2030/alle-nach-themen/11-staedte-gemeinden/modalsplit-personenverkehr.html>, 9.10.2021
- SBB, Energiestrategie., <https://company.sbb.ch/de/sbb-als-geschaeftpartner/leistungen-evu/energie/energiestrategie.html>, 5.9.2021

- Bernmobil, Geschäftsbericht – auf dem Weg zur klimaneutralen Flotte – Strom statt Gas, <https://geschaeftsbericht.bernmobil.ch/de/fokus-2019/fahrzeuge/?oid=61&lang=de>, 5.9.2021
- Regionalkonferenz Bern-Mittelland (RKBM), Mobilitätsstrategie Region Bern-Mittelland 2040, S.31ff. Dezember 2019, https://www.bernmittelland.ch/wAssets/docs/themen/verkehr/projekte/mobilitaetsstrategie-2040/Mobilitaetsstrategie_Region_Bern-Mittelland_2040.pdf, 20.7.2021
- Bundesamt für Umwelt, Klima: Das Wichtigste in Kürze – 2. Ausstoss von Treibhausgasen (Belastungen), <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/inkuerze.html#-1439031040>, 28.8.2021
- Bundesamt für Statistik, Treibhausgas-Fussabdruck – Treibhausgasemissionen aufgrund der Schweizer Endnachfrage, 29.9.2020, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/raum-umwelt/umweltgesamtrechnung/luftemissionen.assetdetail.14447849.html>, 14.10.2021
- Hyundai Hydrogen Mobility, Startseite, <https://hyundai-hm.com/>, 30.8.2021
- Gemeinde Köniz, Parlamentssitzung vom 18. März 2019 – Protokoll, https://www.koeniz.ch/public/upload/assets/15271/2019-03-18_Protokoll.pdf, S. 120, 1.10.2021
- Gemeinde Köniz, Fuss Velo Köniz – Velozählung, <https://www.fussvelokoeniz.ch/fuss-velo/mit-dem-velo/velozaehlung.page/1281>, 14.10.2021
- VeloRes, Startseite, <https://www.velores.ch/index.html>, 20.8.2021
- ewe, die Farben des Wasserstoffs, <https://www.ewe.com/de/zukunft-gestalten/wasserstoff/die-farben-des-wasserstoffs>, 29.9.2021
- Umweltzeitung, Wasserstoff-Lkw erobern Schweizer Strassen, <https://umweltzeitung.ch/news/wasserstoff-lkw-erobern-schweizer-strassen/>, 9.10.2021

Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung und Anteil der fünf Verbrauchsgruppen am Energieverbrauch (TJ = Terajoule).....	9
Abbildung 2: Deckung Energieverbrauch Verkehr Schweiz 2019 ³⁰	10
Abbildung 3: Modalsplit Schweiz 2005-2015 ³¹	11
Abbildung 4: Treibhausgasausstoss durch die Schweizer Bevölkerung verursacht.....	13
Abbildung 5: Cartoon, Quelle: CAP.....	16
Abbildung 6: Stimmungsbild, Quelle: CAP.....	19
Abbildung 7: Verteilung der Verkehrsmittel für Fahrten im Personenverkehr, 2017. Quelle: Tom van Dam; Rohdaten: CBS, OViN 2017.	19
Abbildung 8: Velo-Rikscha von VeloRes ⁴²	20
Abbildung 9: Vergleich Wirkungsgrad dreier Antriebsarten (batterie-elektrisch, Brennstoffzelle, Verbrennungsmotor), Quelle: Christoph Schreyer.....	22
Abbildung 10: Skizze Aufbau Brennstoffzelle, ©Anouk K.	24
Abbildung 11: Skizze Aufbau, ©Anouk K.	25
Abbildung 12: Foto Aufbau, ©Anouk K.	25
Abbildung 14: Skizze Seitenansicht Brennstoffzelle, beim Durchspülen.....	25
Abbildung 14: Frontansicht Brennstoffzelle.....	25
Abbildung 15: elektrischer Schaltkreis Experimentaufbau.....	26
Abbildung 16: Verhältnis von Spannung und Widerstand.....	26
Abbildung 17: Verhältnis von Leistung und Widerstand.....	27
Abbildung 18: Verhältnis von Wirkungsgrad und Widerstand.....	28
Abbildung 19: Kennzahlen PEM-Brennstoffzelle.....	29
Abbildung 20: Grafik Fehlerrechnung.....	29

