

Potenziale nutzen mit Methode

Entwicklungskonzept. Energieeffizienz und Klimawandel begründen viele aktuelle Aktivitäten in Forschung und Industrie. Wachsendes Umweltbewusstsein, steigende Energie- und Kraftstoffpreise und strengere Gesetze sind die Haupttreiber dieser Aktivitäten. Ein Ansatz, die Energieeffizienz zu verbessern, sind Hybridantriebe. Durch die Pkw-Industrie ist dieser Begriff mittlerweile der breiten Bevölkerung bekannt, jedoch auch mit unpräzisen, teils falschen Assoziationen verbunden. An Hybridantriebe knüpfen viele vor allem die Hoffnung, den Kraftstoffverbrauch zu verringern.

PHILLIP THIEBES, MARCUS GEIMER

■ Was zeichnet einen Hybridantrieb aus? Die United Nations Economic Commission for Europe (UNECE) definierte 2005 den Begriff Hybridfahrzeug wie folgt: »Ein Hybridfahrzeug bezeichnet ein Fahrzeug, in dem mindestens zwei Energiewandler und zwei Energiespeichersysteme (im Fahrzeug eingebaut) vorhanden sind, um das Fahrzeug anzutreiben« [1]. Diese Definition bezieht sich auf den Antrieb, definiert aber den Begriff Hybridfahrzeug, was Potenzial für Missverständnisse birgt. Als Grundlage für die weiteren Betrachtungen soll daher eine auf mobile Arbeitsmaschinen angepasste Definition herangezogen werden, die am Lehrstuhl für Mobile Ar-

beitsmaschinen (Mobima) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) erarbeitet wurde. Ein Hybridantrieb zeichnet sich demnach aus durch:

1. mindestens zwei voneinander unabhängige Energiequellen
2. Speisbarkeit von Energie in mindestens eine dieser Quellen

Manche Vorteile eines Hybridantriebs treten nur in Verbindung mit einem stufenlosen Getriebe beziehungsweise bei der Entkopplung des primären Antriebs vom Abtrieb auf. Die Stufenlosigkeit ist jedoch kein notwendiges Kriterium.

Diese Definition lässt offen, von welcher Art die (mindestens) zwei Speicher sind. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, zwischen mechanischen, elektrischen und hy-

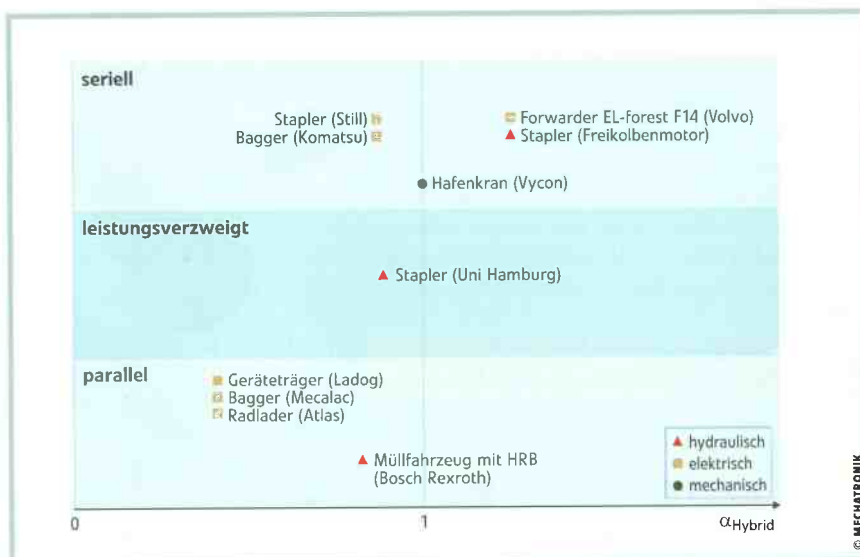
KONTAKT

Karlsruher Institut für Technologie (KIT) MOBIMA,
76131 Karlsruhe,
Tel. 0721 608-8643,
Fax 0721 608-8609,
www.fast.kit.edu/mobima

drostatischen Systemen zu unterscheiden. Auch die Unterscheidung nach der Architektur des Antriebsstrangs ist sinnvoll (parallel, seriell, leistungsverzweigt). Um weiterhin verschiedene Konzepte miteinander vergleichen zu können, empfiehlt sich die systematische Gliederung unter Einführung des Hybridisierungsgrads α_{Hybrid} . Dieser ist definiert als das Verhältnis der Leistung vom Sekundärtrieb zum Primärtrieb. Bild 1 gliedert verschiedene mobile Arbeitsmaschinen mit hybriden Antrieben systematisch.

Elektrische Antriebe überwiegen

Die Idee des hybriden Antriebs in mobilen Maschinen und Fahrzeugen ist nicht neu. Populär wurden sie erstmals während der Ölkrise in den 1970er-Jahren. Mit dem Fallen der Ölpreise verschwanden die Konzepte jedoch wieder in den Schubladen. Der Durchbruch dieser Technik im Pkw ist 1997 dem Toyota-Prius zuzuschreiben. Nicht zuletzt aus Marketinggründen werden seitdem in Pkw diverse Hybridfahrzeuge angeboten. Der Nutzen



1 Ausführungsvarianten von Hybridantrieben in mobilen Arbeitsmaschinen

muss jedoch hinterfragt werden. Bei den mobilen Arbeitsmaschinen hat der Trend zur Hybridisierung verzögert eingesetzt. Mittlerweile existieren einige Serien- und seriennahe Maschinen sowie diverse Demonstratoren und Prototypen. Eine Übersicht zeigt Bild 2. Aus dieser Abbildung wird ersichtlich, dass die elektrischen Systeme zahlenmäßig überwiegen.

Hybridantriebe unterscheiden sich durch zusätzliche Freiheitsgrade von konventionellen Antrieben. Es ist nicht möglich, diese Freiheitsgrade über konventionelle Auslegungsmethoden sinnvoll einzustellen und zu nutzen. Am Mobima wurde daher eine Entwicklungsmethode erarbeitet, die die Besonderheiten hybrider Antriebe berücksichtigt, um den größten Nutzen aus dieser Technologie zu ziehen [2].

Methodisch zum Ziel

Wenn ein Maschinenhersteller plant, eine Maschine mit Hybridantrieb zu entwickeln, lassen sich im Wesentlichen zwei Ausgangssituationen unterscheiden:

1. Die zu hybridisierende Maschine ist noch nicht ausgewählt. Es soll ermittelt werden, ob und für welche Maschine sich die Hybridisierung lohnt. (Aus dem Maschinenpark soll(en) die Maschine(n) mit dem größten Potenzial ermittelt werden.)
2. Die zu hybridisierende Maschine ist ausgewählt, es soll nun der optimale Antriebsstrang ausgewählt werden.

In dieser Situation eine Entscheidung aus dem Bauch heraus zu fällen, wäre leichtsinnig. Alle Varianten durchzuspielen ist

aufgrund der Komplexität unmöglich. Folglich muss methodisch vorgegangen werden, um mit vertretbarem Aufwand zum Ziel zu gelangen. Ziel ist die Beantwortung der beiden Fragen: Bei welcher Maschine ist der größte Nutzen durch eine Hybridisierung zu erreichen? Und wie sieht der beste Antriebsstrang für diese Maschine aus?

Zuerst ist auf Basis der Arbeitsaufgabe einer Maschine zu klären, welche der gelisteten Effekte aus Tabelle A genutzt werden sollen oder können. Anschließend muss das Ziel differenziert formuliert werden. Bewertungskriterien aus Tabelle B unterstützen diesen Prozess. Sind die Effekte und Ziele formuliert, sollten die Maschinen selbst näher betrachtet werden; aus ihrem Betrieb und den Bewegungsabläufen lassen sich wichtige Rückschlüsse ziehen. Hierbei ist wichtig zu unterscheiden, welche Datengrundlage dafür zur Verfügung steht. Im vierten Schritt empfehlen wir, die Schlüsselkomponente Speicher genauer zu betrachten. Abschließend schränkt man die Lösungsvielfalt durch vergleichende Simulationen ein (Tabelle C).

Im Anschluss an die Schritte eins bis vier lässt sich das Schema in Bild 3 [3, 4, 5] entsprechend den ermittelten Erfordernissen einschränken.

Schlüsselkomponente Speicher

Dem sekundären Speicher kommt bei jedem Hybridantrieb eine besondere Bedeutung zu. Mit den Eigenschaften des Speichers werden die Eigenschaften des gesamten Antriebs maßgeblich bestimmt.

FACHTAGUNG

»Hybridantriebe für mobile Maschinen«

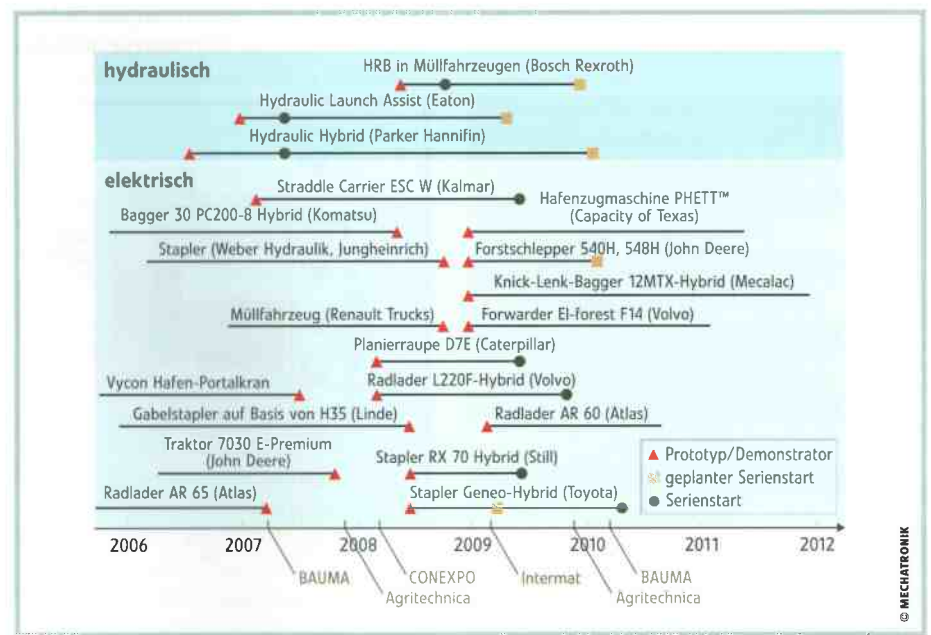
Am 17. Februar 2011 wird in Karlsruhe zum dritten Mal die Fachtagung »Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen« stattfinden. Wie 2007 und 2009 berichten Vortragende aus Industrie und Forschung über praktische und theoretische Aspekte, über Prototypen und Versuchsergebnisse hybrid angetriebener mobiler Arbeitsmaschinen. Nachdem auf der ersten Tagung überwiegend Konzepte vorgestellt und auf der zweiten Tagung über Prototypeneinsätze berichtet wurde, werden auf der dritten Tagung detaillierte Erfahrungen beim Einsatz von hybrid angetriebenen Maschinen erwartet.

Eine gute Charakterisierung lässt sich über sein spezifisches Leistungsvermögen (W/kg oder W/l) und seinen spezifischen Energiegehalt (Wh/kg oder Wh/l) erreichen. Diese Größen sind im sogenannten Ragone-Diagramm (Bild 4) dargestellt [6]. Zum Vergleich findet sich dort auch die spezifische Energie von Dieselöl und Wasserstoff.

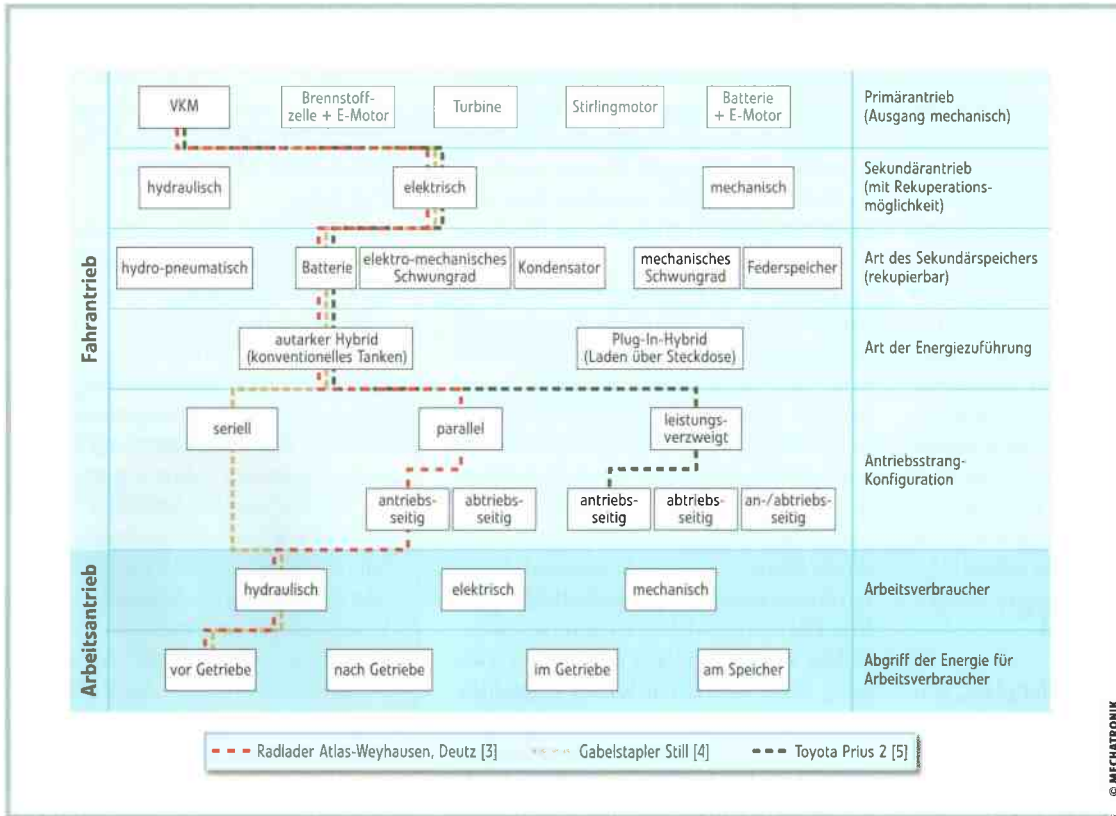
Speicher müssen aber auch anhand weiterer relevanter Eigenschaften beurteilt werden. Hierzu gehört zum Beispiel die Zyklusfestigkeit, also die Zahl der

Effekte
Betriebspunktverschiebung/Phlegmatisierung
Rekuperation/Regeneration
Entkopplung von Nebenverbrauchern
Verschleißfreies Bremsen
Emissionsminderung (akustisch, stofflich)
Downsizing/Rightsizing
Hybrid-Boost
Leerlaufabschaltung/Start-Stopp-Betrieb
VKM-Boost
Segeln
Unterstützung von Schaltvorgängen
Beruhigen des Verbrennungsmotors
Reichweite und Aktionsradius
Emissionsfreie Fahrt (lokal)

A Durch Hybridisierung nutzbare Effekte



2 Serien- und seriennahe Maschinen und Demonstratoren hybrid getriebener Arbeitsmaschinen



3 Morphologischer Kasten zur Systematisierung

› Ladespiele, die der Speicher schadfrei erträgt; ebenso die kalendarische Alterung, die den Speicher unabhängig von der Belastung schädigt. Aber auch die Platzierung in der Maschine – aus thermischen und geometrischen Gesichtspunkten – sind zu berücksichtigen. Eine Übersicht der Bewertungskriterien gibt **Tabelle B**.

Bei hybriden Antrieben werden mindestens zwei Speicher kombiniert. Im Pkw dominiert die Speicherkombination Benzintank und Batterie. Bei mobilen Arbeitsmaschinen sind andere Kombinationen möglich und – je nach den Randbedin-

gungen – besser geeignet, zum Beispiel auch Dieseltank, Hydrospeicher, Doppelschichtkondensatoren, Schwungradspeicher oder Wasserstofftank in verschiedenen Kombinationen. Die genannten Bewertungskriterien unterstützen bei der Speicherauswahl.

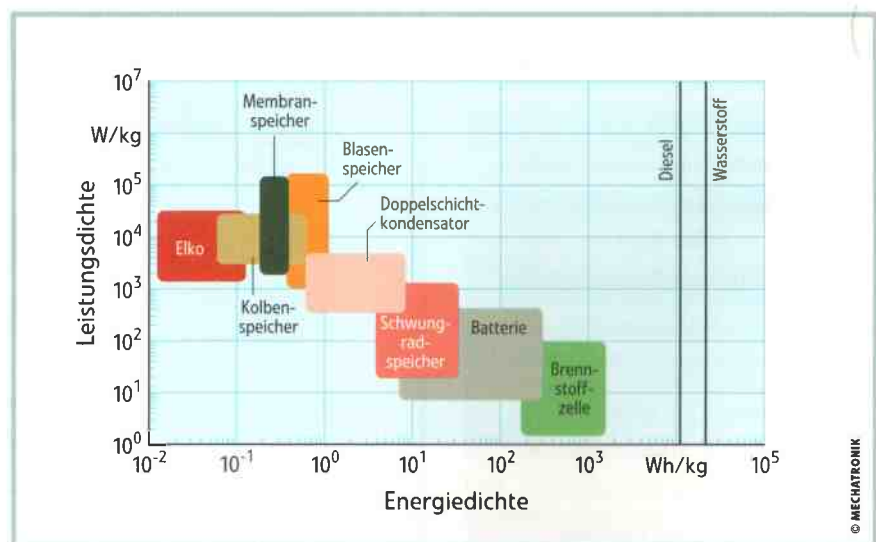
Vom Konzept zum Erfahrungsbericht

Wasserstofftechnologie war noch vor wenigen Jahren das Zauberwort für die Mobilität von morgen. Mittlerweile heißt das

Zauberwort Elektromobilität, der Brennstoffzellenantrieb ist vorerst in weite Ferne gerückt. Aber auch batterie-elektrische Fahrzeuge dürften noch auf absehbare Zeit eine Nischenerscheinung bleiben. Die mobile Energiebereitstellung wird mittelfristig nicht um die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen herumkommen. **Tabelle D** zeigt ein einfaches Rechenbeispiel, aus dem hervorgeht, dass allein der elektrische Speicher die Dimensionen der Gesamtmaschine annehmen würde, und das bei einem $\Delta\text{-SOC}^2$ von 100 Prozent (State of Charge, SOC, deutsch: Ladezustand

Bewertungskriterien
Gewicht
Bauraum
Freiheit der Platzierung
Geometrische Gestaltungsfreiheit
Energetisches Potential/Zeitgewinn
Wirkungsgrad
Verfügbarkeit/Serienreife
Kosten
Unfallverhalten
Emissionen (stofflich/akustisch)
Steuerbarkeit
Servicefreundlichkeit
Alterungsverhalten (kalendarisch/zyklisch)
Recycling/Lebenszyklusbetrachtung

B Bewertungskriterien



4 Ragone-Diagramm

– das Delta steht für die Änderung des Ladestands durch Einspeisen oder Entnehmen von Energie), was wiederum eine extrem verkürzte Lebensdauer zur Folge hätte [7].

Wie oben beschrieben, ermöglichen es Hybridantriebe, insgesamt weniger Kraftstoff zu verbrauchen, bei ansonsten unveränderten Rahmenbedingungen. Sie leisten folglich einen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen. Um die CO₂-Bilanz weiter zu verbessern, bieten sich biogene Kraftstoffe an. Lokal, am Auspuff der Maschine, entsteht zwar bei der Verbrennung dieser Kraftstoffe ebenso viel CO₂ wie bei konventionellen Kraftstoffen, allerdings ist dieses CO₂ zuvor bei der Erzeugung der Atmosphäre entzogen worden. Da die Gesamtbilanz der Biokraftstoffe der ersten Generation (Biodiesel aus Raps oder Ethanol aus Zuckerrohr) nicht so positiv ist wie erhofft, konzentriert sich die Forschung mittlerweile auf die Kraftstoffe der zweiten Generation. Bei diesen werden Ganzpflanzen oder organische Reststoffe und Abfälle in chemischen Prozessen zu Kohlenwasserstoffen synthetisiert (Bio-Liq-Verfahren [8]). Die Biokraftstoffe der zweiten Generation weisen deutlich bessere CO₂-Bilanzen auf, und die verschiedenen Technologien entwachsen derzeit dem Labor- und Pilotstadium. ■

Autoren

Dipl.-Ing. PHILLIP THIEBES ist akademischer Mitarbeiter am KIT (Mobima), und Prof. Dr.-Ing. MARCUS GEIMER hat den Lehrstuhl »Mobile Arbeitsmaschinen« am KIT inne.

IN KÜRZE

CO₂-Bilanz schrittweise verbessern

Nachdem die Brennstoffzelle in weite Ferne gerückt ist, konzentriert sich der Individualverkehr auf die Elektromobilität. Ein erster Schritt sind hybride Antriebe. Ihre Entwicklung erfordert jedoch ein anderes Vorgehen als die Entwicklung konventioneller Antriebe. Am Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen (Mobima) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) wurde eine Methode erarbeitet, mit der sich hybride Antriebe gezielt entwickeln lassen. Wenn auch die Speicher heute noch groß und schwer sind, lässt sich mit Hybridantrieben die CO₂-Bilanz bereits verbessern. Biokraftstoffe der zweiten Generation sollen diesen Beitrag noch erhöhen. Am 17. Februar 2011 stellen Experten auf der Fachtagung »Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen« die ersten Erfahrungsberichte vor, um ihr Wissen mit Interessenten zu teilen und in Zukunft bei mobilen Maschinen noch erfolgreicher Energie zu sparen.

Fünf Schritte zum Hybridmotor

1.	Welche Effekte sollen/können genutzt werden?
2.	Welche Bewertungskriterien werden angelegt?
3.	Analyse der Fahr- und Arbeitszyklen
4.	Vorauswahl des Speichers
5.	Vergleich konkurrierender Varianten mittels Simulationen

C Die einzelnen Entwicklungsschritte

D Rechenbeispiel Elektroantrieb

Speichergöße für einen elektrisch angetriebenen Feldhäcksler

	Dieselmotorisch	Elektrisch
Verbrauch	500 l/Tag	
Tankgewicht und -größe	< 0,5 t; 0,5 m ³	
Energiedichte Diesel	35 MJ/l; 42,7 MJ/kg	
Energiegehalt Diesel	17,5 GJ	
angenommener Wirkungsgrad VKM	35 %	
notwendige mechanische Energie		6,125 GJ
angenommener Wirkungsgrad E-Antrieb		90 %
Energiegehalt elektrisch		6,8 GJ = 1,89 MWh
Energiedichte Li-Ion High Energy (Saft VL 6 A)		64,7 Wh/kg; 137 Wh/l
Speichergewicht und -größe (@ 100% -SOC)		29,2 t; 13,8 m ³

Literatur:

- [1] UNECE: »Concerning the adoption of uniform technical prescriptions for wheeled vehicles, equipment and parts which can be fitted and/or be used on wheeled vehicles and the conditions for reciprocal recognition of approvals granted on the basis of these prescriptions (Revision 2)«; Regulation No. 85 Amendment 4, 2005
- [2] Thiebes, P.; Geimer, M.; Jansen, G.: »Hybridantriebe abseits der Straße – Methodisches Vorgehen zur Bestimmung von Effizienzsteigerungspotenzialen«; Tagungsband: Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen, Karlsruhe 2009, S. 125-135
- [3] van der Tuuk, T.: »Dieselhybridantriebe als alternative Antriebslösungen«; in Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen. Informationstagung des VDMA und der Universität Karlsruhe (TH), 22. Feb. 2007, S. 109-121
- [4] Tödter, J.: »Hybride Antriebsstrukturen für verbrennungsmotorisch betriebene Gegengewichtsstapler«; In: Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen. Informationstagung des VDMA und der Universität Karlsruhe (TH), 22. Feb. 2007, S. 125-137
- [5] Internetplattform für Hybridfahrzeuge: »Antriebsstrang des Toyota Prius«; Internet: www.hybrid-autos.info/Toyota_Prius_2_2003.html. Stand 12.04.2010
- [6] Ragone, D. V.: »Review of Battery Systems for Electrically Powered Vehicles«; SAE Mid-Year Meeting (1968), SAE Paper Nr. 680453
- [7] Jossen, A. und Weydanz, W.: »Moderne Akkumulatoren richtig einsetzen«; Ubooks, 2006
- [8] Dinjus, E.: »Stand des bioliq-Prozesses des Forschungszentrums Karlsruhe«; 3. BTL-Kongress 2008, Berlin

www.mechatronik.info

Diesen Artikel finden Sie im Internet, wenn Sie im Feld »Suche« die Dokumentennummer ME110166 eingeben.