

Ein Plädoyer für den Dieselmotor

von [Emanuel Höhener](#)

Wir werden noch mitten in der Ferienzeit mit Meldungen überschüttet, welche Dreckschleudern Dieselmotoren seien und mit welch üblen Tricks die Hersteller versuchten hätten, diese Antriebstechnik mit den einschlägigen Standards im Einklang darzustellen. Zur selben Zeit lese ich, dass es allein in den USA jährlich über 60'000 Drogentote im Jahr gebe. Wie viele Tote dort auf Grund der laschen Waffengesetzgebung zu verzeichnen sind, weiss ich nicht, sicherlich auch erschreckend viele. Warum die USA als Referenz? Nun, dieses Land hat den „Dieselskandal“ ins Rollen gebracht.

Generell kann man aber einmal festhalten, dass mit der progressiv zunehmenden Verbreitung des motorisierten Individualverkehrs in den entwickelten Ländern auch die Lebenserwartung der Menschen progressiv zugenommen hat. Sicherlich besteht da kein direkter Kausalzusammenhang. Ein indirekter Zusammenhang besteht aber gewiss mit der simultan erfolgten Verbesserung vieler Parameter unseres (Lebens-) Umfeldes, und da gehört die Qualität der Mobilität auch dazu.

Doch nun zum Diesel...

Angelastet werden dem Dieselmotor besonders ein verhältnismässig hoher Anteil an Stickoxyden (NOx) in den Abgasen und die Verursachung von Feinstaub. Bereits seit langem haben die entwickelten Länder Standards für die Abgasemissionen von Verbrennungsmotoren gesetzt, die auch für Strassen- und Schienenfahrzeuge Anwendung finden.

Der Grundgedanke von Herrn Diesel, der letztlich zu dem nach ihm benannten Motorkonzept führte, war, eine thermische Maschine entwickeln zu wollen, die dem von Carnot vorgezeichneten idealen Kreisprozess möglichst nahekommen sollte. Das ist Diesel insofern gelungen, als seine Motoren in der heutigen Entwicklungsstufe (wie übrigens zu jeder Zeitepoche der Entwicklung von thermischen Maschinen) den besten effektiv erreichten Wirkungsgrad ausweisen – und dies nicht nur bei Nennleistung (=Auslegepunkt), sondern auch über den gesamten nutzbaren Betriebsbereich (siehe weiter unten).



Diese positiven Eigenschaften rühren daher, dass einerseits im Dieserverfahren sehr hohe Verbrennungstemperaturen erreicht werden (hohe Temperatur bei der Energiezufuhr) und andererseits die Leistungsregelung nicht durch Drosselung erfolgt. Dies Bedarf einer Erläuterung mittels Vergleich zwischen Ottomotorischem und Diesel-motorischem Verfahren.

Dazu vorerst etwas Grundsätzliches: Im Motorenbau arbeitet man mit der Kennzahl λ (Lambda), die angibt, wie das stöchiometrische Verhältnis zwischen Luft und Brennstoff ist (Sauerstoff in der Luft / reaktionsfähige Bestandteilen im Brennstoff). Ist $\lambda = 1$, dann ist genauso viel Sauerstoff im Brennraum, dass (theoretisch) der gesamte eingebrachte Brennstoff verbrannt werden kann.

Beim Ottomotor wird ein zündfähiges Gemisch in einer speziellen Einrichtung aufbereitet. Ursprünglich verwendete man dazu Vergaser, heute geschieht es fast ausschliesslich durch geregelte Einspritzung in einen Ansaugtrakt vor dem Einlassventil. Dieses Gemisch besteht aus Luft und verdampftem Treibstoff und muss in einem engen Mischbereich dosiert sein, damit Zündfähigkeit gegeben ist. Immer gilt für Ottomotoren $\lambda < 1$, d. h. es herrscht Luftmangel vor. Die Auslösung der Verbrennung erfolgt mittels Zündfunken und es entsteht eine fortschreitende Verbrennungsfront im Brennraum. Da das nur funktioniert, indem das Gemisch in engen Grenzen für λ gehalten wird, kann die Leistungsregelung eines Ottomotors nur über eine Drosselregelung erfolgen. Dies ist aber gleichbedeutend mit geringerem Wirkungsgrad und damit höherem spezifischem Verbrauch bei Teillast.

Das Dieserverfahren ist hier grundsätzlich verschieden. In den Brennraum wird Luft angesaugt und anschliessend verdichtet. Der Brennstoff wird erst im Bereich der grössten Verdichtung (Kompression) eingebracht. Der Dieselmotor funktioniert nur, wenn $\lambda > 1$ ist, d.h. wenn Luftüberschuss vorherrscht. Da der Brennstoff bei sehr hohem Druck (über 1000 bar) mittels Mehrloch-Düse fein verteilt in den Brennraum eingebracht wird – zu einem Zeitpunkt wo die Kompressionstemperatur der Luft so hoch ist, dass der Brennstoff entzündet wird –, entstehen viele kleine „Brandherde“ im Brennraum. Dabei kann die Leistung über die Brennstoffzufuhr pro Zyklus geregelt werden, wodurch im Unterschied zum Ottomotor keine Drosselverluste entstehen. Daraus resultiert eben der bereits angesprochene flache und konstant hohe Wirkungsgradverlauf über der Leistung.

Nun ist offensichtlich, dass Otto- und Dieselmotoren völlig unterschiedliche Abgase produzieren. Sofern man keine besonderen Massnahmen zur Abgasqualitätsverbesserung ergreift, sind die Abgase des Ottomotors reich an unverbrannten Kohlenwasserstoffen, enthalten CO (hochgiftiges, geruchloses Kohlenmonoxid) und einen höheren Ausstoss an CO₂ pro Fahrzyklus als der Dieselmotor. Der



Dieselmotor-Prozess ist wie bereits angedeutet, derjenige thermische Prozess mit dem geringsten CO₂ Ausstoss pro Leistungseinheit (gilt auch im Vergleich mit thermischen Prozessen wie bei Gasturbinen, kohle- oder ölgefeuerten Kraftwerken usw.). Negativ in der Bilanz steht allerdings sein NO_x Ausstoss, was direkt mit der hohen Verbrennungstemperatur und dem Luftüberschuss zusammenhängt.

Von "lahmen Kisten" zu Sprintern

Vor rund 20 Jahren wurden in der Dieselmotorentechnik für Strassenfahrzeuge neuartige Einspritzverfahren eingeführt. Zuvor galten Dieselaautos zwar schon als sparsam und langlebig, jedoch als „lahme Kisten“ und fristeten ein Schattendasein für spezielle Anwendungen oder Liebhaber. Mit den neuen Einspritzverfahren änderte sich dies drastisch. Aus den lahmen Kisten wurden Fahrzeuge mit enormem Spurtvermögen heraus aus tiefen Drehzahlen resp. geringen Geschwindigkeiten. Dies darum, weil der Dieselmotor mit den neuartigen Einspritzverfahren für ein viel weiteres Drehzahlband nutzbar ist und als besondere Eigenheit bereits ab geringen Drehzahlen ein sehr hohes Drehmoment zur Verfügung hat. Daraus resultiert ein hohes Beschleunigungsvermögen ohne vorausgehende Erhöhung der Motor-Drehzahlen. Mit den neuen Einspritztechniken wurde auch die Wirtschaftlichkeit noch markant verbessert (geringerer Brennstoffverbrauch).

Ohne auf Details dieser neuen Einspritztechniken einzugehen, noch Folgendes: Im Gegensatz zu der klassischen Technik, wo mittels einer von einer speziellen, durch eine Nockenwelle getriebenen Pumpe Druck aufgebaut wurde und die eigentliche Einspritzung gegen eine vorgespannte Federkraft erfolgte, wird bei der heute angewandten Technik der Einspritzdruck konstant aufgebaut und die Einspritzung durch elektronische Steuerung des Düsenadelhubes geregelt (bekannt als „common rail“ Einspritzung). Die Leistungsregelung erfolgt über ein Motormanagement System (Mikroprozessor), das abhängig von Parametern wie Drehzahl und Drehmoment die Einspritzmenge und den Zeitpunkt regelt. Solche Einspritzsysteme eröffnen die zusätzliche Möglichkeit der Voreinspritzung, welche nicht nur die „drivability“ des Dieselfahrzeugs, sondern auch die Qualität seiner Abgase nochmals verbessert. Dies, zusammen mit der Technik der kennfeldgeregelten Steuerzeiten der Einlass- und Auslassventile (geregelt durch denselben Mikroprozessor), hat aus dem Dieselantrieb für Automobile das gemacht, was er heute ist.

"Sterile" Tests und Realität

Die Industrieländer setzen seit langem Vorschriften für die Abgasqualität von Strassenfahrzeugen um. Die Grenzwerte wurden schrittweise und progressiv an-



spruchsvoller angesetzt, wobei es nicht nur um (z. T. nur vermeintlich) schädliche Bestandteile in den Abgasen, sondern auch um Verbrauchswerte (Richtlinien für den Verbrauch pro gefahrene Strecke) ging – und weiterhin geht.

Die Problematik dabei ist die, dass man solche Werte nur in einem Testlabor mit klar festgelegten Umgebungsbedingungen und in stationären Betriebszuständen wissenschaftlich korrekt (reproduzierbar) ermitteln kann. Diese quasi „sterilen“ Laborbedingungen haben jedoch wenig mit dem realen täglichen Fahrbetrieb zu tun. Deshalb hat sich die Industrie mit den Regulierungsbehörden auf sogenannte Modellfahrzyklen geeinigt, nach welchen die absolute Menge an "schädlichem" Ausstoss zu ermitteln ist, um dann rechnerisch auf eine Fahrstrecke gemittelt zu werden – der Test wird im fertiggestellten (Serie-) Fahrzeug auf Prüfstand mit Rollen „gefahren“.

Auch diese Fahrzyklen, welche sehr länderspezifisch sind (in EU heute gemeinsamer Standard), wurden und werden immer wieder veränderten Gegebenheiten angepasst. Da für die Simulation dieser Fahrzyklen Motorbetriebswerte wie Drehzahl und Leistungseinstellung (usw.) eingegeben und auch mit gemessen werden müssen, scheint es relativ einfach zu sein, den entsprechenden Anschluss am Fahrzeug so zu programmieren, dass dem Mikroprozessor der Input „Test“ übermittelt wird und somit „sterile“ Testkonditionen gelten. Hier liegt der Bereich, in welchem die deutschen (wie auch andere) Automobilhersteller gemogelt haben. VW scheint dabei ein Vorreiter gewesen zu sein, weil VW anfänglich auf ein Einspritzsystem gesetzt hatte (Pumpendüse), das sonst gegenüber der Konkurrenz benachteiligt gewesen wäre.

Anmerkung: Generell gilt, je kleiner der Motor, desto kritischer das Problem.

Und damit sind wir zurück beim Anfang dieses Beitrags. Die gesetzten Grenzwerte oder Limiten sind heute durch ideologisch motivierte Vorgaben bestimmt. Innere und äussere Widersprüche und Inkonsistenzen sind an der Tagesordnung – ich habe kürzlich gelesen, dass ein Fahrrad, welches einen Pass hinunterfährt, in derselben Grössenordnung Feinstaub produziert wie ein Diesel-Mittelklasswagen. Die bemerkenswerteste Tatsache ist jedoch, dass für viele (besonders städtische) Regionen, die Abgase aus dem Dieselauto sauberer herauskommen, als die Luft, welche angesaugt wird. Ein solches Fahrzeug ist also kein Luftverschmutzer, sondern ein Luftfilter!

Unredliche USA

Und noch ein Wort zu den USA: Sicher wurde seitens der Industrie gemogelt, jedoch hätte man das Thema frühzeitig kommunizieren können. Die USA handeln (handelten) hier m. E. jedoch unredlich. Seit Jahrzehnten hat die US Automobilin-



dustrie den Anschluss an die moderne Motorentechnik verpasst. Einfach ausgedrückt, setzte man zu sehr auf grosse Hubvolumen (schwere Säufer-Motoren) anstelle der Entwicklung des effektiven Mitteldrucks (ein massgeblicher Motorkennwert, der die Entwicklungsstufe der thermische Auslegung wiedergibt) und der Drehzahloptimierung (leichte Hochleistungsmotoren).

Ich erinnere mich noch allzu gut an folgende Erfahrung. Ende der 1970-er Jahre (Ölpreis-Schock) realisierten auch die US Bahngesellschaften, dass die Diesellokomotivmotoren der lokalen Hersteller „Säufer“ waren. So erkundigten sie sich in Europa, was dagegen gemacht werden könnte. Auf Initiative mehrerer Bahngesellschaften wurden einige Lok-Typen mit damals sehr modernen Motoren von Sulzer ausgerüstet, die damals schon Techniken anwendeten, welche die Automobilindustrie erst rund 20 Jahre später einführt. Die Brennstoffersparnis im Betrieb war massiv – nicht nur ein paar wenige Prozent. Darum wollten die Bahnen in grossem Massstab umstellen. Das Projekt ist jedoch daran gestorben, dass die Gewerkschaften – natürlich mit Support der rückständigen lokalen Motorenindustrie – ihren Mitgliedern den Umgang mit metrischen Werkzeugen verboten haben! Und so ähnlich verhält es sich wohl heute wiederum mit dem Dieselskandal „made in US“.

Zum Schluss

Der Dieselmotor ist nicht tot. Er ist aus einer gesamtheitlichen Betrachtung immer noch die effizienteste thermische Maschine. Ein reines Elektrofahrzeug wäre erst dann allenfalls gleichwertig, wenn es ausschliesslich mit Strom aus Hydroanlagen oder Nuklearwerken betrieben werden könnte.

Die Forderungen zu Dieserverboten und dergleichen, wie sie gewisse Kreise und Politiker in Europa auf Grund der "Skandale" heute stellen, zielen deshalb völlig daneben und können sachlich nicht begründet werden. Der eigentliche Skandal hat weniger mit der Motorentechnik, sondern primär mit dem unzulässigen Umgang mit fragwürdigen Grenzwerten und Vorschriften zu tun.