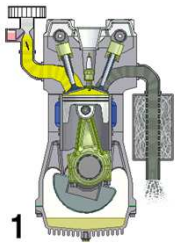




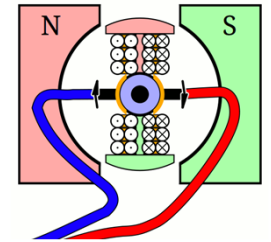
Hat der Verbrennungsmotor noch eine Zukunft ?

Prof. Dr. sc. techn. Manfred Sohn
Dipl.-Ing. Katja Sohn
ÖKOtech Berlin

Hauptgruppen der Fahrzeugantriebe



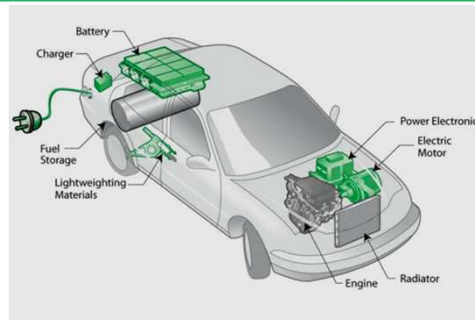
Antriebskonzepte



Traditionelle Verbrennungskraftmaschinen

Elektrischer Antriebe

Systeme in Form eines Hybridantriebs



Andere Konzepte, wie etwa ein Gasturbinenantrieb oder der Stirlingmotor, werden wohl auch in Zukunft keine Chance auf dem Markt haben.

Eigenschaften im Vergleich

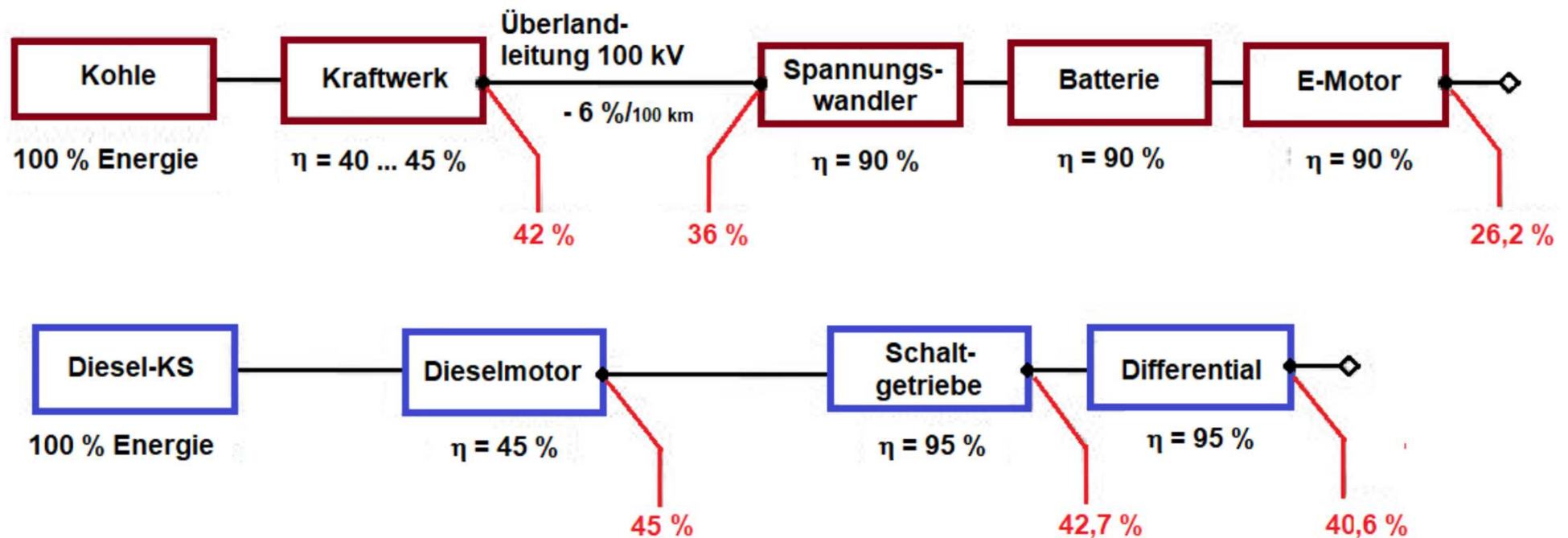
Verbrennungskraftmaschinen

- seit ca. 150 Jahren kontinuierlich weiterentwickelt
- eines der ausgereiftesten Industrieprodukte überhaupt
- Entwicklungspotenzial vorhanden
- erreichen vor allem im Volllastbereich gute Wirkungsgrade
- im Teillastbereich sind Wirkungsgrade deutlich geringer
- **Es lassen sich praktisch alle flüssigen Energieträger verwenden!**

Elektromotor

- weit über 100 Jahre bekannt und weiterentwickelt
- **leise und verursacht keine Abgase.**
- Problematik besteht in Bereitstellung notwendiger Energie
- **wesentlicher Vorteil liegt in guten Wirkungsgraden im Teillastbereich (Stadtverkehr)**

Wirkungsgradkette Großkraftwerk vs. Pkw-Antrieb



Verbot von Verbrennungsmotoren?

Viel wird über Verbote von Verbrennungsmotoren gesprochen – der richtige Weg ist das aber sicherlich nicht !

Befürworter des Verbots führen als Beispiel meistens Kalifornien an. Dort gäbe es bereits ein Verbot von Verbrennungsmotoren.

Tatsache ist aber, das sich Kalifornien zum Ziel gesetzt hat,

- 1,5 Mio **ZEV's** (Zero Emission Vehicles) bis 2025 zuzulassen, um schrittweise Verbrennungsmotoren mit Benzin und Diesel zu verdrängen, und
- ab 01.01.2040 nur noch ZEV's zuzulassen.

Es geht nicht darum, den Verbrennungsmotor zu verbieten, sondern ihn – aufbauend auf den erreichten Entwicklungsstand – klimatauglich zu machen.

In Europa würde ein allgemeines Verbot von Verbrennungsmotoren vermutlich an den Mitgliedstaaten der EU mit starker Automobilindustrie – etwa Deutschland, Frankreich oder Italien – scheitern.

Deutschland ist bereits 2015 der ZEV-Allianz beigetreten und hat sich damit verpflichtet, bis 2050 den Verkauf von Autos mit Benzin- oder Dieselmotor zu unterbinden.

D. h. aber nicht, dass 2050 keine Verbrennungsmotoren mehr laufen werden.

Neuzulassungen von PkW in Deutschland

Die Automobilindustrie, die einen entscheidenden Anteil an der deutschen Wirtschaft hat, verkauft die Autos, die durch die Kunden nachgefragt werden.

Diese hat in den letzten Jahren ihre Modellpalette um Elektro- und Hybridfahrzeuge erweitert, da ohne diese die verschärften **EU-Vorgaben** nicht zu erfüllen sind.

Deutsche Autokäufer haben dieses Angebot weiterhin nur zögerlich angenommen.

Neuzulassungen 2020:

Insgesamt:	2,92 Mio. Fahrzeuge (2019: 3,6 Mio, 2018: 3,44 Mio.)
Elektrofahrzeuge	194.200, das entspricht 6,7% (2019: 63.281, 2018: 1,0 %)
erdgasbetriebene Fahrzeuge	ca. 7.200, das entspricht 0,2% (2019: 7.200)
flüssiggasbetriebene Fahrzeuge	ca. 6.500, das entspricht 0,2% (2019: ca. 7.200)
Hybridfahrzeuge	446.756, das entspricht 15 % (2019: 239.250)

Quelle: Statista.com; Kraftfahr-Bundesamt

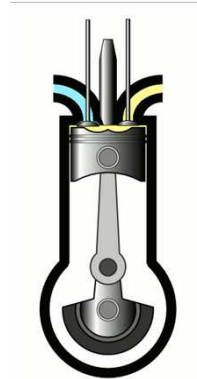
Mit welchen Motoren werden unsere Autos in Zukunft fahren?

Dieselmotor

Der unter hohem Druck in den Zylinder eingespritzte Kraftstoff entzündet sich von allein.

Vorteile:

- In der Regel effizienter als Benziner mit



Ottomotor

Der Ottomotor benötigt gesonderte Zündkerzen, durch die das zerstäubte Treibstoffgemisch zur Explosion gebracht wird.

Vorteile:

- kleinere Hubräume in den Zylindern bei

Beide Antriebe können sicherlich auch mit entsprechenden E-Fuels betrieben werden !

Mit welchen Motoren werden unsere Autos in Zukunft fahren?

Dieselmotor

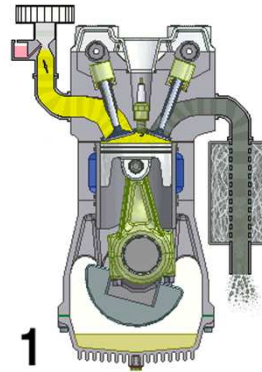
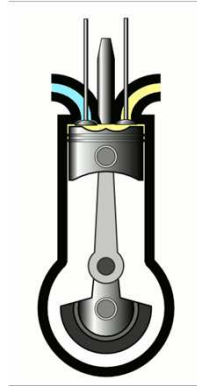
Der unter hohem Druck in den Zylinder eingespritzte Kraftstoff entzündet sich von allein.

Vorteile:

- In der Regel effizienter als Benzin mit ähnlicher Leistung.
- Verbrauch ist tendenziell geringer.
- geringerer Ausstoß von Kohlendioxid (CO₂)

Nachteile:

- Emissionen von Stickoxiden (NO_x) sind höher



Ottomotor

Der Ottomotor benötigt gesonderte Zündkerzen, durch die das zerstäubte Treibstoffgemisch zur Explosion gebracht wird.

Vorteile:

- kleinere Hubräume in den Zylindern bei zugleich höherer Leistung.

Nachteile:

- Bei vergleichbarer Stärke haben Benzinere in der Regel einen geringeren Wirkungsgrad als der Diesel.

Gasmotor

Vorteile:

- ## Nachteile:

- Diese Antriebsart ist auch für synthetische Kraftstoffe geeignet !**



Mit welchen Motoren werden unsere Autos in Zukunft fahren?

Elektromotor (Batterie)

Er erzeugt seine Antriebskraft aus einer mitgeführten Batterie.

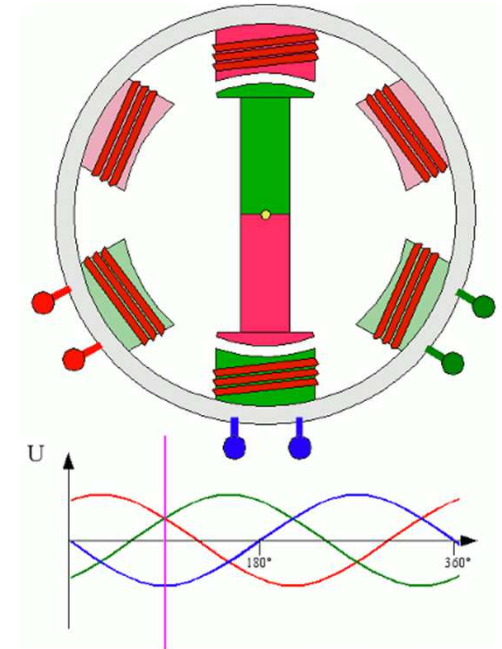
Vorteile:

- lokal keine Emissionen.

Aber: In der Ökobilanz ist zu beachten, dass die Art der Erzeugung des eingespeisten Stroms (erneuerbare oder fossile Quellen) sowie die Rohstoffe für Batterie und Motor (etwa seltene Erden) berücksichtigt werden müssen.

Nachteile:

- Geringere Reichweiten.
- relativ teuer.
- Während es in Großstädten dichte Ladenetze gibt, ist die Abdeckung auf dem Land noch dünn.



Die höchste Effizienz wird erreicht werden, wenn 100 % regenerativ erzeugter Strom zur Verfügung steht !

Mit welchen Motoren werden unsere Autos in Zukunft fahren?

Hybridantrieb

Er kombiniert einen E-Antrieb, der meist im unteren Leistungsbereich läuft, mit einem Verbrenner, der sich zuschaltet.

Vorteile:

- Hybride gewinnen den Strom für den Elektromotor oft während des Fahrens – etwa durch die Nutzung der Energie, die beim Bremsen entsteht (Rekuperation); häufig aber auch plug-in-hybrid
- In Städten oft geringere Verbrauch, da bei geringerem Tempo und häufigem Bremsen überwiegend der Elektromotor genutzt wird

Nachteile:

- Hybridautos sind trotz Alternativmotor z.Zt. noch abhängig von fossilen Brennstoffen.



Brennstoffzellenantrieb

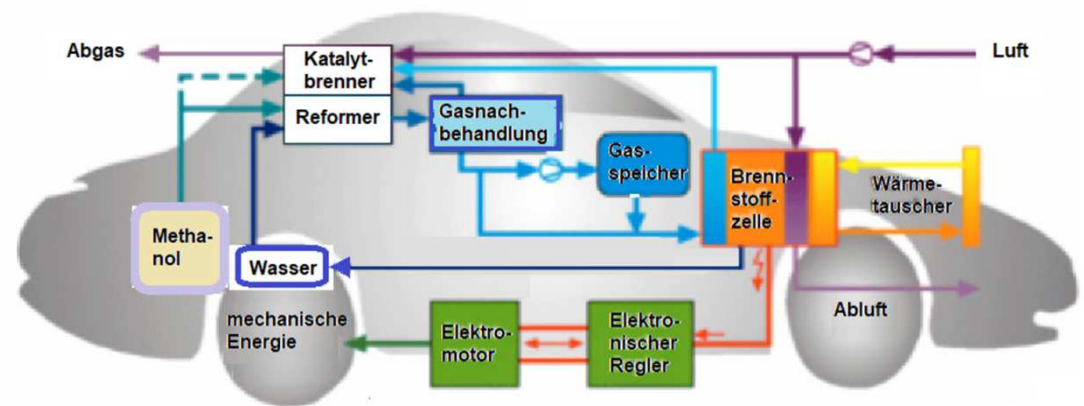
Grundprinzip ist meist die Verbrennung von Wasserstoff (H_2) mit Sauerstoff (O_2) zu Wasser – also das, was der Chemielehrer "Knallgasreaktion" nennt. Im Brennstoffzellenauto läuft dies aber kontrolliert ab. Die erzeugte Energie treibt einen Elektromotor an.

Brennstoffzellenantrieb

Vorteile: Es ist eine besonders einfache und zugleich umweltfreundliche Antriebsart. Außer Wasserdampf, der ein natürliches Treibhausgas ist, kommt nichts aus dem Auspuff.

Nachteile: Die Technik ist bisher recht teuer.

Reinen Wasserstoff gibt es auf der Erde wenig, man muss ihn erst – oft durch starke Energiezufuhr von außen – aus Verbindungen lösen. Dabei kann dann CO_2 entstehen.

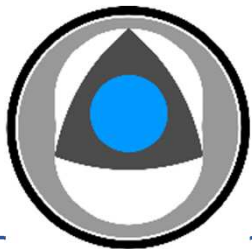


Wankelmotor

Es handelt sich um einen Rotationskolbenmotor (RKM), der nach seinem Erfinder Felix Wankel benannt worden ist. Bei einem Wankelmotor wird die Verbrennungsenergie ohne den Umweg einer Hubbewegung direkt in eine Drehbewegung umgesetzt. Es existieren prinzipiell zwei kinematische Versionen: Der Drehkolbenmotor (DKM 54) und der Kreiskolbenmotor (KKM 57).

Vorteile: Geringerer Platzbedarf, größeres Leistungs-Masse-Verhältnis als ein Viertakter vergleichbarer Leistung, vollkommen auswuchtbar (weicherer u. vibrationsarmer Lauf), höhere Lebensdauer durch weniger bewegliche Teile, gleichförmigeres Drehmoment. Eignet sich sehr gut für den Betrieb mit Wasserstoff.

Nachteile: Ungünstiges Verhältnis von Oberfläche zu Brennraumvolumen (höhere Kühlraumverluste), Gemischanteil oberhalb der Kerze wird nur schwer entzündet. Dichtflächen des Wankelmotors sind erheblich länger als beim HKM und führen zu höheren Druckverlusten.



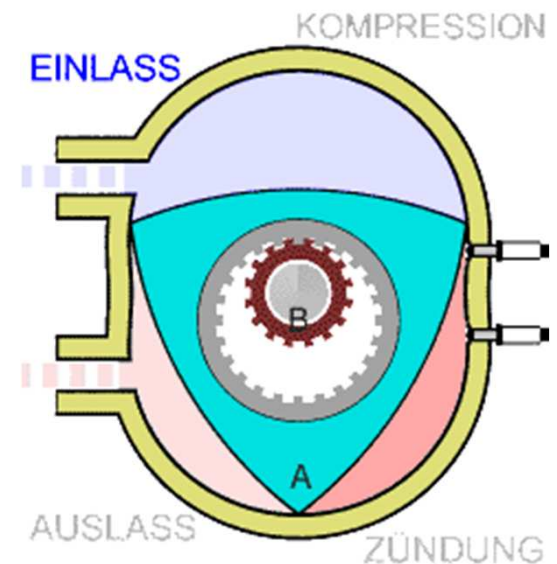
Drehkolbenmotor

© der-wankelmotor.de



Kreiskolbenmotor

© der-wankelmotor.de





Mit dem Trabant P 603 wurde u.a. der Wankelmotor KKM 51 getestet. Der KKM 51 besaß mit einem Kammervolumen von nur 500 cm³ eine Leistung von 50 PS, wurde in mehrere Trabant P 601 und P 603 eingebaut und über eine Strecke von 50.000 km getestet.



Ein Testfahrer auf dem Sachsenring bei Zwickau war der DDR-Rennfahrer Heinz Melkus u. a. im April 1965 im Auftrag des ehemaligen WTZ Automobilbau Karl-Marx-Stadt.



Der Melkus RS 1000 galt als Glanzstück der Konstrukteurkarriere von Heinz Melkus.

Vorteile und Nachteile alternativer Kraftstoffe

Kraftstoff	Vorteile	Nachteile
Autogas (LPG)	• Verbrennung erfolgt schadstoffarm • Günstig im Preis • Steuerermäßigung bis 2022	• Ab 2023 gilt der reguläre Steuersatz • Höherer Verbrauch gegenüber Benzin
Erdgas (CNG)	• Verbrennung erfolgt schadstoffarm • Geringerer CO₂-Ausstoß gegenüber Benzin • Günstig im Preis • Steuerermäßigung bis 2026	• Ab 2026 gilt der reguläre Steuersatz • Fahrzeug ist schwerer • Tankstellennetz nur regional (nicht flächendeckend) • Eingeschränkter Platz im Kofferraum
Bioethanol	• Verbrennung erfolgt schadstoffarm • Höhere Motorleistung möglich • Günstig im Preis	• Konkurrenz zum Anbau von Nahrung • Produktion erfordert viel Energie
Biodiesel	• Günstig im Preis	• Produktion erfordert viel Energie • Stickstoffemissionen sind höher • Für Neuwagen meist unzulässig

Kraftstoff	Vorteile	Nachteile
Pflanzenöl	Feinstaubemissionen ca. 50 % niedriger als Diesel	• Meist nur für ältere Diesel geeignet • Anpassungen am Kraftstoffsystem notwendig
Elektro	Keine direkten (lokalen) Emissionen	• Fahrzeug ist sehr schwer • Einfluss auf Gesamt-Öko-Bilanz • Reichweite meist begrenzt
Wasserstoff	• Keine direkten Emissionen • Hohe Reichweite • Basis für Herstellung von E-Fuels	• Herstellung sehr energieintensiv • Nur wenige serienreife Modelle • Infrastruktur kaum vorhanden
E-Fuels	• Keine direkten Emissionen • Hohe Reichweite • Breites Interesse in der Wirtschaft	• Herstellung sehr energieintensiv • Nur wenige serienreife Modelle • Infrastruktur kaum vorhanden

E-Fuels könnten die Energiewende im Verkehr voranbringen

Synthetische Kraftstoffe werden bisher nur in kleinen Mengen in wenigen Demonstrationsanlagen produziert. Von der Marktreife sind die sogenannten **E-Fuels, die mittels Strom aus Erneuerbaren** erzeugt werden, noch weit entfernt. Dabei können sie eine klimafreundliche Alternative zu fossilem Benzin, Diesel oder Kerosin für Pkw, in **der Schiff- und Luftfahrt sowie im Schwerlastverkehr** darstellen.

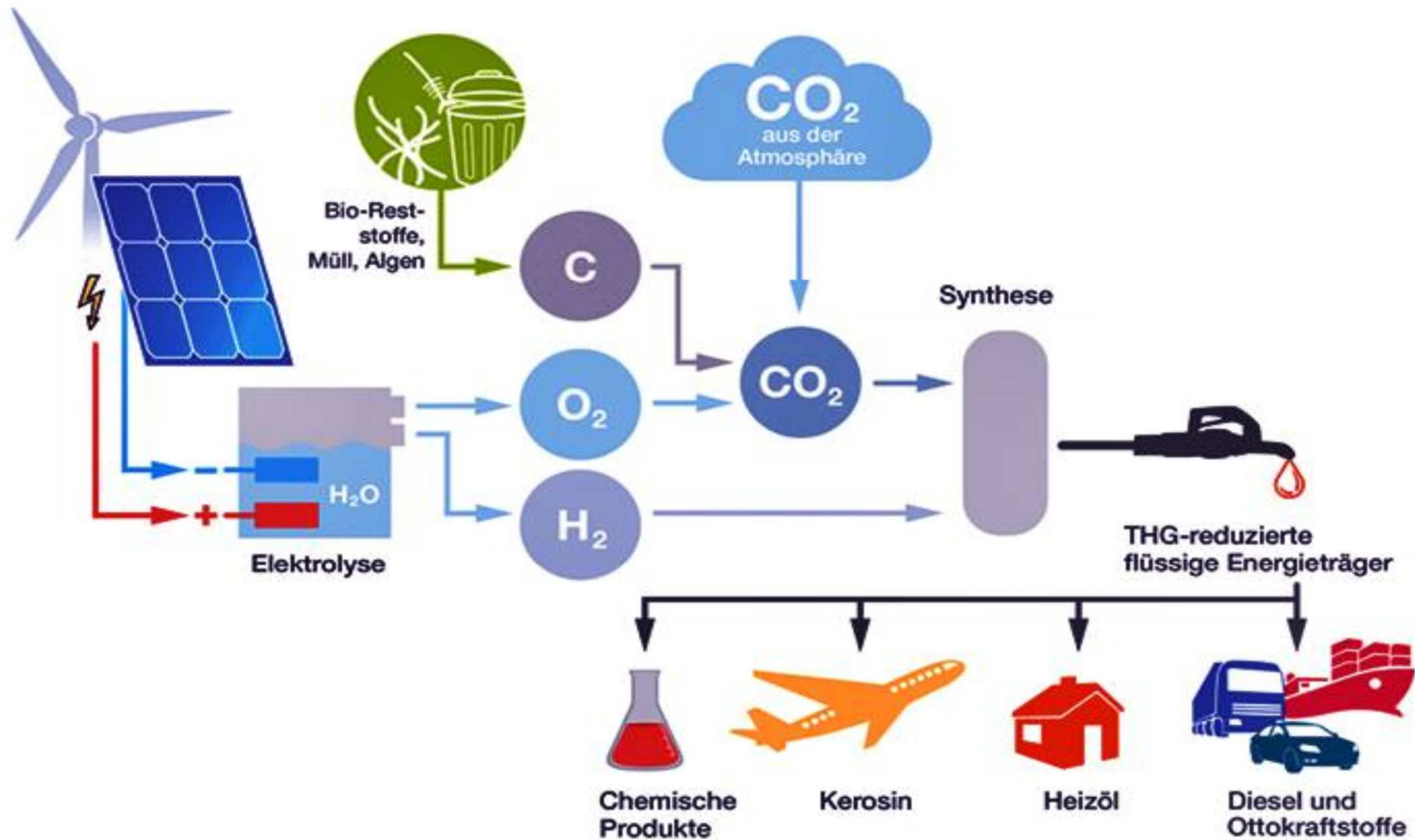
E-Fuels, oder auch Powerfuels werden mittels Power-to-X-Technologien produziert werden.

→ Strom (Power) aus Sonne oder Wind wird in andere Energieträger (X) umgewandelt –

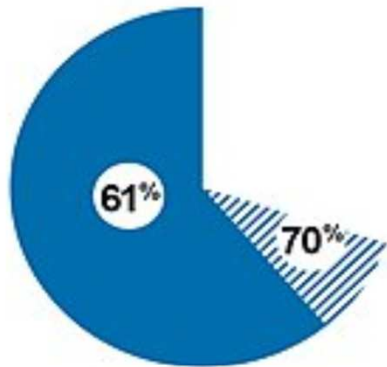
Bei synthetischen Kraftstoffen wird mittels Strom in **einer Elektrolyse zunächst Wasserstoff** produziert. Dieser kann dann zusammen **mit Kohlendioxid zu flüssigen Brennstoffen** umgewandelt werden.

Der Prozess kostet allerdings sehr viel Energie: Selbst bei optimaler Elektrolyse können maximal etwa 84 Prozent der Energie des eingesetzten Stroms in den erzeugten Treibstoffen gespeichert werden. Durch jede Umwandlung fällt der Wirkungsgrad weiter.

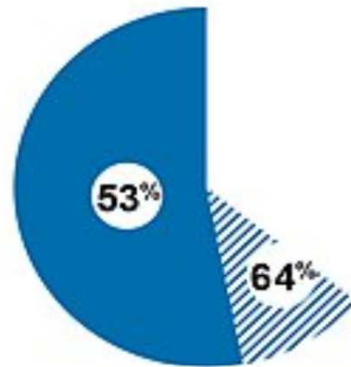
Herstellung und Einsatz von treibhausneutralen flüssigen Energieträgern



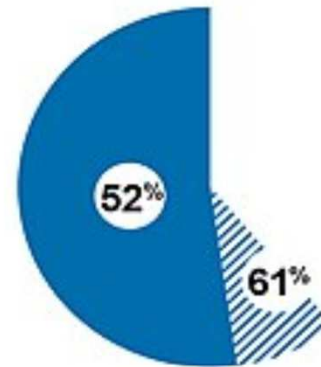
Energieeffizienz bei der Herstellung verschiedener strombasierter Energieträger



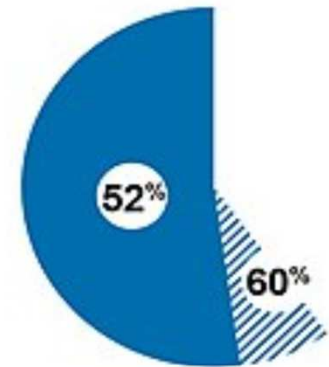
E-Wasserstoff
(gasförmig)



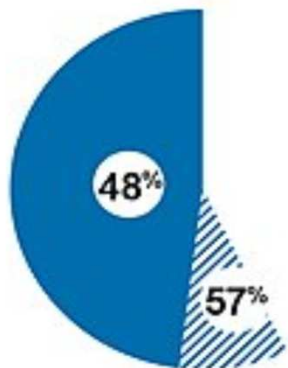
E-Wasserstoff
(verflüssigt)



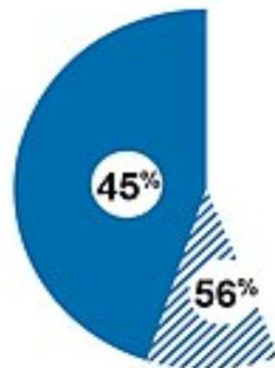
E-Methan
(gasförmig)



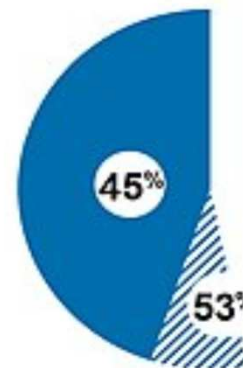
E-Ammoniak



E-Methan
(verflüssigt)



E-Methanol



E-Fuels

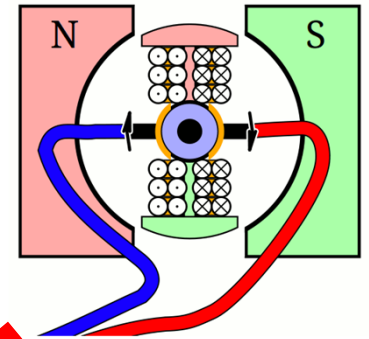
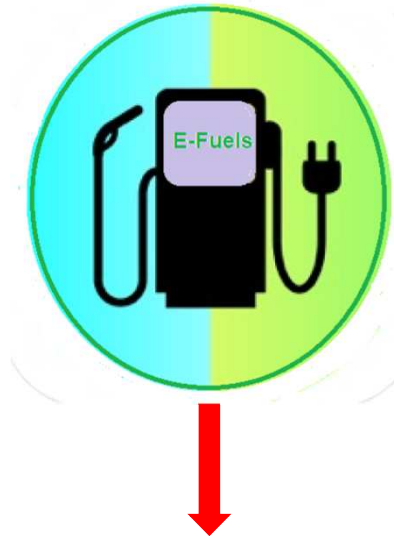
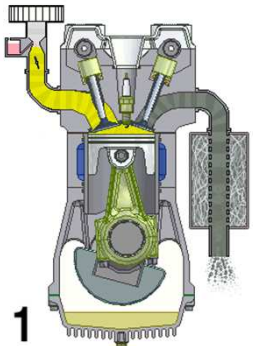
Umwandlungseffizienz

Pro eingesetzter Kilowattstunde Strom verbleiben x Prozent im PtX-Produkt



Fazit

Es gibt nicht die "eine" Lösung für umweltfreundliche Antriebe der Zukunft.
Forschung und Forschungsförderung in Deutschland sollten nicht einseitig auf eine Lösung setzen.



Eine Kombination optimal entwickelter Verbrennungsmotoren, E-Fuels und batterieelektrischem Antrieb vereint die Vorteile der drei Komponenten: Sie sind lokal emissionsfrei und haben kaum ein Reichweitenproblem bei moderaten Batteriegrößen !

Anforderungen für den Einsatz alternativer Antriebe

- ▶ Praktikable Reichweite
- ▶ Maximale Leistung unter Beachtung von Beschleunigungen, Zuladungen, Steigungen u.a.
- ▶ Stabilität bzw. Konstanz der gespeicherten bzw. an Bord vorgehaltenen Energie
- ▶ akzeptable Tankprozedur in Bezug auf Sicherheit, Dauer und Wirkungsgrad der Gesamtenergiekette von der Quelle bis zum Rad
- ▶ Sicherheit für Insassen und Umgebung





**Ich danke für die
Aufmerksamkeit !**