

6 Schaltprogramme

6.1 Grundlagen

Unter Schaltprogramm versteht man eine Funktion, die mindestens in Abhängigkeit von der **Fahrpedalstellung** und der **Fahrgeschwindigkeit** den Wechsel von einer Gangstufe zur anderen festlegt. Schaltprogramme bestimmen den **Schalt-punkt**.

Die Durchführung der Schaltung obliegt dem einzelnen Aggregat und kann beim Automatgetriebe ohne Unterbrechung der Zugkraft und beim automatisierten Schaltgetriebe mit Zugkraftunterbrechung durchgeführt werden. Der Zeitpunkt der Schaltung kann in beiden Fällen identisch sein.

Schaltprogramme können nach verschiedenen Kriterien festgelegt werden. Man kann Wert auf die Sportlichkeit legen. Dies bedeutet, dass die Gänge so weit wie möglich ausgedreht werden und ein Übersetzungswechsel erst bei sehr hoher Motordrehzahl erfolgt. Man kann andererseits Schaltprogramme auf günstigen Kraftstoffverbrauch auslegen. Dies bedeutet, dass eine Hochschaltung so früh wie physikalisch möglich und eine Rückschaltung so spät wie möglich durchgeführt wird. Grundsätzlich gilt, dass Schaltprogramme immer den verbrauchsgünstigsten Betriebspunkt eines Motors bei den vorhandenen Übersetzungsmöglichkeiten auswählen und realisieren können.

Schaltprogramme minimieren den Einfluss des Fahrers auf den **Kraftstoffverbrauch** ganz erheblich. Untersuchungen zeigen, dass die Bandbreite des Kraftstoffverbrauchs durch den Einsatz von Automatgetrieben erheblich eingeschränkt wird.

Es wird immer Fahrer geben, die noch verbrauchsgünstiger fahren können als ein automatisiertes Programm. Es gibt jedoch innerhalb einer normalen

Vergleichsgruppe erheblich mehr Fahrer, die einen höheren Kraftstoffverbrauch erzielen. Schwieriger als die Auslegung auf Fahrleistung ist sicherlich die Auslegung auf günstigste Kraftstoffverbrauchswerte.

Mit der Übersetzung verschieben wir bei konstanter Fahrgeschwindigkeit den Motorbetriebspunkt. Dies bedeutet, dass bei gleicher Leistung ein anderer spezifischer Betriebspunkt des Motors wirksam wird. Genauso wie wir an der Grenze der maximalen Fahrgeschwindigkeit die Auslegung mit dem Schnellgang haben, so gibt es in jedem beliebigen anderen Betriebspunkt, der einer kleineren als dieser maximalen Fahrgeschwindigkeit entspricht, die gleiche Möglichkeit. Mit anderen Worten bedeutet dies, dass immer der noch denkbare längste untersetzte Gang auch der verbrauchsgünstigste ist. Die Grenzen liegen hier in der Fahrphysik, da erst ab einer bestimmten Mindestmotordrehzahl die erforderlichen Leistungen ohne Komforteinbußen und die Gefahr von Schäden im Antriebsstrang möglich sind. Bild 6.1 zeigt diesen Effekt anhand eines Fünfgang-Getriebes. Man sieht, dass erst ab etwa 40 km/h der fünfte Gang überhaupt benutzt werden kann. Automatisierte Schaltgetriebe und Automatgetriebe haben nun die Möglichkeit, unabhängig vom Fahrer immer den verbrauchsgünstigsten Gang zu wählen, da bei einer Leistungsanforderung sofort eine entsprechende Rückschaltung zum Teil über mehrere Gangstufen erfolgt.

Betrachten wir die typische Stadtfahrt mit 50 km/h, so können wir mit diesem Fünfgang-Getriebe diese Geschwindigkeit in allen Gängen realisieren. Das Getriebe sollte nach Möglichkeit bei keiner Beschleunigungsanforderung den fünften Gang wählen und bei einem Beschleunigungswunsch des Fahrers möglichst schnell in den zweiten Gang zurückschalten. Dies bedeutet einen Stufensprung um drei Gänge.

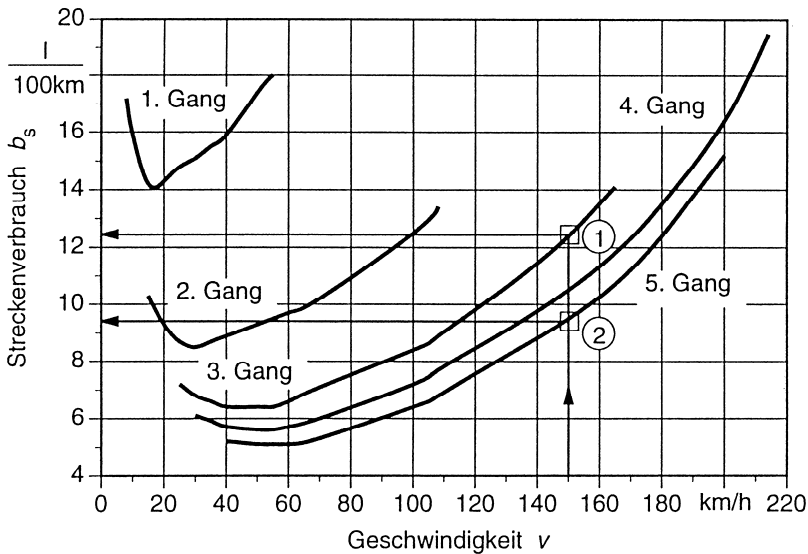


Bild 6.1: Abhängigkeit des Verbrauches von der Übersetzung [38]

Man sieht an diesem Beispiel, dass Schaltprogramme ganz wesentlich zum einen den Motorbetriebspunkt und damit den Kraftstoffverbrauch beeinflussen und zum anderen auf Grund der Schaltstrategie für ein positives oder negatives Empfinden für ein Automat- oder automatisiertes Getriebe ausschlaggebend sind.

Je ruckfreier eine Rückschaltung über mehrere Gangstufen erfolgt und je schneller die gewünschte Beschleunigung zur Verfügung steht, desto besser wird die Automatik beurteilt werden.

Neben der Wahl des richtigen Schaltzeitpunktes für alle Lastbedingungen müssen Schaltprogramme Grundfunktionen erfüllen, wie das Vermeiden von **Schaltpendelungen**. Bei den Schaltelementen haben wir gesehen, dass vor allem bei den Automatengetrieben zu häufige Schaltungen hintereinander zu Schäden an den Schaltelementen führen können. Es muss daher jegliche Art von Mehrfachschaltungen, die auch fahrdynamisch nicht komfortabel sind, unterbunden werden.

Man kennt drei Arten von Schaltpendelungen. Die erste Schaltpendelung besteht darin (Bild 6.2), dass Hoch- und Rückschaltpunkte getrennt werden

müssen. Liegen diese Linien bei gleicher Fahrgeschwindigkeit, so würde bereits eine geringe Sensorungenauigkeit dazu führen, dass ständig Hoch- und Rückschaltungen erfolgen. Man legt deswegen eine **Hysterese** zwischen Hoch- und Rückschaltung, die in der Regel bei Drehzahlen zwischen 50 und 100 1/min an der Getriebeausgangswelle beträgt. Dies heißt, unter gleichen Lastbedingungen erfolgt eine Hochschaltung grundsätzlich bei höherer Fahrgeschwindigkeit als die zu dieser Laststellung gehörige Rückschaltung. Die in Bild 6.2 gewählte Darstellung zeigt nur die Motordrehzahl im Verhältnis zur Fahrgeschwindigkeit. Bei mechanischen Stufen ergeben die einzelnen Übersetzungen Geraden. Eine Schaltung kann man daher als die Verbindung zwischen zwei Geraden, dies entspricht zwei Gängen, darstellen.

Die Schaltpendelungen zweiter Art sind solche, die vom Fahrer ausgelöst werden. Alle Schaltprogramme sind abhängig von der Fahrgeschwindigkeit und der Fahrpedalstellung (dies bedeutet die Gaspedalstellung, die der Fahrer wählt). Betrachten wir Bild 6.1, so hängt die Wahl der Gänge eins, zwei, drei, vier oder fünf nicht von der Fahrgeschwindigkeit ab.

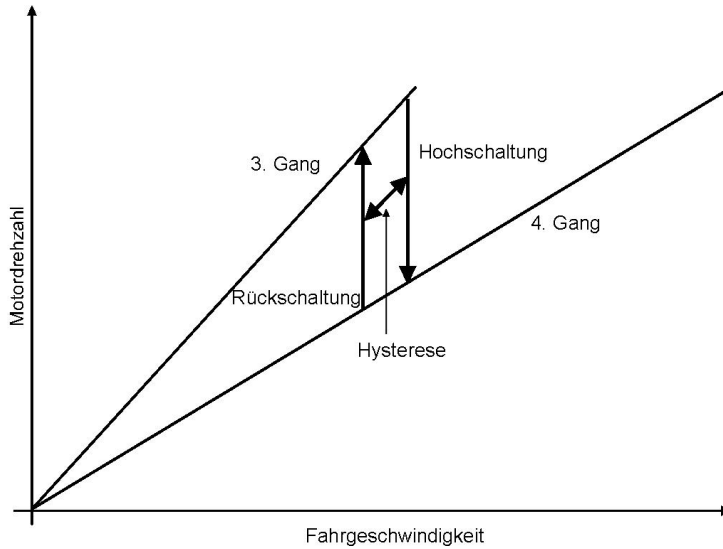


Bild 6.2: Hysterese zwischen Hoch- und Rückschaltpunkt

Dies wird von der Fahrpedalstellung bestimmt, die die zweite wesentliche Eingangsgröße für ein Schaltprogramm ist. In Bild 6.3 ist ein Schaltprogramm für ein Dreigang-Getriebe als Funktion der

Laststellung des Motors – dies entspricht der Fahrpedalstellung – in Abhängigkeit von der Getriebeausgangsdrehzahl dargestellt.

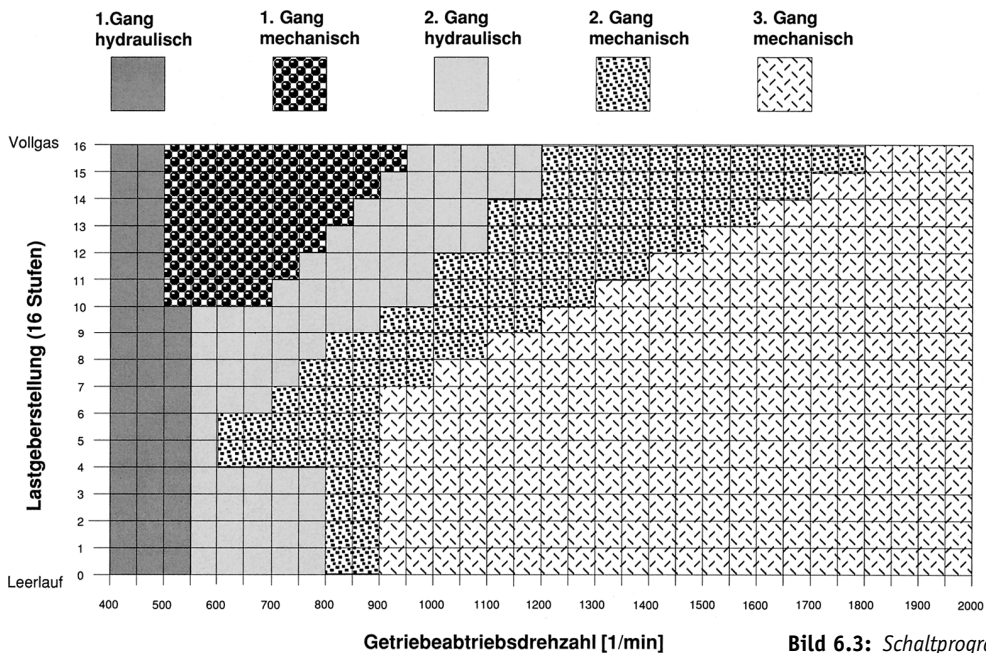


Bild 6.3: Schaltprogramm Midimat [Voith]

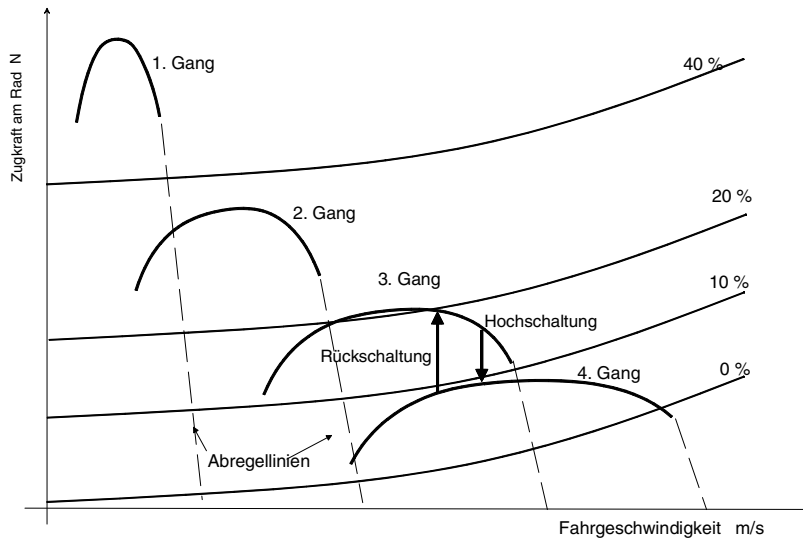


Bild 6.4: Schalten an der Zugkraftgrenze

Abhängig von der Getriebeabtriebsdrehzahl und der Lastgeberstellung sind die drei Gangstufen sowie das Schalten der Überbrückungskupplung aufgezeigt. Dieses Schaltprogramm gehört zu dem Voith-Midimat-Getriebe, das, wie in Kapitel 5 beschrieben, drei mechanische Gänge und eine Wandlerüberbrückung besitzt. Da ein Fahren im hydrodynamischen Betrieb in Gangstufe eins und zwei wegen der Zugkräfte notwendig ist und die Überbrückung bei einem Drehzahlverhältnis von $\nu \approx 0,8$ erfolgt und daher als Schaltung wahrgenommen wird, so sind in diesem Diagramm diese fünf möglichen Zustände und die dazugehörigen Schaltpunkte aufgetragen.

Nehmen wir an, dass wir eine Getriebeabtriebsdrehzahl von 1000 1/min fahren und der Fahrer eine Lastgeberstellung von zwei wählt, so schaltet in diesem Falle das Getriebe in den dritten Gang. Gibt der Fahrer nun schlagartig Vollgas – dies entspricht einer Lastgeberstellung von sechzehn –, dann schaltet das Getriebe auf jeden Fall in den zweiten hydrodynamischen Gang zurück. Wird daraufhin das Fahrpedal entlastet auf einen Wert der Lastgeberstellung unter sechs, so erfolgt eine Hochschaltung in den dritten Gang. Diese vom Fahrer ausgelöste Schaltpendelung kann nur durch

einen elektronischen Eingriff vermieden werden. Sollten mehrere solcher Schaltungen hintereinander erfolgen, so wird dies von der elektronischen Steuerung bemerkt und diese Schaltung für einen bestimmten Zeitraum nicht mehr durchgeführt. An dieser zweiten Art der Schaltpendelung kann man die Problematik einer hydraulischen Steuerung erahnen. Eine solche Komponente hatte kein Erinnerungsvermögen und daher keine Möglichkeit, Schaltpendelungen zu unterbinden.

Die dritte Art der Schaltpendelungen nennt man auch das Fahren an der Leistungsgrenze. Betrachten wir das Zugkraftdiagramm in Bild 6.4. Fährt nun ein Fahrzeug in einer 10%igen Steigung im dritten Gang, so beschleunigt das Fahrzeug, da es einen Zugkraftüberschuss bei Vollgas gibt. Abhängig von der Fahrpedalstellung wird im dritten Gang ein Punkt erreicht, bei dem das Getriebe durch das Programm in den nächsten Gang schaltet. Diese Schaltung in den vierten Gang erfolgt, wobei auf Grund der nun geringeren Übersetzung und des geringeren Momentes die Zugkraft nicht ausreicht, die Geschwindigkeit zu halten oder gar zu steigern. Daraufhin verliert das Fahrzeug an Fahrgeschwindigkeit. Sobald der Hysteresepunkt unterschritten wird, erfolgt eine Rückschaltung in den dritten

Gang. Dieser Vorgang wiederholt sich, solange die Fahrpedalstellung und die Steigung konstant sind. Das bedeutet, diese Wiederholung kann mehrmals mit den beschriebenen Folgen für die Schaltelemente stattfinden. Diese Art der Schaltpendelung ist in Bezug auf die Lamellenbelastung sehr kritisch, da es sich um Volllastschaltungen handelt. Zur Vermeidung dieser Schaltpendelung gibt es eine einfache Abhilfemaßnahme. Man rechnet auf Grund des Zugkraftüberschusses aus, der wiederum der Beschleunigung entspricht, ob das Fahrzeug überhaupt in der Lage ist, unter den momentanen Bedingungen im nächsten Gang noch zu beschleunigen. Ist dies nicht der Fall, so wird die Schaltung verhindert.

An diesen Problemen der Schaltpendelung kann man erkennen, wie wichtig der Einsatz von logischen Funktionen und damit der digitalen Technik für das Schaltprogramm ist.

Allein die Erfassung der Lastgeberstellung war früher nur in groben Bereichen möglich. Viele Getriebe hatten im Prinzip nur drei Stellungen: **Nulllast**, dies war ein Wert zwischen 0 % und 20 % der Fahrpedalstellung; **Teillast**, dies war ein Wert zwischen 20 % und 60 % der Fahrpedalstellung; und **Volllast**, ein Wert zwischen 60 % und 90 % der Fahrpedalstellung. Aus dieser Zeit stammt auch der Begriff „**kick down**“. Dieser „kick down“ ist ein separater Schalter unter dem Gaspedal, der bei 100 % Fahrpedalstellung zusätzlich geschaltet wird und immer die maximal mögliche Motorleistung abrufen. Damit hat das Fahrzeug die höchsten möglichen Schaltpunkte. Diese „kick down“-Funktion findet man auch heute noch, wobei die Notwendigkeit nicht mehr in dem Umfang gegeben ist. Man erfasst Lastgeberstellungen digital mit einer Auflösung von bis zu 256 Punkten. Normalerweise beträgt der „Weg“ eines Gaspedals ca. 30°. Bei einer Auflösung mit sechzehn Lastgeberstellungen bedeutet dies, dass sich bei 2° Fahrpedalverstellung die Lastgeberstellung verändert. Eine noch höhere Auflösung bedeutet im Prinzip eine stufenlose Erfassung der Lastgeberstellung.

6.2 Schaltprogramm für Pkw-Automatgetriebe der DaimlerChrysler AG

Pkws der Automarke „Mercedes“ werden in großer Prozentzahl mit Wandlerautomatgetrieben ausgestattet. Diese Fünfgang-Automatgetriebe – inzwischen gibt es für bestimmte Modelle bereits Siebengang-Automatgetriebe – arbeiten nach einer einheitlichen Schaltstrategie. Bild 6.5 zeigt die dazugehörige Grundstrategie für die Schaltentscheidung. Neben der Getriebeabtriebsdrehzahl und der Fahrpedalstellung – unseren Hauptkriterien – sieht man, dass eine ganze Reihe von zusätzlichen Informationen in die Schaltentscheidung mit eingeht. Hierzu gehören vor allem Informationen über die Topologie und den fahrdynamischen Zustand. Wenn z. B. das elektronische Schleuderverhinderungsprogramm anspricht, so hat dies einen Einfluss auf das Schaltprogramm. Eine Schaltung wird dann entweder nicht durchgeführt oder auf eine Art und Weise, die auf keinen Fall eine mögliche Instabilität zur Folge hat.

Die Abhängigkeit von den beiden Hauptkriterien ist in einem **Grundschaltprogramm** abgelegt (Bild 6.6). Hier sind abhängig vom Drosselklappenwinkel – dieser entspricht der Fahrpedalstellung bzw. dem Fahrerwunsch – und abhängig von der Fahrgeschwindigkeit die Hoch- und Rückschaltlinien aufgetragen. Man sieht, dass bei kleinen Fahrleistungsanforderungen sehr früh hochgeschaltet wird und man sich bereits bei 50 km/h im vierten Gang befindet. Über einen weiten Bereich der Fahrpedalstellung erfolgt eine kontinuierliche Anhebung des Schaltpunktes. Von etwa 20 % Fahrpedalstellung bis zu 70 % gibt es eine direkte Koppelung von Hochschaltpunkt und Motorlast. Dies gibt das Gefühl, dass das Fahrzeug sehr direkt mit dem Gaspedal verbunden ist und jede Veränderung der Fahrpedalstellung auch den Schaltpunkt entsprechend zu höherer Motordrehzahl und damit zu mehr Leistung verändert. Dieses Grundschaltprogramm berücksichtigt sowohl die Wünsche nach Fahrdynamik als auch nach günstigem Kraftstoffverbrauch.

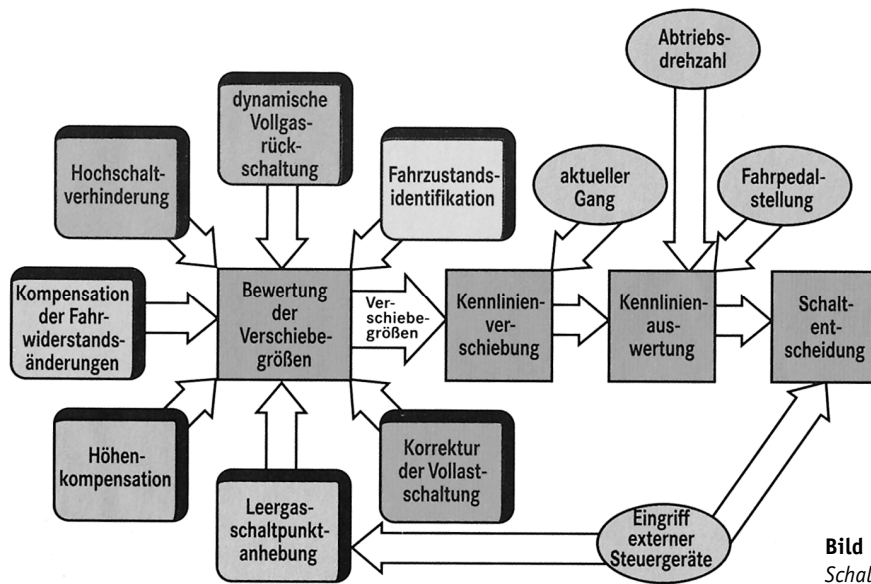


Bild 6.5: Einflussgrößen auf Wahl des Schaltpunktes [51]

Interessant bei diesem Grundschaftprogramm sind die **Rückschaltlinien**. Diese liegen deutlich tiefer als die Hochschaltlinien, was bedeutet, dass das Fahrzeug sehr stark an Geschwindigkeit verlieren muss, um bei gleicher Fahrpedalstellung eine Rückschaltung auszulösen. Diese Hysterese ist zu-

mindest im Bereich zwischen 20 und 100 % Fahrpedalstellung sehr ausgeprägt. Sehr eng beieinander liegen die Rückschaltpunkte im Bereich 0 bis 50 km/h, da sich die Differenzierung auf Grund des geringen Geschwindigkeitsabstandes schwierig gestaltet.

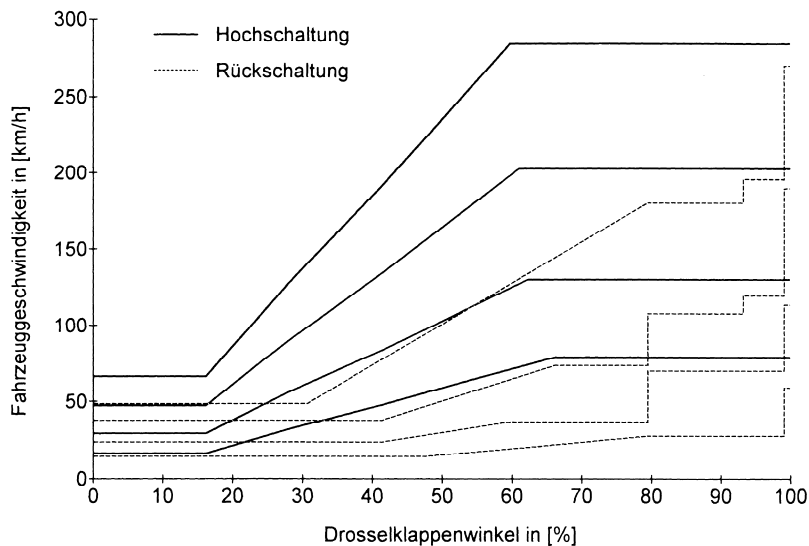


Bild 6.6: Basisschaftprogramm Pkw-Automatgetriebe W5A 330/580 [51]

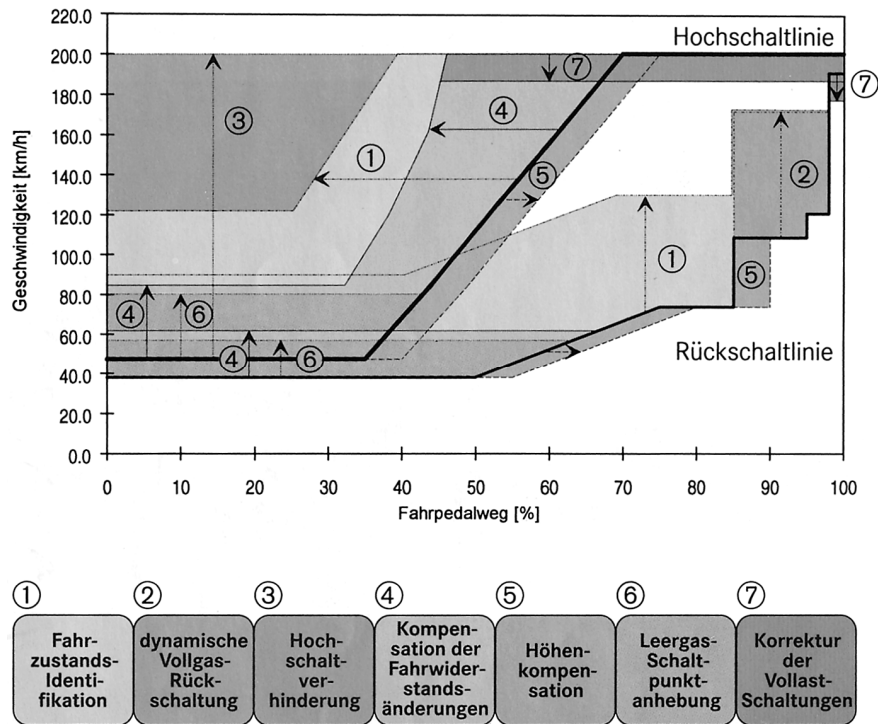


Bild 6.7: Dynamische Verschiebung der Grundschaltlinien [51]

Bei den Rückschaltpunkten kann man die „kick down“-Funktion erkennen. Dies bedeutet, dass z. B. eine Rückschaltung in den ersten Gang bei 50 km/h nur erfolgt, wenn wir „kick down“ geben. In jedem anderen Falle ergibt sich maximal eine Rückschaltung in den zweiten Gang. Mit Hilfe des „kick down“ wird also die maximale Motordrehzahl ausgenutzt. Darüber hinaus wird nun, wie Bild 6.7 zeigt, diese Grundschaltlinie entsprechend verschoben.

So erfolgt z. B. eine frühere Hochschaltung, wenn sich das Fahrzeug in einer Steigung befindet oder beladen mit Hängerbetrieb unterwegs ist. Zu diesem Zweck wird über die initiierte Leistung und die Beschleunigung indirekt auf die Fahrwiderstände geschlossen. Selbstverständlich werden Dinge wie z. B. niedrige Öltemperaturen oder ein Ansprechen der Schlupfregelung genauso im Schaltprogramm berücksichtigt wie entsprechende Maximalleistungsanforderungen.

Inzwischen gibt es bereits Schaltprogramme, die sich adaptiv auf den Fahrer einstellen. Die Schwierigkeit hierbei ist, dass dies nicht schlagartig, sondern nur im Lauf von vielen Schaltungen erfolgen kann.

Zur Realisierung dieser fahrerspezifischen Konfiguration sind viele hinterlegte Algorithmen notwendig, nach denen eine kontinuierliche Veränderung der Schaltpunkte berechnet wird. Da die Veränderung in kleinen Schritten erfolgt, ist diese nicht direkt bemerkbar.

Bisher können Getriebe nicht „vorausschauend“ arbeiten. Dies kann in einen oder anderen Falle zu einer falschen Schaltentscheidung führen.

Hierbei denkt man immer an eine Hochschaltung zu Beginn einer Steigung. Im Pkw ergibt sich diese Problematik auf Grund der vorhandenen Motorleis-

tungen sehr selten. Neben einer stetigen Verbesserung der Schaltprogramme arbeitet man jedoch bereits an einer zusätzlichen Information über die zu erwartende Streckenführung. Mit Hilfe des Global Positioning Systems (GPS) und der zur Verfügung stehenden digitalen Karten kann sowohl eine Steigung als auch eine entsprechende Kurve vorausgesehen und dementsprechend das Schaltprogramm modifiziert werden.

Bereits heute ist eine durch Abstandsradar gesteuerte dynamische Anpassung der Fahrgeschwindigkeit an das vorausfahrende Fahrzeug nur mit Hilfe eines Automatgetriebes vernünftig denkbar. Die auf diesem Gebiet bereits laufenden Entwicklungen werden für die Akzeptanz von Automatgetrieben und die technische Notwendigkeit einen positiven Beitrag leisten.