

Ausgabe Nr. 3 // November 2019

DER **e**NERGIETECHNIKER

Mitgliedermagazin des Vereins

industrieller Energietechniker Leoben



Mobilität der Zukunft





Die dritte Auflage des Mitgliedermagazins des ViET



Liebe Leserinnen und Leser!

Die dritte Auflage des Energietechnikers greift ein Thema auf, welches momentan fast täglich in den Medien behandelt wird. Die „Mobilität der Zukunft“ ist ein entscheidender Baustein in den Bestrebungen, den Klimawandel zu verlangsamen und aufzuhalten.

Wer sich für dieses Thema interessiert, erhält mit dieser Zeitschrift ein topaktuelles und nach wissenschaftlichen Standards recherchiertes Magazin. Es werden aktuelle Forschungsergebnisse aus den Bereichen Wasserstoff, Energienetze und -verbunde, erneuerbare Brennstoffe, E-Mobilität und netzunabhängiger Bahnverkehr präsentiert. Dazu ist es wieder gelungen, die Institute der Montanuniversität und zwei externe Partner für Forschungsberichte zu gewinnen.

Außerdem berichten die Studienvertretung Industrielle Energietechnik und der Verein Industrieller Energietechniker wieder über ihre Aktivitäten. Besonders freut es mich, den Bericht über die erste Vereinsexkursion in dieser Zeitschrift veröffentlichen zu dürfen.

Glück Auf!

Andreas Pfeifer
Obfrau Stellvertreter



Der Energietechniker

Inhalt

Vorwort	2
Aus der Forschung	
Mobilität der Zukunft – Zwischen technologischer Vision und realer Praxis	4
Wasserstoff und Brennstoffzellen in der Mobilität	8
Brennstoffzellenfahrzeuge	14
ReUse – Lithium-Ionen Batterien	22
Elektromobilität – Ein Problem für die heutigen Niederspannungsnetze?	26
Erneuerbare Kohlenwasserstoffe	32
Abfälle aus der Elektromobilität	38
Aus dem Studium	
Exkursion	42
Bericht der Studienvertretung	44
Jahresbericht Vereinsobfrau	46

Mobilität der Zukunft

Zwischen technologischer Vision und realer Praxis

Noch nie sind Menschen so schnell und ohne jegliche Anstrengung mobil gewesen, wie jetzt. Innerhalb von Sekunden befinden wir uns mitten in Paris. Ein Wort, ein Klick und wir können um den Eiffelturm gehen. Die wohl bahnbrechendste Mobilitätsentdeckung der letzten Jahrzehnte stellt das Internet dar. Virtuelle Mobilität macht physische Mobilität überflüssig!? Die Zukunft der (digitalen) Mobilität ist also schon längst angebrochen!?

Nichtsdestotrotz, ohne physische Mobilität wird es auch in Zukunft nicht gehen. Hier können zwei wichtige technologische Entwicklungen angeführt werden, die das Potential haben die nähere oder mittelferne Zukunft bedeutend mitgestalten zu können. Auch in Fachkreisen wird diskutiert, ob diese Teil der Lösung oder sogar die Lösung selbst darstellen, möglicherweise sind sie jedoch Problem?

- Elektromobilität
- Autonome Mobilität - Autonomes Fahren

Elektromobilität

Unter Elektromobilität wird (zumindest in diesem Artikel) die Fortbewegung mit Fahrzeugen verstanden, die über einen elektrischen Antrieb verfügen. Im Wesentlichen wird durch Elektromobilität den negativen Umweltwirkungen in Hinblick auf direkte Luftschadstoffemissionen der KFZ entgegengewirkt, die bei Fahrzeugen mit „konventioneller“ fossiler Antriebstechnologie besonders ausgeprägt sind. Alle Bemühungen zum Umstieg auf Elektromobilität sind insbesondere zur Erreichung der Klimaziele und damit für den Erhalt unseres Lebensraums von immenser Bedeutung. Ein zweiter Aspekt im Kontext Elektromobilität ist die Energiefrage. Elektromobilität erlaubt – aus Sicht eines Verkehrsplaners etwas salopp formuliert – erneuerbare, ökologische Energie zu nutzen. Mit Elektromobilität können somit zwei „Fliegen“ mit einer Klappe „erledigt“ werden: Ressourcenschonende emissionsfreie Energieerzeugung und emissionsfreie Fortbewegung. Elektromobilität hat Zukunft und ermöglicht auch

zukünftige Mobilität.

Ist aber Elektromobilität die Mobilität der Zukunft? Und somit Teil der Lösung?

Autonome Mobilität

Unter Autonomer Mobilität wird das selbstständige automatische Fahren eines Fahrzeuges ohne jegliche steuernde Mitwirkung eines Fahrzeuginsassen verstanden. Vorstufen dazu sind: assistiertes Fahren, teilautomatisiertes Fahren, hochautomatisiertes Fahren und vollautomatisches Fahren. Diverse Quellen ist zu entnehmen, dass mit einem Durchbruch in den nächsten drei Jahren zu rechnen wäre, so fahren angeblich bereits über 1.000 selbstfahrende Testfahrzeuge im Silicon Valley herum und die Google-Schwester Waymo stünde davor, 82.000 Robotertaxis auf die Straßen zu bringen. Folgende unbestechliche Vorteile wird das autonome Fahren haben:

Die Fahrzeugsteuerung und Navigation werden unabhängig von den Fahrzeuginsassen. Das bringt

Vorteile für die Fahrzeuginsassen – diese können sich mit Anderem beschäftigen, müssen keinen Führerschein haben und auch nicht fahrtauglich sein – in der Eisenbahn und im Busverkehr von heute ist dies bereits, großteils barrierefrei möglich. Die Verkehrssicherheit wird sich scheinbar erhöhen, da Maschinen schneller reagieren können, als dies jemals ein Mensch könnte, und weil Fahrzeuge untereinander und mit der Infrastruktur kommunizieren werden können. Der Verkehrsablauf – wenn er denn typenrein, d.h. ausschließlich autonom ist – wird effizienter werden, da z.B. Fahrzeuge in kürzeren Abständen gefahren werden können, sodass u.a. mehr Fahrzeuge über die „Grüne Ampel“ kommen. In fernerer Zukunft kann daran gedacht werden die Effizienz der Nutzung der Infrastruktur durch gesteuerte abgestimmte Routenwahl mittels Verteilung der Fahrzeuge entsprechend der Kapazität des Straßennetzes weiter zu steigern. Voraussetzung dazu wäre eine übergeordnete Steuerungsin- stanz. Diese Effizienzsteigerung der Infrastrukturnutzung könnte in Folge zu einer Neuverteilung des Straßenraums zu Gunsten Fuß-, Rad- oder öffentlichen Verkehr oder sogar die Rückgewinnung von Verkehrsflächen ermöglichen, die zu Flächen für den Aufenthalt von Menschen umgestaltet werden könnten. Die Parkplatznot hätte ein Ende, das Fahrzeug kann ja schließlich autonom im Fließverkehr weiterfahren, während der Fahrzeuginsasse seinen Erledigungen nachgeht. Schließlich kann autonomes Fahren eine Grundlage für neue Formen im Verhältnis zwischen Besitzen und Benutzen werden. Untersuchungen weisen darauf hin, dass wir gesellschaftlich in Zukunft weg vom „Besitz“ hin zum „Teilen“ tendieren. Daraus resultiert dann

Vision von „herrenlosen“ herum- fahrenden Fahrgefäßen, die je- derzeit von jedermann allein oder mit anderen Personen zusam- men genutzt werden könnten. Ist aber autonome Mobilität, die Mobilität der Zukunft? Und somit Teil der Lösung?

Wie kann die Mobilität der Zukunft tatsächlich aussehen?

Um dies herauszufinden stellen wir die genannten technologischen Entwicklungen den heutigen/zukünftigen Problemen gegenüber. Damit soll beantwortet werden, inwiefern diese Entwicklungen die Lösung für die heutigen Probleme darstellen und somit zukunftstaugliche Lösungen oder die Lösung selbst sind, oder, um es endlich zu formulieren, neue Probleme erschaffen bzw. beste- hende verstärken.

Was sind die Probleme heutiger Mobilität?

Auf Mikro-Ebene, also auf Ebene einer Einzelperson, beschreibt man in Fachkreisen heutige Mobi- lität anhand einer Entscheidungs- kette, die aus den Entscheidungen zur Aktivitätenwahl, Zielwahl, Ver- kehrsmittelwahl und Routenwahl besteht. Der Entscheidungspro- zess wird beeinflusst von der per- sönlichen Disposition und dem Wissen um Alternativen bzw. den Einstellungen dazu, dem Angebot an alternativen Zielen, alternati- ven Verkehrsmitteln, alternativen Routen usf.. Die Abwägung der Alternativen setzt demnach ent- sprechende alternative Angebote und das Wissen darüber voraus. Das Ergebnis stellt sich als das „Verhalten der Einzelperson“ dar. Die Summe der Entscheidungen aller Einzelpersonen, d.h. die Sum- me der Verhalten aller Einzelper- sonen ergeben auf Makro-Ebene den Gesamtverkehr mit all seinen Erscheinungen.

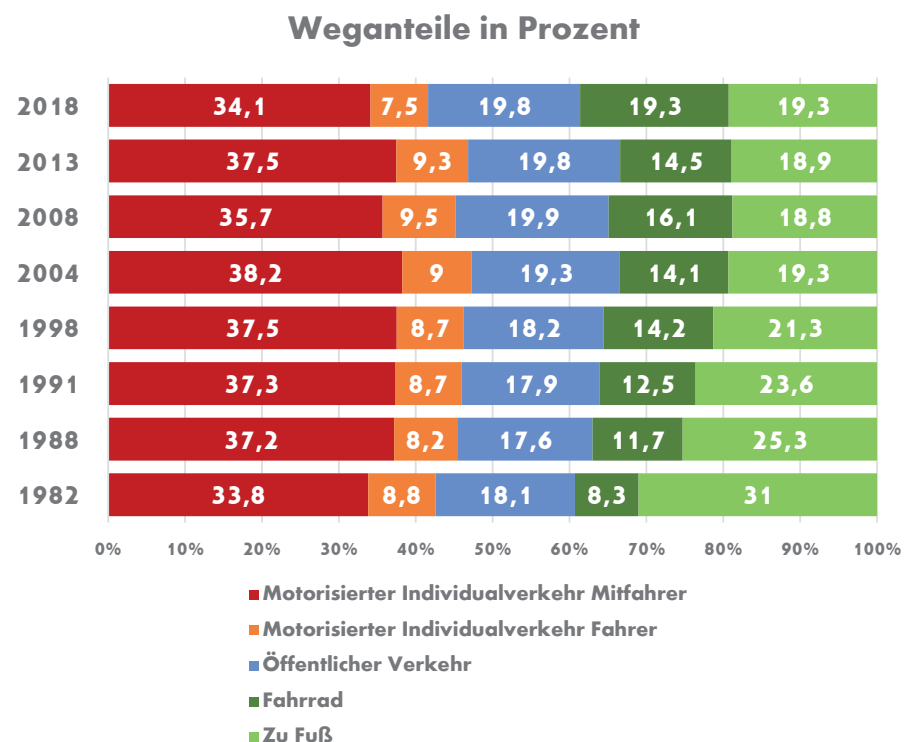


Abbildung 1: Entwicklung des Modal Split in Graz von 1982 bis 2018

Die Symptome auf Makro-Ebene können wie folgt festgehalten werden:

- Überlastete Straßen und KFZ-Staus insbesondere im urbanen Raum – zumindest zu den Spitzenzeiten.
- Hohe Schadstoffbelastungen insbesondere in Ballungsgebieten, die dem Straßenverkehr zum Großteil zugeschrieben werden.
- Hohe Abhängigkeit vom Autoverkehr, die insbesondere im ländlichen Raum durch disperse Siedlungsstrukturen – und geprägte Einstellungen – forciert werden.

Diskutieren wir nun die Wirksamkeit der beiden Technologischen Entwicklungen auf den beiden angesprochenen Betrachtungsebenen:

Elektromobilität beschränkt sich im Wesentlichen auf die Änderung der Antriebstechnologie. Auf Mikroskopischer Ebene wird aus verkehrsplanerischer Sicht durch Elektromobilität eigentlich ein KFZ durch ein anderes KFZ ersetzt, weshalb sich auf makroskopischer Ebene in Hinblick auf Stauerscheinungen und Abhängigkeit vom KFZ kein Unterschied zum IST-Zustand ergeben kann. Die wesentlichste und wichtigste Wirkung der Elektromobilität liegt damit in der Verminderung der fahrleistungsabhängigen Umweltwirkungen. Diese wünschenswerte Wirkung ist bei Verwendung erneuerbarer Energie, also Strom aus erneuerbaren Quellen (Sonne, Wind, Wasser) am höchsten.

Beim autonomen Fahren wird im Wesentlichen die Steuerung des KFZ dem KFZ – den Maschinen – überlassen. Der Fahrgast muss selbst weder Fahren können noch fahrtüchtig sein. Damit eröffnet

autonomes Fahren bisher ausgeschlossenen Gruppen (z.B. Kindern) eine selbständige KFZ-Mobilität. Während der Fahrt kann sich der Fahrgast mit anderen Dingen beschäftigen. Arbeit kann während der Fahrt erledigt werden. Freizeit kann während der Fahrt konsumiert werden. Die dadurch freiwerdende Zeit kann anderweitig verwendet werden z.B. indem an wieder eine außerhäusliche Aktivität wahrgenommen werden kann. Insofern könnte autonomes Fahren zu mehr Aktivität und Mobilität, also zu einem höheren Verkehrsaufkommen führen, und somit Effizienzgewinne zum Teil oder zur Gänze aufbrauchen.

Zusammenfassend muss festgestellt werden: Beide technologischen Entwicklungen führen zu wichtigen umweltrelevanten Änderungen oder neuen Möglichkeiten im Mobilitätsangebot. Beide Entwicklungen leisten deshalb einen bedeutenden Beitrag zu zukünftiger Mobilität – fachlich gesehen als Brückentechnologie geben sie eine gute Richtung vor. Dennoch betreffen beide technologische Entwicklungen nur ein Verkehrsmittel – das KFZ, und verstärken vielfach Probleme von heute...

In der Stadt Graz wurden unlängst die Ergebnisse der aktuellen Untersuchungen aus dem Jahr 2018 zum sogenannten Modal Split bekannt, die besagen, dass sich die Wege der Bewohner von Graz zu rund 58 % auf Fuß, Rad und ÖV aufteilen und nur noch zu rund 42 % auf KFZ (als Fahrer und Mitfahrer) (siehe Abbildung

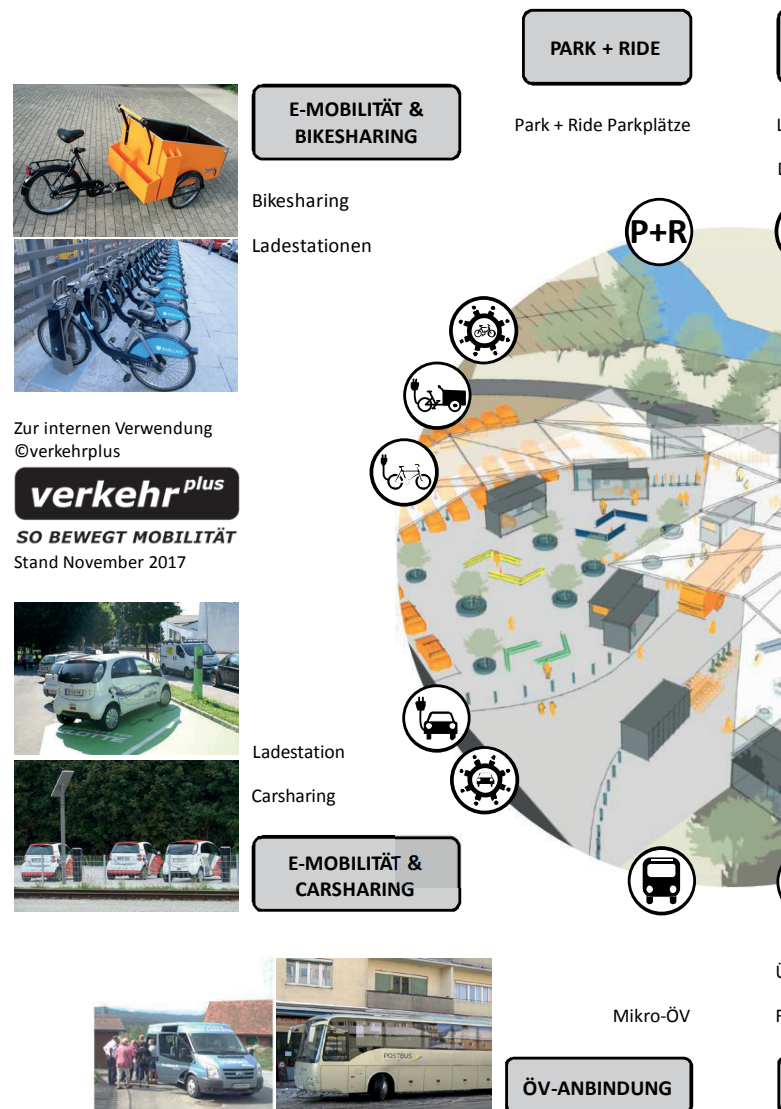


Abbildung 2: Elemente eines Multimodalen Knotens

1). Der Jahresvergleich zeigt eine Entwicklung weg vom KFZ hin zu den Alternativen. KFZ-Mobilität ist also nur ein Teil der gesamten Mobilität – im urbanen Raum weniger als im peripheren oder ländlichen Raum. Deshalb stellen beide diskutierten technologischen Entwicklungsansätze allein

bei weitem nicht eine Lösung der derzeitigen Problemlage dar.

Im gesamtem Mobilitätsspektrum der Gegenwart sind Alternativen zum KFZ ein wichtiger Teil der Mobilität, einerseits weil bei Anstieg deren Anteile am Modal Split den Symptomen auf Makro-Ebene (KFZ-Staus, Schadstoff-

benötigt. Änderungen in der Verkehrsmittelwahl - weg vom KFZ hinzu den Alternativen - unterstützt diese verkehrsplanerische Forderung. Im Mittelpunkt steht auf Mikro-Ebene die bewusste Entscheidung der Einzelperson für jeden Weg das effizienteste Verkehrsmittel zu wählen. Für den einen Weg kann dies das KFZ

sein, für einen anderen Weg kann dies das Fahrrad sein. Multimobilität als Alternative zur Monomobilität ist gefragt.

Damit dies gelingt, sind Multimodale Angebote als Grundlage für eine ausgewogene ressourcenschonende Mobilität der Zukunft auszubauen. Ein in diese Richtung gehender Ansatz zur Förderung von Multimodalität wird in der Steiermark derzeit durch die Schaffung von Multimodalen Knoten (Projekt REGIOtim) in Gemeinden außerhalb der Landeshauptstadt Graz verfolgt. Abbildung 2 zeigt die Elemente eines

Multimodalen Knotens. Hier werden nahezu alle Verkehrsmittel (ÖV, Rad, KFZ, Carsharing, E-Mobilität, Bike-sharing) miteinander an einem Ort verknüpft. Die Einzelperson hat somit Wahlfreiheit. Die Zukunft der Mobilität heißt demnach Multimobilität.

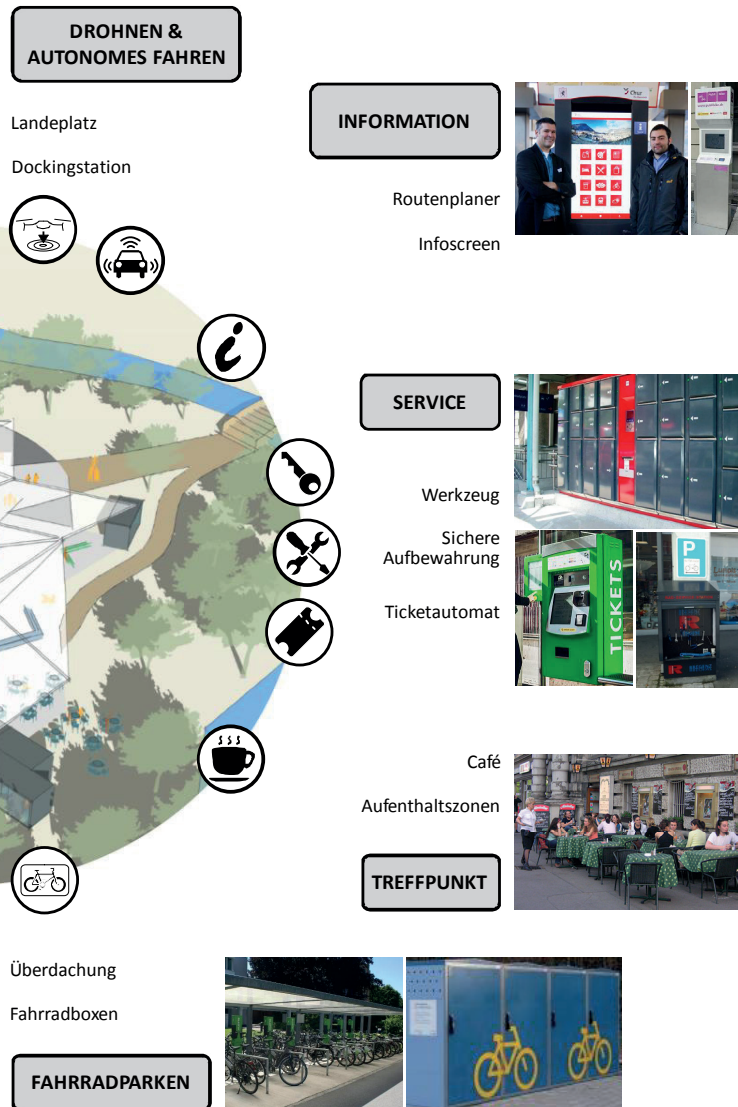


Dipl.-Ing. Dr. techn.
Ulrich Bergmann

Geschäftsführer des Ingenieurbüros verkehrplus Prognose, Planung und Strategieberatung GmbH in Graz.

Arbeitsschwerpunkte: Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, Mobilitätsforschung mit Schwerpunkt E-Mobilität.

Kontakt:
ulrich.bergmann@verkehrplus.at



belastung, ...) entgegengewirkt werden kann, andererseits weil der KFZ-Verkehr u.a. noch deshalb mit guter Qualität funktioniert, weil sich viele Personen eben für die Alternativen entscheiden. Um auch in Zukunft Mobilität mit guter Qualität sicherstellen zu können werden alle Verkehrsmittel

Wasserstoff und Brennstoffzelle in der Mobilität

Die ökonomischen, ökologischen, sozialen und gesundheitlichen Folgen von Klimawandel und Umweltbelastung durch Schadstoffe stellen eine ernsthafte Bedrohung unserer Lebensqualität dar. Eine nachhaltige Lösung bieten Energiewende und Wasserstoffwirtschaft mit der kompletten Dekarbonisierung unseres Energiesystems durch den vollständigen Ersatz der derzeit vorherrschenden fossilen Energieträger durch grünen (regenerativ erzeugten) Strom und grünen Wasserstoff, siehe Abbildung 1.

Die Energiewende zur nachhaltigen Stromerzeugung und zur Wasserstoffwirtschaft stellt die nächste große industrielle Revolution dar, die nicht nur die Aussicht auf eine gesunde und lebenswerte Umwelt für spätere Generationen bietet, sondern auch die wirtschaftliche Chance auf innovatives Know-how und Technologieführerschaft [6].

Zunächst ist der konsequente und flächendeckende Ausbau der regenerativen Stromerzeugung aus Sonne, Wind und Wasser erforderlich. Dieser Ausbau garantiert Versorgungssicherheit bei lokaler Wertschöpfung und Verbesserung der Lebensqualität durch Emissionsfreiheit. Zur Pufferung fluktuierendes Stromangebots und als Speichermedium wird speziell bei Stromspitzen durch Elektrolyse von Wasser grüner Wasserstoff hergestellt („power to hydrogen“). Wasserstoff kann in Behältern, unterirdischen Speichern oder dem (Erd-)Gasnetz unbegrenzt gespeichert und verteilt werden. Grüner Strom und grüner Wasserstoff können alle Anforderungen der Energietechnik in Haushalt, Industrie und Mobilität erfüllen.

Elektromobilität mit Wasserstoff und Brennstoffzelle

Die Herausforderungen für das

zukünftige Mobilitätssystem und damit die globale Automobilindustrie sind vorrangig die Reduktionen des Energieverbrauchs, der Schadstoffemissionen und der Treibhausgasemissionen. Elektrofahrzeuge mit Batterie- und Brennstoffzellentechnologie nehmen die Schlüsselrolle ein, um diese Herausforderungen bewältigen zu können.

Bei FCEVs (Fuel Cell Electric Vehicles) sind Energieumwandlung und Energiespeicherung getrennt, die Brennstoffzelle ist der Energiewandler und der Wasserstofftank der Energiespeicher, der im Vergleich zu BEVs (Battery Electric Vehicles) eine höhere gespeicherte Energie, eine höhere Reichweite und eine schnellere Betankung ermöglicht [1]. FC-Antriebssysteme werden als die „Langstrecken-“ und „Allzweck“-Alternative zu existierenden, rein batterieelektrischen Antriebssystemen angesehen. Desweiteren eignet sich FCEV-Technologie hervorragend für die Entwicklung in Europa, da vorhandenes Know-How, Fertigungstechnologien und Lieferketten aus der ICE (Internal Combustion Engine) Entwicklung und Herstellung übernommen werden können.

Fahrzeugsegmente

Mit Wasserstoff betriebene FCEVs bieten erhebliche Vorteile. Wasser-

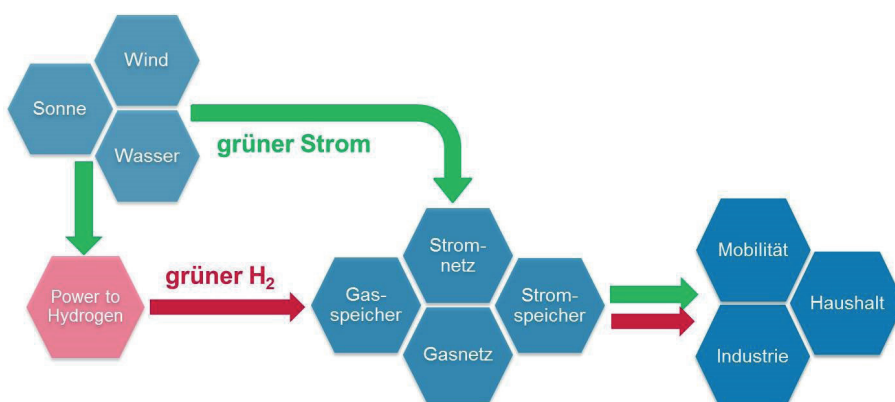
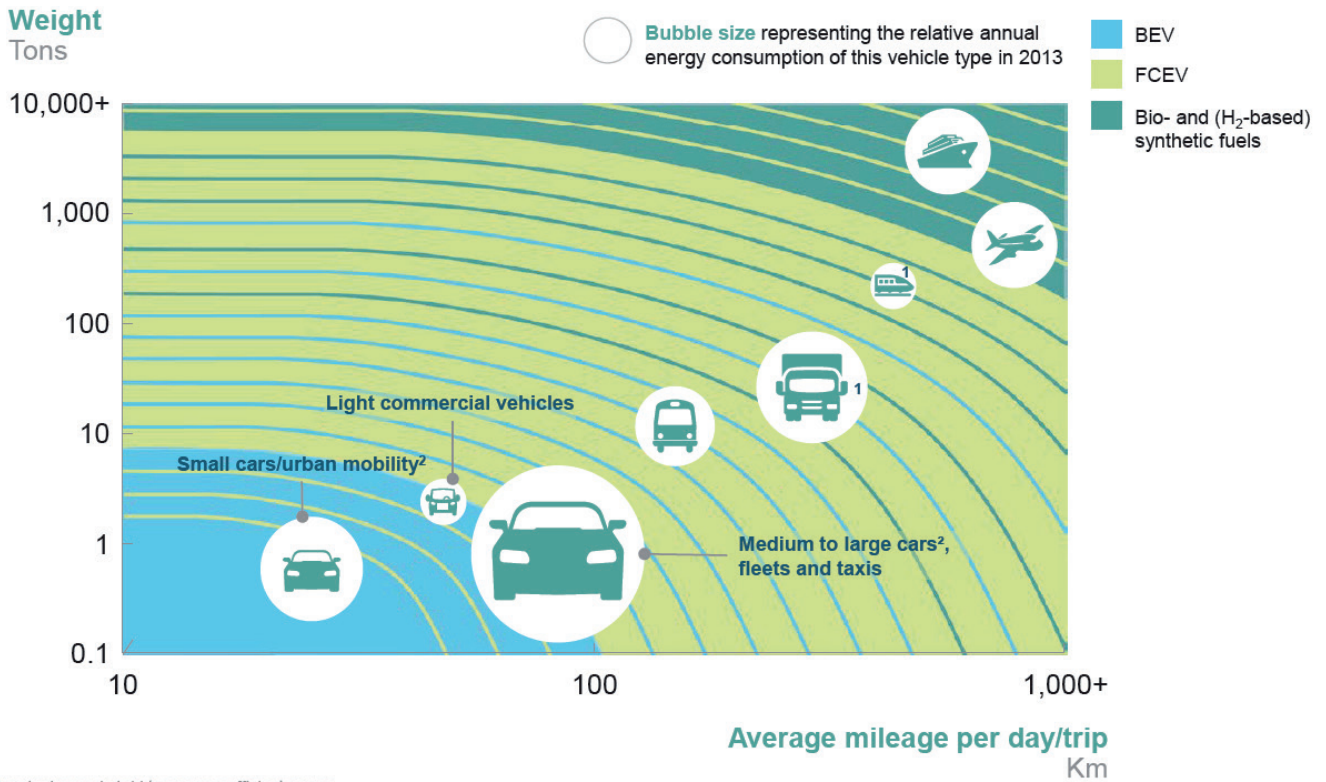


Abbildung 1: Vision von Energiewende und Wasserstoffwirtschaft [1]



1 Battery-hydrogen hybrid to ensure sufficient power

2 Split in A- and B-segment LDVs (small cars) and C+-segment LDVs (medium to large cars) based on a 30% market share of A/B-segment cars and a 50% less energy demand

Source: Toyota, Hyundai, Daimler

Abbildung 2: Rolle von FCEVs im zukünftigen Mobilitätssystem [2]

stoff ist ein unbegrenzt verfügbarer, sicherer und effizienter Energieträger, der aus verschiedenen regenerativen Quellen herstellbar ist und die erforderliche Flexibilität für die zukünftige Mobilität bestens erfüllt. Grundsätzlich bieten FCEVs ähnliche Reichweiten und Betankungsdauern (circa 3 Minuten) wie herkömmliche ICE-Fahrzeuge. Die Betankung ausgeführter FCEVs mit 5 kg Wasserstoff in 3 Minuten entspricht einer äquivalenten elektrischen Ladeleistung von circa 3,4 MW bei PKWs. Bei LKW bzw. Bus-Betankungen mit Wasserstoff wird eine äquivalente elektrische Leistung von 15 MW erreicht. Zur täglichen Betankung von mehreren hundert Wasserstofffahrzeugen genügt eine Tankstelle mit wenigen Zapfsäulen, wodurch sich geringe spezifische Infrastrukturkosten für große Flotten ergeben.

Wasserstoff stellt einen geeigneten Kraftstoff dar, wenn eine

hohe Leistung und ein großer Energiespeicher benötigt werden, siehe Abbildung 2. Der Einsatz von Brennstoffzellenantrieben mit Wasserstoff als Kraftstoff wird daher vorrangig in den nächsten Jahren im Schwerverkehr und bei Bussen im öffentlichen Verkehr erfolgen.

Kosten

Die gegenwärtigen hohen Kosten von FCEVs bei geringem Produktionsvolumen stellen, neben dem spärlich verfügbaren Tankstellennetz, ein Hindernis für die weitverbreitete Markteinführung dar. Dies ändert sich bei hohem Produktionsvolumen, da Brennstoffzellenantriebe hohe Skaleneffekte zur Kostensenkung aufweisen. Dies wurde auf Basis der veröffentlichten Kosten [3][4] für hohe Produktionsvolumina von 500.000 #/a für PKW berechnet, siehe Tabelle 1. Randbedingungen sind: Batteriekosten von 112,5 €/kWh,

Brennstoffzellenkosten von 40 €/kW und Wasserstoffspeicherkosten von 300 €/kgH₂. Eckdaten des betrachteten Fahrzeugs sind: Energieverbrauch am Rad des Fahrzeugs von 15 kWh/100 km, Energieausnutzung der Batterie von 80 %, TtW-Wirkungsgrad von BEV von 84 % und Wasserstoffverbrauch von FCEV von 0,85 kg/100 km.

Wirkungsgrade

Die untenstehenden Wirkungsgradanalysen erfolgen aufgeteilt in die Wandlung der Primär- in die Sekundärenergieträger, also von der Quelle bis zur Abgabe an der Steckdose oder Kraftstoffpumpe (Well-to-Tank, Well-to-Pump), in die Wandlung vom Sekundärenergieträger zur Nutzenergie (Tank-to-Wheel) und auf die Gesamtkette (Well-to-Wheel).

Die direkte Nutzung elektrischer Energie in BEVs erreicht höchste

Reichweite in km		100	200	300	400	500	600
FCEV	PEMFC - 100 kW	€ 4,000	€ 4,000	€ 4,000	€ 4,000	€ 4,000	€ 4,000
	Batterie 2 kWh	€ 225	€ 225	€ 225	€ 225	€ 225	€ 225
	Wasserstoffspeichersystem	€ 255	€ 510	€ 765	€ 1,020	€ 1,275	€ 1,530
BEV	Energie net in kWh	15	30	45	60	75	90
	Nennkapazität in kWh	22	45	67	90	112	134
	Kosten bei € 112,5 per kWh	€ 2,517	€ 5,035	€ 7,552	€ 10,070	€ 12,587	€ 15,105
Fahrzeug	FCEV	€ 4,480	€ 4,735	€ 4,990	€ 5,245	€ 5,500	€ 5,755
	BEV	€ 2,517	€ 5,035	€ 7,552	€ 10,070	€ 12,587	€ 15,105

Tabelle 1: Kostenvergleich von FCEV und BEV bei hohen Produktionsvolumina für PKWs

Wirkungsgrade und daher ist der Einsatz von BEV, wenn möglich, anzustreben. Wenn notwendig, auf Grund der höheren Energiespeicherdichte und Flexibilität, erfolgt der Einsatz von FCEVs mit immer noch hohen Wirkungsgraden. Die Wirkungsgradketten von BEV und FCEV untergliedert in Well-to-Tank und Tank-to-Wheel sind in Abbildung 3 dargestellt.

Für die erste Wandlung zur Herstellung von grünem Strom gelten folgende Richtwerte für die Wirkungsgrade: Strom aus Photovoltaik mit 15 %, Strom aus Windkraft mit 50 % und Strom aus Wasserkraft mit 90 %. Die Wirkungsgrade für den EU Strommix

liegen bei 48 % und für den österreichischen Strommix bei 76 %. Bis zur Nutzung der gespeicherten elektrischen Energie der Batterie im Fahrzeug sind die Wirkungsgrade der Netzübertragung inklusive Zwischenspeicherung und Transformation, der Wirkungsgrad der Ladestation und der Ladewirkungsgrad der Batterie zu berücksichtigen. Dabei ist zwischen Normalladung und Schnellladung mit hohen Ladeströmen zu unterscheiden. Bei Verwendung des österreichischen Strommix für BEV mit Normalladung beträgt der Wirkungsgrad der Well-to-Tank Kette 67 % und mit Schnellladung 58 %. Wasserstoff kann bei Wirkungsgraden zwischen 10 % und 80 %

hergestellt werden, sowohl bei der Erzeugung durch Reformierung aus Methan wie auch bei Elektrolyse werden Werte bis 80 % erreicht, die Wirkungsgrade für die Bereitstellung von Methan oder Strom sind einzubeziehen. Die Herstellung von grünem Wasserstoff erfolgt mittels Elektrolyse basierend auf grünem Strom. Bis zur Nutzung des Wasserstoffs im Fahrzeug sind die Wirkungsgrade der Netzübertragung inklusive Zwischenspeicherung und Transformation, der Wirkungsgrad der Elektrolyse (PEM Elektrolyse mit mittlerem Wirkungsgrad 70 %) und der Tankstellenwirkungsgrad für Kompression und Vorkühlung zu berücksichtigen. Mit Nutzung

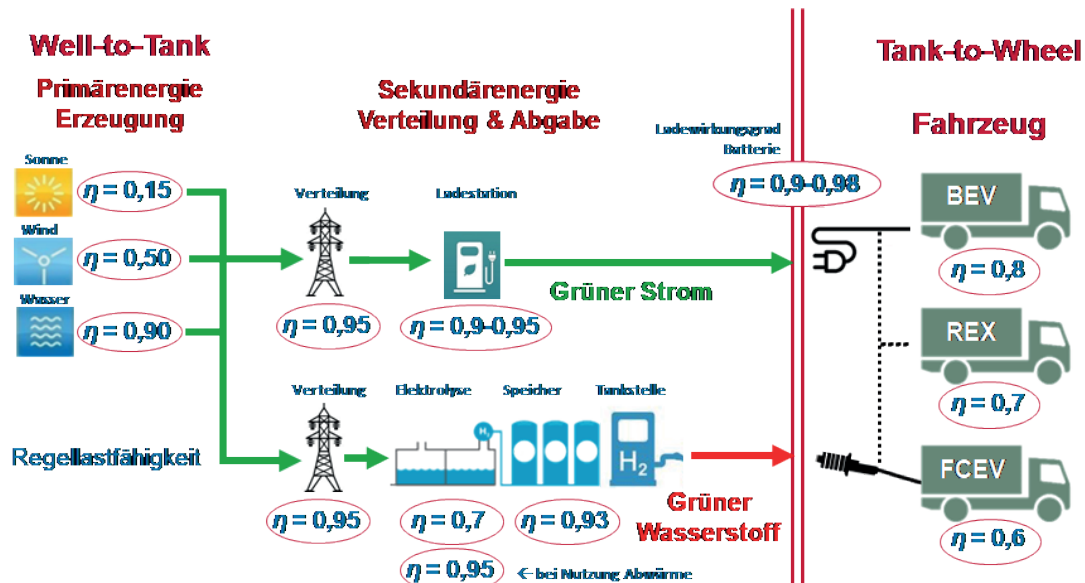
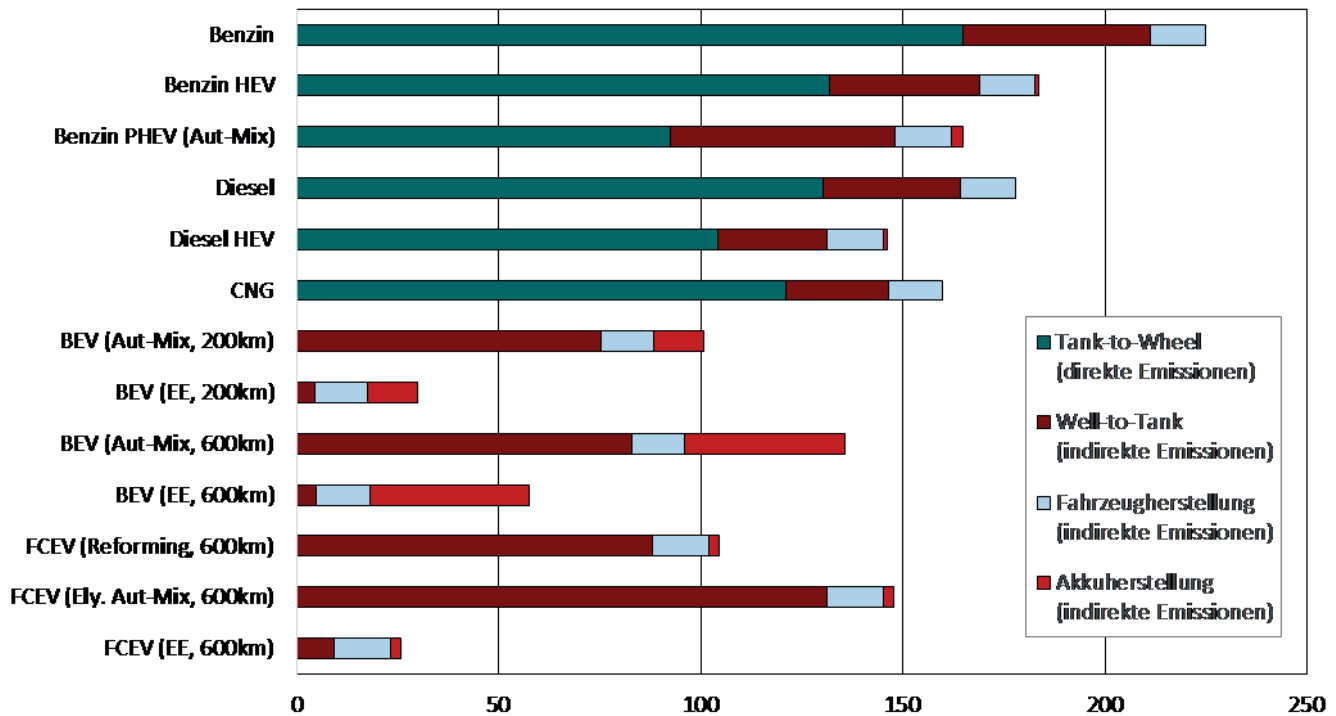


Abbildung 3: Wirkungsgradkette der regenerativen Elektromobilität

THG-Emissionen in g/Fkm



Daten basierend auf: UMWELTBUNDESAMT (2017c)

Abbildung 4: Treibhausgasemission verschiedener Antriebe

der Abwärme der Elektrolyse kann ein Nutzungsgrad von 95 % erreicht werden. Bei Verwendung des österreichischen Strommix beträgt der Wirkungsgrad der Well-to-Tank Kette von grünem Wasserstoff 48 % bzw. 64 % bei Nutzung der Abwärme der Elektrolyse.

Die Erzeugung von Diesel erfolgt Well-to-Tank mit Wirkungsgraden bis zu 85 %. Die Erzeugung von fossilem Wasserstoff mittels Reformierung aus Erdgas erfolgt Well-to-Tank mit Wirkungsgraden bis zu 70 %.

Bei reiner Traktion (Tank-to-Wheel) erreicht ein BEV 80 % und ein FCEV 60 %, die Wirkungsgrade von Range Extender Antrieben (REX) liegen zwischen BEV und FCEV. Die mittleren Wirkungsgrade ausgeführter Dieselantriebe im PKW liegen mit 20-25 % deutlich unter denen von BEVs und FCEVs. Die Well-to-Wheel Werte ergeben sich aus der Multiplikation von Well-to-Tank mit Tank-to-Wheel: BEVs 46-54 %, FCEV mit grünem

Wasserstoff 29 % bzw. 39 % bei Nutzung der Abwärme der Elektrolyse, FCEV mit fossilem Wasserstoff 41 % und Diesel-ICE 17-21 %.

Zusätzlich zur Traktionsenergie erfolgt im Realbetrieb ein hoher Energieeinsatz für die Klimatisierung (Heizung und Kühlung) der Fahrzeugkabine. Das FCEV kann Teile der Abwärme für die Heizung verwenden. Werden der Energiebedarf für Heizung/Kühlung als Aufwand beim Tank-to-Wheel Wirkungsgrad berücksichtigt so gleichen sich die Fahrzeugwirkungsgrade des BEV und FCEV weiter an.

Neben der reinen Wirkungsgradbetrachtung sind die Übertragbarkeit und Speicherkapazität von elektrischer Energie für die Versorgung von BEVs und FCEVs miteinzubeziehen. Die Erzeugung und Nutzung (Ladung) des elektrischen Stroms für BEVs muss in der Regel zeitgleich erfolgen, wodurch die direkte Nutzung regenerativer Stromquellen erschwert wird. In der Praxis führt dies bei

Überproduktionen von regenerativem Strom auf Grund fehlender Abnehmer zu Abschaltungen regenerativer Kraftwerke, das heißt das installierte Potenzial kann nicht voll genutzt werden.

Bei Wasserstoff sind Herstellung, Speicherung und Nutzung (Bertankung) getrennt, da Wasserstoff als Sekundärenergieträger als Speichermedium fungiert. Besonders der Einsatz von Elektrolyse ermöglicht die Nutzung von regenerativen Überschussproduktionen und Netzregeldienstleistungen, wodurch der geringere Wirkungsgrad im Verhältnis zur direkten Nutzung grünen Stroms wiederum relativiert wird.

Treibhausgasemissionen

BEVs und mit Wasserstoff betriebene FCEVs sind emissionsfreie Fahrzeuge von Tank-to-Wheel. Von Well-to-Tank können jedoch signifikante Emissionen vor der eigentlichen Fahrzeugnutzung auftreten, abhängig von der Art der Strom-, Kraftstoff bzw. Wasserstoff-

herstellung und dem Lade- bzw. Tankstellenkonzept. Abbildung 4 zeigt die Treibhausgasemissionen verschiedener Antriebe, wobei bei den Elektrofahrzeugen zwischen österreichischem Strommix (Aut-Mix) und erneuerbarem Strommix (EE) unterschieden wird.

FCEVs, die mit grünem Wasserstoff betrieben werden erreichen sehr niedrige WtW-Emissionen. Sogar die Verwendung von fossilem Wasserstoff der durch Methan-Dampfreformerierung erzeugt wird, führt zu niedrigeren WtW-Emissionen von FCEVs im Vergleich zu herkömmlichen Dieselfahrzeugen. BEVs, die mit Ökostrom betrieben werden erreichen die geringsten Well-to-Wheel CO₂-Emissionen.

Zur Reduzierung der gesamten CO₂-Emissionen muss zusätzlich zu den Well-to-Wheel-Emissio-

nen der gesamte Lebenszyklus einschließlich Herstellung und Recycling berücksichtigt werden. Erste Ökobilanzen von FCEVs [2] [5] zeigen sehr niedrige CO₂-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus. BEVs haben höhere Lebenszyklusemissionen, da die Herstellung und das Recycling von Batterien sehr energie- und ressourcenintensiv sind, siehe Abbildung 4. Besonders der Einsatz von großen Batteriekapazitäten in BEVs wirkt sich nachteilig auf die CO₂-Emissionen aus.

Insgesamt nehmen FCEVs eine wichtige Rolle bei der Reduktion von Treibhausgasen ein, da sie beim Betrieb mit grünem Wasserstoff die niedrigsten Emissionen aller Antriebe über den gesamten Lebenszyklus aufweisen.



Dipl.-Ing. Dr. techn.
Alexander Trattner

Geschäftsführer der
HyCentA Research GmbH

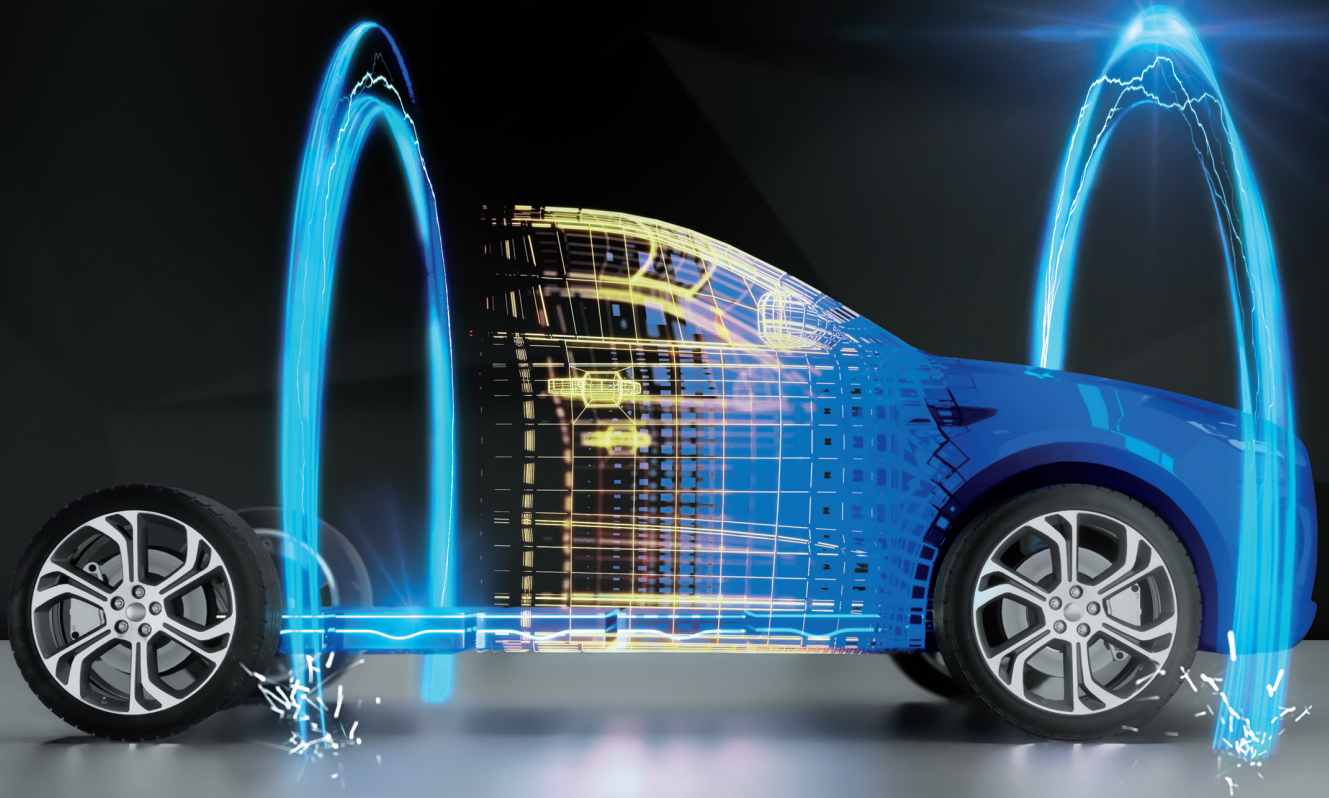
Forschungsschwerpunkte:
Wasserstofftechnologien, Brennstoffzellensysteme, Elektrolysesysteme

Kontakt:
trattner@hycenta.at



References

- [1] Klell, M., Eichlseder, H., Trattner, A.: Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik, Springer Verlag, Buch 4. Auflage, ATZ/MTZ Fachbuch, ISBN 978-3-658-20446-4, 2018.
- [2] Hydrogen Council, <http://hydrogencouncil.com/>, (20.10.2017)
- [3] DOE - Department of Energy USA, DOE Technical Targets for Fuel Cell Systems and Stacks for Transportation Applications, <https://energy.gov/eere/fuelcells/doe-technical-targets-fuel-cell-systems-and-stacks-transportation-applications> (20.10.2017).
- [4] Grögera, O., Gasteiger, H., Suchsland, J.: Review—Electromobility: Batteries or Fuel Cells?, Journal of the Electrochemical Society, <http://jes.ecsdl.org/content/162/14/A2605.full>, 2015.
- [5] Tokieda, Junji: „The Mirai - Life Cycle Assessment Report“, Toyota, 2015 Toyota Motor Corporation, <http://www.toyota.com>, <https://www.toyota.at/new-cars/new-mirai/index.json#1>, (20.10.2017)
- [6] Rifkin, J.: Die H₂-Revolution. Campus Verlag, Frankfurt New York, ISBN 978-3-593-37097-2, 2002.



**AVL ELECTRIFICATION
SWITCHED ON AND
FULLY CHARGED**



Prof. Werner Sitte

Brennstoffzellenfahrzeuge

© ÖAMTC/Heinz Henninger

Herausforderung

In der EU gehen 32% der CO₂-Emissionen zu Lasten des Verkehrs. Um die Paris-Klimaziele zu erreichen (Begrenzung des Anstieges der globalen Durchschnittstemperatur auf unter 2°C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau und Anstrengungen zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5°C) müssen mindestens 72% des vom

Verkehr stammenden CO₂ bis zum Jahr 2050 eingespart werden [1]. Die Paris-Klimaziele erfordern somit eine drastische Dekarbonisierung des Verkehrs. Um diese zu erreichen, sind batterieelektrische und brennstoffzellenelektrische Fahrzeuge wesentliche Optionen. In diesem Artikel wird die technische Entwicklung von brennstoffzellenelektrischen Fahrzeugen aus heutiger Sicht aufgezeigt.

Brennstoffzellenfahrzeuge

Brennstoffzellenelektrische Fahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicles, FCEVs) sind wie batterieelektrische Fahrzeuge (Battery Electrical Vehicles, BEVs) Elektrofahrzeuge. Bei einem FCEV erfolgt die Stromerzeugung direkt im Fahrzeug ohne Lärmbelastung und – beim Betrieb mit „grünem“ Wasserstoff – auch ohne Ausstoß von CO₂.



Sitte

Abbildung 1: Hyundai Nexo FCEV (2019)

Die derzeit kommerziell bei Pkw-FCEVs (Abb. 1) ausschließlich verwendete Polymerelektrolytmembran-Brennstoffzelle (PEMFC), welche mit reinem Wasserstoff betrieben wird, arbeitet zwischen 50°C und 100°C [2]. Bei PEMFCs versucht man speziell die Menge an Edelmetallkatalysatoren zu reduzieren bzw. zu ersetzen. Jedenfalls benötigt ein FCEV eine leistungsstarke Batterie, um das dynamische Verhalten des Fahrzeuges sowie die Rekuperation der Bremsenergie realisieren zu können. In diesem Sinne gibt es eine enge Verbindung zwischen Brennstoffzelle und Batterie.

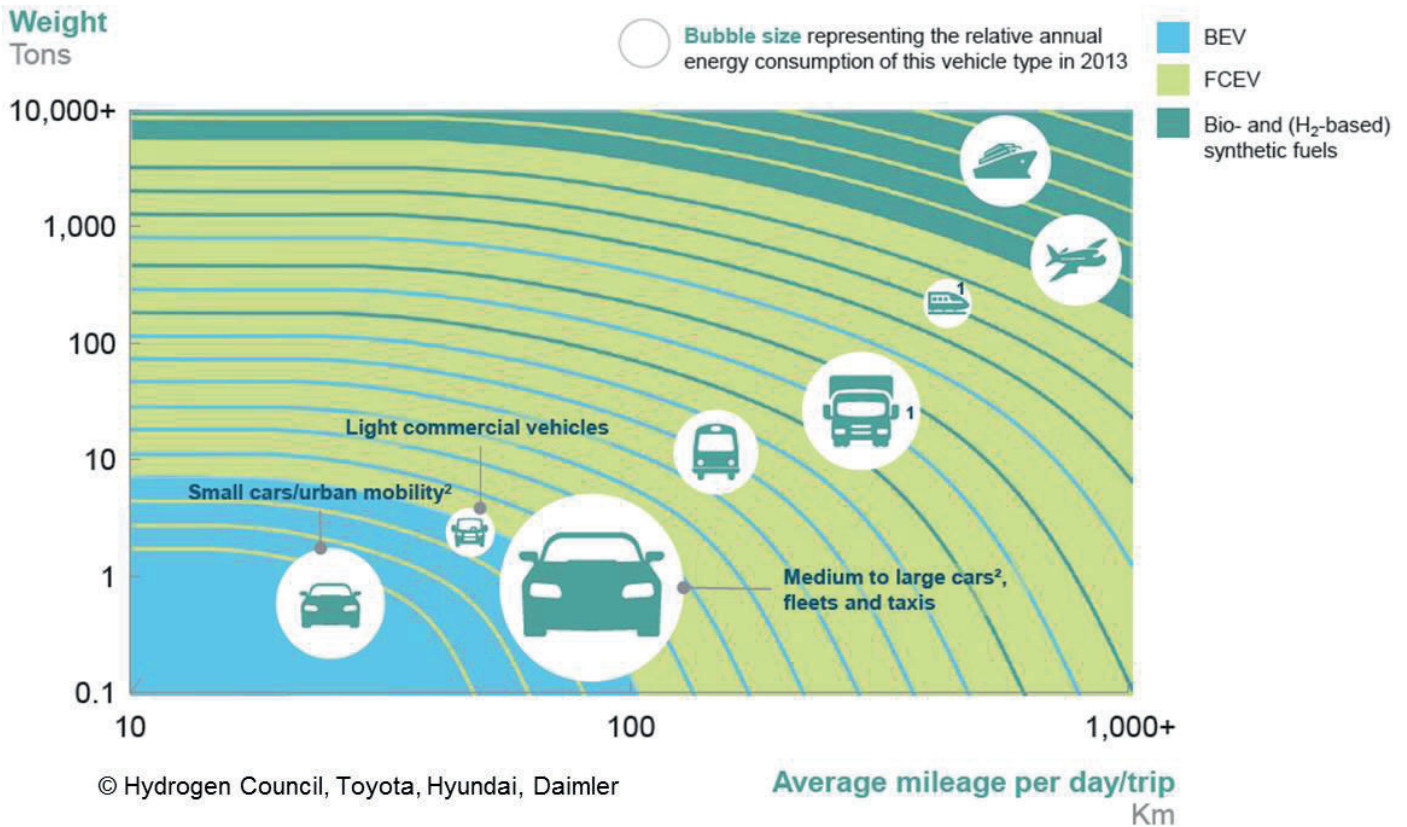


Abbildung 2: Einsatzbereiche von BEVs und FCEVs

Für kurze Strecken, z.B. im städtischen Bereich, besitzt das batterieelektrische Fahrzeug großes Zukunftspotential, während für lange Strecken und für Schwerfahrzeuge die Brennstoffzelle

die geeignete Lösung darstellt (Abb. 2).

Pkw mit PEMFCs haben derzeit Leistungen bis 150 kW. Neben dem Einsatz der Brennstoffzellen

für den Antrieb des Fahrzeuges werden speziell für Schwerfahrzeuge Range Extender sowie Auxiliary Power Units (APUs, jeweils 3-30 kW) entwickelt, welche die benötigte elektrische Energie

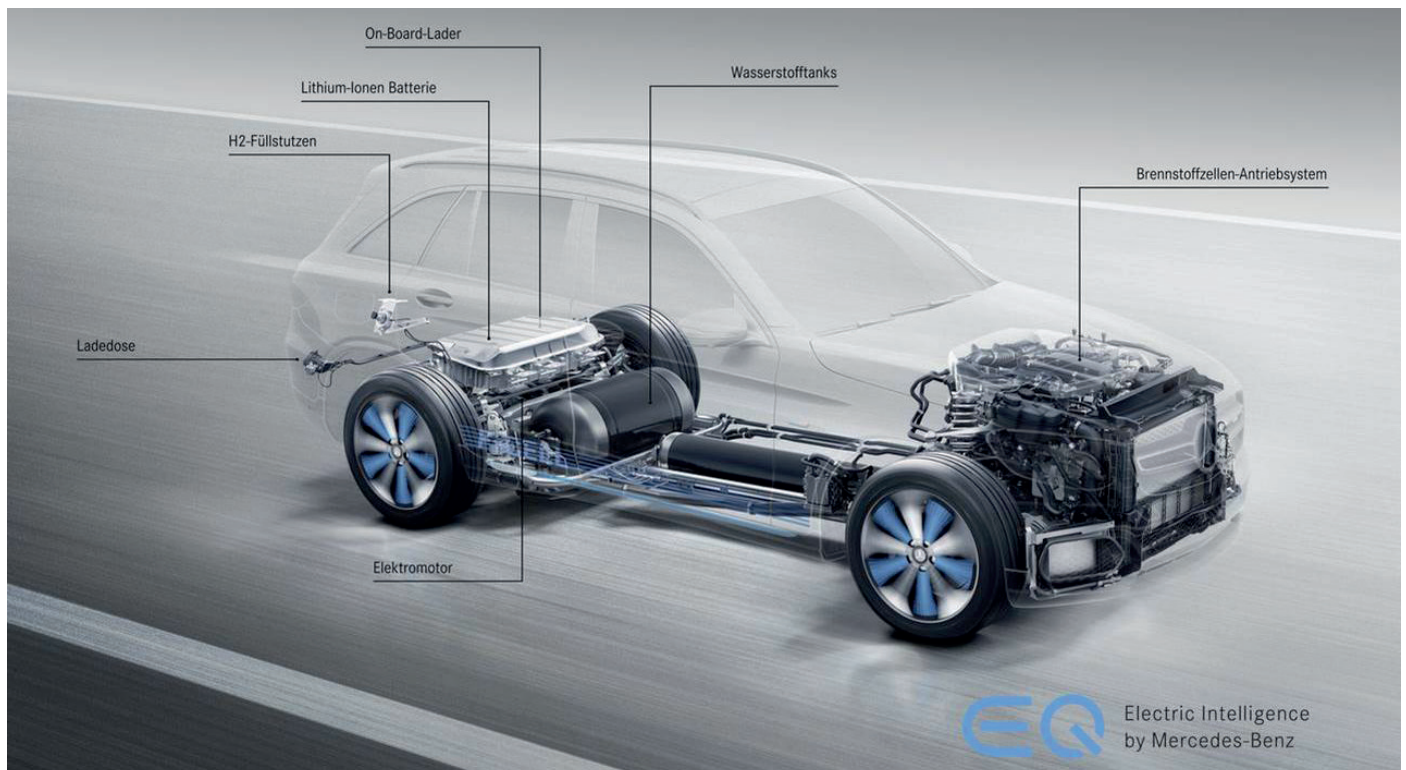


Abbildung 3: Aufbau eines Brennstoffzellenfahrzeuges (Mercedes GLC F-Cell)



Abbildung 4: Blick ins Innere (links) und Gesamtansicht des Fahrzeuges (rechts) (Mercedes GLC F-Cell)

während der Standzeiten von Schwerfahrzeugen erzeugen.

Wie bei herkömmlichen Fahrzeugen sind bei FCEVs kurze Betankungszeiten von wenigen Minuten möglich. Die Reichweiten liegen bei über 600 km und die Umwandlung in elektrische Energie erfolgt im Fahrzeug mit Wirkungsgraden von ca. 60%. Außerdem können Wasserstofftankstellen jene Konsumenten bedienen, welche keinen fixen Zugang zu Ladestationen für BEVs haben.

Zur **Speicherung des Wasserstoffes** in den Fahrzeugen gibt es verschiedene Möglichkeiten. Am teuersten ist die Verflüssigung von Wasserstoff, da dieser auf $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ gekühlt werden muss, wobei etwa 30% des Energieinhaltes verloren gehen. Aktuell erfolgt bei Pkws die Speicherung von gasförmigem Wasserstoff in Drucktanks bei 700 bar (für Busse bei 350 bar), wie sie beispielsweise von MAGNA-STEYR in Graz hergestellt werden. Die neuesten Drucktanks sind Kohlefaserverbundbehälter.

Brennstoffzellenfahrzeuge wurden vor allem in Asien zur Marktreife entwickelt und kamen erstmals 2014 auf den Markt. Derzeit werden 6 Pkw-Modelle angeboten, darunter ein Modell als Plug-in

Hybrid (ausgerüstet mit Brennstoffzelle und leistungsstarker Batterie), siehe Abb. 3 und 4. Über 25 weitere Modelle wurden bereits angekündigt [3].

Industrielle Erzeugung von Wasserstoff

Heute werden ca. 50% des weltweit erzeugten Wasserstoffes mittels Dampfreformierung von Erdgas (engl. Steam Methane Reforming, SMR) gewonnen, 30% beim Cracken von Erdölprodukten und – speziell in China - ca. 18% durch Vergasung von Kohle. Bei all diesen Verfahren werden große Mengen an CO_2 frei. Bei SMR - dem derzeit neben der Vergasung von Kohle kostengünstigsten Verfahren - sind dies beispielsweise ca. $10\text{ kg CO}_2/\text{kg H}_2$. Nur 2% werden durch Elektrolyse von Wasser erzeugt. Die Elektrolyse vermeidet die Erzeugung von CO_2 , ist aber noch mit den höchsten Kosten verbunden ($\$4\text{-}6/\text{kg H}_2$) [3]. Die Kosten resultieren aus dem Strompreis und den Anlagenkosten.

Versorgungsinfrastruktur

Der Ausbau der Wasserstofftankstellen (Hydrogen Refueling Stations, HRSs) geht in Europa zügig voran. So werden in Deutschland Ende 2019 etwa 100 HRS in den Ballungszentren und entlang der

Autobahnen in Betrieb sein. Bis 2023 sollen es 400 sein, welche eine mittlere Distanz von 90 km zueinander haben. Die Tankstellen werden von einem Konsortium aus 6 Industriepartnern, 6 Automobilfirmen und der Deutschen Bundesregierung mit Unterstützung von Hydrogen Mobility Europe finanziert. In Österreich sind derzeit 5 Wasserstofftankstellen in Betrieb (Wien, Wiener Neudorf, Graz, Innsbruck und Asten) (Abb. 5).

HRSs benötigen für die gleiche Anzahl an zu betankenden Fahrzeugen um den Faktor 10 bis 15 weniger Platz als Schnellladestationen für BEVs, da sie in kürzerer Zeit Fahrzeuge betanken können. So kann eine HRS mit 4 Tanksäulen etwa 60 Schnellladestationen für BEVs ersetzen.

Auch wenn das Wasserstofftankstellennetz rasch ausgebaut wird, ist die **Versorgung der Tankstellen mit Wasserstoff** ein zentrales Thema. Wasserstofftankstellen erhalten derzeit komprimierten Wasserstoff Mittels Tankfahrzeugen. Ein Tankfahrzeug kann 250 kg Wasserstoff transportieren, was etwa 50 Pkw-Betankungen entspricht (1kg H_2 reicht für ca. 100 km). Im Vergleich dazu liefern derzeit die größten Tanklastzüge rund 44.000 Liter Kraftstoff,



© ÖAMTC/Graphik



© H2-Mobility

Abbildung 5: Wasserstofftankstellen in Österreich (2018) und Deutschland (2019)

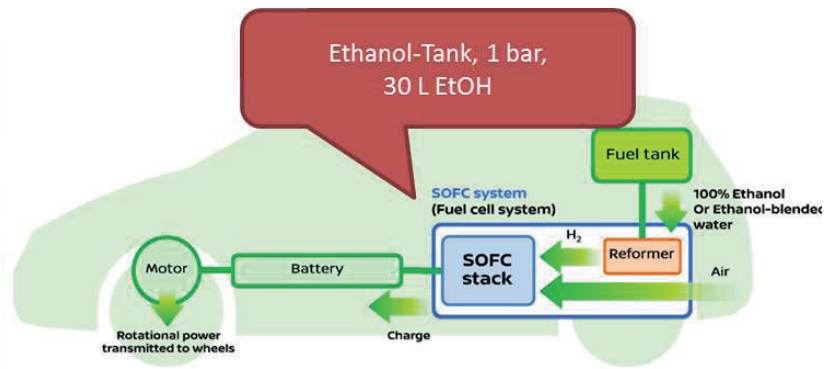


Abbildung 6: FCEV von Nissan mit SOFC (2016)

welcher für mehr als 1200 Pkw-Betankungen reicht.

Schwerfahrzeuge benötigen 50-60 kg Wasserstoff pro Tankvorgang und werden in Zukunft mit 700 bar betankt werden. Die heutigen Tankstellen müssen massiv ausgebaut werden, wenn Sie die Kapazität für die Betankung von Schwerfahrzeugen erreichen sollen. Es wird erwartet, dass eine Tankstelle 30 Tonnen Wasserstoff pro Tag abgeben kann [4].

Möglichkeiten zur Versorgung der H₂-Tankstellen sind Lieferfahrzeuge mit Druckbehältern, mit höheren Drücken, mit flüssigem Wasserstoff oder mit Wasserstoffspeichern (Hydride, metallorganische Gitterstrukturen, Kohlenstoffnanomaterialien, Zeolithe, Clathrate u.a.). Auch gibt es derzeit eine eher kontrovers geführte Diskussion zur Wasserstoffspeicherung in Form von Ammoniak. Zusätzlich kommen Pipelines in Frage, wobei das bestehende Erdgasnetz teilweise genutzt werden kann. Dabei wird der Transport des Wasserstoffes über lange Distanzen eine Verdichtung notwendig machen.

Als besonders wichtige Alternative bietet sich die direkte Erzeugung von Wasserstoff vor Ort durch Elektrolyse von Wasser mit grünem Strom an. Alkalische Elek-

trolyseure haben sich seit langem bewährt. Sie zeigen bei kontinuierlichem Betrieb leicht höhere Wirkungsgrade als PEM-Elektrolyseure, welche dafür noch leichter/schneller regelbar und daher insbesondere zur Netzstabilisierung geeigneter sind. Sie sind etwas wartungsärmer, allerdings in der Anschaffung teurer [5]. Jedenfalls wird eine Integration der H₂-Tankstellen mit Elektrolyseuren in das Energienetz erforderlich sein. Festoxidelektrolyseure (SOECs) besitzen höchste Wirkungsgrade, befinden sich aber noch im Entwicklungsstadium, siehe auch das Projekt HYDROCELL mit Beteiligung der Montanuniversität Leoben [6].

Brennstoffzellenfahrzeuge mit Festoxidbrennstoffzellen

Festoxidbrennstoffzellen (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) werden in ersten Prototypen von Brennstoffzellenfahrzeugen eingesetzt. Die Betriebstemperaturen von SOFCs mit keramischen Elektrolyten liegen zwischen 600°C und 900°C. Bei SOFCs steht die Entwicklung neuer, langzeitstabiler Komponenten unter Vermeidung von „kritischen Rohstoffen“ sowie die Steigerung der Leistung im Mittelpunkt.

2016 präsentierte Nissan anläss-

lich der Olympischen Sommerspiele 2016 in Rio de Janeiro einen Prototyp eines mit Bio-Ethanol betriebenen Festoxidbrennstoffzellenfahrzeuges [7]. Im Fahrzeug wird eine 24 kWh Batterie laufend geladen und so eine Reichweite von über 600 km realisiert. Der getankte Bio-Ethanol wird aus Zuckerrohr gewonnen. Da Brasilien ein geeignetes Tankstellennetz besitzt, kann der einfache Umgang mit diesem flüssigen Treibstoff genutzt werden.

Brennstoffzellenfahrzeuge – Stand der Technik und Blick in die Zukunft

Speziell für **Taxi-Flotten**, welche rund um die Uhr im Einsatz sind, sind Brennstoffzellenfahrzeuge auf Grund der kurzen Betankungszeiten sehr gut geeignet.

Brennstoffzellen-Busse verkehren bereits in etlichen europäischen Städten. Sie erreichen ähnliche Reichweiten wie Dieselsebusse. Das Förderprogramm „H₂ Bus Europe“ unterstützt in den kommenden 5 Jahren die europaweite Anschaffung von 600 neuen Brennstoffzellenbussen. Busse haben im Vergleich zu Lkws am Dach entsprechend Platz für Wasserstofftanks (350 bar). Ein Beispiel ist die Stadt Bozen. Hier wird der für die Busse benötigte Wasserstoff vor Ort durch 3 alka-



© STA/Roman Oberrauch



© Stadt Graz/Fischer

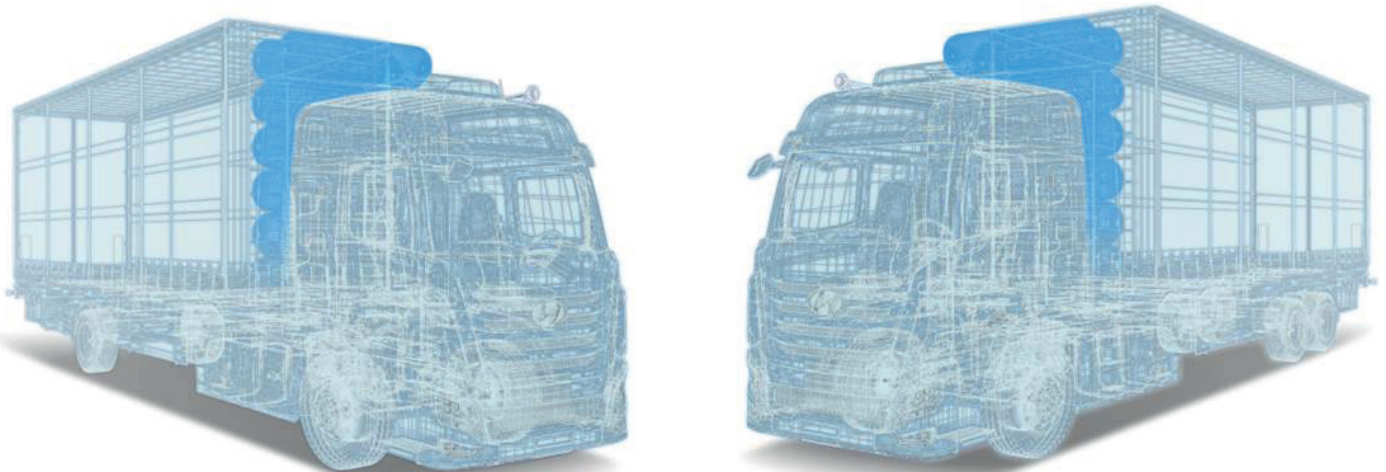
Abbildung 7: Brennstoffzellenbusse in Bozen (links) und Graz (rechts)

liche Elektrolyseure mit Strom aus lokaler Wasserkraft erzeugt (380 kg gesamte Tagesleistung). Diese speisen die Kompressoren für die Wasserstofftankstelle. Wasserstoff wird hauptsächlich in der Nacht produziert, wenn der Strom günstig ist. Die Busse bedienen auf Grund ihrer Reichweite von 350 km die längsten Linien [5]. Auch die Stadt Graz hat Mitte August 2019 mit der Postbus AG einen einwöchigen Testbetrieb für einen Brennstoffzellenbus durchgeführt. Bis 2025 will Graz nur mehr emissionsfreien öffentlichen Verkehr unter Einbeziehung von Brennstoffzellenfahrzeugen realisieren [8]. Die Wiener Linien wollen 2020 einen ersten Testbus in Betrieb nehmen. Der erste Brennstoffzellenbus soll in Wien 2024 auf der Linie 39A unterwegs sein [9].

In unmittelbarer Zukunft sind zwei Modelle von **Schwerfahrzeugen** für Europa geplant. Ab Ende 2019 wird Hyundai Motors mit dem Schweizer Wasserstoffunternehmen H2 Energy (H2E) im Rahmen eines Joint Ventures über einen Zeitraum von fünf Jahren erstmals weltweit 1.600 Brennstoffzellenschwerfahrzeuge für die Schweiz und andere Europäische Länder liefern, darunter auch einige für Österreich [10]. So wird eine Tiroler Supermarktkette im Jahr 2020 mehrere Nutzfahrzeuge bekommen und den benötigten Wasserstoff vor Ort durch Elektrolyse erzeugen. Es handelt sich um 34 Tonnen Nutzfahrzeuge mit 8 Wasserstofftanks für insgesamt 33 kg H₂; die Reichweite beträgt 400 Kilometer, die Motorleistung 350 kW.

Dass Hyundai gerade die Schweiz ausgewählt hat, liegt auch an der hohen Straßensteuer für Dieselfahrzeuge, womit die Schweiz Flottenbetreiber zum Umstieg auf zero emission Fahrzeuge motivieren will. Im Rahmen des genannten Joint Venture folgt der Export von Brennstoffzellenschwerfahrzeugen in andere Europäische Länder. Erst danach plant Hyundai die Ausweitung des Exports in weitere Länder wie USA und Kanada sowie die Belieferung des eigenen Marktes in Südkorea.

Zum Vergleich: ein batterieelektrischer LKW mit einem höchstzulässigen Gesamtgewicht von 19 Tonnen und einer Reichweite von 400 km hätte eine Nutzlast von 1 Tonne, während ein Brennstoffzellenfahrzeug vergleichbare Nutzlasten wie ein mit Dieselmotor



© Hyundai

Abbildung 8: Die ersten Brennstoffzellen-LKWs von Hyundai (links 34 Tonnen, rechts 40 Tonnen Gesamtgewicht)

betriebenes Fahrzeug ermöglicht (6 und 6,5 Tonnen) [11,12].

Auf Grund des großen Bedarfes an Wasserstoff spielt auch bei **Zügen** die Infrastruktur eine besondere Rolle. Erste Züge sind in Deutschland und Frankreich in Betrieb. Als österreichisches Pilotprojekt gilt die neue **Zillertalbahn**, für welche der benötigte Wasserstoff kostengünstig durch Elektrolyse erzeugt wird. Die Zillertalbahn ist eine Schmalspur-Regionalbahn zwischen Jenbach und Mayrhofen. Im Zuge des erforderlichen Neubaus hat man sich entschlossen, nicht auf elektrischen Betrieb mit neu zu errichtenden Oberleitungsmasten, sondern auf Brennstoffzellenfahrzeuge zu setzen. Dazu waren auch die geringeren Infrastrukturkosten (Anschaffung, Instandhaltung, Energieversorgungssysteme) des wasserstoffbetriebenen Elektrotriebzuges gegenüber Elektrobetrieb maßgebend.

Die neue Zillertalbahn wird ab Winterfahrplan 2022/23 auf Wasserstoffbetrieb umgestellt werden. 2 PEMFCs liefern je 250 kW Leistung. Um die gewünschten Beschleunigungswerte zu erreichen, werden zusätzlich zu den Brennstoffzellensystemen 2 Traktionsbatterien mit einer Leitung von je 450 kW eingebaut. Der Wasserstoff wird in Drucktanks bei 350

bar gespeichert, insgesamt sind es 320 kg pro Zug. Die Menge reicht für einen Tag und die Betankung erfolgt außerhalb der Betriebszeiten. Der benötigte Wasserstoff wird durch Elektrolyse in Mayrhofen kostengünstig hergestellt und die Abwärme der Elektrolyse wird vor Ort zur Heizung der Gebäude und Werkstätten verwendet werden [13].

Auf Grund der geringen Lärmbelastung und den niedrigen CO₂- / NO_x-Emissionen werden **Schiffe mit Brennstoffzellen** vor allem als große Passagierschiffe und Fähren für den küstennahen Bereich geplant. Auch können Brennstoffzellen als Hilfsaggregate (APUs) an Bord die Dieselmotoren ersetzen [1].

Für **Flugzeuge** werden Kohlenwasserstoffe auf Grund ihrer hohen gravimetrischen wie volumetrischen Energiedichte auch in naher Zukunft schwer zu ersetzen sein. Es bieten sich synthetische Treibstoffe an, welche aus H₂ und CO₂ (idealerweise aus biogenen Quellen) erzeugt werden (Power-to-Gas Technologie). Synthetische Treibstoffe sind in Bezug auf ihre Energiedichten durchaus mit herkömmlichen Treibstoffen vergleichbar. Sie benötigen keine eigene Infrastruktur und in vielen Fällen ist eine Umstellung

auf synthetische Treibstoffe mit geringem technischem Aufwand realisierbar. Eine wichtige Herausforderung bei der Herstellung von synthetischen Treibstoffen ist der Wirkungsgrad bei deren Herstellung. Zusätzlich ist die Beifügung von **Biotreibstoffen** möglich, sofern die Nachfrage hier gedeckt werden kann [1].

In diesem Zusammenhang läuft seit 2018 das österreichische Leitprojekt „**HydroMetha**“ mit Beteiligung der Montanuniversität Leoben (Lehrstuhl für Physikalische Chemie und Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des Industriellen Umweltschutzes). Das Projekt verbindet die Hochtemperatur elektrolyse von Kohlendioxid und Wasser mit der katalytischen Methanisierung, um die Speicherung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energiequellen mit einem hohen Gesamtwirkungsgrad zu ermöglichen [14].

Ausblick

- Die Brennstoffzelle hat klare Vorteile im schweren Güterverkehr und für große Distanzen.
- Die Versorgungsinfrastruktur für Wasserstoff stellt eine große Herausforderung dar.
- Der Start von Brennstoffzellenfahrzeugen wird speziell für Fahrzeugflotten im Depotbetrieb erfolgen, also mit Betankung an einem zentralen Ort.
- Für biogene Treibstoffe aus nachhaltigen Ressourcen sowie für synthetische Treibstoffe ist die SOFC auf Grund ihres hohen Wirkungsgrades eine interessante Alternative.



Abbildung 9: Die neue Zillertalbahn



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.

Werner Sitte

Leiter des Lehrstuhls für Physikalische Chemie

Lehre im Bereich der Industriellen Energietechnik: Physikalische Chemie, Elektrochemische Energiespeicherung und -umwandlung.

Forschungsschwerpunkte: Masse- und Ladungstransportprozesse im Festkörper unter Berücksichtigung der Defektchemie einschließlich Korngrenzen und Grenzflächen. Das Forschungsinteresse umfasst sowohl grundlegende Fragestellungen wie auch auf Aspekte der Anwendungen in Festoxidzellen (Brennstoff- und Elektrolysezellen). Dazu sind interessierte Studierende der industriellen Energietechnik zu Bachelor- und Masterarbeiten am Lehrstuhl für Physikalische Chemie gerne eingeladen.

References

- [1] Hydrogen Roadmap Europe, Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, 2019.
- [2] M. Klell, H. Eichseder, A. Trattner, Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik - Erzeugung, Speicherung, Anwendung, Springer, 2018.
- [3] World Energy Outlook, International Energy Agency, 2018.
- [4] Newsletter Wasserstoff + Brennstoffzelle, KW 36, 2-4, 2019.
- [5] Information von Hannes Kröss, Zentrum für Wasserstoff und Elektromobilität, Institut für Innovative Technologien, Bozen, Mai 2019.
- [6] <https://physchem.unileoben.ac.at/de/5761/>
- [7] Pressemitteilung Nissan Motor Co., Ltd, Yokohama, Japan, 04.08.2016.
- [8] Pressemitteilung Stadt Graz, 14.08.2019.
- [9] Pressemitteilung Wiener Linien, 04.09.2019.
- [10] Pressemitteilung Hyundai & H2E, 15.04.2019.
- [11] R. Huber, Presentation at the A3PS Conference 2017 Applied Advanced Propulsion Systems, 2017.
- [12] A. Trattner, F. Mair, P. Pertl, M. Klell, 15. Symposium Energieinnovation, 14.-16.02.2018, Technische Universität Graz, 2018.
- [13] H. Schreiner, N. Fleischhacker, Zillertalbahn 2020+ - Energieautonom mit Wasserstoff, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 6, 66-71, 2018.
- [14] Projekt HydroMetha <https://projekte.ffg.at/projekt/2903976>

Flott unterwegs:

Mit 2000 kg ReUse-Lithium-Ionen-Batterien auf die Schiene

Ende 2014 haben die Österreichische Bundesbahnen (ÖBB) gemeinsam mit der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) den Grundstein für eine Studie zur Umrüstung von bestehenden Verschublokomotiven gelegt. Die Ausschreibung unter dem Namen „Mobilität der Zukunft“ hatte das Ziel, Triebfahrzeuge der ÖBB mit alternativen Antriebstechnologien auszustatten. Das Institut für Elektrotechnik (IET) der Montanuniversität nutzte im Zuge des Projektes nicht nur die Möglichkeit, Erfahrungen auf dem Neuland der Batterie-Schwerlastmobilität zu sammeln. Es wurde zudem bereits genutzten und ausgemusterten Batteriezellen zu einer zweiten Lebenszeit verholfen. Gemeinsam mit dem Projektpartner HET Hochleistungs- Eisenbahn- und Transporttechnik Entwicklungs GmbH konnte so im September ein umgebautes Triebfahrzeug des Typs ÖBB 1063 vorgestellt werden.

Im Bahnnetz der ÖBB sind auch heutzutage noch große Teile nicht mit Fahrleitung überspannt. Vor allem auf Stichstrecken, Ladegleisen

und in Verschubbereichen wird aus Kostengründen häufig darauf verzichtet, sämtliche Fahrwege elektrisch zu versorgen. Solche Bereiche werden dann fast ausschließlich mit Diesel-Fahrzeugen befahren.

Jedoch ist der Betrieb einer „Diesel-Flotte“ verglichen mit rein elektrischen Bahnfahrzeugen häufig auch mit höheren Kosten für den Betreiber verbunden. Sowohl die Wartung der Verbrennungsmotoren als auch deren Infrastruktur ist mit Standzeiten und Personalaufwand verbunden. Zusätzlich fällt für die ÖBB der Energiepreis des Diesel-Kraftstoffs ins Gewicht, der endenergetisch gesehen tatsächlich einen höheren finanziellen Aufwand darstellt als der von Elektrolokomotiven konsumierte Strom. Nicht zuletzt wird der Betrieb von Dieselfahrzeugen ständig aufwändiger, um noch den aktuellen Abgasnormen der EU zu entsprechen.

Auf Basis dieser Faktoren wurde über die Ausschreibung „Mobilität der Zukunft“ von den ÖBB und der FFG die Möglichkeit der Erweiterung und Umrüstung von elektrisch

betriebenen Verschublokomotiven geprüft. Dazu sollten gleich zwei Funktionsmuster mit alternativen Antriebssystemen samt Speichermöglichkeit ausgestattet werden. Die Anforderungen an die fertig umgebauten Lokomotiven waren wie folgt definiert:

- Der Speicher sollte zumindest eine physikalische Arbeit von 200 kWh verrichten können.
- Die Gesamtleistung an den Rädern sollte zumindest 400 kW betragen.
- Eine Aufladung des Energiespeichers in mit Fahrleitung bespannten Bereichen sollte innerhalb adäquater Zeit möglich sein.
- Der Einsatz eines Verbrennungsmotors sollte unbedingt verhindert werden.

Außer diesen Aspekten war es den Projektpartnern zwar freigestellt, ein Konzept zum Betrieb einer solchen Lokomotive zu erstellen, allerdings stellte sich heraus, dass die Fahrzeuge, um im Verschubdienst getestet werden zu können, eine Eisenbahnzulassung brauchten.

Abgesehen vom finanziellen Mehraufwand des recht knapp bemessenen Projektbudgets wurden hier zusätzliche Notwendigkeiten in den Raum gestellt. Vor allem Aspekte der Batteriesicherheit sowie die Platzierung dieser, um Sichtfreiheit für den Triebfahrzeugführer zu gewährleisten, waren essentielle Themen. Die letzte Schwierigkeit lag darin, am bestehenden Fahrzeug keine groben Änderungen vorzunehmen, um nach der Erprobung den ursprünglichen Zustand wiederherstellen zu können. Somit musste zu großen Teilen auf die Technik der in den 1980er-Jahren produzierten Baureihe 1063 zurückgegriffen werden. Nach der Konzeptionsphase wurde letztendlich das Fahrzeug ÖBB 1063.038 an die Firma HET übergeben.

Das Fahrzeugkonzept sah eine Fahrbatterie bestehend aus Lithium-Ionen-Zellen vor sowie eine Möglichkeit, diese während der Fahrt ohne Oberleitung mit einer leistungsstarken Wasserstoff-Brennstoffzelle nachladen zu können.

Bereits vor dem Umbau des Fahrzeugs wurden am IET Vorbereitungen getroffen, um dem Projekt größtmögliche Erfolgchancen zu gewähren. Im Fokus standen dabei vor allem die Forschung in den Bereichen Schwerlast-Batteriemobilität sowie Wiederverwendung von bereits eingesetzten Batteriemodulen. Um den sicherheitsrelevanten Anforderungen für eine Bahnzulassung gerecht zu werden, wurden hierzu einerseits Brandversuche mit Lithium-Ionen-Batterien durchgeführt, andererseits eine Möglichkeit entwickelt, um den Betrieb der ReUse-Batterien so sicher wie möglich zu gestalten.

Neben diversen Versuchen zur Einschätzung von Brandauswirkungen wurden zudem die ReUse-Batterien auf ihre Einsatztauglichkeit getestet. Zu diesem Zweck wurden sämtliche eingesetzten Batterie-Module auf Spannungsgleichheit zwischen den einzelnen Zellen geprüft und zumindest einmal vollständig geladen und danach wieder entladen. Hierbei wurde vor allem auf die Restkapazität der einzelnen Zellen

und deren Spannungs- und Temperaturverlauf während der

Lade-/Entladevorgangs geachtet. Über diese Daten konnten bereits stark vorgeschädigte Zellen identifiziert und aus der Nutzung auf der Lokomotive ausgeschlossen werden. Die Ausschussrate lag dabei unter 10 %.

Zwischen Mai und September 2017 wurden dann schließlich die Maßnahmen implementiert, um dem Triebfahrzeug einen fahrleistungslosen Betrieb zu ermöglichen. Hauptaufgabe des IET war es dabei, den sicheren Batteriespeicher zur Verfügung zu stellen und aufzubauen, sowie die Integration ins bestehende Fahrzeug sachgemäß vorzunehmen.

Teil des Umbaukonzepts war die Platzierung des Energiespeichers auf den seitlichen Trittbrettern der Lokomotive. Durch diese Maßnahme kamen gleich mehrere Vorteile zum Tragen:

- Der Sichtbereich des Triebfahr-



Abb. 1: Umgebaute Hybridlokomotive mit seitlich platzierter Fahrbatterie und DC-Schaltgerüst

zeugführers wurde minimal eingeschränkt.

- Die Zugänglichkeit zur Fahrbatterie war außergewöhnlich gut.
- Die räumliche Aufteilung der Fahrbatterie auf vier Teile erhöhte die Redundanz des Systems im Falle eines möglichen Brandes und reduzierte die Brandlast.
- Der Gesamtschwerpunkt der Lokomotive wurde nur geringfügig verändert.

Abbildung 1 zeigt die Platzierung der Fahrbatterie an einer Seite der Lokomotive. Mit der räumlichen Trennung wurde die gesamte Speicherkapazität in vier gleiche Pakete – in weiterer Folge Teileinheiten genannt – aufgeteilt. Eine solche Teileinheit hatte im geladenen Zustand eine Spannung von 600 VDC und eine Kapazität von 100 Ah. Zwei Teileinheiten in Serie bildeten einen Strang, der letztlich in den Zwischenkreis des bestehenden Umrichters geschaltet wurde. Innerhalb einer Teileinheit wurden insgesamt sechs Racks in Serie geschaltet. Ein Rack bildete eine leicht zu wechselnde Untereinheit und bestand aus vier in Serie geschalteten Batteriemodulen auf einem Stahlrahmen und innerhalb einer Innenverkleidung. Auf einem Modul – bestehend aus zwölf Zellen – wurden je 6 Zellpaare in Serie

geschaltet. In Abbildung 2 ist die Unterteilung der Fahrbatterie in die einzelnen Einheiten sehr detailliert zu sehen. In dieser Konfiguration kamen insgesamt 96 Batteriemodule beziehungsweise 1152 Zellen des Herstellers Yuasa mit einer gesamten nominellen Kapazität von etwa 200 kWh und einer gesamten Batteriemasse von 2.000 kg zum Einsatz. Sämtliche Zellen stammten aus der Entsorgung und wurden daher vor einer thermischen bzw. stofflichen Verwertung bewahrt.

Der Aufbau der Fahrbatterie hatte zwei wesentliche Gründe:

- Die Einteilung in Module zu zwölf Zellen war vorgegeben, da sämtliche Zellen in vorgefertigten Rahmen eingeklebt wurden. Eine Entfernung des Rahmens wurde als nicht sinnvoll bzw. rentabel erachtet.
- Die Zusammenfassung einzelner Module in Racks sollte der thermischen Entkopplung innerhalb einer Teileinheit dienen und einer Ausbreitung von Flammen im Brandfall entgegenstehen. In einem Brandversuch am Erzberg konnte bereits vorher gezeigt werden, dass diese Maßnahme effizient die Brandlast unterteilt. In Abbildung 3 a-c sind die Aufnahmen einer Wärmebildkamera zu sehen, die während eines



Abb. 2: Zwei der vier Teileinheiten der Fahrbatterie ohne Abdeckung und mit Monitoring-Platinen ausgerüstet

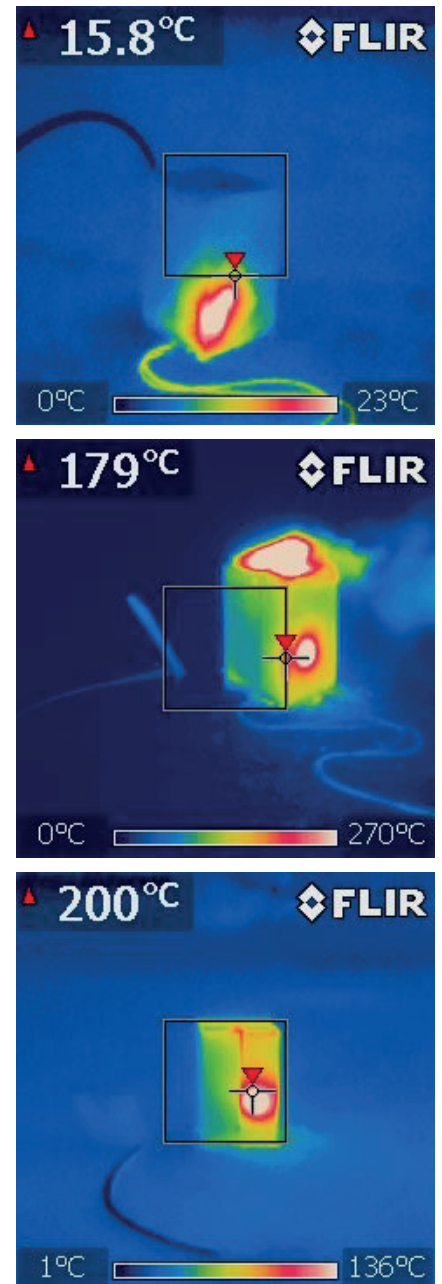


Abb. 3 a-c: Wärmebilder der Brandentwicklung eines Racks bei Überladen von zwei Zellen: im normalen Temperaturbereich (a), beim Durchgehen der Zellen (b), sichtbare thermische Entkopplung von Vorder- und Rückseite (c)

Batteriebrandes innerhalb eines Rack gemacht wurden.

Zusätzlich zum speziellen Aufbau, wurde die Sicherheit der Fahrbatterie über ein einfaches und modulares Batteriemanagementsystem nochmals gesteigert. Für den fahrleitungslosen Betrieb durften einerseits Spannungs- und Temperaturmaximalwert nicht überschritten beziehungsweise Spannungs-



Abb. 4: Anzeigetafel zur Zustandsfeststellung der Teileinheiten der Fahratterie

minimalwert nicht unterschritten werden. Die Platinen, die zu diesem Zweck zum Einsatz kamen, wurden auf die einzelnen Modulen montiert und sind in Abbildung 2 zu sehen. Diese Überwachung erfolgte auf Zellebene, sodass jede Abweichung detektiert werden konnte. Die Betriebszustände jedes einzelnen Racks konnten dann über eine Anzeigetafel mit Leuchtdioden – in Abbildung 4 zu sehen – dargestellt und so Fehlerquellen und -orte schnell ermittelt werden.

Die für die Nachladung eingesetzte Brennstoffzelle des Herstellers Ballard besitzt eine Nennleistung von 150 kW. Diese wurde allerdings aus brandschutztechnischen Gründen niemals unter der Oberleitung in Betrieb genommen. Ein Labortest bestätigte jedoch die Funktion der Brennstoffzelle und die Möglichkeit der Nachladung der Batterie.

Im Testbetrieb Ende September konnte die neu ausgerüstete Lokomotive ihre Fähigkeiten unter Beweis stellen. Im Verschub konnten Leistungen von etwa 50 % der Engpassleistung realisiert werden. Bei einer üblichen Maximalleistung von etwa 1.600 kW entspricht dies einer Versorgung von 800 kW rein aus der Fahratterie der Hybrid-Lok. Dabei blieb die Anfahrzugkraft bis etwa 12 km/h unverändert erhalten. Nach einem Monat im leichten und schweren Verschub wurde auch seitens des Auftraggebers der erfolgreiche Einsatz des Funktionsmusters bestätigt und der Rückbau angeordnet.

Auf wissenschaftlicher Ebene konnten aus dem Projekt wichtige Erkenntnisse gewonnen werden, die die Implementation von Lithium-Ionen-Fahr Batterien in Schwerkraftfahrzeugen sicherer gestalten sollen. Allen voran steht natürlich der Beweis, dass es trotz knappem Budget und kurzem Umbauzeitraum möglich ist, ein Funktionsmuster eines Traktionsfahrzeuges zu erstellen, das ohne Oberleitung und ohne Verbrennungskraftmaschine operieren kann. Diese Möglichkeit wurde jedoch erst durch die Wiederverwendung bereits gebrauchter Batterien und der einhergehenden Kostenersparnis ermöglicht.

Weitere Schlussfolgerungen betreffen vor allem die Prüfung von ReUse-Lithium-Ionen-Batterien und deren Überwachung im Betrieb. So gab es während des Testbetriebs keinen Ausfall; die wenigen aufgetretenen Zwischenfälle kamen durch unsachgemäße Betriebsweise zustande. Auch das Batterieüberwachungssystem konnte seinen Anforderungen vollständig gerecht werden und unterstützte vor allem bei der Inbetriebnahme.

Seitens des Auftraggebers wurden nach dem erfolgreichen Testbetrieb weitere Bestrebungen angestellt, die dieselfreie Schienenmobilität voranzutreiben. Vor allem die Erstellung eines Prototyps für einen Serienumbau wäre hier von außerordentlichem Interesse, da am Funktionsmuster aufgrund der Einschränkungen noch viele Aspekte Verbesserungspotential bieten:

- Der Einbau moderner Traktionsumrichter würde abgesehen von dem potentiellen Raumgewinn auch zu einem höheren Wandlungswirkungsgrad sowie einem höheren Gesamtwirkungsgrad durch die Möglichkeit der Rückspeisung in die Fahratterie im Bremsbetrieb beitragen, zusätzlich mit Raum- und Gewichtsgewinn die mitführbare Energie erhöhen.
- Eine Teilautomatisierung der Lade-/Entladevorrichtung hätte zur Folge, dass eine größere Menge Batterien industriellen Wiedereinsatz finden könnte. Zudem könnte ein verbessertes Prüfsystem zu genauere Analysen von Vorschädigung und Restlebenszeit beitragen.
- Ein adäquates Gesamtkonzept für ein batterieelektrisches Fahrzeug würde für eine Umbauserie wohl unumstößlich werden, da einige Planungsaspekte des ursprünglichen Triebfahrzeugs die Erhöhung der Achslast zum Ziel hatten und solche Maßnahmen durch Belastung mit Speichermasse ersetzt würden. Zudem wurde der Energiebilanz der Nebenaggregate wenig Beachtung geschenkt. So könnte auch für die Fahrmotorenlüfter ein drehzahlveränderlicher Betrieb mit Kühlwirkungsoptimierung eingerichtet werden, der die Gesamteffizienz weiter steigern würde.

Dipl.-Ing.
Thomas Winkler

Senior Lecturer am Institut für Elektrotechnik

Forschungsschwerpunkte:
Schwerlast-Elektromobilität,
Batteriesicherheit, Batterie-ReUse

Kontakt:
thomas.winkler@unileoben.ac.at

Elektromobilität

Ein Problem für die heutigen Niederspannungsnetze?

Im Sektor Verkehr mit ca. 100 TWh/a wird in Österreich rund ein Viertel des Primärenergieeinsatzes aufgewendet. Im Unterschied zu den Sektoren Haushalt/Gewerbe und Industrie, ist im Verkehr der Einsatz von Erneuerbaren heute sehr gering. Rund 90 % der Energieaufwendungen sind heute fossil und werden zum größten Teil über erdölbasierende Energieträger gedeckt. Während die heutigen CO₂-Emissionen des Individualverkehrs in der gleichen Größenordnung wie jene des Jahres 1990 liegen, haben sich die Emissionen des Güterverkehrs im selben Betrachtungszeitraum mehr als verdoppelt und nehmen mittlerweile fast 50 % der Gesamtemissionen ein. In erster Näherung kann man annehmen, dass demnach 50 % des Energieaufwands dem Individualverkehr und 50 % dem Güterverkehr zuzuordnen sind. Um im Jahr 2050 die COP21 Ziele

zu erreichen, ist bekanntlich ein annähernd vollständiger Ausstieg aus fossilen Energieträgern erforderlich. Auf Österreich heruntergebrochen bedeutet dies für den Verkehrssektor eine Emissionsre-

batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) die mit Batterien mit einer Kapazität von nur ca. 30 kWh ausgestattet sind, können selbst unter ungünstigsten Bedingungen Reichweiten von 150 km erzielt werden.

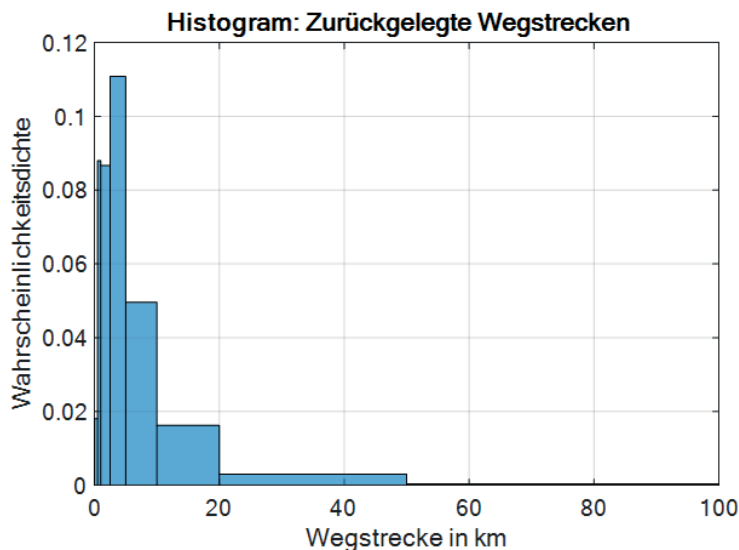


Abb. 1: Histogramm der im mobilisierten Individualverkehr in Österreich zurückgelegten Wegstrecken

duktion um rund 90 % auf Basis des heutigen CO₂-Ausstoßes.

Gemäß aktueller Verkehrserhebungen [1] sind 95 % aller in Österreich zurückgelegten Strecken kürzer als 50 km (Abb. 1). Mit

Werden solche BEV in (seriösen) Cradle to Grave Lebenszyklusanalysen [2] mit Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verglichen, ist klar erkennbar, dass sie bei Verwendung von erneuerbarem Strom (PV und Wind) um ca. 73% [3] weniger CO₂-Äquivalent verursachen (LCA-Analyse für ein 25 -kWh-BEV im Vergleich zu einem Benziner für eine Fahrleistung von 120,000 km) [4]. Demnach sind sie als Key-Technologie bei

der Energiewende im Verkehr zu berücksichtigen. Die Reichweitenangst, die große Teile der individuell mobilisierten Gesellschaft hemmt, auf ein Elektrofahrzeug umzusteigen, muss jedoch sehr ernst genommen werden. Bereits

heute sind Technologien wie zum Beispiel serielle Hybridantriebe verfügbar, die bei vertretbaren Gesamtsystemkosten beides erlauben: Einerseits die geringe CO₂-Gesamtemission von BEV mit vernünftigen Batteriekapazitäten, andererseits die Reichweite von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren. Es sei der Kommentar gestattet, dass die Automobilindustrie solche Technologien heute zu wenig forciert. Im Bereich der BEVs geht leider der Trend hin zu Fahrzeugen mit größeren Batteriekapazitäten (100 kWh und mehr). Die Produktion einer 25 kWh-Batterie verursacht zwischen 29-38 g CO₂-Äquivalent/km. Für die Produktion einer 100 kWh-Batterie hingegen entstehen 72-82 g CO₂-Äquivalent/km [5]. Derartige Konzepte erlauben keine großen Fortschritte bei der Umstellung eines CO₂ freien Verkehrssektors.

Infrastrukturelle Herausforderungen zur Dekarbonisierung im Verkehr

Energiebedarf zukünftiger Elektromobilität

Soll der motorisierte Individualverkehr in Österreich vollständig

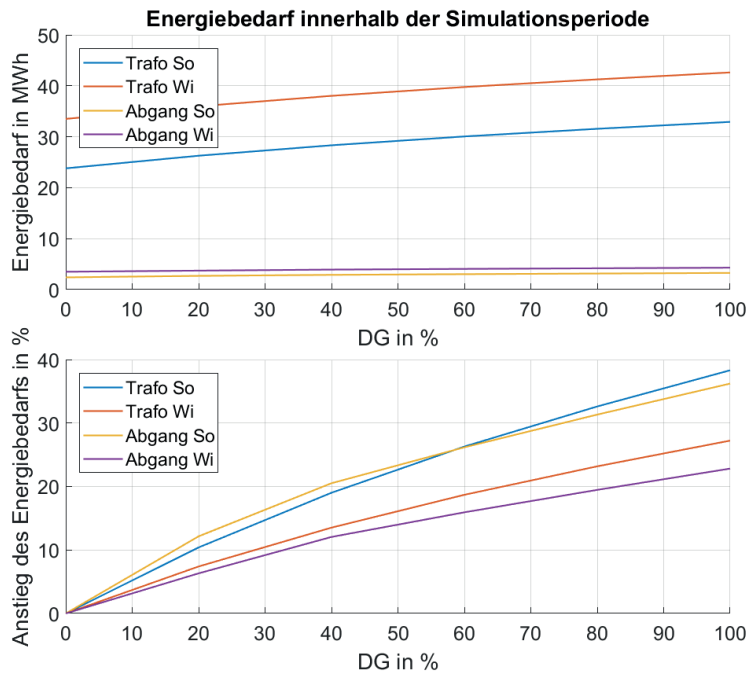


Abb. 2: : Energieverbrauch und Änderung des Energieverbrauchs in einem Niederspannungsnetz in Stadtrandlage in Abhängigkeit der Elektromobilitätsdurchdringung (Simulationszeitraum eine Woche, So: Sommer, Wi: Winter).

auf BEV umgestellt werden, ist ein zusätzlicher Strombedarf von rund 10 TWh.(13 TWh [6]) zu erwarten. Derartig hohe BEV Durchdringungen werden jedoch aus heutiger Sicht selbst in ambitionierten Energieplanungsszenarien nicht vor (laut der genannten Quelle: erst nach dem Jahr 2050) 2050 erwartet. [7] Aus energiesystemischer Sicht substituieren diese 10 TWh an elektrischer Energie rund 50 TWh an fossilem Treibstoff. Wobei es natürlich nur Sinn macht auf E-Mobilität umzustellen, wenn diese Strommenge aus regenerativen Energieträgern bereitgestellt wird.

Dieser zusätzliche Strombedarf wirkt sich auf die elektrischen

Niederspannungsnetze aus, in die der größte Teil der zukünftigen Elektrofahrzeuge integriert werden wird. In Abbildung 2 wird die für ein Niederspannungsnetz in Stadtrandlage der Energieverbrauch und die Änderung des Energiebedarfs in Abhängigkeit der Elektromobilitätsdurchdringung dargestellt.

Ermittlung sinnvoller Ladeleistungen für das Laden von Elektrofahrzeugen zuhause

Ein maßgeblicher Anteil der Energie die für zukünftige Elektromobilitätsanwendungen

benötigt wird, wird über „Laden zuhause“ übertragen. Ziel eines kürzlich am Lehrstuhl für Energieverbundtechnik abgeschlossenen Projekts war es, unterschiedliche Niederspannungsnetztopologien hinsichtlich der Implementierung von Heimpladestationen unterschiedlicher Leistung zu untersuchen.

Dazu wurden zunächst drei typische Niederspannungsnetztopologien herangezogen. Es wird erwartet, dass in Netzen am Stadtrand, im suburbanen Gebiet sowie im ländlichen Raum zunächst der größte Zuwachs an Elektrofahrzeugen erfolgen wird. [8]

	Netz Stadtrand	Suburbanes Netz	Ländliches Netz
Ortsnetztrafoleistung	630 kVA	250 kVA	100 kVA
Anzahl an Abgängen	14	9	3
Anzahl Netzverknüpfungspunkten	80	87	18

Tabelle 1: Untersuchte Netztopologien

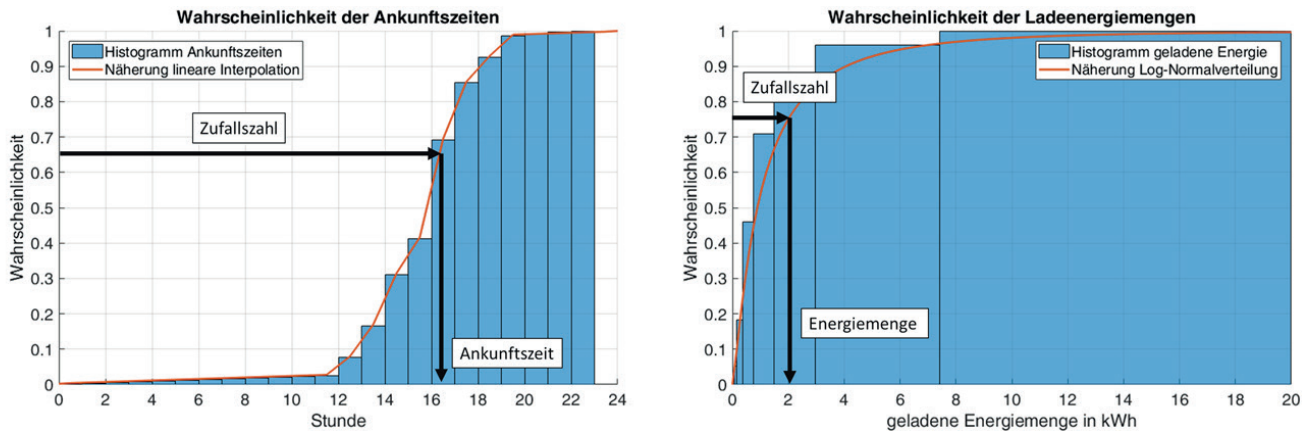


Abb. 3: Ankunfts-wahrscheinlichkeiten und Wahrscheinlichkeit der Ladeenergiemengen der Verkehrsgruppe „Laden zuhause“

Zur möglichst realitätsnahen Abbildung der untersuchten Netze wurden Material-, Leiterquerschnittsdaten und Stranglängen von real existierenden Netzen verwendet (Tabelle 1). Hierzu sei unserem Partner Energienetze Steiermark GmbH gedankt. Der Haushaltsverbrauch wurde mit phasenaufgelösten, synthetischen Lastprofilen [9] nachgebildet und mit Messungen auf Ortsnetztrafoebene kalibriert. Die Lastprofile der zu integrierenden Elektrofahrzeuge basieren einerseits auf Messungen von Ladevorgängen. Es ist uns dabei möglich alle am Markt verfügbaren Modelle abzubilden. Gemeinsam mit verkehrsdaten-basierenden Energieverbräuchen und Ankunfts-wahrscheinlichkeiten (Abb. 3) können mittels eines probabilistischen Algorithmus zeitlich aufgelöste Elektromobilitätslastprofile in allen Netzknoten errechnet werden.

In der gegenständlichen Arbeit werden zur Ermittlung der Auswirkungen der Elektrofahrzeugladungen zwei Strategien untersucht. Dabei werden im Szenario A verhältnismäßig hohe Ladeleistungen vorgegeben. Nach einem bestimmten Schlüssel werden diese zwischen 3,7 kW und 22 kW variiert (17 % mit 3,7 kW, 12 % mit 7,4 kW, 49 % mit 11 kW und 22 % mit 22 kW), wobei der größte Anteil im Bereich der höheren Ladeleistungen von 11 kW und 22 kW liegt. Im Szenario B wird für jedes Fahrzeug eine dreiphasige Summenladeleistung von 3,7 kW aufgeprägt. Abbildung 4 zeigt exemplarische Lastprofile für die beiden untersuchten Szenarien.

Um die Auswirkungen der Elektromobilitätsauswirkungen auf die in Tabelle 1 beschriebenen Netze zu untersuchen, wird in dieser Arbeit die Knotenspannung an den Netzverknüpfungspunkten gemäß EN

50160 evaluiert. Dabei müssen 95 % der 10-Minuten-Mittelwerte im Zeitraum von einer Woche innerhalb der Spannungsbandgrenzen von $\pm 10\%$ der Nennspannung liegen. Die Beurteilung zulässiger Spannungsunsymmetrie erfolgt mit Hilfe des Verhältnisses aus Gegen- und Mitspannungssystem: 95 % der 10-Minuten-Mittelwerte innerhalb einer Woche müssen unter 2 % liegen. [10] Neben spannungsbedingten Netzrestriktionen werde Leistungsüberlastungen in Bezug auf den jeweils zulässigen Dauerstrom betrachtet.

In Abbildung 5a bzw. Abbildung 5b wird zunächst der Einfluss einer 20-prozentigen Elektromobilitätsdurchdringung unter Anwendung des Ladeszenarios A (Laden mit 3,7 kW – 22 kW) diskutiert. Elektromobilitätsdurchdringungen in dieser Größenordnung sind bei entsprechendem politischen Rahmenbedingungen tatsächlich in wenigen Jahren in gewissen Netzabschnitten zu erwarten. Man erkennt sowohl in den Knotenspannungen als auch in den Leitungsüberlastungen, dass das betrachtete Netz am Stadtrand mit seiner Vollverkabelung, kurzen Netzausläufern und großzügig bemessenen Leitungsquerschnitten Elektromobilitätslasten am besten aufnimmt. Netzknoten sind keine im unzulässigen Bereich. Einige wenige Leistungen sind grenzwertig belastet. Insgesamt zeigt sich

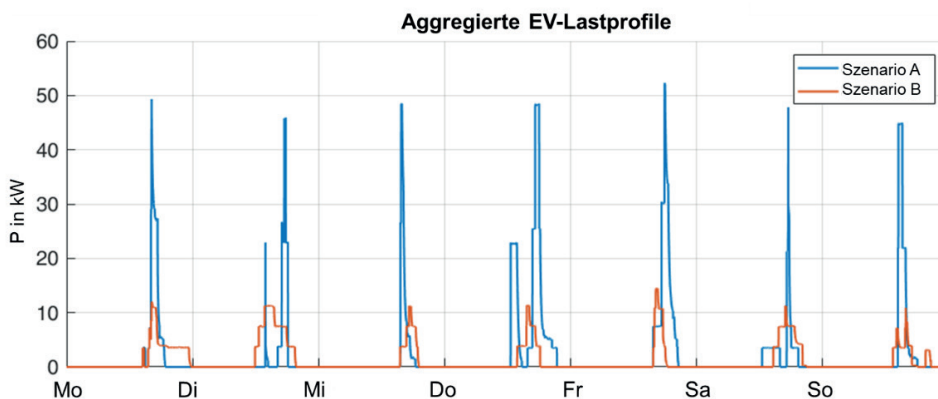


Abb. 4: Elektromobilitätslastprofile der beiden untersuchten Ladeszenarien (Szenario A: Laden mit 3,7 kW – 22 kW; Szenario B: Laden mit 3,7 kW)

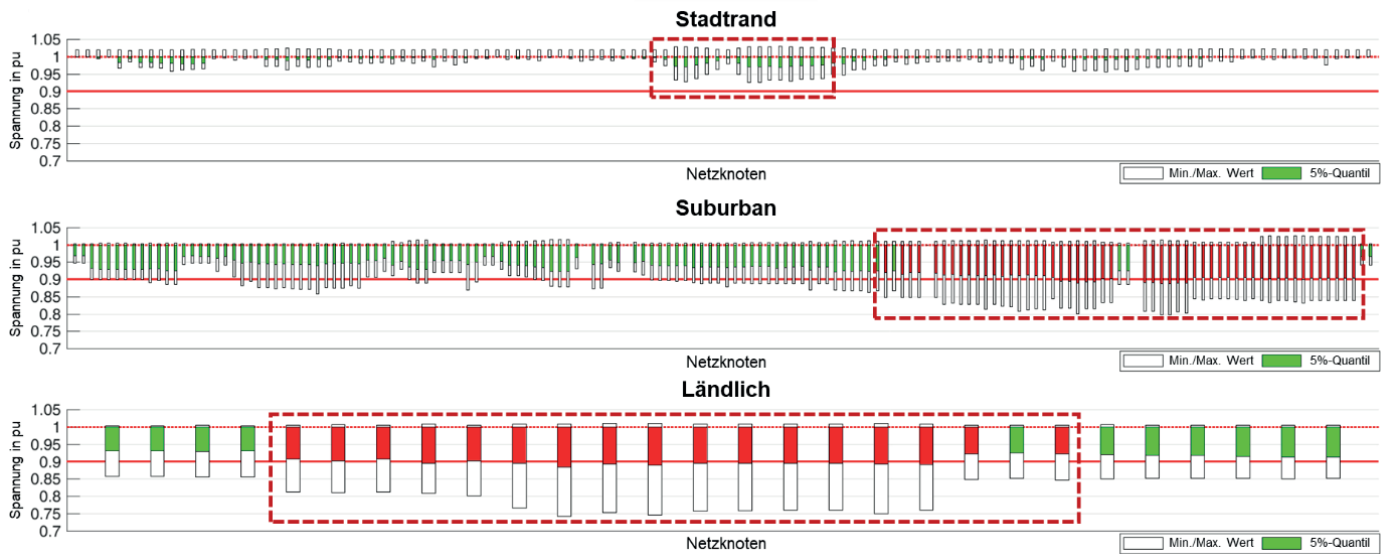


Abb. 5a: Knotenspannungen gemäß EN50160 bei einer 20 % Elektromobilitätsdurchdringung im Ladeszenario A (Laden mit 3,7 kW – 22 kW)

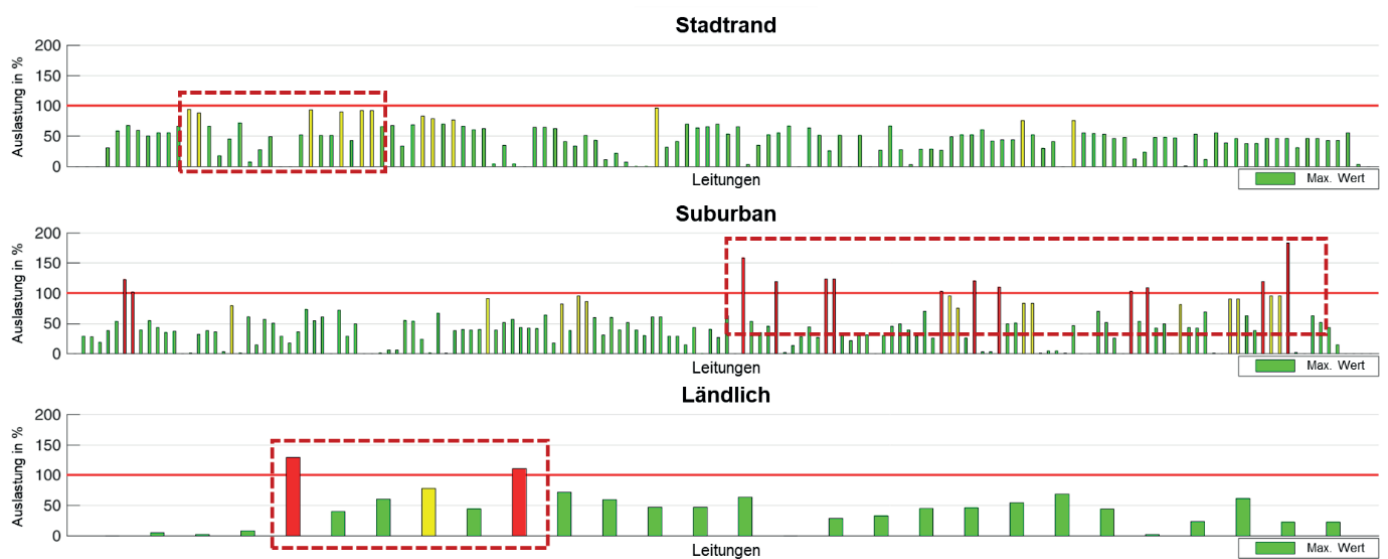


Abb. 5b: Leitungsbelastung bei einer 20 % Elektromobilitätsdurchdringung im Ladeszenario A (Laden mit 3,7 kW – 22 kW)

das untersuchte Netzgebiet bereits aus heutiger Sicht als einigermaßen bereit eine 20-prozentige Elektromobilitätsdurchdringung aufzunehmen. Die untersuchten Netze im suburbanen- bzw. ländlichen Raum sind durch längere Leitungsausläufer, weniger großzügige Querschnitte sowie durch zumindest teilweise vorhandene Freileitungsausläufer gekennzeichnet. Im Vergleich zum Netz am Stadtrand ist klar ersichtlich, dass bei Vorgabe des Szenarios A mit seinen vergleichsweise hohen Ladeleistungen Handlungsbedarf besteht, sollte eine Elektromobilitätsdurchdringung in der Größenordnung von 20 % auftreten.

Hinsichtlich der Knotenspannung sind im suburbanen Netz rund ein Drittel, im ländlichen Netz rund die Hälfte der Verknüpfungspunkte außerhalb der zulässigen Grenze. Hinsichtlich der Leistungsüberlastungen zeigt sich eine etwas weniger kritische Situation. In beiden Netzen sind einige Leitungen überlastet.

In Abbildung 6a bzw. Abbildung 6b wird der Einfluss einer 100-prozentigen Elektromobilitätsdurchdringung unter Anwendung des Ladeszenarios B (Laden mit 3,7 kW) diskutiert. Wird eine Ladeleistung von 3,7 kW mit den zurückgelegten Wegstrecken des

mobilisierten Individualverkehrs (Abbildung 1) bzw. den zugehörigen Energiebedarfen verschnitten, ist folgendes zu erkennen: Bei einer garantierten Ladezeit über Nacht von angenommenen 10 Stunden, kann eine Energiemenge von ca. 35 kWh ins Elektrofahrzeug übertragen werden. Bei einem Verbrauch von 20 kWh / 100 km (solche Verbräuche repräsentieren verbrauchstarke Wintermonate) können ca. 175 km zurückgelegt werden. Damit kann wie bereits einleitend erwähnt, der allergrößte Teil der Wegstrecken des mobilisierten Individualverkehrs abgedeckt werden. Wie ebenfalls bereits diskutiert, ist es auch auf-

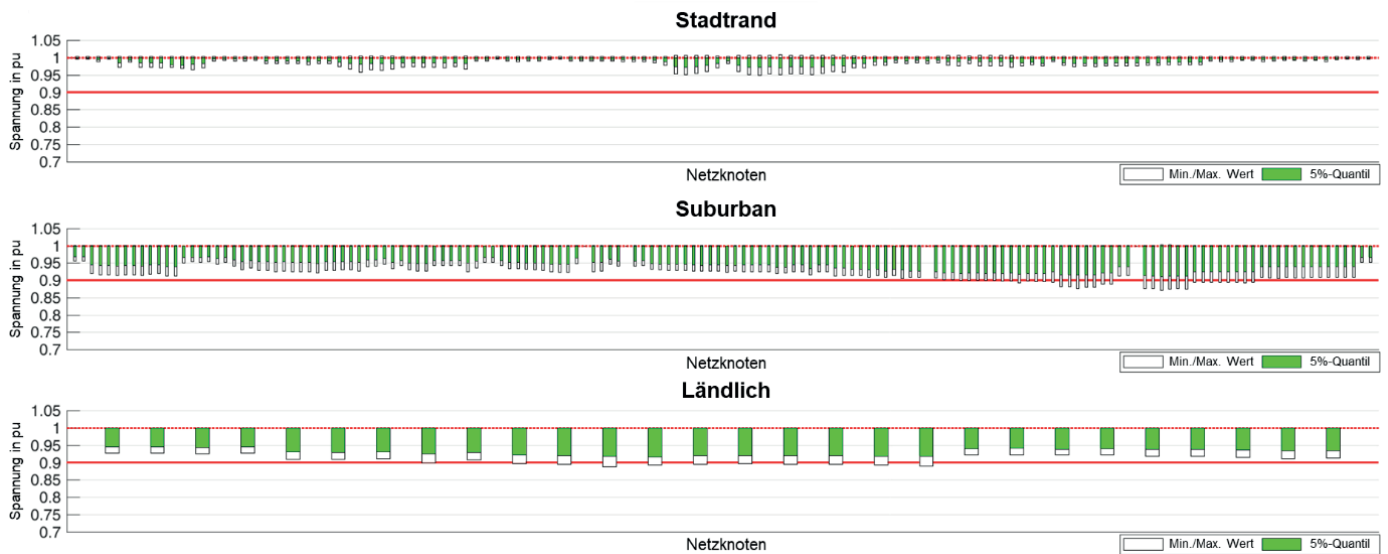


Abb. 6a: Knotenspannungen gemäß EN50160 bei einer 100 % Elektromobilitätsdurchdringung im Ladeszenario B (Laden mit 3,7 kW)



Abb. 6b: Leitungsbelastung bei einer 100 % Elektromobilitätsdurchdringung im Ladeszenario B (Laden mit 3,7 kW)

grund der CO₂-Emissionen der Batterieherstellung nicht sinnvoll größere Batteriekapazitäten einzusetzen. Betrachtet man nun die Auswirkungen der Elektrofahrzeuge auf Knotenspannungen und Leitungsbelastungen erkennt man, dass es in keinem der betrachteten Netze zu signifikanten Schwierigkeiten kommt. Während sich alle Knoten im zulässigen Spannungsband befinden sind hinsichtlich der Leistungsbelastung lediglich im suburbanen Netz sind zwei Leitungen grenzwertig belastet bzw. leicht überlastet.

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Tauglichkeit typischer Niederspannungsnetztopologien zur Aufnahme von Elektrofahrzeugen stark von der gewählten bzw. installierten Ladeleistung abhängt. Während bei Ladeeinrichtungen ab 11 kW die Aufnahmefähigkeit der Netze insbesondere im ländlichen Raum bereits bei geringen Durchdringungen an seine Grenzen kommt, ist bei einer Ladung mit maximal 3,7 kW eine weitaus größere

Durchdringungstoleranz bis hin zu 100 %, festzustellen. Wichtig dabei ist es jedoch, dass die Ladeleistungen phasensymmetrisch im Netz verteilt werden. Entweder durch dreiphasige Lader mit einer Summenleistung von 3,7 kW oder durch symmetrischen Anschluss und Betrieb einphasiger Fahrzeuge.

Ausblickend ist festzustellen, dass die größte Herausforderung für die Niederspannungsnetze nicht die singuläre Betrachtung der Elektromobilität an sich darstellt. Vielmehr ist es das Zusammen-

spiel zwischen dem bereits heute vorhandenen Verbrauch, neuen Verbrauchern wie Elektrofahrzeugen und Wärmepumpen mit zukünftiger verstärkter Photovoltaik Einspeisung. Hierzu wird es interessante Lösungen technologischer wie auch betrieblicher Natur brauchen, um Knotenspannungen und Leistungsbelastungen im Rahmen zu halten. Am Lehrstuhl für Energieverbundtechnik befassen wir uns im Rahmen einer Rei-

he von Forschungsprojekten mit derartigen Fragestellungen. Dabei beschäftigen wir uns nicht nur mit Niederspannungsnetzen. Besonders in höheren Netzebenen wird die Einbindung von neuen Verbrauchern, neuen erneuerbaren Einspeisern sowie Speichern zukünftig verstärkt heutige Sektorengrenzen aufweichen. Das bei uns am Lehrstuhl für Energieverbundtechnik entwickelte Softwarepaket ‚HyFlow‘ kann diesbe-

züglich sowohl für Planungs- als auch für Betriebsfragen verwendet werden. Bei uns am Lehrstuhl für Energieverbundtechnik werden aktuelle Forschungsprojekte, wie beispielsweise die Weiterentwicklung von ‚HyFlow‘ oder ähnliches, immer in die Lehre eingebunden. Entsprechende Abschlussarbeiten (Bachelorarbeiten, Projektarbeiten, Masterarbeiten) sind also jederzeit verfügbar.



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn.
Thomas Kienberger

Seit 2014 ist Prof. Kienberger als Leiter des neu errichteten Lehrstuhls für Energieverbundtechnik an der Montanuniversität Leoben tätig. Dabei beschäftigt er sich in Forschung und Lehre schwerpunktmäßig mit Fragestellungen, die darauf abzielen mittels interdisziplinären, systemischen Ansätzen die Energieeffizienz von öffentlichen Energiesystemen und Gesamtsystemen entlang der Wertschöpfungskette der produzierenden Industrie zu optimieren.

Prof. Kienberger absolvierte das Studium „Elektro-Energietechnik“ an der TU Graz und schloss dieses mit Auszeichnung ab. Zwischen 2006 und 2007 arbeitete er als Entwicklungsingenieur bei der Firma Siemens AG in Erlangen/Deutschland. Von 2007 bis 2010 war er als wissenschaftlicher Assistent am Institut für Wärmetechnik an der TU Graz beschäftigt und leitete dabei unter anderem die Arbeitsgruppe „substitute natural gas“.

Von 2011 bis 2014 war er als Leiter R&D und Prokurist beim Start-up agnion Highterm-Research tätig und fungierte gleichzeitig als Lehrbeauftragter an der TU-Graz. Neben seinen Aktivitäten in der Wirtschaft konnte Prof. Kienberger zahlreiche Forschungsprojekte initiieren und mehr als 50 Konferenz- und Journalbeiträge veröffentlichen.

References

- [1] BMVIT, Verkehrserhebung Österreich, 2016
- [2] Cradle to Grave Lebenszyklusanalysen berücksichtigen die CO₂-Emissionen des gesamten Produktlebenszyklus
- [3] Werden die CO₂ Emissionen auf Basis des deutschen Strommix (hoher Anteil an Kohlestrom) berechnet, ergeben sich Einsparungen von rund 14 %.
- [4] H. Helms; M. Pehnt; U. Lambrecht; A. Liebich, Electric vehicle and plug-in hybrid energy efficiency and life cycle emissions 2010
- [5] Jungmeier, Towards Green Batteries – LCA of Automotive Battery Systems, 2018
- [6] Klima- und Energiefonds; VCÖ, Faktencheck E-Mobilität, 2017
- [7] Umweltbundesamt GmbH, Elektromobilität in Österreich – Szenario 2020 und 2050
- [8] Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE), 2011
- [9] N. Pflugradt, Online-Load-Profil-Generator, www.loadprofilegenerator.de
- [10] ISO EN 50160, Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, 2011

Erneuerbare Kohlenwasserstoffe

Eine Säule der Mobilität der Zukunft

Während im Sektor Strom der Anteil erneuerbarer Energie in Österreich bereits sehr hoch ist, sind bei industriellen Energieverbräuchern, der Bereitstellung von Wärme und insbesondere auch in der Mobilität fossile Energieträger noch immer bestimmend. Abbildung 1 zeigt das Energieflussbild von Österreich für das Jahr 2016. Danach werden rund 1200 PJ fossile Energieträger nach Österreich importiert, von denen rund 400 PJ als flüssige Kohlenwasserstoffe (Benzin, Diesel, Jet Fuel) für die Mobilität eingesetzt werden.

Der Vorteil von (flüssigen) Kohlenwasserstoffen liegt auf der Hand: Ihre volumetrische spezifische Energiedichte ist gegenüber anderen potentiellen Energieträgern, wie Wasserstoff oder Lithium-Ionen Batterien, deutlich höher. Tabelle 1 vergleicht das notwendige Gewicht und (Tank-) Volumen für einen PKW mit einer Reichweite von 500 km.

Andererseits ist der Nachteil flüssiger Kohlenwasserstoffe, dass sie nach dem Stand der Technik allesamt aus fossilen Quellen

stammen und damit signifikant zur Emission des klimaschädlichen CO₂ beitragen. Die öffentliche Diskussion suggeriert derzeit, dass Elektromobilität die alleinige Lösung für eine zukünftige, klimafreundliche Mobilität sei. Dabei werden aber wesentliche Fakten

wenig oder nicht beachtet: der Strommix ist auch in Österreich nicht CO₂-frei, daher ist der Betrieb batteriegetriebener Fahrzeuge nicht CO₂ frei. Die Herstellung der E-Fahrzeuge hat einen deutlich höheren CO₂ Footprint als die konventioneller PKW. Die Entsor-

ENERGIEFLUSSBILD

Energiefluss in Österreich 2016

in Petajoule auf Basis der vorläufigen Energiebilanz 2016

Übersicht der Energieträger

- Biogene
- Wasserkraft
- Windkraft & Photovoltaik
- Sonstige Erneuerbare (z.B. Solarthermie, Geothermie)
- Brennbare Abfälle
- Gas
- Kohle
- Öl
- Elektrische Energie
- Fernwärme
- Verluste

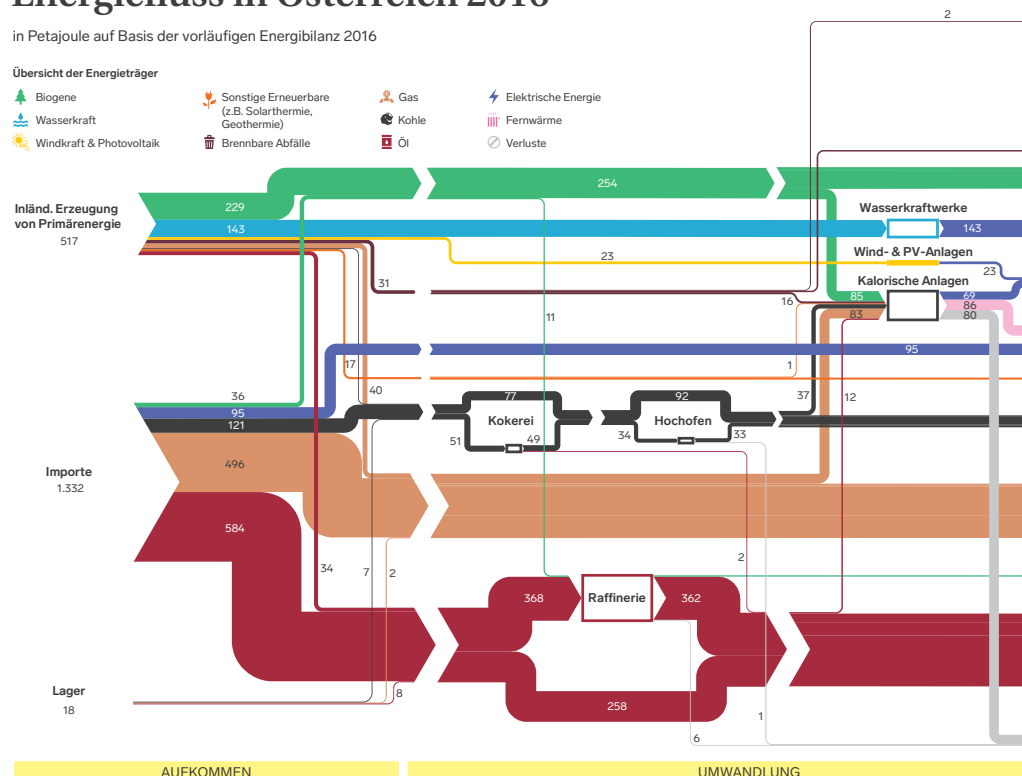


Abb. 1: Energiefluss in Österreich 2016. Quelle: BMT (Hrsg.): Energie in Österreich 2016.

	Diesel	Wasserstoff kompr. bei 700 bar	Lithium-Ionen- Batterie
Gewicht [kg]	33	6	540
Volumen [Liter]	37	170	360

Tabelle 1: Vergleich von Diesel-, Wasserstoff- und Batteriefahrzeugen: Volumen und Gewicht für eine Reichweite von 500 km. Quelle: Ebert G. et al: Künftige Mobilität auf Basis erneuerbarer Energien, Fraunhofer ISE, 2009.

gung der Lithium-Ionen-Batterien ist aufwändig und führt derzeit noch zu keiner Rückgewinnung des Lithiums. Die Infrastruktur für Elektrofahrzeuge befindet sich noch im Aufbau. Die Reichweite der Fahrzeuge ist vergleichsweise gering. Gewisse Segmente der Mobilität (Schwerlastverkehr, Luftverkehr, Schifffahrt) lassen sich nicht oder nur mit hohem Aufwand und Einbußen in der Gesamtpomformance elektrifizieren. Es ist zu erwarten, dass viele dieser Nachteile durch erhebliche Anstrengungen in Forschung und Entwicklung sowie durch hohe

finanzielle Aufwendungen bei der Infrastruktur beseitigt werden können. Jedoch stellt sich die Frage, ob ein Paradigmenwechsel von der Verbrennungskraftmaschine als praktisch einzigem Antrieb hin zur batteriebasierten Elektromobilität als wiederum der einzigen Antriebsvariante wirklich sinnvoll ist und so stattfinden wird.

Säulen der Mobilität der Zukunft

Die Elektromobilität wird eine Säule der Mobilität der Zukunft sein. Sie hat ihre Stärken vor allem

im Bereich der PKW und Zweiräder und bietet die Chance auf eine emissionsfreie, und bei künftig vollständiger Stromerzeugung aus erneuerbarer Energie, auch CO₂-freie Mobilität, die besonders in urbanen Gebieten wesentliche Anwendungsvorteile verspricht. In urbanem Umfeld sind kürzere Reichweiten durch einen wesentlich kostengünstiger realisierbaren Ausbau der Infrastruktur im Vergleich zum ländlichen Raum kompensierbar. Carsharing-Modelle versprechen darüber hinaus die vergleichsweise hohen Anschaffungskosten abzdämpfen und für eine Entspannung bei den Parkräumen zu sorgen.

Abbildung 2 zeigt drei mögliche Säulen der Mobilität der Zukunft: neben der Elektromobilität sind dies durch Wasserstoff angetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge sowie der klassische Verbrennungsmotor, der jedoch durch erneuerbare, also in der Gesamtemission CO₂-freie, Kohlenwasserstoffe betrieben wird.

Brennstoffzellen-Fahrzeuge, die mit Wasserstoff betrieben werden, sind vereinzelt schon in Serienreife erhältlich. Die Problematik liegt im Moment auch hier bei der fehlenden flächendeckenden Infrastruktur für die Betankung sowie bei den Gestehungskosten für erneuerbaren Wasserstoff. Dennoch besitzt diese Mobilitätsoption ein sehr hohes Zukunftspotential. Derzeit wird darüber hinaus beforcht, Brennstoffzellen mit Multi-Fuel-Antrieben auszustatten. Mit Hilfe eines katalytischen Reformers, der der Brennstoffzelle vorgeschaltet ist, können beispielsweise Bio-Ethanol oder Bio-Methanol in ein Synthesegas, also einer Mischung aus H₂ und CO, umgewandelt werden, und so auch flüssige Kraftstoffe zum Antrieb verwendet werden. Da-

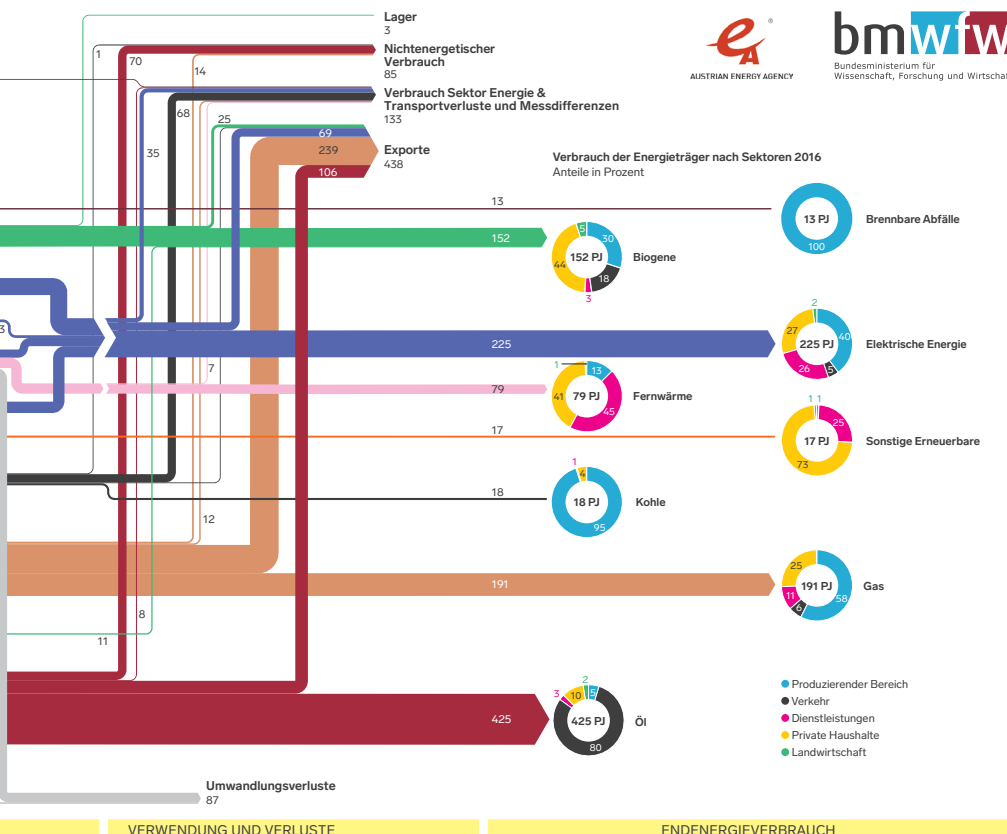




Abb. 2: Säulen der Mobilität der Zukunft. Quelle: Eigene Darstellung

mit würde dann auch die Brücke geschlagen werden zur dritten möglichen Säule: den erneuerbaren Kohlenwasserstoffen.

Erneuerbare Kohlenwasserstoffe

Im Vergleich zu den beiden erstgenannten Optionen ist diese dritte Säule technisch noch am wenigsten ausgereift und befindet sich

in unterschiedlichsten Varianten derzeit im Bereich der Forschung. Erneuerbare Kohlenwasserstoffe hätten zwei wesentliche Vorteile: ihre hohe spezifische Energiedichte und eine hoch ausgereifte Infrastruktur für deren Verteilung, Speicherung und Verwendung. Sie schließen die Lücke der beiden anderen Säulen, nämlich Luftverkehr, Schiffsverkehr und auch den Schwerlastverkehr.

Es gibt viele potentielle Wege zu erneuerbaren Kohlenwasserstoffen. Für den erneuerbaren Charakter muss die primäre Energiequelle Sonne in Energieträger konvertiert werden, wie in Abbildung 3 dargestellt ist.

Die erste mögliche Konversionsroute ist Photosynthese, also die Erzeugung von Biomasse. Biomasse, die auf Landflächen

Primary Energy Source

Energy Conversion Path

Technology

Challenges

CO₂ consumption → CO₂

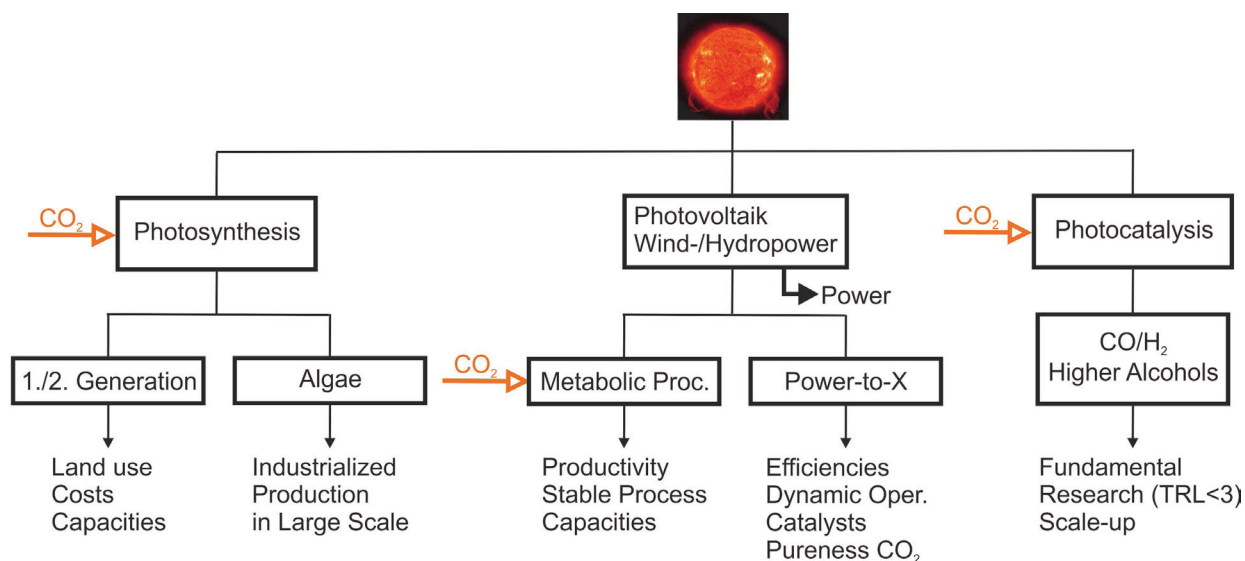


Abb. 3: Konversionspfade solarer Energie. Quelle: eigene Darstellung.

aufwächst (1. und 2. Generation der Biomasseerzeugung), aber energetisch genutzt wird, steht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Zudem ist das Potential zu begrenzt, um eine signifikante Menge an erneuerbaren Kohlenwasserstoffen zu erzeugen. Eine Alternative mit hohem Potential ist die industrielle Produktion von Mikroalgen. Hier fehlt es derzeit aber sowohl an den dafür geeigneten Photobioreaktoren als auch an einem effektiven Downstream-Processing, also der Aufarbeitung der Algenbiomasse zu beispielsweise einem Biocrude, einem biologischen Rohöl. Für beides gibt es vielversprechende Ansätze, deren Entwicklung aber noch viele Jahre in Anspruch nehmen wird.

Solare Energie wird derzeit schon verbreitet in erneuerbaren Strom umgewandelt über Windkraft-, Photovoltaik- oder Wasserkraftanlagen. Das Zielprodukt ist hier zunächst der Strom. Weiter steigende Produktion an erneuerbarem Strom wird dazu führen, dass dieser im Stromnetz nicht untergebracht werden kann, also als Überschussstrom anfällt. Dieser kann in Wasserelektrolysen in den Energieträger Wasserstoff umgewandelt und direkt weiter verwendet werden, beispielsweise in der Brennstoffzellenmobilität, aber auch als Reduktionsmittel in der Metallurgie. Problematisch ist hierbei im Moment, dass diese Art der Wasserstofferzeugung vergleichsweise teuer ist und es keine flächendeckende Infrastruktur gibt. Daher kann es sinnvoll sein, den Wasserstoff mit CO₂ entweder katalytisch oder biologisch in Kohlenwasserstoffe umzuwandeln. Dabei kann potentiell eine ganze

Palette von Kohlenwasserstoffen erzeugt werden: Methan, Methanol, Gemische von Alkoholen oder auch Fischer-Tropsch-Kraftstoffe, um nur einige zu nennen. Zusammengefasst wird hier von Power-to-X Technologien gesprochen, wobei das X eben für die mögliche Palette an Produkten steht. Power-to-X koppelt in der Regel auch Energiesektoren, also beispielsweise den Stromsektor mit dem Gassektor und/oder mit Wärme, oder auch mit der Mobilität, und ist daher eine sehr wichtige, vermutlich unverzichtbare Tech-

auch hier von einer Umsetzung im technischen Maßstab noch sehr weit entfernt.

Aus den genannten Optionen zur Herstellung erneuerbarer Kohlenwasserstoffe, also von solar fuels, ist die Power-to-X, in diesem Fall Power-to-Fuels, Route am weitesten technisch entwickelt. Abbildung 4 zeigt exemplarisch eine solche Power-to-Fuel Route mit dem Zielprodukt Methanol. CO₂-Quellen sind potentiell reichlich vorhanden, jedoch muss das CO₂ meist aufwändig aus

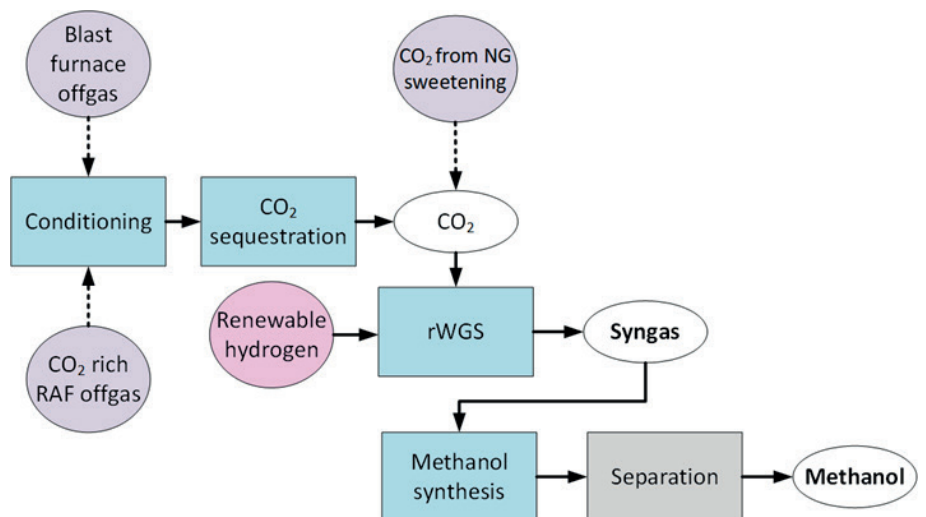


Abb. 4: Synthese von Methanol aus erneuerbarem Wasserstoff und aus CO₂.
Quelle: eigene Darstellung.

nologie für ein Energiesystem, das nur auf erneuerbaren Quellen beruhen soll.

Die dritte potentielle Konversionsroute ist Photokatalyse, bei der die Energie eines Photons mittels eines meist homogenen Katalysators genutzt wird, um aus beispielsweise CO₂ und Wasser ein Synthesegas herzustellen oder sogar gleich höherwertige Produkte, wie Alkohole. Prinzipiell ist das die technische Nachahmung der Photosynthese. Im Labormaßstab gelingt das bereits, jedoch ist man

verdünnten Strömen gewonnen werden. Zudem ist rechtlich nicht geklärt, ob ein Kohlenwasserstoff, der aus fossilem CO₂ gewonnen wird, erneuerbar ist. Ein weiterer Zwischenschritt vor der Synthese zum Zielprodukt kann die umgekehrte Wassergasreaktion sein (reverse watergas shift reaction – rwgs), wie es in Abb. 4 dargestellt ist. Bei der katalytischen Erzeugung von Methanol entsteht als Nebenprodukt Wasser, das in einer Destillation vom Methanol abgetrennt werden muss (separation).

Viele technische Herausforderungen sind bereits gelöst und derartige Anlagen werden schon im Demonstrationsmaßstab betrieben. Die Herausforderung ist in erster Linie die Wirtschaftlichkeit, da die erzeugten Produkte zu Vergleichsprodukten fossilen Ursprungs zu teuer sind. Im Preis fossiler Rohstoffe sind allerdings nicht die Folgekosten deren Verwendung berücksichtigt, beispielsweise die volkswirtschaftlichen Schäden des Klimawandels.

Am Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes gibt es eine Reihe spannender Forschungsaktivitäten mit Bezug zur Energietechnik, wie zum Beispiel Power-to-Gas, die industrielle Gasreinigung, die Untersuchung von Füllkörpern und Strukturpackungen, ein neu eingerichtetes Arbeitsgebiet zur verfahrenstechnischen Bearbeitung von erneuerbaren Rohstoffen („Renewable Materials Processing“), bei dem auch die Algenproduktion und

Verwertung beforscht wird, sowie umfangreiche Arbeiten zum chemischen und mechanischen Recycling von Kunststoffabfällen. Alle interessierten Studierenden der industriellen Energietechnik sind zur Mitarbeit, z.B. in Form von Bachelor- und Masterarbeiten, eingeladen.



Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing.
Markus Lehner

Er beendete das Studium der Verfahrenstechnik an der TU München 1992 und promovierte am Lehrstuhl für Thermodynamik der TU München im Jahr 1996. Prof. Lehner trat danach in das Anlagenbauunternehmen RVT Process Equipment GmbH in Steinwiesen, Bayern, ein und war dort zuletzt in leitender Funktion beschäftigt.

Seit Oktober 2010 leitet er den Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes an der Montanuniversität Leoben mit den Hauptarbeitsgebieten Gasreinigung und Energieverfahrenstechnik.



Grüne Energie für die Mobilität der Zukunft



Immer mehr E-Fahrzeuge sind auf unseren Straßen zu sehen. Das ist wenig überraschend, sprechen doch die Vorteile der E-Mobilität für sich: geringere Tank- und Wartungskosten, hohe Energieeffizienz, steuerliche Vorteile und obendrein CO₂-freies Fahren. Auch die ursprünglichen Wermutstropfen, nämlich Reichweite und Ladeinfrastruktur, stellen mittlerweile im Alltag kein Problem mehr dar. Mitverantwortlich daran ist die Energie Steiermark. Der steirische Energiedienstleister engagiert sich seit 2014 im Ausbau des Zukunftsfeldes E-Mobilität und ist dadurch einer der Wegbereiter für den Einzug umweltfreundlicher Mobilität in die Mitte unserer Gesellschaft.

Nicht weit zur nächsten Ladestation

„Wir als Energiedienstleister sehen unsere Aufgabe darin, die E-Fahrzeuge mit Energie zu versorgen, sprich die Ladeinfrastruktur adäquat auszubauen“, erklärt Christian Purrer, Vorstandssprecher der Energie Steiermark. „Wir haben bereits 3,2 Milli-

onen Euro in das grüne Ladenetz investiert und bis heute bereits über 800 Ladepunkte installiert“, ergänzt Vorstandsdirektor Martin Graf. Durch diesen konsequenten Ausbau ist heute in der Steiermark niemand weiter als 15 km von der nächsten E-Ladestation entfernt. Durch Kooperationen mit Unternehmen und Wohnbauträgern wird der Ausbau noch weiter vorangetrieben. Hierbei kümmert

sich die Energie Steiermark als Komplettanbieter um alle notwendigen Schritte, von der Beratung über den Bau bis hin zur Wartung. Zusätzlich haben Betreiber von E-Tankstellen die Möglichkeit, ihre Infrastruktur an das bestehende Ladestellennetz anzubinden und so ihre Investitionskosten zu refinanzieren.

Energie tanken leicht gemacht

Wie bei herkömmlichen KFZ muss natürlich auch für das „Tanken“ von E-Fahrzeugen bezahlt werden. In diesem Fall

nicht für Benzin, sondern für den bezogenen Strom. Dieser fällt natürlich viel günstiger aus als sein fossiles Pendant. Die einfachste Variante um ein E-Fahrzeug an einer öffentlichen Ladestation aufzuladen und dafür zu bezahlen ist eine Mobilitätskarte, über die nach Registrierung durch den Nutzer die Verrechnung automatisch abgewickelt wird. Die Energie Steiermark bietet Ladekarten mit attraktiven Tarifen, mit denen nicht nur in der Steiermark sondern österreichweit Energie getankt werden kann.

Know-how aus erster Hand

Ob Unternehmen, die eine eigene E-Tankstelle installieren möchten oder private E-Auto-BesitzerInnen mit Bedarf an einer Ladekarte – das Experten-Team der Energie Steiermark berät Sie gerne persönlich unter mobil@e-steiermark.com oder 0800 / 800 138.





Neue Abfälle aus der e-mobility

Innovative Recyclinganlage löst das „Batterieproblem“

Laut den aktuellen Zahlen der Statistik Austria sind die Kfz-Neuzulassungen in Österreich im ersten Quartal 2019 um fast elf Prozent eingebrochen. Einzig der Sektor der E-mobilität verzeichnet ein ordentliches Plus von 59 %. Bei einem Anteil von zirka 3% an der Gesamtmenge der Neuzulassungen mag das auf den ersten Blick marginal erscheinen, doch extrapoliert man diesen Zuwachs, werden die Auswirkungen klar ersichtlich. Ohne den politischen Willen zur Veränderung könnte sich dieser Trend nicht so schnell durchsetzen, baut doch auch die österreichische Bundesregierung auf Elektromobilität um seine Klimaziele zu erreichen. Unter #mission2030 wurden von ihr Ziele definiert, die bis 2030 eine Schwerpunktverschiebung hin zu Neuzulassungen von emissionsfreien Fahrzeugen mit Hilfe alternativer Energieerzeugung ermöglichen sollen.

Für die österreichische Abfallwirtschaft bedeutet das, dass man sich folgende Frage stellen muss: „Was, wenn das Ende der E-Fahrzeuge und vor allem der E-Fahrzeugbatterien erreicht wird und sie zu Abfall werden?“ Mittelfristig muss für diese Abfälle der Zukunft („Future Waste“) eine Recyclinglösung gefunden und in die Realität umgesetzt werden. Ebenfalls gilt

es das Recyclingziel der europäischen Batterieverordnung von mindestens 50% für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien zu erfüllen. Der belgische Konzernriesen Umicore setzt bisher auf das einfache Prinzip Batterien im Schachtofen aufzuschmelzen und gezielt bestimmte Massenmetalle aus der Schmelze zurückzugewinnen. Dabei werden bewusst große

Recyclingverluste bei einem nicht zu vernachlässigenden Energieeinsatz in Kauf genommen.

Genau aus diesem Grund beschäftigt sich die Montanuniversität, im Speziellen der Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft mit der Arbeitsgruppe „Future Waste“, schon seit mehreren Jahren mit diesem The-

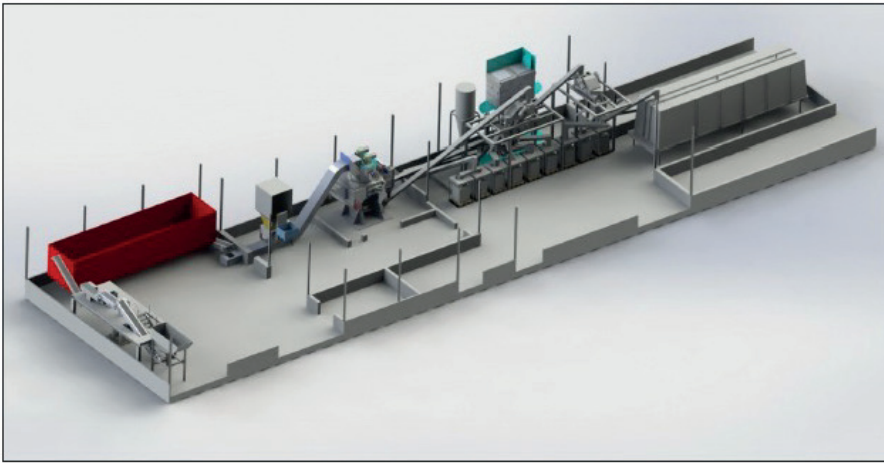


Abb. 1: 3D Modell der Batterierecyclingsanlage in Bremerhaven

ma. Ziel war die Entwicklung eines (sekundär)rohstofforientierten, auch ökonomisch und ökologisch sinnvollen, ganzheitlichen Recyclingprozesses für LIB. Gemeinsam mit mehreren industriellen Partnern sollten alle relevanten Fragen entlang der kompletten Wertschöpfungskette – angefangen bei der Sammlung, über die Lagerung und Sicherheit – bis zum Recycling, abgerundet durch die Themen Reuse, Second Life und Eco Design, behandelt werden.

Als beeindruckendes Resultat wurde nach sechs Jahren intensiver Forschungsarbeit aus einem erst im Labormaßstab existierenden Prozess, und zwei weiteren Jahren Entwicklungsarbeit für das Upscaling, im Rahmen des Projekts eMPROVE ein industriell umsetzbarer Prozess entwickelt. Dieser wurde 2018 realisiert und in der Lithium-Ionen-Batterierecyclingsanlage in Bremerhaven durch die Firma Saubermacher beziehungsweise deren Tochterfirma Redux umgesetzt (Abb. 1).

Für die österreichische Abfallwirtschaft bedeutet das, dass man sich folgende Frage stellen muss: "Was, wenn das Ende der E-Fahrzeuge und vor allem der E-Fahrzeuggatterien erreicht wird und sie zu Abfall werden?" Mittelfristig muss für diese Abfälle der Zukunft

(„Future Waste“) eine Recyclinglösung gefunden und in die Realität umgesetzt werden. Ebenfalls gilt es das Recyclingziel der europäischen Batterieverordnung von mindestens 50% für das Recycling von Lithium-Ionen-Batterien zu erfüllen. Der belgische Konzernriesen Umicore setzt bisher auf das einfache Prinzip Batterien im Schachtofen aufzuschmelzen und gezielt bestimmte Massenmetalle aus der Schmelze zurückzugewinnen. Dabei werden bewusst große Recyclingverluste bei einem nicht zu vernachlässigenden Energieeinsatz in Kauf genommen.

Genau aus diesem Grund beschäftigt sich die Montanuniversität, im Speziellen der Lehrstuhl für Abfallverwertungstechnik und Abfallwirtschaft mit der Arbeitsgruppe „Future Waste“, schon seit mehreren Jahren mit diesem Thema. Ziel war die Entwicklung eines (sekundär)rohstofforientierten, auch ökonomisch und ökologisch sinnvollen, ganzheitlichen Recyclingprozesses für LIB. Gemeinsam mit mehreren industriellen

Partnern sollten alle relevanten Fragen entlang der kompletten Wertschöpfungskette – angefangen bei der Sammlung, über die Lagerung und Sicherheit – bis zum Recycling, abgerundet durch die Themen Reuse, Second Life und Eco Design, behandelt werden.

Als beeindruckendes Resultat wurde nach sechs Jahren intensiver Forschungsarbeit aus einem erst im Labormaßstab existierenden Prozess, und zwei weiteren Jahren Entwicklungsarbeit für das Upscaling, im Rahmen des Projekts eMPROVE ein industriell umsetzbarer Prozess entwickelt. Dieser wurde 2018 realisiert und in der Lithium-Ionen-Batterierecyclingsanlage in Bremerhaven durch die Firma Saubermacher beziehungsweise deren Tochterfirma Redux umgesetzt (Abb. 2).

Conclusio

Mit dem erfolgreichen Recycling kann der ökologische Rucksack, den LIB durch ihre Produktion bereits in die Nutzungsphase

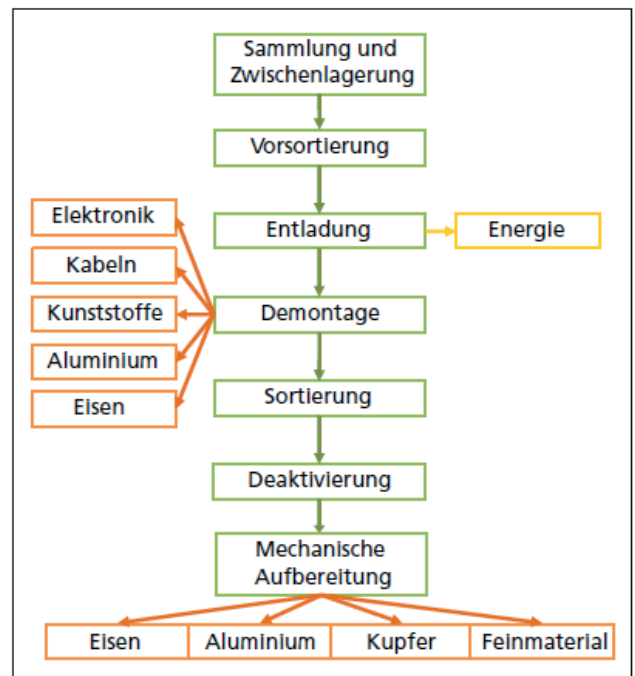


Abb. 2: Schematisches Anlagenschema der Batterierecyclingsanlage

mitbringen, maßgeblich entlastet und die Elektromobilität mit gutem Gewissen vorangetrieben werden.

Eine Verwertungslösung wie diese reduziert die Gefahr, dass die gebrauchten LIB in der falschen Recyclingroute landen oder auf illegale Art und Weise verfrachtet und unter geringen bis nicht vorhandenen Umweltschutzmaßnahmen deponiert, beziehungsweise in die Umwelt eingebracht werden.

Dank der Förderung der FFG und des KLIEN-Fonds und den Begleitern der ersten Stunde wie Saubermacher war es möglich dieses langwierige Projekt zu finanzieren und umzusetzen. Belohnt wurde das ganze Team für sein jahrelanges Engagement durch die Nominierung zum Staatspreis der Kategorie Umwelt- und Energietechnologie 2018 als erstes abfallwirtschaftliches Forschungsthema überhaupt.

Bettina Rutrecht

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
am Lehrstuhl AVAW

Studium Industrielle Umweltschutz- und Verfahrenstechnik
an der Montanuniversität Leoben

Leuchtturmprojekt eMPROVE

Fachschwerpunkt: Future Waste,
Batterierecycling

AVW
**AbfallverwertungSTECHNIK
& AbfallWIRTSCHAFT**

#AM LIMIT

Zuerst
TESTEN -
dann
KAUFEN

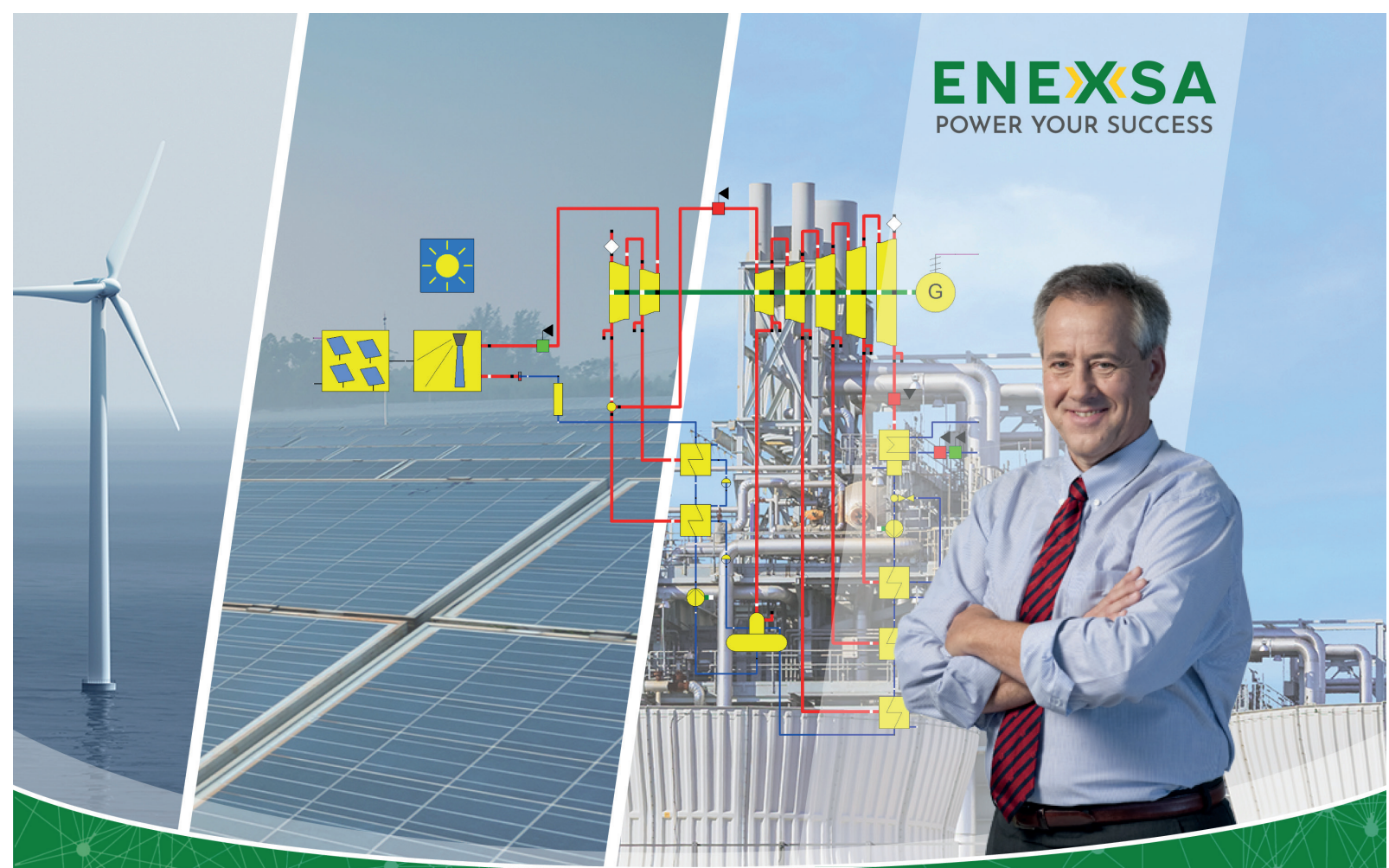


#Verleih
#Verkauf

T: 03862 23516-2236
www.stadtwerke-kapfenberg.at

e-m**o**bilität

 **stadtwerke
kapfenberg**



Vom Konzept zur Anlage

www.enexsa.com

Verein industrieller Energietechniker Leoben

Mitgliedsantrag

Mitgliedsnummer: _____
(wird vom Verein eingetragen)

Nachname: _____

Vorname: _____

Straße/Nr.: _____

PLZ/Ort: _____

Geboren am: _____

Email: _____

Telefon: _____

Beruf / Firma _____

Ich möchte mit diesem Antrag Mitglied im „Verein industrieller Energietechniker“, kurz „ViET“, werden. Die Mitgliedschaft beginnt, sobald der Mitgliedsbeitrag eingezahlt wurde. Ich kann Sie jederzeit, ohne Angabe eines Grundes, wie im Statut verankert kündigen.

Mit der Unterschrift bestätige ich neben der Richtigkeit meiner Angaben das Statut zur Kenntnis genommen zu haben.

(Ort, Datum, Unterschrift des Antragstellers)



Exkursion München

Vom 15.4. bis 17.4.19 war es endlich soweit: Die lang erwartete erste mehrtägige Exkursion unseres Vereins sollte über die Bühne gehen und ihren Teilnehmern sowohl energietechnische als auch gemeinschaftsbildende Schmankeleien bieten. So machten sich an einem schönen Montagmorgen 22 Leobner Energietechniker auf den Weg in die bayerische Metropole und Landeshauptstadt München.

Ein absolutes Highlight erwartete uns gleich zu Beginn auf dem großen Garching Forschungscampus im Münchner Norden. Neben Fakultäten der beiden Münchner Unis TU und LMU, der Bayerischen Akademie der Wissenschaften haben sich dort auch mehrere Institute der renommierten Max-Planck-Gesellschaft niedergelassen. Unser Ziel war das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP), das sich der Erforschung der Kernfusion als mögliche zukünftige nachhaltige Energiequelle, bzw. dem Verständnis der physikalischen

Eigenschaften von Plasmen als Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche, energieliefernde Fusion widmet. Zunächst erhielten wir einen fachlich sehr spannenden Einführungsvortrag, der von der Geschichte der Fusionsforschung und des Instituts, über die Grundprinzipien der Fusion, die Unterschiede zwischen den beiden Reaktortypen „Tokamak“ und „Stellarator“, physikalischen und technischen Schwierigkeiten, sowie einem Zukunftsausblick auf das sich in Südfrankreich im Bau befindliche Demonstrationskraftwerk ITER nichts ausließ.

Hier weiter ins Detail zu gehen würde den Rahmen dieses Berichts sprengen, Interessierten sei jedoch die Homepage des IPP und deren Veröffentlichungen wärmstens empfohlen.

Nach diesem sehr spannenden Vortrag bekamen wir noch die Möglichkeit die Energiezentrale und den Kontrollraum des am IPP befindlichen Fusionsexperiments

ASDEX Upgrade zu besichtigen. In ASDEX Upgrade kann für circa 10 Sekunden ein Plasma erzeugt werden. Um in diesem kurzen Zeitraum ein Plasma zu erzeugen und aufrecht zu erhalten ist kurzfristig eine Leistung von bis zu 400 MW erforderlich. Da dies das öffentliche Stromnetz überfordern und die Münchner Bürger regelmäßig im Dunkeln sitzen lassen würde, befinden sich in der Energiezentrale drei gewaltige Schwungräder mit einem Gewicht bis zu 223 Tonnen und einer Leistung bis 155 MW. Diese werden zu Beginn eines Experimentiertages auf bis zu 1650 Umdrehungen pro Minute beschleunigt und stellen durch das Abbremsen auf 1275 Umdrehungen pro Minute in wenigen Sekunden die benötigte Leistung für die Versuche bereit. Ebenfalls beeindruckend waren die Dimensionen des Kontrollraums, in dem während eines Versuchstages die Plasmaentladungen geplant, gesteuert und überwacht werden.

Nach diesem sehr spannenden und intensiven Auftakt und dem Einchecken in unserer Unterkunft ging es auf einen gemütlichen Spaziergang in den Olympiapark von 1972 und den dortigen Olympiaberg mit grandiosem Ausblick auf München. Auch wenn sich die Strapazen beim Gipfelsturm doch eher in Grenzen hielten, war das anschließende erste Bier auf Münchner Boden im dortigen Biergarten doch reichlich angemessen. Anschließend fand dieser erste Tag zunächst bei sehr gutem griechischem Essen und des Weiteren in der Münchner Altstadt einen würdigen (und mitunter recht langen) Ausklang.

Nachdem sich am nächsten Morgen alle erfolgreich aus den Federn gekämpft hatten, machten wir uns auf ins Deutsche Museum, dem größten technisch-naturwissenschaftlichen Museum der Welt und einem absoluten Muss für jeden Technikbegeisterten. Eine ganze Woche wäre wohl nötig, um alle Ausstellungen im Detail zu besichtigen und so machte sich jeder selbstständig, je nach eigenen Interessen, auf, das Deutsche Museum zu erkunden. Aus energietechnischer und montanistischer Sicht sind insbesondere die Ausstellungen zu Energietechnik, Kraftmaschinen, Bergbau, Metalle oder Physik hervorzuheben. Gleichzeitig kommen aber auch Interessierte in Astronomie, Schifffahrt, Pharmazie oder der historischen Luftfahrt auf ihre Kosten. Alle Ausstellungen beeindrucken durch ihre vielen historischen Ausstellungsstücke und gut verständlichen Modelle, aber auch durch detaillierte Beschreibungen. Gemeinsames Highlight und Abschluss war der für eine Energietechnikergruppe fast schon obligatorische Besuch der Hochspannungs- und Starkstromvorführung.

Anschließend galt es sich auch der kulturellen Seele und dem Geist Münchens zu nähern, ergo sich mit Münchens Bier und Brauereikunst auseinander zu setzen. Und so führte uns unser Weg nach einem gemütlichen Altstadtspaziergang zur kleinen und jungen Privatbrauerei Giesinger Bräu. Gegründet 2006 in einer Garage in Untergiesing, machte sich die kleine Start-Up Brauerei alsbald mit klassisch bayerischen Bieren, aber auch spannenden eigenen Kreationen im Viertel und darüber hinaus einen Namen. Vor Ort besichtigten wir zunächst die Produktionsstätten der kleinen Brauerei. Hier hat man sich dem traditionellen Brauhandwerk verschrieben und so wird hier – als einzige Münchner Brauerei – die Vergärung in offenen Gärbottichen betrieben. Weiter erfuhren die doch als recht bieraffin geltenden Leobner Studenten alles über den Brauereiprozess und durften sich im Rahmen einer Verkostung gleich selbst ein Bild von der einstimmig als sehr gut befundenen Qualität der Biere machen. So war es auch keine Frage, dass der weitere Abend bei Bier und gutem Essen im an die Brauerei angeschlossenen Bräustüberl ausklingen würde.

Zum Abschluss unserer Exkursion machten wir uns am dritten Tag noch auf Richtung Süden, um das in Kochel gelegene Walchenseekraftwerk zu besichtigen. Das Wasserkraftwerk von 1924, das sich weitestgehend im Originalzustand befindet, darf als Meilenstein der Stromgewinnung nicht nur in Bayern gelten. Genutzt werden die 200 Meter Höhendifferenz zwischen dem Walchensee und dem am Kochelsee gelegenen Turbinenhaus. Dort erzeugen vier Francis- und vier Pelton-Turbinen insgesamt eine Leistung von 124 MW, womit das Kraftwerk zu seiner Eröffnung eines der größten

der Welt war. Wurden die acht Turbinen in den 80er-Jahren allesamt ausgetauscht, so sind die Generatoren weiterhin im Originalzustand erhalten und erzeugen seit nunmehr fast hundert Jahren zuverlässig Strom – eine doch sehr beeindruckende Leistung deutscher Ingenieurskunst. Allgemein ist vor allem das historische Ambiente dieses – inzwischen als Industriedenkmal auch unter Denkmalschutz stehenden – Kraftwerks sehr beeindruckend. Da der Walchensee über keine nennenswerten Zuflüsse verfügt, werden der Isar und dem Reißbach im Oberlauf über Stollen Wasser entnommen und recht aufwändig dem Walchensee zugeführt. Aufgrund der touristischen Bedeutung des Walchensees, muss auch dessen Wasserspiegel bei der Kraftwerkssteuerung mit bedacht werden, um den Touristen in der Hochsaison einen vollgefüllten See bieten zu können. Das Kraftwerk verfügt über ein interessantes Besucherzentrum mit allen relevanten Informationen und auch die Maschinenhalle kann frei besichtigt werden, was jedem Interessierten nur ans Herz gelegt werden kann.

Nach der informativen Führung und einer Stärkung mit Weißwurst und Weißbier endete für uns nach drei spannenden und unterhaltsamen Tagen unsere erste große Exkursion. Um's mit dem Monaco Franze als Fazit zu sagen: „Aus is und gar is, und schad is, dass's wahr is.“ Wir freuen uns auf jeden Fall schon auf die nächste Exkursion und hoffen diese mehrtägigen Exkursionen als festen Bestandteil unseres Vereinslebens etablieren zu können.

Studienvertretung

Liebe EnergietechnikerInnen!

Auch in unserem 2. Jahr als eure Studienrichtungsvertreter war einiges los und wir möchten uns an dieser Stelle gleich bei allen bedanken die uns bei den verschiedenen Projekten tatkräftig unterstützt haben.

Wie auch im letzten Jahr haben wir das Wintersemester mit einer ordentlichen „Schwammerl-Begrüßung“ gestartet und die zukünftigen Energietechniker bei Speis und Trank mit den wichtigsten Infos zum Studienstart versorgt.

Ein voller Erfolg waren auch unsere zweimal im Semester stattfindenden Firmen-Stammtische. In den letzten Monaten informierten uns unter anderem Vertreter von Kreisel Electric, dem Central European Gas Hub oder auch ENERTEC über ihre Unternehmen und aktuelle Herausforderungen in der Wirtschaft.

Des Weiteren hat sich unser neues Format #energytalks, bei welchem die Professoren unserer Lehrstühle Einblicke in ihre aktuellen Forschungsthemen geben, bestens etabliert. Diese Vorträge

finden zweimal im Semester auf der Universität statt und werden auch von Nicht-Energietechnikern sehr begeistert besucht.

Ein weiterer wichtiger Meilenstein war der Launch unserer „Industrielle Energietechnik“-Website auf welcher ihr Infos und aktuelle Nachrichten zum Studium finden könnt. Gemeinsam mit der Erstellung der Website wurden auch zwei Videos über unser Energietechnik-Studium gedreht um unseren Internetauftritt zu verbessern und potenzielle Studenten und auch Unternehmen über un-





ser Studium zu informieren. Link dazu: <https://www.iet-leoben.at/>

Im April gab es noch ein weiteres Highlight. Gemeinsam mit dem Verein der Energietechniker wurde die erste mehrtägige Exkursion der Energietechniker organisiert. In den drei Tagen wurden in München einige sehr interessante Unternehmen und Forschungseinrichtungen besichtigt, während der Spaß natürlich auch nicht zu kurz gekommen ist.

Wie ihr seht ist viel los bei den Energietechnikern in Leoben. In

diesem Sinne möchten wir euch auch gleich zu den nächsten Events einladen und es würde uns freuen viele von euch dort zu sehen.

Leider geht unsere Amtszeit im Juni schon wieder zu Ende, jedoch werden wir natürlich unsere Nachfolger durch unser Verbleiben im Verein der Energietechniker weiter unterstützen.

Mit freundlichen Grüßen und einem herzlichen Glück Auf!

Lisa, David und Matthias



Jahresbericht

Vereinsobfrau

Liebe Vereinsmitglieder!

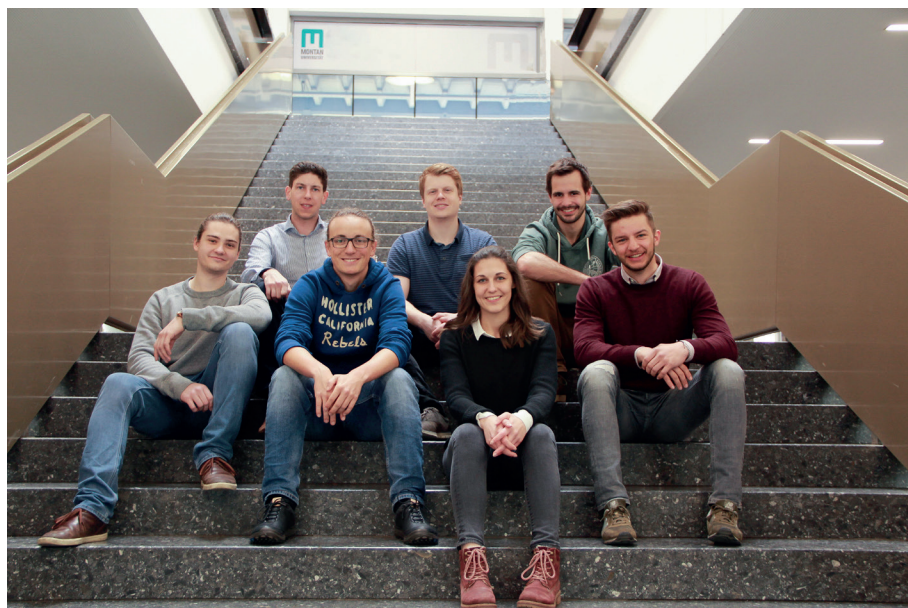
Es freut mich, euch in der bereits dritten Auflage des Energietechnikers über alle Neuigkeiten des Vereins zu berichten. Seit Ende letzten Jahres darf ich mich in der Tätigkeit als Obfrau unseres Vereins engagieren und freue mich sehr über die motivierte Mitarbeit des gesamten neuen Vorstandes.

Seit unserer Gründung 2014

sind bereits einige Jahre und viele verwirklichte Ideen vergangen. Hierfür möchte ich meinen großen Dank sowohl an alle ehemaligen Vorstandsmitglieder als auch an das aktuelle Team aussprechen. Natürlich freut es mich, euch auch über die diesjährigen Projekte zu informieren, die wir in gemeinsamer Arbeit verwirklicht haben. Das größte und zeitintensivste Projekt, neben der dritten Auflage dieser Zeitschrift, war die Gestaltung

unserer neuen Homepage. Wir haben es in Zusammenarbeit mit dem EVT, einem Grafikdesigner und der STV geschafft sowohl die Homepage innovativ und informativ zu gestalten, sowie zwei Videos für unseren neu inszenierten Online-Auftritt zu kreieren. Mein ganz besonderer Dank gilt hierfür unserem Vereinsmitglied Jakob Weiß, der für alle technischen Aspekte zuständig war. Ohne ihn wäre dieses Projekt eine unrealisierte Idee geblieben.

Zusätzlich zur „alltäglichen“ organisatorischen Planung von Stammtischen, Sommergrillerei und Weihnachtsfeier ist es uns dieses Jahr, dank unserem Kassier David Ruprecht, auch gelungen für unsere Vereinsmitglieder eine 3-tägige Exkursion nach München zu veranstalten. Neben informativen Führungen durch das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und das Walchenseekraftwerk kam auch der kulturelle Aspekt dank Brauereiführung mit Verkostung



und anschließender Einkehr im Bräustüberl nicht zu kurz.

Ein großes Anliegen des aktuellen Vorstandes und der STV ist es, die Vernetzung der Energietechniker untereinander noch weiter zu verbessern. Es freut mich daher zu sagen, dass sowohl die Stammtische als auch die von der STV organisierten #energytalks jedes Mal ein großes Publikum anziehen. Um diese Verbindungen

weiter zu stärken kam die Idee auf als Energietechniker-Team beim diesjährigen Grazathlon zu starten, welcher im Juni stattfinden wird. Am Ende meines Berichtes verbleibe ich wie bereits meine Vorgänger mit der Bitte, bei Beschwerden, konstruktiver Kritik und Wünschen nicht zu zögern uns zu kontaktieren, da wir für jegliche Rückmeldungen dankbar sind. Außerdem suchen wir natürlich immer nach

Mitgliedern, die sich aktiv an der Umsetzung neuer Projekte beteiligen wollen.

Glück Auf!

Lisa Gruber

ViET

Dein Vorstand



Obfrau
Lisa Gruber
Quasi eh alles



Obfrau-Stv
Andreas Pfeifer
Herausgeber „Der Energietechniker“



Kassier
David Ruprecht
Finanzwesen



Kassier-Stv.
Sebastian Rohner
Mitgliederverwaltung



Schriftführer
Johannes Dock
Controlling



Schriftführer-Stv
Jonathan Lunzer
Redaktion der Newsletter



Beirat
Prof. Thomas Kienberger
Ratgeber



Beirat
Prof. Harald Raupenstrauch
Ratgeber

Mitgliedermagazin des Verein industrieller Energietechniker Leoben | Nr.: 3 Herausgeber und Medieninhaber: Verein industrieller Energietechniker Leoben | www.iet-leoben.at/ | ZVR-Zahl: 767424149 | **Redaktion:** Andreas Pfeifer | **Redaktionsbeirat:** Obfrau Lisa Gruber, 8700 Leoben, Franz Josefstraße 18, Lehrstuhl für Energieverbundtechnik an der Montanuniversität Leoben, Mail: viet@unileoben.ac.at | **Alleinige Anzeigenaufnahme:** über die Redaktion | **Design:** Werbeagentur PR3000 | Michael Raupenstrauch | office@pr3000.at | **Layout:** Christoph Winkler

Die grundlegende Richtung des VIET- Mitgliedermagazins wird durch die Satzungen des Verein industrieller Energietechniker Leoben bestimmt. Abgedruckte Beiträge geben die Meinung der Verfasser wieder. Für unverlangte Sendung wird keine Haftung übernommen; Retournierung nur gegen beiliegendes Rückporto. Adressänderungen bitte dem Vorstand bekanntgeben. Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird in „Der Energietechniker“ auf eine geschlechterspezifische sprachliche Differenzierung – wie zum Beispiel TechnikerInnen -verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten nach Auffassung der Redaktion und im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für beide Geschlechter.