

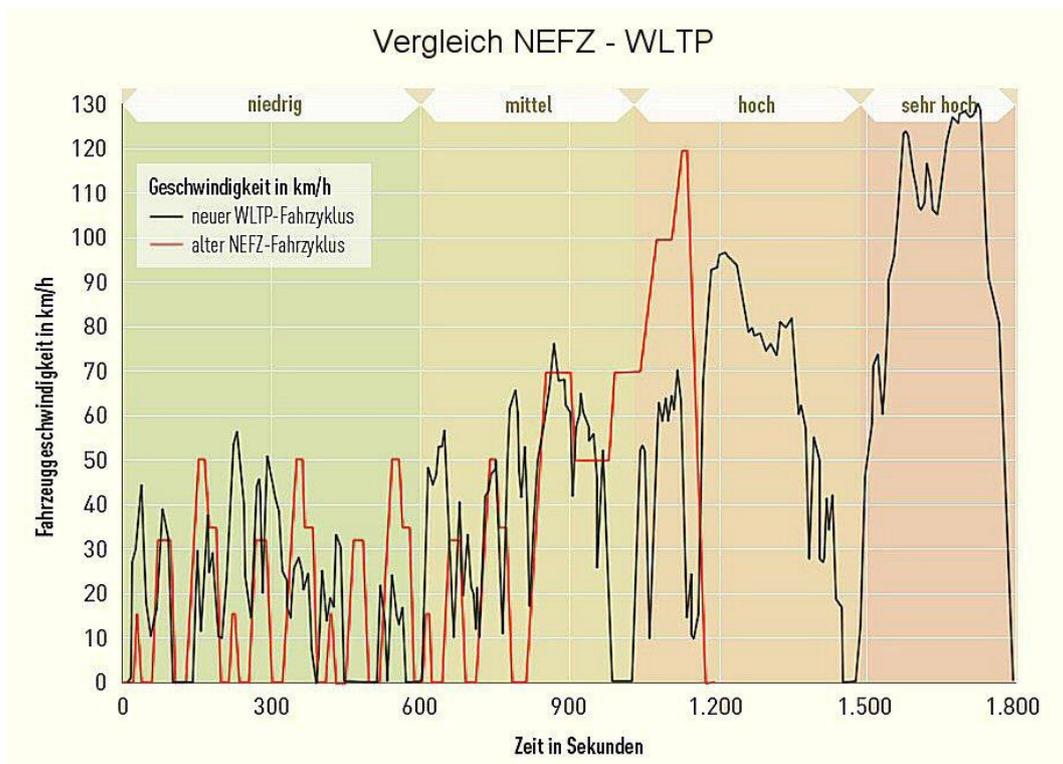
Stand der Dinge

Im Zuge des Diesel-Abgasskandals werden gerne zwei Dinge in einen Topf geworfen. Die völlig legalen Maßnahmen der Automobilhersteller, um beim Testzyklus möglichst gut abzuschneiden, und das kriminelle Vorgehen, im Test andere Maßnahmen oder Programme zu fahren als auf der Straße. Letzteres dürfte inzwischen weitgehend der Vergangenheit angehören, während sich ersteres Problem noch im Stadium der Umsetzung befindet.

- **Frage:** Was ist das größte Problem des NEFZ, des „Neuen“ Europäischen Fahrzyklus, auch ECE-Zyklus genannt?
Antwort: Dieser Test bildet die Realität nur unvollkommen ab. Die Verbräuche der Kunden auf der Straße, die sog. Praxisverbräuche, liegen bis zu 50 % über den Werten des NEFZ.
- **Frage:** Was kann man dagegen tun?
Antwort: Man kreiert einen anderen Test, der die Werte auf der Straße besser abbildet.
- **Frage:** Warum fährt man die Verbrauchs- und Emissionstests nicht gleich auf der Straße?
Antwort: Weil auf freier Wildbahn keine reproduzierbaren Bedingungen herrschen.

Deshalb müssen wir uns wohl oder übel auch in Zukunft mit sterilen, mehr oder weniger passenden Prüfstandtests herumschlagen.

Eine Testmethode zu erfinden, die dem Praxisverbrauch näher kommt als der NEFZ, ist eine einfache Sache. Man muss lediglich die Durchschnittsgeschwindigkeit erhöhen, die Standphasen reduzieren und mehr Beschleunigungs- und Bremsvorgänge einbauen. Genau das bietet der WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure), der zukünftig den NEFZ ablösen soll.



Vergleich der Messverfahren WLTP (WLTC) und NEFZ (NEDC)

Messwert	WLTP (WLTC)	NEFZ (NEDC)
Starttemperatur	kalt	kalt
Zykluszeit	30 min.	20 min.
Standzeitanteil	13 %	25 %
Zykluslänge	23.250 m	11.000 m
Geschwindigkeit mittel	46,6 km/h	34 km/h
Höchstgeschwindigkeit	131 km/h	120 km/h
Antriebsleistung mittel	11 kW	7 kW
Antriebsleistung maximal	42 kW	34 kW

Der WLTP liefert sicher einen höheren Verbrauch und höhere Emissionen. Weit schwerwiegendere Probleme, Begleiterscheinungen bereits des NEFZ, werden damit aber nicht beseitigt. Genau um diese Probleme geht es in der folgenden Abhandlung.

Wer genießt Priorität: Der Kunde oder der Prüfstand?

Die Automobilhersteller verstehen es meisterhaft, ihre Fahrzeuge für den Prüfstandstest zu optimieren. Kein Wunder, sie hatten schließlich beim NEFZ 20 Jahre lang Zeit dafür. Daran ist im ersten Moment nichts auszusetzen, kommen die Maßnahmen doch auch den Fahrzeugen auf der Straße zugute, meistens jedoch mit deutlichen Abstrichen. Bestes Beispiel für eine aufwändige Technik, die am Prüfstand gut wirkt, in der Praxis aber mehr Ärger als Nutzen verursacht, ist die Start-Stopp-Automatik.

- **Es gibt also Maßnahmen, die auf der Straße fast nichts bringen, aber trotzdem umgesetzt werden, weil sie am Prüfstand wirksam sind.**

Das ist aber nicht das schlimmste Ergebnis der Priorisierung des Prüfstands vor der Straße. Der umgekehrte Fall ist viel schlimmer.

- **Es gibt Maßnahmen, die NICHT umgesetzt werden, obwohl sie in der Praxis gut funktionieren würden, weil sie am Prüfstand NICHT wirksam sind.**

Verbrauchsmaßnahmen ohne Einfluss auf das Prüfstandsergebnis

Die wichtigsten Maßnahmen, die sich fast ausschließlich in der Praxis positiv auswirken und nicht am Prüfstand, sind folgende:

- Segeln
- Motorkapselung
- Latentwärmespeicher
- Elektrische Motorvorwärmung

Segeln

Das Segeln ist am Prüfstand beinahe unwirksam. Das liegt an der Testmethode. Das Fahrzeug steht auf der Rolle. Ein „Fahrer“ sitzt hinter dem Lenkrad, vor sich einen Monitor, auf dem die Geschwindigkeit angezeigt wird, die er beim Test einhalten muss. Der Fahrer muss nun versuchen, diese Geschwindigkeitsvorgabe durch Gasgeben, Schalten und Bremsen innerhalb vorgegebener Toleranzen einzuhalten. Beim WLTP ist die Vorgehensweise prinzipiell die gleiche wie beim NEFZ, nur für den Prüfstands-Fahrer erheblich anspruchsvoller. Ein trainierter Prüfstands-Pilot konnte beim NEFZ durch geschicktes Ausnutzen der Toleranzgrenzen den Verbrauch gegenüber einem Neuling um mindestens 10 Prozent senken. Beim WLTP ist es bestimmt nicht weniger.

Eines aber kann auch der beste Prüfstands-Routinier nicht – Segeln. In den Geschwindigkeitsvorgaben fehlen die dafür notwendigen Rollphasen. In diesen Rollphasen könnte der Fahrer die Kupplung treten oder die Automatik auf „N“ stellen und Segeln. Ein Fahrzeug, bei dem das Segeln integrierter Bestandteil der Längsdynamik ist, würde natürlich bei entsprechender Fahrpedalstellung automatisch Segeln.

Was bringt das Segeln in der täglichen Praxis? Wer aufmerksam seine täglichen Fahrten beobachtet wird sehr schnell feststellen, dass er die überwiegende Zeit in der Kolonne fährt. In der Kolonne aber ist die Regelung der Geschwindigkeit nur ein Hilfsmittel zur Regelung des Abstandes zum Vordermann. Dieser Abstand ist die eigentliche Größe, die es im öffentlichen Verkehr einzuhalten gilt. In der Kolonne aber treten sehr häufig Fahrzustände mit ganz leichten Beschleunigungen und Verzögerungen auf - ideale Voraussetzungen für das Segeln.

Wer sich einmal die Mühe macht, das Potential des Segelns in der Praxis nachzuvollziehen, wird einen mehr oder weniger deutlichen Einspareffekt registrieren, je nachdem, wie gut es ihm gelingt, das Segeln zu nutzen. Dabei kann beim Segeln der Motor ruhig im Leerlauf weitertuckern, denn der Leerlaufverbrauch moderner Motoren liegt bei lediglich 0,5 bis 1,0 Liter pro Stunde.

Das Segeln zu automatisieren erfordert einen gehörigen Aufwand. Die bislang gängige Methode sind automatisierte Kupplungen, wie sie bereits bei Doppelkupplungsgetrieben Verwendung finden. Bisher noch nicht zur Anwendung kommt eine andere Methode, nämlich die Abschaltung sämtlicher Zylinder. Unter Zylinderabschaltung versteht man die Schließung aller Ventile des abzuschaltenden Zylinders, sodass das eingeschlossene Gas wie eine Feder wirkt. Das senkt das Schleppmoment um etwa 70 Prozent gegenüber einem Zylinder in Schubabschaltung. Eine Abschaltung sämtlicher Zylinder würde bedeuten, alle Ventile still zu legen. Die Zylinderabschaltung hat gegenüber der automatischen Kupplung den großen Vorteil, dass das Umschalten in beiden Richtungen extrem schnell und völlig ruckfrei vonstattengeht.

Sofern die Möglichkeit besteht, nicht nur sämtliche Zylinder gleichzeitig, sondern auch einzelne Zylinder abzuschalten, kann man diese zur weiteren Verbrauchseinsparung nutzen. Werden z.B. von einem Vierzylindermotor bei geringem Leistungsbedarf zwei Zylinder abgeschaltet, laufen die beiden aktiven Zylinder mit einem besseren Wirkungsgrad. Diese Methode kommt in ganz bescheidenem Rahmen bereits zur Anwendung. In obiger Liste der Verbrauchsmaßnahmen ohne Einfluss auf das Prüfstandsergebnis taucht sie nicht auf, weil sie auch beim NEFZ und beim WLTP signifikante Vorteile bringt. Warum wird sie nicht häufiger umgesetzt? Das liegt am hohen Aufwand, der nur bei teuren Modellen finanziell vertretbar ist – bisher. Das Segeln könnte hier eine Treiberrolle übernehmen, aber erst dann, wenn es Prüfstands-relevant ist.

Was müsste man tun, um dem Segeln zu einem praxisnahen Einfluss auf das Testergebnis zu verhelfen? Die aufwändige Methode wäre, eine völlig neue Art von Test zu generieren, der der Fahrweise

auf der Straße besser entspricht. Einfacher wäre es, in die vorhandenen Testvorgaben längere Rollphasen mit den segeltypischen Verzögerungen von 0,1 bis 0,2 m/s². Natürlich ist es den Prüfstandsfahrern nicht gestattet, in diesen Phasen etwa die Kupplung zu treten oder auf N zu schalten. Die einfachste Möglichkeit besteht darin, den Fahrzeugen mit Segelautomatik einen Bonus auf den Verbrauch und die Emissionen einzuräumen, in der Größenordnung von mindestens 10 Prozent.

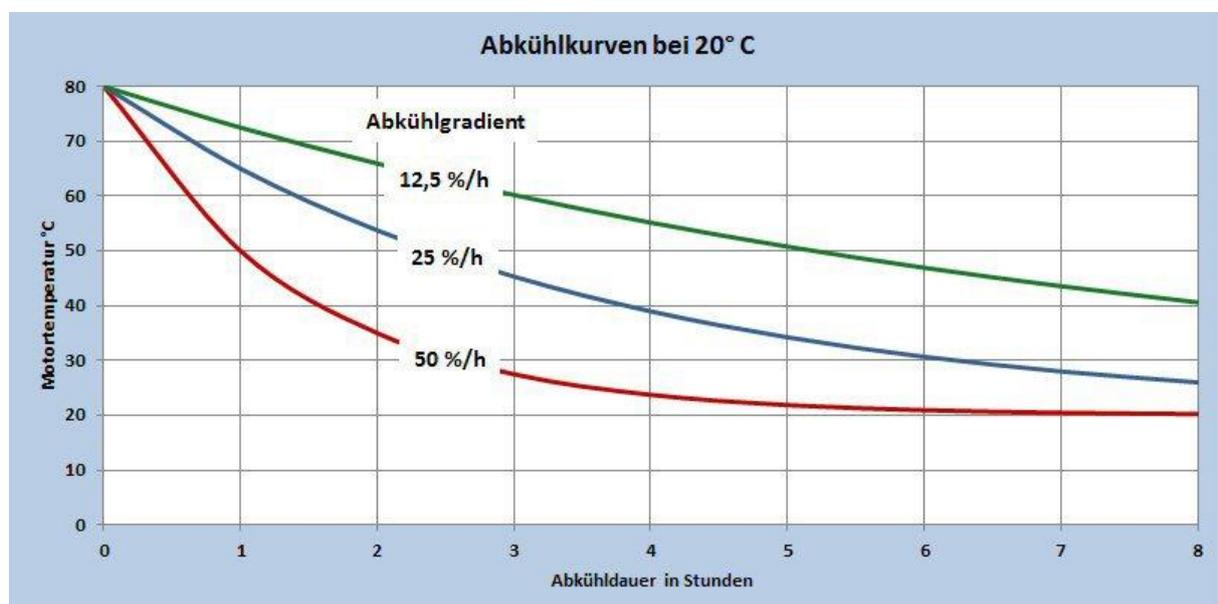
Motorkapselung

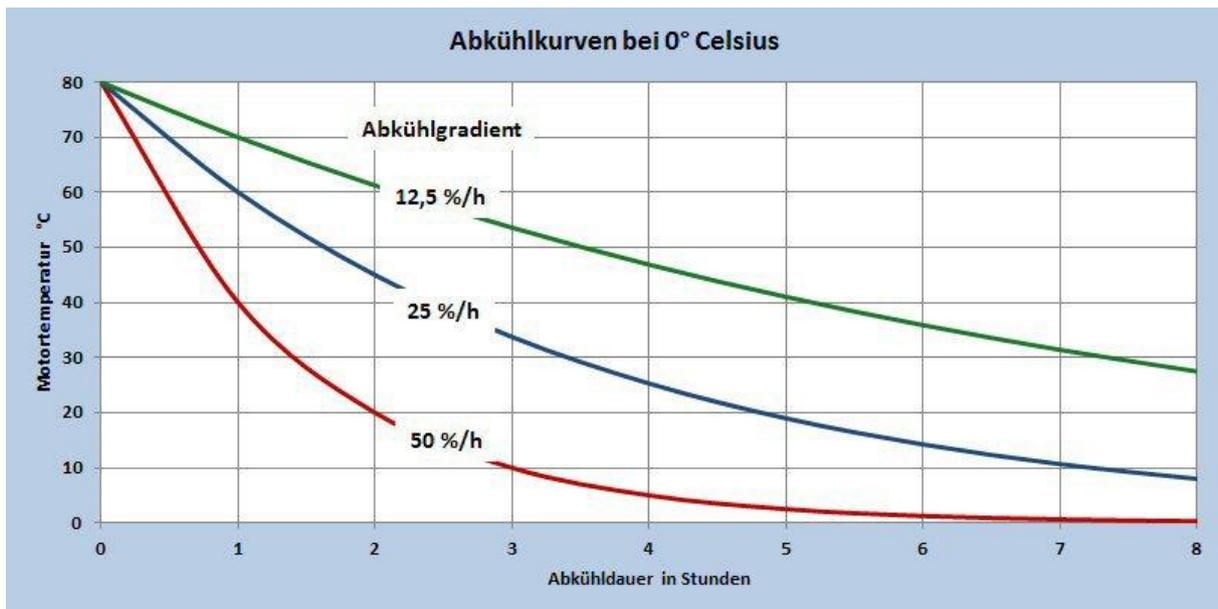
Wie schon beim NEFZ erfolgt der Start beim WLTP mit kaltem Motor. Kalter Motor bedeutet in diesem Fall Raumtemperatur 20° C. Die Fahrzeit beträgt 30 Minuten, die zurückgelegte Strecke 23 Kilometer. Die Praxis in Deutschland sieht anders aus. Die durchschnittliche Tagestemperatur über ein Jahr gesehen beträgt etwa 10° C, die Temperatur beim Kaltstart am Morgen liegt noch deutlich darunter in der Größenordnung von 3° C im Winterhalbjahr, und etwa 7° C im Sommerhalbjahr. Die durchschnittliche Fahrdauer beträgt 21 Minuten, die Strecke 45 km/h.

Jeder Autofahrer hat schon am eigenen Leib erfahren, wie lange es dauert, bis ein Verbrennungsmotor Betriebstemperatur erreicht. Denn erst, wenn der Motor sich wohl fühlt, kann man einen Teil der Wärmemenge für die Heizung opfern. Das dauert im Winter eine gefühlte Ewigkeit. Bei Dieselmotoren versucht man, mit elektrischen Heizelementen die Dauer der klammen Hände am Lenkrad zu verkürzen. Erst nach 10 Minuten, wenn man meistens am Ziel angekommen ist, breitet sich wohlige Wärme aus.

Wie komfortabel wäre es, hätte der Motor beim Kaltstart noch ein paar Grad von der vorhergehenden Fahrt gespeichert. Das wäre nicht nur für den Fahrer angenehm, sondern auch gut für den Motor und die Umwelt. Denn beim Kaltstart entstehen die meisten schädlichen Abgase, weil die Reinigungssysteme noch nicht einwandfrei funktionieren. Außerdem verbraucht der Kaltstart unverhältnismäßig viel Kraftstoff, er wirkt sich negativ auf die Lebensdauer aus, und im Zylinder, an den Kolben und den Ventilen bilden sich schädliche Rußablagerungen.

Der Gedanke, die Abkühlung des Motors zu verlangsamen war die Geburtsstunde der Motorkapselung. Wenn es gelänge, den Abkühlgradienten zu halbieren oder sogar zu vierteln, wäre in vielen Fällen eine deutliche Verbesserung des Kaltstartverhaltens erreicht.





Die Diagramme zeigen theoretische Abkühlkurven ausgehend von einem betriebswarmen Motor von 80° Celsius herunter auf 20°C (oberes Diagramm) und 0° C (unteres Diagramm). Die roten Kurven zeigen eine Abkühlung um 50 Prozent pro Stunde. Sie sollen die Original-Abkühlkurve ohne Motorkapselung repräsentieren. Bei den blauen Kurven geht die Abkühlung mit 25 Prozent pro Stunde nur noch halb so schnell vonstatten. Bei den grünen Kurven ist die Abkühlgeschwindigkeit mit 12,5 Prozent pro Stunde sogar geviertelt.

Eine Motorkapselung bedeutet für die Fahrzeughersteller einen riesigen Aufwand. Bei Motoren mit Abgasturboladern ist es beinahe unmöglich, alle Schlupflöcher abzudichten und gleichzeitig zu verhindern, dass der Motor innerhalb der Kapsel überhitzt. Wenn es trotzdem in Angriff genommen werden soll, muss es sich im Verbrauchstest signifikante Vorteile bringen.

Das könnte man relativ einfach sicherstellen, indem man das Fahrzeug mit betriebswarmem Motor auf dem Prüfstand bei Raumtemperatur abstellt und eine definierte Zeit einfach stehen lässt. Aus den Diagrammen kann man als günstige Zeitspanne für die Abkühldauer etwa 5 Stunden herauslesen. Während der Motor ohne Kapselung annähernd Umgebungstemperatur einnimmt, liegen die stark gekapselten Varianten (grüne Kurve) um 30 Grad bzw. 40 Grad darüber. Dann startet der Test wie gewohnt.

Eine Starttemperatur von 50°C am Prüfstand sollte sich im Abgas und im Verbrauch deutlich niederschlagen. Leider nicht ganz so stark wie der Verkehr auf der Straße, denn auf der Straße sind die durchschnittlichen Fahrzeiten geringer und die Starttemperaturen niedriger (siehe oben). Das bedeutet, dass der Kaltstart einen größeren Anteil an den Emissionen ausmacht. Hier zeigt sich auch ein unangenehmer Nebeneffekt des Übergangs vom NEFZ auf den WLTP, denn beim NEFZ war der Kaltstartanteil höher. Um die vollen positiven Effekte der Motorkapselung auch am Prüfstand zu erzeugen, müsste man demnach auch die Fahrzeit des WLTP verkürzen.

Latentwärmespeicher

Definition Wikipedia:

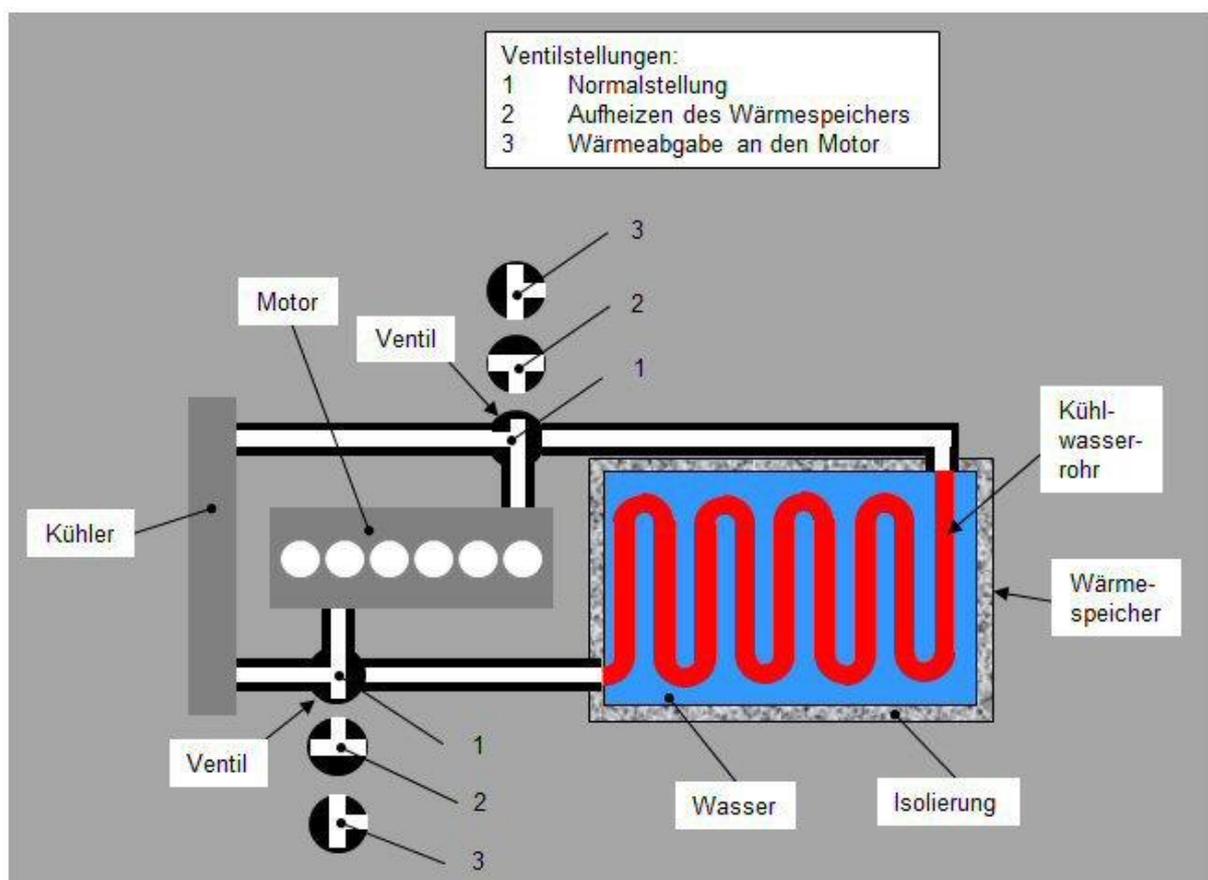
Latentwärmespeicher funktionieren durch die Ausnutzung der Enthalpie thermodynamischer Zustandsänderungen eines Speichermediums. Das dabei am häufigsten genutzte Prinzip ist die Ausnutzung des Phasenübergangs fest-flüssig und umgekehrt (Erstarren-Schmelzen).

Latentwärmespeicher auf Zeolithbasis waren schon vor etlichen Jahrzehnten auf der Entwicklungsagenda der Automobilfirmen, schafften es aber nicht bis zum Serieneinsatz. Inzwischen ist es verdächtig ruhig geworden um diese Technik. Warum eigentlich? Es gab Probleme mit den Salzen, dem verfügbaren Einbauraum und natürlich den Kosten. Der Fokus war auf die Heizung gerichtet und nicht so sehr auf die Motorerwärmung. Um die Motortemperatur um etwa 30 Grad anzuheben, benötigt man leistungsfähigere Elemente als die damaligen. Diesem Aufwand muss ein entsprechender Benefit beim Abgas- und Verbrauchstest gegenüberstehen.

Gegenüber der Motorkapselung besitzt der Latentwärmespeicher einen entscheidenden Vorteil. Egal wie lange die Abkühlzeit dauert, die Wirkung ist immer die gleiche. Damit sich aber der hohe Aufwand lohnt, muss man die Testprozedur ändern. Der Kaltstart muss wesentlich mehr Gewicht bekommen, speziell beim WLTP.

Wärmespeicher auf Wasserbasis

Latentwärmespeicher sind teuer und nicht unumstritten. Völlig ungefährlich dagegen ist ein Wärmespeicher auf Wasserbasis. Sobald der Motor Betriebstemperatur erreicht hat, wird ein Teil der Wärme in ein gut isoliertes Wasserreservoir geleitet. Beim Kaltstart wird umgekehrt das warme Wasser dem Motor zugeführt. Eine entsprechende Anordnung sieht folgendermaßen aus:



Gegenüber einer Motorkapselung ist der Wirkungsgrad deutlich höher. Der Wasserspeicher kann die Wärme wesentlich besser über lange Zeiträume speichern. Gegenüber einem Latentwärmespeicher ist der Wärmespeicher auf Wasserbasis deutlich kostengünstiger und einfacher. Außerdem ist das Medium umweltfreundlich, leicht verfügbar, nicht gesundheitsschädlich und nicht brennbar.

Einige gravierende Nachteile darf man allerdings nicht verschweigen, das Gewicht und die Einbauträume. Für eine gute Wirksamkeit sind 50 bis 100 Liter Wasser erforderlich, entsprechend 50 bis 100 Kilogramm. Für Autobauer ein Gräuel. Allerdings wird der Einfluss des Gewichts auf den Verbrauch krass überschätzt. In der Regel beträgt er für ein Mehrgewicht von 50 Kilogramm nicht mehr als 0,15 Liter/100 km. Problematischer ist der Einbautraum. Ein verschachtelter Einbau verbietet sich, er wäre nicht gut zu isolieren. Also muss man einen Raum mit kompakten Abmessungen dafür finden. Bei SUVs sollte das kein Problem sein. Bei Limousinen jedoch wird um jeden Kubikzentimeter gefeilscht, und für einen Wassertank in der Größenordnung des Kraftstofftanks einen Platz zu finden muss bereits beim Grundkonzept des Fahrzeugs berücksichtigt werden.

Ebenso wie für den Latentwärmespeicher braucht es schon gewichtige Gründe für ein solches Konzept. Den wichtigsten Grund müsste der Verbrauchs- und Emissionstest liefern, was aber weder der NEFZ noch der WLTP in der heutigen Form in ausreichendem Maße leistet.

Elektrische Motorvorwärmung

In Nordländern üblich sind sog. Motorwärmer. Sie kann der Fahrer abends an die Netzsteckdose anschließen, und sie erwärmen den Motor über Nacht mit einigen wenigen Watt etwas über Außentemperatur. Das Konzept hat leider ein paar Schwachstellen.

- Die Leistung darf nicht sehr hoch sein, um den Motor nicht zu überhitzen. Das Delta der Motortemperatur gegenüber Außentemperatur wird nicht mehr als 20 Grad betragen.
- Die Fummelei mit dem störrischen Stromkabel bei niedrigen Außentemperaturen ist nicht jedermanns Sache.

Ein intelligenteres Konzept würde den Motor berührungslos aufheizen, und zwar bis zu einer vorgegebenen Grenze, z.B. 50° C, unabhängig von der Umgebungstemperatur.

Beim Thema berührungslose Energieübertragung denkt man natürlich sofort an den Induktionsherd. Auf das Fahrzeug übertragen bedeutet es, entweder im Motor oder im Wasserkreislauf eine Eisenplatte anzubringen. Sie muss dicht an der Fahrzeugaußenseite liegen, damit der Abstand zur Induktionsspule nicht zu groß wird. Für das Vorhaben reicht eine Platte in der Größenordnung der Bodenplatte eines größeren Kochtopfs.

Als Einbauort für die Platte bietet sich die Unterseite der Ölwanne an. Sie ist in der Regel der tiefste Punkt eines Fahrzeugs, und wird meistens nur durch eine dünne Unterverkleidung aus Kunststoff geschützt. Die Eisenplatte ist mit der Ölwanne aus Alu großflächig verbunden, damit eine gute Wärmeübertragung stattfindet. Die Wärme breitet sich von der Ölwanne ausgehend auf den gesamten Motor aus.

Ist der Motor genügend aufgeheizt, schaltet das System automatisch ab. Als Abschaltkriterien fungieren entweder die Motortemperatur oder die Aufheizzeit. Bei der Motortemperatur benötigt man einen Temperatursensor am Motor, der mit dem Induktionsheizer per Funk kommuniziert. Die Abschaltung nach Heizdauer kann der Heizer selbstständig treffen. Dabei kann er zusätzlich die Umgebungstemperatur messen und in die Heizdauer mit einrechnen.

Denn Beginn der Aufheizung kann der Fahrer entweder mit einer Zeitschaltung vorwählen, oder über Smartphone bestimmen. Die Zeit bis zum Erreichen der Zieltemperatur sollte eine Stunde nicht überschreiten. Das reicht aus, um zwischen Aufstehen und Losfahren ein angenehmes Motorklima herzustellen.

Das lästige Stromkabel kann man vermeiden, indem die Heizplatte auf einem Scherenmechanismus angebracht ist, der sie automatisch hochfährt, bis sie die Eisenplatte oder die Abdeckung berührt. Nach getaner Arbeit klappt die Schere wieder zusammen. Sie kann deshalb an Ort und Stelle verbleiben und braucht nicht jedes Mal neu justiert zu werden. Das Fahrzeug muss lediglich an ungefähr derselben Stelle zum Stehen kommen.

Das Konzept ist nicht frei von Mängeln. Z.B. hängt das Gerät permanent am Stromnetz. Viele Garagen verfügen über keinen Stromanschluss. Außerdem steigt der Stromverbrauch. Ob der niedrigere Kraftstoffverbrauch das ausgleicht ist fraglich. Bleibt als Hauptargument für den Kunden der gestiegene Komfort.

Wie soll man beim Emissionstest mit diesem und ähnlichen Konzepten umgehen, bei denen es dem Fahrer überlassen ist, ob er sie anwendet oder nicht? Durch Auswertung der Kaltstarttemperaturen? Fahrzeuge mit höheren Starttemperaturen bekommen dann eine Steuerermäßigung? Und der Fahrzeughersteller braucht ebenfalls einen Grund, eine derartige Technik vorzubereiten, am besten in Form von niedrigeren Abgas- und Verbrauchswerten.

Schlussfolgerungen:

Mit dem WLTP wird alles besser? Großer Irrtum, auch wenn sich Verbräuche und Abgaswerte etwas mehr der Praxis nähern. Verbrauchssenkende Maßnahmen für das Fahren auf der Straße spielen nach wie vor keine Rolle. Wie müsste ein Test beschaffen sein, der die Praxis besser abbildet?

- **Mehr Rollphasen um Segeln zu ermöglichen und die Effekte von Zylinderabschaltung und Rekuperation zu verbessern.**
- **Stärkere Betonung des Kaltstarts durch ein anderes Verhältnis von Kaltstartphase und Warmphase. Die Warmphase müsste wesentlich kürzer sein als beim WLTP.**

Hoffentlich ist die Einführung des Nachfolgetests zum NEFZ nicht der Beginn eines neuerlichen Skandals. Wenn man sich die Prüfstandswerte von Plug-In-Hybriden anschaut, kann man erahnen, aus welcher Ecke Gefahr droht.

Jacob Jacobson