

Abb. 1.21 Additionsverbot

1.3.5 Wirkungsgrad

Aufgrund der schon angesprochenen Reibungen und des Hilfsenergiebedarfs für die Betätigung und gegebenenfalls die Kühlung muss am Eingang eines Getriebes eine größere Leistung P_{in} aufgebracht werden als am Ausgang zur Verfügung steht (P_{out}). Die Differenz

$$P_V = P_{\text{in}} - P_{\text{out}} \quad (1.13)$$

beschreibt die Verlustleistung P_V , und durch Bildung des Quotienten von Ausgangs- zu Eingangsleistung wird der Wirkungsgrad bestimmt

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} = 1 - \frac{P_V}{P_{\text{in}}} \quad (1.14)$$

Der Optimierung dieses Wirkungsgrads wird bei der Entwicklung großes Augenmerk geschenkt. Dazu werden einerseits die Verluste den unterschiedlichen Bauteilen und Baugruppen zugeordnet. Dies sind insbesondere die Folgenden: Verzahnungen, Lager, Dichtungen, Synchronisierungen, Pumpen, Kupplungen.

Andererseits unterscheidet man Grundverluste und Verlustanteile mit unterschiedlichen Abhängigkeiten; die wesentlichen Abhängigkeiten sind

- Drehmoment bzw. Last
- Drehzahl bzw. Geschwindigkeit
- Temperatur
- Zeit bzw. Betriebsdauer

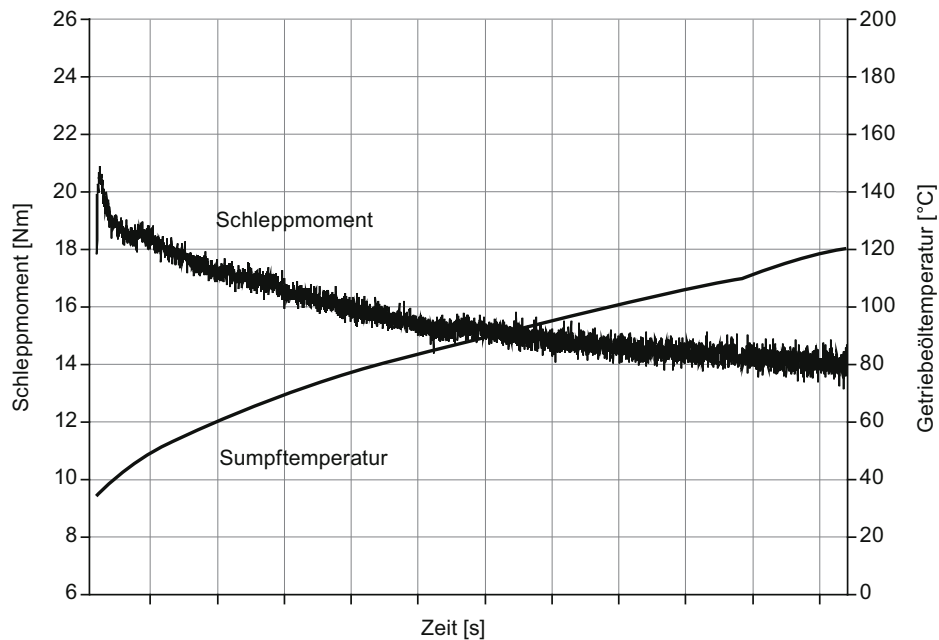


Abb. 1.22 Zusammenhang des Verlustmoments mit der Öltemperatur

Abgesehen von dem Leistungsbedarf für die Getriebebetätigung bei automatischer Schaltung entsteht der weitaus größte Verlustanteil durch Dissipation an unterschiedlichen Reibstellen. In tribologischen Systemen ist das Schmiermedium stets zu berücksichtigen, dessen Eigenschaften stark temperaturabhängig sind. Eine Drehmoment- oder Lastabhängigkeit entsteht überall dort, wo eine Leistungsübertragung stattfindet oder sich Kräfte und Momente abstützen, wie insbesondere in Verzahnungen und Lagern. Drehzahlabhängigkeit dominiert an allen Stellen mit Differenzgeschwindigkeiten, die an der Leistungsübertragung nicht beteiligt sind, wie z. B. Dichtungen, Pumpen, offene Kuppelungen und Synchronisierungen, aber auch die in den Ölsumpf eintauchenden Zahnräder (Planschverluste).

Es existieren zahlreiche unterschiedliche Ansätze zur theoretischen Ermittlung von Verlustleistungen und zur Wirkungsgradbestimmung, leider eignen sie sich nur für relative Vergleiche ähnlicher Getriebevarianten. Die messtechnische Bestimmung ist weiterhin die maßgebliche Ermittlung. Dazu werden die Drehzahlen und Momente an Ein- und Ausgang gemessen, um die Leistungen und letztlich den Wirkungsgrad zu ermitteln. Abb. 1.22 zeigt eine Messung der Schleppmomente eines Getriebes. Dieses Schleppmoment ist das Eingangsmoment, das benötigt wird, um einen stationären Betriebszustand des Getriebes zu halten, ohne eine Leistung am Ausgang abzunehmen.

Das in Abb. 1.22 über der Zeit aufgetragene Schleppmoment zeigt einen abfallenden Verlauf über der Zeit. Dabei handelt es sich aber nicht um eine direkte zeitliche Ab-

hängigkeit. Die Reduktion des Schleppmoments ist auf die Erhöhung der Öltemperatur zurückzuführen, die zur Reduktion von Reib- und Planschverlusten führt. Sowohl das Schleppmoment als auch die Temperatur zeigen den Charakter von Sättigungskurven, werden sich also asymptotisch an konstante Werte annähern. Die über das Schleppmoment zugeführte Leistung wird komplett in Wärme gewandelt. Sobald die Wärmeabfuhr (hauptsächlich Konvektion) an die Umgebung mit der zugeführten Verlustleistung im Gleichgewicht steht, wird die Temperatur sich nicht weiter ändern, ebenso wenig das Schleppmoment.

Das Aufwärmverhalten der Getriebe hat einen nicht unerheblichen Einfluss auf den Verbrauch. Die wesentlichen Stellgrößen dabei sind die Ölmenge und die konstruktiven Parameter an Fahrzeug und Getriebe, die die Wärmeabfuhr beeinflussen. In verschiedenen Forschungsprojekten ist unter dem Überbegriff **Thermomanagement** eine Verbrauchsverbesserung durch Aufheizmaßnahmen (z. B. elektrisch, Nutzung der Abwärme des Verbrennungsmotors) nachgewiesen; ein Serieneinsatz ist aus Kosten- und Gewichtsgründen bisher noch nicht üblich.

Abb. 1.23 zeigt ein beispielhaftes Wirkungsgradkennfeld eines Getriebes bei konstanter Temperatur [9]. Dargestellt sind unterschiedliche Betriebspunkte, für die jeweils die Anteile der Verlustmomente grafisch aufgetragen sind. Es sind jeweils stationäre bzw. eingeschwungene Zustände gewählt, d. h., es treten keine Abhängigkeiten von Zeit oder Temperatur auf. Damit verbleiben die Grundverlustmomente sowie last- und drehzahlabhängige Verlustmomente, für die jeweils vereinfacht eine lineare Abhängigkeit unterstellt wird.

Selbst mit den Vereinfachungen für die Verlustmomente zeigt sich die Komplexität des Wirkungsgradkennfelds. Bei geringer Last ist der Wirkungsgrad klein und fällt mit steigender Drehzahl weiter ab, das drehzahlabhängige Verlustmoment nimmt zu. Der höchste Wirkungsgrad tritt bei geringer Drehzahl und hoher Last auf. Dies führt sofort zu dem Schluss, dass ein zu großes Getriebe für den Verbrauch des Gesamtfahrzeugs ungünstig ist.

Mit den im gezeigten Beispiel auftretenden Verlustmomenten ergeben sich im Bereich geringer Eingangsmomente Situationen, in denen alle eingebrachte Leistung im Getriebe vollständig dissipiert wird. Unabhängig vom Betriebszustand muss mehr als das Moment der Grundverluste aufgebracht werden, um Moment bzw. Leistung am Ausgang zu erhalten. In solchen Fällen ergäbe sich aus der Definition des Wirkungsgrads in Gl. (1.14) ein negativer Wirkungsgrad, was aber im Hinblick auf die Hauptsätze der Thermodynamik nicht sinnvoll ist. Der Wirkungsgrad ist 0 % für alle Situationen, in denen am Ausgang keine Leistung abgegeben wird oder die Leistung am Eingang kleiner oder gleich der Verlustleistung ist.

Der Wirkungsgrad variiert also für die unterschiedlichen Betriebszustände und ist auch in seiner Definition mit dem oben Gesagten nicht stetig definiert. Die Varianz in Hinblick auf Betriebszustände – und nur diese – gilt auch für unterschiedliche Anteile der Verlustmomente, sie sind aber für alle Betriebszustände eindeutig und stetig definiert. Daher ist die Aussagekraft der Verlustmomente jener des Wirkungsgrads bei der Auslegung

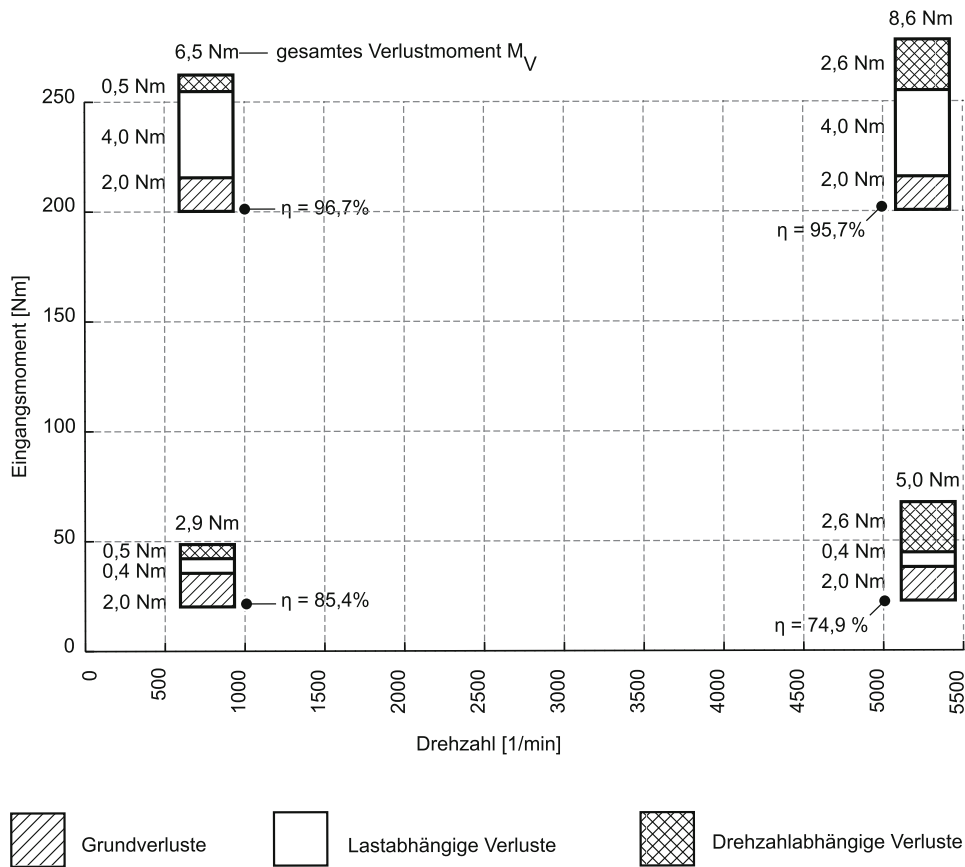


Abb. 1.23 Wirkungsgradkennfeld eines Getriebes

und Rückführung auf die tatsächlichen physikalischen Gegebenheiten vorzuziehen und für Vergleiche unterschiedlicher Konzepte wesentlich besser geeignet.

1.3.6 Zielkonflikt zwischen Verbrauch und Fahrspaß

Schon mit der Einführung der Grundlagen zu Zugkraftbedarfen ist aufgezeigt, dass mit dem Optimum an Verbrauch das Beschleunigungsvermögen des Fahrzeugs eingeschränkt ist. Die umweltpolitischen Ziele auf der einen, die emotionalen Empfindungen auf der anderen Seite stellen einen Zielkonflikt dar, sowohl für Käufer und Nutzer von Fahrzeugen als auch für die gesamte Automobilindustrie. Das Ringen um weitere Verbesserungen führt zu einer Vielzahl an Entwicklungsrichtungen und immer komplexeren Interaktionen und Strategien. Abb. 1.24 zeigt eine grafische Darstellung unterschiedlicher Optimie-