

Sapere aude! – Zur Faktendarstellung und über Wissenserwerb in narrativen Erklärungs- und Präsentationsfilmen bei YouTube (Teil 1)

Liebe Leserinnen und Leser,

in einer meiner letzten Abhandlungen (Gärtner, 2021) ging es um die Frage, ob die Kombination aus der Stromgewinnung in kalorischen Kraftwerken und die Verwertung als Fahrstrom in BEV nicht wesentlich umweltschonender sei als die direkte Energieumwandlung fossiler Treibstoffe in Hubkolbenmotoren.

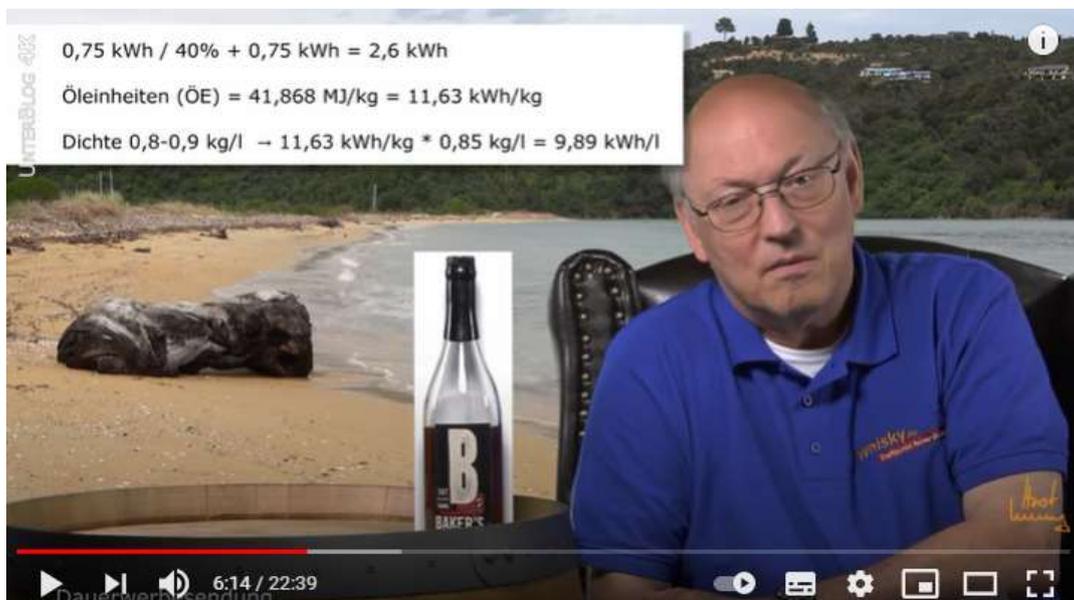


Bild 1: Der 50 Liter Tank eines Golf 7 Diesel fasst 18 mal mehr #Energie als der 32kWh Akku des e-Golf. Dennoch kann der Golf Diesel nur rund viermal soweit fahren, wie der e-Golf. Woran liegt das? Das erklärt Horst Lüning in seinem YouTube-Video, (Lüning, 2018)

In den anschließenden Diskussionsbeiträgen meines Aufsatzes (Gärtner, 2021) empfahl mir eine Journalistin die „anschauliche Darstellung“ – aber mit völlig gegensätzlichen Aussagen - eines gewissen Herrn *Lüning* auf YouTube, Bild 1. *Horst Lüning* war mir bis zu diesem Zeitpunkt gänzlich unbekannt. Zwischenzeitlich habe ich mir mehrere seiner Videobotschaften zum Thema BEV und Verbrennungsmotor angeschaut. **Völlig unfassbar war für mich, dass dieser Herr laut seiner Wikipedia-Vita ein promovierter Maschinenbauingenieur sein soll?** Herr *Lüning* ist wohl seit über zwei Jahrzehnten im Spirituosenhandel tätig, aber soviel an Grundlagen der Ingenieurwissenschaften kann man eigentlich gar nicht vergessen!

Wissensvermittlung und Aufklärung per Video oder im Fachjargon auch die „audiovisuelle Wissenschaftskommunikation“ (Boy, 2020) sind mittlerweile sehr en vogue. In der Tat

ergänzen viele Studierende aus meinen Vorlesungen den Vorlesungsstoff nicht nur auf diesem Weg, sondern geben solchen Medien zuweilen gar den Vorzug.

„Neben echten Wissenschaftlern agieren in der Online-Kommunikation auch **nichtwissenschaftliche Akteure als Experten** und beteiligen sich aktiv am Kommunikationsprozess zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Die Vielzahl von Videos und Akteuren konfrontiert die Empfänger mit der **Frage, welche Informationsquellen vertrauenswürdig, seriös und objektiv sind.**“ (Boy, 2020).

H. Wormer, Professor für Wissenschaftsjournalistik an der Universität Dortmund, äußerte sich kürzlich (nach Heck, 2021) zum 50-jährigen Geburtstag der „Lach- und Sachgeschichten“: „**Die Maus ist das beste Beispiel dafür, dass zum Erklärjournalismus mehr gehört, als sich auszukennen.**“

Das Institut für Publizistik der Universität Mainz befragte dazu Ende 2017 1200 Teilnehmer, siehe Bild 2, mit dem Resultat, dass doch zwischen 28 und 57 % der Befragten gewisse Nachrichten im Netz sehr oder zumindest teilweise als vertrauenswürdig beurteilen.

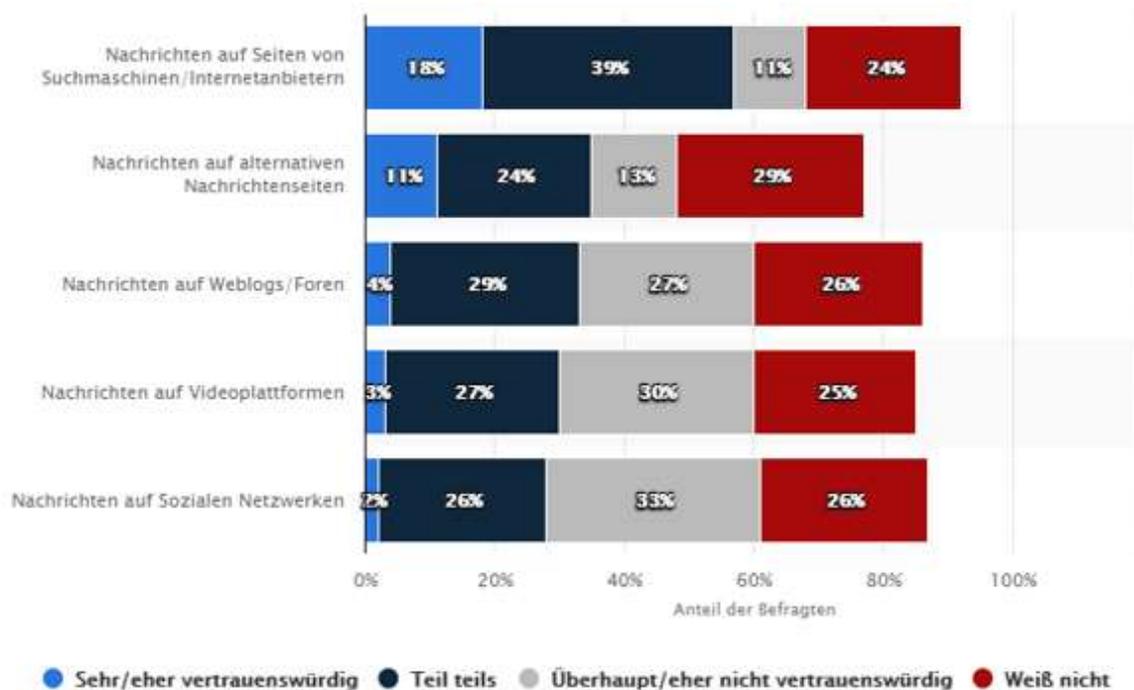


Bild 2: Ergebnis einer Befragung zur „Vertrauenswürdigkeit von Nachrichten im Netz“ des Instituts für Publizistik der Universität Mainz (statista, 2018)

„**Dass ein Video gut ankommt, heißt aber nicht, dass es auch lehrreich ist,** führte Prof. H.-J. Bucher, Medienwissenschaftler an der Universität Trier aus, kürzlich im Deutschlandfunk aus, (Schneider, 2021). „**Je unterhaltsamer ein Video empfunden wird, desto überzeugter sind die Teilnehmer, dass die Fakten korrekt dargestellt wurden, und desto mehr Vertrauenswürdigkeit sprechen sie auch den Akteuren zu.** Und dieser Effekt, dass ich was gut verstanden habe, weil es unterhaltsam war, führt natürlich auch dazu, dass ich eventuell den Aufwand, den kognitiven Aufwand, runterschraube und ich dann nur die Illusion habe, dass ich etwas verstanden habe, weil es eben so nett unterhaltsam war.“...**Die Studienergebnisse deuten außerdem darauf**

hin, dass sich Faktenwissen auf YouTube am besten vermitteln lässt. Strukturwissen, also komplexe Zusammenhänge, bleibt bei den Zuschauern weniger gut hängen,“ (Schneider, 2021).

Die Aufgabe oder Ausgangssituation?

Es soll in der vorliegenden Abhandlung verglichen werden, ob der Energiebedarf eines BEV für eine Fahrstrecke von 100 km deutlich geringer ausfällt als der eines vergleichbaren Diesel-Pkw. Der Strombedarf für das BEV soll in dieser Betrachtung über thermische Kraftwerke gedeckt werden. Weiterhin sollen die Aufwände ganzheitlich nicht nur im Fahrbetrieb TTW (Tank-to-Wheel), sondern auch WTW (Well-to-Wheel) betrachtet werden. Die Vergleichsfahrzeuge sind der e-Golf und der fahrzeuggleiche Diesel-Golf 7.

Allgemeine Bemerkungen zum Kraftstoff- und Stromverbrauch

Reale oder zumindest realitätsnahe Brennstoffverbräuche oder Stromverbräuche der BEV zu erhalten, ist nicht ganz einfach. In Europa existieren hierfür eigentlich keine streng wissenschaftlichen Kriterien genügenden Datenquellen. In der Regel behilft man sich mit Daten des ADAC (so bspw.: Fraunhofer ISI, AGORA, IFEU und Forschungsstelle für Energiewirtschaft FfE) oder dem Internetportal „spritmonitor.de“ (bspw.: A. Hoekstra, TU Eindhoven). In den USA ist die Situation etwas besser. Dort findet man die Webseite „*FuelEconomy.gov*“, eine Initiative der Bundesregierung, die Verbrauchern hilft, beim Kauf eines Fahrzeugs fundierte Entscheidungen zum Kraftstoffverbrauch zu treffen und mit ihren eigenen Autos den bestmöglichen Kraftstoffverbrauch zu erzielen. Die Seite wird vom Büro für Energieeffizienz und erneuerbare Energien des US-Energieministeriums (DOE) mit Daten der US-amerikanischen Umweltschutzbehörde (EPA) verwaltet. Die Website trägt dazu bei, die Verantwortung von DOE und EPA gemäß dem Energy Policy Act von 1992 zu erfüllen, den Verbrauchern genaue Informationen zum Kraftstoffverbrauch zu liefern, (EPA, 2021). Auf der anderen Seite werden dort aber nur deutsche US-Exporte aufgelistet. Die BEV betreffend, berücksichtigen sowohl die amerikanische EPA als auch der ADAC nach eigenen Angaben den Strombedarf ab Ladungsquelle. Diese Vorgehensweise gilt zumindest nicht vollumfänglich für die Dokumentation der BEV Privatfahrer im „spritmonitor.de“. Weiterhin bleibt zumindest fragwürdig, inwieweit die Fahrzyklen, die den amerikanischen Verbrauchsmessungen und EPA Zahlen zugrunde liegen, auch das europäische Fahrverhalten abbilden und die Verbrauchswerte korrekt vergleichbar sind?, (Gärtner, 2020a).

Kraftstoffbedarf für den Diesel-Golf

Für den Golf Diesel wird die Version 1.6 TDI 5 Gang mit 85 kW ab Modelljahr 2018 gewählt. Dieser Typ wurde bereits in zwei früheren Vergleichsuntersuchungen analysiert (Hoekstra et al., 2020; Gärtner, 2020a). Verbrauchsangaben im spritmonitor variieren erfahrungsgemäß leicht je nach Zeitpunkt der Anfrage. Aktuell lieferte meine heutige Abfrage einen durchschnittlichen Verbrauch von **5,4 l Dieselkraftstoff je 100 km** (Stand 3.3.2021, n=86).

Der normierte Dieserverbrauch TTW nach DIN EN 16258 für Dieselkraftstoff beträgt 35,9 MJ/l oder 10 kWh/l, siehe Bild 3. Daraus resultiert eine **Gesamtenergie von 53,9 kWh je 100km**.

Strombedarf für den e-Golf

Der ADAC gibt für den Realverbrauch des e-Golf **17,3 kWh je gefahrene 100 km** auf Basis seines Eco-Tests an, (Lidl, 2018, Seite 9). Diese Angabe inkludiert wie auch bei der EPA bereits den Ladeverlust. Der Energiebedarf für den e-Golf **lt. Spiritmonitor** wäre aktuell mit 14,9 kWh deutlich niedriger (Stand 4.3.2021, n=100). I.d.R. protokollieren die Fahrer dort aber ihre Verbrauchswerte ohne die Ladeverluste.

Zur Einordnung der oben genannten ADAC-Angabe gibt bspw. die EPA **aktuell** für die Jahre 2017-2019 einen mittleren Verbrauchswert an von 28 kWh/100 mi (**entspricht 17,4 kWh/100 km, inkl. Ladeverluste, (EPA, 2021)**). Ähnlich dem spiritmonitor variiert der Wert aber auch bei dieser Quelle. Bei der letzten Abfrage im November 2020 (Gärtner, 2020a) erhielt ich einen Verbrauch von **17,9 kWh/100 km**, (Gärtner, 2020a). A. Hoekstra et al. von der TU Eindhoven bezifferten in ihrer Studie vom August 2020 den Energiebedarf des e-Golf mit **17,2 kWh/100 km**, (Hoekstra et al. 2020), und beziehen sich wie bei allen in dieser Studie angegebenen Verbräuche auf die EPA oder den spiritmonitor.

Die „Vorkette“ für den Diesel-Kraftstoff

In diesem Kapitel geht es nun um die sogenannte „Vorkette“, das sind alle Energieaufwendungen, die für die Förderung des Rohöls, den Transport bspw. über Tanker auf dem Seeweg oder auf dem Landweg über Pipelines, die Raffinerien und den Weitertransport zu den Tankstellen anfallen.

Gerade auf diesem Gebiet wird zuweilen der größte Unfug erzählt. Das geht von Verschwörungstheorien der Art, dass dies die „bestgehüteten Geheimnisse der Autobauer und der Minerölindustrie“ seien bis hin zu kolportierten Phantastiewerten, dass für die Herstellung von 1 Liter Diesel – mit einem Energieinhalt von 10 kWh! - sage und schreibe 7 kWh Strom (!) benötigt würden, (Gärtner, 2020b).

Belastbare Zahlen für alle diese Prozesse liegen aus einer Vielzahl anerkannter wissenschaftlichen Untersuchungen vor. Bei Dieselkraftstoff bspw. weisen die einzelnen Quellen für die Vorkette einen Bedarf von ca. 20% (relativ zum Energieinhalt) vom Bohrloch bis zur Zapfsäule aus, (Gärtner, 2020b, Seite 11). Bei einem Energiegehalt dieses Kraftstoffs von rund 10 kWh je Liter also etwa 2 kWh je Liter. Für die weitere Bilanzierung in diesem Aufsatz nutze ich den in Bild 3, nach EN 16258, Bild 3, abzulesenden Wert von 42,7 MJ/l für die WTW Emission. Bei einem unteren Heizwert von 35,9 MJ/l also 6,8 MJ je Liter (oder 1,9 kWh/l) zusätzlich für den WTT Energiebedarf.

emissionen (berechnet als CO ₂ - Äquivalente) nach EN 16258	Normierter Energieverbrauch				Treibhausgasemissionen (berechnet als CO ₂ -Äquivalente)			
	Tank-to-Wheel (e _T)		Well-to-Wheel (e _w)		Tank-to-Wheel (g _T)		Well-to-Wheel (g _w)	
	MJ/kg	MJ/l	MJ/kg	MJ/l	kgCO ₂ e/kg	kgCO ₂ e/l	kgCO ₂ e/kg	kgCO ₂ e/l
Benzin	43,2	32,2	50,5	37,7	3,25	2,42	3,86	2,88
Ethanol	26,8	21,3	65,7	52,1	0,00	0,00	1,56	1,24
Benzin E5 ³¹	42,4	31,7	51,4	38,4	3,08	2,30	3,74	2,80
Benzin E10 ³²	41,5	31,1	52,2	39,1	2,90	2,18	3,62	2,72
Diesel	43,1	35,9	51,3	42,7	3,21	2,67	3,90	3,24
Biodiesel	36,8	32,8	76,9	68,5	0,00	0,00	2,16	1,92
Diesel D7 ³³	42,7	35,7	53,2	44,5	2,97	2,48	3,76	3,15
Diesel Deutschland ³⁴	42,6	35,7	53,1	44,4	2,98	2,49	3,77	3,15
Erdgas (CNG)	45,1	k.A.	50,5	k.A.	2,68	k.A.	3,07	k.A.
Flüssiggas (LPG)	46,0	25,3	51,5	28,3	3,10	1,70	3,46	1,90
Kerosin ³⁵	44,1	35,3	52,5	42,0	3,18	2,54	3,88	3,10
Schweröl (HFO) ³⁶	40,5	39,3	44,1	42,7	3,15	3,05	3,41	3,31
Marine Diesel Oil (MDO)	43,0	38,7	51,2	46,1	3,24	2,92	3,92	3,53
Marine Gas Oil (MGO)	43,0	38,3	51,2	45,5	3,24	2,88	3,92	3,49

³¹ 5 Vol.-% Ethanol. – ³² 10 Vol.-% Ethanol. – ³³ 7 Vol.-% Biodiesel. – ³⁴ 6,2 % Beimischung von Biodiesel bezogen auf den Energieinhalt (2011) – entspricht 6,75 Vol.-% Biodiesel. – ³⁵ Ohne Berücksichtigung einer möglicherweise höheren Klimawirksamkeit des Luftverkehrs in Reiseflughöhe. – ³⁶ HFO = Heavy Fuel Oil (Schweröl für Schiffe).
Quellen: EN 16258, eigene Berechnungen.

Bild 3: WTW und TTW Energieaufwand und CO₂-Äquivalent verschiedener Kraftstoffe nach DIN EN 16258 (Schmied & Knörr, 2013)

Die gesamte „Vorkette“ für den Fahrstrom des BEV

Wie oben gezeigt wurde, benötigt der e-Golf im Durchschnitt etwa **17,3 kWh Strom pro gefahrene 100 km**. Diese Energie muss also an der „Ladestelle“ bereitgestellt werden. Danach anfallende Verluste sind in dem genannten Wert bereits inkludiert.

Insofern müssen bei seriösen Well-to-Tank WTT Bilanzen also berücksichtigt werden:

- Bereitstellung des Energieträgers am Kraftwerk (Förderung, Aufbereitung, Raffinerie, Transporte, ... von Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Erdöl, ...),
- Umwandlung der chemisch gebundenen Energie in Strom
- Verteilung des Stroms über verschiedene Netze und Transformatoren

Vorkette des Kraftwerks

Eine Übersicht zu verschiedenen Studien, die den Energieaufwand für die Bereitstellung von Energieträgern am Kraftwerk analysierten, findet man bspw. bei *Wagner et al.* (2007), Bild 4.

Quelle	Spezifische CO ₂ -Emissionen [g/kWh]				Wirkungs- grad ¹⁾ [%]
	Gesamt	Brennstoff ²⁾	Betrieb ¹⁾	Bau und Abriss	
Braunkohle					
[6]	1 062	33	1 029	0 ³⁾	40,1
[12]	1 073	41	1 014	18	40,0
[17]	1 190	k. A.	1 190	k. A.	34,7
[23]	969	19	946	4	43,0
Steinkohle					
[6]	898	103	795	0 ³⁾	43,0
[12]	952	153	780	19	43,0
[17]	931	k. A.	931	k. A.	36,9
[23]	934	125	802	6	42,8
Erdgas					
[6]	398	49	349	0 ³⁾	57,6
[12]	473	118	350	6	57,6
[17]	544	k. A.	544	k. A.	37,7
[23]	533	45	488	1	49,6

¹⁾ des Kraftwerks ²⁾ Bereitstellung ³⁾ wird als vernachlässigbar angenommen k. A.: keine Angabe

Bild 4: Energieaufwand im Detail für Stromerzeugung, (Wagner et al, 2007)

Erdgasbetriebene Kraftwerke erzielen zwar die höchsten Wirkungsgrade in diesem Vergleich, sind aber durch relativ hohe Verluste bis zu etwa 25% in der Vorkette gekennzeichnet, wie aus Bild 4, 3. Spalte von links, hervorgeht.

Durch den oberflächennahen Abbau und die geringen Transportentfernungen zwischen Tagebau und Kraftwerk geht bei **Braunkohle-Kraftwerken** die Brennstoffbereitstellung in den von Wagner et al. analysierten Studien nur mit 2 bis 4 % in die Gesamtemissionen ein.

Bei **Steinkohle-Kraftwerken** treten Aufwendungen für die Bereitstellung des Brennstoffs in Höhe von etw 12 bis 17% auf. Ursache hierfür sind die im Vergleich zur Braunkohle längeren Transportwege und die bei der Kohleförderung entstehenden Methan-Emissionen, (Wagner et al. 2007).

Die Untersuchungen von Wagner et al. finden sich keine **ölbetriebenen Kraftwerken**, da sie aktuell bei der Stromerzeugung in Deutschland fast bedeutungslos geworden sind und dieser Kraftwerkstyp nur noch partiell zur Abdeckung von Spitzenleistungen hochgefahren wird. Die Vorkette kann hier aber bspw. mit Hilfe der Daten von Bild 3 errechnet werden.

Wirkungsgrade kalorischer Kraftwerke

Wie bereits exemplarisch das Bild 4 auf Basis der Einzelverluste der Stromgewinnung illustriert, treten die größten Verluste bei der Energieumwandlung im Kraftwerk selbst auf. Das Umweltbundesamt UBA bspw. geht bei Steinkohle-Kraftwerken von einem durchschnittlichen Wirkungsgrad von etwa 40% aus, bei der Verstromung von Braukohle von 36% und bei Erdgas von etwa 50%, (Gärtner, 2021, Bild 2).

Die angegebenen Werte des UBA sind allerdings Bestwerte, wie beispielhaft Bild 5 für Steinkohle-Kraftwerke der 600 MW Klasse darstellt. Bei kleineren Kraftwerken der 300 MW

Kategorie liegen die Wirkungsgrade nochmals etwa 2-3 Prozentpunkte niedriger, (Görner et al., 2016, Seite

	2013 (Durchschnitt Bestand)	2023 (Flexibilisie- rung Be- standsana- gen)	2023 (Neuanlagen)	2050 (Neuanlagen)
Netto-Wirkungsgrad in % (Bestpunkt)	40	43	46	50
Netto-Minimallast-Wirkungsgrad in %	36	38	42	44
Minimallast in %PN	40	25	17,5	15
Lasttransient in %PN/min	3	4	6	7
Anfahrzeit kalt ⁸ in h	4	4	3,5	3
Anfahrzeit heiß in h (Vorhaltezeit maximal 8 h)	2	2	1,5	1
Lebensdauer in a	50	50	50	50
Verfügbarkeit in h/a	7.500	7.500	7.500	7.500
Vollastbenutzungsstunden in h/a	4.500 (4.000 BDEW im Mittel aller Steinkohle- Anlagen)	3.500	4.000	1.500–4.500
Spezifische CO ₂ -Emissionen in t/(GW h) _t	342 ⁹			

Bild 5: Technische Daten von Steinkohle-Kraftwerken (Görner et al., 2016)

In der Schriftenreihe „Energiesysteme der Zukunft“ von Görner et al. (2016) findet sich zudem nachfolgende Tabelle für die **technischen Daten von Motorenkraftwerken** in Deutschland.

	2013 (Durch- schnitt Be- stand)	2023 (Flexibi- lisierung Be- stands- anlagen)	2023 (Neu- anlagen)	Anmerkungen
Netto-Wirkungsgrad in % (Best- punkt)	43–44	44–45	44–46	mit nachgeschalte- ter Dampfturbine 3 bis 5 Prozentpunkte höher
Netto-Minimallast-Wirkungsgrad in %	32–34	32–34	32–34	hohe Teillastwir- kungsgrade durch modularen Aufbau
Minimallast in %PN	15	15	15	
Lasttransient in %PN/min	7 % bis 15 % PN 45 % ab 15 % PN	7 % bis 15 % PN 45 % ab 15 % PN	7 % bis 15 % PN 45 % ab 15 % PN	

Bild 6: Technische Daten von Motorenkraftwerken (Görner et al., 2016)

Motorenkraftwerke zählen zu den sogenannten Ölkraftwerken, die mittlerweile in Deutschland jedoch nahezu bedeutungslos geworden sind. Nach Angaben des Umweltbundesamtes UBA (Stand 01/2020) beträgt der Anteil der Ölkraftwerke mit 2661 MW gerade noch 3,1 % an der installierten Gesamtleistung in Deutschland.

*„Das erste deutsche Ölkraftwerk ging 1960 in Betrieb. **Allerdings werden Ölkraftwerke wegen des hohen Brennstoffpreises in Deutschland nicht mehr gebaut.** Bestehende Ölkraftwerke werden als Reservekraftwerke mit einigen hundert Benutzungsstunden pro Jahr zur Spitzenlastabdeckung, das heißt also in den Stunden des Tages, wo besonders viel Strom verbraucht wird bzw. die Nachfrage nach Strom am größten ist, eingesetzt“*, (Schulz et al., 2013).

*„**Derzeit sind in Deutschland keine modular aufgebauten Motorenkraftwerke installiert, sodass bis zum Jahr 2023 kein essenzieller Beitrag zur Weiterentwicklung erwartet wird**“*, (Görner et al., 2016).

Netzverluste

Stromlieferanten müssen nach § 10 Abs. 2 der Stromnetzentgeltverordnung (StromNEV, lfd. Nr. 29) die Höhe der Durchschnittsverluste je Netz- und Umspannebene des Vorjahres zum 1. April eines jeden Jahres publizieren,

*„Bei der Übertragung von Strom über die verschiedenen Spannungsebenen hinweg verzeichnet man Verluste. Netzverluste sind also die Differenz zwischen erzeugter und genutzter elektrischer Leistung. In Deutschland gehen rund **5,7% der bereitgestellten Energie im Stromnetz verloren.**“*, so beispielhaft die Pfalzwerke (Pfalzwerke, 2021).

Damit ergeben sich - am Beispiel eines mit Steinkohle betriebenen thermischen Kraftwerks dargestellt – folgende Energieverluste auf Basis der oben genannten Literaturwerte in der „Vorkette“ der Stromgewinnung:

- Etwa 16% in der Vorkette durch Förderung und Bereitstellung der Brennstoffe
- Durchschnittlich etwa 62% bei der Energieumwandlung im Kraftwerk
- Ca. 5,7% Verlust im deutschen Stromnetz über alle Spannungsebenen.

Von eingesetzten 100 kWh Primärenergie kommen bei der Verstromung von Steinkohle somit nur ca. 30,1 kWh an der „Steckdose“ an. Oder über die jeweiligen „Wirkungsgrade“ gerechnet:

$$100 \text{ kWh} \times 0,84 \times 0,38 \times 0,943 = 30,1 \text{ kWh}$$

Das bedeutet Verluste, i.d.R. als sogenannte thermische Energie (=Wärme) von ca. 70 kWh und einen Gesamt-Wirkungsgrad vom Kohleabbau bis zur Steckdose von etwa 30%.

Kraftwerk						
Brennstoff	Kohle	Braunkohle	Erdgas	Diesel	Schweröl	
Vorkette	0,84	0,97	0,83	0,81	0,91	
WG Kraftwerk	0,38	0,36	0,5	0,38	0,4	
Stromnetz	0,943	0,943	0,943	0,943	0,943	

	Golf Diesel 1.6 TDI	e-Golf	e-Golf	e-Golf	e-Golf	e-Golf
	Tank to Wheel TTW	Tank to Wheel TTW	Tank to Wheel TTW	Tank to Wheel TTW	Tank to Wheel TTW	Tank to Wheel TTW
in l/100 km	5,4					
in kWh/100km	53,9	17,3	17,3	17,3	17,3	17,3
	Well to Tank WTT	Well to Tank WTT	Well to Tank WTT	Well to Tank WTT	Well to Tank WTT	Well to Tank WTT
in kWh/100km	10,2	40,2	35,2	26,9	42,3	33,1
	Well-to-Wheel WTW	Well-to-Wheel WTW	Well-to-Wheel WTW	Well-to-Wheel WTW	Well-to-Wheel WTW	Well-to-Wheel WTW
in kWh/100km	64,1	57,5	52,5	44,2	59,6	50,4
Relativ WTW	100	90	82	69	93	79

Bild 7: Vergleich der Well-to-Wheel Energieaufwendungen für 100 km Fahrstrecke (eigene Berechnungen nach Literaturangaben)

Aus den Angaben der genannten Literaturstellen ergibt sich nun Bild 7, das die Energiebedarfe als **Tank-to-Wheel TTW**, als **Well-to-Tank WTT** ausweist und schließlich die Summe aus beiden Bedarfen als **Well-to-Wheel WTW** addiert. Am Beispiel des Golf Diesel sieht man, dass in Summe für die Fahrstrecke von 100 km **rund 64 kWh Primärenergie** fällig werden. Insgesamt zeigt ein Vergleich des WTT-Bedarfs den prinzipiell bekannten Unterschied zwischen konventionellen Fahrzeuigen und BEV. Bei BEV entstehen die größten Verluste nicht im Fahrzeug selbst, sondern bei der Stromerzeugung in den jeweiligen Kraftwerken. Je nach Kraftwerkstyp und verwendetem Brennstoff ergeben sich auf Basis dieser theoretischen Rechnung im relativen Vergleich der WTW Aufwendungen dann Energieeinsparungen bis zu gut 30%, wenn man den relativ hohen Wirkungsgrad von Gaskraftwerken zugrunde legt. **Bilanziert man anstelle von Energie über die emittierten CO2-Emissionen**, wird allerdings deutlich, dass zumindest bei den Kohlekraftwerken die Wirkungsgrade etwas zu optimistisch angenommen wurden. Wie ich bereits vor einigen Wochen in (Gärtner, 2021) dargestellt habe, liegen bei Steinkohle-Kraftwerken die CO2-Emissionen in etwa gleich zu der CO2-Emission des Dieselmotors, bei der Verwendung von Strom aus Braunkohle-Kraftwerken sogar etwa 10 bis 15% höher.

Zum YouTube Video von *Horst Lüning*

Nachfolgend werde ich nun das Video von Herrn *Lüning* und seine Berechnungen bzw. Ableitungen schrittweise abarbeiten, kommentieren und ggfs. richtigstellen.

„Je unterhaltsamer ein Video empfunden wird, desto überzeugter sind die Teilnehmer, dass die Fakten korrekt dargestellt wurden, und desto mehr Vertrauenswürdigkeit sprechen sie auch den Akteuren zu.“, so wie weiter oben bereits ausgeführt der Medienwissenschaftler Prof. Bucher von der Uni Trier, (Schneider, 2021).

Wie man einem großen Teil der Kommentare und Zustimmungen entnehmen kann, trifft diese Erkenntnis der Medienwissenschaft auf die Videos von *Horst Lüning* in besonderem Maße zu.

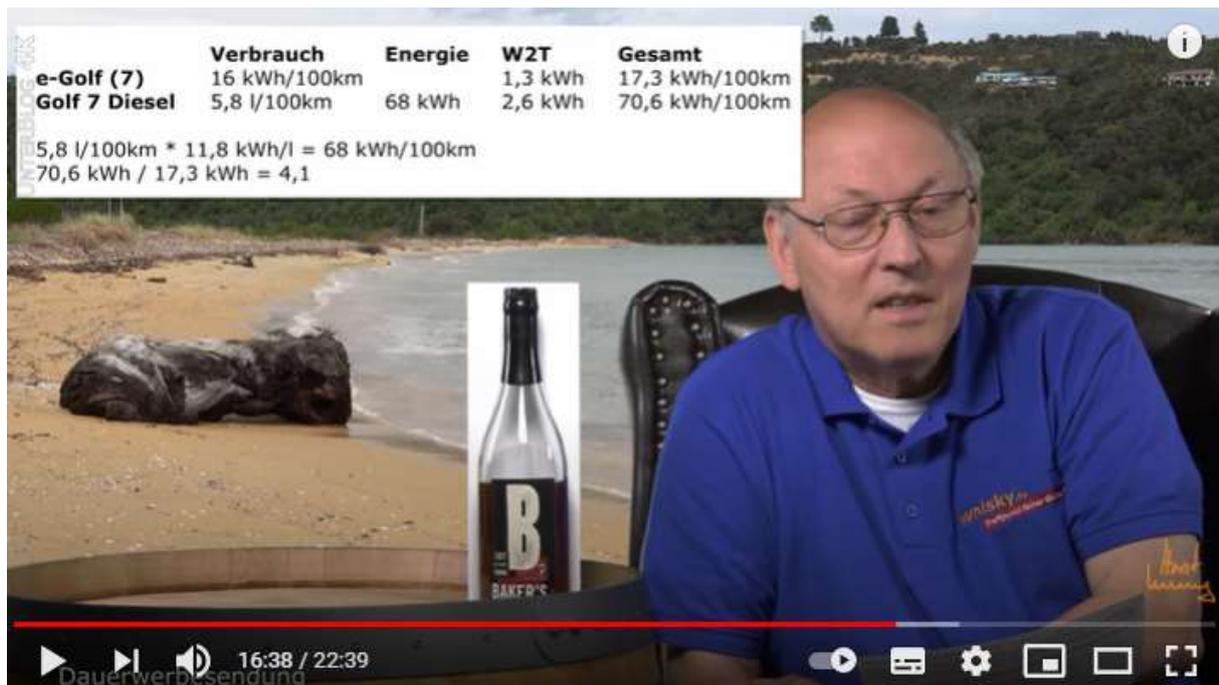


Bild 8: Horst Lüning erklärt in seinen „energetischen Betrachtungen“, warum der Energiebedarf eines Golf 7 Diesel um den Faktor 4,1 höher ist als der eines e-Golf (Lüning, 2018)

In diesem Video vergleicht Herr Lüning den Energiebedarf des Golf 7 TDI Diesel mit einem e-Golf, der nach Annahme mit Fahrstrom aus einem Ölkraftwerk betrieben werden soll.

a) Zeitpunkt 03:50 min: Well-to-Tank WTT Bilanz

Die von Horst Lüning genannten 1,5 kWh werden in der Tat seit Jahren im Netz kolportiert. Dieser Energiebedarf wurde 2008 vom amerikanischen Ministerium für Energie DOE für den Raffinerieprozess von einem Liter Benzin genannt, siehe u.a. (Gärtner, 2020b). Seine Behauptung, diese Zahl gelte für den Transport des Rohöls ist demnach falsch.

b) Zeitpunkt 05:23 min: WTT und Öleinheit ÖE

Auch die Aufteilung und Herleitung seiner gezeigten 2,6 kWh ist demnach Unsinn. Seriöse Quellen für die „Vorkette“ fossiler Kraftstoffe siehe bspw. Bild 3 oder diverse Literaturangaben in (Gärtner, 2020b). Merkwürdig wird es, als „Energieexperte“ H. Lüning nun im weiteren Ablauf erklärt, der in Fachkreisen bekannte Begriff „Öleinheit“ sei ihm selbst neu. Immerhin wird der Zahlenwert der Öleinheit ÖE korrekt dargestellt mit 41,868 MJ/kg. Die Dichte des Rohöls schwankt aber nicht zwischen 0,8 und 0,9 kg/l (Horst Lüning!) sondern zwischen 0,8 und 1 kg/l. Für energetische Betrachtungen wird bei ÖE mit 0,9 kg/l gerechnet und damit erhält man für Rohöl den Wert 10,3 kWh/l. Horst Lüning spricht von 9,89 kWh/l, also etwa 4% weniger.

Anschließend erklärt unser „Experte“ nun, die Heizwerte von Benzin und Diesel lägen wesentlich höher als die von ihm genannten 9,89 kWh/l des Rohöls. Als Ursache führt er an, dass Erdöl ein Gemisch sei und für die Kraftstoffe nur die Bestandteile mit dem höheren Heizwert herausgezogen würden. **Herr Lüning hat also tatsächlich die berühmte „Energievermehrung“ gefunden.** Hätte er wirklich „nachgelesen“ – wikipedia hätte bereits genügt –, wäre ihm aufgefallen, dass Benzin lediglich einen Heizwert von 8,5 kWh/l und Diesel von 9,9 kWh/l besitzt. Also natürlich niedriger als das zu ihrer Herstellung eingesetzte Rohöl. **Alles andere wäre auch ein „wissenschaftliches Wunder.“**

Seine zusammenfassende Behauptung, allein für den Transport des Kraftstoffes würden also 25% des Energieinhaltes von Rohöl benötigt werden, ist damit völlig daneben. Er erwähnt dann ohne detaillierten Beleg eine „Schweizer Studie“, die für Dieselkraftstoff 18 % und für Benzin 22,5% als Energiebedarf in der Vorkette ausweist. Diese Werte gehen von der Größenordnung in Ordnung (Gärtner, 2020b). Sie umfassen dann allerdings die komplette Vorkette und *H. Lüning* kommt an dieser Stelle mit seinen „25% nur für Transport“ etwas in Erklärungsnot und spart sich weitere Blamage.

c) Zeitpunkt 08:10 min: Wirkungsgrade von Dieselmotor und Ölkraftwerk

Horst Lüning gibt nun für den Wirkungsgrad eines „Ölkraftwerks“ einen Wirkungsgrad von 45 % an und zitiert als Quelle „wikipedia“. Für den Wirkungsgrad eines Dieselmotors nennt er maximal 40%, aber nur in einem „sehr sehr kleinen Bereich“. Er zählt dann eine ganze Reihe denkbarer Verluste auf und behauptet weiterhin, **der durchschnittliche Wirkungsgrad eines Dieselmotors läge zwischen 16 und 18 %.** Wie er auf diese Werte kommt, wird allerdings nicht dargestellt.

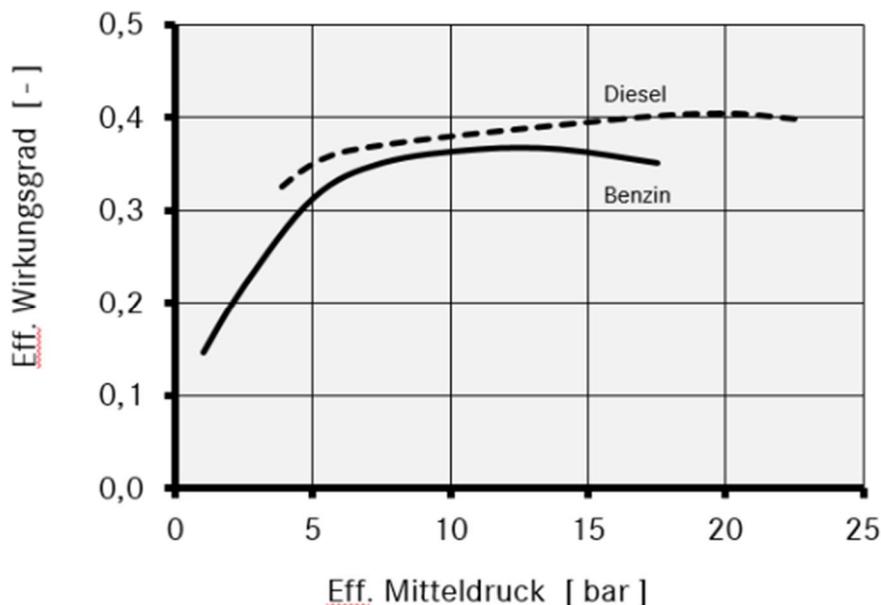


Bild 9: Vergleich des effektiven Wirkungsgrades von Otto- und Dieselmotor, Lastschnitt bei 2500/min, (Gärtner, 2020c, Bild 2 und 3)

In einer meiner früheren Abhandlungen (Gärtner, 2020c) zum Thema „**Über Mythen und Halbwissen zur CO₂-Emission von Dieselmotoren – oder Müssen Lehrbücher neu geschrieben werden?**“ habe ich Verbrauchskennfelder und die typischen Wirkungsgrade moderner Motoren im Detail erklärt und dargestellt. Bild 9 illustriert aus dieser Arbeit einen Lastschnitt bei 2500 1/min für einen Otto- und einen Dieselmotor.

Man erkennt, dass der Wirkungsgrad dieses Dieselmotors auch in der unteren Teillast bis etwa 5 bar Mitteldruck immer noch über 35% beträgt, beim Ottomotor noch mehr als 30%. Diese Werte sind zwar deutlich höher als die Schätzungen(?) von *Horst Lünig*, aber ganz ohne Kenntnis der für eine bestimmte Strecke geleisteten Arbeit und ohne Kenntnis des dazugehörigen Kraftstoffverbrauchs ist eine Angabe zum effektiven Wirkungsgrad eigentlich nicht möglich.

Über ölbetriebene Kraftwerke, ihre Einsatzgebiete und technischen Daten habe ich bereits weiter oben berichtet. Diese weisen aber in der Regel keine 45% Wirkungsgrad auf. In Bild 6 haben wir gesehen, dass auch der Wirkungsgrad dieses Kraftwerkstyps lastabhängig ist und im Mittel bei etwa 38 % liegen dürfte. Das RP-Energielexikon von *R. Paschotta* bspw. gibt den Wirkungsgrad von Ölkraftwerken mit etwa 35 bis 40% an. (Paschotta, 2021).

Ergänzend zu diesen Literaturangaben kann man in dieser Frage auch - soweit verfügbar - die technischen Betriebsdaten von Ölkraftwerken benutzen. Betreiber e.on bspw. gibt für sein Ölkraftwerk in Ingolstadt den stündlichen Brennstoffverbrauch unter Vollast mit 90 Tonnen Schweröl an bei einer elektrischen Nettoleistungsabgabe von 386 MW, (e.on, 2021). Mit dem Heizwert für Schweröl aus Bild 3 kann man jetzt den Vollast-Wirkungsgrad dieses Kraftwerks errechnen zu 38%.

d) Zeitpunkt 09:25 min: Wirkungsgrade der Stromverteilung im dt. Netz und Ladeverlust BEV

Zur Beurteilung der Verluste im deutschen Stromnetz muss man nicht unbedingt die TU Chemnitz bemühen. Weiterhin ist diese Quelle wohl nicht mehr zugänglich (Stand 8. März 2021). Es existieren genügend weitere seriöse Quellen, wie ich exemplarisch schon oben gezeigt habe. *Horst Lünig* rechnet diese Netzverluste mit einer Wirkungsgradkette von $0,99 \times 0,99 \times 0,95 = 0,931$, d.h. knapp 7% Verlust im Netz. Dieser Wert dürfte etwas hoch liegen, aber auf der sicheren Seite und so braucht man sich an dieser Position nicht weiter aufhalten. Die Verlustrechnung ist nun an der „Steckdose“ angelangt. Ab hier wird es nun „etwas schwierig“. *H. Lünig* nimmt jetzt weitere knappe 7 % Verluste ($0,95 \times 0,98$) bis zur e-Maschine an. Für den Wirkungsgrad des e-Motor wählt er 95%.

Diese unsicheren Schätzungen der weiteren Stromverluste ab Ladestelle können im Prinzip unterbleiben, wenn man den Verbrauchswert für den e-Golf nicht aus dem spritmonitor übernimmt, sondern die Werte des ADAC oder der amerikanischen EPA übernimmt. In beiden Quellen wird der Verbrauch ab Ladestelle angegeben, was für den Verbraucher auch insofern wichtig ist, da er diesen abgenommenen Strom ja auch bezahlt.

H. Lünig behauptet, die von ihm genannten Ladeverluste von 7% an seinem Tesla verifiziert zu haben. In unserer aktuellen Betrachtung geht es aber um einen e-Golf und weiterhin fallen die Ladeverluste für verschiedene BEV höchst unterschiedlich aus. Lt. ADAC bspw. kann man hier von 10 bis 25% ausgehen. Das ist schon recht ordentlich. Was würde ein Autofahrer wohl sagen, wenn bei jedem (!) Füllen des 50l fassenden Tanks eines konventionellen Fahrzeugs 5 bis 12,5 Liter „daneben laufen“ würden? Ladeverlust e-golf. Nach Messungen des ADAC dürfte der Ladeverlust des e-Golf bei etwa 1,5 kWh/100 km liegen, (Lidl, 2018, Seite 9).

Weitaus gravierender ist aber der Fehler, den Horst Lünig aber begeht, indem er die Vorkette seines „45 %-Wirkungsgrad-Ölkraftwerks“ ganz einfach vergisst. Als Endresultat seiner „energetischen Überlegungen“ für das BEV gibt er dann für die **komplette Kette 37 % an**. Jetzt wird es aus wissenschaftlicher Sicht „richtig lustig“, denn von seinem bisher immer noch unbelegten Wirkungsgrad von 18 % für den Dieselmotor zieht er dann noch 9% für die Raffinerie und den Transport des Kraftstoffes zur Tankstelle ab (nach Angaben seiner „Schweizer Studie“!) und kommt so auf nur 16% Wirkungsgrad des Dieselmotors.

Sein Fazit lautet schließlich: „16% zu 37% - damit sei das BEV von der Energieverwendung um einen Faktor 2,3 (sic!) besser.“

Wie völlig absurd seine Rechnung wirklich ist, zeigt folgende einfache Überlegung. Der e-Golf verbraucht nach den Quellen von Herrn Lünig im Realbetrieb 16 kWh je 100 km. Nehmen wir nun allein den von ihm genannten Wert der Stromerzeugung von 45% werden für den Betrieb des e-Golf also mindestens $16/0,45 \text{ kWh} = 36 \text{ kWh}$ Energie erforderlich. Nach Horst Lünings Rechnung benötigt der Diesel Golf das 2,3-fache an Energie. Das wären also mindestens $2,3 \times 36 \text{ kWh} = 82,8 \text{ kWh}$. **Und dies wären etwa 8,8 Liter Diesel. Und die benötigt der Golf sicherlich nicht.**

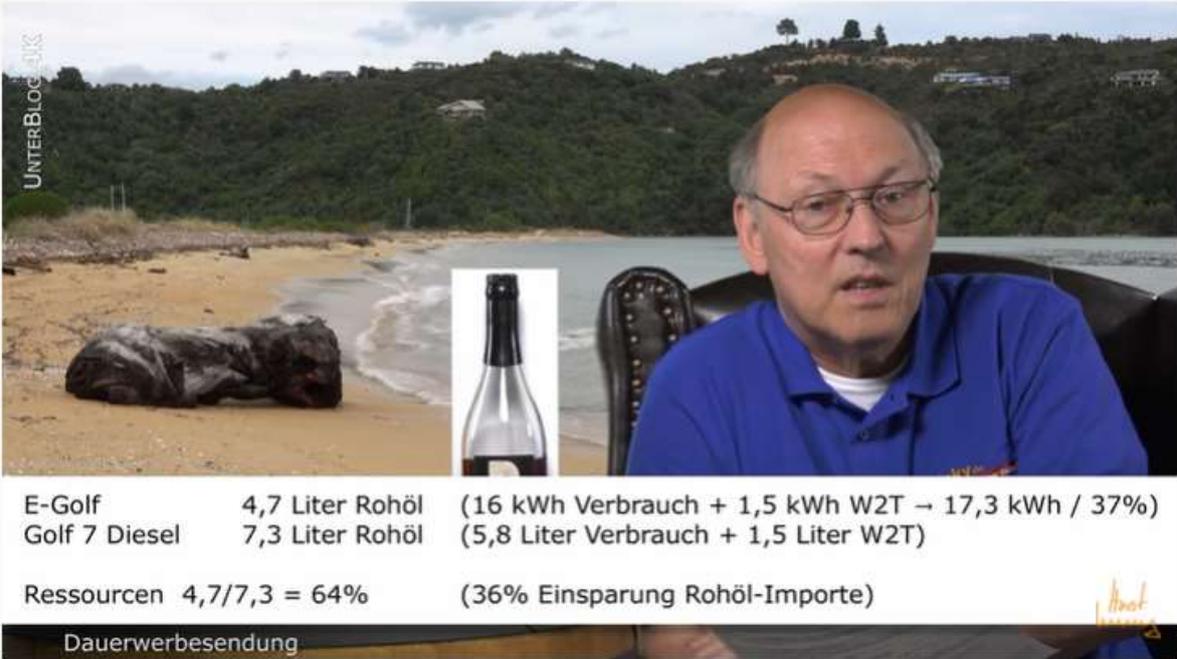
e) Zeitpunkt 15:00 min: Die „Gegenrechnung“

Jetzt kommt es noch besser. Für die „Ungläubigen“ macht *Horst Lünig* nun folgende Gegenrechnung oder Plausibilitätsprüfung auf. Er nimmt dazu reale Verbrauchsdaten aus dem spritmonitor.de. Für den Golf 1.6 TDI bilanziert er mit 5,8 l/100km Diesel und für den e-Golf mit 16 kWh Strom, wie auch aus Bild 8 hervorgeht. Hinsichtlich der weiteren Rechnung ist festzuhalten, dass Dieselmotorkraftstoff aber keinen Heizwert von 11,8 kWh/l hat und die beiden WTT-Angaben (bei Herrn Lünig „W2T“) in dieser Höhe völliger Quatsch sind. **Unter diesen falschen Voraussetzungen kommt er nun final auf einen Faktor 4,1 zwischen dem Energiebedarf eines e-Golf und dem eines Diesel-Golf. Angesichts dieser „wissenschaftlichen Sensation“ wird dem guten Herrn Lünig aber nun doch etwas bang und er weist dann immerhin darauf hin, dass die beiden Energien eigentlich nicht vergleichbar sind.** „Beim e-Golf handele es sich ja um „elektrische Energie“ und beim Golf Diesel um „thermische Energie“ und dazwischen befinde sich ja zudem noch der Carnot'sche Wirkungsgrad“. Hier disqualifiziert er sich als „Energieexperte“ erneut, denn es handelt sich de facto um chemisch gebundene Energie und der Carnot'sche Wirkungsgrad gehört in seine Rechnung ebenfalls nicht hinein.

Leider bleibt die Frage der „Vergleichbarkeit der Energien“ ungeantwortet und *Horst Lünig* macht mit seiner „Plausibilitätskontrolle“ weiter, in dem er nun die Reichweiten beider Fahrzeuge ins Verhältnis setzt, zunächst nach NEFZ und dann auf Basis der Realwerte des Spritmonitors. Auch hier findet er merkwürdigerweise wieder einen **Faktor 4,1 zwischen den Reichweiten** und gar einen Faktor 18 zwischen dem Energieinhalt des Dieseltanks und dem in der Batterie des e-Golfs. Hier besteht sich auch ein eindeutiger Zusammenhang mit der Tankgröße des Dieselmotors. Wäre der Tank nur halb so groß, wäre auch der Faktor 9 und nicht 18 (Ironie aus!). Die „Frage der Vergleichbarkeit der Energien“ bleibt weiterhin unbeantwortet im Raum stehen.

f) Zeitpunkt 20:30: Die „Einsparung an Primärenergie“

Zum Schluß rechnet Horst Lüning nun das **Einsparpotential an Primärenergie** vor. Er ermittelt aus seiner Rechnung einen Primärenergie Bedarf von 4,7 Liter Rohöl für den e-Golf und 7,3 Liter Rohöl für den Golf 7 Diesel, wie Bild 10 verdeutlicht.



E-Golf	4,7 Liter Rohöl	(16 kWh Verbrauch + 1,5 kWh W2T → 17,3 kWh / 37%)
Golf 7 Diesel	7,3 Liter Rohöl	(5,8 Liter Verbrauch + 1,5 Liter W2T)
Ressourcen	$4,7/7,3 = 64\%$	(36% Einsparung Rohöl-Importe)

Dauerwerbesendung

#Energie #Wirkungsgrad
e-Golf vs. Golf Diesel - Vergleich des Energieverbrauchs

Bild 10: Das „Einsparpotential“ für Rohöl nach Horst Lüning (Lüning, 2018)

Für den e-Golf legt dazu er einen „thermischen Energiebedarf“ von 46,8 kWh zugrunde. Das geht zumindest vom Trend her jetzt in die richtige Richtung. Aber nun ist nur noch von 36% Energie-Einsparung die Rede? Wo sind denn so plötzlich der um den Faktor 2,3 bzw. gar 4,1 höhere Energiebedarf des Diesel Golfs geblieben? Über die Ursache der plötzlichen „Sparsamkeit“ des Diesel Golfs klärt „Energieexperte“ Lüning seine Zuschauer leider nicht mehr auf.

Zum Ende seines Videos wird es dann noch einmal richtig geheimnisvoll. *Horst Lüning* verrät, dass kalorische Kraftwerke – obwohl völlig zu Unrecht als „Dreckschleudern“ verschrien, weitaus geringere Abgaswerte aufzeigen würden als Pkw. Doch dazu mehr Details in einem späteren Aufsatz.

Zusammenfassung:

Ich finde es unfassbar, was hier an Utopien und Falschinformationen verbreitet wird. Fast 30000 Aufrufe bekam dieses Video bisher und über 1000 „Likes“. Nur wenige Zuschauer bringen in den Kommentaren ihre Zweifel an Horst Lünings Berechnung und Annahmen zum Ausdruck.

Immerhin taucht in den Kommentaren des Videos mehrfach der Einwand auf, dass der Heizwert von Diesel-Kraftstoff nicht 11,8 kWh/l beträgt. Ein Zuschauer führt zudem korrekt aus, dass *H. Lüning* die „Vorkette“ des thermischen Kraftwerks „vergessen“ hat.

Ich habe im vorliegenden Aufsatz verdeutlicht, dass der durchschnittliche Gesamtenergie-Bedarf eines VW Golf 1.6 TDI bei ca. 64 kWh für 100 km Fahrstrecke liegt. Mit einem Erdgas betriebenen Kraftwerk könnte es möglich sein, diesen Bedarf an Primärenergie um etwa 30% auf ca. 44 kWh zu senken, in dem ein vergleichbarer e-Golf mit dem dort erzeugten Strom betrieben wird. Das ist jetzt allerdings eine rein energetische Betrachtung ohne weitere Betrachtung bspw. der Kosten und Schadstoff-Emissionen.

Kohle-basierte thermische Kraftwerke in Kombination mit einem BEV bieten energetisch keine Vorteile, wie ich bereits vor einigen Wochen in einer früheren Abhandlung (Gärtner, 2021) über die jeweiligen CO₂-Bilanzen aufgezeigt hatte. Wenn die Berechnung in der vorliegenden Abhandlung geringe Vorteile zum Diesel-Fahrzeug ausweist, dürfte dies vermutlich primär an einer zu optimistischen Einschätzung der Wirkungsgrade in den Kraftwerken liegen.

Die Stromgewinnung aus Mineralöl ist in Deutschland nahezu bedeutungslos geworden. Es ist auf Basis der wissenschaftlichen Literatur zudem sehr fragwürdig, ob aktuell in Deutschland „Ölkraftwerke“ mit einem Wirkungsgrad von 45% existieren. Dies schließt natürlich nicht aus, dass Dieselmotoren auch mit noch höheren effektiven Wirkungsgraden zur Stromerzeugung im Generatorbetrieb in Serie sind.

Entgegen den Behauptungen von *Horst Lüning* sind kalorische Kraftwerke in keiner Weise „weitaus emissionsärmer“ als Pkw-Motoren. Dazu mehr Details in einem späteren Abhandlung.

Literaturverzeichnis

Boy, B., Bucher, H.-J., Christ, K. (2020). *Audiovisuelle Wissenschaftskommunikation im Fernsehen und auf YouTube. Wie Empfänger Wissenschaftsvideos verstehen und bewerten*. Universität Trier, Medienwissenschaft. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2020.608620>

E.ON (2021). *Ölkraftwerk Ingolstadt - Sauberer Strom vom Ufer der Donau*. Abgerufen von <https://docplayer.org/15415781-Oelkraftwerk-ingolstadt-sauberer-strom-vom-ufer-der-donau.html>

EPA U.S. Environmental Protecting Agency (2020). *Kraftstoffverbrauch e-Golf*. Abgerufen am 12. November 2020, von <https://www.fueleconomy.gov/feg/Find.do?action=sbs&id=39769&id=40769>

Gärtner, U. (2020a). *Grundlose Benachteiligung des Elektrofahrzeugs? - Unrealistische Annahmen beim Spritverbrauch*. Abgerufen von www.gaencon.de/aktuelles/

Gärtner, U. (2020b). *Vor den ersten 100 km hat ein Diesel-Pkw bereits 42 kWh Strom verbraucht?* Abgerufen von www.gaencon.de/aktuelles/

Gärtner, U. (2020c). *Über Mythen und Halbwissen zur CO₂-Emission von Dieselmotoren – oder Müssen Lehrbücher neu geschrieben werden?* Abgerufen von www.gaencon.de/archiv/

Gärtner, U. (2021). „Abgesehen davon, dass ein Kohlekraftwerk deutlich effizienter arbeitet, was den Wirkungsgrad und die Emissionen angeht, als wenn man Sprit in Millionen von Motoren verbrennt...“. Abgerufen von www.gaencon.de/aktuelles/

Görner, K., & Sauer, D. (2016). *Konventionelle Kraftwerke - Technologiesteckbrief zur Analyse „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050“*. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. (Federführung), Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina e. V.. DOI: 10.13140 / RG.2.1.1388.8405

Heck, F.(2021). *Die Maus feiert Geburtstag*. Waiblinger Kreiszeitung, Nr. 53, Seite A3, Freitag, 5. März 2021

Hoekstra, A., & Steinbuch, M. (2020). *Comparing the lifetime green house gas emissions of electric cars with the emissions of cars using gasoline or diesel*. Eindhoven University of Technology. Abgerufen am 04. Oktober 2020, von https://www.gruenebundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/mobilitaet/pdf/200831-Studie_EAuto_versus_Verbrenner_CO2.pdf

Lidl, A. (2018). *Autotest ADAC e-Golf*. ADAC e.V 2018. Abgerufen von https://www.adac.de/_ext/itr/tests/autotest/AT5678_VW_e-Golf/VW_e-Golf.pdf

Lüning, H. (2018, 1. Juni). *Großkraftwerke und E-Autos sind viel umweltschonender als Diesel-PKW*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=CoM9fAuqd_k

Lüning, H. (2018b, 18. Mai). *e-Golf vs. Golf Diesel - Vergleich des Energieverbrauchs*. YouTube. https://www.youtube.com/watch?v=6_rVu1kQhHw

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2019). *Saubere Luft – Stickstoffoxide und Feinstaub in der Atemluft: Grundlagen und Empfehlungen*. ISBN: 978-3-8047-4012-9.

Pfalzwerke (2021). *Unsere Netzverluste*. Abgerufen von <https://www.pfalzwerke-netz.de/unsere-netz/netznutzung-strom/netzverluste>

Paschotta, R. (2021). *RP-Energie-Lexikon*. Abgerufen am 08. März 2021, von <https://www.energie-lexikon.info/oelkraftwerk.html>

Schmied, M. & Knörr, W. (2013). *Berechnung von Treibhausgasemissionen in Spedition und Logistik gemäß DIN EN 16258*. Herausgeber: DSLV Deutscher Speditions- und Logistikverband e.V. Bonn, abgerufen von [https://www.dslv.org/dslv/web.nsf/gfx/8F102DF8C3E4A2F141257BB7007779CB/\\$file/DSLVL Leitfaden%20Berechnung%20von%20THG-Emissionen%20Stand%2003-2013.pdf](https://www.dslv.org/dslv/web.nsf/gfx/8F102DF8C3E4A2F141257BB7007779CB/$file/DSLVL Leitfaden%20Berechnung%20von%20THG-Emissionen%20Stand%2003-2013.pdf)

Schneider, A. (2021). *Warum Science-Influencer so oft geklickt werden*. Abgerufen von https://www.deutschlandfunk.de/wissenschaft-bei-youtube-warum-science-influencer-so-oft.2907.de.html?dram:article_id=491915

Schulz, D., & Schulz, K. (2013). *Energiequellen und Kraftwerke*. Bundeszentrale für politische Bildung, Informationen zur politischen Bildung Nr. 319/2013. Abgerufen von <https://www.bpb.de/izpb/169476/energiequellen-und-kraftwerke>

Wagner, H.-J., & Koch, M. (2007). *CO2-Emissionen der Stromerzeugung - Ein ganzheitlicher Vergleich verschiedener Techniken*. Ruhr Universität Bochum, Institut für Energietechnik. BWK Bd. 59 (2007) Nr.