

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz
Herausgeber: Landtechnik Schweiz
Band: 71 (2009)
Heft: 11

Artikel: Echte Profis sparen Treibstoff
Autor: Schulz, Herbert
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1080921>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 03.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Generelle Regel für sparsames Anfahren: «Last vor Drehzahl», d.h. erst schalten, dann Gas geben. (Bild: Ueli Zweifel)

Echte Profis sparen Treibstoff

Die Landwirtschaft hat ein hohes Transportaufkommen für Erntegüter und Betriebsmittel. Darauf entfällt mittlerweile nahezu die Hälfte der Betriebskosten. Das betrifft besonders die Aufwendungen für den dafür benötigten Treibstoff. Da durch strukturelle Veränderungen in der Landwirtschaft das Transportaufkommen weiter steigt, gewinnt die effizientere Nutzung des Treibstoffs hierfür an Bedeutung.

Herbert Schulz*

Treibstoffeffizienz bedeutet, für eine Transportaufgabe den jeweils geringst möglichen Treibstoffverbrauch zu erreichen. Wie man am besten spart, soll am Beispiel von permanent sich wiederholenden Startvorgängen erläutert und begründet werden. Die Betrachtungen zum Treibstoff Sparen werden hier absichtlich etwas tiefgründiger als üblich angelegt. Geht es doch für die Praxis auch darum, nicht nur zu sagen, dass ein Sachverhalt

so ist, sondern auch warum er so ist. Im vorliegenden Fall also, warum und wie beim Anfahren Treibstoff gespart werden kann.

Sparsam starten

Die Häufigkeit des Anfahrens ist abhängig von der Transportaufgabe und den Einsatzbedingungen, z.B. Geländeprofil, aber auch subjektiv beeinflusst. Für das Erreichen hoher Transportleistungen (Tonnen x km pro Stunde) sind Anfahrvorgänge gegebenenfalls weniger von Bedeutung, als für die Bewertung der Effektivität von Transporten (Liter pro Tonnenkilometer). Anfahrvorgänge benötigen im Allgemeinen viel Energie und damit viel Treibstoff. Das gilt insbesondere bei der Inbetriebnahme eines

Fahrzeugs. Das Anfahren erfolgt hierbei mit grossen Übersetzungen und alle Baugruppen (Motor, Getriebe, Fahrwerk) haben einen Betriebszustand abseits von ihrem Optimum. Von Bedeutung ist weiterhin, wie hoch die aufzubringende Beschleunigungsleistung und die Art und Höhe der dabei auftretenden Motorbelastung sind.

Energie: Zusammenhänge beim Anfahren

Als Anfahren wird der Fahrvorgang bezeichnet, bei dem ein Fahrzeug von der Geschwindigkeit $V_F = 0$ auf eine gewollte oder vorgegebene Endgeschwindigkeit V_F gebracht wird. Das erfolgt durch Steigern der Motordrehzahl und Hochschalten in Gänge mit geringeren

* Herbert Schulz verfasste als Hochschuldozent ein umfangreiches Schriftgut zur klassischen Traktortechnik. Er lebt in Berlin.

Übersetzungen, was bekanntlich mehr und mehr automatisiert oder stufenlos erfolgt.

Jeder Anfahrvorgang ist ein Beschleunigungsvorgang. Bei gleichförmiger Fahrt ($V_F = \text{constant}$) wirken am Fahrzeug der Roll- und Luftwiderstand und der Widerstand bei der Traktion. Beim Anfahren kommt noch ein Beschleunigungswiderstand hinzu. Der Grund dafür liegt darin, dass beim Beschleunigen Trägheitskräfte auftreten, weil Fahrzeugmassen der Beschleunigung entgegenwirken. Das betrifft sowohl die Masse des gesamten Fahrzeugs als auch die Massen aller rotierenden Übertragungsteile einschliesslich Räder. Da diese Teile mit einem Abstand zu ihrer Drehachse rotieren, spricht man von Massenträgheits- oder Trägheitsmomenten.

Beim Beschleunigen wird die Bewegungsenergie des Fahrzeugs erhöht. Diese ist durch den Energiegehalt des Treibstoffs aufzubringen. Im Ergebnis ist so eine bestimmte Treibstoffmenge dafür erforderlich.

Die aufzubringende Bewegungsenergie setzt sich also aus der Summe der Energie E_T des translatorisch zu beschleunigenden Fahrzeugs und der Energie E_R für die rotierenden Massen zusammen.

$$E = E_T + E_R, E_T = m_F \cdot V_F^2 / 2$$

Für das Zusammenfassen der Energieanteile sind die Trägheitsmomente der rotierenden Antriebsteile auf den Radius r_w der Antriebsräder zu reduzieren (Bild 1). Durch die Kraft F_U werden alle Fahrwiderstände überwunden und es erfolgt die Fahrbewegung.

Der Anteil der rotierenden Massen an der Gesamtmasse und die Wirkung auf den Energiebedarf werden vielfach durch einen Faktor der umlaufenden Massen δ berücksichtigt.

$$E_R = E_T \cdot \delta, E = E_T (1 + \delta)$$

Die Ermittlung des Faktors δ ist aufwändig, aber er sagt, aus, dass die Reduktion der Trägheitsmomente der umlaufenden Massen quadratisch mit dem Übersetzungsverhältnis des jeweils gewählten Ganges ($i_1 \dots i_n$) erfolgt. Da der Motor von allen rotierenden Teilen jeweils die grösste Übersetzung zu den Rädern hat und wegen der relativen Kleinheit der Getriebeteile gegenüber dem Motorschwungrad, wird meistens

Abb. 1: Schema und Daten für die Reduktion (Vereinfachung) von Massenträgheitsmomenten rotierender Bauteile auf den Umfang der Antriebsräder $\Theta_M = \text{Trägheitsmoment des Schwungrads}$. $\Theta_R = \text{Trägheitsmomente der Räder}$. (Zeichnungen: H. Schulz)

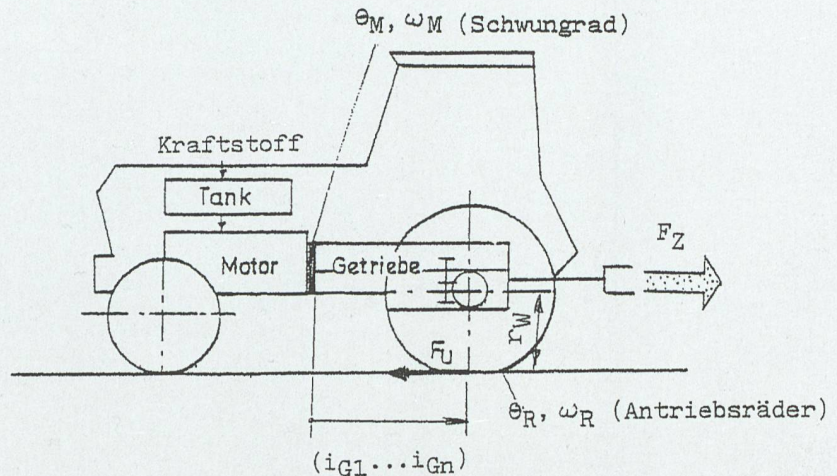
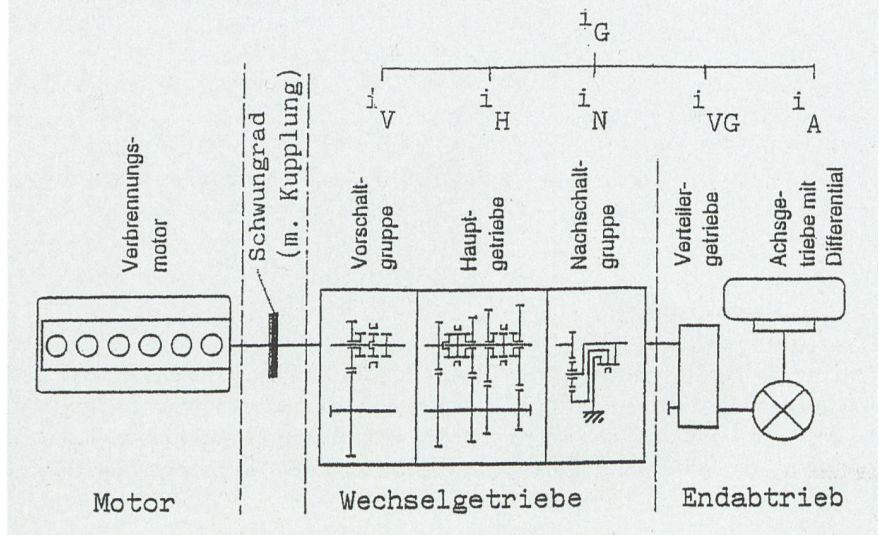


Abb. 2: Prinzip von gestuften Getrieben für Traktoren.



nur das Trägheitsmoment von diesem bei der Reduktion berücksichtigt (s. Abb. 1).

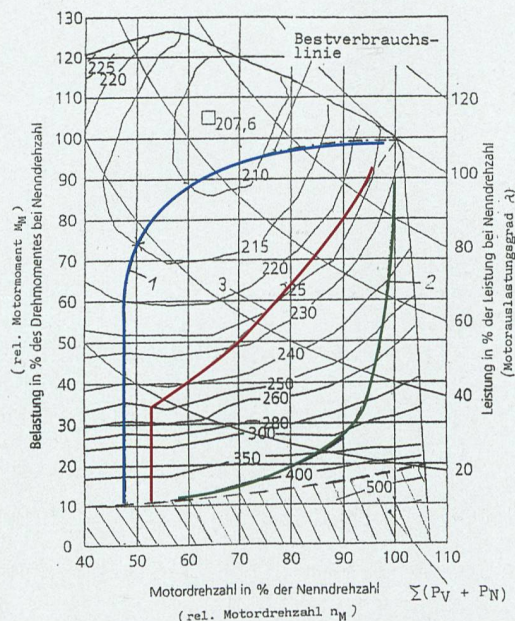
Aus den physikalischen Formeln der Fahrzeugmechanik ergibt sich:

- Die Grösse der erforderlichen Energie für das gesamte Fahrzeug ist quadratisch von der Endgeschwindigkeit beim Anfahren abhängig.
- Bei Traktoren wird vielfach aus Gründen der Bodenschonung und Traktionsverbesserung der Reifendruck gesenkt. Dadurch ist eine Verringerung des Reifenradius r_w um 5 bis 10% möglich. Da dieser Wert zum Quadrat und zudem noch im Nenner steht, ist daraus zu folgern, dass diese Massnahme beim Anfahren energetisch nicht von Vorteil ist.

- Die Grösse der erforderlichen Energie für rotierende Antriebsteile, ausser der Fahrzeugräder, ist abhängig vom Quadrat des zum Anfahren gewählten Übersetzungsverhältnisses i_G .

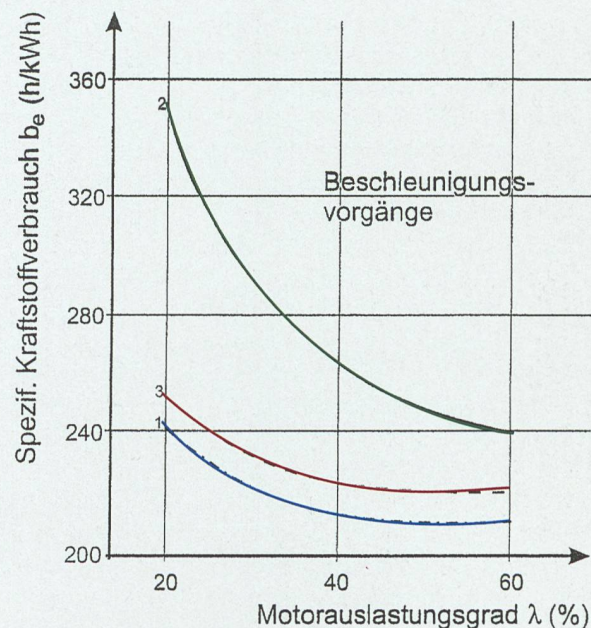
Da in den unteren Gängen die Übersetzungen am grössten sind, ist hier beim Anfahren, bezogen auf eine gleiche Anfahrendgeschwindigkeit v_F , die aufzubringende Energie am grössten und der Verbrauch ebenfalls. Traktoren und GeländelKW haben mehrere Getriebegruppen und sind vielgängig (Abb. 2) bzw. sogar stufenlos, und haben im Vergleich zu anderen Fahrzeugen in den unteren Gängen sehr grosse Übersetzungen. Bei Traktoren werden im ersten Gang Übersetzungen $i_{GL} > 150$ er-

Abb. 3: Beispiele von Beschleunigungsmöglichkeiten für ein Fahrzeug mit stufenlosem Getriebe, dargestellt in Kennlinienfeld eines Traktormotors (Same Deutz-Fahr)



1 = verbrauchsorientiert, 2 = fahrleistungsorientiert, 3 = Kompromiss

Abb. 4: Auftretender spezifischer Treibstoffverbrauch für die Anfahrvorgänge bis zu einem Motorauslastungsgrad λ von 60 %. Nach Bild 3. λ = erforderliche Leistung / Motornennleistung.



reicht (Kriechgänge $i_{GI} > 500$) und bei Gelände-LKW > 100 . Das bedeutet, dass der Faktor der umlaufenden Massen bei diesen grossen Übersetzungen $6 > 10$ werden kann, während in höheren Gängen mit 6 1,1 bis 3 zu rechnen ist. Anders ausgedrückt, mit grosser Übersetzung beim Anfahren kann der Energiebedarf für die rotierenden Teile über das Mehrfache der Energie für die Beschleunigung des Gesamtfahrzeuges betragen. Je geringer nun die Übersetzung zum Anfahren gewählt wird, umso geringer ist dieser Anteil.

Die Grenze für die Wahl der kleinsten Übersetzung zum Anfahren ist die jeweils verfügbare Motorleistung. Sie ergibt sich aus der Differenz zwischen Motorleistung und den Fahrwiderstandsleistungen P_N zuzüglich den Verlustleistungen P_V (siehe Abb. 3) nach der Gleichung:

$$P_B = P_M - (P_N + P_V)$$

Wird zum Anfahren eine zu geringe Übersetzung gewählt, ist das an einer starken Motordrücke zu merken. Es wird die Anfahrhendgeschwindigkeit nicht erreicht oder das Anfahren ist nicht möglich. Genannt wurde schon, dass die Bewegungsenergie beim Anfahren durch den Energiegehalt des Treibstoffs, seinem Heizwert, aufzubringen ist.

Wird die erforderliche Anfahrerenergie ins Verhältnis zum Heizwert gesetzt, kann die erforderliche Treibstoffmenge ermittelt werden.

Für das Verringern des Energieaufwands für die rotierenden Massen und damit geringeren Verbrauch beim Anfahren gilt die Regel:

«In Abhängigkeit von der Einsatzsituation mit jeweils geringst möglicher Übersetzung (höchstmöglicher Gang) anfahren und nicht in zu kurzen Intervallen bis zur Anfahrhendgeschwindigkeit».

Beschleunigungsvorgang und Motorbelastung

Bei den Energiebetrachtungen konnten die Einflüsse auf die erforderliche Anfahrerenergie wie auch die Möglichkeit einer Verbrauchssenkung angegeben werden. Für Letzteres gibt es weitere Möglichkeiten, die sich aus der zeitlichen Folge von «Gas geben» und «Schalten» ergeben.

Sparregel:

«Die unteren Gänge nicht voll ausfahren, also nicht stark beschleunigen, sondern zügig hochschalten und bei geringeren Übersetzungen weiter beschleunigen. Hiermit das Fahrzeug auf Endgeschwindigkeit bringen».

Eine Verbrauchsverringern beim Anfahren auf diese Weise resultiert aus dem Verbrauchsverhalten des Motors. Der Motor wird so durch die kleineren Übersetzungen gleich höher belastet und arbeitet bei geringerem spezifischem Verbrauch. (Abb. 3).

Dieses Verbrauchsverhalten von Motoren ergibt sich daraus, dass bei geringer Last die Eigenverluste im Verhältnis zur abgebbaren Leistung P_M sehr hoch sind, der Verbrauch aber auf P_M bezogen wird. In Abb. 3 sind zum Vergleich drei unterschiedliche Anfahrvorgänge in einem Motorverbrauchskennfeld dargestellt. Es zeigt sich, wie unterschiedlich dabei die Belastung und der spezifische Verbrauch beim Anfahren sein können.

Anfahrvariante 1, verbrauchsorientiert:

Der Motor ist auf geringe Drehzahl eingestellt. Die Geschwindigkeits- und Lasterhöhung erfolgt durch Verringern der Übersetzung (Hochschalten), hier zur besseren Übersicht am Beispiel eines stufenlosen Getriebes. Bei höher auftretender Belastung erfolgt die weitere Beschleunigung durch Drehzahlerhöhung des Motors bis auf die Bestverbrauchs-Linie. Das ist die Linie des jeweils geringsten Verbrauchs der bei bestimmten Leistungsabforderungen erreichbar ist. Ein geringerer Anfahrverbrauch ist also nicht möglich.

Anfahrvariante 2, fahrleistungsorientiert: Zuerst starkes Erhöhen der Motordrehzahl bei grossen Getriebeübersetzungen (grosse Beschleunigung, hoher spezifischer Verbrauch). Danach Verringern der Übersetzungen.

Anfahrvariante 3, Kompromiss

Dies bedeutet gegenüber Variante 1 mit etwas höherer Konstantdrehzahl (höhere verfügbare Motorleistung) und verringerter Getriebeübersetzung anzufahren.

Sparregel:

Im Bereich geringeren spezifischen Verbrauchs des Motors die Drehzahl zügig erhöhen und weiter Getriebeübersetzung verringern.

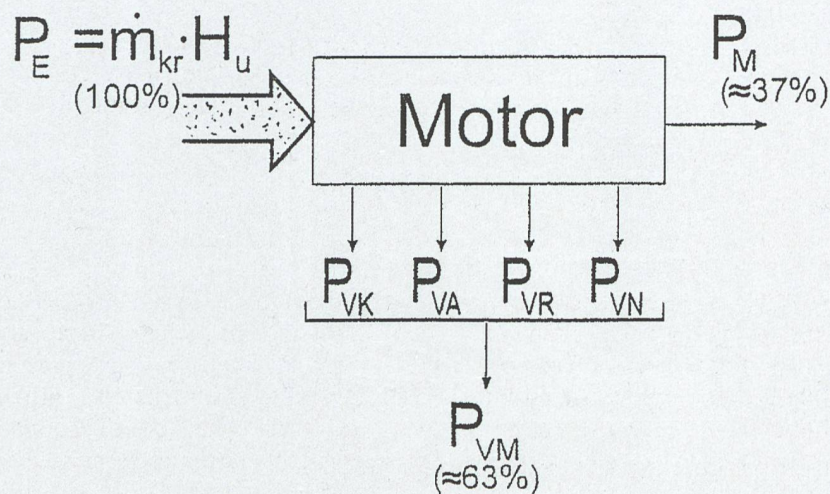
Die genannten Anfahrvorgänge ergeben unterschiedliche Motorbelastungen, ausdrückbar durch den Motorauslastungsgrad ($\lambda = P_M/P_E$). Somit ergeben sich auch sehr unterschiedliche Verbrauchsbereiche des Motors, die beim Anfahren durchfahren werden (Abb. 4).

Motorerwärmung und Treibstoffverbrauch

Bei Inbetriebnahme eines Fahrzeugs müssen die Baugruppen Motor und Getriebe auf Betriebstemperatur gebracht werden. Bis diese Temperatur erreicht ist, spricht man von der Warmlaufphase des Fahrzeugs. Dazu gehört massgeblich der Anfahrvorgang. Betrachtet man nur den Motor, so erreicht dieser bei etwa 80° bis 90°C Kühlmitteltemperatur, bzw. 90° bis 105°C Öltemperatur die höchste Nutzleistung und den geringsten Treibstoffverbrauch. Unter solchen Bedingungen, eine entsprechende Belastung vorausgesetzt, kann für Fahrzeug-Dieselmotoren ein Wirkungsgrad von 37% angenommen werden (Abb. 5). Das ist recht günstig und entspricht einem spezifischen Treibstoffverbrauch von etwa $b_e = 230 \text{ g/kWh}$.

Liegen die Temperaturwerte darunter, ist ein Motor unterkühlt. Das sind Bedingungen, wie sie namentlich beim Anfahren und in der weiteren Warmlaufphase vorhanden sind. Neben anderen Nachteilen tritt dabei ein erhöhter Treibstoffverbrauch auf und gegenüber Bild 5 ist eine bedeutend ungünstigere Leistungsbilanz vorhanden.

Abb. 5: Leistungsbilanz eines Dieselmotors wenn die erforderliche Leistung = der Motornennleistung ist. P_E = Eingangsleistung, m_{kr} = Treibstoffverbrauch (kg/h), H_U = Heizwert (Diesel 11,6 kWh/kg), P_M = erforderliche Motorleistung, Verlustleistungen P_{VK} (Kühlung), P_{VA} = Abgase, P_{VR} = Reibung, P_{VN} = Nebenaggregate



Gründe dafür sind zum Beispiel:

- Die Bauteile und Betriebsstoffe (Kühlmittel, Öl, Treibstoff) müssen auf Betriebstemperatur gebracht werden.
- Die geringe Temperatur im Motor ergibt eine unvollständige Gemischbildung und Verbrennung des Treibstoffs. Für das Aufbringen einer bestimmten Belastung, ist im Vergleich zum betriebswarmen Motor mehr Treibstoff erforderlich.
- Auf Grund erhöhter Viskosität des Schmiermittels ist der Leistungsbedarf für den Schmierkomplex erhöht.

Beim Motorwarmlauf ist also ein grosser Anteil der bei der Energiewandlung freigesetzten Wärme für die Motorerwärmung erforderlich. Dabei haben die Motorbauteile im Betriebszustand unterschiedlich hohe Temperaturniveaus. So sind beispielsweise an Auslassventilen Temperaturen bis 600° C, an den Zylinderwandungen bis 180° C und Kurbelwellenlagern um 145° C vorhanden.

Neben der Temperaturerhöhung bestimmt auch die Motormasse, welche Energiemenge für das Erwärmen erforderlich ist. So ist für einen Dieselmotor von 500 kg die Energie von 1,5 bis 1,7 Liter Treibstoff erforderlich. Daran ist wenig zu ändern. Durch die Art des An- und Warmfahrens kann aber die Zeit des Erwärmens bedeutend verkürzt werden, also die Zeit der unvollständigen Verbrennung und der hohen Motoreigenverluste (Reibung, Pumpenleistung). Immerhin kann bei Kaltstart, Anfahren

und Warmlauf der Mehrverbrauch, gegenüber einem betriebswarmen Motor, 60 bis 100% betragen.

«Last vor Drehzahl»

Gilt auch für das schnelle Erreichen der Betriebstemperatur:

Das setzt aber Fahrsituationen voraus, bei denen ein Motor auch höher belastet werden kann. Die Regel gilt auch, wenn in Kühlanlagen moderne Schaltungen für schnellere Motorerwärmung vorhanden sind.

Zusammenfassung

Bei Transporten erfordern Bergfahrten und Beschleunigungsvorgänge, dabei besonders Anfahrvorgänge, gegenüber einer gleichförmigen Fahrt, einen erhöhten Energiebedarf und damit Treibstoffaufwand. Während der Energie- bzw. Leistungsaufwand linear von der Geschwindigkeit abhängt, ist der Energiebedarf beim Beschleunigen vom Quadrat der Geschwindigkeit und der Anfahrübersetzung abhängig. Dadurch ist der Treibstoffbedarf stark erhöht. Beim Anfahren kommt noch hinzu, dass der Motor dabei auch in sehr ungünstigen Verbrauchsbereichen belastet wird. Bei Anfahrten nach Inbetriebnahme eines Fahrzeugs muss zudem noch die Energie des Treibstoffs für die Erwärmung des Motors und anderer Baugruppen aufgewendet werden. ■