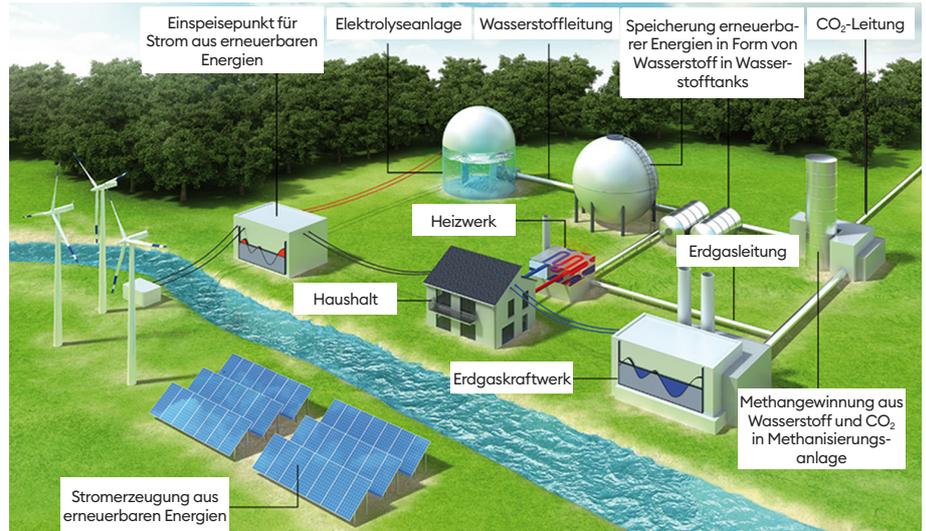


Wirkungsgradkette

Energieträger

Bildquelle: Audi/enbw

Jede Energieumwandlung ist mit Verlusten behaftet. Wenn im Verbrennungsmotor Benzin, Diesel oder Erdgas (CNG), also chemische Energie, in Wärmeenergie und danach in mechanische Energie umgewandelt wird, entstehen markante Verluste. Von 100% zugeführter Energie aus dem Treibstoffbehälter sind nur rund 25-40% an der Kurbelwelle nutzbar. Der Rest wird in Form von Wärmeenergie (Kühlung, Abgase, Reibung) abgeführt und ist nicht für den Vortrieb umsetzbar. Bis zum Antriebsrad geht im Antriebsstrang erneut Energie «verloren». Der Wirkungsgrad η beschreibt das Verhältnis von abgeführter zu zugeführter Energie oder Leistung. Energieumwandlungen generieren immer Verluste. Entsprechend ist der Wirkungsgrad kleiner 1 oder geringer als 100%. Je höher der Wirkungsgrad, desto energieeffizienter ist das Umwandlungssystem. Elektromotoren in BEV, Plug-in-Hybrid- oder Hybridfahrzeugen haben im Bestpunkt einen Wirkungsgrad von rund 95%. Nur 5% der zugeführten Energie oder Leistung wird in Wärme umgewandelt.



Jede alternative Energiequelle muss auf regenerativem Strom basieren. Die anschließenden Energieumwandlungen minimieren den Gesamtwirkungsgrad merklich. Unter dem Strich sind derart produzierte, kohlenstoffbasierte Treibstoffe aber beinahe CO₂-neutral.

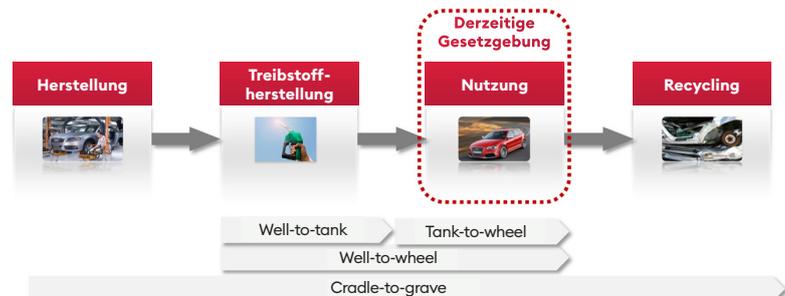
Energieverluste

Die Antriebsenergie gelangt nicht ohne Verluste ins Fahrzeug. Egal welcher Energieträger betrachtet wird, fallen bereits bei der «Gewinnung» der Energie Verluste an. Das Rohöl muss gefördert, transportiert, raffiniert und dem Tankstellennetz zur Verfügung gestellt werden. Bei der elektrischen Energie wird der Strom zuerst zum Teil über weite Strecken transportiert, mehrfach transformiert und muss via Gleichrichter in die Akkus des Fahrzeuges geladen werden.

Jede Energieumwandlung isoliert betrachtet, ist nicht ganzheitlich. Erst wenn der ganze Weg von der Herstellung bis zum Verbrauch und am Schluss der Kette das Recycling als Ganzes betrachtet werden, kann der Antrieb der Zukunft physikalisch und technisch begründet gewählt werden.

Die Krux: Jeder Einzelwirkungsgrad wird multipliziert. Der Gesamtwirkungsgrad wird entsprechend immer kleiner, je mehr Energieumwandlungen in einem Treibstoff- und Antriebssystem vorgenommen werden. Das im Hauptbild vorgestellte Power-to-gas-Prinzip verdeutlicht dies exemplarisch. Die Nutzung von Wind- und Sonnenkraft zur Strombereitstellung ist nebst anderen regenerativen Gesteuerungsmöglichkeiten die einzig vernünftige Alternative. Sie ist CO₂-arm (wie übrigens auch Kernkraftwerke). In der Schweiz werden rund 60% der Stromgewinnung in Wasserkraftwerken realisiert. Der helvetische Strommix weist einen hohen erneuerbaren Anteil auf und ist somit CO₂-arm.

Wird dieser regenerative Strom für die Elektrolyse von Wasserstoff H₂ genutzt, wird bei Aufspalten des Wassers H₂O bereits ein Verlust von rund 45% realisiert. Nur 55% der zugeführten Energie wer-



Dem ganzheitlichen Ansatz von Cradle to grave wird aktuell zuwenig Beachtung geschenkt.

den tatsächlich für die H₂-Bereitstellung genutzt. Wird der Wasserstoff danach im Fischer-Tropsch-Verfahren zusammen mit CO₂ aus der Luft (71 für Gewinnung aus der Luft rund 30%) methanisiert, also zu Erdgas (CNG) verarbeitet, ist dies noch einmal mit einem Verlust verbunden. Der Wirkungsgrad vom H₂O und CO₂ bis zum CH₄ (Methangas) beträgt aktuell rund 40%. Werden synthetische, flüssige Treibstoffe als Ersatz für Benzin, Diesel und Kerosin ins Auge gefasst, sinkt der Gesamtwirkungsgrad für die Treibstoffbereitstellung erneut.

Gesamtbilanz ist zielführend

Aktuell werden Fahrzeugantriebe hauptsächlich über den Wirkungsgrad vom Energiespeicher im Fahrzeug bis ans Rad bewertet. Diese Wirkungsgradkette wird englisch «Tank-to-wheel» bezeichnet. Zielführend und in der Diskussion um den technisch sinnvollsten Fahrzeugtreibstoff der Zukunft wäre aber ein Well-to-wheel-Vergleich, also von der Treibstoffherstellung bis zum Antriebsrad.

Wenn aber die Weichen, auch politischer Natur, für die individuelle Mobilität und damit die ganze Wirkungsgradkette gestellt werden sollen, dann muss jede Antriebsvariante im Cradle-to-grave-Vergleich unter die Lupe genommen werden. Wird ein Fahrzeug und damit sein Antriebssystem mit dem dazugehö-

renden Energieträger von der Produktion des Fahrzeuges inkl. Wirkungsgrad des Treibstoffes bis zum Grab, also dem Recycling betrachtet, öffnen sich Perspektiven.

Der batterieelektrische Antrieb schneidet in der Gesamtbilanz deutlich weniger gut ab, als bei der Wirkungsgradbetrachtung der erwähnten 95% im Drehstrommotor. Die Produktion und das Recycling der schweren Akkus verschlechtert die Gesamtbilanz.

Wird der Wirkungsgrad eines BEV vom Energiespeicher bis ans Rad ohne die Cradle-to-grave-Wirkungsgradkette betrachtet, liegt dieser bei rund 80% (Well-to-tank: 95%). Das Brennstoffzellenfahrzeug mit etwa 30% (60%) und auch der mit synthetischen Treibstoffen betriebene Verbrenner mit circa 15% (44%) hinken deutlich hinterher.

Unter dem Strich gilt es aber, nicht nur den Wirkungsgrad, sondern auch den Treibhauseinfluss zu berücksichtigen. Werden alternative Treibstoffe mit dem europäischen Strommix hergestellt, fallen rund 340 g/kWh CO₂-Emissionen an. Viele europäische Länder (inkl. Deutschland) setzen im hohen Mass auf fossile Energieträger (Kohle, Erdöl) für die Stromproduktion. Wird mit diesem Strommix ein BEV betrieben, resultieren etwa 60 g/km CO₂-Emission nur durch die Stromproduktion. Das anvisierte Ziel der Verbrenner ist aktuell 95 g/km.

Partner: © A&W Verlag AG / SVBA-ASETA-ASITA / AGVS/UPSA / Andi Senger