Schriftenreihe
des Instituts für
Fahrzeugtechnik
TU Braunschweig

Nr: 67

Dipl.- Inform.
Wassili Haller
2020

Regelbasierte Schaltpunktauslegung

Herausgegeben von:
Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay

Regelbasierte Schaltpunktauslegung

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung der Würde
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

von:	Wassili Haller
aus:	Krasnojarsk

eingereicht am:	23.01.2019
mündliche Prüfung am:	20.11.2019

Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. F. Küçükay
	Prof. Dr.-Ing. Peter Eilts

2020

Schriftenreihe des Instituts für Fahrzeugtechnik
TU Braunschweig

Band 67

Wassili Haller

Regelbasierte Schaltpunktauslegung

Shaker Verlag
Düren 2020

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., 2019

Copyright Shaker Verlag 2020
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7528-1
ISSN 1619-6325

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Braunschweig.

Einen besonderen Dank möchte ich an meinen Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Ferit Küçükay richten. Ich möchte mich bei ihm besonders für das entgegengebrachte Vertrauen sowie die fachliche Betreuung und engagierte Unterstützung bedanken. Seine wertvollen Ratschläge und Hinweise haben diese Arbeit in vielen Aspekten bereichert.

Bei den Mitarbeitern des Instituts möchte ich mich herzlich für die sehr gute Zusammenarbeit und die Unterstützung sowohl durch wertvolle Vorschläge und Informationen in wissenschaftlicher Hinsicht als auch beim Versuchsaufbau in der Werkstatt bedanken. Es war mir stets eine Freude, mit ihnen zu arbeiten.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meinen Eltern und meiner Familie bedanken. Ihre Unterstützung und das Verständnis für meine Arbeit hat in großem Maße zum erfolgreichen Abschluss dieser Dissertation beigetragen.

Braunschweig, Januar 2020
Wassili Haller

Kurzfassung

Durch die ständige Weiterentwicklung und Verbesserung der Technik steigt die Kundenakzeptanz der Automatikgetriebe immer weiter, sodass diese immer größere Marktanteile erobern. Dies liegt allerdings nicht nur an der besseren Mechanik des Getriebes, sondern vielmehr an der elektronischen Getriebesteuerung. Durch die Verwendung von optimierten Schaltstrategien zusammen mit dynamischen Anpassungen an die Fahrsituation und die Fahrerwünsche können die Vorteile von Automatikgetrieben sowohl hinsichtlich des Verbrauchs als auch hinsichtlich Komfort und Dynamik besser ausgenutzt werden. Die steigende Komplexität der Steuersoftware und die Vielfalt von Getriebe-Motor-Kombinationen führen zu einer starken Erhöhung des Getriebeapplikationsaufwands. Die in dieser Arbeit entwickelte Methodik reduziert diesen Aufwand, indem das empirische Wissen der Getriebeapplikateure in einer Datenbank zusammengefasst und zur automatisierten Schaltkennliniengenerierung herangezogen wird.

Diese Arbeit befasst sich zunächst mit den Grundlagen der Längsdynamik, die die mathematische Basis für die weiteren Berechnungen bilden. Den Kernpunkt dieser Arbeit bildet der Regelkatalog, nach dem die Schaltpunkte berechnet werden. An dieser Stelle werden verschiedene Parameter untersucht und diskutiert, die einen Einfluss auf die Lage der Schaltpunkte haben können. Dadurch entsteht eine Methodik zur automatisierten Auslegung der Schaltkennlinien anhand der Regeldatenbank und der Fahrzeugparameter. Die generierten Schaltkennfelder werden anschließend an verschiedenen Fahrzeugen in der Simulation validiert. Außerdem findet eine Bewertung der Ergebnisse in einem Versuchsfahrzeug statt. Als Ergebnis kann gesagt werden, dass die generierten Schaltkennfelder mit dem Serienstand sowohl beim Verbrauch als auch beim Komfort und bei der Dynamik mithalten können. Somit kann diese Methodik die Getriebeapplikateure durch automatisierte Berechnung der Schaltpunkte unterstützen und damit Zeit und Kosten sparen.

Abstract

As a result of the constant development and improvement of technology, customer acceptance of automatic transmissions continues to rise and they are conquering larger market shares. However, this is not only due to the better mechanics of the transmission, but also to the electronic transmission control. By using optimised shift strategies together with dynamic adaptations to the driving situation and the driver's wishes, the advantages of automatic transmissions can be better exploited both in terms of consumption and in terms of comfort and dynamics. The increasing complexity of the control software and the variety of transmission-engine combinations lead to a strong increase in the transmission application effort. The methodology developed in this thesis is intended to reduce this effort by combining the empirical knowledge of the transmission applicators in a database and using it for automated generation of shift characteristic curves.

This work starts with the basics of longitudinal dynamics, which forms the mathematical basis for further calculations. The core of this work is the rule catalogue, according to which the shifting points are calculated. At this point different parameters are examined and discussed, which might have an influence on the position of the shifting points. This results in a methodology for the automated design of the switching characteristics on the basis of the control database and the vehicle parameters. The generated characteristic curves are then validated on different vehicles in the simulation. In addition, the results are evaluated in a test vehicle. As a result, it can be said that the generated characteristic maps can keep up with the production status in terms of consumption, comfort and dynamics. Thus, this methodology can support the transmission applicators by automatically calculating the shift points and thus save time and costs.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung **iii**

Abstract **v**

Formelzeichen und Abkürzungen **ix**

1 Einleitung **1**
1.1 Fragestellung/Zielsetzung 2
1.2 Aufbau der Arbeit 4

2 Grundlagen **7**
2.1 Längsdynamik 7
2.1.1 Fahrwiderstände 8
2.1.2 Leistungsübertragung/-wandlung im Antriebsstrang 10
2.2 Schaltstrategien und Fahrprogramme 13
2.3 Schaltkennlinien und Schaltlogik 15
2.3.1 Statische Schaltkennfelder und Adaptionen 19
2.4 Weitere Einflussparameter 21

3 Auslegung der Schaltkennlinien **37**
3.1 Auslegungsziele und Randbedingungen 37
3.2 Herleitung des Lösungswegs 40
3.2.1 Fahrpedalkennlinie 43
3.2.2 Lastbereiche 50
3.2.3 Kontrollpunkte 53

4 Regeldatensatz **55**
4.1 Regelklassen 55
4.2 Begriffe 56
4.3 Auslegungsreihenfolge 57
4.4 Regeln zu den Schaltpunkthöhen 58

4.5 Regeln zur Neigung der Rückschaltkennlinien 65
4.6 Regeln zu den Hysteresen 66
4.7 Allgemeine Regeln 70
4.8 Regeln zu den Hochschaltungen 77
4.9 Regeln zu den Rückschaltungen 81

5 Praktische Umsetzung 89
5.1 Das Berechnungstool 89
5.2 Das Analysetool 91

6 Validierung und Ergebnisse 97
6.1 Bewertungskriterien 97
6.2 Simulationsmodell 101
6.3 Versuchsfahrzeuge 102
6.4 Ergebnisse 105

7 Zusammenfassung und Ausblick 115

Literaturverzeichnis 119

A Anhang 129
A.1 Technische Daten: BMW 528i 129
A.2 Technische Daten: BMW 335i 130
A.3 Technische Daten: BMW M3 131
A.4 Technische Daten: Jeep Cherokee 132
A.5 Technische Daten: VW Passat 133
A.6 Technische Daten: VW Amarok 134
A.7 Dreidimensionales Motorkennfeld für ein Mittelklassefahrzeug . . . 135
A.8 Ein anhand der 3F-Methodik erstellter Fahrzyklus 136
A.9 Beispiel eines Geschwindigkeitsprofils einer realen Fahrt 137

Formelzeichen und Abkürzungen

AGS Adaptive Getriebesteuerung

ALG Allgemeine Regel (Hoch- und Rückschaltungen)

ASG Automatisiertes Getriebe

AT (Wandler-) Automatikgetriebe

CLI Command Line Interface

DCT Doppelkupplungsgetriebe

EFW ebene Fahrwiderstandslinie

FP Fahrpedal/Gaspedal

FTP-75 Federal Test Procedure aus dem Jahr 1975

G Grundregel (alle Lastbereiche)

GUI Graphical User Interface

HS Hochschaltung, wobei $\mathrm{HS_{ij}}$ eine Hochschaltung vom Gang i nach Gang j ist, wo $i = j - 1$ ist

$HS_HS_HYSTERESE$ minimaler horizontaler Abstand zwischen den Hochschaltkennlinien

$HS_RS_HYSTERESE$ minimaler horizontaler Abstand zwischen einer Hoch- und Rückschaltung ($\mathrm{HS_{ij}}$ und $\mathrm{RS_{ji}}$, wo $j = i + 1$ ist)

$HS_RS_HYSTERESE_FP$ minimaler vertikaler Abstand zwischen den Hoch- und Rückschaltkennlinien

KD Kickdownbereich

LL Leerlastbereich

MT mittlerer Teillastbereich

MT_O mittlerer Teillastbereich oben

MT_U mittlerer Teillastbereich unten

$N_MOT_MAX_HYSTERESE$ minimaler Abstand zu der max. Motordrehzahl

$N_MOT_MIN_HYSTERESE$ minimaler Abstand zu der min. Motordrehzahl

$NEFZ$ Neuer Europäischer Fahrzyklus

OEM Original Equipment Manufacturer

OT oberer Teillastbereich

MT_M mittlerer Teillastbereich mittig

OT_O oberer Teillastbereich oben

OT_U oberer Teillastbereich unten

RS Rückschaltung, wobei $\mathrm{RS_{ji}}$ eine Rückschaltung vom Gang j nach Gang i ist, wo $j = i + 1$ ist

$RS_RS_HYSTERESE$ minimaler horizontaler Abstand zwischen den Rückschaltkennlinien

UT unterer Teillastbereich

VKM Verbrennungskraftmaschine

VL Volllastbereich

$WLTP$ Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure

ε befahrene Steigung

λ Drehmassenzuschlagsfaktor

A Querspannfläche

c_w	Luftwiderstandsbeiwert in Längsrichtung
c_x	Luftwiderstandsbeiwert
F_B	Beschleunigungswiderstand
F_L	Luftwiderstand
F_R	Radwiderstand
f_{Roll}	Rollwiderstandsbeiwert (vereinfacht)
$f_{Roll}(v)$	Rollwiderstandsbeiwert
F_{St}	Steigungswiderstand
v_F	Fahrzeuglängsgeschwindigkeit
v_r	resultierenden Luftanströmgeschwindigkeit
v_W	Längskomponente der Windgeschwindigkeit
Z	Zugkraft/Zugkraftbedarf