

Jetzt auch noch Hybridantriebe bei Flurförderzeugen?

Im Pkw-Bereich wird der Hybridantrieb, die Kombination aus Verbrennungsmotor und Elektromaschine, seit einigen Jahren in der Serie angeboten. Steigende Betriebskosten und schärfere Abgasnormen veranlassen auch Hersteller und Betreiber von Flurförderfahrzeugen deren Energieeffizienz zu erhöhen. Dieser Beitrag des Instituts für Kraftfahrzeuge (ika) der RWTH Aachen erläutert die gesetzlichen Rahmenbedingungen, spezifische Lastprofile von Flurförderfahrzeugen und geeignete Hybridstrukturen sowie die erreichbare Effizienzsteigerung anhand von zwei Beispielen.

1 Motivation

Die Verknappung der Rohölressourcen und damit die Verteuerung fossiler Kraftstoffe sowie der prognostizierte Klimawandel machen eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und somit der CO₂-Emissionen unabdingbar, **Bild 1**.

Die Entwicklung alternativer Antriebe wird im Pkw-Sektor seit Jahren vorangetrieben. Bereits im Jahr 1997 kam mit dem Toyota Prius das erste in Serie produzierte Hybridfahrzeug auf den Markt. Inzwischen arbeiten nahezu alle Automobilhersteller mit Hochdruck an hybriden Antriebskonzepten und entwickeln diese zur Serienreife. Die Frage ist inzwischen nicht mehr, ob der Hybrid kommt, sondern welche Hybrid-

struktur für welche Anwendung am besten geeignet ist.

Auch für mobile Arbeitsmaschinen sieht der Gesetzgeber in den nächsten Jahren stufenweise eine drastische Minderung von Emissionen und Partikeln vor, **Bild 2**. Gerade bei Leistungsklassen ab 57 kW sinken die Grenzwerte stark, was wiederum einen höheren Aufwand für die Abgasnachbehandlung bedeutet. Während bei niedrigen Leistungsstufen kleiner 37 kW noch keine weiteren Maßnahmen notwendig sind, können die Grenzwerte bei den höheren Leistungsklassen nur durch eine Kombination verschiedener Verfahren wie einer extern gekühlten Abgasrückführung, einem Dieselpartikelfilter und SCR-Technologie (Selective Catalytic Reduction) eingehalten werden [1].

Mobile Arbeitsmaschinen eignen sich aufgrund der dynamischen Fahr- und Lastprofile in hohem Maße für eine Hybridisierung, da der prozentuale Anteil an rekuperierbarer Energie aufgrund des geringen Anteils an Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit relativ hoch ist. Am Institut für Kraftfahrzeuge (ika) wurden diesbezüglich verschiedene Lastprofile mobiler Arbeitsmaschinen untersucht. In **Bild 3** ist exemplarisch das für einen Portalhubwagen typische Lastprofil dargestellt.

Bei näherer Betrachtung der Lastkollektive zeigt sich, dass der Verbrennungsmotor überwiegend im Teillastbereich betrieben und die maximale Leistung nur selten und kurz genutzt wird.

Durch den Einsatz eines Energiespeichers kann der Verbrennungsmotor entlastet werden, da die Leistungsspitzen vom Speicher abgedeckt werden können. Hierdurch kann zum einen der Betrieb des Diesels phlegmatisiert und zum anderen das Aggregat kleiner ausgelegt werden. Ziel der Hybridisierung ist hierbei, die Betriebspunkte des Diesels in einen verbrauchsoptimalen Punkt zu verschieben und durch das Downsizing des Diesels eine Leistungsstufe mit einer niedrigeren Emissionsklasse zu erreichen. Die durch das kleinere Aggregat sowie die einfachere Abgasnachbehandlung erzielte Kostenreduktion kann für die Zusatzaufwendungen eines hybriden Antriebs genutzt werden. Der hohe Anteil der Kraftstoffkosten an den Betriebskosten (bis zu 60 % im Zwei-Schicht-

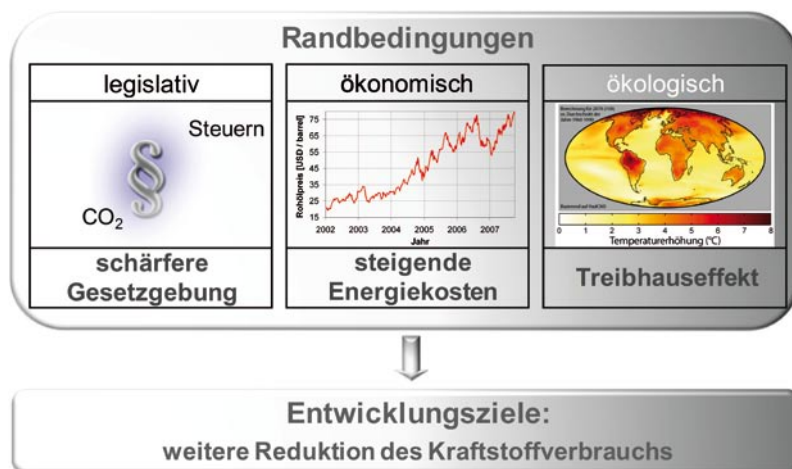


Bild 1: Motivation zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs

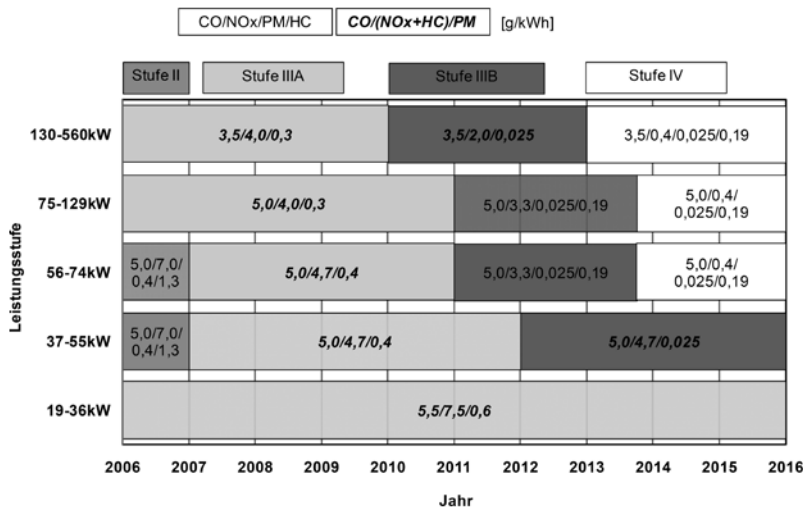


Bild 2: Grenzwerte der Abgas- und Partikelemissionen für mobile Arbeitsmaschinen (Europa)

trieb bei einem 2,5-t-Diesel-Gabelstapler [3]) verspricht eine im Vergleich mit dem Pkw schnellere Amortisierung der durch die Hybridkomponenten verursachten Mehrkosten.

2 Simulation

Bei der Konzeptionierung und Auslegung von Antriebssträngen ist die Simulation eines der wichtigsten Werkzeuge. Hierdurch gelingt es verschiedene Strukturen schnell und ohne hohe Prototypenkosten miteinander zu vergleichen sowie die für das spezielle Einsatzprofil am besten geeignete Antriebsvariante herauszufiltern. Downsizing-Potenziale und Kraftstoffersparungen können abgeschätzt, Energiepfade detailliert analysiert sowie Betriebsstrategien entwickelt und untersucht werden. Basierend auf diesen Informationen kann schließlich eine Auslegung des Komplettsystems sowie der einzelnen Komponenten des Antriebsstrangs erfolgen.

Das ika nutzt seit über 30 Jahren Längsdynamik-Simulationsmodelle zur Analyse konventioneller und alternativer Antriebe sowie zur Entwicklung von verbrauchsoptimalen Betriebsstrategien. Als Werkzeug wird seit zirka 15 Jahren die Software Matlab/Simulink eingesetzt. Die im Laufe der Zeit am ika entstandenen umfangreichen Modellbibliotheken wurden in zahlreichen Projekten validiert und bilden somit eine ideale Basis für eine realitätsnahe Abbildung von

komplexen Antriebsstrukturen. Der schematische Aufbau eines solchen Simulationsmodells ist in Bild 4 dargestellt.

Haupteingangsdaten des Modells stellen Geschwindigkeits-, Last- und Hubprofile dar. Diese werden über ein Fahrermodell eingeregelt, das eine Pedal- und Hubventilstellung an die VCU (Vehicle Control Unit) weitergibt. Die einzelnen Komponenten wie E-Maschinen, Hydraulik und Dieselaggregat im „Antriebssystem“ werden in der Simulation über charakteristische Wirkungsgradkennfelder beziehungsweise physikalische Zusammenhänge mathematisch abgebildet. Im „Fahrzeug“-Modell sind die einzelnen Fahrwiderstände hinterlegt. In Abhängigkeit der Kräftebilanz aus Fahrwiderstän-

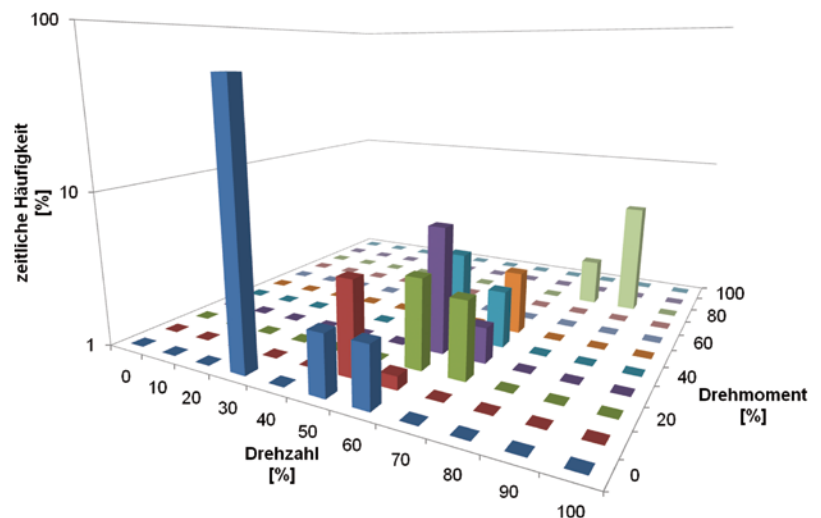


Bild 3: Lastprofil eines Portalhubwagens

Die Autoren



Prof. Dr.-Ing. habil. Jan-Welm Biermann ist stellvertretender Institutsleiter am Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University.



Dipl.-Ing. Jan Hammer ist Teamleiter Alternative Antriebe am Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University.

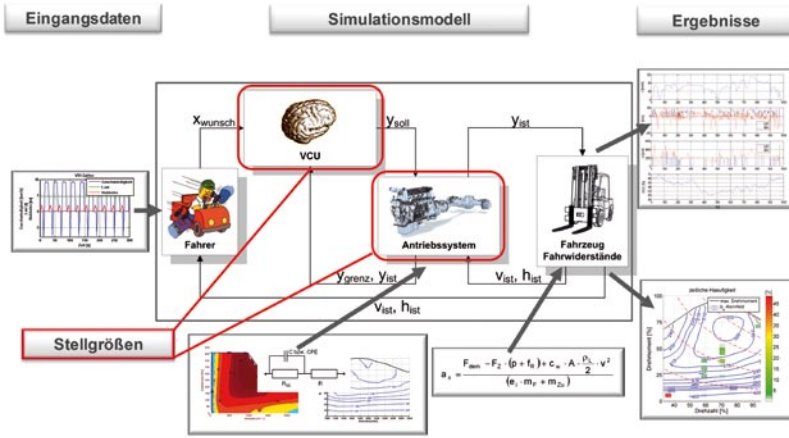


Bild 4: Schematischer Aufbau eines Simulationsmodells

den und Antriebskraft am Rad wird die Beschleunigung beziehungsweise Verzögerung des Fahrzeugs ermittelt, in eine aktuelle Geschwindigkeit umgerechnet und zurück an das Antriebssystem, die VCU und den Fahrer gegeben, wodurch der Regelkreis geschlossen wird.

In der Simulation können nahezu alle auch im Realfahrzeug messbaren Größen ermittelt und analysiert werden. Somit ist unter anderem die Darstellung von Drehzahl- und Drehmomentverläufen sowie Spannungen, Strömen, Drücken und Kraftstoffverbräuchen möglich. Auf Basis dieser Informationen können einzelne Komponenten ausgelegt, unterschiedliche Antriebsstrang-Strukturen verglichen und Potenziale zur Verbrauchseinsparung gezielt ermittelt werden.

3 Konzeptionierung Hybridantriebe

Stand der Technik bei verbrennungsmotorisch angetriebenen Flurförderfahrzeugen stellen diesel-elektrische und diesel-hydraulische Antriebe dar. In Bild 5 sind im Vergleich zu den konventionellen Strukturen mögliche hybride Antriebskonzepte dargestellt. Vereinfachend wird bei allen Konzepten von einem rein hydraulisch angetriebenen Hubwerk ausgegangen. Je nach Einsatzgebiet kann dieses allerdings auch elektrisch und elektro-hydraulisch angetrieben werden.

Kennzeichen serieller Hybridantriebe ist die „Reihenschaltung“ der Energiewandler ohne mechanische Anbindung des Verbrennungsmotors an die Antriebsräder. Der Verbrennungsmotor treibt

hierbei einen Generator beziehungsweise eine Pumpe an, der/die den Fahrantrieb sowie einen im elektrischen/hydraulischen Zwischenkreis angeordneten Speicher mit Energie versorgt.

Beim parallelen Hybrid sind Verbrennungsmotor und E-Maschine/Hydraulik-Motor mechanisch mit den Antriebsrädern gekoppelt. Die beiden Antriebssysteme können sowohl einzeln als auch gleichzeitig zum Vortrieb des Fahrzeugs genutzt werden. Aufgrund der Leistungs-

addition können beide Motoren relativ klein ausgelegt werden, ohne dass Leistungseinbußen beim Beschleunigen oder an Steigungen auftreten.

Die leistungsverzweigten Hybridantriebe stellen eine sehr komplexe Antriebsvariante dar. Bei dieser Hybridstruktur wird ein Teil der Leistung des Verbrennungsmotors direkt mechanisch an die Antriebsräder übertragen; die restliche Leistung gelangt zum Beispiel über ein Planetengetriebe und zwei Elektromotoren an die Antriebsräder. Mit dieser Anordnung der Elektromotoren agiert das System als stufenlos verstellbares Getriebe, sodass kein zusätzliches Getriebe für den Verbrennungsmotor notwendig ist. Der Verbrennungsmotor kann somit prinzipiell drehzahl- und leistungsunabhängig vom übrigen Antrieb betrieben werden. Der Wirkungsgrad ist aufgrund der teilweise direkten mechanischen Leistungsübertragung besser als bei seriellen Strukturen [2].

Der Auswahl des Energiespeichers kommt bei der Konzeptionierung eines hybriden Antriebs eine wichtige Bedeutung zu. Bild 6 zeigt den Vergleich der elektrischen/elektrochemischen und hydraulischen Energiespeicher hinsichtlich

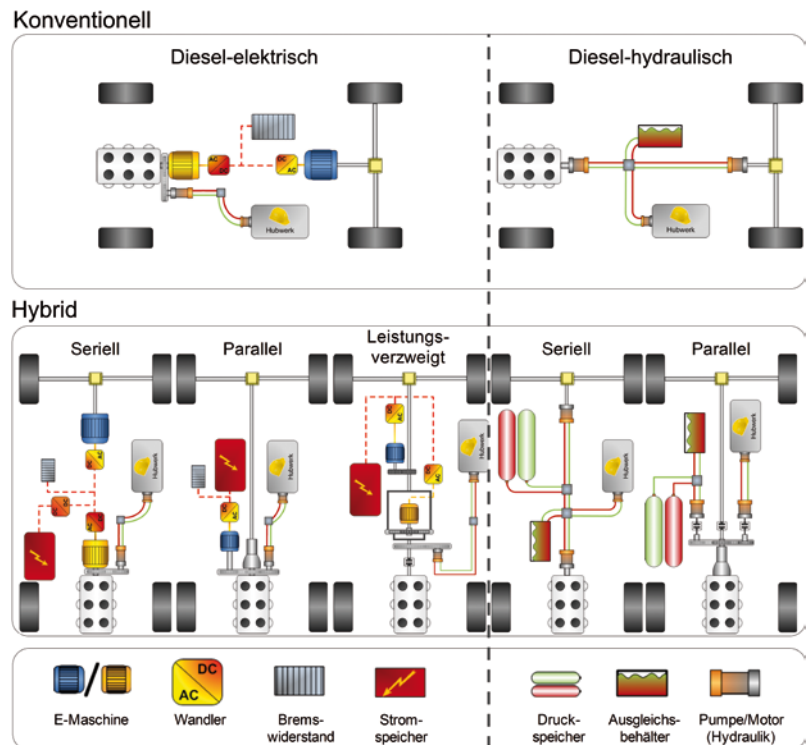


Bild 5: Konventionelle und hybride Antriebsstrukturen

ihrer Leistungs- und Energiedichte im Rangone-Diagramm. Hier weisen die Li-Ionen- und die NiMH-Batterien die höchsten Energiedichten auf. Doppelschichtkondensatoren und Blasenspeicher werden eingesetzt, wenn eine hohe Leistungsdichte gefordert wird. Allgemein gilt, dass sich Superkondensatoren und Blasenspeicher primär für Anwendungen mit hohem, kurzzeitigem Leistungsbedarf eignen, während Batterien über höhere Energiedichten verfügen, die jedoch bei zunehmender Belastung stark abnehmen. Entwicklungen wie zum Beispiel die Hochleistungs-Li-Ionen-Batterie stellen hier einen Kompromiss zwischen den beiden Speicherclassen dar, sind zurzeit allerdings noch sehr teuer.

Letztendlich entscheiden die typischen Fahr- und Lastprofile über die Eignung der einzelnen Speicher für den Einsatz im Fahrzeug. Aufgrund der dynamischen Beanspruchungen hinsichtlich Geschwindigkeit und Aufschaltung von Lasten ist ein Kurzzeitspeicher für den Einsatz in einem Großteil von Flurförderfahrzeugen beziehungsweise mobiler Arbeitsmaschinen gut geeignet.

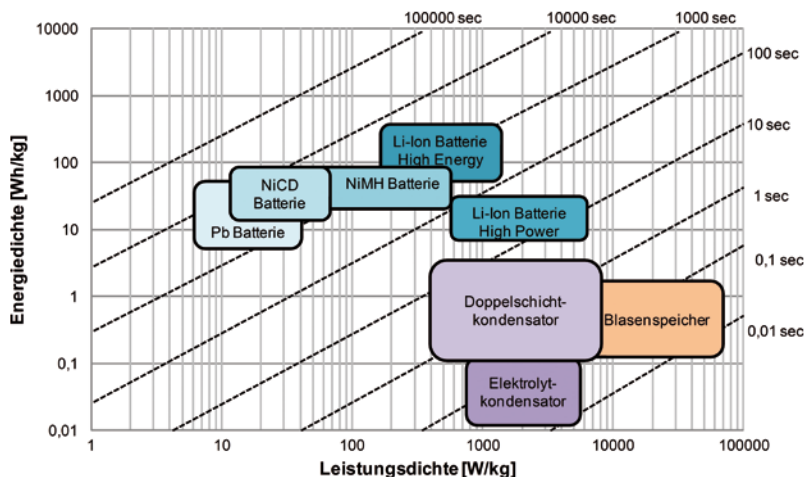


Bild 6: Vergleich Energiespeicher

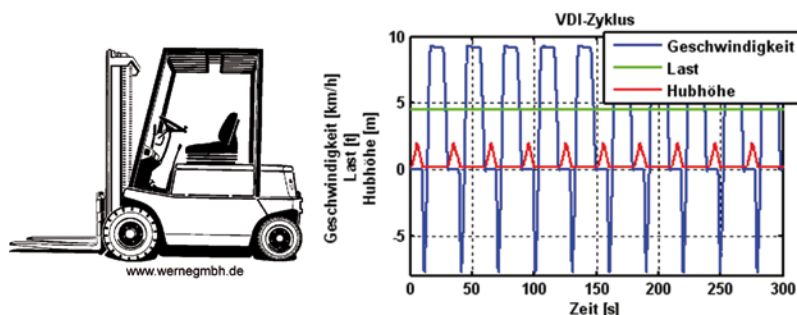


Bild 7: Zyklus zur Verbrauchsermittlung bei Gabelstaplern nach VDI 2198

4 Beispiele zur Hybridisierung von Flurförderfahrzeugen

Die sich durch die Hybridisierung ergebenden Potenziale zur Kraftstoffeinsparung werden im Folgenden anhand von zwei am ifa im Rahmen von Forschungsprojekten untersuchten Beispielen erläutert.

4.1 Gabelstapler 4,5 t

Bei den Flurförderfahrzeugen kommt dem Gabelstapler aufgrund der hohen Verbreitung eine große Bedeutung zu. Als standardisierter Zyklus zur einheitlichen Ermittlung des Kraftstoffbedarfs von Gabelstaplern wird der in Bild 7 dargestellte Zyklus nach VDI 2198 verwendet.

Die Potenziale zur Senkung des Kraftstoffbedarfs durch eine Hybridisierung werden nachfolgend am Beispiel eines 4,5-t-Gabelstaplers mit diesel-elektrischem Antrieb und hydraulischem Hubwerk aufgezeigt. Die Verzögerung des Fahrzeugs erfolgt überwiegend elektrisch, d. h. die über den als Generator arbeitenden Fahrmotor in den Zwischenkreis geführte Energie wird über einen

Bremswiderstand in Wärme gewandelt. Zur Rekuperation dieser Energie wird beim Hybridantrieb ein Supercap über einen DC/DC-Wandler parallel zum

Bremswiderstand mit dem Zwischenkreis verbunden. Durch den Wandler wird das Spannungsniveau des Speichers von dem des Zwischenkreises entkoppelt

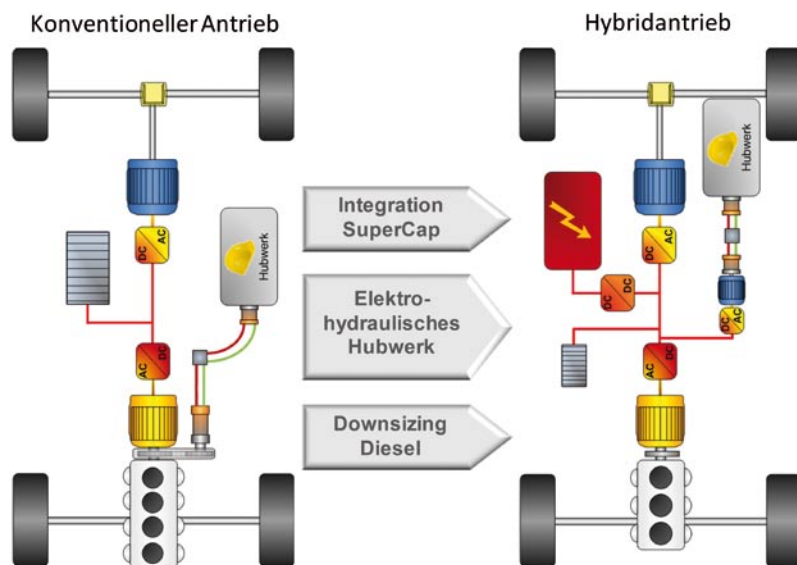


Bild 8: Hybridisierung 4,5-t-Gabelstapler

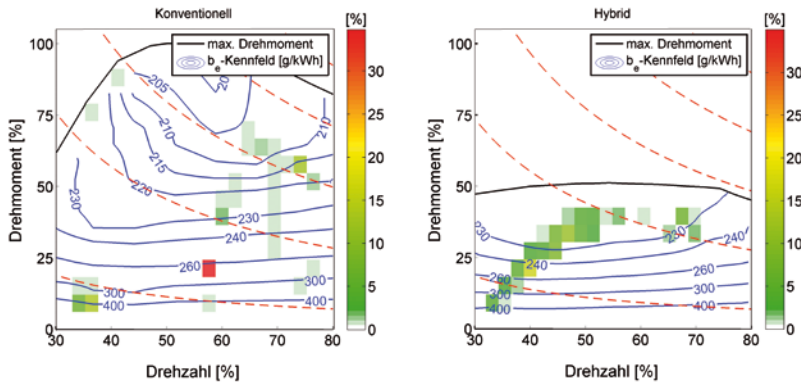


Bild 9: Zeitliche Häufigkeitsverteilung der Betriebspunkte des Verbrennungsmotors

und die Leistungsaufnahme/-abgabe gesteuert. Durch diese steuerbare Ankopplung kann ein großer SOC (State of charge)-Hub, das heißt ein großer Teil der theoretischen Kapazität des Supercaps genutzt werden. Somit kann der Speicher relativ klein dimensioniert werden. Hierbei wird der Supercap so ausgelegt, dass die bei einer Verzögerung aus maximaler Geschwindigkeit sowie die beim Senken von Lasten auftretenden Energien zwischengespeichert werden können. Somit kann der Speicher den Dieselmotor bei folgenden Beschleunigungs- und Hubvorgängen unterstützen.

Die Hydraulik des Hubwerks wird vom Verbrennungsmotor entkoppelt und über einen E Motor sowie einen AC/DC-Wandler mit dem Zwischenkreis verbunden. Hierdurch verschlechtert sich zwar der Gesamtwirkungsgrad der Hubeinrichtung beim Heben, es kann aber die zum Heben von Lasten aufgebrauchte Energie beim Senken teilweise zurück-gewonnen werden.

Da die auftretenden Leistungsspitzen aus dem Supercap abgedeckt werden, entsteht ein erhebliches Potenzial zum Downsizing des Dieselmotors und somit auch zur Anpassung der Nennleistung des Generators. Ein kleineres Aggregat erfordert weiterhin eine geringere Kühlleistung, was wiederum direkten Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass konstantes Fahren bei maximaler Geschwindigkeit und voller Zuladung auch bei entladenem Supercap gewährleistet bleibt. In Bild 8 sind die Komponenten der konventionellen sowie der hybriden Antriebsstruktur dargestellt.

Die Optimierung des Verbrennungsmotorbetriebs und die Rekuperation von

Brems- und Hubenergie bieten die größten Potenziale zur Senkung des Kraftstoffbedarfs bei einer Hybridisierung des Antriebsstrangs.

Bild 9 zeigt die Lastkollektive von konventionellem und hybridem Fahrzeug im Verbrennungsmotorkennfeld. Anhand der Häufigkeitsverteilung sind die Optimierung des Betriebsverhaltens sowie das sich ergebende Potenzial zum Downsizing des Dieselmotors erkennbar. Es wird deutlich, wie aufgrund der Phlegmatisierung die Betriebspunkte in verbrauchsoptimale Bereiche verschoben werden können.

Die in Bild 10 dargestellte Aufteilung der im Antriebsstrang auftretenden Verluste zeigt, dass die größte Energiesenke durch die Wandlung von chemischer in mechanische Energie am Dieselmotor auftritt. Des Weiteren wird durch den häufig auftretenden Einsatz der Arbeitshydraulik ein großer Teil der vom Verbrennungsmotor abgegebenen Leistung als Nutzleistung für das Heben von Lasten aufgewandt.

Nicht durch eine Hybridisierung zu verringern sind die absolut auftretenden Verluste durch die Fahrwiderstände, den Fahrmotor und das Getriebe. Durch die Wirkungsgradoptimierung von Verbrennungsmotor und Generator sowie die Rekuperation von Brems- und Hubenergie kann der Verbrauch des Hybrid-Gabelstaplers im Vergleich zum konventionell angetriebenen Fahrzeug um 18 % reduziert werden. Die Nennleistung des Verbrennungsmotors kann hierbei auf zirka 62 % der Ausgangsleistung verringert werden.

4.2 Portalhubwagen vier-hoch

Als Beispiel für eine andere Fahrzeugklasse sollen im Folgenden die energetischen Einsparpotenziale bei der Hybridisierung eines Portalhubwagens untersucht werden. Portalhubfahrzeuge werden im Ha-

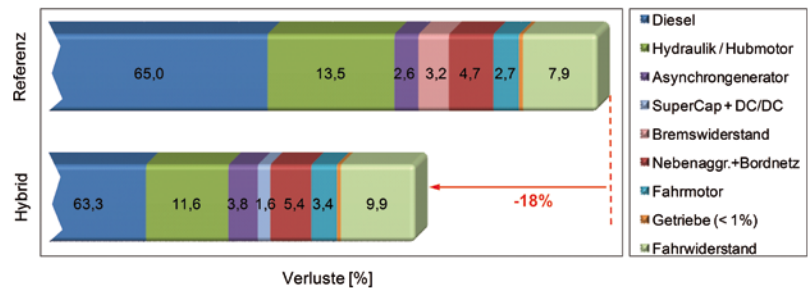


Bild 10: Verluste im konventionellen und im hybriden Antriebsstrang

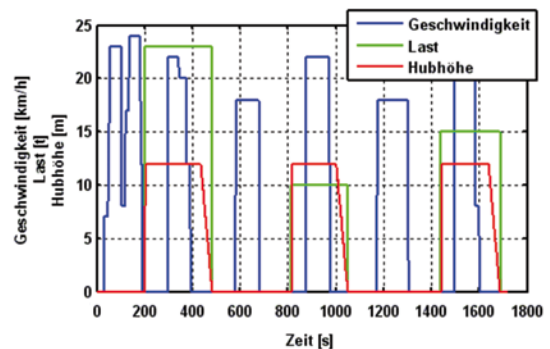
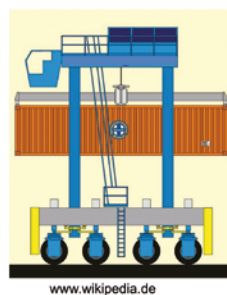


Bild 11: Fahrprofil eines Portalhubwagens

fenbereich zum Umschlag von ISO-Containern eingesetzt und können je nach Ausführung bis zu vier Container stapeln (vier-hoch). Aktuelle Fahrzeuge verfügen über einen diesel-elektrischen Antrieb mit vier Radmotoren und einer elektrisch angetriebenen Seilwinde. Die beim elektrischen Bremsen und Senken von Lasten in den Zwischenkreis zurückgespeiste Energie wird, sofern nicht unmittelbar durch Nebenverbraucher genutzt, über einen Bremswiderstand in Wärme gewandelt. Das Leergewicht beträgt zirka 75 t bei einer Nennleistung des Dieselmotors von zirka 350 kW.

Das typische Fahrprofil eines Portalhubwagens ist im Gegensatz zu dem eines Gabelstaplers durch einen großen Stillstandanteil sowie häufiges Beschleunigen auf maximale Geschwindigkeit gekennzeichnet, **Bild 11**.

Aufgrund des bereits elektrisch angetriebenen Hubwerks ist die Hybridisierung des Antriebsstrangs beim Portalhubwagen einfacher als beim Gabelstap-

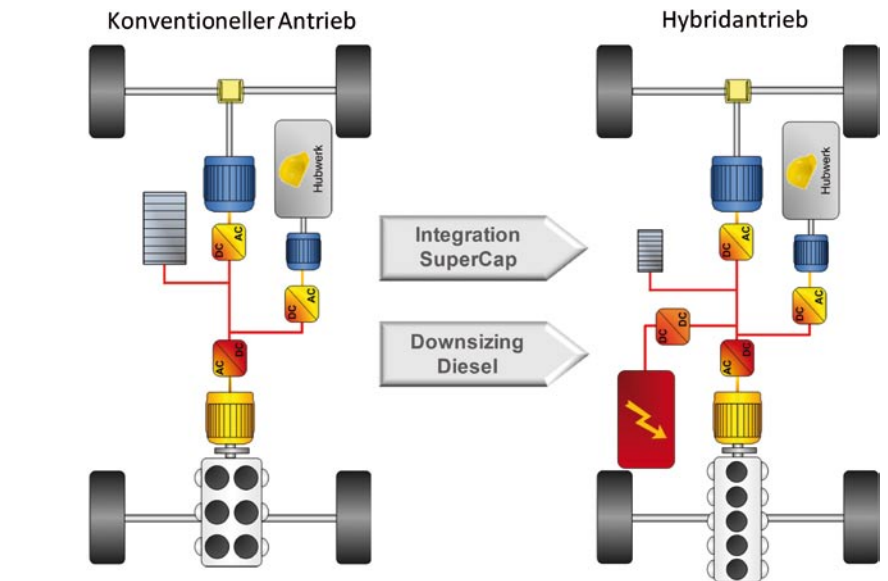
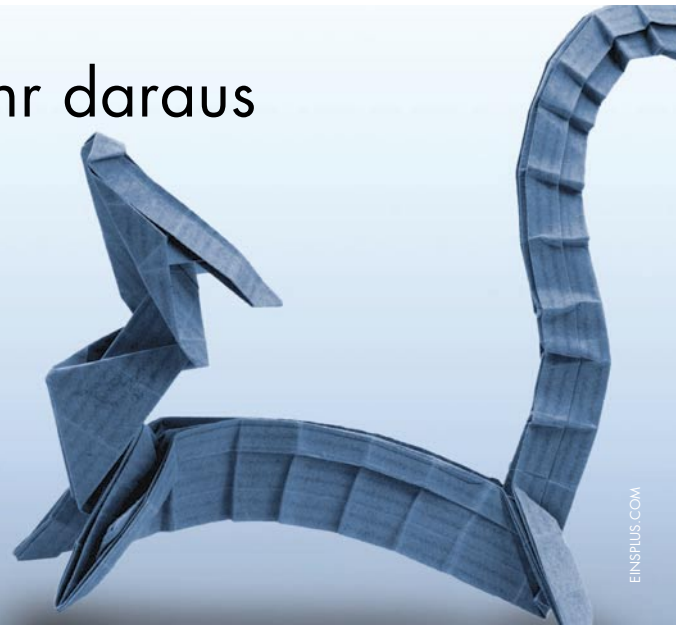


Bild 12: Hybridisierung Portalhubwagen

ler, **Bild 12**. Analog zum Gabelstapler wird ein entsprechend dimensionierter Supercap über einen DC/DC-Wandler an

den Zwischenkreis gekoppelt. Hierdurch kann der Bremswiderstand kleiner ausgelegt werden.

Innovationskraft macht mehr daraus



EINSPUS.COM



Innovationskraft ist seit über 80 Jahren integrativer Bestandteil der Freudenberg Unternehmenskultur, um Ihren technologischen Vorsprung zuverlässig abzusichern. Aktuelles Beispiel dafür: LESS, Low Emission Sealing Solutions – unser neuestes Leistungs paket zur Emissionsreduzierung für Motor, Antriebsstrang und viele andere Komponenten im Fahrzeug.

Erfahren Sie mehr unter: www.freudenberg-ds.de/less

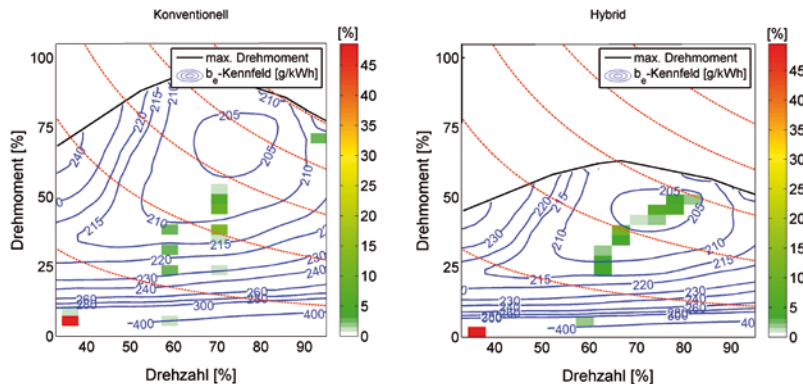


Bild 13: Zeitliche Häufigkeitsverteilung der Betriebspunkte des Verbrennungsmotors

Auch beim Portalhubwagen kann durch die Abdeckung der Leistungsspitzen über den Supercap ein Downsizing des Verbrennungsmotors erfolgen. Durch die Phlegmatisierung werden die Betriebspunkte des Dieselaggregats in einen verbrauchsoptimalen Bereich verschoben, Bild 13.

Aufgrund des schlechteren Verhältnisses von Fahrzeugleergewicht zu Traglast und dem höheren Anteil an Leerfahrten ist die zum Heben von Lasten benötigte Energie mit 2,9 %, bezogen auf die Energie des Kraftstoffs, im Vergleich zum Gabelstapler gering. Die hierbei auftretenden Verluste sind im Bremswiderstand berücksichtigt, Bild 14. Durch die Hybridisierung können die Verluste in Verbrennungsmotor, Generator und Bremswiderstand verringert werden. Die mechanische Bremse wird aufgrund eines erhöhten elektrischen Bremsanteils durch eine angepasste Bremskennlinie nicht mehr genutzt. Hierdurch kann ein größerer Anteil an Bremsenergie rekuperiert werden. Die simulierte Verbrauchseinsparung für den dargestellten Zyklus beträgt 20 %, wobei ein Downsizing des Verbren-

nungsmotors auf 63 % der Ausgangsnennleistung möglich ist.

Trotz der langen Standzeiten ist eine Start-/Stopp-Funktion des Verbrennungsmotors bei derzeitigen Fahrzeugkonzepten nicht vorgesehen, beziehungsweise aufgrund langer Boot-Zeiten von Software und Peripherie sowie der Notwendigkeit, dass auch während der Standzeiten verschiedene Funktionen weiterhin zur Verfügung stehen müssen, nur schwierig zu realisieren. Die sich hier verbergenden Potenziale sind allerdings nicht zu unterschätzen. Bei dem dargestellten Zyklus ist allein durch eine Start-/Stopp-Funktion eine Verbrauchseinsparung von bis zu 8 % realisierbar.

5 Zusammenfassung

Steigende Energiekosten und strengere Abgasgrenzwerte forcieren die Entwicklung alternativer Antriebe. Die dynamischen Fahr- und Lastprofile mobiler Arbeitsmaschinen mit einem hohen Anteil an zurückgewinnbarer Energie machen den Einsatz eines hybriden Antriebsstrangs interessant. Aufgrund der

hohen Anzahl an Betriebsstunden ist mit einer schnellen Amortisierung der durch den Einsatz zusätzlicher Antriebskomponenten entstehenden Mehrkosten zu rechnen. Das Institut für Kraftfahrzeuge beschäftigt sich seit über drei Jahrzehnten mit der Konzeption, Simulation und Auslegung von alternativen Antriebssträngen sowie deren Umsetzung im Fahrzeug, wobei die Entwicklung von Betriebsstrategien zur optimalen Steuerung des Zusammenspiels der einzelnen Komponenten bei Hybridfahrzeugen eine entscheidende Rolle spielt. Im Rahmen dieses Beitrags wurden die Potenziale zur Senkung des Kraftstoffbedarfs durch eine Hybridisierung anhand von zwei Beispielen aufgezeigt. Zur Abdeckung von Leistungsspitzen und Rekuperation von Brems- und Hubenergie wurden die diesel-elektrischen Antriebe eines 4,5-t-Gabelstaplers und eines Portalhubfahrzeugs um einen Supercap im Zwischenkreis ergänzt. Durch den Speicher kann der Betrieb des Diesels phlegmatisiert und dieser somit auf einer verbrauchsoptimalen Kennlinie betrieben werden. Hierdurch kann die Nennleistung des Verbrennungsmotors reduziert und somit gegebenenfalls eine niedrigere Emissionsklasse erreicht werden. In den gezeigten Beispielen konnte die Nennleistung des Dieselaggregats um zirka 37 % und der Kraftstoffbedarf um 18 % reduziert werden.

Diesel-elektrische und ebenfalls diesel-hydraulische Fahrtriebe bieten sich aufgrund ihrer Struktur geradezu für eine Hybridisierung an. Aktuelle Entwicklungen in diesem Bereich sowie die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass durch eine Anpassung bestehender Antriebskonzepte deutliche Potenziale zur Senkung des Kraftstoffbedarfs von Flurförderfahrzeugen entstehen. Schlussfolgernd kann also festgehalten werden: Ja, Hybridantriebe jetzt auch noch bei Flurförderzeugen!

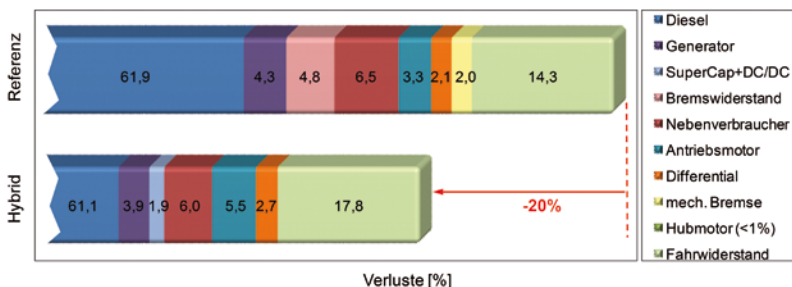


Bild 14: Verluste im konventionellen und im hybriden Antriebsstrang

Literaturhinweise

- [1] Cartus, T.; Herrmuth, H.; Dr. Scherm, P.; Stein, G.: Konzepte für Non-Road Stage IV/Tier 4 Emissions-Gesetzgebung, MTZ 68 (2007) Nr. 12
- [2] Renner, C., Meinheit, H.: Parallel, kombiniert oder leistungsverzweigt? Ein simulationsgestützter Konzeptvergleich, Tag des Hybrids, Aachen 10/2005
- [3] Verein Deutscher Ingenieure: VDI 2695, Düsseldorf 2006

Ottomotoren der Zukunft

Jetzt auch in Englisch:
Gasoline Engine
with Direct Injection
978-3-8348-0670-3
49,00 €



Richard van Basshuysen (Hrsg.)

Ottomotor mit Direkteinspritzung

Verfahren, Systeme, Entwicklung, Potenzial

2., überarb., akt. u. erw. Aufl. 2008. XVIII, 457 S. Mit 399 Abb. (ATZ-MTZ Fachbuch)

Geb. EUR 49,00

ISBN 978-3-8348-0445-7

Der Ottomotor mit Direkteinspritzung erlangt zunehmende Bedeutung. Dessen Potenzial ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Leistungs- und Drehmomentenerhöhung gepaart mit weiter reduziertem Kraftstoffverbrauch bei gleichzeitiger Schadstoffreduzierung geben klar die Richtung künftiger Entwicklungen vor. Als Schlüssel für diese Entwicklung können aus heutiger Sicht neue Einspritz- und Verbrennungsverfahren gelten, die den Technologieschub bewirken. Dieses Fachbuch stellt die neuesten Entwicklungen zusammen, beleuchtet und bewertet Motorkonzepte, wie z.B. Downsizing und beschreibt die Anforderungen an Werkstoffe und Betriebsstoffe. In dieser zweiten Auflage wurde ein neuer Abschnitt aufgenommen, der die neuen Wege zur Schadstoffreduzierung beschreibt. Der Ausblick am Ende des Buches beleuchtet die Frage, ob Ottomotoren in Zukunft das Niveau von Dieselmotoren erreichen werden.

Autoren | Herausgeber

Dr.-Ing. E. h. Richard van Basshuysen war bei Audi Entwicklungsleiter der Fahrzeug-Komfortklasse und der Motor- und Getriebeentwicklung. Er ist heute Herausgeber der ATZ und MTZ. Ihm wurde u. a. die Benz-Daimler-Maybach-Ehrenmedaille 2001 des VDI für die Serieneinführung des Pkw-Dieselmotors mit Direkteinspritzung verliehen sowie der hochdotierte Ernst-Blickle-Preis 2000.

Der Herausgeber wurde von einem hochkarätigen Autorenteam von 24 Fachleuten und Wissenschaftlern aus Industrie und Hochschulen unterstützt.

Ja, ich bestelle

Exemplare

**Ottomotor mit
Direkteinspritzung**
ISBN 978-3-8348-0445-7
EUR 49,00

Fax +49(0)611.7878-420

Firma		Name, Vorname	321 09 001
Abteilung			
Straße (bitte kein Postfach)		PLZ Ort	
Datum Unterschrift			

Änderungen vorbehalten. Erhältlich im Buchhandel oder beim Verlag, zuzüglich Versandkosten
Geschäftsführer: Dr. Ralf Birkelbach, Albrecht F. Schirmacher, AG Wiesbaden HRB 9754

TECHNIK BEWEGT.

