

DIE ERZEUGUNG UND BEVORRATUNG GRÜNER ENERGIE

Energieträger frei Haus

Entdecken wir gemeinsam die faszinierende Welt der Solarenergie und lassen uns von den unglaublichen Chancen inspirieren, die sie für uns alle bereithält. Die Sonne, unermüdlicher Lieferant von Energie, sendet uns ihre Kräfte bedingungslos, ohne jemals eine Rechnung zu fordern. Verantwortlich für die Gesteuerung und den Unterhalt allen irdischen Lebens ist ihre Potenz so beeindruckend, dass sie eine überwältigende Menge an Energie erzeugt. Nun haben wir Techniken entwickelt, die diese immensen Energielieferungen, die unsere Bedürfnisse bei Weitem übersteigen, einzufangen und für elektrischen Strom oder direkte Wärme nutzbar zu machen.

Durch dieses Einfangen der Sonnenenergie mit Photovoltaikanlagen erreichen wir nicht nur erhebliche finanzielle Vorteile, sondern ersparen unserem Planeten die schädlichen Emissionen von CO₂-Treibhausgasen. Und die Fortschritte in der Solarenergie sind schlichtweg atemberaubend: In nur wenigen Jahrzehnten ist der Herstellungspreis für ein Watt Solarleistung von 1.785 US-Dollar auf nur 10 US-Cent gesunken. Dieser große Schritt in der Verbesserung für den Einsatz zur Stromerzeugung mit PV sollte uns doch endlich dazu motivieren, eine Zukunft zu gestalten, in der erneuerbare Energien 95 bis 100 % der globalen Energieerzeugung ausmachen. Es würde den Einsatz der fossilen Brennstoffe dann erheblich reduzieren, ja, nahezu überflüssig machen. Nahezu – denn für bestimmte hochenergetische Produktionsbereiche der Industrie werden diese Energieträger bis zu ihrem Ersatz durch Wasserstoff (H₂) noch eine Weile warten müssen. Aber auch das wäre

eigentlich nur eine Frage der Zeit, denn „grüner Wasserstoff“ wird mittels „grüner Energie“, also zum Beispiel Sonnenenergie, gewonnen.

Die Wurzeln der Photovoltaik-Technik reichen bis ins Jahr 1954 zurück, als Bell Laboratories in den USA die ersten Silizium-Solarzellen entwickelte. Obwohl deren Effizienz in den Anfangsjahren bei bescheidenen 6 % Stromausbeute lag, hat dieser erste Schritte den Weg für eine kontinuierliche Evolution der PV-Technik geebnet. Bereits 1958 wurden Solarkollektoren während der Mission des US-Satelliten Vanguard eingesetzt. Zwei Jahrzehnte später fand diese Technologie auch auf der Erde Anwendung, als Australien begann, das Telekommunikationsnetz im Outback mithilfe von Solarenergie zu betreiben. Die 1980er-Jahre brachten den Durchbruch für Photovoltaikanlagen auf Bohrinseln und bei der amerikanischen Küstenwache. In der Schweiz installierte zu nahezu gleicher Zeit ein visionärer Ingenieur namens Mark Real eine kleine Photovoltaikanlage auf einem Hausdach. Dies bildete den Grundstein für zahlreiche Solar-Projekte in Europa und weltweit, gerade in der individuellen Nutzung zur eigenen Versorgung. In Deutschland wurde im Jahr 1990 das „Dächer-Projekt“ ins Leben gerufen, bei dem 1.000 Hausdächer mit Photovoltaikanlagen ausgestattet wurden.

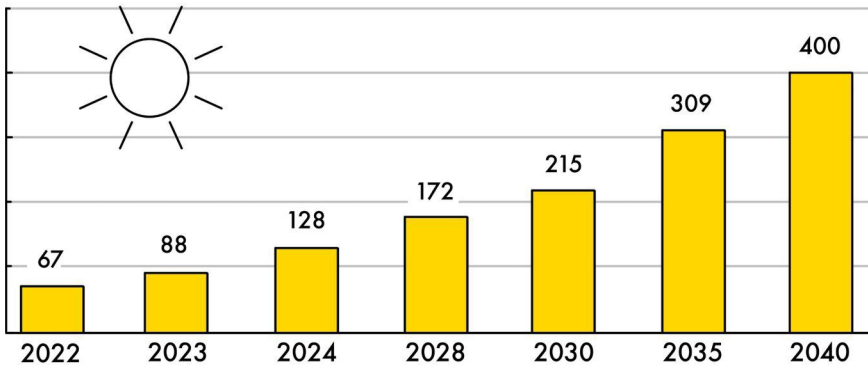
Heute stehen wir vor der aufregenden Möglichkeit, einen großen Teil des Energiebedarfs von über 1.000 Terawattstunden in Deutschland durch Photovoltaikanlagen auf versiegelten Flächen zu decken. Diese Anlagen produzieren über Jahrzehnte hinweg dezentrale Energie günstiger als alle anderen Systeme, erfordern minimale Wartung und liefern Energie an den Punkt, wo sie benötigt wird. Abgesehen von der kostengünstig(st)en Erzeugung des Stroms spart diese Erzeugung auch die teilweise hohen Verluste beim Transfer zentral erzeugten Stroms aus weiterer Entfernung. Dies gilt auch für landwirtschaftliche Flächen, wo die gleichzeitige Nutzung von hochbauenden PV-Anlagen gleich einen doppelten Nutzen ergibt: Sie erzeugen Strom und schützen gleichzeitig

wertvolle Anbauflächen vor Austrocknung durch zu hohe Sonneneinstrahlung oder – in Kombination mit Drainage-Anlagen – vor zu hoher Nässe. Eine doppelt gute Ernte!

Die aktuelle Kostenstruktur von PV-Kraftwerken wird maßgeblich von den Investitionskosten geprägt. Der Preis für PV-Module trägt heute nur noch zu circa einem Drittel der Gesamtinvestitionskosten bei – bei großen PV-Freiflächenanlagen ist dieser Anteil sogar noch etwas geringer als bei kleineren Dachanlagen. Die historische Entwicklung der Modulpreise zeigt einen bemerkenswerten Trend, denn zwischen 2010 und 2020 sind die Preise um 90 % gesunken. Es wird erwartet, dass diese Preissenkung dank kontinuierlicher Produktentwicklung und Optimierung der Herstellungsprozesse weiter anhält.

Seit 2006 sind auch die Preise für PV-Kraftwerke um über 75 % gefallen, was durch technologischen Fortschritt, Skalen- und Lerneffekte ermöglicht wurde – und ab 2010 mit der Preisentwicklung der Module in Zusammenhang steht. Diese Kostenreduktion hat die Wettbewerbsfähigkeit der Photovoltaik-Technologie erheblich gesteigert. Die jährlichen Betriebskosten eines PV-Kraftwerks belaufen sich auf lediglich ca. 1–2 % der Investitionskosten, was sehr niedrig ist im Vergleich zu anderen Technologien für die Energieerzeugung. Daher werden der Ausbau und weitere Aufbau von Photovoltaikanlagen massiv vorangetrieben und erfahren die nötige Unterstützung durch die Politik. Entsprechend dazu stellt sich die Prognose der Bundesregierung dar:

Installierte Photovoltaikleistung in Gigawatt (Prognose)



Neu errichtete Megawatt-Kraftwerke erzeugen PV-Strom zu Kosten von 3–5 Cent pro Kilowattstunde (ct/kWh) [ISE5]. Bei kleineren Dachanlagen liegt die Kostenspanne im Bereich von 9–13 ct/kWh. Diese Kostenschätzungen beruhen auf der vollständigen Abnahme des produzierten Stroms. Es ist beeindruckend zu sehen, wie die Stromgestehungskosten weiter sinken, denn anhaltender technologischer Fortschritt und erreichte Skaleneffekte treiben die Effizienz der Photovoltaik-Industrie voran. Angesichts dieser Entwicklungen ist es nicht verwunderlich, dass viele Menschen in Erwägung ziehen, ihre eigenen Projekte im Bereich erneuerbarer Energien zu starten.

Geht es um Großprojekte und innovative Ansätze für eine immer effizientere Nutzung der Solarenergie, so haben sich Singapur und Australien eines der größten und ehrgeizigsten Photovoltaik-Projekte vorgenommen. Das Projekt Australia-Asia PowerLink, das von Sun Cable geleitet wird, ist ein ehrgeiziges Vorhaben. Es zielt darauf ab, eine umfangreiche Solarenergie-Infrastruktur zu schaffen. Ursprünglich als das Australia-Singapore Power-Link-Projekt gedacht, hat es seinen Fokus erweitert und bezieht nun möglicherweise auch die Stromversorgung Indonesiens mit ein, was zur aktuellen Bezeichnung führte. Es ist eine bedeu-

tende Entwicklung im Bereich der sauberen Energie und soll Australien und Singapur – und potenziell weitere asiatische Märkte – durch eine Kombination aus der weltweit größten Solarfarm, der größten Batteriespeicheranlage und dem längsten Unterwasserkraftkabel verbinden.

Das Projekt plant, außergewöhnliche 17–20 Gigawatt-Solarzellen auf einem 12.000 Hektar großen Gelände im Northern Territory Australiens, etwa 800 km südlich von Darwin, zu installieren. Dieser Standort wurde wegen seiner konstanten Sonneneinstrahlung als ideal für die Stromerzeugung aus Solarenergie ausgewählt. Das Projekt hat einen fast zehnmal größeren Umfang als die derzeit größte Solarstromanlage der Welt. Der von dieser Solarfarm erzeugte Strom wird über Landkabel nach Norden zur Küste und dann etwa 4.200 km nach Singapur über Hochspannungs-DC-Unterseekabel geleitet, wobei ein Teil der Route durch indonesische Gewässer führt. Das Projekt zielt darauf ab, bis zu 3,2 GW an abrufbarer sauberer Energie bereitzustellen, was potenziell bis zu 15 % des Strombedarfs Singapurs decken könnte, was der Versorgung von bis zu drei Millionen Haushalten entspricht.

Die Umweltauswirkungen dieses Projekts sind bedeutend, mit einer potenziellen Reduzierung der CO₂-Emissionen um schätzungsweise 11,5 Millionen Tonnen. Diese Reduktion ist vergleichbar mit der Entfernung von 2,5 Millionen Autos von der Straße. Die Zukunft wartet also schon um die Ecke, besser gesagt um die Hausecke, denn bis dieses Projekt realisiert ist, sollten wir doch einfach den uns zur Verfügung stehenden Lebensraum nutzen. Das bedeutet, dass wir ungenutzte oder für uns entbehrliche Areale dafür nutzen: Dächer, Brachflächen und Luftiges. Es geht sogar in Symbiose. Ackerbau mit „Sonnen-Regen-Schirm“ – „Sonnen-Regen-Schirm“ auf E-Auto – „Sonnen-Regen-Schirm“ auf dem Haus oder Gebäude. Die Sonne genützt, vor Regen geschützt. Das kannst Du gewinnbringend umsetzen, wenn Du Dich mit einer für Dich passenden Lösung beschäftigst. Dazu nachher etwas mehr.

Die Symbiose von Wind- und Solarenergie ist eine ideale Lösung, denn die Effizienz dieser erneuerbaren und frei verfügbaren Energiequellen beeindruckt mit minimalen Verlusten und einem Primärenergiefaktor von nahezu 1,0. Auch Unternehmen können hiervon profitieren; sie leisten ihren Beitrag zur Energiewende und können diesen Be(i)trag gleich mehrfach auf der Haben-Seite zurückbuchen. Jedes Unternehmen hat die Möglichkeit, klimaneutral und eigenständig zu agieren. Das schützt nicht nur die Umwelt, sondern reduziert auch Kosten. Ich habe in den vergangenen 20 Jahren Tausende Projekte für Unternehmen und Immobilieneigentümer begleitet und umgesetzt. Die Nutzung erneuerbarer Energiequellen bringt nicht nur unglaublichen Spaß, sondern ermöglicht auch Flexibilität, Effizienz und bei produzierenden Betrieben die Reduzierung der CO₂-Kosten mit Vorteil für die Lieferkette im Wettbewerb sowie niedrigere Produktionskosten. An dieser Stelle muss ich der Bedeutung der Energiewende für die Mobilität etwas vorgreifen:

Die Sonne ersetzt mit Leichtigkeit „den Tiger im Tank“. Diesen nun veralteten Werbeslogan eines arrivierten Mitglieds der Mineralölindustrie zitiere ich nicht ohne Grund, denn mit der Anbindung der Elektromobilität an die PV-Anlage fährt der private wie auch die Firmenwagen-Flotte des Unternehmers umweltfreundlich, sauber und ... low budget! Abgesehen davon, dass ein Elektrofahrzeug absoluten Fahrspaß generiert, produziert die Sonne „bärenstarke KW für die Batterie“ dieser Automobile. Lasst uns also gemeinsam diese für uns unerschöpfliche Energiequelle der Sonne nutzen – für Urlaub und Arbeit, Wohnen und Reisen –, um eine nachhaltige Zukunft zu gestalten.

Die Energie des Windes

Wie voran kurz erwähnt, bietet die Kombination der elementaren Kräfte von Sonne und Wind in der Energieerzeugung richtig „Power“ und steht für ein Potenzial, das die gesamte Menschheit über allen Bedarf hinaus versorgen könnte. Man muss diese Potenziale nur erkennen – und

einmal versuchen, in ihrer gesamten Dimension zu erfassen. So hat der Atmosphärenwissenschaftler und Aerologe Ken Caldeira darauf hingewiesen, dass eine winzige Brise des Windes auf der Erde ausreicht, um den Energiebedarf der gesamten Menschheit zu decken.

Da hat sich doch jemand bei uns mal „einen Reim darauf gemacht“: Klixbüll ist eine kleine Gemeinde mit rund 1.000 Einwohnern in Schleswig-Holstein. Dort kann man sich auf die Kraft des Windes verlassen. Die Gemeinde hat daraufhin – sauber geplant – den Weg der schmutzigen Abhängigkeit verlassen. Und zusätzlich noch eine zuverlässige Einnahmequelle geschaffen, denn die Windräder im dortigen Windpark gehören den Bewohnern von Klixbüll. Mit den Renditen aus verkauftem Strom sorgen sie dafür, dass man in dem kleinen Ort ein lukratives Auskommen hat. Das könnte Umzugspläne fördern ... Die Windenergie hat in Schleswig-Holstein insgesamt einen hohen Stellenwert. Das Land darf als eines der führenden Bundesländer bei der Nutzung erneuerbarer Energien angesehen werden, denn Windenergie ist ein zentrales Thema mit großem Anteil an der Stromerzeugung des Landes.

Bemerkenswert ist, dass im Jahr 2019 die Windenergie bereits einen bedeutenden Beitrag zur Stromerzeugung geleistet hat, indem sie 7 % des US-amerikanischen Stroms und 5 % des weltweiten Stroms lieferte. Kombiniert mit den Fortschritten bei Gewinnung, Speicherung und dem Transfer von Solarenergie, besteht die Möglichkeit, dass fossile Brennstoffe bis zum Jahr 2050 vollständig durch das „Power-Duo“ Wind- und Solarenergie ersetzt werden können.

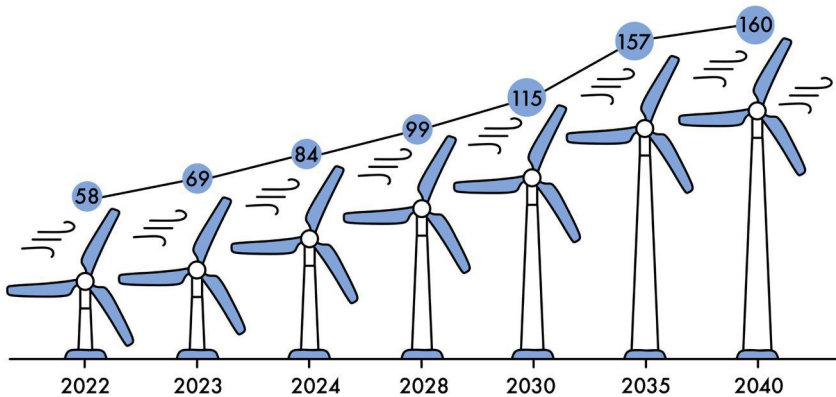
Die Technik von Windmühlen diente als Vorlage zur industriellen Nutzung der Windkraft für die Stromerzeugung. Ende des 19. Jahrhunderts war es so weit und dies gelang das erste Mal. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Windkraft in verschiedenen Staaten der USA vermehrt genutzt. Die erste Anlage, über die heute Berichte vorliegen, erbaute der US-Erfinder Charles Brush 1887 in Cleveland: Die Windturbine erzeugte

Gleichstrom für 350 Glühlampen und mehrere Elektromotoren. In Hamburg beleuchtet der Unternehmer Gustav Conz zur Jahrhundertwende seine Fabrik mit Windstrom. In den 1930er- sowie 1940er-Jahren wurden die ersten Experimente mit den Windkraft-Anlagen in Deutschland gestartet.

Die erste große Windkraftanlage in Deutschland ging 1986 in der Gemeinde Westre bei Schönberg in Schleswig-Holstein ans Netz. Sie hatte eine Leistung von 55 Kilowatt, wurde von der Firma Jacobs Energie erbaut und galt zunächst als Testanlage. Es mussten im Vorfeld Erfahrungen mit der Windenergienutzung gesammelt werden. Als sich der Erfolg einstellte, entstanden in den folgenden Jahren weitere Windkraftanlagen. Die Windenergie ist seitdem zu einer bedeutenden Quelle der erneuerbaren Energie in Deutschland gewachsen. Gerade in den 1990er- und 2000er-Jahren erlangte sie in Deutschland große Bedeutung, sowohl in der Erzeugung der sauberen Energie als auch im Gewinn einer Meisterschaft. Wir wurden – nein, nicht Fußball-, sondern – Windkraft-Europameister!

Aktuell gibt es schon zigtausend Windkraftanlagen in Deutschland und der durchschnittliche Wert der Erzeugung je Anlage beläuft sich auf ein ansehnliches Maß Kilowattstunden (kWh) Strom – im siebenstelligen Bereich. Mehr dazu in der nachfolgenden Grafik, in der alle „Erneuerbaren“ mit ihrer Leistung erfasst sind, aber hier die Prognose der Bundesregierung für den Ausbau der Windenergie an Land:

Installierte Wind-Onshore-Leistung in Gigawatt (Prognose)



Die Windkraft ist das zweite Standbein der grünen Energie, denn scheint die Sonne kräftig, arbeitet die Photovoltaikanlage energisch und energetisch wirkungsvoll. Versteckt sich die Sonne, so darf auf die Windkraft gesetzt werden. Gerade bei den neuen Solarparks werden daher, soweit möglich, passende Windränder integriert. Die Techniken ergänzen sich, denn ob Sommer oder Winter, Nacht oder Tag – die Bereitstellung dieser Erzeuger-Infrastruktur ist in einem kombinierten Solar-/Wind-Park optimal.

Forschung und technische Entwicklungen für Windkraftanlagen tragen weiter dazu bei, die Effizienz der Energieausbeute zu verbessern: Generatoren mit neuen Features, verbesserte Konstruktionen der Rotoren und Digitalisierung. Aber es stehen nicht nur Offshore-Windparks (OWP) an den Küstengebieten der Meere im Mittelpunkt. Auch Windkraftanlagen an Land überzeugen immer mehr mit ihrer Bewegungsenergie. Die Standortsuche nach neuen Plätzen für Windräder kann in den nächsten Jahren durchaus sehr sorgfältig betrieben werden. Es wird ausreichen, die alten Windräder mit neuen Techniken aufzurüsten, um mehr Strom erzeugen zu können. Einst wurde von der Energiepolitik die These auf-

gestellt, dass wir 37.500 Windräder benötigen. Da es in Deutschland schon ca. 30.000 Anlagen für Windräder gibt, muss nur mehr ein geeigneter Standort für weitere 7.500 Windräder gesucht werden. An der Fläche kann die Entstehung eines Windparks nicht scheitern, denn die ist zur Genüge vorhanden. Übrigens: Wenn ein mittelständischer Unternehmer nun den Wunsch hat, eine Windkraft-Anlage für seinen Betrieb zu nutzen, kann er diesen ohne große Bedenken Wirklichkeit werden lassen – eine entsprechende Fläche und die Genehmigung zum Bau vorausgesetzt.

Ein Best-Practice-Beispiel: Alpha Ventus, Deutschlands erster Offshore-Windpark, markiert einen Meilenstein in der Geschichte der erneuerbaren Energien. Inmitten der rauen, unberührten Schönheit der Nordsee, etwa 60 Kilometer von der Küste entfernt, steht dieser beeindruckende Windpark als Symbol menschlichen Erfindungsgeists und ökologischen Fortschritts. Mit seinen zwölf Windturbinen, die sich über eine Fläche von vier Quadratkilometern erstrecken – etwa so groß wie 500 Fußballfelder –, repräsentiert Alpha Ventus eine neue Ära der Energiegewinnung. Die Turbinen, deren Höhe die der Cheops-Pyramide und des Kölner Doms übertrifft, fangen den Wind ein und verwandeln ihn in saubere Energie. Der Windpark hat nicht nur technologische Grenzen überschritten, sondern auch die Erwartungen bei der Energieerzeugung weit übertroffen. In seinem ersten vollen Betriebsjahr produzierte Alpha Ventus beeindruckende 4.450 Volllaststunden. Diese Leistung ist ein glänzendes Beispiel dafür, wie nachhaltige Energiequellen die Art und Weise, wie wir Strom erzeugen, revolutionieren können. Alpha Ventus steht nicht nur für die technische Leistung, sondern auch für die Hoffnung und das Versprechen einer grüneren Zukunft. Es ist ein leuchtendes Beispiel dafür, wie Innovation und Engagement für die Umwelt Hand in Hand gehen können, um eine nachhaltige Energieversorgung zu schaffen. Die Besucherzentren laden ein, diese Szenerie einmal aus der Nähe zu erleben, und bei den Führungen – das kann man dann auch

als eine kombinierte WATT-Wanderung bei Ebbe am Meer und bei jeder der Gezeiten im Windpark machen – kann man mehr über die Funktionsweise der Anlagen und die Bedeutung der erneuerbaren Energien erfahren.

Nimmt man das gesamte nutzbare Potenzial an Windkraft aus den Flächen von Nord- und Ostsee mal genauer unter die Lupe, so haben Fachleute eine mögliche Gesamtleistung von circa 300 Gigawatt (GW) errechnet. Diese Energie entspricht ungefähr der Leistung von 200 Atomkraftwerken (das aber bitte nur wegen der Vorstellungskraft vergleichbarer Leistung) und könnte ca. 300 Millionen Haushalte mit sauber erzeugtem Strom versorgen. Unser direkter Nachbar Dänemark hat diesen Vorteil schon sehr früh erkannt. Hier werden bereits 55 % des gesamten Energiebedarfs des Landes mittels Windkraftanlagen erzeugt.

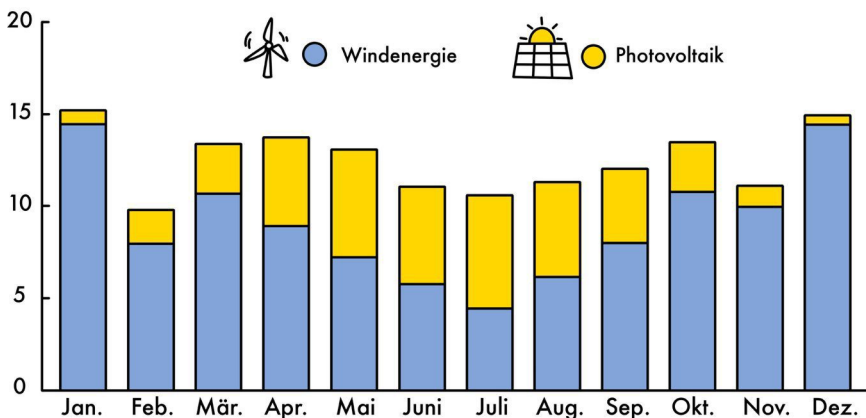
Und die Fortschritte in der Technik für solche Windkraftanlagen sind enorm. Die modernen Anlagen haben inzwischen eine Betriebssicherheit und Lebensdauer von 20 bis 25 Jahren erreicht und auch die Generatoren für die Stromerzeugung werden immer effizienter. Selbst das Recycling ausgedienter Anlagen und ihrer Elemente ist heute möglich und liefert wertvolle Sekundär-Rohstoffe für weitere Verwendungen. „Hart am Wind segeln“ ist die Devise für alle, die sich mit Windkraft und deren effiziente Nutzung für einen geringeren Strompreis befassen. Und auch hier muss ich wieder im Vorgriff zur Bedeutung der Energiewende für die Mobilität etwas hinzufügen:

Klar – auch der Wind reißt sich sieben Beine für die grüne Kraftbetankung aus und ist tatsächlich weit über Petroleum dafür zugange. Aber der Wind lässt nicht nur Schiffe, sondern auch Autos prima „segeln“. Ok, das kennt man vom Verbrenner, wenn man ohne die Verbindung zum Getriebe oder im Leerlauf so dahingleitet. Der Könnner spart dadurch mit vorausschauender Fahrweise Treibstoff. Das „Segeln“ steht hier zwischen Gas geben und Bremsen. Fortschrittliche Elektrofahrzeuge ha-

ben da aber noch eine Funktion mehr, mit der sie ihren „Treibstoff“ mal ganz kurz – während der Fahrt – selbst erzeugen. Sie können rekupe-rieren. Das bedeutet, dass die Phase der Geschwindigkeitsverzögerung bis zum Bremsvorgang dem Auto gewonnene Energie zurück in seine Batterie einspeist. Je nachdem wie hart man die Stufen der Rekuperation wählt, braucht man die Bremse kaum. Also wird ein traditionelles Verschleißteil geschont und selbst zum Energieerzeuger. Lasst uns deshalb gemeinsam den Wind nutzen, um unsere Energiequellen zu erneuern, unsere Gemeinschaft zu stärken und die Umwelt zu schützen. Denn die Zukunft gehört den „Erneuerbaren“.

In Kombination bietet uns das Duo von Sonne und Wind ein harmo-nisches Bild in seiner Bereitschaft, uns mit Energie zu versorgen. Das Jagen und Sammeln haben wir doch schon gelernt und müssen es jetzt, in den technologisch schon weitgehend entwickelten Schritten, nur tun: Energiebeute machen und abspeichern – abrufbar machen. Wenn man von dieser Vorausschau eines konsequenten Ausbaus auf privater wie unternehmerischer Ebene ausgeht, dann kann man sich mit dieser Gra-fik von 2018 leicht etwas hochrechnen:

**Stromerzeugung aus Wind- und Sonnenenergie in Deutschland 2018,
monatliche Erzeugung in Milliarden kWh**



Die Energie des Wassers

Die Faszination für die Kraft des Wassers reicht zurück bis in die frühesten Zeiten der Menschheit. Bereits vor über 5.000 Jahren nutzten wir die Kraft des Wassers, um Mühlen anzutreiben. In der Ära der industriellen Revolution erkannten wir dann das enorme Potenzial der Wasserkraft zur Energiegewinnung. Mitte des 19. Jahrhunderts tauchten die ersten stromerzeugenden Turbinen auf und leiteten eine neue Ära ein. Doch erst im Jahr 1890 erlebte unsere Nation Bahnbrechendes: Die erste Wasserkraftanlage nahm ihren Betrieb in Bad Reichenhall auf. Ein Wendepunkt in der Geschichte, denn mit dieser Anlage entstand das erste Wechselstromkraftwerk. Dazu wurde die Strömungskraft eines Flusses, der Saalach, genutzt, um die Turbinen anzutreiben, die wiederum die Generatoren in Gang setzten und elektrischen Strom erzeugten. Ein Meilenstein, der die Region mit Energie versorgte und die Industrialisierung sowie die regionale Entwicklung vorantrieb, denn die Kraft des Wassers führte zur Unabhängigkeit der örtlichen Unternehmen von anderen Energiequellen. Die Produktion konnte somit ausgeweitet werden, und Fortschritte wurden spürbar. Im Laufe der Jahre wurden weitere Wasserkraftanlagen in Bad Reichenhall errichtet, und die Technologie zur Nutzung dieser sauberen Energiequelle wurde kontinuierlich verfeinert.

Heute sehen wir die Bedeutung der Wasserkraft unter weiteren Vorzeichen, denn in einer Zeit, in der wir nach nachhaltigen und umweltfreundlichen Energiequellen suchen, bietet uns die Wasserkraft eine unschätzbare Ressource. Um produzierte Energie zu bevorraten, bieten sich Speicherkraftwerke, auch Pumpspeicherkraftwerke der Wasserkraftanlagen an. Diese sind bedeutende Quellen erneuerbarer Energie, denn sie nutzen den Wasserfluss und die Schwerkraft, um Elektrizität zu erzeugen. Wasser wird von einem erhöhten Reservoir zu einem tieferen Punkt geleitet, wodurch kinetische Energie entsteht. Diese Energie treibt die Turbinen an, welche Generatoren aktivieren und die mecha-

DIE BEDEUTUNG DER ENERGIEWENDE FÜR AUTOMOBILE

Vom Reiz der Auto-Suggestion

„Autosuggestion ist der Prozess, durch den eine Person ihr Unbewusstes trainiert, an etwas zu glauben.“ So weit zur offiziellen Definition dieses Begriffs. In der Überschrift steht er ganz bewusst mit einem Bindestrich, denn beim allgemein verbreiteten Glauben, das Auto an sich sei gar kein so großes Problem für Umwelt und Klima, kann man durchaus von einer antrainierten Blindheit sprechen.

Daher widme ich diesem Thema auch ein detailliertes Kapitel, denn für die Automobilität haben wir unseren Planeten mit schier endlosen geteerten Straßen durchzogen und in urbanen Zentren unsere Lebens- und Begegnungsqualität den Bedürfnissen dieser Mobilitätsform untergeordnet. Das ist unsere freie Entscheidung. Aber mit der Entwicklung der Verbrennertechnik für Automobile und ihrer massenhaften Verbreitung haben wir eine Entscheidung getroffen, die für das gesamte Klima Auswirkungen hat und für Umweltzerstörungen, die mit der Kraftstoffbeschaffung unmittelbar verbunden sind, verantwortlich ist.

Autos mit elektrischem Antrieb –ist das neu?

Tatsächlich ist das der Trend, so gesehen auf der IAA 2023 in München. Hier werden immer neue Elektrofahrzeuge mit immer interessanteren Batteriekonzepten präsentiert. Immer größere Reichweiten werden dadurch möglich, immer neue Hersteller und Marken drängen auf den Markt mit besserer Technik und Konzeptionierungen für die Integration von autonomem Fahren, Entertainment on Board und neuer Ladetechnik auf Schnellladebasis. Plötzlich ist die Entwicklung von Ladeinfra-

struktur und neuen technischen Möglichkeiten für die Energieversorgung der Automobile das Thema schlechthin. Dabei hätte das alles auch schon viel früher und viel schneller einen solchen Anlauf nehmen können, wäre diese Form der Antriebstechnik nur immer lebendig geblieben.

„Immer lebendig“ – das hatte sich recht früh ein sehr findiger Ingenieur gewünscht, der sein im Jahr 1900 entwickeltes Hybridfahrzeug so benannte: „Semper Vivus“ – Immer lebendig. Aber dieser Ingenieur war es schließlich auch, der dem Verbrenner mit dem schon legendären Porsche 911 recht sportlich einheizte und zuvor schon die Mobilität mit Verbrennungsmotoren durch einen sogenannten Volkswagen für alle erschwinglich machte. Das kann man ihm nicht verdenken, auch wenn er einer der echten Pioniere der Elektromobilität war, aber da war eben die Sache mit dem Öl ...

Aber schön der Reihe nach. Das Industrialisierungszeitalter stand zuerst gehörig unter Dampf. Zigtausend Tonnen Kohle mussten gefördert werden, um damit das umgangssprachlich Gleiche zu machen: „Kohle“ im Sinne von finanziellen Umsätzen und daraus resultierenden Gewinnen an den Produktionsstätten der Industrie. Abgesehen davon, dass der CO₂-Faktor von Braun- oder Steinkohle kein geringer ist, steht auch der durch Verbrennung der Kohle erzeugte Dampf als Einheizter des Klimas ganz vorn mit in der Reihe. Und wie es sich für ein Industriezeitalter gehört, war dann auch eine adäquate, also mechanisierte Fortbewegung fällig.

Eisenbahnen gab es schon, aber die individuelle Fortbewegung geschah noch in Kutschen. Doch das System Kohle und Wasser zu Dampf baut nun eben einmal etwas schwer. Diese „Loko-motivierten“ Fahrzeuge fügten sich stampfend, lärmend und qualmend nahtlos in die rauchgeschwängerten Industrielandschaften ein. Der Traum vom „Freude am Fahren“ litt allerdings nicht nur schwer unter dem etwas zweifelhaften Vergnügen einer solchen Fahrt an sich. Im Vereinigten Königreich wurde

1865 per Gesetz der „Red Flag Act“, auch „Locomotive Act“, verfügt. Eine Schmach für die Dampfwagenfahrer, denn ab jetzt musste ein Mann mit einer roten Flagge den stampfenden und lärmenden Ungetümen vorangehen, um Passanten und Fuhrwerke vor ihnen zu warnen. Hier kann man also eine altbekannte Weisheit getrost wortwörtlich herbeizitieren: „Aller Anfang ist schwer – muss aber nicht sein.“ So sagten es sich einige Tüftler und Bastler und schon in den 1830er-Jahren stand die Entwicklung und Testung der ersten elektrischen Fahrzeuge an, denn die Erzeugung von elektrischer Energie war auf dem Vormarsch – zur industriellen Nutzung für produzierende Betriebe, aber eben auch für die Pioniere der Idee eines elektrischen Antriebs für die individuelle Mobilität. Bereits 1863 fuhr parallel dazu der belgische Erfinder Étienne Lenoir in seinem „Hippomobile“ neun Kilometer von Paris nach Joinville-le-Pont und zurück. Angetrieben wurde es von Lenoirs Gasmotor und einem Treibstoff auf Terpentinbasis – und war damit das erste Fahrzeug mit interner Verbrennung.

Verbrenner vs. Elektromobil – das Rennen ist eröffnet!

Schon 1881, also fünf Jahre bevor sich Carl Benz das erste Auto mit Verbrennungsmotor patentieren lässt, stellt der französische Ingenieur Gustave Trouvé sein erstes Elektrofahrzeug vor – der Entwicklungsaufakt für die konkurrierenden Systeme. Während 1886 Carl Benz sein „Fahrzeug mit Gasmotorenbetrieb“ zum Patent anmeldet, stellt der Autobauer Radcliffe Ward in London ein E-Taxi vor und schon 2 Jahre später fährt hier auch schon der erste elektrische Omnibus. Die Vorzüge der elektrisch betriebenen Fahrzeuge lagen in puncto Sicherheit und Komfort klar auf der Hand. Sie hatten schon elektrische Scheinwerfer, eine Innenraumbeleuchtung und sogar eine Fußheizung; Merkmale von Komfort und Sicherheit, die die Verbrenner erst durch die Erfindung der Hochspannungszündkerze und die Entwicklung des elektrischen Anlassers aufholten.

ÜBRIGENS: Man nennt den kleinen Generator, der zur Ladung der Batterie eines Verbrennungsmotors dient, in Anerkennung der durch die Elektromobilität vorentwickelte Technik – „Lichtmaschine“!

Die Entwicklungsgeschichte der Zündkerze ist eng mit der Magnetzündung verbunden. Auf dem Weg von der Glührohrzündung bis zur Niederspannungsmagnetzündung (1886–1902) und dann zur Hochspannungsmagnetzündung (1902 bis heute) unterlag die Zündkerze der stetigen Entwicklung vom Glimmer zum Keramik-Isolator. 1887 erhielt Paul Winand das Deutsche Reichspatent und 1893 ein US-Patent auf seine elektrische Zündvorrichtung inklusive Zündkerze, die auf dem Prinzip der Hochspannungsmagnetzündung beruhte. 1901 entwickelte Gottlob Honold in Robert Boschs Werkstätte für Feinmechanik und Elektrotechnik in Stuttgart die Hochspannungsmagnetzündung weiter. So verhalf er der elektrischen Zündung zum wirtschaftlichen Durchbruch. Dies war der entscheidende Moment für den Bau der schnelllaufenden Benzinmotoren.

Damit sind wir jetzt der Zeit einen kleinen Schritt zu weit vorausgeeilt, der aber für die Entwicklung der Elektromobilität und einen ihrer wichtigsten Akteure maßgebend ist. 1893 beginnt nämlich ein von der Elektrizität ebenfalls begeisterter Mann seine Karriere bei der „Vereinigte Elektrizitäts-AG Béla Egger“ in Wien. Hier wird ihm für die Entwicklung des elektrischen Antriebs freie Hand gegeben und so konstruiert Ferdinand Porsche 1898 den Egger-Lohner C.2 Phaeton, dessen Elektromotor bis zu fünf PS-Kraft entfaltet und eine Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h ermöglicht. 1899 wechselt er seine Arbeitsstelle und wird beim Kaiserlich & Königlichen Wiener Kutschenfabrikanten, der Hofwagenfabrik Ludwig Lohner & Co. tätig. Dort baut er den elektrischen Radnabenmotor – eine revolutionäre Entwicklung für die Effizienz der elektrischen Antriebe. Naja – 25 km/h und etwas mehr; was war das schon gegen die vielen schnell fahrenden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren?

Auch hier lohnt es sich genauer hinzuschauen, denn ebenfalls im Jahr 1899 ist schon Camille Jenatzky, ein findiger belgischer Konstrukteur, schneller als die Konkurrenz mit Benzinmotoren. Mit dem Elektroauto „La Jamais Contente“ stellt er einen neuen Geschwindigkeitsweltrekord mit über 100 km/h auf. Als Fahrer war er dreimaliger Landgeschwindigkeitsrekordhalter, und bei diesem dritten Geschwindigkeitsrekord mit über 100 km/h gewann er auch klar in der Konstrukteurswertung.

1900 folgt die Präsentation des ersten Lohner-Porsche-Elektromobils mit der Neuerung des Radnabenmotors auf der Weltausstellung in Paris. Mit $2 \times 2,5$ PS erreicht es 37 km/h Spitze. Die Begründung Lohners, ein fortschrittliches Fahrzeug mit Elektromotor zu bauen, liest sich heute aktueller denn je: „Die Luft werde von den in großer Anzahl auftretenden Benzinmotoren erbarmungslos verdorben“. Ebenfalls 1900 sorgt Porsche mit dem ersten funktionsfähigen Hybridautomobil der Welt, den „Semper Vivus“, für größtes Aufsehen in Ingenieurskreisen, denn die als System Lohner-Porsche vermarktete Technik eignet sich nicht nur für Elektrofahrzeuge. Sie verlängert die Reichweite des Fahrzeugs, indem nicht eine Batterie als Energiequelle genutzt wird, sondern ein Verbrennungsmotor. Dieser betreibt einen Generator und versorgt so die Radnabe mit elektrischer Energie. 1901 schon folgt die serienreife Version als „Lohner-Porsche Mixte“.

ÜBRIGENS: Diese Technik des „Mixte“ konsequent weitergedacht begründet die technische Konzeption moderner „Range Extender“, der Reichweitenverlängerung neuer Arten, oder auch die des Zusammenspiels von elektrischem Motor, Batterie und einer Brennstoffzelle, der Fusionsanlage von Wasserstoff mit Sauerstoff ...

Der Gedanke, dass Wasserstoff einst zu einem der wichtigsten Energieträger werden soll, entsteht ebenfalls sehr früh in einem visionären Kopf. Jules Verne schreibt in seinem Roman „Die geheimnisvolle Insel“

von 1870: „Das Wasser ist die Kohle der Zukunft. Die Energie von morgen ist Wasser, das durch elektrischen Strom zerlegt worden ist. Die so zerlegten Elemente des Wassers, Wasserstoff und Sauerstoff, werden auf unabsehbare Zeit hinaus die Energieversorgung der Erde sichern.“

Aber bleiben wir noch beim „Mixte“. Dieser sensationelle „Vorsprung durch Technik“, der ja eigentlich „Das Beste oder nichts“ bedeutete, wirkt polarisierend in den weiter solitär vorangetriebenen Lösungen für Mobile mit Verbrennungs- und Elektromotoren. Während Verbrenner mit Reichweiten und Geschwindigkeiten schneller und mit einer unter dem wahren Preis dafür liegenden Kraftstoffzufuhr auftrumpfen, haben Elektromotoren ihre überzeugte Klientel. Man erfreut sich an der elegant leisen und nachhaltigen Fortbewegung, besonders in städtischen Bereichen, und an dem Chic solcher Fahrzeuge. 1905 werden in Berlin mehr Elektro- als Verbrennerfahrzeuge verkauft und 1907 wirkt einer, der mit seinem berühmt-berüchtigten Ausspruch „Das Auto hat keine Zukunft. Ich setze auf das Pferd“, geradezu absolut elektrisiert: Kaiser Wilhelm II. stellt gleich drei „Mercedes Electrique“ in seine Dienste und wird somit zum ersten deutschen Staatsoberhaupt, das elektrisch fährt! Und er ist zu dieser Zeit bei weitem nicht allein. Auch Brauereien, die Feuerwehr und die Post sind da schon mit elektrischen Antrieben unterwegs.

Richtet man den Blick auf die Vereinigten Staaten von Amerika, die im Lauf der technischen Weiterentwicklung von Verbrennungsmotoren für besonders großvolumige und damit durstige Aggregate stehen werden, so erstaunt folgender Fakt: 1908 fuhren ca. 60.000 batteriebetriebene Fahrzeuge in den USA, in 128 Städten, über alle Staaten hinweg. Das waren damals immerhin fast 40 % aller Automobile. 15 Jahre später kamen dort weitere 34.000 dazu. Über 60.000 Ladestationen gab es für deren Support mit elektrischer Energie und in fast allen Industrienationen wurden nun Elektrofahrzeuge produziert.

Ein auch heutzutage wieder gewohntes Bild dazu: Dieses stammt aus der Zeit um 1912 – das genaue Datum konnte ich leider nicht recherchieren – und zeigt eine junge Frau mit einem per Hand zu bedienenden Ladegerät für die Batterien ihres Elektroautos Modell Columbia Mark 68 Victoria:



Doch mit der Erfindung von Hochspannungszündkerze und einem elektrischen Anlasser – jetzt entfiel auch das lästige und oftmals auch gefährliche Ankurbeln der Verbrennungsmotoren – gilt nun diesen alle Macht der technischen Weiterentwicklung. Ihr Siegeszug startet unaufhaltsam in den 1910er- und 1920er-Jahren. In dieser Zeit etabliert sich der Verbrennungsmotor als dominierende Antriebsform. Aufgrund des Fortschritts in der Benzin- und Dieseltechnologie werden die Reichweiten und Motorenleistungen der Fahrzeuge kontinuierlich vergrößert, ihre Kraftstoffe zu Hochleistungskraftstoffen entwickelt und die Infrastruktur für ihre Betankung weltweit ausgebaut.

Menschen, die wie seinerzeit Herr Lohner vorhersagten, dass diese motorisierten Monster die Luft verschmutzen und den Himmel verdunkeln

würden, mussten sich als „einsame Rufer in der Wüste“ fühlen. Denn wenn auch schon damals Wissenschaftler leicht nachrechnen konnten, was die Unmengen weiterer CO₂-Emissionen durch die Motorisierung der Massen in der Atmosphäre verursachen können, war es sprichwörtlich wie „Aus den Augen, aus dem Sinn“. Der Umstand, dass es sich bei CO₂ um ein farb- wie geruchloses Gas handelt, verdrängte dessen Gefährlichkeit für unser Weltklima im Bewusstsein der Menschen. Was sollte auch schlimm daran sein. Das kannte man schließlich auch unter dem Namen Kohlensäure und es machte doch so ein herrlich erfrischendes Sprudelwasser ...

Mit NO_x, den Stickoxiden, die beim Betrieb von Dieselmotoren freigesetzt werden, verhält es sich ähnlich – bis sich diese mit dem in der Luft vorhandenen Sauerstoff mischen und im Teil zu NO₂, zu Stickstoffdioxid, werden, einem rotbraunen, recht giftigen und ähnlich dem Chlor stechend riechenden Gas. Ich denke nicht, dass ich hier zur Diskussion von „Thermofenstern“ bei der Abgasreinigung in Diesel-Fahrzeugen und Abschalteinrichtungen dafür noch weiteres beitragen muss. Die Dieselfahrer werden entsprechende Fakten dazu bereits kennen – wie auch den Geruch, wenn im Stand ihr Fahrzeug die Regenerierungsfunktion des Katalysators aktiviert.

Manche unserer Zeitgenossen glaubten damals aber auch, dass Menschen in ihren Autos sitzen und aneinander vorbei- oder mitfahren würden, ohne ein Wort miteinander zu wechseln. Nun, diese Angst über das Verstummen oder den Abbruch der sozialen Interaktion hat sich nicht bestätigt. Ganz im Gegenteil – es haben sich sogar zwei Aspekte besonders stark entwickelt.

Der positive Aspekt: Man trifft sich zu gemeinsamen Ausfahrten und Rallyes, entwickelt den Motorsport, macht Familienausflüge und reist per Automobil in den Urlaub.

Der negative Aspekt: Man beschimpft sich oft mit gelinde gesagt despektierlichen Worten oder sendet deutliche Signale dieser Art in einer Manier non-verbaler Kommunikation. Dazu bewegt man sich bisweilen aggressiv, in selbstüberzeugtem Verständnis seines fahrerischen Könnens und gedacht motorsportlicher Eignung, mit überdimensionierten PS-Maschinen im öffentlichen Verkehr. Ach ja – und vergessen wir nicht das oft so facettenreiche rhetorische Potenzial von Automobilisten in Stausituationen, auf Autobahnen oder bei scheinbar nicht ganz nachvollziehbaren Aktionen anderer Verkehrsteilnehmer.

Die neuere Geschichte

Schon in den 1970er- und 1980er-Jahren erfährt die Elektromobilität ihre Wiederbelebung. Das Interesse ist, angesichts steigender Umweltbedenken und des ersten Ölpreisschocks plötzlich groß. Verschiedene Akteure aus Regierungs- und Unternehmensbereichen beschäftigen sich nun wieder mit der Erforschung und Entwicklung von Elektroautos. Der steigende Bedarf an umweltfreundlichen Transportmitteln, frei von fossilen Energieträgern, erscheint plötzlich wieder äußerst attraktiv.

Nach ersten Schritten nimmt Anfang des 21. Jahrhunderts die moderne Elektromobilität Fahrt auf. Deutliche Fortschritte in Batterietechnologien und Ladeinfrastruktur gehen Hand in Hand mit einem attraktiven Design der Fahrzeuge und führen zu einer erweiterten Akzeptanz dieser Antriebstechnik. Unternehmen wie Tesla, das 2008 mit dem Launch seines Model S den Markt für die Elektromobilität breitenwirksam interessant macht, spielen eine Schlüsselrolle bei der Veränderung der Wahrnehmung dieser Verbrenneralternative.

Der Rest dieser Story? Nun, angedeutet ist er bereits am Anfang dieses Kapitels und ein jeder kann sich bei den Produzenten der weltweiten Automobilindustrie leicht über deren aktuelle Portfolios informieren. Und auch das ist Fakt: Die Entwicklung des Automobils hatte erheb-

liche wirtschaftliche Konsequenzen und führte zur Entstehung dieses bedeutenden Industriezweigs, der für die Stahl-, Mineralöl-, Gas-, Gummi-, Glas- und Elektroindustrie enorme Wachstumspotenziale bedeutete – Straßenbau- und infrastrukturelle Entwicklungen inklusive. Das Ganze, kommen wir kurz noch mal auf den volkswirtschaftlichen Aspekt zurück, bedeutet nicht das Ende – es ist der Anfang neuer, nachhaltiger Beschäftigungen und Unternehmensbereiche!

Mit dieser kraftvollen Reanimation der Elektromobilität hat eine neue Ära begonnen, in der der Verbrennungsmotor seine Bedeutung verlieren wird. Elektrofahrzeuge sind jetzt schneller, sicherer, leiser und kostengünstiger. Ihre besondere Stärke liegt darin, dass sie weder die Luft vergiften noch Treibhausgase ausstoßen. Und das Augenmerk der Automobilindustrie liegt jetzt auf der kontinuierlichen Verbesserung ihrer Leistungsfähigkeit sowie dem Ausbau des elektrischen Netzwerks an Ladestationen. Es ist absehbar, dass die mit fossilen Brennstoffen betriebenen Fahrzeuge, die zurzeit noch 16 % der Treibhausgasemissionen verursachen, in der konventionellen Mobilität schon bald der Vergangenheit angehören werden. Sie werden wohl den historischen Platz mit der Elektromobilität tauschen – vom Mainstream zum Nischenprodukt.

Ein Vergleich zum eingesetzten Energieeinsatz und seiner effizienten Verwertung macht das in dieser Grafik recht deutlich. Dabei ist besonders zu beachten, dass Fahrzeuge, die mit fossilen Energieträgern angetrieben werden, zusätzlich den Ballast für deren Erzeugung und Transport zu den Tankstellen für die raffinierten Kraftstoffe tragen. Bei den Fahrzeugen mit einem elektrischen Antrieb ist es ebenfalls von erheblicher Auswirkung, aus welcher Energiequelle ihr Strom kommt. Erneuerbare Energie wird zunehmend günstiger werden und somit liegt es klar auf der Hand, welche Antriebsform in Zukunft aus ökonomischer wie ökologischer Sicht die vernünftige Form in Bezug auf Verbrauch und Emissionen sein wird.