

Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, in früheren Lektionen haben wir gesehen, dass die drei Energieszenarien der Schweiz markante Einsparungen im Bereich der treibstoffbetriebenen Fahrzeuge vorsehen. So soll der Treibstoffverbrauch bis 2050 im Rahmen der neunten Energiepolitik gegenüber 2011 um mehr als die Hälfte reduziert werden, wie wir in diesem Diagramm sehen können. In dieser Lektion erläutern wir nun die verschiedenen Möglichkeiten, die uns zur Verfügung stehen, um den Treibstoffverbrauch im Individualverkehr entsprechend reduzieren zu können.

Notes

Summary



0m 04s

Alternativen zur Energieeinsparung

- Langsamverkehr (mittels eigener Muskelkraft)
- Nutzung von Mitfahrgelegenheiten
- Carsharing oder Wagenmiete (reduzierte graue Energie)
- Öffentlicher Verkehr
- Sparsame Fahrweise
- Benutzung von effizienteren, leichteren und schwach motorisierten Fahrzeuge

Energiewende in der Schweiz

Einsparungen können in diesem Bereich einerseits durch unsere Verhaltensweise, aber auch durch technische Fortschritte erzielt werden. Zu der Kategorie Verhaltensweise gehört der sogenannte Langsamverkehr, der Fortbewegungsarten mittels eigener Muskelkraft umfasst. Dazu zählen in erster Linie der Fuß und Veloverkehr, die als eigenständige Mobilitätsform und als Zubringer zu anderen Verkehrsformen über kurze Strecken dienen. Natürlich führt auch die Nutzung von Mitfahrgelegenheiten, auch Carpooling genannt, zu erheblichen Einsparungen, da die Fahrzeuge so besser ausgelastet werden. Das Carsharing in der Schweiz, zum Beispiel durch Mobility, und die Wagenmiete helfen primär beim Einsparen von grauer Energie und dienen als komplementäre Verkehrsform zu anderen Verkehrsmitteln, zum Beispiel zur Bahn. Große Energieeinsparungen können natürlich auch durch vermehrtes Benutzen von öffentlichen Verkehrsformen, Bahn, Stadt und Regionalbusse, erreicht werden. Verschiedenste Studien haben mittlerweile auch klar aufgezeigt, dass eine sparsame Fahrweise mit dem heutigen Fahrzeugpark ebenfalls zu beträchtlichen Treibstoffeinsparungen führen kann.

Notes

Summary



0m 38s

Alternativen zur Energieeinsparung

- Langsamverkehr (mittels eigener Muskelkraft)
- Nutzung von Mitfahrgelegenheiten
- Carsharing oder Wagenmiete (reduzierte graue Energie)
- Öffentlicher Verkehr
- Sparsame Fahrweise
- Benutzung von effizienteren, leichteren und schwach motorisierten Fahrzeuge

Energiewende in der Schweiz

Eine wichtige Rolle spielt natürlich auch die Beschaffung von effizienteren, leichteren und schwächer motorisierten oder alternativ angetrieben Fahrzeugen. Schwächere Motoren laufen vermehrt bei ihrer Nominalleistung, was den Wirkungsgrad steigert und daher den spezifischen Treibstoffverbrauch und die Emissionen reduzieren. Es ist wichtig zu verstehen, dass Sie als Käufer von neuen Fahrzeugen die Zusammensetzung unseres Fahrzeugparks für die nächsten zehn bis fünfzig Jahre beeinflussen.

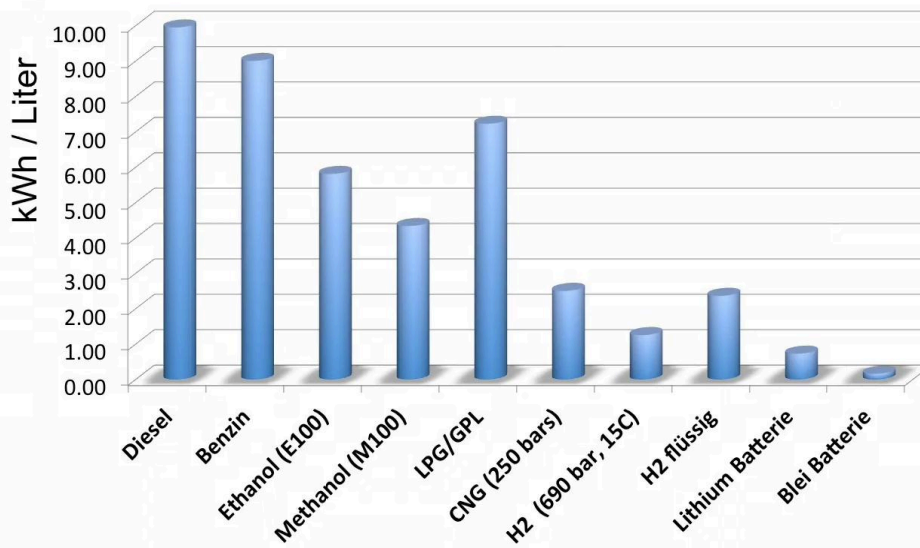
Notes

Summary



1m 52s

Energiedichte von Speichermedium



Energiewende in der Schweiz

Eine wichtige Kennzahl im Vergleich zwischen den verschiedenen Antriebstechnologien für Fahrzeuge ist die Energiespeicherung des primären Energieträgers an Bord und natürlich, wie schnell aufgetankt werden kann. In diesem Diagramm stellen wir die Energiedichte, also die Energie in Kilowattstunden pro Liter Volumen von verschiedenen Energieträgern dar. Links sehen Sie klassische Treibstoffe wie Benzin und Diesel und ganz rechts die Energiedichte von typischen Bleibatterien. Die Verteilung der Balken zeigt klar, weshalb Fahrzeuge heute und sicher auch noch in Zukunft durch Benzin oder Diesel angetrieben werden. Gegenüber modernen Lithiumbatterien weist Diesel eine vierzehnmal höhere Energiedichte auf. Die tiefe Energiedichte von Batterien ist eines der Hauptnachteile von Elektrofahrzeugen, da dadurch ihre Reichweite stark eingeschränkt wird. Dazwischen befinden sich andere Energieträger, die vermehrt als Alternative zu klassischen Treibstoffen ins Feld gezogen werden. Das sind zum Beispiel Ethanol und Methanol, die aus Biomasse hergestellt werden können, komprimiertes Erdgas oder Wasserstoff in gasförmiger oder verflüssigter Form. Außer Ethanol, das mit konventionellen Treibstoffen gemischt werden kann, benötigen die anderen Energieträger alternative Zapfsäulen und Betankungsstellen, was deren Verbreitung natürlich stark hindert.

Notes

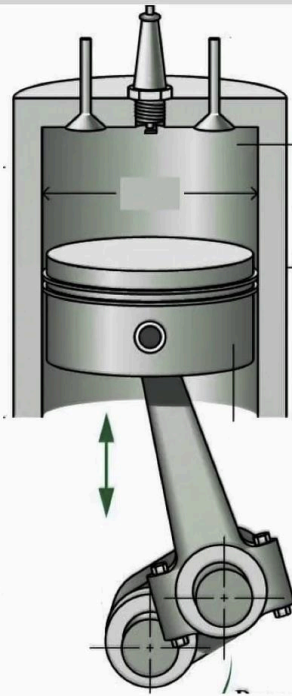
Summary



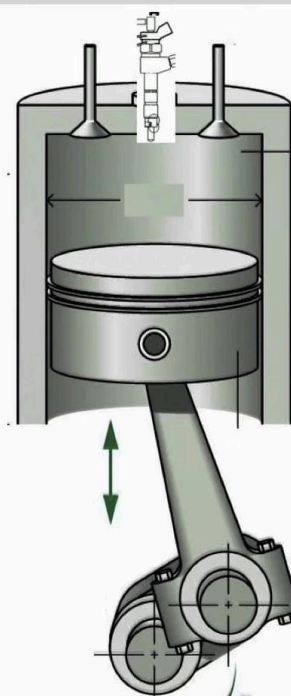
2m 25s

Motorentechnologie im Jahr 2011

- Benzin (2/3)
+ Katalysator
(NO_x, CO, KW)



- Diesel (1/3)
+ Katalysator
+ Partikelfilter



Energiewende in der Schweiz

Im Jahr 2011 waren die Mehrheit der Fahrzeuge mit Kolbenmotoren ausgestattet, zwei Drittel des schweizer Fahrzeugparks waren benzinbetriebene Fahrzeuge mit Dreiwegkatalysatoren, ein Drittel dieselbetriebene mit vermehrtem Einsatz von Partikelfiltern. Hybride und elektrische Fahrzeuge machten 2011 nur etwa 1% des gesamten Fahrzeugparks aus. Alle Verbrennungsmotoren stoßen Schadstoffe in Form von Stickstoffoxiden und unverbrannte Kohlenwasserstoffe aus. Stickstoffoxide, oder auch NO_x genannt entstehen primär während der Verbrennung durch partielle Oxidation bei hohen Temperaturen. Bei Benzinmotoren wird das Luftbenzingemisch häufig vor dem Eintreten in den Zylinder vorbereitet, wird dann komprimiert, bevor es beim oberen Totpunkt des Kolbens durch die Zündkerze zur Explosion gebracht wird. Durch diesen Prozess bedingt, gelangt das Gemisch aber auch zwischen den Kolben und die Zylinderwand, wo es nur schlecht verbrannt werden kann. Es werden dadurch bei jedem Arbeitszyklus unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxide ausgestoßen. Dreiwegkatalysatoren oxidieren diese schädlichen unverbrannten Kohlenwasserstoffe und das Kohlenmonoxid nach und reduzieren ebenfalls den Ausstoß von Stickstoffoxiden.

Notes

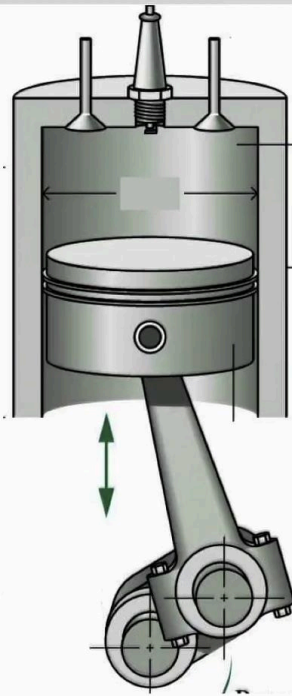
Summary



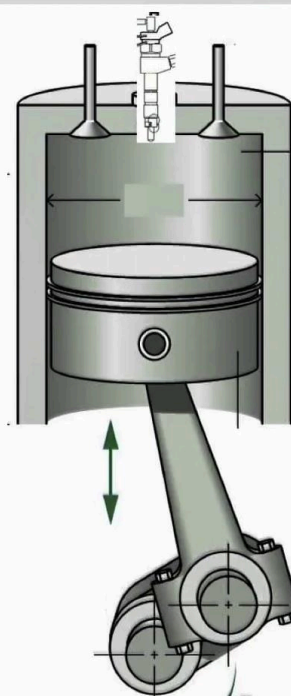
3m 59s

Motorentechnologie im Jahr 2011

- Benzin (2/3)
+ Katalysator
(NO_x, CO, KW)



- Diesel (1/3)
+ Katalysator
+ Partikelfilter



Energiewende in der Schweiz

Bei Dieselmotoren wird zunächst nur die angesaugte Luft komprimiert, der Treibstoff wird dann direkt und unter hohem Druck in den Zylinder eingespritzt, was unmittelbar zu Explosion führt. Zu den Stickstoffoxiden und den unverbrannten Kohlenwasserstoffen stößt der Dieselmotor auch Feinstaub aus, der leider krebserregend ist. Dieser Feinstaub wird heute in sogenannten Partikelfiltern aufgefangen. Obwohl der Dieselmotor gegenüber dem Benzinmotor weit effizienter arbeiten kann, ist er durch den höheren Ausstoß an Stickstoffoxiden und Feinstaub umstritten.

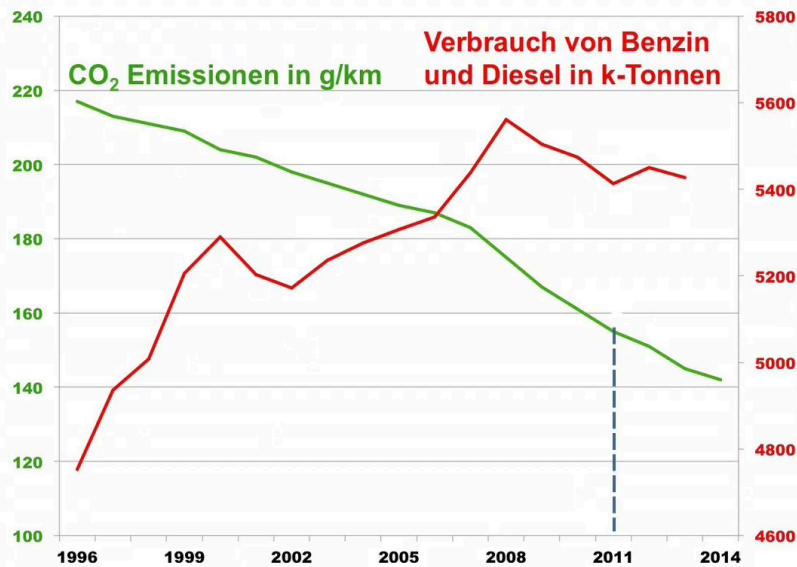
Notes

Summary



5m 26s

Entwicklung von Verbrauch und Emissionen



Energiewende in der Schweiz

Die Verbrennungsmotoren werden kontinuierlich verbessert und die CO₂-Emissionen pro gefahrenem Kilometer nehmen jährlich ab. Dieser sicherlich positive Trend wird auf diesem Diagramm durch die grüne Linie dargestellt. Die rote Linie stellt indessen die Entwicklung des jährlichen Treibstoffverbrauches in der Schweiz dar. Wie man dem Diagramm entnehmen kann ist die Kurve in den letzten zwanzig Jahren stetig angestiegen. Die jährlich gefahrenen Kilometer haben schneller zugenommen als die Effizienzsteigerung der Motoren. Die technologischen Fortschritte wurden also durch die zusätzlich gefahrenen Kilometer wieder wett gemacht. Eine leichte Stabilisierung wurde erst über die letzten fünf Jahre ersichtlich. 2011 hat ein Fahrzeug in der Schweiz im Mittel 150 Gramm CO₂ pro Kilometer ausgestoßen.

Notes

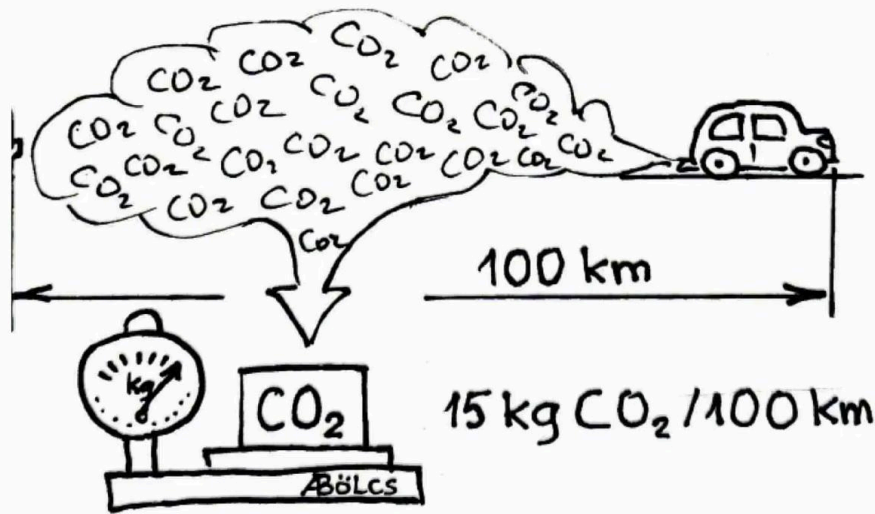
Summary



6m 05s

Die Atmosphäre als Gratis-Abfalleimer

- Jeder Liter Benzin produziert etwa 2.4 kg CO₂



Energiewende in der Schweiz

Das sind etwa 15 Kilogramm CO₂ pro 100 Kilometer. Wenn man das ausgestoßene CO₂ im Fahrzeug speichern würde, dann käme alle 100 Kilometer ein neuer großer Koffer hinzu. Durch den Verbrauch einer Volltankung von 40 Litern Treibstoff werden etwa 100 Kilogramm CO₂ ausgestoßen. Zur Erinnerung, CO₂ entsteht bei der Verbrennung. Die Kohlenstoffatome im Treibstoff werden dabei mit dem Sauerstoff zu CO₂ oxidiert und geben dabei Energie ab. Da die Atmosphäre bis anhin als gratis Abfalleimer betrachtet wurde und die Konsequenzen unklar waren, wurde diesen Emissionen wenig Beachtung geschenkt. Erst seit ein paar Jahren wurden gesetzliche Maßnahmen eingeführt, welche die Herstellung zur Entwicklung von Fahrzeugflotten mit reduziertem CO₂ Ausstoß sanieren. Es ist erwähnenswert, dass der Energieverbrauch im Gebäudesektor schon seit fünfzig Jahren klar reguliert und nach und nach verschärft wurde, sodass keine schlecht isolierten Häuser mehr gebaut werden durften. Während dieser Zeit durfte man immer noch Fahrzeuge auf den Markt stellen, ohne jegliche Einschränkung bezüglich Effizienz.

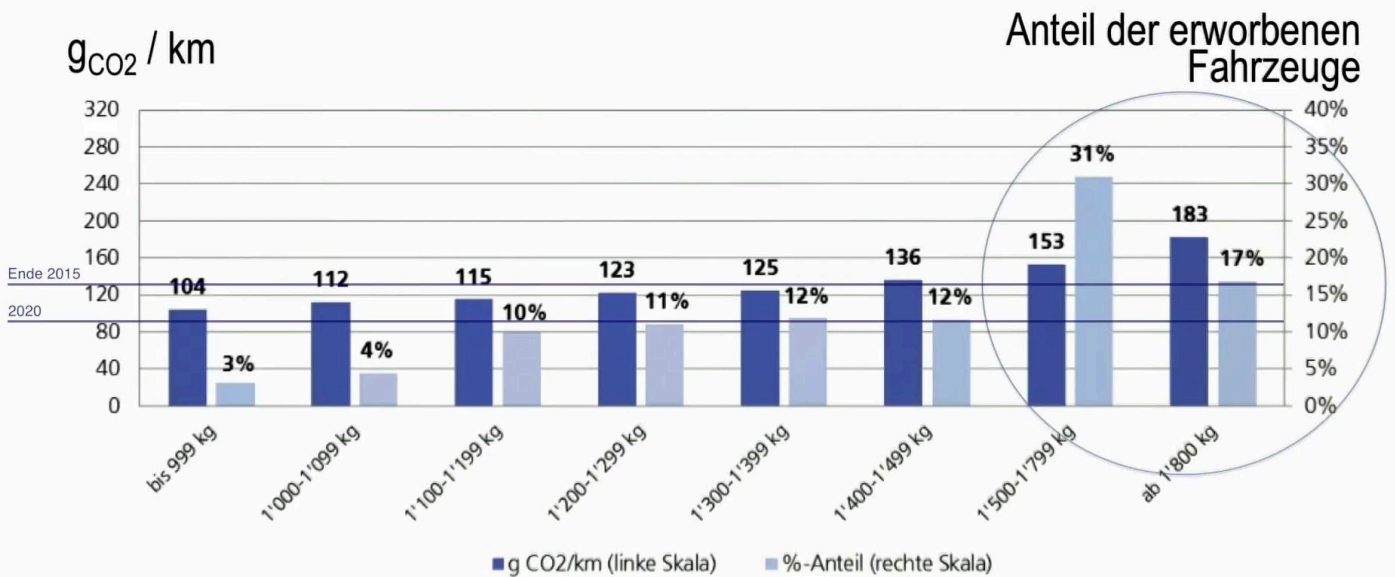
Notes

Summary



7m 02s

CO₂-Emissionen und Leergewicht (2014)



Quelle: Bianchetti R. et al. "Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen" 2014, BFE 11. Juni 2015

Energiewende in der Schweiz

Dieses Diagramm stellt durch die dunkelblauen Säulen die CO₂-Emissionen in Gramm pro Kilometer von Fahrzeugen aus verschiedenen Gewichtskategorien dar. Die hellblauen Säulen stellen jeweils den prozentualen Anteil vom gesamten schweizerischen Fahrzeugpark in der jeweiligen Gewichtsklasse dar. Die Zahlen beziehen sich auf den Stand im Jahr 2014. Die letzten zwei Säulen hier, also Fahrzeuge mit mehr als 1500 Kilogramm Leergewicht, machen in der Schweiz knapp 50% des gesamten Fahrzeugparks aus. Da das Leergewicht die benötigte Leistung direkt beeinflusst, weisen diese Fahrzeuge auch den größten Verbrauch auf und stoßen daher auch weit über 150 Gramm CO₂ pro Kilometer aus. Es ist zu erwähnen, dass der Schnitt 2015 etwa 130 Gramm pro Kilometer erreichen dürfte und dass er bis 2020 auf 90 Gramm pro Kilometer fallen müsste, um mit den europäischen Richtlinien in Einklang zu stehen.

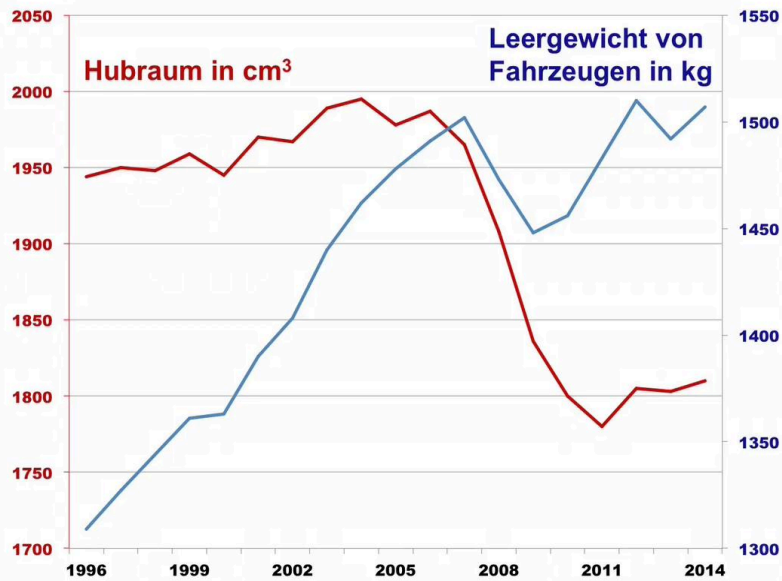
Notes

Summary



8m 15s

Entwicklung von Gewicht und Hubraum



Energiewende in der Schweiz

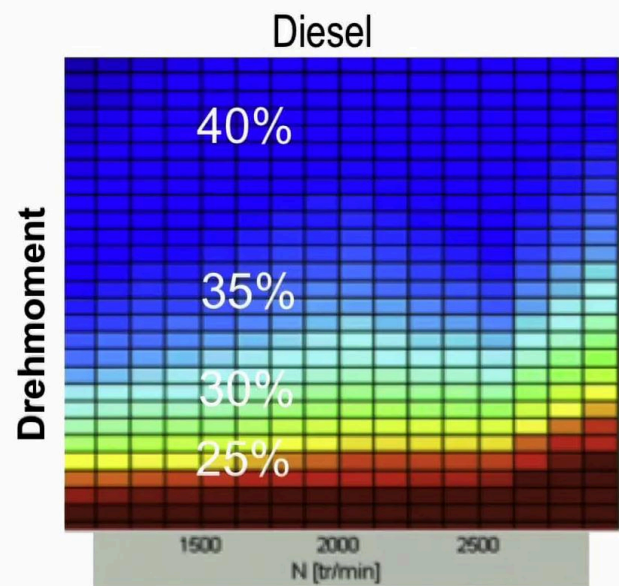
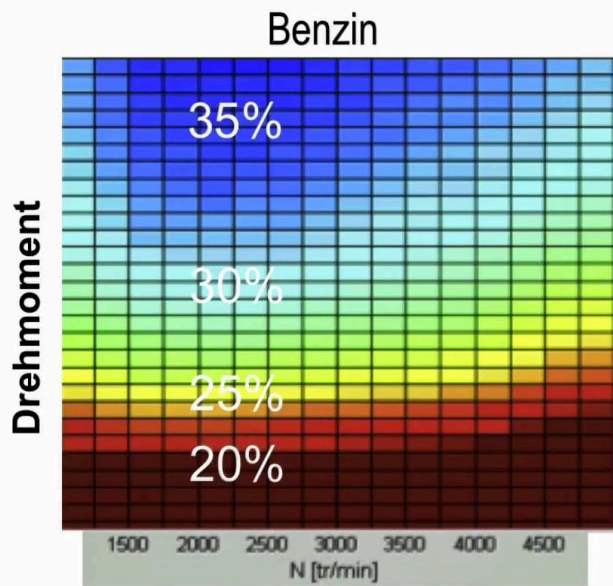
Trotz den Fortschritten in neuen Materialien hat das mittlere Leergewicht von Fahrzeugen in der Schweiz stetig zugenommen, um sich ab 2008 bei etwa 1500 Kilogramm zu stabilisieren. Positiv ist die Entwicklung bei den Verbrennungsmotoren, wo der mittlere Hubraum durch sogenannte Stuntsizing reduziert wurde, um sich bei etwa 1800 Kubikzentimetern, also bei 1,8 Litern zu stabilisieren.

Notes

Summary



Wirkungsgrade von Verbrennungsmotoren



$$\text{Leistung} = \text{Drehmoment} \times \text{Drehzahl}$$

Energiewende in der Schweiz

Der Wirkungsgrad von Verbrennungsmotoren wird häufig in einem Kennfeld über Drehzahl und Drehmoment dargestellt. Links sehen Sie das Kennfeld eines typischen Benzinmotors und rechts von einem Dieselmotor. Die besten Wirkungsgrade werden jeweils bei hohen Drehmomenten, also großer Last und bei moderaten Drehzahlen erreicht.

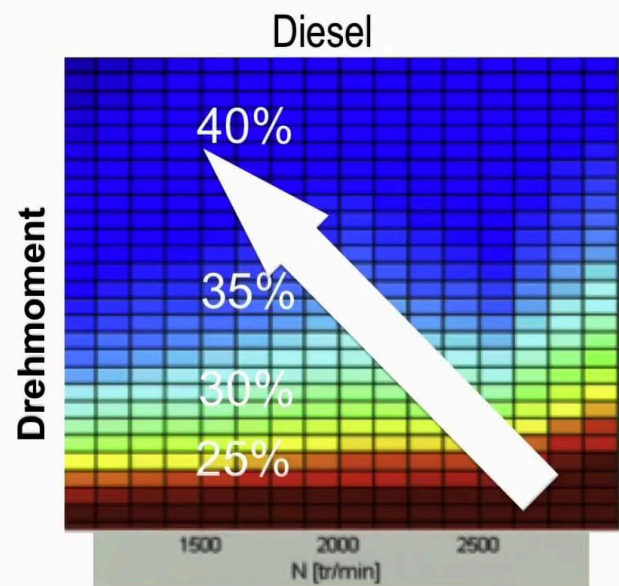
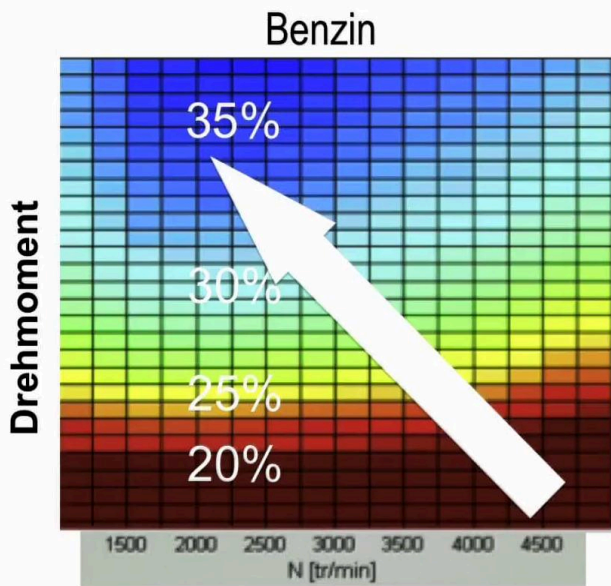
Notes

Summary



9m 54s

Wirkungsgrade von Verbrennungsmotoren



$$\text{Leistung} = \text{Drehmoment} \times \text{Drehzahl}$$

Energiewende in der Schweiz

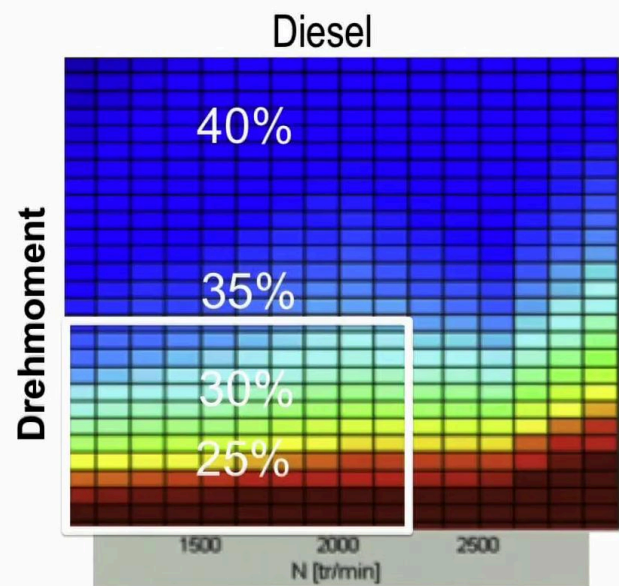
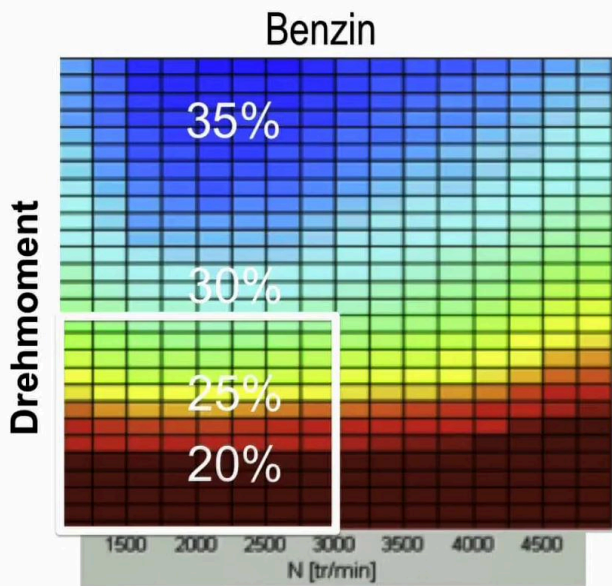
Die momentane Leistung errechnet sich aus dem Produkt von Drehmoment und Winkelgeschwindigkeit, die proportional zur Drehzahl ist. Um eine gegebene Leistung zu liefern, ist es also vom Wirkungsgrad her sinnvoller bei tiefen Drehzahlen und hohem Drehmoment zu arbeiten, anstatt bei hohen Drehzahlen und tiefen Drehmomenten. Sparsame Fahrmethoden empfehlen daher jeweils mit tiefen Drehzahlen zu fahren, um den Motor möglichst nah am jeweils besten Wirkungsgrad, das heißt hier in den blauen Zonen funktionieren zu lassen.

Notes

Summary



Wirkungsgrade von Verbrennungsmotoren



$$\text{Leistung} = \text{Drehmoment} \times \text{Drehzahl}$$

Energiewende in der Schweiz

Die oftmals sehr große Leistung von Verbrennungsmotoren werden lediglich eingebaut, um gute Beschleunigungswerte zu erreichen und natürlich um den Fahrspaß zu erhöhen. Bei konstanter Geschwindigkeit, zum Biespiel auf der Autobahn, werden aber nur sehr bescheidene Leistungen benötigt. So braucht ein typisches Mittelklassefahrzeug bei 120 Kilometer pro Stunde auf einem flachen Abschnitt lediglich 15 bis 20 Kilowatt mechanische Leistung. Die Verbrennungsmotoren arbeiten daher oft in den weiß eingerahmten Bereichen, was natürlich zu besonders schwachen Wirkungsgraden und entsprechend hohen Verbrauch führt.

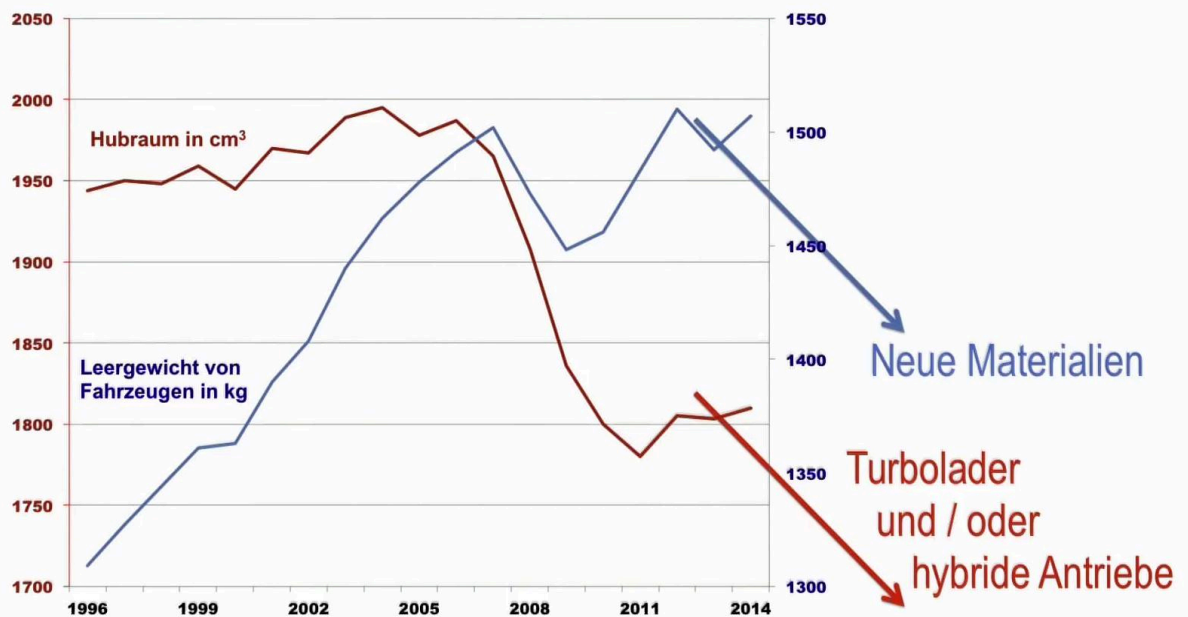
Notes

Summary



10m 55s

Wie können höhere Wirkungsgrade erzielt werden?



Quelle: Bianchetti R. et al. "Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personewagen" 2014, BFE 11. Juni 2015

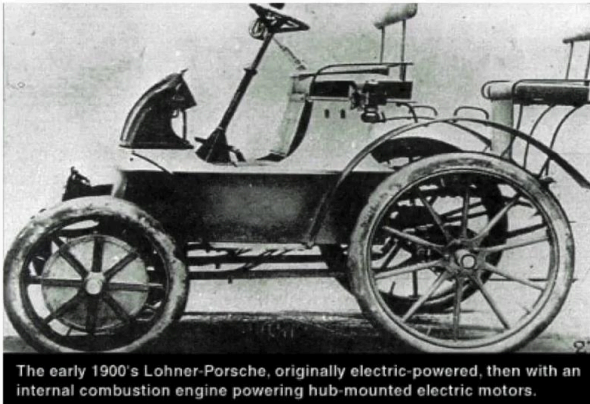
Energiewende in der Schweiz

Um in Zukunft Energie zu sparen wird einerseits das Gewicht von Fahrzeugen dank neuen hoch festen Stählen und Alumiumlegierungen weiter reduziert. Andererseits wird der Hubraum der Motoren weiter reduziert, man spricht dabei von Downsizing. Die kleineren Motoren werden so beim Normalbetrieb näher an ihrer Nominallast betrieben und erreicht so einen besseren mittleren Wirkungsgrad. Um während der Beschleunigung trotzdem genügend Leistung abrufen zu können, werden Turbolader eingesetzt, welche den Saugdruck erhöhen, sodass mehr Treibstoff eingespritzt werden kann. Dadurch können zeitweise auch mit kleinen Motoren beachtliche Leistungen erreicht werden. In Zukunft werden die Turbolader vermehrt mit einem elektrischen Antrieb ergänzt, was bezüglich der Aktivität und natürlich auch regeltechnisch weitere Vorteile und Einsparungen mit sich bringen werden. Im Weiteren wird natürlich gerade für den Stadtbetrieb weiter auf hybride Antriebe gesetzt, welche einen klassischen Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor kombinieren.

Notes

Summary





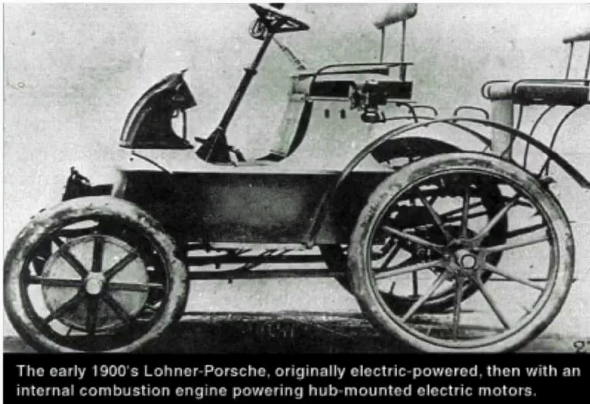
Energiewende in der Schweiz

Rein energetisch gesehen braucht der Weg von einem Ausgangsort A zu einem Zielort B nur wenig Energie, wenn man die kinetische Energie beim Bremsen und die potentielle Energie beim Runterfahren rückgewinnen kann. Die mechanische Reibung von [unverständlich] und Luft machen nur einen kleinen Bruchteil der verbrauchten Energie aus. Hybride und auch elektrische Fahrzeuge machen sich dieser Rückgewinnung zunutze, indem sie Energie beim Bremsen in Batterien speichern und sie dem Antrieb beim Beschleunigen wieder zur Verfügung stellen. Bei hybriden Antrieben unterscheidet man zwischen parallelen und seriellen Hybriden. In einem parallelen Hybrid kann der Antriebsstrang gleichzeitig die Leistung vom Verbrennungsmotor und vom Elektromotor abrufen. Bei einem seriellen Hybrid treibt der Verbrennungsmotor einen Generator an, der die elektrische Energie in eine Batterie speichert. Der Antrieb geschieht dann über separate Elektromotoren. Das Konzept von Hybridantrieben ist nicht neu. Schon Anfang des 20. Jahrhunderts hat Porsche schon ein hybrides Auto vorgestellt, das hier links dargestellt ist. Es handelt sich um einen seriellen Hybriden, da der Verbrennungsmotor einen Generator antreibt, dessen Leistung auf elektrische Antriebsmotoren verteilt wird.

Notes

Summary





Energiewende in der Schweiz

Rechts sehen wir ein Hybridfahrzeug beim Erdgastanken. In diesem Fall wurde der Benzinmotor so umgebaut, dass er sowohl mit Benzin als auch mit komprimiertem Erdgas betrieben werden kann. Durch den Erdgasantrieb können die CO₂-Emissionen gegenüber klassischen Treibstoffen weiter reduziert werden. Hybride Fahrzeuge erlauben es durch eine geschickte Regelung und Ausnutzung der Batterie den Verbrennungsmotor immer am besten Wirkungsgrad laufen zu lassen.

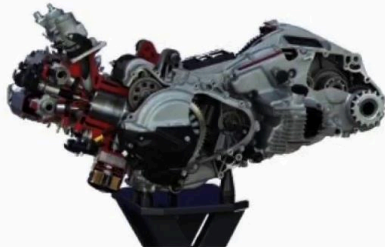
Notes

Summary

14m 06s



Elektrische Fahrzeuge mit „Range Extender“



Energiewende in der Schweiz

Wie vorhin gesehen, ist das Speichern von elektrischer Energie an Bord schwierig. Die geringe Energiedichte von Batterien schränkt die Reichweite von Elektrofahrzeugen stark ein. Eine Möglichkeit die Reichweite von Elektrofahrzeugen auszudehnen besteht darin, einen sogenannten "Range Extender" einzusetzen. Es handelt sich dabei um einen kleinen Verbrennungsmotor, der während einer längeren Fahrt die Batterie aufladen kann. Natürlich wird dieses Zusatzaggregat nur dann eingesetzt, wenn die Reise weiter führt als es die Autonomie der Batterie zulässt. Eine Konkurrenztechnologie von Elektroautos mit Range Extender sind Fahrzeuge mit Hybridantrieb, wobei der konventionelle Verbrennungsmotor durch eine wasserstoffbetriebene Brennstoffzelle ersetzt wird. Vorteil bei solch einem Antrieb ist, dass lediglich Wasser ohne Schadstoffe ausgestoßen wird. Der Nachteil liegt darin, dass eine neue Wasserstofftankstelleninfrastruktur aufgebaut werden muss. Problematisch ist natürlich auch die hohe Explosionsgefahr, die vom Wasserstoff selbst ausgeht.

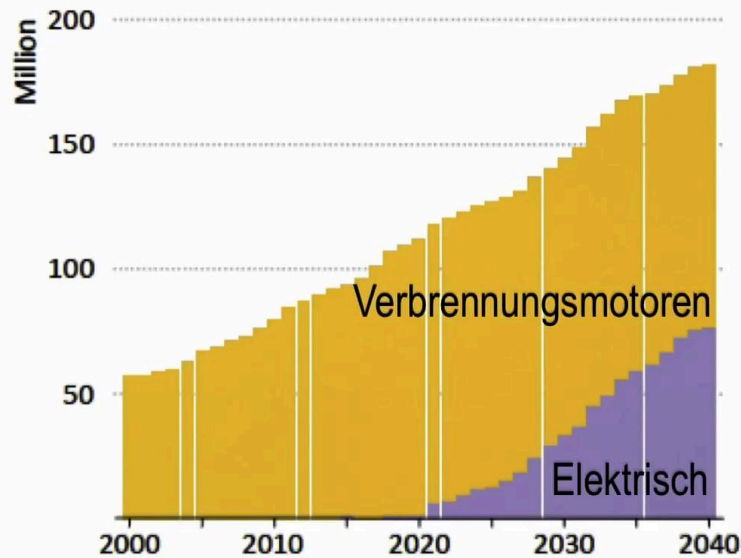
Notes

Summary



14m 36s

Weltweite Entwicklung des Fahrzeugparks



Quelle: IEA WEO2015 special report

Energiewende in der Schweiz

Die International Energy Agency, die IEA, rechnet auch in Zukunft nach wie vor mit einem sehr großen Anteil von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren und lichtaufladbaren Hybriden, hier durch die gelbe Fläche dargestellt. Der Anteil an elektrischen Fahrzeugen und aufladbaren Hybriden, hier unten in violett, wird erst ab Ende dieses Jahrzehnts signifikant zunehmen. Die Anzahl vorausgesagter Fahrzeuge im Jahr 2040, nämlich 180 Millionen, ist beachtlich. Die IEA geht ab 2040 von einem signifikanten Anteil an erneuerbaren Biotreibstoffen aus.

Notes

Summary



15m 43s



- Der Wirkungsgrad pro km nimmt stetig zu, dadurch werden auch die Emissionen pro km reduziert
- Leider nehmen die gefahrenen km zu, der Verbrauch wird daher nicht stabilisiert
- Einsparungen werden erreicht durch
 - Leichtere Fahrzeuge mit kleinerem Hubraum
 - Hybridfahrzeuge mit aufladbarer Batterie
 - Elektrische Fahrzeuge mit „Range Extender“
- Die durch die Szenarien vorgesehene Einsparungen sind realistisch

Energiewende in der Schweiz

Ziele bezüglich Energieeinsparungen im Bereich des Individualverkehrs sind sehr ehrgeizig. Wir haben gesehen, dass die positive Auswirkung auf Wirkungsgraden und Emissionen durch die technologischen Fortschritte auf Verbrennungsmotoren durch eine erhöhte Nachfrage von gefahrenen Kilometern wett gemacht wurde. Trotzdem gibt es heute einige technische Lösungen und Perspektiven, die es erlauben sollten die ambitionösen Ziele für die Szenarien 2035 und 2050 erreichen zu können und die positiv stimmen.

Notes

Summary



16m 26s