

*„Abgesehen davon, dass ein Kohlekraftwerk deutlich effizienter<sup>1</sup> arbeitet, was den Wirkungsgrad und die Emissionen angeht, als wenn man Sprit in Millionen von Motoren verbrennt...“*

Behauptungen von augenscheinlichen Eiferern der e-Mobilität, wie ich sie in der Überschrift meiner heutigen Abhandlung eingublendet habe, tauchen immer wieder im Netz auf, oft gar auch in seriösen beruflichen Netzwerken.

**Begeht Deutschland in der Tat einen gewaltigen Fehler, indem es bis zum Jahr 2038 seine Kohle-Kraftwerke abschalten wird? Bringt es wirklich Vorteile, den in Kohle-Kraftwerken erzeugten Strom zum Antrieb elektrifizierter Personenkraftwagen zu nutzen? Und warum publiziert man solche fundamentalen Erkenntnisse erst heute?**

<sup>1</sup> Zwischen den Begriffen „effizient“ und „effektiv“ existieren bekanntlich gewisse Unterschiede. Die vorliegende Abhandlung vergleicht das Kohlekraftwerk/BEV und den Verbrennungsmotor ausschließlich im Hinblick auf Energieumwandlung und Abgasemissionen. Ein Vergleich der jeweiligen Kosten für Energie und Abgasreinigung bleibt zunächst unberücksichtigt.



Bild 1: Kohlendioxid-Emissionen aus deutschen Kohlekraftwerken

## Wirkungsgrade und CO2-Emissionen

Bild 1 zeigt auf, dass jede in einem Kohlekraftwerk generierte kWh Strom eine Belastung von etwa 1 kg CO<sub>2</sub> für die Umwelt bedeutet. Wie kommt man aber auf diesen Wert? Nach dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik kann die Umwandlung der in der Kohle gebundenen chemischen Energie in die gewünschte Energieform „Strom“ nur zu einem Bruchteil erfolgen. Es wird folglich also für 1 kWh Strom mehr Kohle benötigt und damit mehr Kohlendioxid freigesetzt, als dem sogenannten CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Steinkohle von etwa 335 g CO<sub>2</sub> je kWh entspricht, siehe auch 2. Spalte v.l., Mitte in Bild 2.

### Wie entstehen diese 335 g CO<sub>2</sub> je kWh Steinkohle?

Die Steinkohle besteht – je nach Abbauort und Herkunftsland - zu ca. 75% aus Kohlenstoff C und besitzt einen unteren Heizwert von etwa 8,2 kWh je Kilogramm, siehe bspw. (Jührich, 2016).

**Tabelle 2: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren fossiler Brennstoffe im Vergleich mit dem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor des deutschen Strommix 2018\***

	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor bezogen auf den Brennstoffeinsatz [g/kWh]	Brennstoffausnutzungsgrad netto bezogen auf den Stromverbrauch [%]	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor bezogen auf den Stromverbrauch [g/kWh]	Vergleich CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor Strommix [g/kWh]
Erdgas	201	50	399	
Steinkohle	335	40	835	468
Braunkohle	406	36	1.137	

Quelle: eigene Berechnungen Umweltbundesamt Februar 2020 \*vorläufig

*Bild 2: Emissionsfaktoren und Brennstoffausnutzungsgrade deutscher Kraftwerken (Icha, 2020, Seite 16)*

Aus einem Kilogramm Kohlenstoff C bilden sich durch die Oxidation mit Sauerstoff O<sub>2</sub> nun 3,664 kg Kohlendioxid CO<sub>2</sub> je kg Kohlenstoff C. Aus dem Zusammenrechnen dieser genannten drei Zahlenangaben ((0,75 kg C/kg Kohle x 3,664 kg CO<sub>2</sub>/kg C) : 8,2 kWh/kg Kohle) ergibt sich der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 335 g CO<sub>2</sub> je kWh Steinkohle,

### Wie errechnet man aber 835 g CO<sub>2</sub> je kWh Kohlestrom?

Das Verhältnis zwischen der zugeführten Energie (i.e. Steinkohle) und der im Kraftwerk gewonnenen Energie (i.e. Strom) wird in der Thermodynamik durch den sogenannten effektiven Wirkungsgrad beschrieben. Speziell in der Kraftwerkstechnik verwendet man auch den „Brennstoffausnutzungsgrad“, siehe auch 3. Spalte v.l., Mitte in Bild 2. Für ein mit Steinkohle betriebenes Kraftwerk finden wir in dieser Tabelle einen mittleren Wert von 40 %. Könnte man nun in einem geeigneten Umwandlungsprozess die in der Kohle gebundene chemische Energie vollständig in Strom umsetzen, benötigte man für 1 kWh Strom lediglich 122 g Kohle (nämlich: 1 kWh geteilt durch 8,2 kWh/kg !). Wenn nun aber „effektiv“ nur 40% dieses Energieinhaltes der Kohle umgewandelt werden können, müssen statt der 122 g Kohle mithin also 304 g Kohle eingesetzt werden. Und die Verbrennung von 304 g Kohle bildet wiederum 835 g CO<sub>2</sub>, siehe auch 2. Spalte v.r., Mitte in Bild 2.

Damit aber ist der an der im Kraftwerksprozess gewonnene Strom noch keinesfalls an den heimischen Steckdosen angelangt. Seriöse CO<sub>2</sub>-Bilanzen berücksichtigen aus diesem Grund

einen Netzverlust, auch Übertragungsverlust, der aktuell mit ca. 6% angesetzt wird. Auf der „Eingangsseite“ des Kraftwerkes muss weiterhin auch die sogenannte „Vorkette“ einkalkuliert werden. Im vorliegenden Fall umfasst dies den Abbau, die Förderung, Transporte und Bereitstellung von Steinkohle am Kraftwerk.

Das Umweltbundesamt UBA weist in Veröffentlichungen ausdrücklich darauf hin, dass die zuvor genannte Vorkette und der Netzverlust in den UBA-Werten nicht berücksichtigt werden, (Ichta, 2020, Seite 11). Bedauerlich ist dieser Sachverhalt vielen Foristen und leider auch „Fachjournalisten“ nicht bekannt. In einem bekannten Internetportal der e-Mobilität - electrive.net - behauptete M.C. Schwarzer (2020) kürzlich gar das Gegenteil, siehe auch (Gärtner, 2020a). Auch S. Hajek (2019) von der WirtschaftsWoche und P. Schwierz (2019) von electrive.net (2019) konnten sich bspw. in ihrer Kritik der viel beachteten Studie von Prof. Sinn nicht erklären, warum die „von den Autoren verwendeten CO2-Emissionen um satte 16 Prozent höher liegen als die offiziellen Angaben des Umweltbundesamtes“, (Schwierz, 2019). Bereits ein Durchlesen der kritisierten Studie (Buchal et al., 2019, Seite 43, links unten) vorab deren „Entlarvung als unwissenschaftliche Meinungsmache“ (Schwierz, 2019) hätte beiden Journalisten zumindest in diesem Punkt Aufklärung gebracht.

In Bild 3 habe ich nach verschiedenen Quellen die spezifische CO2-Emission aus der Vorkette für Steinkohle, der Stromerzeugung im Kraftwerk und des Netzverlustes zusammengestellt. Die Vorkette für Steinkohle wurde für die Berechnung in Bild 3 mit 16% angesetzt, basierend auf den Ausführungen von Wagner & Koch (2007) vom Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft der Ruhr-Universität Bochum. Bestätigung dieser Annahme findet man u.a. beim Umweltbundesamt UBA (Memmler, 2018) oder in (Zukunft Erdgas GmbH, 2021).

Die Resultate liefern trotz gewisser Unterschiede ein doch einheitliches Bild, obwohl sich der Zeitraum der ausgewiesenen Veröffentlichungen doch von 2007 bis 2020 erstreckt. **Für die weiteren Berechnungen wurde daher eine resultierende CO2-Emission von 1000 g/kWh bei der Stromerzeugung durch Steinkohle angenommen.**

STEINKOHLE Quelle	Kraftwerk g/kWh			Vorkette g/kWh			Netzverlust g/kWh	Summe g/kWh
	min.	max.	MW	min.	max.	MW		
(Strom-Report, 2020a)	730	940	835			134	50	1019
(UBA, 2020)			835			134	50	1019
(Wagner et al., 2007)	795	931	827	103	153	127	50	1004
(Statista, 2009)							57	1006
(Gemis 4.95, 2017)							54	948
(Buchal et al. 2019)			820			131	49	1000
Kursiv gedruckte Werte: Eigene Berechnung. Vorkette: 16%, Netzverlust 6%.								

*Bild 3: CO2-Emissionen aus der Verstromung von Steinkohle in Deutschland inkl. Vorkette und Netzverluste nach verschiedenen Quellen.*

### Vergleich der CO2-Emissionen für den Fahrbetrieb von BEV und Pkw mit ICE

Für diesen Vergleich werden die Realverbräuche dreier BEV und der jeweiligen ICE Pendanten verwendet: Tesla3, MB C220d, e-Golf, Golf TDI, smart fortwo EQ und smart fortwo Benzin. Diese Kombinationen hatte ich bereits in einer meiner letzten Abhandlungen analysiert; zu den Hintergründen und Datenquellen siehe (Gärtner, 2020b). Die damalige Untersuchung zeigte auf, dass **unter Annahme des deutschen Strommix für 2020 (500 g CO2/KWh inkl.**

Vorkette und Netzverluste) die CO<sub>2</sub>-Emissionen der betrachteten BEV nur etwa die Hälfte der Emissionen der konventionellen Antriebe betragen.

Verbrauch	Tesla Modell 3, Long Range, 75 kWh		MB C220d		CO <sub>2</sub> (ICE)/CO <sub>2</sub> (BEV)
	[kWh/100km]	[g CO <sub>2</sub> /km]	[l/100km]	[g CO <sub>2</sub> /km]	
Real	20,9	209	6,4	212	1,0
Datenquelle	eGolf		Golf 1.6 TDI SCR 85 kW 5-Gang		CO <sub>2</sub> (ICE)/CO <sub>2</sub> (BEV)
	[kWh/100km]	[g CO <sub>2</sub> /km]	[l/100km]	[g CO <sub>2</sub> /km]	
Real	17,3	173	5,3	175	1,0
Datenquelle	smart fortwo EQ		smart fortwo, 52 kW		CO <sub>2</sub> (ICE)/CO <sub>2</sub> (BEV)
	[kWh/100km]	[g CO <sub>2</sub> /km]	[l/100km]	[g CO <sub>2</sub> /km]	
Real	19,4	194	6,2	195	1,0
<b>Basisdaten:</b>					
CO <sub>2</sub> aus Diesel-Verbrennung	3310	[g/l]	(Hoekstra & Steinbuch, 2020)		
CO <sub>2</sub> aus Benzin-Verbrennung	3140	[g/l]	(Hoekstra & Steinbuch, 2020)		
CO <sub>2</sub> Emissionsfaktor Steinkohle-Kraftwerk	1000	[g/kWh]			

*Bild 4: Vergleich der CO<sub>2</sub>-Emissionen von BEV und ICE im Fahrbetrieb inkl. Vorketten bei Strom, Diesel und Benzin. 100% Strom aus Steinkohle. Reale Verbrauchsdaten, siehe (Gärtner, 2020b)*

Es ist unschwer zu erraten, dass nun bei Verwendung eines CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors von 1000 g/kWh für die **hundertprozentige Stromerzeugung aus Steinkohle die CO<sub>2</sub>-Emissionen von BEV und ICE nahezu auf gleichem Niveau liegen dürften**. Genau dies zeigt auch die aktuelle Auswertung in Bild 4. Natürlich wurden auch bei den fossilen Kraftstoffen die jeweiligen Vorketten bis zur Tanksäule berücksichtigt, Bild 4 unten.

Bei der Verstromung von Braunkohle hingegen ist aktuell von einem deutlich höheren CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von etwa 1150 g/kWh inkl. der Vorkette und des Netzverlustes auszugehen. Zur Berechnung der reinen Kraftwerksemissionen habe ich die bereits in Bild 3 benannten Quellen verwendet. Die Vorkette fällt bei der Verstromung von Braunkohle mit durchschnittlich etwa 30 g/kWh (oder 2-4%) deutlich geringer aus als bei der Verwendung von Steinkohle, siehe auch Bild 2. Die Ursache liegt im inländischen Übertageabbau, deutlich kürzeren Transportwegen und den Methanemissionen (GHG Faktor ca. 25 !) beim Abbau von Steinkohle, (Wagner et al., 2007). Bei Betrachtung eines Braunkohle-Kraftwerks anstelle des Steinkohle-Kraftwerks **lägen damit die CO<sub>2</sub>-Emissionen eines BEV etwa 10 bis 15% über denen der Fahrzeuge mit konventioneller Antriebstechnik**.

### Schadstoff-Emissionen bei der Erzeugung des Fahrstroms für BEV

**NGOs wie bspw. Greenpeace bezeichnen die Verfeuerung von Kohle als eine der schädlichsten Praktiken auf der Erde und speziell die Braunkohle als den schmutzigsten Brennstoff überhaupt.**

In der Tat fallen bei der Verstromung von Steinkohle und Braunkohle Schadstoffe in einer Höhe an, die sich deutlich von den Emissionen moderner Verbrennungsmotoren unterscheiden. **Daneben werden Schadstoffe freigesetzt, die beim Betrieb von Verbrennungsmotoren noch nie oder schon seit Jahrzehnten kein Thema mehr sind, wie bspw. das Schwermetall Quecksilber Hg und auch Schwefeldioxid SO<sub>2</sub>.** Das UBA bezeichnet z.B. die Kohleverbrennung als die größte Emissionsquelle für Quecksilber in Deutschland, (UBA, 2020). Kraftwerke gelten aktuell als die größten Verursacher von Schwefeldioxid-Emissionen in Deutschland, während der Verkehr mit Einführung



schwefelfreier Kraftstoffe ab 2003 hier keine Rolle mehr spielt, Bild 5. Schwefeloxide können Schleimhäute und Augen reizen und Atemwegsprobleme verursachen. Sie können zudem aufgrund von Ablagerung in Ökosystemen eine Versauerung von Böden und Gewässern bewirken, (UBA, 2020).

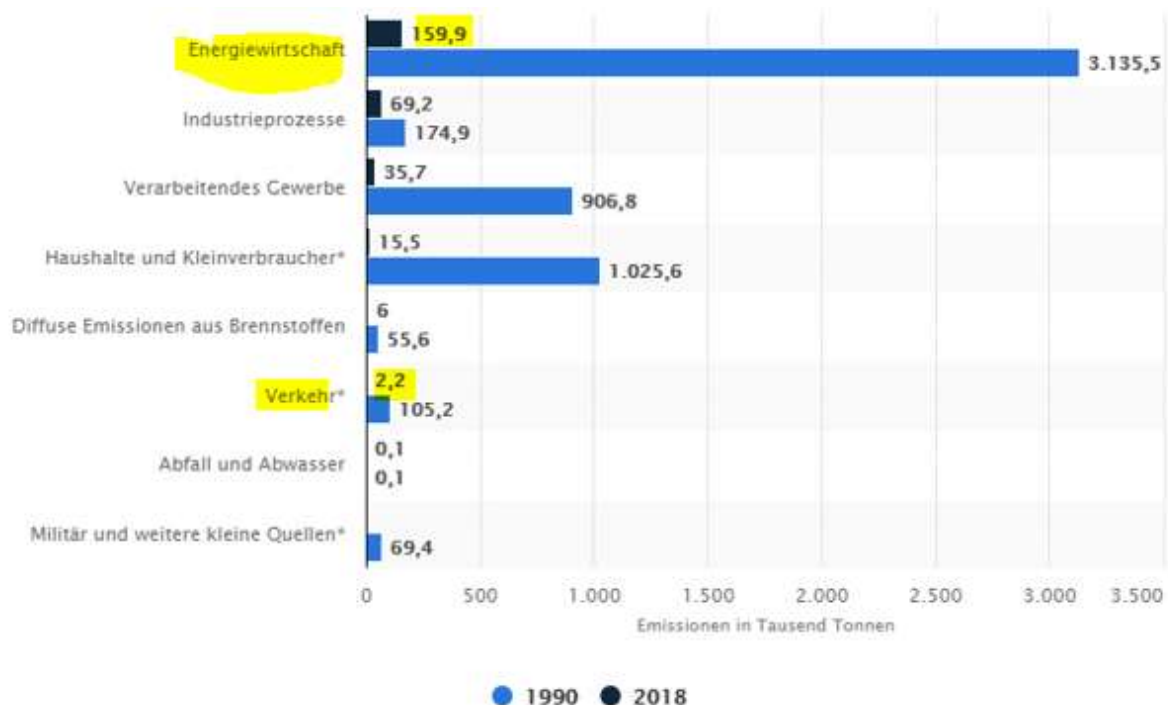


Bild 5: Schwefeldioxid-Emissionen in Deutschland nach Verursachern (statista, 2020)

Auch in Kraftwerken wird mittlerweile wie bei Verbrennungsmotoren eine vielseitige Abgasreinigung eingesetzt. Es wird vielfach argumentiert, dass bspw. die SCR-Technik bei Kohlekraftwerken effizienter arbeite als in Verbrennungsmotoren. Diese Behauptung lässt sich aber nicht belegen, wie die folgenden Ausführungen zeigen werden. **Braunkohlekraftwerke bspw. setzen zudem gar keine SCR-Katalysatoren ein;** Steinkohlekraftwerke erst etwa seit Mitte der achtziger Jahre.

Bild 6 illustriert exemplarisch eine Untersuchung des Umweltbundesamts UBA, welche **Emissionen im deutschen Strommix (!) trotz der Abgasreinigung in den kalorischen Kraftwerken** entstehen.

### Spezifische Emissionsfaktoren für den Deutschen Strommix

Schadstoff	Einheit	1990	2000	2018
Schwefeldioxid	g/kWh	4,796	0,569	0,224
Stickstoffdioxid	g/kWh	1,055	0,490	0,408
Staub	g/kWh	0,745	0,026	0,011
PM <sub>10</sub>	g/kWh	nicht berichtet	0,023	0,010
Kohlenmonoxid	g/kWh	0,389	0,205	0,184
Kohlendioxid*	kg/kWh	0,764	0,644	0,468
Lachgas	g/kWh	0,020	0,015	0,013
Methan	g/kWh	0,016	0,030	0,167
NMVOC	g/kWh	0,013	0,014	0,015
Quecksilber	mg/kWh	0,028	0,015	0,008

\*) Ohne Emissionen aus biogenen Brennstoffen

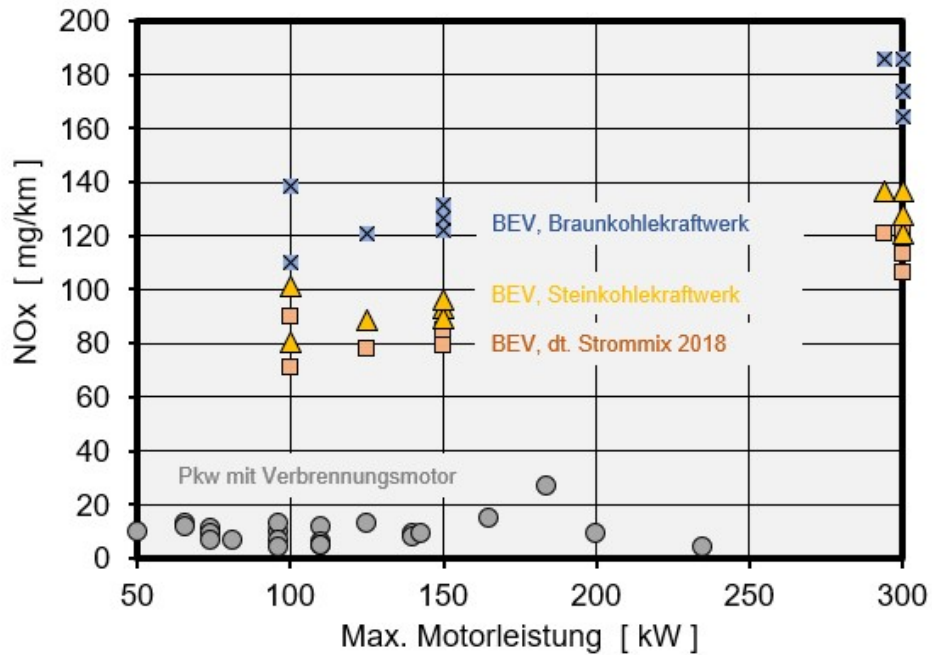
Quelle: Umweltbundesamt

Bild 6: Emissionsfaktoren verschiedener Schadstoffe im deutschen Strommix (Jührich, 2020)

In den weiteren Ausführungen werde ich mich auf die Schadstoffkomponenten Stickoxide NO<sub>x</sub> und Partikel/Feinstaub beschränken, da diese beiden Schadstoffe in der aktuellen Diskussion der Umweltbelastung durch Verbrennungsmotoren im Mittelpunkt stehen.

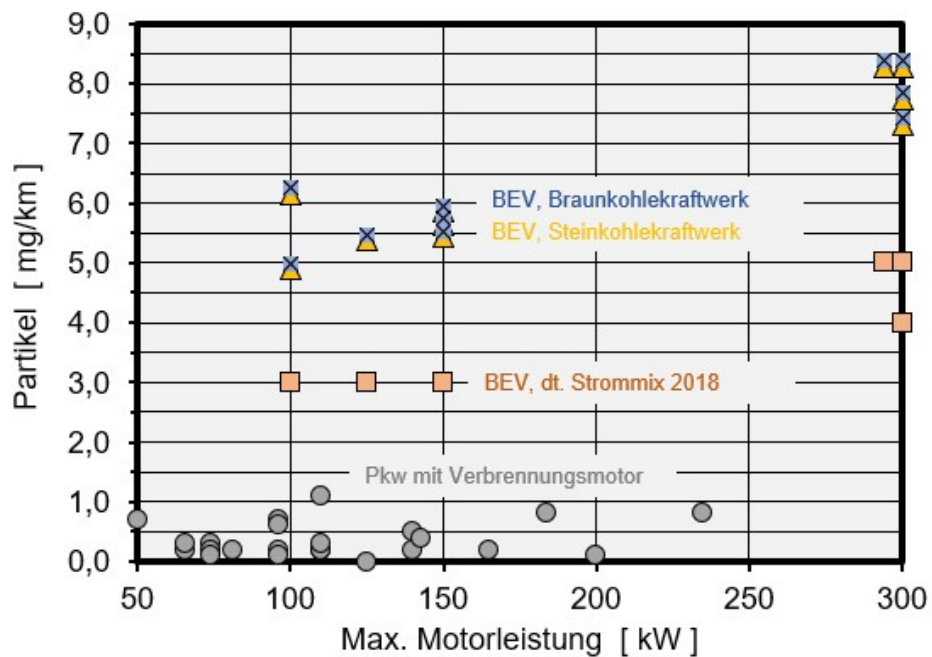
In den Bildern 7 und 8 sind exemplarisch die Stickoxid- und Partikelemissionen von 6 Diesel-Pkw, 11 Benzinern und 6 Erdgas-Fahrzeugen auf Datenbasis des ADAC Ecotests aufgezeigt, (ADAC, 2021b). Es handelt sich dabei ausschließlich um Modelle der Emissionsstufen Euro6dtemp und Euro6d. Die Messungen stammen aus den Jahren 2019 und 2020. Augenfällig bei dieser Darstellung ist nicht nur das extrem niedrige Niveau, sondern insbesondere auch die weitgehende Unabhängigkeit der Emissionen von der Motorleistung und auch des verwendeten Kraftstoffs. Bei der Bewertung von BEV im Ecotest verwendet der ADAC gleichfalls die bereits in Bild 6 dargestellten Angaben des Umweltbundesamts UBA für den deutschen Strommix, (ADAC, 2021a). Die ADAC Ergebnisse aus der Vermessung von 10 BEV von 7 Herstellern in den Jahren 2019 und 2020 sind zum Vergleich mit den Emissionen der Verbrenner in den Bildern 6 und 7 eingetragen.

**Bereits unter der Annahme des dt. Strommix (!) liegen die „indirekten“ Stickoxid-Emissionen bei den BEV etwa um einen Faktor 9,5 (!) höher, bei „indirekten“ Feinstaub/Partikel-Emissionen um einen Faktor 10!**



Datenquelle: ADAC Eco Test, 6 Fzg. Diesel, 11 Fzg. Benzin, 6 Fzg. CNG, alle Fahrzeuge Abgasnorm Euro 6dtemp und Euro6d, 10 Fzg. BEV, Zeitraum der Messungen 2019/2020

Bild 7: Stickoxid-Emissionen verschiedener Pkw-Antriebe (eigene Darstellung)



Datenquelle: ADAC Eco Test, 6 Fzg. Diesel, 11 Fzg. Benzin, 6 Fzg. CNG, alle Fahrzeuge Abgasnorm Euro 6dtemp und Euro6d, 10 Fzg. BEV, Zeitraum der Messungen 2019/2020

Bild 8: Partikel-Emissionen verschiedener Pkw-Antriebe (eigene Darstellung)

Noch deutlicher treten die Unterschiede hervor, wenn man nun für die Emissionsbetrachtung die vollständige Luftbelastung aus den kalorischen Kraftwerken ansetzt und nicht nur deren Anteil am deutschen Strommix. Hinsichtlich der Stickoxid-Emission zur Deckung des Fahrstroms ausschließlich aus der Verstromung von Steinkohle

**resultiert ein mittlerer Wert von etwa 110 mg/km, bei Braunkohle-Verstromung von ca. 150 mg/km.** Für diese Berechnungen wurden wiederum spezifische Emissionsfaktoren des Umweltbundesamts UBA verwendet, (Memmler et al., 2018, Seite 43). Die Plausibilität wurde zudem mit den Gesamtemissionen aus der dt. Stromerzeugung (UBA, 2017) gegengeprüft. **Bei Staub und Partikel ergeben sich Emissionen der thermischen Kraftwerke für die Bereitstellung des Fahrstroms in Höhe von etwa 6 mg/km.**

Ein nennenswerter Vorteil des BEV besteht allenfalls in der so genannten „lokalen Emissionsfreiheit“, da die beschriebenen „indirekten“ Emissionen nicht direkt durch das Fahrzeug selbst verursacht werden, sondern „irgendwo in Deutschland“ bei der Stromerzeugung in einem „abseits gelegenen“ Kraftwerk. Fairerweise muss man hier allerdings erwähnen, dass in Deutschland auch **innerstädtische Kohlekraftwerke existieren wie z.B. in Stuttgart-Münster**. Auf der anderen Seite muss berücksichtigt werden, dass der Anteil des in kalorischen Kraftwerken erzeugten Stroms am Strommix und damit auch die verbundenen Schadstoffemissionen über der Zeit merklich abnehmen, wie es ja auch die Historie in Bild 6 illustriert.

**Wie jemand bei dieser Datenlage zu der Auffassung gelangen kann, dass BEV mit Stromversorgung aus Kohlekraftwerken schon heute wesentlich schadstoffärmer seien als Verbrennungsmotoren, bleibt völlig schleierhaft.** In Bild 9 habe ich diesen Sachverhalt nochmals tabellarisch zusammengefasst. Bei den Verbrennungsmotoren wurde dabei wie bereits ausgeführt nicht mehr nach Antriebsart (Diesel, Benzin, Erdgas) differenziert, da sich bei allen Technologien die „klassischen“ Emissionen auf einem historischen Tiefstand befinden und die Art des verwendeten Kraftstoffs zwischenzeitlich keine Rolle mehr spielt, siehe auch Bilder 7 und 8.

<b>Emissionen in [mg/km]</b>				
	<b>Verbrennungsmotoren</b>	<b>Fahrstrom BEV dt. Strommix 2018</b>	<b>Fahrstrom BEV Steinkohlekraftwerk</b>	<b>Fahrstrom BEV Braunkohlekraftwerk</b>
<b>Stickoxide NOx</b>	10	95	107	146
<b>Partikel PM, PM10, Staub</b>	0,4	4	6	6
<small>Eigene Berechnung nach Daten von ADAC, UBA, GEMIS 4.95, Vorketten nicht berücksichtigt</small>				

*Bild 9: Durchschnittliche Emissionen von Verbrennungsmotoren und BEV (Fahrstrom aus dt. Strommix bzw. Kohlekraftwerken) im Vergleich*

Einen Großteil der Desinformation geht - wieder einmal - auf die Unfähigkeit vieler Medien und Journalisten zurück, sich in technisch komplexen Prozessen auch nur im Notwendigsten sachkundig zu machen.

Die Journalistin *Claudia Wörner* bspw. plädierte im August 2019 im Industrie-Anzeiger unter der Überschrift *“E-Autos und Kraftwerke sind ein gutes Gespann“* voller Überzeugung für die hohe Effizienz von Kraftwerken im Vergleich zu im Wirkungsgrad schwachen Verbrennungsmotoren. „Vorneweg auf den Punkt gebracht: **Großkraftwerke sind besser als ihr Ruf, denn sie arbeiten höchst effizient. Wird ihr Strom für Elektroautos verwendet, ermöglicht das im Verkehr Energieeinsparungen von mindestens 40 %. Bessere Luft gibt es als Dreingabe.**“ Zudem verfügen Kraftwerke über Anlagen zur Abgasreinigung, die ständig aktiv sind und überwacht werden.“, (Wörner, 2020). **Wie zuvor im vorliegenden Aufsatz gezeigt wurde, können solche Aussagen in keiner Weise belegt werden – weder im Hinblick auf die Energieumwandlung noch auf den Beitrag kalorischer Kraftwerke zur Luftqualität.**



Auch das e-Mobilität Internetportal „The Mobility House“ publiziert u.a. eine Aufklärungs- und Informationsserie mit dem schönen Titel „*Märchen der Elektromobilität: Es war einmal...ein Elektroauto, das schlecht fürs Klima war*“, (The Mobility House, 2020). Dort heißt es auszugsweise: „**Zwar fallen Luftschadstoffe auch bei der Herstellung des Fahrstroms an**, der momentan zu gut 40 Prozent auf fossile Energieträger zurückzuführen ist. Dabei entstehen allerdings **keine besonders hohen Feinstaub- oder Stickoxidemissionen**, da Kohlekraftwerke über moderne Abgasreinigungstechnik verfügen.“ - **Wahrhaft eine wirklich schöne Märchenstunde und mit Sicherheit ein „Bärendienst“ für die e-Mobilität!**

## Literaturverzeichnis

ADAC (2021a). *Ecotest – Test- und Bewertungskriterien (ab 2/2019)*. Abgerufen am 28. Januar 2021, von [https://www.adac.de/\\_mmm/pdf/Methodik\\_EcoTest\\_2020\\_292234.pdf](https://www.adac.de/_mmm/pdf/Methodik_EcoTest_2020_292234.pdf)

ADAC (2021b). *ADAC Ecotest – über Stinker und Saubermänner*. Abgerufen am 28. Januar, von <https://www.adac.de/infotestrat/tests/eco-test/>

Buchal, C., Karl, H.-D., Sinn, H.-W. (2019). *Kohlemotoren, Windmotoren und Dieselmotoren: Was zeigt die CO<sub>2</sub>-Bilanz?* ifo Schnelldienst, 8/2019. 72. Jahrgang, 25. April 2019. Abgerufen von <https://www.ifo.de/DocDL/sd-2019-08-sinn-karl-buchal-motoren-2019-04-25.pdf>

Gärtner, U. (2020). *Kleine Cocktail-Kunde: Der „Strommix“*. Abgerufen von <https://www.gaencon.de/Aktuelles/>

Gärtner, U. (2020b). „*Grundlose Benachteiligung des Elektrofahrzeugs? - Unrealistische Annahmen beim Spritverbrauch*“. Abgerufen von <https://www.gaencon.de/Aktuelles/>

Hajek, S. (2019). *Was Hans-Werner Sinn bei seiner Elektroauto-Studie übersehen hat*. Abgerufen am 4. November 2020, von <https://www.wiwo.de/technologie/mobilitaet/ist-das-e-auto-ein-rueckschritt-was-hans-werner-sinn-bei-seiner-elektroauto-studie-uebersehen-hat/24237236.html>

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](https://www.gruenebundestag.de/fileadmin/media/gruenebundestag_de/themen_az/mobilitaet/pdf/200831-Studie_EAuto_versus_Verbrenner_CO2.pdf)

Icha, P. (2020). *Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 – 2019*. Herausgeber: Umweltbundesamt UBA 2020, ISSN 1862-4359. Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01\\_climate-change\\_13-2020\\_strommix\\_2020\\_fin.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-01_climate-change_13-2020_strommix_2020_fin.pdf)

Juhrich, K. (2016). *CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*. Umweltbundesamt UBA. Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren\\_fur\\_fossile\\_brennstoffe\\_korrektur.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf)

Juhrich, K. (2020). *Spezifische Emissionsfaktoren für den deutschen Strommix*. Umweltbundesamt UBA 2020. Abgerufen am 03. Oktober 2020, von

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/emissionen-von-luftschadstoffen/spezifische-emissionsfaktoren-fuer-den-deutschen>

Memmler, M., Lauf, T., Schneider, S. (2018). *Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger*. Umweltbundesamt UBA 2018. Abgerufen von [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-22\\_climate-change\\_23-2018\\_emissionsbilanz\\_erneuerbarer\\_energien\\_2017\\_fin.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-22_climate-change_23-2018_emissionsbilanz_erneuerbarer_energien_2017_fin.pdf)

Schwarzer, C. (2020). *Elektroautos: Wie sauber ist der Fahrstrom? Eine Entwicklungsbilanz*. Abgerufen am 03. November 2020, von <https://www.electrive.net/2020/01/13/elektroautos-wie-sauber-ist-der-fahrstrom-eine-entwicklungsbilanz/>

Schwierz, P. (2019). Experten entlarven Elektroauto-“Studie” von Hans-Werner Sinn als unwissenschaftliche Meinungsmache. Abgerufen am 4. November 2020, von <https://www.electrive.net/2019/04/20/experten-entlarven-elektroauto-studie-von-hans-werner-sinn-als-unwissenschaftliche-meinungsmache/#:~:text=Experten%20entlarven%20Elektroauto%2D%E2%80%9CStudie%E2%80%9D,Werner%20Sinn%20als%20unwissenschaftliche%20Meinungsmache&text=Elektroautos%20belasten%20das%20Klima%20um,Prozent%20mehr%20als%20vergleichbare%20Diesel.&text=Hans%2DWerner%20Sinn%2C%20ver%C3%B6ffentlichte%20am%2017.>

Strom-Report (2020a). *WIE VIEL CO2 VERURSACHT EINE KILOWATTSTUNDE STROM IM DEUTSCHEN STROMMIX?* Abgerufen von <https://strom-report.de/co2-deutscher-strommix/>

Statista (2009). *Ausstoß von CO2-Emissionen durch Stromkraftwerke nach Kraftwerktyp*. Abgerufen von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/38910/umfrage/hoehe-der-co2-emissionen-nach-kraftwerk/>

Statista (2020). *Schwefeldioxid-Emissionen nach Verursachergruppen in Deutschland 2018*. Abgerufen von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1091252/umfrage/schwefeldioxid-emissionen-nach-verursachergruppen-in-deutschland/>

The Mobility House (2020). *Märchen der Elektromobilität: Es war einmal...ein Elektroauto, das schlecht fürs Klima war!* Abgerufen am 25. Januar 2021, von [https://www.mobilityhouse.com/de\\_de/magazin/e-mobility/elektroautos-sind-schlecht-fuer-das-klima.html/](https://www.mobilityhouse.com/de_de/magazin/e-mobility/elektroautos-sind-schlecht-fuer-das-klima.html/)

UBA (2017). *Daten und Fakten zu Braun- und Steinkohlen*. Umweltbundesamt UBA 2017. ISSN 2363-829X

UBA (2020). *Emissionen von Wärmekraftwerken und anderen Verbrennungsanlagen*. Abgerufen von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/emissionen-von-waermekraftwerken-anderen#umweltbelastende-emissionen-aus-waermekraftwerken-und-anderen-verbrennungsanlagen->

Wagner, H.-J. & Koch, M. (2007). *CO2-Emissionen der Stromerzeugung - Ein ganzheitlicher Vergleich verschiedener Techniken*. Ruhr-Universität-Bochum, Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft. BWK Bd. 59 (2007) Nr. 10.

Wörner, C. (2019). *E-Autos und Kraftwerke sind ein gutes Gespann*. Abgerufen von <https://industrieanzeiger.industrie.de/technik/elektroautos-und-kraftwerke-sind-ein-gutes-gespann/>

Zukunft Erdgas GmbH (2021). *Emissionen im Vergleich: LNG, Pipeline-Gas und Kohle*. Abgerufen von <https://gas.info/klimaschutz-mit-gas/klimaneutrales-energiesystem/klimabilanz-von-erdgas/emissionen-im-vergleich>

