

Audi
Dissertationsreihe



Martin Rosenberger

Regelung radnaher elektrischer Einzel- radantriebe während der ABS-Bremsung



Audi-Dissertationsreihe, Band 89





Technische Universität München

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Regelung radnaher elektrischer Einzelradantriebe während der ABS-Bremmung

Martin Rosenberger

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael W. Gee

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lohmann

Die Dissertation wurde am 24.06.2013 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen
am 11.11.2013 angenommen



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.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2014

Zugl.: (TU) München, Univ., Diss., 2013

978-3-95404-655-3

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2014

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2014

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

978-3-95404-655-3



Für Dorothea Gatt



VORWORT

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsprojekts der Technischen Universität München in Zusammenarbeit mit der AUDI AG. Die Finanzierung des Projekts sowie die Bereitstellung der Versuchseinrichtungen erfolgten durch die AUDI AG.

Mein Dank gebührt besonders Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernd Heißing, der dieses Projekt Ende 2009 ins Leben gerufen und damit die Voraussetzung für diese Arbeit geschaffen hat. In gleicher Weise möchte ich auch Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp danken, der nach der Übernahme der Lehrstuhlleitung das Projekt in vollem Maße weiter unterstützt und gefördert hat. Weiterhin gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lohmann für die Übernahme des Zweitgutachtens und Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael W. Gee für die Übernahme des Vorsitzes.

Die Anfertigung dieser Arbeit wäre jedoch ohne die umfassende fachliche und organisatorische Unterstützung durch die AUDI AG nicht möglich gewesen. Hier gilt mein Dank in erster Linie Herrn Peter Kunsch, Leiter der Abteilung *Vorentwicklung und Innovationen Fahrwerk*, Herrn Dr.-Ing. Karl-Heinz Meitinger und Herrn Dr.-Ing. Tilo Koch, die mir in diesem Projekt den größtmöglichen Handlungsspielraum eingeräumt und mir dennoch bei Fragen und Problemen jederzeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben. Während meiner Tätigkeit bei der AUDI AG habe ich auch über Abteilungs- und Bereichsgrenzen hinweg große Unterstützung erfahren. Besonders bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei Kai Volkmar, Werner Scharinger und Harald Wilhelm für die anregenden fachlichen Diskussionen sowie bei Christian Westermaier und Werner Sutor, ohne deren Unterstützung der Aufbau des Versuchsfahrzeugs nicht möglich gewesen wäre.

Ebenfalls unverzichtbar für das Gelingen dieses Projekts waren die beteiligten Entwicklungspartner, allen voran die Bosch Engineering GmbH, die Hofer AG, die GAIA Akkumulatorenwerke GmbH und die FES GmbH. Da die Aufzählung aller beteiligten Mitarbeiter den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, hoffe ich, dass sie sich auch ohne explizite Nennung hier wiederfinden. Ohne ihre Kreativität bei der Lösung der diversen und oftmals unkonventionellen Problemstellungen und ohne ihre Bereitschaft, unbürokratisch und nicht selten kurzfristig zu Hilfe zu eilen, wäre der Aufbau des Versuchsfahrzeugs vermutlich schon nach den ersten Vorüberlegungen beendet worden.

Ein besonderer Dank gilt auch Florian Kohlhuber, der mir durch anregende und kritische Diskussionen eine wertvolle Hilfe bei der Anfertigung dieser Arbeit war.

Der größte Dank gilt jedoch meiner Familie und meiner Freundin Christine, die mir geholfen haben, während der Hochs und Tiefs der vergangenen Jahre den Blick für das Wesentliche – auch und vor allem jenseits der Doktorarbeit – nicht zu verlieren.



STUDIENARBEITEN

Besonderer Dank gebührt den Studenten, die im Rahmen ihrer Diplom-, Master- oder Bachelorarbeit einen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

STEFAN BOHMANN

Beobachtung von Systemzuständen im Antriebsstrang von Elektrostraßenfahrzeugen

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp, TU München, 2012

MICHAEL GELTINGER

Entwicklung und Vergleich von ABS-Algorithmen für den Einsatz in Hybrid- und Elektrofahrzeugen

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp, TU München, 2011

ANDREAS HÄUFLÖCKNER

Erstellung von E-Maschinen-Modellen für hochdynamische Anforderungen

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartkopf, TU Darmstadt, 2011

MAX-JOSEF KELL

Integration der Antriebsaggregate in die ABS-Regelung bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp, TU München, 2010

MICHAEL KIRSCHNECK

Optimale Regelung überaktuierter Systeme am Beispiel der Bremsenregelung von Elektrostraßenfahrzeugen

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp, TU München, 2011

PHILIPP KOPPOLD

Analyse von ABS-Regelgüte und Bremsweg in der Gesamtfahrzeugsimulation

Betreut durch Prof. Dr. rer. nat. Frank Gauterin, KIT, 2012

FRIEDER SCHINDELE

Bremsenregelung mit hydraulischer Reibungsbremse und elektrischem Einzelradantrieb

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Bo Yuan, Hochschule München, 2012

RICHARD ANTON UHLIG

Antriebsregelung von Elektrofahrzeugen während des Bremsvorgangs

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp, TU München, 2011

JINGLEI WU

Entwicklung von „Control Allocation“ Methoden für die ABS-Regelung von Elektrostraßenfahrzeugen

Betreut durch Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp, TU München, 2011



INHALTSVERZEICHNIS

NOTATION	VII
Lateinische Symbole	VII
Griechische Symbole	IX
Indizes	X
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XI
1 EINLEITUNG	1
1.1 Motivation	1
1.1.1 Ausgangssituation	1
1.1.2 Wechselwirkungen zwischen ABS und Rekuperation	3
1.1.3 Wechselwirkungen zwischen ABS und Antriebstopologie	5
1.2 Stand der Technik	6
1.2.1 Dynamik des rollenden Rads	6
1.2.2 Grundlagen des ABS	6
1.2.3 Entwicklungsgeschichte des ABS	7
1.2.4 Die ABS-Logik nach Burckhardt	8
1.2.5 Der kontinuierliche ABS-Regler als Bestandteil der Fahrdynamikregelung	8
1.2.6 Weitere ABS-Algorithmen	9
1.2.7 Dynamik hydraulischer Antiblockiersysteme	10
1.2.8 Einbindung elektrischer Antriebe in die ABS-Regelung	11
1.3 Zielsetzung der Arbeit	13
1.3.1 Kombinierte ABS-Regelung mit zwei Akteuren	13
1.3.2 Dämpfung von Antriebsstrangschwingungen während der ABS-Regelung	15
1.3.3 Umfang der Arbeit	16
2 ENTWICKLUNGSUMGEBUNG UND METHODIK	17
2.1 Bestandteile der Entwicklungsumgebung	17
2.1.1 Übersicht	17
2.1.2 SiL-Umgebung	18
2.1.3 Grafische Programmierung	18
2.1.4 Umsetzung im Versuchsfahrzeug	19
2.2 Aufbau der Arbeit	19
2.3 Versuchsfahrzeug	21
2.3.1 Basisfahrzeug und ESP	21
2.3.2 Elektrischer Antrieb an der Hinterachse	22
2.3.3 Sensoren und Messtechnik	24
2.3.4 Vernetzungsarchitektur	26
2.4 Simulationsmodell	28
2.4.1 Grundlagen	28



2.4.2	Fahrwerk.....	29
2.4.3	Reifen und Fahrbahn	31
2.4.4	Verbrennungsmotorischer Antriebsstrang	33
2.4.5	Antriebsstrang an der Hinterachse	34
2.4.6	Karosserie	35
2.4.7	Bremssystem und ESP	36
2.4.8	Simulation einer ABS-Bremmung	37
3	MODELLBILDUNG UND LINEARISIERUNG DES ANTRIEBSSTRANGS	40
3.1	Grundlagen	40
3.1.1	Stand der Technik.....	40
3.1.2	Aufbau des Antriebsstrangs	40
3.1.3	Diskrete Beschreibung mechanischer Systeme	41
3.1.4	Vereinfachungen	42
3.2	Übertragungsverhalten der E-Maschine	42
3.3	Planetengetriebe und Lagerung	44
3.3.1	Grundlagen.....	44
3.3.2	Instationäre Bewegungsgleichungen des Planetengetriebes	45
3.3.3	Modellierung der Statorlagerung.....	46
3.4	Seitenwelle und Trägheitsmomente auf der Radseite.....	47
3.4.1	Steifigkeit und Materialdämpfung der Seitenwelle	47
3.4.2	Trägheitsmomente auf der Radseite.....	47
3.5	Reifen.....	48
3.5.1	Modellierung des rotatorischen Reifengürtelfreiheitsgrads	48
3.5.2	Modellierung des Reifen-Fahrbahn-Kontakts	48
3.6	Gesamtfahrzeugbewegung	52
3.7	Zustandsraumdarstellung des Antriebsstrangs.....	53
4	ANALYSE DES ANTRIEBSSTRANGS	55
4.1	Vorgehen	55
4.2	Fahrzeugmessungen.....	56
4.2.1	ABS-Bremmung.....	56
4.2.2	Sprungantwort	58
4.2.3	Interpretation.....	59
4.3	Simulative Untersuchungen	59
4.3.1	ABS-Bremmung.....	59
4.3.2	Sprungantwort	61
4.3.3	Interpretation.....	61
4.3.4	Amplitudenverstärkung bei harmonischer Anregung.....	62
4.3.5	Klassifizierung der Schwingungsphänomene	65
4.4	Analyse des linearisierten Systems	65
4.4.1	Dämpfung des Reifen-Fahrbahn-Kontakts in den Arbeitspunkten.....	65
4.4.2	Amplitudenverstärkung bei harmonischer Anregung.....	66
4.4.3	Interpretation und Festlegung des ABS-Arbeitspunkts	67



5	REGLERENTWURF	70
5.1	Stand der Technik	70
5.2	Zustandsrückführung zur Schwingungsdämpfung	71
5.2.1	Zielsetzung.....	71
5.2.2	Berücksichtigung der Statorbewegung auf dem Sensorsignal.....	72
5.2.3	Wahl der Rückführparameter	73
5.3	Erweiterung um einen zusätzlichen Stellgrößeneingang	75
5.3.1	Zielsetzung.....	75
5.3.2	Erweitertes Zustandsraummodell und Regelgesetz	76
5.4	Modellgestützte Führungsgrößenaufschaltung	77
5.4.1	Zielsetzung.....	77
5.4.2	Umsetzung.....	78
5.5	Synthese	80
5.5.1	Struktur.....	80
5.5.2	Darstellung als dynamische Zustandsrückführung	81
5.5.3	Zustandsraumdarstellung.....	83
5.5.4	Bodediagramm des geschlossenen Kreises.....	84
5.5.5	Sprungantwort des geschlossenen Kreises	85
5.5.6	Robustheit und Stabilität.....	87
6	CONTROL ALLOCATION	89
6.1	Grundlagen und Stand der Technik.....	89
6.2	Control Allocation und ABS-Regelung	91
6.3	Entwurf eines regelbasierten Control Allocator.....	92
6.4	Funktion zur Anpassung des Rekuperationsniveaus	93
6.5	Bremmung in den Stillstand	95
7	VALIDIERUNG IM FAHRVERSUCH	96
7.1	Implementierung.....	96
7.1.1	Zeitdiskrete Umsetzung des Reglers	96
7.1.2	Interrupt-gesteuerte Ausführung des Reglers	98
7.2	Sprunganregung	99
7.3	ABS-Bremmung ohne Control Allocation.....	101
7.3.1	Vorgehen	101
7.3.2	Stochastische Ausprägung der Antriebsstrangschwingungen	102
7.3.3	Bremmung auf trockenem Asphalt.....	103
7.3.4	Bremmung auf nassem Asphalt	107
7.3.5	Wechselwirkung zwischen ABS-Regelung und Antriebsstrangschwingungen	111
7.4	Schwingungsdämpfung mit Control Allocation	113
7.4.1	Manöverablauf	113
7.4.2	Raddrehzahlverlauf	113
7.4.3	Aufteilung des Bremsmoments durch den Control Allocator	114
7.4.4	Überlagerte Schwingungsdämpfung.....	115



8	DISKUSSION UND AUSBLICK	117
8.1	Bremsweg, Bremsstabilität und Reproduzierbarkeit	117
8.2	Optimierung der ABS-Regelung.....	118
8.3	Energiebilanz der Schwingungsdämpfung	118
8.4	Grenzgeschwindigkeit der Schwingungsdämpfung	119
8.5	Auslegung des Control Allocator bei steifen Antriebssträngen	119
8.6	Ausblick.....	120
8.6.1	Anwendung des Control Allocator auf andere Fahrdynamik-Regelssysteme ...	120
8.6.2	Anwendung der Schwingungsdämpfung auf Antriebsrucken und ASR	121
8.6.3	Seriennahe Vernetzungsarchitektur	121
9	ZUSAMMENFASSUNG	123
	ANHANG	I
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	XIX
	TABELLENVERZEICHNIS	XXI
	LITERATURVERZEICHNIS.....	XXII
	VORVERÖFFENTLICHUNGEN.....	XXVIII



NOTATION

Lateinische Symbole

Variable	Einheit	Beschreibung
a_i	<i>variabel</i>	Element der Dynamikmatrix
A	<i>variabel</i>	Dynamikmatrix (auch: Systemmatrix)
\tilde{A}	<i>variabel</i>	erweiterte Dynamikmatrix
B	<i>variabel</i>	Eingangsmatrix
\tilde{B}	<i>variabel</i>	erweiterte Eingangsmatrix
B_{PG}	$1/(\text{kgm}^2)$	Abbildungsmatrix der Planetengetriebe-Gleichungen
c	Nm/rad	Torsionssteifigkeit
c_x / c_z	N/m	Translationssteifigkeit
C	<i>variabel</i>	Ausgangsmatrix (auch: Messmatrix)
\tilde{C}	<i>variabel</i>	erweiterte Ausgangsmatrix
d	Nms/rad	Torsionsdämpfung
$d_{\text{RFK},i}$	Nms/rad	Torsionsdämpfung des Reifen-Fahrbahn-Kontakts am Arbeitspunkt i
d_x / d_z	Ns/m	Translationsdämpfung
D	-	Dämpfungsgrad
f	Hz	Frequenz
F	N	Kraft
g	m/s^2	Erdbeschleunigung ($9,81 \text{ m/s}^2$)
\underline{g}	<i>variabel</i>	Effektivitätsfunktion der Control Allocation
G	<i>variabel</i>	Übertragungsfunktion
h	m	Höhe des Fahrzeug-Schwerpunkts
i	-	Getriebeübersetzung
i_{1s}	-	Getriebeübersetzung von Sonnenrad auf Steg
I	A	Strom
k	-	aktueller Zeitschritt
K	<i>variabel</i>	Verstärkungsfaktor
l	m	Radstand des Fahrzeugs
l_h	m	Abstand zwischen Fahrzeugschwerpunkt und Hinterachse
l_v	m	Abstand zwischen Fahrzeugschwerpunkt und Vorderachse



L	H	Induktivität
L	m	Pendellänge
m	kg	Masse
M	Nm	Drehmoment
M	H	Gegeninduktivität Rotor-Stator
$M_{B, Rad, soll}$	Nm	gesamtes Bremsmoment
M_{EM}	Nm	Abtriebsdrehmoment der elektrischen Maschine (inkl. Getriebeübersetzung)
$M_{EM, LS}$	Nm	elektro-mechanisches Drehmoment der elektrischen Maschine (Luftspalmmoment)
M_{Reku}	Nm	Rekuperationsniveau
n_k	-	Fenstergröße (Anzahl der Zeitschritte)
r	m	Radius
r_{dyn}	m	dynamischer Abrollradius des Reifens
R	Ω	Widerstand
R	<i>variabel</i>	Rückführmatrix
s	m	Spurweite des Fahrzeugs
s	1/s	Laplace-Variable
T	s	Zeitkonstante
U	V	Spannung
\underline{u}	<i>variabel</i>	Eingangsvektor
$\tilde{\underline{u}}$	<i>variabel</i>	erweiterter Eingangsvektor
u_i	<i>variabel</i>	Element des Eingangsvektors
v	m/s	translatorische Geschwindigkeit
\underline{v}	<i>variabel</i>	Vektor der virtuellen Systemeingänge
v	<i>variabel</i>	virtueller Systemeingang (skalar)
w	<i>variabel</i>	Führungsgröße
\underline{x}	<i>variabel</i>	Zustandsvektor
$\tilde{\underline{x}}$	<i>variabel</i>	erweiterter Zustandsvektor
x_i	<i>variabel</i>	Element des Zustandsvektors
\underline{y}	<i>variabel</i>	Ausgangsvektor
y	<i>variabel</i>	Systemausgang (skalar)
\tilde{y}	<i>variabel</i>	erweiterter Systemausgang (skalar)
z	-	Zähnezahl
Z_p	-	Polpaarzahl



Griechische Symbole

Variable	Einheit	Beschreibung
α	rad	Winkel
β	-	Skalierungsfaktor des Control Allocator
γ	-	Parameter der Stillstandsfunktion
$\delta_{\text{RFK},i}$	Ns/m	translatorische Dämpfung des Reifen-Fahrbahn-Kontakts am Arbeitspunkt i
Δ	<i>variabel</i>	Abweichung
$\Delta\omega$	rad/s	Differenzwinkelgeschwindigkeit (speziell: zwischen Steg und Felge)
$\Delta\omega_{\text{rel}}$	rad/s	relative Differenzwinkelgeschwindigkeit (speziell: zwischen Steg und Felge)
ε	rad	Schrägfederungswinkel
ζ	-	Dämpfungsgrad (eines Systempols)
θ	rad	Nickwinkel der Karosserie / Drehwinkel um y-Achse
Θ	kgm ²	Rotationsträgheitsmoment (bezogen auf den Schwerpunkt)
κ	-	Längsschlupfsteifigkeit
λ	-	Längsschlupf (auch: Umfangsschlupf)
λ_{B}	-	Bremsschlupf (negativer Längsschlupf)
μ	-	Längskraftbeiwert (auch: Umfangskraftbeiwert)
σ	-	Blondelscher Streukoeffizient
ϕ	rad	Wankwinkel der Karosserie / Drehwinkel um x-Achse
ψ	Wb	magnetischer Fluss
ω	rad/s	Winkelgeschwindigkeit (auch: Drehgeschwindigkeit)
$\hat{\omega}_{\text{Rad}}$	rad/s	modifizierte Raddrehzahl für Stillstands-Funktion
$\omega_{\text{Rad},0}$	rad/s	freirollende Drehgeschwindigkeit eines Rads
Ω	rad/s	Drehgeschwindigkeit des Bezugssystems (bei FOC)



Indizes

Index	Beschreibung
...1	Statorgröße (bei FOC) / Sonnenrad (bei Getrieben)
...2	Rotorgröße (bei FOC) / Hohlrاد (bei Getrieben)
...A	A-Achse (bei FOC)
...B	B-Achse (bei FOC)
...Diff	auf das Differential bezogen
...dyn	dynamisch
...FD	Feder-Dämpfer Anteil (kombiniert)
...Fel	auf die Felge bezogen
...GA	auf den Getriebeausgang bezogen
...GE	auf den Getriebeeingang bezogen
...ges	gesamt
...h	hinten
...j	Index
...K	auf das K-System bezogen (bei FOC)
...l	links
...LS	auf den Luftspalt (der E-Maschine) bezogen
...max	maximaler Wert
...min	minimaler Wert
...nenn	Nennwert
...opt	optimaler Wert
...r	rechts
...red	reduziert
...rel	Relativwert
...soll	Sollwert
...SP	auf den Schwerpunkt bezogen
...Steg	auf den Steg (des Planetengetriebes) bezogen
...v	vorne
...w	auf die Führungsgröße bezogen
...x	in x-Richtung (Fahrzeuglängsrichtung)
...z	in z-Richtung (Fahrzeughochrichtung)
...Z	Zielwert
...ZR	Zahnrad



ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ABS.....	<u>A</u> ntib <u>l</u> ockiersystem
AC	Niederdruckspeicher im ESP-Hydroaggregat
ASM	<u>A</u> synchro <u>n</u> maschine
ASR.....	<u>A</u> ntriebs <u>s</u> chlup <u>f</u> regelung
AV	<u>A</u> uslass <u>v</u> entil im ESP-Hydroaggregat
BMS	<u>B</u> atteri <u>m</u> anagementsystem
CAN	<u>C</u> ontroller <u>A</u> rea <u>N</u> etwork
EM.....	<u>e</u> lektrische <u>M</u> aschine (auch: E-Maschine)
ESP	<u>E</u> lektronisches <u>S</u> tabilitäts <u>p</u> rogramm
EV.....	<u>E</u> inlass <u>v</u> entil im ESP-Hydroaggregat
FOC	<u>F</u> ield- <u>O</u> riented <u>C</u> ontrol (Feldorientierte Regelung)
FW.....	<u>F</u> ahr <u>w</u> iderstand
Fzg.....	<u>F</u> ahr <u>z</u> eu <u>g</u>
GPS	<u>G</u> lobal <u>P</u> ositioning <u>S</u> ystem
HA	<u>H</u> inter <u>a</u> chse
HL.....	<u>h</u> inten <u>l</u> inks (auch: hl)
HR	<u>h</u> inten <u>r</u> echts (auch: hr)
HZ.....	<u>H</u> auptbrems <u>z</u> ylinder
LDS.....	<u>L</u> eistungsdichtespektrum
LE	<u>L</u> eistungselektronik
LVDS.....	<u>L</u> ow <u>V</u> oltage <u>D</u> ifferential <u>S</u> ignalling
MABX.....	<u>M</u> icro <u>A</u> uto <u>b</u> ox
MSR	<u>M</u> otors <u>s</u> chleppmomenten <u>r</u> egelung
PID	<u>P</u> roportional- <u>I</u> ntegral- <u>D</u> ifferential
PG	<u>P</u> lanetengetriebe
PKW	<u>P</u> ersonen <u>k</u> raft <u>w</u> agen
PWM.....	<u>P</u> uls <u>w</u> eiten <u>m</u> odulation
RFK.....	<u>R</u> eifen- <u>F</u> ahrbahn- <u>K</u> ontakt
RG	<u>R</u> eifengürtel
RSW	<u>R</u> eifenseiten <u>w</u> and
RTI.....	<u>R</u> eal <u>T</u> ime <u>I</u> nterface
RZ.....	<u>R</u> ad <u>z</u> ylinder
SiL	<u>S</u> oftware <u>i</u> n the <u>L</u> oop
VA	<u>V</u> order <u>a</u> chse
VF.....	<u>V</u> or <u>f</u> ilter
VL.....	<u>v</u> orne <u>l</u> inks (auch: vl)
VR	<u>v</u> orne <u>r</u> echts (auch: vr)
VKM	<u>V</u> erbrennungsk <u>r</u> aft <u>m</u> aschine