Anforderungen an Methoden zur Effizienzbewertung von mobilen Maschinen

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig

zur Erlangung der Würde
einer Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Kirsten Wulfmeier
aus Hong Kong

Eingereicht am:	18.11.2015
Mündliche Prüfung am:	10.06.2016
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H.-H. Harms Prof. Dr.-Ing. C. Herrmann

Forschungsberichte aus dem
Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge

Kirsten Wulfmeier

**Anforderungen an Methoden zur Effizienzbewertung
von mobilen Maschinen**

Shaker Verlag
Aachen 2016

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Braunschweig, Techn. Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4854-4

ISSN 2196-7369

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Landmaschinen und Fluidtechnik bzw. nach dessen Umbenennung am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge an der Technischen Universität Braunschweig.

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all denen bedanken, die wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Ganz besonders möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Hans-Heinrich Harms danken. Er ermöglichte mir die Promotion, übernahm das Erstgutachten und unterstützte mich während der gesamten Bearbeitungszeit nicht nur fachlich, sondern auch menschlich. Er forderte mich an den richtigen Stellen und förderte mich mit großem Vertrauen und dem Freiraum zur Durchführung dieser Arbeit.

Bei Prof. Dr.-Ing. Herrmann bedanke ich mich sehr herzlich für die Übernahme des Mitberichtes, sowie für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und seine wertvollen Anregungen. Herrn Prof. Dr. Frerichs danke ich für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission und für die wohlwollende Unterstützung und Förderung meiner Arbeit unter seiner Institutsleitung.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei den ehemaligen und aktuellen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts. Die freundschaftliche Atmosphäre und Anteilnahme durch das gesamte Institutsteam trugen zum Gelingen meiner Arbeit bei und prägten meine Promotionszeit.

Ein besonderer Dank gilt meiner Familie und besonders meinem Mann, der mich liebevoll und tatkräftig auch über Zeiten des Zweifels hinweg unterstützte. Diese Hilfe ermöglichte es mir erst, meine Promotion zu vollenden.

Kurzfassung

Energieeffizienz verknüpft Rohstoffverknappung, Emissionen und Klimawandel und ist daher ein aktuelles Forschungsthema von gesellschaftlichem und umweltpolitischem Interesse. Auch für mobile Maschinen wird die Steigerung der Energieeffizienz aus technischen, finanziellen und umweltpolitischen Gründen angestrebt. Dass die Effizienz mobiler Maschinen wenig geregelt ist, weist nicht auf eine hohe Effizienz dieser Produktgruppe hin, sondern resultiert aus einem Mangel an geeigneten wissenschaftlichen Bewertungsinstrumenten und -methoden. Um die Effizienz mobiler Maschinen gezielt zu verbessern, fehlen geeignete Kriterien und Indikatoren.

In dieser Arbeit werden die Anforderungen an Effizienzbewertungsmethoden für mobile Maschinen erarbeitet. Hierfür werden Kriterien entwickelt, um die Eignung von Effizienzbewertungen für mobile Maschinen zu beurteilen. Dieses ist der erste Schritt, um die Effizienz mobiler Maschinen zu verbessern und bietet die Grundlage für weitere Konkretisierungen z. B. in Form von Indikatoren.

Nachdem zentrale Begriffe wie *Effizienz* und *mobile Maschine* eingeführt werden, wird der Forschungsbedarf anhand der rechtlichen und technischen Ausgangssituation gezeigt. Momentane Vorgaben zu Ökodesign, Energielabel und Emissionen zeigen ein Verbesserungspotenzial bei mobilen Maschinen, werden aber wegen besonderer Herausforderungen dieser Produktgruppe kaum angewandt. Vorhandene Ansätze zur Bewertung mobiler Maschinen, wie der Traktortest der OECD oder das PowerMix-Lastkollektiv der DLG, liefern für einzelne Maschinentypen teilweise standardisierte Daten, doch für die Mehrheit der Maschinentypen fehlen standardisierte Testprozeduren und somit die Grundlage für gezielte Effizienzverbesserungen.

Anhand eines selbst erarbeiteten Modells werden die besonderen Herausforderungen an eine Effizienzbewertung mobiler Maschinen in vier Handlungsfeldern identifiziert: *I. Objektwahl*, *II. Lebenszyklus*, *III. Klassifizierung & Standardisierung* und *IV. Handhabung*. Den Handlungsfeldern folgend werden die Fachbereiche Personenkraftwagen, schwere Nutzfahrzeuge, Werkzeugmaschinen und Landmaschinen nach Erkenntnissen für mobile Maschinen ausgewertet.

Die im Verlauf der Arbeit vergebenen Schlagwörter werden zu je neun Haupt- und Nebenkriterien in drei inhaltliche Komplexe klassifiziert. Komplex A trägt dazu bei, dass die Effizienzbewertung von den Akteuren genutzt wird. Kriterienkomplex B stellt den gewünschten Effekt der Effizienzbewertung sicher. Im Komplex C finden sich Kriterien, die zu Richtigkeit und Eignung der Effizienzbewertung beitragen.

Abstract

Energy efficiency is a crosslink between shortage of resources, emissions and climate change. It is therefore a current topic of scientific research, society and ecopolitics. Technical, financial and ecological reasons call for energy efficiency of mobile machines. That mobile machines are little regulated is not a result of their high efficiency but of a deficit of suitable assessment methods. The systematic improvement of the efficiency of mobile machines lacks adequate criteria and indicators.

In this thesis criteria are developed with which efficiency benchmarking methods can be evaluated regarding their suitability for mobile machines. This is the first step towards the improvement of the efficiency of mobile machines and the basis for further implementations like indicators.

Essential terms like *efficiency* and *mobile machine* are defined. The need for research is shown by the present legal and technical situation. Current requirements regarding eco-design, energy labels and emissions show potential for improvements with mobile machines. But the special challenges of this product group lead to little regulation. Existing assessment methods for mobile machines like the OECD tractor test or the PowerMix test of the DLG offer standardised data only for few machine types. The majority of mobile machines is missing standardised test procedures and therefore a basis to systematically improve efficiency.

Aided by a self-made model the specific challenges of mobile machines concerning efficiency benchmarking are shown in four spheres of activity: *I. Choice of Object*, *II. Life Cycle*, *III. Classification & Standardisation* and *IV. Handling*. The insights of other fields of research – passenger cars, heavy commercial vehicles, machine tools and agricultural machines – are positioned within these spheres of activity. For example, product efficiency can be complemented by process or operator efficiency. Also, the laborious set-up of test cycles can be supported by computer simulation.

In the course of the thesis keywords were assigned and are then excerpted to nine main and nine secondary criteria in three complexes. Complex A contributes to the benchmarking method being used by the stakeholders. Complex B ensures that the method has the desired effect. And complex C contains criteria concerning correctness and suitability of the efficiency benchmarking method.

Inhaltsübersicht

1	Einführung	1
2	Wissensstand zur Effizienzbewertung mobiler Maschinen	3
2.1	Grundlagen, Definitionen und Begriffe	3
2.2	Vorgaben und Pflichten für mobile Maschinen	26
2.3	Vorhandene Bewertungsansätze: Vorstellung und Kritik.....	36
2.4	Motivation und Zielsetzung der Arbeit	47
3	Anforderungen an die Effizienzbewertung mobiler Maschinen	51
3.1	Einführen eines Modells zum Systemverständnis	51
3.2	Analyse des Bereichs der mobilen Maschinen nach eingeführtem Modell ..	55
3.3	Zentrale Handlungsfelder für die Effizienzbewertung mobiler Maschinen ...	78
4	Auswerten der Effizienzbewertungen ausgewählter Branchen	81
4.1	Vorstellen der Entwicklung angrenzender Branchen.....	81
4.2	Erkenntnisse für mobile Maschinen nach zentralen Handlungsfeldern	91
4.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse	118
5	Entwickeln und Entwerfen von Kriterien.....	121
5.1	Zusammenfassen und Gruppieren der Schlagwörter	121
5.2	Extraktion und Diskussion der Kriterien.....	124
6	Diskussion und Fazit für die Praxis	132
7	Zusammenfassung und Ausblick	135
8	Informationsquellen	139

Inhalt

1	Einführung	1
2	Wissensstand zur Effizienzbewertung mobiler Maschinen	3
2.1	Grundlagen, Definitionen und Begriffe	3
2.1.1	Der Begriff der Effizienz	3
2.1.2	Vom Effizienzmaß zur Effizienzbewertung	5
2.1.3	Eine spezifische Effizienz: Energieeffizienz	8
2.1.4	Eine Definition von mobilen Maschinen.....	13
2.1.5	Die Bewertung der Energieeffizienz von mobilen Maschinen.....	24
2.2	Vorgaben und Pflichten für mobile Maschinen	26
2.2.1	Ökodesign: Richtlinie 2009/125/EG und EVPG.....	26
2.2.2	Energielabel: Richtlinie 2010/30/EU und EnVKG	31
2.2.3	Emissionen: Richtlinie 97/68/EG und 28. BImSchV	35
2.3	Vorhandene Bewertungsansätze: Vorstellung und Kritik.....	36
2.3.1	Traktortest nach OECD Code 2	37
2.3.2	PowerMix der DLG für Traktoren	39
2.3.3	Landmaschinentests der DLG und <i>profi</i>	42
2.3.4	Liebherr-Normzyklus für Radlader	45
2.4	Motivation und Zielsetzung der Arbeit	47
3	Anforderungen an die Effizienzbewertung mobiler Maschinen	51
3.1	Einführen eines Modells zum Systemverständnis	51
3.2	Analyse des Bereichs der mobilen Maschinen nach eingeführtem Modell ..	55
3.2.1	Das Betrachtungsobjekt	56
3.2.2	Die Akteure	63
3.2.3	Die Umwelt.....	67
3.2.4	Die Effizienzbewertung.....	69
3.3	Zentrale Handlungsfelder für die Effizienzbewertung mobiler Maschinen ...	78
4	Auswerten der Effizienzbewertungen ausgewählter Branchen	81
4.1	Vorstellen der Entwicklung angrenzender Branchen.....	81
4.1.1	Personenkraftwagen	81
4.1.2	Schwere Nutzfahrzeuge	84

4.1.3	Werkzeugmaschinen.....	87
4.1.4	Landmaschinen.....	90
4.2	Erkenntnisse für mobile Maschinen nach zentralen Handlungsfeldern	91
4.2.1	I. Objektwahl	91
4.2.2	II. Lebenszyklus	96
4.2.3	III. Klassifizierung und Standardisierung	98
4.2.4	IV. Handhabung	109
4.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse.....	118
5	Entwickeln und Entwerfen von Kriterien.....	121
5.1	Zusammenfassen und Gruppieren der Schlagwörter	121
5.2	Extraktion und Diskussion der Kriterien.....	124
5.2.1	A Die Effizienzbewertung wird von den Akteuren genutzt	125
5.2.2	B Die Effizienzbewertung hat einen erwünschten Effekt	127
5.2.3	C Aussagen der Effizienzbewertung sind zutreffend und geeignet	128
6	Diskussion und Fazit für die Praxis.....	132
7	Zusammenfassung und Ausblick	135
8	Informationsquellen.....	139