

26.06.2021 Bremsenergie-Rückgewinnung – meistüberschätzt!

Damit fing es an: Der 3-L Lupo

Bevor wir zur Bremsenergie-Rückgewinnung kommen, müssen wir uns mit dem Segeln beschäftigen. Den entscheidenden Hinweis auf die Potentiale des Segelns verdanken wir dem 3-Liter Lupo. Ende der 90er Jahre brachte VW dieses Modell auf den Markt, und machte die Autowelt damit verrückt. Drei Liter Diesel auf 100 Kilometer, kann das Fahrzeug dieses Versprechen einlösen? Im damals gültigen Verbrauchszyklus, dem NEFZ war das kein unlösbares Problem. Viele Modelle mit kleinen Diesellaggregaten schafften Verbrauchswerte um die 4 L/100 km. Die Frage war, wieviel davon bleibt unter realen Praxisbedingungen übrig? Schafft man die 3 L/100 km auch im Alltagsbetrieb? Davon musste sich jeder einigermaßen am Verbrauch interessierte persönlich überzeugen.

Eindeutige Antwort: **Jein**.

Der Lupo hatte zwei Fahrprogramme.

- Ein Normalprogramm, mit dem man fahren konnte wie mit einem ganz normalen PKW.
- Ein Öko-Programm mit ein paar verbrauchsreduzierenden Eigenschaften: Reduzierung der Leistung, Motor-Start-Stopp-System, das auch während der Fahrt den Motor abstellte, automatisierte Kupplung.

Wie fuhr sich das Fahrzeug?

Im Normalprogramm:

Die Fahrleistungen im Normalprogramm reichten aus, um locker im Verkehr mitzuschwimmen. Dank des niedrigen Gewichts und des niedrigen Luftwiderstands war der Lupo weder in der Stadt beim Beschleunigen, noch auf der Autobahn auf der mittleren Spur ein Verkehrshindernis. Allerdings betrug der Verbrauch dann etwa **4 L/100 km**.

Im Ökoprogramm:

Anders sah die Sache im Ökoprogramm aus. Die niedrige Leistung störte bereits beim Losfahren. Das Cockpit hatte ein paar Leuchtdioden, die die verbrauchsoptimalen Schaltpunkte anzeigten. Diese waren so niedrig gelegt, dass das Getriebe anfang zu klirren. Endlich war man dann auf Geschwindigkeit. Irgendwann musste man natürlich seine Geschwindigkeit dem Verkehr anpassen – dann schlug die Stunde der automatisierten Kupplung. Sobald man vom Gas ging, öffnete sie, und das Fahrzeug segelte, gebremst nur durch Luft- und Rollwiderstand. Gleichzeitig stellte der Motor seinen Betrieb ein. Der Mühe Lohn? Ein Verbrauch von **3 L/100 km**.

Q.e.d.? Nicht ganz, denn dieser niedrige Verbrauch kam nicht ohne kräftiges Zutun des Fahrers zustande. Zum einen musste man sich sehr zurückhalten, um beim Beschleunigen nicht den Kick-Down zu bemühen. In diesem Fall wäre der Motor auf die Normalleistung gesprungen. Zweitens war das Klirren bei den extrem niedrigen Schaltpunkten nichts für schwache Nerven. Drittens musste man Autobahnen möglichst meiden, denn nur mit 80 bis 100 km/h blieb man unter der 3 Liter-Marke. Nur in der LKW-Kolonne war man kein Verkehrshindernis.

Und last not least – das Segeln. Man musste das Segeln bewusst nutzen, und das bedeutete eine extrem vorausschauende Fahrweise. Trotzdem zwingt einen das fehlende Motorschleppmoment zu einer deutlich häufigeren und heftigeren Benutzung der Betriebsbremse. In Sum-

me ist diese Fahrweise sehr anstrengend, und man schaltet nach kurzer Zeit auf das Normalprogramm um. Dem Normalfahrer ist eine solche Fahrweise keinesfalls zuzumuten.

Segeln mit oder ohne Motorabschalten?

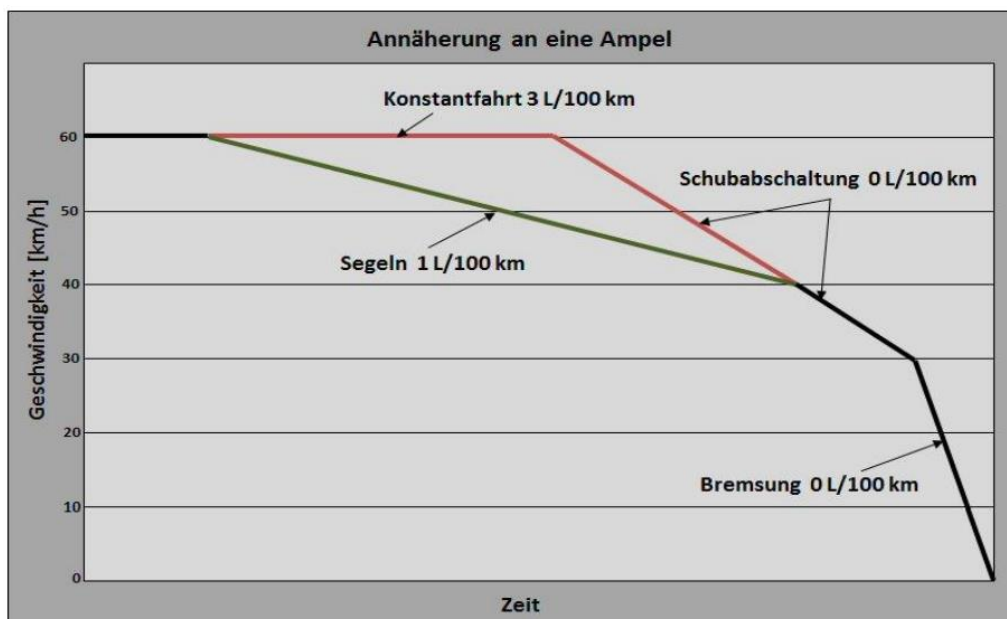
Will man die Potentiale der Motor-Start-Stopp-Automatik in vollem Umfang nutzen, muss man davon nicht nur im Stand, sondern auch bei Fahrt Gebrauch machen. Der Nutzen im Stand beim NEFZ lässt sich sehr einfach berechnen, indem man die Dauer mit dem Leerlaufverbrauch multipliziert. ([Was bringt die Start-Stopp-Automatik – außer Ärger?](#)) Aber in den einzelnen Fahranteilen des NEFZ ergibt sich kein Nutzen, weil keine Segelphasen vorgesehen sind. Übrigens auch nicht im WLTP. Die schlichte Wahrheit in der Autoindustrie ist, was im NEFZ oder WLTP nichts bringt, wird auch nicht gemacht. Vor diesem Hintergrund entstand der Vorschlag eines völlig neuen Prüfstandszyklus => siehe [Neue Verbrauchszyklen braucht das Land](#).

Trotzdem wurden vereinzelt Projekte aufgesetzt und Versuchsfahrzeuge aufgebaut, um die Potentiale auszuloten. Dabei erzielte man erstaunliche Ergebnisse. Z.B., dass man durch konsequente Ausnutzung des Segelns bis zu **40 Prozent** Kraftstoff einsparen konnte. Und noch erstaunlicher, dass nur 10 Prozent davon auf das Motorabschalten während der Fahrt entfielen, ganze 30 Prozent aber auf das Segeln als solches. Im Prinzip bestätigten sich damit die Ergebnisse des 3-L Lupo.

Das Segel-Potential zur Kraftstoffeinsparung:

Vom Motor und seinem Schleppmoment wird sehr viel Energie vernichtet. Hindert man den Motor daran, in der Fahrpedalstellung „Null“ Energie zu vernichten, kann man sehr viel Kraftstoff einsparen. Die Betonung liegt auf „kann“, denn die Höhe der Einsparung hängt sehr stark von der Fahrweise ab. Zumindest ist das bei den bisher bekannten Systemen der Fall. Ein paar Fahrsituationen sollten wir uns auf den Spareffekt hin näher anschauen.

Situation 1: Annäherung an eine Ampel



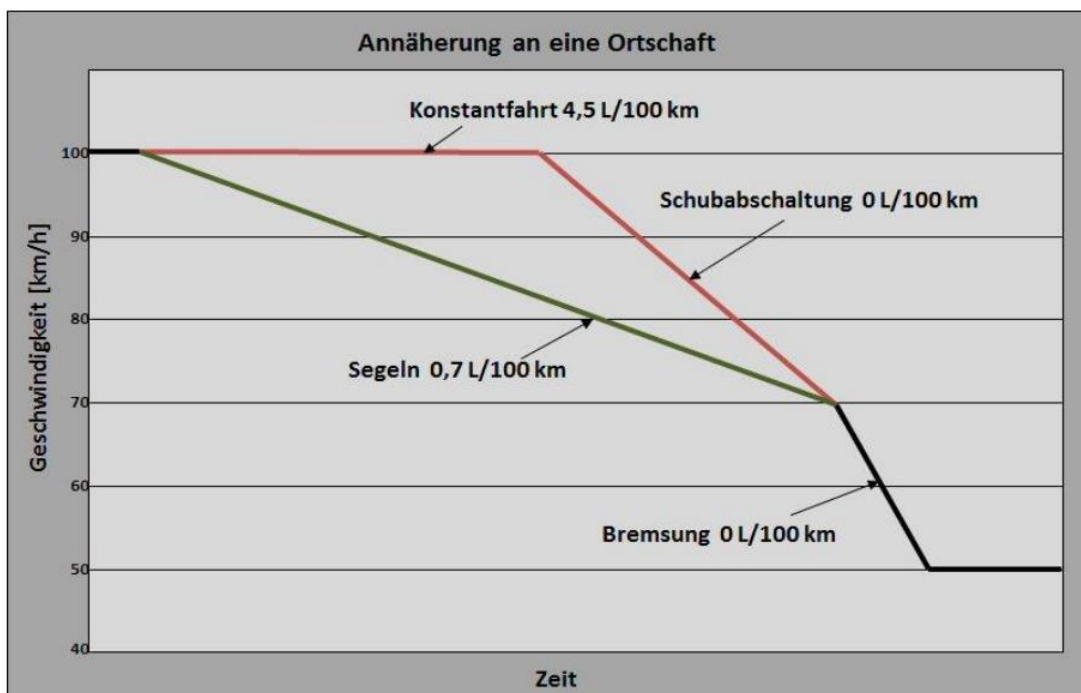
Ein typische Annäherung an eine Ampel läuft z.B. nach folgendem Schema ab: Der Fahrer fährt in der Ortschaft mit einer konstanten Geschwindigkeit von 60 km/h auf die Ampel zu => rote

Linie. Der Verbrauch bei dieser niedrigen Geschwindigkeit betrage 3 L/100 km. Er geht frühzeitig vom Gas und lässt den Wagen in Schubabschaltung rollen. Die letzten Meter bremst er von 30 km/h bis zum Stillstand ab. Bei Schubabschaltung geht der Verbrauch auf Null zurück. Bei annähernd identischer Zeitdauer von Konstantfahrt und Schubabschaltung ergibt das für den roten Bereich einen Verbrauch von **1,5 L/100 km**.

Der „Segler“ geht noch früher vom Gas und segelt bis 40 km/h => grüne Linie. Von hier bis zum Stillstand sind die Verbräuche identisch. Während des Segelns befindet sich der Motor im Leerlauf. Der Verbrauch im Leerlauf betrage 0,5 Liter pro Stunde, bei 50 km/h also **1 L/100 km**.

Situation 2: Annäherung an eine Ortschaft

Noch wesentlich beeindruckender fällt der Verbrauchsunterschied auf der Landstraße aus. Als typisches Beispiel wählen wir eine Fahrt mit 100 km/h und die Annäherung an eine Ortschaft.



Bei der Konstantfahrt mit 100 km/h betrage der Verbrauch 4,5 L/100 km. Die Zeitdauer von Konstantfahrt und Schubabschaltung (rote Linie) sei gleich. Der Durchschnittsverbrauch der beiden Fahrzustände errechnet sich auf **2,25 L/100 km**.

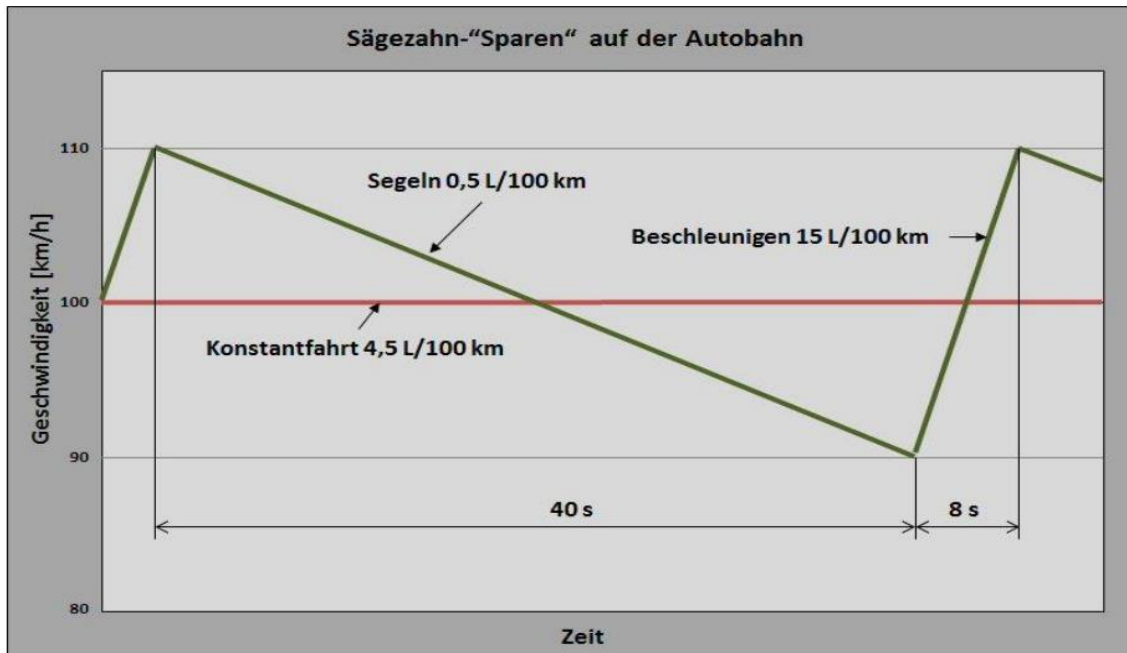
Die Segelphase von 100 bis 70 km/h (grüne Linie) ist wieder exakt so lang wie die Summe aus Konstantfahrt plus Schubabschaltung (rote Linie). Der Leerlaufverbrauch von 0,5 L/h bedeutet bei der Durchschnittsgeschwindigkeit von 85 km/h einen Verbrauch von ca. **0,7 L/100 km**.

Angewandtes Segeln:

So sieht sie aus, die segeltechnisch ideale Fahrweise: Mit wenig Drehzahl, aber kräftigem Gasgeben bis etwas über Wunschgeschwindigkeit beschleunigen, dann Kupplung treten bzw. N einlegen und Segeln. Sinkt die Geschwindigkeit zu weit ab, vorsichtig einkuppeln bzw. auf D schalten und wieder nach derselben Methode beschleunigen. Mit dieser Sägezahn-Fahrweise erzielt man den größtmöglichen Einspareffekt, denn bei dieser Art von Beschleunigung bewegt man sich in der Nähe des optimalen Wirkungsgrades eines Verbrennungsmotors. Wer diese Fahrweise eine gewisse Zeit durchhält wird überrascht sein, wie stark man damit den Kraftstoffverbrauch senken kann. Allerdings ist die Fahrweise anstrengend und will geübt sein. Au-

ßerdem ist sie sicherheitstechnisch nicht ganz unproblematisch, denn im Eifer des Einspar-Gefechts lässt man sich schon einmal näher an den Vordermann heranrollen, als es der Sicherheit zuträglich ist. Auch so manche Kurve wird mit quietschenden Rädern genommen, weil man den energiefressenden Tritt aufs Bremspedal unbedingt vermeiden möchte. Schließlich stört man auch noch empfindlich den Verkehrsfluss der übrigen Verkehrsteilnehmer, was denen vermutlich nicht sonderlich gut gefällt.

Zum Schluss noch eine Methode, wie man auf der Autobahn Verbrauchsrekorde erzielen kann (und gleichzeitig die übrigen Verkehrsteilnehmer ärgern). Es handelt sich um eine optimierte Sägezahnfahrweise.

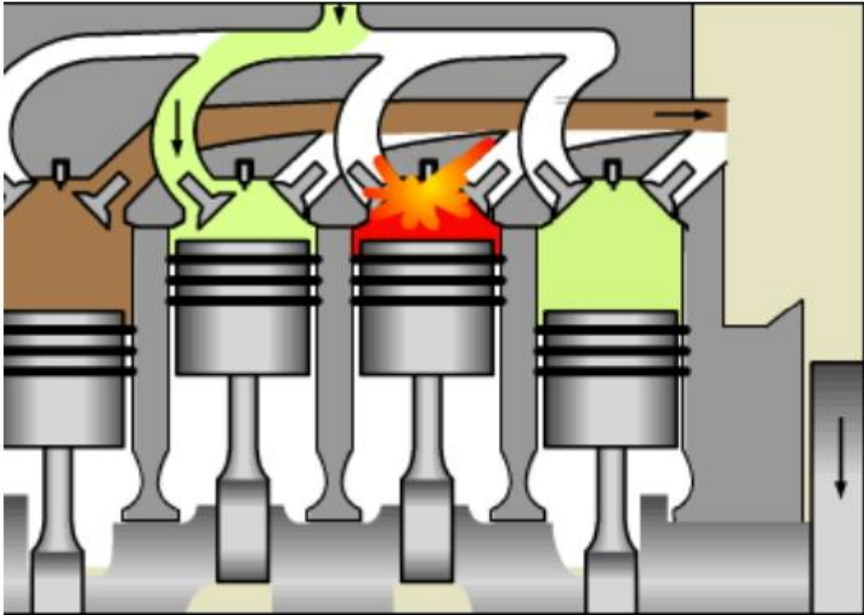


Die Durchschnittsgeschwindigkeit sei 100 km/h, der Verbrauch bei Konstantfahrt **4,5 Liter/100 km**. Die Gebrauchsanleitung lautet: Beschleunige verbrauchsgünstig auf 110 km/h, segle anschließend bis 90 km/h, beschleunige wieder auf 110 km/h usw. Das drückt den Durchschnittsverbrauch auf ziemlich genau **3 L/100km**. Andere Fahrzeuge, andere Verbräuche, andere Geschwindigkeiten, andere Deltas - kein Problem. Für ein beeindruckendes Sparerlebnis spielt das (fast) keine Rolle. Wer's nicht glaubt: Ausprobieren! Aber bitte nur auf der leeren Autobahn und ohne sich und andere Verkehrsteilnehmer zu gefährden. Und Vorsicht mit Automatik-Getrieben, die nehmen das oftmalige Hin- und Herschalten zwischen D und N übel.

Will man das Sparen auf die Spitze treiben, muss man den Motor während des Segelns abstellen. Dann kann man weitere 0,5 L/100 km einsparen. Vom manuellen Abschalten ist aber dringend abzuraten. Womöglich rastet noch das Zündschloss ein, und die Katastrophe ist da. Der 3-Liter-Lupo schaltete den Motor automatisch ab, um das Letzte an Einsparung herauszuholen. Nur mit diesem und ähnlichen Tricks war es möglich, den Verbrauch auf 3 Liter pro 100 Kilometer auch in der Praxis zu drücken, nicht nur beim ECE-Testzyklus.

Warum bremst der Verbrennungsmotor?

Geht der Fahrer/die Fahrerin vom Gas, dann bremst der Verbrennungsmotor. Er mutiert vom Antriebsmotor zur Luftpumpe.



Denken wir uns bei obigem Schaubild den Verbrennungsvorgang weg, erhalten wir folgenden Ablauf:

- Zylinder zwei fängt gerade an, Luft anzusaugen. **Einlassventil offen.**
- Bei Zylinder 4 ist die maximale Luftmenge angesaugt. Der Kolben fängt gerade an, die angesaugte Luft zu verdichten. **Beide Ventile geschlossen.**
- Zylinder drei hat gerade den oberen Totpunkt erreicht. Die angesaugte Luft ist maximal verdichtet. **Beide Ventile geschlossen.**
- Bei Zylinder 1 ist die angesaugte Luft wieder entspannt. Der Kolben fängt gerade an sie auszustoßen. **Auslassventil offen.**

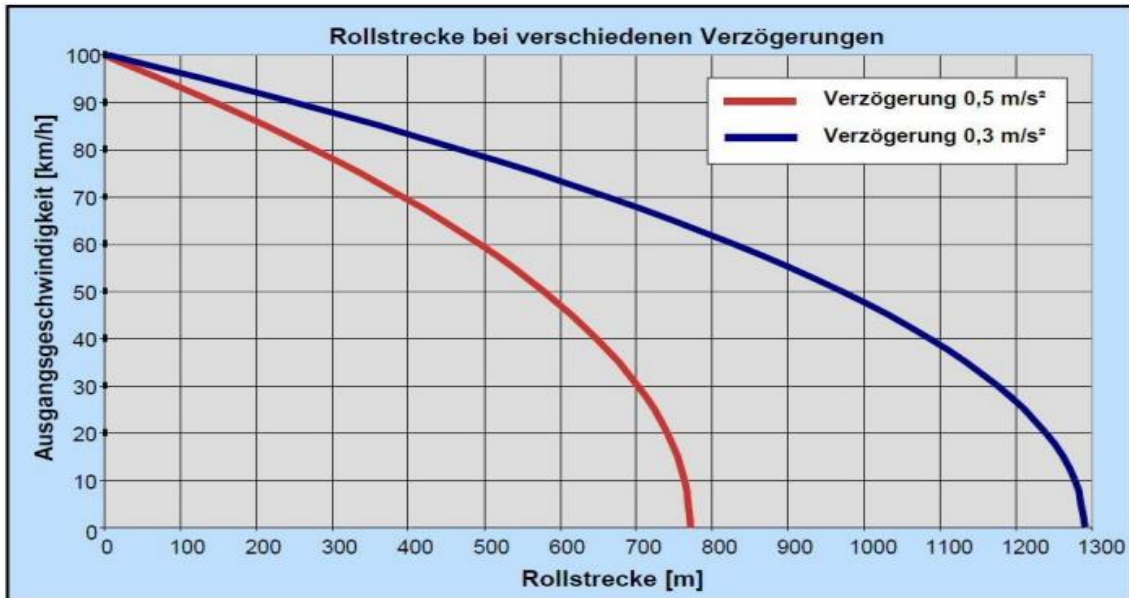
Wollte man den Luftpumpeneffekt vermeiden, müsste man verhindern, dass Luft angesaugt und wieder ausgestoßen wird. Dann würde die eingespernte Luft wie eine Feder wirken, und die zu verrichtende Arbeit fast nur noch von der Kolben- und Kurbelwellenreibung her kommen. Das Verhältnis von Pumpleistung und Reibung beträgt bei den heutigen leichtlaufenden Motoren etwa 80 : 20.

Warum bremst ein Dieselmotor stärker als ein Benzinmotor? Die meisten machen die höhere Verdichtung dafür verantwortlich. Das ist falsch. Der wahre Grund sind die offenen Ansaugquerschnitte. Der Dieselmotor saugt immer die maximale Luftmenge an, und muss sie dann auch wieder ausstoßen. Beim Benzinmotor ist im Schleppbetrieb die Drosselklappe geschlossen, entsprechend wenig Luft wird angesaugt und ausgestoßen. Wollte man beim Benzinmotor die gleiche Schleppleistung erzielen wie beim Diesel, müsste man lediglich die Drosselklappe öffnen. (Warum der Dieselmotor trotz der höheren Bremsleistung deutlich weniger verbraucht als der Benzinmotor, ist vielen Technikern und auch Motorexperten nicht bekannt. Meistens werden die offenen Ansaugquerschnitte dafür verantwortlich gemacht. Auch das ist falsch.)

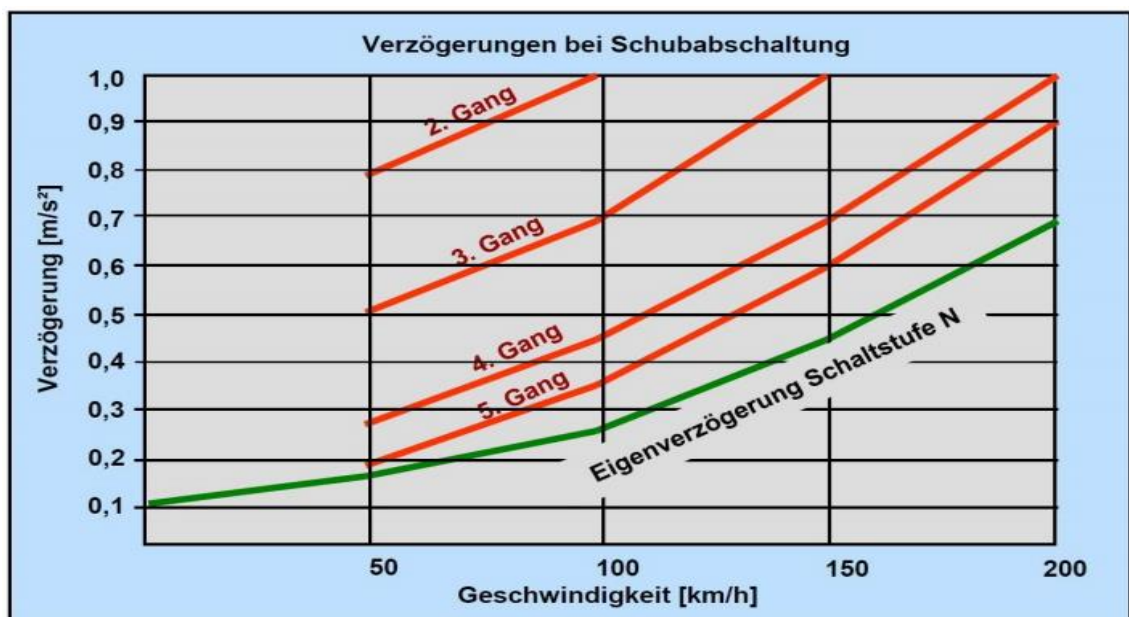
Das Segeln in Zahlen:

Nimmt man dem Motor die Leistung weg, die er zum Vortrieb benötigt, dann bremst er. Wer einmal die Bremswirkung des Verbrennungsmotors live erleben möchte, muss nur die Kuppelung treten oder den Gang herausnehmen. Dann segelt das Fahrzeug, gebremst nur noch durch Luft und Rollwiderstand. Ziemlich überrascht wird man feststellen, wie langsam sich die

Geschwindigkeit abbaut und wie weit der Wagen rollt, wenn der Verbrennungsmotor nicht an der Bremswirkung beteiligt ist.

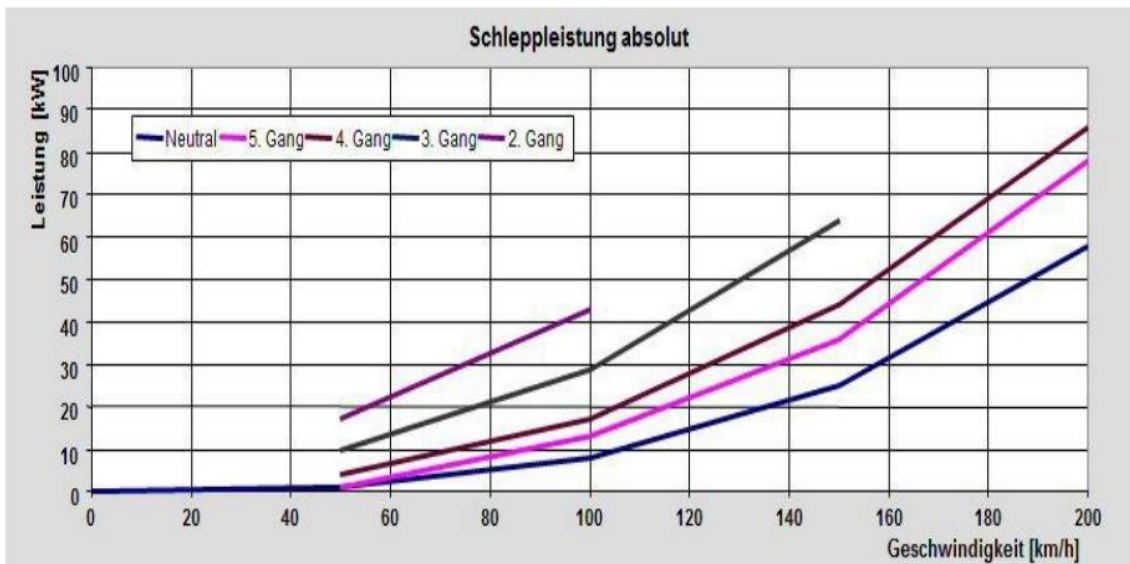


Im nächsten Schritt ermitteln wir die Verzögerungen in den einzelnen Gangstufen eines Fünfganggetriebes mit und ohne bremsenden Motor.

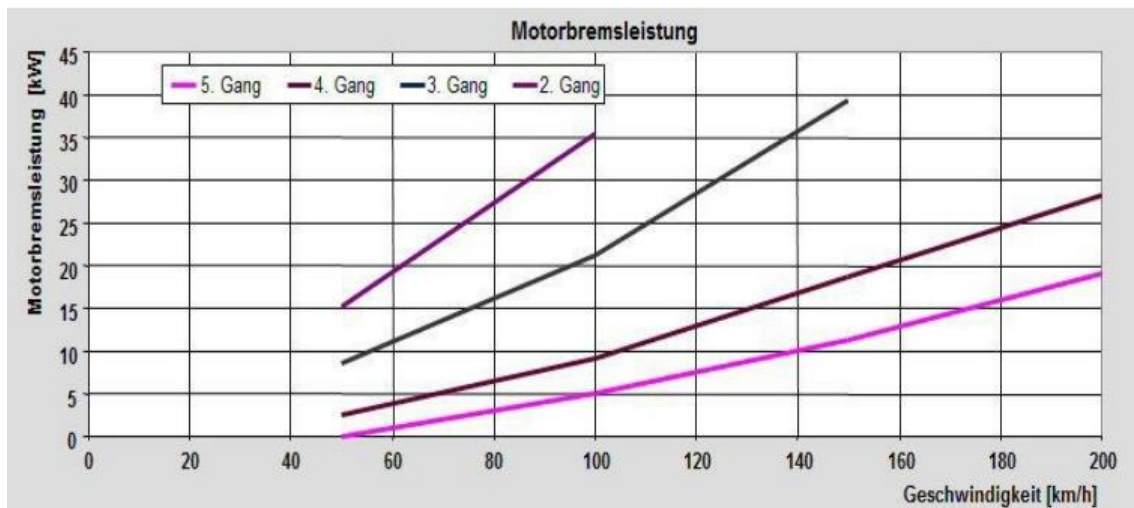


Der progressive Anstieg der Eigenverzögerung ohne bremsenden Motor (grün) ist zum größten Teil auf den Luftwiderstand zurückzuführen. Dazu addiert sich die Bremswirkung des Motors, die bei steigender Drehzahl linear zunimmt (rot). Bemerkenswert ist, dass die Verzögerung im fünften Gang auch bei 200 km/h nicht über 1 m/s² hinausgeht. Der Unterschied in der Verzögerung zwischen fünfter Gangstufe und der Eigenverzögerung beträgt gerademal 0,1 m/s² bei 100 km/h und 0,2 m/s² bei 200 km/h. Auch in den anderen Gangstufen liegt das Limit der Verzögerung bei 1 m/s². Diese Werte werden später bei der Auslegung der Rekuperation noch eine Rolle spielen.

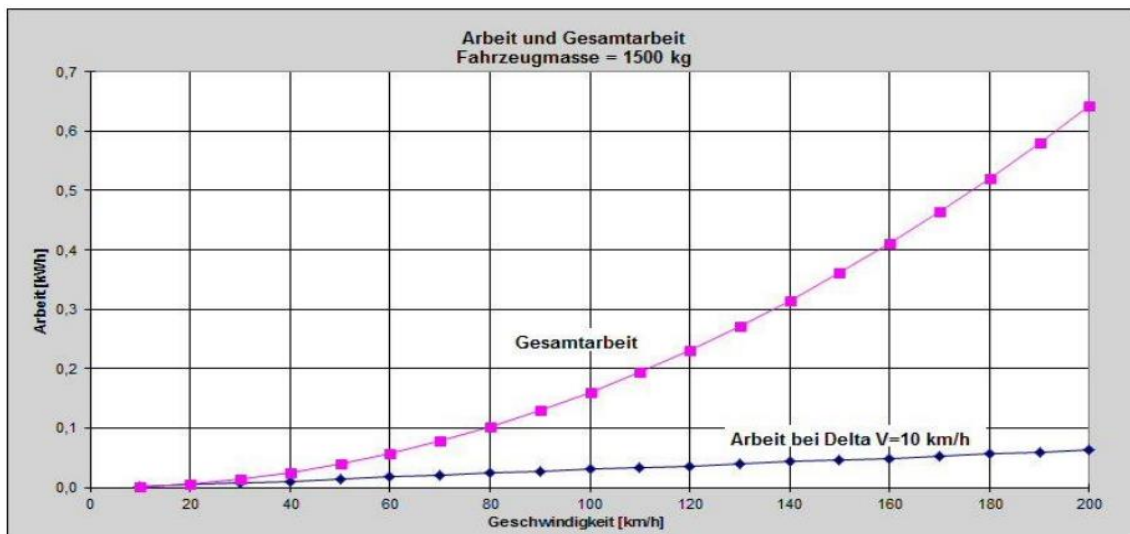
Interessanter noch als die Verzögerung ist die reine Leistung. Rechnet man die Verzögerung auf die Leistung um, ergibt sich das folgende Bild.



Zieht man die Eigenverzögerung ab, erhält man die reine Schleppleistung des Verbrennungsmotors.



Kleine Ursache, große Wirkung, das ist die Botschaft aus diesen Diagrammen. Fehlt eigentlich nur noch die Arbeit (= Energie), die bei diesen Leistungen verrichtet wird.



Dabei ist es für die Arbeit, also die vernichtete Energie weitgehend unerheblich, ob die Verzögerung mit 1 oder 5 oder 10 m/s² erfolgt. Entscheidend ist (fast) ausschließlich die Differenz zwischen Anfangs- und Endgeschwindigkeit. Natürlich ist die Bremswirkung mit 5 m/s² fünfmal stärker, dafür beträgt die Dauer nur ein Fünftel. Auch dieses Phänomen wird später bei der Auslegung der Rekuperation wichtig.

Das bremsende Gaspedal

In der Fahrbarkeit spielt das Motorschleppmoment eine große Rolle. Geht der Fahrer vom Gas, setzt automatisch das Schleppmoment ein. Es erleichtert ihm die Regelung der Längsdynamik ganz entscheidend. Meistens bewegt man sich im Kolonnenverkehr, bei dem man nur selten auf das Bremspedal tritt und die Geschwindigkeit ausschließlich mit dem Gaspedal regelt. Wie lässt sich dieser Umstand mit dem Segeln vereinbaren?

Das Problem ist vielschichtig.

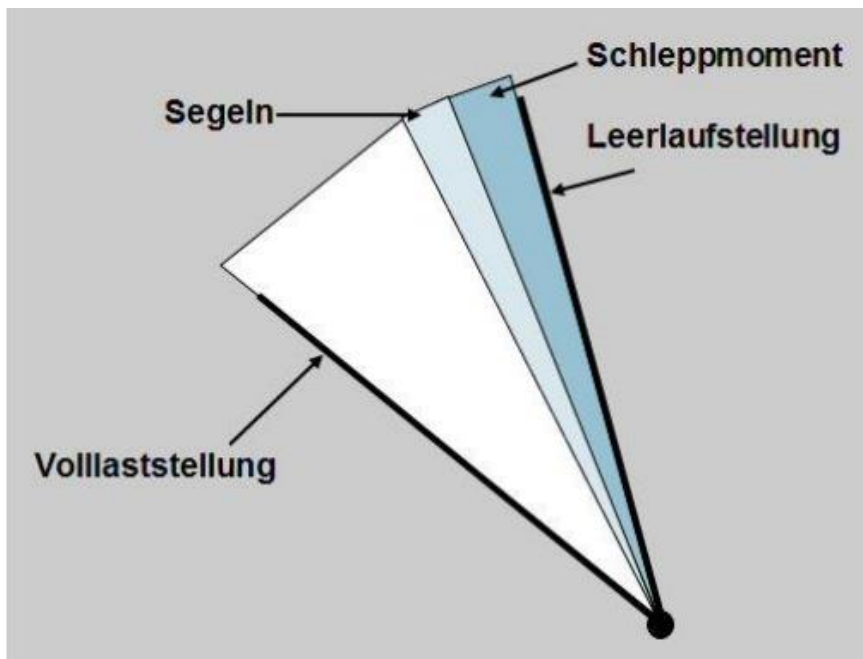
1. Dem Fahrer darf die Aufgabe der Beherrschung der Längsdynamik nicht erschwert werden. So wie beim Lupo geht es auf keinen Fall.
2. Das Segeln ist so zu integrieren, dass der Fahrer davon nichts merkt. Er soll es intuitiv nutzen, egal ob bewusst oder unbewusst.
3. Das gewohnte Schleppmoment ist in der Gaspedalstellung „Null“ herzustellen, egal mit welchen Methoden.
4. Wie hoch darf das maximale Schleppmoment sein, ohne den Fahrer zu irritieren?

Versetzen wir uns zurück in die 90er Jahre. Was stand damals zur Verfügung, und was gab es alles noch nicht? Vieles war damals in Entwicklung, das meiste ohne Aussicht auf einen Serieneinsatz. Ein paar Beispiele:

- Kurbelwellen-Starter-Generator in Verbindung mit 36 Volt Bordnetz. Damit hätte man das Schleppmoment simulieren können und sogar Rekuperation betreiben.
- Ultra-Caps: Ein Schwachpunkt bei der Rekuperation mit dem KSG war die Batterie. Li-Ion-Batterien waren damals noch unbekannt, andere Batterieformen für Rekuperation untauglich. Verfügbar waren aber **Ultra-Caps**. Sie bestehen durch hohe Leistungsaufnahme und beliebige Zyklisierbarkeit. Genau richtig für Rekuperation im Normalbetrieb. Der Nachteil der geringen speicherbaren Energiemenge lässt sich vermeiden, indem man die zurückgewonnene Energie sofort wieder in den nächsten Beschleunigungsvorgang steckt.
- Elektromechanischer Ventiltrieb, ein High-Tech-Overkill-Projekt für zig-Millionen. Damit hätte man Zylinderabschaltung realisieren können, um die Pumpverluste zu vermeiden.
- Variable Getriebe mit Übersetzungsstufe unendlich. Damit hätte man das Schleppmoment von null bis Maximum regeln können.

Hätte, hätte, Fahrradkette. Man konnte sich auf diese Projekte nicht verlassen, denn das Scheitern war bereits abzusehen (für den, der es sehen wollte). Aber es gab elektronische Einspritzung und Zündung, das elektronische Gaspedal und die automatisierte Kupplung. Auf diese Bausteine musste man aufsetzen.

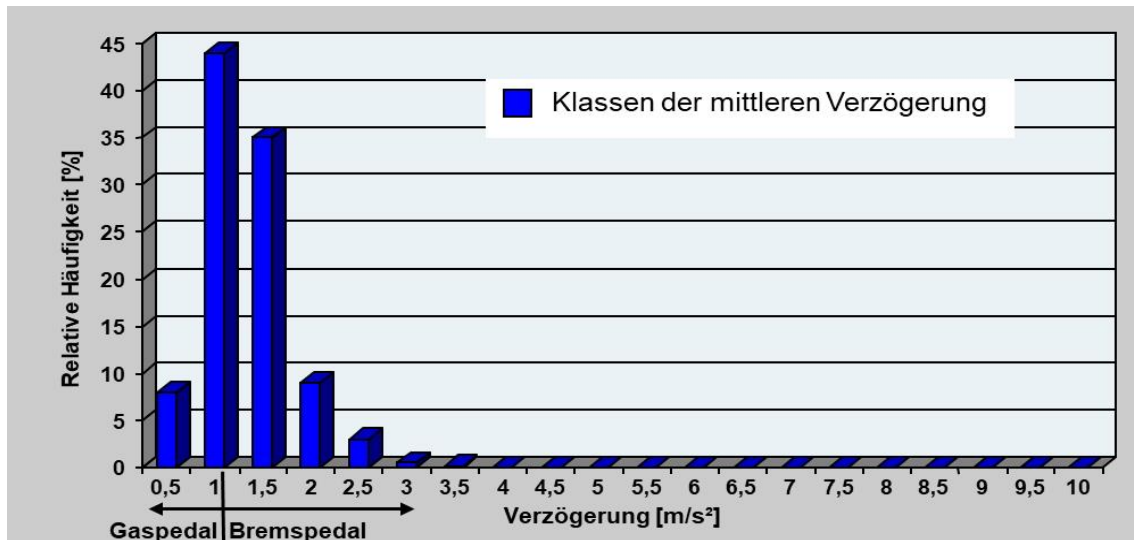
Geht man beim konventionellen Antrieb bei Konstantfahrt langsam mit dem Gaspedal zurück, wird das Fahrzeug langsamer. Der Motor gibt aber immer noch Leistung ab bis zu dem Punkt, wo Eigenverzögerung erreicht ist. Dann setzt die Schubabschaltung ein. Will man das Segeln in die Fahrpedalkennlinie integrieren, muss man vor der Schubabschaltung einen Segelbereich dazwischenschalten.



Idealerweise ist auch das Schleppmoment dosierbar, vor allem, wenn man über das gewohnte Niveau hinauswill. Um das Segeln intuitiv verfügbar zu machen, sollte der Segelbereich einen bestimmten Winkel überschreiten. Der Fahrer durchläuft diesen Bereich automatisch, sowohl beim Verzögern als auch beim Beschleunigen. Der Ablauf beim Verzögern ist klar, anders sieht es aus beim Beschleunigen. Hier muss man berücksichtigen, dass eine Reduzierung der Verzögerung dem Fahrer subjektiv wie eine Beschleunigung vorkommt. Der Vorgang spielt sich dann folgendermaßen ab: Das Motorschleppmoment wirkt, der Fahrer gibt langsam Gas, der Schleppmoment baut sich ab und die damit verbundene Verzögerung ebenfalls. Dann folgt der Bereich des Segelns. Beim weiteren Betätigen des Gaspedals wird der Verbrennungsmotor aktiv und das Fahrzeug beschleunigt weiter.

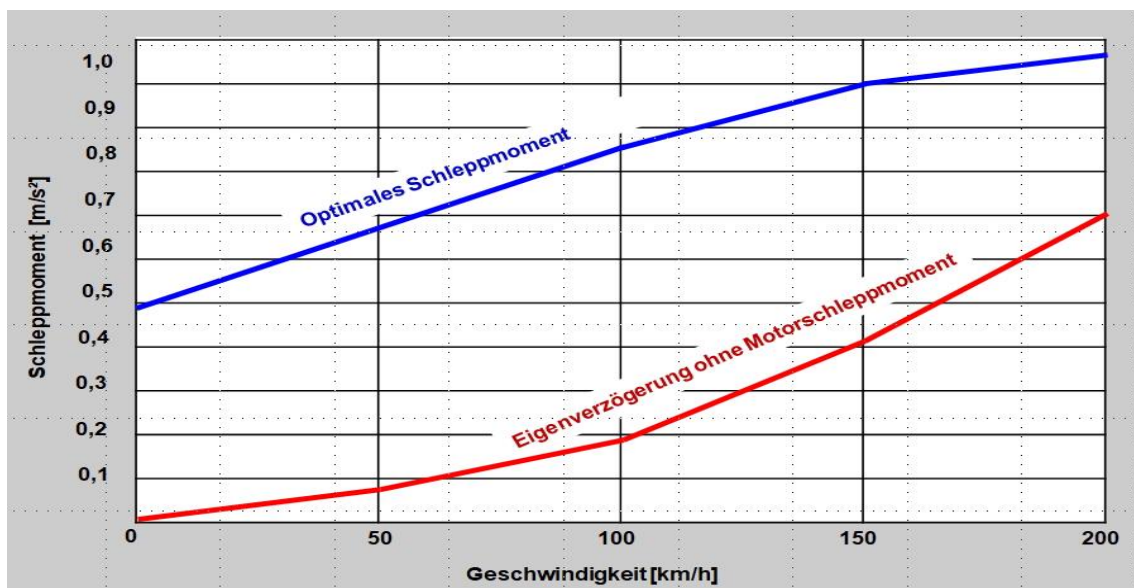
Bei den heute ausnahmslos verwendeten elektronischen Fahrpedalen ist eine derartige Auslegung problemlos per Software darstellbar. Der Fahrer wird nicht bevormundet. Er nutzt das Segeln unbemerkt, ohne einen Unterschied zum normalen Verhalten festzustellen. Der Nutzen richtet sich danach, wie vorausschauend der Fahrer zu Werke geht, also wie geschickt er das Segeln in seiner Fahrweise berücksichtigt. Der ungeübte Fahrer ohne bewusstes Nutzen des Segelns erreicht eine Verbrauchsreduzierung von mindestens 10 Prozent. Geübte Fahrer, die den virtuellen Umgang mit dem Segeln beherrschen, können bis zu 30 Prozent Einsparung erreichen.

Besteht die Möglichkeit, das Schleppmoment in seiner Höhe zu beeinflussen, taucht sofort die Frage auf, wie hoch man damit gehen darf, ohne den Fahrer zu irritieren oder zu einer verkrampten Fußhaltung zu zwingen. Eine Versuchsreihe gibt Aufschluss. Als erstes ist zu ermitteln, wie häufig Verzögerungen auftreten, und zwar nicht nur durch Betätigungen des Bremspedals, sondern auch durch Bremsungen mittels Motorschleppmoment. Das Ergebnis lässt sich in Klassen einteilen.



Man sieht, dass sich das meiste im Bereich bis 1 m/s^2 abspielt, wofür ausschließlich der Motor verantwortlich ist. Darüber kommt noch die Betriebsbremse dazu, die aber bei den Verzögerungen bis $2,5 \text{ m/s}^2$ lediglich gestreichelt wird. Meistens handelt es sich nur um den allerletzten Eingriff bei einem Ampelstopp. Bremsungen oberhalb von 3 m/s^2 haben Seltenheitswert. Sie kommen so gut wie nie vor und sind deshalb statistisch irrelevant.

Als zweites muss man versuchen herauszufinden, welche Schlepp-Verzögerungen der Fahrer ohne Anstrengung beherrschen kann und gerade noch als angenehm empfindet.



Die gezeigte Kennlinie ist mit Vorsicht zu genießen, und ist keinesfalls verbindlich. Sie soll zeigen, dass es für das echte bzw. simulierte Schleppmoment eine Obergrenze gibt, die man tunlichst nicht überschreiten sollte. Diese Obergrenze ist bei Bedarf mittels Versuchen zu definieren.

Rekuperation heute:

Im Beitrag vom 11.04.2016 mit dem Titel [Segeln: Mechanismus – Methode - Verbrauchseinsparung](#) heißt es in der Schlussbemerkung:

*„Wenn sich das Segeln derart positiv auf den Verbrauch auswirkt, bleibt zum Schluss eigentlich nur die Frage: Warum konnte es sich bisher nicht durchsetzen? Die einfache Antwort: Weil es im ECE-Zyklus keine Rolle spielt, nur im Praxisverbrauch. Wieder ein Beweis dafür, dass die Fahrzeuge verbrauchsseitig nur für den ECE-Zyklus optimiert werden und nicht für den Kunden. Und zwar weltweit, nicht nur bei deutschen Fabrikaten. Auch wenn die Prüfzyklen demnächst geändert werden, das reale Verhalten auf der Straße bilden sie trotzdem nur unvollkommen ab. Denn das meiste Verkehrsgeschehen spielt sich im Kolonnenverkehr ab. Und hier bewegt man sich **nicht Geschwindigkeitsorientiert** wie am Prüfstand, sondern **Abstandsorientiert**. Letzteres beinhaltet viele Segelphasen, das Geschwindigkeitsprofil eines Prüfstandstests keine einzige. Denkbar schlechte Aussichten für das Segeln.“*

Inzwischen löste der HLTP den NEFZ ab. Leider brachte er dem Segeln keinen Vorteil. Da musste erst Elon Musk kommen mit seinen Laptop-Batterien als Energiespeicher für den Elektroantrieb. Er brachte Bewegung in die Antriebslandschaft, und enorme Turbulenzen in die Entwicklungsabteilungen sämtlicher Hersteller. Überall wurde heftig am Elektroantrieb gewerkelt.

Der reine Elektroantrieb:

Kaum liefen die ersten Versuchsfahrzeuge mit Elektroantrieb, ging den damit befassten Kollegen eine Glühbirne auf. Hoppla, damit kann ja nicht nur antreiben, sondern auch bremsen. Und elektrisch Bremsen bedeutet automatisch Bremsenergie-Rückgewinnung. In der Anfangseuphorie über diese „bahnbrechende“ Entdeckung schoss man mit der Verzögerung via Gaspedal mächtig über das Ziel hinaus. Bis zu 2 m/s^2 wurden realisiert und auf die Versuchspersonen losgelassen, mit dem Ergebnis, dass sich jeder darüber beschwerte. Schnell kehrte Ernüchterung ein, und die Bremswirkung über das Fahrpedal wurde auf ein vernünftiges Maß reduziert, in der Größenordnung von 1 m/s^2 . Eine schöne Bestätigung der Versuchsergebnisse mit dem „Bremsenden Gaspedal“.

Mit ein Grund für die hohe Verzögerung über das Fahrpedal war der Irrglaube, damit mehr Energie zu rekuperieren. Sicher kann man die eine oder andere kurzzeitige Bremsung über die Betriebsbremse vermeiden. In der Gesamtheit der rekuperierbaren Energie fallen diese nicht ins Gewicht.

Und wo bleibt das Segeln? Der Elektroantrieb hat's gut, was das Segeln anbetrifft. In der Position des Fahrpedals, bei der weder Vortrieb noch Verzögerung erfolgt, segelt das Fahrzeug automatisch. Anders als der Verbrennungsmotor hat der Elektromotor in dieser Position kein Schleppmoment, Deshalb wird auch keine Energie vernichtet, bis auf unerhebliche Reibungsverluste.

Wenn Ingenieure sich nicht sicher sind, was der Kunde möchte, überlassen sie die Einstellung von Parametern gerne dem Fahrer. Sie nennen es dann Individualisierung. Z.B. bei der Dämpferhärte (weich, mittel, hart), der Lenkungskenlinie (direkt, normal, indirekt), oder der Fahrpedalkenlinie (normal, sportlich). Selbiges gilt auch für die Rekuperationsleistung. Einige Hersteller bieten dem Fahrer/der Fahrerin mehrere Kennlinien an, von wenig bis zu etwas heftigerer Bremsleistung. Aus denen kann er/sie sich die passende aussuchen. Neulinge in der Elektrowelt wählen vielleicht eher die gemäßigte Kennlinie, geübten Fahrern ist vielleicht die kräftigere Variante lieber. Der Unterschied in der rückgewonnenen Energie dürfte marginal sein.

Aber ausnahmslos alle, die Gelegenheit hatten, mit Elektroautos zu fahren, sind von der Möglichkeit begeistert, die Längsdynamik fast ausschließlich mit Fahrpedal zu erledigen.

Der Hybridantrieb:

Eigentlich muss es heißen, **die** Hybridantriebe. Denn es gibt eine schier unübersehbare Anzahl von Varianten: Große und kleine Batterien, starke und schwache Motoren, mit und ohne Plug-In, usw. Sogar der KSG feiert fröhliche Urständ, er nennt sich jetzt großspurig Mild-Hybrid, und die Spannung beträgt 48 Volt und nicht mehr 36 Volt wie vor 40 Jahren. (Mit 48 Volt bleibt man immer unter der für Menschen ungefährlichen Spannung von 60 Volt. Auch Rasenmäher und Heckenscheren mit Akkubetrieb nutzen diesen Spannungslevel.)

Um dem Namen „Hybrid“ gerecht zu werden, muss man mit beiden Motoren fahren können, ohne Unterstützung durch den anderen. Für das Segeln und die Rekuperation ergeben sich unter diesen Randbedingungen ganz neue Aspekte.

Verrichtet der Elektroantrieb die Aufgabe des Vortriebs, ist die Situation die Gleiche wie beim reinen Elektroantrieb. Beim Fahren mit Verbrennungsmotor steht jetzt der Elektroantrieb parat, und kann die Simulation des Schleppmoments übernehmen. Einziger Unterschied zum reinen Elektrofahrzeug: Die Batterie ist wesentlich kleiner, deshalb muss man bei der Rekuperation aufpassen, selbige nicht zu überfordern. Die Energie wäre sonst verschenkt. Das probate Mittel dazu ist, wie bereits geschildert, die rückgewonnene Energie sofort wieder in den nächsten Beschleunigungsvorgang zu investieren.

Fehlt „nur“ noch die Trennung des Verbrennungsmotors vom Antriebsstrang. Aber die ist auch zum rein elektrischen Fahren bereits notwendig. Also steht dem Segeln und der Rekuperation über das Fahrpedal nichts mehr im Wege.

Schleppenergierückgewinnung vs. Bremsenergierückgewinnung

Vielleicht ist Ihnen aufgefallen, dass wir bisher nur über das Fahrpedal gesprochen haben, nicht über das Bremspedal. Heißt nicht der Oberbegriff Bremsenergierückgewinnung? Zur Unterscheidung reden wir hier von Bremsenergierückgewinnung nur dann, wenn das Bremspedal betätigt wird.

Jetzt wird es spannend. Angenommen, wir wollen ein Fahrzeug verzögern. Wir setzen voraus, dass die Schleppenergierückgewinnung bereits aktiv ist. Weil das aber nicht reicht, müssen wir zusätzlich die Betriebsbremse bemühen. Sehr zum Leidwesen der Ingenieure wird damit die Energie oberhalb der Schleppenergie an den Radbremsen in Wärme umgewandelt und kann nicht rekuperiert werden.

Was ist also zu tun? Man muss verhindern, dass das Bremspedal (steht hier für die gesamte Bremsbetätigungsanlage) Druck aufbaut, bevor die Bremswirkung der Rekuperation ausreicht, das Fahrzeug wie gewünscht zu verzögern. Dazugibt es mehrere Ansätze:

1. Man misst den Leitungsdruck, und erzeugt analog dazu die Bremskraft mit dem Rekuperationssystem. Man muss allerdings verhindern, dass Druck in die Radbremsen gelangt, was aber ein unschönes Pedalgefühl erzeugt.
2. Man verlängert künstlich den Pedalweg und misst ihn. Dann kann man analog dazu die Bremskraft am Rekuperationssystem regeln. Auch das wirkt sich negativ auf das Pedalgefühl aus.
3. Man nimmt ein Brake by Wire-Bremssystem, bei dem sich Rekuperationssystem und Bremssystem ergänzen, und in jedem beliebigen Fall die zur Pedalbetätigung passende

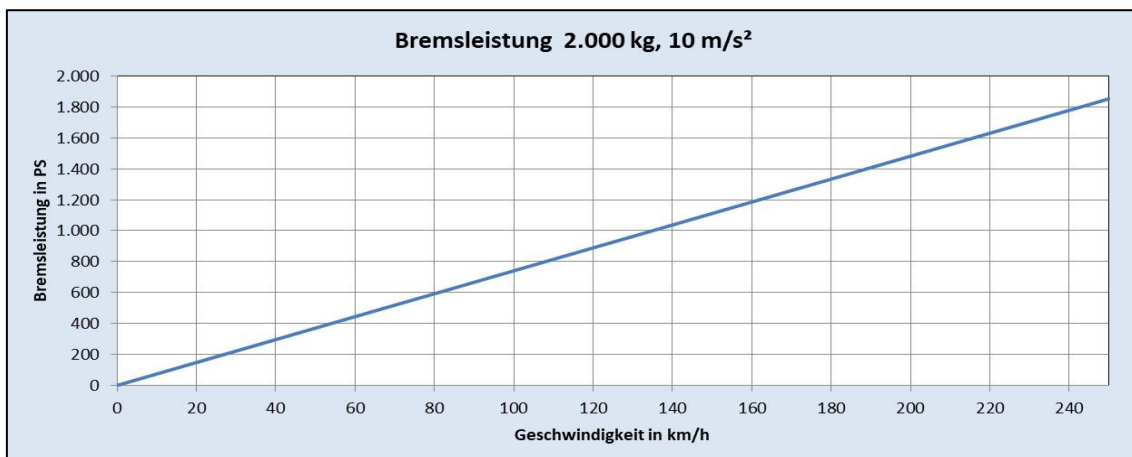
Bremskraft erzeugen. Leider, resp. zum Glück, sind sämtliche Ansätze in dieser Richtung wieder von der Bildfläche verschwunden.

4. Man entwickelt einen Bremskraftverstärker, bei dem die starre Zuordnung zwischen Bremspedal und Radbremsen aufgehoben ist. Damit kann man wie beim BbW eine Gesamt-Bremsbilanz ziehen, ohne das Pedalgefühl zu beeinträchtigen.
5. Man nutzt das Bremslichtschaltersignal als Trigger, um die elektrische Bremskraft zu erhöhen, bevor die Betriebsbremse einsetzt.
6. HA-Brake by Wire: Wird weiter unten ausführlich behandelt.

Mögliche Bremsleistung durch Rekuperation:

Bevor wir uns für oder gegen eine dieser Methoden entscheiden, müssen wir uns überlegen, für welches Fahrzeug bzw. welches Antriebsprinzip sie sich eignen. Sehen wir uns einmal die Kennlinie Leistung über Verzögerung an. Dazu ein Beispiel:

Gegeben sei ein Fahrzeug mit zwei Tonnen Gewicht, das mit 10 m/s^2 abgebremst werden soll.



Welches Fahrzeug verfügt überhaupt über solche elektrischen Leistungen? Das ist schon die erste Einschränkung bei dieser Betrachtung. Zum besseren Überblick teilen wir die Elektrofahrzeuge in Kategorien ein.

- Kategorie 1: Elektrofahrzeuge der High-End –Klasse, wie z.B. Audi e-Tron quattro.
- Kategorie 2: Elektrofahrzeuge der Mittelklasse wie VW id-4
- Kategorie 3: Elektrofahrzeuge der Kleinwagenklasse wie Mini SE
- Kategorie 4: Plug-In Hybridfahrzeuge
- Kategorie 5: Mild-Hybridfahrzeuge

Dann sehen wir uns an, wie die einzelnen Kategorien mit den Bremsleistungen zurechtkommen.

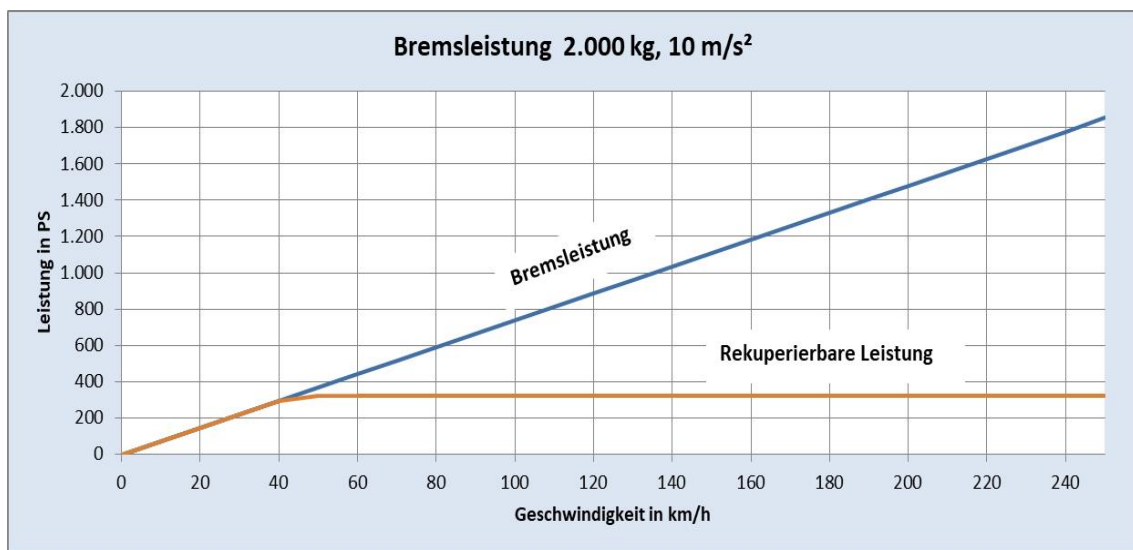
Kategorie 1: Elektrofahrzeuge der High-End Klasse wie Porsche Taycan

Der Antrieb des Porsche Taycan Basismodell mobilisiert 380 PS im Normalbetrieb. Der Antrieb des Audi e-Tron quattro ist mit dem des Porsche identisch. Der Porsche wiegt 2.200 Kilogramm, der Audi 2.350 Kilogramm. Bemerkenswert ist, dass die maximale Leistung von der Batterie abhängt, nicht von den Elektromaschinen. Beide Fahrzeuge verfügen über Allrad, wie es sich für diese Preisklasse gehört.

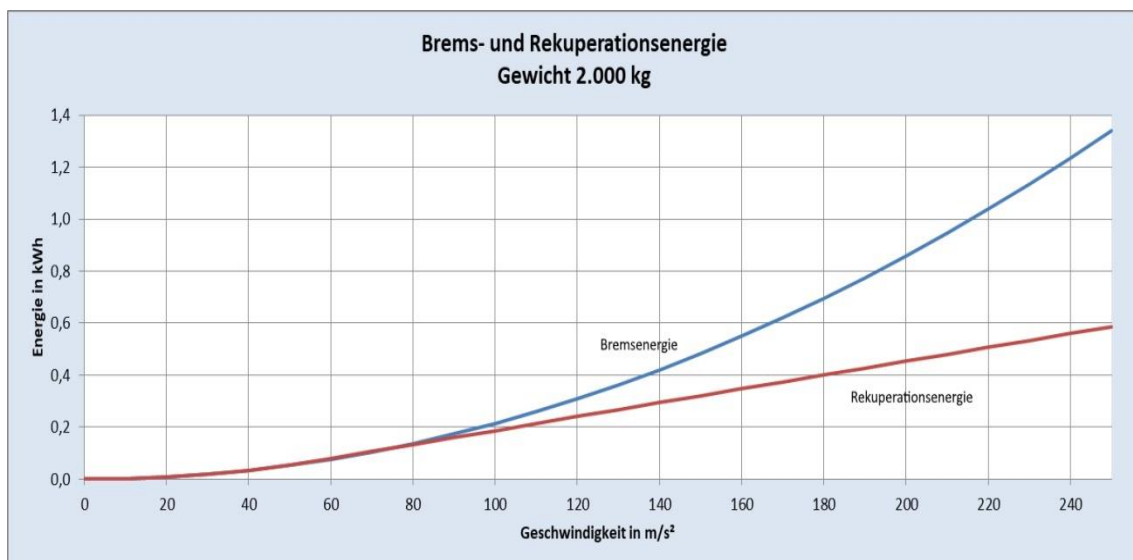
Bei der Abschätzung der maximalen Rekuperationsleistung muss man von der Maximalleistung ausgehen. Allerdings sollte man in die Batterie höchstens $\frac{2}{3}$ der maximalen Entnahmelistung einspeisen, in unserem Fall wären das etwa 320 PS. Porsche selbst erlaubt 370 PS maximale Ladeleistung. Die beschränkt sich allerdings nur auf einen SoC von maximal 50 Prozent, darüber nimmt das Lademanagement die Leistung deutlich zurück. Batterien sind für hohe Entladeleistungen bekannt, das Aufladen ist nicht ihre Stärke.

Ein Unterschied zur Schnellladestation besteht trotzdem. In der Ladestation wird die Energie in batterieverträgliche Werte umgewandelt. Die Verlustwärme fällt außen an. Bei der Rekuperation muss die Umwandlung innerhalb stattfinden, mit dem damit verbundenen Wirkungsgrad und der Wärmeentwicklung.

Was kann man mit 320 PS an Bremsleistung anstellen? Dazu nehmen wir ein Fahrzeug mit 2.000 Kilogramm und verzögern es mit 10 m/s^2 . Diese Bremsverzögerung ist mit der Porschebereifung auf trockenem Asphalt problemlos möglich.



Man erkennt zwei Einschränkungen: Bis etwa 50 km/h könnte die Rekuperationsleistung höher sein, oberhalb 50 km/h ist nur noch ein Bruchteil der Bremsleistung rekuperierbar. Das wirkt sich auch deutlich auf die wiedergewonnene Energie aus.



Bis die rekuperierte Energie im Speicher angekommen ist, gehen nochmals 30 Prozent durch Umwandlungs- und Speicherverluste verloren. Das Ende vom Lied:

Von 1,3 kWh Gesamtbremsenergie bleiben lediglich 0,4 kWh übrig.

Wer glaubt, damit wieder auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigen zu können, unterliegt einem gewaltigen Irrtum. Die Beschleunigungszeit auf 250 km/h beträgt etwa 15 Sekunden. In dieser Zeitdauer liegen permanent 460 kW an. Das summiert sich auf eine Energie von 1,9 kWh, die auf die Straße gebracht werden müssen. Durch die Wirkungsgrade von Batterie-entladung, Steuergerät und Elektromotoren von gesamthaft ca. 60 Prozent muss die Batterie 3,2 kWh liefern. Rekuperation bringt zwar verbrauchte Energie zurück, aber nur einen Bruchteil. In unserem Fall etwa ein Achtel.

Damit das Radbremssystem nicht die verfügbare Bremsenergie alleine auffrisst, dürfen die Radbremsen erst eingreifen, wenn die Rekuperation an ihrem Limit angelangt ist. Da aber beides über das Bremspedal gesteuert wird, müssen die Radbremsen vom Pedal entkoppelt werden. Das gewohnte Pedalgefühl muss aber erhalten bleiben. Ideal geeignet wären Brake by Wire-Systeme, die sich aber, wie erwähnt, nicht durchsetzen konnten. Die Hersteller von Bremsanlagen wie Conti/Teves und ZF/TRW entwickeln deshalb elektromechanische Bremskraftverstärker, die dieses Problem lösen sollen.

Nebenbei bemerkt, der Porsche Taycan Turbo S kann mit seiner Batterie von 84 kWh die Höchstleistung von 460 kW ganze 11 Minuten abrufen. Für eine schnelle Runde auf dem Nürburgring könnte das knapp reichen – aber nur in der Theorie. Denn dem dauerhaften Einsatz der Höchstleistung schiebt Porsche einen Riegel vor, um die temperaturempfindlichen Bauteile wie Batterie, Elektronik und Motor nicht zu überlasten. Einen Langstreckenpokal werden die Schwaben damit nicht gewinnen. Näheres unter [Langsam reicht's mit dem sog. Schnellladen](#).

Kategorie 2: Elektrofahrzeuge der Mittelklasse, wie z.B. VW iD-4

Können Sie sich einen VW iD-4 auf dem Nürburgring vorstellen? Dessen natürliches Habitat sind Stadt und Landstraße, und dessen natürliche Fortbewegungsart sind Schleichfahrt und Cruisen ohne heftige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge. Die o.g. statistische Erhebung zeigt, dass selten stärker als mit 2 m/s^2 gebremst wird. Dieses Ergebnis kam mit Verbrennungsmotoren ohne Segeln und mit Schleppmomenten deutlich unter 1 m/s^2 zustande. Mit BEVs bekäme man ein völlig anderes Ergebnis. Bei einem Schleppmoment von 1 m/s^2 gehen die Bremsungen mit dem Bremspedal deutlich zurück. Die gesamte Längsdynamik über das Fahrpedal abzuwickeln ist einfach zu verlockend. Das Bremspedal hat Sendepause.

Auch Autobahnen sind im Grunde genommen feindliches Territorium für BEVs. Autobahnen meiden wird zur Standardeinstellung im Navi-System. Und falls man sich doch auf eine verirrt, wird man sich hüten, die wertvollen Elektronen mit Geschwindigkeiten über 120 km/h zu verheizen. Da können unsere Politiker Schnellladestationen bauen, soviel sie wollen.

Für das Rekuperationssystem bedeutet das, dass man sich über die Schleppenergie-Rückgewinnung hinaus keine Gedanken machen muss. Viel ist da für den Normalfahrer nicht zu holen. Anders als vielleicht bei sportlich orientierten Zeitgenossen und Genossinnen, die es ab und zu krachen lassen - wenn man bei Elektrofahrzeugen von „Krachen“ reden kann. In diesen Fällen spielen Stromverbrauch und Rekuperation keine Rolle. Die beste Reichweitenverlängerung ist immer noch der vernünftige Umgang mit dem Fahrpedal.

Ein weiterer Umstand verhindert eine signifikante Steigerung der Rekuperationsleistung, die Sicherheit in Form von Bremsstabilität. Der bei BEVs gebräuchliche Heckantrieb erlaubt keine hohen Bremskräfte. Auf Schnee und Eis, oder bei Nässe in der Kurve muss man höllisch aufpassen, die Hinterachsstabilität nicht zu überfordern. Wenn die Betriebsbremse einsetzt, ist die Bremswirkung an der Hinterachse sogar noch weiter zu senken. Bei Heckantriebsfahrzeugen mit Verbrennungsmotor muss bei ungünstigen Randbedingungen das Motorschleppmoment sogar reduziert werden – durch Gasgeben. Mit dem ABS Gasgeben – mal was anderes.

Für die 120-Prozent Ingenieure, und die sind leider in der Überzahl, sind solche Überlegungen völlig unbefriedigend. Was tun? Einen sündhaft teuren elektromechanischen Bremskraftverstärker einbauen wie bei den High-End-Produkten, für ein paar Kilowattsekunden? Das werden die Controller zu verhindern wissen. Oder die Tricks mit dem Pedalweg und der Pedalkraft? Alles, was das Pedalgefühl verändert, ist mit Vorsicht zu genießen. Der Mensch reagiert auf Abweichungen vom Gewohnten sehr empfindlich.

Vielleicht lassen sich ohne Zusatzaufwand über den Bremslichtschalter noch ein paar Watt Rekuperationsleistung rauskitzeln. Bei seinem Ansprechen könnte man die Verzögerung durch die Elektromaschine von 1 auf 1,5 m/s² erhöhen, natürlich unter Einhaltung der Stabilitätskriterien. Dementsprechend niedriger ist dann der erforderliche Druck in den Radbremsen, falls man diesen überhaupt noch benötigt.

Kategorie 3: Elektrofahrzeuge der Kleinwagenklasse, wie z.B. Mini SE

Kleinwägen sind noch stärker kostengetrieben als Mittel- und Kompaktklasse. Effizienz, also das Verhältnis von Aufwand und Ergebnis steht im Vordergrund. Abweichungen von der Massenproduktion verbieten sich von selbst. Was bleibt, neben dem ohnehin vorhandenen Segeln und der Schleppenergieerückgewinnung? Nicht viel, höchstens die Idee mit dem Bremslichtschalter. Mehr ist nicht sinnvoll.

Kategorie 4: Plug-In-Hybridfahrzeuge

Man kann es nicht oft genug wiederholen, Hybridfahrzeuge sind Fahrzeuge mit Verbrennungsmotor und elektrischem Hilfsmotor. Entsprechend kümmerlich fallen die elektrischen Komponenten aus, seien es die Maschinen oder die Batterien. Für hohe Rekuperationsleistungen sind sie gänzlich ungeeignet.

Ihr größtes Plus gegenüber reinen Verbrennungsfahrzeugen ist die Möglichkeit des Segelns und der Simulation der Schleppleistung. In dieser Hinsicht entsprechen sie den Elektrofahrzeugen der Kleinwagenklasse. Aufgrund der geringen Kapazität ist der kontrollierte Umgang mit der gespeicherten Energie noch wichtiger. Am besten eignet sich das Instant-Rein-Raus-Prinzip, also die beim Verzögern gespeicherte Energie bei der nächsten Beschleunigung **sofort** wieder zu investieren.

Kategorie 5: Mild-Hybrid-Fahrzeuge

Diese Kategorie profitiert in erster Linie vom Segeln. Bremsenergieerückgewinnung ist möglich, aber nur in ganz bescheidenem Rahmen.

Top-Down oder Bottom-UP:

Früher war es üblich, Innovationen zuerst in der Luxusklasse anzubieten, um sie dann nach und nach von oben nach unten in die anderen Klassen einfließen zu lassen. Beispielsweise Einspritzanlagen, ABS, ESP, ... Obwohl, gerade das ESP markierte einen Endpunkt in diesem Vorgehen. Schuld daran war ein schwedisches Großsäugetier, der Elch, der ein deutsches Kleinfahrzeug, den Mercedes A1, auf die Seite legte – die Geburtsstunde des ESP für alle.

Seitdem blieben viele High-Tech Entwicklungen in der Oberklasse stecken und verschwanden wieder von der Bildfläche. Bei den meisten handelte es sich um Prestigeprojekte der Entwicklungs- und Konzernchefs, egal ob Piëch, Schrempp, Zetsche, Reitzle, Göschel oder wie sie alle hießen. Auch Zulieferfirmen waren und sind nicht frei davon. Bosch, ContiTeves, ZF, TRW usw., alle haben ihre Leichen im Keller. Alle meinten, mit High-Tech ihr Image als besonders innovative und leistungsstarke Entwicklungspartner aufpolieren zu müssen.

Das Thema „High-Tech-Steckenpferde“ der Top-Manager bietet ausreichend Stoff für einen eigenen Beitrag. Vielleicht zu einem späteren Zeitpunkt. Ein paar dieser Fehlentwicklungen auf der Motorseite bespricht der geniale Motorpapst Prof. Fritz Indra in dem YouTube-Kanal „Alte Schule“ unter <https://www.youtube.com/watch?v=bW1yIp-N5ZU>)

Große Firmen können Fehlentwicklungen einigermaßen verkraften, manch kleinerer Firma wuchsen die Dinge schnell über den Kopf. Das Problem bei derartigen Projekten ist nicht das, was sie machen, sondern das was sie **nicht** machen, weil sie alle Kapazitäten in die Prestigeprojekte stecken. Eine wichtige Entwicklung zu verschlafen richtet mehr Schaden an, als etliche nicht erfolgreiche Grundsatzuntersuchungen zu finanzieren. Das wusste schon Paul Kuhn mit seinem Schlager „[Die Fahrt zum Mond](#)“.

Deshalb kann die Botschaft nur lauten, alles was nicht das Potential aufweist, bis ganz nach unten in die kleinste Klasse zu diffundieren, hat keine Chance.

HA-Brake by Wire

Will man nicht nur Schleppenergie rückgewinnen sondern auch Bremsenergie, muss man verhindern, mit dem Bremspedal Druck aufzubauen. Bewusst wurde bei den technischen Lösungen dafür die elektromechanische HA-Bremse nur kurz erwähnt. Sie ist es wert, gesondert darüber zu berichten.

Die große Masse der BEVs besitzt Heckantrieb, bis auf ein paar Ausnahmen mit Allrad. Was liegt näher, die Bremskraftbilanzierung zwischen Rekuperationsleistung und Bremsleistung an der Hinterachse vorzunehmen. Dazu benötigt man ein Hinterachs-BbW. Dieses basiert auf **elektromechanischen Bremssätteln** und idealerweise einer **Pedalkraftmessung**. Steigt der Fahrer aufs Bremspedal, baut sich an der Hinterachse Bremskraft auf. Die kann vom Elektromotor oder von den Bremssätteln kommen. Für den Fahrer ist das gewohnte Pedalgefühl am wichtigsten, woher die Bremskraft kommt ist ihm herzlich egal.

- Den Entwicklungsingenieuren von hydraulischem ABS und ESP ist es nicht egal, denn sie verlieren die Hälfte ihrer Bauteile.
- Den Verantwortlichen für den Bremskraftverstärker ist es auch nicht egal, denn die brauchen jetzt statt eines Tandemgeräts nur noch ein Einfaches.
- Den Ingenieuren für die elektromechanische Feststellbremse ist es nicht egal. Sie verlieren ihr Bauteil komplett.

- Dem Bremsenversuch ist es nicht egal, denn viele Abstimmungen können ganz einfach über Software vorgenommen werden.
- Den Herstellern von Bremssätteln ist es nicht egal, können doch mit einer einzigen Sattelvariante eine komplette Baureihe, womöglich sogar mehrere Baureihen ausgestattet werden.
- Der Bremsleitungshersteller ärgert sich, weil er pro Fahrzeug einige Meter Bremsleitung verliert.
- Die Hersteller von Vakuumpumpen ärgern sich, weil sie wesentlich kleinere und billigere Pumpen bauen müssen.

Aber es gibt auch Stellen die sich darüber freuen:

- Der Einkauf freut sich über riesige Stückzahleffekte.
- Der Fahrdynamiker freut sich, weil sich dadurch viele Möglichkeiten bieten, mit Bremseneingriffen die Fahrdynamik auszureizen, ohne die Fahrstabilität zu gefährden.
- Die Packageleute freuen sich über kurze Bremspedalwege, kleinere Bremsgeräte und kleinere DSC-Anlagen.
- Die Verantwortlichen für das Pedalgefühl freuen sich über schnelles Ansprechen und beste Dosierbarkeit.

Das genügt fürs Erste. Die vielleicht beste Nachricht ist, dass diese Bremssättel nicht nur in BEVS mit Heckantrieb einsetzbar sind, sondern überall - in Hybridfahrzeugen genauso wie in reinen Verbrennerfahrzeugen, ganz egal ob Front-, Heck- oder Allradantrieb.

Längsdynamik-Management

Energierückgewinnung ist ein typisches Beispiel für die Verflechtung von Brems-Management und Antriebsmanagement. Man muss sich wundern, dass es nicht schon längst einen Hersteller gibt, der ein Längsdynamikmanagement aus einer Hand anbietet. Vielleicht liegt es daran, dass die einen sich auf den Antrieb konzentrieren, die anderen auf die Bremsen. Jeder wacht eifersüchtig über seine Domäne.

Geradezu prädestiniert wäre eine Firma wie ZF, die auch das komplexe Thema Getriebe meistert. Da geht es nicht nur um die Entkopplung des Motors vom Antriebsstrang für das Segeln, sondern auch um eine Rückbesinnung auf einfache, kostengünstige Lösungen. Automatikgetriebe mit immer noch mehr Gängen, mit integriertem Allrad und integrierter Elektromaschine, Varianten über Varianten – das kann nicht der Weisheit letzter Schluss sein. Anregungen dazu im Blog unter dem Schlagwort [Hybridantrieb](#).

Im diesem Blog kommt auch die Zylinderabschaltung mittels Einzelventilabschaltung zur Sprache. Damit kann man 3-, 2-, 1- bis hin zu 0-Zylinderbetrieb realisieren. Mit dieser Methode schafft man beim Verbrennungsmotor, speziell beim Benzinmotor, einen Quantensprung in der Verbrauchseinsparung.

Was geht, was bleibt, was kommt?

In Modezeitschriften sind diese Artikel fester Bestandteil über die Trends der Sommer- und Wintermode. Diese Fragen kann man auch in der Autobranche stellen. Aber nicht hier an die-

ser Stelle. Vielleicht zu einem anderen Zeitpunkt und in anderem Zusammenhang. Es bleibt auf jeden Fall spannend.

„Auf Dauer hat nur das Einfache Erfolg.“ (Clausewitz)

Jacob Jacobson

www.der-autokritiker.de