



eMobilJournal

e+ eMobilExklusiv



FACHWISSEN

Dedizierte Hybridantriebe für eine ökoeffiziente und langstreckentaugliche Mobilität der Zukunft

Prof. Dr.-Ing. Stephan Rinderknecht, Andreas Viehmann, M.Sc.,
Arved Eßer, M.Sc., Felix Langhammer, M.Sc.



twitter.com/emobilsver



facebook.com/emobilsver



instagram.com/emobilsver



ITM
InnoTech Medien GmbH

Dedizierte Hybridantriebe für eine ökoeffiziente und langstreckentaugliche Mobilität der Zukunft

Die Ergebnisse einer Optimierung verschiedener Antriebskonzepte auf Basis realer Flottenfahrdaten hinsichtlich des CO₂-Impacts im gesamten Lebensweg zeigen für Randbedingung innerhalb Deutschlands, dass bereits heute rein batterieelektrische Elektrofahrzeuge mit moderater Reichweite, prädestiniert für Fahrten in Städten und deren nahen Umgebung, ökologisch am sinnvollsten sind. Für langstreckentaugliche Fahrzeuge sind jedoch auf nicht absehbare Zeit dedizierte Hybridantriebe die ökologisch sinnvollere Antriebsvariante. Ein solches dediziertes Hybrid-Antriebskonzept wurde an der TU Darmstadt im öffentlich geförderten DE-REX-Projekt prototypisch aufgebaut.

Ermittlung des CO₂-Fußabdrucks von Fahrzeugantriebskonzepten

Um einen Beitrag zur Begrenzung der globalen Erderwärmung zu leisten und die Verpflichtungen aus dem *Pariser Klimaschutzabkommen* zu erfüllen, hat sich die *Bundesregierung* im *Klimaschutzplatz 2050* ambitionierte Ziele zur Reduktion von Kohlendioxidemissionen (CO₂) gesetzt. Im Verkehrssektor wird vor diesem

Hintergrund die gesamtheitliche Bilanz von Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebensweg, dem „Real Ecological Impact“ (REI), verschiedener Antriebskonzepte aktuell stark diskutiert. Zur Ermittlung des REI muss dabei zusätzlich zur Nutzung auch die Herstellung und Entsorgung betrachtet werden.

Verfügbare Studien zur Ökobilanz von Antriebskonzepten basieren zumeist auf „Stellvertreterfahrzeugen“, die für jedes Antriebskonzept

gebildet werden. Diese Stellvertreterfahrzeuge sollen die typischen Eigenschaften sämtlicher dieser Klasse zugeordneter Fahrzeuge zusammenfassen. So werden den verschiedenen Antriebskonzepten wie konventionell verbrennungsmotorischen Fahrzeugen (ICEV), rein batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) oder Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen mit Lademöglichkeit (PHEV) durchschnittliche Komponenteneigenschaften wie die Motorenleistungen oder die Batteriekapazität zugeordnet. Zusammen mit den Verbrauchswerten stellen diese Stellvertreter-Parametrierungen die Basis für die Bilanzierung dar.

Diese Vorgehensweise ist zulässig, um den aktuellen Stand von Technologien zu beurteilen. Zur Bewertung des tatsächlich erreichbaren Potenzials von Antriebsstrangtechnologien ist dieses Vorgehen jedoch kritisch zu hinterfragen. Denn die am Markt verfügbaren Fahrzeuge, die als Basis für die Stellvertreterfahrzeuge dienen, wurden mit diversen und unterschiedlichen Zielen entwickelt. In Bezug auf CO₂-Emissionen erfolgt die Auslegung meist nur hinsichtlich der Nutzungsphase, da nur diese Emissionen gesetzlich zertifiziert werden. Weitere Anforderungen wie die sportliche Performance oder das jeweilige Markenimage sind zusätzlich relevant für die Auslegung. Wie die verschiedenen Antriebskonzepte im Vergleich abschneiden, wenn Sie optimal auf die Reduktion des REI und das zu untersuchende Szenario angepasst werden, bleibt unklar.

Im Rahmen des öffentlich geförderten Projekts *FahrKLang* wurde daher eine ganzheitliche Optimierungsumgebung für die vergleichende Bewertung des REI von Fahrzeugantriebskonzepten entwickelt [1]. Anstatt typische Stellvertreterfahrzeuge zu verwenden, wird für jedes Antriebsstrangkonzept die optimierte Parametrierung der Komponenten im Antriebstrang zur Erreichung des minimal möglichen REI identifiziert. Dabei wird die Betriebsstrategie im Antriebstrang für jede einzelne Parametrierung eines Konzepts angepasst, um das wahre Potenzial einzelner Parametrierungen nicht zu unterschätzen. Die Optimierung basiert darüber hinaus auf realen Flottenfahrdaten, die vom Grundsatz her stetig aktualisiert werden können, anstatt starre gesetzlich vorgeschriebene

Fahrzyklen zu verwenden. Über zusätzliche technologieneutrale Auslegungsanforderungen wie der geforderten Höchstgeschwindigkeit von 180 km/h und dem nötigen Achsmoment für eine Anfahrbeschleunigung von 2,5 m/s² bei 30 % Steigung wird die reale Tauglichkeit der generierten Antriebsparametrierungen sichergestellt.

Durch die Identifikation des minimal erreichbaren REI für jedes betrachtete Antriebsstrangkonzept wird eine gemeinsame Vergleichsbasis geschaffen, die das ökologische Potenzial darstellt. Auf Basis dessen ist eine faire und belastbare Bewertung des REI von Antriebskonzepten möglich.

Vergleichende Bewertung des Real Ecological Impact von Antriebskonzepten

Die im *FahrKLang*-Projekt umgesetzte ganzheitliche Optimierungsumgebung ist in **Bild 1** illustriert. Die Methode basiert auf realen Flottenfahrdaten, die das charakteristische Nutzungsverhalten im realen Straßenverkehr zusammenfassen sollen. Bisher gibt es innerhalb Deutschlands keinen frei verfügbaren Datensatz mit umfangreichen Flottenfahrdaten, die über einen längeren Zeitraum erfasst wurden. Eine solche Datenbank wäre jedoch für eine detaillierte Darstellung des tatsächlichen Nutzungsverhaltens und eine realitätsnahe Bewertung des REI erforderlich [2]. Zur Schätzung der realen Fahrweise wurde im *FahrKLang*-Projekt ein vom *DLR Institut für Verkehrsforschung* aufbereiteter Datensatz aus dem Projekt *simTD* [3] herangezogen, der große Mengen aufgezeichneter Betriebsdaten aus der Metropolregion Frankfurt enthält. **Bild 2** zeigt das aus den Fahr-

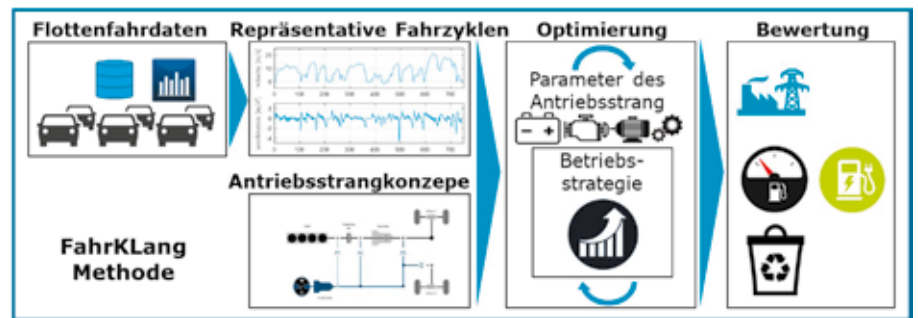


Bild 1: Übersicht der Gesamtoptimierungsumgebung für die vergleichende Bewertung des REI von Antriebskonzepten. (Quelle: Technische Universität Darmstadt)

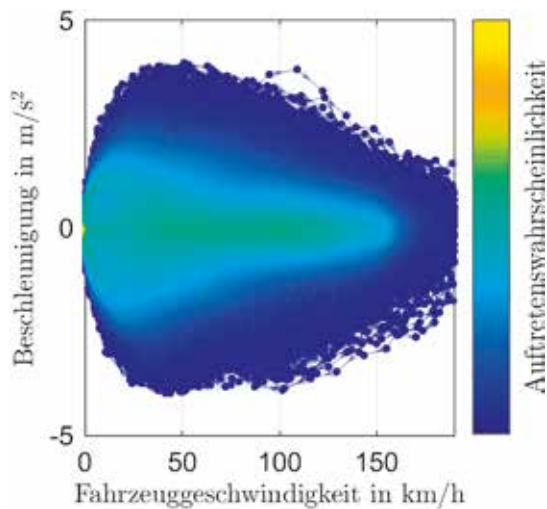


Bild 2: Häufigkeitsverteilung von Fahrzuständen der Flottenfahrdaten bezüglich Geschwindigkeit und Beschleunigung. (Quelle: Technische Universität Darmstadt)

daten extrahierte und den Berechnungen zugrunde gelegte Fahrprofil. Das Fahrprofil stellt dabei die Häufigkeitsverteilung von Fahrzuständen in Bezug auf Fahrzeuggeschwindigkeit und -beschleunigung dar und ist anspruchsvoller als die gesetzlichen Normzyklen.

Durch ein generisches Antriebsstrangmodell kann eine Vielzahl verschiedener Antriebsstrangkonzeppte abgebildet werden. In der Klasse der BEV wird dabei neben dem klassischen Antrieb mit Festgang-Getriebe eine Variante mit zweigängigem Getriebe untersucht. In der PHEV-Klasse können durch das detaillierte Modell verschiedenste Antriebstopologien untersucht werden: Die Spanne reicht von seriellen Hybriden, die nur die E-Maschine für die Deckung der Fahranforderungen verwenden, bis zu parallelen Hybrid-Topologien. Zu den parallelen Topologien zählen beispielsweise P2- oder P3-Hybride, die sowohl die – im Leistungsfluss vor- bzw. hinter dem Getriebe angeordnete – E-Maschine, als auch den Verbrennungsmotor für die direkte Traktion nutzen. Darüber hinaus wird als Referenz ein konventionell ottomotorisch angetriebenes Fahrzeug betrachtet.

Im Rahmen eines genetischen Optimierungsansatzes wird für jedes Antriebsstrangkonzeppt die optimale Parametrierung und Betriebsweise für das gegebene Fahrprofil und die gegebenen Rahmenbedingungen ermittelt. Auf Basis dessen wird der minimal erreichbare REI bestimmt. Dabei wiederum werden entstehende

CO₂-Emissionen in der Produktion der Antriebskomponenten sowie der Fahrzeugkarosserie, in der Kraftstoff- und Strombereitstellung, bei der Verbrennung fossiler Kraftstoffe und in der Entsorgung berücksichtigt. Die realen Flottenfahrdaten stellen in der Gesamtmethode die Grundlage für die Optimierung der Auslegung der Antriebskomponenten zur Anpassung der Betriebsstrategie und der simulativen Verbrauchsermittlung dar.

Die entwickelte Umgebung erlaubt es, verschiedene Szenarien von Randbedingungen zu untersuchen, die sich aus den Kennwerten relevanter Parameter zusammensetzen und unter anderem die Lebensfahrleistung der Fahrzeuge oder die spezifische Energiedichte der Batterien beinhalten. Für jedes betrachtete Szenario ermittelt die Optimierungsumgebung sowohl die optimale Parametrierung des Antriebs, die sich auch für gleiche Konzepte je nach Randbedingungen unterscheiden kann, als auch die minimal erreichbaren CO₂-Emissionen für jedes Antriebsstrangkonzeppt. Erst durch dieses Vorgehen wird eine gemeinsame Vergleichsbasis geschaffen und ein belastbarer Vergleich des ökologischen Potenzials der Antriebstechnologien in verschiedenen Szenarien ermöglicht.

Die relevanten Parameter der Untersuchungsszenarien, beispielsweise die spezifischen CO₂-Emissionen in der Produktion von Fahrzeugbatterien, werden aktuell intensiv diskutiert. Unter anderem, weil sie abhängig von komplexen Herstellungsprozessen und Lieferketten stark schwanken können. Unabhängig von den im Folgenden vorgestellten konkreten Szenarioanalysen erlaubt die entwickelte Methode Untersuchungen für unterschiedlichste Szenarien und damit eine flexible schnelle Anpassung an sich ändernde Randbedingungen.

Szenarienbasierte Auswertung des Real Ecological Impact von Antriebskonzepten

Die vorgestellte Methode wurde im Rahmen des *FahrKLang*-Projekts für eine szenarienbasierte Untersuchung des REI verschiedener Antriebskonzepte angewandt. Im Folgenden werden die Ergebnisse für prognostizierte Randbedingungen im Bezugsjahr 2030 in Deutschland für langstreckentaugliche Fahrzeuge mit einer Reichweite von 350 km sowie für Fahrzeuge mit

einer moderaten Reichweite von 100 km vorgestellt. Die Randbedingungen mit dem größten Einfluss auf die Ergebnisse werden im Folgenden kurz aufgeführt. Die spezifischen CO₂-Emissionen der deutschen Stromerzeugung für die Nutzung elektrischer Energie wurden mit 447 g CO₂-Äq./kWh angesetzt [4]. Zudem werden die spezifischen Emissionen in der Produktion der verwendeten Lithium-Ionen-Batterien zu 12,95 kg CO₂-Äq./kg Batterie und die Energiedichte der Batterien basierend auf [5] zu 126 Wh/kg geschätzt. Für alle Antriebe (außer ICEV) wurde eine rein elektrische Reichweite von 60 km gefordert, um zukünftig lokal emissionsfreie Stadtfahrten zu ermöglichen. Dadurch kann die Frage der Treibhausgasemissionen unabhängig von der Frage der sauberen Stadtluft diskutiert werden. Zusätzlich wird zur Einordnung der Ergebnisse der für das Bezugsjahr 2018 ermittelte REI des konventionell angetriebenen Fahrzeugs (ICEV-O) dargestellt.

Die Ergebnisse für Fahrzeugantriebskonzepte mit einer Reichweite von 100 km zeigen deutlich, dass eine Elektrifizierung des Antriebsstrangs sinnvoll ist. Rein batterieelektrische Fahrzeuge erreichen bei moderaten Reichweiten im Bezugsjahr 2030 einen deutlich besseren REI als das ICEV-O. Vorteile ergeben sich auch bereits für das hier nicht abgebildete Szenario mit heutigen Bezugsdaten. Das BEV mit Zweigang-Getriebe (2eG) kann zu einer weiteren Verbesserung führen. Neben der Effizienzsteigerung durch die Betriebspunktwahl ermöglicht der zweite Gang ein Downsizing der E-Maschine. Das Downsizing basiert dabei darauf, dass der Auslegungskonflikt zwischen der zu erreichenden Höchstgeschwindigkeit und dem nötigen Anfahrmoment aufgehoben werden kann. In ihrer Leistung reduzierte E-Maschinen werden in der Nutzungsphase spezifisch höher ausgelastet und arbeiten dadurch sehr effizient. Zusätzlich zur Verbrauchsreduktion während der Nutzungsphase werden CO₂-Emissionen in der Produktion der leistungsreduzierten E-Maschine eingespart. Der serielle Hybrid (sREV) schneidet aufgrund der doppelten Energiewandlung schlechter als die parallelen Hybride ab. Parallele Plug-in-Hybride weisen einen nur geringfügig schlechteren REI wie das Festgang-BEV auf. Aus der Optimierung resultiert für den P2-Hybrid eine ausreichende Batteriekapazität, um auf Fahrten bis 100 km nahezu rein elektrisch zu fahren. Der Verbrennungsmotor kommt dabei lediglich zur

Erfüllung der Auslegungsanforderungen und zur Deckung der Leistungsspitzen zum Einsatz. Beim P3-Hybrid lohnt sich hingegen, aufgrund der fest an den Abtrieb angebundenen E-Maschine, auch im Bezugsjahr 2030 noch ein stärkerer Einsatz des Verbrennungsmotors und einer dafür kleiner dimensionierten Batterie.

Die Ergebnisse für das Untersuchungsszenario eines langstreckentauglichen Fahrzeugs mit 350 km Reichweite offenbaren dagegen große Unterschiede. Gerade die BEV-Konzepte weisen gegenüber dem Szenario mit moderater Reichweite einen stark verschlechterten REI auf. Die Reichweitenforderung führt zu großen benötigten Batteriekapazitäten. Die statistischen Fahrdaten zeigen jedoch, dass diese selten abgerufen werden. Im Umkehrschluss tragen jedoch insbesondere die großen Batterien zu erheblichen CO₂-Emissionen in der Produktion bei. Zusätzlich zu den erhöhten CO₂-Emissionen steigt durch die großen Batterien das Fahrzeuggewicht. Durch das gestiegene Fahrzeuggewicht wiederum steigt der Leistungsbedarf, was zu erhöhtem Verbrauch und zusätzlichen Emissionen in der Produktion für die E-Maschinen und Wechselrichter führt. Die parallelen Plug-in-Hybride erreichen für dieses Szenario den besten REI. Durch hybride Fahrfunktionen wie beispielsweise der Lastpunktverschiebung können deutliche Effizienzsteigerungen gegenüber dem rein verbrennungsmotorischen Betrieb erzielt werden. Im Teillastbereich werden diese Fahrzeuge zudem rein elektrisch angetrieben. Die Einsparungen in den Produktionskosten der nun deutlich kleineren Batterie übersteigen die Emissionen für die zusätzlichen Komponenten des hybriden Antriebs.

Parallele Plug-in-Hybride können demnach für langstreckentaugliche Fahrzeug zu deutlichen Emissionseinsparungen führen. Die kleiner ausgelegte Batterie ermöglicht rein elektrische und emissionsfreie Stadtfahrten und die installierte Kapazität kann gegenüber den BEV-Konzepten generell besser ausgenutzt werden, da die verfügbare elektrische Energie für Fahrten verschiedenster Distanzen vollständig aufgebraucht werden kann. Durch die Weiterentwicklung dieser Antriebsstrangklasse können zudem weitere Potenziale ausgeschöpft werden. Ein hocheffizientes und innovatives Antriebskonzept dieser Klasse wurde im Rahmen des *DEREX*-Projekts entwickelt und prototypisch umgesetzt.

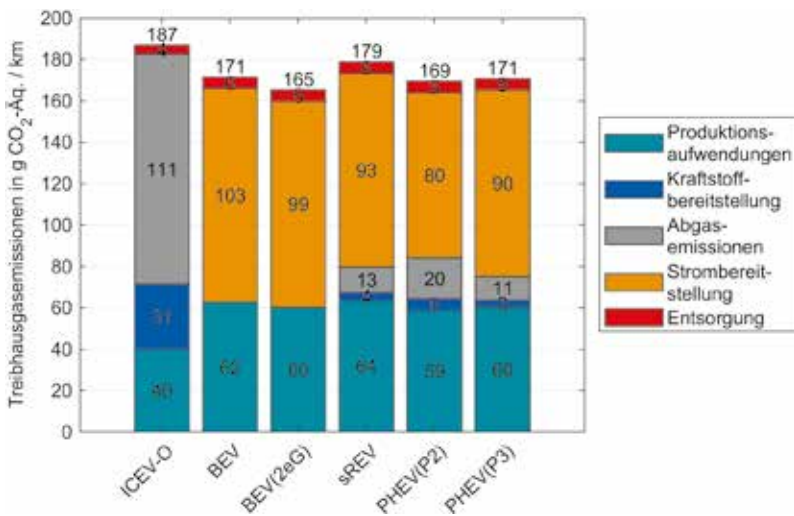


Bild 3: Gesamttreibhausgasemissionen der optimierten Fahrzeugantriebsstrangkonzeppte mit 100 km Reichweite im Bezugsjahr 2030. Ergebnisse des ICEV für das Bezugsjahr 2018. (Quelle: Technische Universität Darmstadt)

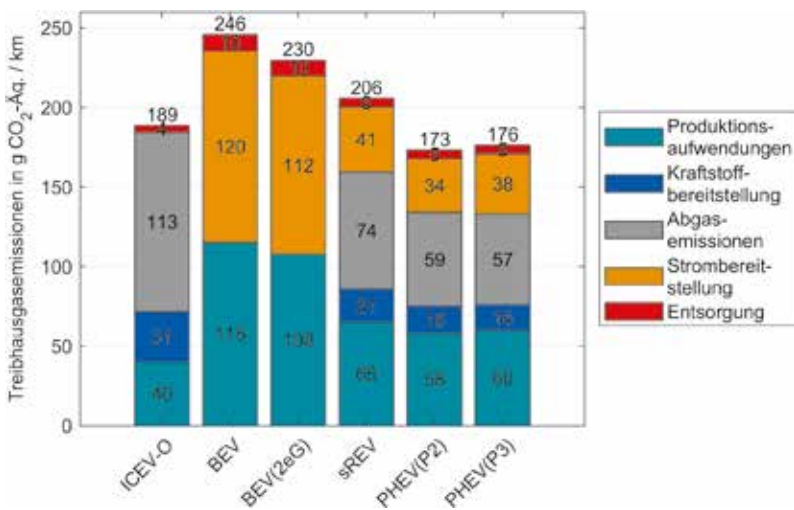


Bild 4: Gesamttreibhausgasemissionen der optimierten Fahrzeugantriebsstrangkonzeppte mit 350 km Reichweite im Bezugsjahr 2030. Ergebnisse des ICEV für das Bezugsjahr 2018. (Quelle: Technische Universität Darmstadt)

Das Dedicated-Range-Extender-Konzept DE-REX

Der Doppel-E-Antrieb ist ein innovatives und modulares Antriebskonzept, das sowohl in rein elektrischen als auch in Plug-in-Fahrzeugen eingesetzt werden kann. Die elektrische Grundstruktur des Antriebs basiert dabei auf der Idee der Nutzung zweier in der Leistung reduzierter E-Maschinen in Kombination mit einem automatisierten Mehrgang-Schaltgetriebe [6]. Die Doppel-E-Antriebskonzepte zielen dabei auf eine hohe Effizienz durch den Downsizing-Effekt für

die E-Maschinen sowie die Verschiebung der Lastpunkte in den effizientesten Betriebsbereich durch die Nutzung von einer oder beiden E-Maschinen in den verschiedenen Gangkombinationen. Ausgehend von der Idee des elektrischen Mehrgang-Antriebs (das auch für BEV-Konzepte gesamtökologisch Vorteile gegenüber dem Stand der Technik – BEV mit einer E-Maschine und Festgang-Getriebe – aufweist) können hybride Ausführungsvarianten modular abgeleitet werden. Dazu wird ein Verbrennungsmotor als Range-Extender an ein Teilgetriebe in parallel-serieller Konfiguration angebunden. Gegenüber den typisch als Range-Extender bezeichneten rein seriellen Antrieben weist dieser Ansatz den Vorteil auf, dass der Verbrennungsmotor direkt mechanisch – und damit sehr effizient – das Fahrzeug antreiben kann. Die für serielle Hybride bekannte „lange Wirkungsgradkette“ kann somit vermieden werden. Da das Antriebskonzept dennoch überwiegend als elektrischer Antriebsstrang verstanden wird, können sämtliche Fahrleistungsanforderungen (z. B. Beschleunigungszeiten oder Anfahrmoment) auch von den E-Maschinen alleine erfüllt werden.

Im Rahmen eines öffentlich geförderten Projekts wurde eine konkrete hybride Ausführungsform des Doppel-E-Antriebs aufgebaut: „Doppel-E-Antrieb mit Range-Extender“ (DE-REX). In einem Projektkonsortium, bestehend aus drei Instituten der TU Darmstadt und drei Industriepartnern, wurden im Zeitraum von Anfang 2015 bis Mitte 2018 die E-Maschinen und das Getriebe des Antriebsstrangs ausgelegt, gefertigt sowie montiert und zusammen mit dem Verbrennungsmotor sowohl an einem Antriebsstrang-Prüfstand als auch in dem in Bild 5 dargestellten Demonstratorfahrzeug in Betrieb genommen.

Das schematische Layout des DE-REX-Antriebskonzepts ist in Bild 6 dargestellt. Die beiden Teilgetriebe sind dabei koaxial angeordnet und verfügen jeweils über zwei Gänge. Sämtliche Schaltelemente innerhalb des Getriebes sind formschlüssig. Die für Schaltvorgänge notwendige Drehzahlsynchronisierung sowohl im elektrischen als auch hybriden Betrieb wird daher über eine Drehzahlregelung der E-Maschinen umgesetzt. Auf Basis der Schaltkomfortuntersuchungen in dem Demonstratorfahrzeug konnte gezeigt werden, dass Schaltvorgänge mit formschlüssigen Schaltelementen sehr komfortabel umgesetzt werden können [7]. Insbesondere



Bild 5: Das DE-REX-Versuchsfahrzeug an der Ladesäule. (Quelle: Technische Universität Darmstadt)

elektrische Gangwechsel im Teillast-Bereich wurden in Probandentests als sehr komfortabel bzw. oftmals nicht wahrnehmbar bewertet. Komfortable Schaltvorgänge bilden dabei die Basis, um die Effizienzpotenziale durch das mehrgängige Antriebskonzept erschließen zu können, da ein unkomfortables Fahrzeug – unabhängig von der gesamtökologischen Bewertung – letztlich vom Kunden nicht akzeptiert wird.

Um die Effizienzvorteile des Mehrgang-Antriebskonzepts gegenüber dem Festgang-Antrieb von in Serie befindlichen BEV zu unter-

suchen, wurde das DE-REX-Antriebskonzept am Antriebsstrang-Prüfstand sowohl im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) als auch im Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC) vergleichend untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die intelligente Betriebsstrategie des DE-REX-Antriebs im WLTC lediglich in ca. 20% der Zeit beide E-Maschinen nutzt (blaue Hinterlegung in Bild 7) und in der restlichen Zeit lediglich eine E Maschine bei hoher Auslastung – und damit hoher Effizienz – genutzt wird (grüne Hinterlegung in Bild 7).

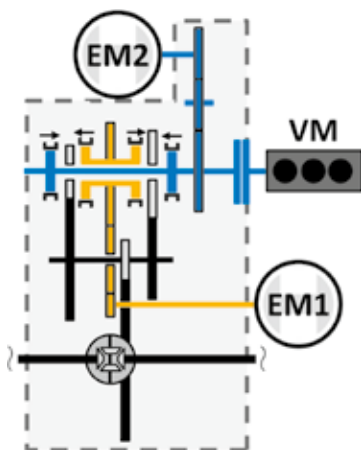


Bild 6: Der schematische Aufbau des DE-REX-Hybridantriebskonzepts. (Quelle: Technische Universität Darmstadt)

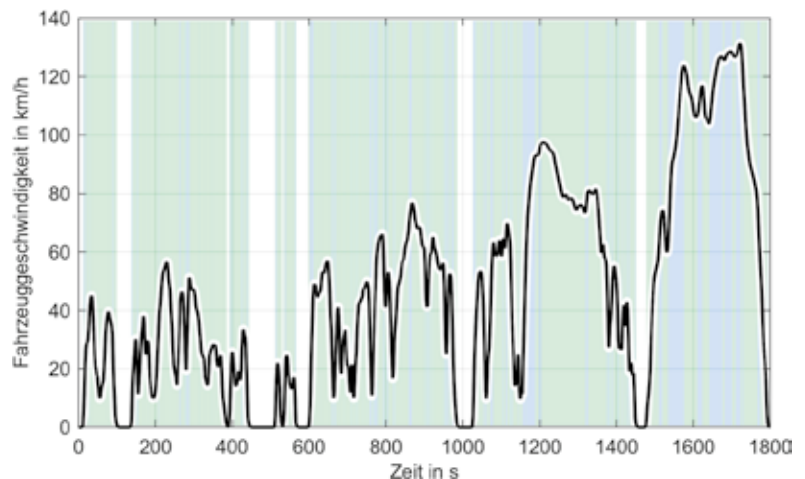


Bild 7: 1-EM- (grün) und 2-EM-Betrieb (blau) mit dem DE-REX im WLTC. (Quelle: Technische Universität Darmstadt)

AUTOREN VITA



Prof. Dr.-Ing. Stephan Rinderknecht

1984–1990 Studium der Luft- und Raumfahrttechnik, Universität Stuttgart

1990–1995 Promotion und Postdoc, Institut für Statik und Dynamik, Universität Stuttgart

1995–2008 GETRAG Getriebe- und Zahnradfabrik Hermann Hagenmeyer GmbH & Cie. KG, zuletzt Bereichsleiter Forschung & Entwicklung

Seit 2009 Professor für Mechatronische Systeme im Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt



Andreas Viehmann, M.Sc.

2008–2014 Studium Mechanical and Process Engineering, Technische Universität Darmstadt

2011–2012 Auslandsstudium an der Chalmers University of Technology, Göteborg (Schweden)

Seit 2014 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt



Arved Eßer, M.Sc.

2010–2016 Studium Mechanical and Process Engineering, Technische Universität Darmstadt

2013–2014 Auslandsstudium am Institut National Polytechnique de Grenoble

Seit 2016 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt



Felix Langhammer, M.Sc.

2011–2019 Studium Mechanical and Process Engineering, Technische Universität Darmstadt

Seit 2019 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau, Technische Universität Darmstadt

Kontakt

Technische Universität Darmstadt
Institut für Mechatronische Systeme im Maschinenbau
Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt
E-Mail: rinderknecht@ims.tu-darmstadt.de
E-Mail: viehmann@ims.tu-darmstadt.de
E-Mail: esser@ims.tu-darmstadt.de
E-Mail: langhammer@ims.tu-darmstadt.de
www.ims.tu-darmstadt.de

In Kombination mit dem Downsizing-Effekt der E-Maschinen ergibt sich gegenüber dem Festgang-BEV ein um ca. 10 % niedrigerer elektrischer Energieverbrauch im WLTC. Damit geht eine Reduktion der CO₂-Emissionen in der Nutzungsphase einher. Zudem kann durch die höhere elektrische Effizienz die Batterie kleiner dimensioniert werden, sodass CO₂-Emissionen und der Einsatz von kritischen Rohstoffen reduziert werden können. Darüber hinaus wird dadurch die Fahrzeugmasse gesenkt, wodurch weitere Verbrauchsminderungen möglich sind.

Fazit und Ausblick

Um den REI verschiedener Antriebsstrangkonzeppte über dem gesamten Fahrzeuglebensweg belastbar vergleichbar zu können, wurde im Rahmen des Projektes *FahrKLang* eine Gesamtoptimierungsumgebung aller Antriebsstrangkomponenten hinsichtlich des REI auf Basis realer Flottenfahrdaten für Deutschland vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen, dass auf kurzen Strecken bereits heute BEV mit moderater Reichweite die ökologisch sinnvollste Lösung darstellen. Langstreckentaugliche BEV weisen aufgrund der großen Batteriekapazität einen deutlich schlechteren REI auf. Für langstreckentaugliche Fahrzeuge stellen sowohl heute als auch in nicht absehbarer Zeit dedizierte parallele Plug-in-Hybride die ökologisch und auch ökonomisch sinnvollere Antriebsvariante dar. Für die geringen Langstreckenfahranteile der meisten Nutzer muss keine überdimensional große, schwere und sehr teure Batterie vorgehalten sowie dauerhaft mitgeführt werden. Darüber hinaus besteht zukünftig die Möglichkeit, diese Langstreckenfahranteile durch Einsatz synthetischer statt fossiler Kraftstoffe ökologisch weiter zu optimieren.

Ein dedizierter Plug-in-Hybrid wurde im öffentlich geförderten Projekt *DE-REX* mit einem innovativen Antriebsstranglayout umgesetzt. Grundidee ist mittels elektrischer Mehrgängigkeit und dem dadurch ermöglichten Downsizing-Effekt sowie dem Einsatz zweier E-Maschinen eine Effizienzsteigerung im rein elektrischen Betrieb zu ermöglichen. Die deutlichen Effizienzvorteile dieses Antriebskonzepts gegenüber einem Festgang-BEV konnten anhand von Prüfstandmessungen aufgezeigt werden. Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse sind an der

TU Darmstadt Weiterentwicklungen im Bereich der dedizierten Hybridantriebe geplant. Intelligente dedizierte Hybridantriebe sind dabei auch in Zukunft ein Baustein für eine ökoeffiziente Mobilität und bieten gerade in Verbindung mit der Integration der Sektoren Energie und Gebäude weitere Potenziale zur Erreichung der Klimaziele.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

- [1] S. Rinderknecht, A. Esser, J.-E. Schleiffer, T. Eichenlaub: Comparative Real-Driving Optimization of Drivetrain Concepts regarding the Ecological Impact - A Big Data Approach for the Fleet. In: eDSIM Conference 2018 - Electrified Drivelines & Engineering 4.0, Darmstadt, Deutschland, 2018.
- [2] P. Jardin et al.: The Sensitivity in Consumption of Different Vehicle Drivetrain Concepts Under Varying Operating Conditions: A Simulative Data Driven Approach. *Vehicles*, vol. 1, no. 1, pp. 69–87, 2019.
- [3] Benjamin Kentsch, Christian Schlotter, Daniel Handke, Dominik Mühlbacher, Dorothee Allerkotte, Florian Fischer, Florian Schimandl: Sichere Intelligente Mobilität: Testfeld Deutschland. 2010, [Online] Available: <https://www.eict.de/projekte/#project-19>.
- [4] M. Schlesinger et al.: Entwicklung der Energiemärkte - Energiereferenzprognose. Prognos AG, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln, Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforchung mbH (GWS), 2014. [Online] Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/entwicklung-der-energiemaerkte-energiereferenzprognose-endbericht.pdf>. Accessed on: Nov. 26 2017.
- [5] A. Thielmann, A. Sauer, R. Isenmann, M. Wietzel: Technology roadmap energy storage for electric mobility 2030. [Online] Available: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/lib/TRM-ESEM-2030_en.pdf. Accessed on: Sep. 19 2018.
- [6] S. Rinderknecht, R. König, J.-E. Schleiffer: Modularity Aspects for Hybrid Electric Powertrains. In: *Getriebe aktuell* (4. Ausgabe) S. 13-24. ISSN 2199-9775, 2015.
- [7] A. Viehmann, R. König, S. Rinderknecht: Investigation of Gear Shifts in a Parallel-Series Hybrid Powertrain with Dog Clutches in a Demonstrator Vehicle (Two-Drive-Transmission with Range-Extender, DE-REX). In: *Dritev - International VDI Congress. VDI-Berichte*, 2328. VDI Verlag, S. 323-346. ISBN 978-3-18-092328-4, 2018.