

# **Vorausschauende Kühlsystemregelung zur Verringerung des Kraftstoffverbrauches**

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik und Wirtschaftsingenieurwesen der  
Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus zur Erlangung des akademischen  
Grades eines Doktor-Ingenieurs genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Dirk Goßlau

geboren am 03. Januar 1970 in Altdöbern.

Vorsitzender:	Prof. Dr.-Ing. H.P. Berg
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. P. Steinberg
Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. U. Seiffert
Tag der mündlichen Prüfung:	14. Juli 2009



Schriftenreihe des Lehrstuhls Fahrzeugtechnik und -antriebe  
der BTU Cottbus

Band 2

**Dirk Goßlau**

**Vorausschauende Kühlsystemregelung zur  
Verringerung des Kraftstoffverbrauches**

Shaker Verlag  
Aachen 2009

**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.: Cottbus, BTU, Diss., 2009

Copyright Shaker Verlag 2009

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-8451-0

ISSN 1868-6710

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## **Vorwort**

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Fahrzeugtechnik und –antriebe (FTA) an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus.

Für die wissenschaftliche Unterstützung, das weit über das Normale reichende persönliche Engagement und als Berichterstatter danke ich ganz besonders Prof. Dr.-Ing. P. Steinberg. Prof. Dr.-Ing. U. Seiffert als Mitberichterstatter danke ich ganz herzlich für seine fachlichen Anregungen, die Vermittlung wertvoller Kontakte und die aufgebrauchte Geduld.

Den Mitarbeitern des Lehrstuhls FTA danke ich für die ständige Einsatzbereitschaft und Unterstützung während der Erstellung dieser Arbeit.

Bei Herrn M. Schreiner und Dr.-Ing. R. Richter von der BMW Group AG bedanke ich mich für die gemeinsamen Forschungsprojekte, die ganz wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Meiner Familie und meinen Freunden gegenüber empfinde ich Dankbarkeit für das Verständnis, ihnen in den zurückliegenden Jahren manche Stunden versagen zu müssen und besonders für die gemeinsam verbrachte Zeit, in der ich Ablenkung und neue Kraft fand.

Tiefen Dank empfinde ich gegenüber meinen Eltern. Sie ermöglichten mir in für sie oft sehr schwierigen Zeiten eine Ausbildung, die mich zur Durchführung dieser Arbeit befähigte. Sie hatten während der gesamten Zeit die Fähigkeit, Verständnis aufzubringen, mir mentalen Rückhalt zu geben und viele alltägliche Probleme abzunehmen. Durch diese wertvollen Gaben hat mir das Schreiben dieser Arbeit viel Freude bereitet.

Meiner lieben Katja ist es zuzuschreiben, daß ich besonders während der Schlußphase dieser Arbeit genug Ruhe und Ausgeglichenheit fand. Ganz besonders danke ich Dir für Deine aufmunternden Worte in schwierigen Phasen, für Dein Verständnis und für die gemeinsame, kraftspendende Zeit.



## **Inhaltsverzeichnis**

Formelzeichen und Abkürzungen .....	V
1 Einleitung.....	1
2 Stand der Technik bei Kühlsystemen .....	2
2.1 Anforderungen an ein ideales Kühlsystem .....	2
2.2 Konventionelle Kühlsysteme für Verbrennungsmotoren.....	2
2.3 Betriebsverhalten konventioneller Kühlsysteme .....	7
2.4 Potentialanalyse Kühlsystem bei betriebswarmem Motor .....	12
3 Kraftstoffverbrauchspotential höherer Bauteiltemperaturen .....	15
3.1 Analyse des stationären Betriebsverhaltens.....	15
3.2 Analyse des dynamischen Betriebsverhaltens .....	26
4 Vorausschauendes Wärmemanagement .....	34
4.1 Grundgedanke.....	34
4.2 Stand der Technik verbrauchsrelevanter, vorausschauender Assistenzsysteme	35
4.3 Relevanzbereiche des vorausschauenden Wärmemanagements.....	38
4.3.1 Versuchsfahrzeuge und Versuchsstrecken .....	38
4.3.2 Betriebspunkthäufigkeiten .....	41
4.4 Typerkennung.....	47
4.4.1 Kenngrößen des Kühlsystemes.....	48
4.4.2 Streckentyperkennung.....	51
4.4.2.1 Klassifikationsmethoden .....	54
4.4.2.2 Randbedingungen zur Klassifikation .....	56
4.4.2.3 Streckentypvariablen .....	58
4.4.2.4 Streckentyp-Erkennungsalgorithmus .....	74
4.4.3 Streckenprofilerkennung.....	87
4.4.4 Fahrertypbestimmung.....	101
5 Reglerkonzept .....	114
6 Prüfstandsergebnisse Reglerkonzept.....	119
6.1 Versuchsauswahl und Prüfstandskonfiguration .....	119
6.1.1 Versuchskonditionierung .....	120
6.1.2 Ergebnisse .....	121
7 Ausblick .....	128
7.1 Kühlsystemregler.....	128

Inhaltsverzeichnis

7.2	Sinnvolle Erweiterungen .....	130
8	Zusammenfassung und Fazit .....	131
9	Anhang .....	134
9.1	Motorenprüfstand .....	134
9.2	Literaturverzeichnis .....	136
	Lebenslauf .....	148

## Formelzeichen und Abkürzungen

lateinisch

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
$\dot{Q}$	W, kW	Wärmestrom
$\dot{m}$	kg $h^{-1}$	Massenstrom
$\ddot{x}$	ms $^{-2}$	Beschleunigung in x-Richtung
a	ms $^{-2}$	Beschleunigung
A	m $^2$	Querspanntfläche, Querschnittsfläche
c		Widerstandsbeiwert
e		Drehmassenzuschlagfaktor
f	Hz	Frequenz
f		Widerstandsbeiwert
F	N	Kraft
g	ms $^{-2}$	Erdbeschleunigung in Mittelpunkts- richtung
H	kJkg $^{-1}$ K $^{-1}$	Gemischheizwert
i		Arbeitsspiele je Umdrehung, Über- setzungsverhältnis
LW	°	Lenkrad-Drehwinkel
m	kg	Masse
M	Nm	Drehmoment
n	min $^{-1}$	Drehzahl
p	bar, mbar	Druck
P	W, kW	Leistung
P	%	Vertrauensbereich
Q	J	Wärme
r	m	Radius
r.H.	%	Relative Luftfeuchtigkeit
s	m, km	Weg
t	s, min, h	Zeit
T	°C, K	Temperatur
v	kmh $^{-1}$	Geschwindigkeit

## Formelzeichen und Abkürzungen

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
V	m <sup>3</sup>	Volumen
Z	N	Zugkraft

## griechisch

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
Σ		Summe
α	°	Winkel
η		Wirkungsgrad
λ		Luftzahl
		Die Gemischzusammensetzung relativ zu stöchiometrischer Mischung
ρ	kgm <sup>-3</sup>	Dichte
ψ	°	Gierwinkel

## Indizes

Formelzeichen	Bedeutung
0	Normzustand
A	Aufwand, Luftaufwand betreffend
A	Achsgetriebe
Bedarf	den Leistungs- oder Zugkraftbedarf betreffend
Beschl.	Beschleunigung
e	effektiver (Wirkungsgrad)
eff.	effektiv
F	Frischgas
Fzg.	Fahrzeug
G	Getriebe
VI	

<b>Formelzeichen</b>	<b>Bedeutung</b>
gefilt.	gefiltert
geliefert	die Lieferleistung oder –zugkraft betreffend
H	Hub
Hochdruck	Hochdruckschleife betreffend
i	innerer (Wirkungsgrad), Zählvariable, Einspritzung
KM	Kühlmittel
Krst.	Kraftstoff
Ladungswechsel	Ladungswechsel betreffend
lin.	linearisiert
Luft	Luftwiderstand
m	mechanischer (Wirkungsgrad)
me	mittlerer effektiver (Druck)
mi	mittlerer indizierter (Druck)
Motor	auf den Motor bezogen
norm	normiert, gesamter Wertebereich der betreffenden Größe wurde auf -1...1 normiert
Pedal	Fahrpedal betreffend
R	Rad- bzw. Rollwiderstand kennzeichnend
Rad	Radwiderstand
Reib	Reibung betreffend
Steig	Steigung
Typ	Variablen betreffend, die bestimmte Typen zum Ausdruck bringen
u	unterer (Gemischheizwert), Verdampfungsenthalpie des enthaltenen Wassers berücksichtigt
v	Geschwindigkeit betreffend
w	in x-Richtung des Fahrzeuges wirkende Komponente des Fahrtwindes
x	in x-Richtung
xs	gleitender Mittelwert über die Dauer von x Sekunden

**Abkürzungen**

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
A	Autobahn
ABE	Allgemeine Betriebserlaubnis
appl.	appliziert
arith.	Arithmetisch, meist Bezeichnung der Mittelwertberechnung
BTU	Brandenburgische Technische Universität
bzgl.	bezüglich
CAN	Controller Area Network, Datenbus
chem.	chemisch
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
d.h.	das heißt
DK	Drosselklappe
dyn.	dynamisch
FEZ	Fahrer Ereignis Zahl
FTA	Fahrzeugtechnik und –antriebe, Lehrstuhl an der BTU Cottbus
ggü.	gegenüber
gl.	gleitend, auf gleitenden Mittelwert bezogen
HC	Kohlenwasserstoffe (unverbrannte)
ind.	indiziert, Zylinderinnendruck
KNN	Künstliches Neuronales Netz
kum.	kumuliert
LKW	Lastkraftwagen
lv	logische Variable (ja/nein)
MABW	momentane Abweichung vom gleitenden Mittelwert
Mot_ aus	Motoraustritt, bezogen auf Kühlmittel
MW	Mittelwert
NEFZ	Neuer Europäischer Fahr Zyklus
Nu	Nusseltzahl
o.a.	oben angegeben
PKW	Personenkraftwagen

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
Pr	Prandtlzahl
PWM	Phasenweiten-Modulation, Drehzahlregelung für Elektromotor
Re	Reynoldszahl
SE	Streckenerkennung
spez.	spezifischer Kraftstoffverbrauch
ST	Steckentyp
TG	Temperaturgefälle
top.	topografisch
Umg.	Umgebung, meist Bezug auf Umgebungstemperatur
VFA	Verbrennungskraftmaschinen und Flugantriebe, Lehrstuhl an der BTU Cottbus
z.B.	zum Beispiel
z.Z.	zur Zeit
Zyl.	Zylinder, Nummerierung nach DIN