

Nachhaltige Energiekonzepte für mobile Arbeitsmaschinen – in welche Richtung gehen sie?



Marcus Geimer, Isabelle Ays
Die EU will bis 2020 den Kohlendioxid-Ausstoß europaweit im Vergleich zum Jahre 1990 um 20 Prozent verringern. Mit dem Einsatz von alternativen Antrieben und erneuerbaren Kraftstoffen wie Biodiesel, Bioethanol und Biogas können Treibhausgasemissionen auch bei mobilen Arbeitsmaschinen reduziert werden.

Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer ist Leiter des Lehrstuhls für Mobile Arbeitsmaschinen (MOBIMA), des KIT, Karlsruhe, Dipl.-Ing. Isabelle Ays, Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Der vorliegende Artikel zeigt den aktuellen technischen Stand zur nachhaltigen Energieversorgungsmöglichkeit für mobile Arbeitsmaschinen auf und erläutert mögliche Auswirkungen auf die Entwicklung der Maschinen. Der Fokus liegt dabei auf Technologien, deren technische Umsetzbarkeit in 20 Jahren absehbar erscheint und berücksichtigt keine wirtschaftlichen Belange, da diese sehr stark von gesetzlichen Rahmenbedingungen geprägt werden und sich auch kurzfristig stark ändern können.

Einleitung

Der Vorrat an fossilen Brennstoffen ist endlich und wird den Energiebedarf der Welt auf Dauer nicht decken können. Auch wenn nach heutiger Sicht die Reichweite fossiler Brennstoffe, wie z. B. Erdgas, Benzin oder Dieseldieselkraftstoff, auf über 200 Jahre geschätzt wird [1], so belasten diese Brennstoffe jedoch die Umwelt durch die weitere Freisetzung von über Jahrtausenden gebundenem CO₂ als so genanntes Treibhausgas. Folge ist nach Experteneinschätzung eine Erwärmung der Erde und nur schwer abschätzbare, jedoch für die Menschen negative, Folgen auf das Klima der Erde [2].

Die Mobilität von heute stützt sich auf fossile Kraftstoffe und den Verbrennungsmotor, insbesondere in mobilen Arbeitsmaschinen ist diese Energiespeicherung

und -wandlung Stand der Technik. Batteriebetriebene Fahrzeuge, wie z. B. der Gabelstapler, sind nur in speziellen Anwendungen zu finden. Gesetzliche Regelungen im Pkw-Bereich regulieren den CO₂-Ausstoß von Flotten, so dass heute intensiv an batteriebetriebenen Fahrzeugen entwickelt wird. Solche Fahrzeuge stellen heute im Bereich der mobilen Arbeitsmaschinen aufgrund der geringen Energiedichte elektrischer Speicher keine Alternative dar.

In letzter Zeit sind auch die mobilen Arbeitsmaschinen in den Fokus der EU-Politik geraten. Die strengeren Abgasnormen sowie die Diskussionen fester CO₂-Emissionsgrenzwerte für mobile Arbeitsmaschinen einzuführen, motivieren die Unternehmen, neben aktuellen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung, auch nach alternativen nachhaltigen Energiekonzepten zu suchen. Da mobile Arbeitsmaschinen Prinzip bedingt einen hohen Kraftstoffverbrauch besitzen, sind effizienzsteigernde Maßnahmen häufig auch wirtschaftlich.

In dem vorliegenden Artikel werden unterschiedliche Energiekonzepte für mobile Arbeitsmaschinen untersucht, die aus heutiger Sicht in naher Zukunft technisch umsetzbar erscheinen.

Unter „nachhaltig“ werden hier Konzepte verstanden, die keine Ressourcen verbrauchen. Beispiele sind die Nutzung von Sonnen- und Windenergie sowie die Ver-

wendung nachwachsender Rohstoffe, wie z. B. Biomasse, ohne die Böden nachhaltig zu schädigen.

Das wohl älteste Beispiel der Nachhaltigkeit stammt aus der Forstwirtschaft: es darf nicht mehr Holz gefällt werden, als nachwachsen kann.

Ein besonderer Fokus soll auf die Bedürfnisse der Arbeitsmaschinen gelegt werden. Dies ist zum einen der notwendige Energiebedarf zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe, was i. d. R. eine hohe Energiedichte von Energiespeichern erfordert. Und zum anderen muss eine ungebundene Bewegungsmöglichkeit der Maschine möglich sein. Letztere erfordert eine zyklische Zuführung von Energie. Die Zuführung der Energie soll in einem begrenzten Zeitraum oder in Stillstandszeiten der Maschinen erfolgen.

Ein alternativer Energiespeicher sollte folglich eine ähnlich hohe oder höhere Energiedichte aufweisen als die jetzigen traditionellen Energiespeicher wie Benzin oder Diesel.

Kennwerte von Energieträgern und Vergleichsbasis

Tabelle 1 zeigt die Energiedichte unterschiedlicher Energiespeicher. Diese Speicher besitzen bekannte wissenschaftlich abgesicherte Technologien, deren technischer Einsatz in einem Zeithorizont von 20 Jahren möglich erscheint. Heute werden aufgrund ihrer Energiedichte bevorzugt flüssige Kraftstoffe, i. d. R. Dieseldieselkraftstoffe, als Energieträger eingesetzt.

Obwohl nach Tabelle 1 die Kernspaltung die höchste Energiedichte aufweist, wird diese aufgrund der nicht gelösten Atom-Endlagerfrage, bzw. der nicht vorhandenen Nachhaltigkeit, nicht weiter betrachtet.

Aus der Tabelle 1 ist zudem zu erkennen, dass Wasserstoff die höchste Energiedichte mit 120 MJ/kg besitzt. Es folgt Erdgas/Bio- mit einer Energiedichte von 45 bis 50 MJ/kg, welches nur zwei Fünftel der Energiedichten des Wasserstoffes entspricht. Die Energiedichte von Erdgas/Bio- steigt mit dem Methaninhalt des Gases. Danach folgen die traditionellen Kraftstoffe wie Benzin und Diesel mit einer Energiedichte von 44 MJ/kg bzw. 43,2 MJ/kg.

Im Folgenden dient als Vergleichsbasis eine große Arbeitsmaschine, z. B. ein Mähdrescher oder Feldhäcksler, mit einem Tankinhalt von 500 l, Bild 1. Dieser wurde auch in [10] für Vergleiche herangezogen. Aus dem spezifischen Gewicht des Kraft-



01 Elektrifizierter Mähdrescher [15]

stoffs und dem Tankinhalt kann der Energieinhalt E bezeichnet werden:

$$E \text{ [MJ]} = \text{Tankinhalt [l]}$$

* spez. Gewichte [kg/l]

* Energiedichte [MJ/kg]

Im Bestpunkt eines Verbrennungsmotors liegt der spezifisch Kraftstoffverbrauch in Bereich von 200 g/kWh. Als durchschnittlicher Verbrauch eines Verbrennungsmotors wird somit hier ein Wert von 250 g/kWh angesetzt, so dass sich ein Wirkungsgrad von

$$\eta = \frac{1}{b_c \cdot h_u} = 34 \%$$

berechnet. Unter Berücksichtigung dieses Wirkungsgrads kann die nutzbare mechanische Energie E_{Nutz} berechnet werden:

$$E_{\text{Nutz}} = E \cdot 0,34$$

Sie dient in Folgendem als Referenz. Lithium-Luft-Batterien sind heute aufgrund ihrer hohen Energiedichte die elektrischen

Speichersysteme mit dem größten Zukunftspotenzial. Sie besitzen eine theoretische Energiedichte von 40 MJ/kg [11] und liegen damit im Bereich der fossilen Kraftstoffe. Diese theoretische Energiedichte kann jedoch praktisch nicht erreicht werden. Die heute erforschten Systeme besitzen eine Energiedichte von 1,62 MJ/kg [12] und es werden praktisch erreichbare Energiedichten von 3,6 MJ/kg erwartet [13, 14, 9]. Berücksichtigt man den Wirkungsgrad von der Batterie und elektrischen Motoren (hier angenommen mit insgesamt ca. 80 %) im Vergleich zu einem Verbrennungsmotor (34 %), so kann das notwendige Batteriegewicht wie folgt ermittelt werden:

$$m_{\text{Batt}} = \frac{E_{\text{Nutz}}}{\text{Energiedichte} \cdot \text{Wirkungsgrad} [\eta = 0,8]}$$

Auf Basis dieser Grundlagen kann später das Gewicht und das Volumen verschiedener Speicher berechnet und verglichen werden. Zuvor soll noch die Möglichkeit der nachhaltigen Herstellung der Energiespeicher untersucht werden.

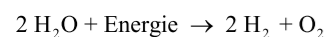
Bauelemente	Energiedichte [MJ/kg]	Quelle
Doppelschichtkondensator	0,00036 bis 0,036	[3]
Bleiakkumulator	0,09	[4]
Lithium-Ionen-Batterie	<0,54	[4]
Lithium-Luft Batterie	0,5-1,62	[5]
Ethanol	26	[6]
Dimethylether	30,8	[7]
Rapsöl	37,2	[6]
Diesel	43,2	[6]
Benzin	44	[6]
Erdgas	45	[6]
Biogas	50	[8]
Wasserstoff	120	[6]
Kernspaltung	79 000 000	[9]

Tabelle 1: Energiedichte ausgewählter Energiespeicher

In dem nachfolgenden Text werden die drei Arten von Energiespeicher erläutert: gasförmige, flüssige und feste Energiespeicher.

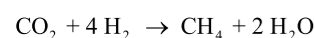
Gasförmige Energiespeicher

Nachhaltig erzeugbare, gasförmige Energiespeicher für mobile Arbeitsmaschinen sind Wasserstoff, Methan und Biogas. Der Wasserstoff kann durch Elektrolyse mit regenerativen Energien gewonnen werden:



Der Prozess ist bekannt und heute großtechnisch beherrschbar.

Methan kann mithilfe regenerativer Energien nachhaltig hergestellt und mithilfe konventioneller Technologien effizient und effektiv in Fahrzeugen genutzt werden. Methan ist in seinem Verhalten dem Erdgas ähnlich, da letzteres zu 75 bis 99 % aus Methan besteht. Bei der Methanisierung reagiert Kohlendioxid und Wasserstoff zu Methan und Wasser:



Die Reaktion läuft optimal bei 280°C und 16 bar ab. Hierbei wird Energie frei, so dass die Reaktion grundsätzlich selbstständig abläuft. Kohlendioxid kann entweder aus der Luft gewonnen oder aus Biogasanlagen bezogen werden. Bei der Gewinnung aus der Luft muss jedoch ein Energieaufwand in Höhe von 8,2 MJ(el.) / kg(CO₂) veranschlagt werden [16].

Der Gesamtwirkungsgrad der Methanherstellung kann auf Basis der bekannten Prozesse abgeschätzt werden. Verschiedene Quellen [16, 17] veranschlagen einen Wirkungsgrad von:

Strom → Wasserstoff (H₂): η = 54..80 %

für den ersten Prozessschritt. Die Methanisierung läuft dann mit einem Wirkungsgrad zwischen:

Wasserstoff (H₂) → Methan (CH₄):
η = 75..95 %

ab, wobei ein Wirkungsgrad von 95 % nur mit reinem CO₂ erreicht wird.

Insgesamt kann also mit einem Gesamtwirkungsgrad bei der Umwandlung der Energieträger

Strom → Methan von 50 bis 70 %

gerechnet werden. [16, 17].

Biogas ist eine andere nachhaltige Methanquelle. „Das Biogas entsteht während des mikrobiellen Abbaus von organischer Substanz unter fast vollständigem Ausschluss von Sauerstoff. Dieser Abbauprozess findet

in der Natur in Mooren, Sümpfen oder im Pansen von Wiederkäuern statt und wird technisch in Biogasanlagen durchgeführt“ [18, S.11].

Zur Herstellung von Biogas in landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden tierische Exkremente, Futterreste und andere landwirtschaftliche nachwachsende Bioabfälle (Mais, Gräser, Getreide, etc.) benötigt. Das Biogas besteht aus ca. 75 % Methan und ca. 25 % Kohlendioxid. Dieses Gasgemisch enthält auch Spuren von Wasser, Schwefelwasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Ammoniak, usw. [18]

Um Biogase als Kraftstoff zu verwenden oder in Erdgasnetze einzuspeisen, müssen diese aufbereitet werden. Dafür muss das Kohlendioxid sowie andere unerwünschte Gasspuren abgetrennt und entfernt werden. Es entsteht das so genannte Biomethan [18].

Als nachhaltiger gasförmiger Energieträger auf einer mobilen Arbeitsmaschine käme Methan oder Biogas in Betracht. Die hierfür notwendige Technologie ist bereits aus Erdgas-Pkws als CNG (Compressed Natural Gas) bekannt.

CNG besteht zu mindestens 84 % aus Methan und kann heute als L-Gas (ca. 84 % Methan) oder als H-Gas (ca. 89 % Methan) getankt werden [19]. Das Gas bleibt bei hohen Drücken gasförmig. Die heute übliche Tankdrücke liegen bei 200 bar. Die Dichte beträgt 0,141 kg/l bei 200 bar, der Heizwert liegt je nach Methangehalt zwischen 33 und 45 MJ/kg, so dass im Folgenden mit einem durchschnittlichen Wert von 39 MJ/kg gerechnet wird.

Als kritisch angesehen werden, könnte der Tankdruck von 200 bar. Hierfür sind spezielle Tankkonstruktionen notwendig, die auch bei einem Unfall oder einem Feuer dicht bleiben bzw. das Gas kontrolliert entweichen lassen können.

Erdgasfahrzeuge können heute serienreif gekauft, oder nachgerüstet werden. Auch kann die Abnahme des Tanks, z.B. durch den TÜV, als Standardvorgehen angesehen werden, vgl. hierzu auch [20, 21].

Es sei hier jedoch auch erwähnt, dass Methan selbst ein hohes Klimagefährdungspotenzial besitzt (21-fach nach dem Weltklimarat IPCC im Vergleich zu CO₂). Geeignete Maßnahme im Umgang mit Methan sowie geeignete Sicherheitsvorschriften sind daher notwendig.

Flüssige Energiespeicher

Nachhaltige flüssige Energiespeicher können entweder aus Bioenergie oder durch Unterschreiten der Siedetemperatur aus gasförmigen Energieträgern hergestellt werden. Methan kann beispielsweise bei Abkühlung auf unter -167°C verflüssigt werden [22]. Das Produkt ist vergleichbar mit Liquefied Natural Gas (LNG). Auch die Ver-

flüssigung von Wasserstoff ist möglich. Auf die Verflüssigung der genannten Gase wird später weiter eingegangen.

Unter Bioenergie werden hier, in Anlehnung an Sterner [16, S. 20] alle aus biologischen Materialien gewonnenen nachhaltigen Energiespeicher verstanden. Als Quellen für die Energiewandlung kann zwischen Energiepflanzen (z. B. Korn, Mais oder Zuckerrüben) und biologischem Abfall (z. B. Holzreste, Stroh, Dung oder Gülle) unterschieden werden.

Für die hier durchgeführten Betrachtungen ist im Weiteren ausschließlich die Umwandlung in flüssige Biokraftstoffe von Interesse. Die mögliche Umwandlung in Wärme oder elektrische Energie kann für die Maschinen heute nicht genutzt werden. Andererseits kann der elektrische Strom z. B. durch Photovoltaik oder Windenergie einfacher und wirtschaftlicher als durch Bioenergie gewonnen werden. Die Umwandlung in flüssige Biokraftstoffe kann durch:

A) biochemische Umwandlung,
B) physikalisch-chemische Umwandlung oder
C) thermo-chemische Umwandlung erfolgen [16, S. 51].

Diese Umwandlungsmöglichkeiten und die damit verbundenen Wirkungsgrade werden im folgenden näher betrachtet, ebenso die Verflüssigung gasförmiger Energieträger.

A) Biochemische Umwandlung

Als biochemische Umwandlung sind heute insbesondere die alkoholische Fermentation, die anaerobe Fermentation und die Kompostierung relevant. Unter Fermentation wird die enzymatische Umwandlung organischer Stoffe verstanden [8, 16].

Mithilfe der alkoholischen Fermentation können aus Zucker, Zuckerrüben oder Getreide oder bei der Verwendung von Zellolose (Holz, Stroh oder ganzen Pflanzen) Ethanol hergestellt werden [22]. Ethanol, C₂H₅OH, ist eine leicht brennbare Flüssigkeit und kann als Biokraftstoff in Ottomotoren genutzt werden. In dem viel diskutierten E10-Ottokraftstoff sind beispielsweise 10 % Ethanol beigemischt [22].

E85 Kraftstoffe (85 % Ethanol) sind in verschiedenen Ländern bereits heute Stand der Technik (Brasilien, Schweden, Tschechien und USA) und können in Flexible Fluids Vehicles (FFV) eingesetzt werden [22].

In der Diskussion steht Ethanol (E100) als Kraftstoff heute aus verschiedenen Gründen. Zum einen kann es einen Wettbewerb der Anbauflächen und der Produkte von Nahrungsmitteln und Kraftstoffen geben. Auch werden eine Monokultur und die Schaffung neuer Anbauflächen kontrovers diskutiert.

Zum anderen müssen Verbrennungsmotoren für Ethanol umgerüstet werden, da Hart-



02 Beim Einsatz von flüssigen Biokraftstoffen könnten die heute eingesetzten mobilen Arbeitsmaschinen nahezu unverändert betrieben werden

und Weichkunststoffe sowie Metall durch Korrosion angegriffen werden können und der Zündzeitpunkt durch eine höhere Oktanzahl angepasst werden muss [23].

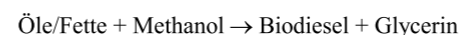
Der Gesamtwirkungsgrad bei der Erzeugung mechanischer Energie mithilfe von Bioethanol wird in [16] mit 9 bis 11 % angegeben. Mit dem eingangs angenommenen durchschnittlichen Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors von 34 % läge der Wirkungsgrad für die Herstellung von Ethanol bei 26 bis 32 %.

Die anaerobe Fermentation findet heute eine technische Anwendung in Biogasanlagen. Das Produkt ist der Energiespeicher Methan (Biogas). Aus diesem Grund sei hier auf die vorangegangenen Ausführungen verwiesen. Die Kompostierung wird hier aufgrund der hohen Zeitkonstante nicht betrachtet.

B) Physikalisch-chemische Umwandlung

Als physikalisch-chemische Umwandlung zur Erzeugung biogener Kraftstoffe kommt das Pressen von ölhaltigen Pflanzen mit einer Umesterung in Betracht. Das Endprodukt sind Bioöle und Biodiesel.

In Europa werden überwiegend Rapssamen (Ölgehalt 40 bis 45 % [19]) in Ölmühlen gepresst. Bei der Umesterung läuft grundsätzlich folgende Reaktion, unter Einsatz eines Katalysators, ab [6]:



Heute ist dem fossilen Dieselkraftstoff ein Anteil von 7 % Biodiesel beigemischt. Der Betrieb eines Fahrzeugs mit 100 % Biodiesel ist möglich, es sind jedoch Umrüstungen, z. B. an Kunststoffteilen und Filteranlagen, notwendig.

Sterner [16] gibt den Wirkungsgrad bei der Erzeugung mechanischer Energie aus Biodiesel mit 22 % an. Unter zugrunde Legung des angenommenen Wirkungsgrads eines Verbrennungsmotors von 34 % ergibt sich ein Wirkungsgrad für die Herstellung von Biodiesel von 65 %.

C) Thermo-chemische Umwandlung

Unter thermo-chemische Umwandlung wird zum Beispiel die Pyrolyse, die Fischer-Tropsch-Synthese oder auch die Dimethylether-Synthese verstanden.

Bei der Pyrolyse werden organische Substanzen unter hohen Temperaturen gespalten. Die Spaltprodukte sind dabei abhängig vom Ausgangsprodukt und zumeist gasförmig, teilweise auch flüssig und fest. Aus Biomasse können bei 500°C Holz- und Aktivkohle als feste Bestandteile, Pyrolyseöl als flüssiger Bestandteil und als gasförmige Bestandteile Wasserstoff, Kohlenmonoxid, -dioxid und Methan gewonnen werden.

Pyrolyseöl besteht aus einer Vielzahl chemischer Verbindungen. Die Aufbereitung zu Kraftstoffen befindet sich in der Forschungsphase, vgl. z. B. [24]. Aus diesem Grund werden heute insbesondere die gasförmigen Teile der Pyrolyse zur Herstellung von Biomass-to-Liquid (BtL)-Kraftstoffen verwendet. Über eine Vergasung des Pyrolyseöls und anschließender Synthese kann ein synthetischer Kraftstoff mit spezifischen Eigenschaften hergestellt werden.

Als Synthese wird die Zusammensetzung eines Produkts aus mindestens zwei Bestandteilen verstanden. Mit Bezug zu den flüssigen Energieträgern für eine nachhaltige Versorgung von mobilen Arbeitsmaschinen ist insbesondere die Herstellung von flüssigen Kraftstoffen aus gasförmigen Ausgangsprodukten von Interesse. Durch diesen Prozess kann auf eine Speicherung des Gases unter hohem Druck verzichtet werden. Vielmehr besitzen flüssige Energiespeicher einen wesentlich höheren spezifischen Energieinhalt.

Die Fischer-Tropsch-Synthese ist eine Möglichkeit zur Herstellung flüssiger Kraftstoffe und wurde zur Verflüssigung von Kohle entwickelt [25]. Grundsätzlich wird in einem ersten Schritt das Ausgangsprodukt, z. B. die Kohle, durch Vergasung in seine Bestandteile zerlegt. Es entsteht ein Synthesegas, z. B. H₂, CO, CH₄, Ethan und N₂.



25.-27.11.2014
Halle 7A
Stand 608



MESSEN • STEuern • POSITIONIEREN

Zuverlässig Positionieren

Weg



Magnetische Wegmesssysteme, absolut und inkremental

Winkel



Magnetische Winkelmesssysteme

Neigung



Inklinometer

Drehzahl



Magnetisch rotative Messsysteme



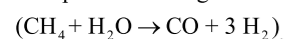
In einem zweiten Schritt werden die Endprodukte in einer Aufbaureaktion aus den Bestandteilen synthetisiert. Ein typisches Fischer-Tropsch-Endprodukt enthält 10 bis 15 % Flüssiggase (Propan und Butane), 50 % Benzin, 28 % Kerosin, 6 % Weichparaffine und 2 % Hartparaffine [26].

Wie weiter oben erläutert, kann Methan nachhaltig hergestellt werden. Die Fischer-Tropsch-Synthese mit Methan zur nachhaltigen Herstellung flüssiger Kraftstoffe läuft in drei Schritten ab [25, 27]:

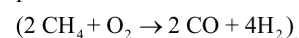
1. Synthesegasbildung,
2. Kohlenwasserstoffsynthese und
3. Produktverbesserung.

Bei der Synthesegasbildung muss Methan in Synthesegas (H₂ und CO) umgewandelt werden. Die Technologien

Dampfreformierung

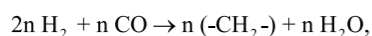


partielle Oxidation



autothermische Reformation und kombinierte bzw. zweistufige Reformation stehen heute hierfür zur Verfügung [25].

Mithilfe eines Katalysators wird bei der Kohlenwasserstoff-Synthese das Synthesegas in verschiedene Kohlenwasserstoffe gewandelt. Die grundsätzliche chemische Gleichung hierzu lautet:



wobei -CH₂- den Paraffin-Block darstellt, der Grundlage der synthetischen Kraftstoffe ist.

Die Fischer-Tropsch-Synthese erzeugt ein weites Spektrum von Kohlenwasserstoffen, die weiter aufbereitet werden müssen. Gase und leichte Bestandteile werden üblicherweise dem Prozess wieder zugeführt. Das Naphtha, oder auch Rohbenzin bzw. Erdöldestillat genannt, muss weiter umgewandelt werden, bevor es als Kraftstoff gebraucht werden kann. Dabei werden auch langkettige Verbindungen weiter aufgespalten [25].

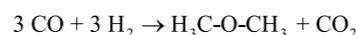
Eine Anlage von Shell in Bintulu (Malaysia), Shell Middle Distillate synthesis (SMDS), hat einen energetischen Wirkungsgrad von 63 % bei einer Ausbeute des flüssigen Kraftstoffs von 90 % [25].

Diese Angaben stimmen mit weiteren, in der Literatur zu findenden Angaben zu Wirkungsgraden überein. In [28] werden beispielsweise mindestens 40 % der eingesetzten Energiemenge für den Umwandlungsprozess veranschlagt.

Neben der Verflüssigung von Methan durch die Fischer-Tropsch-Synthese können auch weitere BtL-Kraftstoffen durch Synthese hergestellt werden. Unter der Bezeichnung BtL wird die Herstellung von flüssig synthetischen Kohlenwasserstoffen aus Biomasse verstanden. Die Erzeugung

des Synthesegases erfolgt durch die Spaltung der langen Molekülketten bei 200 bis 1000°C [26]. Eine weitere Vergasung der flüssigen Produkte ist möglich.

Eine Dimethylether (DME) – Synthese wird in [29] nach der Gleichung



vorgestellt. Der Vorteil des Verfahrens ist laut den Autoren die hohe Selektivität des Endprodukts.

DME kann in Dieselmotoren mit leichten Modifikationen an der Einspritzpumpe verwendet werden. Es ist bei Umgebungsbedingungen gasförmig und kann bei Drücken ab 5,1 bar bei Raumtemperatur verflüssigt werden [22].

DME kann zusätzlich in einen Vergaskraftstoff (für Ottomotoren) umgesetzt werden.

Die Nutzung eines solchen Kraftstoffs in Ottomotoren ist heute möglich, da diese auch mit LPG (Liquified Petroleum Gas, Autogas) eingesetzt werden. LPG ist eine Mischung aus Propan (C₃H₈), Butan (C₄H₁₀) und artverwandten Gasen und wird bei Drücken ab ca. 5-10 bar bei 20°C flüssig [22]. Aus diesem Grund wird es in den Fahrzeugen auch flüssig gespeichert. Für den Einsatz von DME könnte daher Ottomotoren für LPG verwendet werden.

Feste Energiespeicher

Tabelle 1 zeigt, dass Batterien oder Akkumulatoren heute eine geringe spezifische Energiedichte besitzen. Für eine Acht-Stunden-Schicht ist ein Maschinenbetrieb ohne Austausch der Energiespeicher für die Mehrzahl der mobilen Arbeitsmaschinen nicht möglich. Es müssten weitere Konzepte, wie z.B. das Laden auf dem Feld während des Prozesses oder der Austausch des flüssigen Elektrolyts, für mobile Arbeitmaschinen erarbeitet werden.

Die Lithium-Luft-Akkumulatoren besitzen unter den Akkumulatoren die höchste Energiedichte. Sie befinden sich noch im Entwicklungsstadium. Es wird mit keinem Markteintritt vor 2030 gerechnet [30].

Eine weitere, in der Forschung untersuchte Möglichkeit Energie in festen Energiespeichern zu speichern, ist die Verwendung von Aluminium.

Die Produktion von Aluminium ist heute bekannt und kann dann als nachhaltig gelten, wenn der verwendete Strom aus nachhaltigen Energiequellen, wie z. B. Sonnenlicht oder Windenergie, gewonnen wird. Reines Aluminium kann mit Wasser oxidiert werden, wobei Wasserstoff freigesetzt wird:



Üblicherweise erfolgt eine Oxidation des Aluminiums durch Luftsauerstoff, so dass

Aluminium beim Kontakt mit Wasser nicht reagiert.

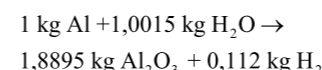
Durch die Verwendung von Nano-Aluminium oder kleinen Aluminiumchips (38 nm bis 5 µm) und Sauerstoffabschluss kann die Reaktion im festen Zustand des Aluminiums erfolgen. Wasser und Nano-Aluminium reagieren nach einer Zündung gemäß obiger Gleichung [31].

Die Herstellung des Nano-Aluminiums oder der Aluminiumchips ist aufwändig, eine vollständige Verbrennung findet nicht statt. Zudem hat sich gezeigt, dass mit zunehmendem Druck die Brenngeschwindigkeit und die Brennrate steigen [31].

Eine andere Möglichkeit ist die Verflüssigung des Aluminiums und das Einsprühen als feiner Nebel in Wasserdampf. Hierbei reagiert das Aluminium wie in der Gleichung oben beschrieben, und das Aluminiumoxid kann zur erneuten Aufbereitung dem System entzogen werden. Anschließend müssen, z.B. durch Kondensation, Wasser und Wasserstoff getrennt werden. Das Wasser kann dem Kreislauf erneut zugeführt werden und der Wasserstoff direkt einem Verbrennungsmotor zur Erzeugung mechanischer Energie.

In [32] wurde eine Studie veröffentlicht, in der die Verbrennung von flüssigem Aluminium zur Wärme- und Energieerzeugung untersucht wurde. Der Fokus lag dabei jedoch auf der Gewinnung von Wärmeenergie.

Aus den spezifischen Gewichten der Elemente der Reaktionsgleichung kann eine Bilanzierung der produzierten Mengen auf Basis eines Kilos Aluminium erfolgen, vgl. auch [33]:



Alternative Energiespeicher für mobile Arbeitsmaschinen

Auf Basis der eingangs genannten Vergleichsbasis, 500 l Dieseldieselkraftstoff, können die in **Tabelle 2** berechneten Gewichte und Mengen unterschiedlicher Energiespeicher bestimmt werden.

Im oberen Tabellenteil sind dunkel hinterlegt, heute eingesetzte und ausgewählte, nicht nachhaltige Energieträger für mobile Arbeitsmaschinen zum Vergleich dargestellt. Weitere, im vorangegangenen Teil als nachhaltig identifizierte Energieträger sind darunter aufgeführt. Aufgrund des Gewichtes erscheint zunächst Wasserstoff den besten nachhaltigen alternativen Energiespeicherinhalt zu präsentieren. Der Tank würde jedoch sehr viel Platz benötigen und besäße zudem ein hohes Gewicht. Metallhydrid-Speicher besitzen heute ein Gewichtsverhältnis von Wasserstoff zu Legierungselementen zwischen 1,7 % und 4,5 %, [34].

Das notwendige Metallhydrid-Speichergewicht beträgt somit:

$$m_{\text{Speicher}} \geq 149 \text{ kg} / 0,045 = 3.311 \text{ kg}$$

Aus diesem Grund bietet weder eine Verflüssigung von Wasserstoff, noch eine Speicherung in Metallhydrid-Speichern eine alternative Energiespeicherung für mobile Arbeitsmaschinen. Sowohl aus diesen Gründen als auch aufgrund der heute nur unzureichend gelösten Problematik eines sicheren mobilen Wasserstofftanks, wird auch in Zukunft Wasserstoff nicht als Primär-Energiequelle auf mobilen Arbeitsmaschinen erwartet.

Die alternative Energiespeicherung mit Aluminium, welche direkt ermöglicht Was-

serstoff zu erzeugen, ist aufgrund des hohen Gewichts von Aluminium auch in Zukunft für mobile Arbeitsmaschinen nicht zu erwarten.

Methan kann, wie Erdgas, durch Kühlung auf -167°C verflüssigt werden, man spricht von Liquefied Natural Gas (LNG) [22]. Ein Teil der im Methan gespeicherten Energie, ca. 10 bis 25 %, muss dabei zur Kühlung genutzt werden. Die technologische Herausforderung liegt dabei in einer Minimierung des Kühlbedarfs bzw. der Kühlverluste. Heute wird die Verflüssigung von Ergas angewendet, um Methan über weite Strecken, z. B. auf dem Seeweg, zu transportieren. Derzeit anzutreffen sind daher in großem Maßstab industriell eingesetzte Anlagen.

Der Verdichter stellt die Haupt-Energieverbrauchsquelle zur Herstellung von LNG dar. Je nach Anlagengröße muss ein Verbrauch zwischen 1,1 und 5,3 MJ/kg_{LNG} veranschlagt werden. Unter Zugrundelegung des Heizwerts und der Dichte von flüssigem Methan beträgt die notwendige Leistung 2,7 bis 13,5 % des Methanheizwerts.

Zur Wiederverdampfung werden Energiemengen von 1,5 bis 2 % der Energiemenge des erzeugten Methans benötigt [35]. Die Lagerung in speziellen Behältern erfolgt bei 10 bis 15 bar Druck. Bei Erwärmung der Behälter wird ein kleiner Teil des LNG wieder gasförmig, man spricht vom Boil-Off. Je nach Isolierung beträgt die Boil-Off-Rate bei heute eingesetzten Tanks 0,05-0,14 % der Energiemenge des erzeugten Methans pro Tag.

Um das Boil-Off-Gas nicht unnützlich in die Umgebung entweichen zu lassen, wird es bei stationären Anlagen als Energiequelle für die Wiederverdampfung genutzt. Alter-

Energiespeicher	Struktur	Dichte ¹ [kg/l]	Heizwert [MJ/kg]	Volumen [l]	Masse [kg]
Diesel	C _m H _n (<C ₈ H ₁₈)	0,83	43,2	500	415
Benzin	C _m H _n (<C ₈ H ₁₈)	0,75	44	543	407
Erdgas (0°C; 200 bar)	CH ₄ (85 %-95 %)	0,141	39	2930	451
Erdgas (-167°C; 1 bar)	CH ₄ (85 %-95 %)	0,409	39	1103	451
Wasserstoff (200 bar)	H ₂	0,017	120	8788	149
flüssige Wasserstoff	H ₂	0,071	120	2074	149
Biogas (15°C; 200 bar)	CH ₄	0,135	50	2656	359
Ethanol	C ₂ H ₅ -OH	0,785	26	878	690
Dimethylether (DME; bei -25°C)	CH ₃ OCH ₃	0,661	30,8	882	583
Rapsölmethylester	C _m H _n O _p R _i	0,88	37,2	548	482
Lithium-Luft Akkumulator	Li-Luft	-	0,5-1,6	-	4150-12 450
Aluminium-oxidation	Al ₂ O ₃	Al: 2,7 Al ₂ O ₃ : 3,95	-	Al & Wasser: 1823	Al & Wasser: 2662

Tabelle 2: Gewicht der unterschiedlichen Energiespeicher für eine Nutzenergie von 6096 MJ; ¹ Aus [6], [7] und [8]

Prof. Ewald Ohl, Leiter Energie- und Antriebssysteme

»Perfektion ist es, was für uns zählt. Deshalb entwickeln wir jeden Motor individuell.«

Wenn es um maßgeschneiderte Motoren und Generatoren geht, sind wir erster Ansprechpartner. Ob Kleinserie oder höhere Stückzahlen: unsere Spezialisten entwickeln passgenaue Generatoren sowie Gleichstrom- und Servomotoren mit hohem Wirkungsgrad und hoher Zuverlässigkeit. So entsteht Perfektion.

Wir freuen uns auf Ihre Anforderungen. +49 641 7969-0 www.huebner-giesesen.com

Zwei Beispiele von Hübner: Gleichstrom-Hafen- und Doppelschlussmotoren für Hydraulikpumpenantriebe

HÜBNER
ideas and solutions

nativ wäre auch die Nutzung des Gases für die Kühlung des Tanks denkbar.

Als nachhaltige Energieträger für mobile Arbeitsmaschinen verbleiben daher:

- Methan (unter Druck oder flüssig gespeichert)
- flüssige Biokraftstoffe (z. B. Ethanol, Dimethylether oder Rapsöl-Methylether)
- Elektrische Speicher (Lithium-Luft-Akkumulator)

Auswirkung auf mobile Arbeitsmaschinen

Für den Einsatz von Methan in mobilen Arbeitsmaschinen könnte die bereits im Pkw-Bereich bekannte CNG-Technologie (unter 200 bar Druck stehendes, gasförmiges Erdgas/Biogas) genutzt werden. Die Druckspeicher sowie serienreife Ergasmotoren sind Stand der Technik.

Die bis jetzt eingesetzte Technologie in mobilen Arbeitsmaschinen würde sich nicht grundsätzlich ändern, da der Erdgasmotor ein Verbrennungsmotor ist, der dem Dieselmotor sehr ähnlich ist. Als Tank käme ein Drucktank mit deutlich größerem Volumen als der heutige Kraftstofftank zum Einsatz. Es müsste die Möglichkeit geprüft werden, einen Tank mit einem geringen

Energieinhalt einzusetzen, indem z. B. das Transportfahrzeug bei der Leerfahrt den Kraftstoff vom Hof auf das Feld bringt. Stillstandszeiten der Erntemaschine sind dabei jedoch zu vermeiden, was sicherlich Entwicklungsaufwändungen erfordern würde.

Für den Einsatz von verflüssigtem Methan müssten die heute auf Schiffen eingesetzten Technologien auf die Größe der Arbeitsmaschinen skaliert werden. Grundsätzlich wäre der Einsatz solcher Technologien heute aus technischer Sicht denkbar.

Bei einem Einsatz von flüssigen Biokraftstoffen könnten die heute eingesetzten mobilen Arbeitsmaschinen nahezu unverändert betrieben werden. Lediglich eine Anpassung der Verbrennungsmotoren müsste durchgeführt werden.

Die Herstellung solcher Kraftstoffe ist jedoch heute noch sehr aufwändig.

Obwohl der Wirkungsgrad einer Batterie und einem elektrischen Motor bei insgesamt ca. 80 % liegt, im Vergleich zu ca. 34 % bei Verbrennungsmotoren, besitzen elektrische Speicher aufgrund ihres geringen Energieinhalts und damit hohen Gewichtsmomentan und in näherer Zukunft kein Potenzial, um als Primärtrieb in einem weitem Spektrum von mobilen Arbeitsmaschinen eingesetzt zu werden.

Flurförderfahrzeuge, wie z. B. Gabelstapler, sind Ausnahmen. Sie arbeiten im Regelfall in Gebäuden und dürfen somit keine Gase emittieren. Daher werden Elektromotoren und Akkumulatoren weiterhin bei den Flurförderfahrzeugen bestehen, da es für diese keine alternative Lösung gibt.

Der Batteriebetrieb weiterer Fahrzeuge mit einem eher geringen Energiebedarf erscheint möglich.

Zusammenfassung

In dem vorliegenden Artikel wurden mögliche nachhaltig betreibbare Energiespeicher vorgestellt und diskutiert. Unter nachhaltig werden dabei Konzepte verstanden, die keine Ressourcen verbrauchen.

Methan und Biokraftstoffe können nachhaltig erzeugt werden und sind damit für eine nachhaltige Energieversorgung von mobilen Arbeitsmaschinen geeignet. Sie zeichnen sich im Vergleich zu den anderen untersuchten Technologien, wie Wasserstoff, Akkumulatoren oder Aluminiumoxidation, durch ein relativ geringes Gewicht und Volumen aus.

Insbesondere der Einsatz von verflüssigtem Methan scheint ein besonderes Potenzial zu besitzen, da die Technologien heute bereits auf Schiffen eingesetzt werden.

Nicht zuletzt wurden die Auswirkungen des Einsatzes nachhaltiger Energieträger auf mobile Arbeitsmaschinen andiskutiert. Der Einsatz von Biokraftstoffen würde nur geringe Änderungen an den Maschinen benötigen, der Einsatz von Methan hingegen würde die Maschinen deutlich verändern. Der Einsatz elektrischer Speicher wird eine Nischenanwendung bleiben.

Bilder: 01 KIT; Aufmacher, 02 Fotolia

Literaturhinweise:

- [1] W. Warnecke et al., „Erdgas-Eine Brückentechnologie für die Mobilität der Zukunft?“, The Hague, Shell PCOE, 910995, [Online]. Available: <http://s06.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/download/pdf/natural-gas-wiedermotorensymposium-2013.pdf>. [Zugriff am 03. 07. 2013].
- [2] D. Coumou und A. Robinson, „Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes“, *Environmental Research Letters* 8, 034018, 2013.
- [3] S. Heier, C. Rose und Y. Bouyraaman, „Elektrische Energiespeicher“, Seminar Netzintegration dezentraler Einspeisesysteme SS 09, Universität Kassel, Kassel, 2009.
- [4] D. U. Sauer, „Optionen zur Speicherung elektrischer Energie in Energieversorgungssystemen mit regenerativer Stromerzeugung“, Juniorprofessur für Elektrochemische Energiewandlung und Speichersystemtechnik, Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe (ISEA), RWTH Aachen, Aachen, 2006.
- [5] F. Endres, „Grenzflächen in Lithium(Ionen)-Batterien“, Bericht vom Bunsenkolloquium, Bunsen-Magazin, Nr. 4 - Juli 2011, ISSN 1611 - 9479, pp. 112-116, 24./25. 03. 2011.
- [6] C. Stan, „Alternative Antriebe für Automobile Hybridsysteme, Brennstoffzellen, alternative

- Energieträger“, 3., erweiterte Auflage, ISBN 978-3-642-25267, Springer-Verlag, 2012, p. 187 ff.
- [7] T. A. Semelsberger, R. L. Borup und H. L. Greene, „Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel“, *Elsevier, Journal of Power Sources* 156, 2005.
- [8] A. Velji, M. Lüft, K. Pabst und G. Schaub, „Neuartige Kraftstoffe und zukünftige Abgasemissionen bei Kraftfahrzeugen - eine Übersicht“, Engler-Bunte-Institut & Institut für Kolbenmaschinen, Karlsruhe, 2007.
- [9] A. F. Badaea, *Grundlagen der Energietechnik, Karlsruhe: Unterlagen zur Vorlesung am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)*, 2012.
- [10] P. Thiebes und M. Geimer, „Potentiale nutzen mit Methoden - Mobile Maschinen“, *Mechatronik, Carl Hanser Verlag*, Nr. 6-7/2010, pp. 36-39, 2010.
- [11] K. Friedrich, „Das Potential neuer Li-Batteriesysteme (Li-S, Li-Luft): Eine kritische Bewertung“, *Abteilung Elektrochemische Energietechnik, Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt DLR in der Helmholtz-Gemeinschaft*, 2004.
- [12] E-mobil nrw, „Mehr Reichweite mit Lithium-Luft-Batterien“, 03. 07. 2013. [Online]. Available: <http://www.emobil-nrw.de/2013/07/03/mehr-reichweite-mit-lithium-luft-akkus/>. [Zugriff am 03. 07. 2013].
- [13] U. Uhlmann, „Lithium-Luft-Batterie, Handout des Instituts für Werkstoffe der Elektrotechnik“, IWE, 21. 06. 2013. [Online]. Available: http://www.iwe.kit.edu/mitarbeiter_3775.php. [Zugriff am 1. 10. 2014].
- [14] Presseinformation der Schott AG, „Mehr Reichweite für Elektroautos“, 31. 01. 2013. [Online]. Available: <http://www.schott.com/german/news/press.html?NID=3919>.
- [15] P. Thiebes und M. Geimer, „Energiespeicher für mobile Arbeitsmaschinen mit Hybridantrieben“, in 1. VDI Fachkonferenz: „Getriebe in mobilen Arbeitsmaschinen“, Friedrichshafen, 2011.
- [16] M. Sterner, „Bioenergy and renewable power methane in integrated 100 % renewable energy systems“, *Dissertation*, ISBN 978-3-89958-798-2, Universität Kassel, Kassel, 2009.
- [17] S. Stucki und P. Scherrer, „Produktion gasförmiger Kraftstoffe - Stand der Technik“, *Paul Scherer Institut (PSI)*, 23. 07. 2007. [Online]. Available: http://web.archive.org/web/20071009233729/http://www.ie-leipzig.de/Veranstaltungen/11_Stucki.pdf. [Zugriff am 27-28. 02. 2007].

- [18] M. Beil, W. Beyrich, U. Holzhammer und T. Krause, „BIOMETHAN“, *Rostock, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)*, 2012, p. 11 ff.
- [19] Österreichischer Verein für Kraftfahrzeugtechnik (ÖVK), „Kapitel 6: Kraftstoffe“, *Wien*, 2010, http://www.auto-umwelt.at/_print/6_Kraftstoffe.pdf. [Zugriff am 22. 10. 2014].
- [20] Banner Vessel, „CNG Cylinders for Vehicle (CNG Tanks)“, [Online]. Available: <http://www.cng-tank.com/BANNER%20PRODUCT%20CATA-LOGUE-%282013-ISO11439%29.pdf>. [Zugriff am 26. 07. 2013].
- [21] Vest Marketing GmbH, „Gas-24- Zukunft tanken“, 26. 07. 2013. [Online]. Available: <http://www.gas24.de>.
- [22] K. Mollenhauer und H. Tschöke, *Handbuch Dieselmotoren*, ISBN 978-3-540-72164-2, 3., neu bearbeitete Auflage, Springer-Verlag, 2007, p. 87 ff.
- [23] G. Vellguth, „Emissionen bei Verwendung alternativer Kraftstoffe in Schlepper-Dieselmotoren“, *Mitteilung aus dem Institut für Biosystemtechnik der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Grundlagen Landtechnik*, Bd. 37, Nr. 6, pp. 207-213, 1987.
- [24] M. Windt und D. Meier, „Veredelung von Pyrolyseölen für die Verwendung in konventionellen Ölfraffinerien“, 22. 07. 2013. [Online]. Available: <http://www.bfajh.de/iud/projekte/3-2006/5-4.pdf>.
- [25] T. Beer et al., „Comparison of Transport Fuels“, *Final Report to the Australian Greenhouse Office-2002, University of Melbourne and Parson Australian Pty Ltd*, 2002. [Online]. Available: http://www.fischer-tropsch.org/DOE/DOE_reports/ev45a_2_3c/ev45_2_3c.htm. [Zugriff am 23. 07. 2013].
- [26] H. Watter, *Regenerative Energiesysteme: Grundlagen, Systemtechnik und Anwendungsbeispiele*, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2011, pp. S.220-221.
- [27] A. Vosloo, „Fischer Tropsch: A futuristic view“, [Online]. Available: http://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/files/45_1_SAN%20FRANCISCO_03-00_0124.pdf. [Zugriff am 23. 07. 2013].
- [28] V. Chandra, „Gas to Liquids-GtL“, [Online]. Available: <http://www.natgas.info/html/gastoliquids.html>. [Zugriff am 23. 07. 2013].
- [29] E. Henrich, N. Dahmen und E. Dinjus, „Herstellung von Synthesekraftstoff aus Biomasse-

- Das FZK-Projekt,“ *Internationale Tagung Thermochemische Biomasse-Vergasung für eine effiziente Strom-/Kraftstoffbereitstellung*, Leipzig, 27-28. 02. 2007. [Online]. Available: http://web.archive.org/web/20071009234242/http://www.ie-leipzig.de/Veranstaltungen/18_Heinrich.pdf. [Zugriff am 23. 07. 2013].
- [30] P. Klein-Möllhoff, H. Benad, F. Beilard, M. Esmail und M. Knöll, „Die Batterie als Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität der Zukunft Herausforderung-Potentiale-Ausblick“, *Reutlinger Diskussionsbeiträge zu Marketing & Management, Business School ESB, Hochschule Reutlingen, Carsten Rennhak & Gerd Nufer, Reutlingen*, 2012.
- [31] G. Risha et al., „Combustion of nano-aluminium and liquid water“, *Proceedings of the Combustion Institute*, p.2029-2036, 2007. [Online]. Available: <http://www.yang.gatech.edu/publications/Journal/Combust%20Inst%20%28Risha,%202007%29.pdf>.
- [32] F. Franzoni et al., „Combined hydrogen production and power generation from aluminium combustion with water: Analysis of the concept“, *International Journal of Hydrogen Energy*, p. 1548-1559, 2010.
- [33] M. Milani, „Design of a new energy conversion system base on aluminium combustion with water“, [Online]. Available: <http://www.yang.gatech.edu/publications/Journal/Combust%20Inst%20%28Risha,%202007%29.pdf>. [Zugriff am 25. 07. 2013].
- [34] A. Wagner und S. Möhnwald, „Speicherung von Wasserstoff“, *Hausarbeit an der Fachhochschule Darmstadt, Energie-, Elektro- und Umwelttechnik, Prof. H. Schmidt-Walther*, [Online]. Available: http://schmidt-walther.eit.h-da.de/WBZ/speicherung_h2.pdf. [Zugriff am 08. 08. 2013].
- [35] Ulrich et al., „Möglichkeiten der LNG Nutzung in Baden-Württemberg“, *Endbericht zur Studie im Auftrag des Zentrums für Energieforschung e. V. und der Gasversorgung Süddeutschland GmbH Stuttgart*, 31. 07. 2013. [Online]. Available: http://www.zfes.uni-stuttgart.de/deutsch/downloads/LNG_IN_BW_090313.pdf.

www.fast.kit.edu/mobima/

Tagungsankündigung: Hybride und energieeffiziente Antriebe für mobile Arbeitsmaschinen



Am 25. Februar 2015 findet in Karlsruhe die 5. Fachtagung rund um hybride und effizienzsteigernde Antriebstechnologien statt. Im Gegensatz zu den vergangenen Ausgaben der Tagung, soll 2015 der Blick auch für nichthybride energieeffiziente Antriebskonzepte geöffnet werden. Die Tagung widmet sich den aktuellen Themen in fünf Sessions:

- Elektrische Antriebstechnik
- Hybride Antriebstechnik
- Betriebsstrategien
- Hydraulische Antriebstechnik
- Energie- und Leistungsspeicher

Weiterhin werden die technologisch bzw. wirtschaftlich treibenden Schlüsselfaktoren der angestrebten oder bereits umgesetzten Antriebstechnik in den Vorträgen dargestellt.

Nutzen Sie die Vorabendveranstaltung in der Versuchshalle des Lehrstuhls für Mobile Arbeitsmaschinen am 24. Februar für einen fachlichen Austausch innerhalb der Branche. Aktuelle Informationen zu Tagungsprogramm und Anmeldung finden Sie unter:

www.fast.kit.edu/hybridtagung2015