

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	v
Abstract	vii
Kurzfassung	ix
Inhaltsverzeichnis	xi
Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xix
Abkürzungsverzeichnis	xxi
Symbolverzeichnis	xxiii
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Forschungsfragen und Ziel der Arbeit	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	5
2.1 EOL-Prüfung	5
2.1.1 Aufgaben der EOL-Getriebeprüfung	5
2.1.2 Aufbau eines Prüfsystems	5
2.1.3 Einbindung in die Produktionsinfrastruktur	6
2.2 Automatgetriebe für den Standardantrieb	7
2.2.1 Aufbau	7
2.2.2 Schaltelemente und Schaltungsablauf	8
2.2.3 Getriebehydraulik	11
2.2.4 Getriebesteuergerät	13
2.3 Modellbildung und Simulation	13
2.3.1 Hardware- und Software-in-the-Loop Simulation	13
2.3.2 Detaillierungsstufen der Modelle	14
2.3.3 Fehlermodellierung	16
2.3.4 Reibmodelle	18
2.3.5 Getriebemodelle in der Literatur	20
2.4 Zusammenfassung	21
3 Stand der Technik	23
3.1 HIL/SIL-Simulation in der Fahrzeugtechnik	23
3.2 Anlagensimulation	24

3.3	Virtueller Prüfstand	25
3.4	Zusammenfassung	25
4	EOL-Prüftechnik	27
4.1	Struktur der EOL-Prüftechnik	27
4.2	Absicherung der EOL-Prüftechnik	29
4.3	Abhängigkeit vom Produktentstehungsprozess des Getriebes	30
4.4	Auswahl der bearbeiteten Aufgaben	31
4.5	Realisierung der Simulationsumgebung	32
4.5.1	Simulation SPS	33
4.5.2	Steuergerätesimulation	34
4.6	Zusammenfassung	34
5	Statisches echtzeitfähiges Modell	37
5.1	Modellbildung	37
5.1.1	Modellstruktur	37
5.1.2	Statisches Modell elektrohydraulische Schaltplatte	37
5.1.3	Statisches Modell Getriebemechanik	39
5.1.4	Statisches Modell elektrische Prüfstandsantriebe	40
5.1.5	Validierung	40
5.2	Softwaretest Prüfautomatisierung	42
5.2.1	Auswahl der Tests	42
5.2.2	Umsetzung am virtuellen Prüfstand	42
5.3	Untersuchung Latenz und Jitter im Prüfsystem	47
5.3.1	Einfluss von Latenz und Jitter	47
5.3.2	Analytisches Verfahren	49
5.3.3	Messung	52
5.3.4	Vergleich zwischen Messverfahren und analytischem Verfahren	55
5.3.5	Bedeutung für die Entwicklung von Prüfverfahren und Prüfsystem	55
5.4	Zusammenfassung und Einsatzgrenze des Modells	56
6	Dynamisches echtzeitfähiges Modell	57
6.1	Modellbildung	57
6.1.1	Modellstruktur	57
6.1.2	Hybride Modellierung hydraulischer Kupplungsaktor	58
6.1.3	Robuste Modellierung Reibung in Lamellenkupplung	63
6.2	Test von Prüfprogrammen	71
6.2.1	Validierung Prüfprogramm	72
6.2.2	Dauertest Prüfprogramm	73
6.3	Erfassung streuender Messwerte	74
6.4	Entwicklung von Prüfverfahren	78
6.4.1	Beispiel Überschneidungsschaltung	78
6.4.2	Einfluss des virtuellen Prüfstands	82
6.5	Zusammenfassung und Einsatzgrenze des Modells	83
7	Detailliertes dynamisches Offline-Modell	85
7.1	Modellbildung	85
7.1.1	Nachnutzung physikalisches Modell für Dynamikuntersuchung	85
7.1.2	Ergänzung des physikalischen Modells	86

7.1.3	Modellierung der Grundleckage	88
7.1.4	Validierung	88
7.2	Entwicklung Prüfverfahren zur Leckagemessung	89
7.2.1	Experimenteller Aufbau	90
7.2.2	Betriebsstrategien für die Leckagemessung	90
7.2.3	Simulation mit Variation der Leckage	92
7.2.4	Ableich mit Messdaten	94
7.2.5	Auswahl der geeigneten Betriebsstrategie	96
7.2.6	Temperatureinfluss Leckagesimulation	97
7.2.7	Entwicklung Temperaturkompensation	98
7.2.8	Wiederholgenauigkeit Temperaturkompensation reales Einzelgetriebe	105
7.2.9	Temperaturvariation reales Einzelgetriebe	106
7.2.10	Temperaturverhalten in der Serienprüfung	107
7.2.11	Leckagemessung in der Serienprüfung	107
7.2.12	Einflüsse auf die Reproduzierbarkeit der Leckagemessung	111
7.3	Zusammenfassung und Einsatzgrenze des virtuellen Prüfstands	111
8	Zusammenfassung und Ausblick	113
	Literaturverzeichnis	115
A	Zusätzliche Simulations- und Messergebnisse	125
A.1	Zusatzmessungen Latenz	125
A.2	Validierung echtzeitfähiges Modell	126
A.3	Validierung Arbeitsdruckregler detailliertes dynamisches Offline-Modell	128
A.4	Parametervariation Leckagesimulation mit Blende 8	129
A.5	Temperaturverlauf während der Prüfung	131
B	Technische Daten Volumenstrommessung Leckage	133