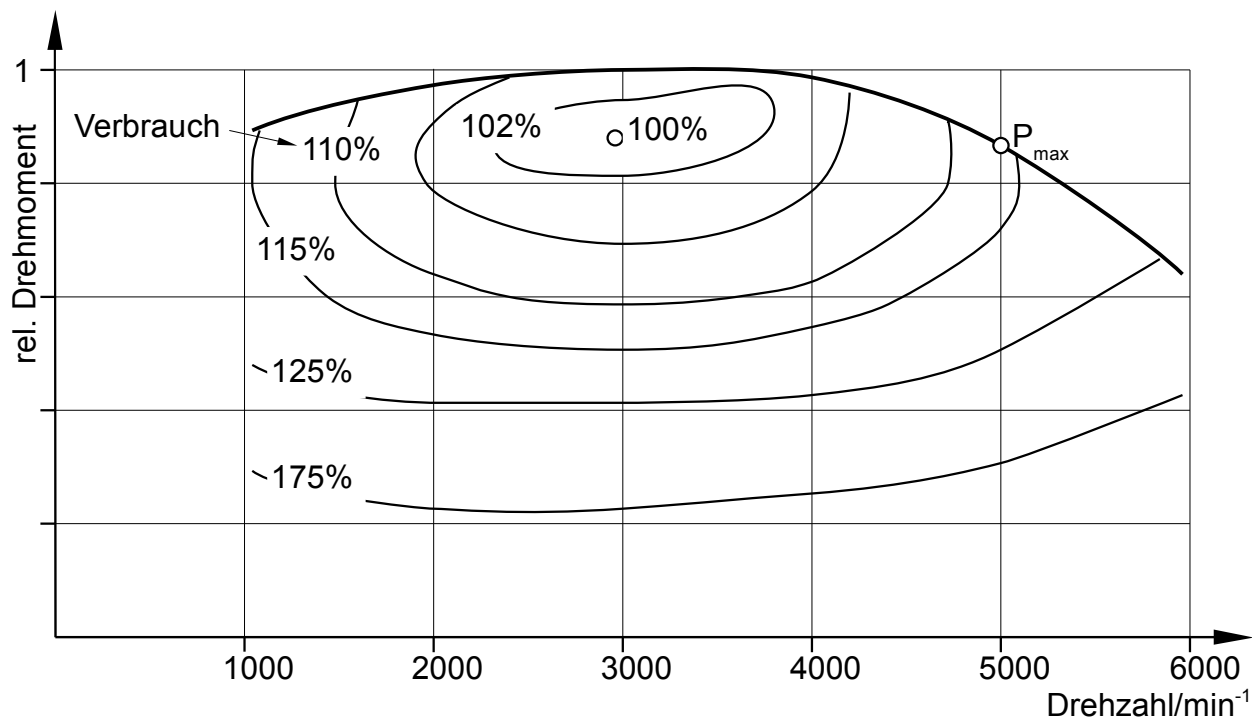




Motor-Verbrauchskennfeld eines Viertakt-Ottomotors

Daten aus: Kraftfahrtechnisches Handbuch, Bosch, 21. Auflage



Beschreiben Sie das obere Diagramm

- 1.1 Wovon hängt das Drehmoment im Wesentlichen ab ?

Verbrauch und Drehmoment

- 2.1 Warum erreichen Saugmotoren eine Füllung von maximal 80% ?
2.2 Wie beeinflusst ein Fahrer die Füllung ?
2.3 Warum liegen niedrigster Verbrauch und höchstes Drehmoment bei ähnlichen Drehzahlen ?
2.4 Warum liegen die Maxima von Leistung und Drehmoment bei unterschiedlichen Drehzahlen ?

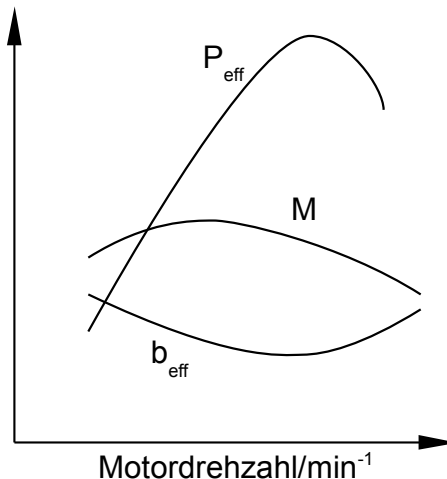
Tragen Sie in das Diagramm ungefähr ein

- 3.1 Isolinien für konstante Gaspedalstellungen (ganz und halb durchgetreten)
3.2 Die Linie für die maximale Motorleistung
3.3 Eine Isolinie für konstante Motorleistung bei wechselnden Drehzahlen
3.4 Linien für Fahrwiderstand bei 2 verschiedenen Übersetzungen
3.5 Wie kann der Fahrer zwischen den beiden Linien aus 3.4 wechseln ?

Ein Fahrer fährt sein Kfz bei halbem Gas und 5000/min mit dem Fahrgeschwindigkeitsregler (Tempomaten). Das Getriebe wird nicht geschaltet.

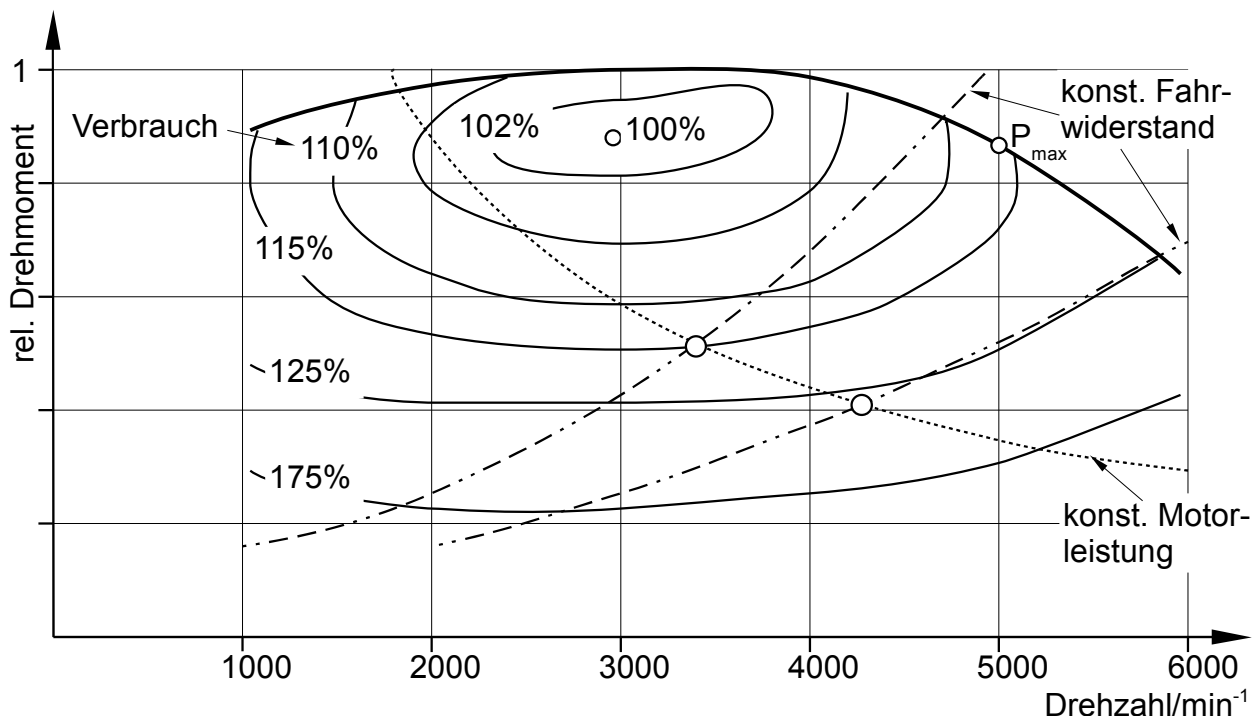
- 4.1 Zeichnen Sie die Veränderung im Verbrauchskennfeld, wenn die Strecke immer steiler bergauf führt.
4.2 Wie kann der Fahrer bei 3500/min eingreifen, um die Geschwindigkeit wieder zu erhöhen ? Zeichnen Sie die Veränderung ins Verbrauchskennfeld.
4.3 Wie kann der Fahrer schon bei 5000/min eingreifen ?
5 Wie erreicht ein Fahrer den niedrigsten Verbrauch ?
6 Sportliche Fahrweise ?

Leistungs- (P_{eff}), Drehmoment- (M) und Kraftstoffverbrauchs- (b_{eff}) - kennlinien eines Viertakt-Ottomotors





Lösung



- 1.1 Das Drehmoment hängen im Wesentlichen von der Luftmenge bzw. dem Luftdurchsatz im Motor ab. Da für die Verbrennung viel mehr Luft als Kraftstoff erforderlich ist (ca. 15 Gramm \approx 15 Liter Luft pro ein Gramm Kraftstoff), ist es bei Vollast das Problem, genügend Luft in den Verbrennungsraum zu bekommen. Die Grenze für das Drehmoment setzt also immer die Luftmenge, nicht die Kraftstoffmenge. Mehr Kraftstoff einzuspritzen wäre einfach. Maßnahmen, um den Luftdurchsatz zu erhöhen, sind: Größerer Hubraum, höhere Drehzahl (= öfter Luft ansaugen), Luftpumpen (Turbolader, Kompressor usw.), größere und kürzere Ansaugkanäle, mehr oder größere Ventile, Resonanzen im Ansaugtrakt, Nachladeeffekt ausnutzen usw.
- 2.1 Wegen der Strömungswiderstände im Luftfilter, im Ansaugrohr, um die Drosselklappe, um die Ventile usw. kann während des Ansaugtaktes, der bei 3000/min nur ca. 0,01s dauert, nicht mehr als 80% des Hubraumes mit Kraftstoff-Luft-Gemisch gefüllt werden.
- 2.2 Ohne Drosselklappe würde ein Ottomotor nur mit Vollgas arbeiten. Die Drosselklappe wird mit dem Gaspedal geöffnet und dient dazu, die Luftmenge und damit das Drehmoment eines Otto-Motors zu „drosseln“. Bei Otto-Motoren genügt es nicht, einfach nur die Kraftstoffmenge zu verringern, weil Kraftstoff-Luft-Gemische nur in einem ganz bestimmten Verhältnis zünden können (ca. 1 kg Kraftstoff auf 15 kg Luft). Deshalb müssen Luft- und Kraftstoffmenge gleichzeitig reduziert werden. In der Praxis betätigt man per Gaspedal die Drosselklappe oder eine ähnliche Vorrichtung und steuert die Luftmenge, während die Kraftstoffmenge durch den Vergaser oder eine Einspritzvorrichtung automatisch an die Luftmenge angepasst wird. Dieselmotoren können mit ihrem Zündverfahren auch sehr magere Gemische zünden. Deshalb können sie immer mit voller Luftmenge fahren und benötigen keine Drosselklappe. Das Gaspedal wirkt bei Dieselmotoren auf die Einspritzanlage und steuert die Kraftstoffmenge.
- 2.3 Niedriger Verbrauch und hohes Drehmoment treten dann ein, wenn günstige Verhältnisse beim Ansaugen und Verbrennen herrschen (Resonanz, Strömungsverhalten, Zündverzug, Steuerzeiten ...). Weil Verbrauch und Drehmoment ähnlich günstige Verhältnisse benötigen, liegen minimaler Verbrauch und maximales Drehmoment bei ähnlichen Drehzahlen. Diese Verhältnisse und damit die Drehzahl des maximalen Drehmomentes werden bei der Konstruktion des Motors festgelegt.
- 2.4 Leistung ist das Produkt aus Drehmoment und Drehzahl, deshalb steigt die Leistung mit der Drehzahl, auch wenn das Drehmoment schon wieder geringer wird. Den Drehzahlbereich zwischen dem maximalem Drehmoment und maximaler Leistung nennt man den "elastischen Bereich", weil in ihm nicht geschaltet werden muss (siehe Antwort 4). Bei Motoren für komfortable Pkw strebt man einen großen elastischen Bereich an, indem man das maximale Drehmoment zu niedrigen Drehzahlen verlegt. Wenn ein Konstrukteur eine hohe Leistung anstrebt, legt er das maximale Drehmoment auf höhere Drehzahlen, aber dies zwingt den Fahrer zu häufigem Schalten.



- 3.1 Die Isolinie für voll durchgetretenes Gaspedal heißt auch Drehmomentkennlinie. Es handelt sich um die oberste Linie des Verbrauchskennfeld (Vollastverlauf), im unteren Diagramm um die Linie M.
- 3.2 Die Linie für die maximale Motorleistung entspricht P_{eff} im unteren Diagramm.
- 3.3 Eine Isolinie für konstante Motorleistung bei verschiedenen Drehzahlen ergibt sich aus der Gleichung $P = 2 \pi \cdot M \cdot n$ und verläuft als Hyperbel. Eine davon ist im Lösungsdiagramm eingetragen, die anderen verlaufen „parallel“.
- 3.4 Wenn man im 2. Gang ohne zu schalten langsam von 1000 bis 6000 U/min beschleunigt, steigt der Fahrwiderstand schneller als die Drehzahl, weil der Luftwiderstand vom Quadrat der Fahrgeschwindigkeit abhängt (untere Fahrwiderstandslinie). Im 3. Gang verläuft die Linie ähnlich, aber der Fahrwiderstand ist wegen der höheren Geschwindigkeit größer (obere Fahrwiderstandslinie).
- 3.5 Zwischen den Fahrwiderstandslinien wechselt der Fahrer durch Schalten. Da sich beim Schalten der aktuelle Leistungsbedarf nicht ändert, bleibt man auf der Linie konstanter Motorleistung. Man erkennt, dass man beim Schalten in den höheren Gang in verbrauchsgünstigere Bereiche gelangt und dadurch Kraftstoff spart.
- 4.1 Ein Fahrer überlässt die Fahrgeschwindigkeit seines Kfz bei halbem Gas und 5000/min dem Tempomaten. Wenn die Strecke steiler wird, wird ein Teil der Antriebskraft für die Steigung benötigt und steht nicht mehr für die Überwindung des Luftwiderstandes zur Verfügung. Deshalb wird das Fahrzeug langsamer, und die Drehzahl des Motors sinkt. Sobald die Fahrgeschwindigkeit den Grenzwert des Tempomaten unterschreitet, erhöht dieser das Drehmoment des Motors, z.B. durch Öffnen der Drosselklappe (Ottomotor) oder durch Steigerung der Einspritzmenge (Dieselmotor). Bis die Vollastlinie (Vollgas) erreicht ist, kann so zusätzliche Antriebskraft gewonnen und die ursprüngliche Geschwindigkeit erreicht werden. Im Verbrauchskennfeld ergibt dies eine senkrechte Linie bei 5000/min.
Wenn die Strecke so steil wird, dass auch Vollgas die Geschwindigkeit nicht mehr halten kann, werden Fahrzeug und Motor langsamer. Dabei steigt das Motormoment zunächst weiter an (siehe Vollastlinie), deshalb kann das Fahrzeug immer noch das Gleichgewicht zur Steigung finden. Es fährt zwar langsamer, aber Schalten ist noch nicht zwingend notwendig. Deshalb heißt der Drehzahlbereich über dem maximalen Drehmoment „elastischer Bereich“, er reicht bis zur Drehzahl der maximalen Leistung.
Sobald aber die Drehzahl unter die Drehzahl des maximalen Drehmomentes fällt, sinken Drehmoment und Drehzahl im Teufelskreis. In diesem Bereich muss geschaltet werden, sonst würgt der Motor ab.
- 4.2, 4.3 Der Fahrer kann durch Herunterschalten eingreifen, denn im kleineren Gang wird das Motormoment für die Antriebsräder verstärkt. Dies geht aber nur, wenn die Drehzahl nicht zu hoch wird, d.h. nicht nennenswert über die Drehzahl der maximalen Leistung steigt.
- 5 Den Verbrauch kann man wie folgt senken:
- Fahrzeug stehen lassen und Kalorien statt Kraftstoff verbrauchen.
 - Motor abstellen, wenn er nicht benötigt wird (rote Ampel, Stau, Bahnschranke, Warten auf ..).
 - Gas wegnehmen, wenn kein Drehmoment benötigt wird (z.B. wenn die rote Ampel naht)
 - keine 20 m-Zwischensprints im dichten Verkehr
 - In möglichst hohem Gang fahren, weil der Motor bei niedriger Drehzahl und fast Vollgas einen geringeren spezifischen Verbrauch hat. Natürlich benötigt der Motor bei fast Vollgas mehr Kraftstoff je Arbeitstakt, aber es gibt im hohen Gang weniger Arbeitstakte, sodass der Kraftstoffverbrauch insgesamt sinkt. Solange die Drehzahl hoch genug ist, dass der Motor rund läuft, sinkt auch noch der Motorverschleiß.
 - Beschleunigen soll man zügig mit fast Vollast
- 6 Beim Fahren spielt es keine Rolle, ob die benötigte Antriebskraft bei hoher oder niedriger Motordrehzahl erzeugt wird. Der Unterschied liegt nur beim Bezahlen (im höheren Gang spart man Kraftstoff, Motor und Reifen) und beim Beschleunigen.
Da man im hohen Gang schon mit hohem Motormoment fährt, kann man es kaum noch erhöhen und muss deshalb vor dem Beschleunigen zurückschalten. Im niedrigen Gang bei hoher Drehzahl fährt man mit weniger Motormoment und kann es per Gaspedal erheblich steigern („Beschleunigungsüberschuss oder -reserve“). Die Frage ist, ob man ständig mit hoher Drehzahl fahren will, nur damit man vor dem Beschleunigen nicht schalten muss. Angst, den Gang nicht zu finden? In dem Falle empfehle ich ein Automatikgetriebe. „Sportlich“ ist Dauerfahren im kleinen Gang jedenfalls nicht, denn ein Formel-1-Pilot rührt durchschnittlich alle 2 Sekunden in seinem Getriebe. Außerdem fährt er nie mit höherer Drehzahl als nötig, um seinen Motor zu schonen.
- Aber schnell abrufbares Drehmoment spürt man sofort, Kraftstoffkosten erst später, und Technik versteht so wieso keiner. Beschleunigen können scheint cool, Nachdenken ist anstrengend, und Geld für Sprit geht wohl nie aus. Gas geben gibt ein Gefühl der Macht, (amerik.: power, lat.: potentia), und da setzt bei vielen leider das Hirn aus. Also fahren sie mit höherer Drehzahl als nötig und produzieren Lärm, Abgase und Kosten. Wenigstens die Kosten müssen sie selbst bezahlen (oder Papa?).

Nebenbei bemerkt: „Er schaltet nicht“ ergibt auch auf neuronaler Ebene einen Sinn und ist die wichtigste Ursache für den hohen Anteil junger Männer auf Unfallstationen und Friedhöfen.