

Diplomarbeit

Adaptionen in automatisierten Getrieben

Verfasser

Stefan Lackner

Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik

Technische Universität Graz

Vorstand: o. Univ.-Prof. DI Dr.techn. Gunter Jürgens

In Kooperation mit:



AVL List GmbH – PTE DST

Externer Betreuer:

Dipl. – Ing. (FH) Patrick Schatz

Graz, 8. August 2012

Danksagung

Da die Diplomarbeit als Projekt in der AVL List GmbH durchgeführt wurde, möchte ich mich bei der Abteilung PTE DST, im Speziellen bei unserem Abteilungsleiter Dipl.-Ing. Gerhard Kokalj, für die Möglichkeit bedanken, dass ich meine Arbeit in diesem angenehmen Arbeitsumfeld erstellen durfte. Großes Lob gilt meinem Betreuer Dipl.-Ing. (FH) Patrick Schatz für die sehr gute und tatkräftige Unterstützung während der gesamten Zeit. Des Weiteren möchte ich mich bei den beiden anderen Leadingenieuren, Dipl.-Ing. (FH) Peter Egger und Msc. Peter Savage, sowie allen Abteilungskollegen für die Mithilfe bei meiner Diplomarbeit bedanken.

Auch dem MEEM-Institut der TU Graz, im Besonderen meinem universitären Betreuer o. Univ.-Prof. DI Dr.techn. Gunter Jürgens, möchte ich großen Dank für die Betreuung und Unterstützung beim Erstellen dieser Diplomarbeit aussprechen.

Die Möglichkeit ein unbeschwertes Studium zu absolvieren und die Studienzeit dementsprechend genießen zu können ist keine Selbstverständlichkeit. Daher gilt meine tiefste Dankbarkeit meinen Eltern, die mir diesen Lebensabschnitt ermöglicht haben und mich stets gefördert und unterstützt haben.

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 8. August 2012

.....

(Unterschrift)

Statutory Declaration

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, August 8th, 2012

.....

(signature)

Kurzfassung

Die Ansprüche von Kunden an automatisierte Getriebe bezüglich des Fahrkomforts sind sehr hoch. Dabei spielen Einflüsse wie zugkraftunterbrechungsfreie Schaltungen, die Schaltdynamik allgemein sowie Akustik über die gesamte Lebensdauer des Getriebes eine wichtige Rolle. Aus Gründen der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Steigerung des Fahrgefühls werden immer komplexere Getriebe mit teils steigender Ganganzahl entwickelt. Damit einhergehend erhöht sich die Anzahl der Parameter, welche gesteuert bzw. geregelt werden müssen, um den geforderten Komfort zu garantieren. Um Abweichungen einzelner Parameter von deren vordefinierten Werten zu korrigieren, werden sogenannte Adaptionen eingesetzt. Diese Adaptionen werden implementiert, um interne und externe Störeinflüsse mit großer Zeitkonstante über eine Vorsteuerung zu minimieren.

Ziel dieser Arbeit war die theoretische Erläuterung der Thematik „Adaptionen in automatisierten Getrieben“, die Erstellung einer Sammlung von bereits ausgeführten Routinen und den Trend zukünftiger Adaptionen darzustellen. Die Durchführung der Theorierecherche gestaltete sich aufwendig, da nur wenige Unterlagen über dieses Thema publik sind. Abhilfe schufen etliche Bücher, die diese Thematik im kleinen Bereich aufgreifen. Die Sammlung der Routinen basiert auf AVL-internem Wissen, externen Dokumenten und einer durchgeführten Patentrecherche.

Einleitend werden Notwendigkeit, Arten, Wirkungsweise und Problematik von Adaptionen sowie der Unterschied zwischen Steuerung, Regelung und Adaption erläutert. Zusätzlich werden die Einflussgrößen für das Kupplungsverhalten und die Parameter bzw. Einschränkungen für die Realisierung von Adaptionen beschrieben. Die Einleitung wird abgeschlossen durch die Erläuterung des sog. „Kisspoint“. Dieser stellt eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen für ein gutes Kuppel- bzw. Schaltverhalten dar. Um die Thematik von automatisierten Getrieben aufzugreifen und die Unterschiede bezüglich der Adaptionen dieser darzustellen, werden die vier Grundtypen von automatisierten Getrieben beschrieben.

Hauptteil der Arbeit ist eine Sammlung von Adaptionroutinen, welche allerdings nur einen Auszug aus der Vielzahl von Adaptionen darstellt und einen Überblick über die Möglichkeiten geben soll. Dabei wurden diese nach dem jeweiligen Fahrzustand, wann die Adaption aktiv wird, und den Getriebetypen gegliedert. Des Weiteren wurden die Adaptionen bewertet, um die Vor- und Nachteile der einzelnen aufzuzeigen. Dies soll bei späteren Entwicklungen von Adaptionen oder Getrieben dazu dienen, um entsprechende Adaptionen zu finden und diese direkt zu implementieren oder als Denkanstoß für die Generierung neuer Routinen zu nutzen. Zusätzlich wird die Umsetzung der aus Adaptionen gewonnenen Informationen behandelt, da gewisse Überprüfungen, Berechnungen als auch Bewertungen notwendig sind, um den größtmöglichen Nutzen zu erzielen.

Abschließend wird ein kurzer Ausblick auf die Zukunft der Adaptionentwicklung gegeben. Dabei stehen die Integration von Adaptionen bereits ab Beginn der Entwicklung von Getrieben und die Konzepte zukünftiger automatisierter Getriebe im Vordergrund.

Abstract

The prospects of customers regarding driving comfort of automatic transmissions are very high. Influences like shifting without interruption of traction-force, switching dynamics in general and acoustics are fundamental over the entire life of the transmission. In consideration of ambition to reduce fuel consumption and increasing comfort, more complex gearboxes with an increased number of gears are developed. More gears cause more parameters which have to be controlled or regulated, in order to guarantee the required comfort. Adaptations are used to correct discrepancies between parameters and their predefined values. These adaptations are implemented to minimize internal and external disturbances with large time constant, by using a feed-forward control.

The aim of this work was the theoretical explanation of the topic "adaptations in automated transmissions," creating a collection of routines already carried out and an outlook on future evolution of adaptations. Research on the theory of adaptations was tough, because just a few documents exist about this issue. Several books that cover this topic in a small area were helpful. The collection of routines is based on AVL-internal knowledge, external documents and a patent search.

First of all necessity, type, function and problems of adaptations are explained. In addition the difference between control, regulation and adaptation is defined. Continued by a description of influencing variables for clutch behaviour and parameters / limitations for the realisation of adaptations. The introduction ends with a description of the so-called "Kisspoint". This is one of the most important prerequisites for a good clutch- and shift-behaviour. Further the four basic types of automated transmissions are described, to show the differences of adapting these.

Main part of the thesis is a collection of adaptation routines, which is indeed just an excerpt from all existing routines, but it should provide an overview of the possibilities. Therefore they were arranged by the driving state, when the adaptation is active, and the type of transmission. Further the adaptations were evaluated to show the advantages and disadvantages of each. This can be used for future developments of adaptations or transmissions, to directly use and implement an adaptation or use it as an inspiration for generating new routines. In addition, the implementation of the information obtained from adaptations, because certain tests, calculations and ratings are necessary to obtain the maximum benefit.

Finally a short prospect of the future development of adaptations is given. In this, the integration of adaptations from the beginning of the development of transmissions and concepts of future transmission are the main aspects.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Definition Adaption von Getrieben.....	1
1.2	Notwendigkeit von Adaptionen.....	1
1.3	Unterschied Steuerung – Regelung – Adaption	2
1.4	Arten von Adaptionen	3
1.5	Problematik von Adaptionen	4
1.6	Wirkungsweise von Adaptionen	5
1.7	Schaltablaufsteuerung	5
1.8	Einflussgrößen für das Kupplungsverhalten.....	12
1.9	Parameter bzw. Einschränkungen für die Realisierung von Adaptionen.....	18
1.10	Der Kisspoint	21
2	Arten von automatisierten Getrieben.....	23
2.1	Stufenlosgetriebe (CVT).....	23
2.2	Automatikgetriebe	25
2.3	Doppelkupplungsgetriebe	27
2.4	Automatisierte Schaltgetriebe	29
3	Ausführung verschiedener Adaptionen	31
3.1	Einteilung der Fahrzustände	31
3.2	Adaptionsarten.....	33
3.3	Adaptionen bei Stillstand.....	34
3.3.1	Adaption Kisspoint	36
3.3.2	Adaption Schlupfpunkt	43
3.3.3	Torque	44
3.3.4	Pressure / Current to position	44
3.3.5	Hydraulikdruckadaption	44
3.4	Adaptionen beim Schaltvorgang	45
3.4.1	Adaption Kisspoint	47
3.4.2	Momentenübergabe.....	48
3.4.3	Point of slip	57
3.4.4	Gangeinlegen / Gangauslegen	58
3.4.5	Ausrollschaltung	60

3.4.6	Reibwert bei Drehzahländerung.....	63
3.5	Adaptionen bei Konstantfahrt.....	67
3.5.1	Adaption Kisspoint	69
3.5.2	Adherence-Point	74
3.5.3	Torque to pressure	78
3.5.4	Pressure / Current to position	87
3.5.5	Hydraulikdruckadaption	90
3.5.6	Torque	92
3.6	Adaptionen bei Service / Reparatur	93
3.6.1	Adaptionsfahrt.....	93
3.6.2	Serviceadaption	93
3.7	Adaptionen bei End-of-Line.....	95
3.7.1	Start- / Einlaufadaption	95
3.7.2	Mechatronikabgleich	96
3.7.3	Getriebeprüfstand	97
3.8	Adaptionen beim Anfahrvorgang.....	99
3.9	Adaptionen bei dynamischer Fahrt.....	99
4	Strategien zur Umsetzung von Adaptionswerten.....	100
4.1	Adaptionsfrequenz.....	100
4.2	Mittelwertbildung	100
4.3	Gewichtung von Adaptionen	100
4.4	Limit – Überprüfung	101
4.5	Monotonie – Überprüfung	102
4.6	Glätten der Kupplungskurve.....	103
4.7	Anpassung von Parametern in einem Kennfeld	104
5	Zusammenfassung und Ausblick	105
	Literaturverzeichnis	108
	Abbildungsverzeichnis	111
	Tabellenverzeichnis	113
	Abkürzungsverzeichnis	114
	Anhang	117

1 Einleitung

1.1 Definition Adaption von Getrieben

„Eine Adaption wird implementiert, um interne und externe Störeinflüsse mit großer Zeitkonstante, wie äußere Temperaturänderungen, Produktionsstreuung und Alterungseffekte, über eine Vorsteuerung zu minimieren. Der Begriff der Adaption beschreibt die Anpassung von Systemparametern an die aktuellen Bedingungen, um diese Varianzen auszugleichen und ein gleichbleibendes Systemverhalten sicherzustellen.“¹

„Ausschlaggebend für eine gute und gleichbleibende Schaltqualität ist neben den konstruktiven Gegebenheiten die genaue Steuerung der Schaltelemente. Um die Schaltqualität über die gesamte Lebensdauer des Getriebes auf gleich hohem Niveau zu halten, müssen verschiedene Steuer- und Regelparameter laufend angepasst und die ermittelten Anpassungswerte abgespeichert werden. Diese Anpassungen bzw. diesen Lernprozess bezeichnet man als Adaption.“²

1.2 Notwendigkeit von Adaptionen

Das Getriebesteuergerät steuert / regelt das Kupplungsmoment jeder Kupplung / Bremse sowie andere Aktuatorik wie z.B. Gang- und Gassensteller in einem Getriebe. Diese Betätigung erfolgt mittels elektronischer Hydraulikventile, elektromechanisch oder pneumatisch. Meist steuern Hydraulikventile wiederum hydraulisch aktuierte Ventile an, um eine Verstärkung und die notwendigen Volumenströme zu erreichen. Diese geben den entsprechenden Druck an die zugehörige Kupplung frei, wodurch elektronische Ventile und deren Regelströme möglichst klein gehalten werden können. Für die Ansteuerung ist deshalb ein Mapping von Moment zu Druck notwendig, welches die Kupplungskurve darstellt.

Soweit diese bekannt sind, werden alle physikalischen Abhängigkeiten in einem mathematischen Modell zur Getriebesteuerung berücksichtigt bzw. miteinkalkuliert. Kommt es zu Abweichungen vom Modell durch Größen, welche im Vorhinein nicht bekannt waren oder nicht abgeschätzt werden konnten, muss das Modell mittels Adaptionen korrigiert werden. Dies ist notwendig, um die Funktionsfähigkeit des Getriebes bzw. der Berechnungslogik für sämtliche Steuer- und Regelgrößen über die gesamte Lebensdauer des Getriebes sicherstellen zu können.

¹ FISCHER, R. et al (2012), S. 207 f.

² AUDI Selbststudienprogramm 385 (2008), S. 54.



Abbildung 1.1: Kette gefordertes Moment -> Kupplungsdruck³

In obiger Abbildung ist die Funktionskette dargestellt, welche durchlaufen wird, um von einem geforderten Kupplungsmoment auf den tatsächlichen Ansteuerungsdruck einer Kupplung zu gelangen. Im Schritt „Kupplungskurve“ sind sowohl die Kupplungskurve selbst, Korrekturwerte für Temperatur o.ä. als auch Adaptionenwerte integriert.

Aufgrund von Streuungen an Getriebeteilen (z.B. Fertigungstoleranzen) und deren Veränderung während der Laufzeit, kann es zu Komforteinbußen während des Fahrens kommen. Dies kann in einzelnen Fällen bis zu mechanischen Schäden am Getriebe führen. Um dem entgegenzuwirken, werden vom Getriebesteuergerät unterschiedliche Adaptionen selbstständig durchgeführt. Dabei werden verschiedene Parameter mittels unterschiedlicher Verfahren gemessen, um die vorgesteuerten Werte dieser zu verifizieren. Besteht eine Abweichung, so muss ein Faktor oder Offset im Steuergerät hinterlegt werden, welcher bei künftigen Schalt- / Kuppelvorgängen den entsprechenden Parameter korrigiert. Mittels dieser Korrekturwerte kann sichergestellt werden, dass Abweichungen des Kupplungsmoments vom geforderten minimiert werden.

1.3 Unterschied Steuerung – Regelung – Adaption

Mittels eines Systemmodells und dem gewünschten Verhalten kann der notwendige Verlauf der Eingangssignale berechnet werden. Diese errechneten Eingangssignale wirken auf das System ein und es wird erwartet, dass das Verhalten des wahren physikalischen Systems aufgrund der Qualität des Modells innerhalb der zulässigen Toleranz verläuft. Dies stellt eine klassische Steuerung dar.⁴

Zusätzlich können Ausgangssignale des physikalischen Systems gemessen und mit Führungsgrößen verglichen werden. Durch diesen kontinuierlichen Soll / Ist-Vergleich können Eingangsgrößen berechnet werden, welche zu einem Verhalten innerhalb der zulässigen Toleranzen führen, selbst wenn die anfängliche Berechnung auf einem verhältnismäßig einfachen Modell beruht. Dies stellt eine klassische Regelung dar.⁵

Adaptionen stellen in diesem Zusammenhang eine Erweiterung der Steuerung dar, um ein Fehlverhalten des physikalischen Modells aufgrund von nicht berücksichtigten bzw. nicht berücksichtgbaren Einflüssen zu korrigieren. Dies soll zu einem Verhalten innerhalb der zulässigen Toleranzen führen oder bei Vorhandensein eines Reglers die Aktivität dessen zu reduzieren.

³ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

⁴ Vgl. GEERING, H.P. (2004), S. 6.

⁵ Vgl. GEERING, H.P. (2004), S. 6.

Kommt es bei einer Regelung bereits während des Vorgangs zu einer Korrektur der entsprechenden Parameter, erfolgt dies bei Adaptionen erst beim nächsten Aufruf des Parameters. Diese anhand einer Adaption erhaltenen Werte werden im Getriebesteuergerät hinterlegt und beim erneuten Aufruf des entsprechenden Parameters als Korrekturwert miteinberechnet. Deshalb wirkt eine Adaption langsamer auf das System als ein Regler.

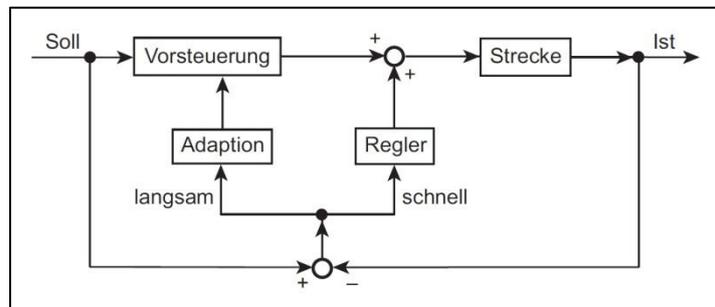


Abbildung 1.2: Regelstrategie mit Adaption zur Vorsteuerung und Regelung⁶

1.4 Arten von Adaptionen

Prinzipiell werden zwei Arten von Adaptionen unterschieden, welche im Folgenden genauer beschrieben werden.

Initiale Adaptionen⁷

Im Herstellungsprozess auftretende Streuungen sollen mit Hilfe dieser Adaptionen ausgeglichen werden.

Als Beispiel soll ein elektromagnetisch betätigtes Druckregelventil dienen:

Aufgrund von nicht vermeidbaren Fertigungstoleranzen ist die Beziehung zwischen angelegtem Strom und resultierendem Druck nur annähernd bekannt. Die Charakteristik für das Ventil weicht von seiner Sollkennlinie leicht ab. Deshalb muss dieses Ventil nach dem Zusammenbau vermessen werden. Dies erfolgt am Ende der Fertigungslinie mittels Beaufschlagung mit Strom und Messung des sich einstellenden Drucks. Diese gewonnene Ventilkennlinie gilt nur für dieses eine Ventil und muss anschließend im Getriebesteuergerät abgespeichert werden.

Nachteil dieser initialen Adaption ist der Zeitaufwand, der für jedes produzierte Bauteil mit individueller Charakteristik notwendig ist. Verbesserung schafft das Vermessen des gesamten Mechatronikmoduls bzw. des gesamten Getriebes auf einem entsprechenden Prüfstand. Optimal wäre die Eingliederung der Adaptions- und Einlernroutinen in die Abläufe der Endabnahme und Funktionsprüfung im Fahrzeug. Des Weiteren müssen diese Routinen auch nach Reparatur bzw. Tausch von Komponenten durchgeführt werden, um die tatsächlichen Werte neu zu ermitteln.

⁶ FISCHER, R. et al (2012), Abb. 5.15, S. 206.

⁷ Vgl. FISCHER, R. et al (2012), S. 208 f.

Adaptionen über Lebensdauer⁸

Umwelt- und Verschleißeinflüsse, welche während der Einsatzdauer eines Getriebes auftreten, sollen mit diesen Adaptionen kompensiert werden. Das Hauptaugenmerk ist dabei auf die Kupplungselemente zu richten. Die Schaltqualität von nass laufenden Kupplungen ist stark von der Qualität des Öls abhängig. Allerdings nimmt diese, unter anderem wegen der Zersetzung von Additiven, Verschmutzung und Wasseraufnahme des Öls, mit der Einsatzdauer ab. Bei trockenen Kupplungen hingegen kommt es zu einer Änderung der Reibwertcharakteristik der Kupplungsbeläge aufgrund des unvermeidbaren Abriebs. Des Weiteren muss die Abnutzung anderer Getriebekomponenten wie z.B. der Synchronisierung ausgeglichen werden.

Als Beispiel soll die Haftpunktermittlung einer Kupplung betrachtet werden:

Für die Schaltqualität ist die Güte der Drehmomentberechnung anhand des eingestellten Kupplungsdrucks von großer Bedeutung. Jedoch ist der Zusammenhang von Druck und Drehmoment über die Einsatzdauer nicht konstant, sondern muss in regelmäßigen Abständen nachgestellt werden. Diese Adaption ist mittels unterschiedlicher Vorgehensweisen in verschiedenen Fahrsituationen möglich. Eine Voraussetzung stellt der geschlossene Zustand der Kupplung dar, sodass kein Schlupf auftritt. Der Kupplungsregler reduziert, zum Beispiel bei Konstantfahrt, den Ansteuerdruck der Kupplung kontinuierlich, bis ein definierter Schlupf auftritt. Dieser Druck entspricht dem zu übertragenden Motormoment bei der aktuellen Temperatur und wird im Getriebesteuergerät abgelegt bzw. die Kupplungskennlinie adaptiert. Aufgrund der langsamen Abnutzung kann es nur zu kleinen Änderungen der Parameter kommen. Deshalb ist die Ermittlung sinnvoller und plausibler Adaptionsabstände sowie fester absoluter Adaptionsgrenzen aus einer Vielzahl von Messungen auf Prüfständen und in Fahrzeugen notwendig.

1.5 Problematik von Adaptionen

Ziel ist dem Lenker eines Fahrzeuges möglichst komfortable Schaltvorgänge über die gesamte Einsatzdauer des Getriebes zu bieten, jedoch sind Schaltungen von einer Vielzahl von Parametern abhängig. Deshalb muss die Kupplungssteuerung für alle möglichen Schaltvorgänge, Betriebspunkte (Last und Drehzahl) sowie in manchen Fällen für verschiedene Temperaturbereiche adaptiert werden. Jedoch kann es dem Fahrer nicht zugemutet werden, spezielle Fahrmanöver für die Durchführung von Adaptionen auszuführen. Deshalb müssen Adaptionsroutinen realisiert werden, welche während des „normalen“ Betriebs eines Fahrzeugs durchgeführt werden können. Aufgrund unterschiedlicher Faktoren wie individueller Fahrstil, Einsatzgebiet des Fahrzeugs und anderen (weitere siehe Kapitel 1.9) kommt es zu unterschiedlichen Fahrzyklen, Lastschaltungen, etc. Trotz all dieser Einschränkungen müssen Routinen entwickelt werden, welche in Situationen aktiv werden die bei jedem Fahrer auftreten, um das Getriebe bzw. die

⁸ Vgl. FISCHER, R. et al (2012), S. 209 f.

Schaltvorgänge adaptieren zu können. Des Weiteren dürfen diese Adaptionsroutinen vom Fahrer und den restlichen Insassen nicht bemerkt oder als nicht störend empfunden werden.

1.6 Wirkungsweise von Adaptionen

Jedes Steuergerät wird mittels Grunddaten appliziert, welche die Funktion des Getriebes sicherstellen. Aufgrund von Streuungen neuer Getriebe und Veränderungen während der Laufzeit, müssen diese Grundparameter korrigiert werden. Dies erfolgt mittels der Adaptionswerte, welche als Korrekturfaktor oder Offset abgespeichert werden. Wie in Abbildung 1.3 dargestellt, wird bei Aufruf eines Parameters dieser mit dem Adaptionswert korrigiert und das entsprechende Ventil mit dem neu berechneten Wert angesteuert. Dabei werden im Regelfall die Grundwerte nicht verändert, sondern diese Korrekturwerte separat abgespeichert. Dies ist von Bedeutung, um bei Bedarf (z.B. nach Getriebeservice oder Reparaturen) die Adaptionswerte rücksetzen zu können.

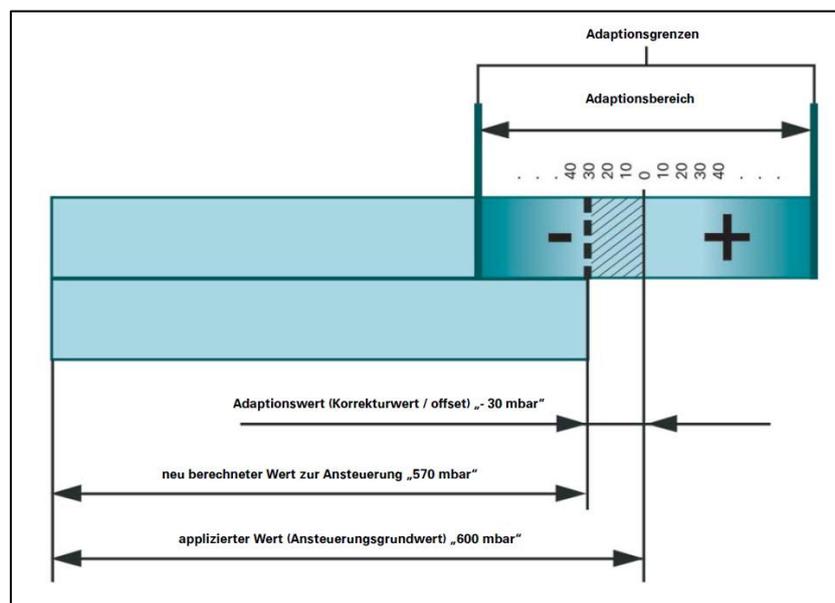


Abbildung 1.3: Wirkprinzip einer Adaption⁹

1.7 Schaltablaufsteuerung¹⁰

Gewöhnliche Hochschaltungen von Automatikgetrieben und Doppelkupplungsgetrieben sind sogenannte Lastschaltungen, d.h. der Fahrer bleibt während der Schaltung auf dem Gas. Mittels Übergabe des Kraftflusses von einem Reibelement (Kupplung oder Bremse, im Folgenden nur noch Kupplung genannt) zum Nächsten, werden die Übersetzungen (Gänge) gewechselt. Aufgrund dieser Überschneidungsschaltungen mit mehreren Reibelementen können Schaltungen ohne Unterbrechung des Kraftflusses realisiert werden.

⁹ AUDI Selbststudienprogramm 385 (2008), Abb. 385_036, S. 54.

¹⁰ Vgl. ISERMANN, R. (2010), S. 290 ff.

Die Betätigung der Reibelemente erfolgt in Normalfall elektromechanisch oder hydraulisch, wobei elektrische Druckregler mittels eines elektrischen Stroms den geforderten hydraulischen Druck freigeben. Diese Umsetzung stellt die Ventilkennlinie dar und wird teilweise durch nachfolgende Kupplungsventile hydraulisch verstärkt, um den entsprechenden Volumenstrom bereitzustellen. Zu Beginn der Betätigung einer Kupplung, müssen zuerst die Leitungen vom hydraulischen Steuergerät bis zum Kolbenraum befüllt und die Kraft der Rückstellfedern überwunden werden (bis zum sog. „Kisspoint“, siehe Kapitel 1.10), bevor anschließend ein Drehmoment übertragen werden kann.

Solange eine Kupplung rutscht, d.h. eine Drehzahldifferenz besteht, lautet der vereinfachte Zusammenhang zwischen angelegtem Druck p und übertragenem Drehmoment M :

$$M = z \cdot \mu \cdot r_m \cdot A \cdot p \quad (1.1)^{11}$$

wobei z die Lamellenzahl, μ der Reibwert, r_m der mittlere Reibradius und A die Fläche des Hydraulikkolbens darstellen.

Zur exakten Berechnung des notwendigen Drucks müssen noch Einflüsse wie Kräfte der Rückstellfedern, Reibung in den Dichtungen, etc. berücksichtigt werden. Diese Einflüsse werden im sog. Strokedruck (p_{stroke} in Abbildung 1.4) berücksichtigt, welcher dem Kisspoint-Druck entspricht.

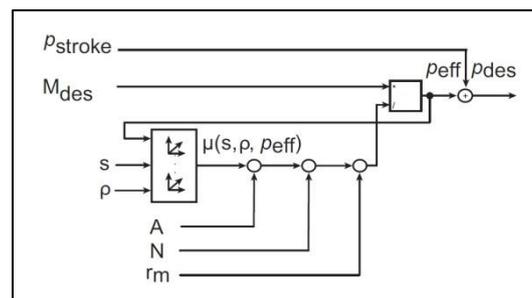


Abbildung 1.4: Berechnungsmodell für Solldruck¹²

Zur Erklärung der grundlegenden Abläufe während einer Lastschaltung soll folgendes Beispiel einer Zug-Hochschaltung dienen (siehe Abbildung 1.5). Zu Beginn wird die zuschaltende Kupplung mittels Schnellfüllung und Füllausgleich vorbereitet. Währenddessen wird der hydraulische Druck der abschaltenden Kupplung p_1 auf das zu übertragende Moment abgesenkt. Anschließend erfolgt die Lastübernahme, d.h. der Wechsel von einer Kupplung zu einer anderen mittels einer Überschneidungsschaltung. Nach dieser erfolgt der eigentliche Gangwechsel, d.h. die Drehzahlangleichung der Getriebeeingangsdrehzahl n_e an den neuen Gang (Rutschphase). Für die Steuerung der Schaltung stehen der elektronischen Getriebesteuerung die Abtriebsdrehzahl n_{ab} , die Eingangsdrehzahl n_e , das Drehmoment des Motors und die Stellung des Fahrpedals als Eingangsgrößen zur Verfügung. Zum Beenden eines Schaltvorgangs wird der Druck p_2 der zuschaltenden Kupplung erhöht, um sicherzustellen, dass kein weiterer Schlupf an dieser auftritt.

¹¹ REIF, K. (2009), Gl. 7.1, S. 193.

¹² FISCHER, R. et al (2012), Abb. 5.22, S. 214.

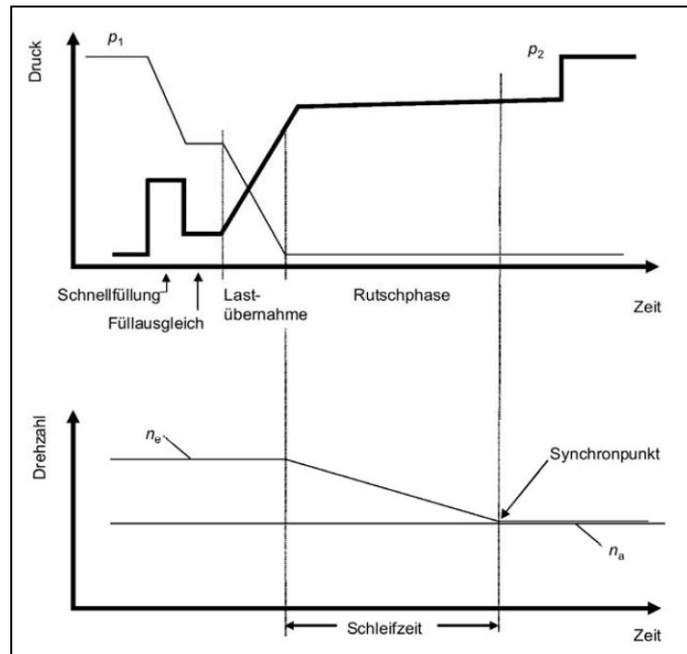


Abbildung 1.5: Grundsätzlicher Verlauf einer Lastschaltung (Zug-Hochschaltung in den direkten Gang)¹³

Für die Kontrolle der Lastschaltung ist der Druck der zuschaltenden Kupplung p_2 eine wichtige Stellgröße. Dieser muss sowohl das Eingangsmoment (Produkt aus Motormoment M_{Mot} und Wandlerverstärkung μ_w) abstützen, als auch das dynamische Moment aufbringen, welches während der Schleifzeit die Drehzahlreduzierung bewirkt. Die kontroversen Anforderungen aus Kupplungsbelastung und Schaltkomfort werden mit Kriterien wie Schleifzeit, Fahrzeuglängsbeschleunigung und Reibarbeit berücksichtigt.

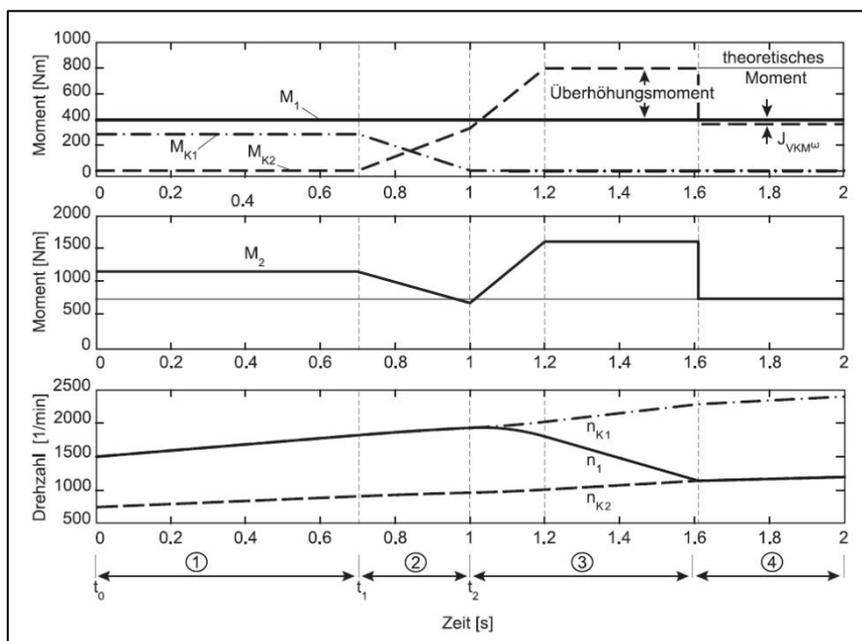


Abbildung 1.6: Hochschaltung ohne Zugkraftunterbrechung, ohne Motormomenteneingriff¹⁴

¹³ ISERMANN, R. (2010), Bild 12-3, S. 292.

¹⁴ FISCHER, R. et al (2012), Abb. 2.2, S. 50.

Zu Beginn der Rutschphase (in Abbildung 1.6 Phase 3) ist die Lastübernahme vollständig abgeschlossen ($p_1=0$, $M_{K1}=0$). Es wird die Annahme getroffen, dass sich die Fahrzeuggeschwindigkeit während der Rutschphase nicht wesentlich ändert, um den Schaltdruck p_2 zu berechnen. Dadurch lässt sich folgende Momentenbilanz aufstellen:

$$J_e \cdot 2\pi \cdot \dot{n}_e = M_e - M_{K1} - M_{K2} \quad (1.2)^{15}$$

Wobei J_e das eingangsseitige Trägheitsmoment, \dot{n}_e die zeitliche Drehzahländerung, M_e das eingangsseitige Drehmoment, M_{K1} das Drehmoment der abschaltenden Kupplung K1 (im Normalfall $M_{K1} = 0$) und M_{K2} das Drehmoment der zuschaltenden Kupplung K2 ist.

Bei $M_e = M_{K2}$ wird die rechte Seite Null und somit ist n_e konstant. Dies tritt genau am Ende der Lastübernahme auf. Bei $M_{K2} > M_e$ wird die rechte Seite negativ, das bedeutet, die Drehzahl fällt ab. Wird angenommen, dass die Drehzahl in der Schleifzeit t_s von $i_1 \cdot n_{ab}$ nach $i_2 \cdot n_{ab}$ näherungsweise konstant abfällt, kann der Schaltdruck p_2 wie folgt errechnet werden:

$$p_2 = \frac{M_{Mot} \cdot \mu_W - J_e \cdot 2\pi \cdot (i_2 - i_1) \cdot \frac{n_{ab}}{t_s}}{z \cdot \mu \cdot r \cdot A} \quad (1.3)^{16}$$

Aus obiger Formel ist ersichtlich, dass in der Schaltdruckberechnung sowohl die Abstützung des Motormoments (linker Term) als auch ein dynamischer Anteil zur Drehzahländerung (rechter Term) berücksichtigt werden muss. Der zweite Term ist definitionsgemäß negativ, was zu einem höheren Druck führt. Somit führt eine Verkürzung der Schaltzeit t_s zu einem größeren Druck. Andererseits kann der Schaltdruck nicht beliebig erhöht werden, da der Maximaldruck durch physikalische und konstruktive Parameter begrenzt wird. Zusätzlich ergibt sich bei zu kurzen Schaltzeiten eine schlechte Schaltqualität und die Kupplung kann durch die erhöhte Reibleistung Hotspots bilden. Allerdings ist die Schaltdauer auch nach oben hin begrenzt, da die zu hohe Schaltarbeit ein Verbrennen der Kupplung bewirken würde. Typische Werte für die Schaltzeit liegen bei 0,5 Sekunden.

Der Druck p_2 ist proportional zum Abtriebsmoment, d.h. er hat direkten Einfluss auf die Schaltqualität. Für den Fahrer macht sich dies in Form einer Momentenüberhöhung bemerkbar. Deshalb muss der Schaltdruck so weit abgestimmt werden, dass weder eine zu lange Schaltung noch ein zu großer Schaltdruck (Momentenüberhöhung) erfolgen.

Obige Gleichung zeigt, dass zwei Zielgrößen mit einer Stellgröße verändert werden sollen, was gewisse Kompromisse notwendig macht. Abhilfe schafft das Nutzen von M_{Mot} als weitere Stellgröße. Mittels einer Momentenreduktion kann der Schaltdruck soweit angepasst werden, dass ein Optimum sowohl für die Schleifzeit als auch für die Schaltqualität erreicht wird (siehe Abbildung 1.7). Mittels Befehl der Getriebesteuerung an die Motorsteuerung, kann kurzzeitig eine Momentenreduktion ausgeführt werden. Bei Benzinmotoren erfolgt dies durch Verstellung des Zündwinkels bzw. der Einspritzmenge und bei Dieselmotoren mittels der Einspritzzeit.

¹⁵ REIF, K. (2009), S. 194.

¹⁶ REIF, K. (2009), Gl. 7.3, S. 195.

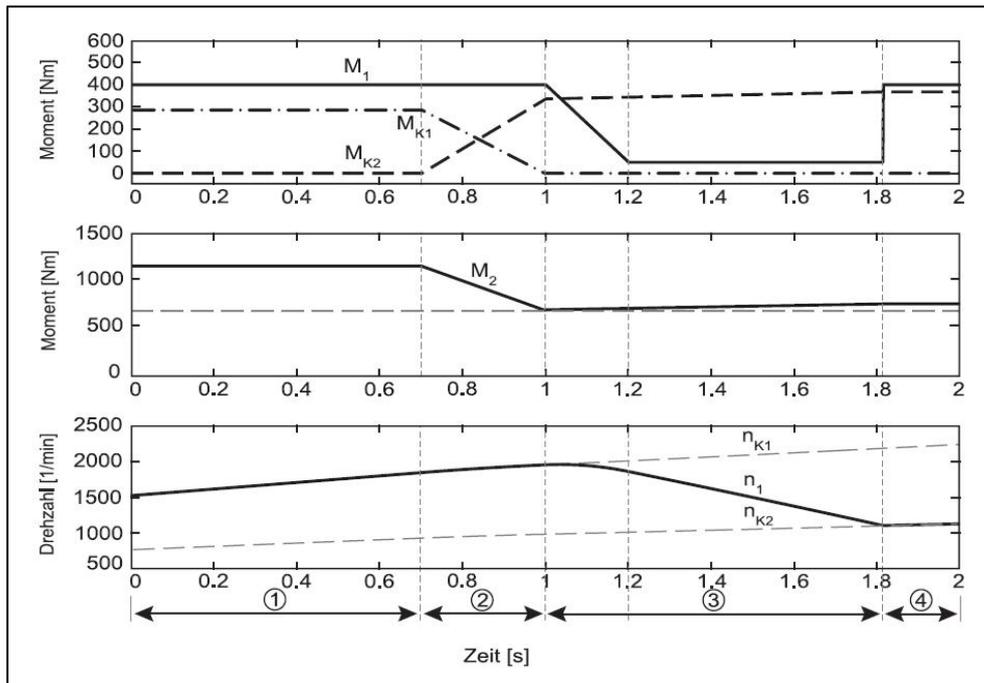


Abbildung 1.7: Hochschaltung ohne Zugkraftunterbrechung, mit Motormomenteneingriff¹⁷

Aus Gleichung 1.3 ist der Schaltdruck für jeden Last- und Drehzahlfall eindeutig berechenbar. Allerdings kommt es durch Ungenauigkeiten bei der Messung von Drehzahlen sowie Änderungen relevanter Größen über die Lebensdauer zu Abweichungen. Einen wichtigen Parameter stellt der Reibwert der Kupplungslamellen dar. Ist dieser höher als angenommen, wird folglich das Kupplungsmoment zu hoch berechnet, was zu einer harten und unkomfortablen Schaltung führt. Im Gegensatz dazu führt ein zu kleiner Reibwert zu einem zu niedrigen Kupplungsmoment, wodurch die Schaltung zu lange wird und die Gefahr besteht, dass die Kupplung verbrennt. Der Reibwert ist von einer Vielzahl von Parametern abhängig, welche unter anderem die Reibpaarung und das Öl (Grundöl + Additive) sind. Über die Einsatzdauer kommen weitere Abweichungen durch Alterung und Verschmutzung zustande. Da diesen Veränderungen nicht reproduzierbar entgegengewirkt werden kann, sind steuerungs- und regelungstechnische Maßnahmen notwendig, um diese Schwankungen auszugleichen. Des Weiteren beeinflussen Abweichungen des Motormoments (z.B. Signalfehler, Einfluss von Nebenverbrauchern, etc.) den Schaltvorgang und damit die Schleifzeit negativ.

Deshalb ist es naheliegend, zusätzlich zu der gesteuerten Schaltdruckbestimmung mittels Gleichung 1.3 eine Regelung einzuführen, um die oben beschriebenen Abweichungen auszugleichen. Falls eine solche Regelung nicht vorhanden ist, besteht die Möglichkeit, die gesteuerten Schaltdrucke mittels Adaptionen zu korrigieren, ohne einen kontinuierlichen Soll-/Ist-Wert Vergleich während einer Schaltung.

$$p_{ansteuer} = p_{app} + p_{off} + p_{adapt} \quad (1.4)^{18}$$

¹⁷ FISCHER, R. et al (2012), Abb. 2.4, S. 52.

¹⁸ Vgl. AUDI Selbststudienprogramm 385 (2008), S. 54.

Hierbei berechnet sich der Ansteuerdruck p_{ansteuer} aus dem applizierten Wert p_{app} , eventuellen Offsets p_{off} und dem mittels Adaptionen ermittelten Korrekturwert p_{adapt} .

Bei der Regelung stellt die zeitliche Ableitung der Eingangsdrehzahl eine geeignete Regelgröße dar, da für jede Schaltung die Drehzahlen, die Übersetzungen sowie die vorgegebene Schleifzeit bekannt sind und sich somit ein Sollwert eindeutig ableiten lässt. Durch das Zusammenwirken des gesteuerten Schaltdrucks $p_{2,\text{St}}$ und dem Reglerdruck p_{R} ergibt sich die „geregelt Lastschaltung“, welche in Abbildung 1.8 dargestellt ist. Abweichungen des Drehzahlverlaufs der Eingangsdrehzahl werden durch den Regler ausgeregelt. Diese Drehzahl muss über einen Filter abgeleitet werden, um als Regelgröße zu fungieren.

Dadurch erweitert sich Gleichung 1.4 um den Anteil des aktiven Reglers p_{regler} :

$$p_{\text{ansteuer}} = p_{\text{app}} + p_{\text{off}} + p_{\text{adapt}} + p_{\text{regler}} \quad (1.5)^{19}$$

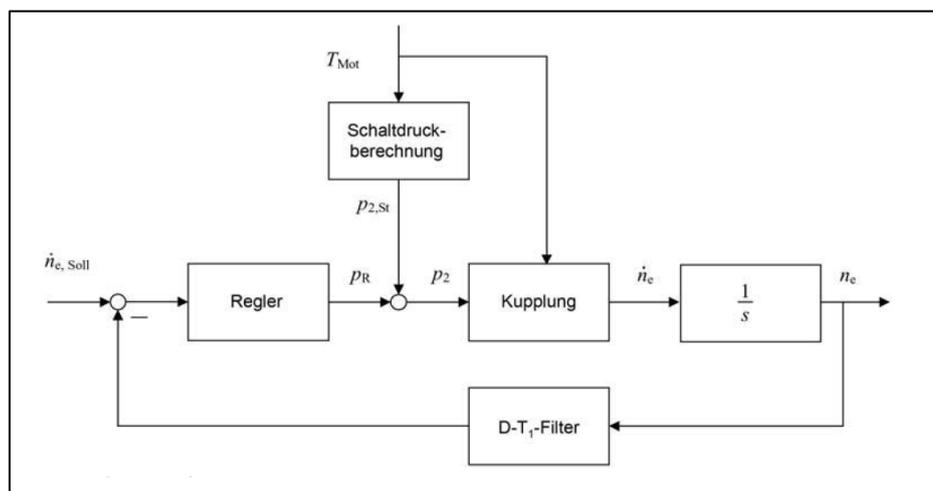


Abbildung 1.8: Blockschaltbild der geregelten Lastschaltung²⁰

Der Vorteil dieser geregelten Lastschaltung ist, dass es bei einer Beeinflussung einer Schaltung durch die genannten Einflüsse, bereits während der Schaltung zum korrigierenden Eingriff über den Reglerdruck kommt. Es kann zu einer minimalen Abweichung der Sollscheifzeit kommen, allerdings wird diese mit Rücksicht auf die Schaltqualität in Kauf genommen. Wie in folgendem Beispiel (siehe Abbildung 1.9) dargestellt, ist der Schaltverlauf jedoch immer noch markant besser als ohne Reglereingriff. Dabei wird von einem zu kleinen Reibwert der Kupplung ausgegangen, wodurch das gesteuerte Kupplungsmoment zu klein berechnet wird, was wiederum zu einem zu flachen Drehzahlgradienten führt. Wegen der Abweichung vom Sollwert des Drehzahlgradienten greift der Regler ein und der Schaltdruck p_2 wird erhöht. Dadurch wird der Drehzahlverlauf dem ursprünglichen Verlauf wieder angeglichen.

¹⁹ Vgl. REIF, K. (2009), Bild 7-10, S. 199.

²⁰ REIF, K. (2009), Bild 7-8, S. 198.

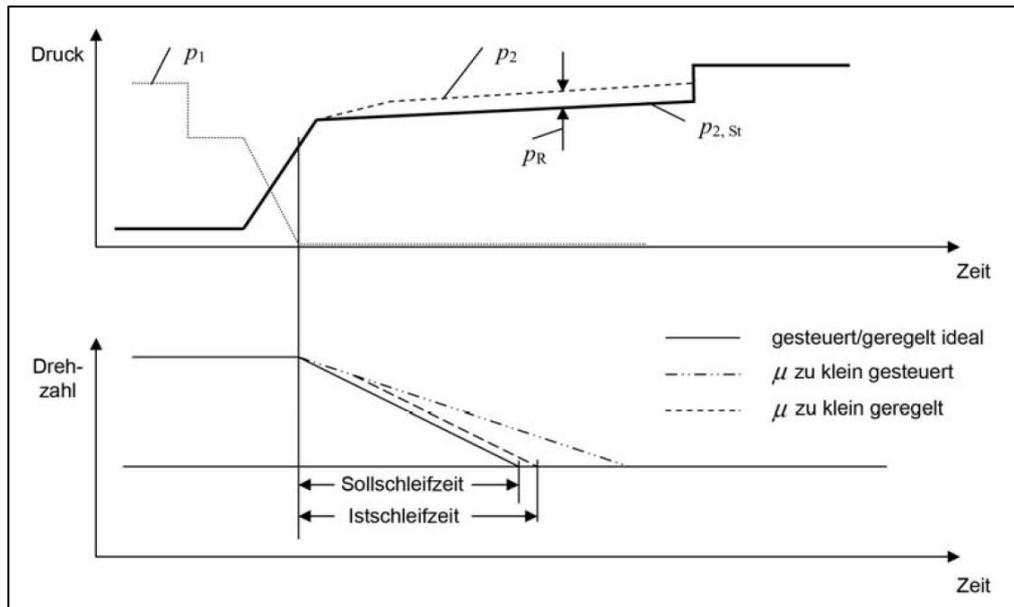


Abbildung 1.9: Typischer Verlauf einer geregelten Lastschaltung bei Abweichung des Kupplungsreibwertes²¹

Um die Anfangsabweichung zu minimieren und den Schaltvorgang zu optimieren, ist es sinnvoll, eine Adaption für den gesteuerten Druck einzuführen. Als Adaptionkriterium bietet sich in diesem Beispiel der Reglereingriff p_R an, da er die Abweichung des Drucks vom vorgesteuerten Wert widerspiegelt. Mittels Integration des Reglerdrucks und Division durch die Schleifzeit lässt sich der gemittelte Reglerdruck wie folgt berechnen:

$$\bar{p}_R = \frac{1}{t_S} \cdot \int p_R(t) dt \quad (1.5)^{22}$$

Dieser wird gefiltert und als Korrekturdruck in einer Tabelle abgelegt. Meist wird für jede Schaltung bzw. für jede beteiligte Kupplung eine gewisse Anzahl von Werten in Abhängigkeit von Last und Drehzahl abgelegt, um jeden Schaltvorgang individuell und betriebspunktabhängig zu adaptieren. Teilweise sind mehrere Tabellen pro Schaltung für verschiedene Öltemperaturen vorgesehen. Das Eintragen dieser Korrekturfaktoren in die entsprechenden Tabellen darf nur dann erfolgen, wenn einschränkende Randbedingungen erfüllt sind. Diese stellen sicher, dass die Adaption nicht durch andere Einflüsse gestört wird. Dazu muss die Öltemperatur im definierten Temperaturbereich liegen, das Drehmoment höher als ein gewisser Schwellwert sein, eine eventuelle Drehmomentenänderung während der Schaltung nur gering ausfallen und es darf kein Wechsel der Schaltungsart (Zug-Schub) auftreten.

Bei einer Getriebesteuerung ohne Reglereingriff kann beispielsweise die Dauer der Schleifzeit als Kriterium für eine Adaption herangezogen werden. Auch hier muss der Parameter gefiltert werden und die oben genannten Bedingungen erfüllt sein, bevor dieser in der entsprechenden Tabelle abgelegt werden kann.

²¹ REIF, K. (2009), Bild 7-9, S.199.

²² REIF, K. (2009), Gl. 7.4, S.198.

Neben der Zug-Hochschaltung gilt dieses Verfahren auch für Zug-Rückschaltungen, jedoch muss der Anteil des dynamischen Moments abgezogen werden, um ein Hochlaufen der Drehzahl auf den neuen Synchronpunkt zu ermöglichen. Des Weiteren gelten auch für Schubschaltungen ähnliche Vorgänge, allerdings mit umgekehrtem Vorzeichen des Momentenflusses.

Eine genauere Beschreibung der einzelnen Adaptionen erfolgt im Kapitel 3 „Ausführung verschiedener Adaptionen“.

1.8 Einflussgrößen für das Kupplungsverhalten

Die im Folgenden beschriebenen Parameter beeinflussen das Verhalten bzw. die Funktion einer Kupplung. Sämtliche physikalisch beschreibbaren Einflussgrößen müssen über dementsprechende Rechenmodelle berücksichtigt bzw. kompensiert werden. Ist eine solche Kompensation nicht möglich, müssen Adaptionsroutinen entwickelt bzw. vorgesehen werden, um diese Einflüsse auszugleichen.

– Fertigungstoleranzen

Aufgrund von Produktionsstreuungen kommt es zu Toleranzen der einzelnen Bauteile. Dadurch entstehen Unterschiede bei den Bauteilen, welche die Charakteristik einer jeden Kupplung, der Mechatronik und der Pumpe stark verändern können.

Beispiele für diese Toleranzen:

- Form, Abmessungen, Reibwert, etc. der Reibpartner
- Länge, Durchmesser sowie Formtoleranz des Kolbens
- Volumen der Kolbenkammer
- Spaltmaße zwischen Kolben und Führung
- Durchmesser, Einengungen und Grate der Ölleitungen
- Toleranzen von Ventilen, Pumpe und Ansteuerung (Endstufe TCU)
- Toleranz des Regelventils

Es ist von großer Bedeutung, diese Toleranzen noch vor der Erstfahrt bzw. im Fahrbetrieb relativ rasch auszugleichen, um die entsprechende Kundenzufriedenheit bei einem Neuwagen („0-km-Verhalten“) zu gewährleisten.

– Abnutzung, Alterung sowie Einlaufverhalten von Bauteilen

Durch den Betrieb des Getriebes kommt es zur Abnutzung und Alterung der Bauteile. Da diese Erscheinungen kaum kalkulierbar sind, sondern von Parametern wie Lastkollektiv,

Temperaturbeanspruchung, Verschmutzung, etc. abhängig sind, müssen diese durch entsprechende Adaptionen ausgeglichen werden.

Beispiele:

- Verringerung der Lamellendicke
- Alterung von Dichtungen → Undichtigkeiten
- Setzen der Kupplungsfedern

Da diese Effekte ab einer gewissen Einsatzdauer auftreten, müssen entsprechende Adaptionen erst ab diesem Zeitpunkt durchgeführt werden.

– **Ölverschleiß**

„Automatische Fahrzeuggetriebe benutzen Öl zur hydrodynamischen Leistungsübertragung, hydrostatischen Kraftübertragung und Informationsverarbeitung, zur Reibwertbeeinflussung, Schmierung, Wärmeabfuhr und Leistungsvernichtung.“²³

Das Getriebeöl ist extremen Belastungen ausgesetzt. Neben häufigen Temperaturwechseln und Verschmutzung, setzen hohe Scherkräfte im Wandler und in den Kupplungen dem Öl sehr zu. Zusätzlich nimmt dieses während seiner Einsatzdauer Wasser auf. Durch spezielle Öle mit Additiven werden Langlebigkeit und weitere gewünschte Eigenschaften (z.B. Viskosität, Kompressibilität, Reibwertverlauf) erreicht, allerdings verschlechtern sich diese mit der Zeit.

Spezielles Augenmerk muss auf den Wechsel des Getriebeöls gelegt werden, da das Getriebe zuvor an das verschlissene Öl adaptiert wurde. Durch den Wechsel muss das Verhalten des Getriebes mit dem neuen Fluid eingelernt werden, was mit Hilfe einer Grundadaption durchgeführt werden muss.

– **Temperatur**

Aufgrund der Temperaturänderung während des Betriebs kommt es zu Längenänderungen von mechanischen Komponenten, Änderung der Viskosität des Öls, etc. Meist werden diese Einflüsse durch Offsets bzw. Korrekturfaktoren berücksichtigt und nur wenige Adaptionen erfolgen temperaturbedingt.

Eine weitere Möglichkeit ist die Einführung von Temperaturklassen, in denen wiederum separat adaptiert wird. Dies erhöht sowohl den Adaptionaufwand als auch den Speicheraufwand für mehr Adaptionsmatrizen, jedoch ermöglicht es eine bessere Korrektur des Temperatureinflusses auf das Kupplungsverhalten.

²³ FÖRSTER, H.J. (1991), S. 289.

– Reibungskoeffizient

Der Reibungskoeffizient ist bei den Reibpaarungen, die in automatischen Getrieben verwendet werden, sehr variabel und von vielen Parametern abhängig (z.B. Reibmaterial, Gleitgeschwindigkeit, Anpressdruck, Temperatur, Art des Öls, etc.). Während Änderungen von den meisten Parametern „nur“ die Höhe des übertragbaren Drehmoments beeinflussen und durch entsprechende Steuerungen / Korrekturfaktoren kompensiert werden können, sind Abhängigkeiten des Reibwerts von der Gleitgeschwindigkeit für den dynamischen Ablauf des Reibvorgangs maßgebend.²⁴

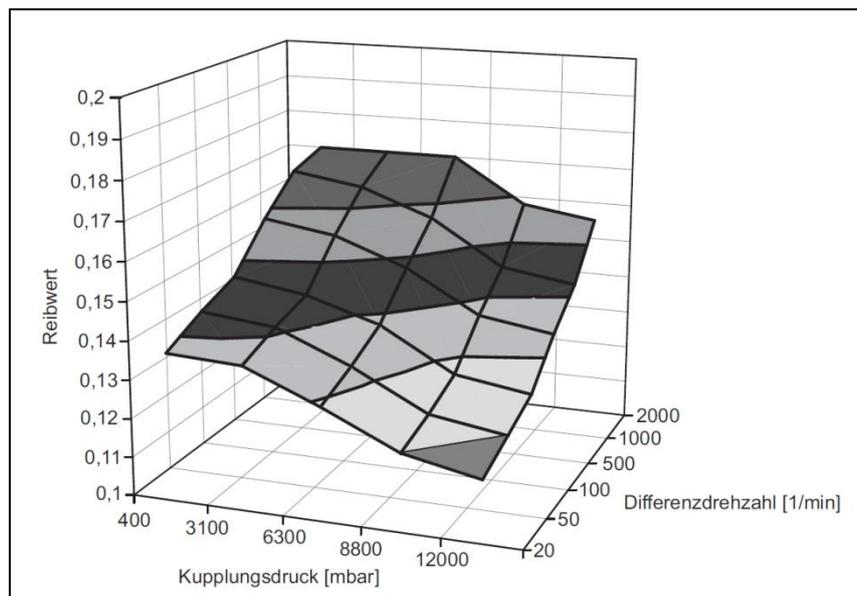


Abbildung 1.10: Reibkennfeld bei konstanter Kupplungstemperatur²⁵

Aufgrund des häufigen Betätigens der Kupplungen kommt es zu einer Änderung des Reibwerts und einem Verschleiß während der Einsatzdauer der Kupplung.

– Systemdruck

Falls in einem Automatikgetriebe keine Öldrucksensoren verbaut sind, wird ein festgelegter Systemdruck eingestellt. Allerdings kann es in manchen Situationen (z.B. bei Motorleerlauf) zu einer geringen Abweichung des Systemdrucks kommen, was die Möglichkeit für Adaptionen erschwert bzw. den Fehler in der Toleranzkette an der falschen Position korrigiert. Ist ein Sensor verbaut, muss der Systemdruck über eine entsprechende Routine adaptiert / geregelt werden, um konstante Bedingungen für sämtliche Schalt- und Kuppelvorgänge sowie Adaptionen sicherzustellen.

²⁴ Vgl. FÖRSTER, H.J. (1991), S. 234.

²⁵ FISCHER, R. et al (2012), Abb. 5.23, S. 215.

– Messgrößen / Signale

Um Schalt-/ Kuppelvorgänge durchführen zu können, benötigt die TCU die Daten diverser Sensoren. Um die Abhängigkeiten der Parameter von Werten wie Motordrehzahl, Getriebewellendrehzahl, etc. zu berücksichtigen, müssen diese an die TCU geleitet werden. Jedes Messsignal hat jedoch ein mehr oder weniger starkes Rauschen (siehe Abbildung 1.11), was die Auswertung des Signals erschwert. Um Signalfehler von Messwertänderungen unterscheiden zu können, müssen die Messsignale dementsprechend aufbereitet bzw. gefiltert werden.

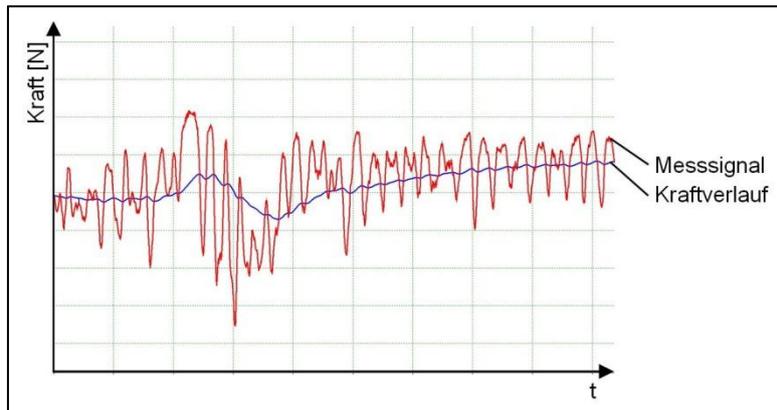


Abbildung 1.11: Rauschendes Signal

– Motordaten

Das Getriebesteuergerät erhält von der ECU alle getrieberelevanten Signale, wie z.B. Motordrehzahl oder aktuelles Motormoment. Kommt es zu Fehlern im Signal oder sendet die ECU falsche Werte, erfolgt eine fehlerhafte Berechnung bzw. Auswertung durch die TCU. Dies kann zu Fehladaptationen führen, welche auf falschen Eingangsparametern basieren. Deshalb müssen diese Daten durch die Getriebesteuerung auf Plausibilität verifiziert und bei Abweichungen adaptiert werden.

– Drehzahl

Aufgrund unterschiedlicher Drehzahlen im Getriebe kommt es zu Beeinflussungen, welche berücksichtigt werden müssen. Im Inneren des Kolbenvolumens wirkt z.B. die Zentrifugalkraft auf das Öl, wodurch es zu radialen Druckunterschieden kommt. Dadurch steigt mit der Drehzahl auch der Druck, dem mittels Ausgleichsvolumen teilweise entgegengewirkt werden kann. Trotzdem muss diese Abhängigkeit von der Drehzahl appliziert und gegebenenfalls adaptiert werden.

– **Stickslip**

Reibschwingungen (Stick-slip) beeinflussen Zugkraftschaltungen in automatischen Getrieben sehr negativ. Wird auf ein Masse-Federsystem ein Drehmoment mit Gleitreibung übertragen, so können immer dann Reibschwingungen entstehen, wenn sich mit abnehmender Gleitgeschwindigkeit der Reibkoeffizient erhöht. In diesem Fall wird das Kupplungsmoment kleiner, die vorgespannte Drehmasse schwingt zurück und eine ungedämpfte Schwingung wird eingeleitet. Steigt der Reibkoeffizient mit steigender Gleitgeschwindigkeit, so tritt keine Schwingung auf oder sie ist stark gedämpft. Um Reibschwingungen sicher zu vermeiden, wird daher letztere Charakteristik empfohlen.²⁶

– **Toleranzpfad**

In der folgenden Abbildung sind die einzelnen Einflussgrößen in ihrer Abfolge des Wirkens dargestellt. Diese Kette variiert natürlich aufgrund verschiedener Getriebearten und soll nur als Beispiel dienen.

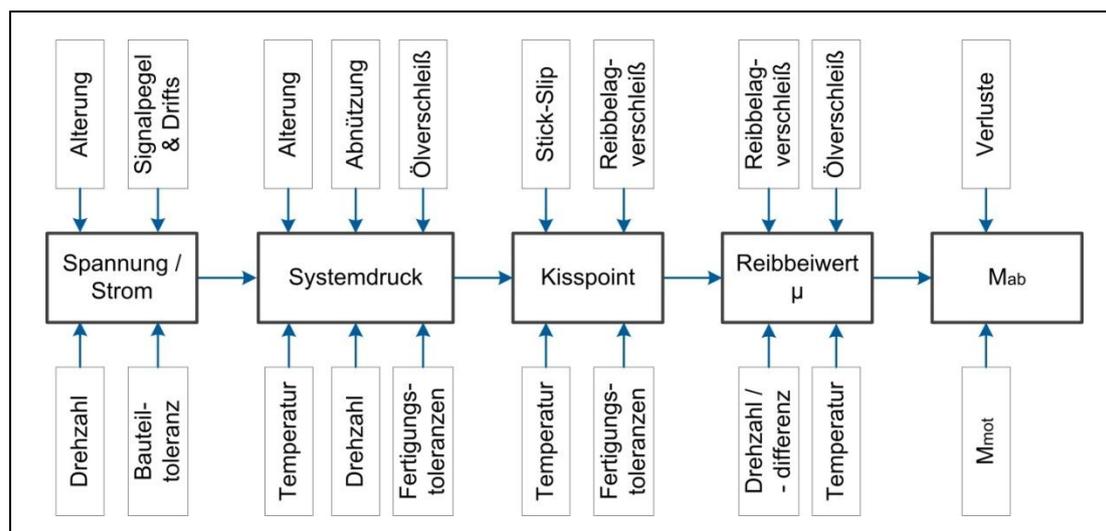


Abbildung 1.12: Toleranzpfad

²⁶ Vgl. FÖRSTER, H.J. (1991), S. 238.

– Hysterese-Problematik

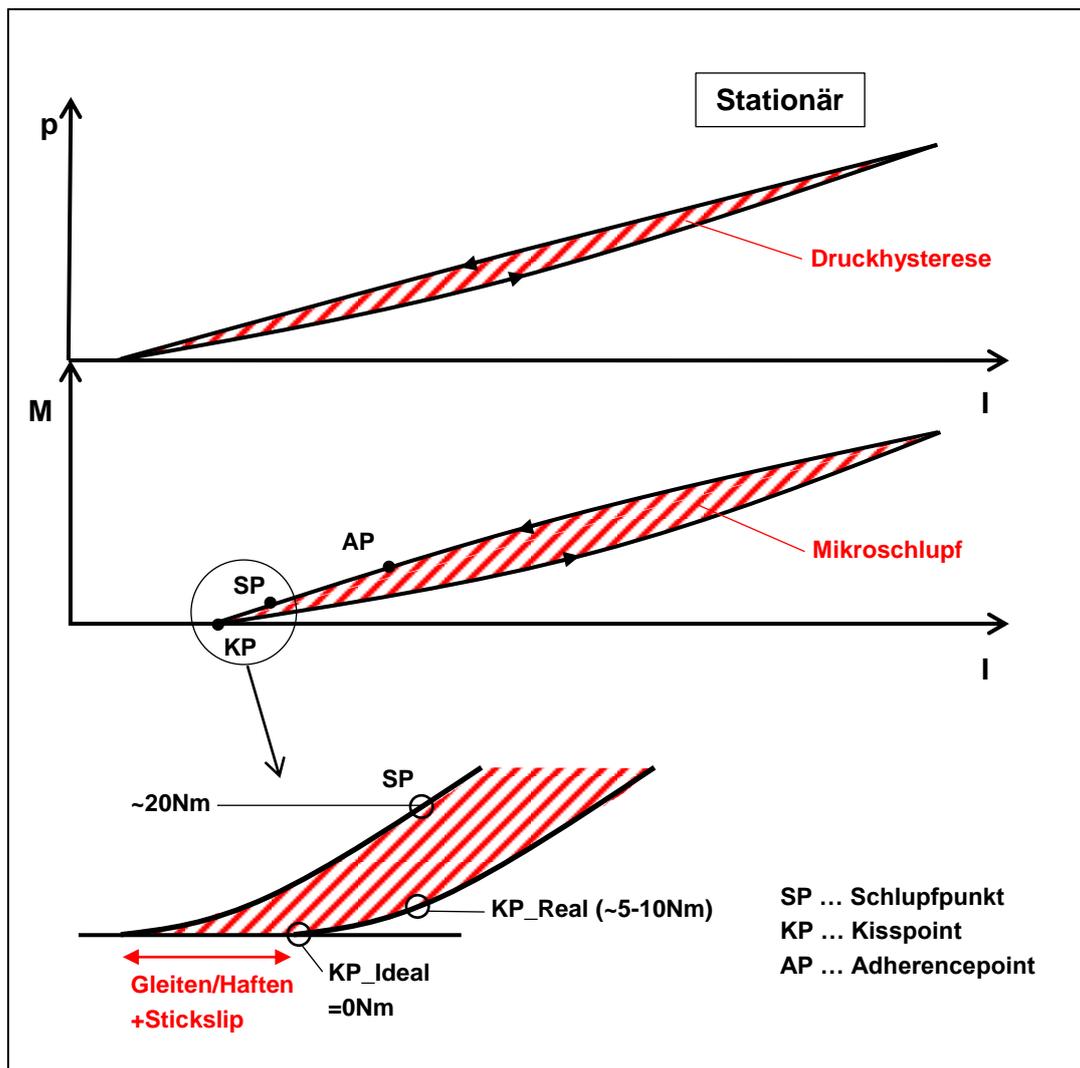


Abbildung 1.13: Hysterese-Problematik²⁷

Eine Vielzahl der Bauteile in einem automatisierten Getriebe weist eine gewisse Hysteresecharakteristik auf. In Abbildung 1.13 ist schematisch die p-I-Kennlinie eines Druckregelventils dargestellt, in welcher die Druckdifferenz zwischen Öffnen und Schließen ersichtlich ist. Auch andere Bauteile, wie z.B. die Rückstellfedern der Kupplungskolben, weisen eine solche Hysterese auf. Aus der Summe aller entsteht die Hysterese der Kupplungskennlinie, welche das M-I-Verhalten einer Kupplung darstellt. Dies muss bei der Ansteuerung bzw. bei der Regelung berücksichtigt werden, um ein Fehlverhalten aufgrund der Hysterese zu verhindern.

Im unteren Teil der Abbildung ist der Bereich des Stickslip-Effekts ersichtlich, welcher den Übergang von Haften zu Gleiten und umgekehrt bedeutet. Zusätzlich ist der Unterschied von idealem und realem Kisspoint (siehe Kapitel 1.10) dargestellt. Um diesen Detektieren zu können, muss ein geringes Moment anliegen, wodurch eine Abweichung entsteht.

²⁷ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

1.9 Parameter bzw. Einschränkungen für die Realisierung von Adaptionen

Es gibt eine Vielzahl von Adaptionroutinen, allerdings benötigt jede Routine bestimmte Betriebsbedingungen oder einen bestimmten Fahrzustand. Dies stellt die größte Erschwernis für die Realisierung von Adaptionen dar, da die Häufigkeit der Gegebenheiten stark von verschiedenen Parametern abhängig ist. Folgend sollen diese Parameter bzw. Einschränkungen erklärt werden, um die Problematik der Entwicklung solcher Routinen näher zu bringen.

– Art des Fahrzeugs

Je nach Art des Fahrzeugs ergeben sich verschiedene Geschwindigkeitsprofile, Fahrzustände, etc. Anhand der Grobeinteilung in Kleinwagen, Komfortwagen, Sportwagen und Nutzfahrzeuge kann gezeigt werden, dass die Fahrcharakteristik stark variiert. Aufgrund dessen können gewisse Adaptionen (z.B. Adaption während des Kickdowns bei Kleinwagen) nur bedingt eingesetzt werden.

– Fahrer

Jeder Mensch hat seinen eigenen Fahrstil. Einem Fahrer kann nicht ein bestimmtes Fahrscenario vorgeschrieben werden, um Adaptionen zu realisieren. Jene Situationen, in denen die Adaptionroutinen arbeiten, müssen deshalb so gewählt werden, dass sie bei jedem Fahrer vorkommen (z.B. Warten an der Ampel).

Des Weiteren beeinflusst der Fahrstil des Fahrers natürlich auch die Belastungen im Getriebe, welche wiederum zum Verschleiß führen. Um diesem entgegenzuwirken, sollte die Häufigkeit der Adaptionen lastkollektivabhängig gesteuert werden.

– Markt / Einsatzort

Sehr wichtig sind die Fahrtstrecken, welche das Lastkollektiv und somit die Häufigkeit der Situationen beeinflussen. Kommt es im Stadtverkehr zu vielen Lastwechseln mit Ausrollzuständen und Pausen (z.B. an der Ampel), wird auf Überlandfahrten die Konstantfahrt (im Idealfall mit Tempomat) überwiegen.

Aufgrund der länderspezifischen Gesetzgebungen für Maximalgeschwindigkeiten entstehen unterschiedliche Fahrzustände. Vergleicht man z.B. eine Autobahnfahrt in Deutschland (kein Geschwindigkeitslimit) mit einer in Japan (Geschwindigkeitslimit von 100 km/h), werden verschiedene Gänge mit bestimmten Lasten unterschiedlich oft in Verwendung sein.

Des Weiteren beeinflussen die Straßenbedingungen stark die Möglichkeiten für Adaptionen, z.B. ist Konstantfahrt ohne Bodenwellen und ohne Schlaglöcher in einem Land mit schlechtem Straßennetz relativ schwer realisierbar. Da für eine Adaption jedoch gut auswertbare Messergebnisse ohne Störungen unbedingt notwendig sind, erschwert sich die Realisierbarkeit einer Adaption erheblich.

– **Getriebe / Motor**

Durch die Kombination verschiedener Motormodelle mit unterschiedlichen Getriebetypen ist auch die Möglichkeit der Adaptionen eingeschränkt. Nicht jeder Motor bzw. jedes Getriebe eignet sich für jede Adaptionsroutine. Dabei ist das Hauptaugenmerk auf die verschiedenen Grundtypen von automatisierten Getrieben (CVT, AG, DKG, ASG) zu legen bzw. welche Kupplungen adaptiert werden sollen.

– **Alter / Zustand des Fahrzeugs / Getriebes**

Bei jedem neuen Getriebe gibt es Fertigungstoleranzen, welche die Charakteristik von Schalt- und Anfahrvorgängen stark beeinflussen. Um diesen entgegenzuwirken, werden Adaptionsroutinen bei Neufahrzeugen relativ häufig aktiviert, um möglichst schnell die Getriebeabstimmung auf den gewünschten Level zu bringen. Sobald diese korrigiert sind und das Fahrzeug über einen längeren Zeitraum benutzt bzw. die Kilometerleistung erhöht wird, werden andere Einflüsse wie Abnutzung und Änderungen der Kupplungscharakteristik das Hauptaugenmerk der Routinen. Dadurch müssen mit höheren Laufleistungen diese Adaptionsroutinen in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden, wobei die Frequenz deutlich reduziert werden kann.

– **Häufigkeit bestimmter Schaltvorgänge**

Bei einem Automatikgetriebe sind für jeden Gang bestimmte Kupplungen (laut Kupplungsmatrix) aktiv bzw. bei jedem Gangwechsel werden Kupplungen überblendet. Kommt es aufgrund der Fahrbedingungen (z.B. nur Stadtfahrten) nie zu einer Schaltung in die höheren Gänge, kann dieser Schaltvorgang nicht genutzt werden, um eine entsprechende Adaption während des Schaltens durchzuführen. Deshalb müssen Adaptionen entwickelt bzw. angewendet werden, welche im Stande sind, die entsprechenden Parameter auch in anderen Fahrsituationen zu adaptieren.

Dieser Aspekt ist vom Aufbau des Getriebes abhängig. Je nach Beschaltung kann es auch bereits bei Schaltungen in niedrigeren Gängen zum Zu- oder Wegschalten einer bestimmten Kupplung kommen.

Bei Doppelkupplungsgetrieben und automatisierten Schaltgetrieben existiert diese Einschränkung nicht, da aufgrund der technischen Gegebenheiten bei jedem Schaltvorgang die Kupplungen/die Kupplung betätigt werden/wird.

– **Sensorik im Getriebe**

Aus Kosten-, Platz- und Gewichtsgründen wird in Automatikgetrieben nur das Notwendigste an Sensorik verbaut, um eine einwandfreie Funktion des Getriebes sicherstellen zu können. Dies begrenzt die Möglichkeiten zur Realisierung unterschiedlicher Adaptionen.

Die Sensorik in einem Automatikgetriebe beschränkt sich meist auf:

- Wellendrehzahl der Ein- und Ausgangswelle (bei DKG auch Teilgetriebedrehzahlen)
- Temperatur des ATF
- Öldruck, meist nur bei Doppelkupplungsgetrieben
- Schaltgabelpositionen bei Stirnradgetrieben

– **Qualität der Hydraulik / Mechatronik**

Um Adaptionen möglichst genau und für den Fahrer nicht merklich durchführen zu können, bedarf es präziser Regelung der Drücke bzw. Positionen der einzelnen Elemente. Somit entstehen Einschränkungen für Adaptionen aufgrund der verbauten Hydraulik und Mechatronik (z.B. max. Pulsraten). Des Weiteren muss die Elektronik im Stande sein, diese Adaptionenroutinen durchzuführen und die daraus gewonnenen Adaptionenparameter entsprechend hinterlegen zu können.

– **Kosten**

Wie bei allen Bauteilen eines Fahrzeugs wird auch beim Getriebe sämtliches Einsparungspotential genutzt, um die Konkurrenzfähigkeit aufgrund des Preises zu erhöhen. Es muss allerdings ein Kompromiss zwischen Kosten und notwendiger Sensorik gefunden werden, um entsprechende Adaptionen realisieren zu können.

1.10 Der Kisspoint

Unter dem Kisspoint versteht man jenen Punkt, bei dem die Kupplung gerade zum Anliegen kommt, aber noch kein nennenswertes Moment übertragen wird. Die Kupplungscheiben sollen soweit anliegen, dass die Kupplung mit der folgenden Druckerhöhung sofort ein Moment übernehmen kann.²⁸

In mancher Nomenklatur ist dieser Punkt auch unter Touch-Point, Schleifpunkt, Eingriffspunkt, Greifpunkt, Strokepressure, o.ä. zu finden.

Um die Verluste einer inaktiven Kupplung zu reduzieren, wird der Kolben durch eine / mehrere Federn oder hydraulisch vom Lamellenpaket weggedrückt und liegt dadurch nicht an. Die Kupplung wird jedoch nicht komplett druckfrei geschaltet, sondern mit einem geringen Druck p_{\min} (welcher weit unter dem Kisspoint-Druck liegt) angesteuert, um ein Eindringen von Luft in das System zu verhindern. Beim Aktivieren dieser Kupplung muss deshalb der Kolben zuerst einen Weg überwinden, bis die Kupplungslamellen anliegen. Dieser Punkt ist extrem wichtig für den Komfort eines Schaltvorgangs, da dieser das Schaltverhalten eines Getriebes stark beeinflusst. Um diesen Vorgang in möglichst kurzer Zeit zu realisieren, werden ein Druckpuls und eine Füllphase vor dem eigentlichen Kupplungsdruck vorgesetzt. Die Füll- / Ausgleichsphase dient der langsamen Annäherung an den Kisspoint und der Minimierung von Messungenauigkeiten, welche aufgrund schlecht positionierter Druckmessstellen entstehen.²⁹

Bei einem „idealen“ Vorbereiten der Kupplung mittels Druckpuls und Füllphase, befindet sich die Kupplung am Ende exakt am Kisspoint (Kolbenposition $x_{\text{Kolben}} = \text{Kisspointposition } x_{\text{KP}}$). Bei einem nachfolgenden Kupplungsdruckanstieg erfolgt eine sofortige Übertragung des Drehmoments M_K . Der Kolben verfährt noch einen sehr geringen Weg, bis das Kupplungspaket vollständig zusammengepresst ist.

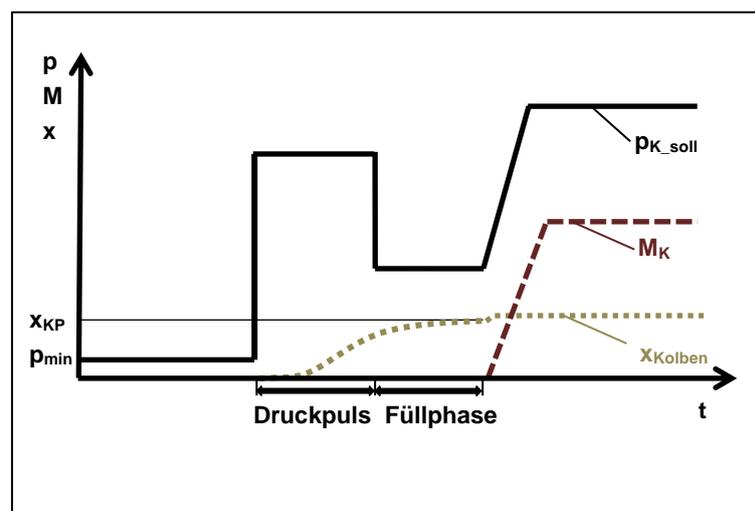


Abbildung 1.14: Druck-/Weg-/Momentenverlauf einer Schnellbefüllung

²⁸ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

²⁹ Vgl. FISCHER, R. et al (2012), S. 212 ff.

Der Solldruckpuls wird durch den Druck p_{SF} und die Dauer t_{SF} beschrieben (siehe Abbildung 1.15). Der Schnellfülldruck p_{SF} ist meist durch das System vorgegeben und wird nur in seltenen Fällen adaptiert. Die Dauer dieser Schnellfüllphase wird aber sehr wohl durch Adaptionroutinen während verschiedenen Fahrzuständen optimiert. Anschließend folgt eine Füllphase, in der sich der Kolben langsam bis zum Kisspoint bewegen soll (Istdruck $p_{ist} =$ Fülldruck p_F). Der hier vorgesteuerte Druck p_F wird durch diverse Adaptionen variiert. Es wird versucht, die Gesamtzeit t_{KP} vor dem eigentlichen Kuppelvorgang möglichst kurz zu halten, um eine Kupplung möglichst schnell vorbereiten zu können. Bei manchen Adaptionroutinen wird auch die Gesamtzeit adaptiert, was allerdings eher die Ausnahme darstellt.

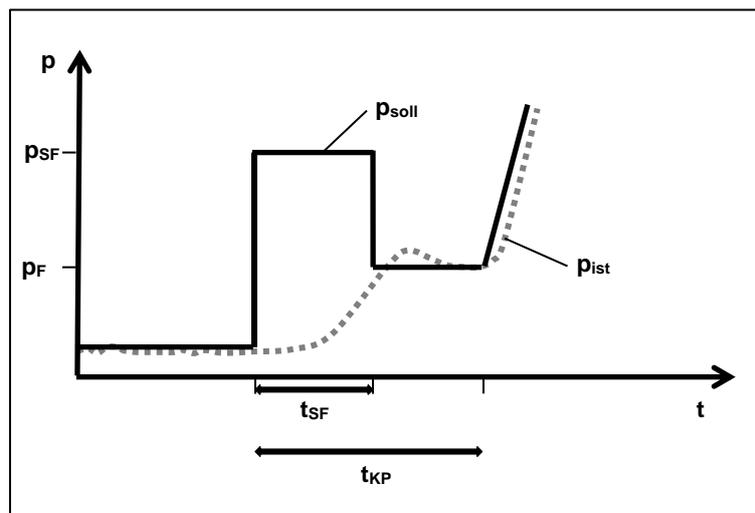


Abbildung 1.15: Soll- / Istdruckverlauf eines Einkuppelvorgangs³⁰

Um diese Schnellbefüllung möglichst rasch und exakt durchführen zu können, müssen die entsprechenden Parameter des Öffterens kontrolliert und gegebenenfalls adaptiert werden. Dazu existiert eine Vielzahl von Routinen, welche sich in Art der Aktuierung, Zeitpunkt der Aktivierung, Messparameter, etc. unterscheiden. Zur Veranschaulichung der Thematik werden in den Kapiteln 3.3.1, 3.4.1 und 3.5.1 einzelne Verfahren beschrieben.

³⁰ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

2 Arten von automatisierten Getrieben

2.1 Stufenlosgetriebe (CVT)³¹

Der große Vorteil von Stufenlosgetrieben liegt in der möglichen Lastpunktverschiebung, d.h. der Motor kann bei konstanter Drehzahl im optimalen Betriebspunkt betrieben werden. Der Marktanteil von Stufenlosgetrieben ist weltweit relativ gering. Jedoch kommt es aufgrund regionaler Trends und dementsprechend hoher Kundenakzeptanz zu beachtlichen Verkaufszahlen.

Ein weiterer Vorteil bezüglich des Komforts ist das Fehlen jeglicher Schaltvorgänge. Es erfolgt eine kontinuierliche Übersetzungsänderung unter Last, weshalb spürbare Übersetzungswechsel entfallen.³²

Für die stufenlose Übersetzung wird ein sogenannter Variator benötigt. Bei Umschlingungsgetrieben kommen Schubgliedbänder oder Zugketten zum Einsatz, welche auf einem konischen Scheibensatz laufen. Dieser besteht aus Primär- und Sekundärscheibe, wobei die axiale Verstellung meist elektro-hydraulisch erfolgt. Jene Verstellung erfordert einen hohen Energiebedarf, was sich negativ im Wirkungsgrad widerspiegelt. Bei Reibradgetrieben erfolgt die Kraftübertragung mittels Rotationskörpern, welche durch Schwenken ein Ändern der Übersetzung bewirken. Hier werden Volltoroid- und Halbtoroid-Ausführungen eingesetzt. Bei diesen Ausführungen muss das verwendete Fluid bestimmte Traktionseigenschaften aufweisen. Hauptaufgaben sind die Kräfte zu übertragen, die auftretende Flächenpressung zu ertragen und trotzdem die Kühlung und Schmierung zu gewährleisten.

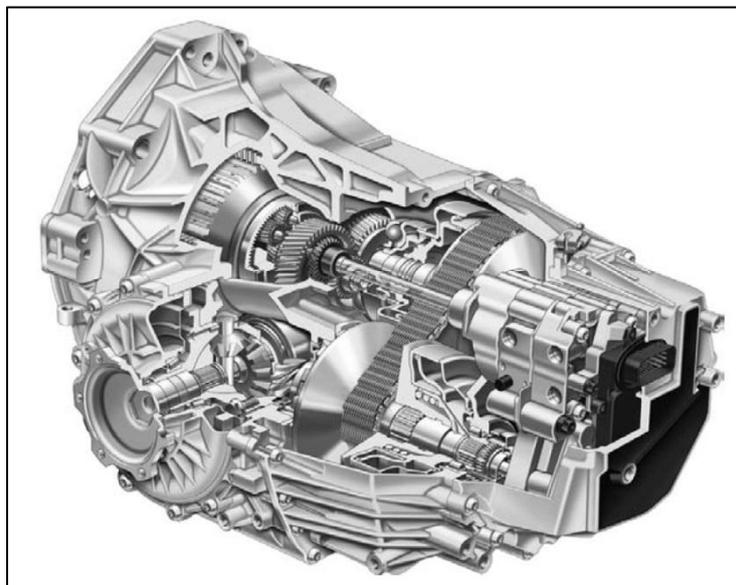


Abbildung 2.1: Stufenlosgetriebe (Multitronic von AUDI)³³

³¹ Vgl. FISCHER, R. et al (2012), S. 256 ff.

³² Vgl. KLEMENT, W. (2011), S. 142.

³³ FISCHER, R. et al (2012), Abb. 6.29, S. 256.

In Abbildung 2.1 ist ein Multitronic-Umschlingungsgetriebe mit einer Zugkette dargestellt. Das Besondere dieser Kette besteht in der Trennung von der Kontaktstelle und der Kraftübertragung innerhalb der Kette.³⁴

Besonderes Augenmerk muss auf die Steuerung der Anpressvorrichtung des Variators gelegt werden. Zu hohe Anpresskräfte bewirken ein Sinken des Wirkungsgrads. Sind diese allerdings zu niedrig, kommt es zum Rutschen des Umschlingungselements bzw. des Reibrades.

Für den Anfahrvorgang bei stufenlosen Getrieben kommen sowohl Wandler als auch nasse und trockene Kupplungen zum Einsatz. Meistens erfolgt die Ausführung des Rückwärtsgangs meist mit Hilfe eines Planetensatzes. Einen Sonderfall stellt die sogenannte geared-neutral-Funktion dar, welche ohne Anfahrlement auskommt. Dies wird mit Hilfe von einem oder mehreren Planetensätzen, welche vor- oder nachgeschaltet sind, realisiert wird. Somit lässt sich eine unendliche Spreizung realisieren.

Als größter Nachteil wird das Fehlen des Beschleunigungsempfindens für den Fahrer genannt, da der Motor während der Beschleunigungsphase mit konstanter Drehzahl betrieben wird und somit keine akustische Rückmeldung erfolgt. Um diesem Problem entgegenzuwirken wird versucht, den Drehzahlverlauf ähnlich einem Stufengetriebe nachzubilden. Dies bewirkt jedoch Verbrauchseinbußen, welche in Kauf genommen werden.

Je nach Ausführung der verschiedenen Anfahrlemente bzw. anderer Schaltelemente im Getriebe müssen unterschiedliche Adaptionen angewandt werden. Speziell bei trockenen Anfahrkupplungen muss häufig und exakt adaptiert werden, da ansonsten starke Einschränkungen bei Komfort und Verschleiß der Kupplung die Folgen sind. Des Weiteren muss je nach Art der Aktuierung unterschieden werden, wobei hauptsächlich elektromechanische und hydraulische Betätigungen zum Einsatz kommen.

³⁴ Vgl. KLEMENT, W. (2011), S. 149.

2.2 Automatikgetriebe³⁵

Automatikgetriebe stellen die älteste Art von automatisierten Getrieben dar. Ihr Einsatz begann bereits in den 1930er Jahren als 3-Gang-Ausführungen. Sie zählen zu den automatisierten Lastschaltgetrieben, d.h. sowohl Anfahrvorgang, Schaltung als auch Gangwahl werden vom Getriebe selbstständig durchgeführt und entlasten somit den Fahrer. Die Kraftübertragung im Inneren eines Automatikgetriebes erfolgt über mehrere kraftschlüssige Elemente, welche meist in Form von nass laufenden Lamellenkupplungen und -bremsen ausgeführt sind. Des Weiteren kommen teilweise auch Bremsbänder und Freiläufe zum Einsatz. Somit lassen sich zugkraftunterbrechungsfreie Schaltungen realisieren. Die wichtigste Rolle in diesem Zusammenhang spielt die Schaltqualität (Schaltruck und Schaltzeit), welche eine aufwendige Abstimmung auf der Straße oder am Prüfstand notwendig macht.

Wie in Abbildung 2.2 ersichtlich, wird das Schaltschema dahingehend ausgelegt, jeweils nur zwei Kupplungen bei einer Schaltung in einen direkt folgenden Gang beteiligt zu haben. Daraus ergibt sich eine wesentliche Vereinfachung bei der Schaltungssteuerung.

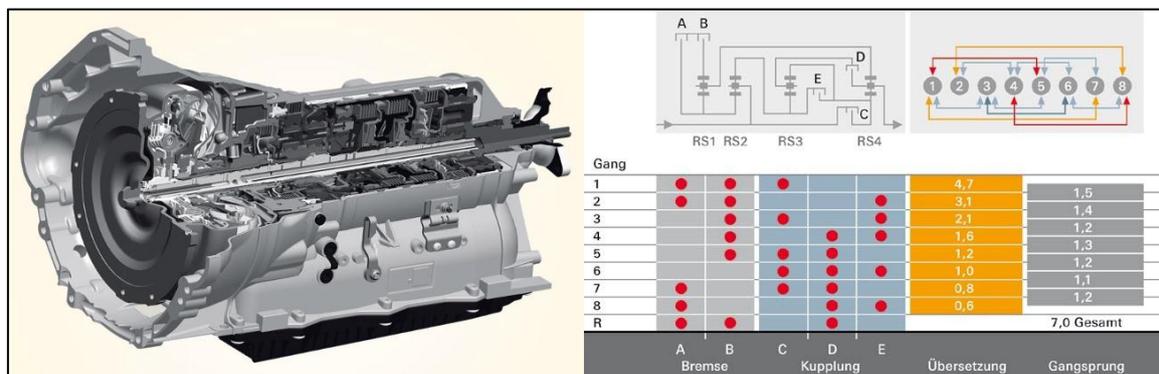


Abbildung 2.2: Entwurf, Konzept und Schaltschema eines 8-Gang Automatikgetriebes³⁶

Automatikgetriebe besitzen meist einen Drehmomentwandler als Anfahrerelement, welcher prinzipbedingt eine Kriechfunktion und somit einen hohen Anfahrkomfort besitzt. Bei modernen Getrieben kommt eine Wandlerüberbrückungskupplung zum Einsatz, um die Verluste des Wandlers während der Fahrt zu reduzieren. Alternativ dazu befinden sich nasse und trockene Anfahrkupplungen am Markt. Eine geschlossene Wandlerüberbrückungskupplung dient einem hohen Wirkungsgrad, allerdings geht die Schwingungsdämpfung des Wandlers verloren. Deshalb wird die Überbrückungskupplung häufig mit Mikroschlupf betrieben.

Die einzelnen Gangstufen werden in modernen Automatikgetrieben meist mit mehreren Planetenradsätzen realisiert. In obigem Beispiel konnten mittels vier Radsätzen und fünf Kupplungen / Bremsen acht Vorwärts- sowie ein Rückwärtsgang ausgeführt werden. Der große Vorteil dieser Beschaltung ist, dass in jedem Schaltzustand nur zwei Kupplungen geöffnet sind und somit die Schleppverluste sehr gering gehalten werden konnten. Dieses Getriebe bietet auch eine Vielzahl von direkten Rückschaltungen in tiefere Gänge, bei denen wiederum nur zwei Kupplungen gesteuert werden müssen.

³⁵ Vgl. FISCHER, R. et al (2012), S. 248 ff.

³⁶ ATZ 109 (2007), Bild 7, S. 517 & Bild 3, S. 514.

Weitere Verbesserungen bezüglich Gesamtwirkungsgrad eines Automatikgetriebes können im Bereich der Ölpumpe sowie mittels Standabkopplung erreicht werden. Dadurch lassen sich Wirkungsgrade von 95 – 99% erreichen. Wird ein Getriebe mit einem Direktgang ausgeführt, d.h. durch Schließen einer Kupplung entsteht eine direkte Verbindung zwischen Eingangs- und Ausgangswelle mit der Übersetzung $i=1$, so lässt sich der Wirkungsgrad nahe an 100% heranführen.

Zur Steuerung aller Schaltvorgänge, der Gangwahl und zum Durchführen von Adaptionen ist das Getriebesteuergerät verantwortlich. Dadurch ist es wesentlich verantwortlich für die Schaltqualität sowie den gesamten Fahrkomfort. Häufig ist dieses mit dem Hydraulikmodul im sog. Mechatronikmodul vereint und befindet sich im Ölsumpf auf der Unterseite des Getriebes. Der Vorteil daraus ergibt sich in der Nähe von Elektronik, Sensorik und Aktuatorik. Dies reduziert Steckverbindungen, lange Leitungswege und somit Gewicht.

Eine weitere Ausführung von Automatikgetrieben sind solche in Vorgelegebauweise, wobei diese nur mehr in geringen Stückzahlen produziert werden. Dabei wird jeder Gang durch eine eigene Kupplung aktuiert. Die freie Gangwahl stellt den größten Vorteil dieser Bauart dar, wobei dieser durch die Entwicklung von Doppelkupplungsgetrieben entkräftet wurde.

Für den Fall der Hybridisierung von Automatikgetrieben kommen meist Lösungen mit dem Verbau des Elektromotors im Bereich der Getriebeglocke des Wandlers bzw. als Ersatz des Wandlers zum Einsatz, wobei dies nur kleiner konstruktiver Änderungen bedarf.

Aufgrund der Vielzahl von Schaltelementen in Automatikgetrieben und um den geforderten Schaltkomfort sicherzustellen, müssen dementsprechend viele Adaptionenroutinen hinterlegt werden. Dabei werden die Schaltkupplungen, die Wandlerüberbrückungskupplung sowie die ev. Anfahrkupplung entsprechend ihrer Belastungen und Einsatzhäufigkeit adaptiert. Je nach Kupplungsart kommen unterschiedliche Adaptionenroutinen zum Einsatz, um die Funktion einer jeden zu garantieren bzw. zu optimieren.

Während in den USA Automatikgetriebe sich größter Beliebtheit erfreuen, steigt aus Gründen des Kraftstoffverbrauchs sowie des Fahrkomforts auch in Europa die Nachfrage dieser. Dabei verläuft der Trend in Richtung höherer Ganganzahl, um den Verbrauch weiter senken zu können. Dies geht oft Hand in Hand mit mehr Schaltelementen. Dadurch steigen auch die Anforderungen an dementsprechende Adaptionenroutinen.

2.3 Doppelkupplungsgetriebe³⁷

„Doppelkupplungsgetriebe in Vorgelegebauweise ermöglichen ein Antriebssystem, das Fahrspaß mit Schaltqualität auf höchstem Niveau und optimaler Effizienz verbindet, wobei der Gesamtwirkungsgrad des Getriebes von verschiedenen Parametern, wie Reibung, Schleppmoment sowie Energiebedarf der Aktuatorik, abhängt.“³⁸

Typische Doppelkupplungsgetriebe sind in Vorgelegebauweise mit sechs bis sieben Gängen ausgeführt. Dabei kommen Varianten von Frontquer-, Frontlängs-, Standard- und Mittelmotoreinbau bis Transaxle-Anordnungen zum Einsatz. Moderne Doppelkupplungsgetriebe bieten Einsatzbereiche bis 1200 Nm und ca. 735 kW.

Doppelkupplungsgetriebe weisen eine hohe Ähnlichkeit zu Handschaltgetrieben auf, wobei Synchronisationseinheiten, Betätigungssysteme, Gehäuse, Parksperre, integriertes Steuergerät und Doppelkupplung angepasst bzw. ergänzt werden müssen. Der wesentliche Vorteil liegt in der Lastschaltfähigkeit, da zwei Kupplungen zum Einsatz kommen. Diese können als trockene oder nass laufende Kupplungen ausgeführt werden. Aufgrund der fehlenden Zwangskühlung haben trockene Kupplungen einen wesentlichen Wirkungsgradvorteil gegenüber nass laufender Kupplungen, allerdings besitzen sie eine geringere thermische Belastbarkeit. Einen weiteren Nachteil stellt der höhere Verschleiß der Trockenbeläge dar, welcher die Lebensdauer der Kupplung begrenzt. Nasse Doppelkupplungen können hingegen aufgrund der kontinuierlichen Ölkühlung sowie der höheren Anzahl der Reibpaarungen weitaus kleiner dimensioniert werden.

Jede Kupplung ist einem Teilgetriebe zugeordnet, wobei aufeinanderfolgende Gänge sinnvollerweise nicht auf der gleichen Welle angeordnet sind (siehe Abbildung 2.3). Aufgrund dessen befinden sich gerade und ungerade Gänge jeweils auf einer Teilgetriebewelle. Mittels dieser Anordnung lassen sich zwei aufeinanderfolgende Gänge gleichzeitig einlegen, d.h. je nach Fahrzustand der Nächsthöhere oder Nächstniedrigere. Durch dieses Voreinlegen lässt sich eine schnelle, zugkraftunterbrechungsfreie Schaltung realisieren. Beim Schaltvorgang kommt es zum Öffnen einer und gleichzeitigen Schließen einer anderen Kupplung, was durch einen integrierten Mikrocontroller geregelt wird. Die Ansteuerung und Regelung der beiden Kupplungen sowie der Gangsteller muss möglichst präzise erfolgen, um einen hohen Fahrkomfort sicherzustellen. Die Betätigung dieser erfolgt üblicherweise mittels Hydraulik, wobei bei einigen Konzepten aus Effizienzgründen die Kupplungsaktuierung mittels kleiner elektromechanischer Betätigungsvorrichtungen erfolgt.

Die Schaltqualität von Doppelkupplungsgetrieben kann mit der von Wandlerautomaten verglichen werden, jedoch muss diese über die gesamte Lebensdauer gewährleistet werden. Dies stellt gerade bei trockenen Doppelkupplungen eine große Herausforderung dar, da hier die Problematik der Reibwertstabilität existiert. Diese Stabilität ist stark temperatur- sowie verschleißabhängig und ist von großem Einfluss für die Schaltqualität. Der Verschleiß bzw. die Veränderung des Reibwerts müssen mittels entsprechender Adaptionen ausgeglichen werden. Die Optimierung und Abstimmung der Schaltqualität ist dabei ähnlich aufwendig wie bei Automatikgetrieben.

³⁷ Vgl. FISCHER, R. et al (2012), S. 240 ff.

³⁸ INDERWISCH, K.; KASSEL, T.; KÜÇÜKAY F. (2010) in FISCHER, R. et al (2012), S. 240.

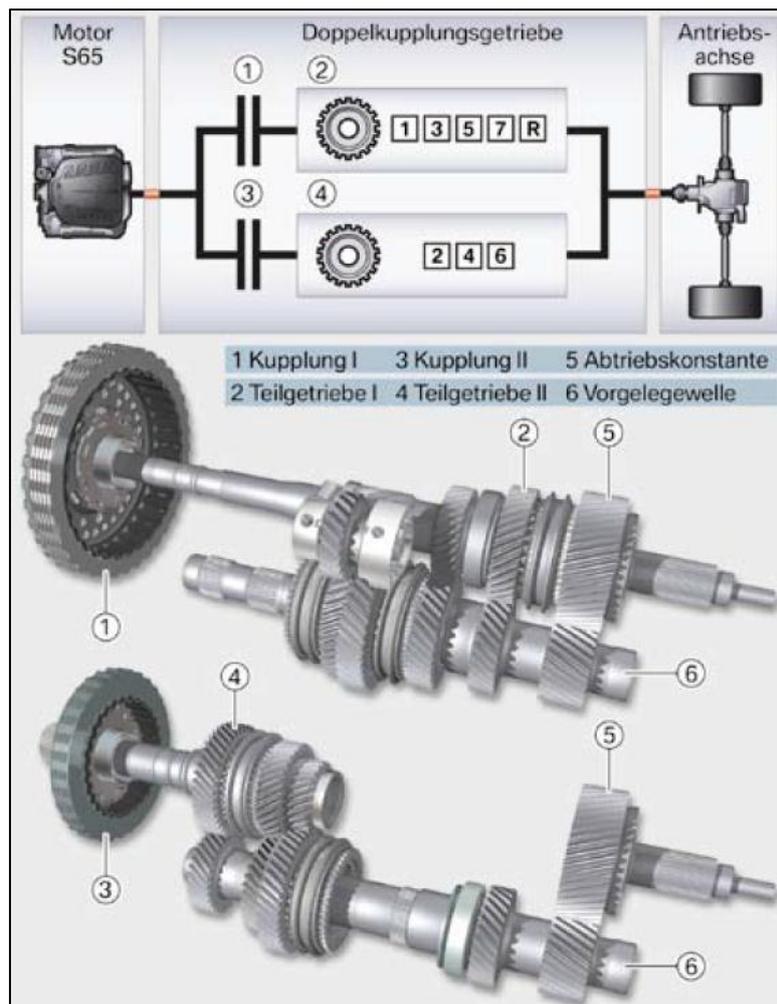


Abbildung 2.3: BMW 7-Gang Doppelkupplungsgetriebe³⁹

Wie bei allen Getriebekonzepten stellt die Hybridisierungsmöglichkeit einen wichtigen Teil im Lastenheft eines Getriebes für die Zukunft dar. Diese Anforderung erfüllen Doppelkupplungsgetriebe außerordentlich gut, da notwendige Zusatzmaßnahmen, wie z.B. konstruktive Änderungen, relativ gering bleiben. Dabei stellen koaxiale Kurbelwellenstartergeneratoren die einfachste Möglichkeit in Form von Start-Stopp-Fähigkeit dar. Teilweise muss das Hydrauliksystem um einen Druckspeicher erweitert werden, um diese Funktion auch von der Getriebeseite realisieren zu können.

Hauptaugenmerk bei Adaptionen muss auf die beiden Eingangskupplungen (Schaltkupplungen) gelegt werden. Deren Kuppelverhalten stellt beim Schaltvorgang das große Maß für den Schaltkomfort dar. Des Weiteren muss teilweise die Aktuierung der Schaltgabeln adaptiert werden, um Verschleiß und Temperaturabhängigkeiten auszugleichen. Da alle Berechnungen einem vordefinierten Öldruck zugrunde liegen und meist kein Systemdrucksensor verbaut ist, muss auch dieser regelmäßig mittels entsprechender Routinen adaptiert werden.

³⁹ ATZ 110 (2008), Bild 1, S. 765.

2.4 Automatisierte Schaltgetriebe⁴⁰

Automatisierte Schaltgetriebe vereinen den Vorteil des hohen Wirkungsgrades von Handschaltgetrieben und den Komfort von Automatikgetrieben. Sie werden hauptsächlich in Nutzfahrzeugen aber auch in Klein- und Sportwagen verbaut. Für die Anwendung in Sportwagen kommen spezielle Konzepte mit verkürzten Schaltzeiten zum Einsatz.

Grundsätzlich müssen zwei Arten von automatisierten Schaltgetrieben unterschieden werden. Einerseits das herkömmliche Handschaltgetriebe in Vorgelegebauweise, welches mittels zusätzlicher Komponenten automatisiert wird (wie in Abbildung 2.4 dargestellt) und andererseits ein ähnliches Getriebe, bei dessen Entwicklung allerdings schon die Aktuatorik/Sensorik berücksichtigt und in das Getriebe integriert wird.

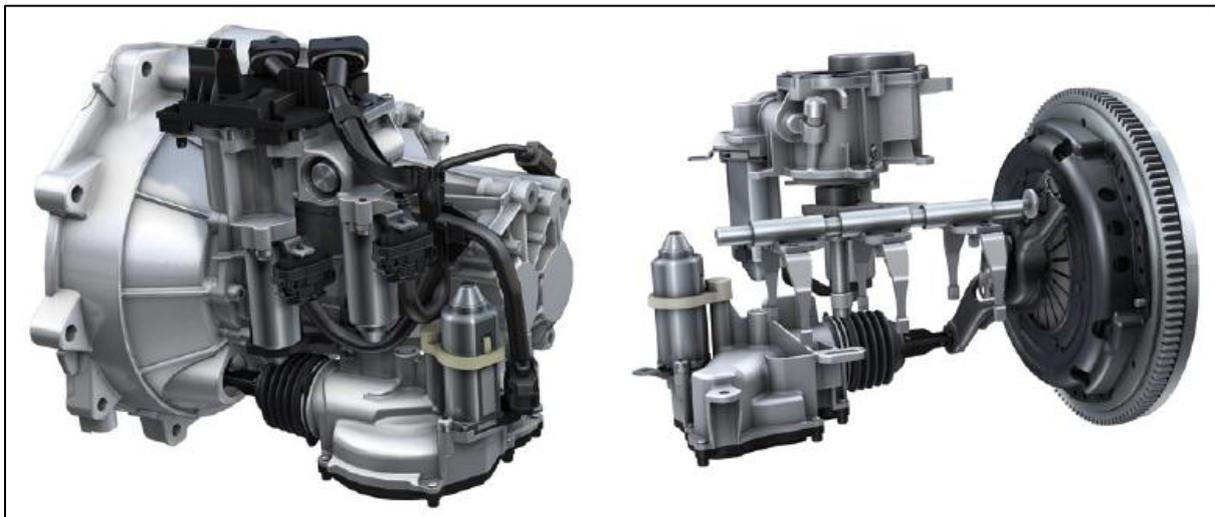


Abbildung 2.4: Automatisiertes Schaltgetriebe und Aktuatorensystem⁴¹

Im Wesentlichen besteht die Automatisierung in der Betätigung der Kupplung, der Betätigung der Gassen- und Gangwahl, entsprechender Sensorik sowie dem Getriebesteuergerät. Letzteres ist für die automatische Schaltpunktwahl, den Schaltablauf und für die Regelung des Anfahrvorgangs zuständig. Dabei übernimmt es sämtliche Steuer- und Regelfunktionen, welche mittels Betätigung von Magnetventilen und Relais ausgeführt werden. Die Betätigung von Kupplungs- und Gangstellern kann hydraulisch oder elektromechanisch erfolgen. In seltenen Fällen kommen pneumatische Systeme zum Einsatz.

Um den großen Vorteil der Vielzahl von Gleichteilen eines automatisierten Schaltgetriebes zu einem Handschaltgetriebe zu nutzen, werden im Normalfall auch die Kupplungssysteme übernommen. Diese sind üblicherweise ohne Betätigung in geschlossenem Zustand (Normally-closed-Systeme), was das Entfallen einer Parksperre ermöglicht. Des Weiteren Entfallen bei sog. Add-on-Lösungen die Entwicklungs- und Erprobungsarbeiten bezüglich des Basisgetriebes. Dies ist bei der Integration der Automatisierung in ein neu entwickeltes ASG nicht möglich, jedoch bietet dieses Vorteile wie höherer Kompaktheit und Reduktion des Lastenhefts bezüglich Missbrauchs des Getriebes durch den Fahrer.

⁴⁰ Vgl. FISCHER, R. et al (2012), S. 235 ff.

⁴¹ ATZ extra (2011), Bild 5&6, S. 47.

Einige Parameter wie erhöhte Bauteilbelastungen, Anstieg der Schalzhäufigkeit, Anbindung der zusätzlichen Komponenten, etc. müssen berücksichtigt werden. Dazu kann es bei Add-on-Lösungen notwendig sein, einige Teile des Basisgetriebes zu ersetzen oder abzuändern. Speziell im Bereich der Synchronisierung muss darauf geachtet werden, da durch die Automatisierung eine wesentliche Erhöhung des Kraftniveaus beim Synchronisieren erfolgt.

Größten Nachteil des automatisierten Schaltgetriebes im Vergleich zu anderen automatisierten Getrieben stellt die Zugkraftunterbrechung beim Schaltvorgang dar. Stellt ein entsprechend applizierter Schaltruck bei Sportwagen noch eine gewisse Sportlichkeit dar und ist teilweise sogar gewünscht, ist dieser bei Komfortfahrten absolut störend, da bei automatischen Gangwechseln der Fahrer durch die Zugkraftunterbrechung meist überrascht wird. Deshalb wird versucht, diese so kurz wie möglich zu halten. Dadurch entstehen kurze Synchronisierzeiten und hohe Schaltkräfte. Dies führt wiederum zu sehr starken Belastungen der Synchronisierung, weshalb diese speziell ausgelegt werden muss, um die einwandfreie Funktion über die gesamte Lebensdauer zu gewährleisten.

Im Gegensatz dazu stehen eindeutige Verbesserungen der Bedienbarkeit und eine Steigerung des Bedienkomforts, mit sämtlichen Wirkungsgradvorteilen eines einfachen manuellen Getriebesystems. Deshalb kommen automatisierte Schaltgetriebe vorwiegend bei Nutzfahrzeugen und Kleinwagen zum Einsatz.⁴²

Adaptionen beziehen sich beim automatisierten Schaltgetriebe meist auf die Aktuierung der Kupplung. Das Kupplungsverhalten ist immens entscheidend für den Anfahrvorgang sowie das Ermöglichen von möglichst komfortablen und kurzen Schaltvorgängen. Die Adaption während der Fahrt stellt meist ein Problem dar, da nur eine Kupplung zur Kraftübertragung zur Verfügung steht. Des Weiteren ist meist eine trockene Kupplung verbaut, welche aufgrund der Regelbarkeit nicht mit Mikroschlupf betrieben werden kann. Deshalb wird meist auf Adaptionsroutinen während des Stillstands zurückgegriffen.

Bei Add-on-Lösungen werden Gang- und Gassensteller meist nicht adaptiert sondern mittels Anfahren einer Referenzposition kalibriert.⁴³

Erfolgt die Betätigung der Schaltgabeln direkt integriert im Gehäuse, können ähnliche Adaptionen wie in Doppelkupplungsgetrieben eingesetzt werden.

⁴² Vgl. KLEMENT, W. (2011), S. 94.

⁴³ Vgl. Besprechung EGGERT, T. (2012)

3 Ausführung verschiedener Adaptionen

In diesem Kapitel werden einige Adaptionenroutinen erläutert, um ein Grundverständnis für diese Thematik zu vermitteln. Es soll aufgezeigt werden, welche Parameter bzw. Vorgänge genutzt werden können, um die Steuerung eines automatisierten Getriebes zu adaptieren. Bei Adaptionenroutinen handelt es sich um Zyklen bzw. Abläufe, welche von der Getriebesteuerung selbstständig durchgeführt werden, ohne die Funktion bzw. das Fahrverhalten des Fahrzeuges zu beeinflussen. Die folgenden Adaptionen stellen nur einen Auszug aus der Gesamtheit aller möglichen bzw. eingesetzten Routinen dar.

Zur Thematik Adaptionen existiert eine Vielzahl von Patenten. Die Ausführung bzw. Erläuterung aller würde den Rahmen dieser Diplomarbeit überschreiten, weshalb nur auf ein paar Patente eingegangen wird. Das Ergebnis der durchgeführten Patentrecherche ist im Anhang ersichtlich.

3.1 Einteilung der Fahrzustände

Eine Eingangsbedingung für jede Adaptionenroutine stellt der Fahrzustand dar. Da diese Routinen bestimmte Vorgänge oder zeitlich konstante Zustände benötigen, sind folgend die unterschiedlichen Fahrzustände beschrieben. Eine Änderung des Fahrzustandes während einer laufenden Adaption kann zum Abbruch dieser führen.

Folgende Fahrzustände werden unterschieden:

- **Stillstand** ($v=0$ km/h mit Motorlauf)
 - Leerlauf (Wahlhebel D / R)
 - Neutral (Wahlhebel N / P)

- **Anfahrvorgang**
Beschleunigung aus dem Stillstand

- **Schaltvorgang**
 - Zug – Hoch-/Rückschaltung
 - Schub – Hochschaltung
 - Ausrollschaltung
 - Bei Automatikgetriebe: Gangeinlegen / Gangauslegen (Wechsel P / D)

- (annähernde) **Konstantfahrt**
Motorlast und / oder -drehzahl sind annähernd konstant oder langsame Beschleunigung / Verzögerung

- **Dynamische Fahrt**
keine Regelmäßigkeiten

Der Fahrzeugstillstand ohne Motorlauf stellt einen weiteren Zustand dar, allerdings eignet sich dieser nur sehr bedingt bis gar nicht für die Ausführung von Adaptionen.

Weiters sollen zwei Situationen berücksichtigt werden, welche streng genommen keinen Fahrzustand darstellen, jedoch eine gute Möglichkeit bieten, um Adaptionen durchzuführen. Die später beschriebenen Vorgänge in diesen beiden Situationen stellen keine eigentlichen Adaptionen dar, sondern vielmehr eine Prozedur bzw. einen Ablauf mehrerer unterschiedlicher Routinen, welche bei den obigen Fahrzuständen ausgeführt werden.

- **Stillstand beim Service**
 - sehr gute Adaptionbedingungen
 - nur während des Service möglich
 - Abhängig vom Serviceintervall

- **End-of-Line**
 - am Ende der Fertigung
 - gute Adaptionbedingungen
 - höhere Kundenzufriedenheit bei Neuwagen („0-km-Verhalten“)
 - Zeitproblematik (Taktzeit)

3.2 Adaptionenarten

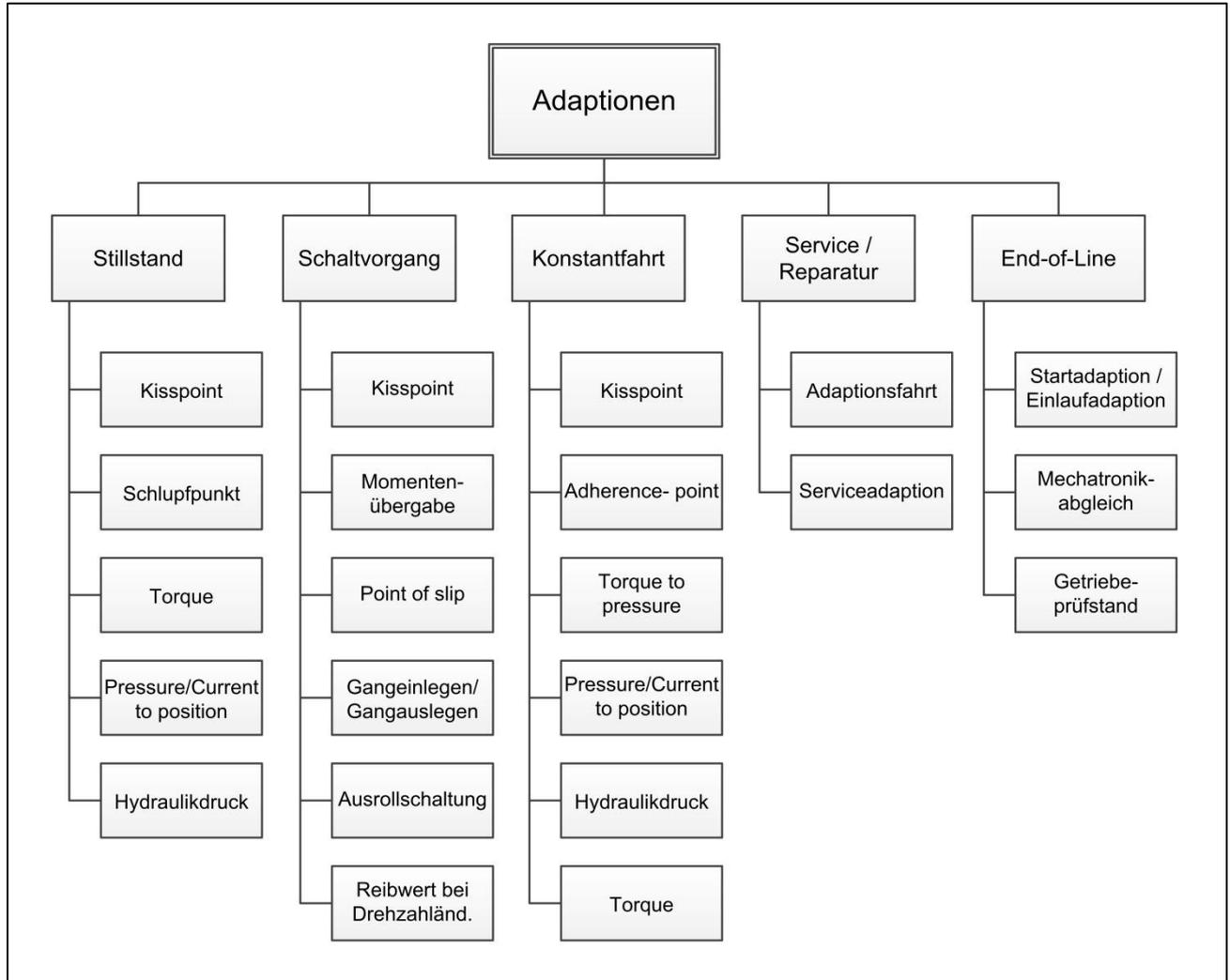


Abbildung 3.1: Übersicht Adaptionenarten

In obiger Abbildung ist die Gliederung der später beschriebenen Adaptionen nach Fahrzustand und Arbeitsweise dargestellt. Da sich der Anfahrvorgang sowie die dynamische Fahrt nur bedingt für Adaptionen eignen, sind diese aus der Abbildung ausgegliedert und werden in Kapitel 3.8 und 3.9 beschrieben.

3.3 Adaptionen bei Stillstand

Voraussetzungen:

- Fahrzeug steht still ($v=0$ km/h)
- Motor läuft mit Leerlaufdrehzahl
- Wählhebel auf D
- ATF im Temperaturbereich (Betriebswarm)

Während einer Stillstandsphase, z.B. vor einer roten Ampel, kann eine Vielzahl von Adaptionen durchgeführt werden. Die Häufigkeit ist abgesehen von Überlandfahrten relativ hoch. Im Normalfall ist der Wählhebel in Position D, die Bremse ist betätigt (um ein Kriechen zu verhindern) und die Dauer dieser Phasen beträgt meist mehrere Sekunden. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass es zu einem jederzeitigen Ende dieser Situation kommen kann und das Anfahren aufgrund einer aktiven Adaptionroutine nicht merklich verzögert werden darf.

Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen

	AG			DKG		ASG		CVT
	WÜK	AK	SK	SK	GS	SK	GS	AK
Pulsprüfung Schnellfüllzeit 1		X	X					
Pulsprüfung Schnellfüllzeit 2		X	X					
Pulsprüfung Fülldruck 1		X	X					
Pulsprüfung Fülldruck 2		X	X					
Pulsprüfung Schnellfüllzeit & Fülldruck		X	X					
Schleifpunkt	X	X	X	X		X		
Schnellfüllzeit & Minimaldruck einer WÜK	X	X		X		X		
Kisspoint-Adaption von ASG				X		X		(X)
Adaption Schlupfpunkt			X					
Torque	(X)							
Pressure / Current to position					X		X	
Hydraulikdruckadaption				X		X		

Tabelle 1: Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen bei Stillstand

Anm.:

AG	Automatikgetriebe	DKG	Doppelkupplungsgetriebe
ASG	Automatisierte Schaltgetriebe	CVT	Stufenlosgetriebe
WÜK	Wandlerüberbrückungskupplung	AK	Anfahrkupplung (nass / trocken)
SK	Schaltkupplung	GS	Gangsteller (Synchronisierung)

Tabelle 1 soll einen Überblick geben, welche der im Folgenden ausgeführten Adaptionen bei den unterschiedlichen Getriebetypen bzw. den einzelnen Kupplungen in einem Getriebe angewandt werden können. Daraus kann abgeleitet werden, dass bestimmte Routinen aufgrund des Vorgangs bzw. des Aufbaus eines Getriebes nur für

bestimmte Kupplungen genutzt werden können. Durch Variation dieser Vorgänge können ähnliche Routinen eventuelle auch für andere Kupplungen eingesetzt bzw. entwickelt werden. Bei der Adaption „Torque“ ist die Anwendbarkeit für alle Kupplungen nur bedingt gegeben (deshalb mit (X) markiert), da diese Routine keine Kupplungsparameter selbst, sondern den Wert des Eingangsdrehmoments des Getriebes adaptiert.

Um die Vor- und Nachteile der einzelnen Adaptionsroutinen gegenüberzustellen, wurden diese bewertet (wie in Tabelle 2 ersichtlich). Dabei wurden sechs Bewertungskriterien festgelegt, um einen direkten Vergleich zwischen den einzelnen Routinen zu schaffen.

	Spürbarkeit für den Fahrer	Genauigkeit / Ergebnisqualität	Adaptionsdauer	Kontinuierliche Adaption	Übertragbarkeit	Adaptionsbereich (T, M, v)
Pulsprüfung Schnellfüllzeit 1	-	+	o	+	+	-
Pulsprüfung Schnellfüllzeit 2	-	o	o	+	-	-
Pulsprüfung Fülldruck 1	-	+	o	+	o	-
Pulsprüfung Fülldruck 2	-	o	o	+	-	-
Pulsprüfung Schnellfüllzeit & Fülldruck	-	+	o	+	+	-
Schleifpunkt	+	+	+	+	+	o
Schnellfüllzeit & Minimaldruck einer WÜK	-	+	+	-	+	-
Adaption Schlupfpunkt	+	o	+	+	-	o
Torque	+	+	+	+	-	+
Pressure/Current to position	-	+	+	+	+	+
Hydraulikdruckadaption	+	+	+	+	-	+

Tabelle 2: Bewertung der Adaptionsroutinen bei Stillstand⁴⁴

Wie oben dargestellt, liegen die Vorteile der Adaptionen bei Stillstand im Bereich der Adaptionsdauer, der kontinuierlichen Adaption sowie der Genauigkeit. Aufgrund der teilweise nur sehr begrenzten Dauer des Stillstands, muss das Hauptaugenmerk dieser Adaptionen auf die Adaptionsdauer bzw. die Geschwindigkeit der Adaption gelegt werden. Größten Nachteil stellt die Spürbarkeit für den Fahrer dar, welche aufgrund des Motorleerlaufs und der niedrigen Geräuschkulisse im Stillstand relativ hoch ist. Zusätzlich stellt die ausreichende Ölversorgung für Adaptionen im Leerlauf ein Problem dar. Da die ersten fünf beschriebenen Adaptionen hauptsächlich für den Servicefall bzw. End-of-Line entwickelt wurden, sind diese in der ausgeführten Form nur sehr begrenzt im normalen Fahrbetrieb einsetzbar.

⁴⁴ Besprechung EGGGER, P.; SAVAGE, P.; SCHATZ, P. (2012)

3.3.1 Adaption Kisspoint

Ein Großteil der Kisspoint-Adaptionen, welche in Kapitel 3.5.1 beschrieben werden, können auch im Stillstand durchgeführt werden. Zusätzlich gibt es einige Möglichkeiten, den Kisspoint zu adaptieren, welche nur im Stillstand durchgeführt werden können. Diese werden im Folgenden beschrieben.

3.3.1.1 Pulsprüfung Schnellfüllzeit 1

Bei dieser Methode wird ein Druckpuls an der zu lernenden Kupplung gesetzt. Die Dauer des Druckpulses muss so lange erfolgen, bis eine deutliche Reaktion an der Getriebeeingangsdrehzahl messbar ist. Anschließend wird die Schnellfüllzeit schrittweise verkürzt, bis eine geringe, vordefinierte Änderung der Drehzahl erfolgt. Anhand dieser Zeitdauer kann die Schnellfüllzeit adaptiert werden.

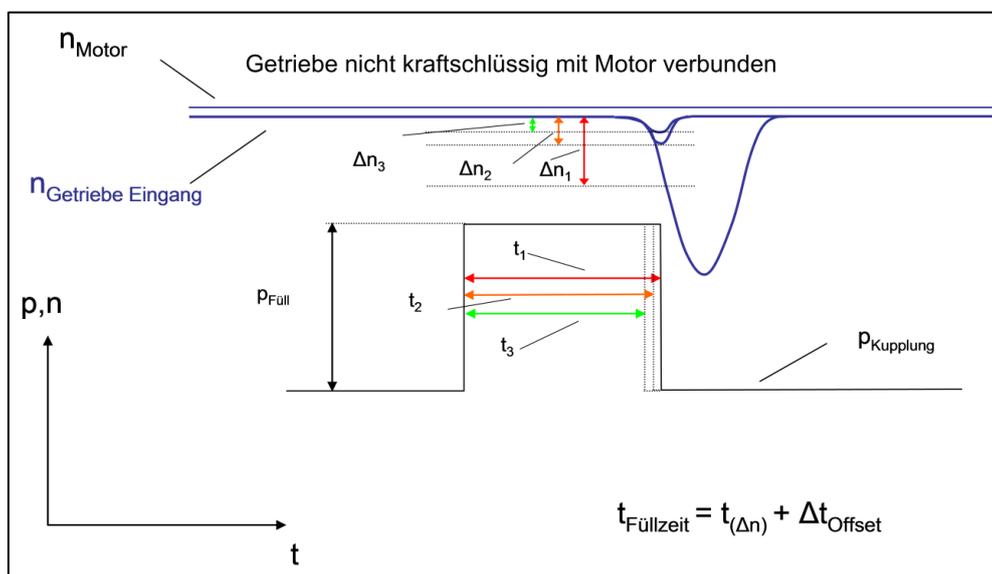
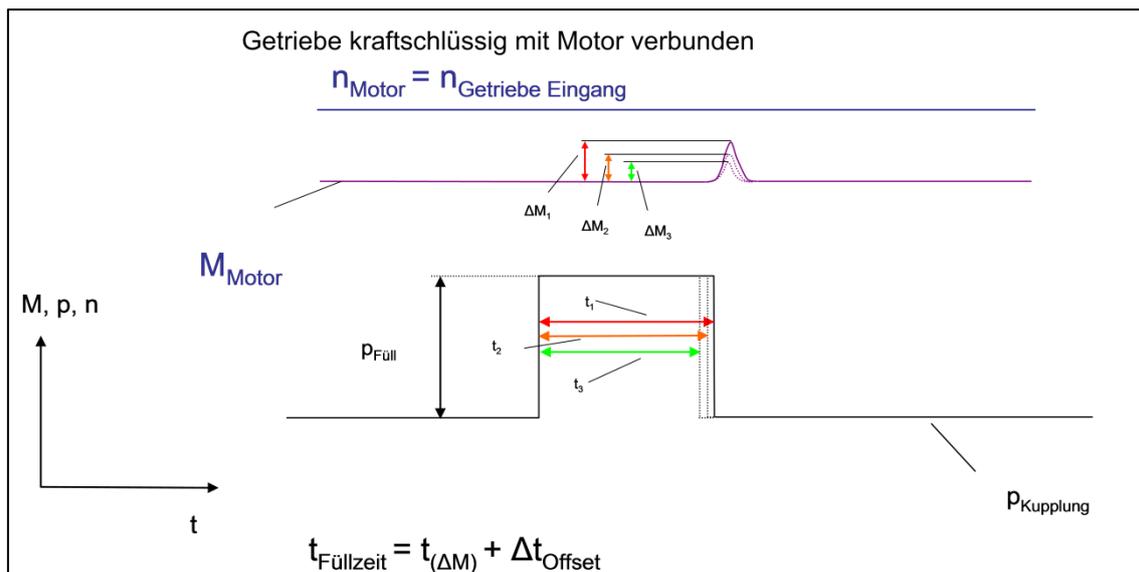


Abbildung 3.2: Pulsprüfung Schnellfüllzeit 1⁴⁵

3.3.1.2 Pulsprüfung Schnellfüllzeit 2

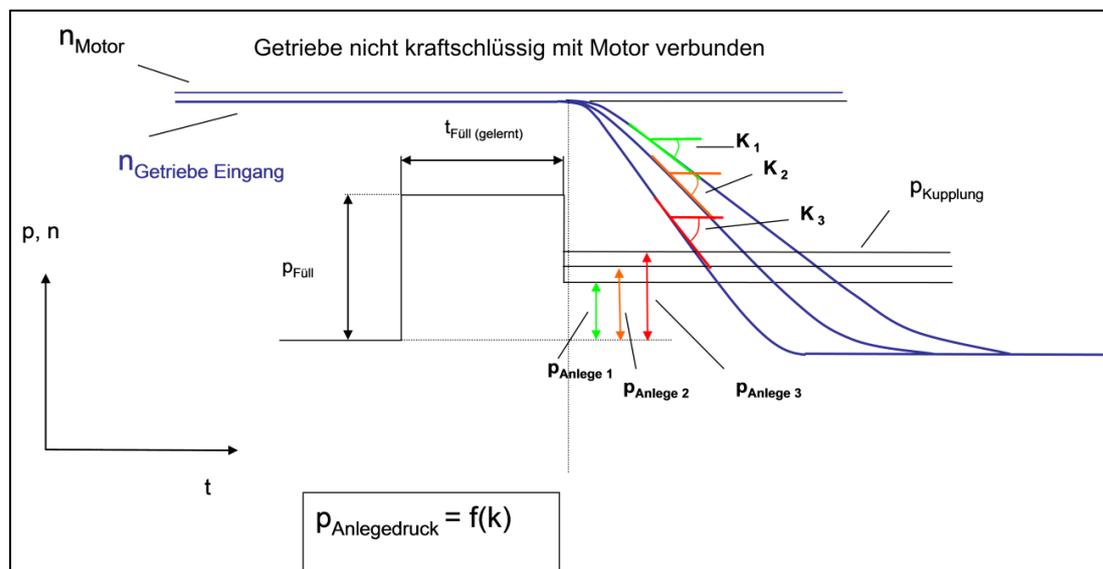
Für diese Variante zur Bestimmung der Schnellfüllzeit wird die Reaktion des Motormoments herangezogen. Dafür muss das Getriebe kraftschlüssig mit dem Motor verbunden sein, d.h. die WÜK oder die nasse AK muss geschlossen werden und die zu adaptierende Kupplung geöffnet sein. Anschließend wird ein Schnellfüllpuls von einer Zeitdauer gesetzt, die eine deutliche Reaktion des Motormoments zeigt. Bei den folgenden Pulsen, wird die Schnellfüllzeit schrittweise verkürzt, bis ein vordefiniertes Maß einer Momentenreaktion erreicht wird. Ist dieses erreicht, kann mit der Pulsdauer die Schnellfüllzeit adaptiert werden.

⁴⁵ POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 9-1, S. 44.

Abbildung 3.3: Pulsprüfung Schnellfüllzeit 2⁴⁶

3.3.1.3 Pulsprüfung Fülldruck 1

Es wird ein Druckpuls mit direktem Übergang auf Anlegedruck gesetzt. Wie in Abbildung 3.4 dargestellt, fällt die Getriebe-Eingangsdrehzahl auf null ab. Die Steigung k dieses Abfalls gilt als Maß für den Anlegedruck. Bei Abweichungen erfolgt eine erneute Betätigung mit variiertem Anlegedruck, bis die Steigung dem Sollwert entspricht. Dabei muss die Steigung k über eine definierte Zeitdauer ermittelt werden.

Abbildung 3.4: Pulsprüfung Fülldruck 1⁴⁷

⁴⁶ POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 9-3, S. 46.

⁴⁷ POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 9-2, S. 45.

3.3.1.4 Pulsprüfung Fülldruck 2

Für diese Variante der Anlegedruckbestimmung wird die Reaktion des Motormoments zur Identifikation des korrekten Anlegedrucks herangezogen. Dafür muss zuerst die Wandlerüberbrückungskupplung bzw. die nasse Anfahrkupplung geschlossen werden. Es wird ein Druckpuls gesetzt, der direkt auf Anlegedruck übergeht. Um die Drehzahl zu halten, muss die ECU das Motormoment erhöhen. Das Niveau des Anlegedrucks muss schrittweise variiert werden, bis der korrekte Wert erreicht wird. Als Maß dafür gilt die Momentenreaktion, die sich am Motor einstellt.

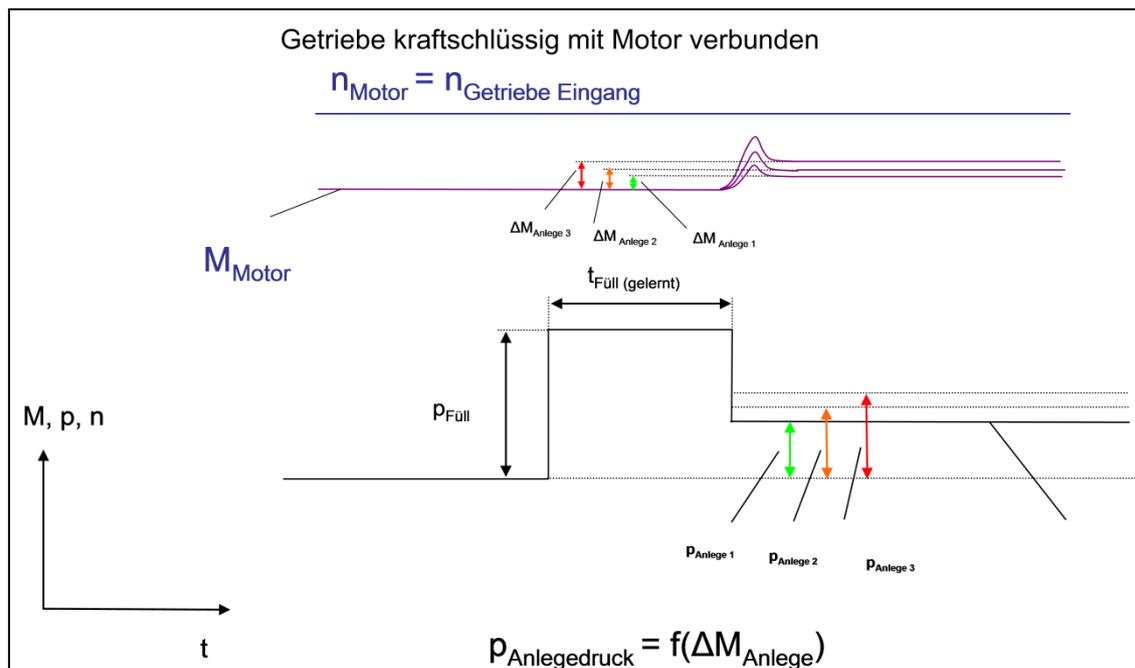
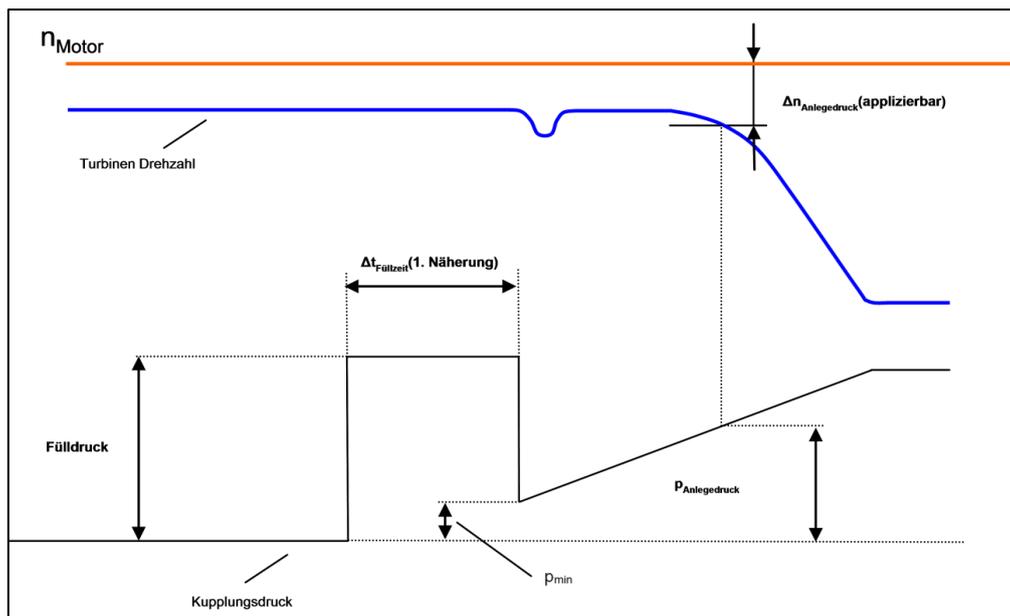


Abbildung 3.5: Pulsprüfung Fülldruck 2⁴⁸

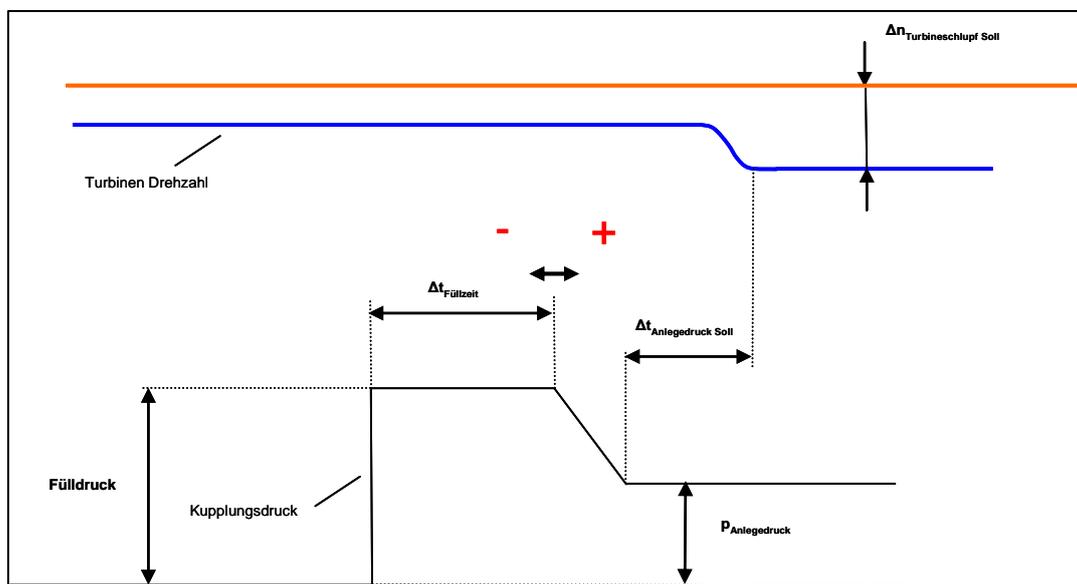
3.3.1.5 Pulsprüfung Schnellfüllzeit & Fülldruck

Zuerst wird ein Füllpuls gesetzt, bis eine Reaktion an der Turbinen-Drehzahl gemessen wird (dies dient zur Ermittlung der Füllzeit in erster Näherung). Anschließend wird der Druck auf einen Basiswert (p_{min}) gebracht (um ein Wiederentleeren der Kupplung zu verhindern) und entlang einer Rampe langsam hochgefahren, bis eine erneute Reaktion der Turbine feststellbar ist. Einer vordefinierten Drehzahldifferenz wird der entsprechende Druck zugeordnet, welcher der Fülldruck (=Anlegedruck) ist.

⁴⁸ POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 9-4, S. 47.

Abbildung 3.6: Pulsprüfung Schnellfüllzeit & Fülldruck⁴⁹

Anschließend folgen die Verifizierung des Fülldrucks und das Einlernen der Schnellfüllzeit. Dazu wird, wie in Abbildung 3.7 dargestellt, zuerst der Schnellfüllpuls und der folgende Fülldruck gesetzt. Ziel ist das Erreichen einer Sollzeit bis auf Anlegeniveau, bei der sich ein Soll-Turbinenschlupf einstellt.

Abbildung 3.7: Verifizierung Füllzeit & Anlegedruck⁵⁰

Bei Abweichung der Zeit $\Delta t_{\text{Anlegedruck Soll}}$ vom Sollwert, wird die Schnellfüllzeit korrigiert. Entspricht jedoch die Drehzahldifferenz der Turbine nicht dem vordefinierten Wert, wird der Fülldruck korrigiert.

⁴⁹ POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 3-4, S. 24.

⁵⁰ POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 3-5, S. 25.

3.3.1.6 Schleifpunkt

Pat.Nr. DE10352611A1

Bei Fahrzeugstillstand und Motorleerlauf wird die Kupplung aus dem geöffneten Zustand mittels Rampen über den abgespeicherten Schleifpunkt geschlossen. Dadurch wird die Getriebeingangsdrehzahl der Leerlaufdrehzahl des Motors angepasst. Anschließend wird die Kupplung so weit geöffnet, bis es zu einer definierten Drehzahldifferenz (Δn) kommt. Diese Position bzw. dieser Druck entspricht dem Schlupfpunkt (Schleifpunkt 1) der öffnenden Kupplung. Darauffolgend wird die Kupplung erneut geschlossen, bis der Wendepunkt der Getriebedrehzahl erreicht ist. Dies entspricht dem Kisspoint (Schleifpunkt 2) der schließenden Kupplung. Die Differenz der beiden Schleifpunkte entspricht der Hysterese H der Kupplungskennlinie.⁵¹

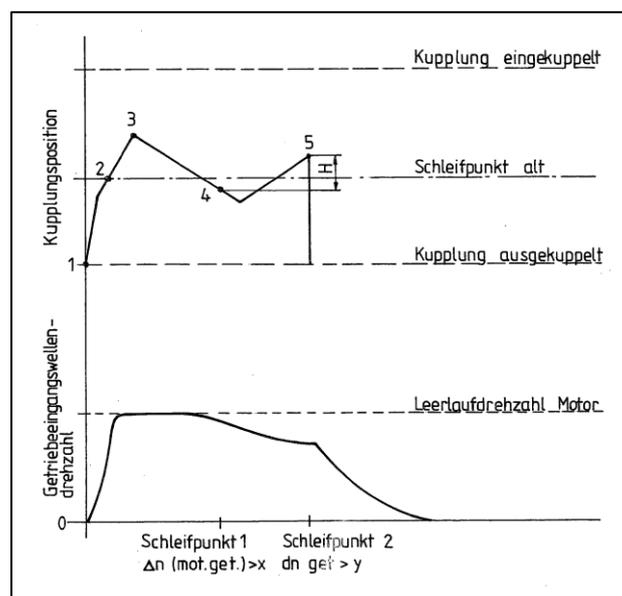


Abbildung 3.8: Schleifpunktadaption⁵²

Eine ähnliche Adaption stellt das „Verfahren zur Ermittlung des Greifpunktes einer Kupplung“⁵³ dar, bei der der Greifpunkt anhand zweier Messpunkte errechnet wird. (siehe Anhang)

⁵¹ Vgl. Patent DE10352611A1 (2005), S. 6.

⁵² Patent DE10352611A1 (2005), S. 8.

⁵³ Patent EP1741950A1 (2007)

3.3.1.7 Schnellfüllzeit & Minimaldruck einer WÜK

Zu Beginn dieser Routine wird der sog. Minimaldruck eingelernt. Befindet sich die Wandlerüberbrückungskupplung in geschlossenem Zustand und der Druck wird auf diesen abgesenkt, beginnt diese sich zu öffnen bzw. stellt sich eine Differenzdrehzahl $\Delta n_{\text{Minimaldruck}}$ ein.

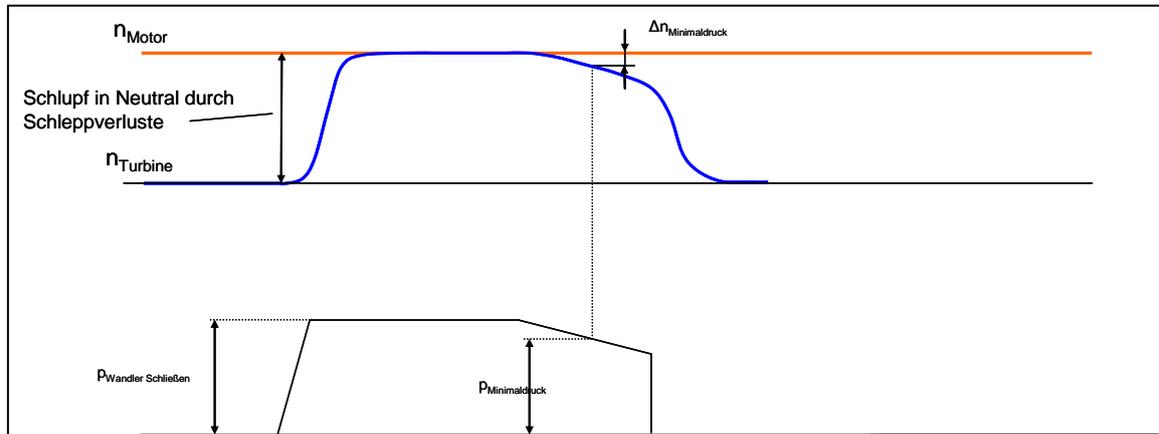
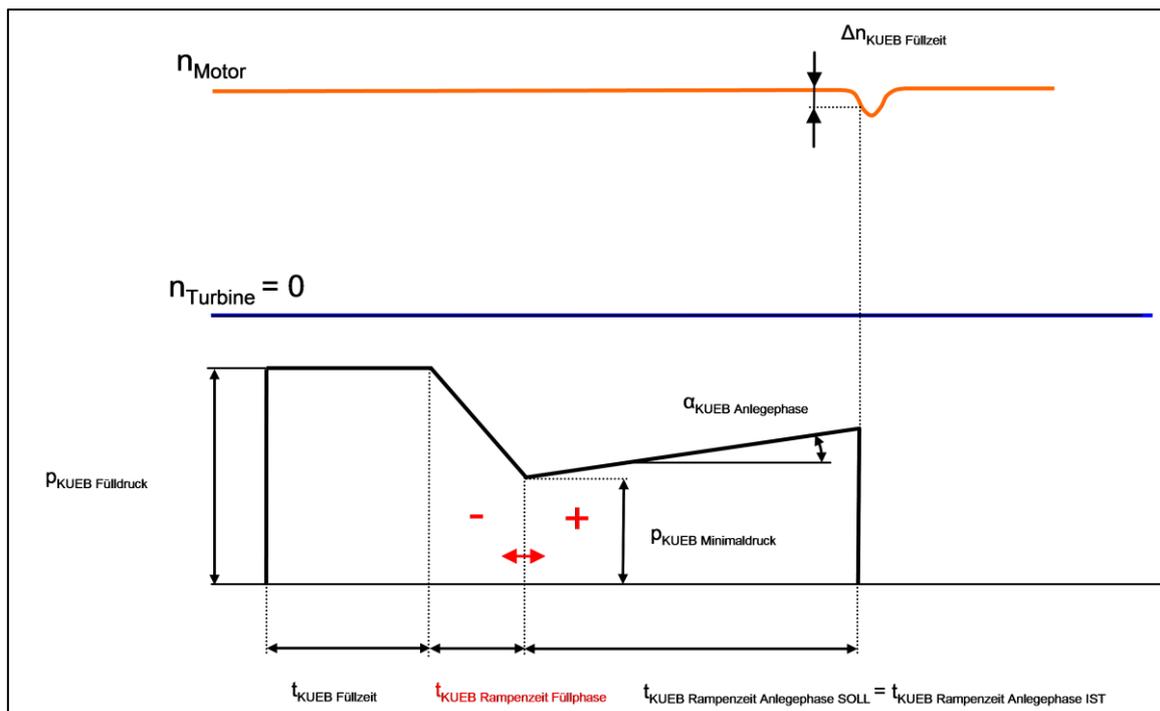


Abbildung 3.9: Einlernen Minimaldruck WÜK⁵⁴

Um dieses Verfahren zu ermöglichen, muss eine Kupplungskombination gewählt werden, die möglichst hohe Schleppverluste ohne Kraftschluss zur Getriebeausgangsseite besitzt. Aufgrund dieser entsteht der hohe Schlupf zwischen Pumpen- und Turbinenrad im Wandler. Wie in obiger Abbildung ersichtlich, wird die Wandlerüberbrückungskupplung zuerst vollständig geschlossen, bis kein Schlupf mehr auftritt. Anschließend wird der Druck über eine Rampe langsam reduziert, bis sich eine applizierbare Differenzdrehzahl $\Delta n_{\text{Minimaldruck}}$ einstellt. Dieser Schlupf entspricht dem Minimaldruck.

Anhand des ermittelten Minimaldrucks kann der Fülldruck für die Wandlerüberbrückungskupplung errechnet werden. Für das Einlernen der Füllzeit muss zuvor ein Kraftschluss zur Getriebeausgangsseite hergestellt werden, d.h. ein Gang eingelegt werden. Anschließend wird die Kupplung mit dem Fülldruck $p_{\text{KUEB_Fülldruck}}$ angesteuert, bis nach einer Dauer von $t_{\text{KUEB_Füllzeit}}$ der Druck über eine Rampe auf den Minimaldruck $p_{\text{KUEB_Minimaldruck}}$ (=Minimaldruck + Offset) innerhalb der Zeit $t_{\text{KUEB_Rampenzeit_Füllphase}}$ reduziert wird. Darauf folgt eine Rampe mit einer applizierbaren Steigung, bis nach der Zeitdauer $t_{\text{KUEB_Rampenzeit_Anlegephase_ist}}$ eine Drehzahldifferenz $\Delta n_{\text{KUEB_Füllzeit}}$ am Motor entsteht. Letzter Schritt ist das Reduzieren des Drucks, um ein Absterben des Motors zu verhindern.

⁵⁴ POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 4-1, S. 26.

Abbildung 3.10: Einlernen Füllzeit WÜK⁵⁵

Dieser Vorgang zur Bestimmung der Füllzeit wird so oft wiederholt, bis die Ist-Dauer der Rampenzeit-Anlegephase dem Sollwert entspricht. Dabei wird die Dauer der Rampenzeit $t_{\text{KUEB_Rampenzeit_Füllphase}}$ variiert.

3.3.1.8 Kisspoint-Adaption von ASG

Jene Verfahren, welche bei Doppelkupplungsgetrieben bei Konstantfahrt durchgeführt werden können, bieten sich für automatisierte Schaltgetriebe im Stillstand an. Diese werden in den Kapiteln 3.5.1.3, 3.5.1.4, 3.5.1.5, 3.5.3.2 und 3.5.3.3 näher erläutert.

⁵⁵ POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 4-2, S. 27.

3.3.2 Adaption Schlupfpunkt

Bei dieser Adaption wird eine Kupplung geöffnet, bis Schlupf auftritt. Anhand des entsprechenden Drucks (p_k) kann auf ein Moment rückgeschlossen werden und damit eine Adaption der Kupplungskennlinie durchgeführt werden. Die Messung erfolgt im Stillstand (Gang D muss eingelegt und die Bremse betätigt sein). Dabei läuft der Motor (n_{mot}) mit Leerlaufdrehzahl und die Turbinendrehzahl (n_t) ist null. Sobald der Schlupfpunkt erreicht ist, steigt diese. Anschließend wird die Kupplung anhand vordefinierter Rampen wieder geschlossen. Der Anstieg der Turbinendrehzahl im Wandler ist für den Fahrer nicht merkbar und ist der entscheidende Vorteil gegenüber der Schlupfpunktadaption während der Konstantfahrt (wie in Kapitel 3.5.2.1 beschrieben).

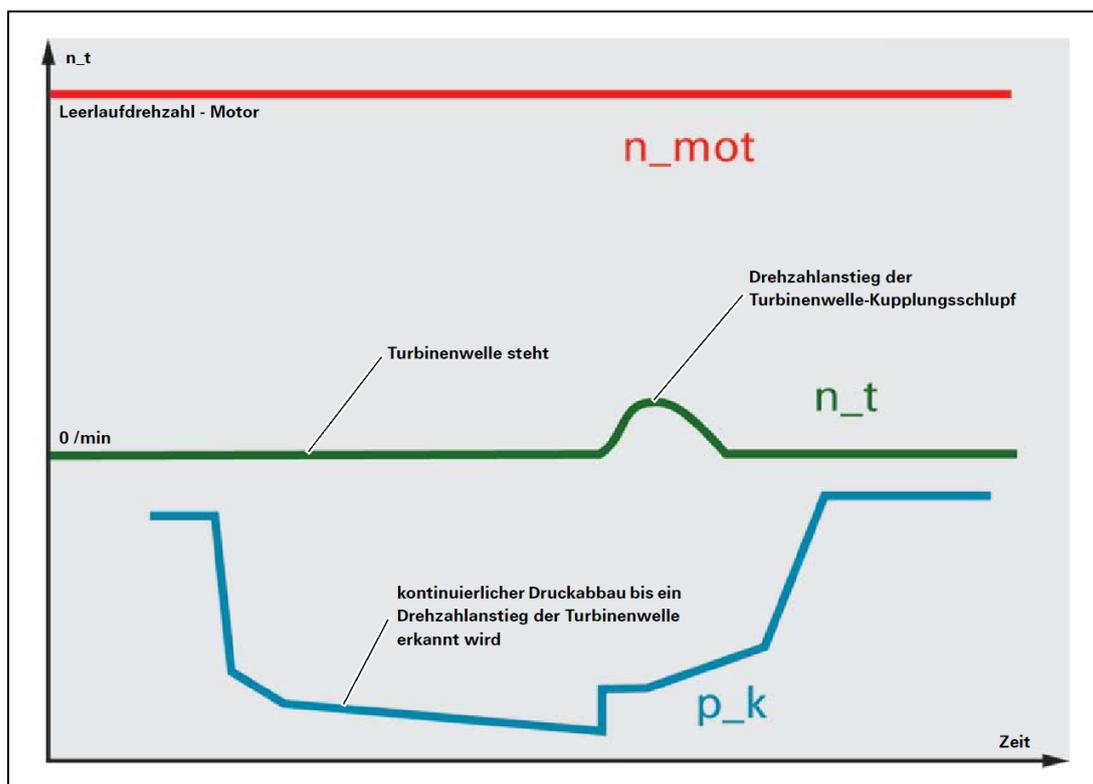


Abbildung 3.11: Schlupfpunktadaption im Stillstand⁵⁶

Bevor die Routine aktiv wird, muss die Fahrzeuggeschwindigkeit eine applizierte Zeitdauer null betragen.

⁵⁶ AUDI Selbststudienprogramm 385 (2008), Abb. 385_045, S. 67.

3.3.3 Torque

Diese Adaption im weiten Sinn betrifft nicht direkt die Getriebesteuerung, korrigiert jedoch eine wichtige Eingangsgröße des Getriebes, das Motormoment. Wenn das Fahrzeug steht und der Motor sich im Leerlauf befindet, kann das Getriebesteuergerät diese Adaption aufrufen bzw. der Motor startet diese. Das von der Motorsteuerung gesendete Motormoment, entspricht dem aktuellen Leerlaufdrehmoment. Dieses ist vom Schaltzustand des Getriebes abhängig und kann mit einem abgespeicherten Wert verglichen werden. Bei Abweichungen kann ein Korrekturfaktor für das Motormoment angepasst werden. Somit kann sichergestellt werden, dass das Getriebesteuergerät einen korrekten Wert für das Motormoment erhält und die daraus berechneten Ansteuerungsdrücke für die Kupplungen stimmen.

3.3.4 Pressure / Current to position

Sämtliche in Kapitel 3.5.4 beschriebenen Routinen zur Adaption von Gangstellern sind auch während des Stillstands möglich. Ein Augenmerk ist darauf zu legen, dass durch Ausführen solcher Adaptionen das Losfahren nicht merklich verzögert werden darf, da dies wiederum zu Komforteinschränkungen führen würde. Aufgrund dessen empfiehlt es sich, die Gangsteller jener Getriebewelle für eine Adaption zu verwenden, welche nicht am Anfahrvorgang beteiligt ist, oder den Gangsteller jenes Ganges, welcher zum Anfahren genutzt wird. Dies ermöglicht ein rasches Anfahren ohne merklichen Zeitverlust.

3.3.5 Hydraulikdruckadaption

Während eines Fahrzeugstillstands bietet sich des Weiteren die Möglichkeit eine Hydraulikadaption durchzuführen. Dabei können die in Kapitel 3.5.5 beschriebenen Adaptionsroutinen durchgeführt werden. Hauptaugenmerk sollte wie bei anderen Standardadaptionen darauf gelegt werden, ein rasches Anfahren jederzeitig zu ermöglichen. Zusätzlich ist zu beachten, dass im Leerlauf ein leichtes Absinken des Öldrucks möglich ist und der notwendige Volumenstrom eventuell nicht zur Verfügung steht.

3.4 Adaptionen beim Schaltvorgang

Voraussetzungen:

- Je nach Adaption Hoch- oder Rückschaltung im Zug- oder Schubbetriebe oder
- Gangein- / Gangauslegen (P <-> D)
- ATF im Temperaturbereich (Betriebswarm)

Die im Folgenden erklärten Verfahren nutzen den Schaltvorgang, um die jeweilige Kupplung zu adaptieren. Aufgrund der Häufigkeit von Schaltungen bietet sich an, das Verhalten des Getriebes während eines Schaltvorgangs zu überwachen und aufgrund dessen Rückschlüsse auf notwendige Adaptionen der Kupplungsparameter zu ziehen. Die kurze Zeitdauer einer Schaltung stellt allerdings ein Problem dar, weshalb die Auswerteelektronik dementsprechend schnell und fein auflösend arbeiten muss.

Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen

	AG			DKG		ASG		CVT
	WÜK	AK	SK	SK	GS	SK	GS	AK
Adaption Schnellfülldruck & Fülldruck			(X)	X		(X)		
Momentenübergabe			X	X				
Point of slip			X	X				
Gangeinlegen / Gangauslegen			X					
Adaption bei Ausrollschaltung bei / über Leerlaufdrehzahl			X	X				
Adaption bei Ausrollschaltung unter Leerlaufdrehzahl			X					
Adaption einer Wandlerüberbrückungskupplung im Schubbetrieb	X							
Adaption bei Zughochschaltung (Drehzahländerung)			X	X		(X)		
Adaption bei Zughochschaltung (Regleraktivität)			X	X				
Adaption bei Zugrückschaltung			X	X				

Tabelle 3: Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen beim Schaltvorgang

Anm.:

AG	Automatikgetriebe	DKG	Doppelkupplungsgetriebe
ASG	Automatisierte Schaltgetriebe	CVT	Stufenlosgetriebe
WÜK	Wandlerüberbrückungskupplung	AK	Anfahrkupplung (nass / trocken)
SK	Schaltkupplung	GS	Gangsteller (Synchronisierung)

Tabelle 3 soll einen Überblick geben, welche der im Folgenden ausgeführten Adaptionsroutinen bei den unterschiedlichen Getriebetypen bzw. den einzelnen Kupplungen in einem Getriebe angewandt werden können. Daraus kann abgeleitet werden, dass bestimmte Routinen aufgrund des Vorgangs bzw. des Aufbaus eines Getriebes nur für

bestimmte Kupplungen angewandt werden können. Durch Variation dieser Vorgänge können ähnliche Routinen eventuell auch für andere Kupplungen eingesetzt bzw. entwickelt werden.

Um die Vor- und Nachteile der einzelnen Adaptionenroutinen gegenüberzustellen, wurden diese bewertet (wie in Tabelle 4 ersichtlich). Dabei wurden sechs Bewertungskriterien festgelegt, um einen direkten Vergleich zwischen den einzelnen Routinen zu schaffen.

	Spürbarkeit für den Fahrer	Genauigkeit / Ergebnisqualität	Adaptionsdauer	Kontinuierliche Adaption	Übertragbarkeit	Adaptionsbereich (T, M, v)
Adaption Schnellfülldruck & Fülldruck	+	+	+	+	+	+
Momentenübergabe	o	o	+	+	-	+
Point of slip	-	o	-	+	o	+
Gangeinlegen (P -> D)	+	+	+	+	o	-
Gangauslegen (D -> P)	+	+	+	+	o	-
Adaption bei Ausrollschaltung bei Leerlaufdrehzahl	+	+	+	+	+	-
Adaption bei Ausrollschaltung unter Leerlaufdrehzahl	+	+	+	+	-	-
Adaption einer WÜK im Schubbetrieb	o	+	o	+	-	-
Adaption bei Zughochschaltung (Drehzahländerung)	+	+	o	+	-	+
Adaption bei Zughochschaltung (Regleraktivität)	+	+	o	+	-	+
Adaption bei Zugrückschaltung	+	+	o	+	-	+

Tabelle 4: Bewertung der Adaptionenroutinen beim Schaltvorgang⁵⁷

Wie oben ersichtlich liegen die Vorteile der Adaptionen beim Schaltvorgang im Bereich der Genauigkeit sowie der kontinuierlichen Anwendung über die Lebensdauer des Getriebes. Aufgrund der Häufigkeit von Schaltungen kann sehr gut mittels diesen adaptiert werden. Die Übertragbarkeit ist sehr begrenzt, da der Schaltablauf sehr stark von den beteiligten Kupplungen abhängig ist. Auch in Bezug auf den Adaptionsbereich sind hier kleine Einbußen bemerkbar, da Schaltungen nach einer vordefinierten Schaltstrategie durchgeführt werden und dadurch meist im gleichen Lastbereich stattfinden.

⁵⁷ Besprechung EGGGER, P.; SAVAGE, P.; SCHATZ, P. (2012)

3.4.1 Adaption Kisspoint

Wie in Kapitel 1.10 beschrieben, wird eine Kupplung vor dem eigentlichen Schaltvorgang mittels Schnellfüllung vorbereitet, um diese möglichst schnell an den Kisspoint heranzuführen. Da der gesamte Schaltablauf (und damit auch der Komfort einer Schaltung) von der Korrektheit des Kisspoints abhängig ist, kommt es bei Abweichungen von diesem zu unterschiedlichen Drehzahlverläufen während der Drehzahlanpassung. Ist die Getriebesteuerung im Stande dies zu detektieren, kann die fehlerhafte Befüllung adaptiert werden.

Eine weitere Möglichkeit wird folgend beschrieben.

3.4.1.1 Adaption Schnellfülldruck & Fülldruck⁵⁸

Voraussetzung für diese Adaption ist die Messung des Ist-Drucks einer Kupplung, was meist nur bei hydraulisch betätigten Doppelkupplungsgetrieben der Fall ist.

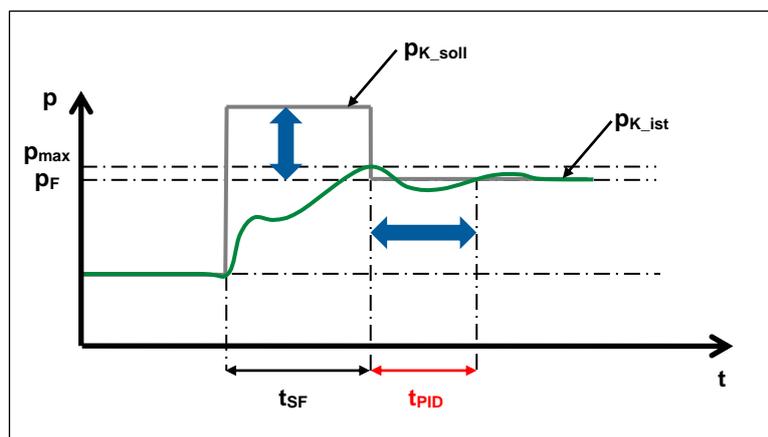


Abbildung 3.12: Adaption Schnellfülldruck & Fülldruck beim Schaltvorgang⁵⁹

Soll eine Kupplung für den Schaltvorgang vorbereitet werden, erfolgt die Schnellbefüllung über die Ansteuerung der Kupplung (p_{K_soll}) mittels eines Druckpulses und der darauf folgenden Füllphase. Kommt zu Beginn der Füllphase ein Druckregler zum Einsatz, um den Istdruck (p_{K_ist}) dem Solldruck (in dieser Phase $p_{K_soll}=p_F$) anzupassen, kann die Dauer des Reglereingriffs t_{PID} zur Adaption des Fülldrucks genutzt werden. Diese Reglerzeit t_{PID} dauert vom Ende des Druckpulses bis zum Wiedererreichen des Druckes p_{K_soll} , wobei das Unterschwingen des Soll-drucks aufgrund des Reglereingriffs entsteht. Ist diese Zeitdauer größer als ein applizierter Wert, so wird der Fülldruck angehoben.

Ist der Maximaldruck p_{max} höher als ein applizierter Grenzwert, was aufgrund einer Überfüllung durch den Druckpuls entsteht, so wird der Boost-Druck abgesenkt.

Bei automatisierten Schaltgetrieben kann dieses Verfahren nur im Stillstand durchgeführt werden.

⁵⁸ Vgl. Besprechung HAYDL, A. (2012)

⁵⁹ Vgl. HAYDL, A. (2008), S. 8.

3.4.2 Momentenübergabe⁶⁰

Diese Adaption wird verwendet, um ein konstantes Schaltverhalten während der Momentenübergabe sicherzustellen. Speziell während Zughochschaltungen ist eine komfortable Momentenübergabe absolut notwendig, um jegliche Fehler vor der Übersetzungsänderung zu verhindern.

Die Momentenübergabe von einer Getriebewelle auf die andere erfolgt in drei Phasen:

- **Füllphase**
Die zuschaltende Kupplung wird mittels Schnellbefüllung an den Kisspoint herangeführt und der Druck der abschaltenden, welche das Moment im Laufe des Schaltvorgangs abgibt, wird an den Haftpunkt geregelt.
- **Momentenübergabe**
Der Druck der abschaltenden Kupplung wird reduziert, während der Druck der zuschaltenden erhöht wird. Dadurch wird das Moment von der einen auf die andere übergeben. Die zuschaltende Kupplung schlupft während diesem Vorgang.
- **Übersetzungswechsel**
Ist das Moment vollständig übergeben, kommt es zum Übersetzungswechsel. Die ECU reduziert das Motormoment, damit die Motordrehzahl sich der Eingangsdrehzahl der neuen Übersetzung anpasst. Die schlupfende Kupplung geht dabei in den Haftbereich über. Sobald die Drehzahl angepasst ist, wird das Motormoment wieder erhöht. Damit ist der Schaltvorgang abgeschlossen.

In der Phase der Momentenübergabe läuft eine Adaptionroutine im Hintergrund, die die Motordrehzahl mit der Getriebedrehzahl vergleicht. Kommt es hier zu einer Abweichung, wird die Routine aktiv und korrigiert die Kennlinien. Zusätzlich ist der Zeitpunkt des Auftretens ein wichtiger Faktor zur Adaption.

Folgende Abweichungen können auftreten:

- **Flare**
Ist eine Überhöhung der Motordrehzahl (Hochdrehen des Motors)
- **Tie up**
Ist ein Abfallen der Motordrehzahl (Drehzahleinschnürung des Motors)

⁶⁰ Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 3 ff.

Flare am Anfang der Übergabe

Beim sog. frühen Flare handelt es sich um einen ungewünschten Drehzahlanstieg (positiver Schlupf) am Beginn der Momentenübergabe. Dies kommt zustande, wenn die abschaltende Kupplung zu früh öffnet oder die zuschaltende Kupplung zu spät schließt.

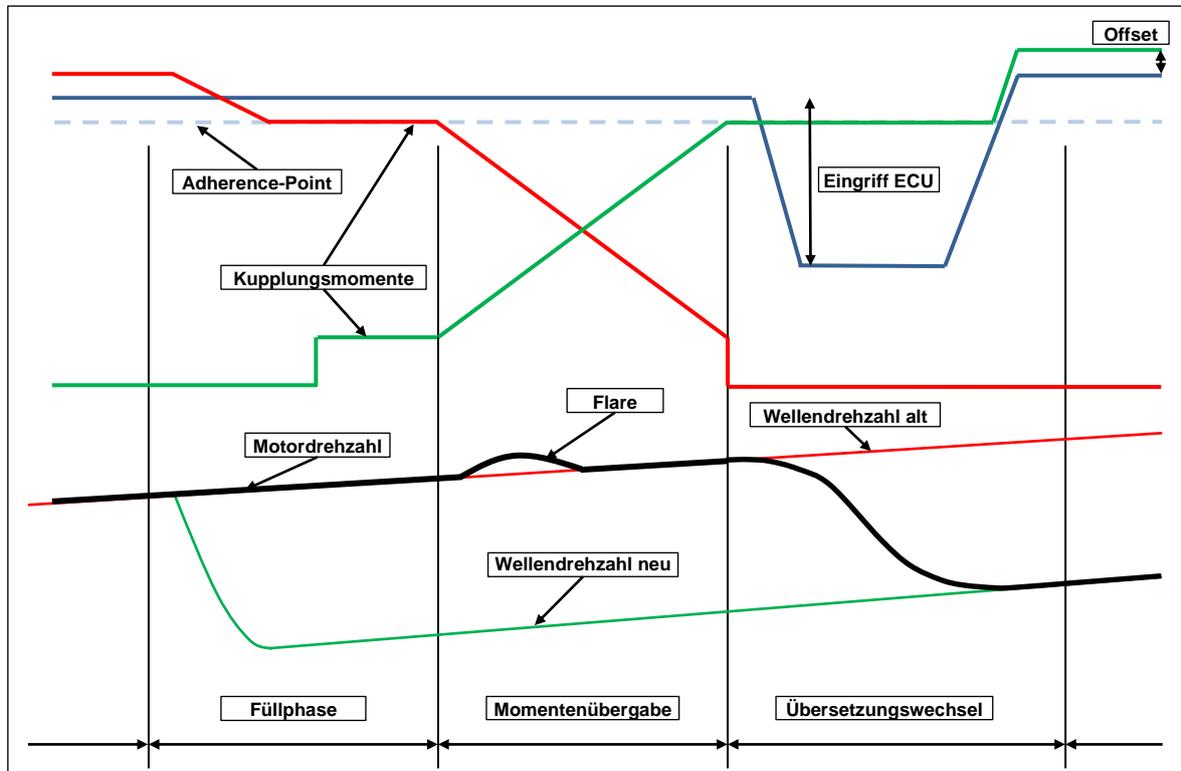


Abbildung 3.13: Flare am Anfang der Momentenübergabe⁶¹

Kommt es, wie oben abgebildet, zu einem Flare am Anfang der Momentenübergabe, wird das Profil der abschaltenden Kupplung Richtung spät verschoben, d.h. die Kupplung hält das Moment länger.

⁶¹ Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 4.

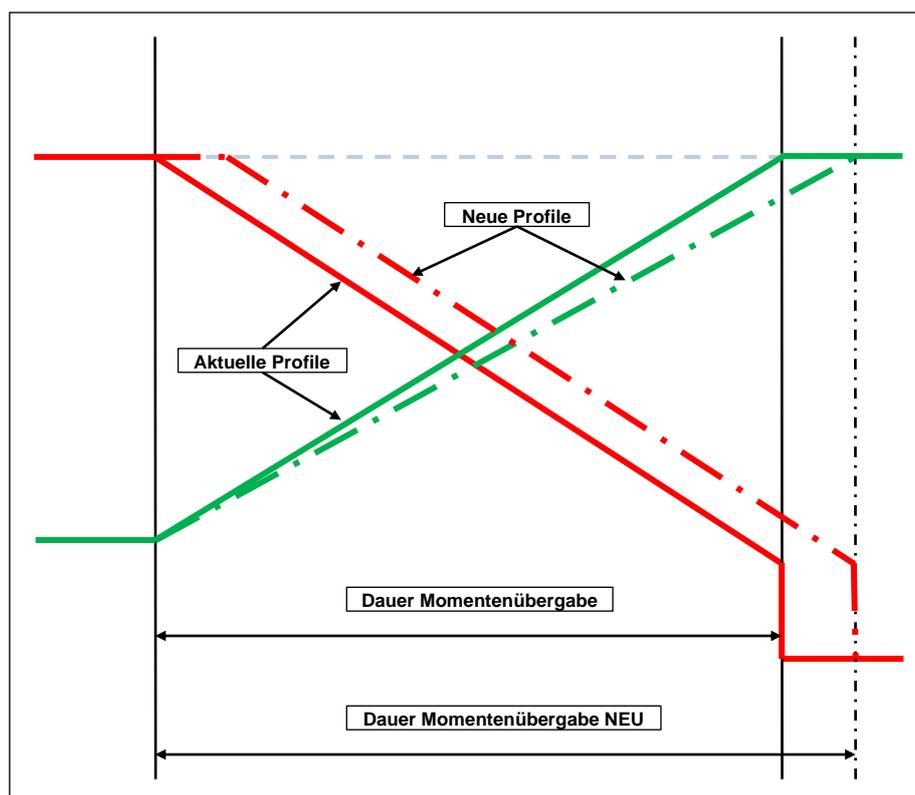
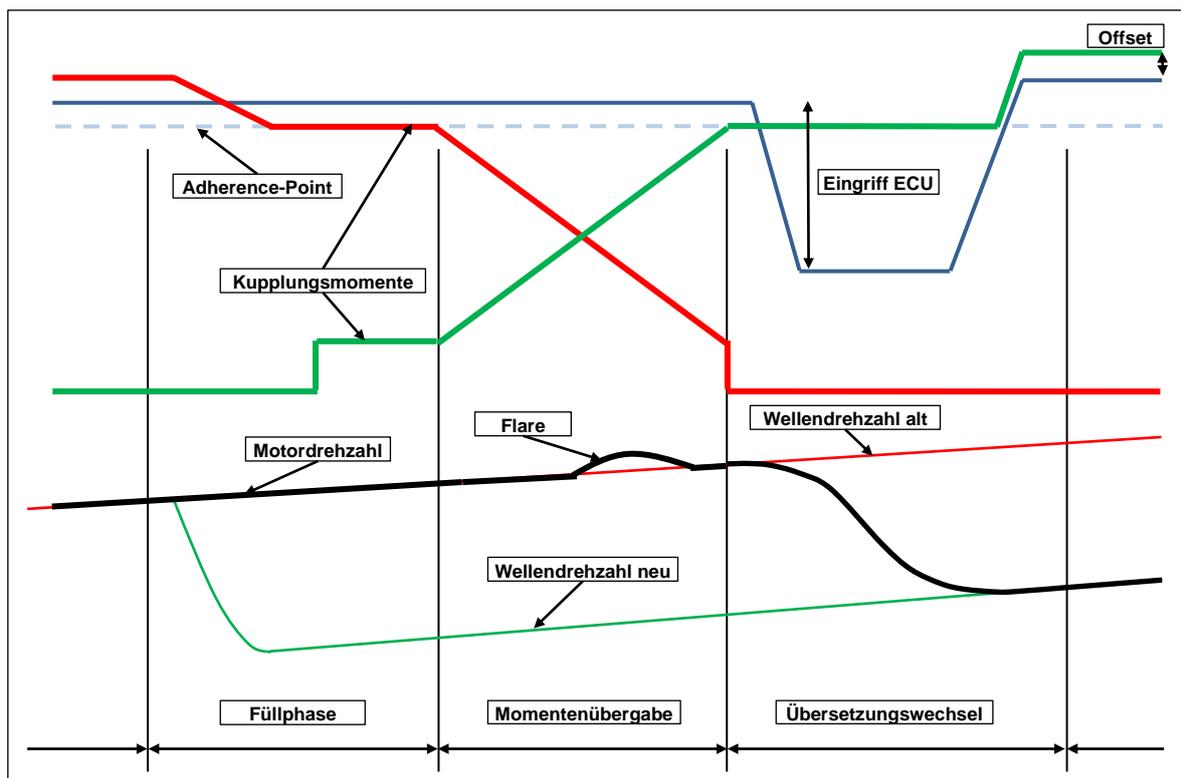


Abbildung 3.14: Adaption nach Flare am Anfang der Momentenübergabe⁶²

Dadurch wird die gesamte Übergabezeit verlängert, weshalb auch das Profil der zuschaltenden Kupplung abgeflacht wird.

⁶² Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 5.

Flare am Ende der Übergabe

Abbildung 3.15: Flare am Ende der Momentenübergabe⁶³

Wird der Flare, wie oben abgebildet, erst nach der Mitte der Übergabezeit (Trennpunkt kann definiert werden) detektiert, wird der Eingriffspunkt der zuschaltenden Kupplung erhöht (Offset des Haftpunkts).

⁶³ Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 6.

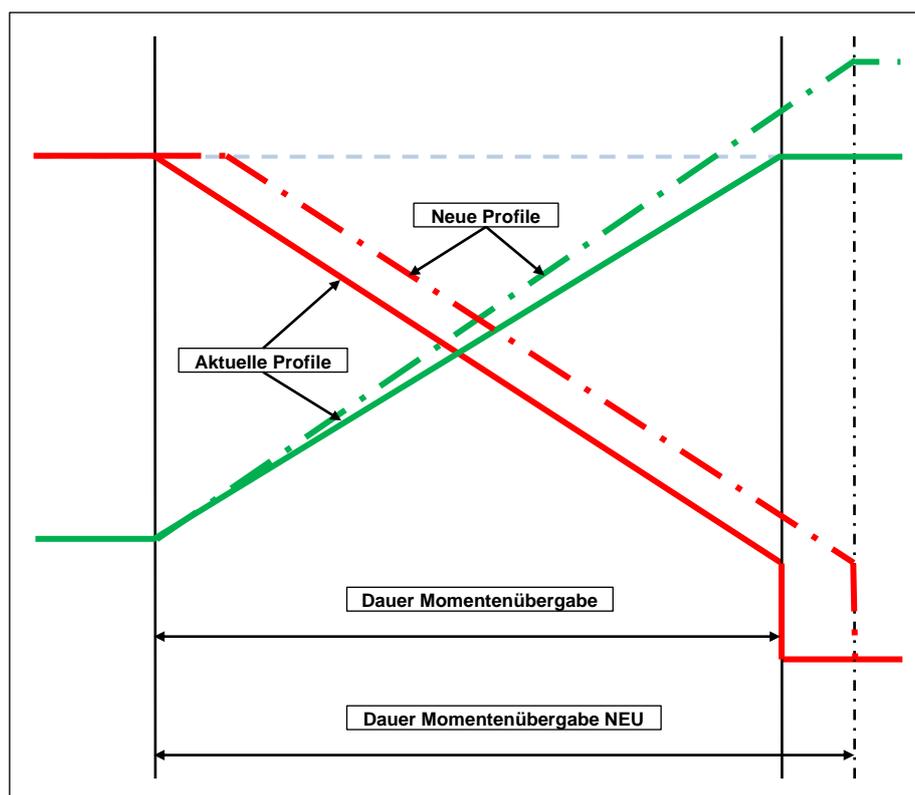


Abbildung 3.16: Adaption nach Flare am Ende der Momentenübergabe⁶⁴

Um ein stabiles Verhalten der zuschaltenden Kupplung zu sichern, wird die Übergabezeit verlängert. Dadurch werden Schwankungen im Kupplungsdruck durch zu steile Rampen verhindert.

⁶⁴ Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 7.

Tie up am Anfang der Übergabe

Beim sog. frühen Tie up handelt es sich um einen ungewünschten Drehzahleinbruch am Beginn der Momentenübergabe. Dies kommt zustande, wenn die abschaltende Kupplung zu spät öffnet oder die zuschaltende Kupplung zu früh schließt.

Die Detektion und Adaption von Tie up und Flare sind ziemlich ident.

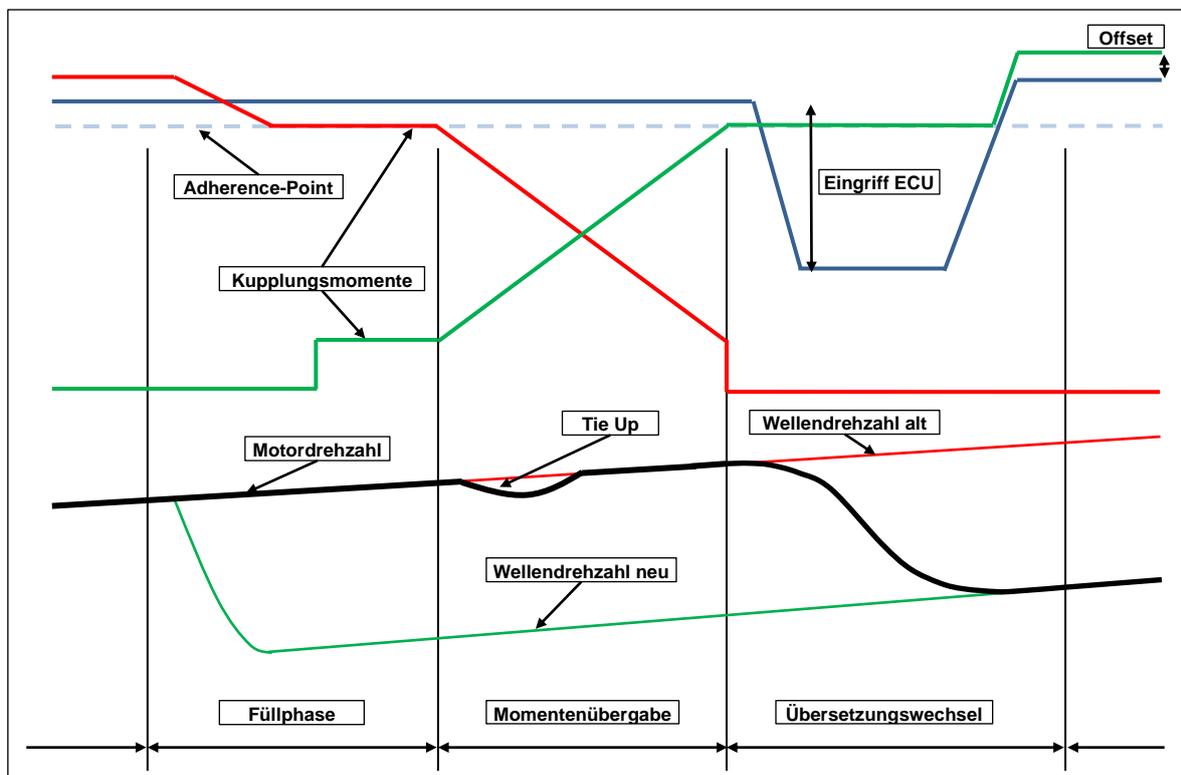


Abbildung 3.17: Tie up am Anfang der Momentenübergabe⁶⁵

⁶⁵ Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 8.

Kommt es, wie oben abgebildet, zu einem Tie up am Anfang der Momentenübergabe, wird das Profil der abschaltenden Kupplung Richtung früh verschoben, d.h. die Kupplung gibt das Moment früher ab.

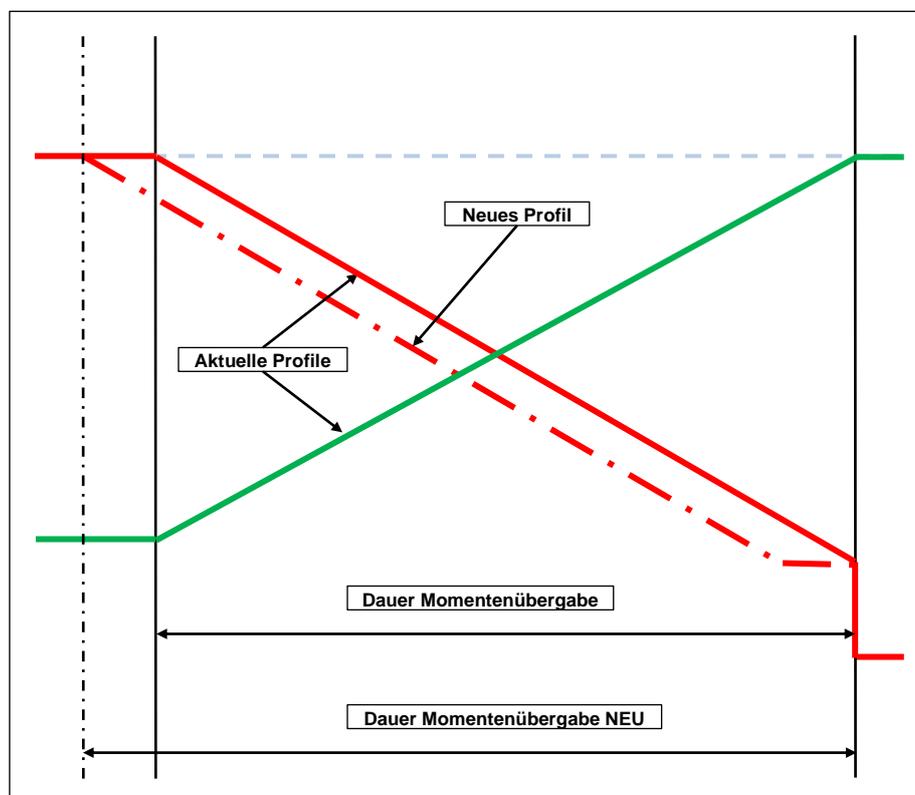
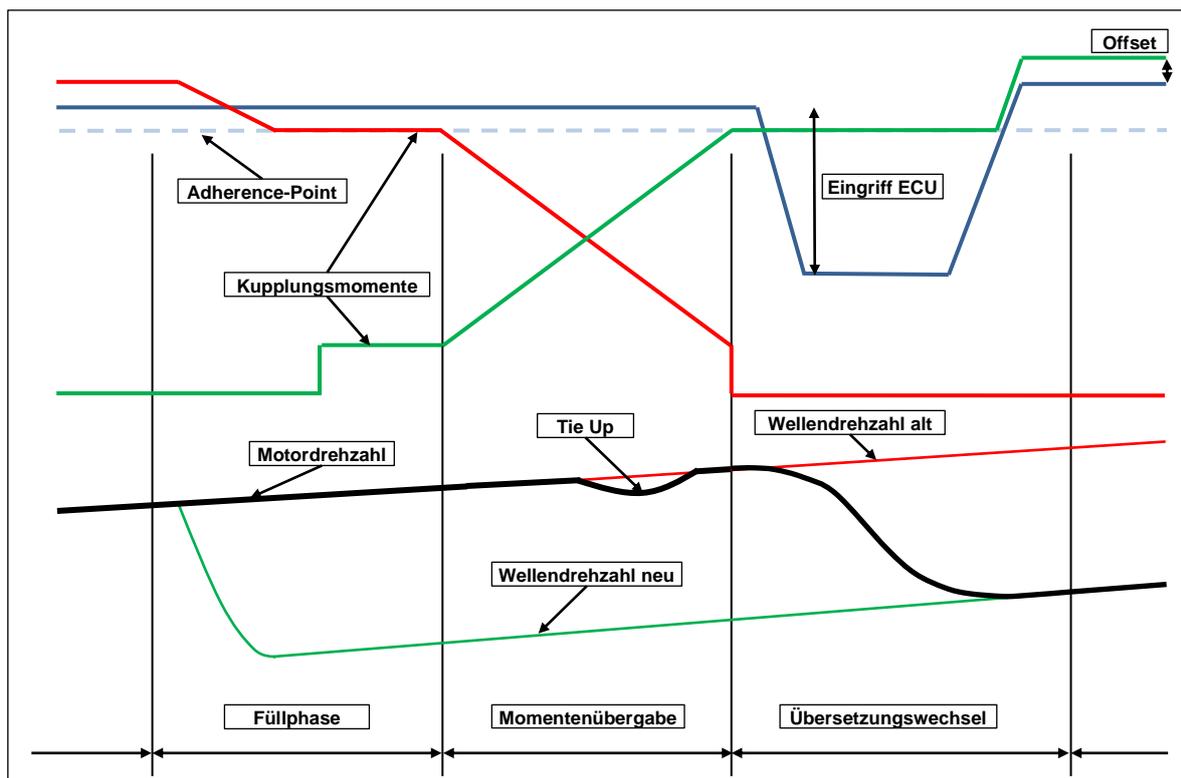


Abbildung 3.18: Adaption nach Tie up am Anfang der Momentenübergabe⁶⁶

⁶⁶ Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 9.

Tie up am Ende der Übergabe

Abbildung 3.19: Tie Up am Ende der Momentenübergabe⁶⁷

Wird der Tie up, wie oben abgebildet, erst nach der Mitte der Übergabezeit (Trennpunkt kann definiert werden) detektiert, wird der Haftpunkt der zuschaltenden Kupplung gesenkt.

⁶⁷ Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 8.

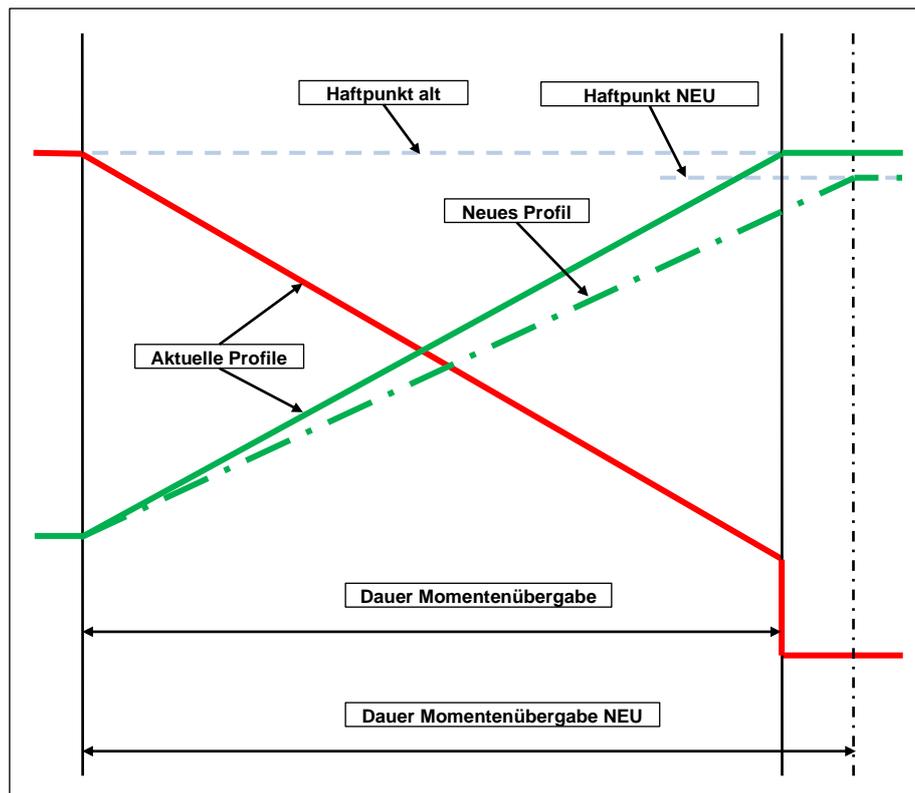


Abbildung 3.20: Adaption nach Tie up am Ende der Momentenübergabe⁶⁸

Diese vier Adaptionen der Momentenübergabe sind relativ einfach zu realisieren, allerdings ist das Detektieren von Flares und Tie Ups relativ schwierig. In dieser Phase werden beide Kupplungen betätigt, sodass das Problem nicht direkt einer Kupplung zugeordnet werden kann. Durch das Verschieben oder Variieren der Steigung der Momentenprofile wird versucht dem Problem entgegen zu wirken. Um dies zu umgehen und das Problem einer Kupplung zuordnen zu können, kann die anschließende Phase des Übersetzungswechsels genutzt werden. Diese Thematik wird im Kapitel 3.4.6 „Reibwert bei Drehzahländerung“ genauer beschrieben.

⁶⁸ Vgl. COPPUS, P. (2009), S. 9.

3.4.3 Point of slip

Auch bei dieser Adaption wird der Bereich der Momentenübergabe genauer betrachtet. Tritt bei dieser Kupplungssteuerung ein Flare auf, wird umgehend das Moment der abschaltenden Kupplung erhöht, um den Fehler zu korrigieren. Dadurch kann der weitere Verlauf der Momentenübergabe möglichst gut dem ursprünglichen angepasst werden. Anhand des Reglereingriffs in das Moment des abgeschalteten Elements, kann eine Adaption für künftige Schaltungen vorgenommen werden.

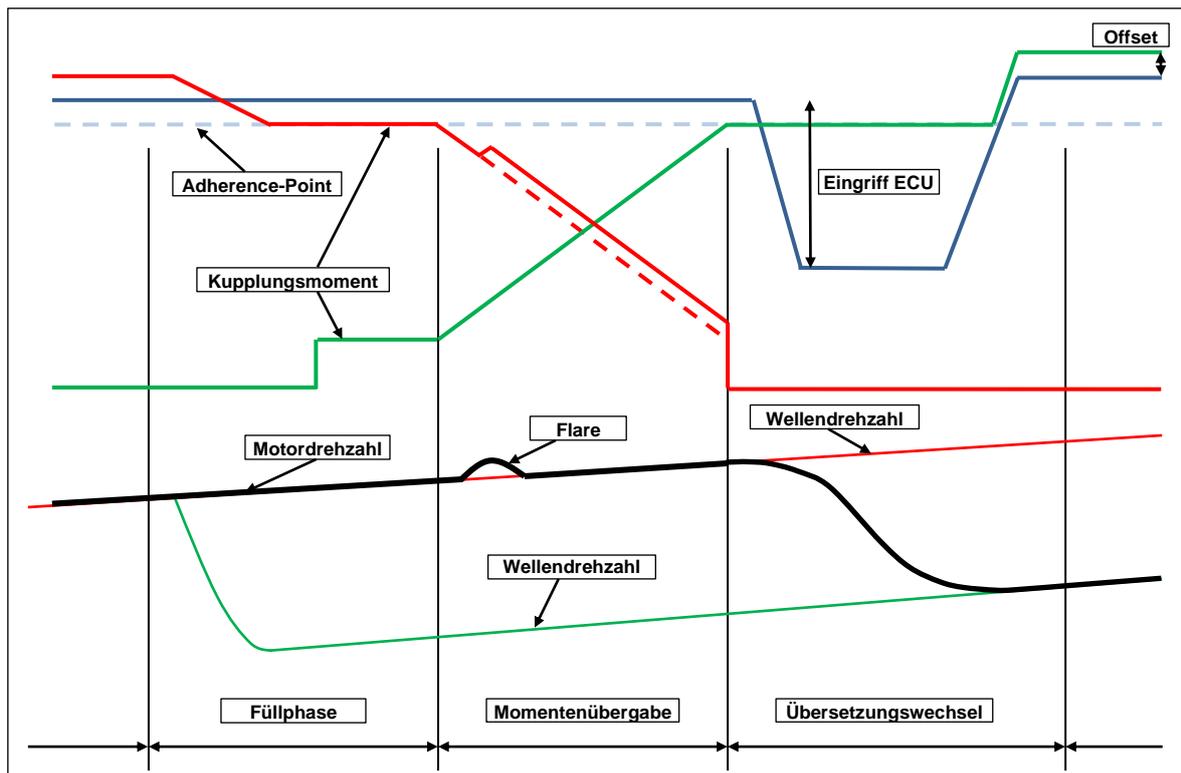


Abbildung 3.21: Point of slip⁶⁹

Auch hier besteht die Problematik des Detektierens eines Flares.

Zusätzlich besteht auch die Möglichkeit, dass die Getriebesteuerung durch entsprechende Steuerung absichtlich einen leichten Flare verursacht. Dadurch kann eine Adaption ermöglicht bzw. die Kupplungsparameter zu kontrolliert werden.

⁶⁹ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

3.4.4 Gangeinlegen / Gangauslegen

In diesem Kapitel werden die Adaptionmöglichkeiten beim Ein- und Auslegen von Gängen dargestellt. Dieser Vorgang kommt mindestens einmal am Beginn und am Ende einer jeden Fahrt vor und bietet somit eine gute Möglichkeit zur Adaption. Eine Voraussetzung ist die Öffnung der Wandlerüberbrückungskupplung, was im Stillstand der Fall sein muss.

3.4.4.1 Adaption beim Gangeinlegen (P → D)

Der Wahlhebel für das Getriebe wird von der Position P oder N auf D oder R gewechselt. Um anschließend das Losfahren über den Wandler zu ermöglichen, müssen die entsprechenden Kupplungen geschlossen werden, sprich der Gang eingelegt werden.

Bei unten dargestelltem Beispiel werden drei Kupplungen geschlossen. Natürlich funktioniert dies auch für mehrere Kupplungen. Ist es bautechnisch und elektronisch möglich, können diese in unterschiedlicher Reihenfolge geschlossen werden. Dadurch kann die letzte schließende Kupplung variiert werden um die Möglichkeit zu erhalten, unterschiedliche Kupplungen zu adaptieren.

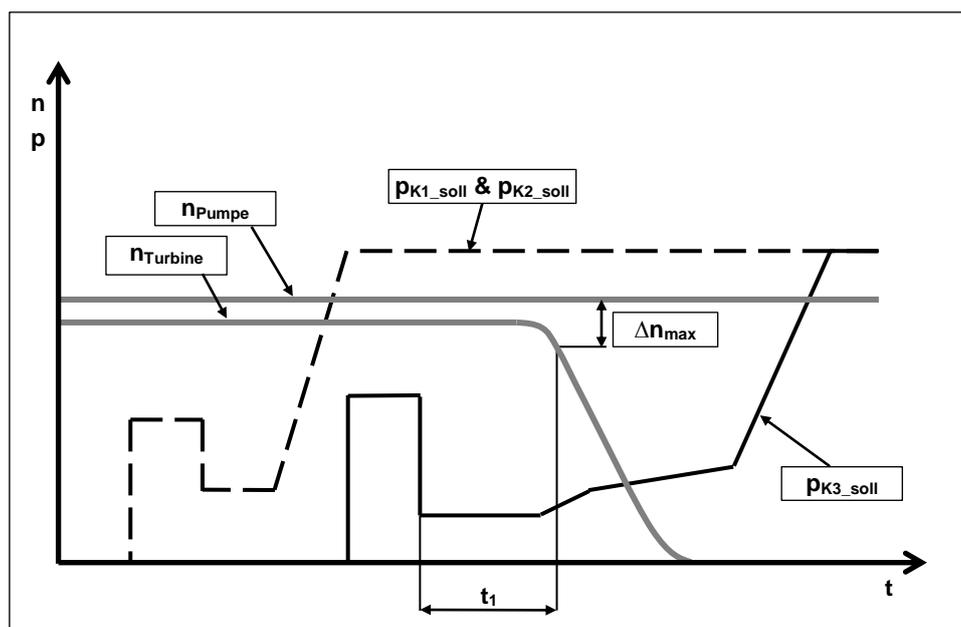


Abbildung 3.22: Messung beim Gangeinlegen⁷⁰

Im Fall eines Wandlers sind zu Beginn die Drehzahlen von Pumpenrad n_{Pumpe} und Turbinenrad $n_{Turbine}$ bis auf die Differenz durch Verluste annähernd gleich. Erst beim Schließen der letzten Kupplung (Kupplung K3) ändert sich dies markant. Da die Getriebeausgangsdrehzahl im Stillstand 0 U/min beträgt, wird auch die Drehzahl des Turbinenrads nach dem Schließen dieser Kupplung auf 0 U/min fallen. Dabei wird kontinuierlich die Differenz zwischen den Drehzahlen von Turbinenrad und Pumpenrad

⁷⁰ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

berechnet. Währenddessen wird die Zeitspannen t_1 zwischen dem Ende der Schnellfüllphase und dem Übersteigen eines gewissen, vordefinierten Werts der Differenzdrehzahl Δn_{\max} gemessen. Bei Abweichungen von einem Sollwert kann je nach Adaptionsgrundlage der Druck oder die Dauer der Füllphase adaptiert werden.

3.4.4.2 Adaption beim Gangauslegen (D \rightarrow P)

Dies stellt die gegenteilige Situation zum Gangeinlegen dar. Hier befindet sich der Wahlhebel in der Position D oder R und wird auf P oder N gewechselt. Da in dieser Position kein Bedarf an Kraftübertragung durch das Getriebe besteht, werden alle Kupplungen in den Ruhezustand gebracht. Wie auch beim Gangeinlegen kann die Reihenfolge, soweit dies bautechnisch und elektronisch möglich ist, abgeändert werden, um unterschiedliche Kupplungen zu adaptieren.

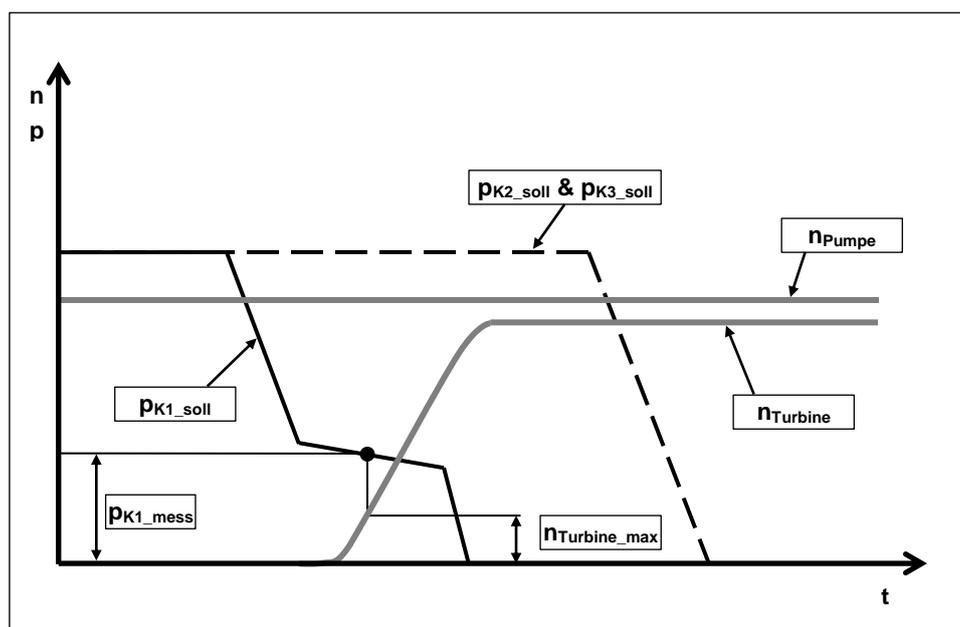


Abbildung 3.23: Messung beim Gangauslegen⁷¹

Bei einem Wandler dreht sich zu Beginn das Pumpenrad mit Motordrehzahl, das Turbinenrad steht still. Durch das Entkoppeln des Turbinenrades vom restlichen Antriebsstrang, kann dies knapp unter die Drehzahl des Pumpenrades beschleunigen. Sobald eine gewisse, vordefinierte Drehzahl $n_{\text{Turbine_max}}$ erreicht ist, wird das aktuelle Moment oder der aktuelle Druck p_{K1_mess} der abschaltenden Kupplung mit einem Sollwert verglichen. Bei Abweichung von diesem, kann der Schlupfpunkt dieser Kupplung adaptiert werden.

Moderne Getriebe haben aus Gründen der Kraftstoffeinsparung die Funktion der sog. „Standabkopplung“. Dabei wird bei Stillstand eine Kupplung im Getriebe geöffnet, um die Verluste im Wandler zu reduzieren. Dieser Vorgang kann für die Ausführung der obigen Adaption genutzt werden.

⁷¹ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

3.4.5 Ausrollschaltung

Bei der Ausrollschaltung wird von einer Situation ausgegangen, in der das Fahrzeug mit der Motorbremswirkung und eventuellem Bremsen langsam verzögert wird. Dies kann zu niedrigeren Geschwindigkeiten (z.B. Reduktion der Geschwindigkeit am Beginn eines Ortsgebiets mittels Motorbremse) oder auch bis zum Stillstand (z.B. Ausrollen zu einer roten Ampel) erfolgen. Da beim Ausrollen von Seiten des Fahrers kein bestimmter Zeitpunkt für die Rückschaltung gewünscht wird, lassen sich folgende zwei Adaptionen realisieren.

3.4.5.1 Adaption bei Ausrollschaltung bei / über Leerlaufdrehzahl

Der Motor wird bis zur Leerlaufdrehzahl im eingelegten Gang abgebremst. Um ein Unterschreiten dieser Drehzahl zu verhindern und eine weitere Motorbremswirkung zu gewährleisten, erfolgt eine Schaltung auf den nächstniedrigeren Gang. Durch das Schließen der entsprechenden Kupplung (K2), wird die Motordrehzahl auf die Anschlussdrehzahl des Ganges angehoben. Durch den Zeitpunkt dieses Anstiegs (t^*) kann auf die Korrektheit des Fülldrucks der zuschaltenden Kupplung rückgeschlossen werden und dieser bei Bedarf adaptiert werden.

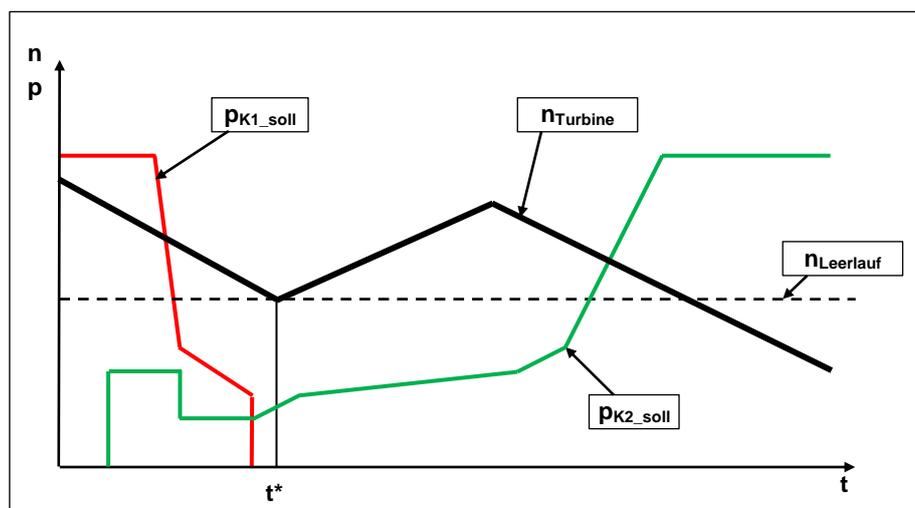


Abbildung 3.24: Ausrollschaltung bei / über Leerlaufdrehzahl⁷²

3.4.5.2 Adaption bei Ausrollschaltung unter Leerlaufdrehzahl

Bei Automatikgetrieben wird die Turbine bis unter die Leerlaufdrehzahl des Motors abgebremst. Der Zeitpunkt t^* des Öffnens kann durch langsames Reduzieren des Drucks der abschaltenden Kupplung $p_{K_ab_soll}$ genau detektiert werden. Mit Hilfe dessen kann auf den entsprechenden Druck und damit auf das Kupplungsmoment rückgeschlossen werden. Dadurch kann die abschaltende Kupplung adaptiert werden.

⁷² Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

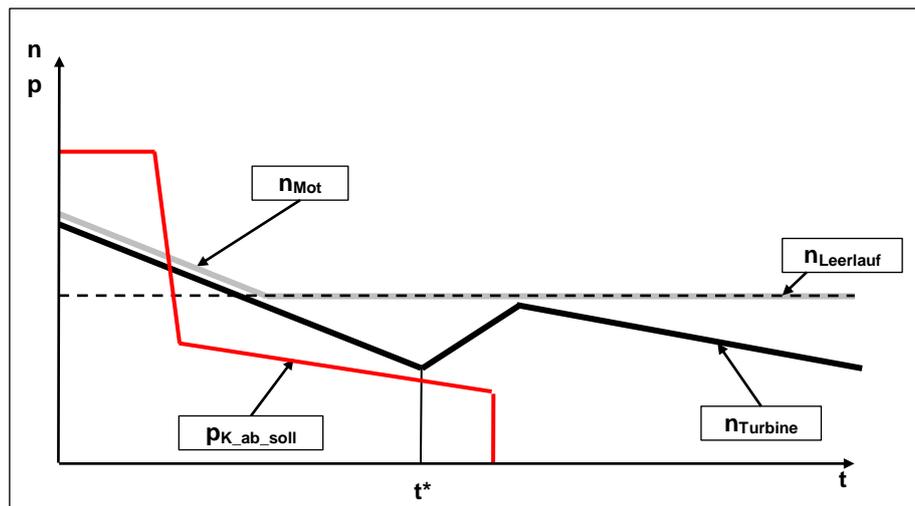


Abbildung 3.25: Ausrollschaltung unter Leerlaufdrehzahl⁷³

Sobald die abschaltende Kupplung kein Moment mehr überträgt, erhöht sich die Turbinendrehzahl wieder auf knapp unter Leerlaufdrehzahl. Gleichzeitig wird die Kupplung des nächstniedrigeren Gangs zugeschaltet, um eine Motorbremswirkung zu erzielen und die Schaltung abzuschließen. Auch in diesem Gang ist wiederum die Adaption möglich, d.h. bei einem Ausrollvorgang können mehrere Kupplungen auf einmal adaptiert werden.

3.4.5.3 Adaption einer Wandlerüberbrückungskupplung im Schubbetrieb⁷⁴

Pat.Nr. DE19744697A1

Dieses Verfahren dient zur Adaption des Anlegedrucks der Wandlerüberbrückungskupplung. Dabei wird nach Ausgabe des Anlegedrucks der Druck entsprechend einer Übertragungsfunktion erhöht und zusätzlich für eine gewisse Anlegephase gehalten. Kommt es bis zum Ende dieser Phase nicht zu einer applizierten Änderung (GW) der Differenzdrehzahl zwischen Pumpe und Turbine, erfolgt eine Wiederholung dieses Vorgangs mit identer Übertragungsfunktion, allerdings mit erhöhtem Druck. Dies wird wiederholt, bis die erwünschte Differenz erfolgt ist oder eine maximale Anzahl an Pulsen durchgeführt wurde. Bei erfolgreichem Anlegen geht die Kupplung am Ende (t_7) in den geregelten Betrieb über.

⁷³ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

⁷⁴ Vgl. Patent DE19744697A1 (1999), S. 2.

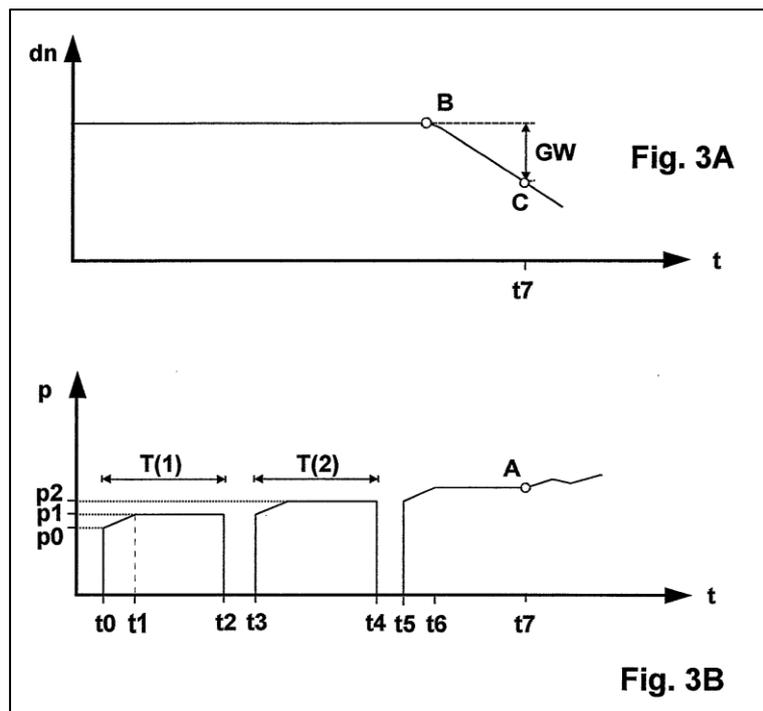


Abbildung 3.26: Adaption einer Wandlerüberbrückungskupplung im Schubbetrieb⁷⁵

Die Erfindung schlägt vor, den neuen Anlegedruck zu berechnen, indem der ermittelte Druck, bei dem die Reaktion der Wandlerüberbrückungskupplung auftrat, mit einem Faktor gewichtet wird. Auch einige Sicherheitsfunktionen sind ausgeführt, welche z.B. den geregelten Betrieb nicht mehr zulassen, wenn eine gewisse Anzahl an Versuchen durchgeführt wurde.

⁷⁵ Patent DE19744697A1 (1999), Fig. 3A & 3B, S. 8.

3.4.6 Reibwert bei Drehzahländerung

Bei jedem Schaltvorgang muss die Drehzahl des Motors vom alten zum neuen Gang angepasst werden. In dieser Phase des Schaltvorgangs können eine Reihe von Adaptionen realisiert werden. Durch das Analysieren dieses Übersetzungswechsels, können zukünftige Schaltungen im gleichen Betriebspunkt adaptiert werden.

3.4.6.1 Adaption bei Zughochschaltung (Drehzahländerung)

Ist die Momentenübergabe (Lastübernahme) der beiden Kupplungen beendet, hat die zuschaltende Kupplung das Moment vollständig übernommen. Um vom Schlupfen in den Haftzustand der Kupplung zu kommen und die Drehzahl an die neue Übersetzung angepasst werden kann, erfolgt im Normalfall ein Eingriff der ECU in das Motormoment. Durch diese Absenkung des Eingangsmoments erfolgt der Übersetzungswechsel. Am Ende dieser Phase muss das Motormoment wieder auf den ursprünglichen Wert angehoben werden, um den konstanten Beschleunigungsvorgang fortzusetzen.

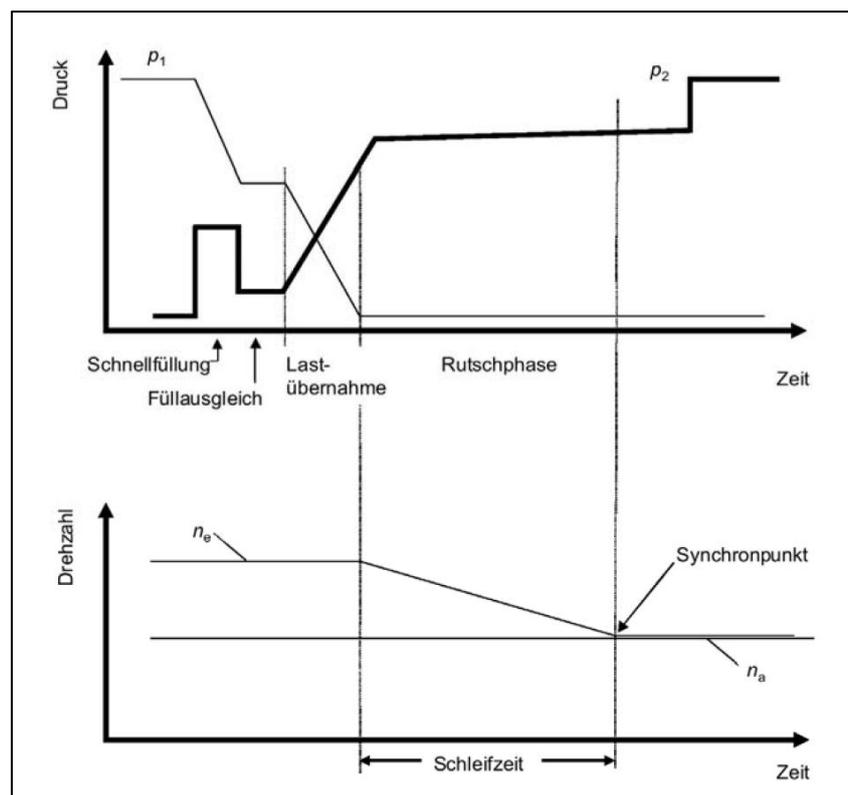


Abbildung 3.27: Grundsätzlicher Verlauf einer Lastschaltung⁷⁶

⁷⁶ ISERMANN, R. (2010), Bild 12-3, S. 292.

Der Übergang von alter zu neuer Wellendrehzahl (Schleifzeit) ist eine Funktion von Reibwertes, Kupplungskennlinie und Motormoments. Um einen komfortablen Schaltverlauf zu gewährleisten, ist in dieser Phase meist ein Regler aktiv, um etwaige Abweichungen zu korrigieren. Erfolgt der Wechsel anders als vorgesehen (zu früh, zu spät, zu steil oder zu flach), d.h. der Regler musste den Übergang korrigieren, können Rückschlüsse auf das Kupplungsverhalten der zuschaltenden Kupplung geschlossen werden. Ist die Getriebesteuerung im Stande, diese Anomalie richtig zu detektieren und auszuwerten, kann eine Routine realisiert werden, welche die Kupplungskurve adaptiert.

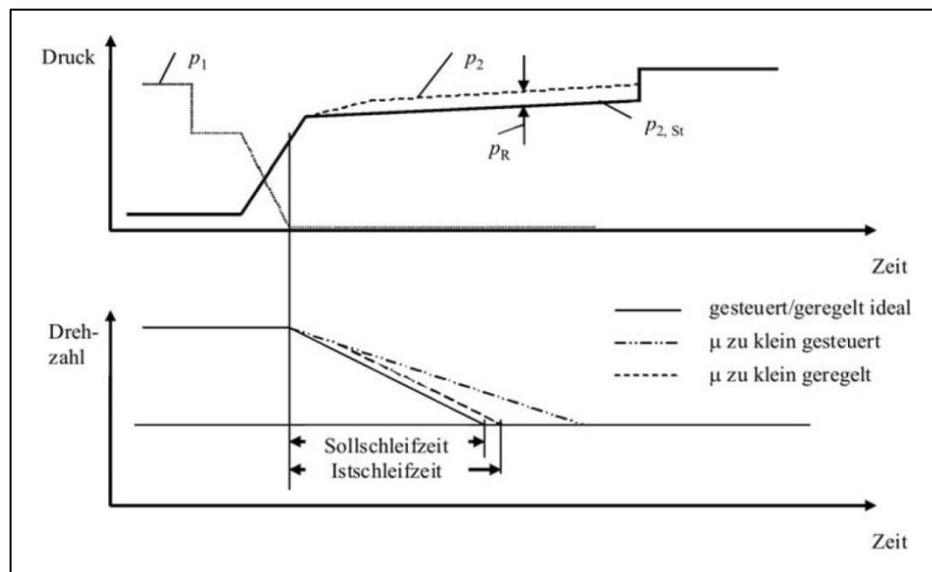


Abbildung 3.28: Typischer Verlauf einer geregelten Lastschaltung⁷⁷

Wie oben dargestellt kann aufgrund der Differenz zwischen Soll- und Istschleifzeit oder des Gradienten der Drehzahlanpassung auf eine fehlerhafte Ansteuerung der Kupplung rückgeschlossen und diese für künftige Schaltungen adaptiert werden.

⁷⁷ ISERMANN, R. (2010), Bild 12-5, S. 295.

3.4.6.2 Adaption bei Zughochschaltung (Regleraktivität)

Eine weitere Möglichkeit ist das Analysieren der Regleraktivität während des Übersetzungswechsels. Um die Änderung der Drehzahl möglichst konstant zu gestalten, ist in dieser Phase ein Schlupfregler aktiv. Dadurch entsteht eine Differenz zwischen vorgesteuerter Kennlinie p_{K_zu} und des geregelten Kupplungsdrucks $p_{K_zu_ist}$. Diese Abweichung wird über die Dauer der Regleraktivität gemittelt. Anhand einer Kennlinie wird vom mittleren Reglereingriff auf einen Adaptionswert geschlossen. Mit diesem Wert werden künftige Schaltungen in diesem Betriebspunkt adaptiert.

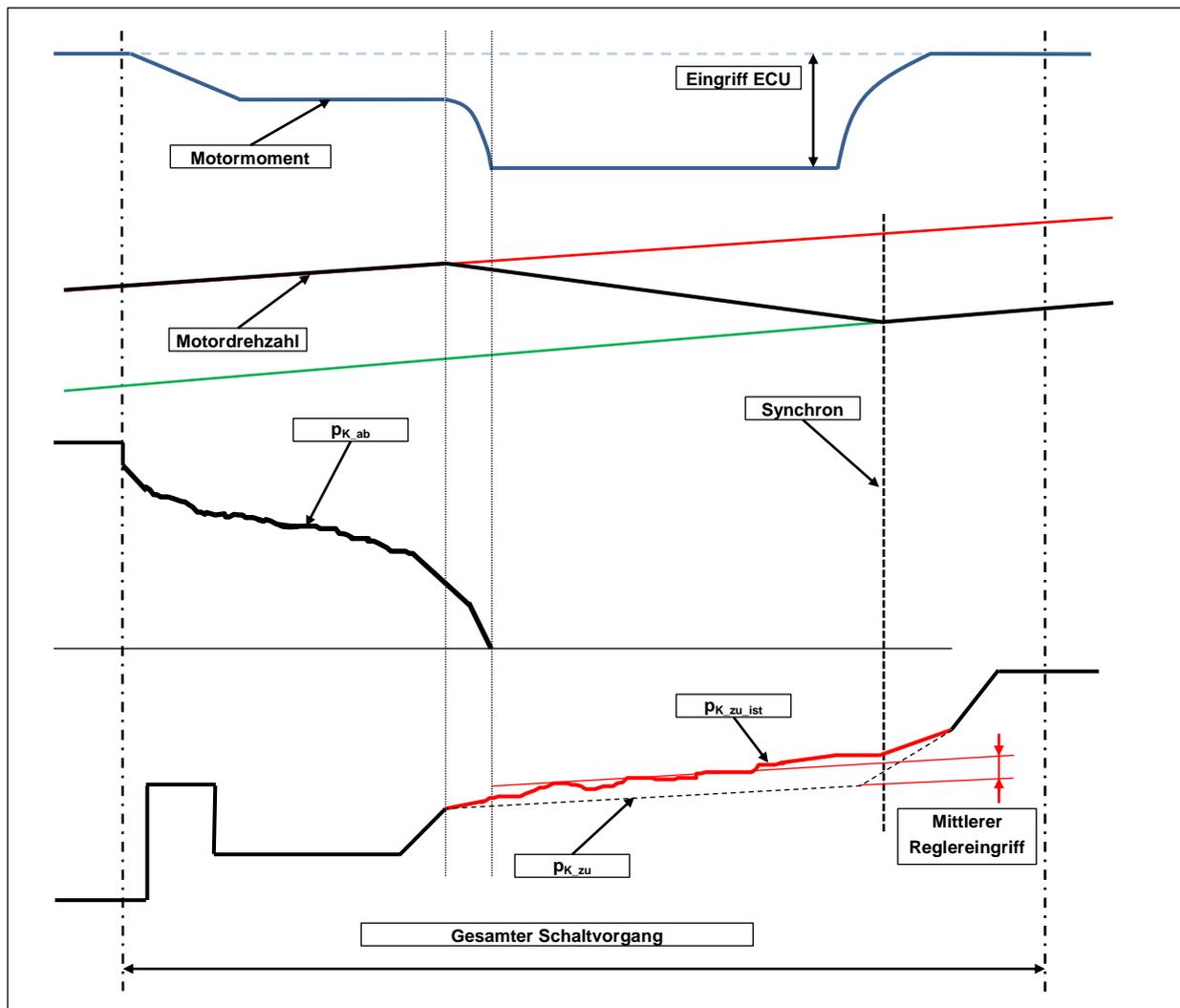


Abbildung 3.29: Regleraktivität während einer Zughochschaltung⁷⁸

⁷⁸ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

3.4.6.3 Adaption bei Zugrückschaltung (Regleraktivität)

Kommt es aufgrund der Fahrsituation zu einer Zugrückschaltung, muss von einem Gang in einen niedrigeren geschaltet werden. Um die Motordrehzahl an die neue Übersetzung anzupassen, wird die abschaltende Kupplung nach einer vorgegebenen Kennlinie p_{K_ab} zum Schlupfen gebracht. Zu Beginn des Schaltvorgangs wird die zuschaltende Kupplung mittels Schnellfüllung vorbereitet und verbleibt am Kisspoint. Sobald die Motordrehzahl der Drehzahl des niedrigeren Ganges entspricht, erfolgt die Momentenübergabe.

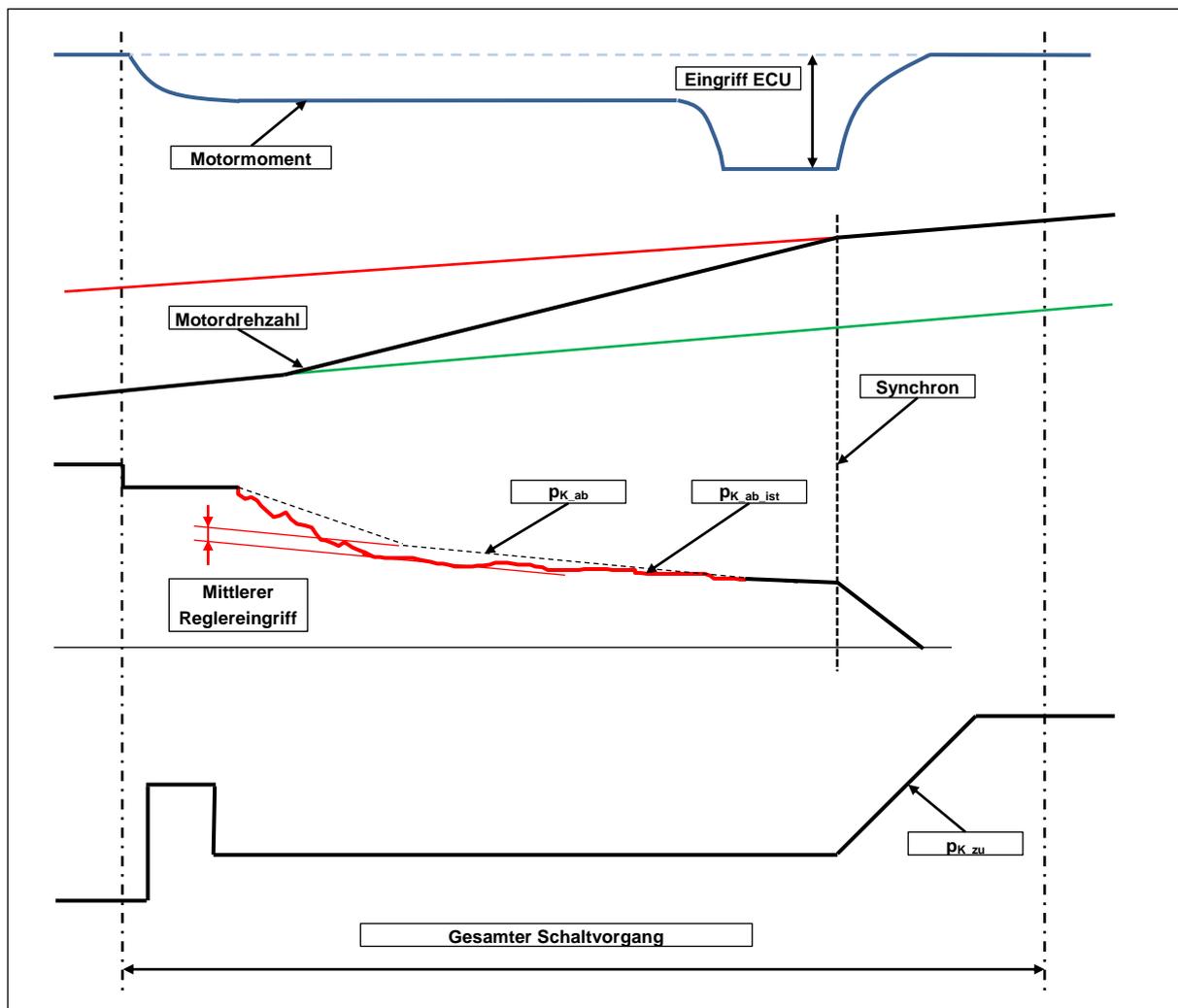


Abbildung 3.30: Regleraktivität während einer Zugrückschaltung⁷⁹

Während des Öffnens der abschaltenden Kupplung ist ein Schlupfregler aktiv. Dieser sorgt für einen konstanten Anstieg der Motordrehzahl. Dadurch entsteht eine Differenz zwischen vorgesteuerter Kennlinie p_{K_ab} und geregelttem Kupplungsdruck $p_{K_ab_ist}$. Diese Abweichung wird über die Dauer der Regleraktivität integriert und anschließend gemittelt. Anhand einer Kennlinie wird vom mittleren Reglereingriff auf einen Adaptionswert geschlossen. Mit diesem Wert werden zukünftige Schaltungen in diesem Betriebspunkt adaptiert.

⁷⁹ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

3.5 Adaptionen bei Konstantfahrt

Voraussetzungen:

- Annähernd konstante Geschwindigkeit ($n=\text{konst.}$) unter applizierter Maximalgeschwindigkeit für Adaptionen oder
- Annähernd konstantes Drehmoment ($M=\text{konst.}$, langsame Beschleunigung) unter appliziertem Maximaldrehmoment für Adaptionen
- Getriebeöl im Temperaturbereich (Betriebswarm)

Die in diesem Kapitel beschriebenen Adaptionsarten können während einer Konstantfahrt durchgeführt werden. Die Problematik für die Durchführbarkeit dieser Adaptionen ist die notwendige Dauer des konstanten Fahrzustandes (einige Sekunden). Am besten sind Überlandfahrten vorzugsweise mit Tempomat geeignet.

Ein Teil der angeführten Adaptionsroutinen kann auch bei Stillstand durchgeführt werden.

Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen

	AG			DKG		ASG		CVT
	WÜK	AK	SK	SK	GS	SK	GS	AK
Pulsprüfung Schnellfüllzeit			X					
Pulsprüfung Fülldruck			X					
Kisspoint-Adaption eines DKG 1				X				
Kisspoint-Adaption eines DKG 2				X				
Adaption Fülldruck eines DKG				X				
Adaption des Schlupfpunkts	X	X	X	X		X		X
Mikroschlupfregelung	X	X	X	X		(X)		X
Torque to Pressure mittels Mikroschlupf	X	X	X	X		(X)		X
Kennlinienadaption eines DKG 1				X				
Kennlinienadaption eines DKG 2				X				
Pressure / Current to position					X		X	
Hydraulikdruckadaption				X				
Torque	(X)		(X)					

Tabelle 5: Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen bei Konstantfahrt

Anm.:

AG	Automatikgetriebe	DKG	Doppelkupplungsgetriebe
ASG	Automatisierte Schaltgetriebe	CVT	Stufenlosgetriebe
WÜK	Wandlerüberbrückungskupplung	AK	Anfahrkupplung (nass / trocken)
SK	Schaltkupplung	GS	Gangsteller (Synchronisierung)

Tabelle 5 soll einen Überblick geben, welche der im Folgenden ausgeführten Adaptionsroutinen bei den unterschiedlichen Getriebetypen bzw. den einzelnen Kupplungen in einem Getriebe angewandt werden können. Daraus kann abgeleitet werden, dass bestimmte Routinen aufgrund des Vorgangs bzw. des Aufbaus eines Getriebes nur für

bestimmte Kupplungen angewandt werden können. Durch Variation dieser Vorgänge können ähnliche Routinen eventuell auch für andere Kupplungen eingesetzt bzw. entwickelt werden.

Um die Vor- und Nachteile der einzelnen Adaptionenroutinen gegenüberzustellen, wurden diese bewertet (wie in Tabelle 6 ersichtlich). Dabei wurden sechs Bewertungskriterien festgelegt, um einen direkten Vergleich zwischen den einzelnen Routinen zu schaffen.

	Spürbarkeit für den Fahrer	Genauigkeit / Ergebnisqualität	Adaptionsdauer	Kontinuierliche Adaption	Übertragbarkeit	Adaptionsbereich (T, M, v)
Pulsprüfung Schnellfüllzeit	o	+	o	+	+	o
Pulsprüfung Fülldruck	o	+	o	+	+	o
Kisspoint-Adaption eines DKG 1	+	+	+	+	+	-
Kisspoint-Adaption eines DKG 2	+	+	+	+	+	-
Adaption Fülldruck eines DKG	+	+	+	+	+	-
Adaption des Schlupfpunkts	o	o	+	+	+	+
Mikroschlupfregelung	+	+	o	+	+	+
Torque to Pressure mittels Mikroschlupf	+	+	o	+	+	+
Kennlinienadaption eines DKG 1	o	+	+	+	+	o
Kennlinienadaption eines DKG 2	o	+	+	+	+	o
Pressure/Current to position	-	+	+	+	+	+
Verfahren zur Synchronpunktermittlung	-	o	+	+	-	o
Hydraulikdruckadaption	+	+	+	+	-	+
Torque	o	+	o	+	-	+

Tabelle 6: Bewertung der Adaptionenroutinen bei Konstantfahrt⁸⁰

Wie oben ersichtlich lassen sich während der Konstantfahrt viele hochqualitative Adaptionen realisieren. Aufgrund der Geräuschkulisse sowie der erhöhten Motordrehzahl lassen sich viele unterschiedliche Adaptionen durchführen, ohne vom Fahrer bemerkt zu werden. Begrenzend wirken nur die Häufigkeit von Konstantfahrten und der limitierte Lastbereich, da diese Fahrten meist bei ähnlicher Geschwindigkeit und Last erfolgen.

⁸⁰ Besprechung EGGGER, P.; SAVAGE, P.; SCHATZ, P. (2012)

3.5.1 Adaption Kisspoint

Wie in Kapitel 1.10 beschrieben, muss eine Kupplung vor dem eigentlichen Schaltvorgang mittels Schnellfüllung vorbereitet werden, um diese an den Kisspoint heranzuführen. Der gesamte Schaltablauf und damit auch der Komfort einer Schaltung sind von der Korrektheit des Kisspoints abhängig.

3.5.1.1 Pulsprüfung Schnellfüllzeit

Folgend wird die Adaptionen der Schnellfüllzeit (siehe Abbildung 3.31) beschrieben. Weitere Routinen wurden bereits in Kapitel 3.3.1 erläutert, welche während des Fahrzeugstillstands durchgeführt werden können.

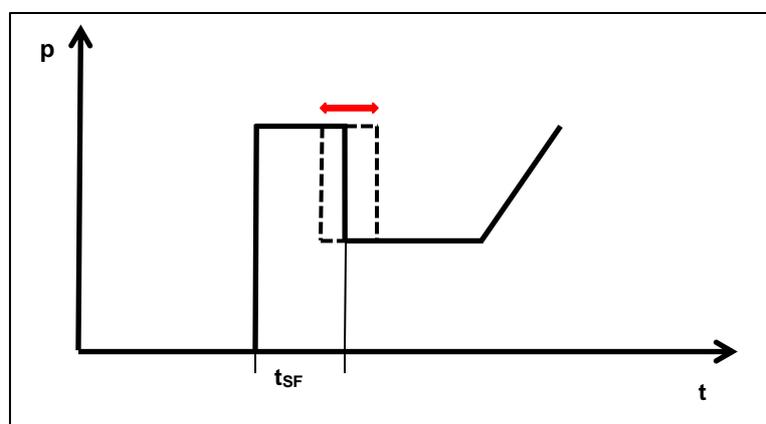


Abbildung 3.31: Variation der Schnellfüllzeit t_{SF} ⁸¹

Um die Korrektheit der Schnellfüllzeit zu kontrollieren und nötigenfalls zu adaptieren, kann während der Konstantfahrt eine nichtaktive Kupplung mit Pulsen beaufschlagt werden. Allerdings nur wenn dies vom Aufbau des Getriebes möglich ist und nicht zu Schäden am Getriebe führen kann. Die Pulsweite kann variiert werden, bis eine Reaktion der Motordrehzahl erfolgt. Anhand der Dauer des gesetzten Pulses kann die Schnellfüllzeit adaptiert werden.

Diese Routine kann abhängig von Aufbau und Beschaltung eines Getriebes nur für bestimmte Kupplungen angewandt werden.

3.5.1.2 Pulsprüfung Fülldruck

Folgend wird die Adaptionen des Fülldrucks (siehe Abbildung 3.32) bzw. der Ausgleichsphase beschrieben. Weitere Routinen wurden bereits in Kap 3.3.1 erläutert, welche während des Fahrzeugstillstands durchgeführt werden können.

⁸¹ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

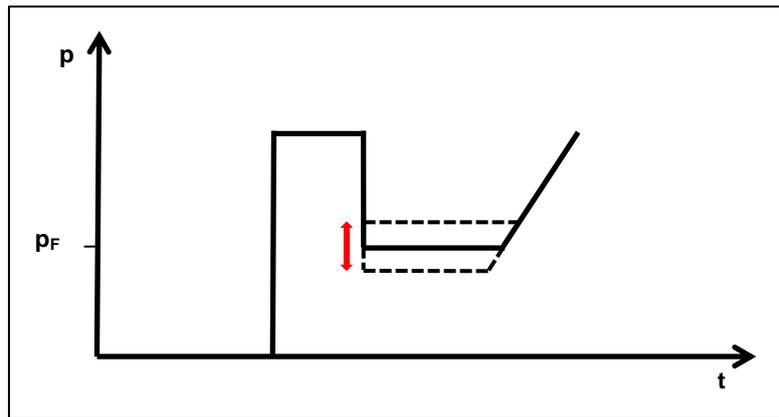


Abbildung 3.32: Variation Fülldruck p_F ⁸²

Wie bei der Bestimmung der Schnellfüllzeit wird beim Fülldruck von einer Konstantfahrt ausgegangen. Um den Fülldruck p_F zu bestimmen, kann eine Kupplung mehrmals mit dem Druckpuls und der anschließenden Füllphase betätigt werden. Kommt es zu keiner Reaktion der Motordrehzahl, wird der Fülldruck beim nächsten Puls erhöht.

3.5.1.3 Kisspoint-Adaption eines DKG 1⁸³

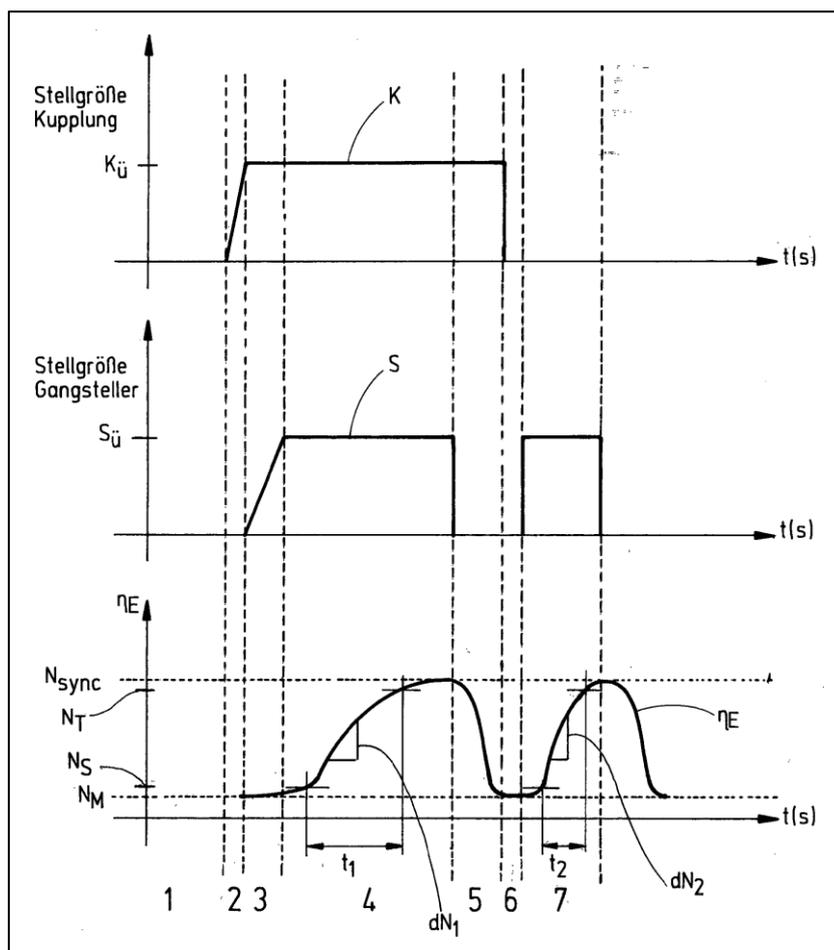
Pat.Nr. DE102008030033A1

Das Patent betrifft ein Verfahren zum Einstellen des Kisspoints (Einrückpunktes) eines Doppelkupplungsgetriebes (im Stillstand auch für ASG). Meist kommen hydraulische oder elektromechanische Aktuatoren zum Einsatz, welche druck-, kraft- oder weggesteuert sind. Das Verfahren kann sowohl im Stillstand als auch bei Konstantfahrt angewendet werden.

Wie in Abbildung 3.33 ersichtlich, wird zuerst die Reibkupplung des freien Teilgetriebes auf den Übergangswert $K_{Ü}$ eingestellt. Dieser entspricht einem Wert knapp über dem Kisspoint, bei dem nur ein sehr kleines Drehmoment übertragen wird. Dadurch wird die Eingangsdrehzahl n_E des Teilgetriebes auf Motordrehzahl N_M gezogen. Anschließend wird ein Gangsteller auf einen Übergangswert $S_{Ü}$ betätigt und somit ansynchronisiert, jedoch nicht geschlossen. Infolgedessen steigt die Eingangsdrehzahl auf die Synchronisierdrehzahl N_{sync} . Hierbei wird die Zeitdauer t_1 zwischen zwei Drehzahlgrenzen gemessen. Danach werden beide Kupplungen wieder geöffnet und der Messvorgang zur Bestimmung von t_2 ohne eingerückte Reibkupplung wiederholt. Anhand der Differenz zwischen den Zeiten t_1 und t_2 sowie des Massenträgheitsmomentes des freien Teilgetriebes lässt sich auf das in der Reibkupplung wirkende Moment schließen. Entsprechend des ermittelten Wirkmoments kann der Sollwert für den Kisspoint der Reibkupplung nun entsprechend korrigiert werden.

⁸² Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

⁸³ Vgl. Patent DE102008030033A1 (2009), Fig. 2, S. 14.

Abbildung 3.33: Kisspoint-Adaption eines DKG⁸⁴

Alternativ können anstatt der Zeitdifferenz auch die Drehzahlgradienten dN_1 und dN_2 ausgewertet werden. Dies beschleunigt das Verfahren und verringert den Verschleiß der Synchronisiervorrichtungen. Bei ablauftechnischer Notwendigkeit können die Phasen 4 und 7 vertauscht werden.

3.5.1.4 Kisspoint-Adaption eines DKG 2⁸⁵

Pat.Nr. DE102007057081B4

Das Patent betrifft ein Verfahren zum Einstellen des Einrückpunktes (=Kisspoint) eines Doppelkupplungsgetriebes (im Stillstand auch für ASG) in Abhängigkeit von einem Drehzahlgradienten der Teilgetriebewelle. Voraussetzung ist, dass sich alle Gangsteller des lastfreien Teilgetriebes in Neutralposition befinden. Zu Beginn wird in diesem Teilgetriebe ein Übergangszustand eingestellt, indem der Kupplungsaktuator K und der Schaltaktuator S gleichzeitig auf einen jeweiligen Übergangswert ($K_{\ddot{u}}$, $S_{\ddot{u}}$) gesetzt werden. Dabei muss die Schaltkupplung ein höheres Moment übertragen als die Reibkupplung, um die

⁸⁴ Patent DE102008030033A1 (2009), Fig. 2, S. 14.

⁸⁵ Vgl. Patent DE102007057081B4 (2009), S. 9 ff.

Teilgetriebedrehzahl n_E der Ausgangsdrehzahl n_A anzupassen. $S_{\ddot{u}}$ entspricht dem Synchronisierpunkt des Gangstellers und $K_{\ddot{u}}$ dem bisherigen Sollwert für den Einrückpunkt der Reibkupplung. Sobald der Kupplungsaktuator den vorgegebenen Wert erreicht hat ($t_2: K=K_{\ddot{u}}$), wird die Schaltkupplung wieder geöffnet. Aufgrund des übertragenen Drehmoments der Reibkupplung passt sich die Teilgetriebedrehzahl der Motordrehzahl n_M an. In dieser Phase kann der Gradient der Drehzahländerung bestimmt werden, um mit diesem die Korrektheit des Einrückpunktes zu kontrollieren bzw. bei Bedarf zu adaptieren. Es bestehen mehrere Möglichkeiten, den Drehzahlgradienten zu errechnen. Dabei können die Messwerte gemittelt, gewichtet oder auch nur teilweise (z.B. Messwerte zwischen t_S und t_3 oder Gradient zum Zeitpunkt t_m) genutzt werden.

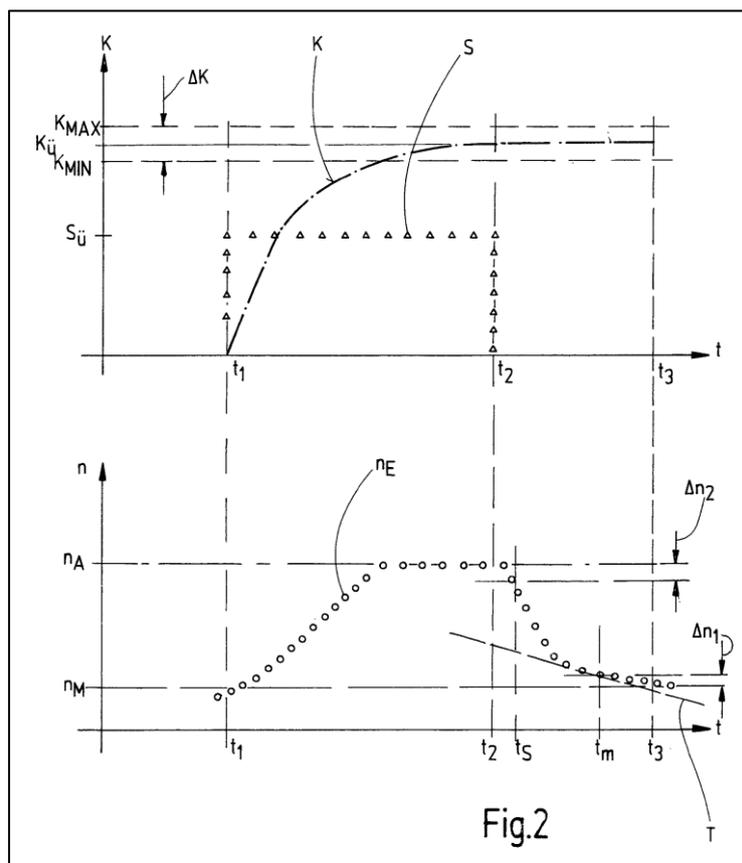
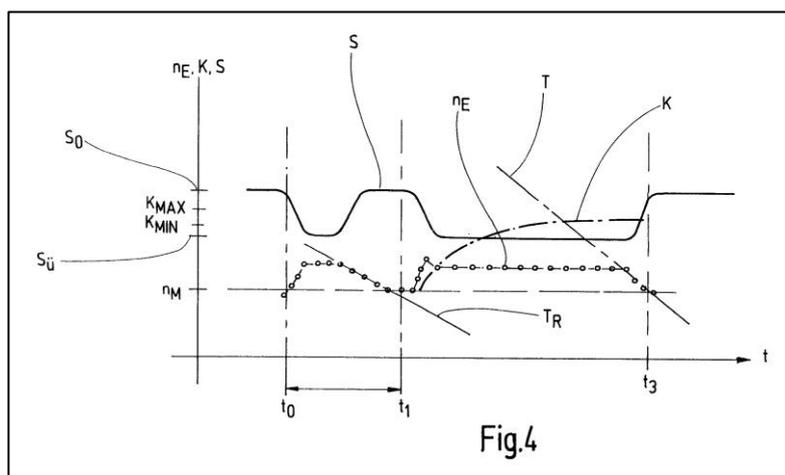


Abbildung 3.34: KISS-Adaption eines DKG 2⁸⁶

Vor Beginn dieser Messung kann eine Referenzmessung der Schaltkupplung mit geöffneter Reibkupplung erfolgen, um das hierbei wirkende Schleppmoment in dem betreffenden Zweig zu berücksichtigen (siehe Abbildung 3.35). Mittels Auswertung der Differenz dieser beiden Gradienten kann ein exakteres Ergebnis für die Adaption gewonnen werden, welches unabhängig vom ansynchronisierten Gang ist.

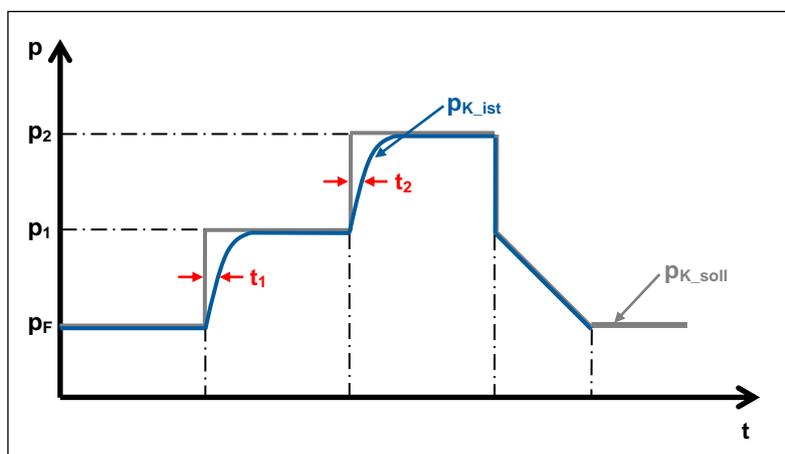
⁸⁶ Patent DE102007057081B4 (2009), Fig. 2, S. 12.

Abbildung 3.35: Variation Kisspoint-Adaption eines DKG 2⁸⁷

3.5.1.5 Adaption Fülldruck eines DKG⁸⁸

Voraussetzung für diese Adaption ist die Messung des Ist-Drucks p_{K_ist} einer Kupplung, was meist nur bei hydraulisch betätigten Doppelkupplungsgetrieben der Fall ist.

Die Kupplung des freien Teilgetriebes p_{K_soll} wird an den Kisspoint p_F wie gewöhnlich herangeführt. Anschließend erfolgen zwei auf p_1 bzw. p_2 . Dabei werden die Zeiten t_1 und t_2 ermittelt, bis jeweils ein gewisser Druck erreicht ist.

Abbildung 3.36: Adaption Fülldruck eines DKG⁸⁹

Aus dem Verhältnis der beiden Zeiten t_1 zu t_2 lässt sich auf die Korrektheit des Fülldrucks schließen. Ist dieses zu groß, muss der Fülldruck um einen bestimmten Wert angehoben bzw. bei zu kleinem Verhältnis entsprechend verringert werden. Der Zielwert des Verhältnisses muss mittels Tests und Prüfläufen im Vorhinein festgestellt werden.

⁸⁷ Patent DE102007057081B4 (2009), Fig. 4, S. 14.

⁸⁸ Vgl. Besprechung HAYDL, A. (2012)

⁸⁹ Vgl. HAYDL, A. (2008), S. 9.

Bei elektrisch betätigten Doppelkupplungsgetrieben muss ein entsprechendes Weg- und Betätigungskraftmesssystem vorhanden sein, um diese Adaption durchführen zu können.

3.5.2 Adherence-Point

Um schnelle Auskuppelvorgänge (speziell bei der Wandlerüberbrückungskupplung oder bei DKG) und homogene Schaltvorgänge zu garantieren, muss die TCU den genauen Schlupfpunkt jeder Kupplung kennen. Da sich dieser während der Einsatzdauer des Getriebes verändert, muss eine Adaption erfolgen. Dies kann während des normalen Fahrbetriebs erfolgen, ohne negative Auswirkungen auf die Fahreigenschaften bzw. teilweise ohne dass es vom Fahrer wahrgenommen wird.

3.5.2.1 Adaption des Schlupfpunkts

Unter dem Schlupfpunkt versteht man jenen Punkt (Druck) in der Kupplungskennlinie, an dem die Kupplung bei entsprechender Belastung zu Schlupfen beginnt. Während einer Konstantfahrt (mehrere Sekunden) kann dieser Schlupfpunkt gemessen und dadurch die Kupplungskennlinie adaptiert werden. Dies ist im entsprechenden Betriebspunkt nur für die geschlossenen Kupplungen möglich. Dazu wird der Ansteuerdruck einer Kupplung gezielt über eine Rampe reduziert, bis an dieser Schlupf auftritt. Detektieren lässt sich dies während einer Konstantfahrt relativ einfach, indem die Getriebeeingangsdrehzahl durch das Schlupfen leicht ansteigt. Anschließend wird die Kupplung durch vordefinierte Rampen wiederum geschlossen. Die Messwerte werden ausgewertet und in der Adaption abgespeichert.

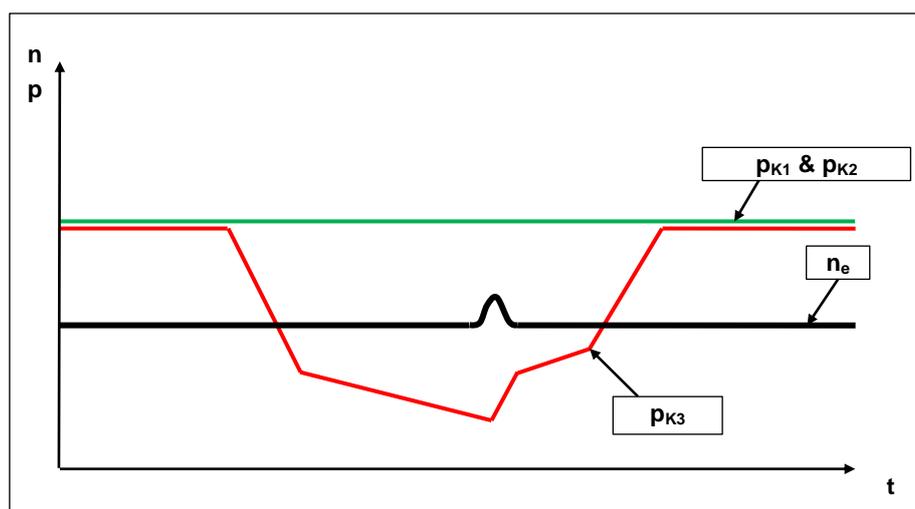


Abbildung 3.37: Schlupfpunktadaption bei Konstantfahrt⁹⁰

⁹⁰ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

Ein Nachteil an dieser Adaption ist, dass der Drehzahlanstieg des Motors durch den Fahrer wahrgenommen werden kann / könnte. Deshalb ist die Schlupfadaption im Stillstand (siehe Kapitel 3.3.2) eine bessere Variante zum Feststellen des Schlupfpunktes.

Diese Adaption wird nur in geringen Lastpunkten durchgeführt, um den Komfort während der Fahrt nicht zu beeinträchtigen.

3.5.2.2 Mikroschlupfregelung

„Der Mikroschlupf verbessert das Regelverhalten der Kupplungen und die Schaltqualität. Bestimmte Kupplungsadaptionen werden bei Mikroschlupf durchgeführt. Außerdem wirkt der Mikroschlupf wie ein Schwingungsdämpfer zwischen Motor und Getriebe, was das Schwingungsverhalten des Fahrzeugs verbessert.“⁹¹

Bei einer Kupplung, die nicht ständig in Mikroschlupf betrieben wird, kann zwischen den Schaltvorgängen die Adaptionsroutine der Mikroschlupf-Regelung aktiviert werden. Zu Beginn reduziert diese den Ansteuerdruck der aktiven Kupplung, bis es zu einer Relativedrehzahl zwischen Eingangs- und Ausgangswelle kommt, sprich die Kupplung schlupft (siehe Abbildung 3.39). Dabei wird der Schlupf gering gehalten, sodass keine Nachteile bezüglich Belagsverschleiß und Kraftstoffverbrauch auftreten.

Sobald der Schlupf dem applizierten Wert entspricht, kann dem geregelten Druck ein Moment zugeordnet werden. Dadurch kann der Schlupfpunkt dieser Kupplung adaptiert werden.

Diese Adaption durch Mikroschlupfregelung wird bei der Getriebeeingangskupplung nur in der Teillast bzw. bei kleinen Drehzahlen durchgeführt. Für die restlichen Kupplungen in einem Getriebe und auch die Kupplungen eines DKG kann diese Adaption in allen Lastpunkten durchgeführt werden.

⁹¹ AUDI Selbststudienprogramm 386 (2006), S. 27.

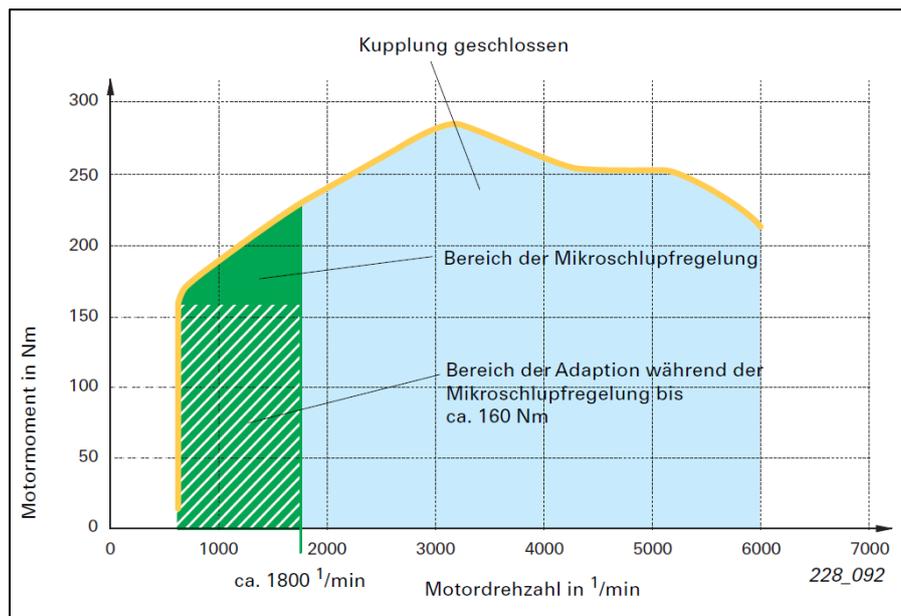


Abbildung 3.38: Mikroschlupfregelung der Eingangskupplung eines CVT-Getriebes⁹²

In Abbildung 3.39 ist eine Fahrsituation dargestellt, bei der die Drehzahl langsam und annähernd linear steigt (annähernd konstantes Moment). Dadurch ist es für die Adaptionroutine relativ einfach, auf den applizierten Mikroschlupf von 30 1/min zu regeln. Dieser Sollwert für den auftretenden Schlupf während der Regelung kann zwischen unterschiedlichen Getrieben sowie Herstellern variieren. Zu Beginn wird das Kupplungsmoment über eine 2-stufige Rampe bis zum Auftreten von Schlupf verringert. Anschließend erfolgt die closed-loop Regelung.

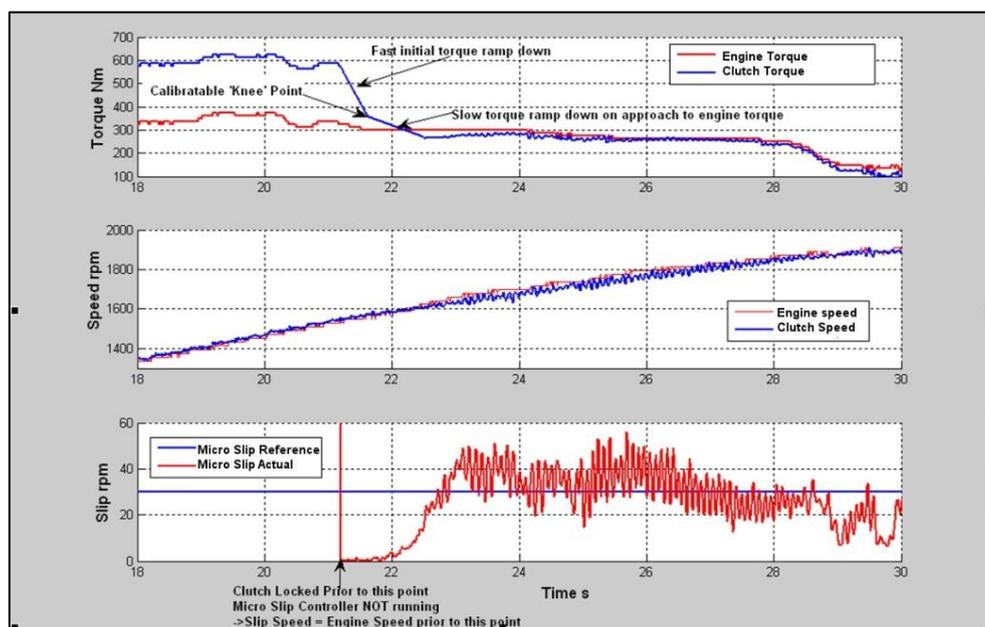


Abbildung 3.39: Mikroschlupfregelung bei annähernd konstantem Drehzahlgradient⁹³

⁹² AUDI Selbststudienprogramm 228 (1999), Abb. 228_092, S. 26.

⁹³ Vgl. HART, A. (2011), S. 35.

Dies kann auch bei transientser Fahrt durchgeführt werden, allerdings ist es hier für den closed-loop-Controller schwerer auf den Soll-Schlupf zu regeln bzw. den Änderungen des Moments zu folgen. In Abbildung 3.40 ist dieser Regelvorgang dargestellt. Durch die Vielzahl der Messpunkt kann die gesamte Kupplungskennlinie adaptiert werden (siehe Kapitel 3.5.3).

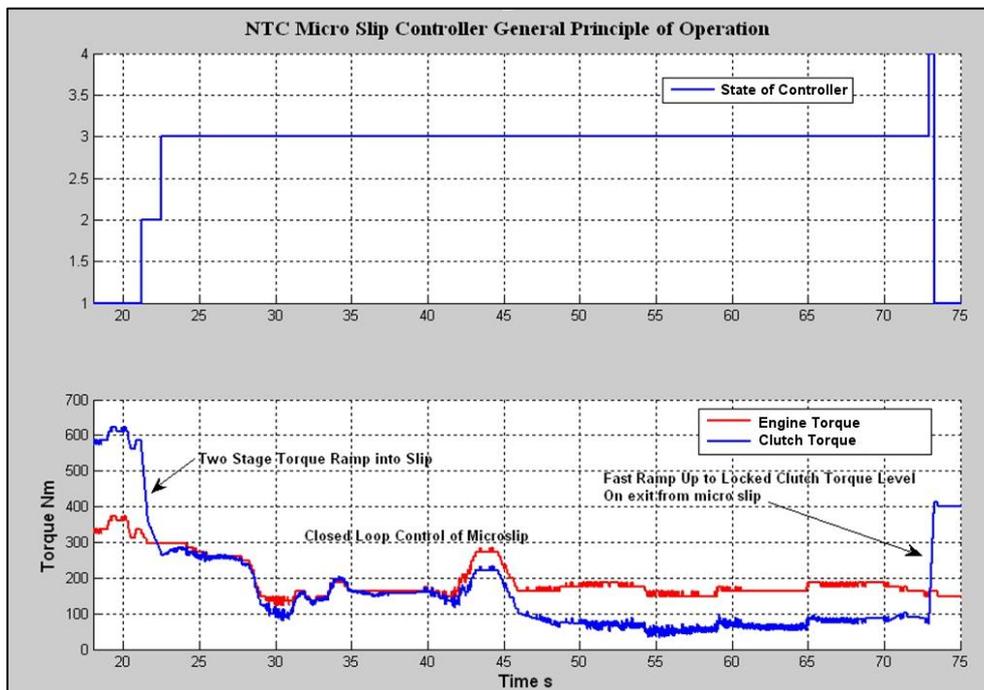


Abbildung 3.40: Mikroschlupfregelung transient⁹⁴

Der Unterschied der Momente entsteht durch die Divergenz der gespeicherten zu der tatsächlichen Kupplungskennlinie.

⁹⁴ Vgl. HART, A. (2011), S. 34.

3.5.3 Torque to pressure

Die unten abgebildete Kennlinie stellt die sog. Kupplungskurve dar. Diese spiegelt den Zusammenhang zwischen übertragbarem Drehmoment M und dem Ansteuerungsdruck p wieder. Wird an einer Kupplung ein bestimmtes Moment benötigt, kann anhand der zugehörigen Kupplungskurve der entsprechend notwendige Druck festgestellt werden. Da diese Kurve von einer Vielzahl von Parametern abhängig ist, variiert diese für jede Kupplung im Getriebe, weshalb für jede eine separate Kupplungskurve hinterlegt ist.

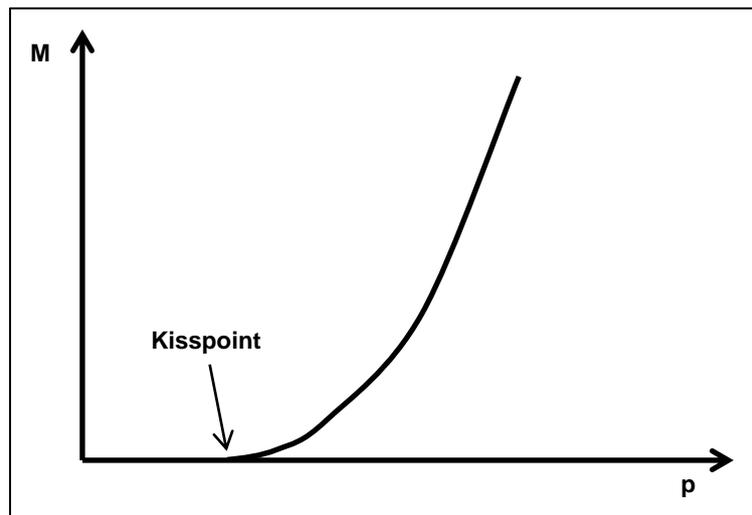


Abbildung 3.41: Kupplungskurve⁹⁵

Der niedrigste Punkt der Kupplungskurve (siehe Abbildung 3.41, Moment ≈ 0) ist der in Kapitel 1.10 bereits erklärte Kisspoint. Die im Folgenden beschriebene Adaption wirkt nur auf den Bereich oberhalb dieses Kisspoints.

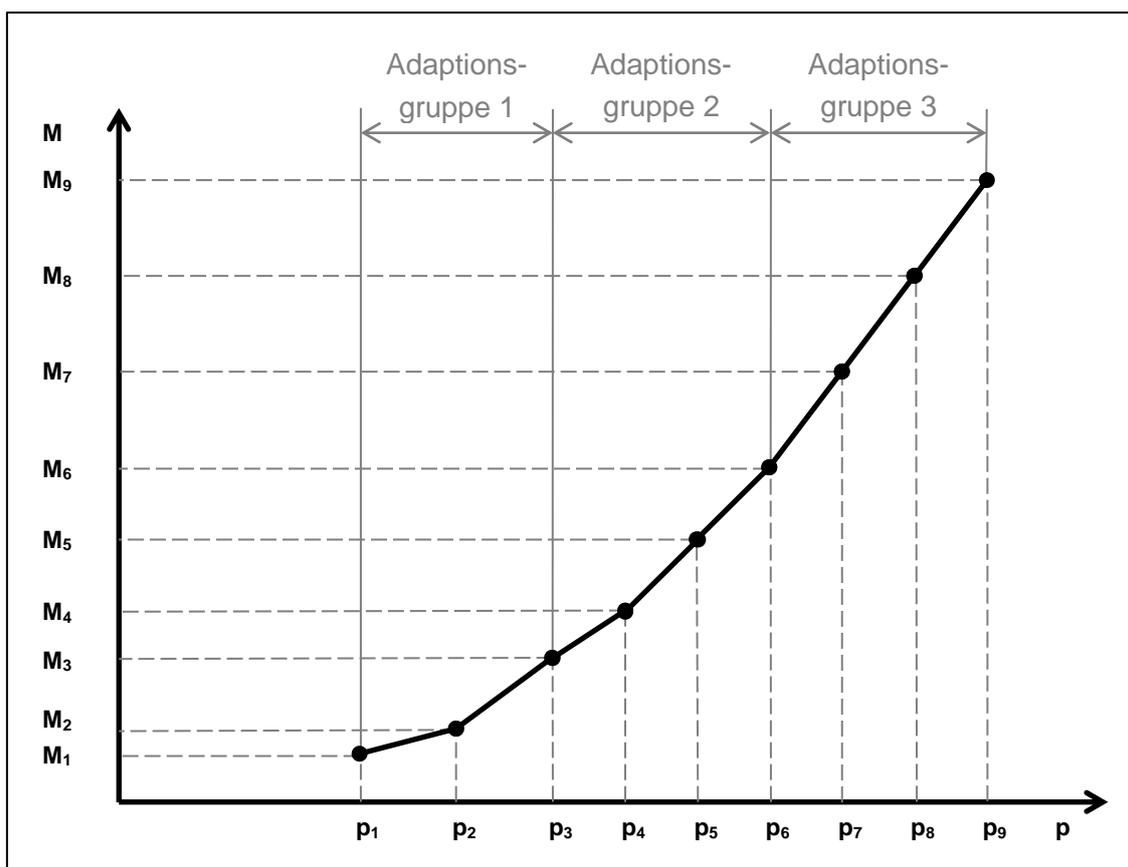
Warum muss die Kupplungskurve adaptiert werden?

Die Kupplungskurve beeinflusst die Fahrperformance signifikant.

Zu hohe Werte in der Kurve führen zu einem Kupplungsschleifen, da für ein bestimmtes Moment ein zu geringer Druck freigegeben wird. Der Fahrer wird Flares (siehe Kapitel 3.4.2) und langsame Schaltvorgänge spüren.

Zu niedrige Werte in der Kurve führen zu Kupplungsrasseln, da für ein bestimmtes Moment ein zu hoher Druck freigegeben wird. Der Fahrer wird Kupplungsschläge und ruckartige Schaltvorgänge spüren.

⁹⁵ Vgl. HART, A. (2011), S. 3.

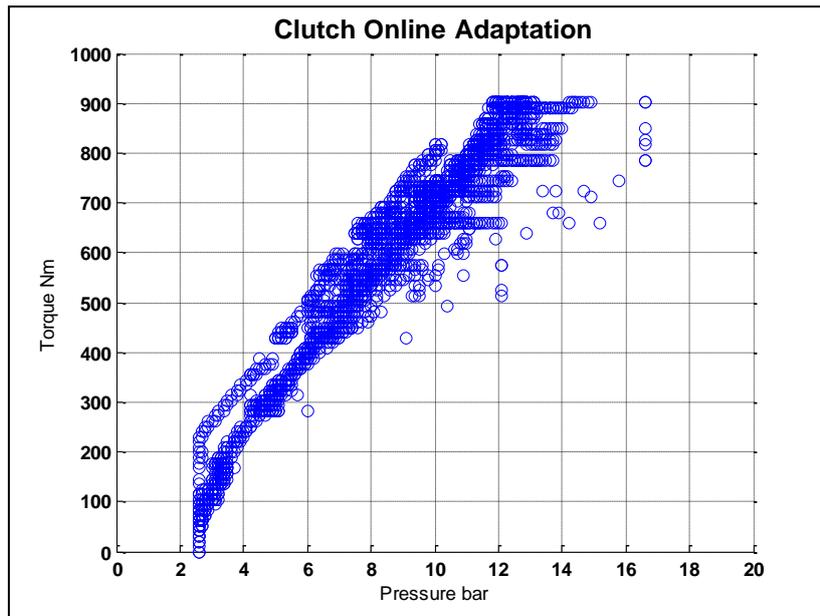
Abbildung 3.42: Adaptionen⁹⁶

Die Kurve wird als eine Sammlung von Punkten (Druck – Moment) gespeichert werden. Je nach Getriebesteuerung sind entweder die Druckpunkte oder die Momentenwerte fix und die jeweils anderen können verändert bzw. adaptiert werden. Zwischen den abgespeicherten Werten wird bei Bedarf dementsprechend interpoliert. Die Punkte können in Gruppen unterteilt werden, um in diesen Adaptionen-Gruppen Fehler zu berechnen und anschließend die Gruppe als Ganzes zu adaptieren.

3.5.3.1 Torque to Pressure mittels Mikroschlupf

Die ECU sendet kontinuierlich das Motormoment an die TCU. Diese kann Mikroschlupf an einer Kupplung induzieren, das bedeutet, den Kupplungsdruck soweit zu reduzieren, bis ein geringer, vorapplizierter Schlupf auftritt (wie bereits in Kapitel 3.5.2.2 erklärt). Durch das Steuern des Kupplungsdrucks mit Hilfe eines closed-loop-Controllers, wird der Mikroschlupf auf eine geringe Drehzahldifferenz geregelt. Sobald Mikroschlupf auftritt, überträgt die Kupplung genau jenes Moment, welches von der ECU übermittelt wird. Dadurch hat die TCU einen Messpunkt zu einem entsprechenden Druck. Die Adaptionen-routine nimmt bei jedem Aufruf (z.B. alle 10ms) einen Messpunkt auf, solange Mikroschlupf herrscht. Durch die Vielzahl der Messpunkte entsteht eine Punktwolke.

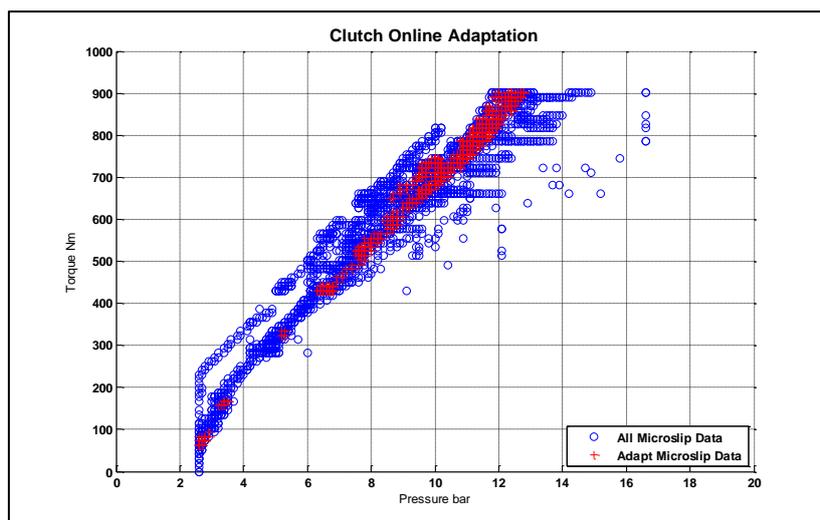
⁹⁶ Vgl. HART, A. (2011), S. 5.

Abbildung 3.43: Messpunktewolke⁹⁷

Das Ergebnis der Adaption kann verbessert werden, indem Bedingungen gesetzt werden, um einzelne (nicht relevante) Messpunkte auszuschließen. Daraus folgt eine engere Punktewolke, welche mehr Aussagekraft bietet.

Bedingungen:

1. Engeres Limit der Kupplungsschlupfgeschwindigkeit
2. Verhältnis der Motordrehzahländerungen limitieren
3. Verhältnis der Motormomentenänderungen limitieren
4. Temperaturbereich limitieren

Abbildung 3.44: Messpunktewolke eingeschränkt⁹⁸

⁹⁷ HART, A. (2011), S. 6.

⁹⁸ HART, A. (2011), S. 7.

Anhand dieser Messpunktewolke kann jeder gemessene Punkt mit dem entsprechenden Sollwert (Rückrechnung des Moments über den aktuellen Druck) verglichen werden. Die Fehlerwerte innerhalb einer Gruppe können gemittelt werden, um einen Gesamtfehler der Gruppe zu berechnen.

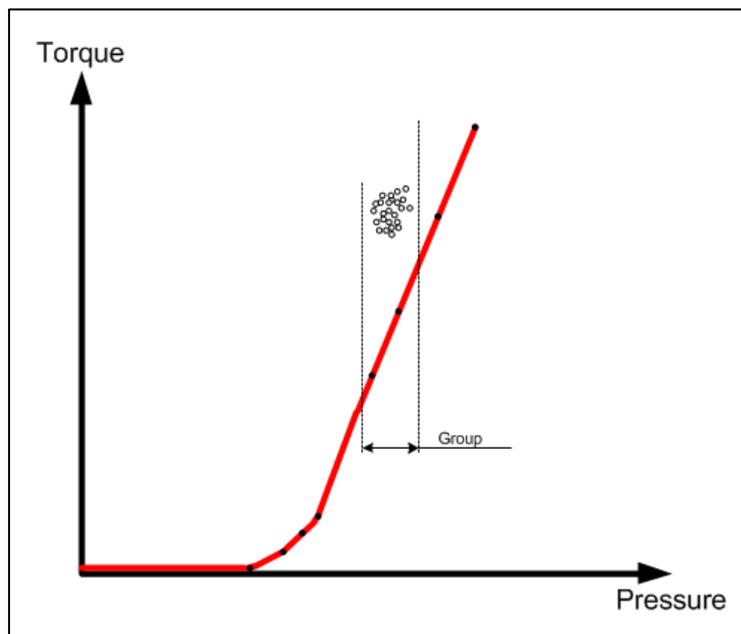


Abbildung 3.45: Messpunkte in einer Gruppe⁹⁹

Der unmittelbare Momentenfehler kann wie folgt berechnet werden:

$$M_{\text{err}} = \frac{M_K - M_M}{M_K} \times 100 \quad (3.1)^{100}$$

M_{err} ... Momentenfehler [%]

M_K ... Kupplungsmoment, rückgerechnet über Kupplungsdruck [Nm]

M_M ... aktuelles Moment, berechnet über Motormoment [Nm]

Daraus lässt sich der gemittelte Fehler berechnen:

$$\overline{M_{\text{err}_n}} = \frac{M_{\text{err}} + (\overline{M_{\text{err}_{n-1}}} \times N)}{N+1} \quad (3.2)^{101}$$

$\overline{M_{\text{err}_n}}$... aktueller gemittelter Fehler [%]

M_{err} ... aktueller Fehler [%]

$\overline{M_{\text{err}_{n-1}}}$... bisher gemittelter Fehler [%]

N ... Anzahl der Messpunkte zum Berechnen des Mittelwerts []

⁹⁹ HART, A. (2011), S. 8.

¹⁰⁰ Vgl. HART, A. (2011), S. 8.

¹⁰¹ Vgl. HART, A. (2011), S. 9.

Dadurch werden laufend der aktuell gemittelte Fehler einer Gruppe sowie die Anzahl der Messpunkte berechnet.

Mit diesem gemittelten Fehler können die Kupplungskurvenpunkte innerhalb einer Gruppe in das Zentrum der Messpunktwolke verschoben werden. Alle Punkte innerhalb einer Gruppe werden um den durch die Adaption berechneten Fehler gleichermaßen korrigiert, d.h. die Kurvencharakteristik in einer Gruppe bleibt gleich und wird nach oben oder unten verschoben.

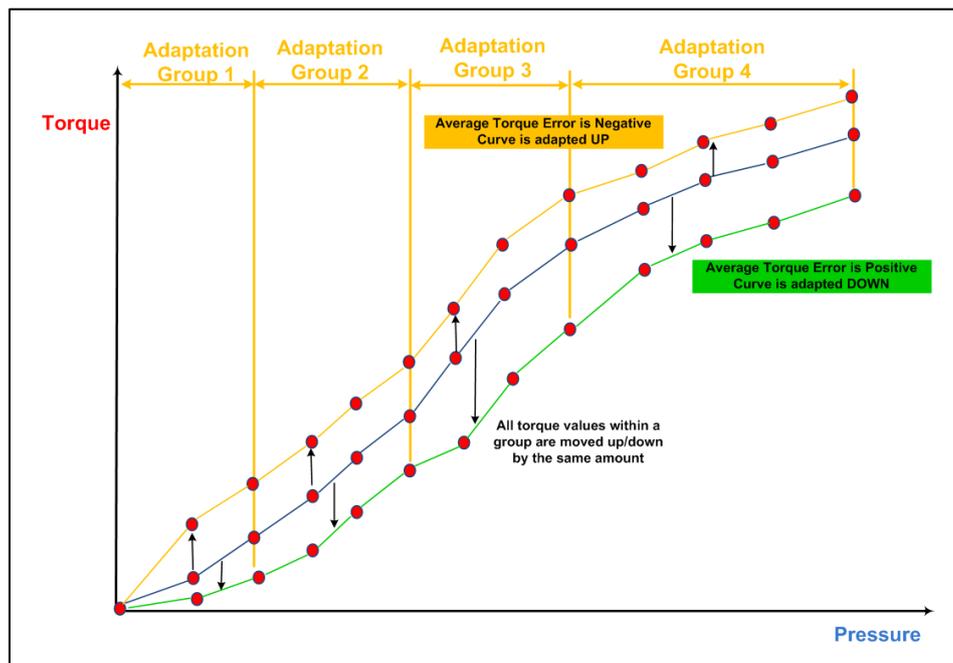


Abbildung 3.46: Adaption einzelner Gruppen¹⁰²

Die Kupplungskurve wird adaptiert, sobald genug Messpunkte existieren, um einen sinnvollen Fehler zu berechnen. Um geringe Verschiebungen innerhalb der Messwolke zu verhindern, wird die Größe des Fehlers berücksichtigt.

Die Kupplungskurve wird nur adaptiert, wenn sie nicht verwendet wird, d.h. die Kupplung nicht aktiv ist.

Normalerweise dient diese Adaptionroutine zum Ausgleich des Verschleißes der Kupplung. Deshalb sollte die existierende Kupplungskurve bereits größtenteils mit der Messwolke übereinstimmen und der Fehler dadurch relativ gering sein. Der Fahrer sollte keinen Unterschied zwischen den Adaptionen spüren. Bei diesem Anwendungsfall der Adaption spricht man von der sog. „normalen Adaption“, d.h. aufgrund einer Vielzahl von Messpunkten wird der Fehler errechnet und somit geringe Korrekturen der Kupplungskurve durchgeführt.

¹⁰² HART, A. (2011), S. 10.

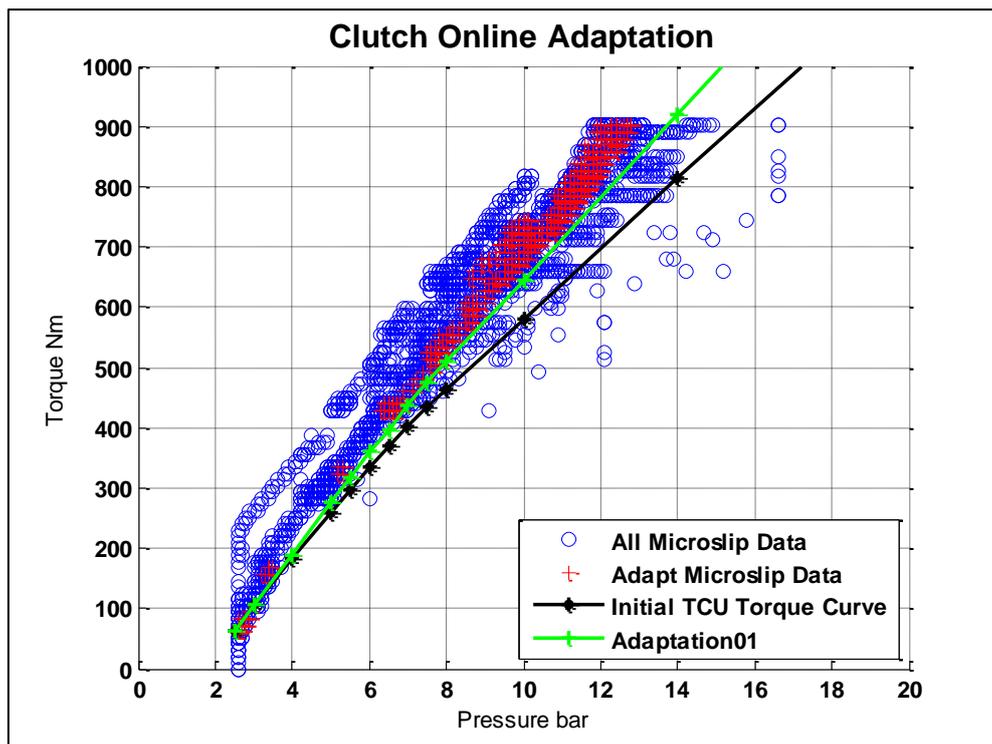


Abbildung 3.47: Normale Adaption einer Kupplungskurve¹⁰³

Bedingungen für eine „normale Adaption“:

1. Aktuell gemittelter Fehler aller Gruppen ist relativ gering
2. Eine große Anzahl an Messpunkten in mindestens einer Gruppe
3. Eine bestimmte Anzahl an Messpunkten in allen Gruppen

Bei Neumontage oder Wechsel einer Kupplung kann die Kupplungskurve relativ stark abweichen. Deshalb wird eine sog. „schnelle Adaption“ durchgeführt. Der Fahrer spürt meist schlechte Schaltvorgänge, was eine frühere Adaption notwendig macht. Außerdem werden weniger Messpunkte gesammelt, da die TCU Probleme hat, die neue Kupplung im Bereich des Mikroschlupf zu regeln.

Bedingungen für eine „schnelle Adaption“:

1. Aktuell gemittelter Fehler einer Gruppe ist relativ hoch
2. Eine mittlere Anzahl an Messpunkten in mindestens einer Gruppe
3. Eine geringe Anzahl an Messpunkten in allen Gruppen

¹⁰³ HART, A. (2011), S. 11.

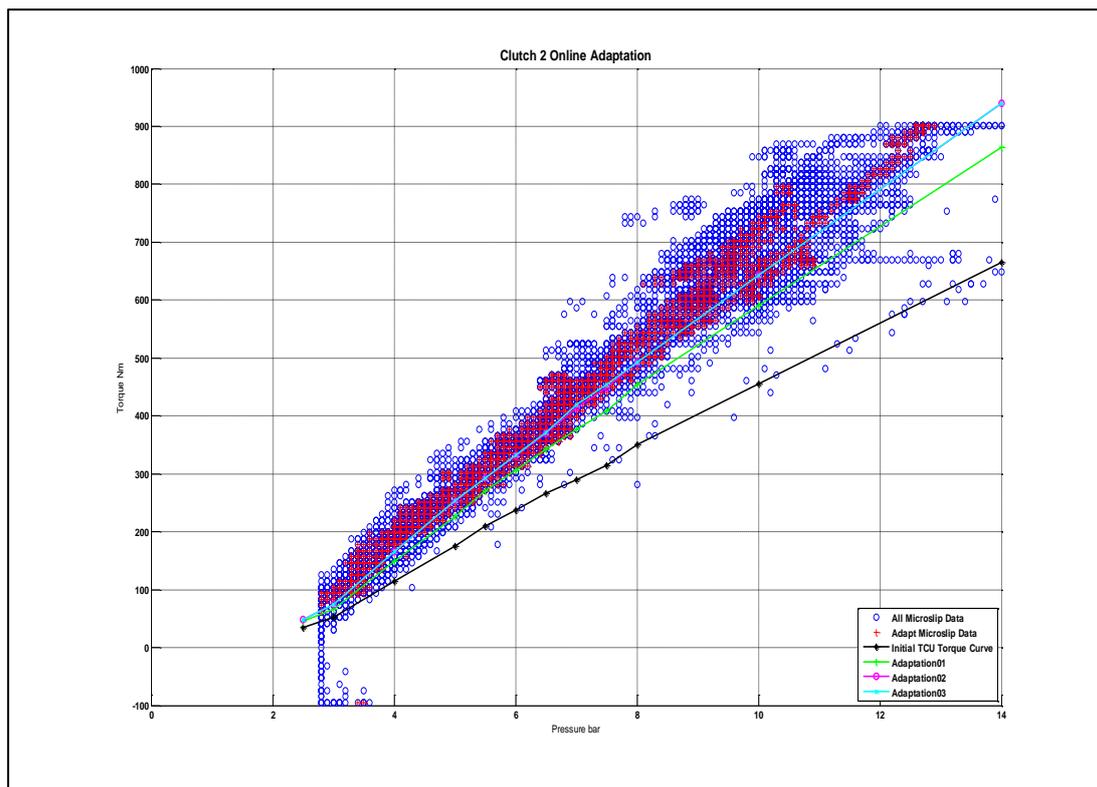


Abbildung 3.48: Schnelle Adaption¹⁰⁴

In Abbildung 3.48 ist Adaption01 eine schnelle Adaption, bei der die Kupplungskurve mit Hilfe weniger Messpunkte signifikant verschoben wird.

Aufgrund der Fahrbedingungen kann es dazu kommen, dass nicht für alle Gruppen Messpunkte gesammelt werden (z.B. bei einer Stadtfahrt werden kaum höhere Momente abgefragt). Dadurch würde keine der beiden Adaptionen aktiv werden, da die Bedingung „best. Anzahl an Messpunkten pro Gruppe“ nicht erfüllt wird. Deshalb könnte folgender Algorithmus zusätzlich implementiert werden:

Wenn in einer Gruppe bereits eine sehr große Anzahl an Messpunkten existiert, wird in allen Gruppen, die die Mindestanzahl nicht erreicht haben, die Anzahl auf Mindestanzahl +1 und der Fehler auf 0 gesetzt.

Dadurch kann abhängig vom aufgetretenen Fehler die normale oder die schnelle Adaption aktiv werden und die Gruppe mit einem Fehler von 0 bleibt unberücksichtigt. Um dadurch keine Sprünge in der Kupplungskurve zu bewirken, gibt es die Funktionen „Limit“ und „Glätten“ (siehe Kapitel 4.4 und 4.6).

¹⁰⁴ HART, A. (2011), S. 12.

3.5.3.2 Kennlinienadaption eines DKG 1¹⁰⁵

Pat.Nr.: DE102008043384A1

Das Patent betrifft ein Verfahren zur Kupplungskennlinienadaption eines automatisierten Doppelkupplungsgetriebes (im Stillstand auch für ASG). Im lastfreien Teilgetriebe wird ein aktueller Wert des Berührungspunktes (=Kisspoint) der zugeordneten Reibungskupplung mittels einem teilweisen Einrücken dieser und der Erfassung der relevanten Betriebsparameter wie folgt ermittelt. Zu Beginn müssen alle Gangsteller des Teilgetriebes in Neutralposition gebracht werden, um anschließend den Synchronpunkt einer Gangkupplung mittels einer definierten Stellkraft anzufahren ($p_{GK} = p_{Sync}$). In Folge dessen erreicht die Teiltriebewelle die Synchrodrehzahl des betreffenden Ganges ($n_{GE} = n_{Sync}$). Darauf folgt ein sukzessives Einrücken der Reibungskupplung (p_K) bis eine Aufhebung des Synchronlaufs an der Gangkupplung festgestellt wird. Somit überträgt die Kupplung ein höheres Moment als die Gangkupplung ($M_K > M_{GK}$). Mittels dem aktuellen Synchronmoment (M_{Sync}) und dem aktuellen Stellparameter (Weg oder Druck) des zugeordneten Kupplungsstellers kann der Berührungspunkt ermittelt werden. Mit Hilfe dessen anschließend die Kupplungskennlinie adaptiert wird.

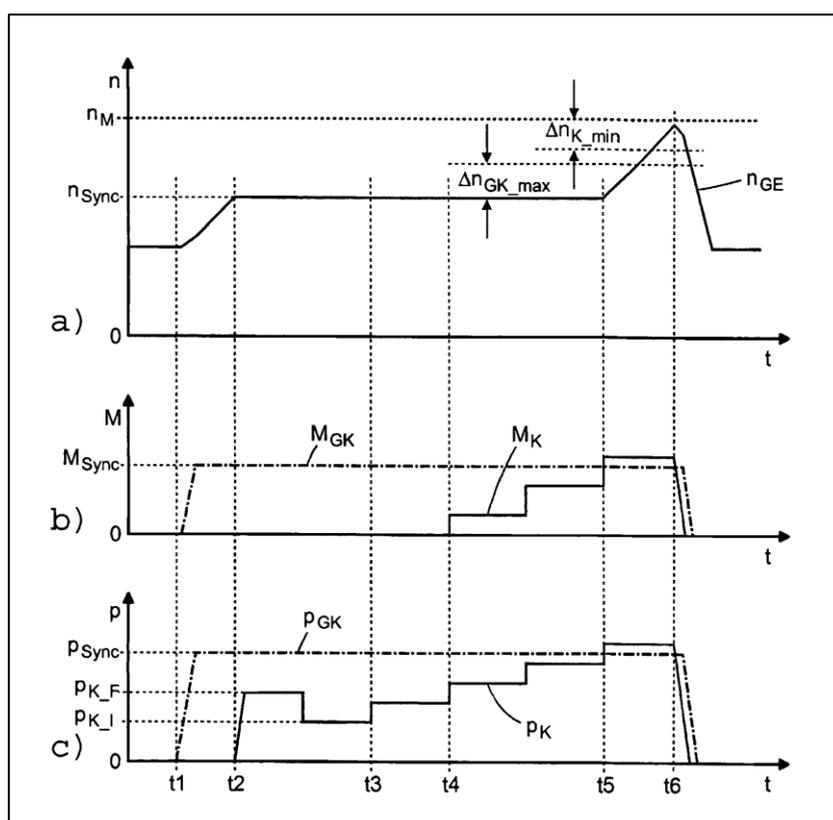


Abbildung 3.49: Kisspoint-Adaption eines DKG 2¹⁰⁶

¹⁰⁵ Vgl. Patent DE102008043384A1 (2010), S. 12 ff.

¹⁰⁶ Patent DE102008043384A1 (2010), Fig. 1, S. 15.

Variationen dieses Verfahrens bestehen in der Form des Druckverlaufs von p_K (stufenweise rampenförmige oder lineare Erhöhung), welche im Patent genauer beschrieben sind.

Des Weiteren kann vor dem Ermitteln des Berührungspunktes das Anfahren des Synchronpunktes der Gangkupplung als eine Adaption von diesem durchgeführt werden.

3.5.3.3 Kennlinienadaption eines DKG 2

Pat.Nr. DE10308517A1

Im Folgenden wird ein Verfahren zur Adaption der Kupplungskennlinie einer Eingangskupplung von einem DKG oder ASG beschrieben. Im Falle eines automatisierten Schaltgetriebes ist dies nur im Stillstand möglich. Beim Doppelkupplungsgetriebe kann während der Konstantfahrt bzw. bei Fahrzeugstillstand nur das lastfreie Teilgetriebe herangezogen werden. In diesem müssen sich alle Gangsteller in Neutralposition befinden oder in diese gebracht werden. Zu Beginn des Verfahrens wird die Kupplung der freien Teiltriebewelle mit einem definierten, geringen Wert beaufschlagt. Sobald die Drehzahl der Teiltriebewelle n_{FW} der Motordrehzahl n_{Mot} entspricht, wird eine Synchronisiervorrichtung, welche einem Gang der freien Teiltriebewelle zugeordnet ist, mit zunehmendem Wert betätigt, was einer ansteigenden Synchronisierkraft entspricht. Es wird der Wert der Synchronisierstellgröße ermittelt, bei der sich die Drehzahl n_{FW} von der Motordrehzahl n_{Mot} ablöst. Diesem Wert kann ein entsprechendes Synchronisiermoment zugeordnet werden. Die Synchronisiermechanik und auch die Kennlinie dieser ändern sich nur geringfügig über die Zeit. Dadurch eignet sie sich für die Adaption der Kupplungskennlinie. Das ermittelte Synchronisiermoment kann der Kupplungsstellgröße zugeordnet und der entsprechende Punkt in der Kupplungskennlinie adaptiert werden.¹⁰⁷

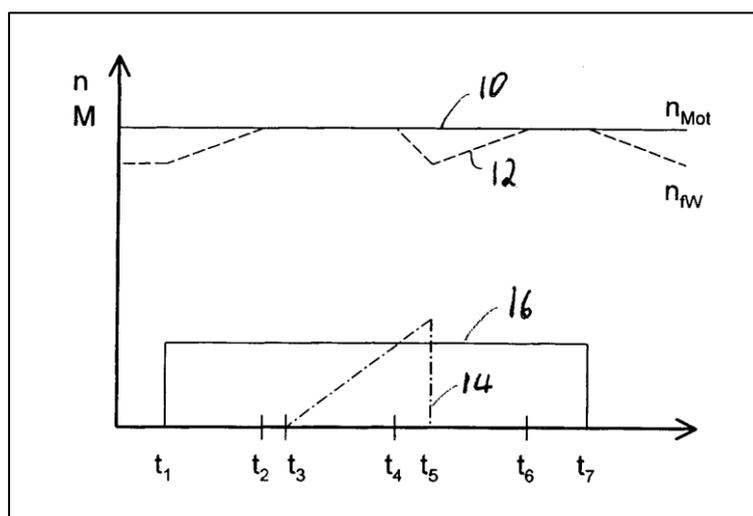


Abbildung 3.50: Kennlinienadaption eines Gangstellers eines automatisierten DKG¹⁰⁸

¹⁰⁷ Vgl. Patent DE10308517A1 (2004), S. 3 ff.

¹⁰⁸ Patent DE10308517A1 (2004), Fig. 2, S. 8.

Ein ähnliches Verfahren wird im Patent DE19931160A1 beschrieben. In diesem wird anstatt des kontinuierlich ansteigenden Synchronisiermoments ein konstantes angelegt. Nach Erreichen einer gewissen Differenzdrehzahl zwischen n_{fW} und n_{Mot} wird die Betätigung der Synchronisierung wieder beendet und während der Beschleunigung der Welle der Gradient der Drehzahl n_{fW} beurteilt.¹⁰⁹ (siehe Anhang)

3.5.4 Pressure / Current to position

In diesem Kapitel werden Adaptionen für Weg-gesteuerte Systeme behandelt. Zu jeder Position ist bei hydraulisch betätigten Systemen ein zugehöriger hydraulischer Druck abgespeichert, welcher über ein Ventil bereitgestellt wird. Bei elektrisch betätigten Systemen ist je nach Bauform ein Strom oder eine Motorposition hinterlegt. Da es durch Wärmeausdehnungen aufgrund der Getriebe- bzw. ATF-Temperatur und Verschleiß der Bauteile zu Abweichungen dieser Positionen kommen kann, müssen diese adaptiert werden.

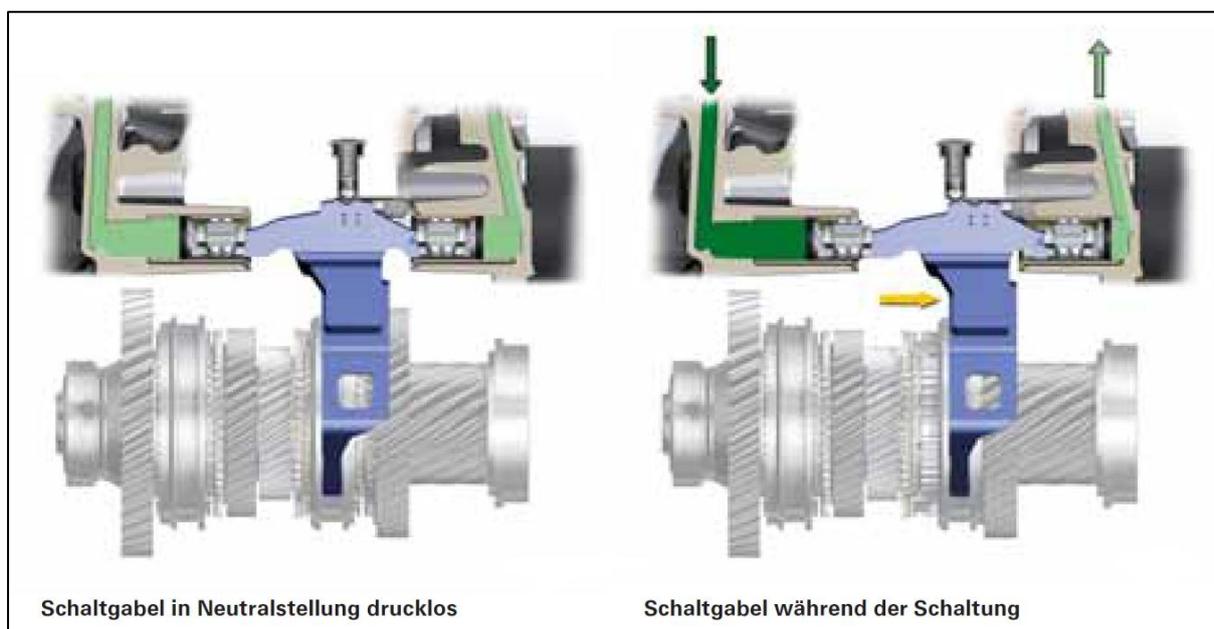


Abbildung 3.51: Positionen einer Schaltgabel in einem DKG¹¹⁰

Bei Doppelkupplungsgetrieben erfolgt die Betätigung der Schaltgabeln meist hydraulisch. Die Schaltgabeln werden mit Druck beaufschlagt, dass sie je nach Anforderung die Mittelstellung (Neutralstellung), den Endanschlag links bzw. rechts (jeweiliger Gang eingelegt) oder die dazugehörige Synchronisierposition einnehmen. Die Positionserfassung erfolgt meist mittels eines Hallsensors und einem auf der Schaltgabel montierten Magneten. In den beiden Gangpositionen sowie in der Neutralstellung wird die Schaltgabel von einer Arretierung gehalten.

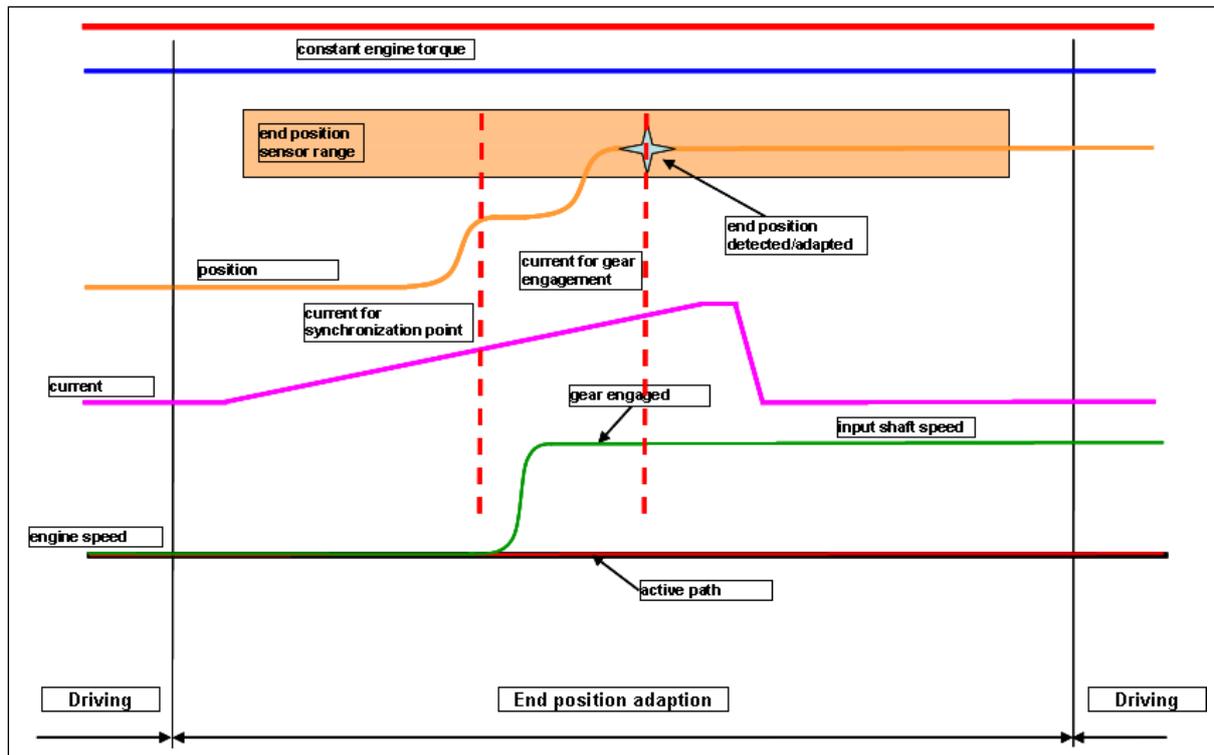
¹⁰⁹ Vgl. Patent DE19931160A1 (2001), S. 2ff.

¹¹⁰ AUDI Selbststudienprogramm 386 (2006), Abb. 386_031/032, S. 31.

Für folgende Positionen sind Adaptionen möglich:

- **Gangposition**
Dabei wird der entsprechende Hydraulikkolben mit Druck beaufschlagt und somit der jeweilige Gang eingelegt. Teilweise wird dieser sogar überdrückt, um sicherzustellen, dass sich die Schiebemuffe am Endanschlag befindet. Anschließend wird die Position gemessen und als neuer Sollwert für zukünftige Schaltvorgänge gespeichert. Dadurch kann bei folgenden Schaltungen der Druck vor der Gangposition reduziert werden, um ein hartes Schlagen der Schiebemuffe gegen die Zahnradschulter zu verhindern, da dies durch den Fahrer als unangenehmes Geräusch wahrgenommen werden kann.
- **Synchronisierposition**
Ausgehend von der Neutralstellung wird der jeweilige Hydraulikkolben langsam mit Druck beaufschlagt. Mittels Überwachung der Drehzahl der entsprechenden Teiltriebewelle kann die Synchronisierposition festgestellt und gegebenenfalls adaptiert werden.
- **Neutralposition**
Anhand der Drehzahl der Teiltriebewelle kann festgestellt werden, ob ein Gang eingelegt ist oder nicht. Ist die Schaltgabel weder in Gangposition noch in Synchronisierposition, wird diese durch die Arretierung in der Neutralposition gehalten. Dadurch kann die Neutralposition der Schaltgabel gemessen und bei Abweichung adaptiert werden.

Um die Adaption der oben genannten Positionen zu erläutern, wird in Abbildung 3.52 beispielhalber eine elektromechanische Schaltgabelbetätigung eines DKG betrachtet. Zu Beginn befindet sich die Schaltgabel in Neutralstellung. Anschließend wird der Strom zur Betätigung der Schaltgabel langsam erhöht. Sobald der Synchronisierungspunkt erreicht ist, kommt es zu einem Drehzahlunterschied der beiden Getriebewelle. Der dazugehörige Strom kann gemessen und mittels einer Adaptionroutine ausgewertet werden. Durch das weitere Erhöhen des Stroms, wird die Schaltgabel in die Gangposition gebracht. Durch das entsprechende Wegmesssystem kann diese Position detektiert und mit Hilfe der Adaption hinterlegt werden.

Abbildung 3.52: Adaption Schaltgabelpositionen¹¹¹

Diese Adaptionroutine kann bei jedem Voreinlegen eines Gangs erfolgen (wenn genügend Zeit zur Verfügung steht) und eignet sich daher sehr gut für die Positionsadaption.

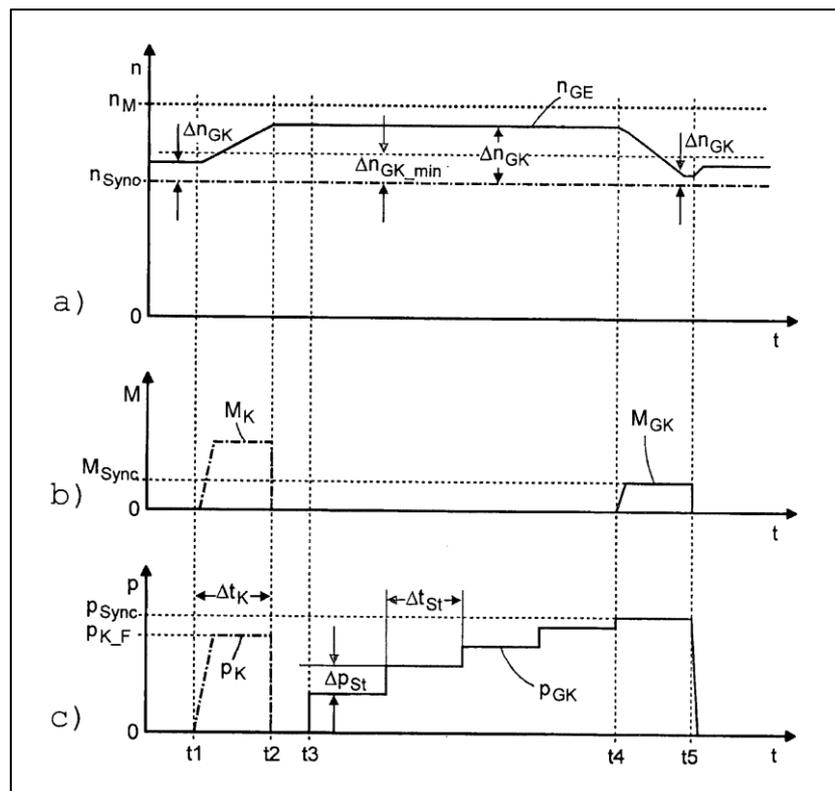
3.5.4.1 Verfahren zur Synchronpunktermittlung eines automatisierten DKG¹¹²

Pat.Nr. DE102008043385A1

Dieses Verfahren dient zum Ermitteln des Synchronpunktes einer Gangkupplung in einem Doppelkupplungsgetriebe. Dabei kann während der Konstantfahrt bzw. bei Fahrzeugstillstand nur das lastfreie Teilgetriebe herangezogen werden. Zuerst müssen alle Gangsteller des Teilgetriebes in Neutralposition gebracht werden. Anschließend wird bedarfsweise zur Einstellung einer vorgebbaren Mindestdrehzahldifferenz (wenn $\Delta n_{GK} < \Delta n_{GK_min}$) die Teilgetriebeeingangskupplung mit einem applizierten Einrückungsgrad (p_{K_F}) teilweise eingerückt und nach einer bestimmten Zeit (Δt_K) wieder vollständig ausgerückt. Falls dadurch die erforderliche Drehzahldifferenz nicht erreicht wurde, werden p_{K_F} bzw. Δt_K erhöht und dieser Vorgang wiederholt. Andernfalls ($\Delta n_{GK} > \Delta n_{GK_min}$) wird die Gangkupplung mit einem Druck (p_{GK}) für eine applizierte Zeit (Δt_{St}) beaufschlagt, welcher stufenweise (Δp_{St}) erhöht wird. Sobald es zu einem Einbruch der Teilgetriebedrehzahl kommt und die Differenzdrehzahl unter den Mindestwert fällt ($\Delta n_{GK} < \Delta n_{GK_min}$), entspricht der angesteuerte Druck dem Synchronpunkt.

¹¹¹ Vgl. Besprechung SAVAGE, P. (2012)

¹¹² Vgl. Patent DE102008043385A1 (2010), S. 12 ff.

Abbildung 3.53: Synchronpunktermittlung¹¹³

Variationen dieses Verfahrens bestehen in der Form des Druckverlaufs von p_{GK} welche im Patent genauer beschrieben sind.

3.5.5 Hydraulikdruckadaption

3.5.5.1 Systemdruckadaption

Der Systemdruck im Getriebe ist für die Schaltqualität von enormer Wichtigkeit. Durch die Momenten-Druck-Matrizen wird für ein entsprechendes Moment ein gewisser Strom berechnet, der den geforderten Druck bereitstellt. Bei einer Abweichung des Systemdrucks, verfälscht sich der bereitgestellte Druck und somit auch das Moment bzw. die Position.

Verfügt das Getriebe über einen Systemdrucksensor, kann ein kontinuierlicher Soll/Ist-Vergleich zur Adaption / Regelung des Drucks herangezogen werden.

Meist werden aus Kostengründen solche Sensoren jedoch weggelassen und es muss eine Möglichkeit gefunden werden, die Messung des Systemdrucks über die verbauten Steuerdrucksensoren zu realisieren. In Abbildung 3.54 ist beispielhalber der Hydraulikplan eines Doppelkupplungsgetriebes dargestellt. Dieses verfügt über 2 Steuerdrucksensoren (S1 & S2), welche den Ansteuerdruck der beiden Kupplungen messen. Bei Fahrt ist auf einer Teiltriebewelle eines Doppelkupplungsgetriebes ein Gang eingelegt und die

¹¹³ Patent DE102008043385A1 (2010), Fig. 1, S. 19.

entsprechende Kupplung geschlossen. Auf der freien Teilgetriebewelle werden alle Schaltgabeln in Neutralposition gebracht. Anschließend kann der volle Systemdruck durch das entsprechende Steuerventil (RV1 oder RV2) an der freien Kupplung angelegt und mit dem entsprechenden Drucksensor gemessen werden.

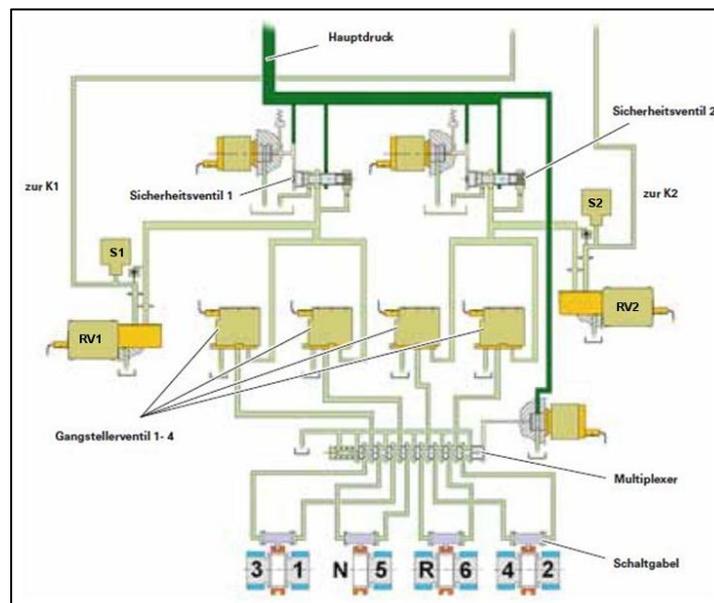


Abbildung 3.54: Hydraulikplan eines Doppelkupplungsgetriebes¹¹⁴

3.5.5.2 Ventilkennlinienadaption

Ähnlich der Systemdruckadaption können auch die Ventilkennlinien der beiden Steuerventile adaptiert werden. Wie in Abbildung 3.55 ersichtlich, wird der Strom stufenweise, entsprechend der Ventilcharakteristik, erhöht und wieder abgesenkt. Dabei werden die zugehörigen Drücke der steigenden und fallenden Ventilkennlinie gemessen und abgespeichert. Bei Konstantfahrt ist dies nur für das Ventil des freien Teilgetriebes möglich. Im Stillstand können hingegen beide Ventile simultan adaptiert werden.

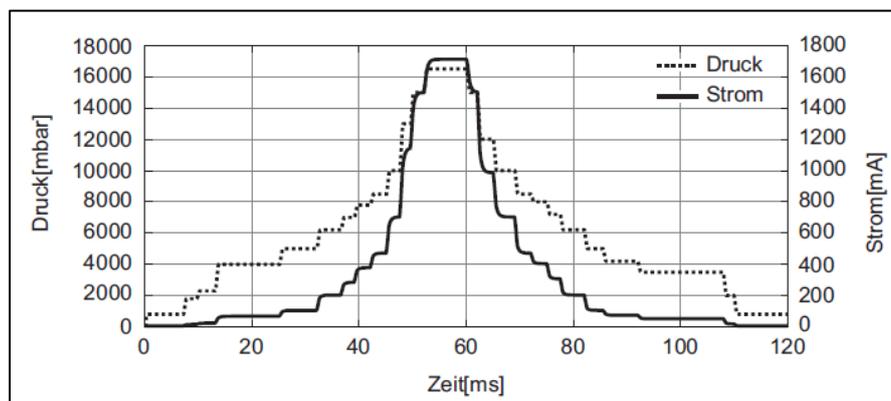


Abbildung 3.55: Ventilkennlinienadaption - Beziehung zwischen Druck und Strom¹¹⁵

¹¹⁴ Vgl. AUDI Selbststudienprogramm 386 (2006), Abb. 386_036, S. 36.

¹¹⁵ FISCHER, R. et al (2012), Abb. 5.18, S. 209.

3.5.5.3 0-Druck-Abgleich

Zusätzlich kann bei vollkommener Drucklosigkeit einer Kupplung der sog. „0-Druck“ gemessen werden. Dadurch kann der „0-Offset“ des Drucksensorsignals kontrolliert bzw. adaptiert werden.

Die Problematik besteht darin, dass auch eine inaktive Kupplung stets mit einem minimalen Druck (kleiner dem Kisspoint-Druck) angesteuert wird, um ein Eindringen von Luft in das Hydrauliksystem zu verhindern. Deshalb kann dieser „0-Druck“ nicht ständig gemessen werden, sondern es muss eine eigene Adaptionroutine implementiert werden.

3.5.6 Torque

Diese Routine dient zur Verifizierung des Motormoments. Um die für die Schaltvorgänge in einem Getriebe notwendigen Berechnungen durchführen zu können, benötigt die Getriebesteuerung den aktuellen Betrag des Motordrehmoments. Aufgrund von Signalfehlern und anderen Einflüssen kann es zu Abweichungen kommen. Um dies zu ermitteln und gegebenenfalls zu korrigieren, kann bei Konstantfahrt mittels des Drehmomentenwandlers das aktuelle Motormoment bestimmt werden. Wurde dieser exakt vermessen, kann ein Rechenmodell mit Motormoment und Drehzahlverhältnis zwischen Pumpen- und Turbinenseite erstellt werden. Wird diese Routine bei Konstantfahrt aktiviert, muss zuerst die Wandlerüberbrückungskupplung vollständig geöffnet werden. Zur Verhinderung von Einbußen im Komfort muss das Motormoment durch die ECU um die Verluste im Wandler angehoben werden, damit keine spürbare Änderung der Konstantfahrt eintritt. Sobald die Wandlerüberbrückungskupplung vollständig geöffnet ist, kann anhand des Verhältnisses von Pumpen- zu Turbinendrehzahl das Motormoment ermittelt werden. Nach abgeschlossener Messung wird die Wandlerüberbrückungskupplung wieder geschlossen. Besteht eine Abweichung zwischen berechnetem und durch die ECU gesendetem Motormoment, kann ein entsprechender Korrekturfaktor adaptiert werden.¹¹⁶

¹¹⁶ Vgl. Besprechung JÜRGENS, G. (29.3.2012)

3.6 Adaptionen bei Service / Reparatur

Kommt es aufgrund des Serviceintervalls zum Tausch des Getriebeöls oder muss wegen eines Schadens ein Teil oder das ganze Getriebe getauscht werden, müssen die abgespeicherten Adaptionswerte aller Kupplungen und Bremsen neu eingelernt werden. Um dem Kunden den gewohnten Schaltkomfort bieten zu können, müssen deshalb einige Adaptionen durchgeführt werden. Dies kann durch eine Adaptionfahrt oder durch eine Serviceadaption im Stillstand erfolgen. Folgend werden diese beiden Möglichkeiten beschrieben.

3.6.1 Adaptionfahrt

Gängigste Methode nach einem Service / Tausch des Getriebes ist eine Adaptionfahrt. Jeder Hersteller hat hierfür einen genau definierten Fahrzyklus. Dabei muss eine Abfolge von Konstantfahrten mit verschiedenen Lastpunkten und Gängen sowie unterschiedliche Hoch- und Rückschaltvorgänge durchlaufen werden. Erst wenn alle geforderten Adaptionen während dieses Zyklus erfolgt sind, kann die Adaptionfahrt beendet werden. Grundvoraussetzung für diese Fahrt ist eine entsprechend gute Fahrbahnbeschaffenheit und eine geeignete Streckenführung für die geforderten Konstantfahrten (teilweise mehrere km), was auf öffentlichen Straßen meist ein Problem darstellt. Zusätzlich ist dieser Vorgang zeit- und deshalb kostenintensiv.

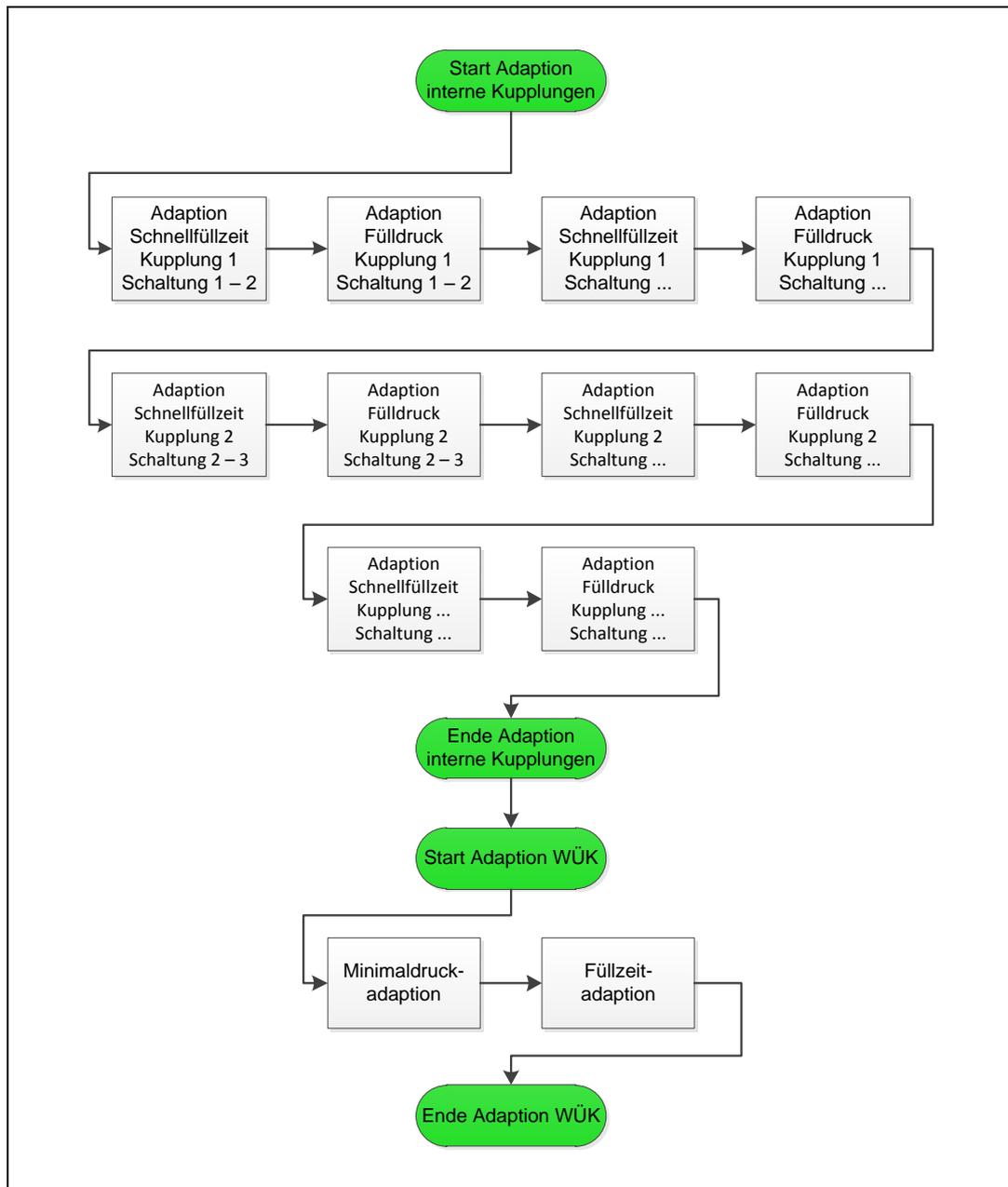
3.6.2 Serviceadaption

Hierbei handelt es sich um eine automatisierte Einlernroutine. Das Getriebe durchläuft dabei, unter Verwendung der Getriebe- und Kupplungsmatrix, vorgeschriebene Testzyklen, mit denen eine Grundadaption (Kupplungsfüllzeit und Anlegedruck) generiert wird. Wie bei den bereits beschriebenen Kisspoint-Adaptionen werden durch eine bestimmte Abfolge von Pulsen die Grundparameter einer jeden Kupplung adaptiert.

Dieser Einlernprozess erfolgt bei vollständigem Stillstand des Fahrzeuges und bedarf weder einer besonderen Schulung des Werkstattpersonals noch besonderer Servicewerkzeuge.

Wie in Abbildung 3.56 dargestellt, erfolgt zuerst die Adaption aller internen Kupplungen und Bremsen und am Ende des Zyklus wird die Wandlerüberbrückungskupplung bzw. die Anfahrkupplung adaptiert.

Durch den Einsatz des Adaptionalgorithmus ergibt sich eine erhebliche Zeitersparnis, da alle Schaltelemente des Getriebes in sehr kurzer Zeit (<10 Minuten) adaptiert werden können. Das Fahrzeug muss dazu nicht bewegt werden, da der Algorithmus im Stand abläuft. Somit ist es nicht mehr notwendig, in aufwendiger Weise auf der Straße alle Schaltungen anzufahren.

Abbildung 3.56: Ablauf Serviceadaption¹¹⁷

¹¹⁷ Vgl. POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 5-1, S. 29.

3.7 Adaptionen bei End-of-Line

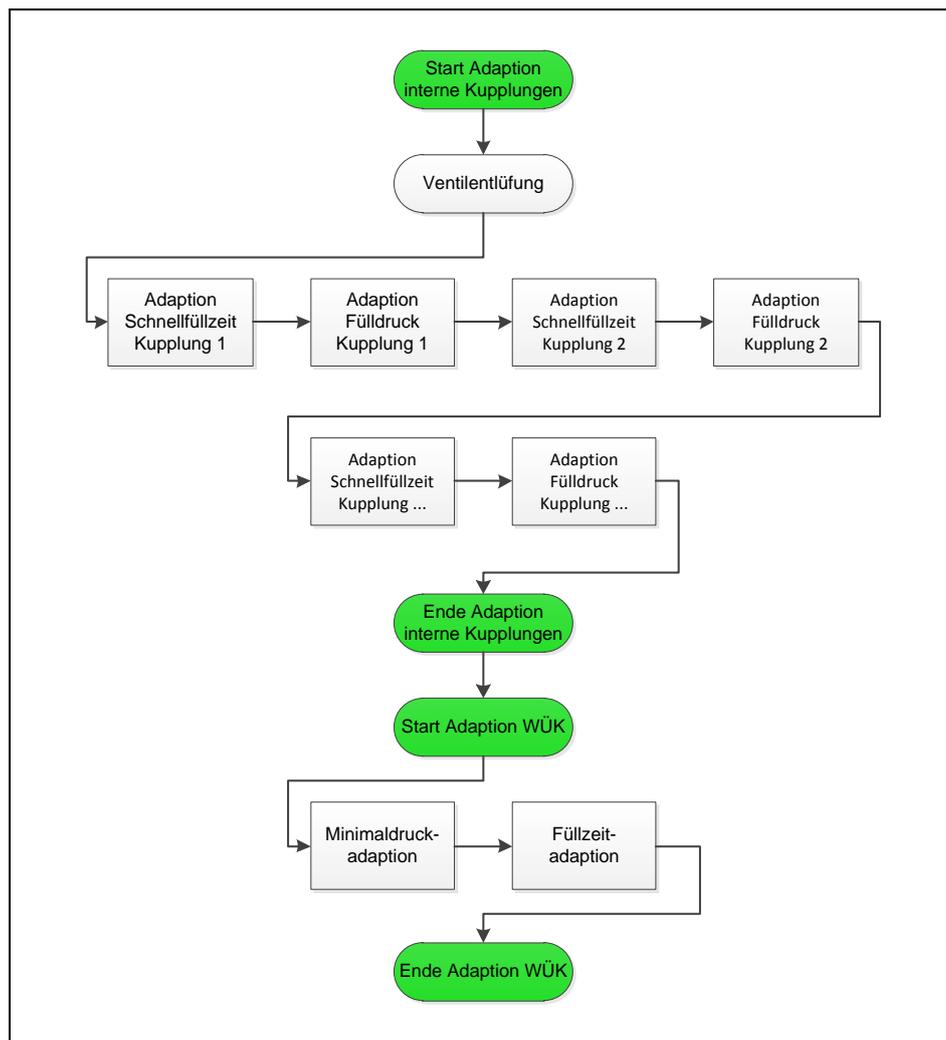
Mit End-of-Line wird der Zustand des Fahrzeugs am Ende der Fertigung bezeichnet. Natürlich erwartet sich der Kunde von einem Neuwagen komfortable Schaltvorgänge und keine Einlernphase des Getriebes. Ausschlaggebend ist das sog. „0-km-Verhalten“. Um etwaige Fertigungstoleranzen auszugleichen, muss das Fahrzeug vor der Auslieferung an den Kunden grundadaptiert werden.

3.7.1 Start- / Einlaufadaption

Dieser Algorithmus für die Grundadaption am Ende der Fertigungsstraße ist sehr ähnlich dem Adaptionalgorithmus im Servicefall (Siehe Kapitel 3.6.2). Allerdings wird nicht gangabhängig, sondern kupplungsabhängig adaptiert. Dadurch reduziert sich die Anzahl der notwendigen Adaptionsschritte und der Durchlauf des Algorithmus verkürzt sich dementsprechend. Dabei sind nur geringe Einbußen in der Qualität der Adaptionen in Kauf zu nehmen.

Diese End-of-Line-Adaption besteht aus drei Bestandteilen:

- Entlüftungsroutine: mittels dieser Prozedur werden die einzelnen Ventile durch spezifisch bedatbare Impulse angesteuert, um ein möglichst rasches und effizientes Entlüften dieser zu gewährleisten
- Adaptionsablauf der internen Kupplungen: diese Adaption läuft nach dem gleichen Schema wie der Service-Adaptionalgorithmus ab, jedoch mit dem Unterschied, dass nur jeweils eine Kupplungs-Gang-Kombination adaptiert wird. Die Adaptionswerte der restlichen Kupplungs-Gang-Kombinationen werden mittels Korrekturfaktoren berechnet
- Adaptionsablauf der Wandlerüberbrückungskupplung bzw. der Anfahrkupplung

Abbildung 3.57: Ablauf EoL-Adaption¹¹⁸

3.7.2 Mechatronikabgleich

Häufig wird heutzutage für die Adaption / Kalibrierung im End-of-Line-Bereich ein Prüfzyklus für das gesamte Mechatronikmodul angewandt, bevor dieses in das Getriebe eingebaut wird. Dabei wird das Hydraulikmodul samt Ansteuerungselektronik auf einem Prüfstand diversen Tests unterzogen, um eine Kalibrierung / Grundadaption durchzuführen.

Folgende Kalibrierungen / Adaptionen können durchgeführt werden:

- Kontrolle Arbeitsdruck
Das Mechatronikmodul wird am Prüfstand mit einem bestimmten Öldruck versorgt. Mit Hilfe eines Drucksensors wird der durch die TCU eingestellte Systemdruck gemessen. Gegebenenfalls werden die Ansteuerparameter des Systemdruckventils soweit korrigiert, bis der Systemdruck mit dem Sollwert übereinstimmt.

¹¹⁸ Vgl. POSCH, B.; MORADIELLOS, D. (2010), Abb. 5-3, S. 31.

- Einlernen Ventilkennlinien
Aufgrund der Fertigungstoleranzen weicht jede Kennlinie geringfügig vom Soll ab. Im Prüfzyklus werden mit jedem Ventil einzelne Kontrollpunkte der Ventilkennlinien angesteuert und mittels Drucksensoren der tatsächliche Druck gemessen. Bei Abweichungen werden dementsprechende Korrekturwerte in der TCU abgespeichert, um die korrekten Strom-Druck-Kennlinien für jedes Ventil zu erhalten (siehe Kapitel 3.5.5.2).
- Kontrolle Sensorik
Da sich auf dem Mechatronikmodul eine Vielzahl von Sensoren (z.B. Temperatur, Drehzahlen, Positionsmessungen, Druck, etc.) befinden, müssen auch diese kontrolliert werden. Dafür werden die Sensoren mit der jeweiligen Messgröße beaufschlagt und die entsprechenden Messsignale auf Korrektheit überprüft.

Je nach Getriebeart werden unterschiedliche Prüfzyklen durchlaufen. Anhand dieses Abgleichs können die oben angeführten Kalibrierungen durchgeführt werden, jedoch erfolgt dies unabhängig vom zugehörigen Getriebe. Dadurch werden Einflüsse des Getriebes (z.B. Position des Kisspoints) nicht berücksichtigt, welche durch andere Adaptionen gesondert ausgeglichen werden müssen.

Teilweise werden Bauteile wie Ventile oder Sensoren vor dem Einbau in das Getriebe bzw. Mechatronikmodul auf Bauteilprüfständen vermessen, um die individuellen Kennlinien der einzelnen Komponenten bereits im Rahmen einer Grundbedatung des Getriebesteuergerätes zu hinterlegen.

3.7.3 Getriebeprüfstand

„Prinzipiell simuliert die End-of-Line-Prüfung unter reproduzierbaren Bedingungen für möglichst kurze Zeiträume vereinfachte oder reale Betriebszustände, um zu ermitteln, ob die Produkte und Systeme als Ganzes ihre Funktion innerhalb vordefinierter Toleranzen erbringen.“¹¹⁹

Bei Getrieben erfolgt die End-of-Line-Prüfung meist mit dem zugehörigen Getriebesteuergerät, um etwaige Korrekturparameter direkt auf diesem ablegen zu können.

¹¹⁹ www.xpertgate.de (12.4.2012), Prüfanlagen

Als Beispiel die durchgeführten Tests eines Automatikgetriebes auf einem Prüfstand der Fa. ThyssenKrupp:¹²⁰

- Elektrischer Test
- Parksperrentest
- Wandlerprüfung
- Ventilprüfung
- Übersetzungskontrolle
- Kupplungskennlinien
- Geräuschanalyse
- Ölbefüllung auf Niveau

Im Zuge der Tests der Kupplungskennlinien und der Übersetzungskontrolle werden Adaptionen durchgeführt, um die vorhandenen Streuungen auszugleichen. Dabei wird ähnlich einer Adaptionfahrt ein Zyklus durchlaufen, welcher alle notwendigen Fahrzustände (Konstantfahrt, Schaltvorgänge, Stillstand, etc.) widerspiegelt, um sämtliche Adaptionen durchführen zu können. So ergibt sich ein annähernd identes „0-km-Verhalten“ eines jeden Getriebes, welches einen Adaptionenzyklus am Prüfstand durchlaufen hat.

Ein wesentlicher Vorteil des Getriebeprüfstandes ist die exakte Messung von Eingangs- und Ausgangsdrehmoment. Dadurch lassen sich Adaptionen für Kisspoint und Schaltvorgänge exakt bewerten und bedaten.

Aufgrund der Dauer des Prüflaufes und der Komplexität solcher Prüfstände ist dieses Verfahren sehr kostenintensiv. Allerdings ist dies durch die Reproduzierbarkeit des Zyklus und die Möglichkeiten zur Ansteuerung die beste Möglichkeit eine Grundadaption durchzuführen.

Ein Nachteil des Verfahrens ist, dass aufgrund der Dauer meist nur bei einer Getriebeöltemperatur adaptiert wird und deshalb keine Temperaturabhängigkeiten festgestellt bzw. bedatet werden können.

¹²⁰ www.thyssenkrupp-systemengineering.com (12.4.2012)

3.8 Adaptionen beim Anfahrvorgang

Erfolgt der Anfahrvorgang über das Steuern / Regeln einer Kupplung (nass oder trocken) und nicht mit Hilfe eines Wandlers, kann die Kupplung in dieser Phase adaptiert werden. Als Bezugsgrößen können das Motormoment, der Druck / die Position der Kupplung, die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Fahrzeugbeschleunigung, etc. dienen. Meist erfolgt das Anfahren über eine open-loop Steuerung, bei welcher resultierende Signale genutzt werden können. Ist jedoch eine closed-loop Regelung implementiert, kann auch die Regleraktivität genutzt werden.

Des Weiteren wird bei obigen Kupplungen meist eine Kriechfunktion ausgeführt, welche das Anfahren beim Lösen der Bremse (wie beim Einsatz eines Wandlers) realisieren soll. Diese Regelphase kann zum Adaptieren der Kupplung herangezogen werden.

3.9 Adaptionen bei dynamischer Fahrt

Dieser Fahrzustand eignet sich nur sehr bedingt für die Realisierung von Adaptionen. Weist der Fahrstil gar keine Regelmäßigkeiten auf und kommt es zu ständigen Lastwechseln, kann kaum adaptiert werden. Bei kurzen Phasen mit konstanter Beschleunigung oder Verzögerung können hingegen Adaptionen der Konstantfahrt (siehe Kapitel 3.5) bedingt eingesetzt werden. Dazu müssen diese entsprechend abgeändert werden, um die kurzen Zeitfenster nutzen zu können. Aufgrund dessen muss die Adaption öfter aufgerufen werden, d.h. der Lastbereich öfter durchfahren werden, um entsprechende Ergebnisse zu erhalten.

4 Strategien zur Umsetzung von Adaptionen

Die im Folgenden erklärten Strategien dienen zur Steigerung der Sicherheit sowie des Komforts und sollen nur beispielhaft einen Auszug aus den existierenden Möglichkeiten bieten. Nicht jede Methode muss in jedem Getriebesteuergerät appliziert werden. Je nach Hersteller, Getriebetyp, Sensorik, etc. kommen unterschiedliche Strategien zum Einsatz.

4.1 Adaptionen

Die Häufigkeit unterschiedlicher Adaptionen während der Einsatzdauer eines Getriebes variiert. Bei Getrieben mit wenig durchgeführten Adaptionen (z.B. geringe Laufleistung) bzw. zurückgesetztem Adaptionenspeicher kommt es häufig zu Adaptionen. Hingegen wird nach vielen durchgeführten Adaptionen (z.B. hohe Laufleistung) die Häufigkeit reduziert und nur noch in größeren Zeitintervallen adaptiert.¹²¹

Auch die Art der Adaptionen wird über die Einsatzdauer variiert, da z.B. bei einem leeren Adaptionenspeicher andere Routinen für die Grundbedatung notwendig sind als bei hoher Laufzeit. Aufgrund dessen werden zu Beginn Adaptionen aktiv, deren Häufigkeit sich mit der Laufleistung reduziert oder gar verschwindet. Andere Routinen hingegen werden über die gesamte Einsatzdauer eines Getriebes durchgeführt, wie z.B. die Schaltadaption (Überwachung während des Schaltvorgangs).¹²²

4.2 Mittelwertbildung

Um zufällige Streuungen von Adaptionen zu verringern, kann ein Mittelwert von mehreren Messungen gebildet werden. Ähnliche wie in Kapitel 3.5.3.1, muss eine gewissen Anzahl an Messungen durchgeführt werden, um anschließend den entsprechenden Parameter mit dem gemittelten Wert der Messungen zu adaptieren.

4.3 Gewichtung von Adaptionen

Die Steuerungsparameter einer Kupplung können aufgrund mehrerer Routinen zu adaptieren. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, wie die Gewichtung von einer oder mehreren Adaptionen als Funktion eines gewissen Parameters ausgeführt werden kann. Dabei kann z.B. der Solldruck als Grundlage für die Relevanz zweier Adaptionen dienen.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Gewichtung über die Einsatzdauer des Getriebes, wobei der Verlauf des Gewichtungsfaktors der Kurve in Abbildung 4.1 ähneln könnte.

¹²¹ Vgl. AUDI Selbststudienprogramm 385 (2008), S. 57.

¹²² Vgl. AUDI Selbststudienprogramm 385 (2008), S. 71.

4.4 Limit – Überprüfung

Um fehlerhafte Kupplungskurven zu vermeiden, ist für jeden Punkt ein Limit (min – max) festgelegt. Bevor ein neu ermittelter Wert abgespeichert wird, erfolgt die Überprüfung, ob dieser innerhalb der Grenzen liegt.

Des Weiteren besteht die Möglichkeit einer Änderungsbegrenzung. Diese kann wie in Abbildung 4.1 dargestellt über die Einsatzdauer reduziert werden, d.h. bei einem neuen Getriebe dürfen große Adaptionen durchgeführt werden. Ist die Anzahl der Schaltungen hingegen schon hoch, darf nur mehr um einen geringen Wert adaptiert werden, da zu diesem Einsatzzeitpunkt des Getriebes nur mehr kleine Änderungen der Parameter zu erwarten sind.

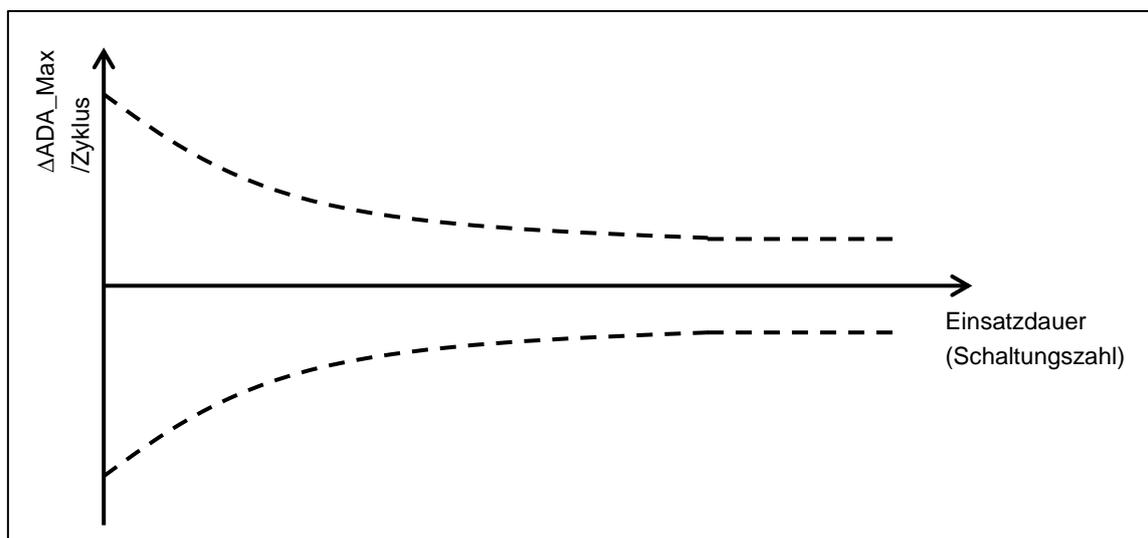


Abbildung 4.1: Änderungsbegrenzung einer Adaption¹²³

¹²³ Vgl. Besprechung SCHATZ, P. (2012)

4.5 Monotonie – Überprüfung

Die Kupplungskurve kann auf Monotonie kontrolliert werden, um sicher zu gehen, dass jeder Punkt höher als der vorhergehende liegt. Eine nichtmonotone Kurve stellt ein großes Problem dar, da einem Moment drei unterschiedliche Drücke zugeordnet sind.

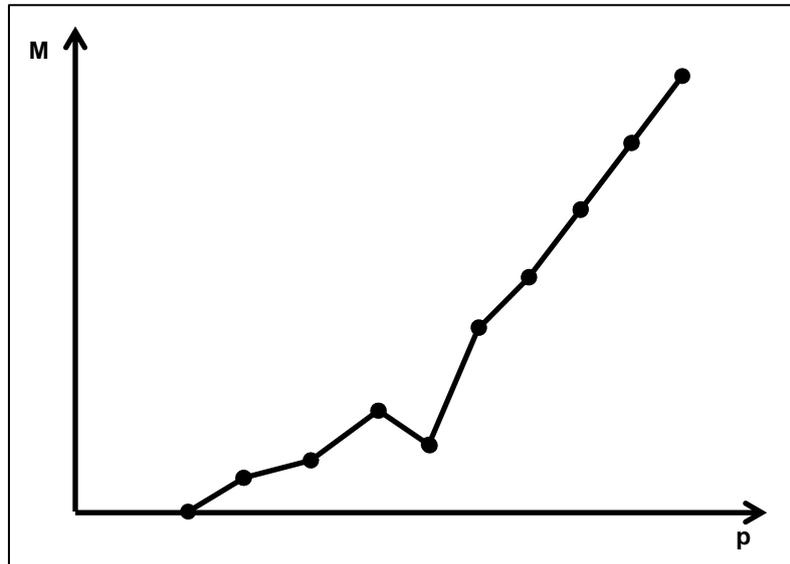


Abbildung 4.2: nichtmonotone Kupplungskurve

Solch eine nichtmonotone Kupplungskurve könnte auftreten, wenn ein Punkt nach unten adaptiert wird, während die Nächsthöheren gleich bleiben. Besteht eine Adaption diese Kontrolle nicht, werden die neuen Werte nicht abgespeichert.

4.6 Glätten der Kupplungskurve

Durch Adaption einzelner Gruppe werden diese nach oben oder unten verschoben. Dies kann zu einem sog. Leitereffekt führen, welcher die Kupplungskurve sehr kantig gestaltet.

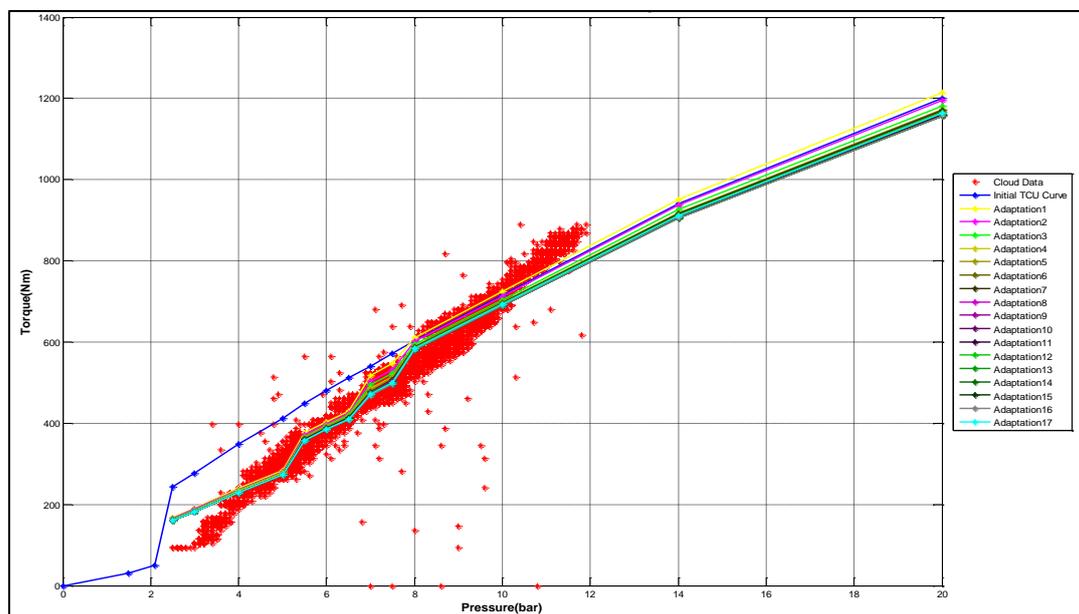


Abbildung 4.3: Leitereffekt in einer Kupplungskurve¹²⁴

Um diesen Effekt zu verhindern, kann die Kurve geglättet werden. Dazu werden die Anfangs- und Endpunkte einer Gruppe miteinander verbunden und die dazwischen liegenden Punkte auf diese Linie gelegt. Anschließend werden diese neuen Punkte miteinander verbunden und die Kupplungskurve wurde erfolgreich geglättet.

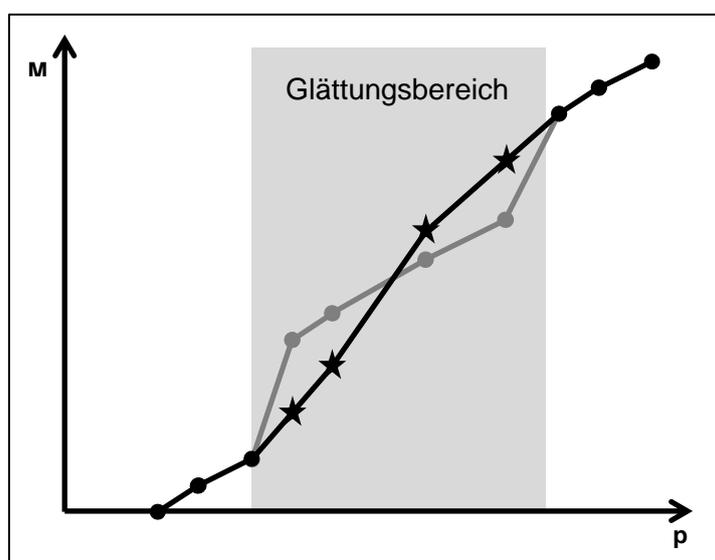


Abbildung 4.4: Fertig geglättete Kurve¹²⁵

¹²⁴ HART, A. (2011), S. 15.

¹²⁵ Vgl. HART, A. (2011), S. 16.

4.7 Anpassung von Parametern in einem Kennfeld¹²⁶

Pat.Nr. DE19916006A1

Beim Verfahren zur Anpassung von Parametern in einem Kennfeld wird das Ablegen der Adaptionswerte genauer betrachtet. Dies kann wie in Abbildung 4.5 beispielhaft der Betätigungsdruck einer hydraulischen Kupplung eines Automatikgetriebes sein. Die hier hinterlegten Werte werden anhand von Adaptionsroutinen ermittelt und im entsprechenden Feld abgespeichert. Dabei gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, in welcher Abhängigkeit die Felder eingeteilt sind (hier Drehmoment T und Getriebetemperatur t_G). Bei allen folgenden Schaltungen wird das dem Betriebspunkt entsprechende Feld aufgerufen und der Korrekturfaktor bei der Berechnung des Ansteuerdrucks der Kupplung berücksichtigt.

Um das Befüllen eines solchen Kennfeldes wenn dieses rückgesetzt wurde oder bei einem neuen Getriebe zu beschleunigen, kann die Strategie des „Schnellen Befüllen“ angewandt werden. Dabei werden zusätzlich zum ermittelten Adaptionswert auch benachbarte Werte des Kennfeldes entsprechend einer Verlaufsfunktion abgeändert. In Abbildung 4.5 wurde für das Feld [3/3] eine Korrektur von 0,05 bar ermittelt. Durch das schnelle Befüllen werden die umliegenden Felder entsprechend der Funktion um 0,03 bzw. 0,01 bar adaptiert. Dabei sind verschiedene Größen der Teilmatrix sowie der Verläufe der Funktion möglich.

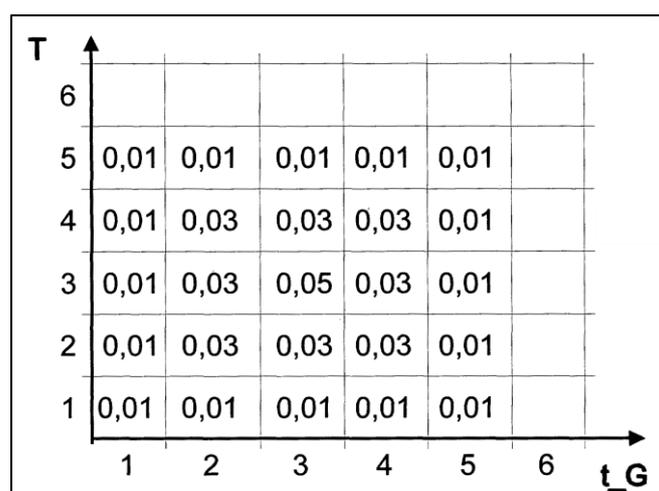


Abbildung 4.5: Anpassung von Parametern in einem Kennfeld¹²⁷

Da dieses Verfahren nur eine Näherung an die tatsächlichen Adaptionswerte eines jeden benachbarten Feldes darstellt, werden mit dem zeitlichen Verlauf der Einflussbereich sowie die Variation verringert.

¹²⁶ Vgl. Patent DE19916006A1 (2000), S. 2 ff.

¹²⁷ Patent DE19916006A1 (2000), Fig. 1, S. 6.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Adaptionen in automatisierten Getrieben spielen eine wichtige Rolle für die Gewährleistung des vom Fahrer geforderten Komforts. Um die immer komplexer werdenden Getriebe exakt steuern bzw. regeln zu können, müssen Abweichungen einzelner Parameter von deren vordefinierten Werten erkannt und korrigiert werden. Dabei wird zwischen sog. „Initialen Adaptionen“ und „Adaptionen über Lebensdauer“ unterschieden. Erstere sind bei geringer Laufleistung des Fahrzeugs aktiv und sollen diverse Fertigungstoleranzen sowie weitere Grundabweichungen des Getriebes ausgleichen. Diese sind immens wichtig, um bei einem Neuwagen die Kundenzufriedenheit (z.B. „0-km-Verhalten“ des Fahrzeugs) zu sichern und für den Fahrer von Anfang an ein gutes Fahrverhalten sicherzustellen. Mit steigender Einsatzdauer kommt es zu Verschleißerscheinungen an Bauteilen sowie Abweichungen einzelner Parameter (z.B. Viskosität des Getriebeöls, Änderung des Reibbeiwerts, etc.). Um diesen negativen Einflüsse entgegenzuwirken, dienen die sog. „Adaptionen über Lebensdauer“. Diese korrigieren nicht kalkulierbare Abweichungen und gewährleisten somit ein annähernd gleichbleibendes Verhalten des Getriebes über die gesamte Einsatzdauer.

Jedoch gibt es Einschränkungen für Adaptionen, wie z.B. die Art des Getriebes, weshalb eine Vielzahl von Adaptionroutinen existiert. Je nach Parameter, Adaptionfrequenz, Adaptionsgenauigkeit, Getriebetyp, Fahrzustand, etc. kommen daher unterschiedliche Vorgehensweisen zum Einsatz.

Wichtigstes Kriterium für existierende sowie zukünftige Adaptionroutinen ist, dass diese von den Insassen nicht bemerkt bzw. als nicht störend empfunden werden. Der Ablauf einer Adaption soll den Fahrer in keiner Art und Weise in der normalen Benützung des Fahrzeugs beeinträchtigen. Jedoch sollen möglichst viele Daten gesammelt werden, um alle notwendigen Parameter adaptieren und diese Adaptionen validieren zu können.

Die Basiskalibrierung eines Getriebes muss separat erfolgen und darf nicht mittels Adaptionen abgewickelt werden. Nur grundbedatete Getriebesteuerungen können mittels Adaptionen optimiert werden, da jene Routinen die entsprechenden Parameter nur in einem festgelegten Bereich variieren dürfen. Andernfalls könnte es zu starken Komforteinbußen oder Schäden am Getriebe kommen. Jedoch geht der Trend aufgrund der Kosteneinsparung immer weiter Richtung Reduktion der Kalibrierung. Dies erfordert eine Anpassung der Adaptionroutinen, um weitere Bereiche bei einer automatisierten Grundadaption abdecken zu können.

Durch die fortschreitende Entwicklung und Vernetzung von Elektronikkomponenten im Fahrzeug, kommt es zu immer stärkeren Interaktionen von Mess- und Stellgrößen (siehe Abbildung 5.1). Dabei sind nicht mehr nur direkte Antriebssignale (Motordrehzahl, -moment, -eingriff, etc.) für die Getriebesteuerung relevant, sondern mehr und mehr spielen Signale der Fahrdynamik (Querbeschleunigung, Schlupfwerte, etc.) eine wichtige Rolle.¹²⁸

¹²⁸ Vgl. ISERMANN, R. (2010), S. 303

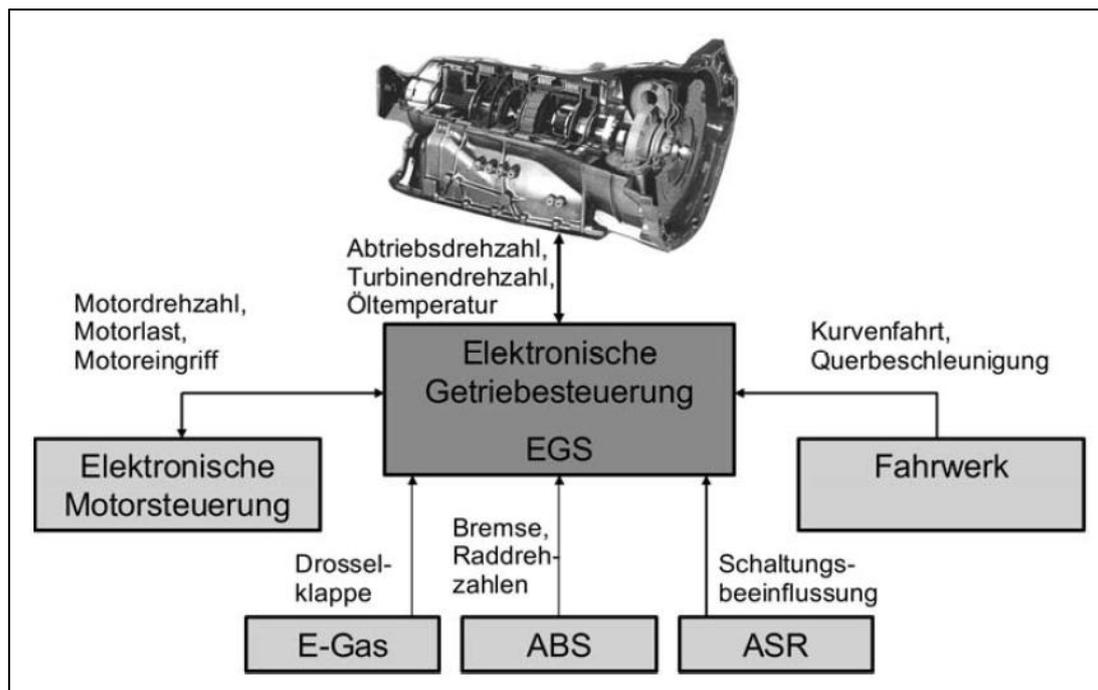


Abbildung 5.1: Mehr Funktionalität durch Vernetzung¹²⁹

„Obwohl derzeit der Antriebsstrang eine Weiterentwicklung vom rein verbrennungsmotorischen Antrieb zum Hybridantrieb erfährt, wird das Automatikgetriebe weiterhin seine Berechtigung haben. Ein Elektromotor zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe als Ersatz oder Ergänzung zum Wandler eröffnet neue Möglichkeiten der Kraftstoffeinsparung und der Funktionsgestaltung. Ein intelligentes vernetzungsfähiges Automatikgetriebe ist die Grundlage für interessante Weiterentwicklungen im Hybridbereich.“¹³⁰

Jene Entwicklungen im Bereich der Vernetzung und der Hybridantriebe stellen neue Anforderungen an die Getriebesteuerung. Dementsprechend müssen auch Adaptionroutinen auf die abgeänderten Gegebenheiten angepasst werden, um schnelle, exakte und effiziente Adaptionen garantieren zu können.

Ein weiterer Aspekt für die zukünftige Generierung von Adaptionfunktionalitäten ist die frühzeitige Einbindung während des Getriebeentwicklungsprozesses. Dies generiert eine Win-win-Situation für die Getriebe- als auch Adaptionentwicklung. Durch die Zusammenarbeit können konstruktive und softwaretechnische Fehler, welche später durch Adaptionen korrigiert werden müssten, bereits im Vorhinein verhindert werden. Außerdem kann das technische Verständnis der Software- bzw. Adaptionentwickler gesteigert werden, um bessere Routinen für entstehende Abweichungen zu implementieren. Dabei stellt die Getriebetechnologie der Zukunft den wichtigsten Einflussfaktor dar. Je nachdem in welche Richtung sich zukünftige Getriebe entwickeln werden, müssen auch die Adaptionen dementsprechend angepasst werden. In Abbildung 5.2 ist der Vergleich der derzeit führenden Getriebekonzepte (Automatikgetriebe und Doppelkupplungsgetriebe) dargestellt.

¹²⁹ ISERMANN, R. (2010), Bild 12-14, S. 303

¹³⁰ ISERMANN, R. (2010), S. 303

Ziel künftiger Getriebe wird eine Kombination der jeweiligen Vorteile beider Typen sein, um eine weitere Steigerung der fünf angeführten Faktoren erzielen zu können. In welcher Form dies realisiert werden wird ist noch ungewiss, jedoch werden auch diese Konzepte Adaptionen benötigen, um den geforderten Komfort bieten zu können.

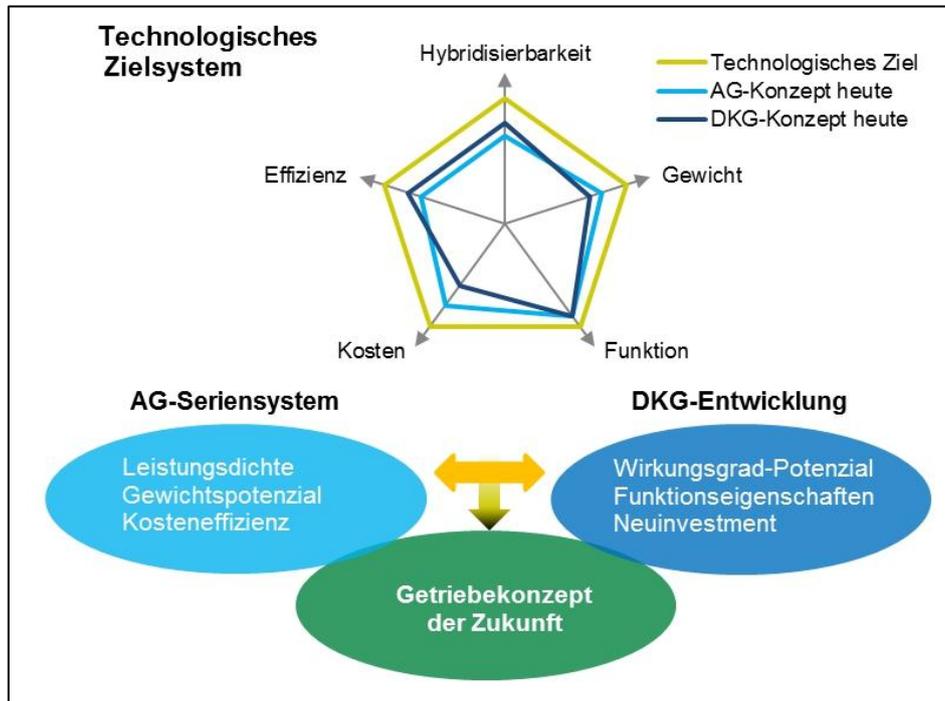


Abbildung 5.2: Getriebetechnologie der Zukunft¹³¹

Eine weitere Möglichkeit zum Optimieren von Adaptionen besteht in der Erkennung von Regelmäßigkeiten des Fahrverhaltens. Lässt ein Fahrer z.B. beim morgentlichen Motorstart das Getriebe eine gewisse Zeit in der Wählhebelposition P bevor er auf D wechselt oder ist die Getriebesteuerung in der Lage zu erkennen, dass der Fahrer täglich denselben Arbeitsweg fährt, würden sich diese Situationen äußerst gut zum Adaptieren anbieten. Durch die Regelmäßigkeit könnten gewisse Zustände vorausgesagt werden und dadurch die Routinen angepasst werden, um noch optimalere Adaptionsergebnisse zu erhalten.

Abschließend kann gesagt werden, dass Adaptionen einen sehr hohen Stellenwert im Bereich der Getriebesteuerung besitzen, sich jedoch nur geringer Bekanntheit erfreuen. In Zukunft sollte diese Thematik bei der Entwicklung neuer Getriebe stärker integriert werden und etwaige Synergien zu ähnlichen Routinen in anderen Fahrzeugmodulen (z.B. Adaptionen im Motor) besser genutzt werden.

¹³¹ Vgl. ATZ 109 (2007), Bild 12, S. 498

Literaturverzeichnis

Bücher

FISCHER, R. et al.: Das Getriebebuch, 1. Auflage, Springer-Verlag Wien 2012

FÖRSTER, H.J.: Automatische Fahrzeuggetriebe, 1. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1991

GEERING, H.P.: Regelungstechnik: Mathematische Grundlagen, Entwurfsmethoden, Beispiele, 6. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003

ISERMANN, R.: Elektronisches Management motorischer Fahrzeugantriebe, 1. Auflage, Vieweg+teubner Verlag Wiesbaden 2010

KLEMENT, W.: Fahrzeuggetriebe, 3. Auflage, Hanser Verlag München 2011

REIF, K.: Automobilelektronik: Eine Einführung für Ingenieure, 3. Auflage, Vieweg+teubner Verlag Wiesbaden 2009

Zeitschriften

ATZ 110: Das neue Doppelkupplungsgetriebe von BMW, ATZ-Online 2008 Jahrgang 110
www.atzonline.de

ATZ 109: Konzepte für zukünftige Getriebeentwicklung, ATZ Online 2007 Jahrgang 109
www.atzonline.de

ATZ extra: Der neue VW up!, ATZ extra 2011
www.atzonline.de

AUDI Selbststudienprogramm 228: Audi Service Training Variable Automatic Gearbox multitronic 01J, Ingolstadt 1999

AUDI Selbststudienprogramm 385: Audi Service Training 6-Gang-Automatikgetriebe, Ingolstadt 2008

AUDI Selbststudienprogramm 386: Audi Service Training 6-Gang Doppelkupplungsgetriebe 02E, Ingolstadt 2006

Vorträge

INDERWISCH, K.; KASSEL, T.; KÜÇÜKAY F: Optimisation of the efficiency of dual-clutch transmissions, FISITA 2010 World Automotive Congress, Fédération Internationale des Sociétés d'Ingénieurs des Techniques de l'Automobile, London 2010

AVL-Interne Dokumente

COPPUS, P.: Technischer Bericht Adaptations, AVL-internes Dokument 2009

HART, A.: Präsentation AVL SW Training: Clutch Curve Adaptation Training, Midlands UK
AVL-internes Dokument 2011

HAYDL, A.: Präsentation Know-how Transfer Meeting Adaptations, Graz 2008

POSCH, B.; MORADIELLOS, D.: Technischer Bericht DT0048, AVL-internes Dokument
2010

Patente

Patent DE10308517A1: Verfahren zur Kupplungskennlinienadaption, Volkswagen AG,
Wolfsburg 2004

<http://www.depatistnet.de>

Patent DE10352611A1: Verfahren und Vorrichtung zum Einlernen des Schleifpunkts einer
Kupplung, ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen 2005

<http://www.depatistnet.de>

Patent DE19744697A1: Verfahren zur Adaption einer Wandlerüberbrückungskupplung, ZF
Friedrichshafen AG, Friedrichshafen 1999

<http://www.depatistnet.de>

Patent DE19916006A1: Verfahren zur Anpassung von Parametern in einem Kennfeld, ZF
Friedrichshafen AG, Friedrichshafen 2000

<http://www.depatistnet.de>

Patent DE19931160A1: Verfahren und Vorrichtung zur Kupplungskennlinienadaption und
zur Bestimmung eines kupplungsunabhängigen Drehzahlgradienten, Volkswagen AG,
Wolfsburg 2001

<http://www.depatistnet.de>

Patent DE102007057081B4: Verfahren zum Einstellen eines Einrückpunktes einer
Reibkupplung, BMW AG, Conti Temic microelectronic GmbH, GETRAG GmbH & Cie KG,
Stuttgart 2009

<http://www.depatistnet.de>

Patent DE102008043384A1: Verfahren zur Kupplungskennlinienadaption eines
automatisierten Doppelkupplungsgetriebes, ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen 2010

<http://www.depatistnet.de>

Patent DE102008043385A1: Verfahren zur Synchronpunktermittlung eines automatisierten
Doppelkupplungsgetriebes, ZF Friedrichshafen AG, Friedrichshafen 2010

<http://www.depatistnet.de>

Patent EP1741950A1: Verfahren zur Ermittlung des Greifpunktes einer Kupplung, Getrag Ford Transmissions GmbH, Köln 2007

<http://www.depatist.net>

Internet

www.expertgate.de , Lexikon: End-of-Line Prüfanlagen zur Funktionsprüfung, Aufruf 12.4.2012 <http://www.expertgate.de/produkte/Pruefanlagen.html>

www.thyssenkrupp-systemengineering.com,

Testing Solutions: Getriebetest: Automatikgetriebe, Aufruf 12.4.2012

<http://www.thyssenkrupp-systemengineering.com/cms/website.php?id=/de/messtechnik/getriebetest/automatikgetriebe.html>

Gesprächspartner /Experten

Dipl.–Ing. (FH) Egger Peter, AVL PTE / DST, Lead Engineer Transm. & Hybrid Calibration

Dr. Eggert Thomas, AVL PTE / DSP, Lead Engineer Passenger Car Transm. Control

Dipl.–Ing. Haydl Andreas, AVL PTE / DST, Calibration Engineer Transmission & Hybrid

o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Jürgens Gunter, Institutsvorstand MEEM TU-Graz

Dipl.–Ing. Posch Bernhard, AVL PTE / DST, Calibration Engineer Transmission & Hybrid

MSc Savage Peter, AVL PTE / DST, Lead Engineer Transm. & Hybrid Calibration

Dipl.–Ing. (FH) Schatz Patrick, AVL PTE / DST, Lead Engineer Transm. & Hybrid Calibration

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Kette gefordertes Moment -> Kupplungsdruck	2
Abbildung 1.2: Regelstrategie mit Adaption zur Vorsteuerung und Regelung	3
Abbildung 1.3: Wirkprinzip einer Adaption	5
Abbildung 1.4: Berechnungsmodell für Solldruck	6
Abbildung 1.5: Grundsätzlicher Verlauf einer Lastschaltung (Zug-Hochschaltung in den direkten Gang)	7
Abbildung 1.6: Hochschaltung ohne Zugkraftunterbrechung, ohne Motormomenteneingriff	7
Abbildung 1.7: Hochschaltung ohne Zugkraftunterbrechung, mit Motormomenteneingriff	9
Abbildung 1.8: Blockschaltbild der geregelten Lastschaltung.....	10
Abbildung 1.9: Typischer Verlauf einer geregelten Lastschaltung bei Abweichung des Kupplungsreibwertes.....	11
Abbildung 1.10: Reibkennfeld bei konstanter Kupplungstemperatur.....	14
Abbildung 1.11: Rauschendes Signal	15
Abbildung 1.12: Toleranzpfad	16
Abbildung 1.13: Hysterese-Problematik.....	17
Abbildung 1.14: Druck-/Weg-/Momentenverlauf einer Schnellbefüllung	21
Abbildung 1.15: Soll- / Istdruckverlauf eines Einkuppelvorgangs	22
Abbildung 2.1: Stufenlosgetriebe (Multitronic von AUDI).....	23
Abbildung 2.2: Entwurf, Konzept und Schaltschema eines 8-Gang Automatikgetriebes	25
Abbildung 2.3: BMW 7-Gang Doppelkupplungsgetriebe	28
Abbildung 2.4: Automatisiertes Schaltgetriebe und Aktuatorensystem	29
Abbildung 3.1: Übersicht Adaptionsarten.....	33
Abbildung 3.2: Pulsprüfung Schnellfüllzeit 1	36
Abbildung 3.3: Pulsprüfung Schnellfüllzeit 2.....	37
Abbildung 3.4: Pulsprüfung Fülldruck 1	37
Abbildung 3.5: Pulsprüfung Fülldruck 2	38
Abbildung 3.6: Pulsprüfung Schnellfüllzeit & Fülldruck.....	39
Abbildung 3.7: Verifizierung Füllzeit & Anlegedruck	39
Abbildung 3.8: Schleifpunktadaption.....	40
Abbildung 3.9: Einlernen Minimaldruck WÜK	41
Abbildung 3.10: Einlernen Füllzeit WÜK	42
Abbildung 3.11: Schlupfpunktadaption im Stillstand.....	43
Abbildung 3.12: Adaption Schnellfülldruck & Fülldruck beim Schaltvorgang	47
Abbildung 3.13: Flare am Anfang der Momentenübergabe.....	49
Abbildung 3.14: Adaption nach Flare am Anfang der Momentenübergabe.....	50
Abbildung 3.15: Flare am Ende der Momentenübergabe.....	51
Abbildung 3.16: Adaption nach Flare am Ende der Momentenübergabe.....	52
Abbildung 3.17: Tie up am Anfang der Momentenübergabe	53
Abbildung 3.18: Adaption nach Tie up am Anfang der Momentenübergabe	54
Abbildung 3.19: Tie Up am Ende der Momentenübergabe	55
Abbildung 3.20: Adaption nach Tie up am Ende der Momentenübergabe	56
Abbildung 3.21: Point of slip.....	57
Abbildung 3.22: Messung beim Gangeinlegen	58
Abbildung 3.23: Messung beim Gangauslegen	59
Abbildung 3.24: Ausrollschaltung bei / über Leerlaufdrehzahl.....	60
Abbildung 3.25: Ausrollschaltung unter Leerlaufdrehzahl	61

Abbildung 3.26: Adaption einer Wandlerüberbrückungskupplung im Schubbetrieb.....	62
Abbildung 3.27: Grundsätzlicher Verlauf einer Lastschaltung	63
Abbildung 3.28: Typischer Verlauf einer geregelten Lastschaltung	64
Abbildung 3.29: Regleraktivität während einer Zughochschaltung.....	65
Abbildung 3.30: Regleraktivität während einer Zugrückschaltung.....	66
Abbildung 3.31: Variation der Schnellfüllzeit t_{SF}	69
Abbildung 3.32: Variation Fülldruck p_F	70
Abbildung 3.33: Kisspoint-Adaption eines DKG.....	71
Abbildung 3.34: Kisspoint-Adaption eines DKG 2	72
Abbildung 3.35: Variation Kisspoint-Adaption eines DKG 2	73
Abbildung 3.36: Adaption Fülldruck eines DKG.....	73
Abbildung 3.37: Schlupfpunktadaption bei Konstantfahrt	74
Abbildung 3.38: Mikroschlupfregelung der Eingangskupplung eines CVT-Getriebes.....	76
Abbildung 3.39: Mikroschlupfregelung bei annähernd konstantem Drehzahlgradient	76
Abbildung 3.40: Mikroschlupfregelung transient.....	77
Abbildung 3.41: Kupplungskurve	78
Abbildung 3.42: Adaptionsgruppen.....	79
Abbildung 3.43: Messpunktewolke	80
Abbildung 3.44: Messpunktewolke eingeschränkt.....	80
Abbildung 3.45: Messpunkte in einer Gruppe.....	81
Abbildung 3.46: Adaption einzelner Gruppen	82
Abbildung 3.47: Normale Adaption einer Kupplungskurve	83
Abbildung 3.48: Schnelle Adaption	84
Abbildung 3.49: Kisspoint-Adaption eines DKG 2	85
Abbildung 3.50: Kennlinienadaption eines Gangstellers eines automatisierten DKG	86
Abbildung 3.51: Positionen einer Schaltgabel in einem DKG	87
Abbildung 3.52: Adaption Schaltgabelpositionen	89
Abbildung 3.53: Synchronpunktermittlung	90
Abbildung 3.54: Hydraulikplan eines Doppelkupplungsgetriebes.....	91
Abbildung 3.55: Ventilkennlinienadaption - Beziehung zwischen Druck und Strom.....	91
Abbildung 3.56: Ablauf Serviceadaption	94
Abbildung 3.57: Ablauf EoL-Adaption	96
Abbildung 4.1: Änderungsbegrenzung einer Adaption	101
Abbildung 4.2: nichtmonotone Kupplungskurve	102
Abbildung 4.3: Leitereffekt in einer Kupplungskurve	103
Abbildung 4.4: Fertig geglättete Kurve.....	103
Abbildung 4.5: Anpassung von Parametern in einem Kennfeld	104
Abbildung 5.1: Mehr Funktionalität durch Vernetzung.....	106
Abbildung 5.2: Getriebetechnologie der Zukunft	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen bei Stillstand	34
Tabelle 2: Bewertung der Adaptionenroutinen bei Stillstand	35
Tabelle 3: Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen beim Schaltvorgang	45
Tabelle 4: Bewertung der Adaptionenroutinen beim Schaltvorgang.....	46
Tabelle 5: Übersicht Adaptionen – Getriebe / Kupplungen – Kombinationen bei Konstantfahrt	67
Tabelle 6: Bewertung der Adaptionenroutinen bei Konstantfahrt	68

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AG	Automatikgetriebe
AK	Anfahrkupplung
Anm.	Anmerkung
AP	Adherence-Point
ASG	automatisiertes Schaltgetriebe
ATF	Automatic Transmission Fluid (=Getriebeöl)
AVL	Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List
BMW	Bayrische Motoren Werke
bzw.	beziehungsweise
CVT	Continuously Variable Transmission (=Stufenlosgetriebe)
D (Drive)	Wahlhebelposition Vorwärtsgang mit automatischen Schalten
d.h.	das heißt
DKG	Doppelkupplungsgetriebe
ECU	Engine Control Unit (=Motorsteuerung)
EoL	End of Line (=Ende der Fertigungsstraße)
etc.	et cetera
ev.	eventuell
f.	Und folgende
Fa.	Firma
ff.	Und fortfolgende
Fig.	Figure (=Abbildung)
Gl.	Gleichung
GS	Gangsteller
konst.	konstant
KP	Kisspoint
max	maximal
min	minimal
N (Neutral)	Wahlhebelposition Leerlauf
o.ä.	oder ähnliche
P (Park)	Wahlhebelposition Parkposition mit eingelegter Parksperre
Pat.Nr.	Patentnummer
Prof.	Professor
R (Reverse)	Wahlhebelposition Rückwärtsgang

S.	Seite
SK	Schaltkupplung
sog.	so genannt
SP	Schlupfpunkt
SY	Synchronisierkupplung
TCU	Transmission Control Unit (=Getriebesteuerung)
u.a.	unter anderem
USA	United States of America
Vgl.	Vergleiche
WÜK	Wandlerüberbrückungskupplung
z.B.	zum Beispiel

Einheiten

bar	Bar
h	Stunden
k...	Kilo... (1000)
m	Meter
m...	Milli... (1/1000)
min	Minuten
N	Newton
s	Sekunden
W	Watt

Formelzeichen

\dot{n}	zeitliche Ableitung der Drehzahl
μ	Reibwert
μ_w	Wandlerverstärkung
A	Fläche
H	Hysterese
I	elektrischer Strom
i	Übersetzung
J	Trägheitsmoment
k	Steigung
M	Drehmoment
n bzw. N	Drehzahl
p	Druck

r_m	mittlerer Reibradius
T	Temperatur
t	Zeit
t_s	Schleifzeit
v	Geschwindigkeit
x	Weg
z	Lamellenanzahl
π	Pi

Indizes

ab	abschaltend
ab	abtriebsseitig
e	eingangsseitig
err	Error
F bzw. Anlege	Füll- ,Ausgleichs- bzw. Anlegephase
fW	freie Welle (Teilgetriebewelle bei DKG)
GK	Gangkupplung
ist	Istwert
K	Kupplung
KP	Kisspoint
m bzw. Mot	Motor
mess	gemessen
p	Pumpenseite des Wandlers
R	Regler
SF bzw. Füll	Schnellfüllung
soll	Sollwert
st	gesteuert
Sync	synchronisier...
t	Turbinenseite des Wandlers
zu	zuschaltend

Anhang

Wie in Kapitel 3 bereits erwähnt, wurde im Rahmen dieser Diplomarbeit eine Patentrecherche durchgeführt. Aufgrund der Vielzahl der Patente, wurde die Suche für die Patente auf die Internetseite des Deutschen Patent- und Markenamts (www.depatist.net) beschränkt. Durch die unterschiedliche Nomenklatur von Adaptionen der diversen Anmelder / Hersteller konnten nicht alle Patente gefunden werden. Deshalb stellt diese Sammlung nur einen Auszug aller existierenden Patente dar.

Patentnummer	Titel	Anmelder
DE102007025253A1	Verfahren zur Ermittlung des Eingriffspunktes einer Kupplung eines automatisierten Doppelkupplungsgetriebes	Bayerische Motoren Werke AG
DE102008030033A1	Verfahren zur Kisspoint-Adaption	Bayerische Motoren Werke AG
DE102007057081B4	Verfahren zum Einstellen eines Einrückpunktes einer Reibkupplung	BMW, Conti, GETRAG
DE102008053542A1	Verfahren zur Adaption des Sollschlupfes bei einer Reibungskupplung	Conti Temic microelectronic GmbH
DE102009053692A1	Verfahren zur Bestimmung eines Anlegepunktes einer in einem Antriebsstrang angeordneten Kupplung	Conti Temic microelectronic GmbH
DE102009053693A1	Verfahren zum Bestimmen eines Anlegepunktes einer Kupplung sowie Kupplung	Conti Temic microelectronic GmbH
DE102008011082A1	Verfahren zur Adaption einer proportionalen Kupplung	Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG
DE102006045573A1	Verfahren zur Ermittlung des Befülldrucks einer Kupplung	GETRAG FORD Transmissions GmbH
DE102006045574A1	Verfahren zur Ermittlung des Anlegedrucks einer Kupplung	GETRAG FORD Transmissions GmbH
DE102007054726B3	Verfahren zur Festlegung eines Befülldrucks für eine Kupplung	GETRAG FORD Transmissions GmbH
EP1741950A1	Verfahren zur Ermittlung des Greifpunktes einer Kupplung	GETRAG FORD Transmissions GmbH
DE102008032245A1	Verfahren zum Ansteuern einer Kupplungsanordnung	GETRAG GmbH & Cie KG
DE102008028180A1	Verfahren zur Adaption einer Kupplungskennlinie bei vorhandener Kupplungshysterese	LuK KG
DE10308716A1	Verfahren zur Anpassung der Kupplungskennlinien in einem Doppelkupplungssystem	LuK KG
WO2004048796A2	Verfahren zur Ermittlung des Tastpunktes einer automatisierten Kupplung Vorrichtung hierzu	LuK KG
DE10054867A1	Verfahren zur Adaption des Kriechpunktes einer Reibkupplung	Volkswagen AG
DE10244393A1	Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Eingriffspunktes einer hydraulisch betätigten Kupplung	Volkswagen AG
DE10261723A1	Verfahren zur Adaption einer Schaltkennlinie einer Lastschaltkupplung eines Kraftfahrzeuggetriebes	Volkswagen AG

DE10308517A1	Verfahren zur Kupplungskennlinienadaption	Volkswagen AG
DE19931160A1	Verfahren und Vorrichtung zur Kupplungskennlinienadaption und zur Bestimmung eines kupplungsabhängigen Drehzahlgradienten	Volkswagen AG
EP1067008B1	Verfahren und Vorrichtung zur Kupplungskennlinienadaption	Volkswagen AG
WO2004076225A1	Verfahren zur Kupplungskennlinienadaption	Volkswagen AG
DE10057093A1	Verfahren zur Adaption von Schaltabläufen eines Automatgetriebes	ZF Friedrichshafen AG
DE10134294A1	Verfahren zur Berechnung und Adaption des Fülldruckes von Schaltelementen	ZF Friedrichshafen AG
DE10158889A1	Verfahren zur Adaption einer Kupplung	ZF Friedrichshafen AG
DE102005042933A1	Verfahren zum Steuern und Regeln eines Automatgetriebes eines Fahrzeuges	ZF Friedrichshafen AG
DE102006042356A1	Verfahren zur Detektierung des Anlegepunktes einer Kupplung, insbesondere einer nassen Anfahrkupplung	ZF Friedrichshafen AG
DE102006042357A1	Verfahren zur Detektierung des Anlegepunktes einer Kupplung, insbesondere einer nassen Anfahrkupplung	ZF Friedrichshafen AG
DE102008000484A1	Verfahren zur Hysterese-Adaption für ein Reibschaltelement eines Getriebes	ZF Friedrichshafen AG
DE102008043384A1	Verfahren zur Kupplungskennlinienadaption eines automatisierten Doppelkupplungsgetriebes	ZF Friedrichshafen AG
DE102008043385A1	Verfahren zur Synchronpunktermittlung eines automatisierten Doppelkupplungsgetriebes	ZF Friedrichshafen AG
DE102009055065A1	Verfahren zur Adaption der Schnellbefüllzeit einer Kupplung	ZF Friedrichshafen AG
DE10238474A1	Verfahren zur Adaption von Schaltabläufen eines Automatgetriebes	ZF Friedrichshafen AG
DE10316602A1	Verfahren zur Optimierung der Adaption von Schaltabläufen eines Automatgetriebes	ZF Friedrichshafen AG
DE10352611A1	Verfahren und Vorrichtung zum Einlernen des Schleifpunktes einer Kupplung	ZF Friedrichshafen AG
DE19546292A1	Verfahren zur automatisierten Abstimmung des Befüllvorgangs von Schaltelementen	ZF Friedrichshafen AG
DE19744697A1	Verfahren zur Adaption einer Wandlerüberbrückungskupplung	ZF Friedrichshafen AG
DE19826097A1	Verfahren zur Korrektur des Füllvolumens von druckbetätigten Kupplungen in Fahrzeug-Getrieben	ZF Friedrichshafen AG
DE19916006A1	Verfahren zur Anpassung von Parametern in einem Kennfeld	ZF Friedrichshafen AG
DE19917575B4	Adaption von Rückschaltungen von Stufenautomatgetrieben im Bereich Schub und dem sog. befeuerten Schub des Motors	ZF Friedrichshafen AG
DE10136731A1	Verfahren zum Ermitteln eines Synchronpunktes in einem Getriebe	ZF Sachs AG



(11) **EP 1 741 950 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.01.2007 Patentblatt 2007/02

(51) Int Cl.:
F16D 48/06 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **05106134.9**

(22) Anmeldetag: **06.07.2005**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(72) Erfinder:
• **Schmitz, Harald**
44225, Dortmund (DE)
• **Leibbrandt, Martin**
50181, Bedburg (DE)

(71) Anmelder: **Getrag Ford Transmissions GmbH**
50725 Köln (DE)

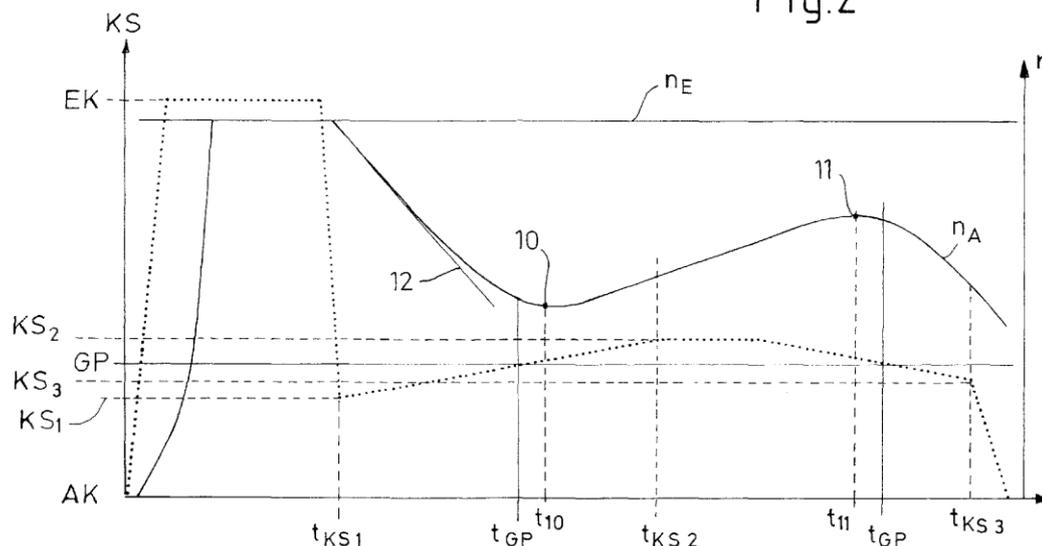
(74) Vertreter: **Dörfler, Thomas**
Ford-Werke GmbH
Patentabteilung NH/364
Henry-Ford-Strasse 1
50735 Köln (DE)

(54) **Verfahren zur Ermittlung des Greifpunktes einer Kupplung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Greifpunktes (GP) einer Kupplung (3). Das Verfahren startet bei einer vollständig geschlossenen Kupplung und ermittelt zwei Kupplungsstellungen (KS_2 , KS_3),

die zeitlich eng nebeneinander liegen und beide in die Berechnung des Greifpunktes (GP) eingehen. Während die Kupplungsstellung (KS_2) bei sich schließender Kupplung (3) ermittelt wird, wird die Kupplung bei Ermittlung der Kupplungsstellung (KS_3) geöffnet.

Fig.2



EP 1 741 950 A1



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 31 160 A 1

51 Int. Cl.7:
F 16 D 48/06
B 60 K 23/02

21 Aktenzeichen: 199 31 160.9
22 Anmeldetag: 6. 7. 1999
43 Offenlegungstag: 11. 1. 2001

DE 199 31 160 A 1

71 Anmelder:
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

74 Vertreter:
Hübsch & Weil Patent- und Rechtsanwaltskanzlei,
50678 Köln

72 Erfinder:
Hinrichsen, Uwe, Dr., 38124 Braunschweig, DE;
Bothe, Edgar, 31224 Peine, DE; Becker, Volker,
38518 Gifhorn, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:
DE 196 31 983 C1
DE 197 51 455 A1
DE 197 11 820 A1
DE 35 46 454 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Verfahren und Vorrichtung zur Kupplungskennlinienadaption und zur Bestimmung eines kupplungsabhängigen Drehzahlgradienten
- 57 Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Kupplungskennlinienadaption eines automatisierten Doppelkupplungsgetriebes vorgestellt, welches insbesondere für kleinere übertragbare Drehmomente geeignet ist. Zudem wird ein Verfahren und eine Vorrichtung vorgestellt, mit denen die Bestimmung eines kupplungsabhängigen Drehzahlgradienten eines automatisierten Doppelkupplungsgetriebes und eines einfachen automatisierten Stufengetriebes erfolgt.

DE 199 31 160 A 1

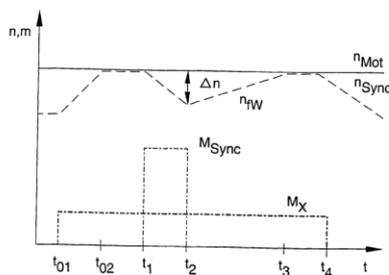


FIG. 2

