

Vollständige Dekarbonisierung des Personenverkehrs in der Schweiz bis 2050 ohne wirtschaftliche Einbussen möglich

Zusammenfassung für politische EntscheidungsträgerInnen

im Auftrag des Schweizerischen Nationalfonds, NFP73

Martin Peter, Vanessa Angst, Markus Maibach (Infras)

Renger van Nieuwkoop, Noe Reidt (ETHZ)

Zürich, 11.02.2022



Bundesrat will bis 2050 Netto-Null erreichen. Dazu muss auch der Verkehr dekarbonisieren.

Der fortschreitende Klimawandel und die zunehmende Gefahr von Extremwetterereignissen bedeuten für die ganze Welt eine grosse Herausforderung in den kommenden Jahren und Jahrzehnten. Mit der Unterzeichnung des Pariser Abkommens verpflichtete sich auch die Schweiz, die Klimagasemissionen rasch und stark zu senken. Der Bundesrat hat sich 2021 deshalb das Ziel gesetzt, die Schweiz bis 2050 zu dekarbonisieren und bis 2030 eine Halbierung der CO₂-Emissionen zu erreichen. Der Verkehrssektor machte 2018 40% der CO₂-Emissionen aus und spielt somit eine zentrale Rolle für das angestrebte Netto-Null-Ziel der Schweiz. Im Gegensatz

zum Gebäude- oder Industriesektor sind im Verkehrssektor die CO₂-Emissionen zwischen 1990 und heute nicht gesunken und die Mobilitätsrate weiter angestiegen. Zudem gibt es im Vergleich zum Gebäudebereich bisher kaum Instrumente zur Dekarbonisierung im Personenverkehr (ausser Flottengrenzwerte und Kompensationspflichten für Treibstoffimporteure). Das neue CO₂-Gesetz, welches Instrumente vorgesehen hätte, wurde jüngst vom Volk abgelehnt. Der Handlungsbedarf ist angesichts der vertraglich angestrebten Ziele hoch. Verschiedene Staatsebenen arbeiten zurzeit entsprechende Strategien und Massnahmenpakete aus. Dabei stellt sich vor allem auch die Frage nach einem nachhaltigen, wirtschaftlich optimierten Pfad. Unser NF-Forschungsprojekt knüpft hier an und beantwortet folgende Fragen:

- Welche wirtschaftlichen Auswirkungen haben einzelne Stossrichtungen zur Dekarbonisierung des schweizerischen Personenverkehrs?
- Welche Dekarbonisierungsstrategie (Kombination aus möglichen Stossrichtungen) weist die günstigsten volkswirtschaftlichen Auswirkungen für die Schweiz auf?
- Welche Instrumente sind nötig, um den Personenverkehrssektor bei möglichst positiven wirtschaftlichen Auswirkungen für die Schweiz zu dekarbonisieren?

Die Studie füllt eine Forschungslücke, indem sie verschiedene Stossrichtungen zur Dekarbonisierung des Personenverkehrs und deren wirtschaftlichen Auswirkungen mit einem Modell analysiert, das die Ebenen Fahrzeugkäufe, Flottenstruktur, Fahrzeugeinsatz und die relevanten Entwicklungen in den Verkehrs-, Energie- und weiteren Wirtschaftssektoren verbindet.

Methodisches Vorgehen

Drei grundlegende Stossrichtungen zur Dekarbonisierung im Vergleich





Die Nationalfonds-Studie analysiert die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von drei grundsätzlichen Stossrichtungen (Eckszenarien) zur Reduktion von CO₂-Emissionen im Verkehr:

- **Verbessern** (TECH): Steigerung der Kraftstoffeffizienz, der Motoreffizienz und der Transporteffizienz hin zu kohlenstoffarmen und kohlenstofffreien Technologien. Im Zentrum steht die Elektrifizierung des Personenverkehrs.
- **Vermeiden** (AUSL): Erhöhung der Auslastung der Fahrzeuge (Steigerung Transporteffizienz Fahrzeuge).
- **Verlagern** (SHIFT): Modale Verlagerung von Verkehr vom privaten (MIV) zum öffentlichen Verkehr (ÖV).

Für jede Stossrichtung haben wir ein zunächst ein Eckszenario modelliert und die Wirkungen untereinander und mit einer Referenzentwicklung (BAU) verglichen, in der keine verstärkten

Bestrebungen zur Dekarbonisierung des Verkehrs unterstellt sind. Die Referenzentwicklung ist abgestimmt mit den neusten nationalen Grundlagen der Energie¹- und Verkehrsperspektiven² sowie der Branchenszenarien³. Für die Eckszenarien haben wir basierend auf Literatur und Expertengesprächen festgelegt, welche realistischen maximalen Potentiale bezüglich CO₂-Minderung je Stossrichtung bestehen und basierend darauf ein grobes Instrumentenset zu deren Ausschöpfung festgelegt (vgl. Abbildung unten).

Dekarbonisierungsszenarien

BAU Referenz 	Verbessern (TECH) Erhöhung E-Fahrzeuge & Motor-/Treibstoffeffizienz 	Vermeiden (AUSL) Erhöhung Auslastung (Transporteffizienz) 	Verlagern (SHIFT) Modale Verlagerung vom MIV zum ÖV 
Keine zusätzlichen Massnahmen	Finanz. Förderung BEV-Infrastruktur, CO ₂ -Abgabe	z.B. Mobility Pricing, Parkplätze für gepoolte Fahrzeuge	Ausbau/Erhöhung Attraktivität ÖV, CO ₂ -Abgabe

Grafik INFRAS/ETHZ.

Die Analyse der Auswirkungen der Eckszenarien auf CO₂-Emissionen, Wertschöpfung und Beschäftigung in der Schweiz erfordert einen Modellrahmen, der die Gesamtwirtschaft mit dem Verkehrssystem in einer disaggregierten Form verknüpft. Deshalb verwenden wir einen neuen Multi-Modell-Ansatz, der aus drei verbundenen Teilmodelle besteht:

1. Ein dynamisches Gleichgewichtsmodell (CGE) für die Schweiz, dass die Gesamtwirtschaft und die einzelnen Wirtschaftssektoren abbildet und in der Energieproduktion differenziert zwischen herkömmlichen und erneuerbaren Quellen sowie zwischen im Inland produzierter und importierter Energie.
2. Ein Modell des Fahrzeugparks der Personenwagen in der Schweiz (Kohortenmodell), mit dem wir die Altersstruktur spezifischer Fahrzeugkategorien (d.h. Autos, die durch ein bestimmtes Zulassungsjahr, einen bestimmten Kraftstofftyp und eine bestimmte Leistung charakterisiert sind) sowie die Nachfrage nach neuen Pkw berechnen.

¹ BFE (2021). Energieperspektiven 2050+. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>, 2021-04-15.

² ARE (2016). Perspektiven des schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040.

³ KPMG Australia und Ecoplan (2020). Scénarios par branche et leur régionalisation, rapport finale, Bericht zuhanden des Amtes für Raumentwicklung ARE, Bundesamt für Energie BFE und Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Oktober 2020.

3. Ein Entscheid-Modell, das berechnet, welche spezifischen Fahrzeugtypen (d.h. Autos, die durch einen bestimmten Kraftstofftyp und eine bestimmte Leistung charakterisiert sind) in einem bestimmten Jahr gekauft und neu auf den Markt kommen (Choice-Modell).

Die Verknüpfung des ökonomischen Modells (1) mit den beiden Verkehrsmodellen (2 und 3) ermöglicht es - erstmalig in dieser Form für die Schweiz - ein stark disaggregiertes Verkehrssystem in die volkswirtschaftliche Analyse einzubeziehen. Daher ist unser Modellansatz mit der zentralen Schnittstelle zwischen Verkehr und Energie und dem Rest der Gesamtwirtschaft sehr geeignet, verschiedene Verkehrspolitiken zu vergleichen und sie nach ihren Auswirkungen auf Handelsströme, die Gesamtwirtschaft (BIP und Beschäftigung), die Betroffenheit der einzelnen Sektoren, den Energieverbrauch, die Energie-Produktion und die CO₂-Emissionen zu beurteilen. Unsere Modellanalysen gewährleisten, dass das Zusammenspiel der Produktion in den Verkehrsbranchen, die Verkehrsverhaltensänderungen der Verkehrsnachfrage und die Sektorkopplung mit dem Energiesektor zusammenpasst.

Im Modell können die Haushalte bei einem Anstieg der verfügbaren Einkommen wählen, ob sie damit mehr konsumieren, sparen oder mehr Freizeit (weniger Arbeit) nachfragen. Wenn also z.B. die Ausgaben für Mobilität sinken, kann der Haushalt - vereinfacht gesagt- von anderen Gütern mehr konsumieren («Rebound Effekt»), die Einsparungen aufs Sparkonto legen (was weitere Investitionen in der Volkswirtschaft ermöglicht) oder das Arbeitspensum reduzieren und mehr Freizeit wählen. Als Mass für die Auswirkungen der Dekarbonisierung auf die Gesamtwirtschaft und Gesellschaft verwenden wir aus diesem Grund im Modell sowohl die Wohlfahrt als auch das BIP, weil die Wohlfahrt neben dem BIP auch die Freizeit umfasst. Die Veränderung der externen Kosten in den untersuchten Szenarien haben wir in den Ergebnissen nicht zusätzlich betrachtet, weil wir die Strategien, Instrumente und Kosten zu deren vollständiger Vermeidung in der Volkswirtschaft explizit im Modell einbeziehen. Unsere Analyse basiert auf einem wissenschaftlich fundierten Modell, gleichzeitig legten wir jedoch im gesamten Vorgehen und in der Diskussion grossen Wert auf Praxisnähe, Dabei haben wir in den wichtigen Arbeitsphasen kontinuierlich verschiedene ExpertInnen bei der Festlegung von Annahmen und zur Diskussion von Resultaten einbezogen.

Der Fokus der Analyse liegt auf dem Personenverkehr in der Schweiz und den Betrachtungszeitpunkten 2030 und 2050. Folgende Systemgrenzen sind für die Interpretation der Resultate von Bedeutung:

- Analyse umfasst alle Verkehrsträger ausser dem Luftverkehr.
- Schweiz steigt ab 2035-2045 stufenweise aus der Atomkraft aus.
- Gas und synthetische Treibstoffe (Ptx) sowie Diesel-elektrische Antriebe und Wasserstoff sind bis 2050 wenig relevant.

- Gemäss Energieperspektiven kommen heute 0.6% Biotreibstoffe zum Einsatz. Diesen Anteil halten wir bis 2050 konstant, da wir das Potential von Biotreibstoffen als gering einstufen.
- Alle batteriebetriebenen PKW (BEV-Kategorien) sind ab 2025-2030 preislich kompetitiv.
- Die Referenzentwicklung enthält eine über die Jahrzehnte fortschreitende Digitalisierung der Wirtschaft. Weitergehende Potenziale der Digitalisierung spezifisch des Verkehrs in der Schweiz sind in den Szenarien nicht unterstellt, damit die in dieser Studie gesuchten *Auswirkungen der Dekarbonisierung im Verkehr* sichtbar werden.

Indikator Wohlergehen

Das entwickelte wirtschaftliche Analysemodell (Gleichgewichtsmodell) setzt als Indikator für das wirtschaftliche Wohlergehen in der Schweiz nicht primär aufs BIP (Bruttoinlandprodukt). Im Rahmen der Diskussionen um die «Green Economy» wird seit langer Zeit kritisiert, dass das BIP für (umwelt-)ökonomische Analysen als Zielindikator zu kurz greift, zu Fehlschlüssen führen kann und ein Mass «beyond GDP» zu betrachten sei. Ein Grund dafür ist, dass das BIP beispielsweise nicht erfasst, dass das Wohlergehen einer Gesellschaft steigt, wenn die Haushalte dank Produktivitätseffekten in der Wirtschaft weniger arbeiten müssen, um ein gewünschtes Konsumbündel zu kaufen, und somit bei unverändertem Konsum mehr Freizeit geniessen können. Ein anderes Defizit des BIP ist, dass es sich nicht verändert, wenn eine Gesellschaft mit ihren wirtschaftlichen Aktivitäten öffentliche Güter wie saubere Luft oder ein stabiles Klima schädigt, ohne dafür einen monetären Preis zu bezahlen. Unser Modell, das im Rahmen des NF-Projekts neu entwickelt wurde, bildet explizit ab, dass eine Gesellschaft das Verhältnis von Arbeits- und Freizeit wählen kann. Einige der untersuchten Stossrichtungen zur Dekarbonisierung des Personenverkehrs machen die Produktion des Verkehrs effizienter und dessen Preise günstiger. Das erlaubt es den Haushalten, dieselbe Verkehrsmenge zu tieferen Kosten zu konsumieren. Ein Haushalt kann danach entscheiden, ob er entsprechend mehr Freizeit will und in der Summe gleichviel konsumiert wie vorher, oder ob er gleichviel arbeitet, wie in der Startsituation vor der Dekarbonisierung und dafür seinen Konsum ausdehnt. Beides stellt eine Wohlfahrtszunahme dar. Deshalb orientieren wir uns in der Studie primär am Zielindikator 'Wohlfahrt' des Modells, der neben dem BIP auch den Nutzen der Freizeit erfasst. Wenn die Haushalte ihr Arbeitsangebot in den Szenarien nicht anpassen, dann entsprechen die berechneten Wohlfahrtsergebnisse exakt den resultierenden BIP-Effekten, weil die Produktivitätssteigerungen vollständig zu Mehrkonsum führen.

Wichtigste Ergebnisse

Szenarienvergleich: Nur eine Kombination der Stossrichtung ist zielführend

Die Analyse der Eckszenarien zeigt, dass keine Stossrichtung allein die angestrebte Dekarbonisierung des Personenverkehrs erreichen kann. Nach der Modellanalyse der wirtschaftlichen Auswirkungen der einzelnen Eckszenarien testeten wir deshalb Kombinationen der drei Stossrichtungen, welche das Ziel der Dekarbonisierung bei möglichst günstigen volkswirtschaftlichen Folgen erreichen sollen. Dieser Optimierungsanalyse erfolgte mit dem Modell und ergab eine Benchmark-Kurve, welche für alle Kombinationsvarianten der drei bisher einzeln untersuchten Eckszenarien ermittelte, wie stark die erreichbare CO₂-Minderung im Personenverkehr und wie die volkswirtschaftliche Wohlfahrtswirkung ausfallen. Die Kernergebnisse dieses Optimierungsschritts in der Szenarioanalyse zeigen deutlich:

- Dekarbonisierung des Verkehrs ist mit positiven wirtschaftlichen Wirkungen möglich. Zudem sinken dank der Dekarbonisierungs-Strategie im Verkehr die externen Kosten und es resultieren geringere Anpassungskosten und -anstrengungen an den Klimawandel.⁴
- Die technische Stossrichtung der Elektrifizierung der Fahrzeuge ist sehr wichtig, verfehlt aber allein betrachtet deutlich die angestrebte Dekarbonisierung und zieht erhöhte Energieimporte nach sich. Es sind deshalb zusätzliche Anstrengungen zur Effizienzsteigerung und zur Verlagerung notwendig. Es braucht die Kombination der drei Stossrichtungen in vollem Umfang, um Verkehr zu dekarbonisieren.
- Auch die optimale Kombination der Gesamtpotentiale drei untersuchten Stossrichtungen führt aber noch nicht zur vollständigen Dekarbonisierung des Verkehrs in der Schweiz. Der Zielbeitrag liegt bei 80% bis 2050.
- Die Modellanalysen zeigen, dass ergänzende – auch nicht marktliche - Massnahmen notwendig sind. Damit das emissionsseitig bedeutendste Strategieelement – die Förderung des batterieelektrischen Verkehrs – rascher wirkt, braucht es zusätzlich ein Verbot von fossil betriebenen Fahrzeugen (Verbrennerverbot). Es bringt für die Produktion und den Kauf von Fahrzeugen Planungs- und Investitionssicherheit und führt zur beschleunigten Durchdringung mit E-Fahrzeugen. Wenn die drei Stossrichtungen kombiniert und zusätzlich mit einem Verbrennerverbot ergänzt werden, kann das Ziel der Dekarbonisierung bis 2050 erreicht werden.

Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten quantitativen Auswirkungen der Szenarioanalysen.

⁴ Hier ist immer unterstellt, dass auch in anderen Ländern entsprechende Anstrengungen getätigt werden und ein globaler Beitrag entsteht.

Kernergebnisse Modellanalysen Szenarien Dekarbonisierung Personenverkehr bis 2050

Indikator / Werte 2050	Referenz «BAU»	Szenario 1 «AUSL»	Szenario 2 «SHIFT»	Szenario 3 «TECH»	OPT 1 «alle Szenarien»	OPT 2: «OPT 1 plus Verbot»
Anzahl Personenwagen	5.2 Mio.	3.7 Mio.	3.8 Mio.	5.2 Mio.	2.7 Mio.	2.7 Mio.
Anteil E (BEV) an total PW	35%	35%	35%	65%	65%	96%
Energiebedarf BEV (TWh)	5.1	3.6	4.5	9.7	5.2	6.6
Nettoimport Strom (TWh)	7.0	5.0	5.6	9.9	5.6	6.7
Verkehrsleistung MIV (pkm)	110 Mia.	110 Mia.	86 Mia.	106 Mia.	76 Mia.	74 Mia.
Verkehrsleistung ÖV (pkm)	37 Mia.	38 Mia.	60 Mia.	38 Mia.	63 Mia.	47 Mia.
CO₂-Emissionen Personenverkehr Mio. t (in % zu Referenz)	5.4	3.9 (-28%)	4.0 (-25%)	2.7 (-50%)	1.1 (-79%)	0 (-100%)
Anteil Arbeit ggü. BAU		-0.4%	-0.1%	-0.4%	-0.5%	-0.2%
Anteil Freizeit ggü. BAU		+0.5%	+0.1%	+0.4%	+0.7%	+1.0%
Konsum pro Kopf real, ggü. BAU		-0.3%	-0.5%	-0.6%	-1.1%	0%
Nettoimport total, real ggü. BAU		-0.3%	-0.2%	0%	-0.5%	-1.3%
Ersparnisse ggü. BAU		+0.7%	+0.2%	+0.4%	+1.0%	+1.3%
BIP real ggü. BAU		0%	-0.2%	-0.2%	-0.3%	+0.2%
Wohlfahrt real ggü. BAU		+0.7%	+0.3%	+0.4%	+1.0%	+1.4%

Tabelle INFRAS/ETHZ.

Ohne rasche und spürbare Massnahmen ist Netto-Null im Verkehr bis 2050 nicht zu erreichen

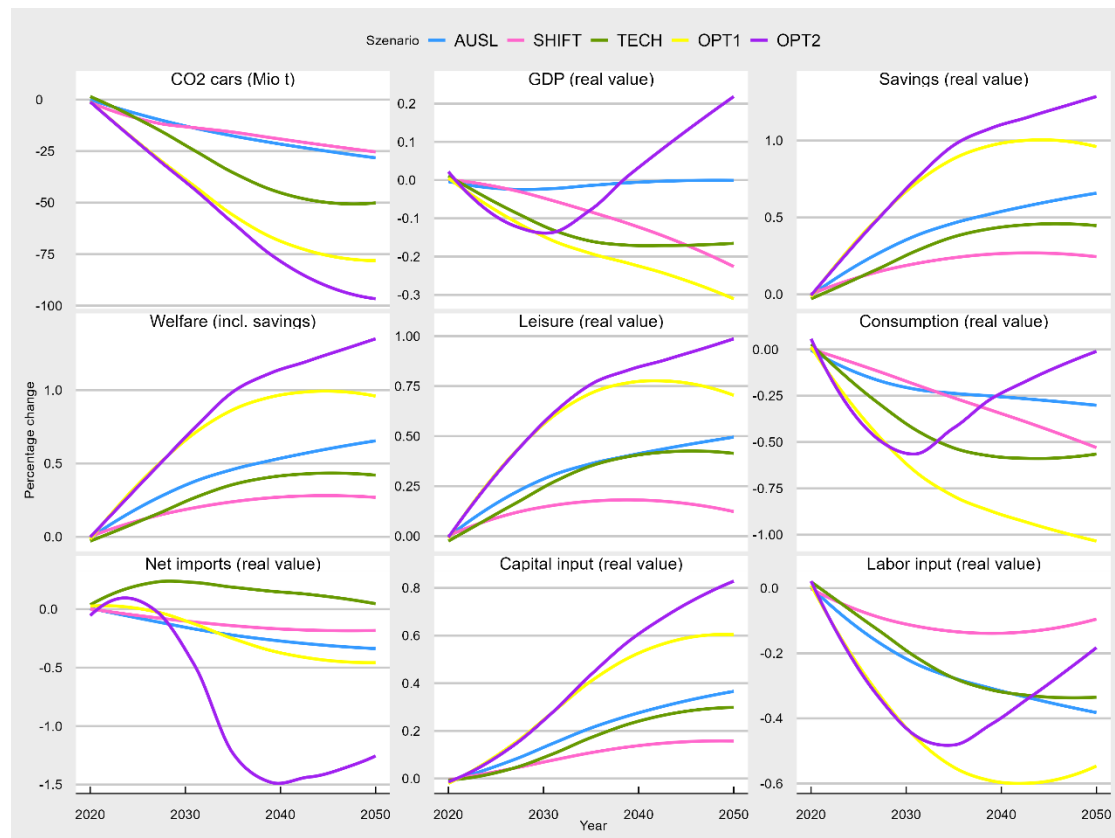
Die Referenzentwicklung zeigt, dass ohne weitere Massnahmen die Emissionen des Verkehrs allein über den laufenden technischen Fortschritt und die ansteigende Durchdringung der Elektrofahrzeuge zwar bis 2050 abnehmen, jedoch die Klimaziele vom Bundesrat deutlich verfehlt werden (NettoNull-CO₂-Emissionen im Landverkehr 2050). Der neuste IPCC-Report (IPCC 2021⁵) betont, dass das Zeitfenster für die nötigen Massnahmen im Klimaschutz kleiner wird und bald schliesst, wenn wir die durchschnittliche Klimaerwärmung «well below 2 degree» des Pariser Abkommens halten wollen. Über dieser Schwelle drohen viele irreversible Kippunkte im Klimasystem mit stark negativen Folgen für die Welt.

Die Produktion von Verkehrsdienstleistungen in der Schweiz wird in allen untersuchten Szenarien im Vergleich zur Referenzentwicklung effizienter. Die Haushalte müssen für die nachgefragte Mobilitätsdienstleistungen im Personenverkehr im Zeitverlauf weniger Geld ausgeben als in der Referenzentwicklung. Diese Einsparungen können die Haushalte entweder für den

⁵ <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

Mehrkonsum anderer Güter einsetzen oder über mehr Freizeit (weniger Arbeitsangebot, weniger Einkommen) nutzen. Beides führt zu einer Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt.

Ausgewählte Darstellungen zu Kerngrößen der Szenarien Dekarbonisierung Personenverkehr bis 2050



Grafik INFRAS/ETHZ.

Die Ergebnisse der einzelnen Szenarien

Szenario TECH: Förderung der E-Mobilität ist Stossrichtung mit höchstem CO₂-Reduktionspotential (bringt max. 50% der Zielerreichung)

Im Szenario «TECH» nimmt die Fahrzeugeffizienz aufgrund des technischen Fortschritts um 40% (90%) zu bis 2030 (2050) (Grundlage Öko-Institut et al. 2016⁶, BFE 2021⁷, ExpertInnen). Bis 2050 ergibt sich insgesamt im Vergleich zu heute dieselbe Verbesserung wie im BAU-Szenario, im TECH erfolgt sie jedoch schneller. Batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) werden günstiger im

⁶ Öko-Institut, Das Institut für Verkehrsforschung im DLR, IFEU, and Infrass (2016). Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors: Ergebnisse des Projektes Renewability III.

⁷ BFE (2021). Energieperspektiven 2050+. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>. 2021-04-15.

Vergleich zu fossil betriebenen Fahrzeugen – wegen den fiskalischen Anreizen bei der Erstellung der Ladeinfrastruktur, wegen der unterstellten Treibstoffabgabe und dem rascheren technischen Fortschritt - und gewinnen deshalb stark an Bedeutung. 2050 machen sie im Szenario TECH 65% aller Fahrzeuge aus (BAU: 35%, abgestimmt mit BFE 2021⁸).

Die Modellanalysen zeigen, dass die Anzahl der Fahrzeuge (Summe aller Antriebsarten) im TECH- Szenario praktisch gleich bleibt wie im BAU, der Anteil der Verbrenner im Fahrzeugpark unterscheidet sich stark. Die Verkehrsleistung nimmt leicht ab wegen der Nachfragereaktion auf die Treibstoffabgabe. Diese Veränderungen resultieren in einer Reduktion der CO₂-Emissionen aus dem Personenverkehr um -50% im Jahr 2050 im Vergleich zur Referenz. Aufgrund der kaum veränderten Anzahl Fahrzeuge und Mobilitätsrate übersteigt die Nachfrage nach erneuerbarem Strom aber das Produktionspotential der Schweiz deutlich. Damit ist die Schweiz auf entsprechend höhere Energieimporte angewiesen. Weil die meisten nationalen Strategien europäischer Länder in Zukunft ebenfalls steigende Importe unterstellen, dürfte das erhebliche Folgen für die Energiepreise haben. Das Transportsystem im TECH wird insgesamt effizienter, weshalb die Ausgaben der Haushalte für die Mobilität abnehmen, insbesondere durch den Wechsel zu den zunehmend günstigeren E-Fahrzeugen (keine Hybrid-Fahrzeuge, welche emissionsseitig zu wenig Verbesserung bringen). Dies führt dazu, dass Haushalte mehr Freizeit nachfragen, oder mehr andere Güter konsumieren oder mehr sparen, was beides einen positiven Effekt auf die Wohlfahrt hat, während das BIP für sich allein betrachtet, leicht sinken würde.

Das TECH-Szenario ist ein relativ teures Szenario, weil es erhebliche finanzielle Anreize für die Erstellung von (Lade-)Infrastruktur für E-Fahrzeuge und weitere Elemente voraussetzt⁹. Es hat aber als einzelne Stossrichtung das höchste Potential zur CO₂-Emissionsreduktion der drei Eckszenarien. Überlegungen zu Verteilungswirkungen sind in die optimale Ausgestaltung der CO₂-Abgabe miteinzubeziehen, um eine regressive Wirkung zu vermeiden. Deren politische Akzeptanz ist nach der Abstimmung zum CO₂-Gesetz vom 13.06.2021 in Frage gestellt bzw. diese hat gezeigt, dass die Rückverteilung von CO₂-Abgaben besser sichtbar gemacht werden und der Bevölkerung noch deutlicher erklärt werden muss, weshalb geeignetes rasches Handeln gerade für die Schweiz als stark von fossilen Importen abhängiger Staat auch wirtschaftlich günstig ist und die Cost of Inaction zunehmend steigen.

⁸ BFE (2021). Energieperspektiven 2050+. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html> . 2021-04-15.

⁹ Die Modellanalysen bedarf es einer Treibstoffsteuer von 25% zur Finanzierung der finanziellen Anreize der E-Mobilität, welche in der Summe etwa 350 Mio. CHF kosten dürften.

Szenario AUSL: Erhöhung der Auslastung ist die effizienteste Einzelstrategie/Eckszenario (bringt max. 25% der Zielerreichung)

Die Auslastung der Fahrzeuge steigt im Eckszenario AUSL auf 2.2 Personen pro Fahrzeug im Jahr 2050. Diese Entwicklung wird durch für die Gesamtwirtschaft relativ günstige Massnahmen wie z.B. fahrleistungsabhängige Bepreisung mit speziellem Fokus auf erhöhte Auslastung oder reservierte Parkplätze für Fahrzeuge mit hoher Auslastung (angelehnt an Hörl et al. 2019¹⁰, Mühlethaler et al. 2011¹¹) angestossen. Das Wirkungspotential des Szenarios AUSL zur Minderung der CO₂-Emissionen aus dem Personenverkehr bis 2050 über eine höhere Auslastung der Personenwagen ist mit -26% etwa halb so gross wie bei der Förderung von E-Fahrzeugen (Szenario TECH). Bei höherer Auslastung der Fahrzeuge führen die nachgefragten Personenkilometer zu erheblich weniger Fahrzeugkilometern und weniger Fahrzeugen. Dies resultiert in einer deutlichen Effizienzsteigerung des Transportsystems insgesamt - der höchsten der drei untersuchten Eckszenarien. Diese Effizienzsteigerung kombiniert mit den eher geringen Kosten für die Umsetzung der nötigen Massnahmen, um die Potentiale abzurufen, resultieren in volkswirtschaftlich positiven Effekten (Erhöhung der Wohlfahrt) bzw. ohne Einbussen bei einer reinen BIP-Betrachtung.

Das Szenario AUSL ist das effizienteste Eckszenario, weist aber nur ein halb so hohes Wirkungspotential bezüglich Minderung der CO₂-Emissionen auf wie das TECH-Szenario mit einer hohen Durchdringung von E-Fahrzeugen. Zudem ist es politisch und wissenschaftlich umstritten, wie eine höhere Auslastung genau zu erreichen ist und ob die unterstellten Massnahmen (z.B. auslastungsabhängiges Mobility Pricing) genügen und Akzeptanz finden. Verschiedene Ansätze, welche eine Verhaltensänderung bezüglich Auslastung und Stellenwert des Fahrzeugbesitzes anstreben, werden momentan in der Wissenschaft untersucht und in Pilotstudien getestet. Die Digitalisierung der Mobilität - ein weiterer Megatrend, den wir in der vorliegenden Analyse der Eckszenarien explizit ausgeklammert haben - kann zudem Chancen bieten, dass Fahrten und Fahrzeuge vermehrt geteilt werden, weil das über geeignete Plattformen einfacher wird und mit sinkenden Transaktionskosten einhergeht (z.B. Ride-Pooling/-Sharing und Car-Sharing).

¹⁰ Hörl, S., Becker, F., Dubernet, T. J. P., and Axhausen, K. W. (2019). Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung.

¹¹ Mühlethaler, F., Axhausen, K., Ciari, F., Tschannen-Suess, M., and Gertsch-Jossi, U. (2011). Potential of car pooling. Forschungsauftrag ASTRA 2008/017 auf Antrag des Bundesamtes für Strassen.

Szenario SHIFT: Verlagerung zum ÖV bedingt hohe Kosten für angestrebte Emissionsreduktion (bringt max. 23% der Zielerreichung)

Das Eckszenario «Verlagerung: SHIFT» stärkt den ÖV, welcher pro Personenkilometer erheblich weniger CO₂ emittiert als der MIV. Im Szenario SHIFT wird das aus der Literatur ermittelte Potential einer Verlagerung von MIV zu ÖV über eine Vergünstigung des öffentlichen Verkehrs erreicht, welche durch eine CO₂-Abgabe finanziert wird¹². Dadurch wird der öffentliche Verkehr im Vergleich zum MIV günstiger und somit attraktiver. Haushalte wechseln deshalb zunehmend vom privaten Personenverkehr zum ÖV. Wir gehen davon aus, dass die Transportleistung des ÖV in der Schweiz bis 2050 maximal verdoppelt werden kann (Grundlage Einschätzungen von ExpertInnen und Öko-Institut et al. 2016¹³). Wenn der ÖV seine Kapazitäten verdoppelt und somit eine Verlagerung vom MIV zum ÖV ermöglicht wird, dann erlaubt dies eine Abnahme des MIV um 25%. Eine derartige Verlagerung auf den ÖV bedingt hohe Investitionen in den Ausbau der ÖV-Angebote. Die mit dem Shift zum ÖV erreichbare Reduktion der CO₂-Emissionen im Verkehr liegt bei rund -23% im Vergleich zur Referenz 2050, also etwas tiefer als das Minderungspotential an CO₂-Emissionen beim Szenario AUSL. Weil die Haushalte eine günstigere Transportmöglichkeit – den ÖV – wählen, ist der Effekt auf die Wohlfahrt leicht positiv, wenn auch in geringerem Umfang als in den anderen zwei Eckszenarien. Ursache dafür sind die fiskalischen Mittel zur Unterstützung des ÖV, welche über die verfügbaren Haushaltseinkommen finanziert werden müssen und diese schmälert. Das Szenario Verlagerung zum öffentlichen Verkehr ist als Einzelstrategie mit hohen Aufwendungen und vergleichsweise geringer Emissionsreduktion verbunden.

Eine einzelne Stossrichtung führt nicht zum Ziel – die Dekarbonisierung des Verkehrs bedingt die Kombination ALLER Stossrichtungen

Keine der drei Stossrichtungen allein vermag die Dekarbonisierung des schweizerischen Personenverkehrs herbeizuführen. Gefragt ist deshalb eine Kombination der Stossrichtungen, um das Netto-Null-Ziel bis 2050 zu erreichen. Aber auch das Szenario OPT1 als Kombination der gesamten Potentiale der drei Stossrichtungen 'Förderung der E-Mobilität' (TECH), 'Verlagerung auf den ÖV' (SHIFT) und 'Erhöhung der Auslastung' (AUSL) reduziert die CO₂-Emissionen bis 2050 gemäss Modellanalyse erst um -80%. Die Effekte der drei Eckszenarien sind nicht vollständig additiv, weil z.B. durch die höhere Auslastung der Fahrzeugbestand tiefer ist und somit eine höhere CO₂-Abgabe notwendig ist, um die Subventionen für den ÖV und BEV-Infrastruktur zu

¹² Um den notwendigen Shift von MIV zu ÖV zu unterstützen und die finanziellen Anreize zum Umstieg auf den ÖV zu finanzieren (Preisvergünstigung bis zu 50%) müssen die Treibstoffpreise gemäss Modellanalysen über die Jahrzehnte ansteigend gestaltet werden. Gemäss Modell bedarf es eines Anstiegs von rund 2 CHF heute auf rund 10 CHF pro Liter bis 2050. Von den steigenden Benzinpreisen sind aber jedes Jahr weniger KonsumentInnen betroffen, weil die meisten vorher auf E-Fahrzeuge umsteigen.

¹³ Öko-Institut, Das Institut für Verkehrsforschung im DLR, IFEU, and Infrac (2016). Optionen einer Dekarbonisierung des Verkehrssektors: Ergebnisse des Projektes Renewability III.

finanzieren. Die unterstellten Anreize wirken in der Kombination der Stossrichtungen wie gewünscht, die Veränderung vor allem beim Fahrzeugpark weg von den fossilen Antrieben geschieht jedoch zu langsam. Selbst unter voller Nutzung der realistischen maximalen Potentiale aller drei Szenarien bzw. Stossrichtungen, wird eine Dekarbonisierung im Personenverkehr bis 2050 nicht erreicht. Das bedeutet, dass es ergänzende Instrumente braucht, damit die Dekarbonisierung bis 2050 Realität wird. Primärer Hebel dafür liegt bei einem rascheren Strukturwandel beim Fahrzeugpark hin zu nicht fossilen Antrieben. Aus diesem Grund haben wir als weiteres Szenario die Kombination der Eckszenarien mit einem Verkaufsverbot für neue fossil betriebene Fahrzeuge ergänzt. Die Modellanalyse zeigt, dass der optimale Zeitpunkt für die Einführung eines Verbrennerverbots zwischen 2030 und 2035 liegt, wenn das Ziel der Dekarbonisierung 2050 erreicht werden soll. Ein Verbot schafft im Gegensatz zu marktwirtschaftlichen Preisinstrumenten zudem eine höhere Planungs- und Investitionssicherheit sowohl bei den Unternehmen/Haushalten als auch auf Ebene der Politik. Das Szenario OPT2 besteht aus der Kombination der drei Stossrichtungen TECH, AUSL und SHIFT plus einem Verbrennerverbot ab 2035. Es ermöglicht eine vollständige Dekarbonisierung im Personenverkehr bis 2050 bei positiven volkswirtschaftlichen Wirkungen. Das heisst die Wohlfahrt der Schweiz ist im Szenario OPT2 höher als im BAU-Szenario. Der Grund liegt darin, dass BEVs bereits zwischen 2025 und 2030 technisch und preislich kompetitiv sind gegenüber fossil betriebenen Fahrzeugen und danach weiter günstiger werden. Ohne Massnahmen würden die Haushalte bei Neukäufen jedoch in stärkerem Masse noch beim «bekanntem» fossilen Antrieb bleiben, auch wenn dieser leicht teurer ausfällt und mit einer geringeren gesamtwirtschaftlichen Wohlfahrt einher geht («Status quo bias» in der Verhaltensökonomie). Mit der kombinierten Strategie von marktwirtschaftlichen Instrumenten und einem Verbot, bringt man - vereinfacht gesagt - die Haushalte dazu, eine für sie kostenseitig und für die Volkswirtschaft insgesamt vorteilhafte Wahl zu treffen und stellt die Haushalte in der Summe insgesamt besser als in der BAU-Situation.

Kurzzusammenfassung Ergebnisse: Dekarbonisierung im Verkehr führt zu volkswirtschaftlich positiven Effekten, wenn bisherige Importe von Fahrzeugen und fossilen Brennstoffe zum Teil durch inländische Wertschöpfung ersetzt werden können

Die Ergebnisse zeigen, dass man politisch nicht diskutieren muss, welche der drei Strategien (Zunahme E-Fahrzeuge, Verlagerung auf ÖV, Auslastungserhöhung) zu einer Dekarbonisierung im Verkehr in der Schweiz führen, sondern dass es die gesamten Potentiale aller drei Stossrichtungen in Kombination braucht. Selbst die Kombination mindert die CO₂-Emissionen im Personenverkehr aber erst um rund 80% bis 2050. Die volkswirtschaftlich ideale Strategie, welche bis 2050 zu einer Dekarbonisierung des Personenverkehrs führt, liegt in einer Kombination aus beschleunigtem technischem Fortschritt, marktbasierten Instrumenten (marktbasierte Instrumente zur Förderung emissionsarmer Technologien und deren Finanzierung) und einem Verbot

von neuen fossil betriebenen Personenwagen. Die Verlagerung und Auslastungserhöhung bedeuten, dass ein im Vergleich zu BAU kleinerer Fahrzeugpark und somit eine geringere Anzahl neuer Fahrzeuge pro Jahr importiert werden muss. In den beiden Szenarien OPT1 und OPT2 ist der Fahrzeugpark im Jahr 2050 mit rund 2.5 Mio. Fahrzeugen etwa halb so gross wie im Bau-Szenario 2050 mit rund knapp 5 Mio. Fahrzeugen. Auch der Bedarf an Brennstoffimporten fällt dann geringer aus. Deshalb benötigt die Schweiz in den OPT-Szenarien tiefere jährliche Importe als in der Referenzentwicklung. Das zieht einen Anstieg der inländischen Wertschöpfungsintensität der Ausgaben in der Schweiz nach sich und führt zu positiven volkswirtschaftlichen Effekten.

Beurteilung und Empfehlungen

1. Chancen durch Strukturwandel bei verkehrs- und energieproduktionsnahen Branchen und deren Zulieferer nutzen

Die Dekarbonisierung hat auf Branchenebene spürbare Auswirkung. Dabei gibt es Verlierer und Gewinner. Die Dekarbonisierung bringt aber gesamtwirtschaftlich und bezogen auf alle Einzelbranchen für die Schweiz vor allem auch Chancen. An Umsatz, Wertschöpfung und Beschäftigung verlieren werden die Zulieferer der Hersteller von fossil betriebenen Fahrzeugen, die Treibstoffimporteure, die Tankstellen und die Autogaragen für Reparatur und Unterhalt. Elektrofahrzeuge haben zwar einen ähnlichen Preis wie die fossilen Personenwagen, sie bestehen aber aus viel weniger Einzelteilen, sind demnach erheblich günstiger im Unterhalt, brauchen weniger Dienstleistungen und Ersatzteile über Garagen. Dagegen profitieren Sektoren wie der öffentliche Verkehr, die Produktion von (Vorleistungen für) Fahrzeuge im ÖV, etc. Auch Plattformen, welche die Voraussetzungen zum Teilen von Fahrten und Fahrzeugen verbessern, gewinnen an Bedeutung. Mit dem Wechsel der Antriebsenergie ergeben sich aber auch Chancen auf neue Märkte und Nischen für Schweizer Unternehmen und Branchen: Anstatt importierten Treibstoff benötigen die batterieelektrischen Fahrzeuge Strom. Je mehr dieser zusätzlichen Stromnachfrage (aus erneuerbaren Energien, sonst erfolgt keine Minderung der CO₂-Emissionen) aus inländischer Produktion gedeckt werden kann, desto stärker können bisherige Ausgaben der Inländer für Importe in heimische Wertschöpfung gewandelt werden. Die Produktion von E-Fahrzeugen, welche wohl auch künftig schwergewichtig im Ausland stattfinden wird, braucht andere Vorleistungen für die Produktion, was vielfältige Chancen auch für die Schweiz bietet, weil die Produktion vermehrt Güter aus Bereichen der Elektrotechnik, IT und anderen Branchen benötigt, welche eine hohe Ausbildungsniveau der Arbeitenden und enge Kontakte zur Forschung voraussetzt. Zudem kommt mit dem Elektrofahrzeug die Batterie für den Antrieb als Wertschöpfungselement hinzu, das eine neue eigene Branche entstehen lässt. Die Produk-

tion der Batteriezellen und das Zusammenbauen dürfte zwar grossenteils im Ausland stattfinden. Aber in der Produktion von Vorleistungen und v.a. im Bereich Batterierecycling und in der Batterieentsorgung dürften sich erhebliche Marktchancen für die Schweiz ergeben.

2. Optimale Strategie «Dekarbonisierung Personenverkehr Schweiz» setzt sich marktlichen und nicht marktlichen Massnahmen zusammen.

Zentrale Elemente einer optimalen Strategie «Dekarbonisierung Personenverkehr Schweiz» zur Realisierung der Potentiale der Eckszenarien und der angestrebten Dekarbonisierung des Personenverkehrs bei möglichst positiven wirtschaftlichen Wirkungen sind deshalb:

- Finanzielle Anreize zur Förderung E-Mobilität,
- Finanzielle Anreize zur Förderung ÖV-Nutzung¹⁴,
- (Lenkungs-)Abgabe auf Treibstoffe¹⁵ zur Finanzierung der genannten finanziellen Anreize und zur Lenkung der Mobilitätsnachfrage,
- Fahrleistungsabhängiges Pricing im motorisierten Individualverkehr (MIV),
- Bevorzugung von gut ausgelasteten Personenwagen,
- Plus: Verkaufsverbot von Neuwagen mit fossilem Antrieb ab 2035.

Die Dekarbonisierung des Verkehrs in der Schweiz stellt somit in sich eine kumulierte Effizienzstrategie dar. Alle drei Stossrichtungen führen (unterschiedlich stark) dazu, dass die Haushalte weniger Geld für gleichviel Mobilität wie in der Referenzentwicklung ausgeben müssen und die damit verbundenen Einsparungen wohlfahrtssteigernd nutzen können. Das Verkehrssystem wird insgesamt effizienter und damit die Gesamtwirtschaft. Neben den ausgewiesenen wirtschaftlich positiven Effekten einer optimalen Dekarbonisierungsstrategie für den Personenverkehr in der Schweiz nehmen die externen Klimakosten des Verkehrs stark ab. Dies macht die künftig notwendigen Klimaanpassungsmassnahmen weniger kostspielig, was Mittel für produktivere Investitionen (F&E, Bildung, etc.) frei lässt und somit das Wirtschaftspotential langfristig begünstigt.

¹⁴ Vergünstigung der ÖV-Fahrkosten um 30% bis 50% in der Phase der Dekarbonisierung des Verkehrs bis 2050.

¹⁵ Gemäss Modellrechnungen bedarf es einer Preiserhöhung von Treibstoffen von 25%, um die nötigen finanziellen Anreize im Bereich E-Mobilität (Ladeinfrastruktur, etc.) zu finanzieren. Umgerechnet in einen CO₂-Preisauflschlag wären das rund 170 CHF/tCO₂. Im Optimalszenario 2, das mit einem Verbrennerverbot verbunden ist, braucht zusätzlich es einen dynamischen Umgang: Um den notwendigen Shift von MIV zu ÖV zu unterstützen und die finanziellen Anreize zum Umstieg auf den ÖV zu finanzieren, braucht es gemäss Modellanalysen einen zusätzlichen Anstieg der Treibstoffpreise über die Jahrzehnte, so dass die Treibstoffpreise 2050 fünfmal höher liegen als heute. Das bedeutet einen Anstieg von rund 1.60 CHF auf rund 8 CHF pro Liter 2050. Von den steigenden Benzinpreisen sind aber jedes Jahr weniger Akteure betroffen, weil die meisten vorher auf E-Fahrzeuge umgestiegen sind.

Verbrennerverbot

Wie ist es erklärbar, dass aus einer volkswirtschaftlichen Modellanalyse ein Verbot als notwendiges Instrument eines Instrumentenmixes folgt, wo doch sonst VolkswirtschaftlerInnen primär die Effizienz und tieferen Kosten der marktwirtschaftlichen Instrumente loben?

Im Fall der Dekarbonisierung des Personenverkehrs sind die batterieelektrischen Fahrzeuge schon relativ bald (ab 2025/30) preislich wettbewerbsfähig und im realpolitischen Umfeld sind die Marktentscheide von Informationsasymmetrien, Angebotseffekten und Trägheit der Angebotsentwicklung beeinflusst. Auf Basis der bisherigen beobachteten Kaufverhalten ist zu erwarten, dass beim Kauf von Neufahrzeugen der Anteil von fossilen Fahrzeugen nicht rasch gegen null tendiert. Der Grund dafür ist eine starke, empirisch klar beobachtbare Neigung der bisherigen Fahrzeugbesitzer/innen «dasselbe wie bisher» zu kaufen (gleicher Antrieb, gleiche Grösse, gleiche Marke). Ein Verkaufsverbot für fossil betriebene Fahrzeuge bringt die träge Nachfrage rascher auf eine zunehmend günstigere und ressourcenschonendere Wahl. Entsprechend wird die Nachfrage auf eine für die Gesellschaft (klimaseitig) und die Volkswirtschaft (BIP, Wohlfahrt) vorteilhafte Entscheidung gehoben. Man kann sagen, dass es sich dabei um eine dem meritorischen Gut ähnliche Situation z handelt, indem der Staat die Nachfrage in eine für die Gesellschaft vorteilhafte Richtung lenkt (wie z.B. bei der Vorschrift einer obligatorischen Schulzeit oder öffentlichen Mitfinanzierung von F&E, etc.). Zur Internalisierung der externen Kosten des Klimawandels reicht in der Theorie ein effizientes marktwirtschaftliches Instrument. Weil aber die Klimawissenschaft betont, dass eine Dekarbonisierung rasch erfolgen muss und ab einem Zeitpunkt keine CO₂-Emissionen mehr erwünscht sind, weil sonst die Risiken für ein Verfehlen der Pariser Ziele und umweltseitige Kippeffekte mit stark negativen volkswirtschaftlichen Folgen drohen, kommen rein marktwirtschaftliche Instrumente an ihre Grenzen. Die Ergänzung des Instrumentensets um ein Verbot von Verbrennern ist demnach nötig.

3. Verkehrs- und Energiepolitik verstärkt gemeinsam angehen.

Früher erfolgten die Verkehrs- und die Energiepolitik meist ziemlich unabhängig voneinander. Mit der angestrebten und angelaufenen Dekarbonisierung des Verkehrs wird einerseits die Sektor- und Politikkopplung von Verkehr und Energie sehr wichtig. Andererseits kommt der Energiepolitik im Verkehr bei den Anstrengungen zur Dekarbonisierung eine Schlüsselrolle zu. Im Kern geht es nicht um den Umbau des Verkehrsbereichs, des Verkehrsangebots oder der Transportleistungen an sich, sondern um den verwendeten Antrieb und den Energieinput und damit die Emissionen bei der Produktion von Mobilitätsdienstleistungen. Diese Integration von Verkehrs- und Energiepolitik ist zentral für das Gelingen der Dekarbonisierung des Personenverkehrs.

Der öffentliche Verkehr spielt bei der Dekarbonisierung als kollektives und energieeffizientes Verkehrsmittel eine wichtige Rolle. Dazu bedarf es eines erheblichen Ausbaus des Verkehrsangebots im ÖV (gemäss Szenariorechnungen rund eine Verdoppelung¹⁶). Das bedeutet nicht, dass die Verkehrsinfrastruktur ausgebaut werden soll, es braucht einen Ausbau des Angebots plus eine Steuerung der Nachfrage, um die bestehenden Infrastrukturen effizienter zu nutzen und setzt einen starken Fokus auf multimodale Angebote und deren Optimierung. Es gilt, den Ausbau des ÖV-Angebots und die Optimierung der Auslastung über den Tagesgang konsequent zu steuern.

Die Schweiz kann weitere Chancen der Dekarbonisierung zusätzlich nutzen, wenn die Unternehmen, die Forschung und die Politik frühzeitig mit dem Aufbau von Know-how und der Unterstützung von Innovation von Unternehmen in folgenden Themenbereichen starten:

- Bei der Produktion erneuerbarer Energie und der Produktion/Installation der dazu notwendigen Anlagen: Ziel sollte sein, dass die Stromproduktion in der Schweiz den Mehrbedarf durch die Dekarbonisierung des Verkehrs zu grösseren Teilen über inländische Produktion decken kann. Sonst fällt der wirtschaftlich positive Effekt geringer aus, weil mehr Importe benötigt werden.
- F&E sowie die Marktentwicklung stärken bei Zulieferprodukten für die Batterieproduktion (für E-Fahrzeuge), im Batterierecycling, und bei der Herstellung von Vorleistungsgütern für Fertigung von E-Fahrzeugen.
- Ressourceneffizienz aller Verkehrsträger weiter verbessern.

4. Verbrennerverbot aktiv diskutieren, da es strategisch wichtige Planungssicherheit bringt

Weltweit ist die Thematik der Dekarbonisierung der Wirtschaft stark diskutiert und gewinnt nach der Veröffentlichung des sechsten IPCC Assessment Reports (IPCC 2021¹⁷) weiter an Relevanz.

In den letzten Monaten mehren sich die Meldungen zu geplanten Verbrenner-Verboten aus verschiedenen Ländern. Die EU-Kommission forderte im Juli 2021 in ihrem neuen Klimaplan "Fit for 55", dass die jährlichen CO₂-Emissionen neuer Fahrzeuge bis 2035 auf null sinken. Dieser Plan würde ein Verbot für den Verkauf neuer Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor bedeuten. Zugelassen wären noch reine Elektroautos oder Fahrzeuge, die mit Wasserstoff, Biokraftstoff oder E-Fuels betrieben werden.

¹⁶ Der die Fahrleistung im MIV viel höher liegt als beim ÖV bedeutet ein Shift vom MIV zum ÖV, der eine Verdoppelung der Personenkilometer im ÖV bewirkt (+100%), eine Abnahme beim MIV um ein Viertel (-25%).

¹⁷ <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

Aber auch auf Länderebene bestehen schon länger Pläne für ein Verbrenner-Verbot bei Fahrzeugen. Die Niederlande haben zusammen mit Österreich, Belgien, Dänemark, Griechenland, Malta, Irland, Litauen und Luxemburg die EU-Kommission bereits 2011 aufgefordert, ein Ausstiegsdatum für den Verkauf von Benzin- und Dieselaautos zu nennen.

Dänemark versuchte ab 2018 im nationalen Alleingang ein Verbrenner-Verbot ab 2030 durchzusetzen, musste aber die Pläne wegen deren Verstoss gegen das EU-Recht stoppen. Weitere EU-Staaten (Irland, Niederlande, Slowenien, Schweden und Norwegen) verfolgen dasselbe zeitliche Ziel wie Dänemark (Norwegen schon ab 2025). In Frankreich und Spanien sollen ab 2040 keine Verbrenner-Fahrzeuge mehr verkauft werden, in Großbritannien ab 2035, in Schottland ab 2032.

Nicht nur in Europa, sondern auch in den USA, in Asien und zum Teil in Afrika nimmt die Intensität der Diskussionen um das Ende des Verkaufs von neuen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor zu. Dabei variieren die diskutierten Ausstiegszeitpunkte von 2030 (Israel, Japan) über 2040 (Singapur, Sri Lanka) bis zu 2050 (China).

Unterdessen sind auch namhafte Unternehmen der Autoindustrie zu vernehmen, welche das Produktionsende von Verbrennungsmotoren ankündigen. So haben z.B. Audi (Ausstieg aus Produktion Verbrenner angekündigt auf 2033), Daimler (2039), Ford (2030), GM (2035), Opel (2028), VOLVO (2030), VW (2033-2035) entsprechende Pläne verlautbaren lassen und sprechen von «grössten Wandel in der Automobilindustrie seit dem Übergang vom Pferd zum Wagen»¹⁸.

Das alles zeigt, dass ein Verbrenner-Verbot in der Schweiz ab 2035 keineswegs exotisch wäre, sondern nicht nur bezüglich Dekarbonisierung des Verkehrs in der Schweiz, sondern auch als strategisches Signal für den Aufbau von Knowhow und Produktionskapazitäten in den Bereichen der Produktion von Vorleistungen für den Bau von Elektrofahrzeugen und im Bereich Produktion von Batteriekomponenten und v.a. Batterierecycling. Je früher und besser sich die Schweiz auf die Verkehrswende weg von fossilen Antrieben und den Umgang mit einer hohen Zahl von Batterien einstellt sowie die Produktion von erneuerbaren Energien erhöht, desto grösser sind die Chancen, dass Einkommen, das bisher in Importe von Fahrzeugen und Treibstoffen und somit vorwiegend ins Ausland floss, zum Teil zu einheimischer Wertschöpfung führt. Dies erhöht die wirtschaftlich positiven Wirkungen der Dekarbonisierung des Verkehrs in der Schweiz bis 2050.

5. Forschung zum Thema Dekarbonisierung des Verkehrs fortsetzen

Wir sehen im Zusammenhang der Dekarbonisierung des Verkehrs und nach den Ergebnissen unserer Studie primär drei Themenblöcke, bei denen es erheblichen und politisch dringenden weiteren Forschungsbedarf gibt:

¹⁸ Konzernstrategie «New Auto» von VW.

- **Dekarbonisierung und Digitalisierung:** Die Zeit drängt, die Anstrengungen zur Dekarbonisierung auch im Verkehr zu intensivieren. Neben der Dekarbonisierung ist die Digitalisierung im Verkehr ein zweiter Megatrend, der ebenfalls in den nächsten Dekaden wirkt. Bisher erfolgte die Forschung zu den beiden Megatrends im Verkehr separat, um die komplexen potenziellen Wirkungen der beiden Entwicklungen zu analysieren. In den Studien zur Dekarbonisierung ist denn auch meist keine Digitalisierung des Verkehrs unterstellt und umgekehrt. In der Realität stellen sich die Herausforderungen der beiden aber zeitgleich. Im Zusammenspiel kann es zu wichtigen Synergien oder aber zu gegenseitigen Behinderung kommen, welche wirtschaftliche, umweltseitige und gesellschaftliche Potenziale beeinträchtigen können. Für die Schweiz braucht es rasch vertiefte Forschung, wie die beiden Herausforderungen und Trends zusammenspielen und wie der Staat allenfalls gefordert ist, damit die beiden synergetisch wirken und wo möglich gegenseitige Risiken dank Chancen aus dem Zusammenspiel von Dekarbonisierung und Digitalisierung im Verkehr minimiert werden können.
- **Einbezug weiterer Verkehrsmittel und -träger:** Die vorliegende Forschungsarbeit fokussiert auf den Personenlandverkehr. Die Dekarbonisierung des Güterverkehrs ist ebenfalls wichtig, auch wenn hier in der Schweiz sowohl auf der Strasse (LSVA, etc.) als auch auf der Schiene (Verlagerungspolitik) bereits ein stärkeres Instrumentarium vorhanden ist. Auch der Einbezug des Luftverkehrs ist von grosser Bedeutung. Dabei ist für die Volkswirtschaft Schweiz auch wichtig, welchen Teil der zusätzlich anfallenden Stromnachfrage sie bei der Abkehr von fossilen Brennstoffen längerfristig selbst klimaneutral produzieren kann.
- **Grenzüberschreitende Fragen:** Wie in anderen energie- und klimapolitischen Diskussionen, stellt sich auch hier die Frage, wie bei national geplanten Instrumenten die Auswirkungen auf die Güterströme über die Grenzen reagieren und wie die Wettbewerbsfähigkeit der international in Konkurrenz stehenden Unternehmen in der Schweiz betroffen sind. Dabei stehen zunehmend Überlegungen zu sog. 'BorderTaxAdjustmentMechanism' im Zentrum. Das Thema ist auch auf Ebene EU und international sehr aktuell und spielt bei der Erarbeitung eines volkswirtschaftlich optimalen Instrumentariums zur Dekarbonisierung des Verkehrs eine wichtige Rolle.