

# Das Auto der Zukunft wird elektrisch fahren

September 3, 2018

Bis vor kurzem war ich ueberzeugt, der Diesel Motor wird sich laenger halten, als die meisten Menschen glauben. Der Grund dafuer: der vergleichsweise hohe Wirkungsgrad vom Diesel Kraftstoff bis zur Fahrzeugbewegung. Das aenderte sich, als ich begonnen habe, zu berechnen, ob wir uns elektrisch zu fahren ueberhaupt leisten koennen. Die Ergebnisse waren zum Teil erstaunlich.

Dieser Artikel ist nicht so ganz einfach zu lesen. Bitte machen Sie sich die Muehe und rechnen Sie mit (es koennte ja durchaus sein, dass ich irgendwo einen Rechenfehler gemacht habe.)

Ich habe alle Informationen nach bestem Wissen und Gewissen gesammelt und die sich daraus ergebenden Konsequenzen berechnet. Nun hoffe ich, dieser kleine Artikel ist fuer andere nuetzlich, ihre eigenen Schluesse zu ziehen und ihr eigenes Handeln zu planen.

Ricardo Erckert

## 1 Unsere Handlungsoptionen

Individualverkehr ist ein Luxus, den wohl nur wenige Menschen freiwillig wieder aufgeben werden. Es gibt natuerlich auch Konzepte, Fahrzeuge gemeinsam zu nutzen. Diese Konzepte aendern aber wenig an der Gesamtzahl der gefahrenen Kilometer und an dem damit verbundenen Energieverbrauch. Der Gesamtenergieverbrauch fuer den Strassenverkehr wird in der gleichen Groessenordnung bleiben wie bisher.

Aus diesem Grund ist es wichtig, die sich bietenden Entscheidungsmoeglichkeiten genauer zu betrachten.

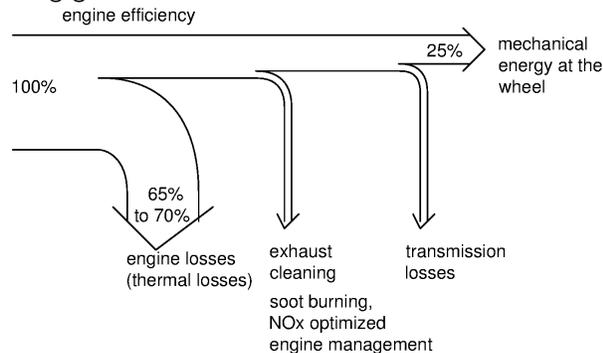
### 1.1 Diesel Motoren

Unter den Verbrennungsmotoren gehoeren Diesel Motoren zu den Bauarten mit den hoechsten Wirkungsgraden. Allerdings stehen Diesel Motoren seit dem Diesel Skandal in dem Ruf, die Umwelt stark zu verschmutzen.

Die Abgase eines Diesel Motors zu reinigen ist natuerlich moeglich. Aber diese Reinigung der Abgase machen die Diesel Technologie komplexer, teurer und fehleranfaelliger (z.B. durch verstopfte Diesel Partikel Filter, die hoehere Wartungskosten nach sich ziehen).

Typische Diesel PKWs haben einen Verbrauch von ca. 6l pro 100km. Der Energiegehalt von 6l Diesel betraegt 214.8MJ (Quelle: [https://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_density](https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density)) oder umgerechnet 59.67kWh.

Um 100km mit einem Elektroauto zurueck zu legen benoetigt man zwischen 15kWh und 20kWh. Ein Elektroauto hat nur geringe Verluste (Batterierwaerung und Verluste des Elektromotors). Man kann also ein Elektroauto mehr oder weniger als eine Referenz des fuer die Nutzenergie betrachten. (Der "Tank to Wheel" Wirkungsgrad eines Elektroautors kann bis zu 95% erreichen).



**Fig.1** Verluste eines typischen Verbrennungsmotor getriebenen Fahrzeugs.

Der Wirkungsgrad eines Diesel Motors erreicht etwa:

$$\eta_{tw_{diesel}} = 15kWh/60kWh = 25\%$$

Theoretisch koennte man den Wirkungsgrad weiter verbessern, indem man die obere Temperatur des Carnot Prozesses erhoehrt (Keramikmotoren und aehnliche Konzepte). Jede weitere Erhoehung der Prozesstemperatur erhoehrt aber gleichzeitig den NOx Ausstoss. Das fuehrt zu noch komplexeren und noch teureren Abgasreinigungsverfahren (Verbrennung des NOx im Abgasstrang, Veraschung des Motorrusses im Partikelfilter usw.). Einige dieser Reinigungsschritte erfordern zusaetzlichen Treibstoff und ein Teil der Wirkungsgradverbesserung geht wieder verloren.

## 1.2 Benzin Motoren

Der Benzin Motor gilt bisher als die sauberere Alternative zum Diesel Motor. Typische Benzinmotoren verbrauchen jedoch ca. 8l pro 100km. Der Energieinhalt von 8l Benzin betraegt 273.6MJ bzw. 76kWh. Der (Tank to Wheel) Wirkungsgrad eines Benzinmotors betraegt etwa:

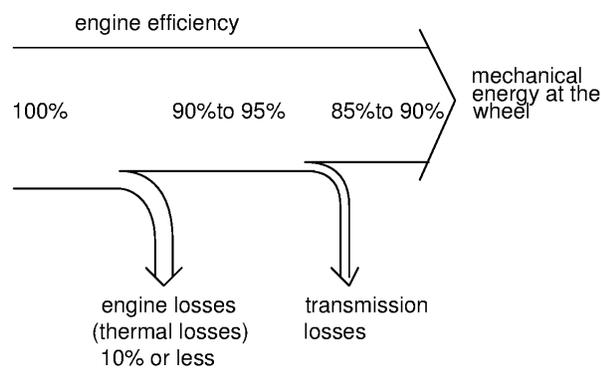
$$\eta_{tw_{gasoline}} = 15kWh/76kWh = 19.7\%$$

Das bedeutet, die Verwendung von Benzinmotoren statt Dieselmotoren fuehrt zu einer Erhoehung des  $CO_2$ - ausstosses.

Die Industrie versucht natuerlich, den  $CO_2$ - ausstoss durch Techniken wie z.B. Direkteinspritzung weiter zu verringern. Direkteinspritzung von Benzin fuehrt jedoch wieder zu aehnlichen Russ-Problemen wie beim Dieselmotor. (Quelle: ADAC Motorwelt 9/2018).

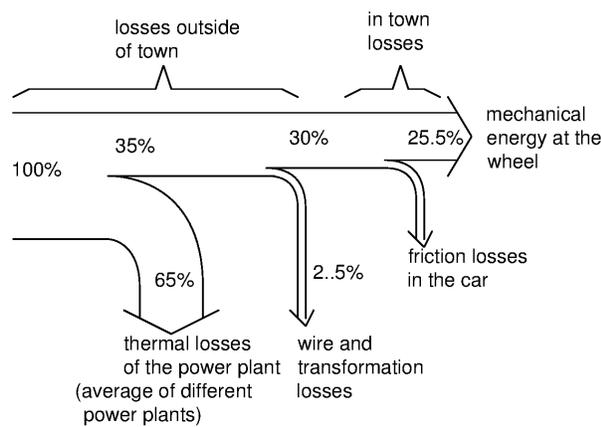
### 1.3 Elektrische Antriebe mit Li-Ionen Batterien

Das Konzept, mit Strom zu fahren, verspricht geringere (oder keine) Schadstoffemissionen (des Autos selbst) und einen höheren "Tank to Wheel" Wirkungsgrad im Bereich von 85% bis 90% (bei Wechsellast). Die meisten Verluste treten durch Erwaerung der Batterien auf.



**Fig.2:** Tank to wheel Verluste eines elektrisch angetriebenen Autos

Bei Elektrofahrzeugen treten die Hauptverluste nun bei der Erzeugung des elektrischen Stroms mit klassischen Kraftwerken auf. Die Verluste und die damit einhergehende Umweltverschmutzung wird vom Auto zum Kraftwerk verlegt.



**Fig.3:** wheel to wheel Verluste elektrischer Fahrzeuge bei nicht regenerativer Energieerzeugung.

Der mittlere Wirkungsgrad der Stromerzeugung inklusive aller Leitungsverluste und Transformationsverluste liegt bei etwa 30%. Der Systemwirkungsgrad ist das Produkt aus Wirkungsgrad der Stromerzeugung und des Fahrzeuges.

$$\eta_{wwLiion} = \eta_{twLiion} * \eta_{powerplant} \approx 0.85 * 0.3 = 25.5\%$$

Dennoch bietet das elektrische Fahren den Vorteil, dass die Luftverschmutzung aus der Stadt hinausverlegt wird. Darüber hinaus kann man bei grossen stationären Kraftwerken auch einen höheren Aufwand zur Reinigung der Abgase leisten.

Elektrische Fahrzeuge werden wesentlich attraktiver, wenn der erforderliche Strom aus erneuerbaren ( $CO_2$ -neutralen) Quellen stammt.

### 1.3.1 Erforderliche elektrische Energie

Um zu prüfen, ob der Betrieb von Autos aus erneuerbaren Energien realisierbar ist, müssen wir einen Blick auf den Gesamtenergieverbrauch aller PKWs im Vergleich zu der Gesamtmenge der verfügbaren erneuerbaren Energie werfen. Für Deutschland stehen hierzu die notwendigen Daten zur Verfügung.

Die Gesamtzahl der in Deutschland 2017 zurückgelegten Fahrzeugkilometer betrug  $630.5 \cdot 10^9$  km. (Quelle: [https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr\\_in\\_kilometern\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometern_node.html)). Unter der Annahme, dass für 100 km etwa 20 kWh benötigt werden, errechnet sich die erforderliche Energie zu  $1.261 \cdot 10^{11}$  kWh.

Im Vergleich dazu betrug 2017 die elektrische Energie gewonnen aus erneuerbaren Quellen (Wind, Wasser, Photovoltaik, nicht fossile Brennstoffe)  $2.18 \cdot 10^{11}$  kWh. Das bedeutet, wir können theoretisch den Verbrauch aller PKWs decken, wenn wir die Gewinnung von Windenergie in etwa verdoppeln (Anteil der Windenergie 2017:  $1.066 \cdot 10^{11}$  kWh). Die mittlere Zuwachsrate der Windenergie betrug in den letzten Jahren etwa 6-7%. Wenn diese Zuwachsraten gehalten werden, steht in 14 Jahren genug Energie zur Verfügung, ohne dass andere Verbraucher wieder durch nicht erneuerbare Energiequellen versorgt werden müssen.

Eine wichtige Voraussetzung für die Verteilung der hauptsächlich in Norddeutschland anfallenden Windenergie ist natürlich eine Verstärkung des Elektrizitätsnetzes. Auch diese Ziel sollte in 14 Jahren erreichbar sein.

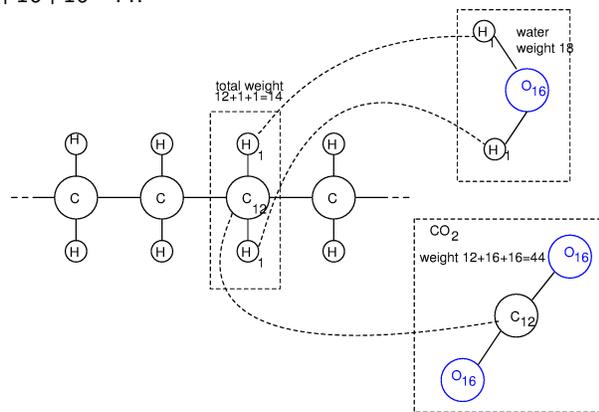
### 1.3.2 Produktion von Lithium Batterien

Die Produktion von Lithium Ionen Batterien erzeugt ebenfalls Treibhausgase. Die in der Literatur genannten Zahlen streuen sehr weit und reichen von  $70 \text{ kg } CO_{2-eq} / kWh$  ( $CO_2$  Äquivalent pro kWh) bis  $370 \text{ kg } CO_{2-eq} / kWh$ . Als am wahrscheinlichsten werden Werte von  $70 \text{ kg } CO_{2-eq} / kWh$  bis  $110 \text{ kg } CO_{2-eq} / kWh$  angegeben. (Quelle: Mia Romare, Lisbeth Dahllöf, "The Life Cycle Energy Consumption and Greenhouse Emissions from Lithium-Ion Batteries", IVL Swedish Environmental Research Institute, Report C 243, 2017).

Fuer die nachfolgenden Rechnungen wird die Mitte des wahrscheinlichen Bereiches mit  $90kgCO_{2-eq}/kWh$  verwendet. Als fuer die meisten Nutzer akzeptable Reichweite wird 300km bis 400km angesetzt. Das fuehrt zu einem Beispiel mit einer 60kWh Batterie. Hiermit errechnet sich das  $CO_2$  - Aquivalent der Batterie zu:

$$CO_{2-60kWh} = 60kWh * 90kgCO_{2-eq}/kWh = 5400kg$$

**Vergleich mit Diesel:** Das Gewicht des  $CO_2$ - gases, das durch die Verbrennung von Diesel erzeugt wird, laesst sich in etwa mit Hilfe der Massen der beteiligten Reaktinspartner Kohlenstoff (Atomgewicht 12), Wasserstoff (Atomgewicht 1) und Sauerstoff (Atomgewicht 16) errechnen. Aus einem Atom Sauerstoff (aus der Luft) und 2 Atomen Wasserstoff im Brennstoff entstehen ein Molekuel Wasser ( $H_2O$ ). Darueber hinaus entsteht aus einem Atom Kohlenstoff (aus dem Treibstoff) und 2 Atomen Sauerstoff (aus der Luft) ein Molekuel Kohlendioxid ( $CO_2$ ). Der Brennstoff hatte somit ein Gewicht von  $12+1+1=14$ . Das Kohlendioxid hat ein Gewicht von  $12+16+16=44$ .



**Fig.4:** Oxidation eines langkettigen Kohlenwasserstoffs

Das resultierende Gewichtsverhaeltnis des Kohlendioxids und des Brennstoffs ergibt sich zu:

$$weightratio_{CO_2C} = \frac{12 + 2 * 16}{12 + 2} = 3.1429$$

Das bedeutet, bei der Verbrennung von 1kg Diesel entstehen 3.1429kg Kohlendioxid. Hiermit kann errechnet werden, welcher Menge Diesel die Erzeugung einer 60kWh Batterie entspricht.

$$Eq_{diesel-60kWh} = 5400kg/3.1429 = 1718.2kg$$

Das spezifische Gewicht von Diesel betraegt ca. 0.832kg/Liter. Die Menge des Diesels in Litern errechnet sich damit zu:

$$Eq_{diesel-60kWh-liters} = \frac{1718.2kg}{0.832kg/l} = 2065.1l$$

Mit dieser Treibstoffmenge kann ein typischer Diesel PKW eine Strecke von 34418km zurücklegen. Um einen positiven Nutzen des elektrischen Antriebes (im Bezug auf die  $CO_2$ Bilanz) zu erreichen, muss die Batterie mehr als 34000km benutzt werden. Diese Rechnung gilt natürlich nur für den Fall, dass der erforderliche Strom aus erneuerbaren Quellen stammt.

**Lebensdauer einer Li-Ionen Batterie:** Die Lebensdauer einer Lithium Ionen Batterie hängt vom Ladeprozess und vom Kathodenmaterial ab. Hochleistungs-Batterien für Fahrzeuganwendungen verwenden meist  $LiNiMnCoO_2$  Kathoden. Diese haben unter günstigen Bedingungen (langsame, schonende Ladung, Temperaturbereich  $5^\circ C$  bis  $45^\circ C$ ) zwischen 1000 und 2000 Ladezyklen (Quelle: [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)). Mit der 60kWh Batterie des Beispiels ergibt sich damit eine Gesamtreichweite von:

$$reach_{totalideal} = N_{charge} * reach = 400000km..800000km$$

**Hinweis: Betrieb der Batterie bei Temperaturen unter  $5^\circ C$ , über  $45^\circ C$  und bei häufigem Schnelladen kann sich die Anzahl der Ladezyklen deutlich verringern.**

KFZ-Anwendungen mit ihren starken Temperaturschwankungen lassen geringere Reichweiten um 150000km erwarten.

Einsparung von Treibhausgasen:

Der break even der in unserem Beispiel verwendeten 60kWh Batterie ist 34000km. Die erwartete Lebensdauer beträgt 150000km unter pessimistischen Annahmen. Damit ergibt sich eine Reduktion der äquivalenten Treibhausgase im Vergleich zu einem Dieselmotor:

$$eqCO_2 = \frac{34000km}{150000km} = 22.7\%$$

**Hinweis: Diese Rechnung gilt für die Erzeugung des Stromes aus erneuerbaren Quellen!**

**Kosten der Batterie:** Die Produktionskosten von Lithium Ionen Batterien liegen bei etwa 265\$/kWh (Quelle: Linda Gaines, Jennifer Dunn, "Lithium-Ion Battery Production and Recycling Material Issues", Argonne National Laboratory, Project ID ES229, 2015). Unsere 60kWh Beispielbatterie kostet damit in etwa:

$$cost_{60kWh} = 60 * 265\$ = 15900\$$$

Bei konservativer Rechnung mit einer Gesamtreichweite von 150000 km ergeben sich Batteriekosten von:

$$cost_{km} = 15900\$/150000km = 10.6c/km$$

Im Vergleich zur Abschreibung eines heutigen Mittelklassefahrzeuges von ca. 40c/km bis 60c/km erscheinen diese Zusatzkosten als akzeptabel, solange der Strompreis nicht wesentlich ansteigt.

**Verfuegbarkeit der Rohmaterialien:** Bis vor kurzem galt das verfuegbare Lithium selbst als limitierender Faktor der Elektromobilitaet. Mit der Erschliessung der grossen Salare in Suedamerika steht voraussichtlich genug Lithium zur verfuegung. Nun ist der limitierende Faktor die Menge des zur verfuegung stehenden Kobalts fuer die Kathoden. (Quelle: Linda Gaines, Jennifer Dunn, "Lithium-Ion Battery Production and Recycling Material Issues", Argonne National Laboratory, Project ID ES229, 2015) Nach derzeitigen Rechnungen genuegen die weltweiten Kobaltreserven fuer 11 Jahre Produktion von Lithium Ionen Batterien (Es sind auch Kobaltlose Kathoden realisierbar, aber dadurch verringert sich die Lebensdauer der Batterie.)

**Recycling von Li-Ion Batterien:** Wie Lithium Ionen Batterien effizient wiederverwendet werden koennen ist derzeit noch vollkommen unklar. Einige der Materialien (vor allem das in den Kathoden verwendete Kobalt) sind hoch toxisch.

### 1.3.3 Zusammenfassung der Argumente zum elektrisch fahren mit Lithium Batterien

1. Der Ersatz von Benzin- oder Dieselmotoren durch elektrische Antriebe ist sinnvoll, wenn der elektrische Strom aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen wird.
2. Wenn der Strom aus nicht erneuerbaren Quellen erzeugt wird ergibt sich nahezu die gleiche oder sogar eine schlechtere  $CO_2$  Bilanz als beim Fahren mit Benzin- oder Diesel Fahrzeugen.
3. Der Aufbau ausreichender Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen ist in Deutschland in ca. 14 Jahren realisierbar.
4. Zur Verteilung des Stromes ist ein verstaerktes Leitungsnetz zwingend erforderlich.
5. Die geschaezten Batteriekosten belaufen sich auf ca. 10c/km.
6. Derzeit gibt es zwei ungeloeoste Probleme, die die flaechendeckende Nutzung von Lithium Batterien verhindern koennten:
  - (a) Die begrenzte Verfuegbarkeit von Kobalt fuer die Kathoden (Vorraete reichen nur fuer 11 Jahre)
  - (b) Das bisher nicht geklaerte Recycling der Batteriezellen.

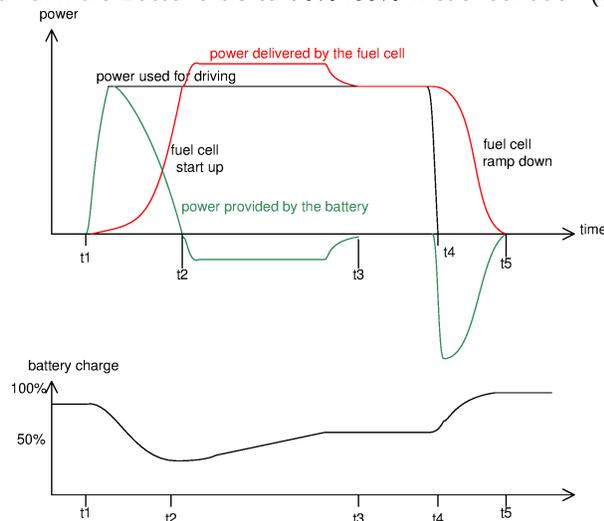
### 1.4 Electricisches fahren mit Brennstoffzellen

Brennstoffzellen koennen helfen, die Groesse der Lithium Batterie deutlich zu reduzieren. Dadurch koennen die begrenzten Vorraete kritischer Kathodenmaterialien gestreckt werden und die Menge der jaehrlich zu recycelnden Batterien nimmt ab.

Heute existierende Brennstoffzellen koennen die Batterien nicht vollstaendig ersetzen. Die Brennstoffzelle benoetigt eine gewisse Vorlaufzeit, bevor sie ihre Nennleistung erreicht (start up von  $t_1$  bis  $t_2$ ). In den ersten Minuten muss das

Fahrzeug daher durch eine Batterie versorgt werde. Nach Erreichen des Fahrtziels hat die Brennstoffzelle eine gewisse Nachlaufzeit (ramp down von  $t_4$  bis  $t_5$ ). Diese Nachlaufzeit kann dazu genutzt werden, die Fahrzeugbatterie wieder bis auf 100% zu laden.

Während der (langstrecken) Fahrt versorgt die Brennstoffzelle das Fahrzeug und kann die Batterie bis ca. 70%..80% wieder aufladen ( $t_2$  bis  $t_3$ ).



**Fig.5:** Fahrzyklus eines durch Brennstoffzellen versorgten Fahrzeuges.

Eine Kombination aus Brennstoffzelle und Lithium Ionen Batterie kann die Batteriegröße auf etwa 1/6 (gegenüber einer reinen Lithium Ionen Batterie) reduzieren.

#### 1.4.1 Wirkungsgrad von Brennstoffzellen

Der "Tank to wheel" Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle hängt vom Brennstoffzellentyp ab. In der Literatur werden Werte von 20% (DMFC, direct methanol fuel cell) bis 60% (PEM, Polymer Electrolyte Membrane) angegeben. (Quelle: [https://www.mpoweruk.com/fc\\_comparison.htm](https://www.mpoweruk.com/fc_comparison.htm)).

Hochtemperaturbrennstoffzellen bieten durch ihre hohe Abwärmtemperatur zwar die Möglichkeit, die Abwärme für eine Wärmekraftmaschine zu nutzen und den Systemwirkungsgrad auf bis zu 80% zu treiben, aber diese Technologie ist so komplex und wartungsanfällig, dass sie derzeit nur für große stationäre Anlagen im MW-Bereich nutzbar ist.

Für Fahrzeuge nutzbare Brennstoffzellen lassen Wirkungsgrade um 50% (Tank to wheel) erwarten.

Die Produktion von Wasserstoff auf  $CO_2$ -neutralem Weg erfordert einen Hydrolyse Prozess. Auch bei dieser Hydrolyse treten Verluste auf. Damit reduziert sich der Wheel to Wheel Wirkungsgrad auf etwa 30%. Das bedeutet, gegenüber der Nutzung von Lithium Ionen Batterien benötigt eine auf Brennstoffzellen basierende Fahrzeugversorgung die dreifache Strommenge.

## 1.4.2 Wasserstoffproduktion

Heute wird Wasserstoff weitgehend aus fossilen Brennstoffen produziert. Wenn wir den  $CO_2$ - Fussabdruck reduzieren wollen, muss der Wasserstoff in Zukunft durch Elektrolyse aus erneuerbaren Energiequellen kommen. Die dafuer erforderliche Energie (gerechnet mit heutigen Fahrleistungen) ergibt sich zu:

$$Energy_{peryear} = 1.261 * 10^{11} kWh / (year * 0.3) = 4.2033 * 10^{11} kWh/year$$

(Siehe auch Rechnungen unter 1.3.1) Diese Zahl liegt etwa beim Doppelten der gesamten erneuerbaren Stromerzeugung aus dem Jahr 2017 ( $2.18 * 10^{11} kWh$ ). Um den gesamten KFZ Verbrauch mit Brennstoffzellen aus Windenergie zu versorgen, muessen wir also bis zur Einfuehrung der Brennstoffzellenfahrzeuge unsere Windparks in etwa verdreifachen. Da es nicht beliebig viele geeignete Standorte fuer Windkraftanlagen gibt, ist diese Verdreifachung zum Teil nur durch den Ersatz existierender Anlagen durch goessere, leistungsfaeigere Anlagen moeglich. Der Ersatz existierender Anlagen erfolgt typischerweise erst nach ca. 20 Betriebsjahren. Das beduetet, die erforderliche Energie wird voraussichtlich erst in 20 bis 30 Jahren zur verfuegung stehen. (Nicht erneuerbare Energiequellen fuer die Versorgung von Brennstoffzellen wuerden einen groessere Freisetzung von  $CO_2$  ergeben als wenn wir einfach weiterhin mit Benzin- oder Diesel Motoren weiterfahren!)

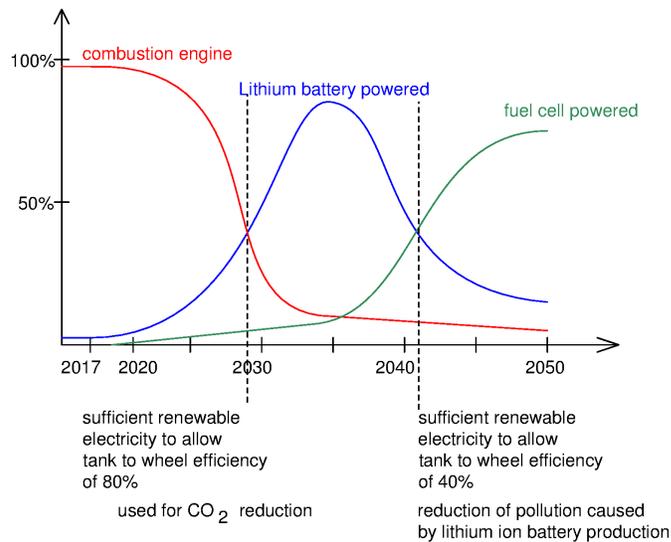
Das Ziel, in 20-30 Jahren mit Brennstoffzellen arbeiten zu koennen ist erreichbar, wenn der Zuwachs an Windenergie wie bisher bei ca. 6%-7% pro Jahr bleibt.

## 2 Zusammenfassung

Der Uebergang von benzibetriebenen oder dieselbetriebenen Fahrzeugen zum elektrischen Fahren benoetigt eine gewisse Zeit. Sobald ein gewisses Produktionsvolumen erreicht wird, werden Kosteneinsparungen durch Massenproduktion wirksam. Ab diesem Punkt entsteht eine positive Rueckkopplung. Der Markt wird an dieser Stelle sehr schnell kippen.

Um elektrisches Fahren  $CO_2$ - neutral zu erreichen muss die erforderliche Energie aus erneuerbaren Quellen kommen.

1. Der Aufbau der Energieversorgung fuer batteriebetriebenes Fahren ist in ca. 14 Jahren moeglich
2. Die Batteriekosten liegen bei ca. 10c/100km. Das ist ein akzeptabler Preis.
3. Fuer die meisten Verbraucher ist eine Reichweite von 300km bis 400km akzeptabel.
4. In etwa 14 Jahren dird der Kippunkt des Marktes erreicht sein
5. Brennstoffzellen koennen den Ressourcenverbrauch und die Umweltbelastung durch die Produktion der Lithium Ionen Batterien verringern
6. Der hoehere Energieverbrauch der Brennstoffzellentechnik kann in ca. 20-30 Jahren durch weiteren Zubau von Windkraftwerken gedeckt werden.



**Fig.6:** Ein Plan, um elektrisches Fahren mit geringer Umweltverschmutzung zu erreichen

### 3 Welcher Entscheidungen sind fuer die Einfuehrung von umweltfreundlichen Elektrofahrzeugen erforderlich?

Aus den erlaeuerten Gruenden sind folgende Schritte zur Einfuehrung umweltschoener Elektromobilitaet erforderlich:

1. Fortsetzung des Aufbaus erneuerbarer Stromgewinnung mit der gleichen Rate wie bisher.
2. Beginn der Entwicklung von Lithium Ionen Batterie basierten Fahrzeugen ab jetzt.
3. Massenproduktion von elektrisch betriebenen Fahrzeugen ab 2025.
4. Der Anteil der Benzin - oder Dieseltriebenen Fahrzeuge wird ab 2025 sehr schnell sinken
5. Aufbau eines effizienten Recycling Kreislaufs fuer Lithium Ionen Batterie.
6. Ersatz der Lithium Ionen Technik durch Brennstoffzellen ab 2030.
7. Nach 2040 wird sich der Markt teilen in Kurzstreckenfahrzeuge (<50Km) mit Lithium Ionen Batterien und Langstreckenfahrzeugen (>50km) mit Brennstoffzellen.

### **3.1 Was geschieht, wenn wir nicht handeln?**

Die deutsche Industrie bezieht einen grossen Teil ihrer Wertschoepfung aus der Automobilindustrie. Wenn wir den Wandel nicht selbst vorantreiben, wird es ein anderer tun (China treibt bereits jetzt den Wandel zum elektrischen Fahren voran). Wenn wir zu spaet kommen, wird die deutsche Automobilindustrie hinter den Mitbewerb zurueckfallen.