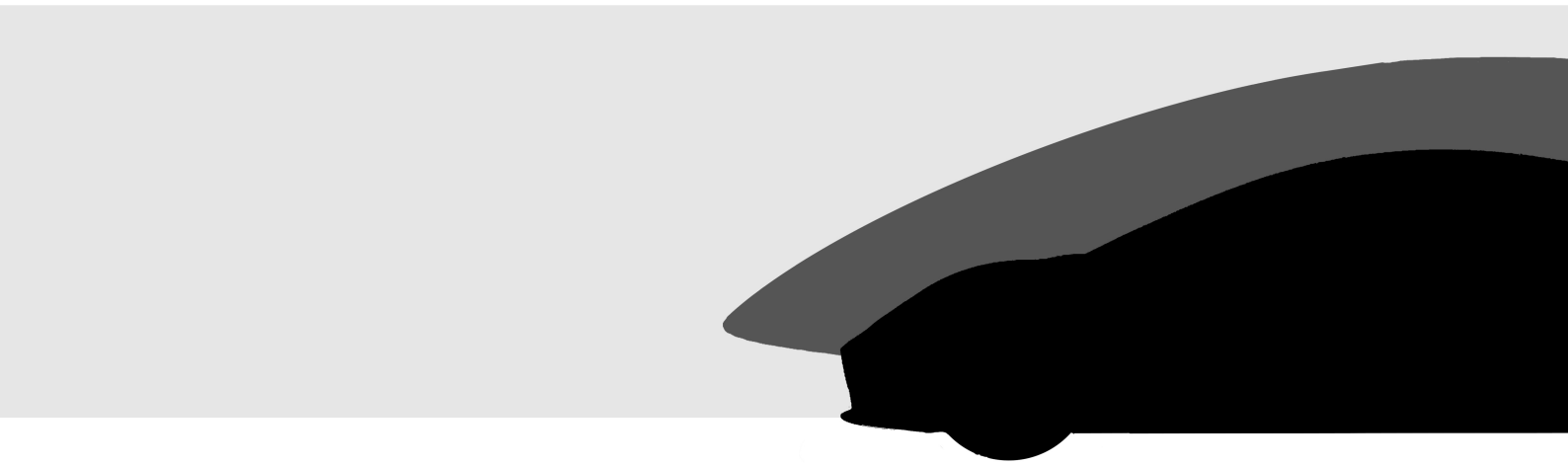


# Mobilität der Zukunft

Hyperloop & Elektroauto



Travail personnel

Lucas Klaassen

6C3

Tuteur: Alex Bara

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>DER HYPERLOOP .....</b>	<b>3</b>
2.1	DIE IDEE DES HYPERLOOP .....	3
2.2	DIE FUNKTIONSWEISE DES HYPERLOOPS .....	3
2.2.1	<i>Luftangetriebene Kapsel .....</i>	<i>3</i>
2.2.2	<i>Elektromagnetangetriebene Kapsel .....</i>	<i>4</i>
2.3	HYPERLOOP POD COMPETITION .....	5
2.3.1	<i>Wettbewerb 1 .....</i>	<i>5</i>
2.3.2	<i>Wettbewerb 2 .....</i>	<i>6</i>
2.3.2	<i>Wettbewerb 3 .....</i>	<i>7</i>
1.4	KRITIK AUF DEN HYPERLOOP .....	8
2.4	EIGENE MEINUNG.....	8
<b>3.</b>	<b>ELEKTROAUTOS.....</b>	<b>10</b>
3.1	DEFINITION ELEKTROAUTO .....	10
3.2	DER STROMSPEICHER .....	10
3.2.1	<i>Lithium-Ionen-Akku .....</i>	<i>10</i>
3.2.2	<i>Wasserstoffzellen .....</i>	<i>11</i>
3.3	TESLA .....	13
3.4	DER ANTRIEB .....	16
3.5	DIE LADEINFRASTRUKTUR .....	16
3.5.1	<i>Wallboxen .....</i>	<i>16</i>
3.5.2	<i>Schnelllader .....</i>	<i>17</i>
3.6	KRITIK ÜBER ELEKTROAUTOS .....	17
3.7	EIGENE MEINUNG.....	18
<b>4.</b>	<b>GLOSSAR .....</b>	<b>19</b>
<b>5.</b>	<b>QUELLEN .....</b>	<b>19</b>

## 1. Einleitung

Der Klimawandel wird zu einem immer größeren Thema. Im Kampf gegen Diesen ist die Elektromobilität eine wichtige Entwicklung, da die heutige Mobilität noch sehr viel auf fossile Energien zurückgreift.

In diesem Travail Personnel gehe ich auf den Hyperloop und die Elektroautos ein, da ich denke, dass, wenn beide Technologien sich durchsetzen würden, man schon einen sehr großen Schritt weiter wäre. Der Hyperloop würde die stark verschmutzenden Flugzeuge ablösen während die Elektroautos die Luftqualität der Städte optimal halten würden.

Die Elektroautos überzeugen jetzt immer mehr Menschen während der Hyperloop sich noch in einer sehr frühen Alphaphase befindet und noch mit viel Kritik zu kämpfen hat.

## 2. Der Hyperloop

### 2.1 Die Idee des Hyperloop

Der Hyperloop ist eine Art Hochgeschwindigkeitszug, der sich in einem Unterdrucktunnel bewegt. Er fährt nicht auf Gleisen, sondern wird mithilfe von Magneten oder Druckluft durch die Röhren geführt, um keinen Rollwiderstand zu haben, sodass man Geschwindigkeiten von über 1200km/h erreichen kann. Man sitzt in einer Kapsel, die sich alleine durch die Röhre bewegt. In einer Kapsel werden ca. 28 Personen Platz haben.



Abbildung 1: Prototyp einer Kapsel des Virgin Hyperloop One



Abbildung 2: Teststrecke des Virgin Hyperloop One in Nevada, USA

### 2.2 Die Funktionsweise des Hyperloops

Grundsätzlich gibt es zwei Antriebsarten für den Hyperloop: Die luftangetriebene Kapsel und die elektromagnetangetriebene Kapsel. Bei beiden Antriebsarten herrscht in den Röhren ein sehr niedriger Luftdruck, sehr nah zu einem absoluten Vakuum: rund 100 Pascal, was rund 1/1000 des Luftdrucks auf Meeresspiegelhöhe ist. Die elektromagnetangetriebene Antriebsart ist jedoch realistischer als die luftangetriebene Art, da sie deutlich effizienter ist, da die Kapsel passiv schweben kann.

#### 2.2.1 Luftangetriebene Kapsel

Bei der ersten Art schwebt die Kapsel mithilfe von Luftpumpen durch den Tunnel. Hier gibt es auch eine Variante, die bei Geschwindigkeiten unter 160 km/h auf Hochgeschwindigkeitsrädern fährt. Die Luft wird vorne an der Kapsel angesaugt, wird gekühlt und teils an der Unterseite ausgestoßen um die Kapsel auf einer 0,5-1,3 mm dicken

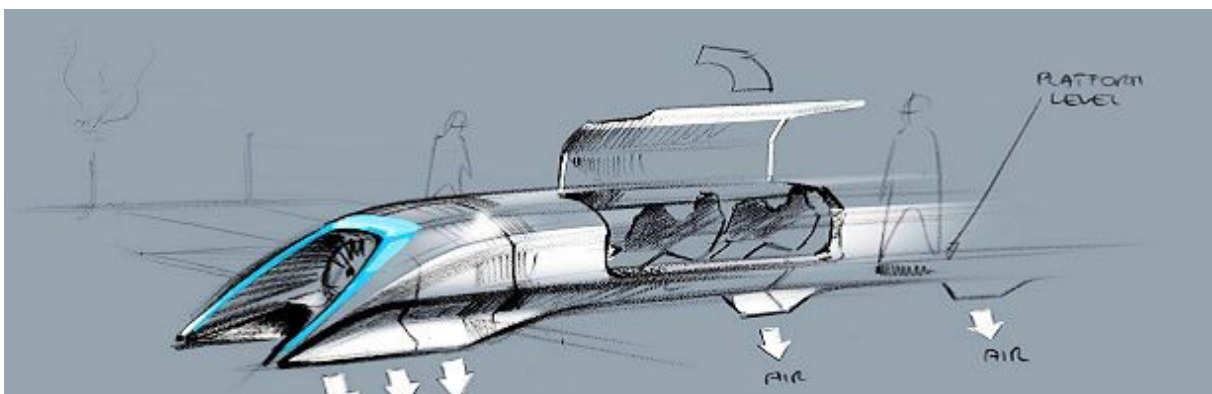


Abbildung 1: Elon Musks Zeichnung einer Kapsel des Hyperloops, veröffentlicht in einem White Paper

Luftschicht schweben zu lassen und teils durch eine hinten befestigte Düse ausgestoßen, um die Kapsel anzutreiben. Der Druck, mit dem die Luft an der Unterseite aus der Kapsel geschossen wird, ist fast 10.000 mal so hoch wie der Druck in dem Rest des Tunnels. Diese Antriebsart ist jedoch nicht besonders effizient, da man viel Kraft benötigt, um über Druckluft eine ganze Kapsel zu heben.

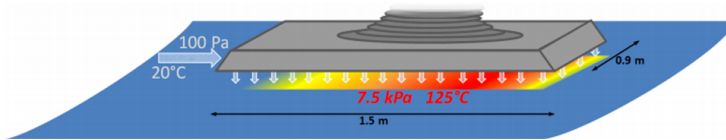


Abbildung 2: Verschiedene Temperaturen und Luftdrücke bei einer Turbine einer Luftangetriebenen Kapsel des Hyperloops

Wie man auf der Abbildung sieht, hat die Luft, die unten an der Kapsel ausgestoßen wird, einen etwa 75-mal so hohen Druck wie der Umgebungsdruck. Wegen des hohen Druckunterschiedes erhöht sich die Temperatur der Luft wegen eines Energieüberschusses, was ebenfalls auf eine niedrigere Effizienz hinweist.

### 2.2.2 Elektromagnetangetriebene Kapsel

Bei der zweiten Technik schwebt die Kapsel mithilfe von Elektromagneten in der Röhre. Diese Elektromagnete dienen nicht nur dazu, dass die Kapsel schwebt, sondern sorgen ebenfalls für den Antrieb der Kapsel. Solche Elektromagnete befinden sich üblicherweise in einem Elektromotor.

Ein Elektromotor besteht normalerweise aus zwei Teilen: Einem Rotor und einem Stator. In einem herkömmlichen Drehstrom-Asynchronmotor (Bürstenloser Motor) dreht sich der Rotor wegen den Elektromagneten im Stator. Der Stator funktioniert mit Dreiphasenwechselstrom, hat also immer drei (oder ein Vielfaches von Drei) Elektromagnete, die sich immer in verschiedenen Phasen des Wechselstroms befinden. Diese Elektromagnete ziehen immer entweder den Stator zu sich oder stoßen ihn ab.

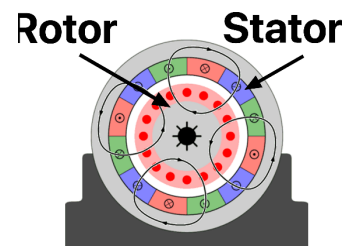


Abbildung 3: Darstellung eines herkömmlichen Elektromotors

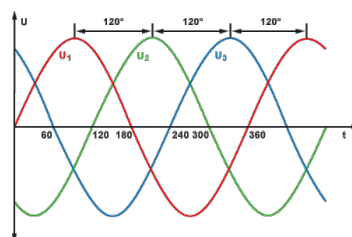


Abbildung 4: Grafische Darstellung von Dreiphasenwechselstrom

Der Motor des Hyperloops ist jedoch nicht rund, sondern linear. Das bedeutet, dass der Stator nicht rund um den Rotor ist, sondern sich an der Unterseite der Röhre des Hyperloops befindet.

Diese Technik wird zurzeit am Meisten entwickelt, da sie am einfachsten ist und man im Normalbetrieb in der Kapsel keinen Strom für den Antrieb braucht. Es gibt bereits

verschiedene Tests von unterschiedlichen Firmen, die erwiesen haben, dass diese Technik möglich ist.

### 2.3 Hyperloop Pod competition

Am 15. Juni 2015 kündigte der CEO (Chief Executive Officer) von SpaceX, Elon Musk, die Hyperloop Pod competition an. Die Hyperloop Pod competition ist ein Wettbewerb, wo verschiedene Teams aus aller Welt versuchen, die schnellste Kapsel für den Hyperloop zu bauen. Das sollte in Hawthorne (Kalifornien), nahe beim Hauptquartier von SpaceX stattfinden, wo Elon Musk eine etwa 1,6 Kilometer lange Teststrecke namens „Hypertube“ für den Wettbewerb bauen ließ.

Bislang fand der Wettbewerb drei Mal statt: Januar 2016/Januar 2017, August 2017 und Juli 2018.

#### 2.3.1 Wettbewerb 1

Der Wettbewerb 2016/2017 wurde eingeteilt in zwei Teile. Beim ersten Teil, im Januar 2016, ging es nur ums Design. Ungefähr 30 Teams aus 4 verschiedenen Kontinenten und 6 verschiedenen Ländern, wurden selektiert um einen funktionierenden Prototyp im Maßstab 3:4 für die nächste Runde zu bauen. Die Meisten Teilnehmer kamen übrigens aus den USA.

Hier gewannen:

Preis für das beste Design:	MIT Hyperloop
Preis für das innovativste Design:	Delft Hyperloop
Preis für technische Exzellenz:	Badgerloop, Hyperloop at Virginia Tech, HyperXite at UC Irvine
Preis für das Beste nicht-Studenten-team:	rLoop



Abbildung 5: Kapsel der Massachusetts Institute of Technology (MIT)

Ein Jahr später, im Januar 2017, traten 27 Teams im „Hypertube“ gegeneinander an. Zuerst mussten die verschiedenen Kapseln neun Tests durchstehen, um im letzten Test in einem Vakuum fahren zu können, wie es für den späteren Normalbetrieb vorgesehen ist. Die meisten Teams hatten Probleme mit dem Staub und den Gleisen im Tunnel bei den ersten neun Tests. Deshalb konnten nur drei Teams am letzten Test teilnehmen.

Die Gewinner waren:

Preis für die schnellste Kapsel: WARR (TU München)

Höchste Punktzahl insgesamt: TU Delft



Abbildung 6: Kapsel der Wissenschaftlichen Arbeitsgemeinschaft für Raketentechnik und Raumfahrt (WARR), das Team der TU München, vor dem Hypertube stehend



Abbildung 7: Kapsel der TU Delft

### 1.3.2 Wettbewerb 2

Beim zweiten Wettbewerb, das am 25-27 August 2017 stattfand, gab es nur einen Preis zu gewinnen: Die schnellste Kapsel. Ebenfalls musste die Kapsel am Ende der „Hypertube“ erfolgreich bremsen. Die Kapsel beschleunigte mit Unterstützung eines von SpaceX zur Verfügung gestelltem Fahrzeug auf Geschwindigkeiten von bis zu 323 km/h. 24 Teams wollten mitmachen, jedoch wurden nur drei Teams zum Fahren ausgewählt. Hier hat WARR Hyperloop (TU München) gewonnen, Paradigm Hyperloop (Northeastern University, Boston; Memorial University of Newfoundland; College of the North Atlantic, Kanada) wurde zweiter und Swissloop wurde dritter.





Abbildung 8: Kapsel der Paradigm Hyperloop



Abbildung 9: Konzept der Kapsel der Swissloop

### 2.3.2 Wettbewerb 3

2018 fand die Hyperloop competition noch einmal statt. Dieses Mal musste die Kapsel sich selbst antreiben, da Musk entschieden hatte, kein unterstützendes Fahrzeug mehr zur Verfügung zu stellen. Angefangen wurde also mit einer Geschwindigkeit von 0 km/h. Am Ende der Strecke musste erfolgreich gebremst werden. Musk gab den Teams eine Woche lang Zeit um in der „Hypertube“ ihre Kapseln zu testen. Verschiedene Teams hatten Probleme mit überhitzten Batterien, überhitzten Leiterplatten etc.

Am 22. Juni war es dann so weit: Die Pods mussten noch verschiedene Tests durchführen, doch dann konnten die 3 selektierten Teams auf die Teststrecke gegeneinander antreten. Erster wurde WARR Hyperloop (TU München) mit einer Höchstgeschwindigkeit von 466 km/h, zweiter Delft Hyperloop mit einer Geschwindigkeit von 140 km/h und dritter EPFLoop, deren Kapsel knapp 90 km/h erreichte.





Abbildung 10: Kapsel der école polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

#### 1.4 Kritik auf den Hyperloop

Der Hyperloop hat mit viel Kritik zu kämpfen. Verschiedene Wissenschaftler sagen zum Beispiel, dass der Hyperloop unrealistisch ist, da man einen viel zu großen Vakuumraum erzeugen müsste. Bei Elon Musks Wettbewerb, der Hyperloop Pod competition, wurde nämlich bereits das zweitgrößte Vakuumfeld der Welt erzeugt, und die war 250 Mal kleiner als die Route des Hyperloops, die als Erste geplant ist, von Las Vegas nach Los Angeles.

Als Argument, dass der Hyperloop nicht realisierbar ist wird oft gesagt, dass, wenn in der Kapsel Feuer ausbrechen würde, es keine Fluchtmöglichkeit gäbe, da der Tunnel keine Notausgänge hat und so ein niedriger Druck herrscht, dass man darin nicht atmen könnte. Verfechter des Hyperloops sagen aber, dass die Chance, dass ein Feuer in einer Kapsel ausbricht, sehr klein ist, da es nur sehr wenige Quellen gibt, wo Feuer ausbrechen könnte, da z.B. ein bürstenloser Motor verwendet wird.

Einige meinen auch, dass, selbst wenn der Hyperloop technisch funktionieren würde, er trotzdem an bestehenden Infrastrukturen scheitern würde, da man ein neues Netzwerk aufbauen muss.

Ein weiteres Argument ist der Grundstückspreis in den Innenstädten. Man müsste entweder nur bis zum Stadtrand fahren oder Zugbahnhöfe umbauen. Wenn der Hyperloop nur bis zum Stadtrand fahren würde müssten die Reisenden umsteigen und man würde mehr Zeit brauchen. Würde man jedoch die Zugbahnhöfe umbauen, wäre das teurer und außerdem könnten weniger Züge den Bahnhof bedienen, man würde also den ÖPNV (öffentlicher Personennahverkehr) stören.

#### 2.4 Eigene Meinung

Der Hyperloop ist eine interessante Entwicklung. Ich erwarte, dass, wenn sich eine Antriebsart des Hyperloops durchsetzen wird, Das die Elektromagnetangetriebene Version ist, da diese ein Stück effizienter ist und man nur wenig Strom in der Kapsel benötigt. Da der Hyperloop so schnell ist, ist er eher als Alternative für Flugzeuge zu sehen. Im Vergleich zu denen ist er aber viel besser für die Umwelt. Nachteil der Technologie ist jedoch, dass es deutlich teurer ist, den Hyperloop zu realisieren, u.A. wegen den hohen Grundstückspreisen

und der Menge an Stahl, die für die Tunnel gebraucht wird. Ich denke jedoch, dass, wenn der Hyperloop gebaut wird und erstmal ein paar Jahre fährt, sich dieser Preis wieder mit den sehr niedrigen Betriebs- und Unterhaltskosten ausgleichen wird.

## 3. Elektroautos

### 3.1 Definition Elektroauto

Ein Elektroauto ist ein Auto, das anstatt eines Verbrennungsmotors einen Elektromotor verwendet, um sich fortzubewegen. Ebenfalls unterscheiden sie sich beim Energiespeicher von herkömmlichen Autos mit Verbrennungsmotoren. Während Verbrenner einen Treibstofftank haben, in dem meist Diesel oder Benzin gespeichert wird, speichern Elektroautos ihre Energie in großen Traktionsbatterien oder Wasserstofftanks. In diesem Kapitel gehe ich jedoch größtenteils auf die batteriebetriebene Variante ein, da diese meiner Meinung nach die Schlauere ist.



Diese Traktionsbatterien haben verschiedene Nachteile gegenüber Treibstofftanks, wie z. B. ist ihre Energiedichte erheblich niedriger, darunter leidet das Gewicht und die Reichweite deutlich, außerdem brauchen sie viel mehr Zeit zum Laden als Treibstofftanks brauchen zum Tanken, was sich ebenfalls negativ auf die Langstreckentauglichkeit auswirkt, da man insgesamt länger braucht. Elektroautos haben den Vorteil, dass sie lokal emissionsfrei sind, das Auto selbst also keine Abgase hat. Man kann jedoch nicht sagen, dass ein Elektroauto unbedingt Umweltneutral ist, da der Strom noch meistens von fossilen Brennstoffen hergestellt wird. Ebenfalls ist die Produktion von Elektroautos noch deutlich Umweltschädlicher als die von Verbrennern.

### 3.2 Der Stromspeicher

#### 3.2.1 Lithium-Ionen-Akku



Abbildung 11: Eine Zelle eines Tesla-Akkus



Abbildung 12: Akku eines Tesla, zusammengesetzt aus bis zu 8256 einzelnen Zellen.

Bei Elektroautos werden heutzutage meistens Lithium-Ionen-Akkus verwendet. Dies hat den Grund, dass sie eine vergleichsweise hohe gewichtsbezogene Energiedichte und eine hohe Lebensdauer haben. Außerdem haben sie keinen sogenannten „Memory-Effekt“, einem Effekt, den vor Allem Nickel-Cadmium-Akkus hatten. Der Memory-Effekt ist ein Effekt, der auftritt, wenn man einen Akku auflädt, halb entleert und dann wieder lädt und das Ganze öfters wiederholt. Beim Memory-Effekt verringert sich dabei die nutzbare Kapazität des Akkus. Die Selbstentladung von Lithium-Ionen-Akkus ist ebenfalls relativ gering, was bei Elektroautos praktisch ist, wenn man das Auto eine längere Zeit nicht benutzt ohne es zu laden. Wenn man Lithium-Ionen-Akkus schnell lädt, erzeugen sie relativ viel Hitze, was vor allem ein Nachteil auf der Langstrecke ist. Wenn die Akkus nicht ausreichend gekühlt werden, wird die Ladegeschwindigkeit gedrosselt.

Was die Herstellung von Lithium-Ionen-Akkus betrifft sind sie keine wirklich Zukunftssichere Lösung. Lithium, ein Hauptbestandteil dieses Akkutyps ist ein zwar in sehr großen Mengen verfügbares Leichtmetall, jedoch ist ein großer Teil davon in nur kleinen Mengen verteilt über große Flächen, was es nicht lohnenswert machen würde um es abzubauen. In Konzentrationen von >2% kommt es in 25 verschiedenen Mineralen vor.



Abbildung 13: Lithium (Li)

Lithium kommt in drei unterschiedlichen Umweltmilieus vor: In Salzseen, kontinentalen Tiefenwässern und Ölfeldwässern, heutzutage wird Lithium jedoch nur aus Salzseen gewonnen.

### 3.2.2 Wasserstoffzellen

Als Alternative zu Akkubetriebene Elektroautos gibt die, die mit Wasserstoffzellen funktionieren. Auf den ersten Blick hat diese Technologie fast nur Vorteile: man kann die Autos sehr „einfach“ mit Treibstoff versorgen, da man sie „nur“ mit Wasserstoff auftanken muss, was innerhalb weniger Minuten erfolgt. Deshalb braucht man viel kürzere Pausen auf der Langstrecke einzulegen, was für Viele ein entscheidender Vorteil wäre. Ebenfalls ist die Energiedichte deutlich höher als bei Lithium-Ionen-Akkus. So kann man pro Kilogramm bei einem Lithium-Ionen-Akku maximal 0,28 kWh Strom speichern, Wasserstoff kann bei selbigem Gewicht ganze 40 kWh speichern.

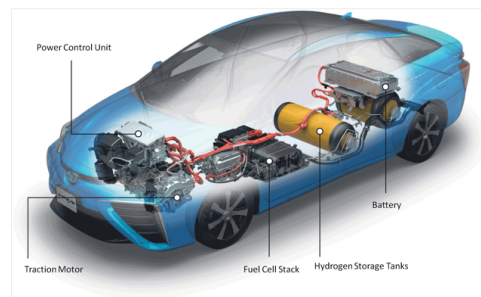


Abbildung 14: Aufbau eines Wasserstoffautos

#### *Verluste bei der Wasserstoffproduktion und beim Transport*

Ein sehr großer Nachteil des Wasserstoffspeichers ist jedoch die Effizienz. Es gibt sehr viele Punkte wo es Verluste gibt: Wasserstoff kommt zwar sehr viel vor in der Natur, jedoch gibt es ihn nirgendwo pur und befindet sich meist in Wasser und anderen Stoffen. Deshalb muss man den Wasserstoff künstlich gewinnen, was zu Kosten der Effizienz geht. Die Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse, einer der effizientesten Arten, Wasserstoff herzustellen, hat nur eine Effizienz von ca. 80%. So hat man allein schon bei der Produktion einen Verlust von 20%. Wenn man den Wasserstoff nicht an jeder Tankstelle einzeln produzieren würde, könnte man zwar den Wasserstoff effizienter herstellen, da er in größeren Mengen produziert wird, jedoch müsste man den ganzen Wasserstoff verteilen und das würde wieder zu mehr Verlusten führen. Der Wasserstoff kann entweder mit Lkws oder Pipelines transportiert werden, wo es Verluste von, je nach Abstand und Methode, 10-40% gäbe. Bis zur Pumpe könnte es so eine Effizienz von 48-72% geben. Batteriebetriebene elektrische Fahrzeuge haben nur beim Laden einen Verlust von 1% und beim Transport einen Verlust von 5%. Das heißt, dass sie eine Effizienz von ungefähr 94%



Abbildung 15: Tankendes Wasserstoffauto

haben. Es gibt also einen großen Unterschied: Batterieangetriebene Elektrofahrzeuge sind bei Produktion und Transport ca. 22-46 Prozentpunkt effizienter als ihre wasserstoffangetriebenen Brüder.

#### *Verluste bei der Wasserstoffspeicherung*

Wenn man auf der Tankstelle den Wasserstoff selbst produziert, muss man den speichern. Da Wasserstoff allerdings der leichteste Stoff auf der Periodentabelle ist (0,09 g/L), muss man ihn sehr stark komprimieren, um ihn speichern zu können. Dafür gibt es zwei Methoden: Speicherung unter hohem Druck oder niedriger Temperatur. Würde man den Wasserstoff mit einem Druck von 800 Bar speichern, würde man allein schon für die Komprimierung 13% der in dem Wasserstoff vorhandenen Energie verbrauchen. Die andere Methode, also den Wasserstoff extrem zu kühlen ist ebenfalls nicht besser, da Wasserstoff erst bei -253°C flüssig wird. Dies würde für einen noch viel höheren Energieverbrauch sorgen: 40% der sich im Wasserstoff befindenden Energie.

#### *Verluste im Fahrzeug*

Da batteriebetriebene Elektroautos einen Gleichstrom (DC)-Akku haben und das Stromnetz auf Wechselstrom (AC) aufbaut, muss man diesen Strom umwandeln. Dafür haben die Ladegeräte einen Wechselrichter eingebaut, der eine ungefähre Effizienz von 92% hat. Lithium-Ionen-Akkus verlieren den Strom mit der Zeit langsam, deswegen rechnet man durchschnittlich von einer Ladeeffizienz von 90%.

Wenn man den Wasserstoff bzw. Strom dann im Auto hat, muss man diesen noch in Bewegungsenergie umwandeln, damit das Fahrzeug fahren kann.

Dafür verwendet ein Wasserstoffangetriebenes Auto eine Brennstoffzelle, die dem reinen Wasserstoff Luft zuführt und so eine elektrische Spannung aufbaut (Umgekehrte Elektrolyse). Diese hat eine Effizienz von bis zu 60%.

Die Akkus von batteriebetriebenen Elektroautos funktionieren zwar mit Gleichstrom, jedoch die allermeisten Elektromotoren nicht. Das sorgt dafür, dass man einen zweiten Wechselrichter im Auto braucht, der den Strom wieder zurück in Wechselstrom wandelt. Diese haben eine ungefähre Effizienz von 90%. Da der Elektromotor eine Effizienz von 90-95% hat, kommt man bei batteriebetriebenen Elektroautos auf eine insgesamt Effizienz (Gewinnung des Stroms bis fahren) von ungefähr 72-77%.

Wie auch ihre batteriebetriebenen Brüder, haben Wasserstoffautos verschiedene von den gleichen Ineffizienzen. Wenn man den Wasserstoff mithilfe von Elektrolyse herstellt, muss man den Strom ebenfalls zuerst in Gleichstrom umwandeln. Hier liegt die Effizienz, wie auch bei einem Ladegerät eines herkömmlichen Elektroautos bei rund 92%. Da man dieselbe Art Motor verwendet wie auch bei batteriebetriebenen Modellen, muss man auch hier wieder den Strom zurück in Wechselstrom umwandeln, ebenfalls mit einem Wechselrichter, ebenfalls mit einer ungefähren Effizienz von 90%. Dann hat man noch den Elektromotor mit einer Effizienz von 90-95%. Wenn man vom Optimalfall ausgeht mit einer Effizienz der (umgekehrten) Elektrolyse von 80%, liegt die Energieeffizienz bei Wasserstoffautos nur bei rund 30%, was weniger als halb so viel ist als bei batteriebetriebenen Elektroautos.

#### *Preisunterschied*

Batteriebetriebene Elektroautos sind ebenfalls viel günstiger aufzuladen als Wasserstoffbetriebene Autos zu füllen sind. z.B. kann man ein beim Tesla Model 3 für 1,8 Cent pro Kilometer fahren, mit einem Toyota Mirai kostet das ganze 17,7 Cent (bei einem Preis von 0,12€/kWh und 17€/kg Wasserstoff). Beide Fahrzeuge haben ungefähr dieselbe Reichweite von ca. 500km, jedoch kostet es ca. 9€ um das Model 3 aufzuladen und ganze 85€ für den Mirai.



## Fazit

So haben Wasserstoffangetriebene Autos nur die Vorteile, dass sie leichter sind und weiter kommen, jedoch viel mehr Nachteile wie dass sie teurer sind, weniger Effizient, mehr neue Infrastruktur benötigen und zudem noch sehr unsicher sind, da Wasserstoff extrem leicht entzündbar sind. Da batteriebetriebene Elektroautos immer schneller Laden können, erwarte ich, dass die Langstreckentauglichkeit immer besser wird und man dafür keine Wasserstoffautos mehr braucht.

## 3.3 Tesla

Tesla hat bereits früh angefangen, Elektroautos zu bauen. Die Firma konzentriert sich seit Anfang an auf reine Elektroautos, das den Vorteil hat, dass sie einen großen Vorsprung gegenüber anderen Herstellern haben was die Schnellladeinfrastruktur, Akkuproduktion und Effizienz angeht. Ebenfalls ist Tesla einer der einzigen Elektroautohersteller, die ihre Akkus selber zusammenbaut. So hat Tesla es geschafft, den Kobaltanteil in ihren Akkus deutlich zu verringern: statt der üblichen 8% wurden in den Akkus des Model 3 nur 2,8% Kobalt verwendet.

Mit dem Masterplan wollte Elon Musk mit Tesla den Automarkt revolutionieren und die Elektromobilität größer machen als die Verbrenner.

Der Masterplan ist so aufgebaut:

2006: Elon Musk stellte den Tesla Roadster 1 im Juli 2006 vor. Der Roadster 1 ist ein teurer Sportwagen, der zunächst nur zur Begeisterung für Elektromobilität dienen sollte, größtenteils wegen der schnellen Beschleunigung. 2008 wurden die ersten Modelle verkauft. Ein 215 kW starker Elektromotor mit einem maximalen Drehmoment von 370 Nm (400 Nm bei der Sport-Variante) sorgten dafür, dass der Roadster in nur 3,7 Sekunden von 0 auf 100 km/h beschleunigen konnte. Die Höchstgeschwindigkeit betrug 201 km/h, was damals für ein Elektroauto sehr viel war.



Abbildung 16: Das erste Tesla-Auto, der Roadster

2009: Am 26. März 2009 wurde das Model S von Tesla vorgestellt. Das in 2012 auf den Markt gekommene Model S ist das erste Vollelektrische 5+2-sitzige Elektroauto der Oberklasse. Das Model S hat, wie auch der Roadster, eine sehr schnelle Beschleunigung. Hier sorgt ein 422 PS starker Elektromotor mit rund 600 Nm Drehmoment, ebenfalls auf der Hinterachse, dafür, dass beim Model S die Beschleunigung von 0 bis 100 km/h in rund 4,4 Sekunden passiert.



Abbildung 17: Das zweite Tesla-Auto, das Model S

Das Model S in der höchsten Konfiguration hatte eine Reichweite von etwa 480 Kilometer, was ein hoher Wert ist. April 2016 präsentierte Tesla ein paar Änderungen am Model S: die Front wurde ein wenig umgeformt und sieht jetzt dem Model X sehr ähnlich. Ebenso wurde der aus dem Model X bekannte HEPA-Filter eingebaut, ein laut Tesla 100-mal effektiverer Filter als die der Konkurrenz. Ebenso hat das Model S



nun adaptive LED-Scheinwerfer. Im Masterplan sollte das Model S für genug Geld sorgen, um unter anderem die Produktion für das nächste Modell zu finanzieren, das Model X.

2012: Das Model X wurde am 9. Februar 2012 als Design-Prototyp in Los Angeles vorgestellt. Den Oberklasse-SUV gab es in drei Varianten: 70D, 90D und P90D. Die Zahlen stehen für die Akkukapazität in kWh, das „D“ für „Dual motor“, wie Tesla ihren Allradantrieb nennt, da dieser mit zwei separaten Motoren für die Vorder- und Hinterräder funktioniert um in allen Situationen den bestmöglichen Halt zu haben. Das „P“ beim „P90D“-Modell steht für „performance“, die Variante hat anstatt zwei gleich Leistungsstarken Motoren hinten einen stärkeren, was dafür sorgt, dass das Auto eine noch schnellere Beschleunigung hat. Das Model X hat anstatt „normalen“ Hintertüren die sogenannten „Falcon Wing Doors“. Die Falcon Wing Doors sind Flügeltüren, sie öffnen sich elektrisch. Sie haben zwei Gelenke, was dafür sorgt, dass sie nicht viel seitlichen Platz benötigen. Damit man einfach man sich einfacher setzen kann, falten nicht nur die Türen nach oben, sondern ebenfalls ein Stück des Glasdaches. Im Masterplan sollte das Model X für Geld sorgen, damit Tesla die Entwicklung und Produktion des Model 3 voranbringen konnte.



Abbildung 18: Das Tesla Model X

2016: Als Prototyp wurde Ende März 2016 das Model 3 vorgestellt. Das Model 3 ist das wichtigste Auto von Tesla, da es deutlich günstiger ist als alle anderen Autos die Tesla bislang vorgestellt hat. Das Model 3 ist etwas kleiner als das Model S, hat deshalb auch weniger Stauraum. Tesla hat beim Model 3 ein extrem minimalistisches Interieur eingebaut. Es hat fast keine Knöpfe, es gibt nur einen 15 Zoll großen Touchscreen in der Mitte des



Abbildung 19: Das Tesla Model 3

Armaturenbretts, mit dem man alles steuern kann. Das Model S hat zwar auch ein im Vergleich zu anderen Autos minimalistisches Interieur, da es ebenfalls relativ wenig Knöpfe hat, im Vergleich zum Model 3 hat es jedoch ziemlich viele Extras wie z.B. ausziehbare Armlehnen zwischen den Vordersitzen und ein zweites Display hinter dem Lenkrad. Hat das Model S wie auch jedes andere Auto über den ganzen Innenraum verteilte Lüftungsschlitze, so funktioniert die Klimaanlage des Model 3 mit nur einem breiten Schlitz direkt hinter der Windschutzscheibe für den ganzen Wagen. Dies zeigt ebenfalls, dass Tesla beim Model 3 sehr viel Wert auf Minimalismus gelegt hat. Der Touchscreen des Model 3, der sich in der Mitte des Armaturenbretts befindet, wurde nicht, wie beim Model S eingelassen, sondern hat einen kleinen Abstand zum aus Holz oder Plastik gefertigten Streifen dahinter, was einen schwebenden Effekt hervorruft. Das Model 3 sollte eine Art Vorbereitung sein auf das Model Y, das laut Elon Musk sich

am meisten verkauft wird, da es ein heutzutage sehr beliebtes Modell ist, ein SUV (Sport Utility Vehicle).



*Abbildung 20: Interieur vom Model S*



*Abbildung 21: Interieur des Model 3*

2019: Das aktuellste Auto von Tesla ist das Model Y. Das Model Y ist wie sein großer Bruder, das Model X, ein SUV. Es ist quasi eine Mischung aus dem Model 3 und dem Model X, was man an vielen Stellen erkennen kann. So ist das Dashboard beim Model Y gleich aufgebaut wie beim Model 3, dasselbe gilt für die Vordersitze, jedoch hat man bei dem Model Y mehr Kopffreiheit. Obwohl es auf der selben Plattform als das Model 3 aufgebaut ist, hat laut Musk hat das Model Y 10% mehr Platz als sein kleiner Bruder. Wie auch das Model X, hat das Model Y eine optionale dritte Sitzreihe. So haben im neuesten Auto von Tesla bis zu 7 Personen Platz.



*Abbildung 22: Das Tesla Model Y*



*Abbildung 23: Interieur des Model Y, sehr ähnlich zu dem des Model 3*

### 3.4 Der Antrieb

Elektroautos funktionieren, wie der Name schon sagt, mit elektrischem Strom. Sie werden mit Elektromotoren angetrieben. Elektroautos haben als großen Vorteil über den Verbrenner, dass sie ohne den Verbrauch oder Preis stark zu erhöhen mehrere Motoren haben können. So gibt es verschiedene Konzepte, wo man in jedes einzelne Rad einen Motor einbaut, um das Drehmoment von jedem einzelnen Rad direkt und präzise steuern zu können. Ebenfalls gibt es die Art, einen Motor pro Achse einzubauen, wie z.B. Audi und Tesla es bereits jetzt machen.

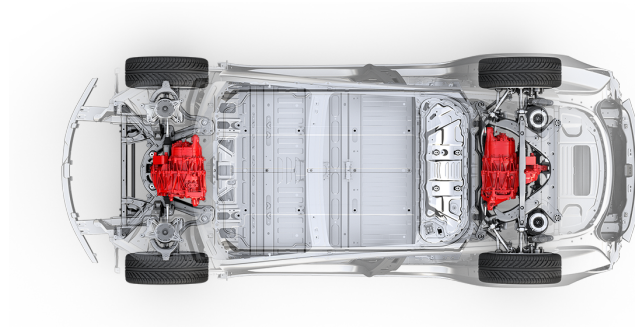


Abbildung 24: Allradantrieb des Tesla Model 3

### 3.5 Die Ladeinfrastruktur

Ein entscheidender Punkt ist bei Elektroautos die Ladeinfrastruktur. Da man Akkus nicht gleich schnell aufladen kann als man z.B. Benzintanks füllen kann, laden die meisten Elektroautofahrer ihr Auto zu Hause an einer Wallbox. Dies hat den Vorteil, dass man im Alltag praktisch nie Ladepausen einlegen muss, da man jeden Morgen mit einem vollen Akku das Haus verlassen kann.



Abbildung 16: Ladendes Elektroauto an einer Wallbox

#### 3.5.1 Wallboxen

Eine Wallbox ist ein Gerät, das man z.B. in der Garage oder unter dem Carport installieren kann, um dort sein Elektroauto zu laden. Es gibt verschiedene Wallboxen mit unterschiedlichen Stromstärken. Da das Stromnetz jedoch mit Wechselstrom funktioniert, funktionieren Wallboxen in den allermeisten Fällen mit Wechselstrom. Akkus in Elektroautos jedoch funktionieren mit Gleichstrom. Deshalb haben fast alle Elektroautos einen Wechselrichter eingebaut, damit man keinen Externen braucht und so das Auto ebenfalls an einer Haushaltssteckdose laden kann.

Wallboxes haben den Vorteil, dass man sein Auto deutlich schneller als an einer Haushaltssteckdose laden kann. Beim haushaltsüblichen Schuko-Stecker kann man eine

Maximalleistung von ungefähr 2,3kW bekommen. Für ein durchschnittliches Elektroauto mit einer Akkukapazität von 35 kWh würde es fast 17 Stunden dauern, um den Akku voll zu laden. Mit einer Dreiphasigen Wallbox kann man jedoch bis zu 22 kW laden (in manchen Fällen sogar bis zu 44 kW), was den Ladevorgang auf knapp zwei Stunden reduzieren würde. Dies ist jedoch lange nicht mit jedem Elektroauto möglich, da Viele nur einphasig laden können. Einphasig kann man eine Leistung von „nur“ 7,4 kW abrufen, was den Vorgang bei einem selbigen Elektroauto ungefähr 5 Stunden dauern lässt.

### 3.5.2 Schnelllader

Neben Autobahnen befinden sich fast immer Schnelllader. Dies sind Gleichstrom-Ladestationen, die mit höchstmöglicher Stromstärke laden, damit man so kurz wie möglich warten muss.



Abbildung 25: Schnellladestation des deutschen Joint-Ventures "Ionity"

Tesla hat mit ihren Schnellladern, den Superchargern, eine vorteilhafte Position, da sie bereits sehr früh angefangen haben, das Netzwerk aufzubauen und so einen großen Vorteil gegenüber der Konkurrenz haben. Die Supercharger bringen momentan die höchste Leistung. Die zweite Version, also die Version, die heute am meisten verbreitet ist, lädt Teslas mit einer Maximalleistung von 120 kW. Die Supercharger V3, die jetzt in den Startlöchern stehen, können mit einer Leistung von bis zu 250 kW laden, was deutlich mehr ist als die anderen Hersteller, die bislang keine Leistungen über 100 kW erreicht haben (März 2019). Tesla gibt an, dass man mithilfe der dritten Version an Superchargern mit einer Ladegeschwindigkeit von bis zu 1600 Kilometer pro Stunde an Reichweite laden kann (250kW Ladeleistung). Laut Tesla könnte man so im Idealfall 120km innerhalb 5 Minuten laden.

### 3.6 Kritik über Elektroautos

Kritik auf Elektroautos haben immer noch sehr Viele. Diese Kritik beschränkt sich jedoch in den allermeisten Fällen auf zwei Punkte: Die Akkus und die Stromerzeugung. Die Stromerzeugung ist ein großes Problem, da der Stromverbrauch sehr stark ansteigen würde und man den Strom noch nicht umweltfreundlich erzeugt. Man könne dieses Problem nur lösen, indem man noch mehr auf fossile Stromerzeugung setzt und so der Umwelt auch nicht weiterhilft. Fakt ist, dass man das Stromnetz viel einfacher grün machen kann als Verbrennungsmotoren. Die Akkus seien „noch umweltschädlicher“ als die Verbrenner, da die Akkuproduktion sehr viele Ressourcen verbraucht. Bei Vergleichsstudien wird sehr oft

vom heutigen Strommix ausgegangen, was nicht logisch ist, da sich dieser auf langer Sicht definitiv entwickeln wird.

### 3.7 Eigene Meinung

Meiner Meinung nach sind Elektroautos die Zukunft. Sie sind effizient, leise, wartungsarm, leistungsstark und umweltfreundlich. Klar, die derzeitige Situation mit den Lithium-Ionen-Akkus ist noch nicht so, wie sie sein sollte, jedoch ist der Akku neben dem noch nicht ausreichend grünen Stromnetz der aktuell einzige große Nachteil von Elektroautos. Es gibt jedoch viele Firmen, die sehr stark an neuen Akkutechniken forschen. Das Stromnetz kann man vergleichsweise einfach auf erneuerbare Energiequellen umstellen, indem man mehr Photovoltaik-, Wasserkraft- und Windkraftanlagen ans Stromnetz anschließt.

## 4. Glossar

Nm	Newtonmeter
kW	kilowatt
kWh	kilowattstunden

## 5. Quellen

<https://www.de.wikipedia.org/wiki/Hyperloop>  
<https://www.hyperloop-one.com>  
<https://digitaler-mittelstand.de/technologie/news/hyperloop-one-baut-teststrecke-fuer-elon-musks-transportsystem-32697>  
[https://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop\\_alpha.pdf](https://www.spacex.com/sites/spacex/files/hyperloop_alpha.pdf)  
<https://www.greenprophet.com/2013/12/hyperloop-elon-musk-dreams-of-a-fifth-mode-of-transportation/>  
<https://www.de.wikipedia.org/wiki/Dreiphasenwechselstrom>  
<https://www.de.wikipedia.org/wiki/Drehstrom-Asynchronmaschine>  
<https://www.en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop>  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Asynchronmotor\\_animation.gif](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/9e/Asynchronmotor_animation.gif)  
<https://www.elektronik-kompodium.de/sites/grd/1006061.htm>  
<https://gizmodo.com/hyperloop-alpha-this-could-change-transit-forever-1112058546>  
<https://innovationorigins.com/de/hyperloop-nie-funktionieren/>  
<https://www.golem.de/news/hyperloop-pod-competition-warr-gewinnt-erneut-den-hyperloop-wettbewerb-1807-135621.html>  
<https://www.spacex.com/hyperloop>  
[http://web.mit.edu/mopg/www/papers/MITHyperloop\\_FinalReport\\_2017\\_public.pdf](http://web.mit.edu/mopg/www/papers/MITHyperloop_FinalReport_2017_public.pdf)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop\\_pod\\_competition](https://en.wikipedia.org/wiki/Hyperloop_pod_competition)  
<https://www.slideshare.net/mobile/ayushmathur2009/hyperloop-75351014>  
<https://www.theverge.com/2018/7/22/17601280/warr-hyperloop-pod-competition-spacex-elon-musk>  
<http://uk.businessinsider.com/elon-musk-hyperloop-pod-competition-winner-hits-290-mph-2018-7?r=US&IR=T>  
<https://www.theverge.com/2016/6/18/11965354/hyperloop-pod-competition-elon-musk-spacex-team-design>  
<https://www.youtube.com/watch?v=IAJBhVyKEHU>  
<https://nordic.businessinsider.com/elon-musk-spacex-hyperloop-results-first-phase-2017-1>  
<https://www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemittelungen/detail/article/33229/>  
<https://t3n.de/news/warr-pod-hyperloop-rennen-1097071/>  
<https://www.tudelft.nl/2017/tu-delft/delft-hyperloop-team-in-finale-hyperloop-pod-competition-spacex/>  
<https://www.engadget.com/2017/08/27/hyperloop-pod-competition-winner-hits-200-mph/>  
[https://www.signerag.ch/deu/neuer-webauftritt-der-signer-ag\\_41121.shtml](https://www.signerag.ch/deu/neuer-webauftritt-der-signer-ag_41121.shtml)  
<https://hyperloop.epfl.ch/competition.html>  
<https://1-stromvergleich.com/strom-report/strommix/>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Elektroauto>  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Memory-Effekt\\_\(Akkumulator\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Memory-Effekt_(Akkumulator))  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Lithium-Ionen-Akkumulator>  
<https://www.tz.de/auto/elektroauto-batterien-alles-preise-rohstoffe-lebensdauer-zr-9423235.html>  
<https://www.welt.de/wirtschaft/article169621504/Dieses-Metall-wird-zum-Problemkind-der-Elektromobilitaet.html>  
[https://www.kit.edu/kit/pi\\_2018\\_027\\_szenario-2050-lithium-und-kobalt-konnten-knapp-werden.php](https://www.kit.edu/kit/pi_2018_027_szenario-2050-lithium-und-kobalt-konnten-knapp-werden.php)  
[http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2018\\_rur/2018\\_RuR\\_565-582\\_Schmidt.pdf](http://www.vivis.de/phocadownload/Download/2018_rur/2018_RuR_565-582_Schmidt.pdf)  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Model\\_S](https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla_Model_S)  
[https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla\\_Roadster\\_\(2008\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster_(2008))  
<https://www.adac.de/infotestrat/tests/auto-test/detail.aspx?IDTest=5022>  
<https://www.autoevolution.com/pdf/auto/84507c0bade35711915a5ace62d0cdf7/5c430954/tesla-motors-model-s-brochure-2012.pdf>



<https://www.emobilserver.de/wie-lange-dauert-es,-ein-elektrofahrzeug-aufzuladen.html>  
<https://www.computerbild.de/videos/cb-News-Connected-Car-Tesla-Akkus-ohne-Kapazitaetsverlust-18094155.html>  
<https://ecomento.de/2017/01/31/so-sieht-teslas-100-kwh-akku-von-innen-aus/>  
<https://www.elektroniknet.de/design-elektronik/nach-300-000-km-nur-10-prozent-weniger-kapazitaet-153085.html>  
<https://www.myjoyonline.com/business/2018/february-6th/use-lithium-to-develop-volta-region-piac-urges-govt.php>  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Tesla\\_Roadster\\_--\\_02-11-2011.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/df/Tesla_Roadster_--_02-11-2011.jpg)  
<https://www.tesla.com/compare?redirect=no>  
<https://cars.usnews.com/cars-trucks/tesla/model-s/2017/photos-interior>  
[https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=\\$IN3PB,\\$PBSB,\\$DV4W,\\$SLR1&view=STUD\\_SEAT&model=m3&size=1441&bkba\\_opt=1&version=v0027d201903101038&version=v0027d201903101038](https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=$IN3PB,$PBSB,$DV4W,$SLR1&view=STUD_SEAT&model=m3&size=1441&bkba_opt=1&version=v0027d201903101038&version=v0027d201903101038)  
<https://www.audi.de/de/brand/de/neuwagen/tron/audi-e-tron/motor.html>  
<https://www.querom.de/leistungselektronik-im-elektroauto/>  
<https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Die-neue-Wallbox-von-Mercedes-Benz-Laden-zuhause-Einfach-kompakt-und-intelligent.xhtml?oid=34320871>  
<https://www.automobile-propre.com/charge-ultra-rapide-le-reseau-ionity-nest-plus-gratuit/>  
<https://www.autobild.de/artikel/tesla-model-y-2019-preis-weltpremiere-reichweite-news-7056745.html>  
<https://www.youtube.com/watch?v=f7MzFfuNOtY>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Energiedichte>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoffantrieb>  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen>  
<https://www.youtube.com/watch?v=f7MzFfuNOtY>  
<https://electricite.lu/fournisseurs/enovos>  
<https://electrek.co/2016/04/12/tesla-official-update-model-s/>  
[https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=\\$WY18B,\\$PPSW,\\$DV4W,\\$MTY03,\\$INYPB&view=STUD\\_3QTR&model=my&size=1441&bkba\\_opt=1&version=v0027d201905030511&version=v0027d201905030511](https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=$WY18B,$PPSW,$DV4W,$MTY03,$INYPB&view=STUD_3QTR&model=my&size=1441&bkba_opt=1&version=v0027d201905030511&version=v0027d201905030511)  
[https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=\\$WTUT,\\$PPSW,\\$MTX04&view=STUD\\_3QTR\\_V2&model=mx&size=1441&bkba\\_opt=1&version=v0027d201905030511&version=v0027d201905030511](https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=$WTUT,$PPSW,$MTX04&view=STUD_3QTR_V2&model=mx&size=1441&bkba_opt=1&version=v0027d201905030511&version=v0027d201905030511)  
[https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=\\$WY18B,\\$PPSW,\\$DV4W,\\$MTY03,\\$INYPB&view=STUD\\_3QTR&model=my&size=1441&bkba\\_opt=1&version=v0027d201905030511&version=v0027d201905030511](https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=$WY18B,$PPSW,$DV4W,$MTY03,$INYPB&view=STUD_3QTR&model=my&size=1441&bkba_opt=1&version=v0027d201905030511&version=v0027d201905030511)  
<https://seekingalpha.com/article/3965730-hydrogen-cars-threat-electric-vehicle>  
[https://www.energieagentur.nrw/mobilitaet/wasserstoff-tankstellen\\_in\\_essen\\_und\\_leverkusen](https://www.energieagentur.nrw/mobilitaet/wasserstoff-tankstellen_in_essen_und_leverkusen)  
[https://static-assets.tesla.com/share/tesla\\_design\\_studio\\_assets/MODEL3/UI/awd.png?&version=v0027d201905030511](https://static-assets.tesla.com/share/tesla_design_studio_assets/MODEL3/UI/awd.png?&version=v0027d201905030511)  
<https://www.businessinsider.com/history-hyperloop-pneumatic-tubes-as-transportation-2017-8?r=US&IR=T>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_the\\_electric\\_vehicle](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle)  
[https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=\\$INYPB,\\$PPSW,\\$DV2W&view=STUD\\_SEAT&model=my&size=1441&bkba\\_opt=1&version=v0027d201905030511&version=v0027d201905030511](https://static-assets.tesla.com/configurator/compositor?&options=$INYPB,$PPSW,$DV2W&view=STUD_SEAT&model=my&size=1441&bkba_opt=1&version=v0027d201905030511&version=v0027d201905030511)