

Well-to-wheel, Tank-to-wheel und Cradle-to-grave: Wirkungsgradketten

Wie viel Antriebsenergie kommt am Rad an?

Die Antriebsdiskussion ist CO₂-fokussiert: Welcher Antrieb emittiert vom Energiebehälter im Fahrzeug zum Rad am wenigsten? Allerdings geht dabei vergessen, dass nicht nur die Emissionen im Fokus sein sollten, sondern auch die Wirkungsgradketten von der Quelle bis ans Rad und damit die Energieeffizienz. **Andreas Senger**

Ohne Energie wäre ein Leben auf dem Planet Erde unvorstellbar. Ernährung, Infrastruktur, aber auch Mobilität sind abhängig von Energie. Die Natur hat es einfach: Pflanzen können Sonnenlicht und CO₂ aus der Luft dank Fotosynthese in chemische Energie umwandeln (Baustoff C). Der Wirkungsgrad dieser Energieumwandlung beträgt etwa 20 Prozent. Dies bedeutet, dass ein Fünftel der auf ein Blatt eingetroffenen elektromagnetischen Energie des Sonnenlichtes in chemische Energie umgewandelt werden kann, die dem Pflanzenwachstum dient. 80 Prozent der Lichtenergie wird in Wärme umgewandelt und kann nicht direkt von der Pflanze fürs Wachstum genutzt werden.

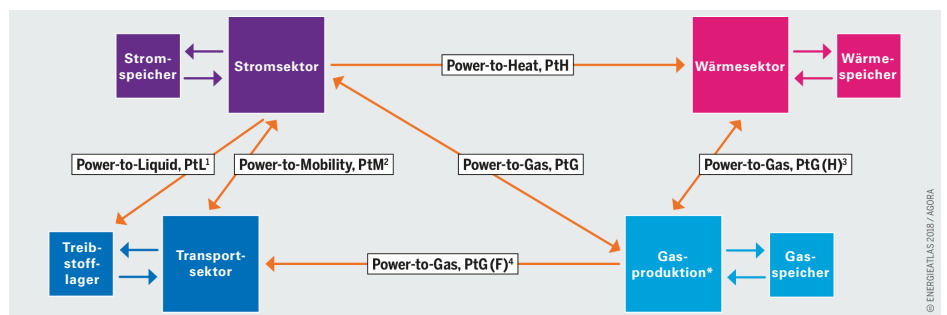
Die Sonnen-, Wind- und Biomassenenergie gehören zu den regenerativen Energieformen. Natürliche Energiequellen können mit geringer Umweltbelastung genutzt werden. Gerne geht in diesem Zusammenhang vergessen, dass zur Produktion einer Fotovoltaikzelle, eines Windrades oder eines Biomassenkraftwerks grosse Mengen an Energie benötigt werden (graue Energie) und die Schadstoffbelastung teilweise hoch ist. Die Energiequellen Sonne und Wind sind zudem nicht 24 Stunden, 7 Tage in der Woche und ganzjährig vorhanden. Sie werden deshalb auch als fluktuierende Energie bezeichnet. Die Bandenergie und damit die Versorgungssicherheit müssen Kraftwerke liefern, die unabhängig von der Witterung ihre Leistung regeln können. Nur wenn Energiespeichersysteme ausgebaut sowie eine dezentrale Stromproduktion Fuss fassen kann, ist eine Erhöhung des regenerativen Stroms sinnvoll.



Der elektrische Antrieb wird die individuelle Mobilität künftig dominieren. Die offene Frage ist lediglich: Sind batterieelektrische Fahrzeuge BEV oder wasserstoffbetriebene Brennstoffzellenfahrzeuge der Königsweg? (Quelle: Magna)

Umwandlungstechniken – Welche was erledigen soll

Schema der gekoppelten Sektoren und der sie verbindenden, von der Elektrifizierung ausgehenden «Power-to-X»-Technologien



¹als Treibstoff ²für Elektroautos ³als Wärmespeicher ⁴als Kraftstoff zur Stromerzeugung

*Gas: Produktion aus erneuerbaren Energie, Umwandlungsprozesse ohne Emission von Treibhausgasen. PtM, PtL: synthetische Kraftstoffe, nur bei wirtschaftlichen Verfahren

Die Energieumwandlungen unterliegen dem physikalischen Gesetz des Wirkungsgrades. Jede Umwandlung bedeutet einen mehr oder weniger grossen Energieverlust. Je mehr Energieumwandlungen hintereinander durchgeführt werden, desto geringer werden der Gesamtwirkungsgrad und damit die Energieeffizienz. (Quelle: Energieatlas)

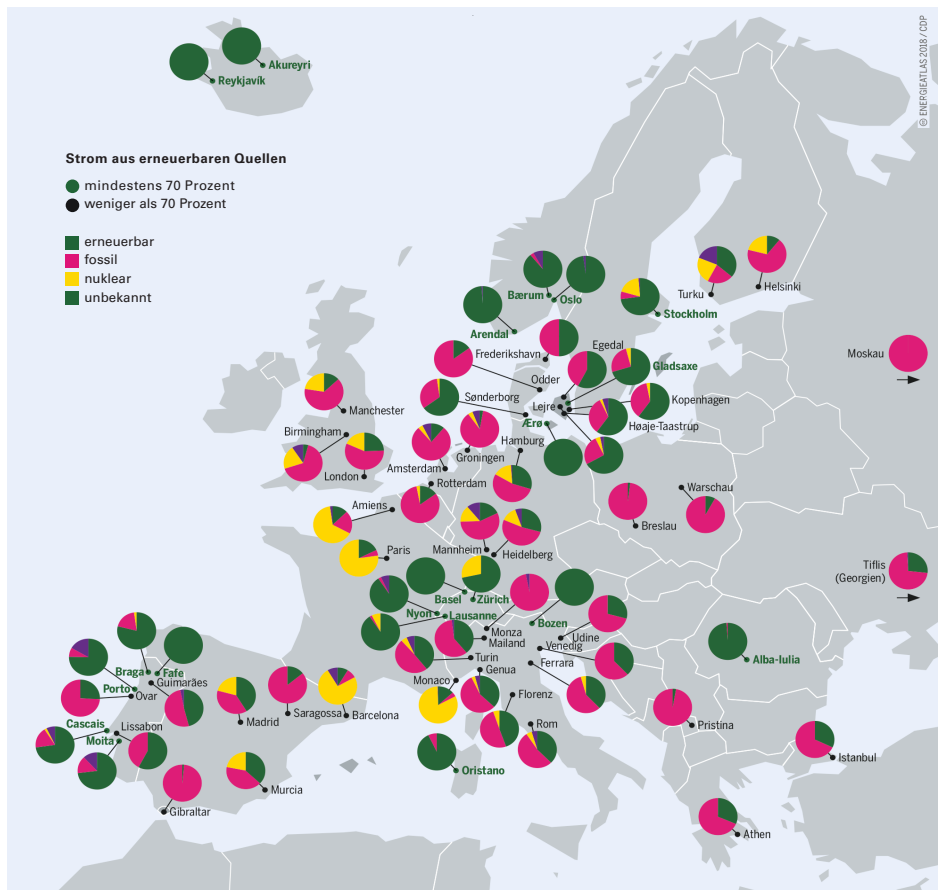
Der physikalische Grundsatz ist klar: Jedes Kilojoule oder jede Kilowattstunde Energie, die nicht benötigt wird, kommt der Umwelt zugute. Je effizienter die Energieherstellung,

Tankinfrastruktur, ein Fahrzeugantrieb und je besser bereits das Recycling organisiert ist, desto geringer ist der ökologische Fussabdruck.

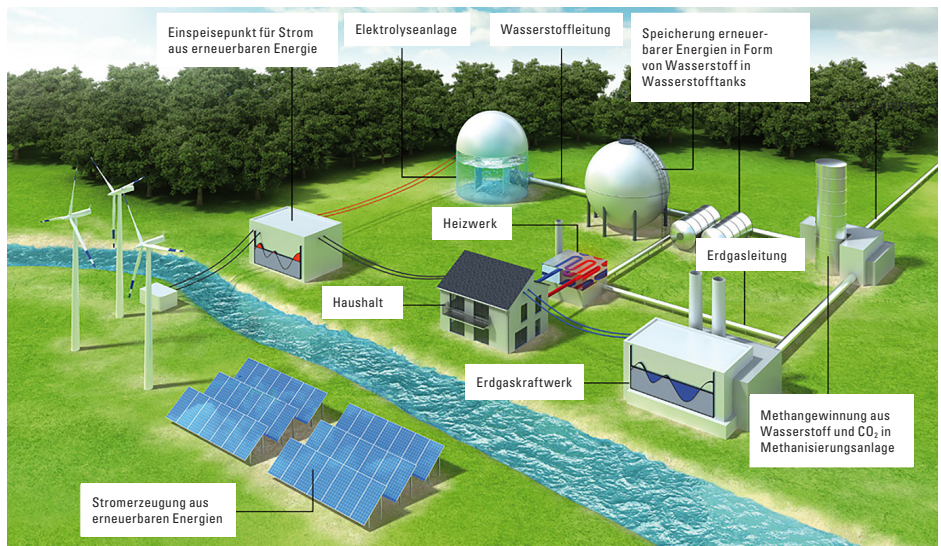
Was bedeutet dies für die Antriebsenergie von Fahrzeugen? Die Antwort ist einfach: Wenn die individuelle Mobilität eine geringere Umweltbelastung aufweisen soll, muss die komplette Wirkungskette von der Wiege bis zur Bahre («cradle to grave») betrachtet werden. Einzig auf die CO₂-Emissionen oder Schadstoffemissionen zu fokussieren ist kurzfristig und energetisch wenig zielführend.

Zudem gilt es, den endlichen Treibstoff Rohöl und seine Raffinate mittel- bis langfristig ökonomisch wie auch ökologisch sinnvoll zu ersetzen. Alternative Treibstoff sind die Antwort. Diese müssen aber zwingend aus regenerativer Energiequelle stammen. Die Dekarbonisierung und Defossilisierung muss langfristig umgesetzt werden. Das Erdöl ist endlich und als Rohstoff für viele Anwendung zu wertvoll, um einfach im Verbrennungsmotor verbrannt zu werden.

Aktuell dominieren Verbrennungsfahrzeuge den Markt. Der Wirkungsgrad eines Benzinfahrzeuges liegt im optimalen Betriebspunkt bei rund 30 Prozent («Tank to wheel»). Im tiefen Teillastbereich sind es sogar nur rund zehn Prozent. Von den an der Tankstelle getankten zehn Litern Bleifrei werden bei einem Ottomotor also ein bis höchstens drei Liter als Antriebsleistung im Fahrzeug verwendet. Die verbleibenden sieben bis neun Liter chemische Energie werden im Fahrzeug nur in Wärmeenergie umgewandelt (Kühlung, Abgastemperatur, Innenraumheizung). Bildlich heisst das, um 100 Kilometer Strecke mit einem Auto, das 10 l/100 km verbraucht, zurückzulegen, wird ein Liter in Vortrieb umgemünzt. Der Rest kann beim Betankungsvorgang auch direkt angezündet werden (Wärmeenergie). Das Argument des grottschlechten Wirkungsgrad wird insbesondere von Befürwortern der elektrischen Antriebstechnik ins Feld geführt. Ein Elektromotor weist einen Wirkungsgrad von rund



Nur wenn es gelingt, die Stromproduktion ohne fossile Energieträger (Rohöl, Kohle, Erdgas) sicherzustellen, ist elektrische Mobilität sauber. In der Grafik wird der Strommix in europäischen Städten dargestellt. Die pink markierten Anteile der fossilen Stromproduktion dominieren oft und sind nicht einfach zu ersetzen. (Quelle: Energieatlas)



Ein sinnvoller Energiekreislauf: Mit regenerativer Stromproduktion wird durch Elektrolyse aus Wasser H₂ O Wasserstoff H₂ und Sauerstoff O₂ gewonnen. Der Wasserstoff kann dem bestehenden Erdgasnetz beigemischt werden. Überschüssiger Wasserstoff kann zudem in Methangas (CNG) umgewandelt und für Heizung, Kochen sowie Mobilität eingesetzt werden. Im Bedarfsfall kann das gespeicherte Erdgas in Strom zurückverwandelt werden. Auch die Herstellung von synthetischem Benzin, Diesel oder Kerosin sind möglich. (Quelle: enbw)

Fortsetzung Seite 18

Neu: FGS, der Anhänger mit Liftachse und 100%-Achsausgleich
Nutzlast bis 2,9 t

Autotransport-Anhänger und Aufbauten
 Besuchen Sie unsere Ausstellung oder verlangen Sie eine Vorführung.
 Auch in Kommunalausführung lieferbar.

T&W Technik
 Dammstrasse 16, 8112 Otelfingen
 Tel. 044 844 29 62
 www.fgs-fahrzeuge.ch

seit 1904 **CORTELLINI & MARCHAND AG** **061 312 40 40**
 Rheinfelderstrass 6, 4127 Birsfelden

Der umfassendste Auto-Steuergeräte-Reparatur-Service von Cortellini & Marchand AG.

Sie suchen, wir finden – Ihr Suchservice für Auto-Occasionsteile

www.auto-steuergeraete.ch www.gebrauchte-fahrzeugteile.ch

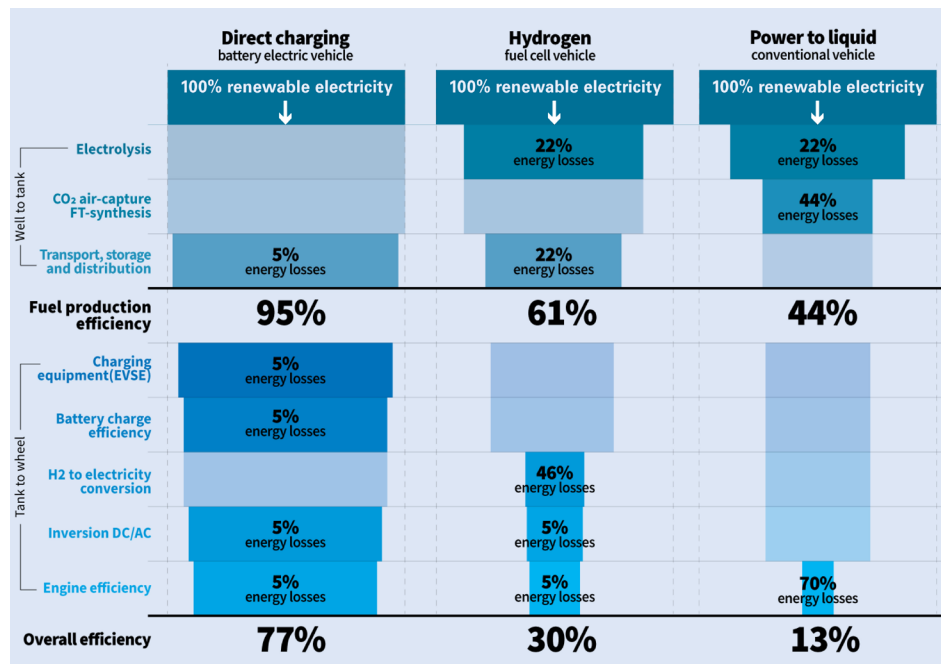
95 Prozent auf. Das Potenzial der Verbrenner für Optimierungen ist aber auch dank Hybridisierung gross.

Die Effizienz des Energieumwandlers von elektrischer in mechanische Energie ist tatsächlich rekordverdächtig. Allerdings geht gerne vergessen, dass beim «Betanken» eines batterieelektrischen Fahrzeuges (BEV) zuerst der Strom von der Ladesäule in die Hochvoltbatterie gelangen muss. Dabei wird er entweder an der Ladesäule (DC-Ladevorgang) oder im Fahrzeug (On-Board-Ladegerät) gleichgerichtet und die Leistung gesteuert. Die Umwandlung im Akku von elektrischer in chemische Energie sowie das Lademanagement benötigen Energie und bedeuten einen Wirkungsgradverlust. Der ADAC hat dies für 15 BEV untersucht und kommt zum Schluss, dass zehn bis 25 Prozent Differenz von der Ladekapazität der Säule/Wallbox bis zur Reichweite fürs Fahren entsteht. Schnellladungen sind mit grossen Wirkungsgradverlusten gekoppelt.

Die Umwandlung der chemischen Energie in Antriebsenergie ist wiederum mit einem Verlust behaftet. Und auch beim Rekuperieren kann nur ein Teil der kinetischen Energie gespeichert und danach fürs Beschleunigen wieder aufgewendet werden (rund 50 bis 60%). Vom Gesamtwirkungsgrad her müssen beim BEV und allgemein bei Steckerfahrzeugen zudem die hohen energetischen Aufwendungen in der Produktion und beim Recycling einbezogen werden. Je nach Berechnung kann mit einem Verbrenner 60 bis 120000 km gefahren werden, bis die CO₂-Bilanz ausgeglichen ist und das BEV (ohne Recycling) einen Vorteil herausfährt. Die Frage des Akkurecyclings ist aktuell noch nicht abschliessend gelöst und mit enormen Kosten verbunden.

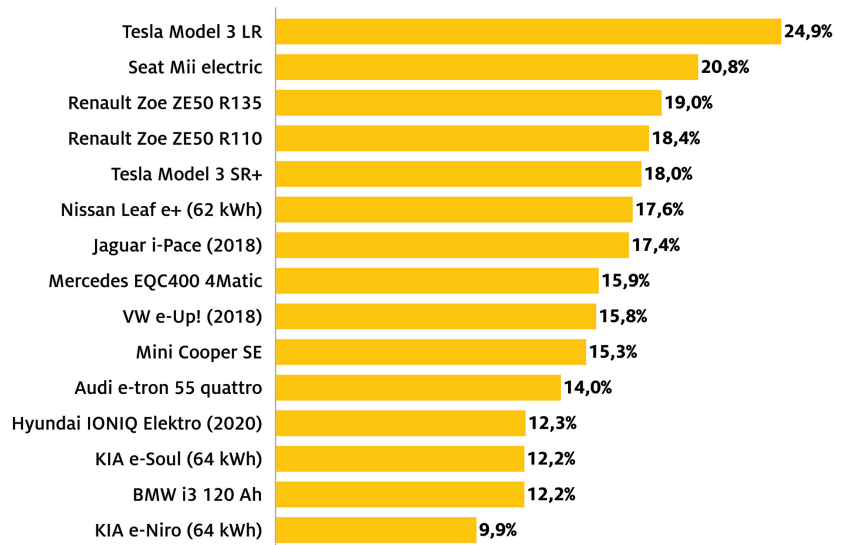
Auch Brennstoffzellenfahrzeuge (FC) weisen hohe Wirkungsgradhürden auf: Um ein Kilogramm H₂ durch Elektrolyse zu produzieren, sind rund 30 bis 55 kWh elektrische Energie nötig (je nach Elektrolysator). Damit fährt ein BEV bereits über 150 bis 200 km. Die Brennstoffzelle hat danach einen Wirkungsgrad von rund 60 Prozent. Der Gesamtwirkungsgrad wird mit rund 30 Prozent angegeben und liegt somit über denjenigen von Verbrennungsmotoren. Weitere Entwicklungen auf dem Gebiet der alternativen Antriebe werden für kostengünstigere und für den Kunden vorteilhafte individuelle Mobilität sorgen.

Wirkungsgradkette «Well to tank» und «Tank to wheel»



Die Wirkungsgradkette wird oft nur vom Energiebehälter im Fahrzeug bis ans Rad («Tank to wheel») angegeben. Ehrlicher ist die Angabe von der Quelle bis zum Rad («Well to wheel»). Transparent wäre die Gesamtwirkungsgradkette von der Wiege bis zur Bahre («Cradle to grave»). Die Steckerfahrzeuge und insbesondere die BEV schneiden wegen der Akkumulatorproduktion und des -recyclings schlechter ab. (Quelle: Transport & Environment)

Differenz Bordcomputer – realer Stromverbrauch



Die Differenz von verrechneter Ladekapazität zur vom Bordcomputer berechneten Akkukapazität (= Reichweite) sind zum Teil erheblich. Der ADAC fordert nebst der Angabe des Verbrauchs auch den Ladewirkungsgrad. (Quelle: ADAC)

Welcher alternative Antrieb der Königsweg aufgrund der Verfügbarkeit, Verteilinfrastruktur, ökologischen und ökonomischen Vorteilen und punkto Wirkungsgrad sein wird, zeigt sich erst in den kommenden Jahren. Der Kunde muss auch bereit sein, einen Technologiewandel mitzugehen und zu bezahlen. Um den Garagisten, Kundendienst, Verkauf und insbesondere Werkstattmitarbeitern die neuen Technologien näherzubringen, plant der AGVS bereits ab Sommer 2021 eine gross angelegte Bildungsinitiative. An verschiedenen

Schulen werden Lehrgänge über alternative Antriebe aufgegleist, aber auch die Weiterbildung zum Automobildiagnostiker wird durch Bildungsinhalte rund um alternative Antriebe erweitert und ergänzt. Nur so kann von der Kundenberatung bis zur Wartung sichergestellt werden, dass die neuen Antriebstechnologien in der Branche noch besser Fuss fassen können. <