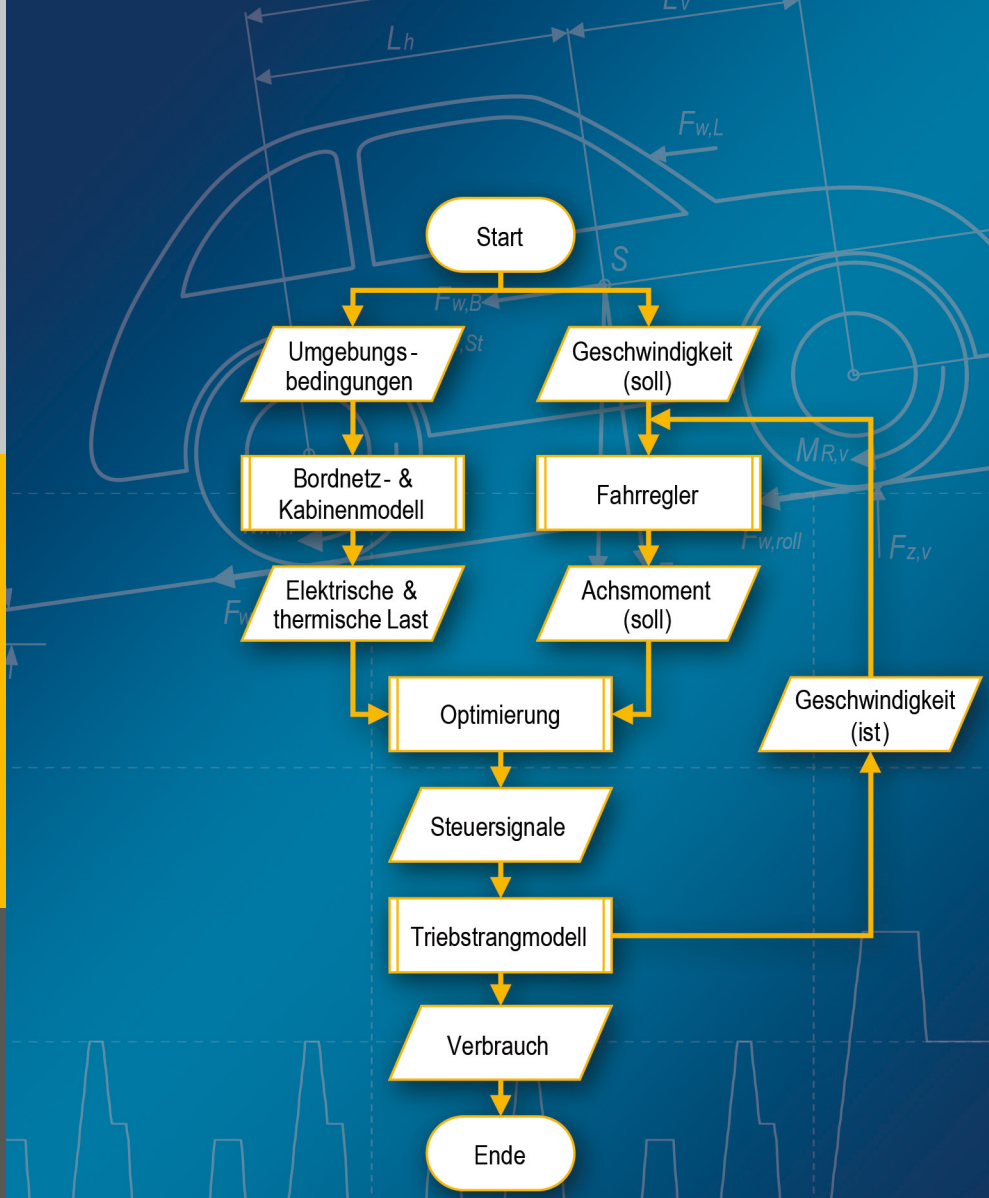

Potentiale des Strommanagements zur Reduzierung des spezifischen Energiebedarfs von Pkw

Thomas Grube

JÜLICH
FORSCHUNGSZENTRUM

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft

Forschungszentrum Jülich GmbH
Institut für Energie- und Klimaforschung (IEK)
Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3)

Potentiale des Strommanagements zur Reduzierung des spezifischen Energiebedarfs von Pkw

Thomas Grube

Schriften des Forschungszentrums Jülich
Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment Band / Volume 216

ISSN 1866-1793 ISBN 978-3-89336-961-4

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINFÜHRUNG UND ZIELSETZUNG 1

1.1 Zielsetzung und Aufgabenstellung 2

1.2 Definition der Antriebstopologien 5

2 ENTWICKLUNG DES MODELLANSATZES 7

2.1 Begriffsbestimmungen 7

2.2 Simulationsgestützte Kraftstoffverbrauchsanalyse 9

2.3 Beschreibung des Modellansatzes 10

3 SPEZIFIZIERUNG DER LEISTUNGSBILANZEN 13

3.1 Festlegung der Fahrzeug- und Antriebsparameter 13

3.2 Längsdynamisches Modell und Fahrleistungsanforderungen 15

3.3 Skalierung des Antriebs 20

3.4 Festlegung der Fahrzyklen 21

3.5 Bordnetz und elektrische Verbraucher 23

3.6 Klimatisierung des Fahrzeuginnenraums 27

3.7 Bereitstellung mechanischer Antriebsleistung 33

3.7.1 Verbrennungsmotoren 34

3.7.2 Elektrische Maschinen 36

3.7.3 Kraftübertragung 38

3.8 Bereitstellung elektrischer Leistung für Antrieb und Bordnetz 39

3.8.1 Batterien 39

3.8.2 Brennstoffzellensysteme 46

3.8.3 Gleichspannungswandler 50

3.8.4 Thermoelektrische Generatoren (TEG) 51

3.8.5 Photovoltaikmodule 52

3.9 Fazit 53

4 STROMNUTZUNG IN PKW-ANTRIEBEN 55

4.1 Verbrauchsreduktion durch Hybridisierung 55

4.1.1 Funktionalitäten der Antriebskonzepte 57

4.1.2 Festlegung der Betriebsstrategie 59

4.1.3 Spezifizierung der Bewertungsfunktion 62

4.1.4 Verfahren der Ladezustandssteuerung 64

4.2 Verbrennungsmotor-Pkw – ICV ... 65
4.3 Parallelhybrid mit Verbrennungsmotor – PAH ... 65
4.4 Batterie-Pkw – BEV ... 68
4.5 Brennstoffzellen-Pkw – FCV ... 69
4.6 Fazit ... 70

5 DYNAMISCHE SYSTEMSIMULATION ... 71
5.1 Allgemeine Simulationsaufgaben und Berechnungsablauf ... 72
5.2 Charakterisierung des Modellansatzes ... 76
5.3 Fahrzyklussimulationen ... 77
5.4 Bestimmung der Leistungsklassen von Antriebskomponenten ... 78
5.5 Komponentenmodelle ... 80
5.5.1 Verbrennungsmotor ... 80
5.5.2 Elektromaschinen ... 82
5.5.3 Kraftübertragung ... 84
5.5.4 Brennstoffzellensystem ... 84
5.5.5 Batterie ... 85
5.5.6 Leistungselektronik ... 86
5.6 Thermische Integration ... 88
5.7 Verbrauchsoptimierende Laststeuerung ... 88
5.7.1 Definition von Options- und Gültigkeitsvektoren ... 90
5.7.2 Ermittlung des Achsmoments ... 91
5.7.3 Optionale Getriebeeingangsmomente und -drehzahlen ... 92
5.7.4 Optionale Drehmomente der Antriebsmaschinen ... 93
5.7.5 Energetische Bewertung des Gesamtsystems bei ICV, PAH und BEV ... 96
5.7.6 Optionale elektrische Leistungen des Brennstoffzellensystems ... 100
5.7.7 Energetische Bewertung und Ansteuerung des BZ-Systems bei FCV ... 101
5.7.8 Wahl der Gangstufen und Sollwerte der Antriebsmaschinen ... 102
5.7.9 Rekuperatives Bremsen ... 104
5.8 Umsetzung der Gesamtfahrzeugmodelle ... 105
5.8.1 Verbrennungsmotor-Pkw – ICV ... 106
5.8.2 Parallelhybrid-Pkw – PAH ... 107
5.8.3 Batterie-Pkw – BEV ... 108
5.8.4 Brennstoffzellen-Pkw – FCV ... 109

5.9 Fazit 110

6 BESTIMMUNG DES VERBRAUCHSREDUKTIONSPOTENTIALS 113

6.1 Definition von Untersuchungsmatrix und Berechnungsszenarien 113

6.2 Ergebnisse und Diskussion 118

6.2.1 Verbrennungsmotor-Pkw – ICV 119

6.2.2 Parallelhybrid-Pkw – PAH 125

6.2.3 Batterie-Pkw – BEV 131

6.2.4 Brennstoffzellen-Pkw – FCV 134

6.3 Thermoelektrische Generatoren und Photovoltaikmodule 137

6.4 Spezifische Energie der Batterie bei BEV 139

6.5 Bewertung der Ergebnisse 140

6.6 Fazit 143

7 ZUSAMMENFASSUNG 145

BIBLIOGRAPHIE 149

ANHANG 159

Anhang A: Verzeichnis der Abbildungen 161

Anhang B: Verzeichnis der Tabellen 165

Anhang C: Verzeichnis der Abkürzungen, Formelzeichen und Indices 167

Anhang D: Simulationsgestützte Kraftstoffverbrauchsanalyse – Beispiele 171

Anhang E: Verwendete Symbolik zur Darstellung der untersuchten Konzepte 173

Anhang F: Fahrzeugklassenbezeichnungen 175

Anhang G: Verwendete Fahrzyklen 177

Anhang H: Leistungs- und Betriebsdaten von Batterien 185

Anhang I: Ergebnisvektor der Simulationsmodelle 191

Anhang J: Massen der Antriebskomponenten 193

Anhang K: Ergebnisse der Kraftstoffverbrauchsbestimmung 195

Anhang L: Wirkungsgrade und energetische Nutzungsgrade 239

Anhang M: Ermittelte Verbrauchsreduktionspotentiale 253

DANKSAGUNG 255

Kurzzusammenfassung:
Im Kontext energiestrategischer Zielsetzungen werden unter anderem reduzierte Umweltwirkungen von Fahrzeugen angestrebt. Aktuelle Entwicklungen beziehen sich auf verbesserte Antriebe mit Verbrennungsmotor sowie auf teilweise oder vollständig elektrifizierte Antriebssysteme. Die vergleichende Bewertung solcher Konzepte erfordert insbesondere die Analyse des Kraftstoffverbrauchs unter möglichst realistischen Einsatzbedingungen. Heute als Typprüfwerte oder Messwerte für Serien- und Konzept-Pkw verfügbare Angaben sind in dieser Hinsicht nur eingeschränkt verwendbar, da verbrauchsbestimmende Einflussfaktoren, die mit der Auswahl von Fahrprofilen sowie mit der Art und Weise des Betriebs von Nebenverbrauchern zusammenhängen, meist nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Dieses Buch befasst sich mit der Bestimmung von Verbrauchsreduktionspotentialen für Pkw mit Verbrennungsmotor, Parallelhybrid-Pkw sowie für Elektro-Pkw mit Brennstoffzellen und mit Batterie. Maßgeblich für die Entwicklung einer dazu eingesetzten Simulationsumgebung waren einheitliche Vorgehensweisen bei der Gestaltung und Parametrierung der dynamischen Simulationsmodelle, der Fahrzyklusauswahl sowie der Vorgabe von elektrischen und thermischen Lastprofilen. Die Anwendung dieser Simulationsumgebung hat gezeigt, dass konzeptspezifische Verbrauchsunterschiede für eine große Breite an Nutzungsprofilen von Pkw bei vertretbarem Zeitaufwand für die Bearbeitung aufgezeigt werden können. Eine verbesserte Bewertung des Verbrauchsverhaltens von Pkw ist anhand der nun zur Verfügung stehenden Ergebnisse möglich.

Autor:
Thomas Grube studierte an der Fachhochschule Aachen Maschinenbau in der Studienrichtung Energie- und Umweltschutztechnik und an der Rheinischen Fachhochschule Köln Wirtschaftsingenieurwesen. Seit 1998 beschäftigt er sich am Institut für Energie- und Klimaforschung – Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) mit der technischen und wirtschaftlichen Bewertung von Energiesystemen. Besondere Schwerpunkte seiner Arbeit sind die simulationsgestützte Kraftstoffverbrauchsanalyse von Pkw-Antrieben und die Bilanzierung von Prozessketten der Kraftstoffversorgung. Der Inhalt dieses Buches wurde von der Technischen Universität Berlin als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigt.

Institut:
Die Forschungsaufgaben des Instituts für Energie- und Klimaforschung – Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3) sind auf die Realisierung von Hoch- und Niedertemperaturbrennstoffzellen sowie von entsprechenden Stacks oder Systemen für stationäre oder mobile Anwendungen ausgerichtet. Ferner umfassen die verfahrens- und systemtechnischen Entwicklungen die Bereitstellung von Apparaten zur Brenngaserzeugung. Darüber hinaus zielt das IEK-3 auf die Bereitstellung von Anlagen zur großtechnischen Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyseuren mit Polymerelektrolytmembranen. Für eine tiefgehende Aufklärung von Strukturen und deren Wirkung sowie von energetischen Prozessketten werden die Arbeiten von physikalisch-chemischen Grundlagenuntersuchungen sowie systemanalytischen Studien der Energieverfahrenstechnik begleitet.

Energie & Umwelt / Energy & Environment
Band / Volume 216
ISBN 978-3-89336-961-4

JÜLICH
FORSCHUNGSZENTRUM