

Emissionsgrenzwerte für Kohlekraftwerke: Gesundheitliche Folgen der vorgeschlagenen Grenzwerte in Deutschland

Lauri Myllyvirta, Leitender Analyst
Rosa Gierens, Researcherin
05/2020



CREA ist eine unabhängige Forschungseinrichtung für Trends, Ursachen und Gesundheitsauswirkungen sowie Lösungen für Luftverschmutzung.

Diese Studie wurde im Auftrag von ClientEarth erstellt.



Diese Studie wurde mithilfe einer Förderung aus dem LIFE-Programm der Europäischen Union erstellt.

Wichtigste Ergebnisse

- Auf Grundlage der derzeit von der deutschen Regierung befürworteten Grenzwerte für die Luftverschmutzung durch Kraftwerke und des Zeitplans für den Kohleausstieg werden die Emissionen aus deutschen Kohlekraftwerken zwischen 2022 und 2038 voraussichtlich zu 26.000 zurechenbaren Todesfällen führen.
- Die volkswirtschaftlichen Kosten der mit der Luftbelastung einhergehenden Gesundheitsbelastung, der geringeren wirtschaftlichen Produktivität und der Wohlfahrtsverluste belaufen sich auf schätzungsweise 73 Milliarden Euro.
- Würde man alle Kraftwerke, die über das Jahr 2030 hinaus betrieben werden dürfen, verpflichten, die beste verfügbare Technik zur Kontrolle von Luftschadstoffemissionen einzusetzen, würde das die Zahl der durch Luftverschmutzung bedingten zurechenbaren Todesfälle um 65% auf 9.200 und die Kosten auf 21 Milliarden Euro senken.
- Ein Vorziehen des Kohleausstiegs auf 2030 würde, zusammen mit den erforderlichen CO₂-Senkungen zur Einhaltung des Pariser Abkommens in den Industrieländern, die gesundheitlichen Folgen durch Emissionen weiter halbieren.

Inhalt

Wichtigste Ergebnisse	1
Inhalt	2
Einführung	3
Ergebnisse	6
Methodik	12
Emissionsprojektionen	12
Atmosphärische Modellierung	15
Gesundheitliche Folgen	16
Wirtschaftliche Kosten	19
Literaturangaben	21

Einführung

Deutsche Stein- und Braunkohlekraftwerke gehören zu den größten industriellen Umweltverschmutzern Europas und wurden allein im Jahr 2013 für schätzungsweise 4.400 vorzeitige Todesfälle verantwortlich gemacht. Damit nimmt Deutschland hinter Polen den zweiten Platz ein (Jones et al. 2016).

Eine von der Europäischen Umweltagentur veröffentlichte Rangliste von Industrieanlagen (2014) ergab ebenfalls, dass sich von den 20 europäischen Kraftwerken, die durch ihre Luftschadstoffemissionen den größten wirtschaftlichen Schaden verursachen, fünf in Deutschland befinden.

Nach der EU- Richtlinie über Industrieemissionen und den Schlussfolgerungen über die Besten Verfügbaren Techniken für Großfeuerungsanlagen (BVT-Schlussfolgerungen) kann jeder Mitgliedsstaat Emissionsgrenzwerte für seine Industrieanlagen innerhalb der in den BVT-Schlussfolgerungen der Union festgelegten Bandbreite festlegen. Während die Bundesregierung die endgültige Umsetzung dieser Grenzwerte in nationales Recht weiter hinauszögert, gibt es Anzeichen dafür, dass die Politik erwägt, sich bis auf wenige Ausnahmen für die nach EU-Recht zulässigen, schwächeren Emissionsgrenzwerte zu entscheiden. Diese Grenzwerte bilden jedoch in keiner Weise die beste verfügbare Technik für den Schutz der öffentlichen Gesundheit ab und sind deutlich weniger strikt als zum Beispiel in China, Japan und Südkorea.

Wir haben die gesundheitlichen Folgen der Luftschadstoffemissionen aus deutschen Kraftwerken auf Grundlage der derzeit von der Regierung vorgeschlagenen Emissionsgrenzwerte sowie auf Grundlage von zwei Alternativszenarien eingeschätzt.

Dazu haben wir die Luftschadstoffemissionen des gesamten deutschen Stein- und Braunkohlekraftwerksparks pro Jahr auf Grundlage der zuletzt für die Umsetzung in der Verordnung für Großfeuerungsanlagen vorgeschlagenen Emissionsgrenzwerte prognostiziert (**VO-Szenario**), davon ausgehend, dass die Stromerzeugung im Rahmen des Ausstiegszeitplans erfolgt. Das bedeutet, dass Braunkohlekraftwerke gemäß des aktuellen Entwurfs für ein Kohleausstiegsgesetz stillgelegt werden und Ausschreibungsverfahren für Steinkohlekraftwerke einem stetigen und linearen Ausstiegspfad folgen.

Für jedes Kraftwerk wurden die aktuellen durchschnittlichen Luftschadstoffkonzentrationen im Rauchgas gemäß den für 2017 gemeldeten Luftschadstoff- und CO₂-Emissionen – dem

letzten Jahr, für das Daten vorliegen – geschätzt. Auf dieser Grundlage wurden die Emissionsreduktionen, die sich aus der Anwendung neuer Emissionsgrenzwerte ergeben, ermittelt.

Zusätzlich zu den VO-Emissionsgrenzwerten haben wir zwei alternative Szenarien entwickelt. Das **Szenario „BVT für alle Anlagen“** geht davon aus, dass alle Kraftwerke unabhängig vom Stilllegungsjahr die Emissionsgrenzwerte einhalten müssen, die mit dem Einsatz der besten verfügbaren Emissionskontrolltechniken erreichbar sind. Das bedeutet, dass das untere (striktere) Ende der in der BVT-Schlussfolgerung angegebenen Emissionsbandbreite erreicht wird. Ein praktikableres **Szenario mit „strikten Grenzwerten“** geht davon aus, dass Großfeuerungsanlagen ($>300\text{MW}_{\text{th}}$), die über das Jahr 2030 hinaus in Betrieb sind, die beste verfügbare Technik installieren müssen, und dass die Betriebsstunden der anderen Anlagen über einen Zeitraum von 10 Jahren auf 17.500 Stunden begrenzt werden. Im Ergebnis wird dabei die gleiche Menge an Strom aus Kohle erzeugt und in Spitzenzeiten steht die gleiche Leistung zur Verfügung, die Luftschadstoff- und Quecksilberemissionen in den 2020er Jahren würden jedoch wesentlich geringer ausfallen. Verglichen mit der Option, von allen Anlagen die Einhaltung der striktesten Grenzwerte zu verlangen, werden bei diesem Ansatz die insgesamt erforderlichen Investitionen in die Emissionskontrolle um mehr als die Hälfte verringert, wobei die gleiche Reduktion der Luftschadstoffemissionen erreicht wird.

Wichtig ist hier, dass die Menge der Kohlestromerzeugung und die Menge der kohlebefeuernten Kapazität zur Deckung von Spitzenlasten in allen Szenarien gleich sind. Das heißt, die Unterschiede zwischen den Szenarien ergeben sich ausschließlich aus den unterschiedlichen Anforderungen und Leistungen bei der Emissionskontrolle.

Die Luftqualität und die gesundheitlichen Folgen der verschiedenen Szenarien wurden mit Hilfe des atmosphärischen Chemietransportmodells für die Region Europa, das im Rahmen des Europäischen Überwachungsprogramms (EMEP) des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) entwickelt wurde, und den WHO-Empfehlungen zur Abschätzung der gesundheitlichen Folgen der Luftverschmutzung in Europa ermittelt, siehe den Bericht „Europe’s Dark Cloud“.

Was sind zurechenbare Todesfälle und andere zurechenbare gesundheitliche Folgen?

Eine Vielzahl wissenschaftlicher Studien zeigt, dass eine langfristige, chronische Belastung durch Luftverschmutzung das Sterberisiko durch verschiedene Krankheiten und das Risiko unterschiedlicher Krankheitsverläufe, wie zum Beispiel Asthmaanfälle, erhöht. Auf Grundlage dieser Studien hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlen, Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen anzuwenden, die die Belastung durch Luftverschmutzung mit einem erhöhten Risiko in Verbindung setzen. Anhand dieser Beziehungen können wir abschätzen, inwieweit die gegenwärtige Gesundheitsbelastung aufgrund verschiedener Ursachen auf die Luftverschmutzung zurückzuführen ist – mit anderen Worten, wie viele Todesfälle oder Asthmaanfälle jährlich vermieden werden könnten, wenn alle Menschen saubere Luft atmen würden. Darüber hinaus können wir durch die Kombination dieser Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen mit atmosphärischen Modellen, die die Ausbreitung, den Abbau und die chemische Umwandlung von Schadstoffen in der Atmosphäre abbilden, vermiedene Todesfälle in alternativen Szenarien abschätzen, wie zum Beispiel durch die Reduzierung oder völlige Vermeidung von Luftschadstoffemissionen aus deutschen Kohlekraftwerken.

Dieser Ansatz ermöglicht die Aussage, dass eine bestimmte Anzahl von Todesfällen oder das Risiko anderer gesundheitlicher Folgen vermieden werden könnten, wenn die Belastung durch Luftverschmutzung reduziert würde. Auch wenn wir nicht genau bestimmen können, wie viele Menschen ausschließlich an den Folgen der Luftverschmutzung gestorben sind – genauso wenig wie wir sagen können, ob der Tod einer Person an Lungenkrebs durch Nichtrauchen hätte vermieden werden können.

Ein häufig verwendeter Begriff für Todesfälle im Zusammenhang mit Luftverschmutzung ist „vorzeitige Todesfälle“. Dieser Begriff stammt aus einer Zeit, in der wir nur die kurzfristigen, akuten Auswirkungen der Luftverschmutzung verstehen konnten, von denen hauptsächlich bereits erkrankte Menschen betroffen waren. Im Falle dieser akuten Auswirkungen kann sich das Leben der betroffenen Person auf Grund eines sprunghaften Anstiegs der Luftschadstoffwerte um einige Tage oder sogar Monate verkürzen. Das derzeitige wissenschaftliche Verständnis der gesundheitlichen Folgen durch Luftverschmutzung geht jedoch davon aus, dass die meisten dieser Auswirkungen eher auf eine chronische, langfristige Belastung als auf kurzfristige Spitzen der Luftverschmutzung zurückzuführen sind. Der durchschnittliche Lebensverlust durch einen der Luftverschmutzung zugeschriebenen Todesfall beträgt in Europa etwa 10 Jahre. Daher könnte der Begriff „vorzeitiger“ Todesfall einen falschen Eindruck erwecken.

Ergebnisse

Bei den von der Regierung vorgeschlagenen Emissionsgrenzen („VO-Szenario“) würden deutsche Kohlekraftwerke zwischen 2022 und 2038 voraussichtlich **26.000 zurechenbare Todesfälle** verursachen. Das Szenario „strikte Grenzwerte“ würde diese Zahl auf **9.200 Todesfälle** senken. Durch die Auflage, dass alle Kraftwerke die beste verfügbare Technik einsetzen müssen („BVT in allen Anlagen“), würde die Zahl weiter auf **5.800 Todesfälle** reduziert.

Nach dem VO-Szenario würden die Kraftwerke in diesem Zeitraum schätzungsweise kumulativ **28.000 Kilogramm Quecksilber** ausstoßen. Dieser Ausstoß könnte bei einem Szenario mit strikten Grenzwerten um zwei Drittel, also auf **8.200 Kilogramm** reduziert werden. Wenn alle Anlagen die besten verfügbaren Techniken installieren müssten, läge die Zahl bei **3.800 Kilogramm**. Die nach dem VO-Szenario zulässigen Quecksilberemissionen würden zu schätzungsweise 1.100 Todesfällen führen und die neurologische Entwicklung von Kindern in einem Umfang von 400.000 IQ-Punkten schädigen.

Die Folgen für die Gesundheit und die Quecksilberemissionen bleiben auch in den strikteren Szenarien erheblich, da sie davon ausgehen, dass die deutschen Kohlekraftwerke noch bis 2038 in Betrieb sein werden. Die kumulativen CO₂-Emissionen übersteigen bei dieser Annahme auch die nach den Zielen des Pariser Abkommens zulässigen Emissionsbudgets. Durch einen beschleunigten Ausstieg könnten die gesundheitlichen Folgen und die kumulierten Luftschadstoff- und Schwermetallemissionen bis 2030 in etwa halbiert werden.

Emissionen pro Zeitraum und Szenario

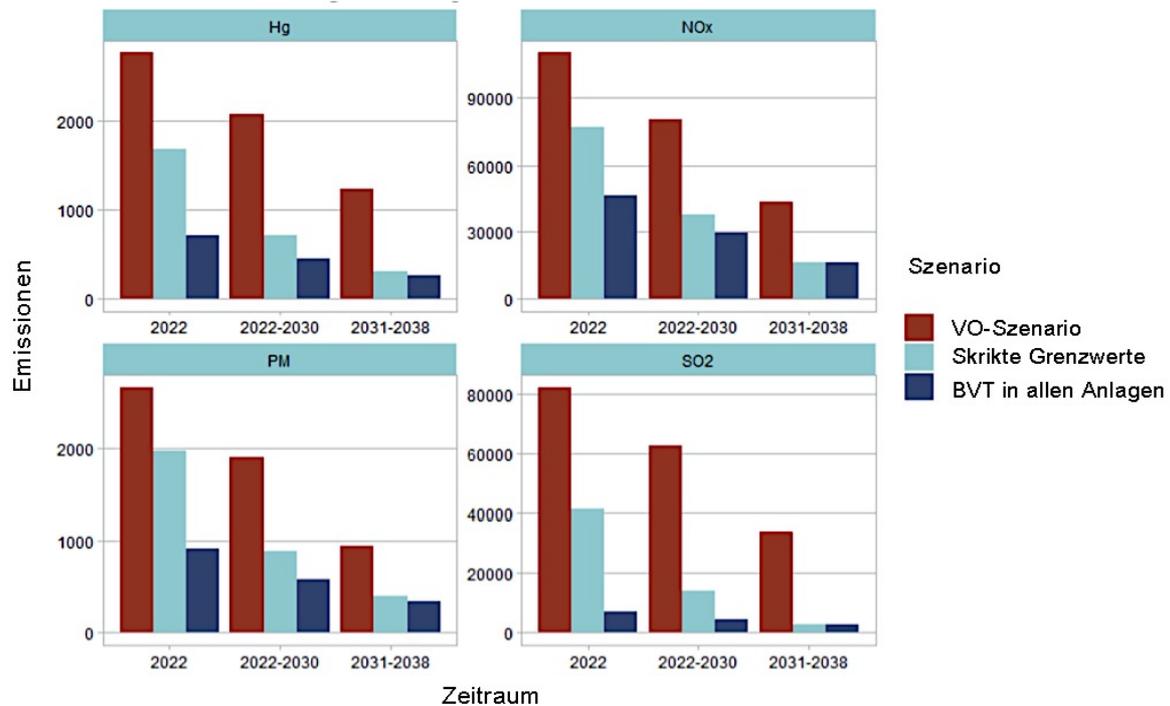


Abbildung 1. Durchschnittliche Emissionen verschiedener Schadstoffe, dargestellt nach Zeitraum und Szenario (Tonnen pro Jahr für andere Schadstoffe; Kilogramm pro Jahr für Quecksilber). PM bezieht sich auf Feinstaub-Emissionen aller Größenordnungen.

Kumulative Folgen für die Gesundheit, die nach dem Szenario 2022-2038 deutschen Kohlekraftwerken zuzurechnen sind

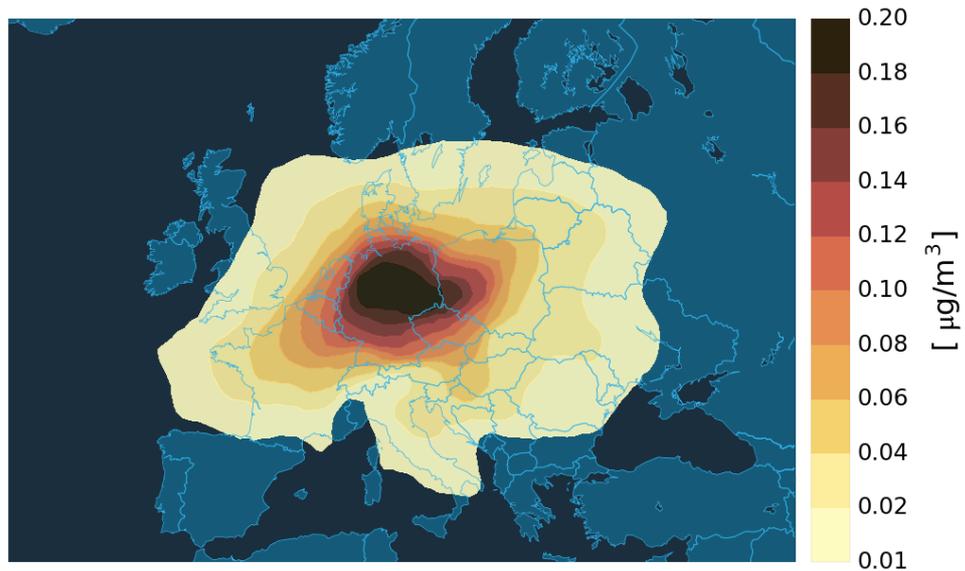
Wirkung	Schadstoff	Einheit	VO	Strikte Grenzwerte	BVT / alle Anlagen
Vorzeitige Todesfälle	PM2,5	Fälle	18200	5850	4330
Vorzeitige Todesfälle	NO2	Fälle	7000	3100	2400
Vorzeitige Todesfälle	Quecksilber	Fälle	1010	350	220
Vorzeitige Todesfälle	Gesamt	Fälle	26200	9210	5820
Asthmasymptome bei Kindern	PM10	Tage mit Symptomen	429000	142000	107000
Bronchitissymptome bei asthmatischen Kindern	NO2	Jahre mit Symptomen	1810	805	631
Bronchitis bei Kindern	PM10	Fälle	36000	11800	8900
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	PM10	neue Fälle	10400	3400	2560
Stationäre Behandlung (Krankenhaus)	NO2	Fälle	4280	1880	1440
Stationäre Behandlung (Krankenhaus)	PM2,5	Fälle	14400	4600	3390
Krankenfehltag am Arbeitsplatz	PM2,5	Millionen Tage	7940000	2580000	1900000
Frühgeburten	PM2,5	Geburten	2700	860	460

Kumulative Gesundheitskosten, die nach dem Szenario 2022-2038 deutschen Kohlekraftwerken zuzurechnen sind (EUR Mio.)

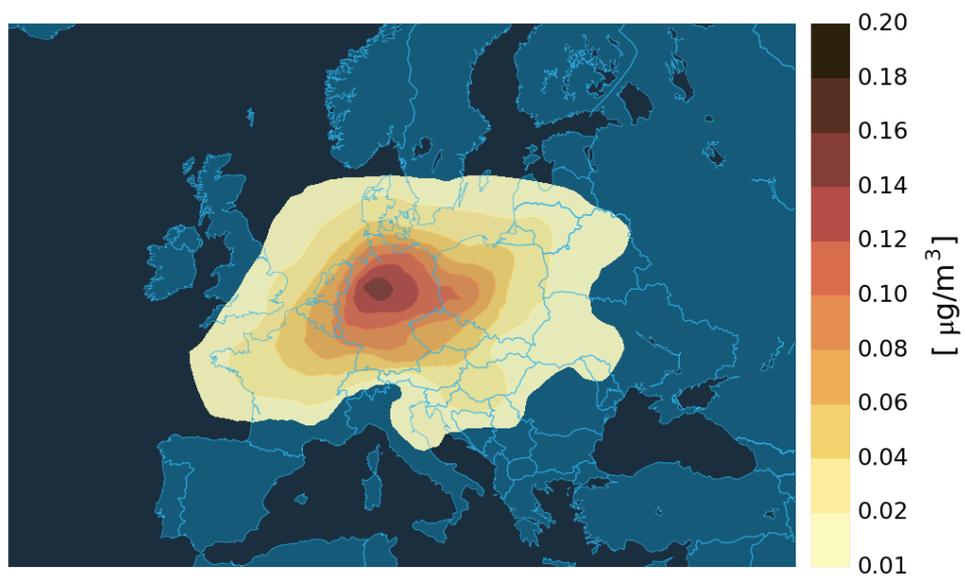
Wirkung	Schadstoff	VO	Strikte Grenzwerte	BVT / alle Anlagen
Vorzeitige Todesfälle	PM2,5	48067	11436	8343
Vorzeitige Todesfälle	NO2	18487	8187	6455
Vorzeitige Todesfälle	Quecksilber	407	140	89
Krankenfehltag am Arbeitsplatz pro Jahr	PM2,5	1238	296	217
Frühgeburten	PM2,5	728	172	125
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	PM10	668	165	118
Asthmasymptome bei Kindern	NO2	1	1	0
Bronchitissymptome bei asthmatischen Kindern	PM10	22	5	4
Bronchitis bei Kindern	PM10	25	6	4
Stationäre Behandlung (Krankenhaus)	NO2	3	1	1
Stationäre Behandlung (Krankenhaus)	PM2,5	10	2	2
Krankentage pro Jahr, Bevölkerung im nicht-erwerbsfähigen Alter	PM2,5	3046	727	393
Neurologische Schäden (Verlust an IQ-Punkten)	Quecksilber	41	14	9
Gesamt		72745	21153	15761

Durchschnittliche PM_{2,5}-Konzentrationen, die im Jahr 2022 Emissionen aus deutschen Kohlekraftwerken zuzurechnen sind

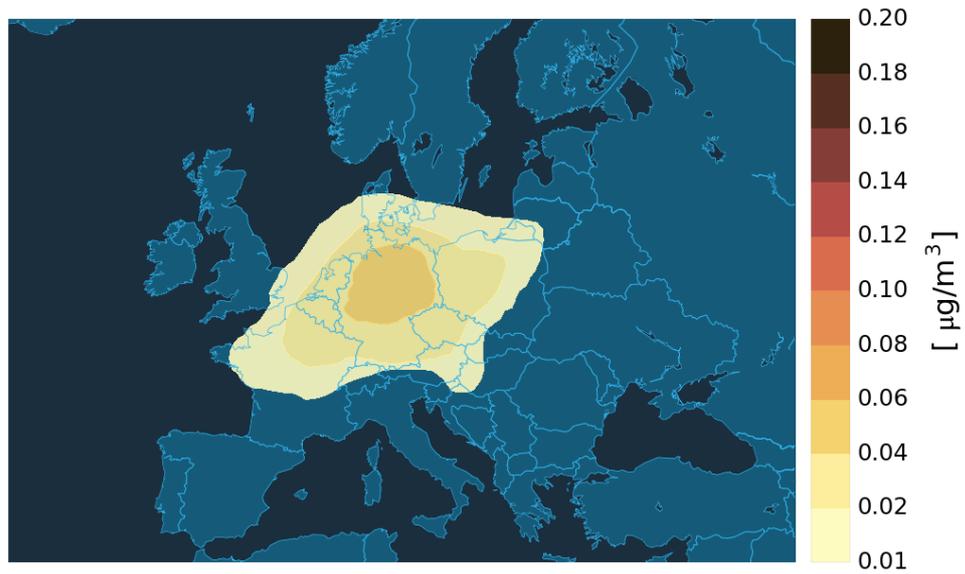
Vorgeschlagene Emissionsgrenzwerte (VO-Szenario)



Beste verfügbare Technik für Kraftwerke, die über 2030 hinaus in Betrieb sind (Szenario „Strikte Grenzwerte“)



Beste verfügbare Technik für alle Kraftwerke (Szenario „BVT in allen Anlagen“)



Methodik

Emissionsprojektionen

Grundlage für die Emissionsberechnungen sind die neuesten von Deutschland an das Europäische Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister (E-PRTR) gemeldeten Emissionsdaten für das Jahr 2017. Die Basisdaten zu Alter des Kraftwerksblocks, Brennstoffart, Status, angekündigtem Stilllegungsdatum und elektrischer Leistung wurden der von Europe Beyond Coal geführten Europäischen Kohledatenbank (EBC 2020) entnommen.

Als Ausgangspunkt der Analyse haben wir in der Datenbank sämtliche Kraftwerksblöcke, die voraussichtlich im Jahr 2022 in Betrieb sein und als Hauptbrennstoff Stein- oder Braunkohle einsetzen werden, identifiziert.

Das E-PRTR führt neben anderen Schadstoffen die jährlichen Gesamtemissionen von CO₂, SO₂, NO_x, PM₁₀ und Quecksilber auf. Um festzustellen, wie sich unterschiedliche jährliche Emissionsgrenzwerte auswirken würden, mussten wir die durchschnittlichen Konzentrationen verschiedener Schadstoffe im Rauchgas einschätzen. Die Schadstoffemissionen p im Jahr i wurden dann wie folgt berechnet:

$$E_{i,p} = E_{2017,p} * FGC_{i,p} / FGC_{2017,p} * E_{i,CO_2} / E_{2017,CO_2},$$

wobei FGC die durchschnittliche jährliche Rauchgaskonzentration bezeichnet. Wir haben die Rauchgaskonzentration im Jahr 2017 ermittelt, indem wir das gesamte Rauchgasnormvolumen basierend auf einem Verhältnis von 3563 Normkubikmetern (Nm³) Rauchgas pro Tonne CO₂-Emissionen berechnet haben (nach EUA 2008). Da trockenes Rauchgas mit normiertem Sauerstoffgehalt eine gleichmäßige Mischung aus CO₂ und Umgebungsluft ergibt, ist dieses Verhältnis nahezu konstant. Da das E-PRTR die Emissionen auf Kraftwerksebene erfasst, haben wir die Emissionsvolumina auf verschiedene Blöcke im Verhältnis zu ihrer elektrischen Leistung verteilt.

Die in den kommenden Jahren zu erwartende Rauchgaskonzentration korrespondiert mit den jährlichen Emissionsgrenzwerten der verschiedenen Szenarien. Das VO-Szenario geht dabei von den Grenzwerten aus, die in einem Verordnungsentwurf und Diskussionsgrundlage des Umweltministeriums vom August 2019 enthalten waren (13. BImSchV, bundesweite maximale Emissionsgrenzwerte für Feuerungsanlagen mit einer thermischen Leistung von über 50 MW). Die SO₂-Emissionsgrenzwerte für Anlagen mit einer

Leistung von 300 MW_{th} oder mehr der Altanlagen-Kategorie 2003, die Braunkohle verfeuern, basieren auf der Bestimmung zu Mindestentschwefelungsraten. Bei Anlagen, die bereits in SO₂-Reduzierungstechnik investiert haben, wurde davon ausgegangen, dass sie diese Bestimmung nicht anwenden. In diesem Fall wurden die SO₂-Emissionsgrenzwerte für Altanlagen zugrunde gelegt (siehe Tabellen 1 und 2).

Die in den kommenden Jahren zu erwartenden CO₂-Emissionen wurden auf Blockebene unter Berücksichtigung der angekündigten Stilllegungen und des vereinbarten Ausstiegszeitplans ermittelt. Die Auslastung der verbleibenden Blöcke wurde so skaliert, dass sie der prognostizierten Stromerzeugung im Rahmen des Kohleausstiegsplans (r2b 2018) entsprach, wobei davon ausgegangen wurde, dass die ältesten Blöcke die Leistung am stärksten reduzieren.

Aufgrund einer hohen Meldeschwelle wurden für fast 30% der Kapazitäten keine Quecksilberemissionen gemeldet. Für diese Kraftwerke berechneten wir das durchschnittliche Rauchgasvolumen aus Anlagen derselben Kategorie, die auf dieser Grundlage Emissionen und geschätzte Quecksilberemissionen im Jahr 2017 gemeldet hatten, und zwar differenziert nach Stein- und Braunkohlekraftwerken und nach Altersgruppen.

Die gemeldeten PM₁₀-Emissionen wurden verwendet, um die Gesamtstaubemissionen (GSE) zu ermitteln, und zwar unter Annahme eines Verhältnisses PM₁₀:GSE von 54/80, und der PM_{2,5}-Emissionen unter Annahme eines Verhältnisses PM_{2,5}:PM₁₀ von 24/54, basierend auf den AP-42 Standard-Emissionsfaktoren der US-Umweltschutzbehörde für elektrostatische Abscheider an kohlebefeuernden Kesseln.

Tabelle 1: Emissionsgrenzwerte gemäß den vorgeschlagenen VO

Leistung, MWth	Alter	Art der Verbrennung	Kohleart	Jährlicher durchschnittlicher Emissionsgrenzwert			
				SO ₂ (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	PM (mg/Nm ³)	Hg (µg/Nm ³)
0-100	Altanlage	FBC	Steinkohle	350	250	18	5
100-300	Altanlage	FBC	Steinkohle	200	180	14	5
300-1000	Altanlage	FBC	Steinkohle	180	175	10	2
1000-	Altanlage	FBC	Steinkohle	180	175	8	2
0-100	Altanlage	PC	Steinkohle	360	250	18	5
100-300	Altanlage	PC	Steinkohle	200	180	14	5
300-1000	Altanlage	PC	Steinkohle	130	150	10	2
1000-	Altanlage	PC	Steinkohle	130	150	8	2
0-100	Altanlage	FBC	Braunkohle	350	250	18	10
100-300	Altanlage	FBC	Braunkohle	200	180	14	10
300-1000	Altanlage	FBC	Braunkohle	180	175	10	5
1000-	Altanlage	FBC	Braunkohle	180	175	8	5
0-100	Altanlage	PC	Braunkohle	360	250	18	10
100-300	Altanlage	PC	Braunkohle	200	180	14	10
300-1000	Altanlage	PC	Braunkohle	130	175	10	5
1000-	Altanlage	PC	Braunkohle	130	175	8	5
0-100	Neu	FBC	Steinkohle	200	150	5	2
100-300	Neu	FBC	Steinkohle	150	100	5	2
1000-	Neu	FBC	Steinkohle	75	85	5	1
0-100	Neu	PC	Steinkohle	200	150	5	2
100-300	Neu	PC	Steinkohle	150	100	5	2
1000-	Neu	PC	Steinkohle	75	85	5	1
0-100	Neu	FBC	Braunkohle	200	150	5	2
100-300	Neu	FBC	Braunkohle	150	100	5	2
1000-	Neu	FBC	Braunkohle	75	85	5	1
0-100	Neu	PC	Braunkohle	200	150	5	2
100-300	Neu	PC	Braunkohle	150	100	5	2
1000-	Neu	PC	Braunkohle	75	85	5	1
0-100	2003- Altanlage	FBC	Braunkohle	350	250	18	10
100-300	2003-	FBC	Braunkohle	200	180	14	10

	Altanlage						
300-1000	2003-Altanlage	FBC	Braunkohle	320	175	10	5
1000-	2003-Altanlage	FBC	Braunkohle	320	175	8	5
0-100	2003-Altanlage	PC	Braunkohle	360	250	18	10
100-300	2003-Altanlage	PC	Braunkohle	200	180	14	10
300-1000	2003-Altanlage	PC	Braunkohle	320	175	10	5
1000-	2003-Altanlage	PC	Braunkohle	320	175	8	5
1000-	Bestehende	PC	Steinkohle	130	100	8	2

Tabelle 2: Geänderte Emissionsgrenzwerte für Großfeuerungsanlagen in den Szenarien „Strikte Grenzwerte“ und „Vollständige BVT“.

Leistung, MWth	Art der Verbrennung	Kohleart	Jährlicher durchschnittlicher Emissionsgrenzwert			
			SO ₂ (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)	PM (mg/Nm ³)	Hg (µg/Nm ³)
300-	FBC	Steinkohle	20	50	2	1
300-	PC	Steinkohle	10	65	2	1
300-	FBC	Braunkohle	20	50	2	1
300-	PC	Braunkohle	10	50	2	1

Atmosphärische Modellierung

Die Luftqualität und die gesundheitlichen Folgen der verschiedenen Szenarien wurden mit Hilfe des atmosphärischen Chemietransportmodells für die Region Europa abgebildet, das im Rahmen des Europäischen Monitoringprogramms Meteorological Synthesizing Centre – West (EMEP MSC-W) des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) entwickelt wurde. Der Modellcode (Open Source Version rv4.33) und die erforderlichen Eingabedatensätze wurden vom EMEP MSC-W und dem Norwegischen Meteorologischen Institut zur Verfügung gestellt. Die Eingaben beinhalten das Baseline-Emissionsinventar für 2015, das die Emissionen aller Quellensektoren und Standorte enthält. Dieses Inventar wurde zunächst modifiziert, indem die Emissionen aus deutschen Kohlekraftwerken im Jahr 2015, die an das E-PRTR gemeldet wurden, abgezogen wurden. Das Modell wurde mit diesem „Zero-Out“-Inventar durchgeführt, um eine Baseline ohne die Emissionen aus Kohlekraftwerken zu erhalten. Anschließend wurden Simulationen durchgeführt, indem die prognostizierten Emissionen aus Kraftwerken für die verschiedenen Szenarien und für verschiedene Zeitpunkte zum „Zero-Out“-Inventar addiert und die prognostizierten Luftschadstoffkonzentrationen mit den „Zero-Out“-Ergebnissen verglichen wurden, um so die Auswirkungen der untersuchten Kraftwerke auf die Luftqualität zu ermitteln.

Die Simulationen wurden unter Verwendung der prognostizierten Emissionen für das Jahr 2022, des Durchschnitts der prognostizierten Emissionen für die Jahre 2022-2030 und für die Jahre 2031-2038 durchgeführt, um so die kumulativen Gesundheitsfolgen im Rahmen verschiedener Szenarien abzuschätzen.

Gesundheitliche Folgen

Die gesundheitlichen Folgen durch die Veränderung der Schadstoffkonzentrationen in den verschiedenen Szenarien wurden unter Verwendung der Empfehlungen der WHO zur Abschätzung der gesundheitlichen Folgen der Luftverschmutzung in Europa (2013) bewertet, siehe den Bericht „Europe’s Dark Cloud“ (Huscher et al 2017).

Die gesundheitlichen Folgen, die sich aus dem Anstieg der PM_{2,5}-Konzentrationen im Vergleich zur Baseline-Simulation ohne Kohlekraftwerksemissionen ergeben, wurden abgeschätzt, indem die sich daraus ergebende Bevölkerungsexposition auf der Grundlage hochauflösender rastergestützter Bevölkerungsdaten für 2015 von CIESIN (2017) bewertet wurde. Anschließend wurden die WHO-Empfehlungen HRAPIE (2013) zur Bewertung der gesundheitlichen Folgen, wie in Huscher et al (2017) umgesetzt, herangezogen, wobei die

Frühgeburten mit Hilfe der von Trasande et al (2016) aufgestellten Konzentrations-Wirkungs-Beziehung quantifiziert wurden. Die Baseline-Mortalität aufgrund verschiedener Ursachen und in verschiedenen Altersgruppen für Deutschland und seine Nachbarländer wurde aus den Ergebnissen der Global Burden Disease-Studie (GBD 2017) und der Baseline-Raten von Frühgeburten nach Chawanpaiboon et al (2019) ermittelt.

Die gesundheitlichen Folgen der Quecksilberemissionen wurden gemäß den gesundheitlichen Auswirkungen pro Kilogramm Emissionen für europäische Kohlekraftwerke berechnet, die von Nedellec&Rabl (2016) ermittelt wurden.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig anzumerken, dass die hier evaluierten Gesundheitsfolgen nicht die Folgen der direkten SO_2 -Exposition einschließen. SO_2 -Emissionen leisten jedoch durch die Bildung von Sulfatpartikeln einen weiteren wesentlichen Beitrag zu den $\text{PM}_{2,5}$ -Gesundheitsauswirkungen.

Tabelle 3: Risikoverhältnisse (RR), die für die Bewertung der gesundheitlichen Folgen angewendet wurden, Änderung der durchschnittlichen jährlichen Schadstoffkonzentration um 10µg/m³.

Wirkung	Schadstoff	RR: mittel	RR: niedrig	RR: hoch
Bronchitis bei Kindern	PM10	1,08	0,98	1,19
Asthmasymptome bei asthmatischen Kindern	PM10	1,028	1,006	1,051
Inzidenz von chronischer Bronchitis bei Erwachsenen	PM10	1,117	1,04	1,189
Langzeitmortalität, alle Ursachen	PM2,5	1,062	1,04	1,083
Krankenhausaufenthalte wegen kardiovaskulärer Probleme	PM2,5	1,0091	1,0017	1,0166
Krankenhausaufenthalte wegen Atemwegsproblemen	PM2,5	1,019	0,9982	1,0402
Tage eingeschränkter Aktivität (Bevölkerung im nicht-erwerbsfähigen Alter)	PM2,5	1,047	1,042	1,053
Verlust an Arbeitstagen	PM2,5	1,046	1,039	1,053
Bronchitissymptome bei asthmatischen Kindern	NO2	1,021	0,99	1,06
Krankenhausaufenthalte wegen Atemwegsproblemen	NO2	1,018	1,0115	1,0245
Langzeitmortalität, alle Ursachen ¹	NO2	1,055	1,031	1,08
Krankenhausaufenthalte wegen Atemwegsproblemen	NO2	1,0015	0,9992	1,0038
Frühgeburten	PM2,5	1.15	1.07	1.16

¹ Um eine mögliche Überschneidung mit den von der WHO (2013) ermittelten Folgen der PM2,5-Mortalität zu vermeiden, werden 2/3 der NO2-Mortalität in die mittleren Schätzungen der gesamten vorzeitigen Todesfälle sowie in das untere Ende der Konfidenzintervalle einbezogen, während die vollständige Mortalität im oberen Ende des Konfidenzintervalls enthalten ist.

Tabelle 4: Faktoren zur Bewertung der gesundheitlichen Folgen und der wirtschaftlichen Kosten von Quecksilberemissionen in der Luft (Nedellec & Rabl 2016).

Ergebnis	Fälle/kg	Bewertung, EUR, Preise 2010	Bewertung, EUR, Preise 2018
Verlust an Lebensjahren	0,56	126.000	141.749
Todesfälle	0,054	NZ	NZ
neurologische Schäden (Verlust an IQ-Punkten)	1,36	16.272	18.306

Wirtschaftliche Kosten

Luftverschmutzung führt zu einer Reihe negativer Auswirkungen auf die Gesundheit: chronische Atemwegserkrankungen, Krankenhausaufenthalte, Frühgeburten und andere gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen zu erhöhten Gesundheitskosten. Zudem sinkt die wirtschaftliche Produktivität aufgrund von Krankenfehltagen und Arbeitsunfähigkeit oder weil Arbeitnehmer/-innen sich um ein krankes Kind oder einen anderen Angehörigen kümmern müssen. Darüber hinaus bedeuten eine verkürzte Lebenserwartung und ein erhöhtes Sterberisiko durch Luftverschmutzung einen Wohlstandsverlust für die Betroffenen.

Die Abschätzung der wirtschaftlichen Kosten der in diesem Bericht prognostizierten gesundheitlichen Auswirkungen folgt der Methodik und Bewertung, die im Bericht der Europäischen Umweltagentur (EUA 2014) „Costs of air pollution from European industrial facilities 2008-2012“ zugrunde gelegt wurde. Frühgeburten wurden auf Grundlage der von Trasande et al (2016) geschätzten Kosten hinzugefügt. Die Kosten wurden unter Berücksichtigung der Inflation (BIP-Deflator) in Deutschland in Preise von 2018 umgerechnet. Für kumulative Gesundheitsfolgen, die im Zeitraum 2022 bis 2038 auftreten, haben wir die Kosten mit 3% pro Jahr abgezogen, wobei wir einen Anstieg des BIP/Kopf und damit der Bewertungen der verschiedenen Gesundheitsfolgen um 2% angenommen haben. Das heißt, der Barwert der gesundheitlichen Folgen sinkt um 1% pro Jahr.

Die verschiedenen gesundheitlichen Folgen der wichtigsten Luftschadstoffe sind in Tabelle 5 und die gesundheitlichen Folgen von Quecksilber in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 5: Bewertung der gesundheitlichen Folgen (nach EUA 2014, ausgenommen Frühgeburten nach Trasande et al 2016).

Wirkung	Schadstoff	Einheit	Bewertung, EUR, Preise 2005	Bewertung, EUR, Preise 2018
Asthma- und Bronchitissymptome bei Kindern	NO ₂	Jahre mit Symptomen	588	758
Asthma- und Bronchitissymptome bei Kindern	PM ₁₀	Tage mit Symptomen	42	54
Bronchitis bei Kindern	PM ₁₀	Fälle	588	758
Chronische Bronchitis bei Erwachsenen	PM ₁₀	neue Fälle	53600	69100
Stationäre Behandlung (Krankenhaus)	NO ₂	Fälle	588	758
Stationäre Behandlung (Krankenhaus)	PM _{2,5}	Fälle	588	758
Verlust an Arbeitstagen	PM _{2,5}	Fälle	130	168
Frühgeburten	PM _{2,5}	Geburten	NA	290000
Vorzeitige Todesfälle	NO ₂	Fälle	2200000	2840000
Vorzeitige Todesfälle	PM _{2,5}	Fälle	2200000	2840000
Krankheitstage (Bevölkerung im nicht-erwerbsfähigen Alter)	PM _{2,5}	Fälle	92	119

Literaturangaben

Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) - Columbia University 2018: Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Population Density Adjusted to Match 2015 Revision UN WPP Country Totals, Revision 11. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <https://doi.org/10.7927/H4F47M65>.

Chawanpaiboon S, Vogel JP, Moller AB, Lumbiganon P, Petzold M, Hogan D, Landoulsi S, Jampathong N, Kongwattanakul K, Laopaiboon M, Lewis C, Rattanakanokchai S, Teng DN, Thinkhamrop J, Watananirun K, Zhang J, Zhou W, Gülmezoglu AM 2019: Global, regional, and national estimates of levels of preterm birth in 2014: a systematic review and modelling analysis. *Lancet Glob Health* 7(1):e37-e46. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30451-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30451-0).

Dadvand P et al. 2013: Maternal Exposure to Particulate Air Pollution and Term Birth Weight: A Multi-Country Evaluation of Effect and Heterogeneity. *Environmental Health Perspectives*. https://ehp.niehs.nih.gov/doi/full/10.1289/ehp.1205575?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%3dpubmed.

Europe Beyond Coal 2020: European Coal Plant Database. <https://beyond-coal.eu/data/>

European Environment Agency (EEA) 2008: Air pollution from electricity-generating large combustion plants. An assessment of the theoretical emission reduction of SO₂ and NO_x through implementation of BAT as set in the BREFs. EEA Technical report Nr. 4/2008.

European Environment Agency (EEA) 2014: Costs of air pollution from European industrial facilities 2008–2012 — an updated assessment. EEA Technical report Nr. 20/2014. <https://www.eea.europa.eu/publications/costs-of-air-pollution-2008-2012>

Jones, Huscher, Myllyvirta, Gierens, Flisowska, Gutmann, Urbaniak and Azau 2016: Europe's Dark Cloud: How coal-burning countries are making their neighbours sick. https://env-health.org/IMG/pdf/dark_cloud-full_report_final.pdf

Global Burden of Disease Collaborative Network. Global Burden of Disease Study 2017 (GBD 2017) Results. Seattle, United States: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2018. <http://ghdx.healthdata.org/gbd-results-tool>.

Huscher, Myllyvirta, Gierens 2017: Modellbasiertes Health Impact Assessment zu grenzüberschreitenden Auswirkungen von Luftschadstoffemissionen europäischer

Kohlekraftwerke. Umweltmedizin - Hygiene - Arbeitsmedizin Band 22, Nr. 2 (2017)
<https://www.ecomed-umweltmedizin.de/archiv/umweltmedizin-hygiene-arbeitsmedizin-band-22-nr-2-2017>

Nedellec V, Rabl A 2016: Costs of Health Damage from Atmospheric Emissions of Toxic Metals: Part 2-Analysis for Mercury and Lead. Risk Analysis 36(11):2096-2104.
<https://dx.doi.org/10.1111/risa.12598>.

r2b 2018: Die Rolle der Kohle bei der Erreichung des nationalen Klimaschutzziels 2030 - Modellgestützte Analyse der Bedeutung des Sektorziels Energiewirtschaft 2030 für die CO₂-Emissionen aus Kohlekraftwerken.

Trasande L, Malecha P, Attina TM 2016: Particulate Matter Exposure and Preterm Birth: Estimates of U.S. Attributable Burden and Economic Costs. Environmental Health Perspectives 124:12. <https://doi.org/10.1289/ehp.1510810>.

World Health Organization (WHO) 2013: Health risks of air pollution in Europe-HRAPIE project.
http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/238956/Health_risks_air_pollution_HRAPIE_project.pdf?ua=1.