



Chancen der Elektromobilität für den Kanton Thurgau

Grundlagenbericht



Kanton Thurgau	Departement für Inneres und Volkswirtschaft
Lena Windler	Abteilung Energie
Patrick Rinaldi	Abteilung Energie

Begleitgruppe

Jörg Ackermann	Interessensgemeinschaft Detailhandel Schweiz (IGDHS)
Ernst R. Anderwert	Strassenverkehrsamt, DJS
Olaf Bürklin	Amt für Umwelt, DBU
Reto Frei	WWF Thurgau
Richard Heini	Auto Gewerbe Verband Schweiz (AGVS), Sektion Thurgau
Silvan Kieber	Verband Thurgauischer Elektrizitätsversorgungen (VTE)
Martin Lörtscher	Schweizerischer Nutzfahrzeugverband (ASTAG), Sektion Ostschweiz / FL
Werner Müller	Öffentlicher Verkehr, DIV (bis 30.09.2017)
Claudio Pfister	Electrosuisse, e'mobile
Andreas Schuster	Tiefbauamt, DBU
Stefan Thalmann	Öffentlicher Verkehr, DIV (ab 01.10.2017)
Ernst Uhlmann	FELA AG
Marco Vidale	Touring Club Schweiz (TCS), Sektion Thurgau
Manuel Wider	Hochbauamt, DBU
Vera Zahner	Verkehrs-Club der Schweiz (VCS), Sektion Thurgau

Die Begleitgruppe hat Ihr Fachwissen in die Erarbeitung des vorliegenden Berichts eingebracht, die Inhalte diskutiert und verfeinert. Weiter war die Selektion der vom Auftragnehmer vorgeschlagenen Massnahmen, sowie deren Bewertung und Priorisierung ein wichtiger Teil der Arbeit. Diese Arbeiten fanden aufgeteilt auf fünf Sitzungen statt.

Die Begleitgruppe anerkennt die Elektromobilität als eine wesentliche Chance zur Reduktion des Ausstosses von CO₂ und Luftschadstoffen aus dem motorisierten Individualverkehr.

Sie gibt den Bericht zu Händen des Lenkungsausschusses frei. Unterschiedliche Ansichten und Bedenken zum Bericht wurden diskutiert und als kurze Stellungnahmen im Anhang aufgenommen.

Projektteam

Roberto Bianchetti	EBP Schweiz AG
Silvan Rosser	EBP Schweiz AG
Peter de Haan	EBP Schweiz AG
Lea Steurs	EBP Schweiz AG

EBP Schweiz AG
Zollikerstrasse 65
8702 Zollikon
Telefon +41 44 395 11 11
info@ebp.ch
www.ebp.ch

Zusammenfassung

Dieser Bericht zeigt die Chancen und Risiken der Elektromobilität für den Kanton Thurgau auf und schlägt Massnahmen vor, wie die Elektromobilität sinnvoll unterstützt werden kann. Im Mittelpunkt des Berichts steht der motorisierte Individualverkehr (MIV). Dies aus zwei Gründen. Der MIV ist für rund 67 Prozent der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen sowie für einen beachtlichen Teil der NO_x- und Feinstaub-Emissionen verantwortlich. Bis 2040 dürfte der MIV gemäss den Verkehrsperspektiven des Bundesamtes für Raumentwicklung weiter deutlich zulegen. Um verwandte Themen wie den öffentlichen Verkehr, die kombinierte Mobilität nicht vollständig auszuschliessen, wurden diese punktuell thematisiert oder bei den Massnahmen miteinbezogen.

Die Elektromobilität bietet die Chance die CO₂-Emissionen im Verkehrssektor massiv zu senken, Luftschadstoffemissionen lokal zu vermeiden, und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren. Als Elektrofahrzeuge gelten voll batterie-elektrische Fahrzeuge, Plug-In Hybride, welche per Kabel geladen werden können, und Elektrofahrzeuge mit Range Extender.

Dadurch, dass Elektromotoren sehr energieeffizient sind, haben Elektrofahrzeuge einen drei- bis viermal höheren Wirkungsgrad als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor; der Energieaufwand für die Fortbewegung ist folglich bedeutend kleiner.

Dieser Bericht zeigt, dass Elektrofahrzeuge auch über den ganzen Lebenszyklus betrachtet ökologisch eine sinnvolle Alternative zu Verbrennungsmotoren darstellen, das heisst die tiefsten CO₂- und Feinstaub-Emissionen pro gefahrenem Kilometer aufweisen. Bei Elektrofahrzeugen fällt dabei der Grossteil der Umweltbelastung bei der Energie- und Fahrzeugproduktion an. Durch den perspektivischen Einsatz von erneuerbaren Energien bei der Fahrzeugproduktion kann die Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen weiter verbessert werden.

Bei den Batterien haben sich Lithium-Ionen-Akkumulatoren in den letzten Jahren aufgrund ihrer hohen Leistungs- und Energiedichte als dominierende Technologie durchgesetzt. Der Lithium-Ionen-Batterie-Markt wird von einigen wenigen, grossen Akteuren dominiert, welche von den Skaleneffekten profitieren. Diese Kombination führte zu rasant sinkenden Herstellungskosten der Lithium-Ionen-Batterien. Innerhalb von sieben Jahren sind die Preise um beinahe zwei Drittel gesunken. Bis 2030 könnten sich die Preise nochmals halbieren. Gleichzeitig soll die Energiedichte und damit die Reichweite der Elektrofahrzeuge bis 2030 um einen Faktor drei gegenüber 2017 erhöht werden.

Die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität im Kanton wird für drei Szenarien projiziert. Neben dem Szenario Business As Usual (BAU), sind dies ein mittleres Szenario Efficiency (EFF) und ein ambitioniertes Szenario Connected Mobility (COM) definiert, welche sich an der Energiestrategie 2050 des Bundes anlehnen. Die Szenarien zeigen, dass der Anteil Elektrofahrzeuge im Neuwagenmarkt im Jahr 2035 zwischen 28 % und 65 % liegt. Im Gesamtbestand werden so im Kanton Thurgau im Jahr 2035 zwischen

43'000 und 99'500 Elektrofahrzeuge auf den Strassen sein, was zwischen 17 % und 40 % des Bestandes ausmacht. Dementsprechend steigt auch der Strombedarf der Elektromobilität im Jahr 2030 von einem anfänglich tiefen Niveau bis auf 3–5 Prozent des heutigen Strombedarfs (Basisjahr 2015). Innerhalb 5 Jahre (bis im Jahr 2035) folgt dann eine Verdopplung auf 5-10 Prozent.

Mit der Marktdurchdringung der Elektromobilität können die jährlichen CO₂-Emissionen des Personenwagenverkehrs um 51 % gegenüber 2015 gesenkt werden. Unabhängig von kantonalen Massnahmen führt die Emissionsvorschriften für Neuwagen der EU, welche die Schweiz im Rahmen der Umsetzung des 1. Massnahmenpakets zur Energiestrategie 2050 übernimmt zu einer Reduktion von bis zu 20 % der CO₂-Emissionen. Durch Massnahmen auf kantonaler Ebene können die CO₂-Emissionen des Personenwagenverkehrs gegenüber 2015 um weitere 15 % reduziert werden. Das ambitionierteste Zielszenario (–51 % der CO₂-Emissionen im Vergleich zu 2015) ist realistisch erreichbar, bedarf aber verschärfte Vorschriften auf europäischer oder schweizerischer Ebene.

Bei ungesteuerten Ladevorgängen, führt das Laden von einer Vielzahl von Elektrofahrzeugen zu einer weiteren Erhöhung der Lastspitzen. Längerfristig ist deshalb eine Steuerung der Ladevorgänge sinnvoll.

Nur zusammen mit der Verwendung von erneuerbarem Strom können die Vorteile der Elektromobilität voll ausgeschöpft werden. Ohne weiteren Zubau der Photovoltaik könnte nur rund 67 % der Ladevorgänge mit zeitgleich erzeugtem Photovoltaik-Strom gedeckt werden. Mit einem Zubau wie in der Energiestrategie 2050 vorgesehen, könnten 84 % und mit zusätzlicher Installation von Batteriespeicher 90 % abgedeckt werden. Um die Produktion und die Nachfrage optimal aufeinander abzustimmen, sollte vor allem dem Laden am Arbeitsplatz «*workplace charging*» grosse Beachtung geschenkt werden.

Die Elektromobilität führt zwar zu einer höheren Stromnachfrage, gleichzeitig ergeben sich aber auch neue Möglichkeiten, wie zum Beispiel eine bessere Integration von dezentral produziertem, erneuerbarem Strom. Erfolgen die Ladevorgänge kontrolliert, kann der Nutzen aus der dezentralen Stromproduktion maximiert werden. So können bei hoher erneuerbarer Stromproduktion und gleichzeitig tiefer Nachfrage, die Stromnetze durch die Elektromobilität entlastet werden.

Dieser Bericht präsentiert eine Reihe von Massnahmen für den Kanton Thurgau, welche eine schnellere Marktdurchdringung der Elektromobilität ermöglichen. Dabei sollen die Chancen der Elektromobilität gezielt genutzt und Risiken minimiert werden. Wird der Kanton im Bereich der Elektromobilität aktiv, so kann die Reduktion der Emissionen nicht nur schneller erreicht werden, die Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen bietet auch die Möglichkeit, die Elektromobilität der Zukunft aktiv zu gestalten und die Risiken gezielt zu minimieren.

Eine Begleitgruppe unterstützte die Ausarbeitung der Massnahmen. 15 ausgewählte Massnahmen wurden weiter vertieft und hinsichtlich ihres Beitrags zur Zielerreichung bewertet. Auf Basis dieser Grundlagen priorisierte der

Kanton Thurgau die Massnahmen. 10 Massnahmen werden mit höchster Priorität beurteilt. Dabei handelt es sich um zeitlich begrenzte Umstiegsprämien für Elektrofahrzeuge, die Weiterentwicklung des Förderprogramms für Batteriespeicher, Standards bei Neu- und Umbauten, die Förderung der Elektromobilität beim Arbeitgeber, die Planung der Ladeinfrastruktur und weiteren koordinierende und kommunikative Massnahmen seitens des Kantons.

Dieser Bericht zeigt, dass sich die Elektromobilität im Kanton Thurgau am Richtplan und an den bestehenden Konzepten orientieren kann und die Erreichung zahlreicher kantonaler Ziele unterstützt.

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AGVS	Automobil Gewerbe Verband Schweiz
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BÄ	Benzin-Äquivalent
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAU	Business As Usual (Weiter wie bisher): Das niedrigste der drei betrachteten Szenarien zur Elektromobilität
BEV (Battery Electric Vehicle)	Batterie-elektrische Fahrzeuge ohne internen Verbrennungsmotor
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CHAdemo	Steckertyp für Laden mit Gleichstrom, u.a. für Nissan, Mitsubishi, KIA, Citroën und Peugeot
CO ₂	Kohlenstoffdioxid, ist eines der bedeutendsten Treibhausgase
COM	Connected Mobility (Vernetzte Mobilität): Das ambitionierteste der drei betrachteten Szenarien zur Elektromobilität
CSS (Combined Charging System)	Steckertyp für Laden mit Gleichstrom, u.a. für BMW, VW, Hyundai, Opel
DC	Direct Current (Gleichstrom)
EFF	Efficiency (Effizienz): Das mittlere Szenario
EVU	Energieversorgungsunternehmen
Fast Charging	Ladestelle mit Wechselstrom (AC) oder Gleichstrom (DC), die eine Schnellladung ermöglichen (20 bis 30 Minuten). Leistungen von 50 kW bis 150 kW (AC bis maximal 43 kW)
FCEV	Brennstoffzellenfahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicle), die aus den Energieträgern Wasserstoff oder Methanol in einer Brennstoffzelle elektrische Energie erzeugen und mit dem Elektroantrieb in Bewegung umwandeln.
HEV	Hybrid Electric Vehicle, Hybridelektrische Fahrzeuge
Home Charging	Aufladen am Wohnort oder in unmittelbarer Nähe des Wohnortes mit Wechselstrom (AC), von 8h bis 12h. Leistungen von 3.7 kW bis 11 kW.
ICE	Internal Combustion Engine: Die klassischen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor.
IEA	Internationale Energieagentur
kW	Kilowatt, Einheit der Wirkleistung
kWh	Kilowattstunden, Masseneinheit der Arbeit bzw. der Energie
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge

LPG	Liquefied Petroleum Gas (Flüssiggas, auch «Autogas» genannt; hauptsächlich Propan und Butan)
LRV	Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985
LV	Langsamverkehr (Sammelbegriff für Fuss- und Veloverkehr; auch Nicht-motorisierten Verkehr genannt)
MIV	Motorisierter Individualverkehr
NO _x	Stickstoffoxide, umfassen u. a. Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO ₂)
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
Ökostrom(-anteil)	Strom aus erneuerbaren Energien (Wasserkraft, Photovoltaik, Windkraft, Holz, Biomasse, Geothermie). Der Ökostromanteil ist der Anteil an der Stromnachfrage, welche durch erneuerbare Energien gedeckt wird.
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle)	Kombinieren einen Elektromotor mit einem Verbrennungsmotor, wobei die Batterie extern aufgeladen werden kann.
PM10	Feinstaub, feste und flüssige Teilchen unterschiedlicher Grösse (aerodynamischer Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer)
POI Charging	Aufladen mit Wechselstrom (AC) von 1h bis 2h, während man einer Aktivität an Points Of Interest (Einkaufen, Sport, Kultur) nachgeht. Leistungen von 11 kW bis 50 kW
PV	Photovoltaik, direkte Umwandlung von Lichtenergie in elektrische Energie
REEV	Serielle Plug-in-Hybride (Range Extended Electric Vehicle; z.B. BMW i3 Range Extender): Nur der Elektromotor treibt die Räder an, der Verbrennungsmotor dient der Ladung der Batterie
SoC	State of Charge ist ein Kennwert für den Ladezustand von Akkus. Der SoC-Wert kennzeichnet die noch verfügbare Kapazität eines Akkus im Verhältnis zum Nominalwert.
Stecker Typ 1	Steckertyp für Laden mit Wechselstrom, u.a. für u.a. Mitsubishi, KIA, Opel, Chevrolet, Nissan
Stecker Typ 2	Steckertyp für Laden mit Wechselstrom, u.a. für VW, BMW, Mercedes, Tesla, Volvo, Renault, Porsche
Stecker Typ 23	Steckertyp für Laden mit Wechselstrom, nur für e-Bikes, e-Roller sowie Leichtfahrzeuge wie den Renault Twizy
VOC	Flüchtige organische Verbindungen (Volatile organic compounds), kohlenstoffhaltige Stoffe die leicht verdampfen, gehören zu den Luftschadstoffen
Workplace Charging	Aufladen am Arbeitsplatz mit Wechselstrom (AC), von 6h bis 8h. Leistungen von 3.7 kW bis 22 kW

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	10
1.1	Warum Elektromobilität	10
1.2	Massnahmen Bund und umliegender Kantone	12
1.3	Verkehrsentwicklung in der Schweiz	13
1.4	Parlamentarischer Auftrag	13
1.5	Situationsanalyse Thurgau	14
2.	Zielsetzung des Berichts und Systemgrenze	17
2.1	Zielsetzung des Berichts	17
2.2	Einbettung in bestehende kantonale Zielsetzungen	18
2.3	Systemgrenze	20
3.	Ist-Zustand im Kanton Thurgau	22
3.1	Anteil Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand	22
3.2	Neuwagenmarkt	22
3.3	Mobilität und Pendler	24
4.	Technologie: aktuelle und zukünftige Entwicklungen	25
4.1	Definition der Elektrofahrzeuge	25
4.2	Brennstoffzellen Fahrzeuge (FCEV)	28
4.3	Ökologische Betrachtung der Elektromobilität	30
4.4	Batterien und Speicherung	35
4.5	Ladetechnik und -verhalten	39
5.	Szenarien der Elektromobilität im Kanton Thurgau	45
5.1	Definition der drei Szenarien für den Kanton Thurgau	45
5.2	Modellbeschreibung	46
5.3	Weitere Annahmen zum prognostizierten Fahrzeugbesitz im Kanton Thurgau	48
5.4	Soziodemographische Grössen und Standortfaktoren für den Kanton Thurgau	51
5.5	Einfluss von ausserkantonalen Fahrzeugen	53
5.6	Resultate für den Kanton Thurgau	54
5.7	Beitrag zum Klimaschutz	72
6.	Chancen und Risiken für den Kanton Thurgau	74
6.1	Auslegeordnung Chancen und Potenzial der Elektromobilität	74
6.2	Auslegeordnung Risiken der Elektromobilität	78
6.3	Qualitative Abschätzung volkswirtschaftlicher Effekte	81

7.	Massnahmenplan	84
7.1	Relevante Handlungsoptionen	84
7.2	Long List: Übersicht über die Massnahmen	85
7.3	Bewertung der Massnahmen	86
7.4	Short List	88
7.5	Priorisierung der Massnahmen	117
8.	Schlussfolgerungen	120

Anhang

A1	Literaturverzeichnis	124
A2	Bewertung der Long List durch die Begleitgruppe	129
A3	Stellungnahmen der Begleitgruppe	132

1. Einleitung

1.1 Warum Elektromobilität

Rund ein Drittel der Kohlenstoffdioxid-Emissionen (CO₂-Emissionen) stammt aus dem Strassenverkehr. Zu den Luftschadstoff-Emissionen (Stickoxide NO_x, Feinstaub und den sekundären Schadstoff Ozon) trägt der Verkehr, insbesondere der motorisierte Individualverkehr, massgebend bei. Bei der Reduktion der CO₂-Emissionen im Strassenverkehr spielt die Elektromobilität eine zentrale Rolle. Der Elektromotor ist bis zu viermal effizienter als ein Verbrennungsmotor. Werden die Elektrofahrzeuge zudem mit erneuerbarem Strom angetrieben, sind sie über den Lebenszyklus gesehen deutlich umweltschonender.

Die Mobilität ist für 36 % des Schweizer Endenergieverbrauchs verantwortlich (Bundesamt für Energie, BFE 2017). Der Blick auf die CO₂-Emissionen zeigt zudem, dass der Strassenverkehr für einen Drittel der CO₂-Emissionen der Schweiz verantwortlich ist (Bundesamt für Statistik, BFS 2017a). Die Personenwagen des motorisierten Individualverkehrs, welcher heute noch nahezu vollständig von fossilen Energieträgern abhängig ist, sind mit einem Anteil von 67 % der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen das mit Abstand relevanteste Verkehrsmittel.

Die CO₂-Emissionen aus Brennstoffen konnten 2016 gegenüber 1990 um 25 % reduziert werden, während die Emissionen aus Treibstoffen 2016 rund 5 % über dem Wert von 1990 liegen (Bundesamt für Umwelt, BAFU 2017). Wie in Abbildung 1 ersichtlich, sind CO₂-Emissionen aus Treibstoffen seit 2008 rückläufig und konnten zwischen 2008 und 2016 um rund 8 % reduziert werden (BAFU, 2017). Grund dafür sind Emissionsvorschriften für Neuwagen und die zunehmende Hybridisierung der Fahrzeuge. Gemäss Energiestrategie 2050 sollen die verkehrsbedingten Treibhausgase in den nächsten Jahren deutlich sinken. Im Einklang mit den Energieperspektiven des BFE soll die Elektromobilität eine wesentliche Rolle bei der Reduktion des fossilen Energieverbrauchs spielen. Hauptinstrument ist die weitere Verschärfung der Emissionsvorschriften für neue Personenwagen. Die Schweiz übernimmt dabei die Vorschriften der EU (neuer Zielwert: 95 g CO₂ pro km im Jahr 2021). Ohne die Elektromobilität sind die schärferen Emissionsvorschriften und damit die energie- und klimapolitischen Ziele nicht zu erreichen.

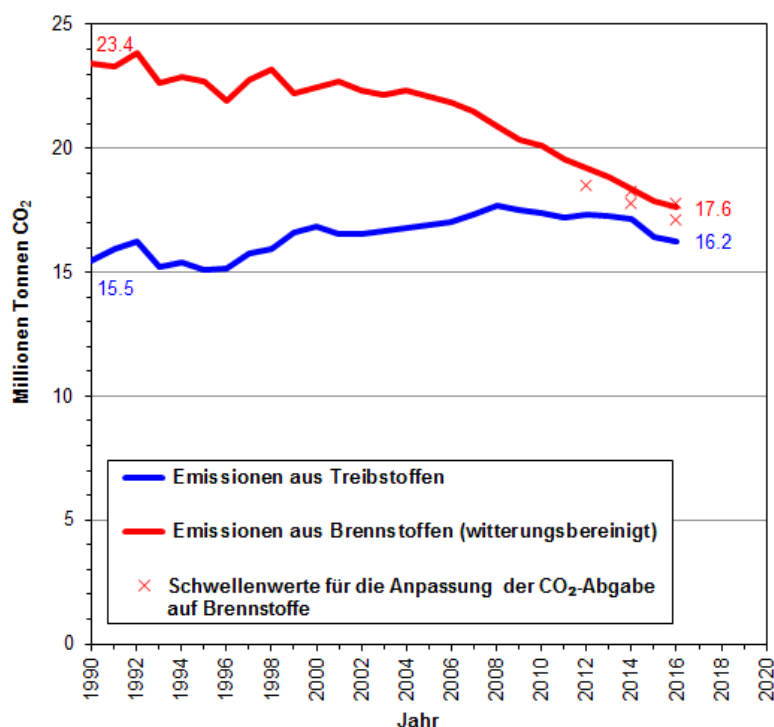


Abbildung 1: Entwicklung der CO₂-Emissionen aus Brenn- und Treibstoffen in der Schweiz gemäss CO₂-Gesetz (Zeitreihe 1990–2016). Die CO₂-Emissionen aus Brennstoffen (rot) sind witterungsbereinigt. Die roten Kreuze zeigen die Schwellenwerte, bei deren Überschreitung der Abgabesatz der CO₂-Abgabe auf Brennstoffe automatisch erhöht wird. Die CO₂-Emissionen aus Treibstoffen (blau) müssen teilweise kompensiert werden (BAFU 2017).

Im Bereich Luftreinhaltung besteht weiterhin ein Handlungsbedarf zur nachhaltigen Senkung der Schadstoffbelastung in der Luft, u.a. die verkehrsbedingten NO_x- und PM₁₀-Emissionen. Die bestehenden Massnahmen im Massnahmenplan Luftreinhaltung des Kantons Thurgau werden dementsprechend regelmässig überprüft. Bei Bedarf werden neue Massnahmen vorgeschlagen und umgesetzt.

Heute wird auch von neuen Problembereichen in der Lufthygiene gesprochen, wie z. B. die Feinpartikel PM_{2.5}. Diese Partikel stammen vorwiegend aus verschiedenen Verbrennungsprozessen. Je nach Beschluss des Bundes müssen die Kantone solche neuen Bereiche in der Massnahmenplanung künftig berücksichtigen. Mit dem Ausbau und Förderung der Elektromobilität kann die PM_{2.5}-Emissionen aus dem Verkehrsbereich gezielt reduziert werden. Die Russpartikel aus Dieselfahrzeugen tragen bedeutend zur Feinstaubbelastung bei. Dieselfahrzeuge sind krebserzeugend und damit gesundheitlich besonders problematisch.

In der Luftreinhalte- und Klimapolitik haben Massnahmen im Verkehrsbereich gute Synergiepotentiale. Sie leisten sowohl einen Beitrag zur Senkung der Luftschadstoffemissionen (NO_x, PM₁₀, flüchtige organische Verbindungen (VOC), etc.) als auch einen wesentlichen Beitrag zur Senkung der CO₂-Emissionen.

Die Elektromobilität gilt als eine vielversprechende Zukunftstechnologie, namentlich als Hoffnungsträgerin für eine nachhaltige Mobilität. Die Elektromobilität bietet die Chance die CO₂-Emissionen massiv zu senken,

Luftschadstoffemissionen lokal zu vermeiden, und die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern zu reduzieren. Dadurch, dass Elektromotoren sehr energieeffizient sind, haben batteriebetriebene Elektrofahrzeuge einen dreibis viermal höheren Wirkungsgrad als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor; der Energieaufwand für die Fortbewegung ist also bedeutend kleiner. Um das Potenzial der Elektromobilität auszuschöpfen und gleichzeitig die wichtigsten Risiken zu minimieren, soll die Elektromobilität in diesem Bericht eingebettet in ein übergeordnetes Zielsystem aus bestehenden kantonalen Zielsetzungen eines nachhaltigeren Mobilitäts- und Energiesystems betrachtet werden. Zum Beispiel sollen elektrisch betriebene Personenwagen keine Fahrkilometer mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder mit Fahrrad ersetzen.

Die Schweiz und der Kanton Thurgau verfügen dank ihrem Strommix aus Atomkraft, Wasserkraft und neuen erneuerbaren Energien über günstige Voraussetzungen, Elektrofahrzeuge CO₂-arm anzutreiben. Elektrofahrzeuge sind generell deutlich umweltschonender als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor, wenn sie mit erneuerbarem Strom angetrieben werden (PSI / EMPA / ETHZ 2016). Elektrofahrzeuge treten auf dem Markt bereits erfolgreich in Erscheinung. Fast alle Autohersteller bieten Elektrofahrzeugmodelle an und die ersten massentauglichen Modelle mit Reichweiten über 300 km sind erschienen. Die Elektromobilität steht damit an der Schwelle zum Marktdurchbruch.

1.2 Massnahmen Bund und umliegender Kantone

Der Bund setzt Massnahmen in seinem Kompetenzbereich zur Förderung der Elektromobilität um. Diese ersetzen jedoch die in diesem Bericht vorgeschlagenen kantonalen Massnahmen nicht.

Der Bund unterstützt die Elektromobilität auf unterschiedliche Weise: Elektrofahrzeuge sind von der Automobilsteuer befreit (entspricht einer Importsteuer, ca. 3 % des Verkaufspreises), das Bundesamt für Strassen (ASTRA) hat Empfehlungen zum Aufbau von Schnellladestationen auf Autobahnraststätten veröffentlicht (2015), das Bundesamt für Energie (BFE) hat den Aufbau einer nationalen Datenbank zu Ladesäulen gestartet (als Grundlage für Apps von Dritten) und den Handlungsleitfaden «Elektromobilität für Gemeinden» veröffentlicht (EnergieSchweiz 2017).

In mehreren Kantonen und Städten bereitet man sich mit Fördermassnahmen, der Planung von Ladeinfrastruktur sowie der Identifikation neuer Geschäftsmodelle für Energieversorger auf die Elektromobilität vor. Die Kantone Basel-Stadt und Basel-Landschaft nehmen bezüglich Ladeinfrastruktur-Planung schweizweit eine Pionierrolle ein. Sie haben gemeinsam ein konkretes Massnahmenkonzept für die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur erarbeitet (EBP 2015a). Eine ähnliche Strategie verfolgen die Stadt St. Gallen (EBP 2015b) und der Kanton Graubünden (EBP 2015c). Die Stadt Winterthur erarbeitete ein Positionspapier Elektromobilität mit dem Ziel die Handlungsfelder für die Stadt aufzuzeigen (EBP 2016a); die Stadt Bern behandelte die Elektromobilität in ihrer Energie- und Klimastrategie (Stadt Bern 2015).

1.3 Verkehrsentwicklung in der Schweiz

Trotz einer Zunahme des MIV um 14.1% bis ins Jahr 2040, sinken die Einnahmen aus der Mineralölsteuer. Eine Abgabe für Fahrzeuge mit alternativen Antrieben ist für 2020 vorgesehen.

Die Verkehrsperspektiven 2040 des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE 2016) gehen davon aus, dass der schweizweite öffentliche Verkehr bis 2040 mit + 51.5 % am meisten zunimmt. Die prognostizierte Zunahme des Langsamverkehrs beträgt + 32 % und des motorisierten Individualverkehrs + 18.1 %. In absoluten Zahlen ausgedrückt, nimmt jedoch die Anzahl Personenkilometer im motorisierten Individualverkehr mit + 15.5 Milliarden am meisten zu, gefolgt vom öffentlichen Verkehr (+ 11.4 Milliarden Personenkilometer) und dem Langsamverkehr (+ 2.4 Milliarden Personenkilometer)

Eine weitere Entwicklung zeigt sich bei der Mineralölsteuer. Der Treibstoffverbrauch von Motorfahrzeugen sinkt auf Grund von Effizienzgewinnen laufend. Aus diesem Grund wird die Mineralölsteuer zur Sicherung der Einnahmen voraussichtlich im Jahr 2018 erhöht werden (ASTRA 2017). Da heute Elektrofahrzeuge keine Mineralölsteuer bezahlen besteht eine Ungleichbehandlung zwischen Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor. Eine Abgabe für Fahrzeuge mit alternativen Antriebstechniken ist ab dem Jahr 2020 vorgesehen.

1.4 Parlamentarischer Auftrag

Am 23. März 2016 reicht Kantonsrat Daniel Eugster einen Antrag gemäss §52 der Geschäftsordnung des Grossen Rats zur Abklärung der Chancen und Risiken der Elektromobilität im Thurgau ein. Am 3. Oktober 2016 gibt der Grosse Rat einen Bericht in Auftrag, welcher ihm innerhalb von 2 Jahren vorzulegen ist.

Die Elektromobilität bei Personenwagen steht an der Schwelle zum Massenmarkt. Je nach Einsatzgebiet und Anwendungszweck weisen Elektrofahrzeuge gegenüber konventionellen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren klare Vorteile auf (höhere Effizienz, tiefere Betriebskosten, keine lokalen CO₂, NO_x- und Russ-Emissionen, usw.). Aufgrund der ländlichen Struktur des Thurgaus, zeigen sich im Kanton eine hohe Fahrzeugdichte sowie ein im schweizerischen Durchschnitt überdurchschnittlicher motorisierter Individualverkehr. Aufgrund dieser Ausgangslage ergeben sich neue Fragestellungen für den Kanton Thurgau.

Mit dem Antrag vom 23. März 2016 von Daniel Eugster wird die Abklärung der Chancen und Risiken der Elektromobilität für den Kanton Thurgau angeregt. Zusammen mit 67 Mitunterzeichnenden wurde der Antrag beim Regierungsrat eingereicht. Gemäss Antrag sollen insbesondere folgende Aspekte hinsichtlich Umsetzbarkeit, Wirkung und Nachhaltigkeit in Bezug auf die Elektromobilität geprüft werden: Einfluss auf motorisierten Individualverkehr, ÖV und Langsamverkehr, Stand und Anforderung an die Infrastruktur und deren Planung, Sicherstellung der Versorgung von Elektrofahrzeugen mit Strom aus erneuerbaren und einheimischen Energien, Standard, Vorgaben

und Empfehlungen, Massnahmenplan, Bildung einer Modellregion, Potential für den Thurgau.

Der Regierungsrat unterstützte den Antrag. Am 3. Oktober 2016 folgte der Grosse Rat der Empfehlung des Regierungsrates und erklärte den Antrag als erheblich. Dem Grossen Rat ist innerhalb von zwei Jahren ein Bericht über die Chancen der Elektromobilität im Kanton Thurgau vorzulegen. Am 9. Mai 2017 wird EBP mit dem Auftrag zur Erarbeitung eines Berichts «Elektromobilität im Thurgau» beauftragt.

1.5 Situationsanalyse Thurgau

Dieser Bericht orientiert sich an den bestehenden kantonalen Zielsetzungen aus dem kantonalen Richtplan und bestehenden energiepolitischen Berichten.

Der vorliegende Bericht orientiert sich am geltenden kantonalen Richtplan, sowie an den folgenden nationalen und kantonalen Strategien und Konzepten:

- Kantonaler Richtplan (Kanton Thurgau 2009)
- Konzept zur verstärkten Förderung erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz
- Konzept für einen Thurgauer Strommix ohne Kernenergie
- Bericht Stromnetze Thurgau
- Massnahmenplan Luftreinhaltung
- Gesamtverkehrskonzept Thurgau
- Langsamverkehrskonzept Thurgau

Der kantonale Richtplan Thurgau sieht eine möglichst nachhaltige Nutzung der Energie vor. Im Vordergrund stehen Massnahmen zur Eindämmung von Energieverlusten sowie die Förderung von CO₂-neutralen, erneuerbaren Energien. Die Vision einer 2000-Watt-Gesellschaft soll im Zeitraum 2050 bis 2080 angestrebt werden.

Der Verkehr ist auf die Siedlungs- und Zentrenstruktur abzustimmen und soll die Verkehrsbedürfnisse ressourcenschonend abdecken. Negative Auswirkungen, wie Landverbrauch, Verkehrsunfälle, Lärm, Abgase und Landschaftsbeeinträchtigungen, sind nach Möglichkeit zu minimieren. Eine effiziente, umwelt- und sozialverträgliche (nachhaltige) Mobilität ist anzustreben.

Der Kanton Thurgau hat sich energie- und klimapolitische Ziele gesetzt. Das Energiegesetz sieht die Förderung einer sparsamen und rationellen Energienutzung sowie die Förderung der Nutzung erneuerbarer und umweltverträglich produzierter Energien vor. Zudem soll die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern gemindert werden. Allgemein gilt es die Energiegesetzgebung des Bundes zu vollziehen. Im Konzept zur verstärkten Förderung erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz definiert der Kanton Thurgau unter anderem folgende Ziele für das Jahr 2015 (Econcept / Kanton Thurgau 2007).

Demnach sollte bis Ende 2015 gegenüber dem Jahr 2000:

- der Verbrauch fossiler Energien im Verkehr um 5% abnehmen,
- der Verbrauch von Elektrizität um weniger als 5% zunehmen,
- die Produktion neuer erneuerbarer Energien zusätzliche 1.5% des gesamten Strombedarfs ausmachen.

Während gemäss Econcept / Kanton Thurgau (2017) das Ziel der zusätzlichen Produktion neuer erneuerbaren Energien (+3.7%) per Ende 2015 deutlich übertroffen wurde, verfehlte der Kanton Thurgau die Ziele im Bereich Verbrauch fossiler Energien im Verkehr sowie im Bereich Verbrauch von Elektrizität. Der Verbrauch fossiler Energien im Verkehr nahm zwischen 2000 und 2015 um 8% zu; der Stromverbrauch stieg in der gleichen Zeitspanne um 11% (Econcept / Kanton Thurgau 2017).

Econcept / Kanton Thurgau (2017) und EBP (2013) schlagen für das Jahr 2030 folgende Ziele vor. Gegenüber 2015 soll:

- der Verbrauch fossiler Energien im Verkehr (exkl. Luftfahrt) um 33% abnehmen,
- der Verbrauch von Elektrizität um 7% reduziert werden,
- die Produktion neuer erneuerbarer Energien um 65% erhöht werden.

Zur Erreichung dieser Ziele empfiehlt Econcept / Kanton Thurgau (2017) eine Strategie Elektromobilität zu erarbeiten (Empfehlung 9). Der Bericht empfiehlt den Fokus auf raumplanerischen Massnahmen, die räumliche Koordination von Ladestationen sowie mögliche Fördermassnahmen (steuerliche Vergünstigungen, Umstiegsprämien etc.) zu legen. Zudem soll sichergestellt werden, dass für die Elektromobilität erneuerbarer Strom eingesetzt wird.

Seit 1993 verfügt der Kanton Thurgau über einen Massnahmenplan Luftreinhaltung auf der Basis des Bundesgesetzes über den Umweltschutz (USG) und der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) des Bundesrats. Der kantonale Massnahmenplan Luftreinhaltung wurde 2005 überarbeitet und aktualisiert. Seither wird jährlich eine sogenannte Erfolgskontrolle durchgeführt. Wie die Immissionsmessungen der Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone und des Fürstentum Liechtenstein (OSTLUFT) zeigen, konnte dank der bisher umgesetzten Massnahmen die Luftqualität in den letzten Jahren verbessert werden. Die vom Bund vorgegebenen Emissionsreduktionsziele für Stickoxide (NO_x), Feinstaub (PM₁₀), flüchtige organische Verbindungen (VOC) und Ammoniak (NH₃) konnten jedoch bis zum heutigen Zeitpunkt bei keinem der Schadstoffe erreicht werden. Somit besteht für den Kanton Thurgau weiterhin ein Reduktionsbedarf.

Im Kanton Thurgau verteilen 108 Energieversorgungsunternehmen (EVU) den Strom an die Endverbraucher. Der Netzausbaustandard ist hoch. Im Grundlagenbericht Stromnetze Thurgau (EcoWatt / Kanton Thurgau 2014) wird darauf hingewiesen, dass die Elektromobilität einen Einfluss auf die Netzplanung der Verteilnetze im Kanton Thurgau hat. Neben der Elektromobilität wird auch die dezentrale Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

die Verteilnetze herausfordern. Gemäss EcoWatt / Kanton Thurgau (2014) kann in den meisten Regionen des Kantons 5-10 % dezentrale erneuerbare Stromerzeugung am elektrischen Gesamtenergieverbrauch aufgenommen werden bis Netzverstärkungen nötig werden. Mit einfachen Optimierungsmassnahmen kann die Integration dezentraler erneuerbarer Energien auf 15-20 %, in Städten sogar auf 20-30 % erhöht werden. Gemäss kantonaler Strategie soll die dezentrale Stromproduktion am elektrischen Gesamtstromverbrauch im Jahr 2050 einen Anteil von 29 % ausmachen (EBP / Kanton Thurgau 2013). Die Ausgaben für Netzverstärkungen werden bei diesem Anteil dezentral erzeugten Stroms in den nächsten Jahrzehnten auf ca. 6 Mio. Franken jährlich geschätzt (EcoWatt / Kanton Thurgau 2014). Der Grundlagenbericht empfiehlt den EVU die neuen Herausforderungen zu analysieren, um die Netzplanung zu optimieren. Eine Möglichkeit dafür sieht EcoWatt / Kanton Thurgau (2014) in dezentralen elektrischen Energiespeichern. Diese werden über das kantonale Förderprogramm gefördert. Zudem fordert der Regierungsrat von den EVU ein Smart Meter Rollout.

Das Gesamtverkehrskonzept des Kantons Thurgau (ewp / büro widmer / Infrar / Kanton Thurgau 2001) verfolgt drei strategische Stossrichtungen, wonach:

- die Standortgunst des Kantons gefördert werden soll,
- die zunehmende Mobilität durch verstärkte Koordination der Verkehrsträger zu bewältigen ist,
- der Anteil des ÖV in den Agglomerationen und zwischen den Zentren erhöht werden soll.

Bei der Umsetzung dieser Strategie zum Gesamtverkehr sollen gleichzeitig die Verkehrsqualität verbessert und die negativen Auswirkungen des Verkehrs auf Mensch und Umwelt reduziert werden. Zudem soll die finanzielle Belastung für die öffentliche Hand tragbar ausgestaltet werden.

2. Zielsetzung des Berichts und Systemgrenze

2.1 Zielsetzung des Berichts

Dieser Bericht zeigt die Chancen und Risiken der Elektromobilität für den Kanton Thurgau auf und schlägt Massnahmen vor, wie die Elektromobilität sinnvoll unterstützt werden kann.

Der vorliegende Bericht zeigt die Chancen und Risiken der Elektromobilität im Kanton Thurgau mit dem Fokus auf den motorisierten Individualverkehr auf. Die zukünftige Entwicklung der Elektromobilität im Kanton wird für drei Szenarien projiziert. Der Handlungsspielraum auf Kantonsebene wird identifiziert, mit anderen laufenden Aktivitäten und Massnahmenplänen abgeglichen, sowie priorisiert.

Es werden Vorschläge für Massnahmen ausgearbeitet, durch deren Umsetzung die Chancen der Elektromobilität genutzt werden können. Zudem werden Handlungsoptionen aufgezeigt, wie die mit der Nutzung der Elektromobilität einhergehende Risiken minimiert werden können.

Die Studie orientiert sich an den folgenden Leitfragen:

- An welchen Zielen soll sich die Elektromobilität im Thurgau orientieren und messen?
- Wie unterstützt oder erschwert die Elektromobilität die Erreichung (bestehender) kantonaler Ziele und welchen Beitrag kann sie leisten?

Anhand von drei Szenarien werden die Chancen und Risiken beurteilt. Auf Basis der Beurteilung werden anschliessend Massnahmen definiert, die für die Zielerreichung notwendig sind. Die Beurteilung umfasst insbesondere die Auswirkungen auf:

- Verbrauch fossiler Energien des motorisierten Individualverkehrs
- CO₂-Emissionen
- Luftschadstoff-Emissionen (insbesondere NO_x und PM10¹)
- Individuellen und öffentlichen Verkehr
- Infrastruktur / Planung
- Versorgung mit Strom aus einheimischen erneuerbaren Energien
- Stromnetze (Netzstabilität, Deckung von Lastspitzen)

1 Particulate Matter, Feinstaub, feste und flüssige Teilchen unterschiedlicher Grösse (aerodynamischer Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer).

2.2 Einbettung in bestehende kantonale Zielsetzungen

Die Elektromobilität soll nicht isoliert betrachtet werden. Deshalb wird anhand eines Zielsystems aufgezeigt, welche Synergien mit bestehenden Zielsetzungen vorhanden sind und welche Zielkonflikte auftreten können.

Um die Resultate des vorliegenden Berichts optimal mit bestehenden kantonalen Zielsetzungen in Einklang zu bringen, werden für die Elektromobilität relevante, bestehende kantonale Zielsetzungen den Dimensionen Verkehr, Energie, Umwelt und Wirtschaft zugeordnet. Die Elektromobilität im Thurgau soll sich an den bestehenden Zielen orientieren und messen. Zielkonflikte sollen aufgezeigt werden können.

Die Ziele stammen aus dem kantonalen Richtplan (Kanton Thurgau 2009) und kantonalen Konzepten wie Konzept Verstärkte Förderung erneuerbarer Energie und der Energieeffizienz, (Econcept 2007), Konzept Thurgauer Strommix ohne Kernenergie (EBP 2013), Stromnetze Thurgau (EcoWatt, 2014), Gesamtverkehrskonzept, Massnahmenplan Luftreinhaltung (Kanton Thurgau 2010). Folgende übergeordnete Zielsetzungen sind für die Elektromobilität im Kanton Thurgau relevant:

- **Verkehr:** Erreichung eines nachhaltigen Verkehrssystems (Mobilitätssystem) im Kanton Thurgau (*Kantonaler Richtplan*²)
- **Energie:** Umsetzung der Energiestrategie des Bundes und des Kantons Thurgau (*Energiekonzept Kanton TG*)
- **Umwelt:** Verminderung der Umweltbelastung des Verkehrssektors im Kanton Thurgau (*Kantonaler Richtplan*)
- **Wirtschaft:** Erhöhung des volkswirtschaftlichen Nutzens im Kanton Thurgau (*Gesamtverkehrskonzept TG*)

Basierend auf diesen übergeordneten Zielsetzungen werden die für die Elektromobilität relevanten Teilziele zugeordnet (Tabelle 1). Diese werden bei der Bewertung der Massnahmen qualitativ (Tendenz & Ausmass) und punktuell quantitativ bewertet.

2 Kantonaler Richtplan: Verkehr > Gesamtverkehr. Planungsgrundsatz: «Der Verkehr ist auf die Siedlungs- und Zentrenstruktur abzustimmen und soll die Verkehrsbedürfnisse ressourcenschonend abdecken.»

Verkehr	Energie	Umwelt	Wirtschaft
V1: Erhöhung des ÖV- und LV-Anteils am Gesamtverkehr (Kantonaler Richtplan, Gesamtverkehrskonzept TG, kantonaler Massnahmenplan Luftreinhaltung)	E1: Ausschöpfung der technologischen Potenziale zur Erhöhung der Energieeffizienz im MIV (Kantonaler Richtplan, Energiekonzept Kanton TG, Gesamtverkehrskonzept TG).	U1: Verminderung des Einsatzes fossiler Energien im Verkehrssektor (Kantonaler Richtplan, Energiekonzept Kanton TG, Gesamtverkehrskonzept TG, kantonaler Massnahmenplan Luftreinhaltung)	W1: Vermeidung von Fehlinvestitionen bei Stromnetzen aufgrund fehlender vorausschauender Planung (Stromnetze Thurgau)
V2: Ungenügende Verkehrsqualität verbessern ³ (Kantonaler Richtplan, Gesamtverkehrskonzept TG)	E2: Reduktion des Gesamtelektrizitätsverbrauchs (Kantonaler Richtplan, Energiekonzept Kanton TG, Konzept TG Strommix ohne Kernenergie)	U2: Lärm: Reduktion bestehender Umweltbelastungen und Einhaltung gesetzlicher Immissions-Grenzwerte (Kantonaler Richtplan, Gesamtverkehrskonzept TG, kantonaler Massnahmenplan Luftreinhaltung)	W2: Sicherung der Finanzierung der Strassenverkehrsrechnung durch Steuereinnahmen aus dem Strassenverkehr (Gesamtverkehrskonzept TG)
	E3: Reduktion des Netzausbaubedarfs (Stromnetze Thurgau)	U3: Lufthygiene: Namhafte Emissionsreduktionen der wichtigsten Luftschadstoffe und Einhaltung gesetzlicher Immissions-Grenzwerte (Massnahmenplan Luftreinhaltung, LRV, Kantonaler Richtplan, Gesamtverkehrskonzept TG, kantonaler Massnahmenplan Luftreinhaltung)	
	E4: Erhöhung der Integration dezentraler erneuerbarer Energien (Konzept TG Strommix ohne Kernenergie, Stromnetze Thurgau)	U4: Erhöhung der Flächeneffizienz des MIV (Kantonaler Richtplan, Gesamtverkehrskonzept TG, kantonaler Massnahmenplan Luftreinhaltung)	

Tabelle 1: Teilziele für Verkehr, Energie, Umwelt und Wirtschaft.

3 Messgrössen sind im MIV die Verkehrsqualität und die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit. Die Stabilität des Verkehrsflusses soll trotz hoher Belastung gewährleistet sein und die Reisegeschwindigkeit soll sich gegenüber heute nicht verschlechtern. Beim ÖV sind Messgrössen die zeitliche Verfügbarkeit, die Reisezeit sowie die Umsteigezeiten. Beim LV sind direkte und attraktive Routen zielführend (Gesamtverkehrskonzept TG).

2.3 Systemgrenze

Im Mittelpunkt des Berichts steht der motorisierte Individualverkehr. Der MIV ist für rund 67 Prozent der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen sowie für einen beachtlichen Teil der NO_x- und Feinstaub-Emissionen verantwortlich. Weiter ist die Technologie für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge marktreif. Das Marktangebot wird laufend ausgeweitet, sodass eine sinnvolle Unterstützung der Elektromobilität zu einer schnelleren Marktdurchdringung führt.

Gegenstand des Berichts sind Personenwagen des motorisierten Individualverkehrs (MIV). Der öffentliche Verkehr, der Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsgüterverkehr, der Zweiradverkehrs des MIV sowie der Langsamverkehr sind nicht Teil der Untersuchung, werden aber zur besseren Zielerreichung (im Falle von Wechselwirkungen) miteinbezogen. Wechselwirkungen zeigen sich z.B. beim Risiko einer Substitution von ÖV und Langsamverkehr durch Elektrofahrzeuge oder bei der Vorbildfunktion des ÖV (Elektrobusse, -taxis).

Der Fokus auf Personenwagen des MIV erklärt sich unter anderem aufgrund der volkswirtschaftlichen Dringlichkeit. Eine marktreife Technologie ist zum aktuellen Stand, abgesehen von den Motorrädern, erst im Bereich der Personenwagen auszumachen. Im Jahr 2017 gab es noch kein serienfähiges elektrisches LKW-Modell auf dem Markt. Zudem zeigt sich unter anderem bei der Ladeinfrastruktur, Stromnetzen und Einnahmen der Motorfahrzeugsteuern im Bereich der Personenwagen schon heute Handlungsbedarf.

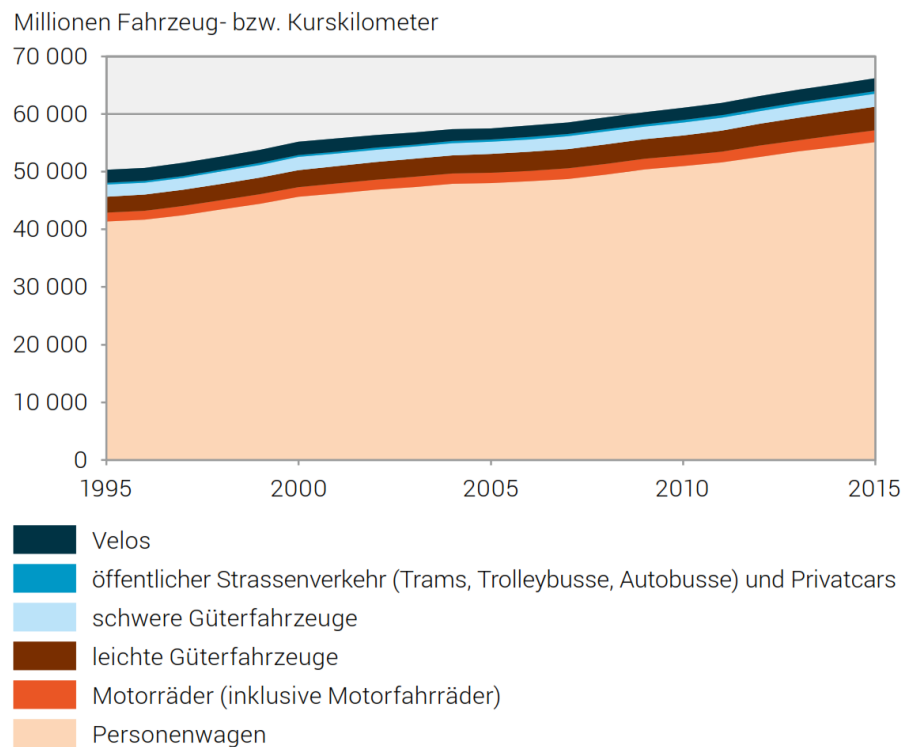


Abbildung 2: Schweizer Fahrleistung im Strassenverkehr (BFS 2017b).

Schweizweit sind die Personenwagen zwischen 1995-2014 für den mit Abstand grössten Teil der Fahrzeug- und Kurskilometer im Strassenverkehr verantwortlich. Motorräder, leichte und schwere Güterfahrzeuge und Velos fallen deutlich weniger stark ins Gewicht (siehe Abbildung 2).

Die Personenwagen sind mit einem Anteil von 67 % der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen zudem das mit Abstand wichtigste Verkehrsmittel. Lastwagen (11 %), Lieferwagen (5 %), Busse (2.4 %), Motorräder (1.6 %), die Schifffahrt (0.7 %) und die Bahn (0.2 %) tragen ebenfalls zu den verkehrsbedingten CO₂-Emissionen der Schweiz bei (siehe Abbildung 3). Im Jahr 2015 entfielen schweizweit 57 % der NO_x-Emissionen und 29 % der Feinstaub-Emissionen (PM10) auf die Verursacherggruppe Verkehr.

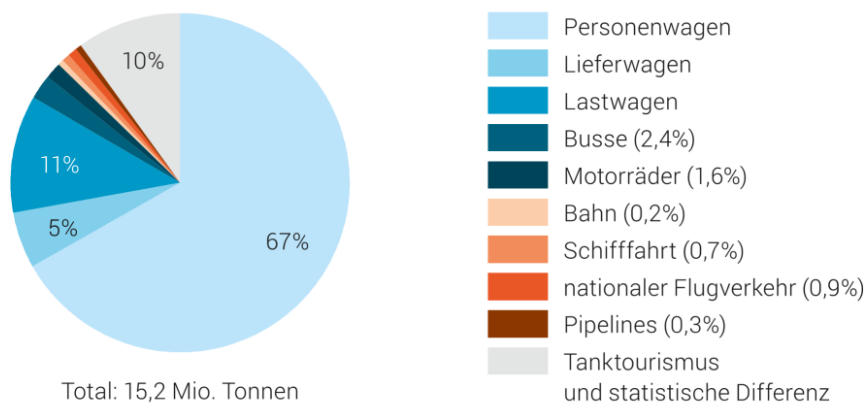


Abbildung 3: CO₂-Emissionen des Verkehrs nach Verkehrsmittel, 2015 (BFS 2017b).

Grundsätzlich ist auch die Förderung von Massnahmen der kombinierten Mobilität wie Carsharing eine interessante Option zur Senkung der Emissionen. In diesem Bericht wird dieses jedoch nicht thematisiert, da das Carsharing nicht direkt im Zusammenhang mit der Elektromobilität steht und eher als Verkehrslenkungsmassnahme zu verstehen ist.

Die räumliche Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes ergibt sich durch die Kantonsgrenze des Kantons Thurgau, wobei schweizweite, respektive globale Einflussfaktoren (Technologie, Strom, Pendelverkehr, etc.) berücksichtigt werden.

Die Szenarien und Potenzialabschätzungen beleuchten den Zeitrahmen bis 2035. Als Referenzjahr wird das Jahr 2015 verwendet. Die Wirkung der vorgeschlagenen Massnahmen und Handlungsoptionen fokussiert sich auf die Periode von heute bis ins Jahr 2035.

3. Ist-Zustand im Kanton Thurgau

3.1 Anteil Elektrofahrzeuge am Gesamtbestand

Ende 2016 haben rund 0.2 % oder 391 Fahrzeuge des gesamten Thurgauer Personenwagenbestands einen rein Batterie-elektrischen Antrieb. 1.1 % oder 1'787 der Personenwagen sind Hybrid-Fahrzeuge (inkl. Plug-In Hybriden). Die Zahlen liegen im Schweizer Durchschnitt.

In diesem Kapitel werden die Unterschiede zwischen dem Automarkt im Kanton Thurgau und dem schweizerischen Markt mittels ausgewählten statistischen Auswertungen analysiert. Die kantonalen Daten wurden vom Strassenverkehrsamt des Kantons Thurgau zur Verfügung gestellt. Tabelle 2 zeigt den heutigen Anteil von Elektrofahrzeugen am Fahrzeugbestand der Personenwagen. Es zeigt sich, dass der Bestand an Hybrid- und Elektrofahrzeugen nur einen sehr kleinen Anteil am Gesamtbestand ausmacht (~1 %). Eine Differenzierung zwischen Hybridfahrzeugen und Plug-In Hybridfahrzeugen wäre sinnvoll, da nur letztere als Elektrofahrzeuge gelten. Auf Grund der Datenlage ist dies jedoch nicht möglich. Im Kanton Thurgau gibt es prozentual etwa gleich viele Hybrid- und Elektrofahrzeuge wie im schweizweiten Durchschnitt.

Fahrzeugkategorie	Schweiz	Kanton Thurgau
Gesamtbestand Personenwagen	4'524'029 (100 %)	167'035 (100 %)
davon Benzin und Diesel	4'441'402 (98.2 %)	164'249 (98.3 %)
davon Hybrid-Fahrzeuge (Benzin-elektrisch, Diesel-elektrisch, inkl. Plug-in Hybride und Range Extender)	57'439 (1.3 %)	1'787 (1.1 %)
davon reine Elektrofahrzeuge	10'724 (0.2 %)	391 (0.2 %)
davon Gasfahrzeuge	10'331 (0.2 %)	425 (0.3 %)
davon Wasserstoff und Wasserstoff-elektrisch	24 (0.0 %)	3 (0.0 %)
davon andere	4'109 (0.1 %)	180 (0.1 %)

Tabelle 2: Vergleich der Fahrzeugbestände per 31.12.2016 in der Schweiz und im Kanton Thurgau per 31.5.2017 (Quellen: BFS, MOFIS und Strassenverkehrsamt Thurgau).

3.2 Neuwagenmarkt

107 Elektrofahrzeuge und 313 Hybrid-Fahrzeuge (inkl. Plug-In Hybride) wurden im Jahr 2016 zugelassen. Im Vergleich zum Schweizer Durchschnitt zeigt sich, dass im Thurgau tendenziell schwerere Fahrzeuge zugelassen werden.

Tabelle 3 zeigt die Zusammensetzung der Neuzulassungen der Personenwagen für die Schweiz und für den Kanton Thurgau im Jahr 2016. Die Marktdurchdringung der elektrischen Antriebe ist im Kanton Thurgau leicht tiefer als in der Schweiz (1.8 % gegen 2 %). Der durchschnittliche

Treibstoffverbrauch der Neuzulassungen ist im Kanton Thurgau verglichen mit dem Schweizer Durchschnitt leicht höher und somit auch die durchschnittlichen CO₂-Emissionen (+1 g CO₂/km). Ein Hauptgrund dafür ist, dass verhältnismässig etwas schwerere Personenwagen neu zugelassen werden als im schweizerischen Durchschnitt.

Fahrzeugkategorie	Schweiz	Kanton Thurgau
Neuzulassungen Personenwagen	319'331 (100 %)	8'797 (100 %)
davon Benzin und Diesel	304'261 (95.3 %)	8'353 (95 %)
davon Hybrid-Fahrzeuge (Benzin-elektrisch, Diesel-elektrisch, inkl. Plug-in Hybride und Range Extender)	10'587 (3.3 %)	313 (3.6 %)
davon reine Elektrofahrzeuge	3'525 (1.1 %)	107 (1.2 %)
davon Gasfahrzeuge	944 (0.3 %)	24 (0.3 %)
davon Wasserstoff und Wasserstoff-elektrisch	10 (0.0 %)	0 (0 %)
davon andere	4 (0.0 %)	0 (0 %)
Durchschnittlicher Treibstoffverbrauch (Liter Benzinäquivalent/100km)	5.79 L BÄ/100 km	5.83 L BÄ/100 km
Durchschnittlicher g CO ₂ /km-Wert	134 g CO ₂ /km	135 g CO ₂ /km

Tabelle 3: Vergleich der Kennzahlen der Neuwagenflotte im Jahr 2016 in der Schweiz und im Kanton Thurgau (Quellen: BFS, MOFIS und Strassenverkehrsamt Thurgau, EBP 2017).

Die EU hat für das Jahr 2015 einen Zielwert für die neu in Verkehr gesetzten Personenwagen von 130 g CO₂/km eingeführt. Es ist ein Zielwert für den Durchschnitt der Flotte aller Neuwagen, und kein Grenzwert: Hersteller dürfen also Fahrzeuge mit höheren g CO₂/km-Werten verkaufen, wenn dies kompensiert wird durch andere Fahrzeuge mit niedrigeren Werten. Die Schweiz hat diesen Zielwert übernommen. Während der Zielwert in der EU bereits 2012 erreicht wurde, war dies in der Schweiz 2015 erst annähernd der Fall. Die EU hat den Zielwert weiter verschärft: Die EU-Richtlinie 443/2209 schreibt neu vor, dass in der EU registrierte Neuwagen ab 2021 im Durchschnitt den Wert von 95 g CO₂/km nicht überschreiten dürfen (siehe EU-Kommission 2017). Dies entspricht 4.1 Liter Benzin oder 3.6 Liter Diesel pro 100 km. Mit der Bestätigung des 1. Massnahmenpakets zur Energiestrategie 2050 an der Urne am 21. Mai 2017 wird dieser Grenzwert auch für die Schweiz übernommen. Der Bundesrat hat dazu die Ausführungsbestimmungen auf Verordnungsstufe (zur Umsetzung des neuen Zielwerts in der Schweiz) bereits zur Vernehmlassung vorgelegt. Er schlägt vor, das Jahr zur erstmaligen Erreichung des 95 g CO₂/km-Zielwerts in der Schweiz auf 2023 festzulegen.

Die Tabelle 4 zeigt die meistverkauften BEV-Modelle von Januar bis Oktober 2017 gemäss den Verkaufszahlen nach Auto Schweiz (Vereinigung der offiziellen Autoimporteure). Nicht in dieser Statistik aufgeführt sind Fahrzeuge, die sowohl als Batterie-Elektrische Fahrzeuge wie auch mit Verbrennungsmotoren verkauft werden (z.B. Kia Soul oder VW Golf), da in der zugrundeliegenden Statistik diese nicht getrennt aufgeführt werden.

Marke	Modell	Anzahl
Tesla	Model S	913
Tesla	Model X	768
Renault	Zoe	639
BMW	i3	534
Opel	Ampera	143
Nissan	Leaf	123

Tabelle 4: Meistverkaufte BEV von Januar–Oktober 2017 (Quelle: www.auto.swiss).

3.3 Mobilität und Pendler

Von den 40 täglich zurückgelegten Kilometern, werden rund 29 Kilometer mit dem privaten Motorfahrzeug zurückgelegt. Seit 2010 blieb dieser Wert stabil. Die Weg-Pendler überwiegen die Zu-Pendler im Thurgau leicht.

Der «Mikrozensus Mobilität und Verkehr» dient dazu, die Mobilität der Schweizer Bevölkerung statistisch zu erfassen (BFS/ARE 2017). Die Erhebung wird alle 5 Jahre durchgeführt und gehört zum System der neuen Volkszählung. Seit 2005 liegt die durchschnittlich täglich zurückgelegte Distanz pro Person im Kanton Thurgau über dem Schweizer Durchschnitt. Seit 10 Jahren sind die Distanzen stabil. Thurgauerinnen und Thurgauer legen durchschnittlich 40 km pro Tag zurück, rund 29 km davon mit Motorfahrzeugen (Stand 2015). Der MIV hat in der Zeitspanne von 2000-2010 um knapp 5 km pro Person und Tag zugenommen. Zwischen 2010-2015 blieben die MIV-Tagesdistanzen pro Person im Kanton Thurgau stabil. Die Mehrheit der Pendlerbewegungen finden innerhalb des Kantons statt. Über 60 % pendeln mit dem Auto zur Arbeit. Beim Vergleich der Anzahl Zu-Pendler (von ausserhalb des Kantons) zur Anzahl Weg-Pendler (in einen anderen Kanton), ergibt sich dennoch ein Überschuss von Weg-Pendlern. 85 % der Weg-Pendler arbeiteten entweder im Kanton Zürich oder im Kanton St. Gallen.

4. Technologie: aktuelle und zukünftige Entwicklungen

4.1 Definition der Elektrofahrzeuge

Voll batterie-elektrische Fahrzeuge (BEV), Plug-In Hybride (PHEV, *Plug-In Hybrid Electric Vehicle*, Batterie kann per Kabel geladen werden), sowie Elektrofahrzeuge mit Range Extender (REEV, *Range Extended Electric Vehicle*) gelten als Elektrofahrzeuge. Fahrzeuge mit Brennstoffzellentechnologie werden in diesem Bericht explizit als Brennstoffzellenfahrzeuge oder FCEV (*Fuel Cell Electric Vehicle*) bezeichnet.

Elektrofahrzeuge (EV, Electric Vehicle) werden nach dem Grad der Elektrifizierung unterschieden:

- *BEV (Battery Electric Vehicle)* sind voll batterie-elektrische Fahrzeuge ohne internen Verbrennungsmotor oder Brennstoffzelle (z.B. Renault Zoe, Nissan Leaf).

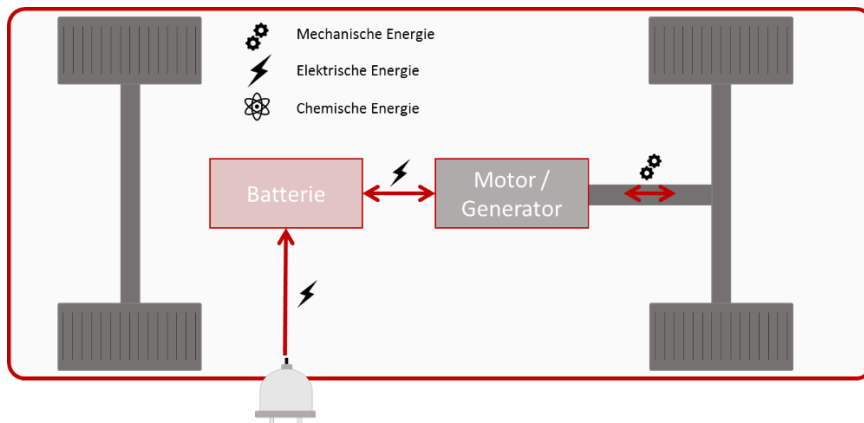


Abbildung 4: Voll batterie-elektrisches Fahrzeug (BEV).

- *PHEV (Plug-In Hybrid Electric Vehicle)* sind Plug-In-hybridelektrische Fahrzeuge. Sie kombinieren einen Elektromotor mit einem Verbrennungsmotor, wobei die Batterie extern aufgeladen werden kann. Es existieren Vollhybrid- und Serienhybrid-Konzepte (siehe REEV). Beim Vollhybrid ist – neben dem Elektromotor – auch der Verbrennungsmotor direkt mechanisch mit der Antriebsachse verbunden (z.B. Toyota Prius Plug-In). PHEV gelten in dieser Studie immer als Elektrofahrzeuge. Grund ist, dass mit Reichweiten zwischen 20 und 80 km bereits über die Hälfte der Jahresfahrleistung elektrisch zurückgelegt werden kann. In Bezug auf den Treibstoffverbrauch wie auch auf die Emissionen bestehen bei PHEV und REEV grosse Unterschiede. Eine in der Schweiz durchgeführte Studie zeigt, dass die Verbrauchs- und Emissionswerte stark vom Benutzerverhalten abhängen. Entscheidender Faktor ist dabei, welcher Anteil der Strecke mit Strom und welcher Anteil mit Diesel/Benzin zurückgelegt wird. Wird ein hoher Anteil Benzin/Diesel-betrieben zurückgelegt, erhöht sich der Energieverbrauch aufgrund des schlechteren Wirkungsgrades des Verbrennungsmotors enorm (e'mobile 2015).

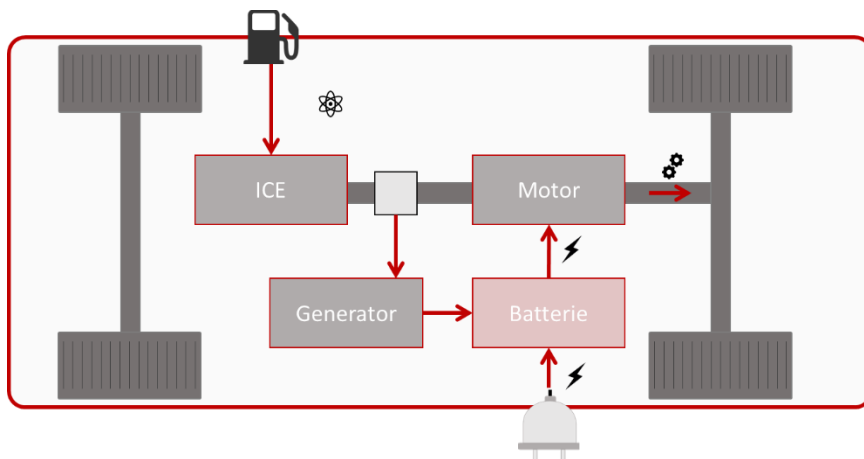


Abbildung 5: Plug-in-hybridelektrische Fahrzeuge (PHEV). ICE (Internal Combustion Engine) steht für Verbrennungsmotor.

- *REEV (Range Extended Electric Vehicles REEV)* sind serielle Plug-In-Hybride (z.B. BMW i3 Range Extender): Nur der Elektromotor treibt die Räder an; wenn der Ladestand der Batterie nicht ausreicht, kann zur Stromerzeugung entweder ein optimierter Verbrennungsmotor (der einen Generator antreibt) oder eine Brennstoffzelle zugeschaltet werden (Brennstoffzellenfahrzeuge haben zurzeit noch keine Plug-In Funktion). Im Gegensatz zu BEV haben REEV kleinere, leichtere Batteriepakete, dafür zur Stromerzeugung zusätzlich einen Verbrennungsmotor oder eine Brennstoffzelle.

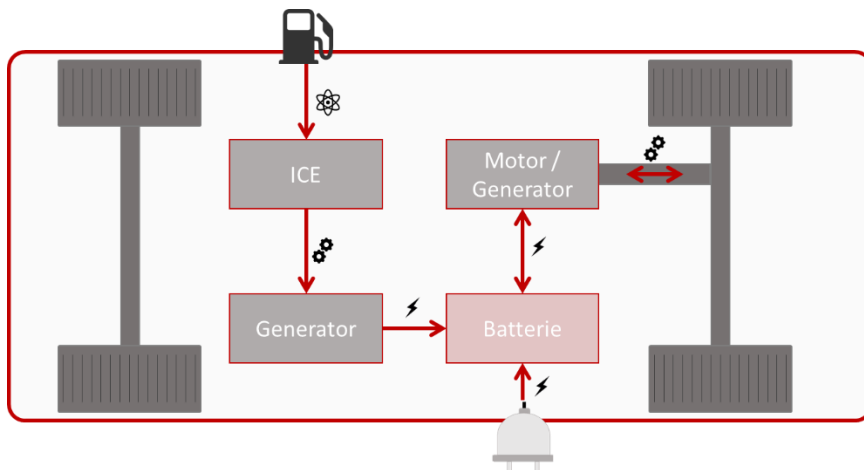


Abbildung 6: Serieller Plug-in-Hybrid (REEV).

Folgende Antriebsarten gelten dagegen nicht als Elektrofahrzeuge:

- *HEV (Hybrid Electric Vehicle)*: Hybridelektrische Fahrzeuge verfügen über eine Kombination aus Elektro- und Verbrennungsmotor, wobei die Batterie nicht extern aufgeladen werden kann. Getankt wird nur Benzin oder Diesel (im Prinzip wäre auch Erdgas möglich, solche Fahrzeuge sind aber aktuell nicht auf dem Markt erhältlich), die Batterie wird nur intern durch Rekuperation aufgeladen und wenn der Verbrennungsmotor „überschüssige“ Energie produzieren kann.

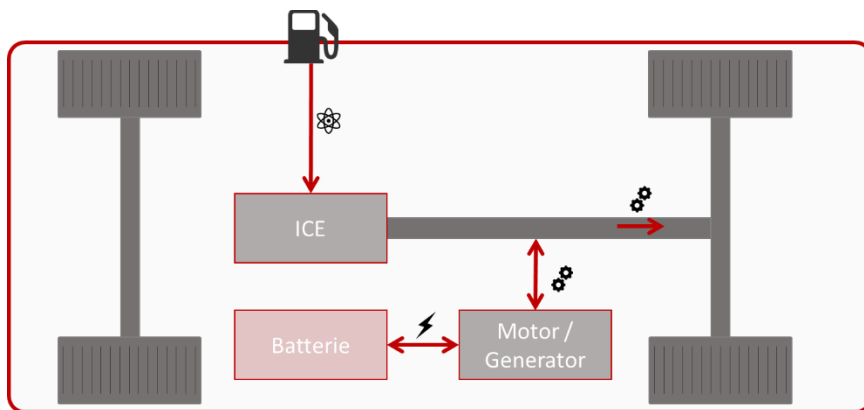


Abbildung 7: Hybridelektrisches Fahrzeug (HEV).

— *FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle)* sind Brennstoffzellenfahrzeuge, die aus den Energieträgern Wasserstoff oder Methanol in einer Brennstoffzelle elektrische Energie erzeugen und mit dem Elektroantrieb in Bewegung umwandeln. Zeitweise wird die elektrische Energie in einer Traktionsbatterie zwischengespeichert. Somit ist der Antrieb wie ein serieller Hybridantrieb aufgebaut. Brennstoffzellenfahrzeuge werden im nachfolgenden Kapitel detaillierter beschrieben.

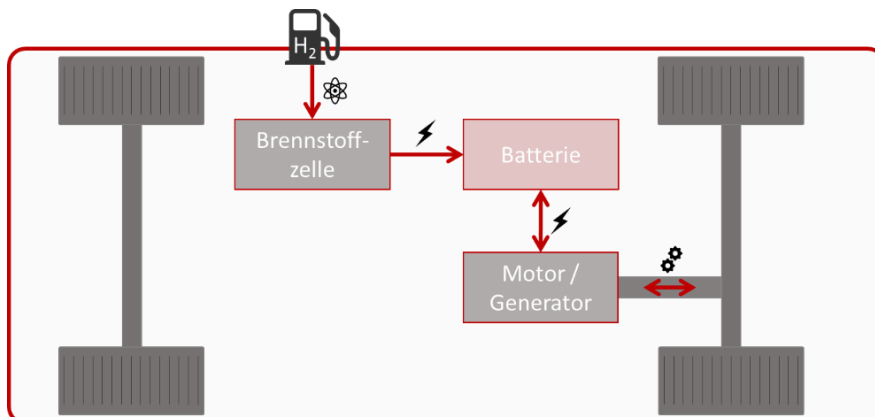


Abbildung 8: Brennstoffzellenfahrzeug (FCEV).

Der Begriff «Elektrofahrzeuge» bezeichnet in diesem Bericht rein batterieelektrische Fahrzeuge, Plug-In Hybride und Fahrzeuge mit Range Extender. Brennstoffzellenfahrzeuge werden immer als Brennstoffzellenfahrzeuge oder FCEV ausgewiesen. Brennstoffzellenfahrzeuge nicht als Elektrofahrzeuge zu bezeichnen ist in der Begleitgruppe zu diesem Bericht jedoch umstritten, da sie mit Wasserstoff betankt werden müssen, aber über einen Elektroantrieb angetrieben werden.

— *ICE (Internal Combustion Engine)*: Die klassischen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor tanken Benzin, Diesel, LPG (*Liquefied Petroleum Gas*, «Autogas») oder Erdgas. Sie werden hier zusammen mit den HEV betrachtet.

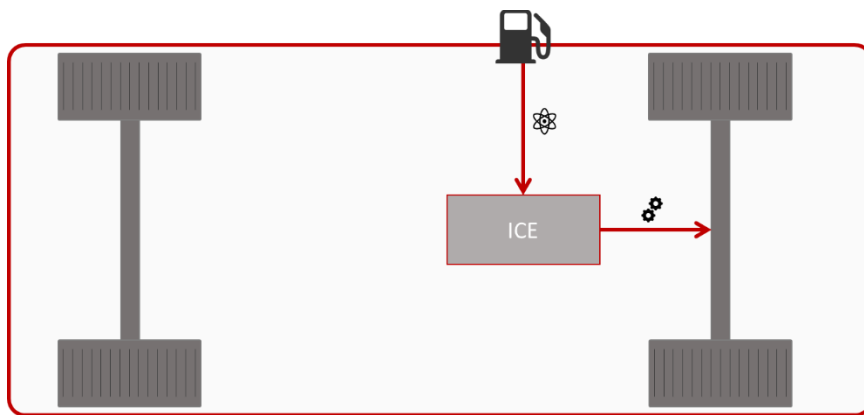


Abbildung 9: Fahrzeug mit Verbrennungsmotor (ICE).

Die limitierte Reichweite wird oft als Hemmnis für den Markterfolg von BEV erwähnt. Dazu kommt, dass sich die vom Hersteller angegebenen Reichweiten im Alltag je nach Fahrweise reduzieren können. Vor allem die elektrische Heizung im Winter kann die Reichweite reduzieren. Dank besserer Batterien werden die Reichweiten neuer Autos steigen. Vor einigen Jahren wurden Elektroautos mit 120 bis 180 km Reichweite angeboten, schon 2017 erhalten die meisten dieser Autos neue Batteriepakete mit über 200 km, ab 2018 werden am Markt mehrere Auto-modelle mit über 300 km Reichweite erhältlich sein. Übrigens: Immer mehr Reichweite ist nicht optimal. Dafür braucht es schwere Batterien, was wiederum den Energieverbrauch des Autos belastet. Zudem sind die Grenzkosten des zusätzlichen Batteriegewichts sehr hoch. Das Batteriegrösse-Optimum dürfte somit mittelfristig bei Batterien mit 300–400 km (realer Reichweite) liegen.

4.2 Brennstoffzellen Fahrzeuge (FCEV)

Brennstoffzellenfahrzeuge werden mit Wasserstoff (H_2) betankt. Die im Fahrzeug verbaute Brennstoffzelle wandelt den Wasserstoff in Strom um, womit der Elektromotor angetrieben wird. Der Vorteil der Brennstoffzellentechnologie ist insbesondere die hohe Energiedichte von Wasserstoff. Im Vergleich zu Batterien und batterieelektrischen Fahrzeugen, kann eine grössere Reichweite bei gleichzeitig tieferem Gewicht erreicht werden. Aus physikalischer Sicht ist der Wirkungsgrad der Fortbewegung jedoch markant schlechter als von Elektrofahrzeugen. Zurzeit gibt es erst drei Brennstoffzellenfahrzeuge auf dem Markt und praktisch keine Wasserstoff-Tankstellen. Die Betriebskosten eines Wasserstofffahrzeugs bewegen sich zudem in ähnlichen Bereichen wie heutige Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren, während der Betrieb von Elektrofahrzeugen ein Vielfaches günstiger ist.

In Brennstoffzellenfahrzeugen wird Wasserstoff mittels einer Brennstoffzelle mit Sauerstoff zu Strom und Wasser umgewandelt. Der Antrieb des Fahrzeuges erfolgt über Elektromotoren. Der Wasserstoff wird in einem Tank, ähnlich einem Benzinfahrzeug, aufbewahrt. Zusätzlich verfügen Brennstoffzellenfahrzeuge über eine Batterie, unter anderem zur Rekuperation der Bremsenergie. Der Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser

hergestellt. Durch den starken Ausbau von erneuerbaren Energien werden neue Technologien wie Power-to-Gas in Betracht gezogen, um möglichst emissionsarmen Strom zur Elektrolyse zu verwenden. Nur in diesem Falle ist das Brennstoffzellenfahrzeug emissionsarm. Wasserstoff weist eine hohe Energiedichte auf. Wenn er als Treibstoff verwendet wird, sind deshalb hohe Reichweiten, vergleichbar zum Benzinfahrzeug, möglich. Ein weiterer Grund für Wasserstoff als Treibstoff ist, dass das Gewicht von Wasserstoff im Gegensatz zu Batterien vernachlässigbar ist. Andererseits sind die Umwandlungsverluste bei der Herstellung des Wasserstoffs und bei der Erzeugung von Strom aus Wasserstoff innerhalb der Brennstoffzelle nach wie vor gross und die Gesamteffizienz ist vergleichbar mit einem Verbrennungsmotor.

Technisch gesehen gibt es weiterhin Schwierigkeiten im Bereich der Alterung und in der Leistungsdichte der Brennstoffzelle. Zudem sind die Kosten für den Aufbau der Infrastruktur hoch und Wasserstoff ist durch die Herstellung und Aufbewahrung vergleichsweise teuer. Wasserstofffahrzeuge könnten sich bei weiterer Forschung vor allem im Bereich der Nutzfahrzeuge zu einer Schlüsseltechnologie im Langstreckenverkehr entwickeln (Fraunhofer 2015). Im Personenverkehr hat Mercedes-Benz an der IAA 2017, zusammen mit den Partnern des Daimler Kompetenznetzwerks, ein PHEV Konzeptauto mit Brennstoffzelle vorgestellt. Der GLC F-CELL verfügt über eine 9 Kilowattstunden (KWh) Lithium-Ionen-Batterie und lässt sich erstmals auch extern per Plug-In-Technologie aufladen. Der GLC F-CELL erreicht damit eine kombinierte Reichweite von ca. 500 km. Dieses Auto ist allerdings noch nicht käuflich erhältlich. Toyota bietet mit dem Mirai in Japan ein Wasserstoffauto in Serie an. Dabei installiert Toyota selbst die Wasserstofftanksäulen an Tankstellen in Japan. Seit 2015 steht das Fahrzeug auch in Europa und USA zur Verfügung. Toyota entwickelt des Weiteren FCEV Busse. Auch Honda bietet mit dem FCX Clarity ein Brennstoffzellenauto mit einer Reichweite von 500 km an. Die aktuelle Version des Autos von 2016 ist bisher nur in Kalifornien als Leasingauto für 3 Jahre erhältlich, von der Vorgängerversion des FCX Clarity, der 2014 vom Markt genommen wurde, wurden 2008-2014 insgesamt weniger als 80 in Japan, Europa und USA geleast. Der Clarity soll demnächst auch als PHEV und reines BEV erhältlich sein. In der Schweiz ist zudem der IX 35 Fuel Cell von Hyundai mit einer Reichweite von bis zu 600 km erhältlich. Da die Markteinführung dieser Fahrzeuge durch andere Anbieter weiterer grosser Investitionen und Forschung bedarf, kommt diese Technologie in den Szenarien zur Mobilität der Zukunft bis 2050 nur im unteren Prozentbereich als Nischenprodukt vor (IEA 2017, Shell 2014). Des Weiteren ist zu erwarten, dass viele der Wasserstofffahrzeuge zur Steigerung der Effizienz, vor allem in der Kurzstreckenanwendung, ähnlich wie der GLC F-CELL von Mercedes, als PHEV angeboten werden und somit auch eine Ladestation-Infrastruktur benötigen. Die Wasserstoffinfrastruktur wird meist durch Tankstellenbetreiber angeboten und benötigt zurzeit keine Unterstützung der öffentlichen Hand.

4.3 Ökologische Betrachtung der Elektromobilität

Die Daten aus der aktuellen Analyse zu den CO₂ und Feinstaub-Emissionen der Elektromobilität zeigen, dass Elektrofahrzeuge verglichen mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor sowie mit Brennstoffzellenfahrzeugen, die beste Bilanz, das heisst die tiefsten CO₂- und Feinstaub-Emissionen pro gefahrenem Kilometer aufweisen. Bei Elektrofahrzeugen fällt dabei der Grossteil der Umweltbelastung bei der Energie- und Fahrzeugproduktion an. Verbesserung der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen sind aber weiterhin möglich, z.B. durch den Einsatz erneuerbarer Energien bei der Fahrzeugproduktion oder durch das Verwenden rezyklierter Rohstoffe.

Zur Beurteilung der Ökobilanz reicht es nicht aus, allein den Betrieb ohne Abgase und mit weniger Lärm von Elektrofahrzeugen zu betrachten. Eine ökologische Betrachtung des Lebenszyklus eines Elektrofahrzeuges besteht massgeblich aus fünf Bereichen:

1. Rohstoffbereitstellung
2. Verarbeitung, Herstellung von Materialien
3. Fahrzeugherstellung
4. Einsatz/Nutzung
5. End-of-Life (EoL) Prozess: Recycling, Entsorgung oder Second Life Batterien

In jedem dieser Bereiche wird Energie benötigt und es fallen Emissionen an. Bei der Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien für Elektrofahrzeuge oder Brennstoffzellen für FCEV wird Energie benötigt und es entstehen Treibhausgase (insbesondere CO₂). Beim Rohstoffabbau entsteht zusätzlich Feinstaub.

Wird die Umweltbelastung durch die Produktion von Elektrofahrzeugen inklusive Batterie jedoch über den Lebenszyklus betrachtet und mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verglichen, wird ersichtlich, dass diese Vorbelastung wieder ausgeglichen wird; d.h. Elektrofahrzeuge sind über den Lebenszyklus betrachtet umweltschonender als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor. Abbildung 10 und Abbildung 11 vergleichen die CO₂- und Feinstaub (PM₁₀⁴)- Emissionen über den gesamten Lebenszyklus verschiedener Antriebstechnologien. Diese Abbildungen basieren auf dem Abschlussbericht der THELMA Studie der ETH Zürich, des Paul-Scherrer-Institut und der EMPA (2016). Mit dem Schweizer Strommix vorwiegend aus Wasserkraft und Atomkraft, fallen die Werte für BEV im Vergleich zum Verbrennungsmotor oder FCEV positiv aus. Beste Werte werden mit reinem Ökostrom aus Photovoltaik und Wind erreicht. PHEVs sind hier explizit nicht aufgeführt, da deren Ökobilanz stark vom elektrischen Fahranteil und daher vom Fahrprofil abhängt: je nach dem, kann ein grösserer Anteil der jährlichen Fahrleistung

4 Feinstaub, feste und flüssige Teilchen unterschiedlicher Grösse (aerodynamischer Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer).

mit Strom zurückgelegt werden oder aber auch nicht, falls hauptsächlich Langstrecken mit dem Verbrennungsmotor gefahren werden. Aber auch hier gilt grundsätzlich eine bessere Ökobilanz als vergleichbare Verbrennungsmotoren. Die Ökobilanz von FCEV ist weiterhin stark von der Herstellung des Wasserstoffs (BFE 2017) und vom Strommix bei der Herstellung der Brennstoffzellen abhängig. Power-to-Gas wird oft als zukünftiges Verfahren zur Gewinnung von Wasserstoff aus erneuerbaren Energien gesehen. Allerdings sind hier weitere Hürden im Bereich der Wirkungsgrade zu überwinden (Zhang et al. 2017).

Auch bei NO_x-Emissionen schneiden die Elektrofahrzeuge gemäss der THELMA Studie am besten ab. Diese Reduktion ist einerseits auf den Treibstoff bzw. die Energiebereitstellung (und die damit verbundenen Auspuff-Emissionen) und andererseits auf die Produktion des Motors zurückzuführen.

Der CO₂-Ausstoss und auch Feinstaub-Emissionen haben auch eine örtliche und zeitliche Komponente. Während Treibhausgasemissionen auf globaler Ebene relevant sind (Beitrag zum Klimaschutz), führt die Reduktion der Luftschadstoffemissionen in der Betriebsphase zu einer Verbesserung der lokalen Luftqualität in den Ballungszentren.

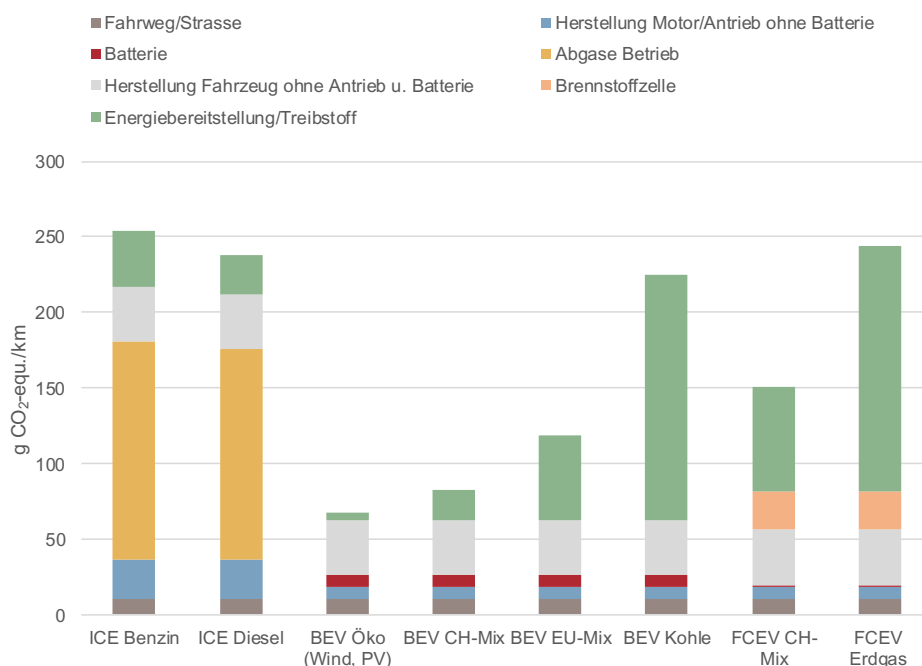


Abbildung 10: CO₂ Ausstoss über den gesamten Lebenszyklus der gängigen Fahrzeugklassen. Die Lebensdauer beläuft sich bei den BEV auf 150.000 km mit einer Batterie (mit derselben Lebensdauer), Datenquelle: (PSI / EMPA / ETHZ 2016).

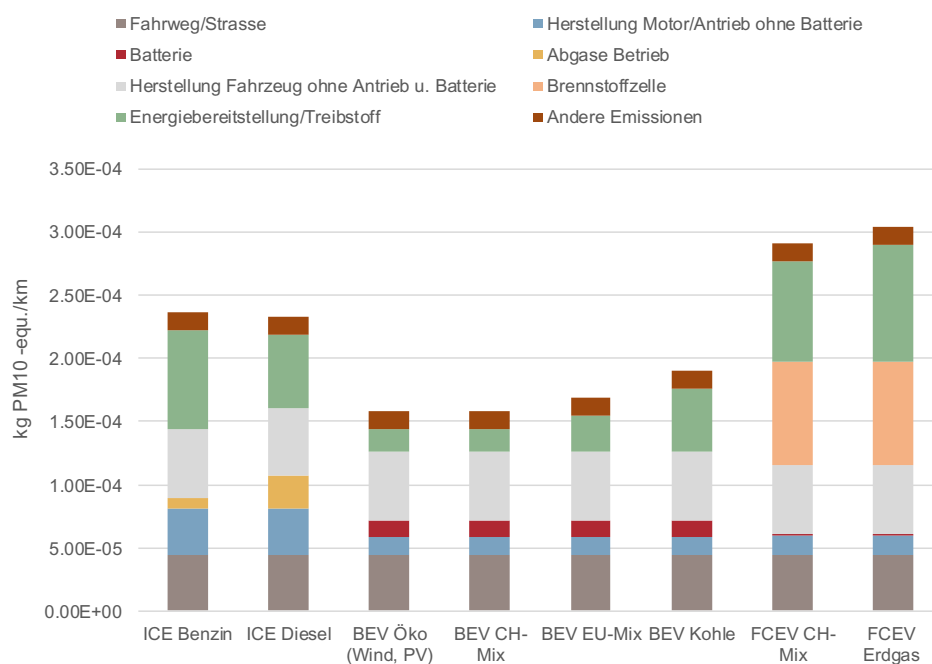


Abbildung 11: PM10 Emissionen über den gesamten Lebenszyklus der gängigen Fahrzeugklassen. Die Lebensdauer beläuft sich bei den BEV auf 150.000 km mit einer Batterie, Datenquelle: (PSI / EMPA / ETHZ 2016).

In Tabelle 5 sind die Hauptemissionen und deren mögliche Einsparungen jeweils für die einzelnen Lebenszyklusphasen eines Elektroautos zusammengefasst.

Lebenszyklusphase	Hauptemissionsfaktoren	Einsparungen
Rohstoffbereitstellung	Chemikalien zur Behandlung von Erzen, beim Abbau entstehen hauptsächlich PM, NO _x und SO ₂ beim Abbau von Nickel, Platin und Kupfer und ein hoher Energiebedarf je nach Rohstoff	Recycling von Rohstoffen kann Bedarf massgeblich reduzieren
Herstellung von Batteriezellen	Energierichster Schritt: ca. 30-60 % Anteil des Energiebedarfs: 300-586 MJ/kWh 38-356 kg CO ₂ -eq/kWh	Strommix aus erneuerbaren Energien
Batteriepack Herstellung	30-50 kg CO ₂ -eq./kWh, 0.01-109 MJ/kWh	-
Einsatz/Nutzung	BEV/FCEV selbst haben keinen PM/NO _x oder CO ₂ Ausstoss, dort hängt es allein vom Strommix ab.	Reiner Ökostrom, Batterien auf Bedarf auslegen, nicht auf max. Reichweite.
End-of-Life, Recycling	16-32 kg CO ₂ -eq/KWh, mittels Pyrometallurgie	Neue Recyclingprozesse, Ökostrom

Tabelle 5: Emissionen und Energieflüsse im Lebenszyklus eines Elektroautos. Werte aus Ellington et al. 2017.

Alle erhältlichen Studien, auch aus dem Ausland, bemängeln die schlechte Datengrundlage für Ökobilanzen, da kaum Informationen von Batterieherstellern oder Recyclingunternehmen vorliegen. So basiert die oft in

Verbindung mit Tesla erörtere «Schwedische Studie» (IVL, 2017) auf Mittelwerten von Daten aus anderen Studien. Diese haben teilweise Abweichungen vom Zehnfachen in Bezug auf CO₂ und Energieverbrauch bei der Batterieherstellung. Im Schnitt kommen die Autoren der «Schwedischen Studie» mit diesen Daten auf 2.7 Jahre Fahrzeit für Nissan Leaf und auf 8.2 Jahre für einen Tesla S, um eine bessere Ökobilanz als ein Verbrenner zu erreichen. Somit lautet die Empfehlung dieser Studie, die Batterien nicht auf maximale, sondern durchschnittliche Reichweiten auszulegen, um optimale Werte zu erreichen. In den Massnahmen sollte daher beachtet werden, dass vor allem Fahrzeuge für den Alltag gefördert werden, und nicht Autos in der Luxusklasse. Einige Batteriehersteller haben die Notwendigkeit der emissionsarmen Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien erkannt. Tesla plant z.B. eine Solarstromanlage für ihre Gigafactory in Kalifornien, um die Batterien emissionsarm herstellen zu können, BMW verweist auf eine weitere Nutzung der BMWi3 Batterien als Energiespeicher für Solar- und Windenergieanlagen zur Lebenszeitverlängerung.

Abbildung 12 vergleicht die Energieverluste unterschiedlicher Antriebstarren. Beim Dieselfahrzeug mit Verbrennungsmotor können nur 20 % der ursprünglich im Erdöl enthaltenen Energie tatsächlich zur Fortbewegung genutzt werden. Der Dieselmotor wird mit einem Wirkungsgrad von 36 % eher überschätzt, somit ist die reale Nutzenergie eher bei 15 % als 20 %. Bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen können unter dem Strich immerhin 28 % der eingesetzten Energie zur Fortbewegung genutzt werden. Rund ein Viertel der ursprünglich eingesetzten Energie in Form von Strom geht bereits während der Elektrolyse «verloren». Bei batterie-elektrischen Fahrzeugen können mehr als drei Viertel der ursprünglich eingesetzten Energie (Strom) in Nutzenergie umgesetzt werden.

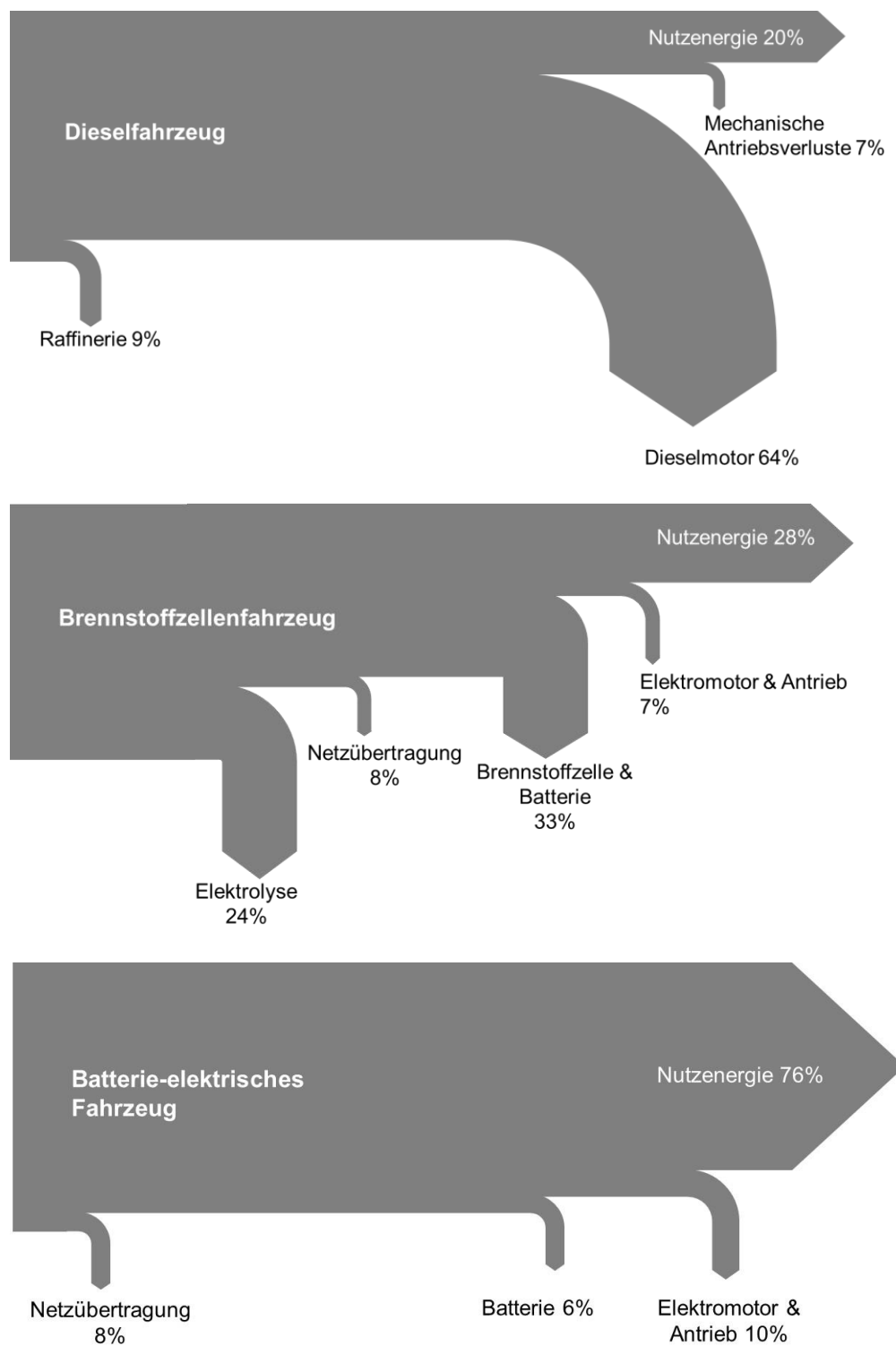


Abbildung 12 Energiebilanz verschiedener Antriebe. Bei BEV stammt der Strom aus erneuerbaren Energien (Quellen: Ecoinvent 2.2, VSE 2014, Elektromobilitätsstrategie Vorarlberg 2015 - 2020).

4.4 Batterien und Speicherung

In vielen heutigen Anwendungen wie Computer, Handys, stationäre Batterien sowie auch Elektrofahrzeugen werden Lithiumionenbatterien eingesetzt. In der Batterie kommt Lithium als Ion (ein elektrisch geladenes Atom oder Molekül) vor. Auch bei einer grossflächigen Marktdurchdringung der Elektromobilität zeichnet sich keine Lithium-Knappheit ab. Die grossen Reserven sind jedoch auf wenige Länder beschränkt, was geopolitisch relevant sein kann. Für die Zukunft werden bei sinkenden Kosten, höhere Energiedichten erwartet. Dementsprechend werden auch die Reichweiten der Elektrofahrzeuge weiter zunehmen.

Die Speicherung von Elektrizität gewinnt im zukünftigen Stromsystem mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern und Elektromobilität weiter an Bedeutung. Energiespeicher lassen sich vielfältig klassifizieren. Die gängigste Art und Weise ist die Unterteilung der verschiedenen Speichertechnologien nach ihrem physikalischen Wirkungsprinzip beziehungsweise der Energieform:

- elektrische Energie: elektrostatische (Kondensatoren) oder elektromagnetische (Spulen) Energiespeicher.
- chemische Energie, auch Bindungsenergie (zum Beispiel chemische Energieträger aus Power-to-Gas wie Wasserstoff oder Methan, Power-to-Liquid, Elektrodenmaterialien in elektrochemischen Batteriespeichern)
- mechanische Energie, auch kinetische und potenzielle Energie (zum Beispiel Pumpspeicher)
- thermische Energie: Wärme und Kälte (zum Beispiel Wärmespeicher, Power-to-Heat)

Sekundäre, wiederaufladbare Batterien, wie sie in Elektrofahrzeugen vorkommen, gehören zur Gruppe der chemischen Energiespeicher. Genauer sind es elektrochemische Energiespeicher, auch Akkumulatoren genannt (Agora Energiewende 2014).

Bei den Batterien haben sich Lithium-Ionen-Akkumulatoren in den letzten Jahren aufgrund ihrer hohen Leistungs- und Energiedichte als dominierende Technologie durchgesetzt. Sie werden heute in Smartphones, Computern, Elektrofahrzeugen und stationären Speichern eingesetzt. Durch die breite Anwendung der gleichen Technologie in unterschiedlichen Märkten (z.B. Smartphones und Fahrzeuge), ist die Nachfrage nach Lithium stark gestiegen. Die Batterie ist die teuerste Komponente eines Elektroautos und stellt zurzeit der wichtigste limitierende Faktor für den Markterfolg von Elektrofahrzeugen dar.

Der Lithium-Ionen-Batterie-Markt wird von einigen wenigen, grossen Akteuren (beispielsweise mit der «Gigafactory» von Tesla) dominiert, welche von den Skaleneffekten profitieren. Diese Kombination führt heute zu rasant sinkenden Herstellungskosten der Lithium-Ionen-Batterien. Innerhalb von sieben Jahren sind die Preise um beinahe zwei Drittel gesunken. Der Preisrückgang hat sich in den letzten drei Jahren jedoch stark abgeschwächt

(Abbildung 13). Die weitere Steigerung der Produktion und die Erhöhung der Kapazität der einzelnen Batteriemodule von 60 auf 100 kWh, und somit Reduzierung des Verpackungsanteils pro Batteriemodul, soll die angestrebte Preisreduktion ermöglichen (OECD/IEA 2017). Während die Preise der Batterien gesunken sind, steigt die Energiedichte der Batterien (siehe Abbildung 14). Die Energiedichte soll bis 2030 um einen Faktor drei erhöht werden. Mit der höheren Energiedichte steigt auch die Reichweite der Elektrofahrzeuge.

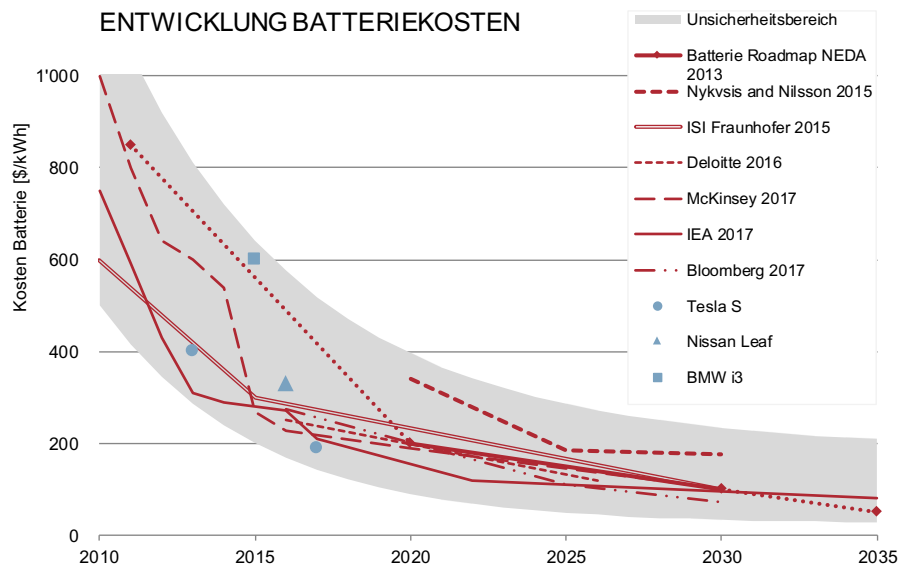


Abbildung 13: Entwicklung der Batteriekosten von 2010-2035, historische Daten und Szenarien aus diversen Studien.

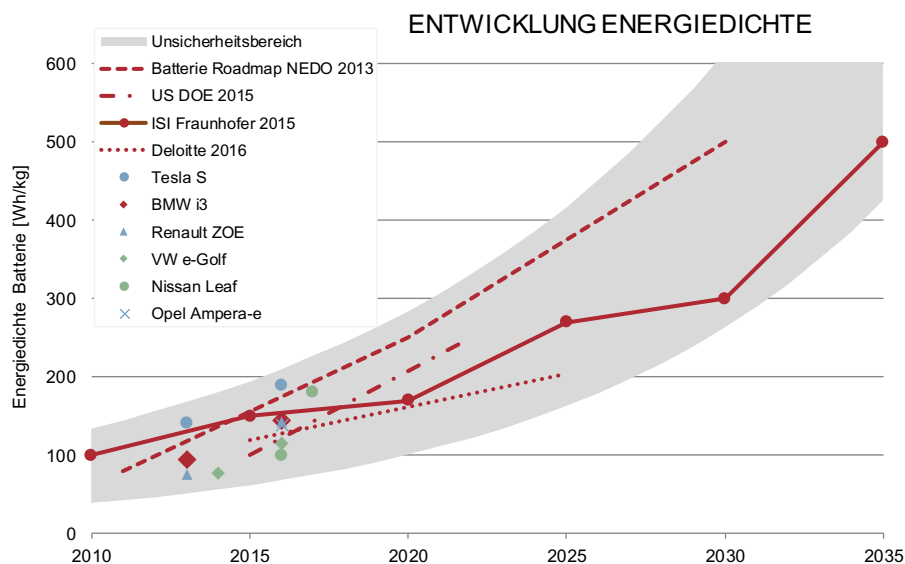


Abbildung 14: Entwicklung der Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien 2010-2035, historische Daten und Zukunftsszenarien aus diversen Studien.

Aufgrund der breiten Anwendung von Lithium-Ionen-Batterien in verschiedenen Branchen und den stark sinkenden Preisen dürften Lithium-Ionen-Batterien die dominierende Batteriespeichertechnologie im nächsten Jahrzehnt

bleiben. Innovationen bei der Herstellung und bei den verwendeten Materialien werden die Energiedichte von Lithium-Ionen-Batterien weiter erhöhen bei gleichzeitig sinkenden Preisen (Wood 2016). Selbst unter extremen Annahmen für die Nachfrage nach Lithium bis 2050, muss nicht mit einer Knappheit der Lithium-Reserven gerechnet werden (Fraunhofer ISI 2009). Lithium, ein Metall, kommt etwas seltener als Zink, Kupfer und Wolfram sowie etwas häufiger als Kobalt, Zinn und Blei in der Erdkruste vor. Obwohl Lithium häufiger als beispielsweise Blei ist, ist seine Gewinnung durch die stärkere Verteilung in den Rohstoffen schwierig. Die grössten Reserven sind auf wenige Länder, namentlich Argentinien, Chile und China beschränkt. Mit dem Abbau von Lithium wird jedoch teilweise in sensible Ökosysteme eingegriffen (Fraunhofer ISI 2009).

In der Batterie liegt Lithium als Ion vor. Daher wird eher wenig Lithium benötigt, aktuell in etwa 150 g pro kWh. Das Lithium wird nicht als Metall verarbeitet, sondern als Lithiumsalz (z.B. LiCl) bei der Elektrodenmaterialherstellung zu den Metalloxiden beigegeben. Die Lithium-Ionen werden vom Kristallgitter der Metalloxide aufgenommen und können während der (Ent-)Ladevorgänge zwischen den Elektroden hin- und herbewegt werden und transportieren somit die chemische Energie im System. Im Gegensatz zu frühen Batterien liegt Lithium in der Batterie daher nie in metallischer Form vor. Bei sehr geringen Temperaturen oder schneller Ladung können sich metallische Lithiumdendriten, kleine Verästelungen aus Lithium, auf den Elektrodenoberflächen, bilden. In der Vergangenheit hat dies teilweise zu Kurzschlüssen in der Batterie und somit zum Brand geführt. Dieses Verhalten wird heute durch Zusätze in den Elektrolyten unterdrückt und ermöglicht den Einsatz von Elektrofahrzeugen auch im Winter.

Die Massenproduktion von Elektrofahrzeugen wird den zukünftigen Bedarf an kritischen Metallen (z.B. seltene Erden in Lithium-Ionen-Batterien sowie spezifisch Neodym in Magneten für Elektromotoren) massiv erhöhen. Diese Metalle werden vermehrt in Wachstumssektoren (insbesondere für die Produktion von Elektro- und Elektronikgeräten) eingesetzt und stehen so in Nutzungskonkurrenz. Hauptbestandteile der Batterie und somit Rohstoffe sind Material für das Packaging (Stahl, Kunststoff), für die Stromsammler (Titan, Kupfer und Aluminium) und Elektroden selbst. Dabei machen die Metalle fürs Packaging und Stromsammler ca. 35 % des Batteriegesamtwichts aus, die Aktivmaterialien der Elektroden 40 % (Umweltbundesamt 2016). Die Anode besteht meist aus Graphit oder Lithiumtitanoxid, die Kathode aus Lithium-Metalloxiden, die Nickel, Kobalt, Eisen und/oder Mangan enthalten.

Wichtige Rohstoffe, die für die Herstellung von Lithiumionenbatterien genutzt werden sind Kobalt, Nickel, Kupfer und Aluminium. Häufig werden in den Elektrodenmaterialien zur Stabilisierung auch seltene Erden (wie z.B. wie Dysprosium und Terbium) eingesetzt. Daher gibt es Bestrebungen, Batterien zu rezyklieren und möglichst viele Rohstoffe zurückzugewinnen. Während dies bei Fahrzeugen weniger problematisch sein dürfte, ist die Rückläufigkeit von Batterien in Kleingeräten wie Mobiltelefone sehr gering. In der Schweiz werden Batterien und Akkumulatoren von INOBAT gesammelt. Für Lithium-Ionen-Akkumulatoren ist die grösste Recyclingstelle die Firma

Umicore in Belgien⁵. Im speziellen Schmelzverfahren werden vor allem die Metallkomponenten und seltenen Erden zurückgewonnen.

Kantonale Studie «Speicherung von Strom aus erneuerbaren Energien im Kanton Thurgau»

Auf Grund des Antrags «Power-to-Gas: Innovative Speicherlösung für Ökostrom» gemäss § 52 GOG von Kantonsrat Stefan Leuthold, wurde ein Bericht von der Abteilung Energie, einem externen Auftragnehmer und einer Begleitgruppe erarbeitet. Ziel war zu untersuchen wie im Kanton Thurgau die Technologien zur Umwandlung von Ökostrom zu Wasserstoff und Methan zwecks Einspeisung in das Erdgasnetz bzw. die Umwandlung von Ökostrom zu Benzin- oder Dieseleratz unterstützt werden können.

Untersuchte Speichertechnologien und deren Anwendung

Die Studie untersucht die für die Mobilität relevanten Speichertechnologien Power-to-Gas (Wasserstoff, Methan), Power-to-Liquid (Methanol) und Batterien. Der durch Elektrolyse aus Strom und Wasser hergestellte Wasserstoff kann zum Betrieb von Brennstoffzellenfahrzeugen genutzt werden. Würde der Wasserstoff unter Zusatz von CO₂ und Wärme in Methan umgewandelt, kann dieses als Ersatz für Erdgas in Erdgasfahrzeugen eingesetzt werden. Methanol, per Verdichtung und Destillation aus Wasserstoff und CO₂ hergestellt, kann Diesel in speziell umgerüsteten Motoren ersetzen.

Weiter unterscheidet die Studie zwischen den Verwendungszwecken Strom-, Netzentlastungs- und Substitutionsspeicherung. Bei der für die Mobilität relevanten Substitutionsspeicherung wird Elektrizität in eine andere Energieform (Wasserstoff, Methan, Methanol oder Batteriespeicherung) umgewandelt und nach der Zwischenspeicherung verwendet, um fossile Treibstoffe zu substituieren.

Einschätzung der Speichertechnologien für die Mobilität

Power-to-Gas und Power-to-Liquid weisen auf Grund der geringen Effizienz und hohen Kosten im Moment kein Anwendungspotential im Kanton Thurgau auf. Bei der Substitutionsspeicherung, also dem Ersatz von fossiler Energie im Verkehr durch Wasserstoff, Methan oder Methanol, gehen 40 bis 60 % der ursprünglich vorhandenen Energie in Form von Elektrizität verloren. Wird beispielsweise im Anschluss an die Stromspeicherung der erzeugte Wasserstoff per Brennstoffzelle in einem Fahrzeug in Strom umgewandelt um einen Elektroantrieb anzutreiben, würde der Wirkungsgrad der Brennstoffzelle von 45 % die Gesamteffizienz des Prozesses auf rund 30 % reduzieren. Die Speicherkosten sind, auch auf Grund der geringen Effizienz, sehr hoch und darum weit von der Wirtschaftlichkeit entfernt.

Batterien weisen sehr hohe Wirkungsgrade von bis zu 95 % auf und gehören damit zu den effizientesten Energiespeichern überhaupt. Ein Elektrofahrzeug der Mittelklasse benötigt ca. 15 kWh Elektrizität auf 100 km. Im Vergleich dazu verursacht ein vergleichbares Fahrzeug, welches aus Elektrizität, Wasser und CO₂ hergestelltem Methan betrieben wird, einen Elektrizitätsverbrauch von ca. 80 kWh pro 100 km. Dieser Energieverbrauch ist vergleichbar mit heutigen fossil betriebenen Fahrzeugen. Bei Methanol als Treibstoff wären es etwa 100 kWh pro 100 km. Mit der Nutzung von Batteriespeichern in der Elektromobilität kann auch eine Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils von Gebäuden mit PV-Anlagen erwirkt

5 <http://pmr.umicore.com/en/batteries/>

werden. Damit kann deren Speicherpotential teilweise auch zur Solarstromspeicherung und zur Netzentlastungsspeicherung genutzt werden.

Während bei stationären Anwendungen der Nachteil der Speichertechnologie in den eher hohen Kosten im Bereich von 30 Rp. /kWh liegt, ist im Mobilitätsbereich die eher tiefe spezifische Speicherkapazität von heute etwa 180 Wh/kg zusätzlich relevant. Die eher tiefe Speicherkapazität führt dazu, dass für hohe Reichweiten ein hohes Batteriegewicht nötig ist. Ein Mittelklasse-Elektro-PKW braucht heute für eine Reichweite von 500 km Batterien mit einem Gesamtgewicht von etwa 420 kg.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass im Bereich der Energiespeicherung, noch wesentliche Entwicklungen bei der Effizienz und der Wirtschaftlichkeit für eine breite Anwendung notwendig sind. Dazu braucht es einerseits eine offene Haltung gegenüber den Möglichkeiten solcher Entwicklungen, andererseits darf aber keine unrealistische Erwartungshaltung gegenüber dem Potenzial von Power-to-Gas / Power-to-Liquid auftreten. Im Moment ist ein effizienter und wirtschaftlicher Betrieb dieser Speichertechnologien nicht möglich und für die Zukunft nicht absehbar.

Die mittel- bis längerfristige Notwendigkeit des Einsatzes von Speichertechnologien wird vielfach mit einem nicht ausreichenden elektrischen Netz und fehlenden Energiespeichern begründet. Dieser Bericht hat deshalb anhand bestehender Studien geklärt, ob für die Umsetzung des Szenariums «Neue Energiepolitik» der Energieperspektiven 2050 Probleme im elektrischen Netz zu erwarten sind und wie diese am kostengünstigsten zu bewältigen wären. Die Resultate zeigen, dass aus Kostengründen überwiegend Abregelungen von Spitzenleistung gegen Vergütung, Blindleistungsmanagement bei der Einspeisung, Massnahmen am Netz und Lastmanagement in Frage kommen. Auch langfristig wird erwartet, dass diese Massnahmen zu tieferen Kosten führen als die Nutzung von Speichertechnologien.

Wenn ein Speicher aber aus anderen Gründen installiert wird und kostengünstig mitbenutzt werden kann, macht dies auch kostenmässig Sinn. Dies ist bei Batterien in Elektrofahrzeugen der Fall, falls diese netzdienlich eingesetzt werden.

4.5 Ladetechnik und -verhalten

Heute erhältliche Fahrzeuge werden mit unterschiedlichen Anschlüssen angeboten. Die Europäische Union hat sich jedoch bereits auf einen einheitlichen Steckertyp für das Laden mit Wechselstrom sowie für das Laden mit Gleichstrom entschieden. Es ist zu erwarten, dass in naher Zukunft auch ausländische Fahrzeughersteller, ihre Fahrzeuge mit den europäischen Steckerstandards anbieten. Von den heute erhältlichen Steckern kann nur der CHAdeMO (Steckertyp für Laden mit Gleichstrom) für bidirektionales Laden verwendet werden, der CCS Stecker ist zurzeit als einziger für sehr hohe Leistungen ausgelegt. Der Stecker von Tesla, eine Abänderung des europäischen Typ 2 Steckers, ist proprietär.

Es wird zwischen vier Lademöglichkeiten unterschieden. Diese entsprechen vier Ladestationstypen (Tabelle 6).

home charging	Aufladen am Wohnort oder in unmittelbarer Nähe des Wohnortes mit Wechselstrom (AC), von 8h bis 12h. Leistungen von 3.7 Kilowatt (kW) bis 11 kW.
workplace charging	Aufladen am Arbeitsplatz mit Wechselstrom (AC), von 6h bis 8h. Leistungen von 3.7 kW bis 22 kW
Points of Interest (POI) charging	Aufladen mit Wechselstrom (AC) von 1h bis 2h, während man einer Aktivität (Einkaufen, Sport, Kultur) nachgeht. Leistungen von 11 kW bis 50 kW
fast charging	Ladestelle mit Wechselstrom (AC) oder Gleichstrom (DC), die eine Schnellladung ermöglichen (20 bis 30 Minuten). Leistungen von 50 kW bis 150 kW (AC bis maximal 43 kW)

Tabelle 6: Die vier Lademöglichkeiten im Detail.

Typische Ladezeiten für 100 km zusätzliche Reichweite sind: 25 Minuten mit 50 kW, 1 Stunde mit 22 kW, 2 Stunden mit 11 kW, mehr als 5 Stunden mit 3.7 kW.

Batterien können ausschliesslich mit Gleichstrom (DC) geladen werden, das Stromnetz funktioniert ausschliesslich mit Wechselstrom (AC) – es findet also immer eine Umwandlung statt. Bei DC-Ladestationen erfolgt diese in der Ladestation, bei AC-Ladestationen hingegen im Fahrzeug. AC-Laden ist begrenzt auf maximal 43 kW. Gleichstrom (DC) ermöglicht mit CCS und CHAdeMO Steckern Ladeleistungen bis 150 kW, in Zukunft bis 350 kW. Solche hohen Leistungen erfordern aber netzseitig Anpassungen und sogar Kühlung der Ladekabel. Eine Kühlung der Ladekabel senkt die Effizienz des Ladevorgangs, da mehr Energie benötigt wird. Abbildung 15 und Tabelle 7 zeigen die unterschiedlichen Typen von Ladestationen bzw. die verschiedenen Stecker-Typen.

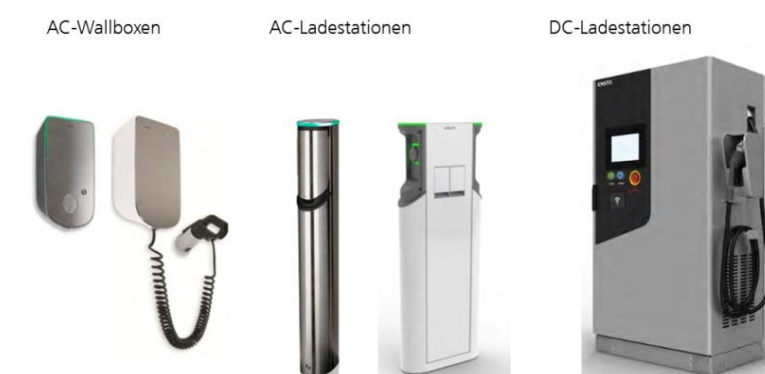


Abbildung 15: AC- und DC-Ladestationen (Quelle: ENSTO).

AC-Ladestationen		Marke
Typ 1		U.a. Mitsubishi, KIA, Chevrolet, Nissan
Typ 2		U.a. VW, BMW, Mercedes, Tesla, Volvo, Hyundai, Opel, Renault
Typ 23		Nur für e-Bikes, e-Roller sowie Leichtfahrzeuge wie den Renault Twizy

DC-Ladestationen		Marke
CHAdeMO		U.a. Nissan, Mitsubishi, KIA, Citroën und Peugeot
CCS		U.a. BMW, VW, Hyundai, Opel
Tesla Supercharger		Eine proprietäre Lösung der Firma Tesla Motors

Tabelle 7: Steckertypen und kompatible Elektrofahrzeug-Marke.

Abbildung 16 (AC Ladeleistungen) und Abbildung 17 (DC Ladeleistungen) zeigen die maximalen Ladeaufnahmeleistungen aller Elektrofahrzeuge auf dem Markt. Die meisten Fahrzeuge erlauben 3.7 kW AC Ladungen, können aber auch an Ladesäulen mit höherer Leistung laden. Die Leistung wird vom Batteriemanagementsystem abgeregelt. Die DC-Ladeleistung ist in diesem Falle für die meisten Modellen zurzeit noch auf 50 kW begrenzt.

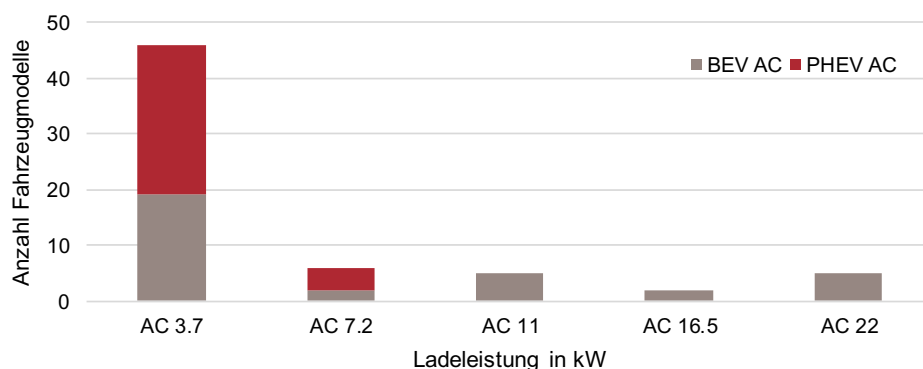


Abbildung 16: Maximale AC-Ladeaufnahmeleistungen. Eigene Darstellung EBP.

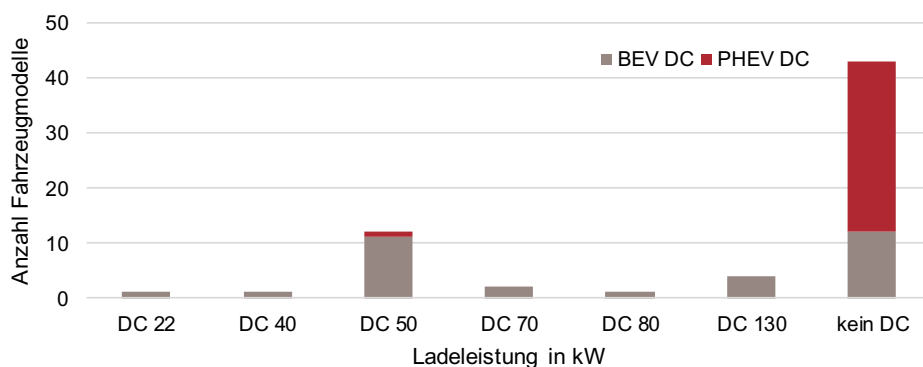


Abbildung 17: Maximale DC-Ladeaufnahmeleistungen. Eigene Darstellung EBP.

Die Kosten von Ladestationen steigen je nach Ladestationstyp bzw. maximale Ladeleistung, es gibt aber eine sehr hohe Variabilität. Schätzkosten für einfachere Ladeboxen von 11 kW (ohne Verrechnungssystem) sind CHF 1'500; für beschleunigtes Laden bis 22 kW CHF 10'000; für Schnellladen von 50 kW zwischen CHF 30'000 und 50'000. Zusätzlich zur Ladestation selbst kommen die Kosten für allfällige Anpassungen des Netzanschlusses, sowie die Installationskosten hinzu. Als Faustregel kann man davon ausgehen, dass die Kosten der Tiefbauarbeiten (Anschluss der Ladesäule ans Stromnetz) mindestens die Hälfte der Totalkosten ausmachen. Zur Reduktion der Kosten ist es deshalb wichtig, die zu elektrifizierenden Parkplätze nicht primär aus einer verkehrstechnischen Optik zu wählen, sondern aus der Sicht des möglichst kostengünstigen Anschlusses an das Stromnetz. Der örtliche Stromversorger ist deshalb frühzeitig beizuziehen. Die totalen Kosten hängen von weiteren unbekannten Faktoren ab, wie zum Beispiel:

- Tiefbauarbeiten und Kabelanschluss. Was sind die genauen Standorte?
- Projektführung und nötige Zulassungen
- Elektro-Installationsarbeiten, Logistik und Inbetriebnahme
- Integration in Abrechnungssystem, IT-Anbindung und Wartung

Die Europäische Union hat sich mit dem Typ-2-Stecker, ggf. kombiniert mit CSS (Combined Charging System, Steckertyp für Laden mit Gleichstrom), für ein einheitliches Lade-System für Elektrofahrzeuge entschieden. Mittelfristig ist zu erwarten, dass alle neuen Elektroautos (auch jene japanischer Hersteller) in Europa mit diesem Steckertyp angeboten werden. In der Schweiz ist aktuell nicht geplant, Mindestanforderungen an Steckertypen zu definieren. Bei der Installation von öffentlichen Ladestationen sollte somit gewährleistet sein, dass alle möglichen Elektrofahrzeuge Aufladen können.

Von Batterieaustauschsystemen ist bisweilen die Rede, es ist aber davon auszugehen, dass die Automobilhersteller die Batterie stets auf das einzelne Fahrzeugmodell optimal auslegen werden. Massgeschneiderte, in zahlreichen Versionen vorhandene Batterien können aber nicht gut ausgetauscht werden. Nach dem Konkurs der Firma «better place» 2013, welche frühzeitig eine globale Führungsrolle und eine Standardisierung der Batterien zu erreichen trachtete, hat es entsprechend keine neuen Versuche mehr gegeben.

Beim induktiven Laden erfolgt die Energieübertragung kabellos durch ein elektromagnetisches Feld, ähnlich wie bei einem Induktionskochfeld oder einer elektrischen Zahnbürste, zum Beispiel über eine Bodenplatte in der Mitte des Parkfeldes. Diese Technologie ist für Elektrofahrzeuge aktuell noch nicht kommerziell verfügbar. Falls Fahrzeuge nur noch induktiv geladen werden könnten (d.h. kein Stecker mehr), machen solche Ansätze nur Sinn, wenn ein Grossteil der Fahrzeuge die gleiche Technologie einsetzen würde. Damit ist der längerfristige Erfolg sehr unsicher. Es ist fraglich, ob sie sich je etablieren können. Wenn die Induktionsspulen von Fahrzeug und Bodenplatte nicht perfekt aufeinander ausgerichtet und sehr nahe zueinander gebracht werden können, sinkt die Energieeffizienz des Ladevorgangs stark. Es wird deshalb in Zukunft ausschlaggebend sein, dass entweder das Fahrzeug automatisch (nicht manuell durch den Benutzer) positioniert wird oder

die Bodenspule sich nach-adjustieren lässt. Das induktive Laden wäre deshalb für das Laden zu Hause (statt Wallbox) geeignet, da weniger Kompatibilitätsprobleme vorhanden wären. Anders sieht es aus, wenn Elektrofahrzeuge sowohl manuell über einen Stecker wie auch (allenfalls nachgerüstet) induktiv geladen werden könnten. Im Falle von (teil-) automatisierten Fahrzeugen könnte das Fahrzeug dann nachgeladen werden, ohne dass menschliche Fahrer manuell eine Steckverbindung herstellen müssen. Für den vorliegenden Bericht wird davon ausgegangen, dass induktives Laden bis 2035 keine für die Marktdurchdringung der Elektromobilität entscheidende Rolle spielen wird.

Eine Vielzahl an Zugangs- und Abrechnungssystemen werden heute angewandt. Jedes dieser Systeme hat Vorteile, birgt aber auch gewisse Nachteile. Aus Sicht des Fahrzeugbesitzers ist ein einheitliches, für alle Nutzer brauchbares Zugangs- und Abrechnungssystem wünschenswert. Die heutige Situation ist auch für Ladestations-Betreiber ungünstig, da eine grosse Unsicherheit herrscht, welches System sich in Zukunft durchsetzen wird:

- Offener Zugang: Die Ladestation ist jederzeit und für alle frei zugänglich. Eine Abrechnung ist nicht möglich, die Energie wird gratis bezogen.
- Schlüssel: Mit einem physischen Schlüssel wird eine Ladestation aufgesperrt. Der Ladevorgang wird nicht einzeln abgerechnet, sondern erfolgt über einen Pauschalbeitrag, der periodisch oder auch einmalig zu entrichten ist.
- Prepaid anonym: Diverse Prepaid-Systeme sind machbar: Von Münzautomaten (analog zur Parkuhr), über Jetons bis hin zu Wegwerf-RFID-Karten stehen viele Möglichkeiten offen. Die Bezahlung erfolgt im Voraus.
- Kreditkarte, EC-Karte: Ladevorgänge können über Kredit- oder EC-Karten abgerechnet werden. Die Installation eines solchen Systems ist teuer zudem können die Transaktionsgebühren (fallen bei jedem Ladevorgang an) die Kosten für die Ladung übersteigen.
- RFID-Karten: RFID-Karten ermöglichen die Identifizierung eines Nutzers. Die Kosten für die Ladung können so dem Nutzer zugeordnet und in Rechnung gestellt werden. Die meisten Anbieter dieser weit verbreiteten Technologie haben eigene Karten und Abrechnungssysteme und sind für Kunden anderer Anbieter nicht nutzbar. Für die Nutzer entstand so ein regelrechter Dschungel, der meist im Besitz von mehreren Karten endete. Eine Nutzung von Ladestationen anderer Anbieter ist technisch möglich, die administrativen Abläufe für die Verrechnung werden aber komplex. Lösungen, ähnlich dem Roaming von Mobilfunkanbietern, sind im Aufbau.
- Zugang über Mobiltelefon: Es besteht die Möglichkeit, Ladestationen über SMS oder APPS via Mobiltelefon freizuschalten und den Energiebezug zu bezahlen. Um diese Technologie diskriminierungsfrei zu betreiben, benötigt es einen einwandfreien Mobilfunkempfang aller Mobilfunkanbieter. Bei neuen Bezahl-Apps wie beispielsweise TWINT ist Mobilfunkempfang nicht zwingend nötig.

Exkurs Smart Charge und Vehicle2grid

Die Grundidee beim **Smart Charge** ist, dass der Energieversorger die Elektrofahrzeuge bei günstigen Stromtarifen (Energieüberschuss) als Batteriespeicher nutzen kann. Das Elektroauto wird damit zeitversetzt geladen, also dann, wenn es für den Energieversorger am günstigsten ist. Der Elektroautobesitzer kann dem Energieversorger ein Teil der Speicherkapazität seines Elektroautos (z.B. 10 %) zur Verfügung stellen und damit eine jährliche Vergütung erhalten. Diese Möglichkeit besteht im Moment beispielsweise durch die nächtliche Bandenergie von Kernkraftwerken oder auch zukünftige Leistungsspitzen der Photovoltaik über Mittag. Dadurch lassen sich Strommengen dynamisch verschieben und die Nachfrage dem Angebot entsprechend formen. **Vehicle-2-Grid** macht sich den umgekehrten Vorgang zu Nutze: Die Elektrofahrzeuge geben in Zeiten mit hohen Strompreisen einen Teil ihrer geladenen Energie an das System ab, um es zu stabilisieren. Diese Rückspeisung macht aber nur kurz (bis 15 Minuten) Sinn, da die Batterien zwar eine hohe Leistung abgeben können, die gespeicherte Energie jedoch verhältnismässig klein ist. Wird der Strom an das Netz abgegeben, wird der Fahrzeugbesitzer für den teureren Strom entlohnt, oder er braucht ihn privat und geniesst den günstigen Tarif des Stromüberschusses.

Hemmnisse: Der Energieversorger muss die Zustimmung des Benutzers erhalten, damit er Zugriff auf die Fahrzeugbatterie erhält. Damit dieses System rentieren kann, muss das Fahrzeug eine bestimmte Mindeststandzeit haben, weshalb nur ein Teil der Ladevorgänge dafür in Frage kommen. Zuhause und während der Arbeit liesse es sich implementieren, für kurze Ladevorgänge (Einkaufen, Fast Charging) aber nicht. Ein Elektrofahrzeug kann nicht jedem beliebigen Zeitpunkt angezapft werden während es sich in an der Ladestation befindet, da der Fahrer zu einem gewissen Zeitpunkt einen vollen Tank erwartet. Eine weitere Schwierigkeit ist, dass die Verfügbarkeit der Autos nicht garantiert ist (sie können unterwegs sein, soeben mit niedrigem SoC (State of Charge) zurückgekehrt sein oder sollten mit voller Batterie für eine Autofahrt bereitstehen). In solchen Momenten muss ein alternativer Puffer für die überschüssige Energie gefunden werden. Zudem benötigen die Fahrzeuge bidirektionale On Board Ladegeräte, welche den Strom in beide Richtungen fliessen lassen können. Solche Fahrzeuge sind bis anhin nur wenige auf dem Markt zu finden. Die Marke «Nissan» wirbt als einzige, dass alle ihre CHAdeMO-fähigen Fahrzeuge (Baujahr 2013 und neuer) mit einem solchen Ladegerät ausgerüstet sind.

Fazit: Smart Charge und Vehicle-2-Grid lassen sich im Grunde in ein Smart Grid System einbinden. Wie gut sich die Konzepte aber durchsetzen ist – vor allem bei Vehicle-2-Grid – fraglich. Elektrofahrzeuge machen heute nur einen sehr kleinen Anteil an der Thurgauer Gesamtflotte aus. Deshalb ist das Einbinden von Fahrzeugbatterien in das Stromnetz heute nicht oder kaum relevant. Für Eigentümer von Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen), kann es jedoch bereits heute eine gute Möglichkeit sein, den Eigenverbrauch zu maximieren. Falls sich Elektrofahrzeuge in Zukunft durchsetzen, könnten sich Smart Charging und Vehicle-2-Grid allenfalls zu einer interessanten Geschäftsmöglichkeit für Energieversorger entwickeln. Im Bereich von stationären Batterien existieren bereits ähnliche Angebote, z.B. das Produkt EKS Sun Control des Elektrizitätswerks des Kantons Schaffhausen.

5. Szenarien der Elektromobilität im Kanton Thurgau

5.1 Definition der drei Szenarien für den Kanton Thurgau

Die Resultate «Modellierungen des zukünftigen Thurgauer Fahrzeugbestands» werden anhand von drei Szenarien aufgezeigt. Das Szenario Business As Usual (BAU, Weitere wie bisher) macht eine Aussage über die zukünftige Entwicklung ohne dass Massnahmen ergriffen werden. Die Szenarien Efficiency (EFF, Effizienz) und Connected Mobility (COM, Vernetzte Mobilität) sind Zielszenarien.

Die kantonalen Szenarien konkretisieren die schweizerischen Elektromobilitätszenarien (EBP 2016). Die drei bottom-up gerechneten Szenarien für die Schweiz lassen sich wie folgt charakterisieren und gelten somit auch für den Kanton Thurgau:

- *BAU (Business As Usual)*: Die Elektromobilität wird nicht speziell gefördert, die Lade-Infrastruktur entwickelt sich ohne zentrale Koordination oder Mindestanforderungen. Die Energiepreise bleiben niedrig, das Autokauf- und Mobilitätsverhalten der Schweizer Bevölkerung ändert sich im Grundsatz nicht.
- *EFF (Efficiency)*: Für effiziente Fahrzeuge werden (gegenüber den Stand Oktober 2016) zusätzliche Förder- und Anreizinstrumente eingeführt, damit die Ziele 2030/2035 der Energiestrategie im Bereich der Strassenmobilität erreicht werden können. Technologieneutrale Förderinstrumente (für sehr effiziente Verbrennerfahrzeuge, für Plug-in-Hybride sowie für reine Elektrofahrzeuge) werden bevorzugt. Die Entwicklung der Ladeinfrastruktur wird koordiniert und deren Einführung im öffentlichen Strassenraum erleichtert, für die Schnellladeinfrastruktur werden Mindestanforderungen eingeführt. Die Energiepreise werden dem technischen Fortschritt angepasst und der technische Fortschritt bei den Neuwagen manifestiert sich voll bei den Neuwagenverkäufen. Das Mobilitätsverhalten bleibt im Grundsatz gleich.
- *COM (Connected Mobility)*: Aus energiesystemischen Überlegungen werden Elektroautos spezifisch gefördert; auch die Schnellladeinfrastruktur wird gefördert; höhere Energie- und Mobilitätspreise führen zu Änderungen im Mobilitätsverhalten: Weil längere Strecken vermehrt durch die Kombination von Auto und Bahn zurückgelegt werden, braucht es weniger langstreckenfähige Personenwagen. Zur besseren Vergleichbarkeit wird in diesem Szenario dennoch mit der gleichen Anzahl Fahrzeugkilometer gerechnet, jedoch wird neu ein Teil dieser Fahrleistung durch Kleinwagen (Fahrzeugklassen L5e, L6e, L7e statt M1) erbracht.

Die betrachteten Szenarien BAU, EFF und COM stellen keine Extremszenarien dar; im Falle von starken Schocks (Wirtschaftskrise, Energiepreise) oder technologischen Brüchen (nicht voraussehbare Fortschritte bei Verbrennungsmotoren oder Elektroantrieben) kann es zu einer Entwicklung kommen, welche ausserhalb des von BAU und COM aufgespannten Fächers liegt.

Das Szenario BAU ist ein Trendszenario, die Szenarien EFF und COM sind Zielszenarien, deren Eintreten davon abhängt, dass bestimmte (oben beschriebene) Voraussetzungen erfüllt sind.

5.2 Modellbeschreibung

Das bestehende Modell für die Schweiz wird anhand von soziodemographischen Grössen sowie Standortfaktoren auf die Gegebenheiten im Kanton Thurgau angepasst. Der Motorisierungsgrad beispielsweise, ist verglichen mit dem Schweizer Durchschnitt höher (soziodemographischer Faktor). Topologisch ist der Thurgau für die Elektromobilität besser geeignet, da sich der Kanton durch eine ebene Topographie (geringe Höhenunterschiede) auszeichnet (Standortfaktor).

5.2.1 Für die Elektromobilität relevante Faktoren

Aufgrund diverser Faktoren unterscheiden sich die Voraussetzungen für und die «Affinität» zur Elektromobilität von Kanton zu Kanton. Die Verbreitung der Elektromobilität wird daher, je nach Kanton, unterschiedliche Verläufe aufweisen. Bei den Faktoren unterscheiden wir zwischen soziodemographischen Grössen und dem Mobilitätsverhalten einerseits und Standortfaktoren andererseits. Die Unterschiede in *Soziodemographie und Mobilitätsverhalten* werden über eine Analyse der Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015 (ARE und BFS 2017⁶) gewonnen. Es werden jene Kriterien identifiziert, welche die Affinität für Elektromobilität beeinflussen können:

- Anzahl Fahrzeuge pro Haushalt,
- Anteil der Autofahrten, welche länger als 50 km sind,
- Ausbildungsstand,
- Motorisierungsgrad,
- Anteil von Carsharing,
- Zusammensetzung der Haushalte nach Haushaltstyp.

Zusätzlich werden als *Standortfaktoren* weitere Kriterien untersucht, die einen Einfluss auf die Verbreitung der Elektromobilität haben:

- Der politische Wille zur Förderung der Elektromobilität;
- Die Innovationsbereitschaft;
- Existierende Ladeinfrastruktur und/oder Pilotprojekte;
- Die Anzahl Pendler;
- Die Qualität des ÖV-Angebots;
- Die Topographie;
- Das Klima, namentlich der Einfluss winterlicher Verhältnisse.

6 Im Rahmen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZVM) werden alle fünf Jahre ca. 60'000 Personen telefonisch zu ihrem Verkehrsverhalten befragt. Im Jahr 2015 haben 57'090 Einzelpersonen in der ganzen Schweiz an der Befragung teilgenommen.

Für jedes der obigen Kriterien wird der Kanton im Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt jeweils einer Kategorie (von «+ +», «+» über «0» zu «-» und «- -») zugeordnet. Pro Faktor werden nur ca. je 3 Kantone den Kategorien «+ +» bzw. «- -» zugeteilt. Für die Standortfaktoren geschieht dies anhand einer qualitativen Experteneinschätzung, für die Faktoren zu Soziodemographie und Mobilitätsverhalten wird eine quantitative Analyse der Rohdaten aller befragten Zielpersonen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr durchgeführt.

5.2.2 Auswirkung der Faktoren auf Diffusionsgeschwindigkeit und längerfristigen Marktanteil

Die Modellierung der Marktdurchdringung der Elektromobilität wird anhand der Faktoren den kantonalen Voraussetzungen und «Affinitäten» angepasst. Es wird angenommen, dass sich die Faktoren mit der Zeit nicht verändern, und dass die Unterschiede für alle drei Szenarien innerhalb eines Kantons gleichermassen gelten.

Die folgenden Faktoren beeinflussen die kantonalen Marktdurchdringungen betreffend der *Geschwindigkeit der Innovationsdiffusion* (im Resultat eine *zeitliche Verschiebung* der Kurve der Marktdurchdringung hin zu früheren oder späteren Jahren): Anzahl Fahrzeuge pro Haushalt; Anteil Autofahrten länger als 50 km; Ausbildung; Motorisierungsgrad; Carsharing; Policy; Bereitschaft für Innovation; Existierende Ladeinfrastruktur / Pilotprojekte; Anzahl Pendler. Die verbleibenden, folgenden Faktoren haben einen Einfluss auf den längerfristigen *Elektrofahrzeuge-Marktanteil*: Verteilung der Haushalte nach Haushaltstyp; die Qualität des ÖV-Netzes; die Topographie; das Klima.

Im Endeffekt unterscheiden sich die Elektromobilitäts-Szenarien zwischen den Kantonen nach ihrem zeitlichen Verlauf und nach der Höhe des längerfristigen Marktanteils.

5.2.3 Verlauf der Neuzulassungen und der statischen / dynamischen Flotte

Anhand der kantonalen Faktoren werden die drei nationalen Szenarien direkt für den jeweiligen Kanton abgeleitet. Die angepasste Marktdurchdringung ermöglicht die Berechnung des kantonalen Neuwagenmarkts, des daraus resultierenden (statistischen) Fahrzeugbestands der im Kanton immatrikulierten Fahrzeuge, sowie die dynamische, fahrleistungsgewichtete Flotte. Letzteres stellt die Grundlagen für die Ermittlung des kantonalen Ladestations-Bedarfs dar.

Für die Modellierung der (statischen) Fahrzeugflotte wird ein Flottenmodell verwendet: Jährlich kommen die Neuzulassungen hinzu, während ein Teil der älteren Flotte ausscheidet. Dies wird über sogenannte Überlebensraten je Kohorte simuliert: In Abhängigkeit von der Fahrzeuggrössenklasse sowie dem Alter wird jedes Jahr ein Teil jeder Kohorte ausser Dienst gesetzt. Jährlich werden etwa 7.5 % des Gesamtbestandes ersetzt. Damit dauert es länger als zehn Jahre, bis der Bestand umgewälzt wird; erst nach mindestens fünf Jahren zeigen sich technologische Trendbrüche auch im

Gesamtbestand deutlich. Jedes Fahrzeug fährt aber nicht gleich viele Kilometer: Je neuer ein Fahrzeug ist, desto mehr Kilometer pro Jahr legt es zurück. Die neuesten 10% des Fahrzeugbestands legen also deutlich mehr als 10% aller Fahrzeugkilometer zurück. Das ist gerade für die Elektromobilität relevant. Ausgehend von der statischen Fahrzeugflotte wird deshalb die so genannte dynamische kantonale Flotte berechnet. Dazu wird den Fahrzeugkohorten eine jährliche Fahrleistung zugeordnet – in Abhängigkeit vom Alter (je älter ein Auto ist, desto mehr nimmt seine jährliche Fahrleistung ab). Der dynamische Fahrzeugbestand beschreibt die zurückgelegte Fahrleistung je Fahrzeugsegment, die Einheit ist hier also «Anzahl gefahrene Kilometer».

5.3 Weitere Annahmen zum prognostizierten Fahrzeugbesitz im Kanton Thurgau

Die zukünftige Entwicklung des MIV wird anhand von Prognosen zur Wohnbevölkerung, Motorisierungsgrad, Personenwagenbestand, Anteil Neuzulassungen am Bestand und Neuzulassen pro Jahr modelliert.

Die Entwicklung der Anzahl Neuwagen wird auf der Grundlage von historischen Neuzulassungen und der Bevölkerungsentwicklung modelliert.

Die ständige Wohnbevölkerung für den Kanton Thurgau von 1990 bis 2016 wird den Erhebungen des Bundesamts für Statistik (BFS 2017c) entnommen. Die Prognose der zukünftigen Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt das «Referenzszenario» des BFS (2017d) für den Kanton Thurgau.

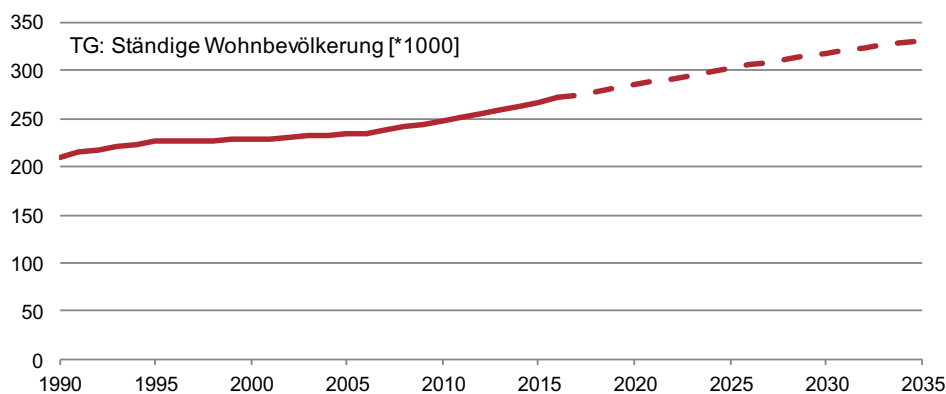


Abbildung 18: Historischer Verlauf und angenommene künftige Entwicklung der ständigen Wohnbevölkerung (Datenquelle: BFS 2017c, BFS2017d).

Der Personenwagenbestand von 1990 bis 2016 wird aus BFS (2017e) entnommen. Der zukünftige Personenwagenbestand resultiert aus dem Bevölkerungsstand und dem Motorisierungsgrad. Der Motorisierungsgrad wird, von 1990 bis 2016, historischen Daten entnommen (BFS 2017c, e), und für die Zukunft linear fortgeschrieben (Abbildung 19). Es resultiert der Gesamt-Personenwagen-Bestand (Abbildung 20). In jüngster Zeit wird zunehmend postuliert, dass der Trend weg vom Besitz hin zum Gebrauch sich auch beim Besitz von Autos manifestieren könnte (vermehrtes Carsharing oder privates Autoteilen). In den Daten der Motorfahrzeugämter lässt sich ein solcher Trend jedoch noch nicht identifizieren. Die vorliegenden Annahmen zum weiter steigenden Motorisierungsgrad berücksichtigen einen solchen Trend

nicht, damit wird der Fahrzeugbestand möglicherweise tendenziell überschätzt.

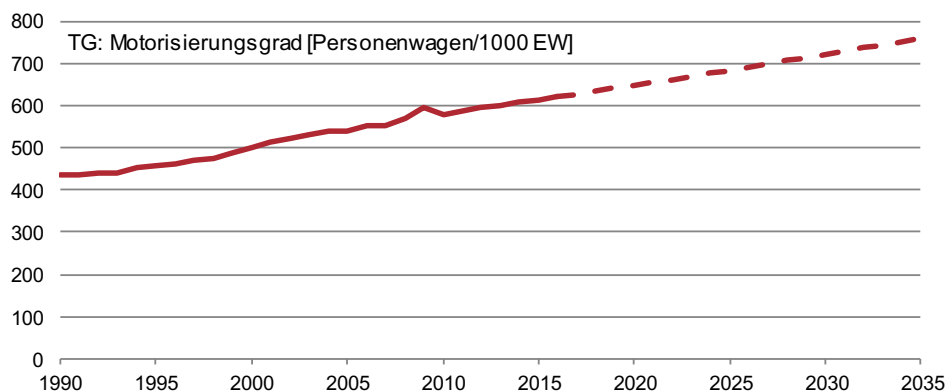


Abbildung 19: Historischer Verlauf und angenommene künftige soziodemographische Entwicklung (Datenquelle: BFS 2017c, BFS2017d, BFS2017e).

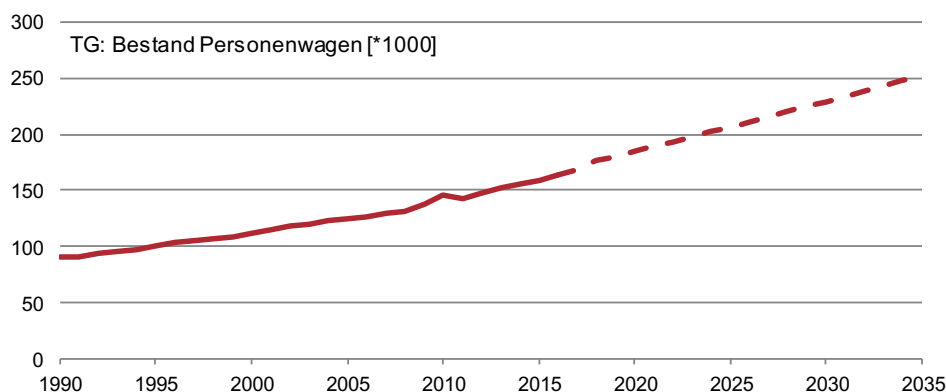


Abbildung 20: Historischer Verlauf und angenommene künftige Entwicklung des statistischen Fahrzeugbestands (nur Personenwagen) im Kanton Thurgau.

Die historischen Daten von für die Inverkehrsetzung neuer Personenwagen im Kanton Thurgau werden den Erhebungen des Bundesamtes für Statistik (BFS 2017f) entnommen. Um die zukünftige Entwicklung der Neuzulassungen zu berechnen, wird das mittlere, historische Verhältnis zwischen Neuzulassungen und Fahrzeuggesamtbestand (und damit die mittlere Lebensdauer der Fahrzeuge) für die Zukunft als konstant angenommen (Abbildung 21). Es resultiert der jährliche Neuwagenmarkt (Abbildung 22). Die Zunahme ist auf das vorgesehene Wachstum des Personenwagenbestandes zurückzuführen.

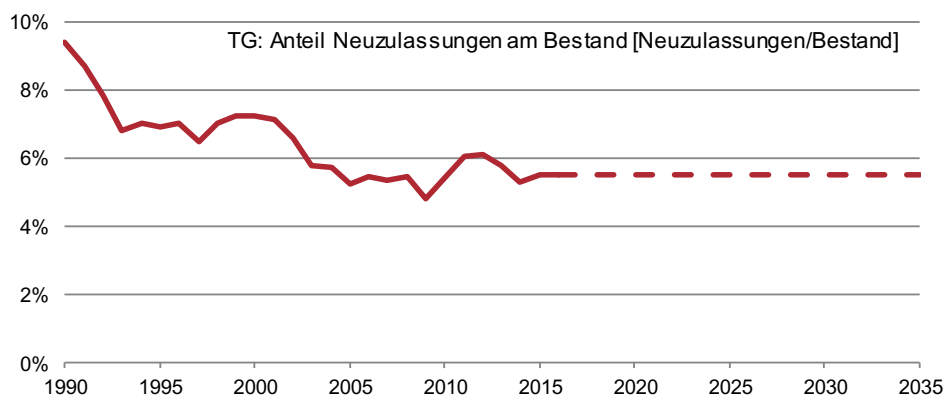


Abbildung 21: Historischer Verlauf und angenommenes künftiges Verhältnis der jährlichen Anzahl an Neuwagen zum Gesamtbestand der Personenwagen.

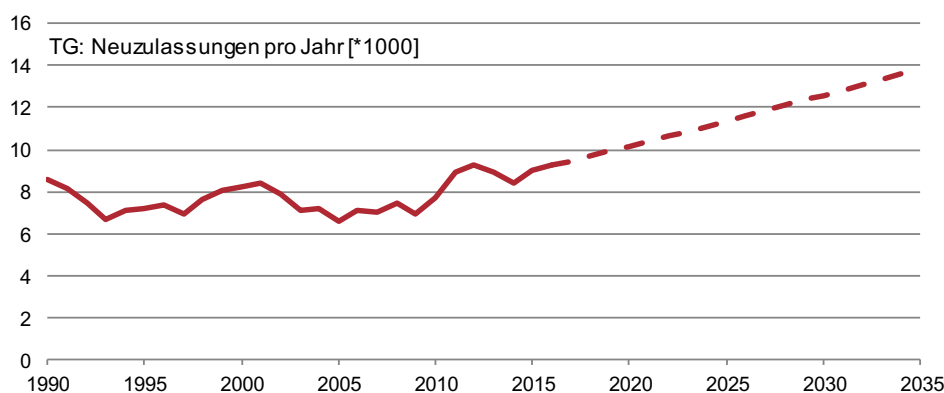


Abbildung 22: Historischer Verlauf und modellierte künftige Entwicklung des Neuwagenmarkts im Kanton Thurgau.

Weiter werden der historischere Verlauf und die künftige Fahrleistung bis 2035 mittels der durchschnittlichen Fahrleistung pro Fahrzeug berechnet (Abbildung 23).

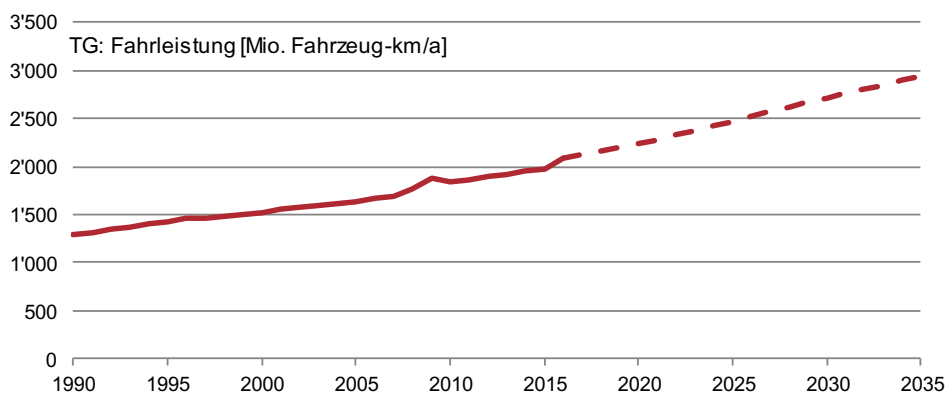


Abbildung 23: Historischer Verlauf und angenommene künftige Entwicklung der Fahrleistung (nur Personenwagen) im Kanton Thurgau.

5.4 Soziodemographische Grössen und Standortfaktoren für den Kanton Thurgau

Die soziodemographischen Grössen und Standortfaktoren setzen den Thurgau in Bezug zum Schweizer Durchschnitt. Erstere beruhen auf statistischen Werten, die Standortfaktoren wurden anhand einer Beurteilung innerhalb der Begleitgruppe eingeschätzt.

Tabelle 8 zeigt die Faktoren zu Soziodemographie und Mobilitätsverhalten, und die Einstufung des Kantons Thurgau im Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt. Wird ein Faktor als «+» oder «+ +» eingestuft, wirkt er positiv auf die Elektromobilität, und umgekehrt bei einer Einstufung als «-» und «- -». Beispielsweise kann ein gutes ÖV-Angebot zwar für die Kantonsbevölkerung positiv sein, für die Elektromobilität jedoch tendenziell negativ (weil dann viele Haushalte gar kein Auto haben und entsprechend auch nicht auf Elektroautos umsteuern können). Der Kanton Thurgau ist bei drei Kriterien unterdurchschnittlich, bei einem Kriterium durchschnittlich und bei zwei Kriterien überdurchschnittlich affin für die Elektromobilität.

Kriterium	Einfluss	Resultat
Anzahl Fahrzeuge pro Haushalt	Mehr-Auto-Haushalte kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere, weil Elektrofahrzeuge häufig als Zweitauto eingesetzt werden.	+
Anteil Autofahrten länger als 50 km	Wer täglich mehr als 50 km fährt, kauft weniger häufig Elektrofahrzeuge als andere.	0
Ausbildung	Personen mit mindestens einem Fachhochschul-Abschluss kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.	-
Motorisierungsgrad	Haushalte mit einem PKW zur ständigen Verfügung kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.	+
Carsharing	Carsharing Mitglieder kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere, weil sie für lange Fahrten ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor mieten können und somit die Problematik der Reichweite reduziert wird.	-
Verteilung nach Haushaltstyp	Haushalte ohne Kinder kaufen eher Elektrofahrzeuge als andere.	-

Tabelle 8: Affinität des Kantons Thurgau für die Elektromobilität anhand von Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr.

Zusätzlich wurden die Standortfaktoren untersucht, welche einen Einfluss auf die Verbreitung der Elektromobilität haben. Die Zuteilung des Kantons in den unterschiedlichen Kategorien wurde qualitativ geschätzt und zusammen mit dem Auftraggeber und der Begleitgruppe festgelegt. Die Tabelle 9 beschreibt die Kriterien und deren Einfluss.

Kriterium	Einfluss	Resultat	Bemerkung
Policy	Wird die Elektromobilität durch die öffentliche Hand gefördert, nimmt diese schneller zu.	+	Der energiepolitische Wille ist vorhanden, im Bereich der Elektromobilität vorwärts zu machen. Weiter ist das Potenzial zur Nutzung von Eigenstrom vorhanden. Dies ist ein treibender Faktor für die Förderung der Elektromobilität.
Bereitschaft für Innovation	Wenn ein grösserer Teil der Bevölkerung Freude und Interesse für Innovation hat, werden neue Technologien schneller eingesetzt.	+	Da der Thurgau ein ländlicher Kanton ist, sind der Erschliessung mit dem öffentlichen Verkehr Grenzen gesetzt. Der motorisierte Individualverkehr bleibt wichtig mit der Folge, dass die Bereitschaft für Innovationen in diesem Bereich hoch ist.
Existierende Ladeinfrastruktur / Pilotprojekte	Pilotprojekte und bestehende Ladeinfrastruktur können die Verbreitung der Elektrofahrzeuge und die Bereitschaft der Bevölkerung positiv beeinflussen.	0	Thurgau weicht nicht vom schweizerischen Durchschnitt ab.
Anzahl Pendler	Regelmässige, eher kurze Pendeldistanzen sind geeignet, um mit Elektrofahrzeugen zurückgelegt zu werden.	–	Die Mehrheit der Pendlerbewegungen finden innerhalb des Kantons statt. Beim Vergleich der Anzahl Zupendler zur Anzahl Wegpendler, ergibt sich dennoch ein leichter Überschuss von Wegpendlern.
Einfluss Qualität ÖV-Netz	Sehr gute ÖV-Netze sind eine gute Alternative zum MIV. Stadtzentren zeigen tiefere Motorisierungsgrade und die Durchdringung von Elektrofahrzeugen kann gehemmt werden.	+	Der Thurgau hat ein gutes ÖV-Netz. Gleichzeitig sind der Erschliessung durch den ÖV aufgrund der ländlichen Struktur des Kantons Grenzen gesetzt. Die individuelle Mobilität spielt eine prägende Rolle.
Topographie	Grosse Höhenunterschiede können die Reichweite der Elektrofahrzeuge deutlich verringern. Fahrleistungen auf Strassen ohne Höhenunterschiede sind von Vorteil für Elektrofahrzeuge.	+	Der Kanton zeichnet sich durch eine ebene Topographie aus. Es bestehen keine Gegebenheiten, die die Elektromobilität negativ beeinflussen könnten.
Klima	Die Leistung der Batterien hängt von der Ausstemperatur ab: Niedrige Temperaturen reduzieren die Reichweite. Die Heizung- und die Klimaanlage verbrauchen ebenfalls Energie und reduzieren die Reichweite.	0	Thurgau weicht nicht vom schweizerischen Durchschnitt ab.

Tabelle 9: Einfluss weiterer Standortfaktoren auf die Anzahl neuer Elektromobile.

Die Faktoren-Werte für den Kanton Thurgau führen zu den folgenden Resultaten (im Vergleich zum schweizerischen Durchschnitt):

- Geschwindigkeit der Innovationsdiffusion: Der Kanton Thurgau wird sich nicht wesentlich von der Gesamtschweiz unterscheiden, die in der Tabelle 8 und der Tabelle 9 gezeigten Unterschiede heben sich grösstenteils auf. Die maximale Diffusionsgeschwindigkeit (Jahr mit dem höchsten Marktanteilszuwachs) wird im Kanton Thurgau rechnerisch 1 Monat (**–0.14 Jahr**) früher erreicht als in der Schweiz insgesamt.
- Längerfristiger PEV-Marktanteil: Bis zum Prognosehorizont 2035 wird im Kanton Thurgau im Vergleich zum Schweizer Durchschnitt ein um **+14.4 %** höherer Anteil des gesamten PKW-Neuwagenmarkts elektrifiziert werden können. Dies aufgrund der räumlichen, topographischen und verkehrlichen Voraussetzungen.

5.5 Einfluss von ausserkantonalen Fahrzeugen

Die hier prognostizierte Marktdurchdringung für den Kanton Thurgau basiert auf die Fahrleistung der im Kanton immatrikulierten Autos. Aufgrund vom Transitverkehr, Pendler und Tourismus kann nicht vereinfacht angenommen werden, dass die Fahrleistungen auf dem Kantonsgebiet ausschliesslich von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen zurückgelegt werden. Ein Teil der Fahrleistung wird von ausserkantonalen Fahrzeugen zurückgelegt und beeinflusst die Nachfrage nach Schnellladen wesentlich – umgekehrt findet ein Teil der Fahrleistung von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen nicht auf dem Territorium des Kantons Thurgau statt und beeinflusst (in welcher Richtung auch immer) die Nachfrage nach Schnellladung in an den Kanton angrenzenden Gebieten.

Die ausserkantonale Flotte spielt eine Rolle je nach Fragestellung:

- Für *home charging* sind ausschliesslich im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen zu berücksichtigen;
- Für *workplace charging* ist grösstenteils die Flotte von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen relevant;
- Für *POI charging* ist grösstenteils die Flotte von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen relevant, bei bestimmten POI (Points of Interest) mit einem höheren Anteil auswärtiger Kunden kann ein entsprechendes Mischverhältnis berücksichtigt werden;
- Für *fast charging* ist immer eine Mischung aus der Flotte von im Kanton immatrikulierten Fahrzeugen und der Flotte von ausserkantonalen Fahrzeugen zu berücksichtigen. Elektroautofahrer werden in Zukunft hauptsächlich zu Hause aufladen – ausser eben, wenn sie nicht zuhause und somit auf «fast charging» angewiesen sind.

5.6 Resultate für den Kanton Thurgau

Die Resultate zeigen, dass der Anteil Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV inkl. REEV) im Neuwagenmarkt je nach Szenario im Jahr 2035 zwischen 28 % und 65 % liegt. Im Gesamtbestand werden so im Jahr 2035 zwischen 43'000 und 99'500 Elektrofahrzeuge auf den Strassen sein, was zwischen 17 % und 40 % des Bestandes ausmacht.

Abbildung 24 zeigt die Marktdurchdringungen von Elektrofahrzeugen (Summe der Kategorien BEV und PHEV) für die drei Szenarien bis 2035 im Kanton Thurgau, für die im Kanton Thurgau immatrikulierten Fahrzeuge. Im Jahre 2035 wird der Anteil der Elektrofahrzeuge am Neuwagenmarkt zwischen 28 % (BAU) und 65 % (COM), im mittleren EFF-Szenario bei 47 % liegen.

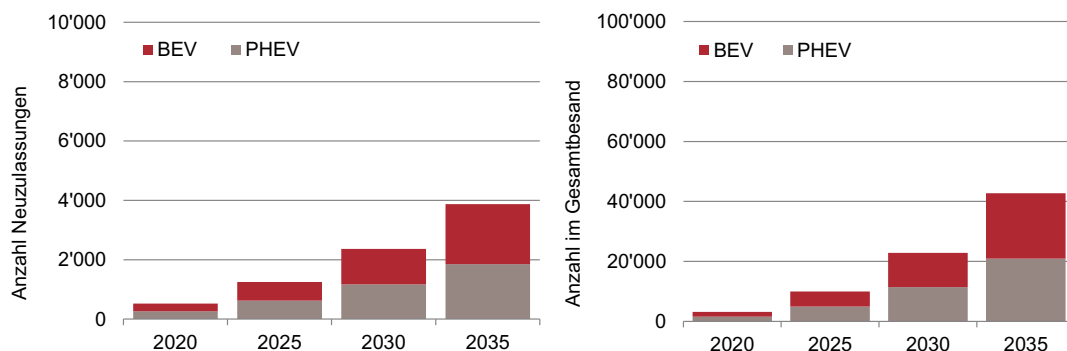
Abbildung 25 zeigt die Zusammensetzung des Neuwagenmarkts und des Fahrzeugparks in den verschiedenen Szenarien für den Kanton Thurgau in Jahresschritten bis 2035. Die Abbildungen auf der linken Seite zeigen die absolute Anzahl an Elektrofahrzeugen (BEV und PHEV) je nach Szenario, die neu zugelassen werden. Diese erreichen 4'000, 6'500 beziehungsweise 9'000 im Jahr 2035 im Szenario BAU, EFF und COM.

Die Abbildungen auf der rechten Seite von Abbildung 25 zeigen die die Anzahl der Elektrofahrzeuge (BEV, PHEV) im Gesamtbestand. Aufgrund der Bestandesumwälzung (jährlich werden ca. 7.5 % der Gesamtflotte durch Neuwagen ersetzt) dauert es ca. 10 Jahre, bis sich Entwicklungen am Neuwagenmarkt im Gesamtbestand manifestieren. Im Jahr 2035 werden je nach Szenario 43'000, 71'000 bzw. 99'500 Elektrofahrzeuge auf den Strassen sein, was 17 %, 28 % bzw. 40 % des gesamten Bestandes ausmacht (Abbildung 26), resp. 18 %, 29 % bzw. 41 % der Fahrzeugkilometer (Abbildung 27).

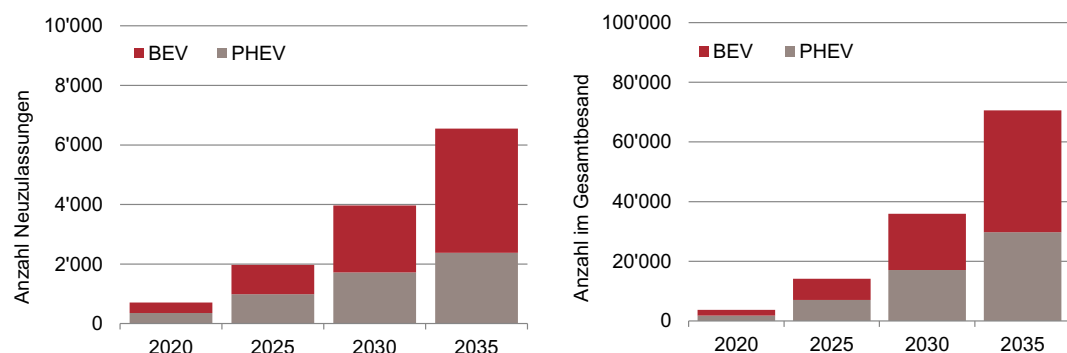


Abbildung 24: Zuwachsrate und Gesamtmarktanteil Elektrofahrzeuge (BEV+PHEV) für den Kanton Thurgau in den drei Szenarien.

Szenario Business-as-Usual (BAU)



Szenario Effizienz (EFF)



Szenario Connected Mobility (COM)

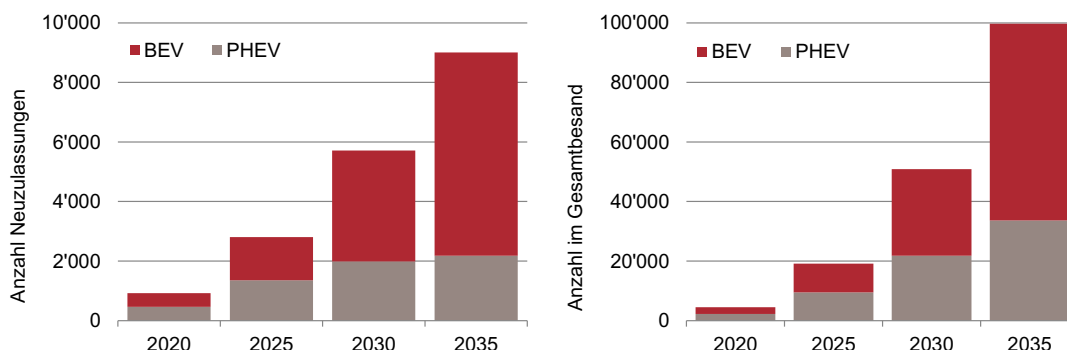


Abbildung 25: Darstellung der Elektrofahrzeug-Anteil an Neuwagenmarkt und Gesamtbestand der Personenwagen im Kanton Thurgau.

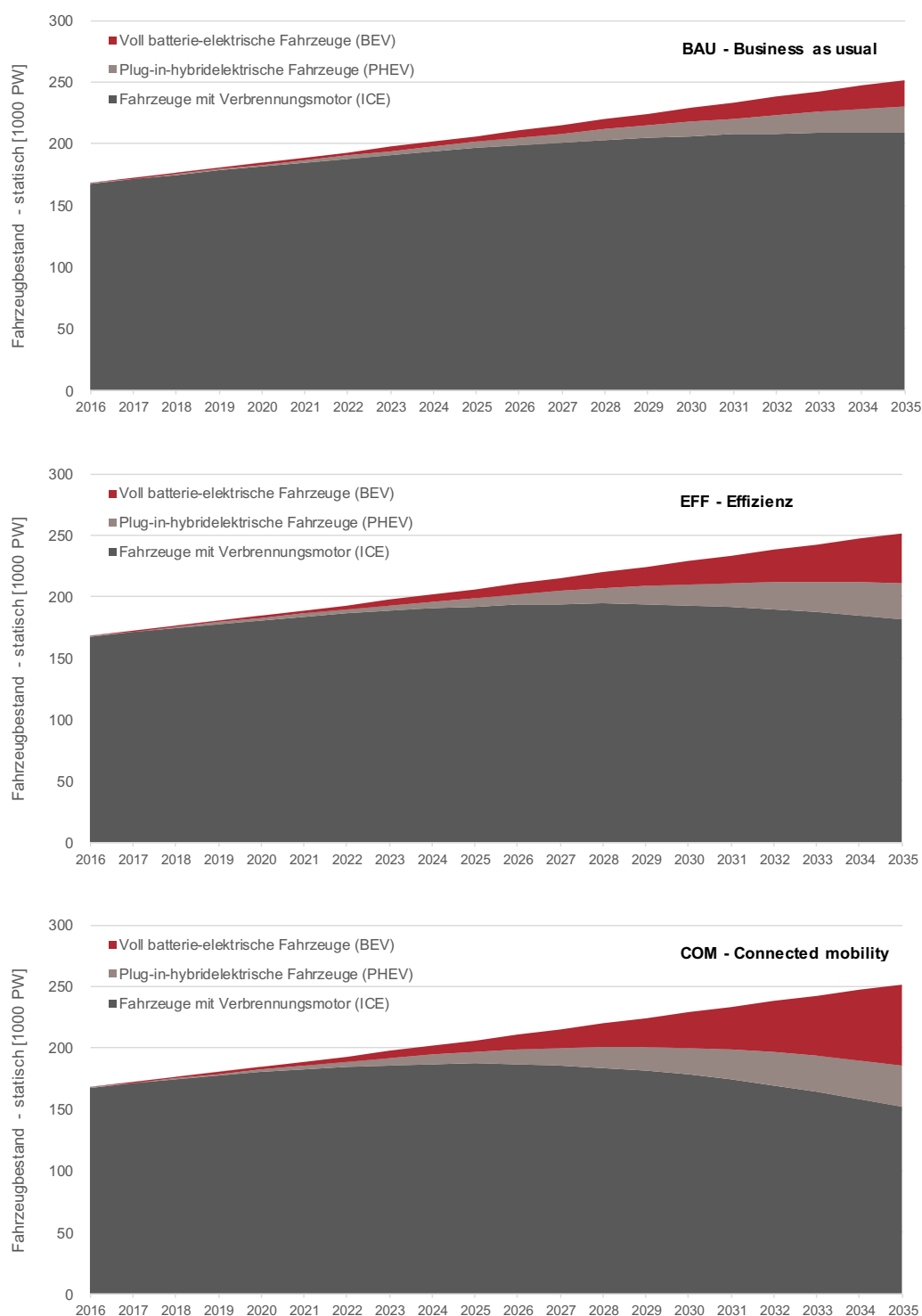


Abbildung 26: Entwicklung des statischen Fahrzeugbestands im Kanton Thurgau je nach Szenario bis 2035.

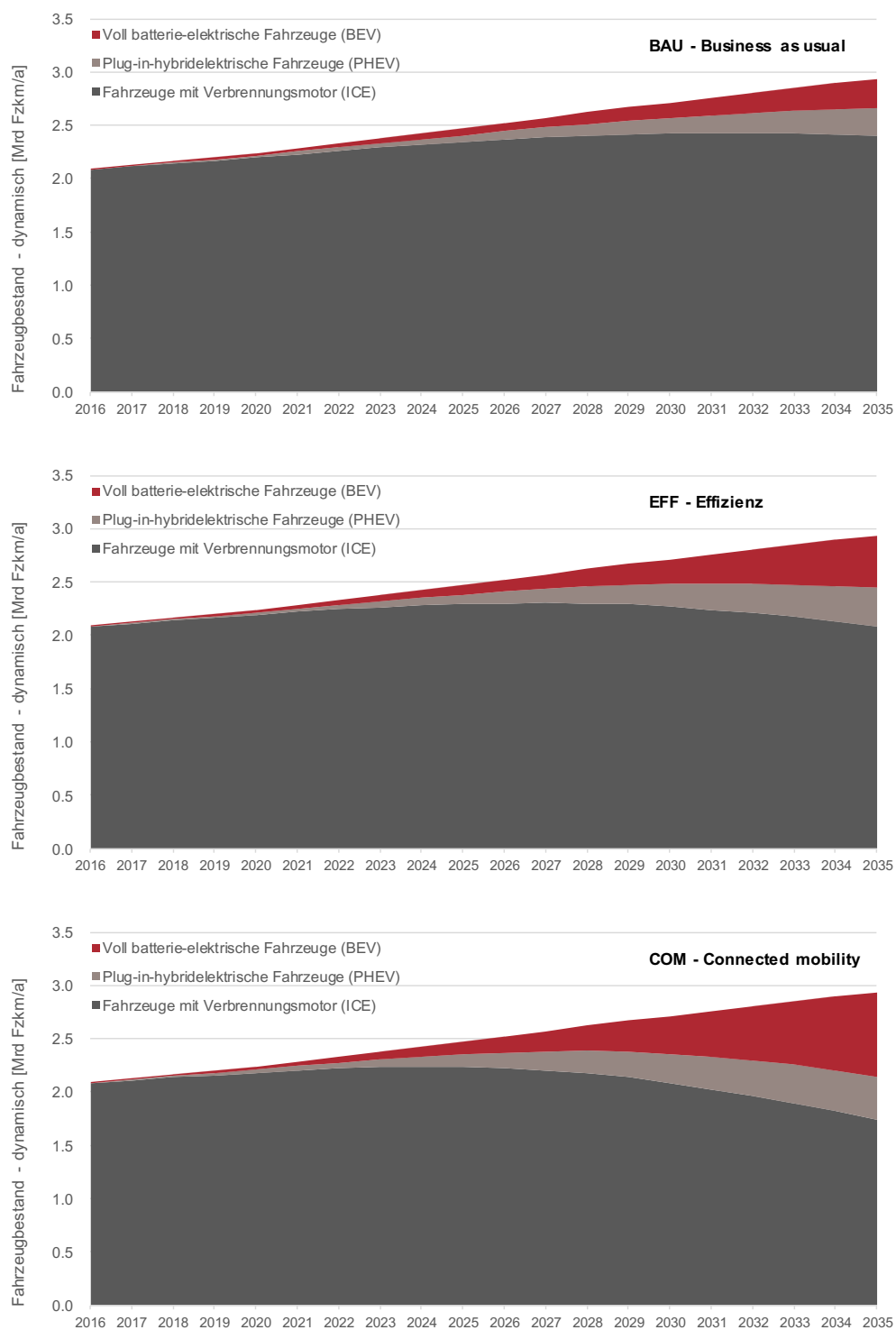


Abbildung 27: Entwicklung des dynamischen Fahrzeugbestands (gefahrte Fahrzeugkilometer) im Kanton Thurgau je nach Szenario bis 2035.

5.6.1 Elektrizitätsbedarf der Elektromobilität

Es dauert bis zu 10 Jahre, bis die starke Zunahme der Elektromobilität im Neuwagenmarkt auch im Gesamtbestand ersichtlich wird. Der grosse Schub wird um 2030 erwartet. Dementsprechend steigt auch der Strombedarf der Elektromobilität im Jahr 2030 von einem anfänglich tiefen Niveau bis auf 3–5 Prozent des heutigen Strombedarfs (Basisjahr 2015). Innert 5 Jahre (bis im Jahr 2035) folgt dann eine Verdopplung auf 5-10 Prozent.

Die Marktdurchdringung der Elektromobilität wird den Stromverbrauch im Thurgau erhöhen. Je nach Szenario beträgt die durch die Elektromobilität des MIV nachgefragte Strommenge im Jahr 2030 46.1 bis 88.6 GWh jährlich – das sind 3 bis 5 % des Stromverbrauchs des Kantons (Basisjahr 2015), wie in Abbildung 28 ersichtlich.

Gemäss Econcept / Kanton Thurgau (2017) soll der Elektrizitätsverbrauch bis ins Jahr 2030 gegenüber 2015 um 7 % reduziert werden. Gleichzeitig rücken Anwendungen wie Wärmepumpen und die Elektromobilität in den Stromsektor und sorgen für einen Mehrverbrauch. Um den Elektrizitätsverbrauch dennoch zu senken, müssen die Einsparungen (Effizienzmassnahmen) in anderen Bereichen umso grösser ausfallen.

Durch den grossen Schub der Elektromobilität um 2030 steigt die jährliche Stromnachfrage rasch an. Zwischen 2030 und 2035 verdoppelt sich die Stromnachfrage der Elektromobilität im Thurgau und liegt je nach Szenario bei 80-170 GWh (5-10 % des Gesamtstromverbrauchs 2015 im Thurgau) mit weiter steigender Tendenz.

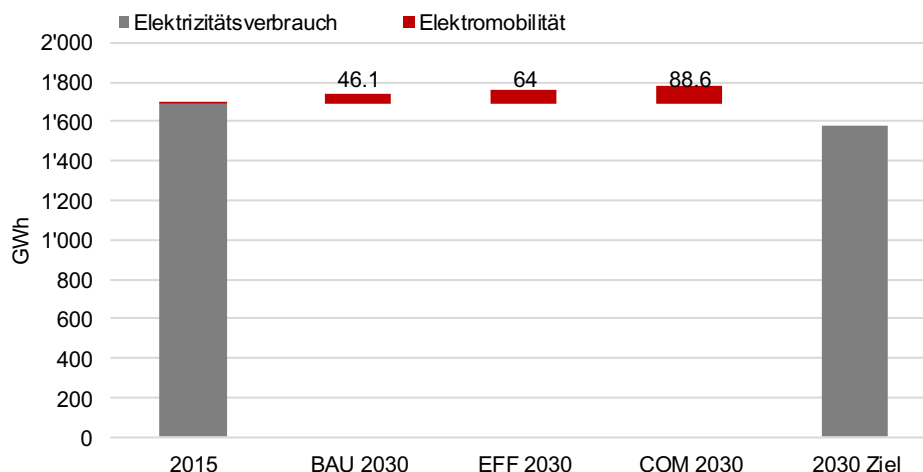


Abbildung 28: Jährlicher Elektrizitätsverbrauch im Thurgau. Basisjahr 2015 und Mehrverbrauch aufgrund der Elektromobilität im Jahr 2030 je nach Szenario sowie der Zielwert 2030 (-7%).

5.6.2 Bedarf nach Ladevorgängen und Ladestationstyp

Die Prognose der Anzahl Ladevorgänge zeigt, dass die Ladung der Elektrofahrzeuge in 65 Prozent der Fälle zu Hause erfolgen wird. Rund 30 Prozent der Ladevorgänge entfallen auf den Arbeitsplatz (*workplace charging*) und andere wichtige Aufenthaltsorte (*POI charging*), während sich die Anzahl Ladevorgänge an Schnellladestationen im Kanton Thurgau auf 5 Prozent beschränkt.

Anhand der benötigten Strommenge pro Ladevorgang und der Verluste in den Ladestationen wird die Anzahl Ladevorgänge je Szenario und Jahr berechnet. Diese wird anschliessend auf Ladetypen aufgeteilt. Abbildung 29 zeigt die Aufteilung der Ladevorgänge je Ladestationstyp, Stichjahr und Szenario bis 2035. Aus den Grafiken ist ersichtlich, dass *home charging* Ladevorgänge eine prominente Rolle in allen Szenarien spielen werden (ungefähr 65 % aller Ladevorgänge) und im Jahr 2035 ungefähr 7, 14 respektive 22 Mio. Ladevorgänge ausmachen (für die Szenarien BAU, EFF beziehungsweise COM). Die Anzahl *workplace* und *POI charging* Ladevorgänge sind ähnlich (je ca. 15 %), während die Anzahl an *fast charging* Ladevorgängen jeweils 5 % aller Ladevorgänge ausmachen wird.

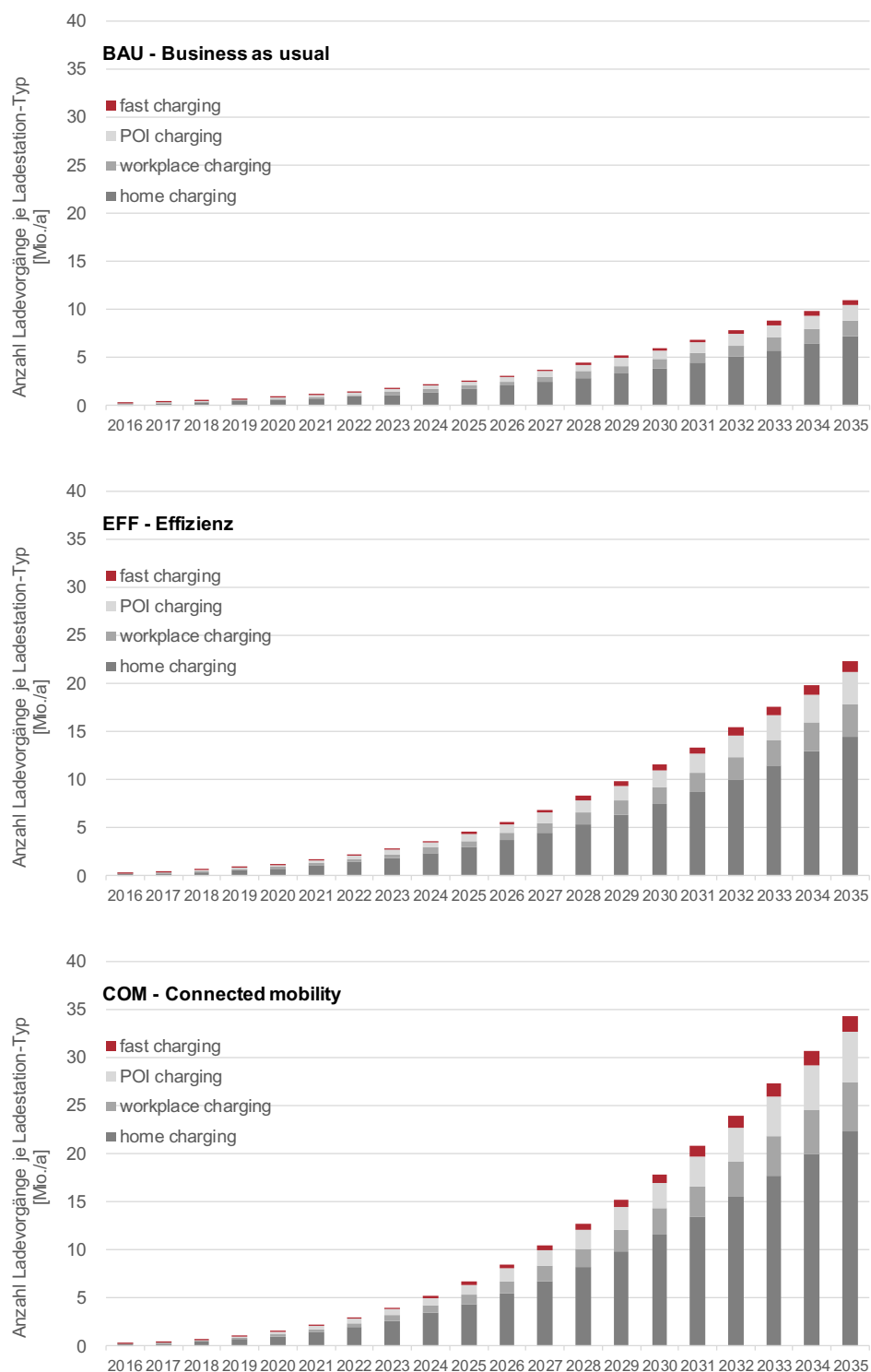


Abbildung 29: Anzahl Ladevorgänge je nach Szenario, Stichjahr und Ladestationstyp für den Kanton Thurgau.

5.6.3 Stündliche Lastprofile der Elektromobilität

Je nach Ladestationstyp ergibt sich eine andere zeitliche Stromnachfrage. Die zukünftigen Nachfrageprofile je Ladestationstyp wurden für den Kanton Thurgau modelliert. Wird angenommen, dass die Elektrofahrzeuge vor allem bei der Rückkehr nach Hause am Abend eingesteckt und geladen werden (*home charging*), führt dies zu einer Leistungsspitze in den Verteilnetzen. Gleiches gilt für das *work charging*. Durch zeit- oder ferngesteuertes Laden oder den Einsatz von dezentralen Speichern, können diese Ladeprofile jedoch grundsätzlich verändert werden, sodass Spitzen ohne gleichzeitig hohe Stromproduktion von erneuerbaren Energien, vermieden werden.

Die stündliche Stromnachfrage der Elektromobilität wird durch das Ladeverhalten und die Ladestationstypen bestimmt. Je nachdem mit welcher Leistung und an welchen Standorten die 43'000-99'500 Elektrofahrzeuge im Jahr 2035 geladen werden, gestaltet sich das akkumulierte Ladeprofil der Elektromobilität.

Es werden die vier Ladestationstypen *home*, *workplace*, *POI* und *fast* unterschieden (siehe Kapitel 4.5). Es wird angenommen, dass die meisten Ladevorgänge *home charging* sein werden. Weniger häufig sind *POI* und *fast charging*. Diese Ladevorgänge weisen jedoch eine deutlich höhere Leistung auf. Weiter wird angenommen, dass Fahrzeuge täglich kleine Strommengen *home* oder *workplace* laden. Die Ladeleistung wird entweder durch die Aufnahmeleistung des Fahrzeugs und der möglichen Anschlussleistung bei der Ladeinfrastruktur limitiert. Es wurde angenommen, dass z.B. *home* Ladevorgänge in einem Bereich zwischen 3.7 und 11 kW stattfinden (siehe Kapitel 4.5).

Die aufsummierten Ladeprofile je Ladestationstyp zeigt, dass *home charging* unter der Woche eine deutliche Lastspitze am Feierabend hervorruft. Allein die *home charging* Ladevorgänge im Kanton Thurgau summieren sich zur Höchststunde am Abend im Jahr 2035 auf über 25 MW. Zudem zeigt sich eine deutliche Morgenspitze, die durch *workplace charging* hervorgerufen wird. Aufgrund der hohen Leistung sind *POI* und *fast charging* in der Lage erhebliche Lastspitzen hervorzurufen. Können *fast charging* Ladevorgänge jedoch unter 5% aller Ladevorgänge gehalten werden, so ergeben sich insgesamt keine Lastspitzen, welche die Verteilnetze belasten würden, wie in Abbildung 30 ersichtlich. Aufgrund der Gleichzeitigkeit verursachen die zahlreichen Ladevorgänge zu Hause (*home charging*) in Summe deutlich höhere Lastspitzen als *fast charging* Ladevorgänge. Die Ladeprofile der Elektromobilität können durch zeit- oder ferngesteuertes Laden oder durch den Einsatz von dezentralen Speichern grundlegend verändert werden. Abbildung 30 zeigt die Ladeprofile bei ungesteuertem Laden der Elektrofahrzeuge.

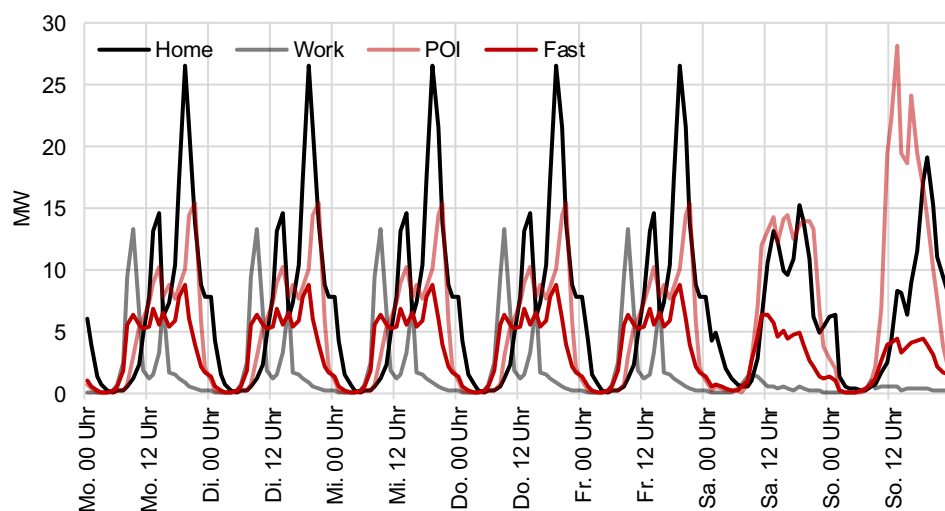


Abbildung 30: Stündliche Ladeprofile der Elektromobilität im Kanton Thurgau je Ladestationstyp in einer Maiwoche im Jahr 2035 gemäss Szenario COM.

5.6.4 Einfluss der Elektromobilität auf das Lastprofil

Bei ungesteuerten Ladevorgängen, führt das Laden von einer Vielzahl von Elektrofahrzeugen zu einer Erhöhung der Lastspitzen im Winterhalbjahr. Längerfristig ist deshalb eine Steuerung der Ladevorgänge sinnvoll. Weiter würde es Sinn machen, die Auswirkungen auf die Verteilnetze anhand von den hier zur Verfügung gestellten Daten im Detail zu untersuchen.

Das stündliche Lastprofil der gesamten Stromnachfrage im Kanton Thurgau weist im Winterhalbjahr eine Morgen- und Abendspitze auf, wie in Abbildung 31 in grau ersichtlich ist. Diese Lastspitzen verstärken sich durch die Elektromobilität, welche ebenfalls Morgen- (*workplace*) und Abendspitzen (*home*) hervorbringt. Diese treten insbesondere im Winterhalbjahr ungefähr zeitgleich auf (Abbildung 31). Die jährliche Höchstlast der stündlichen Stromnachfrage im Kanton Thurgau erhöht sich dadurch um über 30 MW oder um rund 10% im Jahr 2035 (Szenario COM), wie in Abbildung 32 ersichtlich. Mit der weiteren Durchdringung der Elektromobilität steigt die Belastung der Verteilnetze auch nach 2035 stark an.

Der Grundlagenbericht Stromnetze Thurgau (EcoWatt / Kanton Thurgau 2014) verortete die Elektromobilität als grosse zukünftige Herausforderung für die Verteilnetze. In den Netzsimulationen wurde die Elektromobilität damals aber nicht berücksichtigt.

Mit den hier präsentierten vorliegenden Elektromobilitätsszenarien und den stündlichen Ladeprofilen stehen nun Datengrundlagen zur Verfügung, um mit weiterführenden Simulationen die Auswirkungen auf die Verteilnetze zu untersuchen.

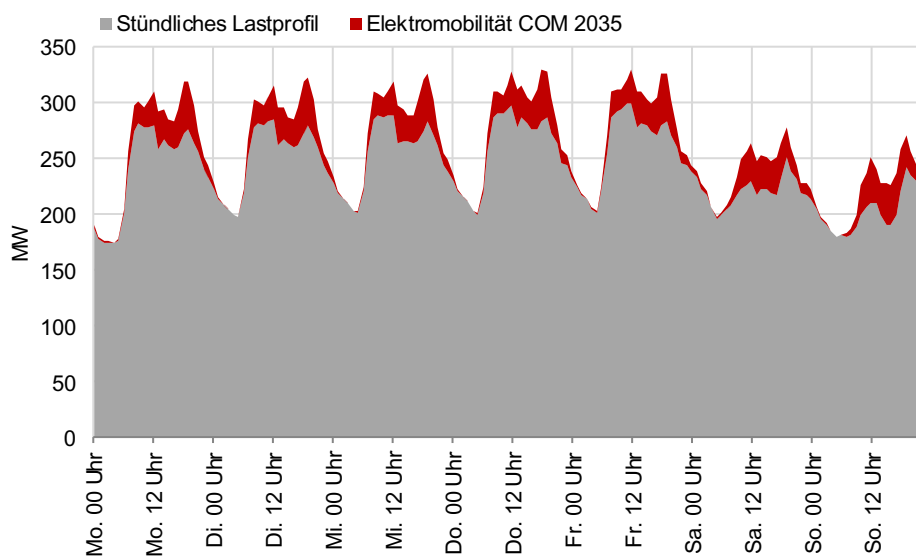


Abbildung 31: Stündliches Lastprofil einer Februarwoche mit Elektromobilität im Thurgau im Jahr 2035 im Szenario COM.

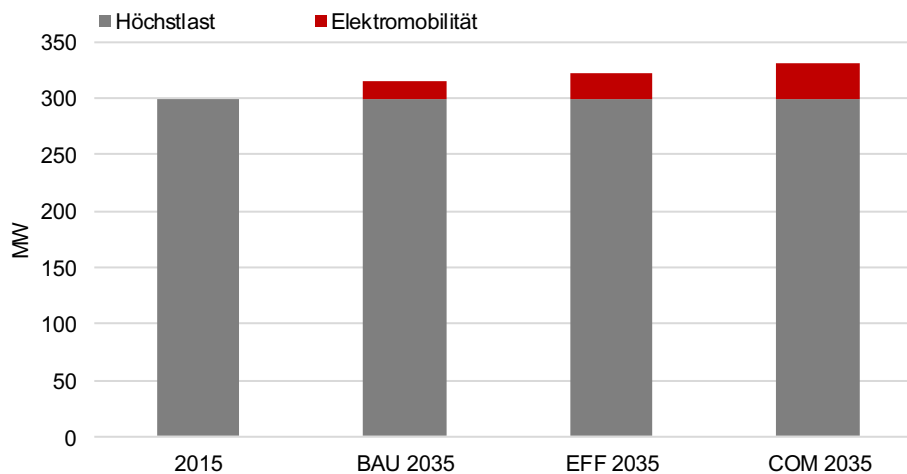


Abbildung 32: Höchstlast im Kanton Thurgau im Basisjahr 2015 sowie im Jahr 2035 mit Elektromobilität für die drei Szenarien.

5.6.5 Einfluss auf die Residuallast

Die Elektromobilität führt zwar zu einer höheren Stromnachfrage, gleichzeitig ergeben sich aber auch neue Möglichkeiten, wie zum Beispiel eine bessere Integration von dezentral produziertem erneuerbarem Strom. Erfolgen die Ladevorgänge kontrolliert, kann der Nutzen aus der dezentralen Stromproduktion maximiert werden. So können bei hoher erneuerbarer Stromproduktion und gleichzeitig tiefer Nachfrage, die Stromnetze durch die Elektromobilität entlastet werden.

Der Kanton sollte eine Strategie verfolgen, in der sichergestellt wird, dass Elektrofahrzeuge mit erneuerbarem Strom geladen werden. Nur so kann die Elektromobilität ihre Vorteile in Bezug auf die Umweltbilanz voll ausspielen.

Im Jahr 2015 betrug die jährliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Kanton Thurgau rund 153 GWh (Econcept / Kanton Thurgau 2017), wie in Abbildung 33 ersichtlich. Zum Vergleich: im Jahr 2035 muss eine Stromnachfrage der Elektromobilität in der Höhe von 79 bis 160 GWh mit erneuerbarem Strom gedeckt werden. Natürlich soll die erneuerbare Stromproduktion nicht nur in der Elektromobilität eingesetzt werden. Der weitere Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion im Kanton Thurgau ist deshalb für eine nachhaltige Elektromobilitätsstrategie notwendig und sinnvoll.

Zwischen der Elektromobilität und einem weiteren Ausbau der Photovoltaik zeigen sich Synergien. So kann mit einem Zubau von Photovoltaik der Anteil an Grünstrom (Strom aus erneuerbaren Energieträger wie Wasserkraft, Photovoltaik, Windkraft, Biomasse) in den Ladevorgängen erhöht werden und andererseits hilft die Elektromobilität bei der Integration des anfallenden Photovoltaik-Stroms. Dieser Effekt tritt bereits bei ungesteuertem Laden auf und könnte mit gesteuerten Ladevorgänge maximiert werden.

Gemäss 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie ist mit einem starken Zubau der Photovoltaik im Kanton Thurgau bis 2035 zu rechnen. Ein Zubau von 415 MW Photovoltaik im Thurgau wäre nötig, um das 1. Massnahmenpaket zu erfüllen. Entsprechend steigt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Thurgau im Jahr 2035 auf über 700 GWh. Dies entspricht rund 40 % der Gesamtstromnachfrage im Thurgau (Abbildung 33).

Abbildung 34 und Abbildung 35 zeigen die stündlichen Einspeiseprofile der erneuerbaren Energien im Kanton Thurgau im Jahr 2015 und 2035 bei einem Zubau der Photovoltaik gemäss 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie. Im Jahr 2035 zeigen sich deutliche Photovoltaik-Mittagsspitzen von bis zu 400 MW.

In vielen Mittagsstunden übersteigt die Photovoltaikproduktion im Jahr 2035 die Gesamtstromnachfrage des Kantons Thurgau. Zudem ist zu erwarten, dass auch andere Regionen der Schweiz sowie die Nachbarländer der Schweiz dann eine sehr hohe Stromproduktion aus Photovoltaik vorweisen. Die Stromnachfrage der Elektromobilität, welche bereits ungesteuert gut mit der Einspeisung der Photovoltaik korreliert (Korrelationskoeffizient von 0.45 im Jahr 2035 im Thurgau), hilft in diesen Stunden diese erneuerbaren Strommengen ins Stromsystem zu integrieren. Ein Indikator dafür ist die Residuallast.

Die Residuallast ist die Differenz zwischen der benötigten Leistung und der Leistung, welche die nicht regelbare, erneuerbare Energieträger, wie z.B. Photovoltaik und Laufwasserkraft, erbringen. Sie weist mehr oder weniger starke zeitliche Schwankungen auf, einerseits weil die Stromnachfrage schwankt (z. B. zur Mittagszeit und am Abend höher als am Nachmittag) und andererseits, weil die Einspeisung erneuerbarer Energie entsprechend den Wetterbedingungen schwankt (RP-Energie-Lexikon 2017). Die schwankende Residuallast muss in der Hauptsache durch Importe aus anderen Regionen der Schweiz und/oder dem Ausland gedeckt werden. Eine hohe Residuallast zeigt an, dass die Stromnachfrage in der betrachteten Stunde viel höher ist als die gleichzeitige lokale Produktion aus erneuerbaren Energien und viel Strom in den Thurgau importiert werden muss. Umgekehrt kann die Residuallast auch klein oder sogar negativ werden. Bei negativer Residuallast übersteigt die lokale Produktion aus erneuerbaren Energien den aktuellen Stromverbrauch im Thurgau. In diesem Fall muss/kann Strom exportiert werden. Dies würde jedoch eine Umrüstung der Stromnetze in den tiefen Netzebenen erfordern, da die Stromproduktion der erneuerbaren Energien hauptsächlich in diesen stattfindet. Für den Export aus dem Thurgau genügen die höheren Netzebenen.

Die Netzsimulationen von EcoWatt / Kanton Thurgau (2014) haben gezeigt, dass Zeiten mit negativer Residuallast – also Schwachlastzeiten mit hoher erneuerbarer Stromproduktion die grösste Belastung für die Verteilnetze im Thurgau sind und daher Investitionen in die Netzinfrastruktur erforderlich sind. Die Elektromobilität kann hier zu einer Entlastung beitragen.

In Abbildung 36 wird ersichtlich, dass die minimale Residuallast im Jahr 2035 ohne Elektromobilität um mehr als 30 MW tiefer ausfallen würde als mit Elektromobilität. Das heisst, ohne Elektromobilität müssten in sonnigen Stunden mit geringer Stromnachfrage zusätzlich 30 MW aus dem Kanton Thurgau exportiert werden. Würden die Ladevorgänge zudem gesteuert, könnte die minimale Residuallast weiter erhöht und die Verteilnetze entsprechend entlastet werden. Abbildung 36 zeigt aber auch, dass die Elektromobilität im Jahr 2035 die höchste Residuallast um 30 MW erhöhen wird. In Zeiten der höchsten Residuallast werden die Stromnetze stark belastet und es wären zusätzliche Importe aus anderen Regionen oder dem Ausland notwendig. Ob es Anpassungen in der Netzinfrastruktur braucht, kann ohne Netzsimulation an dieser Stelle nicht abschliessend beurteilt werden.

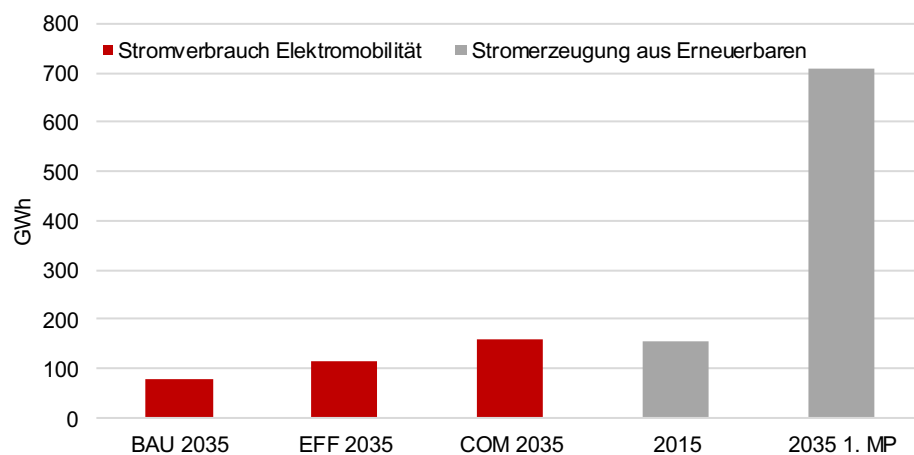


Abbildung 33: Jährlicher Stromverbrauch durch Elektromobilität im Jahr 2035 je Szenario sowie jährliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien 2015 sowie im Jahr 2035 mit Photovoltaik-Zubau gemäss 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie im Thurgau.

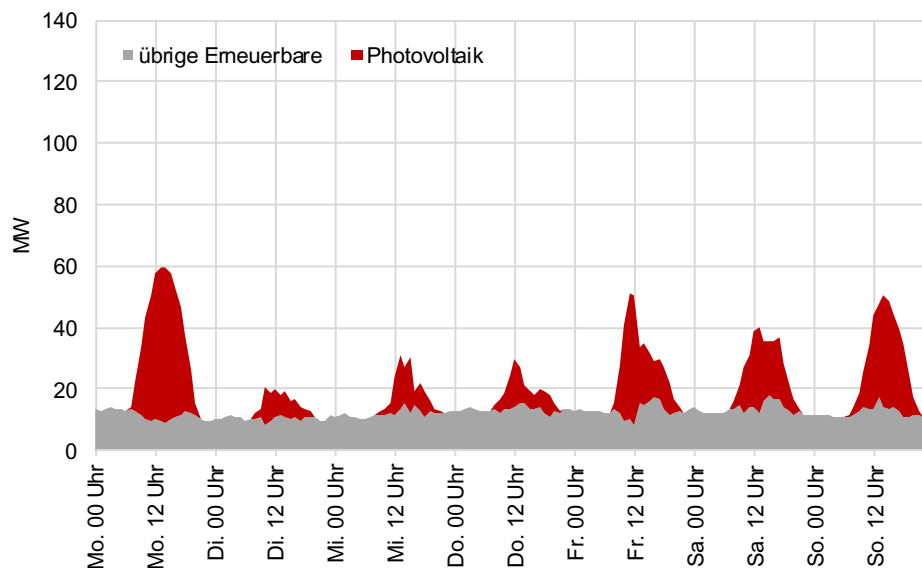


Abbildung 34: Stündliche Einspeisung von Photovoltaik und übrigen Erneuerbaren ins Stromsystem im Basisjahr 2015 im Thurgau in einer Woche im Mai.

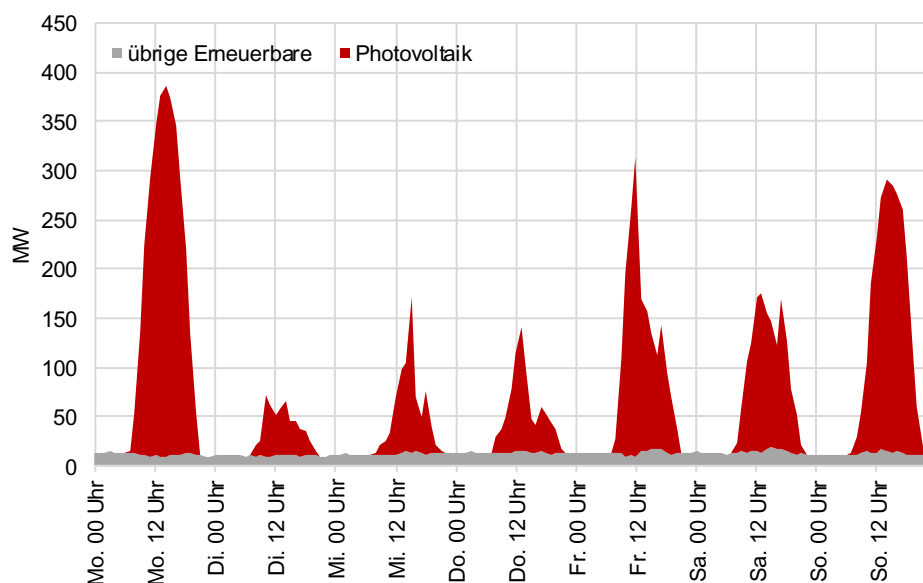


Abbildung 35: Modellartige, stündliche Einspeisung von Photovoltaik und übrigen Erneuerbaren ins Stromsystem im Thurgau für eine Maiwoche im Jahr 2035 mit einem Photovoltaik-Zubau gemäss 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie.

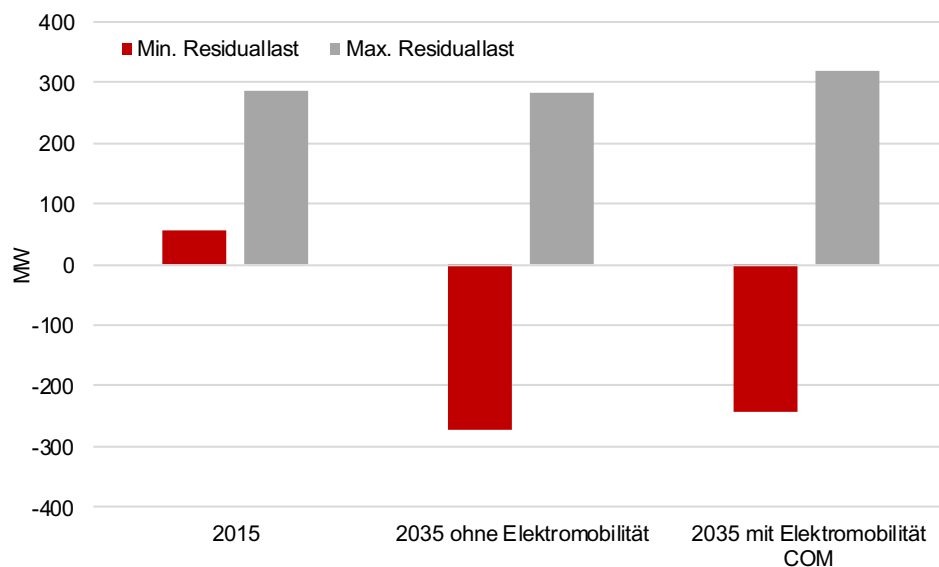


Abbildung 36: Einfluss des Zubaus von Photovoltaik und der Elektromobilität auf die maximale und minimale Residuallast im Thurgau im Jahr 2035.

5.6.6 Grünstromanteil der Elektromobilität

Soll die Elektromobilität im Thurgau mit lokal produziertem erneuerbarem Strom versorgt werden, müssen der Ladebedarf und die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zeitgleich vorhanden sein. Ohne weiteren Zubau der Photovoltaik könnte nur rund 67 % zeitgleich gedeckt werden, mit einem Zubau könnten 84 % und mit zusätzlicher Installation von Batteriespeicher könnten 90 % abgedeckt werden. Um die Produktion und die Nachfrage optimal aufeinander abzustimmen, sollte vor allem dem *workplace charging* grosse Beachtung geschenkt werden.

Die fluktuierende Stromproduktion aus Photovoltaik, Laufwasser- und Windkraft ist nicht steuerbar und muss zeitgleich eine Stromnachfrage finden. Ansonsten wird sie in höhere Netzebenen rückgespeist. Die fluktuierenden erneuerbaren Energien werden vor allem dann dimensionierungsrelevant für die Verteilnetze, wenn die maximale Rückspeisung erneuerbarer Energien den Wert der jährlichen Höchstlast übersteigt, was erst nach 2035 zu erwarten ist. Die Rückspeisung erneuerbarer Energien in höhere Netzebenen kann durch einen zeitgleichen Verbrauch im Gebiet reduziert werden (analog EcoWatt / Kanton Thurgau 2014). Soll die Elektromobilität im Thurgau mit lokal produziertem erneuerbarem Strom versorgt werden, so muss der Ladebedarf und die Stromerzeugung zeitlich aufeinanderpassen. Abbildung 37 zeigt den zeitechten Grünstromanteil auf Stundenbasis im Thurgau in einer Februarwoche im Jahr 2035 (Szenario COM) ohne weiteren Zubau der Photovoltaik. Es zeigt sich, dass ohne weiteren Zubau der erneuerbaren Energien der zeitechte Grünstromanteil der Elektromobilität im Jahr 2035 bei rund 67 % liegen würde – unter der Annahme, dass die bestehende erneuerbare Stromproduktion (Grünstrom) ausschliesslich zum Aufladen der Elektromobilität eingesetzt würde. Rund ein Drittel der Stromnachfrage der Elektromobilität könnte folglich nicht mit lokalem erneuerbarem Strom abgedeckt werden.

Mit einem starken Ausbau der Photovoltaik gemäss 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie würde sich der zeitgleiche Grünstromanteil auf im Jahr 2035 (Szenario COM) auf 84 % erhöhen (Abbildung 38 und Abbildung 39). Wobei auch mit einem weniger starken Ausbau der Photovoltaik bereits ein ähnlich hoher Wert erreicht werden kann. Die optimale Grössenordnung des Zubaus der Photovoltaik zur Nutzung in der Elektromobilität, hängt zudem stark vom Ladeverhalten ab. Da Photovoltaik nur tagsüber anfällt, kann mit einem hohen Anteil an *workplace charging* der Grünstromanteil und die Integration des Photovoltaikstroms maximiert werden. Auch *POI charging* fällt primär tagsüber an und kann den Grünstromanteil daher erhöhen. Schwieriger wird es beim *home charging* im Winterhalbjahr. Der grösste Ladebedarf beim *home charging* zeigt sich in den Abendstunden nach der Rückkehr nach Hause. Zu dieser Zeit ist die Sonne im Winterhalbjahr bereits untergegangen, so dass kein Photovoltaikstrom zur Verfügung steht. Entsprechend sinkt der Grünstromanteil mit steigendem Anteil an *home charging*.

Gesteuertes Laden, vor allem eine Verschiebung des *work charging* in die Mittagsstunden, kann den Grünstromanteil noch deutlich erhöhen und gleichzeitig die Integration der Photovoltaikproduktion unterstützen. Durch den Einsatz von dezentralen Batteriespeichern kann die Photovoltaikproduktion aus den Mittagsstunden in den Abendstunden zur Lastdeckung des *home charging* bereitgestellt werden. So steigt der Grünstromanteil der Elektromobilität mit dem Einsatz von dezentralen Speichern auf 90 % (Abbildung 39). Die verfügbare Speicherkapazität und die Bewirtschaftung der Speicher spielt hierbei natürlich eine wichtige Rolle. Eine mögliche Speicherbewirtschaftung im Kanton Thurgau im Jahr 2035 bei hoher Einspeisung von Photovoltaik ist in Abbildung 40 dargestellt. Es ist jedoch zu beachten, dass Speicher ein Kostentreiber sind und allfällige Umweltauswirkungen berücksichtigt werden müssen. Eine zeitliche Verschiebung des Ladebedarfs von Elektrofahrzeugen ist dem breiten Einsatz von Speichern daher vorzuziehen.

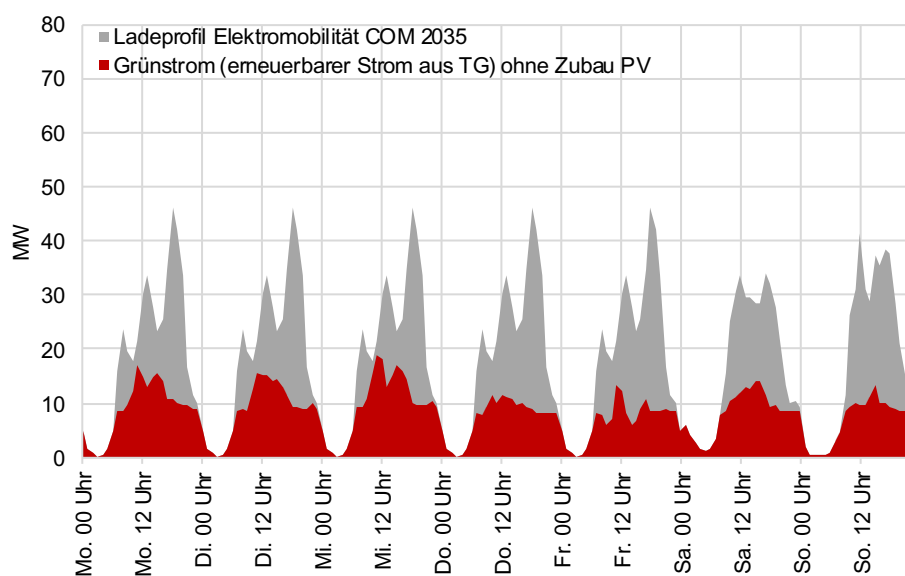


Abbildung 37: Grünstrom-Anteil der Elektromobilität im Thurgau in einer Februarwoche im Jahr 2035 im Szenario COM *ohne* Zubau von Photovoltaik (Photovoltaik gemäss 2015).

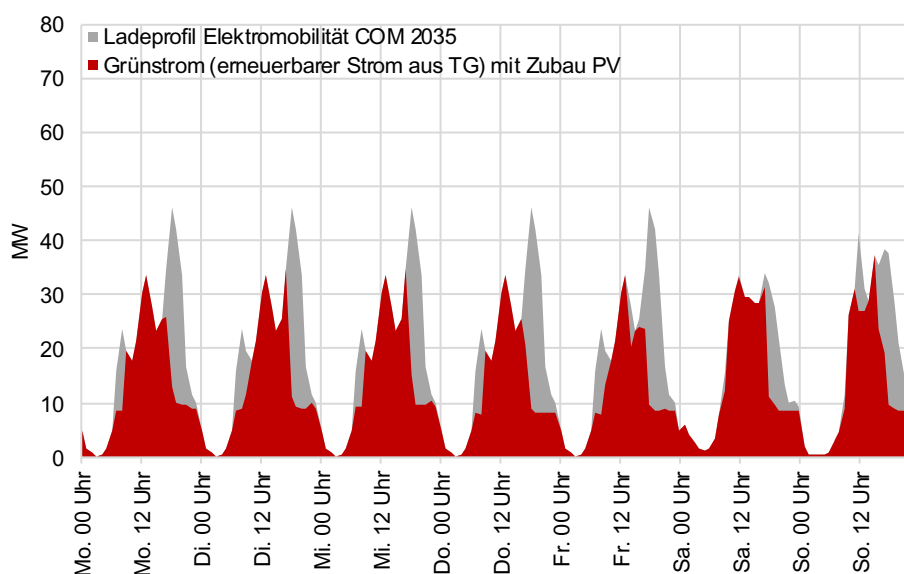


Abbildung 38: Grünstrom-Anteil der Elektromobilität im Thurgau in einer Februarwoche im Jahr 2035 im Szenario COM mit Zubau von Photovoltaik gemäss 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie.

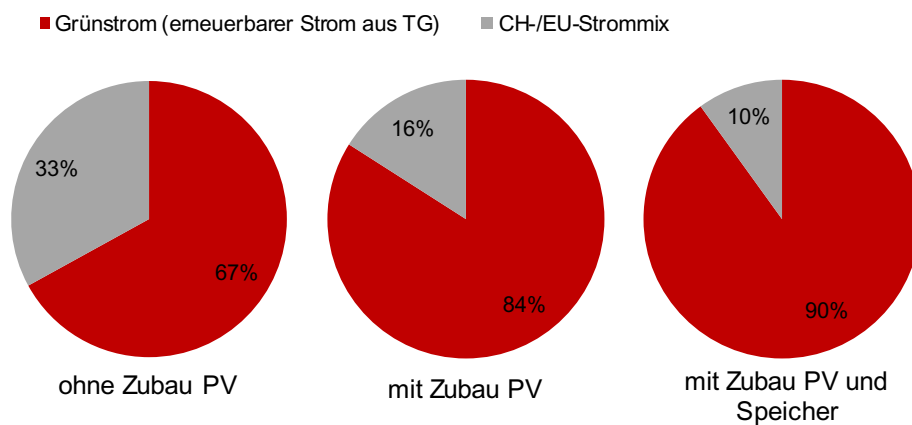


Abbildung 39: Zeitgleicher Grünstromanteil am gesamten Ladebedarf der Elektromobilität im Thurgau im Jahr 2035 (Szenario COM). Links ohne weiteren Zubau von Photovoltaik. In der Mitte mit Zubau der Photovoltaik bis 2035 gemäss 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie. Rechts mit Zubau von Photovoltaik und 10'000 dezentralen Batteriespeichern (Gesamtkapazität: 140 MWh).

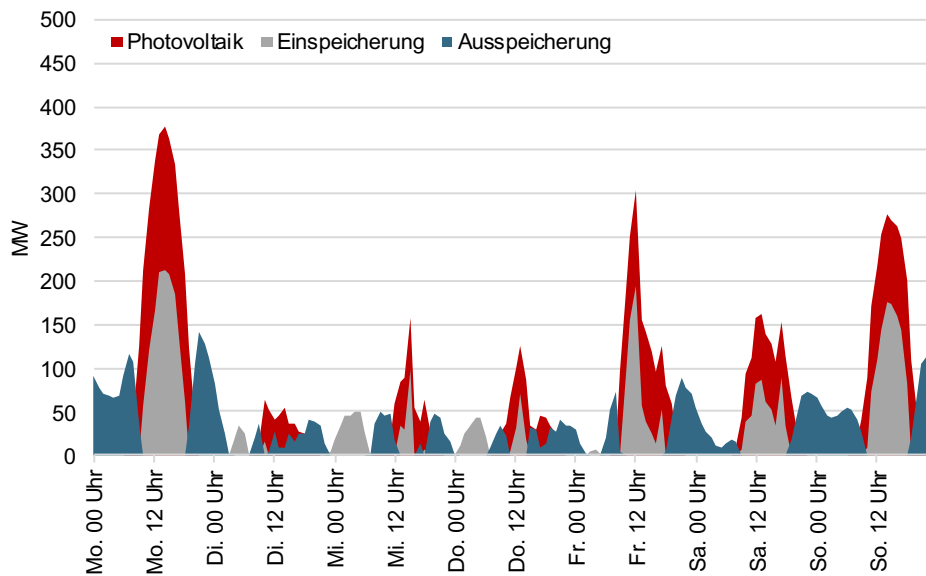


Abbildung 40: Stündliche Einspeisung von Photovoltaik ins Stromsystem im Thurgau für eine Maiwoche im Jahr 2035 mit einem Photovoltaik-Zubau gemäss 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie. 10'000 dezentrale Batteriespeicher im Thurgau (Gesamtkapazität: 140 MWh) speichern Überschussstrom tagsüber ein (grau) und stellen diesen in den Morgen- und Abendstunden bei hohem Strombedarf wieder bereit (blau).

5.7 Beitrag zum Klimaschutz

Auf Grund der technischen Entwicklung wird eine Reduktion der CO₂ – Emissionen um 20 % bis 2035 prognostiziert. Zusätzliche 15 % können mit dem Szenario EFF erzielt werden, mit dem Szenario COM sind es 31 %. Mit der Umsetzung aller Massnahmen der Shortlist könnte das Szenario EFF erreicht werden. Um das Szenario COM zu erreichen, bräuchte es weitere kantonale und nationale Massnahmen.

Die von Personenwagen im Betrieb emittierten CO₂-Emissionen hängen stark von der Marktdurchdringung der Elektromobilität ab. Je mehr und je früher Personenwagen elektrisch angetrieben sind, desto stärker können die CO₂-Emissionen reduziert werden, dies wird beim Vergleich der drei Elektromobilitätsszenarien BAU, EFF und COM in Abbildung 41 ersichtlich. Übereinstimmend mit der Klimakonvention der Vereinten Nationen sind die Emissionen, die bei der Produktion von Importgütern (inkl. Importstrom) entstehen, nicht berücksichtigt. Elektrofahrzeuge haben gemäss Definition einen Ausstoss von 0 g CO₂/km im Betrieb.

Im Szenario BAU können die CO₂-Emissionen des Personenwagenverkehrs im Kanton Thurgau im Jahr 2035 um rund 20 % gegenüber 2015 reduziert werden. Der Absenkpfad im Szenario BAU berücksichtigt die Emissionsvorschriften für Neuwagen der EU, welche die Schweiz im Rahmen der Umsetzung des 1. Massnahmenpakets zur Energiestrategie 2050 übernimmt. Das Reduktionspotenzial im Szenario BAU wird mit grosser Sicherheit realisiert und hängt nicht von kantonalen Massnahmen ab, sondern wird durch «globale» Faktoren (Emissionsvorschriften der EU & Attraktivität der

Elektromobilität) bestimmt. Das Szenario BAU kann deshalb als neue Baseline gelten, an der sich zusätzlich Emissionsminderungen messen. Wie in Abbildung 41 gezeigt, können die CO₂-Emissionen des Personenwagenverkehrs im Jahr 2035 in den beiden ambitionierteren Szenarien um weitere 15 % (EFF), respektive 31 % (COM) gegenüber dem Szenario BAU reduziert werden.

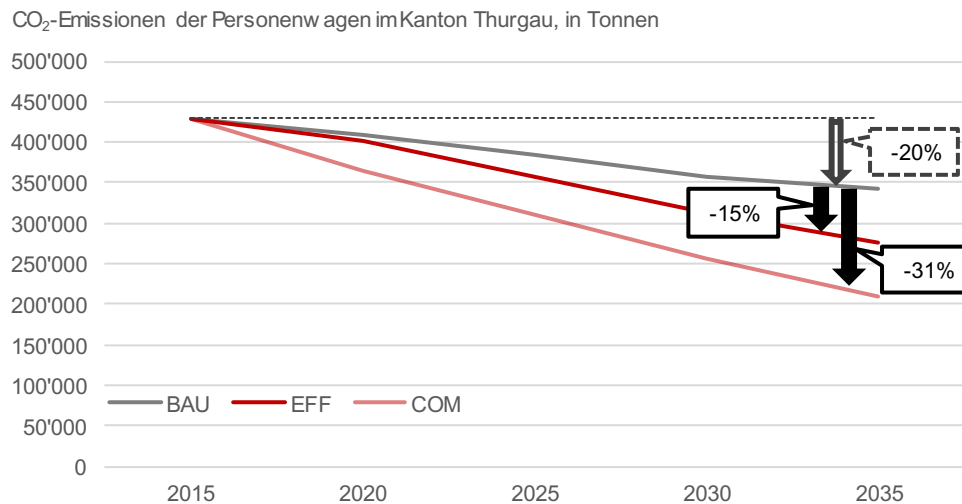


Abbildung 41: Jährliche CO₂-Emissionen der Personenwagen im Kanton Thurgau von 2015 bis 2035 gemäss den drei Szenarien BAU, EFF, COM.

6. Chancen und Risiken für den Kanton Thurgau

Die Elektromobilität weist für den Thurgau zahlreiche Chancen wie auch bedeutende Risiken auf. Es ist wichtig, durch rechtzeitiges Handeln und frühzeitige gesamtheitliche Koordination die Chancen zu wahren und die Risiken zu minimieren. Nur so wird Elektromobilität ihren Beitrag zu einer verträglichen Zukunftsmobilität leisten können.

6.1 Auslegeordnung Chancen und Potenzial der Elektromobilität

Im Folgenden werden die Chancen und Vorteile der Elektromobilität im Thurgau aufgelistet. Dadurch wird sichtbar, auf welche Aspekte bei der Identifikation der Massnahmen geachtet werden muss, um die richtigen Rahmenbedingungen für die Verwirklichung der Chancen zu setzen.

- **Reduktion des Endenergieverbrauchs.** Die Elektromobilität eröffnet dank ihrer hohen Effizienz neue Chancen zur Reduktion des Energieverbrauchs in der Mobilität. Der Elektromotor ist 3-4 Mal effizienter als ein Benzin- oder Dieselmotor, das heisst der Strom kann ohne grosse Verluste in Bewegungsenergie (Nutzenergie) umgewandelt werden (Vergleich der benötigten Primärenergie: siehe Kap. 4.3). Die zurückgelegten Tagesdistanzen mit dem MIV sind im Kanton Thurgau überdurchschnittlich lang, so dass die Einsparpotenziale durch die Elektromobilität entsprechend hoch sind.
- **Beitrag zum Klimaschutz.** Wenn der Strom für den Betrieb von Elektrofahrzeugen aus erneuerbaren Quellen stammt, können im Kanton Thurgau im Jahr 2035 bis zu 51 % der CO₂-Emissionen des Personenwagenverkehrs gegenüber 2015 vermieden werden (siehe auch Kap. 4.3 und 5.7). In der TA-Swiss-Studie (de Haan, Zah et al. 2013) wurde eine vollständige Lebenszyklusanalyse durchgeführt, inklusive Herstellung und Entsorgung/Rezyklieren sowie Bereitstellung des Stroms. Wichtigstes Ergebnis ist, dass Elektromobilität deutlich niedrigere Treibhausgasemissionen aufweist, wenn Ökostrom eingesetzt wird. Auch wenn der heutige EU-Strommix eingesetzt wird, «lohnt» sich die Elektromobilität aus Sicht der Treibhausgasemissionen. Damit die Elektromobilität aber ihre «Klimaschutz-Funktion» voll erfüllen kann, ist der Einsatz von Ökostrom zwingend erforderlich und sollte auch bei allfälligen Förderinstrumenten vorausgesetzt werden.
- **Verbesserung Luftreinhaltung.** Die Nutzung von Elektrofahrzeugen ist lokal emissionsfrei. Dadurch bestehen grosse Potenziale für die Verbesserung der Luftqualität in urbanen Gebieten und für die Verminderung von schadstoffverursachten Krankheiten. Im ländlich geprägten Kanton Thurgau profitieren vor allem die Regionen entlang der grossen Verkehrsachsen von der Verbesserung der Luftqualität. Fahrzeugspezifische Emissionen von Luftschadstoffen je Fahrzeugtyp sind im Kap. 4.3 aufgeführt.
- **Reduktion Lärmbelastung im Stadtverkehr.** Der durch Fahrzeuge verursachte Lärm setzt sich aus dem Abrollgeräusch der Reifen auf dem Asphalt und den Lärmemissionen der Motoren zusammen. Bei Pkw mit klassischem Verbrennungsmotor ist das Antriebsgeräusch bis etwa 25 km/h

dominant. Bei höheren Geschwindigkeiten bestimmt dagegen zunehmend das Reifen-Fahrbahn-Geräusch das Gesamtgeräusch des Fahrzeugs. Elektroautos sind also prinzipiell bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten deutlich leiser und bei höheren Geschwindigkeiten vergleichbar laut wie herkömmliche Personenwagen. Gerade beim Beschleunigen, z.B. an Ampeln sind die Lärmemissionen durch den Verbrennungsmotor somit dominant. Bei schweren Nutzfahrzeugen ist das Antriebsgeräusch bis zu einer Geschwindigkeit von etwa 50 km/h dominant, also im gesamten innerörtlichen Geschwindigkeitsbereich, allerdings sind schwere Nutzfahrzeuge hauptsächlich ausserorts im Einsatz. Interessant ist vor allem die Elektrifizierung von Müllsammelfahrzeugen, ÖPNV-Bussen (Busse des öffentlichen Personennahverkehrs) und anderen Nutzfahrzeugen, die ausschließlich innerorts bewegt werden und sehr häufig anfahren und wieder abbremsen. Bei Mopeds und Motorrädern ist das Antriebsgeräusch unabhängig von der Geschwindigkeit stets die dominante Lärmquelle, so dass durch eine Elektrifizierung dieser Fahrzeuge eine enorme Minderung der Geräuschemissionen von 20 dB(A) und mehr erreicht werden kann (Umweltbundesamt Deutschland 2013).

- **Minderung der Abhängigkeit von fossilen Treibstoffen.**
Die Elektromobilität bietet die Möglichkeit die Abhängigkeit von fossilen Treibstoffen aus dem Ausland massiv zu reduzieren. Dank lokal erzeugtem, erneuerbarem Strom bietet die Elektromobilität beispielsweise für einen Eigentümer von einer Photovoltaik-Anlage die Möglichkeit, den Strom für das Fahrzeug selber zu produzieren.
- **Flexibilität und Integration von dezentralen, erneuerbaren Energien.**
Die Elektromobilität bietet Chancen für die Bereitstellung des notwendigen Stroms mit lokal erzeugter erneuerbarer Energie. Eine lokale Stromproduktion aus erneuerbaren Energien (vor allem Photovoltaik) stimmt gut mit dem dezentralen Ladebedarf der Elektromobilität überein (siehe Kapitel 5.6 Abbildung 37-Abbildung 39). Elektromobilität kann eine hohe Flexibilität anbieten, die in der Energiewirtschaft künftig gefragt ist. Durch ein zeitversetztes oder gesteuertes Laden (siehe Kapitel 4.5) kann der Anteil erneuerbarer Energien für die Elektromobilität im Thurgau maximiert werden. Wenn es möglich ist, den Strom genau dann zu verwenden, wenn er zur Verfügung steht, wird die Integration der stochastisch anfallenden Produktion aus Photovoltaik optimiert. Elektrofahrzeuge können durch ihre Batterie den Strom dann aufnehmen, wenn er zur Verfügung steht. Somit trägt die Elektromobilität zur Integration von erneuerbarem Strom von Sonne, Wind und Wasser in das Stromsystem bei. Dies ist vor allem deshalb interessant, weil die Batterie eines durchschnittlich genutzten Elektrofahrzeugs in der Regel nicht jeden Tag vollgeladen werden muss, sondern flexibel geladen werden kann und trotzdem eine gute Verfügbarkeit des Fahrzeugs garantiert ist.
- **Dezentrale Speicherung von Strom und Stabilisierung der Netze.** Neben dem zeitversetzten Laden können die Batterien von Elektrofahrzeugen, falls sie am Netz angeschlossen sind, auch Strom ins Netz zurückspeisen (vehicle2grid). Damit stellen sie positive Regelenergie zur Netzstabilisierung bereit. Allerdings ist dies aufwändiger als das zeitversetzte Laden, welches negative Regelenergie darstellt. Es braucht im Fahrzeug

ein bidirektionales Ladegerät. Die Energiemenge in einer Elektroauto-Batterie ist nicht sehr hoch; die Leistung jedoch schon. Die Rückspeisung ist deshalb im kurzfristigen Bereich interessant. Die technischen Voraussetzungen für vehicle2grid müssen fahrzeug- und netzseitig noch geschaffen und entwickelt werden (BDEW 2017). Zurzeit wirbt einzig die Marke «Nissan», dass alle ihre CHAdeMO-fähigen Fahrzeuge mit einem bidirektionalen Ladegerät ausgerüstet sind.

- **Diversifizierung der Fahrzeugtypen.** Elektromobilität erlaubt die Verbreitung einer neuartigen Klasse von elektrischen Kleinstwagen in Leichtbauweise am Markt. Diese neuen Kleinstwagen erlauben den vermehrten Einsatz von jeweils optimalen Fahrzeugtypen anstelle von «Alleskönnern», was signifikant Energie einsparen kann.
- **Förderung der kombinierten Mobilität.** Die Reichweitenbeschränkung von Elektrofahrzeugen kann als Chance gesehen werden, weil sie vor allem in Kombination mit der Verwendung des ÖV für längere Distanzen geeignet ist.
- **Sharing-Economy.** Die Schweiz weist grundsätzlich ein hohes Potential für «shared mobility» auf: Die Digitalisierung ist weit fortgeschritten, Sharing-Economy-Geschäftsmodelle sind etabliert, Gemeinsinn und soziale Rücksichtnahme sind ausgeprägt. Das hohe Wohlstandsniveau und die Kaufkraft bewirken aber, dass die Kostenvorteile von Sharing-Economy-Anwendungen weniger ins Gewicht fallen. Hohe Bevölkerungsdichten sind eine Grundvoraussetzung für erfolgreiche Sharing-Economy-Ansätze; der Kanton Thurgau weist im gesamtschweizerischen Vergleich eine überdurchschnittliche Bevölkerungsdichte auf.
- **Vermeidung von Kosten durch frühzeitiges und stufengerechtes Handeln.** In zehn bis fünfzehn Jahren werden, je nach Szenario, zuhause und am Arbeitsplatz zwischen rund 20'000 und 50'000 Elektrofahrzeuge geladen. Die betreffenden Parkplätze sind heute nicht mit einer hinreichenden Leistung elektrifiziert und die bezogene Strommenge kann nicht anwohner- oder arbeitnehmerscharf abgelesen werden. Wenn die Marktdurchdringung der Elektromobilität rechtzeitig geplant wird, kann sie die natürlichen Erneuerungszyklen der Infrastruktur ausnutzen. Auch findet sich die heutige Ladeinfrastruktur schon in 5 bis 7 Jahren in einem gewandelten Umfeld. Allenfalls können Einsparungen im Netzausbau durch vorausschauende Planung möglich gemacht werden.
- **Investitionen in die Infrastruktur schafft Wertschöpfung.** Ob Ladeinfrastruktur, Speicher und Netze. Die Elektromobilität verlangt nach Investitionen in neue und bestehende Infrastruktur. Diese haben expansive Effekte und bringen lokale Wertschöpfung.
- **Tiefe Gesamtkosten.** Elektrofahrzeuge haben zwar häufig (noch) einen höheren Anschaffungspreis als ähnliche Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Die Gegenüberstellung der Gesamtkosten über 8 Jahre und 160'000 km zeigt (Abbildung 42), dass Elektrofahrzeuge sich im unteren Mittelklasse-Bereich jedoch schon heute rechnen. Die Gesamtkosten über die Lebensdauer (Total Cost of Ownership) sind vor allem bei Kleinwagen ähnlich wie bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, die sehr

effizient sind (hier Toyota Yaris Hybrid). Die tiefen Service- und Unterhaltskosten sowie die deutlich tieferen Treibstoffkosten (Strom vs. Benzin/Diesel) halten die Gesamtkosten der Elektrofahrzeuge tief. Entscheidend hier ist aber das Ladeverhalten der Nutzer und die Verteilung der Ladevorgänge zwischen home charging (eher günstig) und beschleunigtes Laden (eher teurer).

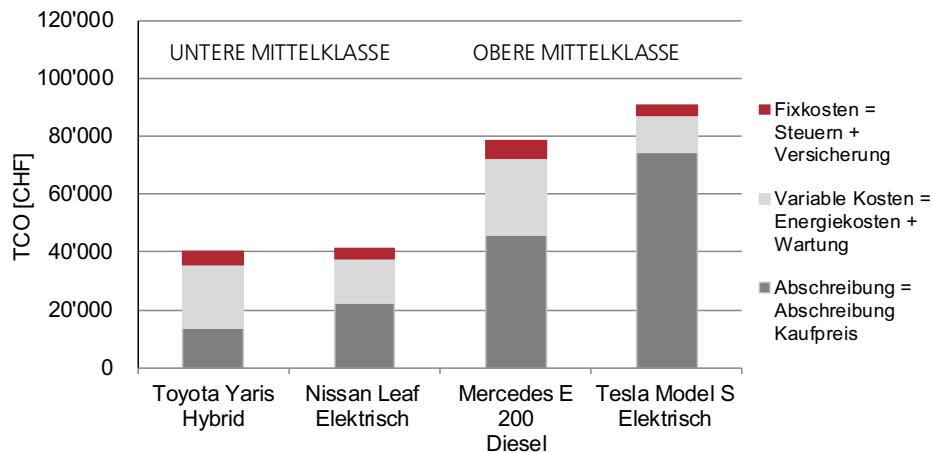


Abbildung 42: Vergleich Total Cost of Ownership (TCO). Berechnungen EBP.

- **Energieversorger.** Die Verbreitung der Elektromobilität und der vermehrte Einsatz von Elektrofahrzeugen öffnen neue Möglichkeiten für die Stromversorger. Neue Geschäftsfelder sind möglich, weil E-Mobility-Nutzer ein zahlungskräftiges Kundensegment in einem wachsenden Markt sind. Elektromobilitäts-Geschäftsmodelle sind somit kundenintensiv, kapitalintensiv und haben eine mittlere Umsatzrendite. Es lohnt sich bereits heute, erste Schritte zu machen, um den Markt zu erschliessen und Erfahrungen zu sammeln. Die Elektromobilität hat folgende positive Nebeneffekte für Energieversorger: 1) Positionierung im einen neuen Marktsegment (first-mover advantage), wo andere Akteure eintreten werden (Autohersteller, ICT- und Mobilitätsanbieter); 2) Marketing, Imagegewinn und Kundenbindung; 3) Erhöhung des internen Know-hows und Sammlung von Erfahrung durch den Einsatz von eigenen Elektrofahrzeugen. Folgende Schwerpunkte für Geschäftsfelder sind denkbar:
 - **Verkauf von Öko-Ladestrom.** Das vorhandene Naturstrom-Angebot kann erweitert werden, beispielsweise mit unterschiedlichen Modulen für die Kunden: Elektrofahrzeuge, Ladesäule, Lieferung von zeitgleichem Naturstrom aus der Region, PV-Anlagen und dezentrale Speicher.
 - **Betrieb von Elektrofahrzeugen und der Ladeinfrastruktur.** Möglichkeiten bestehen bei der Planung, Realisierungen und Betrieb der Ladeinfrastruktur (sowohl öffentliche als auch private), Leasing von Ladestationen, Elektrofahrzeugen, Batterien sowie Verkauf von Elektroautos. Abrechnungssysteme wie Flatrates oder e-roaming für den Zugang zu öffentlichen Ladestationen können eingeführt werden.
 - **Innovative (Kombi)Angebote.** Energieversorger können Flotten von Elektrofahrzeugen vermieten und Flotten-Management oder Flotten-Contracting anbieten.

6.2 Auslegeordnung Risiken der Elektromobilität

Die Risiken der Elektromobilität für den Thurgau werden für die Handlungsfelder aufgezeigt.

- **Verlagerung der Schadstoffemissionen in die Vorketten der Fahrzeugproduktion.** Während die Nutzung von Elektrofahrzeugen emissionsfrei ist, findet der Grossteil der Umweltbelastung bei der Herstellung im Ausland statt. Die Berücksichtigung des ganzen Lebenszyklus (auch Ökobilanz genannt) ist daher relevant: die systematische Analyse der Umweltauswirkungen von der Produktion bis zur Entsorgung der Elektrofahrzeuge, siehe Kap. 4.3) zeigt, dass teilweise die Vorteile der Elektrofahrzeuge gegenüber Verbrennungsmotorfahrzeuge nur gering sind. Der Einsatz von nicht-erneuerbarem Strom beim Betrieb der Elektrofahrzeuge ist der entscheidende Faktor ob ein Elektroauto bedeutend ökologischer ist als ein vergleichbares Fahrzeug mit Verbrennungsmotor.
- **Zusätzliche Belastung des Stromnetzes.** Die herkömmliche Mobilität baut auf einer unabhängigen Energieinfrastruktur, während sich die Elektromobilität auf das bereits heute intensiv genutzte Stromnetz abstützt. Dies kann punktuell zu einem Bedarf nach Kapazitätserweiterung führen. Dies wirkt sich unmittelbar auf die Netzkosten aus und kann dadurch die Endkundenstrompreise erhöhen. Im Kanton Thurgau erhöht sich die jährliche Höchstlast um bis zu 30 MW im Jahr 2035. Dies entspricht einer Zunahme von rund 10% (siehe Kapitel 5.6 Abbildung 32). Durch zeitversetztes oder gesteuertes Laden kann die Elektromobilität auch gleichzeitig selber zur Reduktion dieses Risikos beitragen.
- **Schnellladestationen.** Die Attraktivität von Schnellladestationen ist hoch und die Anschlussleistung dürfte sich stetig erhöhen. Anbieter versuchen öffentliche Ladestationen mit kurzen Ladezeiten und hoher Leistung anzubieten, um die Gunst der Kunden zu gewinnen. Die Folge: hohe Lastspitzen belasten die Verteilnetze. Zudem ist das Flexibilitätspotenzial von Schnellladestationen aufgrund der kürzeren Ladezeiten geringer, so dass sich dies negativ auf die Netzstabilität und auf die Integration erneuerbarer Energien auswirkt. Die teuren Investitionen in Schnellladestationen bergen zudem kurzfristig finanzielle Risiken, da im Kanton Thurgau mittelfristig nur rund 5 % aller Ladevorgängen Schnellladungen sein werden (vgl. Kap. 5.6).
- **Höhere Kosten für Ausgleichsenergie.** Die Elektromobilität benötigt für ihren Betrieb erneuerbaren Strom. Im Thurgau kann dies mit dem Ausbau der Photovoltaik erzielt werden (Wind, Geothermie und Biomasse spielen eine marginale Rolle). Der stärkere Ausbau an Photovoltaikanlagen zieht unweigerlich weitere Herausforderungen in der Ausgleichsenergie mit sich. So wird die tägliche Last- und Einspeiseprognose schwieriger. Prognoseabweichungen müssen über Ausgleichsenergie ausgeglichen werden. Die dadurch verursachten Kosten tragen nicht nur Elektrofahrzeughalter, sondern alle Stromkonsumenten.

- **Zunahme der Nachfrage nach kritischen Rohstoffen.** Einige kritische Rohstoffe, wie z.B. Kobalt, werden vorwiegend in Länder mit höchst fragwürdigen Arbeitsbedingungen und/oder durch Kinderarbeit abgebaut. Mit einer Knappheit der Lithium-Reserven ist auch unter extremen Annahmen in den nächsten vier Jahrzehnten nicht zu rechnen. Allerdings beschränken sich die Reserven auf wenige Länder. Auch wird beim Abbau von Lithium in bislang weitgehend unberührte Ökosysteme eingegriffen. Der Einfluss der Rohstoffherstellung kann wesentlich reduziert werden, wenn recyceltes Material verwendet wird. Dies ist bei einer starken Zunahme von Elektroautos sehr wahrscheinlich. Es sollte daher frühzeitig ein ausreichendes Recyclingsystem für die in Elektrofahrzeugen verwendeten Rohstoffen auch in Bezug zur Schweiz etabliert werden.
- **Kosten der Ladeinfrastruktur.** Wenn in einem Einfamilienhaus wenige bauliche Massnahmen nötig sind und nur eine Ladestation für den Eigenverbrauch installiert werden soll, fallen die Kosten nicht stark ins Gewicht. Eine einfache Ladestation kostet in der Regel einige hundert Franken. Sind jedoch teure Lademöglichkeiten notwendig, beispielsweise für Nutzer ohne eigene Garage oder Stellplatz und müssen die zusätzlichen Ladeinfrastrukturkosten vom Nutzer selbst finanziell getragen werden, so fallen die Kosten für die Ladeinfrastruktur deutlich ins Gewicht. Sind grössere bauliche Massnahmen notwendig, sind Elektrofahrzeuge nicht in jedem Fall wirtschaftlicher als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Bei Neubauten und Sanierungen ist es aus diesem Grund im Kanton Thurgau empfehlenswert, für eine in Zukunft mögliche Nutzung von Elektrofahrzeugen vor auszuplanen.
- **Betriebliche Herausforderungen.** Wenn die Anzahl Parkplätze für Elektrofahrzeuge nicht ausreichend wäre, dann würden sich die Nutzer über Wartezeiten ärgern. Andererseits ist eine Konkurrenz mit herkömmlichen Autos ebenfalls zu vermeiden (wenn beispielsweise zu viele Parkplätze für Elektrofahrzeuge reserviert wären). Die Planung der Ladeinfrastruktur im Kanton soll die Entstehung einer optimalen und kohärenten Ladeinfrastruktur ermöglichen.
- **Zukunftstauglichkeit bzgl. Steckertypen und Abrechnungssystemen** muss gewahrt bleiben. Ladestationen werden mindestens 10 Jahre in Betrieb sein, in dieser Zeit werden sich die Elektromobilität und die damit verbundenen Technologie stark weiterentwickeln. Bei der Installation von öffentlichen Ladestationen sollte gewährleistet sein, dass alle möglichen Elektrofahrzeuge laden können (Diskriminierungsfreiheit). Auf längere Frist wird sich in Europa wohl der CCS-Stecker durchsetzen, aktuell setzen die japanischen Hersteller aber noch auf CHAdeMO. In der Schweiz werden Schnellladestationen deshalb meist mit drei Steckern (Typ2, CCS, CHAdeMO) gebaut. Ob der CCS Stecker künftig auch bidirektional laden kann, ist zurzeit unklar.
- **Mehrverkehr / Ersatz von ÖV-Fahrten / Ersatz Langsamverkehr (Rebound-Effekte).** Werden Fahrzeuge effizienter, besteht die Gefahr, dass sie auch mehr gefahren werden. Einerseits wegen der als geringer wahrgenommenen Umweltbelastung, andererseits können die niedrigen Energiekosten Mehrverkehr generieren. Die Literatur geht davon aus,

dass 10 % bis 30 % der erhofften Energieeinsparungen im Bereich der Mobilität durch Rebound-Effekte kompensiert werden (de Haan et al. 2015). Der Kanton Thurgau weist eine überdurchschnittlich intensive Nutzung des MIV auf. Die Elektrifizierung des MIV hat daher ein grosses Effizienzpotenzial. Die Gefahr des Rebounds ist gleichzeitig aber gross. Zur Eindämmung des Rebounds ist es vor allem wichtig, dass Privilegien und Anreize für Elektrofahrzeuge nur temporär ausgestaltet werden; z.B. allenfalls bestehende Parkplätze am Bahnhof nur zeitlich befristet exklusiv den Elektrofahrzeugen zur Verfügung stellen, und keine zusätzliche Parkmöglichkeit schaffen. Weiter sollte der MIV gegenüber dem ÖV und dem Langsamverkehr nicht bevorzugt behandelt werden.

- **Ersatz des Fahrrads.** Elektrofahrzeuge könnten zu einer Erhöhung des Motorisierungsgrads beitragen, wenn Konsumenten bisher vom Kauf weiterer Motorfahrzeuge aus ökologischen Gründen abgesehen haben, bei Elektrofahrzeugen aber weniger Bedenken haben. Wenn Elektrofahrzeuge Fuss- und Fahrradverkehr ersetzen, ist die Gesamtbilanz aus Sicht Energiesystem und lokaler Verkehrsbelastung negativ.
- **Konkurrenzierung des ÖV.** Elektrofahrzeuge eignen sich aufgrund der reduzierten Reichweite für den kombinierten Einsatz mit dem ÖV. Dabei kann aber eine Konkurrenzierung mit dem öffentlichen Personen-Nahverkehr (ÖPNV) entstehen. So könnten Pendler den Weg zum Bahnhof statt wie bisher mit dem Postbus neu mit dem Elektroauto inkl. reserviertem Elektro-Parkplatz zurücklegen.
- **«Sicherheitsrisiken» beim Umgang mit Elektroautos.** Um ausreichend hohe elektrische Leistung für den Fahrzeugbetrieb sicherzustellen, muss die Energie im Fahrzeug in Hochvoltbatterien oder Hochvoltkondensatoren (Supercaps) gespeichert werden. Bei Wartungs- und Unterhaltsarbeiten an Hybrid- und Elektrofahrzeugen stellt die hohe Spannung des Energiespeichers ein erhebliches Gefährdungspotenzial dar. Auch für Rettungs- und Bergungskräfte sind Einsätze nach Unfällen an solchen Fahrzeugen nicht ungefährlich. Wenn bei einem Unfall das Chassis eines Elektrofahrzeugs verformt wird, besteht die Möglichkeit, dass die Batteriezelle derart deformiert ist, dass es (zeitverzögert) zu einem Kurzschluss und Brand kommt. Hochvoltbatterien und -kondensatoren sind nicht abschaltbare Energiespeicher und stellen bei unsachgemäßem Umgang grosse Sicherheitsrisiken dar (EKAS 2015). Die Sicherheitsbedenken sollen künftig abnehmen: neue und wenig kritische Batterie-Zellchemien befinden sich bereits in Entwicklung und werden in absehbarer Zeit auf dem Markt erscheinen (VDE 2017).
- **Sozioökonomische Trends.** Wirtschaftswachstum, Bevölkerungswachstum und die steigende Nachfrage nach (Freizeit-)Mobilität unter anderem auch von immer aktiveren Senioren stehen im Zielkonflikt einer nachhaltigen Mobilität. Bei den Arbeitstätigen führt die weitere Spezialisierung dazu, dass immer längere Arbeitswege (im Sinn von Fahrleistung) in Kauf genommen werden.

- **Energieversorger.** Die Elektromobilität macht kurzfristig noch kein grosses Volumen aus. Das bedeutet, dass die neuen Geschäftsmodelle eher mittelfristig rentabel sein werden und dass Vorinvestitionen notwendig sind. Zudem sind folgende Risiken damit verbunden:
 - Entwicklung von IT-Konzepten (Know-how nötig, kostenintensiv)
 - Markteintritt von Konkurrenten (ICT- oder Mobilitätsanbieter)
 - Fehlende technische Standards für Ladesäulen und Stecker sowie konkurrenzierende, nicht interoperable Abrechnungssysteme
 - Die Mobilität ist schnelllebig als die Verteilnetze
 - Nicht rechtzeitiges Erreichen der für die Rentabilität der Vorabinvestitionen benötigten Volumina, was zum Ausbleiben von Skaleneffekten führen würde
 - Trade off zwischen «gratis» aufladen als Förderung der Elektromobilität und Erhöhung Stromabsatz.
 - Mehr als 100 Elektrizitätsversorgungsunternehmen verteilen den Strom im Kanton Thurgau an die Endverbraucher. Die neuen Herausforderungen und Geschäftsmodelle im Bereich der Elektromobilität können durch gegenseitigen Austausch und Kooperation zwischen den zahlreichen Energieversorger erfolgsversprechender angegangen werden.

6.3 Qualitative Abschätzung volkswirtschaftlicher Effekte

Nachfolgend werden ausgewählte Wirkungsketten der Elektromobilität im Thurgau aufgezeigt und mögliche volkswirtschaftliche Effekte qualitativ daraus abgeleitet. Es sind bisher aber keine umfassenden Studien zu gesamtwirtschaftlichen Effekten der Elektromobilität in der Schweiz durchgeführt worden.

- **Einnahmenausfälle bei der Mineralölsteuer, Vergünstigungen bei der Motorfahrzeugsteuer.** Da auf Strom keine Mineralölsteuern bezahlt werden müssen, wird das heutige Finanzierungssystem der nationalen und kantonalen Strasseninfrastruktur langfristig in Frage gestellt. Die Elektromobilität verstärkt diese Entwicklung, weil Elektrofahrzeuge Steuervorteile geniessen und es technisch sehr aufwändig ist, analog zu fossilen Treibstoffen die benötigte Strommenge separat zu besteuern. Zur Kompensation der Mineralölsteuer-Ausfälle plant der Bund die Einführung einer (wahrscheinlich pauschalen) Abgabe auf Elektrofahrzeuge. Zurzeit sind noch keine Details bekannt. Gesamtwirtschaftlich könnte eine tiefere Steuerbelastung positive Effekte entfalten. Werden staatliche Mindereinnahmen (z.B. durch steuerliche Anreize für die Elektromobilität) an einer anderen Stelle eingefordert, entstehen wiederum gesamtwirtschaftliche Kosten.
- **Strukturwandel der automobilen Wertschöpfungskette.** Der Wandel zur Elektromobilität geht mit einer Verschiebung innerhalb der Wertschöpfungskette und einem Wandel der Arbeitsplätze einher. Es kann erwartet werden, dass eine Reihe an neuen Arbeitsplätzen in der Energiewirtschaft und durch neue Dienstleistungen [Mechatronik, Ladestationen,

Abrechnungssysteme] entstehen. Wie sich die Arbeitsplätze in anderen Branchen in Zeiten zunehmender Elektromobilität entwickeln, hängt stark von der Durchdringung mit alternativen Technologien, dem Produktivitätswachstum der Automobilindustrie und vom Anteil an importierten Vorleistungen für die Produktion von Elektrofahrzeugen ab (Fraunhofer ISI 2017). Den grössten Effekt auf die Wertschöpfung hat dabei der Wegfall oder Zugewinn der Produktion des gesamten Fahrzeuges. Zusätzlich sinkt die Wertschöpfung bei der Herstellung von Kraftstoffen und die Ausgaben für den Import von Rohöl werden sinken. Dies wird durch die heimische Stromherstellung ersetzt und könnte einen nachhaltigen Wachstumsimpuls für die lokale Energiewirtschaft bedeuten. Tankstellen werden vermehrt durch Ladestationen ersetzt, aber weiterhin für PHEVs benötigt. Da Elektrofahrzeuge weniger Wartung benötigen als ICEs, wird ein Stellenabbau in diesem Bereich erwartet. Schweizer oder Thurgauer Unternehmen sind zurzeit kaum am Auf- und Ausbau der Infrastruktur beteiligt. Ohne eigenständige Autoindustrie scheint auch die Elektrifizierung des Antriebs kaum ein Thema zu sein in der hiesigen Industrie. Einige Schweizer Firmen profitieren aber durchaus von der zunehmenden Elektromobilität. Wenn es darum geht, unterschiedliche Leichtbauteile zu verbinden, die man nicht verschweissen, sondern nur kleben kann (z.B. Kohlefaser) profitiert beispielsweise der Konzern Sika; weiter werden Einzelteile für Tesla in der Schweiz produziert. Im Bereich Dienstleistungen und IT Systeme kann die Schweiz als innovativer Standort zusätzlich einen signifikanten Beitrag leisten. Von den Preisreduktionen durch Skaleneffekte im Batteriebereich profitieren zudem Unternehmen wie ABB, die stationäre Batterien herstellen.

- **Investitionen in die Infrastruktur.** Die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität hat weitreichende gesamtwirtschaftliche Effekte. Investitionen in die Ökologisierung der Gesellschaft können [...] positive Wachstumseffekte haben (Fraunhofer ISI 2017). Mit zunehmender Elektromobilität sind möglicherweise netzseitige Anpassungen im Verteilernetz notwendig. Dies können Netzverstärkungen oder der Zubau von Speichern sein. Diese Investitionen in die Netzinfrastuktur haben expansive Effekte, wobei dadurch auch die Endkunden durch höhere Netznutzungskosten belastet werden. Eine vorausschauende Netzplanung unter Berücksichtigung der zunehmenden Elektromobilität kann Fehlinvestition der Netzinfrastuktur und damit gesamtwirtschaftliche Kosten vermeiden.
- **Ausbau der erneuerbaren Energien.** Die Marktdurchdringung der Elektromobilität könnte den Ausbau der Photovoltaik im Thurgau verstärken. Die Kombination Elektromobilität und Photovoltaik verbessert die Integration der lokal produzierten erneuerbaren Energie. Bei der Photovoltaik fällt rund 40 % der Wertschöpfung in der Region an, weitere rund 30% in der Schweiz (BFE / EBP 2011). An einem stärkeren Ausbau der Photovoltaik in Folge der Elektromobilität profitieren folglich lokale Anbieter, Planer und Installateure. Der Eigentümer einer PV-Anlage und eines Elektrofahrzeugs profitiert durch einen höheren Eigenbedarf und der Netzanbieter kann möglicherweise auf nötige Netzverstärkungen verzichten.

- **Höherer Stromabsatz.** Die Elektromobilität steigert den Strombedarf des Verkehrs im Thurgau. Gleichzeitig sinkt der Absatz von fossilen Treibstoffen. Energieversorger profitieren vom Mehrabsatz. Wird hauptsächlich lokal produzierte, erneuerbare Energie für die Elektromobilität eingesetzt, so hat dies positive Auswirkungen auf die regionale Wertschöpfung. Die sinkenden Absätze der fossilen Treibstoffe wirken sich hingegen negativ auf die Wertschöpfung aus.
- **Garagisten.** Die Käuferschaft von Elektrofahrzeugen weisen in der Anfangsphase (Early Adopter) eine hohe Zahlungsbereitschaft vor. Elektrofahrzeuge sind zudem häufig teurer als vergleichbare Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Dies kann sich kurzfristig positiv auf die Umsätze von Garagisten auswirken. Elektrofahrzeuge sind hingegen weniger wartungs- und reparaturintensiv als Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Dies kann sich wiederum negativ auf die Umsätze auswirken. In den Fokus rücken vermehrt Serviceleistungen im Bereich der Mechatronik, Elektrotechnik und Softwaretechnik. Im Vergleich zu mechanischen Reparaturarbeiten können diese tendenziell teurer angeboten werden.

7. Massnahmenplan

7.1 Relevante Handlungsoptionen

Die Massnahmen in der Long List sind hinsichtlich ihres Potenzials der Zielerreichung (hoch, mittel, niedrig), sowie der Spezifizierung des Zeithorizonts (kurzfristig [Umsetzung innerhalb 1 bis 2 Jahre], mittelfristig [innerhalb 5 Jahre], langfristig [innerhalb 15 Jahre]) charakterisiert. Die identifizierten Massnahmen sind in den folgenden Kategorien zu verorten:

- Marktbasierte Massnahmen (Förderbeiträge, ökol. Steuern)
- Regulierung (Normen+Standards)
- Nicht monetäre Anreize
- Kooperation und Unterstützung von Dritten
- Strategie und Planung
- Information und Beratung
- Fortbildung
- Pilot- und Demonstrationsprojekte

Die kurz- und mittelfristigen Massnahmen sind als Impulsgeber für eine schnellere Marktdurchdringung der Elektromobilität im Kanton Thurgau gedacht und decken ein breites Spektrum an Themen ab. Insbesondere sind Zielgruppen adressiert, welche als Multiplikatoren gelten: Garagisten, EVUs, Arbeitgeber, Parkhäuser-Betreiber, Planer und Pendler. In den letzten Jahren ist die Absicht künftiger Neuwagenkäufer, ein rein batterieelektrisches Auto zu kaufen, gestiegen von 0 % aller Neuwagenkäufer (2014) auf 8 % (2016; siehe EBP 2016c). Für Plug-in-Hybride/Range-Extender stieg der Anteil von 0 % auf 6 %. Die konkrete Kaufentscheidung zu einem Elektrofahrzeug wird aber auch zu einem beachtlichen Teil durch den Autoverkäufer beeinflusst. Da der Ertrag aus dem Werkstattgeschäft in den Folgejahren bei Elektroautos kleiner ist (Elektroautos weisen um mind. 40 % geringere Wartungs- und Unterhaltskosten auf) und die Gewinnmargen für Elektrofahrzeuge eher unterdurchschnittlich, haben Autoverkäufer aktuell oft Vorbehalte gegenüber Elektroautos. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Hemmnisse der Garagisten abzubauen und sie zu motivieren resp. auszubilden. Weiter wurden Massnahmen zur einer optimalen Integration von erneuerbaren Energien angedacht, mit besonderem Fokus auf das *work charging* und *POI charging*. So spielen in diesem Zusammenhang Arbeitgeber, Pendler, Energieversorger und Parkhaus-Betreiber eine wichtige Rolle. Die Sicherstellung des Einsatzes von Ökostrom ist eine Grundbedingung, die im Rahmen von mehreren Massnahmen berücksichtigt wird. Schliesslich sind innovative Ansätze, die noch unwirtschaftlich aber gesamtsystemisch grosses Potenzial ausweisen, im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsprojekte zu testen. Dadurch kann sich der Kanton Thurgau als Pionier profilieren und eine entscheidende Rolle in der Entwicklung der Elektromobilität und von einem nachhaltigen Thurgauer Energie- und Verkehrssystem spielen.

7.2 Long List: Übersicht über die Massnahmen

In der nachfolgenden Tabelle werden alle identifizierten Massnahmen dargestellt. Eine detailliertere Auflistung der Massnahmen ist im Anhang A2 aufgeführt. Die blau eingefärbten Massnahmen wurden für die Shortlist ausgewählt und werden in Kapitel 7.4 weiter vertieft.

Umsetzungshorizont				
		kurzfristig	mittelfristig	Langfristig
Potenzial zur Zielerreichung	Hoch	M2: Direkte Kaufprämien	M7: Verschärfung CO2-Vorschriften	NM2: Zonen für E-Mob. (Diesel-Verbot)
		R1: Standards bei Neu- und Umbauten	KU4: Einführung Leistungspreis auf Strom bei Klein-kunden	SP3: Planung Rad-schellwege
		R2: Vorschriften Anzahl Ladestationen bei öff. PP	SP2: Masterplan/ Roadmap	
		R3: Vorgaben Ladestationen bei Parkhäusern	V3: Elektrifizierung öff. Parkhäuser	
		NM3: Benutzung Busspuren		
		KU3: Förderung beim Arbeitgeber		
		SP1: Planung Ladeinfrastruktur		
		IB6: Leitfaden Ladestationen am Arbeitsplatz		
		PD1: Elektrifizierung einiger Park and Ride PP		
	Mittel	M1: Anpassung Motorfahrzeugsteuer	M6: Kant. Einkommenssteuer: Abzugsfähigkeit	
		M3: Befristete Befreiung MFZ-Steuer	V2: Ladestationen bei Amts-bauten	
		M8: Förderung Batteriespeicher	PD2: Elektrogaragen	
		R4: Mindestanforderungen an Ladestationen	PD5: Modellregion inkl. Smartgrid	
		NM1: Reservierte Parkplätze	PD6: Ladeinfrastruktur im öff. Strassenraum	
		IB1: Sensibilisierung Garagisten		
		IB3: Broschüre für Eigentümer und Mieter		
		IB4: Erstellung Webseite		
		IB5: Hotline Beratungsangebote		
		IB7: Informationsanlass Flottenbetreiber		
		IB8: Informationsanlass Planer, Architekten		
		V1: Einsatz kant. Verwaltung		
		V4: Fahrschulen		
		PD3: Förderung E-Taxis und Schnellladeinfrastruktur		
	Tief	M4: Förderung Netzverstärkungen	PD4: Einsatz Elektrobusse	
		M5: Reduktion Stromtarif bei tiefer Ladeleistung	PD7: Elektrifizierung Tank-stellen-netz	
		KU1: Förderung Sharing-Angebote		
		KU2: Unterstützung touristische Angebote		
		IB2: kantonaler Erlebnistag		

Tabelle 10: Überblick der Massnahmen der Long List. M: Marktbasierte Massnahmen | R: Regulierung | NM: Nicht monetäre Anreize | KU: Kooperation und Unterstützung von Dritten | SP: Strategie und Planung | IB: Information und Beratung | V: Vorbildfunktion | PD: Pilot- und Demonstrationsprojekte

7.3 Bewertung der Massnahmen

Die in Kapitel 7.2 aufgeführten Massnahmen wurden im Workshop in Form eines «World Café» von der Begleitgruppe diskutiert, erweitert und bewertet. Jeder Teilnehmer der Begleitgruppe konnte vier Massnahmen festlegen, die hinsichtlich der Realisierbarkeit und Relevanz am besten abschneiden. Die entsprechenden Ergebnisse sind in den Tabellen in Anhang A2 (rechte Spalte) festgehalten. Besonders hohe Gewichtung haben dabei die Handlungsfelder «Strategie und Planung (15 Punkte)», «Information und Beratung» (11 Punkte), «Regulierung» (10 Punkte) und «Marktbasierte Massnahmen» (10 Punkte) erhalten.

Durch die Diskussion kamen weitere Massnahmen hinzu, unter anderem die Förderung von stationären Batterien in Verbindung mit PV-Anlagen, der Einbezug von Fahrschulen in die Elektromobilität – vor allem hinsichtlich Regulierungen (Gleichsetzung des Elektromobils mit dem Automatikwagen) – und weitere konkrete Vorschläge zu den «Marktbasierten Massnahmen». Bei «Information und Beratung» wurde vor allem die Bedeutung von Garagisten bei der Kaufentscheidung betont. Beim Handlungsfeld «Strategie und Planung» wurde die Wichtigkeit von Partnerschaften mit EKT betont sowie ein klares Anforderungsprofil für Ladestationen gewünscht. Wenig Potenzial wurde hingegen bei den «Nicht-monetären Anreizen» und bei den «Vorbildfunktionen» gesehen.

Die Massnahmen, die bei der Bewertung in den einzelnen Handlungsfeldern mindestens zwei Punkte erreicht haben, werden in der Short List im folgenden Kapitel konkretisiert. Einzig die Anpassung der Motorfahrzeugsteuer wurde trotz lediglich einem Punkt mit in die Short List aufgenommen. Diese Massnahme ist ein einfaches Werkzeug, um die steuerlichen Unterschiede zwischen Verbrennungs- und Elektrofahrzeugen auszugleichen. Oft wird diese Massnahme schon als selbstverständlich wahrgenommen, und wurde daher nicht hoch gewertet.

Die Begleitgruppe hat nach der Auswahl der weiter zu verfolgenden Massnahmen (so genannte Short List) diese anhand der fünf Kriterien Realisierbarkeit, volkswirtschaftliche Effekte, Kosten, Akzeptanz und Wirkung diskutiert und eingeschätzt (Abbildung 43). Es ist zu bemerken, dass die Begleitgruppe die Bewertung aufgrund von Erfahrungen und nicht wissenschaftlich fundierten Grundlagen durchgeführt hat.

Wenn nicht anders spezifiziert, gehen die im folgenden Kapitel beschriebenen Massnahmen vom Prinzip der Technologieneutralität aus, ohne im vorneherein festgelegte Differenzierung zwischen Antriebskonzepten (BEV, PHEV, REEV und FCEV).

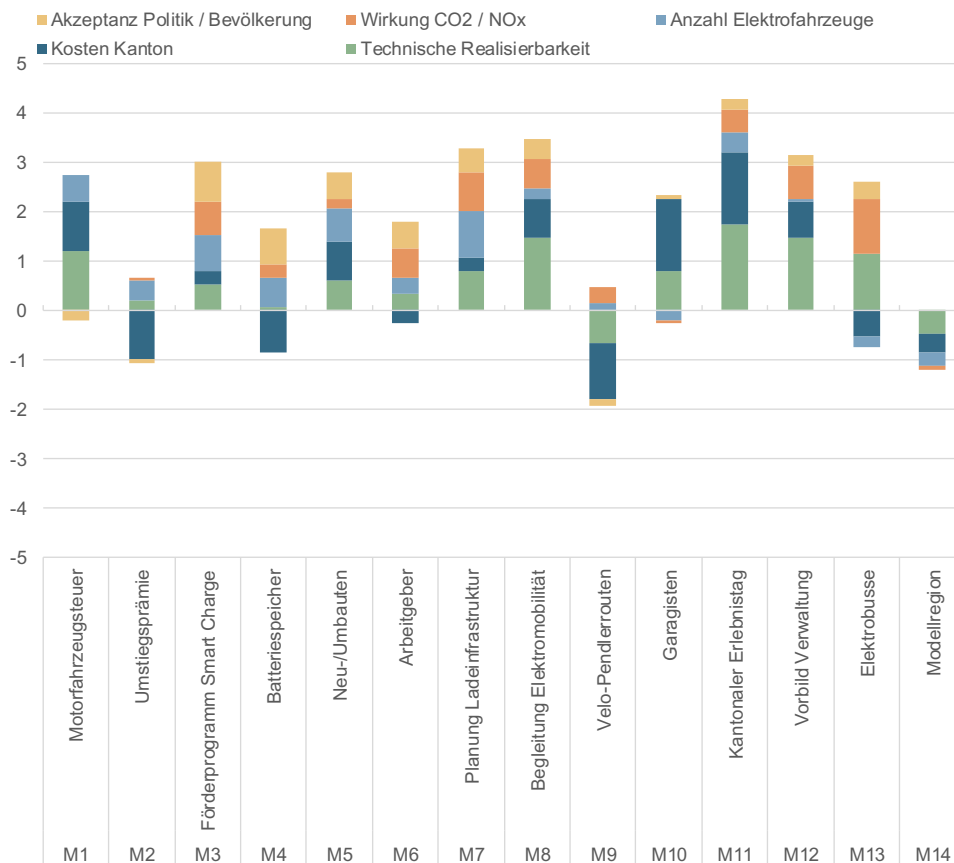
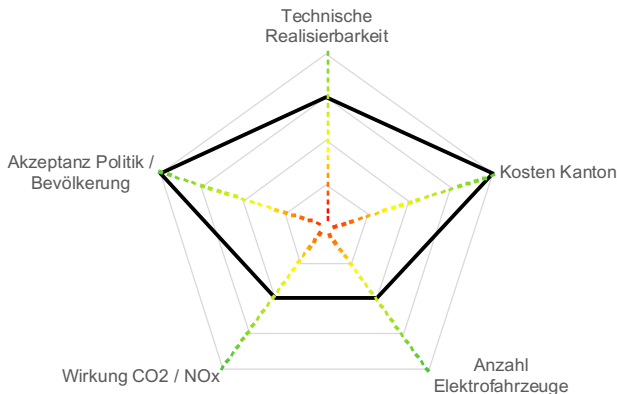


Abbildung 43: Massnahmenbeurteilung durch die Begleitgruppe im 2. Workshop. Jedes Bewertungskriterium kann auf einer fünfteiligen Skala Werte zwischen -2 und 2 annehmen, die kumulierten Resultate je Massnahme entsprechend Werte zwischen -10 und 10.

Die folgenden Kriterien werden jeweils im Vergleich zu den anderen Massnahmen aus der Shortlist abgeschätzt. Je grösser der umrahmte Bereich, desto positiver wirkt sich die Massnahme auf die Marktdurchdringung der Elektromobilität aus. Je weiter aussen im Spinnendiagramm ein Kriterium bewertet wird, desto besser für die Elektromobilität.

- *Technische Realisierbarkeit:* Das Kriterium schätzt die Umsetzung der Massnahme im Hinblick auf technische Herausforderungen, anzupassende gesetzliche Grundlagen, oder Mitwirkung verschiedener Akteure, ab.
- *Kosten Kanton:* Das Kriterium bezeichnet die direkt durch die Umsetzung der Massnahmen entstehenden Kosten für den Kanton.
- *Anzahl Elektrofahrzeuge:* Das Kriterium schätzt ab, wie stark sich die Umsetzung der Massnahme auf die Anzahl angemeldeter Elektrofahrzeuge im Thurgau auswirkt.
- *Wirkung CO₂ / NO_x:* Das Kriterium schätzt ab, wie stark sich die Umsetzung der Massnahme auf die Emissionseinsparung von CO₂ und NO_x des motorisierten Individualverkehrs auswirkt. Eine Quantifizierung wird nur für die CO₂-Einsparungen durchgeführt. Dabei werden direkte und indirekte Einspareffekte berücksichtigt und top-down geschätzt.
- *Akzeptanz Politik / Bevölkerung:* Das Kriterium schätzt die Akzeptanz der möglichen Umsetzung der Massnahme in Politik und Bevölkerung ab.

7.4 Short List

MASSNAHME 1	A) ANPASSUNG MOTORFAHRZEUGSTEUER FÜR PERSONENWAGEN B) ANPASSUNG MOTORFAHRZEUGSTEUER FÜR NUTZFAHRZEUGE
Situation im Kanton Thurgau	Im Kanton Thurgau wird die Verkehrssteuer anhand des Hubraums des Fahrzeugs berechnet. Zur Ökologisierung der Verkehrssteuer gibt es zusätzlich ein Bonus-Malus-System auf Basis der Energieetikette für Neuwagen. Energieeffiziente Fahrzeuge können einen Rabatt von bis zu 50% für 5 Jahre (inkl. Inverkehrsetzungsjahr) erhalten. Personenwagen mit elektrischem Antrieb haben keinen Hubraum; sie bezahlen im Kanton Thurgau pauschal 48 Fr. pro Jahr (mit Rabatt), danach 96 Fr.
Beschreibung der Massnahme	Der Kanton überprüft die aktuelle Motorfahrzeugsteuer im Hinblick auf die zunehmende Marktdurchdringung der Elektromobilität und passt diese kostenneutral an. Es soll geklärt werden, ob künftig mit einer Minderung der Erträge aus der Verkehrssteuer gerechnet werden muss. Zudem sind die kausalen Treiber zu identifizieren. Handlungsfelder und Ansätze zur langfristigen Sicherung der Erträge sollen aufgezeigt werden. Dies können z.B. eine periodische Anpassung des Bonus-Malus-Systems, ein Konzept für das Phasing-Out der Steuererabatte für Elektrofahrzeuge sowie ein Konzept für die äquivalente Besteuerung der Elektrofahrzeuge sein.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Langfristige Sicherung der Finanzierung der Strassenverkehrsrechnung durch Steuereinnahmen aus dem Strassenverkehr – Steuervorteile wirken als zusätzliches Kaufargument für Elektrofahrzeuge
Vermeidung Zielkonflikte	Die Massnahme sichert den Ertrag der Verkehrssteuer auf technologieneutrale Art, diese Massnahme weist keine Zielkonflikte auf. Rabatte sollten zeitlich begrenzt sein, um finanzielle Einbussen zu vermeiden und um Mitnahmeeffekte zu begrenzen. Alternativ zu einer Begrenzung z.B. auf fünf Jahre kann die Begrenzung der Massnahme auch nach Marktanteil, Fördervolumen oder mit Phasing-out-Strategien und Zwischenschritten erfolgen.
Zuständigkeit	Strassenverkehrsamt
Zielgruppe	Private, Unternehmen
Handlungsfeld	Marktbasierte Massnahmen (Förderbeiträge, ökol. Steuern)
Expertenbewertung der Massnahme durch EBP	 Technische Realisierbarkeit: Die Verkehrssteuer anzupassen ist technisch problemlos möglich und mit einem begrenzten administrativen Aufwand verbunden. Kosten Kanton Thurgau: Mit der kostenneutral ausgerichteten Änderung der Verkehrssteuer entstehen für den Kanton keine Mehrkosten. Anzahl Elektrofahrzeuge: Der direkte Effekt auf die Anzahl Elektrofahrzeuge ist bedeutend, da ein 100%-Rabatt einen attraktiven Anreiz zum Kauf eines Elektrofahrzeugs darstellen würde. Wirkung CO₂ / NO_x: Der direkte Effekt auf die Emissionen ist gross Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Die Akzeptanz ist hoch, da die Massnahme kostenneutral und technisch einfach umgesetzt werden kann.

**Quantifizierung der
Massnahmen**

Einsparung fossiler Treibstoffe: Kumulierte Wirkung bis 2035: 13 Mio. Liter BÄ

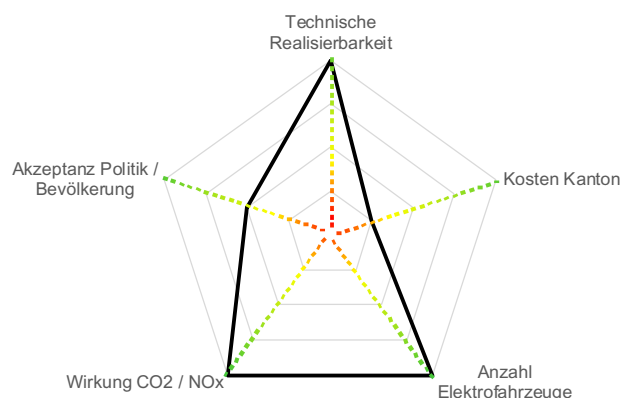
Einsparung CO₂: Kumulierte Wirkung bis 2035: 29 kt CO₂.

Einsparung Endenergie: Kumulierte Wirkung bis 2035: 86 GWh

Kosten: Einmalige Kosten 20–50 kFr. für die Umsetzung (zzgl. Betriebliche Anpassungskosten im Strassenverkehrsamt), die Anpassung der Motorfahrzeugsteuer wäre ertragsneutral umzusetzen.

MASSNAHME 2	ZEITLICH BEGRENZTE UMSTIEGSPRÄMIE FÜR A) ELEKTROFAHRZEUGE B) ELEKTRISCHE LEICHTE NUTZFAHRZEUGE (LNF) C) E-CARGO-BIKES
Situation im Kanton Thurgau	Der Kauf von Elektrofahrzeugen, elektrischen LNF oder E-Cargo-Bikes wird zurzeit im Kanton Thurgau nicht finanziell über eine Kaufprämie unterstützt. Im Kanton Thurgau besteht das Förderprogramm Energie. Es verfolgt die Sicherstellung einer volkswirtschaftlich optimalen Energieversorgung und die Reduktion des CO₂-Ausstosses sowie die Minderung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen. Das Förderprogramm Energie umfasst aktuell die Bereiche Gebäudesanierung, Neubauten, Wärmeerzeugung, Solaranlagen, Energieeffizienz sowie Information und Beratung.
Beschreibung der Massnahme	Das Förderprogramm Energie wird um den Bereich «Elektromobilität» erweitert. In diesem Bereich wird der Kauf von elektrisch angetriebene Personenwagen, LNF und E-Cargo-Bikes über eine Kaufprämie finanziell gefördert, sofern gleichzeitig beim Energieversorger 100% erneuerbarer Strom (Ökostrom) bezogen oder selber Solarstrom erzeugt wird. Die Förderung soll zeitlich begrenzt sein (beispielsweise bis 2025). Die Umsetzung erfolgt innerhalb des bestehenden Energieförderprogramms. Für die Umsetzung ist die Zusammenarbeit mit Energieversorgern zentral (Klärung des Nachweises hinsichtlich Ökostrom). Die Höhe der Kaufprämie ist zeitlich zu begrenzen und auf einen Neuwagenhöchstpreis (z.B. Begrenzung auf 50k Neupreis bei Personenwagen) zu limitieren. Weiter wird geprüft, ob die Kopplung des Ersatzes des alten Fahrzeugs mit der Umstiegsprämie möglich ist. Für normale E-Bikes ist keine Kaufprämie vorgesehen, da diese im Gegensatz zu E-Cargo-Bikes, nur den Personentransport ohne Last ersetzen können.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Direkte Anregung beim Kaufentscheid – Überwindung des Preisunterschiedes bei der Anschaffung – Erleichterung im Bereich Firmenfahrzeuge
Vermeidung Zielkonflikte	Zur Vermeidung von Rebound-Effekten im Bereich Personenwagen sollte als Förderbedingungen eine Preisobergrenze festgelegt werden (z.B. Fr. 50k Neupreis bei Personenwagen). Die Bedingung für einen Förderbeitrag sollte immer der Bezug von Ökostrom sein.
Verortung/ Zuständigkeit	Abteilung Energie, (evtl. EVUs, Gemeinden)
Zielgruppe	Private Autokäufer und Unternehmen
Handlungsfeld	Marktbasierte Massnahmen (Subventionen, ökol. Steuern)

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



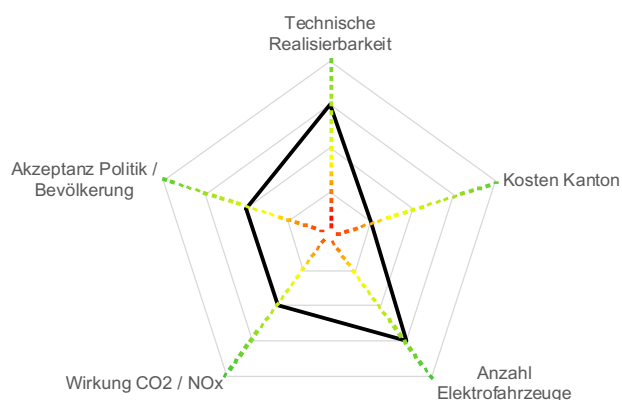
Technische Realisierbarkeit: Das Förderprogramm Energie im Kanton Thurgau besteht bereits und wird laufend überarbeitet. Die technische Umsetzung ist deshalb problemlos möglich.

Kosten Kanton Thurgau: Da pro gefördertem Fahrzeugersatz Kosten anfallen, bewegen sich die Kosten im oberen Drittel.

	Anzahl Elektrofahrzeuge: Der direkte Effekt auf die Anzahl Elektrofahrzeuge ist hoch, wie Studien aus anderen Ländern belegen. Es ist eine der wirkungsvollsten Massnahmen. Wirkung CO₂ / NO_x: Der direkte Effekt auf die Emissionen ist gross. Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Die Akzeptanz ist hoch, da alle Autobesitzer, die ein neues Auto kaufen, potenziell die Möglichkeit haben, vom Förderprogramm zu profitieren.
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: Kumulierte Wirkung bis 2035: 50 Mio. Liter BÄ Einsparung CO₂: Kumulierte Wirkung bis 2035: 117 kt CO₂ Einsparung Endenergie: Kumulierte Wirkung bis 2035: 344 GWh Kosten: 3–5 kFr. / Auto bis 2025

MASSNAHME 3	FÖRDERPROGRAMM SMART CHARGE
Situation im Kanton Thurgau	Im Kanton Thurgau besteht das Förderprogramm Energie. Es verfolgt die Sicherstellung einer volkswirtschaftlich optimalen Energieversorgung und die Reduktion des CO ₂ -Ausstosses sowie die Minderung der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen. Das Förderprogramm Energie umfasst aktuell die Bereiche Gebäudesanierung, Neubauten, Wärmeerzeugung, Solaranlagen, Energieeffizienz sowie Information und Beratung.
Beschreibung der Massnahme	Bei der jährlichen Überarbeitung des Förderprogramms Energie werden zukünftig die Themen Stromnetze und Elektromobilität mitberücksichtigt. Es werden Ladestationen (vor allem am Arbeitsort und für zu Hause) gefördert, welche langsames und gesteuertes (intelligentes) Laden (=3.7 kW) anbieten und daher netzschonend sind. Zudem werden NE-7-Netzverstärkungen finanziert, damit das lokale Verteilnetz bereit ist für die mögliche Zusatzbelastung durch die Elektromobilität. Netzverstärkungen, die durch den Anschluss neuer Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nötig werden, werden gestützt auf eine Bewilligung der ElCom durch die Swissgrid vergütet. Ob in Zukunft Netzverstärkungen für Ladeinfrastruktur ebenfalls durch die Swissgrid vergütet werden, sollte abgeklärt werden. Die Umsetzung der Massnahme erfolgt innerhalb des bestehenden Energieförderprogramms.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	Durch die Förderung des «Langsamladens» wird eine Reduktion des Netzausbaubedarfs erzielt und die Möglichkeit der Integration dezentraler erneuerbarer Energien erhöht.
Vermeidung Zielkonflikte	Die Förderung von Ladestationen z.B. am Arbeitsplatz darf nicht dazu führen, dass mehr Leute mit dem Privatfahrzeug zur Arbeit fahren. Der Modalsplit MIV/ÖV darf sich nicht erhöhen. Beim Beispiel des Arbeitswegs wäre eine mögliche Gegenmassnahme, dass der Arbeitgeber im Rahmen des Mobilitätskonzepts sicherzustellen hat, dass die Mitarbeiter den ÖV oder den Langsamverkehr wenn möglich bevorzugen, u.a. mit Einführung von ÖV-Bonus o.ä.
Verortung/ Zuständigkeit	Abteilung Energie, EVU
Zielgruppe	Private, Unternehmen, Verteilnetzbetreiber
Handlungsfeld	Marktbasierte Massnahmen (Subventionen, ökol. Steuern)

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



Technische Realisierbarkeit: Das Förderprogramm Energie im Kanton Thurgau besteht bereits und wird jährlich angepasst. Der künftige Einbezug der Themen Stromnetze und Elektromobilität passt gut zur energiepolitischen Strategie des Kantons.

Kosten im Kanton Thurgau: Die Gesamtfördersumme des Förderprogramms Energie muss bei einer feinen Neuausrichtung nicht erhöht werden. Bisher stammten rund 50 % der Gelder vom Bund.

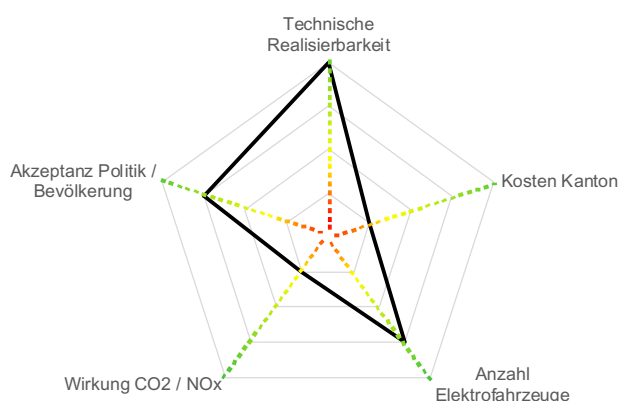
Anzahl Elektrofahrzeuge: Der Effekt ist bedeutend, da durch die Förderung von Ladestationen indirekt die Anzahl Elektrofahrzeuge erhöht wird.

Wirkung CO₂ / NO_x: Durch die Förderung von *home* und *workplace charging* Ladestationen mit geringer Leistung (=3.7 kW) wird der Ausbau von «Hochleistungsladestationen» reduziert und die Stromnetze entlastet. Gleichzeitig erhöht sich die Möglichkeit zur Nutzung dezentraler erneuerbarer Energien.

Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Das Förderprogramm Energie ist etabliert und akzeptiert.	
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: Kumulierte Wirkung bis 2035: 38 Mio. Liter BÄ
	Einsparung CO₂: Kumulierte Wirkung bis 2035: 88 kt CO ₂
	Einsparung Endenergie: Kumulierte Wirkung bis 2035: 258 GWh
	Kosten: 22'500 kFr. bis 2025 (Annahme: 500 Fr. pro Ladestation, Förderung von 7'000 Ladestationen, 19'000 kFr. für Investitionen ins Verteilnetz).

MASSNAHME 4	BATTERIESPEICHER FÜR DIE ELEKTROMOBILITÄT
Situation im Kanton Thurgau	Aktuell werden im Kanton Thurgau Batteriespeicher für Solarstromanlagen gefördert. Dies erhöht den Eigenverbrauch, steigert die Integrationsmöglichkeit dezentraler erneuerbarer Energien und kann die Stromnetze entlasten. Die Förderung von Batteriespeicher ist zurzeit nur in Verbindung mit Solarstromanlagen möglich.
Beschreibung der Massnahme	Zukünftig soll die Förderung von Batteriespeichern auch im Zusammenhang mit Elektromobilität-Ladeinfrastruktur möglich sein. In Verbindung mit Ladestationen für Elektrofahrzeuge ist der Einsatz von stationären Batterien sinnvoll, da die Anschlussleistung klein sein kann (=3.7 kW) während die Ausspeisung mit hoher Leistung (Schnellladen) trotzdem möglich ist. Dies erhöht die Attraktivität der Elektromobilität und kann den Netzausbaubedarf vermindern. Gleichzeitig kann die lokal produzierte erneuerbare Energie besser für die der Elektromobilität genutzt werden.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Elektrofahrzeuge profitieren vom «schnellen» Laden aus der Batterie ohne dass eine Netzverstärkung nötig ist. – Die Netze werden durch die Batteriespeicher entlastet, womit eine Reduktion des Netzausbaubedarfs erzielt wird. – Durch die Zwischenspeicherung wird die Integration dezentraler erneuerbarer Energien verbessert.
Vermeidung Zielkonflikte	Bei der Zwischenspeicherung von Strom entstehen Verluste. Die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom ist der Speicherung daher immer vorzuziehen. Gleichzeitig beanspruchen Batteriespeicher viele natürliche und finanzielle Ressourcen. Beim Einsatz von Speichern für die Elektromobilität sinkt die Flächeneffizienz des MIV, da die Speicher zusätzlich Platz benötigen.
Verortung/ Zuständigkeit	Abteilung Energie, EVU
Zielgruppe	Eigentümer und/oder Betreiber von Ladestationen (Private/Unternehmen)
Handlungsfeld	Marktbasierte Massnahmen (Subventionen, ökol. Steuern)

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



Technische Realisierbarkeit: Das Förderprogramm Energie im Kanton Thurgau besteht bereits und wird jährlich angepasst. Die Förderung von Speichern im Zusammenhang mit der Elektromobilität passt gut zur energiepolitischen Strategie des Kantons.

Kosten Kanton Thurgau: Die Gesamtfördersumme des Förderprogramms Energie muss bei einer feinen Neuausrichtung nicht erhöht werden.

Anzahl Elektrofahrzeuge: Der Effekt ist bedeutend, da zusammen mit den Batteriespeichern auch Elektrofahrzeuge vermehrt eingesetzt werden.

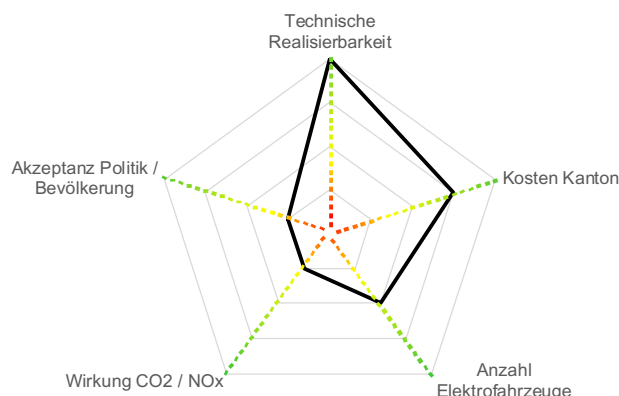
Wirkung CO₂ / NO_x: Die Stromnetze werden entlastet und dezentral produzierte erneuerbare Energien können genutzt werden.

Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Das Förderprogramm Energie ist etabliert und akzeptiert.

Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: Kumulierte Wirkung bis 2035: 25 Mio. Liter BÄ Einsparung CO₂: Kumulierte Wirkung bis 2035: 59 kt CO ₂ Einsparung Endenergie: Kumulierte Wirkung bis 2035: 172 GWh Kosten: 4'040 kFr. bis 2025 (Annahme: 40k für die Gestaltung des Programms; 5kFr. pro Batterie, Förderung von 800 Batterien)
---------------------------------------	--

MASSNAHME 5	BERÜCKSICHTIGUNG DER ELEKTROMOBILITÄT BEI NEU-/UMBAUTEN
Situation im Kanton Thurgau	Zurzeit gibt es im Planungs- und Baugesetz des Kantons Thurgau keine Anforderungen bei Neu-/Umbauten für die Vorbereitung der Bauten auf die Anforderungen der Elektromobilität.
Beschreibung der Massnahme	Anpassung des Planungs- und Baugesetzes (PBG). Mögliche Themen sind: – Verlegen von Leerrohren, – Mindestanteile elektrifizierter Parkplätze bei Neubauvorhaben und Bestandsbauten bei grösseren Einstellhallen, – Empfehlungen für Mindestanforderungen für Ladestationen, – Abschliessbare Boxen mit Steckern zur Ladung von E-Bike Batterien. Weitere denkbare Aktionen: Unterstützung und Beratung der Bauherren, evtl. Revision der Elektro- und Bauvorschriften (Normen und Vorschriften zu Stromanschlüssen in Parkgeschossen sowie öffentlichen Parkplätzen). Dafür sollen die involvierten Akteure in den Prozess integriert werden. Zielgruppengerechte Information der Dringlichkeit und der Anforderungen an zukunftsgerechte Tiefbau-, Parkgeschoss- und Haustechnik-Investitionen. Diese Massnahme soll primär auf grosse Parkplätze z.B. in Mehrfamilienhäuser, Parkhäusern oder Einkaufszentren abzielen.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	Eine langfristige Planung verhindert zukünftige Kosten zur Nachrüstung. Das Vorhandensein, respektive das Ermöglichen des Ladens für Elektrofahrzeuge und E-Bikes kann dazu führen, dass der Autonutzer überhaupt Elektrofahrzeuge in Betracht zieht. Dadurch schreitet die Marktdurchdringung der Elektromobilität im Kanton Thurgau schneller voran. Frühzeitige Installation von Leerrohren und das Einplanen des benötigten Platzes der Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Neu- und Umbauten erlauben grosse Kosteneinsparungen von bis zu 90 Prozent.
Vermeidung Zielkonflikte	Die indirekte Förderung von Ladeinfrastruktur in Neu-/Umbauten fördert die Attraktivität des MIV. Der Modalsplit MIV/ÖV darf sich nicht erhöhen. Als mögliche Gegenmassnahme soll darauf geachtet werden, dass E-Bikes nicht benachteiligt werden und dass die Gesamtanzahl an Parkplätzen nicht erhöht wird.
Verortung/Zuständigkeit	Departement für Bau und Umwelt (DBU)
Zielgruppe	Bauherren
Handlungsfeld	Regulierung (Normen & Standards)

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



Technische Realisierbarkeit: Die Strenge der Vorgaben bestimmt die Realisierbarkeit.

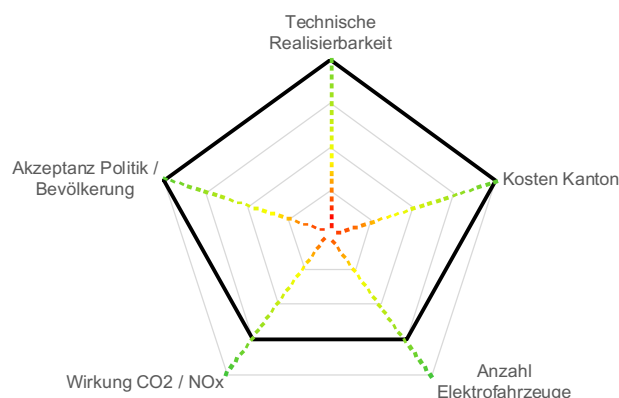
Kosten Kanton Thurgau: Die Anpassung des PBG verursacht kaum nennenswerte Mehrkosten. Allfällige Informationsveranstaltungen für Bauherren sind Kostentreiber.

Anzahl Elektrofahrzeuge: Direkter Effekt gering, eher mittelfristig (Neu- und Umbauten sind auf die Elektromobilität vorbereitet und es gibt wenige Hindernisse für den Kauf eines Elektrofahrzeugs).

	Wirkung CO₂ / NO_x: Schnellere Marktdurchdringung der Elektromobilität. Abbau von Hemmnissen zum Kauf von Elektrofahrzeugen. Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Regulierung bei Neu-/Umbauten werden möglicherweise von Bauherren und Architekten bekämpft.
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: Kumulierte Wirkung bis 2035: 10 Mio. Liter BÄ Einsparung CO₂: Kumulierte Wirkung bis 2035: 24 kt CO₂ Einsparung Endenergie: Kumulierte Wirkung bis 2035: 72 GWh Kosten: Einmalige Kosten ca. 20–50 kFr.; die Berücksichtigung der Elektromobilität in Gebäuden führt zwar zu etwas höheren Erstkosten, dafür aber zu klar geringeren späteren Anpassungs- und Nachrüstungskosten. Insgesamt führt die Massnahme volkswirtschaftlich zu Kosteneinsparungen.

MASSNAHME 6	FÖRDERUNG E-MOBILITÄT BEIM ARBEITGEBER
Situation im Kanton Thurgau	Die Elektromobilität beim Arbeitgeber wird zurzeit im Kanton Thurgau nicht speziell/gezielt unterstützt.
Beschreibung der Massnahme	Eine Ladeinfrastruktur am Arbeitsort motiviert Arbeitnehmer von Verbrenner- auf Elektrofahrzeuge umzusteigen. Das Laden während des Tages am Arbeitsplatz ist zudem gut geeignet, um die anfallende Photovoltaik-Stromproduktion zeitgleich fürs Aufladen der Elektrofahrzeuge zu nutzen. Künftige Produktionsspitzen können durch gesteuerte Ladevorgänge am Arbeitsplatz minimiert und die Stromnetze durch die Elektromobilität entlastet werden. Eine Ladeinfrastruktur am Arbeitsplatz kann von mehreren Fahrzeugen und Mitarbeitenden genutzt werden, wohingegen die Ladeinfrastruktur zu Hause viel seltener ausgelastet ist. Arbeitnehmer mit einer guten Ladeinfrastruktur am Arbeitsplatz können auf eine eigene Ladestation zu Hause verzichten, wodurch Kosten und Ressourcen gespart werden. Der Kanton erstellt in Kooperation mit den grössten Arbeitgebern einen Leitfaden (Merkblatt) zum Laden am Arbeitsplatz (<i>workplace charging</i>). Dieser gibt Aufschluss über Ladebedarf, Relevanz des langsamen Ladens am Arbeitsplatz, Nutzung erneuerbarer Energien, zeitgesteuertes Laden, Investitionsbedarf und Finanzierungsmöglichkeiten. Der entwickelte Leitfaden wird im Rahmen von Informationsanlässen den Arbeitgebern im Kanton präsentiert. Idealerweise würden sich die Arbeitgeber auf ein Ziel (Elektrofahrzeuganteil je Mitarbeitenden, welche per MIV zur Arbeit kommen) verpflichten oder eine Charta unterschreiben.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Das Laden am Arbeitsplatz ermöglicht die optimale Integration dezentraler erneuerbarer Energien. Dadurch wird der Bedarf an Speichern und Netzausbauten reduziert. – Der Einsatz fossiler Energien im Verkehrssektor wird minimiert.
Vermeidung Zielkonflikte	Die Förderung von Ladestationen am Arbeitsplatz darf nicht dazu führen, dass mehr Leute mit dem Privatfahrzeug zur Arbeit fahren. Der Modalsplit MIV/ÖV darf sich nicht erhöhen. (Gegenmassnahme: Einführung von ÖV-Bonus o.ä.).
Verortung / Zuständigkeit	Abteilung Energie, Arbeitgeber
Zielgruppe	Arbeitgeber, Arbeitnehmer, Pendler, evtl. Flottenbetreiber
Handlungsfeld	Kooperation und Unterstützung von Dritten

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



Technische Realisierbarkeit: Die Massnahme passt gut zur energiepolitischen Strategie des Kantons. Dieser hat schon zahlreiche Leitfäden, Merkblätter respektive Borschüren erstellt. Eine externe, inhaltliche Begleitung durch Fachexperten ist zu empfehlen.

Kosten Kanton Thurgau: Da keine direkten Investitionen oder Förderungen vorgesehen sind, bleiben die Kosten tief.

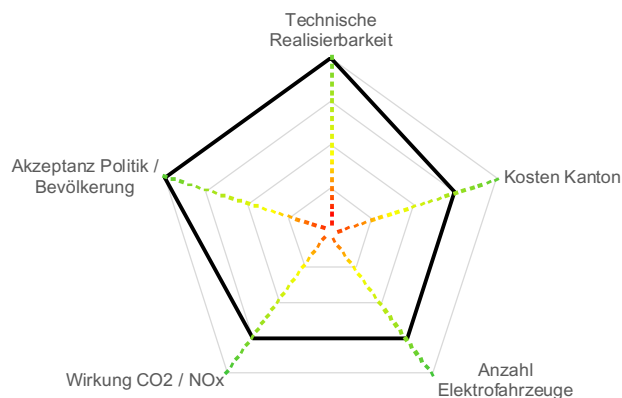
Anzahl Elektrofahrzeuge: Der Effekt ist ziemlich gross. Pendeldistanzen sind geeignet für Elektrofahrzeuge sowie für geschäftliche Flotten.

Wirkung CO₂ / NO_x: Die Integration dezentraler erneuerbarer Energien wird verbessert und der Einsatz fossiler Energien im Verkehrssektor minimiert.

	Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Leitfäden, Merkblätter und Broschüren vom Kanton stossen auf grosse Akzeptanz und Interesse.
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: Kumulierte Wirkung bis 2035: 32 Mio. Liter BÄ Einsparung CO₂: Kumulierte Wirkung bis 2035: 73 kt CO ₂ Einsparung Endenergie: Kumulierte Wirkung bis 2035: 214 GWh Kosten: Einmalige Kosten ca. 50–80 kFr.

MASSNAHME 7	PLANUNG DER LADEINFRASTRUKTUR
Situation im Kanton Thurgau	Die Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge wird ohne Koordination (z.B. in Form eines Masterplans) von verschiedenen Akteuren (hauptsächlich privat) aufgebaut. Der vorliegende Bericht zeigt Szenarien des künftigen Ladebedarfs auf und gibt Auskunft über Anzahl Ladevorgänge im privaten und öffentlichen Raum. Diese Daten können als Entscheidungsgrundlage für private Anbieter von Ladeinfrastrukturen genutzt werden.
Beschreibung der Massnahme	Die Szenarien der Elektromobilität und zum Ladeverhalten im Kanton Thurgau sind den Akteuren bereitzustellen. Für eine kohärente und koordinierte Bereitstellung von Ladestationen ist der Ladebedarf räumlich und zeitlich weiter zu differenzieren. Insbesondere würde eine Eruiierung geeigneter Standorte für Schnellladestationen Sinn machen. Es soll ein Bericht erstellt werden, der für Investoren von Ladestationen klärt, wo, welche Ladestationen Sinn ergeben.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	Frühzeitige Planung verhindert zukünftige Kosten zur Nachrüstung, respektive ineffiziente Parallel-Infrastrukturen. Durch die hohen Installationskosten einer Schnellladeinfrastruktur ist es sehr wichtig, die Standorte und den Bedarf sorgfältig zu identifizieren. Szenarien unterstützen eine frühzeitige und kohärente Infrastrukturplanung, was eine schnellere Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ermöglicht.
Vermeidung Zielkonflikte	Vermeidung von Fehlinvestitionen (zu früh, falsche Ladeleistung usw.), Reduktion der Netzbelastung (tiefere Kosten für Netzausbau). Überwindung des Huhn-Ei-Problems, Bereitstellung der benötigten Ladeinfrastruktur, insb. für das langsame Laden
Verortung/ Zuständigkeit	Kanton (betroffene Ämter), Energieversorger, EKT
Zielgruppe	EVUs, Gemeinden (Energistädte), private Investoren
Handlungsfeld	Strategie & Planung

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



Technische Realisierbarkeit: Die Grundlagen zur Planung der Ladeinfrastruktur können einfach realisiert werden. Herausfordernd ist die Koordination unter den verschiedenen Akteuren, welche die Ladeinfrastruktur aufbauen.

Kosten Kanton Thurgau: Die Kosten sind tief, in Vergleich mit den Investitionen für die Ladeinfrastruktur.

Anzahl Elektrofahrzeuge: Die Bereitstellung einer kohärenten Ladeinfrastruktur hilft, das Huhn-Ei Problem zu überwinden. Somit ist der Effekt auf die Anzahl Elektrofahrzeuge eher gross.

Wirkung CO₂ / NO_x: Der Effekt ist ziemlich gross, da die bessere Ladeinfrastruktur eine schnellere Marktdurchdringung der Elektromobilität ermöglicht.

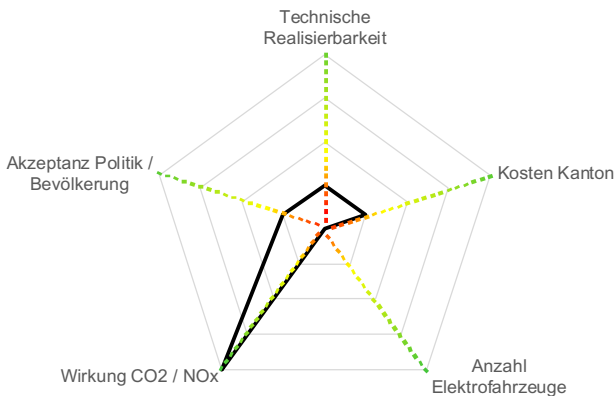
	Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Die Resultate stellen eine Entscheidungsgrundlage für diversen Akteure (Gemeinden, Energiestädte, Energieversorgen, Kanton, private Investoren) dar und sind für alle zugänglich.
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: Kumulierte Wirkung bis 2035: 21 Mio. Liter BÄ
	Einsparung CO₂: Kumulierte Wirkung bis 2035: 49 kt CO ₂
	Einsparung Endenergie: Kumulierte Wirkung bis 2035: 144 GWh
	Kosten: Einmalige Kosten ca. 40–60 kFr.

MASSNAHME 8	BEGLEITUNG UMSETZUNG ELEKTROMOBILITÄTSBERICHT
Situation im Kanton Thurgau	Im Kanton Thurgau liegt kein Masterplan zur Elektromobilität vor.
Beschreibung der Massnahme	Ausarbeitung einer Roadmap für Elektromobilität mit quantifizierten Zielen und einem Aktionsplan für die nächsten 3 Jahre inkl. ständiger Begleitgruppe. Der konkrete Aktionsplan ermöglicht die Begleitung, Umsetzung und Kommunikation der vorgesehenen Massnahmen im Bereich Elektromobilität und die Bewertung der Zielerreichung. Folgende Inhalte sind denkbar: – Kommunikationskonzept: öffentliche Kommunikation einer Elektromobilität-Strategie inkl. La-deplanung empfohlen; – Empfehlungen zur Umsetzung der Fördermassnahmen (je nach Priorisierung der Massnahmen); – Planung Round-Table für EVU mit Einbezug des VTE, Arbeitgeber, usw.; – Jährliches Reporting zum Stand der Umsetzung und Entwicklung Fahrzeugbestand und Neuwagenmarkt (mit Aufschlüsselung PHEV, BEV, FCEV, usw.).
Zeithorizont	Kurz- bis mittelfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Sicherstellung, dass die in diesem Bericht identifizierten Massnahmen zeitnah umgesetzt werden. – Monitoring der jährlichen Fortschritte sowie Bewertung der Zielerreichung.
Vermeidung Zielkonflikte	Die Einbettung in andere kantonale Strategien muss sichergestellt werden.
Verortung/ Zuständigkeit	Kantonale Ämter, z.B. Ämter, die in der Begleitgruppe zu diesem Bericht vertreten sind
Zielgruppe	EVUs, Gemeinden (Energiestädte), private Investoren, Bevölkerung
Handlungsfeld	Strategie & Planung
Expertenbewertung der Massnahme durch EBP	Technische Realisierbarkeit: Die involvierten Akteure sind abzuholen, die Realisierbarkeit soll aber hoch sein. Kosten Kanton Thurgau: Sind in Vergleich zu den umzusetzenden Massnahmen eher tief. Anzahl Elektrofahrzeuge: Es wird sichergestellt, dass die identifizierten Massnahmen umgesetzt werden, somit ist der indirekte Effekt mittelgross. Wirkung CO₂ / NO_x: Führt dazu, dass die identifizierten Massnahmen realisiert werden und somit im Kanton eine schnellere Marktdurchdringung erreicht wird, die wiederum Wirkung auf die Emissionen hat. Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Hoch
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: n.q.

Einsparung CO₂: n.q.

Einsparung Endenergie: n.q.

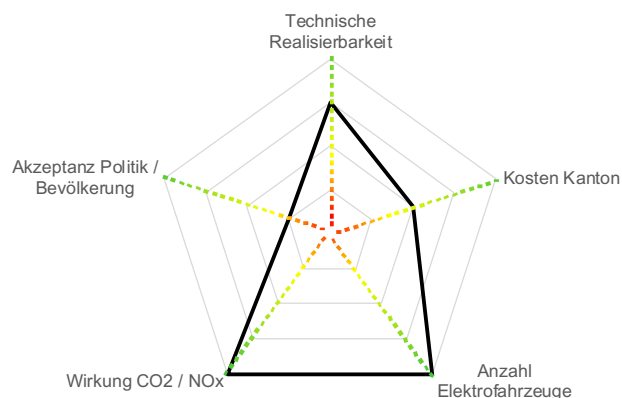
Kosten: 20-30 kFr. /a während 3 Jahren

MASSNAHME 9	VELO PENDLER-ROUTEN
Situation im Kanton Thurgau	Das bestehende Veloroutennetz im Kanton Thurgau ist primär auf Freizeitfahrten ausgelegt. Die Nutzung der bestehenden Velowege für Velopendler wird zum Beispiel dadurch erschwert, dass die Routen nicht asphaltiert oder generell nicht genügend ausgebaut sind. Bei den immer häufiger genutzten E-Velos kommt hinzu, dass diese schneller unterwegs sind als normale Velos. Umso wichtiger sind daher genügend dichte, durchgängige und sichere Velopendler Routen. Der Bedarf nach einem dichten und durchgängigen Alltagsradnetz wird auch im kantonalen Langsamverkehrskonzept von April 2017 betont.
Beschreibung der Massnahme	Realisierung von attraktiven und sicheren Velopendler Routen für den Alltagsverkehr, die es Autopendler ermöglichen auf Fahrten mit privaten Motorfahrzeug zu verzichten und diese stattdessen mit dem Velo zu bewältigen. Die Velopendler Routen können insbesondere als Verbindung zwischen Kernstädten und Umlandgemeinden eingesetzt werden und Fahrten mit dem Auto ersetzen. Mit Gemeinden sollen mögliche Engstellen identifiziert und Lösungen in die nächsten Werterhaltungs- und Ausbauprojekte mit aufgenommen werden. Insbesondere soll analysiert werden, welche Wege für Pendler geeignet und sicher wären. Bei der Umsetzung der Massnahme soll beispielsweise geprüft werden, ob den Velopendlern Vorrangsrechte gewährt werden sollen oder inwiefern kreuzungsfreie Routenführungen möglich sind.
Zeithorizont	Langfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Erhöhung des LV-Anteils am Gesamtverkehr. – Verminderung des Einsatzes fossiler Energien im Verkehrssektor. – Reduktion von Luftschadstoffen (PM10, NOx).
Vermeidung Zielkonflikte	Andere Arten des Langsamverkehrs (Fussverkehr oder Freizeitveloverkehr) sollen durch den Ausbau der Velopendler Routen nicht benachteiligt werden.
Verortung/ Zuständigkeit	Kanton / Gemeinden
Zielgruppe	Velofahrer (Pendler, Touristen), Autofahrer
Handlungsfeld	Strategie & Planung
Expertenbewertung der Massnahme durch EBP	 Technische Realisierbarkeit: Rechtliche und planerische Aspekte sind zu prüfen (insb. Thema Fruchtfolgeflächen). Kosten Kanton Thurgau: Hängen davon ab, ob neue Routen oder bestehenden ausgebaut werden sollen. Anzahl Elektrofahrzeuge: Die Massnahme führt nicht direkt zu einer schnelleren Marktdurchdringung der Elektromobilität. Wirkung CO₂ / NO_x: Erhöhung LV-Anteil am Gesamtverkehr, wenn eine Substitution von Pendler-Fahrzeugen erzeugt wird. Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Nicht sehr hoch, soll keine Benachteiligung von MIV oder Fussgänger zur Folge haben.

Quantifizierung der Massnahmen	<i>Einsparung fossiler Treibstoffe:</i> n.q.
	<i>Einsparung CO₂:</i> n.q.
	<i>Einsparung Endenergie:</i> n.q.
	<i>Kosten:</i> n.q.

MASSNAHME 10	SENSIBILISIERUNG UND MOTIVATION GARAGISTEN & KÄUFER
Situation im Kanton Thurgau	Speziell auf Garagisten zugeschnittenen Veranstaltungen und Informationen.
Beschreibung der Massnahme	Die Kaufentscheidung zu einem Elektrofahrzeug wird zu einem beachtlichen Teil durch den Autoverkäufer beeinflusst. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, in einem ersten Schritt die Vorbehalte der Garagisten abzubauen. Potenzielle Käufer von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben sollten die Möglichkeit haben, diese im Rahmen z.B. eines Ersatzwagens auf Wunsch testen zu können. Im Rahmen eines Garagisten-Motivations-Anlasses werden folgende Themen behandelt: – Informationsabend Chancen Elektromobilität und Umschulungsbedarf. Zukunftsperspektiven aufzeigen und Eigenverantwortung fördern – Informationen zu Entsorgung und Recycling – Einsatz Elektro-Ersatzwagen (Vorteile für Garagisten aufzeigen, Informationen zum Thema) – Schulung zu verschiedenen Antriebsarten: BEV, Plug-In, FCEV, Hybrid um Kunden besser beraten zu können – Kundenbedürfnisse verstehen und mit Elektromobilitätsangebot vergleichen (z.B. Rundum-Sorglos Paket mit Service, Strom etc.) – Förderung Ausbildungen in Mechatronik
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	Schnellere Marktdurchdringung der Elektromobilität. Verminderung des Einsatzes fossiler Energien im Verkehrssektor und Reduktion der Luftschadstoffe, Verbesserung der Lufthygiene. Weitere Stärken: Frühzeitige Entwicklung neuer Berufsbilder.
Vermeidung Zielkonflikte	Erhöhung des MIV-Anteils am Gesamtverkehr als Risiko. Im Gegensatz zu direkten Förderprämien für Elektroautos, welche theoretisch zu einer Erhöhung des Motorisierungsgrades führen können, führt die Sensibilisierung von Garagisten dazu, dass effizientere Autos gekauft werden.
Verortung/ Zuständigkeit	Kanton in Zusammenarbeit mit AGVS Sektion TG
Zielgruppe	Garagisten
Handlungsfeld	Information & Beratung

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



Technische Realisierbarkeit: Betroffene sind einfach zu identifizieren, Zuständigkeiten können klar zugeordnet werden, es gibt keine rechtlichen Hemmnisse, es muss Motivationsarbeit im Kanton und beim AGVS geleistet werden.

Kosten Kanton Thurgau: Kosten eher gering, Schulungs- und Infomaterial.

Anzahl Elektrofahrzeuge: Der Effekt ist gross, da der Kaufentscheid auch von den Garagisten beeinflusst werden kann.

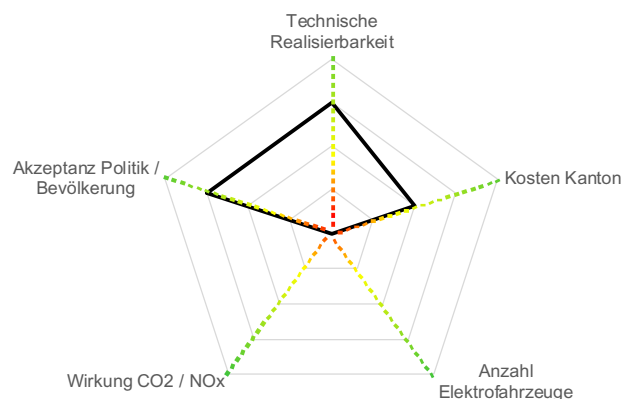
Wirkung CO₂ / NO_x: Wenn die Anzahl verkaufter Elektrofahrzeuge steigt, dann erhöht sich dementsprechend die Wirkung auf CO₂ und NO_x.

	Akzeptanz: Es muss verhindert werden, dass es zu Negativerfahrungen kommt, z.B. ein Er-satzelektrowagen der die Bedürfnisse eines Langstreckenfahrers nicht erfüllt, mangelnde In-formationen zu Lademöglichkeiten.
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: n.q. Einsparung CO₂: n.q. Einsparung Endenergie: n.q. Kosten: Einmalige Kosten ca. 20-30 kFr. /a. begrenzt auf 5 Jahre

MASSNAHME 11	KANTONALE ERLEBNISTAGE ELEKTROMOBILITÄT
Situation im Kanton Thurgau	Im Kanton Thurgau gibt es vereinzelte Informationsveranstaltungen. Einen kantonalen Erlebnistag zu energieeffizienter Mobilität gibt es nicht.
Beschreibung der Massnahme	Durchführung eines kantonalen Erlebnistages mit Anbietern von Ladeinfrastruktur, Elektrofahrzeugen, Informationsständen zur Nutzung von erneuerbaren Energien im Elektrofahrzeug, Angeboten von Energieversorgern, Beratungsfenstern und Probefahrten für: – Bevölkerung inkl. Roadshow Probefahrten, – Neulenker inkl. Roadshow Probefahrten, – Gebäudebesitzer und Bauherren, – Planer und Architekten.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	Wenn die Bevölkerung und wichtige Akteure sensibilisiert sind, sinken die Hemmnisse für den Kauf eines Elektrofahrzeugs. Verminderung des Einsatzes fossiler Energien im Verkehrssektor und Reduktion der Luftschadstoffe, Verbesserung der Lufthygiene.
Vermeidung Zielkonflikte	Die Technologieneutralität sollte bewahrt bleiben. Daher sollten alle nachhaltigen/energieeffizienten Antriebssysteme an einem Erlebnistag Platz finden.
Verortung/ Zuständigkeit	Kanton in Zusammenhang mit Partnern (z.B. Newride, e'mobile, carvelo2go, usw.)
Zielgruppe	Bevölkerung, mögliche Käufer
Handlungsfeld	Information & Beratung
Expertenbewertung der Massnahme durch EBP	Technische Realisierbarkeit: Es werden bereits viele Veranstaltungen zu anderen Themen organisiert, darum ist die Realisierbarkeit hoch. Kosten Kanton Thurgau: Die Kosten sind stark vom Umfang der Veranstaltung abhängig. Grundsätzlich kann auch mit einem kleinen Budget eine wirkungsvolle Veranstaltung organisiert werden. Die Fahrzeuge werden zur Verfügung gestellt. Der Kanton hat eine koordinierende/organisatorische Rolle. Anzahl Elektrofahrzeuge: Probefahrten und direkte Information und Beratung führen dazu, dass mehr Elektrofahrzeuge verkauft werden. Probefahrten spielen eine wichtige Rolle, um Kaufentscheidungen zu beeinflussen und Hemmnisse abzubauen. Wirkung CO₂ / NO_x: Eine schnellere Marktdurchdringung der Elektromobilität führt zu tieferen Emissionen. Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Ein Erlebnistag ist an die breite Bevölkerung gerichtet und vermittelt positive Gefühle.
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: n.q. Einsparung CO₂: n.q. Einsparung Endenergie: n.q.; Kosten: 10–20 kFr. /a begrenzt auf 5 Jahre

MASSNAHME 12	ELEKTROFAHRZEUGE IN DER VERWALTUNG & LADESTELLEN BEI AMTSBAUTEN
Situation im Kanton Thurgau	Die kantonalen Beschaffungsrichtlinien sehen ein Bevorzugen von alternativen Antriebssystemen wie reinen Elektrofahrzeugen und Plug-In Hybriden vor. Weiter ist eine Abklärung zum Aufbau der Ladestationen bei bestehenden Amtsbauten in Arbeit. Die folgende Massnahme baut darauf auf.
Beschreibung der Massnahme	Der vermehrte Einsatz von Elektromobilen in der kantonalen Verwaltung führt zur höheren Akzeptanz in der Bevölkerung. Teil A: Durchführung einer Situationsanalyse. Analyse des Motorisierten Individualverkehrs der kantonalen Ämter (Geschäftsverkehr) und des Pendlerverkehrs der kantonalen Angestellten (privater Pendlerverkehr) und Ableitung von Empfehlungen zum Beispiel für den möglichen Anteil an Elektroautos in Fahrzeugflotten oder zur Weiterentwicklung der Beschaffungsrichtlinien. Teil B: Revision der bestehenden Beschaffungskriterien, dass bei Flotten ab 3 Fahrzeugen davon auszugehen ist, dass 1/3 der Flotte durch Elektrofahrzeuge abgedeckt werden kann. Beschaffung von Personenwagen mit anderen Energieträgern nur bei Nachweis der betrieblichen Notwendigkeit; Privatnutzung erlauben; wenn möglich Substitution mit E-Bikes und E-Cargo-Bikes prüfen. Teil C: Bei bestehenden Amtsbauten ist der Bau von Ladestationen im Detail zu prüfen, bei neuen Amtsbauten sind sie zwingend vorzusehen. Die Ladestationen müssen öffentlich zugänglich sein. Dabei sollten auch Ladestationen für E-Bikes mit einbezogen werden.
Zeithorizont	Kurzfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Ausschöpfung der technologischen Potenziale zur Erhöhung der Energieeffizienz im MIV. – Verminderung des Einsatzes fossiler Energien im Verkehrssektor. – Einfache Umsetzung mit gleichzeitig grosser Vorbildwirkung durch gute Sichtbarkeit der Fahrzeuge. – Neue Modelle auf dem Markt decken mittlerweile auch spezielle Bedürfnisse ab (z.B. 4x4 Antrieb)
Vermeidung Zielkonflikte	Beschaffungskriterien sollten sicherstellen, dass die Fahrzeuggrösse für den jeweiligen Einsatzzweck optimiert wird (es sollte kein Kleinwagen durch ein deutlich grösseres Elektroauto ersetzt werden).
Verortung/ Zuständigkeit	Ladestationen: Ämter Ladestationen: DBU
Zielgruppe	Mitarbeiter, Bevölkerung
Handlungsfeld	Vorbildfunktion

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP

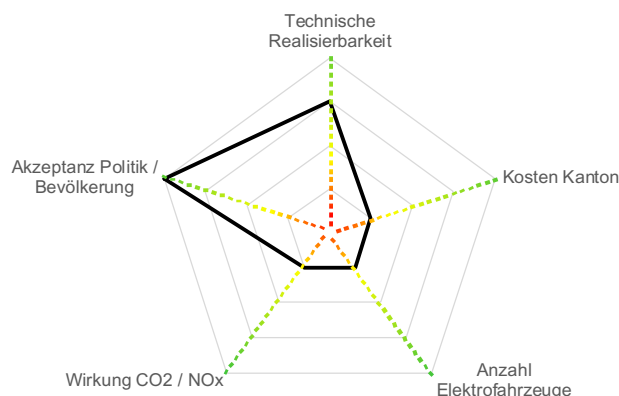


Technische Realisierbarkeit: Es gibt bestehende Konzepte und Ausschreibungsunterlagen, die überarbeitet und auf die Situation und neuen Fahrzeuge von den Behörden angepasst werden müssen.

	Kosten Kanton Thurgau: Die Kosten von Verbrennern und Elektrofahrzeugen unterscheiden sich kaum. Über die Gesamtnutzungsdauer werden sogar Kosteneinsparungen erzielt. Anzahl Elektrofahrzeuge: Die Massnahme hat eine Vorbildfunktion, die Anzahl Elektrofahrzeuge im Kanton ist eher klein. Wirkung CO₂ / NO_x: Die absolute Reduktion ist eher gering Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Hohe Akzeptanz, da Elektrofahrzeuge viele Vorteile haben.
Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: n.q. Einsparung CO₂: n.q. Einsparung Endenergie: n.q. Kosten: Einmalige Kosten ca. 40-50 kFr. für die Durchführung einer Situationsanalyse und die Revision der bestehenden Beschaffungskriterien

MASSNAHME 13	EINSATZ ELEKTROBUSSE
Situation Kanton Thurgau	Im Kanton Thurgau sind keine batteriebetriebenen Elektrobusse im Einsatz. Bisher sind auch keine Projekte vorgesehen.
Beschreibung der Massnahme	Die Elektrobusse haben in den letzten Jahren eine schnelle Entwicklung erfahren. Elektrobuslinien gibt es u.a. bereits in Genf, Basel/Riehen, Zürich und ab 2018 in Bern. Im Kanton Aargau wurden Busse mit Brennstoffzellen erfolgreich eingesetzt. Nach mehreren grossen ausländischen ÖV-Anbietern haben – als erste in der Schweiz – die Verkehrsbetriebe Schaffhausen (VBSH) beschlossen, bis 2027 sämtliche Busse durch Fahrzeuge mit einem Elektroantrieb zu ersetzen. Die Busbetreiber des Kantons Thurgau sollen motiviert werden, Testphasen mit Elektrobussen (auch FCEV) zusammen mit Anbietern und Herstellern zu vereinbaren und Ziele für die Elektrifizierung der Flotte zu setzen. Zudem muss ein Konzept zur Ladeinfrastruktur und Ladezeiten erstellt werden. Der Kanton Thurgau kann unterstützend und koordinierend wirken, insbesondere bei Ausschreibungen zur Beschaffung von neuen Bussen, beziehungsweise bei der Identifizierung geeigneter Buslinien. Auch kann der Kanton Pilotprojekte finanzieren und lancieren.
Zeithorizont	Mittelfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	Verbesserung der Lufthygiene durch Verminderung der Luftschadstoffe (PM10 und NO _x) von Dieselmotoren, insbesondere in Siedlungsgebieten. Reduktion der Lärmbelastung. Verminderung des Einsatzes fossiler Energien im Verkehrssektor.
Vermeidung Zielkonflikte	Vermeidung von Fehlinvestitionen: Bei der Spezifikation von Pilotprojekten oder Zuschlagskriterien für Buslinien sollte vermieden werden, sich zu sehr auf bestimmte Technologie (BEV, FCEV) und Anbieter zu fokussieren. Die Ausschreibung sollte technologie-neutral verfasst werden.
Verantwortung/ Zuständigkeit	Kanton, Öffentlicher Verkehr (DIV) und Verkehrsbetriebe
Zielgruppe	Nutzer, Bevölkerung
Handlungsfeld	Pilot- und Demonstrationsprojekte

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



Technische Realisierbarkeit: Ein Erfahrungsaustausch mit andere Regionen ist einfach realisierbar. Die Technologie ist vorhanden.

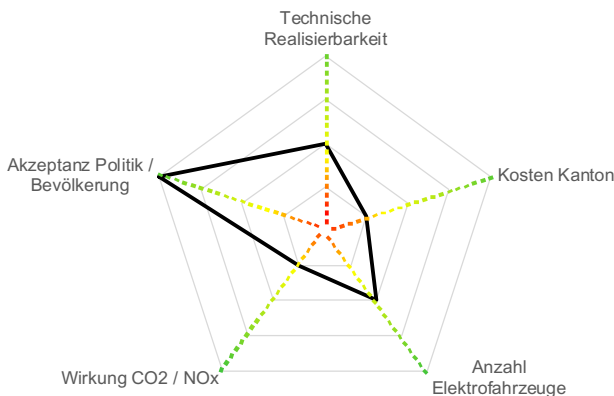
Kosten Kanton Thurgau: Investitionen durch städtische Betriebe: Bei Neubeschaffung ähnlich wie normale Busse, Investitionen in Ladeinfrastruktur nötig, aber günstiger im Betrieb. Unter der Annahme, dass Busse geleast werden (inkl. Ladeinfrastruktur, etc.), entstehen gegenüber einem Dieselmotobus jährliche Mehrkosten von rund 100'000 Fr. pro Elektrobus. Diese Mehrkosten tragen bei Regionalverkehrsbussen Bund, Kanton und Gemeinden.

Anzahl Elektrofahrzeuge: Der Effekt auf die Anzahl Personenwagen ist nur indirekter Art.

Wirkung CO₂ / NO_x: Reduktion der Luftschadstoffe und Reduktion der Lärmbelastung in städtischen Gebieten. Die absolute Reduktion ist jedoch gering.

	Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Sehr hoch, ÖV Nutzer sind meist ohnehin auf ökologische Themen sensibilisiert. Leiseres Fahren in den Gemeinden/Städten weniger Luftschadstoffe werden von der Bevölkerung positiv wahrgenommen.
--	--

Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: n.q. Einsparung CO₂: n.q. Einsparung Endenergie: n.q. Kosten: jährliche Kosten 100–300 kFr. Abhängig davon, wie viel Busse angeschafft werden und welchen Anteil an den Mehrkosten der Kanton übernimmt. Dies könnte im Rahmen eines Pilotversuchs über das Förderprogramm abgewickelt werden.
---------------------------------------	---

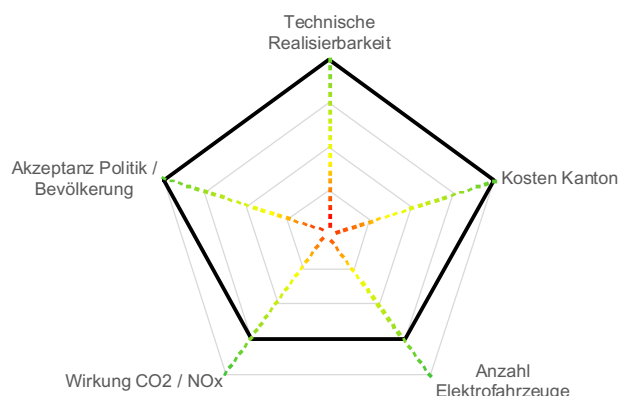
MASSNAHME 14	MODELLREGION «THURGAU ELEKTRISCH»
Situation im Kanton Thurgau	Eine CO ₂ -freie und energieeffiziente Mobilität ist möglich. Dafür müssen intelligente Stromnetze, erneuerbare Energien und Elektromobilität kombiniert und an die Bedürfnisse von Unternehmen und privaten Haushalten angepasst werden. Die Umsetzung in einer Stadt oder Region bedingt das Vorhandensein entsprechender Hardware (insb. Fahrzeuge, Ladeinfrastruktur, stationäre Stromspeicherung) sowie Software zur Steuerung der Ladevorgänge in Abstimmung mit lokaler erneuerbarer Energieerzeugung und -speicherung. Da gerade im Energiebereich private Investitionen aufgrund strenger Renditekriterien nur zögerlich erfolgen, sind Smart-City-Ansätze bisher in Schweizer Städten und Regionen kaum in aussagekräftigem Massstab erprobt.
Beschreibung der Massnahme	Der Kanton lanciert ein BFE-Pilotprojekt zusammen mit den lokalen EVUs, interessierten Unternehmen und Forschungsstellen im Kanton Thurgau, um das zeitversetzte und gesteuerte Laden im Rahmen von Smart Grids praxisorientiert zu erforschen und zu testen. Der Anschluss an bestehende Projekte ist denkbar und zu prüfen. Diese Massnahme könnte in Zusammenarbeit mit einer Energiestadt umgesetzt werden.
Zeithorizont	Mittelfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Prüfung und Demonstration von lokalen Smart-Grids zur Echtzeit-Integration von lokaler erneuerbarer Stromerzeugung und stationären Batterien in die E-Mobilität – Ermittlung des optimalen Verhältnisses von installierter Produktionsleistung und -speicherkapazität von lokaler erneuerbarer Energie – Aufschluss darüber welche Technologien in welchem Masse eingesetzt werden sollen – Fehlinvestitionen im Bereich der Stromnetze werden somit vermieden
Vermeidung Zielkonflikte	Zeitversetztes Laden ist wichtig für die Energiewende und die Integration von erneuerbaren Energien und reduziert das Risiko der Überlastung der lokalen Verteilnetze.
Verortung/ Zuständigkeit	Kanton Abteilung Energie
Zielgruppe	Nutzer, Bevölkerung, EVUs, Forschung
Handlungsfeld	Pilot- und Demonstrationsprojekte
Expertenbewertung der Massnahme durch EBP	 Technische Realisierbarkeit: Aktuell werden vom BFE rund 80 Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte unterstützt. Schwierig ist aber, die richtigen Akteure und Partner zu finden. Kosten Kanton Thurgau: Die Kosten werden einerseits durch das BFE und andererseits durch private Unternehmen getragen. Eine Kostenbeteiligung seitens des Kantons ist möglich. Anzahl Elektrofahrzeuge: Die Massnahmen hat keine direkte Wirkung auf die Anzahl Elektrofahrzeuge. Wirkung CO₂ / NO_x: Das Pilotprojekt führt nicht direkt zu hohen Reduktionen der Emissionen.

	Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Pilotprojekte, welche vom Kanton und Bund unterstützt werden haben grosse Ausstrahlungskraft und stossen auf breite Akzeptanz.
--	--

Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: n.q. Einsparung CO₂: n.q. Einsparung Endenergie: n.q. Kosten: Einmalige Kosten 100–500 kFr. (allfällige Teil-Subventionierung seitens Bund).
---------------------------------------	---

MASSNAHME 15	EIGENTÜMERSTRATEGIE EKT
Situation im Kanton Thurgau	Mit der Eigentümerstrategie formuliert der Regierungsrat des Kantons Thurgau die strategischen Ziele und organisatorischen Vorgaben für die EKT Holding AG (Elektrizitätswerk des Kantons Thurgau). Die Eigentümerstrategie aus dem Jahr 2011 wurde letztmals im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung dezentral erzeugter Energien im Oktober 2016 angepasst. Das Thema Elektromobilität ist bisher nicht Teil der Strategie. Zum Kerngeschäft gehören Handel und Vertrieb von Energie sowie der Betrieb der Netze. Die Kunden der EKT sind zu einem Grossteil lokale Energieversorgungsunternehmen.
Beschreibung der Massnahme	Ein neues Leistungsziel wird in die Eigentümerstrategie der EKT aufgenommen. Das neue Leistungsziel soll die Schaffung eines passenden Angebots im zukunftssträchtigen Geschäftsfeld der Elektromobilität enthalten. Als mögliche Geschäftsfelder für das EKT wären insbesondere das Angebot von Ladeinfrastruktur bei Unternehmen (Workplace Charging, POI Charging) oder der Verkauf von Thurgauer Naturstrom denkbar. Durch den Aufbau von Ladeinfrastruktur bei Unternehmen wird die Kundenbindung (zu teilweise freien Stromkunden) aufgebaut oder erhöht. Das Angebot von Thurgauer Naturstrom könnte auch mit dem Angebot von zeitgleich produzierten Thurgauer Naturstrom für die Elektromobilität ergänzt werden. Die EKT soll sich trotz der Erschliessung des neuen Geschäftsfeldes auf Ihre Kernkompetenzen innerhalb des Themenbereichs Elektromobilität konzentrieren. So kann erwartet werden, dass die Erschliessung des neuen Geschäftsfeldes mittelfristig Gewinn abwirft.
Zeithorizont	Mittelfristig
Stärken / Beitrag zur Zielerreichung	– Erschliessung des neuen Geschäftsfeldes durch ein innerkantonales Unternehmen – Stärkung der Geschäftsstrategie der EKT – Wahrnehmen der Vorbildfunktion – Vertrauen in den Aufbau der Ladeinfrastruktur durch ein Unternehmen der öffentlichen Hand (flächendeckendes und langfristiges Engagement)
Vermeidung Zielkonflikte	Damit sich die EKT auf Ihre Kerngeschäfte (innerhalb des Themenbereichs Elektromobilität) beschränken kann, sind Kooperationen mit anderen Unternehmen mit Erfahrung in der Elektromobilität (z.B. Alpiq) zu prüfen.
Verortung/ Zuständigkeit	EKT, Kanton Thurgau
Zielgruppe	Lokale EVU, grosse Arbeitgeber und Unternehmen mit hohem Publikumsverkehr wie Einkaufszentren, Kinos, Freizeitanlagen (POI)
Handlungsfeld	Kooperation und Unterstützung von Dritten

Expertenbewertung der Massnahme durch EBP



Technische Realisierbarkeit: Die Technologien sind vorhanden und können sofort angewandt werden.

Kosten Kanton Thurgau: Keine direkten Kosten für den Kanton.

Anzahl Elektrofahrzeuge: Der Ausbau der Ladeinfrastruktur erhöht den Anteil an Elektrofahrzeugen direkt.

	Wirkung CO₂ / NO_x: Hängt davon ab, für welche Geschäftsmodelle sich die EKT im Detail entscheidet.
	Akzeptanz Politik / Bevölkerung: Hoch, da die Bevölkerung direkt davon profitiert und das neue Geschäftsfeld nicht von ausserkantonalen Anbietern erschlossen wird.

Quantifizierung der Massnahmen	Einsparung fossiler Treibstoffe: n.q.
	Einsparung CO₂: n.q.
	Einsparung Endenergie: n.q.
	Kosten: n.q.

7.5 Priorisierung der Massnahmen

Die Massnahmen der Short List wurden durch die Projektleitung und die Begleitgruppe priorisiert. Der Lenkungsausschuss hat die Priorisierung weitgehend übernommen. Änderungen wurden für die Massnahmen M10: Information Garagisten (vorher 3. Priorität) und M11: Kantonale Erlebnistage (vorher 1. Priorität) vorgenommen, welche vom Lenkungsausschuss jeweils in die 2. Priorität verschoben wurden. Neun Massnahmen werden mit höchster Priorität behandelt (Priorität 1). Fünf Massnahmen erhielten Priorität 2 und eine weitere Massnahme wird mit 3. Priorität bezeichnet. In Tabelle 11 sind die identifizierten Massnahmen gemäss Priorisierung gruppiert und zusammenfassend dargestellt.

Die Umsetzung der identifizierten Massnahmen führt dazu, dass die Elektromobilität im Kanton Thurgau eine schnellere Marktdurchdringung erreichen wird. Durch die Umsetzung aller Massnahmen kann der Kanton das Szenario Effizienz erreichen und damit deutlich mehr Wirkung erzielen als bei einem «weiter wie bisher» im Szenario BAU ohne spezifische Massnahmen seitens Kanton.

Massnahme	Priorität	Einsparung fossile Treibstoffe (kumuliert bis 2035)	Einsparung CO ₂ (kumuliert bis 2035)	Einsparung Endenergie (kumuliert bis 2035)	Kosten ein- malig Kanton	Kosten jährlich Kanton	Zuständigkeit	Bemerkung
		[Mio. L. BÄ]	[kt CO ₂]	[GWh]	[kFr.]	[kFr.]		
MASSNAHMEN MIT PRIORITÄT 1								
M2: Zeitlich begrenzte Umstiegsprämie	1	50	117	344			Abteilung Energie, (evtl. EVUs, Gemeinden)	3–5 kFr. / Fahrzeug, Gesamtkosten je nach Ausgestaltung des Förderprogramms
M4: Förderprogramm Batteriespeicher	1	25	59	172			Abteilung Energie, EVU	5 kFr. / Batterie, Gesamtkosten je nach Ausgestaltung des Förderprogramms
M5: Standards bei Neu- und Umbauten	1	10.	24	72	20-50		DBU	Grosse Parkplätze in MFH, Einkaufszentren
M6: Elektromobilität beim Arbeitgeber	1	32	73	214	50-80		Abteilung Energie, Arbeitgeber	
M7: Planung der Ladeinfrastruktur	1	21	49	144	40-60		DBU, Energieversorger, EKT	
M8: Begleitung Umsetzung Elektromobilitätsbericht	1	n.q.	n.q.	n.q.	20-30	20-30	Abteilung Energie z.B. Ämter, die in der Begleitgruppe zu diesem Bericht vertreten sind, Verbände	Begleitung während 3 Jahren
M12: Elektromobilität in der Verwaltung	1	n.q.	n.q.	n.q.	40-50		Beschaffung: Ämter Ladestationen: DBU	
M13: Einsatz Elektrobusse	1	n.q.	n.q.	n.q.			Kanton, Öffentlicher Verkehr (DIV) und Verkehrsbetriebe	Abhängig von der Anzahl der Elektrobusse und dem Kostenanteil des Kantons; kann im Rahmen eines Pilotprojekts über das Förderprogramm abgewickelt werden

M15: Eigentümerstrategie EKT	1	n.q.	n.q.	n.q.			Kanton, Abteilung Energie	
MASSNAHMEN MIT PRIORITÄT 2								
M1: Anpassung Motorfahrzeugsteuer	2	13	29	86	20-50		Strassenverkehrsamt	Ausbau Bonus / Malus System
M3: Förderprogramm Smart Charge	2	38	88	258			Abteilung Energie, EVU	Förderung von Langsam-Ladestationen, 0.5 kFr. pro Ladestation
M9: Velo Pendler-Routen	2	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	n.q.	Kanton, Tiefbauamt in Zusammenarbeit mit Gemeinden	
M10: Information Garagisten	2	n.q.	n.q.	n.q.		20-30	DIV in Zusammenarbeit mit AGVS Sektion TG	Begrenzt auf 5 Jahre
M11: Kantonale Erlebnistage	2	n.q.	n.q.	n.q.		10-20	DIV und DBU in Zusammenarbeit mit Partnern (z.B. Newride, e'mobile, carvelo2go, usw.)	Begrenzt auf 5 Jahre
MASSNAHMEN MIT PRIORITÄT 3								
M14: Modellregion	3	n.q.	n.q.	n.q.	100-500		Kanton, Abteilung Energie	Evtl. finanzielle Unterstützung durch Bund
Total (quantifiziert)		189	439	1'290	290-820	50-80		
Total der Massnahmen Priorität 1 (quantifiziert)		138	322	946	170-270	20-30		

Tabelle 11: Vergleich der Massnahmen und Priorisierung

8. Schlussfolgerungen

Die Elektromobilität im Thurgau unterstützt die Erreichung zahlreicher bestehender kantonalen Ziele:

- Erreichung eines nachhaltigen Verkehrssystems (Kantonaler Richtplan⁷)
- Energieeffizienz im motorisierten Individualverkehr
- Umsetzung der Energiestrategie des Bundes und des Kantons
- Verminderung des Einsatzes fossiler Energien im Verkehrssektor
- Reduktion bestehender Lärm- und Luftschadstoffbelastungen

Die Zielerreichung kann erhöht werden, sofern die in Kapitel 7 identifizierten Massnahmen vollständig umgesetzt werden.

Zu den folgenden Zielen kann die Elektromobilität nur einen sinnvollen Beitrag leisten, sofern die vorgeschlagenen Massnahmen umgesetzt werden. Andernfalls kann die Elektromobilität die Zielerreichung sogar erschweren:

- Erhöhung der Integration dezentraler erneuerbarer Energien
- Reduktion des Netzausbaubedarfs
- Vermeidung von Fehlinvestitionen bei Stromnetzen
- Sicherung der Finanzierung der Strassenverkehrsrechnung
- Erhöhung der Flächeneffizienz des MIV

In einzelnen Fällen erschwert ein Systemwechsel zur Elektromobilität die Erreichung kantonalen Ziele:

- Reduktion des Gesamtelektrizitätsverbrauchs
- Erhöhung des ÖV- und LV-Anteils am Gesamtverkehr
- Ungenügende Verkehrsqualität verbessern⁸

Die Umsetzung der Massnahmen hilft in diesem Fall die wichtigsten Risiken der Elektromobilität zu minimieren, da mit den Massnahmen die Art und Weise wie sich die Elektromobilität entwickelt, mitgestaltet werden kann. Auf der Ebene der einzelnen Massnahmen sind Möglichkeiten zur Minimierung der Risiken enthalten. Eine vorausschauende Planung mit weiterführenden Untersuchungen hilft Investitionskosten in Ladeinfrastruktur und den Netzausbau zu minimieren. Die Planung der Elektromobilität sollte kombiniert mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien betrachtet werden, da sich grosse Synergiepotenziale zeigen.

7 Kantonaler Richtplan: Verkehr > Gesamtverkehr. Planungsgrundsatz: «Der Verkehr ist auf die Siedlungs- und Zentrenstruktur abzustimmen und soll die Verkehrsbedürfnisse ressourcenschonend abdecken.»

8 Messgrössen sind im MIV die Verkehrsqualität und die durchschnittliche Reisegeschwindigkeit. Die Stabilität des Verkehrsflusses soll trotz hoher Belastung gewährleistet sein und die Reisegeschwindigkeit soll sich gegenüber heute nicht verschlechtern. Beim ÖV sind Messgrössen die zeitliche Verfügbarkeit, die Reisezeit sowie die Umsteigezeiten. Beim LV sind direkte und attraktive Routen zielführend (*Gesamtverkehrskonzept TG*).

Durch die Elektromobilität kann der Einsatz fossiler Energien im Verkehrssektor deutlich reduziert und die Potenziale zur Erhöhung der Energieeffizienz im MIV ausgeschöpft werden, so wie es der kantonale Richtplan, das Energiekonzept des Kantons und das Gesamtverkehrskonzept vorsehen.

Im Betrieb sind Elektrofahrzeuge emissionsfrei und leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Im Kanton Thurgau können dank der Elektromobilität im Jahr 2035 35 % (Szenario EFF) bis zu 51 % der CO₂-Emissionen (Szenario COM) des Personenwagenverkehrs gegenüber 2015 vermieden werden. Dies entspricht mehr als einer Verdopplung der CO₂-Reduktion gegenüber dem erwarteten Rückgang der CO₂-Emissionen im Business as Usual-Szenario. Das in der Schlussbilanz zum Thurgauer Energiekonzept definierte Ziel, sieht eine Reduktion des fossilen Energieverbrauchs im Verkehr von 33 Prozent bis ins Jahr 2030 vor. Die mit diesem Bericht mögliche Reduktion von CO₂ von bis zu 35 % im mittleren Szenario EFF ist somit annäherungsweise gleich hoch wie der Zielwert.

Gemäss kantonalem Richtplan und dem Gesamtverkehrskonzept soll die bestehende Umweltbelastung des Verkehrs reduziert werden. Der Massnahmenplan Luftreinhaltung und die Luftreinhalte-Verordnung sehen zudem eine namhafte Reduktion der Emissionen der wichtigsten Luftschadstoffe und die Einhaltung gesetzlicher Immissions-Grenzwerte vor. Die Elektromobilität unterstützt diese kantonalen Ziele direkt. Im Betrieb sind Elektrofahrzeuge emissionsfrei und speziell bei niedrigen Geschwindigkeiten deutlich leiser als herkömmliche Personenwagen.

Bei Elektrofahrzeugen fällt ein Grossteil der Umweltbelastung bei der Fahrzeugherstellung an. Auch bei einer ganzheitlichen ökologischen Betrachtung des Lebenszyklus eines Elektrofahrzeugs zeigen sich im Vergleich zu Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren grosse Einsparpotenziale bei Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen. Am grössten sind die Einsparungen, wenn im Betrieb und bei der Herstellung konsequent Strom aus erneuerbaren Energiequellen wie Wasser, Photovoltaik oder Wind eingesetzt wird. Während der Handlungsspielraum des Kantons für den Einsatz erneuerbarer Energiequellen bei der Fahrzeugherstellung sehr begrenzt ist, kann der Kanton während der Betriebsphase der Elektrofahrzeuge geeignete Rahmenbedingungen setzen und Massnahmen umsetzen, damit der Einsatz erneuerbarer Energien in der Elektromobilität maximiert werden kann. Mögliche Massnahmen dafür sind Umstiegsprämien, die Planung der Ladeinfrastruktur oder die Begleitung der Umsetzung des Elektromobilitätsberichts.

Gemäss kantonalem Richtplan und Energiekonzept des Kantons soll der Gesamtelektrizitätsverbrauch im Thurgau bis 2030 um 7 % reduziert werden. Die Elektromobilität erschwert dieses Ziel, indem sie eine zusätzliche Stromnachfrage darstellt. Je höher der Elektromobilitätsanteil desto höher die Stromnachfrage. Bis im Jahr 2035 fragt die Elektromobilität im Kanton Thurgau jährlich 80 bis 170 GWh Strom nach. Dies entspricht 5-10 % des Gesamtstromverbrauchs im Kanton Thurgau im Jahr 2015. Tendenz weiter steigend. Da auch weitere Anwendungen wie Wärmepumpen eine zusätzliche Stromnachfrage auslösen, wird die Erreichung des Ziels weiter erschwert.

Es bedarf grossen Effizienzgewinnen in den übrigen Stromanwendungen, um dieses Ziel dennoch zu erreichen.

Bis im Jahr 2035 fragt die Elektromobilität im Kanton Thurgau jährlich 80 bis 170 GWh Strom nach. Dieser sollte zu 100 % aus erneuerbaren Quellen stammen und möglichst lokal produziert werden. Im Jahr 2015 betrug die jährliche Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Kanton Thurgau rund 153 GWh. Die Elektromobilität bedarf folglich einen weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien, denn die derzeitige, erneuerbare Stromproduktion soll nicht ausschliesslich für die Elektromobilität eingesetzt werden (rund 10 m² PV Anlage deckt Jahresstrombedarf eines Elektroautos (mit Jahresfahrleistung von 10'000 km). Eine konsequente Umsetzung des 1. Massnahmenpaket der Energiestrategie im Kanton Thurgau ist erforderlich, so dass bis 2035 weitere 415 MW Photovoltaikanlagen zugebaut werden können. Entsprechend würde die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien im Thurgau im Jahr 2035 auf über 700 GWh ansteigen – was rund 40 % der Gesamtstromnachfrage entsprechen würde.

Die Elektromobilität ermöglicht eine verbesserte Integration dezentraler erneuerbarer Energien, wie es die Konzepte Thurgauer Strommix ohne Kernenergie und Stromnetze Thurgau vorsehen. Während ein Zubau von Photovoltaik den Anteil erneuerbarer Energien in der Elektromobilität erhöht, hilft die Elektromobilität umgekehrt bei der Integration des erneuerbaren Stroms ins Energiesystem. Im Jahr 2035 übersteigt die Stromerzeugung aus Photovoltaik in den Mittagsstunden den Gesamtstromverbrauch im Kanton Thurgau. Da ein Export des Überschusses aufgrund der ebenfalls hohen Photovoltaikproduktion im Umland kaum denkbar ist und eine Abregelung ökonomisch und ökologisch nur im Ausnahmefall sinnvoll, kommt nur die Zwischenspeicherung oder eine Flexibilisierung der Nachfrage als Option in Frage. Bereits ein ungesteuertes Laden der Elektromobilität kann aufgrund der Gleichzeitigkeit von Photovoltaik-Erzeugung und Ladebedarf der Elektromobilität ein Teil des Mittagsüberschusses ins Energiesystem integrieren. Ziel muss es folglich sein, den Ladebedarf der Elektromobilität in Schwachlastzeiten mit hoher erneuerbarer Stromproduktion zu verschieben. Diese Schwachlastzeiten mit hoher erneuerbarer Stromproduktion treten hauptsächlich über Mittag und an den Wochenenden und Feiertagen auf. Ladevorgänge in diesen Zeiten sind folglich besonders system- und netzfreundlich. Das Laden am Arbeitsplatz *workplace charging* und an Ausflugszielen *POI charging* eignet sich besonders zur Integration der erneuerbaren Energien und sollte durch den Kanton gefördert werden, z.B. in Form eines Leitfadens für das Laden beim Arbeitgeber oder mit finanzieller Förderung der Ladeinfrastruktur.

Die Ladevorgänge der Elektromobilität können aber auch neue Lastspitzen hervorbringen, welche die Stromnetze im Kanton Thurgau belasten. Die Modellierungen im Rahmen dieser Studie zeigen, dass vor allem das Laden zu Hause *home charging* unter der Woche am Feierabend deutliche Lastspitzen hervorruft. Der zusätzlichen Belastung der Verteilnetze in Folge der Elektromobilität kann mit einem Netzausbau begegnet werden. Allerdings soll gemäss dem Grundlagenbericht Stromnetze Thurgau der Netzausbaubedarf reduziert werden. Der Ladebedarf muss in Schwachlastzeiten mit hoher

erneuerbarer Stromproduktion verschoben werden, also z.B. von den Abend- in die Mittags- oder Nachmittagsstunden und von den Werktagen aufs Wochenende. Der Kanton kann das Risiko einer zusätzlichen Belastung der Stromnetze durch die Elektromobilität reduzieren, indem er Massnahmen umsetzt, die Ladestationen mit geringer Ladeleistung, respektive den Einsatz von Batteriespeichern für das Laden zuhause finanziell fördert. Die vorliegende Studie hat Datengrundlagen geschaffen, um den Einfluss des gesteuerten Ladens respektive stationärer Netzspeicher auf den Verteilnetzausbaubedarf zu beurteilen. Fehlinvestitionen bei Stromnetzen aufgrund einer fehlenden vorausschauenden Planung müssen vermieden werden.

Ein Systemwechsel in Richtung Elektromobilität verändert die Steuereinnahmen aus dem Strassenverkehr. Gemäss Gesamtverkehrskonzept des Kantons soll die Finanzierung der Strassenverkehrsrechnung langfristig gesichert werden. Weil Elektrofahrzeuge keine Mineralölsteuer bezahlen, ist ab 2020 eine Abgabe für Elektrofahrzeuge geplant. Dennoch ist es empfehlenswert die kantonale Motorfahrzeugsteuer auf die technologischen Entwicklungen anzupassen. Der Kanton sollte die Motorfahrzeugsteuer so anpassen, dass die Elektromobilität gefördert wird und gleichzeitig der durchschnittliche Ertrag pro Fahrzeug konstant bleibt.

Elektrofahrzeuge sind eine Form des motorisierten Individualverkehrs (MIV). Die Elektromobilität unterstützt daher die Erreichung der spezifischen Ziele des kantonalen Richtplans und des Gesamtverkehrskonzepts, welche eine Erhöhung des ÖV- und LV-Anteils am Gesamtverkehr, eine Verbesserung der Verkehrsqualität und eine Erhöhung der Flächeneffizienz des MIV vorsehen, nicht zwangsläufig. Es besteht sogar das Risiko, dass die Elektromobilität zu einem Mehrverkehr führt (Rebound-Effekt). Zur Eindämmung des Rebounds ist es vor allem wichtig, dass Privilegien und Anreize für Elektrofahrzeuge nur temporär ausgestaltet werden. Der Kanton sollte daher die Förderung des ÖV und des Langsamverkehrs unbedingt weiterverfolgen, z.B. mit durchgehenden Velorouten für Pendler oder Elektrobussen.

Im vorliegenden Bericht steht der motorisierte Individualverkehr im Fokus. Dieser ist für rund 67 % der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen sowie für einen beachtlichen Teil der NO_x- und Feinstaub-Emissionen verantwortlich. Zudem ist die Technologie für Personenwagen marktreif, womit auch der Handlungsbedarf auf kantonaler Ebene gegeben ist. Wie die Elektromobilität die anderen Verkehrssektoren im Kanton Thurgau beeinflusst, wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht.

Mit dem vorliegenden Bericht wurde der Grundstein für weitergehende Untersuchungen gelegt, die dabei helfen können die Elektromobilität sowie die dazu notwendige Infrastruktur zu optimieren und kosteneffizient zu planen und zu realisieren.

A1 Literaturverzeichnis

- Agora Energiewende (2014). Stromspeicher in der Energiewende Untersuchung zum Bedarf an neuen Stromspeichern in Deutschland für den Erzeugungsausgleich, Systemdienstleistungen und im Verteilnetz. Berlin.
- ARE (2016). Verkehrsperspektiven 2040. Entwicklung des Personen- und Güterverkehrs in der Schweiz. Bern.
- ASTRA (2015). Empfehlungen zum Aufbau von Schnellladestationen entlang der Nationalstrassen. Bern.
- ASTRA (2017). Regierungskonferenz Metropolitanraum Zürich. Strassen-netz im Metropolitanraum Zürich – Künftige Entwicklung. Rotkreuz, 28. September 2017.
- BDEW (2017). Roadmap Eco-Mobilität – Grundsatzprogramm. Berlin.
- BAFU (2017). Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, zweite Verpflichtungsperiode, 2013-2020 (Version Juli 2017).
- BFE (2015). Bericht in Erfüllung der Motion 12.3652. Elektromobilität. Masterplan für eine sinnvolle Entwicklung. Bern.
- BFE (2017). Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2016. Bern.
- BFE / EBP (2011). Regionalökonomische Potenziale von Energieregionen. Bern.
- BFE / treeze (2017). Ökobilanz von Wasserstoff als Treibstoff. Bern.
- BFS / ARE (2017). Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZVM) 2015.
- BFS (2017a). Treibhausgasemissionen in der Schweiz. Entwicklung in CO₂-Äquivalente und Emissionen nach Sektoren (je-d-02.03.02.04), veröffentlicht am 01.09.2017.
- BFS (2017b). Mobilität und Verkehr. Taschenstatistik 2017, Neuchâtel 2017.
- BFS (2017c). Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung nach Kanton 1990–2016. Neuchâtel.
- BFS (2017d). Bevölkerungsszenarien SCENARIO, Referenzszenario A (mittleres Szenario). Neuchâtel.
- BFS (2017e). Strassenfahrzeugbestand je Fahrzeuggruppe und Kanton 1970–2016. Neuchâtel.
- BFS (2017f). Strassenfahrzeuge in der Schweiz, Inverkehrsetzung neuer Strassenfahrzeuge 1990–2016. Neuchâtel.
- de Haan P, et al, 2009. Energie-Effizienz und Reboundeffekte: Entstehung, Ausmass, Eindämmung. ETH Zürich IED-NSSI, für Programm Energiewirtschaftliche Grundlagen, Bundesamt für Energie. Zürich, 265 Seiten. Download von ETH-Bibliothek: [PDF](#) (5.1 MB)

- de Haan P, Zah R, Bernath K, Bruns F, 2013. Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz. EBP und EMPA im Auftrag des Zentrums für Technologiefolgen-Abschätzungen der Akademien der Schweiz (TA Swiss). Download von vdf-Verlag: [PDF](#) (10.0 MB)
- de Haan P, Peters A, Semmling E, Marth H, Kahlenborn W, 2015. Rebound-Effekte: Ihre Bedeutung für die Umweltpolitik. EBP, Fraunhofer ISI und adelphi für Umweltbundesamt (UBA). Texte 31/2015, Forschungskennzahl 3711 14 104, ISSN 1862-4804, Desslau- Roßlau, Juni 2015, 112 Seiten. Download von UBA: [PDF](#) (2.6 MB)
- EBP (2011). Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen. Im Auftrag des Bundesamtes für Strassen ASTRA. Bern. Direktdownload: [Link](#) (2.4 MB)
- EBP / Kanton Thurgau (2013). Grundlagenbericht: Konzept für einen Thurgauer Strommix ohne Kernenergie.
- EBP und sustainserv (2014). Elektromobilität – Studie Ladeinfrastruktur Region Basel. Direktdownload: [Link](#) (12.1 MB)
- EBP (2015a). Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personewagen 2014. 19. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung (avec résumé en français). 11. Juni 2015, 45 Seiten. Download von BFE-Webseite: [Link](#) (1.4 MB).
- EBP (2015b). Elektromobilität-Ladeinfrastruktur St. Gallen. Schlussbericht. Zürich.
- EBP (2015c). Chancen der Elektromobilität für den Kanton Graubünden. Erweiterter Schlussbericht. Zürich. Direktdownload: [Link](#) (1.1 MB).
- EBP (2015d). Elektromobilität Region Basel: Massnahmenkonzept für die Bereitstellung von Ladeinfrastruktur. Zürich. Download von BS-Webseite: [Link](#) (2.0 MB).
- EBP (2016a). Stadt Winterthur: Positionspapier Elektromobilität. Erläuterungsbericht. Winterthur.
- EBP (2016b). Szenarien der Elektromobilität in der Schweiz – Update 2016. EBP-Hintergrundbericht. Direkter Download des Berichts: [Link](#) (0.6 MB).
- EBP (2017a). Barometer Auto und Mobilität von morgen 2017. Jährliche Erhebung zu Mobilität, Verkehrsmittelwahl und Autokauf in der Schweiz. EBP-Grundlagenbericht vom 8. Juni 2016, 56 Seiten, [Link](#) (5.5 MB)
- EBP (2017b). Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personewagen 2016. 21. Berichterstattung im Rahmen der Energieverordnung. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Direkter Download des Berichts: [Link](#) (2.4 MB)
- Econcept / Kanton Thurgau (2007). Verstärkte Förderung erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz. Schlussbericht der Arbeitsgruppe an den Regierungsrat

- Econcept / Kanton Thurgau (2017). Schlussbilanz zur Umsetzung des Energiekonzepts Kanton Thurgau. Schlussbericht mit Empfehlungen für die Weiterentwicklung der energiepolitischen Instrumente (in Bearbeitung, Stand April 2017).
- EcoWatt / Kanton Thurgau (2014). Grundlagenbericht Stromnetze Thurgau mit Blick auf eine verstärkte dezentrale Stromproduktion
- EKAS (2015). Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz im Umgang mit Hochvoltssystemen von Hybrid- und Elektrofahrzeugen.
- EKL (2007). Feinstaub in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL).
- Electrosuisse, e'mobile, VSE (2014). Anschluss finden, Elektromobilität und Infrastruktur. Direktdownload: [Link](#) (2.9 MB)
- e'mobile (2015). Korelation, Praxiserfahrung mit Elektroautos: Kosten-Reichweite-Ladestationen. Direktdownload: [Link](#) (2.7 MB)
- Energieautonomie Vorarlberg (2015) Elektrisch Mobil – Elektromobilitätsstrategie Vorarlberg 2015 – 2020, Bregenz, 36 Seiten
- EnergieSchweiz (2017). Handlungsleitfaden «Elektromobilität für Gemeinden». EBP/Synergo im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bern. Direktdownload von BFE-Website: [Link](#) (7.7 MB)
- Eugster, Daniel (2016). Antrag gemäss § 52 Geschäftsordnung des Grossen Rates von Daniel Eugster vom 23. März 2016 «Elektromobilität im Thurgau».
- ewp / büro widmer / Infras / Kanton Thurgau (2011). Gesamtverkehrskonzept Thurgau.
- ewp / büro widmer / Kanton Thurgau (2016). Langsamverkehrskonzept Thurgau.
- Fraunhofer ISI (2009). Lithium für Zukunftstechnologien. Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität. Karlsruhe.
- Fraunhofer ISI (2015). Gesamt-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030. Karlsruhe.
- Fraunhofer ISI (2017). M. Wietschel, A. Thielmann, P. Plötz, T. Gnann, L. Sievers, B. Breitschopf, C. Doll, C. Moll: Perspektiven des Wirtschaftsstandorts Deutschland in Zeiten zunehmender Elektromobilität. Working Paper Sustainability and Innovation No. S 09/2017.
- IEA (2017). Energy Technology Perspectives 2017. IEA Publications.
- IVL Swedish Environmental Research Institute (2017). The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions from Lithium-Ion Batteries. Stockholm.

- Kanton Thurgau (2007). Bericht: Konzept zur verstärkten Förderung erneuerbarer Energien und der Energieeffizienz. Der Regierungsrat des Kantons Thurgau an den Grossen Rat, 6. März 2007, Frauenfeld.
- Kanton Thurgau (2009). Kantonaler Richtplan Kanton Thurgau (KRP), Juni 2009, Frauenfeld.
- Kanton Thurgau (2010). Massnahmenplan Luftreinhaltung. Amt für Umwelt des Departements für Bau und Umwelt.
- Kanton Thurgau (2012). Pendler. Dienststelle für Statistik Kanton Thurgau, Frauenfeld.
- Kanton Thurgau (2013). Bericht: Konzept für einen Thurgauer Strommix ohne Kernenergie. Der Regierungsrat des Kantons Thurgau an den Grossen Rat, 19. November 2013, Frauenfeld.
- Kanton Thurgau (2014). Bericht: Bericht Stromnetze Thurgau. Der Regierungsrat des Kantons Thurgau an den Grossen Rat, 18. November 2014, Frauenfeld.
- Kanton Thurgau (2016). Beantwortung: Antrag gemäss § 52 Geschäftsordnung des Grossen Rates von Daniel Eugster vom 23. März 2016 «Elektromobilität im Thurgau». Der Regierungsrat des Kantons Thurgau an den Grossen Rat, 23. August 2016, Frauenfeld.
- LRV (2017). Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985 (Stand am 1. April 2017)
- OECD/IEA (2017). Global EV Outlook 2017. 71 Seiten.
- PSI / EMPA / ETHZ (2016): THELMA. Opportunities and challenges for electric mobility: an interdisciplinary assessment of passenger vehicles. Final report of the THELMA project in co-operation with the Swiss Competence Center for Energy Research «Efficient technologies and systems for mobility».
- Stadt Bern (2015). Energie- und Klimastrategie 2025. Energie- und klimapolitische Leitlinien 2015–2025. Direktion für Sicherheit, Umwelt und Energie. Bern.
- Strassenverkehrsamt Kanton Thurgau (2017). Treibstoffverteilung Fahrzeugpark Kanton Thurgau per 31.5.2017.
- RP-Energie-Lexikon (2017). Residuallast abgerufen: August 2017.
- Umweltbundesamt Deutschland (2013). Position: Kurzfristig kaum Lärminderung durch Elektroautos. Fachgebiet: I 3.3 Lärminderung im Verkehr. 18. April 2013, Dessau-Roßlau.
- VDE (2017). Sicherheit von Elektrofahrzeugen. Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW) Ergebnisrapport Nr. 37.
- VSE (2014). Grosswasserkraft. Basiswissen-Dokument. Stand Februar 2014, 13 Seiten

Wood, Vanessa (2016). Energy Storage of the Future: Innovation in the Lithium Ion Battery Space. Präsentation im Rahmen des ETH-Symposiums «Die Zukunft der Energiespeicher: Trends und offene Fragen» vom 14. Dezember 2016.

Zhang, Xiaojin et al./PSI (2017). Life Cycle Assessment of Power-to-Gas: Approaches, system variations and their environmental implications. Applied Energy 190 (2017) 326–338.

A2 Bewertung der Long List durch die Begleitgruppe

In den folgenden Tabellen werden die identifizierten Massnahmen je nach Kategorie aufgelistet. Die roten Punkte in der rechten Spalte zeigen die Bewertung durch die Begleitgruppe. Bewertet wurde hinsichtlich Realisierbarkeit und Relevanz. Je mehr Punkte desto besser wurde die Massnahme in der Begleitgruppe aufgenommen. Die ausgewählten Massnahmen wurden in die «Short List» (blau eingefärbt) übernommen und in Kapitel 7.4 konkretisiert.

MARKTBASIERTE MASSNAHMEN (Förderbeiträge, ökol. Steuern)			
MASSNAHME	POTENZIAL ZUR ZIELERREICHUNG	ZEITHORIZONT	BEWERTUNG
M1: Anpassung Motorfahrzeugsteuer für Personenwagen und LNF: Bonus-Malus; Ökologisierung	mittel	kurzfristig	●
M2: Direkte Kaufprämien für Elektrofahrzeuge (Umstiegsprämien), LNF, Ladegeräte, Kopplung mit Ökostrom-Abonnement oder Eigenproduktion. Kaufsubvention für E-Bikes und E-Cargobikes.	hoch	kurzfristig	●●●●●
M3: Befristete Befreiung der Motorfahrzeugsteuer elektrischer Fahrzeuge	mittel	kurzfristig	
M4: Förderprogramm für kommunale Stromversorger für NE-7-Netzverstärkungen (Finanzierung über Stromabgabe).	tief	kurzfristig	●
M5: Reduktion des (Öko-)Stromtarifs falls home charging bei <3.7 kW	tief	kurzfristig	●
M6: Kantonale Einkommenssteuer: Bessere Abzugsfähigkeit für Elektrofahrzeuge (inkl. E-Bikes, E-Cargobikes)	mittel	mittelfristig	●
M7: Verschärfung der CO ₂ -Vorschriften für Neuwagen	hoch	mittelfristig	●
M8: Förderprogramm für Batteriespeicher im Bereich Elektromobilität	mittel	kurzfristig	●●●
REGULIERUNG (NORMEN + STANDARDS)			
MASSNAHME	POTENZIAL ZUR ZIELERREICHUNG	ZEITHORIZONT	BEWERTUNG
R1: Neu-/Umbauten: Standards, Vorschriften, Empfehlungen Installation Leerrohren und Einplanen des benötigten Platzes für Ladeinfrastruktur.	hoch	kurzfristig	●●●●●
R2: Revision der Elektro- und Bauvorschriften: Normen und Vorschriften zu Stromanschlüssen in Parkgeschossen sowie öffentliche Parkplätzen. Mindestanforderungen an Ladestationen	hoch	kurzfristig	
R3: Vorgaben für Parkplätze mit Ladestationen in Parkhäusern. Mindestanforderungen an Ladestationen	hoch	kurzfristig	

R4: Mindestanforderungen an Ladestationen	mittel	kurzfristig
---	--------	-------------

NICHT MONETÄRE ANREIZE

MASSNAHME	POTENZIAL ZUR ZIELERREICHUNG	ZEITHORIZONT	BEWERTUNG
NM1: Reservierte PP für Elektrofahrzeuge bei verkehrsintensive Einrichtungen und POIs: Als Auflage in Baubewilligung.	mittel	kurzfristig	
NM2: Zonen für E-Fahrzeuge (bzw. Diesel-Verbot)	hoch	langfristig	
NM3: Bussspur frei für E-Fahrzeuge	hoch	kurzfristig	

KOOPERATION UND UNTERSTÜTZUNG VON DRIT- TEN

MASSNAHME	POTENZIAL ZUR ZIELERREICHUNG	ZEITHORIZONT	BEWERTUNG
KU1: Förderung Sharing-Angebote: PKW, e-Bikes und e-cargobikes	tief	kurzfristig	
KU2: Unterstützung touristische Angebote (Hotels, Restaurant, Bodenseeregion)	tief	kurzfristig	●
KU3: Förderung Emob beim Arbeitgeber: Entwicklung von Komplettlösungen für das Laden am Arbeitsplatz, Klärung von rechtlichen Fragen (Informationen für Unternehmen und Arbeitnehmer)	hoch	kurzfristig	●●●●●
KU4: EVUs & Stadtwerke: Einführung eines Leistungspreises auch bei kleinen Kunden (Haushalte).	hoch	mittelfristig	

STRATEGIE UND PLANUNG (VERKEHR, INFRA- STRUKTUR)

MASSNAHME	POTENZIAL ZUR ZIELERREICHUNG	ZEITHORIZONT	BEWERTUNG
SP1: Planung der Ladeinfrastruktur (Basis-Schnellladenetzt), Regionalisierung Ladebedarf-Prognose als Entscheidungsgrundlage für Gemeinden	hoch	kurzfristig	●●●●●
SP2: Masterplan / Roadmap Elektromobilität Thurgau	hoch	mittelfristig	●●●●●
SP3: Planung von Radschnellwege für Pendler	hoch	langfristig	●●●●●

INFORMATION UND BERATUNG

MASSNAHME	POTENZIAL ZUR ZIELERREICHUNG	ZEITHORIZONT	BEWERTUNG
IB1: Sensibilisierung: Garagisten-Motivations-Anlass, Informationsabend Chancen Elektromobilität und Um Schulungsbedarf, Einsatz Elektro-Einsatzwagen (Vor- teile für Garagisten aufzeigen, Informationen zum Thema «Entsorgung»)	mittel	kurzfristig	●●●●●

IB2: Anlass «kantonaler Erlebnistag Elektromobilität», Informationsabend für die Bevölkerung inkl. Roadshow, Beratungsfenster, Probefahrten, Informationsabend für Gebäudebesitzer, Planer, Architekten.	tief	kurzfristig	●●●●
IB3: Erstellung Broschüre für Eigentümer und Mieter	mittel	kurzfristig	
IB4: Erstellung Website zur Elektromobilität (inkl. Übersicht öffentlicher Ladestationen)	mittel	kurzfristig	
IB5: Hotline mit Beratungs-Angebote für Private und Arbeitgeber	mittel	kurzfristig	
IB6: Leitfaden für Ladestationen am Arbeitsplatz	hoch	kurzfristig	
IB7: Informationsanlass für Flottenbetreiber und gewerbliche Käufer + Broschüre	mittel	kurzfristig	
IB8: Informationsanlass für Planer, Architekten und Immobilienfirmen	mittel	kurzfristig	

VORBILDFUNKTION

MASSNAHME	POTENZIAL ZUR ZIELERREICHUNG	ZEITHORIZONT	BEWERTUNG
V1: Einsatz von Elektrofahrzeugen in der Verwaltung: Ist-Analyse; Anpassung Beschaffungskriterien.	mittel	kurzfristig	●●
V2: Einsatz von Elektrofahrzeugen in der Verwaltung: Ladestellen bei Amtsbauten (work charging). Fernsteuerungsmöglichkeiten des Ladevorgangs durch EVUs.	mittel	mittelfristig	●
V3: Elektrifizierung öffentliche Parkhäuser. Ladestrom aus 100%-erneuerbarem Strom aus dem Thurgau.	hoch	mittelfristig	
V4: Elektrofahrzeuge in Fahrschulen	mittel	kurzfristig	

PILOT- UND DEMOSTRATIONSPROJEKTE

MASSNAHME	POTENZIAL ZUR ZIELERREICHUNG	ZEITHORIZONT	BEWERTUNG
PD1: Elektrifizierung einiger Park and Ride Parkplätze für Emob mit 100%-erneuerbarem Strom aus dem Thurgau und stationären Speichern.	tief	kurzfristig	
PD2: Elektrogaragen (Rundumanbieter: Ladestationen + Service + Zubehör für e-Fahrer + PV-Anlage auf dem Dach.)	mittel	mittelfristig	
PD3: Förderung Elektrotaxis und Schnelladeinfrastruktur	mittel	kurzfristig	
PD4: Einsatz Elektrobusse	tief	mittelfristig	●●●●
PD5: Modellregion «Thurgau elektrisch» inkl. Smart Grid (zeitversetztes und gesteuertes Laden)	mittel	mittelfristig	●●
PD6: Ladeinfrastruktur im öffentlichen Strassenraum («Blaue Zone»)	mittel	mittelfristig	
PD7: Maximale Elektrifizierung Tankstellennetz mit 100%-Ökostrom aus dem Thurgau.	tief	mittelfristig	

A3 Stellungnahmen der Begleitgruppe

Interessensgemeinschaft Detailhandel Schweiz (IGDHS), Jörg Ackermann

Die IGDHS als bedeutender Wirtschaftszweig dieses Landes begrüsst die Bestrebungen des Kantons Thurgau zur Reduktion der schädlichen Treibhausgasemissionen. Die Mitglieder der IGDHS sind weltweit führend in Themen der Nachhaltigkeit. Sie können den Bericht in dieser Form nicht mittragen. Die Vorbehalte sind nicht «ob», sondern «wie».

Wasserstoffmobilität ist auch E-Mobilität und lässt sich ideal ins Energiesystem einbetten

In der vorliegenden Studie wird krampfhaft versucht, Batteriefahrzeuge (BEV) als die einzig richtige Technologie der E-Mobilität darzustellen. Die Brennstoffzellentechnologie (FCEV) wird nicht als Teil der E-Mobilität anerkannt. Es ist gefährlich, sich auf eine einzige Technologie einzuschiessen, die von einem aktuellen Hype getragen ist und Schlagzeilen macht. FCEV gewinnen aus gutem Grund an Schwung, da sich deren Technologie ideal ins Energiesystem einbetten lässt. H₂ als Energieträger wird an einem bestimmten Ort produziert und kann durch die Speicherfähigkeit lokal auf die Netzbedürfnisse und Energieherkunft agieren. Beim Batterieansatz müssen das Netz und die Energieherkunft auf den Ladewunsch der Fahrzeugnutzer reagieren. Steuerung von Produktion, Verbrauch und Energieherkunft bedarf komplexer Steuerungsmechanismen und Normierungen. Das Argument des tiefen Wirkungsgrades von H₂ wird im Kontext überschüssiger fluktuierender Stromproduktion generell überbewertet.

Automobilindustrie setzt auch auf Wasserstoffmobilität

Die Wasserstoffmobilität verbindet die Vorteile eines Elektrofahrzeuges mit den Annehmlichkeiten und Gewohnheiten, an die sich die Automobilisten seit Jahren mit einem konventionellen Fahrzeug gewöhnt haben (Betankungsdauer, Reichweite). Japan hat sich beispielsweise fest der Wasserstoffwirtschaft verschrieben und wird an den olympischen Spielen in Tokio im Jahre 2020 mit einer grossen Offensive aufwarten. Erste Serienfahrzeuge sind bereits auf dem Markt und der Aufbau des Versorgungsnetzes wird zügig vorangetrieben.

Regulierungen mit Blick auf einen wirkungseffizienten Klimaschutz

Die IGDHS erachtet es nicht als Aufgabe des Staates, sich auf eine bestimmte Technologie voreilig einzuschiessen und diese monetär und mit gesetzlichen Auflagen einseitig zu fördern. Gerade im Hinblick auf eine wirkungseffiziente Reduktion der CO₂ Emissionen ist es entscheidend, dass Investitionen der Privatwirtschaft in alle vorhandenen innovativen Technologien möglich sind. Welche Form sich durchsetzt, soll dem Markt überlassen werden.