

# Effizienzbewertung von mobilen Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeugen

Im Zuge stetig steigender Rohöl- und damit auch Kraftstoffkosten gewinnt die Effizienzoptimierung des Antriebs stark an Bedeutung. Darüber hinaus führen strengere Abgasbestimmungen zu immer neuen Innovationen der Hersteller im Bereich der Antriebe. Gerade im Bereich mobiler Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeuge ist die Wirtschaftlichkeit ein bestimmender Faktor.

Um sowohl die Wirtschaftlichkeit eines Fahrzeugs sicherzustellen als auch die gesetzlichen Bestimmungen zu erfüllen, sind optimal ausgewählte Antriebskomponenten notwendig. In diesem Beitrag sollen zwei grundsätzlich unterschiedliche Methoden zur Effizienzbewertung der Antriebsstränge von mobilen Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeugen unter den zuvor genannten Gesichtspunkten vorgestellt werden.

Um Fahrzeuge geeignet bewerten zu können, müssen diese zunächst in Fahrzeugklassen eingeteilt werden. Für die hier vorgenommene Betrachtung von mobilen Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeugen hat sich die Einteilung in Bild 1 als zweckmäßig erwiesen. So entstehen zwölf Klassen, deren spezielle Eigenschaften in ein Anforderungsprofil der Klassen an den Antriebsstrang umgesetzt werden können.

Das Anforderungsprofil entsteht bei der Bewertungsmethode durch eine objektivierte Expertenbefragung. Dazu werden vorab geeignete Kenngrößen für die Anforderungen einer Fahrzeugklasse an den Antriebsstrang für die Befragung festgelegt. Denkbar sind etwa: Kraftstoffverbrauch, Umschlagleistung, Anschaffungskosten, Haltbarkeit, Bauraum oder Bedienkomfort. Zur Beurteilung durch die Experten wird in diesem Fall die Bewertungsmethode des paarweisen Vergleiches von Kriterien nach [1] herangezogen. Dieses Verfahren basiert darauf, die Kenngrößen einer jeden Fahrzeugklasse gegeneinander abzuwägen und somit eine Abstufung in der Bedeutung der Kenngrößen für die betreffende Klasse zu erreichen.

Der Bewerter beantwortet mit seiner Einschätzung die Frage: „Ist Kenngröße x bei dieser Fahrzeugklasse wichtiger als Kenngröße y?“ Zur Objektivierung dieses subjektiven Bewertungsverfahrens können mehrere Experten befragt und ihre Bewertungsergebnisse gemittelt werden.

Auf der anderen Seite werden die verschiedenen Antriebsstrangsysteme ebenfalls in Bezug auf dieselben Kenngrößen und die Erfüllung der Anforderungen bewertet. Bei der Expertenbewertung der Antriebsstrangsysteme wird ebenfalls paarweise verglichen mit dem Unterschied, dass die Frage nun lautet: „Wird Kenngröße x durch diese Antriebsart besser erfüllt als Kenngröße y?“.

Man erhält auf der Anforderungsseite die für die Fahrzeugklasse relevanten Eigenschaften und auf der Ausstattungsseite den Gütegrad des jeweiligen Antriebstyps für die einzelnen Kenngrößen jeweils in Form eines Vektors. Durch die Berechnung in Bild 2 können Anforderung und Ausstattung zusammengebracht werden.

Die Summe der Produkte  $Anf_1^x \cdot Aus_1 + Anf_2^x \cdot Aus_2 + \dots + Anf_n^x \cdot Aus_n$  beschreibt mit dem Erfüllungsgrad wie gut ein bestimmtes Antriebssystem die Anforderungen der betrachteten Fahrzeugklasse erfüllt. Der Exponent x bietet die Möglichkeit der Erhöhung der Relevanz der Anforderungen gegenüber der Ausstattung. So ergibt die Wahl von  $x > 1$  für eine gute Ausstattung zu einer weniger wichtigen Anforderung eine geringere Teilerfüllung als eine weniger gute Ausstattung für eine wichtige Anforderung. Die Bewertung enthält prinzipbedingt nur die betrachteten Kenngrößen und beruht auf subjektiv ermittelten, objektivierten Ergebnissen. Die Subjektivität hat den Vorteil, dass Stimmungsbilder innerhalb der Branche erfasst

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Henning Deiters und Dipl.-Ing. Konrad Steindorff sind wissenschaftliche Mitarbeiter und Dr.-Ing. Thorsten Lang ist Akademischer Oberrat am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik der TU Braunschweig (Leiter: Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms), Langer Kamp 19a, 38106 Braunschweig; e-mail: h.deiters@tu-bs.de

## Schlüsselwörter

Effizienz, Expertenbewertung, Simulation, Lastzyklen

## Keywords

Efficiency, evaluation by experts, simulation, load cycles

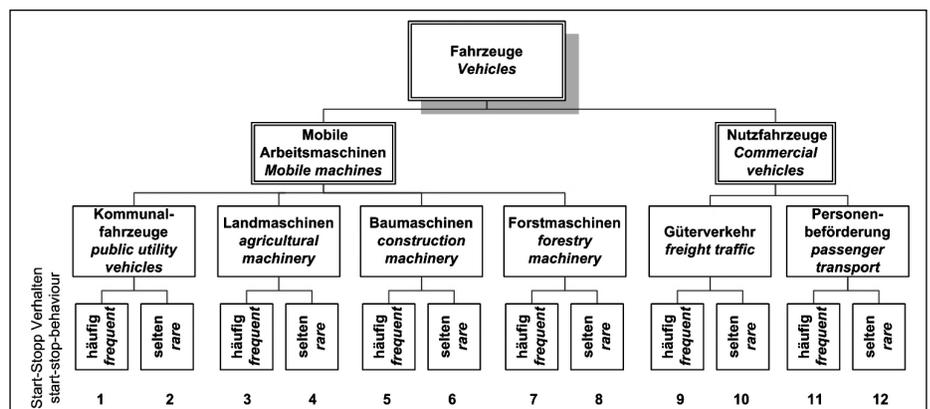


Bild 1: Einteilung mobiler Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeuge

Fig. 1: Classification of mobile machinery and utility vehicles

$$\begin{aligned}
 \text{Anforderung / requirement} &= \left\{ \begin{array}{l} Anf_1 / req_1 \\ Anf_2 / req_2 \\ \dots \\ Anf_n / req_n \end{array} \right\} \\
 \text{Ausstattung / equipment} &= \left\{ \begin{array}{l} Aus_1 / equ_1 \\ Aus_2 / equ_2 \\ \dots \\ Aus_n / equ_n \end{array} \right\} \\
 \text{Erfüllung / fulfillment} &= \sum_{i=1}^n Anf_i^x \cdot Aus_i = \sum_{i=1}^n req_i^x \cdot equ_i
 \end{aligned}$$

Bild 2: Berechnungsschema

Fig. 2: Calculation scheme

und Kundenanforderungen berücksichtigt werden können.

### Bewertungsverfahren für die Effizienz von Antriebssystemen basierend auf Belastungsdaten

Für eine objektiv ermittelte Bewertung verschiedener Antriebsarten in Bezug auf ihre Effizienz in bestimmten Fahrzeugen bieten sich Simulationen an. Die Umsetzung der betrachteten Antriebsarten in der Simulationssoftware erfordert zunächst die detaillierte Kenntnis des Antriebsaufbaus. Darüber hinaus ist für den praxisorientierten Vergleich das Vorliegen typischer Belastungsdaten der Zielanwendung im betrachteten Arbeitsprozess notwendig. Als Ergebnis der Simulationen können die jeweils absoluten, auf den Arbeitsablauf bezogenen Werte für den Kraftstoffverbrauch oder die Emissionen betrachtet werden. Liegen für den beabsichtigten Einsatz des Antriebssystems in einer Zielanwendung noch keine Belastungsdaten vor, müssen diese zunächst erfasst werden.

Die gemessenen Belastungsdaten sollten anschließend aufbereitet werden, um die Rechenzeit für die Simulation in Grenzen zu halten. Vor dem Hintergrund einer Optimierung der Rechenzeit kommt der Aufbereitung der Daten große Bedeutung zu. Dabei ist die Art des betrachteten Arbeitsablaufs zu berücksichtigen. Die Belastungsdaten können zum einen aus einem Wechsel von bestimmten, annähernd konstanten Betriebsbedingungen, gegebenenfalls unterbrochen durch einen kurzzeitig auftretenden instationären Betrieb, bestehen. Diese Belastungsabläufe ergeben sich beispielsweise beim Pflügen mit einem Traktor mit zwischenzeitlichem Ausheben und Einsetzen des Pflugs im Vorgewende. Zum anderen können sich die Belastungsdaten wie beim Y-Arbeitsspiel eines Radladers auch aus zyklisch auftretenden Einzelarbeitsspielen zusammensetzen (Bild 3).

Für die Aufbereitung von quasistationären Betriebspunkten bietet sich die Auswertung der erfassten Belastungsdaten nach Betriebspunkthäufigkeiten an. So können die häufig auftretenden Betriebspunkte herausgefiltert werden und die Simulationsmodelle der Antriebe auf diese Betriebspunkte hin genauer untersucht werden. Bei zyklisch ausgeprägten Belastungsdaten kann ebenfalls als erster Ansatz auf die häufig auftretenden Betriebspunkte zurückgegriffen werden. Ein aufwändigerer Weg zur Aufbereitung der Belastungsdaten besteht zunächst in der Bestimmung der einzelnen Durchläufe der zyklisch auftretenden Belastungen. Auf diese Weise erhält man eine Anzahl an einzelnen, nacheinander abgeleiteten Durchläufen, von denen ein charakteristisches Einzelarbeitsspiel ausgewählt und anschließend der Simulation als repräsentativ für die gesamten Belastungsdaten vorgegeben wird. Einen Schritt weiter geht die statistische Aufbereitung der Belastungsdaten. Hierzu werden alle Einzelarbeitsspiele zunächst auf die mittlere Arbeitsspielzeit synchronisiert und anschließend aus den synchronisierten Daten mittels geeigneter Mittelwertbildung (etwa Median) das repräsentative Einzelarbeitsspiel generiert. Dieses Verfahren bietet sich bei einer großen Menge an Belastungsdaten an, bei der die qualitative, subjektive Auswertung unübersichtlich wird.

Mit Hilfe der ermittelten und aufbereiteten Zyklen kann das Antriebssystem des untersuchten Fahrzeugs genauer betrachtet werden. Über Simulationen können Kraftstoffesparpotenziale bestimmter Antriebssysteme gegenüber Alternativkonzepten rechnerisch aufgezeigt werden. Über die Analyse des Kraftstoffesparpotenzials hinaus können durch die Simulationen ebenfalls Möglichkeiten zur Emissionsreduzierung durch gezieltes Antriebsstrangmanagement evaluiert werden. Dazu ist über die Kenntnis des Fahrzyklus hinaus entweder die Simulation eines Verbrennungsmotors mit einzubeziehen oder auf Verbrauchs- und

Emissionskennfelder existierender Motormodelle zurückzugreifen.

### Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden verschiedene mögliche Herangehensweisen für eine Effizienzbewertung von mobilen Arbeitsmaschinen und Nutzfahrzeugen aufgezeigt. Dabei ist grundsätzlich zwischen subjektiven und objektiven Bewertungsmethoden zu unterscheiden. Ein mögliches subjektives Verfahren basierend auf dem paarweisen Vergleich wurde hier vorgestellt, das auch eine „emotionale“ Bewertung ermöglicht und Expertenwissen mit einbezieht. Es entstehen jedoch keine fassbaren Ergebnisse, die in technischen oder monetären Werten ausgedrückt werden könnten.

Eine Effizienzbewertung anhand typischer Belastungsabläufe ist hingegen deutlich aufwändiger, insbesondere im Zusammenhang mit der Belastungsdatenerfassung sowie -aufbereitung. Modifikationen an der Struktur der Bewertung sind allerdings einfacher umzusetzen. Des Weiteren können auch andere Aspekte jenseits der wirtschaftlichen Effizienzbewertung, etwa die Emissionen einer Antriebsvariante, betrachtet werden.

Welche Methode die richtige ist, hängt daher von der Zielsetzung ab und muss von Fall zu Fall entschieden werden.

### Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] • Pahl, G., W. Beitz, J. Feldhusen und K.H. Grote: Konstruktionslehre - Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung: Methoden und Anwendung. 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2004
- [2] Kohmäscher, T., H. Jähne und H. Deiters: Moderne voll- und teilhydrostatische Fahrtriebe. O+P „Ölhydraulik und Pneumatik“ 50 (2006), H. 5, S. 272-278

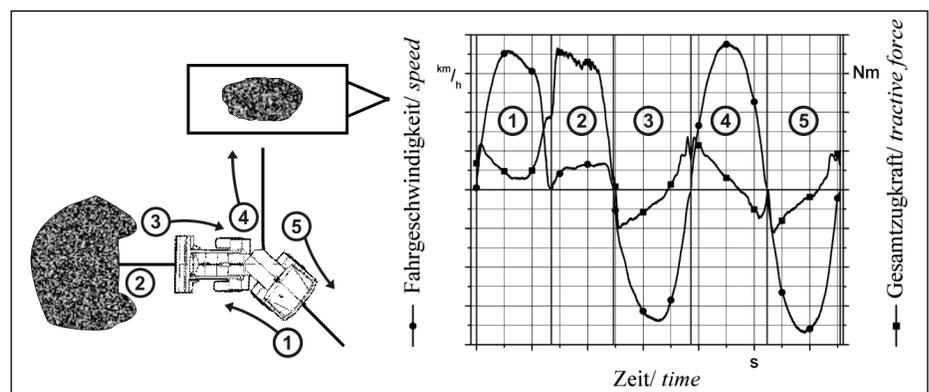


Bild 3: Beispiel für zyklische Arbeitsaufgabe nach [2]

Fig. 3: Example for cyclic work tasks according to [2]