

Methodik

Auswirkungen auf Luftqualität und Gesundheit durch gasbefeuerte Stromerzeugung in der EU und im Vereinigten Königreich



Zusammenfassung

Wir haben die gesundheitlichen Auswirkungen der gasbefeuerten Stromerzeugung in der EU und im Vereinigten Königreich anhand der neuesten offiziell gemeldeten Emissionsdaten für den Zeitraum 2017 bis 2020 je nach Land und Anlage bewertet. Wir haben Standard-Emissionsfaktoren für Schadstoffe verwendet, für die es große Lücken in der Berichterstattung gibt (Ammoniak und flüchtige organische Verbindungen). Wir haben dann die Auswirkungen dieser Emissionen auf die Luftqualität in ganz Europa modelliert und dabei die hochauflösende Version des chemischen Transportmodells verwendet, das im Rahmen des Europäischen Überwachungsprogramms des Übereinkommens über weiträumige und

grenzüberschreitende Luftverschmutzung entwickelt wurde. Um die gesundheitlichen Auswirkungen abzuschätzen, haben wir die Empfehlungen der WHO für die gesundheitliche Folgenabschätzung der Luftverschmutzung angewendet, die aktualisiert wurden, um neuere Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen für Todesfälle im Erwachsenenalter im Zusammenhang mit der Stickstoffdioxid-Exposition und für Frühgeburten im Zusammenhang mit der PM_{2,5}-Exposition zu berücksichtigen. Wir stützten uns auf einen Ansatz zur wirtschaftlichen Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen, der von der Europäischen Umweltagentur verwendet wurde, um die damit verbundenen wirtschaftlichen Verluste zu prognostizieren.

Emissionen

Die Emissionsdaten der Gaskraftwerke für den Bericht basieren auf der Industrial Reporting Datenbank (IRD) der EUA.

Wir haben die Luftschadstoffemissionen für alle Kraftwerksblöcke (Kessel oder Turbinen, in der Datenbank als „Anlagenteil“ bezeichnet) zusammengestellt, die mindestens 90% fossiles Gas als Energieeintrag verbrannt haben. Wir berechneten zunächst den Energieeintrag pro Einheit aus den Daten der Großfeuerungsanlage (bezeichnet als „Anlage“) in der IRD. SO₂, NO_x und Staubemissionen werden für alle LCPs gemeldet. Emissionen anderer Arten werden über das E-PRTR-System nach „Anlagen“ gemeldet. Der Wirtschaftszweig, den wir zur Identifizierung von Kraftwerken herangezogen haben, wird für „Anlagen“, nicht aber für „Einrichtungen“ angegeben. Es gibt keine Eins-zu-Eins-Korrespondenz zwischen „Anlagen“ und „Einrichtungen“; wir haben die beiden Datensätze miteinander verglichen, um genaue Übereinstimmungen zu identifizieren. Für die übrigen Anlagen haben wir solche mit einem Begriff bezeichnet, der sich auf die Stromerzeugung im Namen von Kraftwerken bezieht - z. B. „Kraftwerk“, „Elektrownia“, „CTCC“ (Verbrennungsturbine/kombinierter Kreislauf), „Kraft-Wärme-Kopplung“, „IKW“ (Industriekraftwerk), TEC (Termoelektrozentrale) oder „GT“ (Gasturbine).

Für jede Einheit haben wir das neueste Jahr der verfügbaren Daten im Zeitraum 2017 bis 2020 verwendet. Die Einbeziehung von Daten über einen so langen Zeitraum war notwendig, da einige Länder, vor allem Deutschland, seit 2017 keine Daten mehr gemeldet haben. Dies bedeutet, dass einige der einzelnen

modellierten Einheiten wahrscheinlich nach der Meldung der Daten aus dem Betrieb genommen wurden und andere, die erst nach dem letzten gemeldeten Jahr der Daten in Betrieb genommen wurden, fehlen in den Ergebnissen. Auf aggregierter Ebene gab es jedoch keinen klaren Abwärtstrend bei den Emissionen von 2017 bis 2020 in den Ländern, die Daten gemeldet haben, und die gasbefeuerte Stromerzeugung ist in der EU und im Vereinigten Königreich insgesamt in diesem Zeitraum nicht gefallen, sodass die Emissionsinputdaten repräsentativ für die Situation vor dem Gaspreisschock und der Invasion Russlands in der Ukraine sind.

Die meisten Anlagen melden ihre Ammoniak- (NH₃) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) -Emissionen nicht, da die E-PRTR-Meldegrenzwerte für diese Schadstoffe zu hoch angesetzt sind. Verallgemeinernde Emissionsfaktoren (spezifische Emissionen pro Energieeinheit) aus den Anlagen, die Emissionen gemeldet haben, könnten eine Verzerrung verursachen, da Anlagen mit höheren Emissionsfaktoren die Meldegrenze wahrscheinlich überschreiten. Wir haben daher für die fehlenden Emissionen anhand des im IRD ausgewiesenen Energieinputs, des EMEP-Standard-Emissionsfaktors für gasbefeuerte Kraftwerke für VOCs und des US-EPA AP-42-Emissionsfaktors für NH₃ Schätzungen vorgenommen. Da wir keine Daten darüber hatten, welche Anlagen mit Anlagen zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR) für die NO_x-Kontrolle ausgestattet sind, haben wir den Emissionsfaktor für Anlagen mit nicht katalytischer NO_x-Kontrolle (SNCR) konservativ für alle Anlagen verwendet.

Atmosphärische Modellierung

Die Auswirkungen der verschiedenen Szenarien auf die Luftqualität und die Gesundheit wurden mit Hilfe des atmosphärischen Chemietransportmodells für die europäische Region projiziert, das im Rahmen des Europäischen Programms zur Beobachtung der meteorologischen Syntheszentrale - West (EMEP MSC-W) des Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung (CLRTAP) entwickelt wurde. Der Modellcode (Version rv4.36, basierend auf der Version, die in der EMEP-Statusberichterstattung für das Jahr 2020 verwendet wurde) und die erforderlichen Eingabedatensätze wurden von EMEP MSC-W und dem Norwegischen Meteorologischen Institut bereitgestellt. Diese Angaben umfassen das Basis-Emissionsinventar für 2015, das die Emissionen aus allen Quellensektoren und Standorten enthält. Wir verwendeten die „hochauflösende“ Version des Modells mit einer horizontalen Auflösung von 0,1 x 0,1 Grad (ca. 10 km).

Zuerst führten wir das Modell unter Verwendung des Standard-Emissionsinventars durch, um Basisergebnisse

für Luftschadstoffkonzentrationen zu erhalten. Wir modifizierten dann das Emissionsinventar, indem wir die Gasanlagenemissionen von den Standardemissionen des Stromsektors abzogen und das Modell erneut mit diesem „Zero-Out“-Inventar durchführten, um prognostizierte Konzentrationsergebnisse ohne die Gasanlagenemissionen zu erzielen. Der Konzentrationsunterschied zwischen der Basissimulation und der Nullsimulation ist der geschätzte Einfluss von Gaskraftwerken auf die Luftschadstoffkonzentration.

Vor den Simulationen wurde das Standard-Emissionsinventar „aufgefüllt“, um sicherzustellen, dass die Emissionen des Stromsektors in jeder Netzzelle und für jede Art mindestens so groß sind wie die gemeldeten Emissionen der Gaskraftwerke, um zu gewährleisten, dass genügend Emissionen für die Subtraktion vorhanden sind.

Auswirkungen auf die Gesundheit

Die gesundheitlichen Auswirkungen der Änderungen der Schadstoffkonzentrationen wurden bewertet, indem die resultierende Populationsexposition auf der Grundlage der gitterförmigen Populationsdaten für 2020 von CIESIN (2017) bewertet und anschließend die Empfehlungen der WHO zur gesundheitlichen Folgenabschätzung HRAPIE (2013), wie in Huescher et al (2017) umgesetzt, angewendet wurden. Wir haben die Konzentrations-Wirkungs-Funktion für die Mortalität im Zusammenhang mit der langfristigen Exposition gegenüber NO_2 aktualisiert, basierend auf den jüngsten Meta-Analysen verfügbarer epidemiologischer Studien, die durchgeführt wurden, um die Aktualisierung der Leitlinien zur Luftqualität der Weltgesundheitsorganisation durch Huangfu & Atkinson (2020) zu informieren. Außerdem haben wir die Konzentrations-Wirkungs-Funktion für Frühgeburten aus Sapkota et al. (2012) hinzugefügt.

Die Baseline-Mortalität für verschiedene Ursachen und Altersgruppen und verschiedene Länder wurde aus den Ergebnissen der Global Burden of Disease (IHME 2020), der Inzidenz von Frühgeburten aus Chawanpaiboon et al (2019) und der Baseline-Inzidenz anderer Gesundheitsergebnisse aus den gleichen Quellen wie in Huescher et al. (2017) ermittelt.

Es ist wichtig zu beachten, dass die meisten gesundheitlichen Auswirkungen, die den Emissionen von Gaskraftwerken in unseren Ergebnissen zugeschrieben werden mit $\text{PM}_{2,5}$ zusammenhängen, aber der Hauptverursacher dieser Emissionen sind die Emissionen von NO_x , NH_3 und VOCs durch ihre Auswirkungen auf die Bildung von Partikelverschmutzung in der Atmosphäre.

Tabelle 1. Risikoverhältnisse (RRs), die für die Bewertung der Auswirkungen auf die Gesundheit verwendet wurden, für eine Änderung der durchschnittlichen jährlichen Schadstoffkonzentration um 10 µg/m³

Effekt	Schadstoff	RR: Zentral	RR: Niedrig	RR: Hoch	Referenz
Bronchitis bei Kindern, PM ₁₀	PM ₁₀	1,08	0,98	1,19	WHO 2013
Asthmasymptome bei asthmatischen Kindern, PM ₁₀	PM ₁₀	1,028	1,006	1,051	WHO 2013
Inzidenz chronischer Bronchitis bei Erwachsenen, PM ₁₀	PM ₁₀	1,117	1,04	1,189	WHO 2013
Langzeitsterblichkeit, alle Ursachen	PM _{2,5}	1,062	1,04	1,083	WHO 2013
Kardiovaskulär bedingte Krankenhauseinweisungen	PM _{2,5}	1,0090	1,0017	1,0166	WHO 2013
Krankenhauseinweisungen wegen Atemwegserkrankungen	PM _{2,5}	1,019	0,9982	1,0402	WHO 2013
Eingeschränkte Aktivitätstage (gilt für Bevölkerung im nicht erwerbsfähigen Alter)	PM _{2,5}	1,047	1,042	1,053	WHO 2013
Verlorene Arbeitstage	PM _{2,5}	1,046	1,039	1,053	WHO 2013
Bronchitis-Symptome bei asthmatischen Kindern	NO ₂	1,021	0,99	1,06	WHO 2013
Krankenhauseinweisungen wegen Atemwegserkrankungen	NO ₂	1,018	1,0115	1,0245	WHO 2013
Langzeitsterblichkeit, alle Ursachen	NO ₂	1,055	1,031	1,08	Huangfu & Atkinson 2020
Frühgeburten, PM _{2,5}	PM _{2,5}	1,15	1,07	1,16	Sapkota et al. 2012

Wirtschaftliche Kosten

Luftverschmutzung verursacht eine Reihe von negativen gesundheitlichen Auswirkungen: chronische Atemwegserkrankungen, Krankenhausaufenthalte, Frühgeburten und andere gesundheitliche Auswirkungen führen zu erhöhten Gesundheitskosten; die wirtschaftliche Produktivität wird entweder aufgrund von Krankheit und Arbeitsunfähigkeit oder aufgrund eines Mitarbeiters gesenkt, der sich krank melden muss, um ein krankes Kind oder eine andere abhängige Person zu versorgen; und eine verkürzte Lebenserwartung und ein erhöhtes Sterberisiko durch Luftverschmutzung bedeuten einen Wohlfahrtsverlust für die betroffenen Menschen.

Die Grundlage für die Bewertung der wirtschaftlichen Kosten der in diesem Bericht prognostizierten Gesundheitsauswirkungen sind die im Bericht der EUA (2014) „Costs of air pollution from European industrial facilities 2008-2012“ verwendeten Bewertungen.

Die Werte in EWR (2014) sind für die Europäische Union im Jahr 2010 zu Preisen von 2005 angegeben. Die Werte wurden zunächst anhand der Inflationsraten der Europäischen Union in Preise von 2019 umgerechnet, und dann wurden die Bewertungen für unterschiedliche Niveaus des BIP pro Kopf und der Kosten angepasst. Die Grundlage für die Anpassung der einzelnen Kosten ist in Tabelle 2 angegeben. Wir folgen der EUA (2014), indem wir in allen EU-Ländern die gleichen Bewertungen anwenden, anstatt das Sterblichkeitsrisiko

in Mitgliedstaaten mit höherem Einkommen mit einem höheren Wert zu bewerten.

Die Anpassung durch das BIP bezieht sich auf die Wertübertragung auf der Grundlage des Pro-Kopf-BIP zu Marktpreisen unter der Annahme der Elastizität der Einheit. Diese basiert auf dem Ansatz von Viscusi & Masterman (2017) zur Bewertung der Sterblichkeit. Diese Anpassung gilt auch für andere gesundheitliche Auswirkungen, die auf der Grundlage der Zahlungsbereitschaft bewertet werden.

Die Anpassung durch KKP bedeutet, dass die Kosten anhand des allgemeinen Kostenniveaus der verschiedenen Länder skaliert werden, gemessen am Preisniveauverhältnis der KKP-Umrechnung, die für die Berechnung des BIP-KKP verwendet wird. Dies gilt für Kosten, die die Gesundheitskosten widerspiegeln, wie Krankenhausaufenthalte.

Die Anpassung anhand des BIP bedeutet eine Wertübertragung auf der Grundlage des BIP zu Marktpreisen mit Einheitselastizität. Dies gilt für Kosten, die wirtschaftliche Produktivitätsverluste widerspiegeln, wie z. B. verlorene Arbeitstage.

Das Preisniveauverhältnis der KKP-Umrechnung für die Europäische Union wurde als ein BIP-gewichteter Durchschnitt der Verhältnisse für die EU-Mitgliedstaaten berechnet. Alle erforderlichen wirtschaftlichen Daten wurden von der Weltbank-Datenbank (<https://databank.worldbank.org/>) erhoben.

Die Bewertung der unterschiedlichen gesundheitlichen Auswirkungen der wichtigsten Luftschadstoffe ist in Tabelle 9 und die gesundheitlichen Auswirkungen von Quecksilber in Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 2. Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen für EU-Länder (auf der Grundlage des EWR 2014, ausgenommen Frühgeburten auf Trasande et al. 2016)				
Effekt	Einheit	Bewertung, EUR, Preise 2005	Bewertung, EUR, Preise 2019	Anpassungsgrundlage
Postneonatale Sterblichkeit	Fallstudien	3.300.000	4.434.658	GVP
Bronchitis bei Kindern	Anzahl der betroffenen Kinder	588	855	KKP
Asthmasymptome bei asthmatischen Kindern	Tage	42	61	KKP
Inzidenz chronischer Bronchitis bei Erwachsenen	Neue Fallstudien	53.600	72.030	GVP
Mortalität bei Erwachsenen	Fallstudien	2.200.000	2.956.439	GVP
Krankenhausaufenthalte	Fallstudien	2.200	3.201	KKP
Tage mit eingeschränkter Aktivität	Tage	42	56	GVP
Verlorene Arbeitstage	Tage	130	177	GVP
Geringfügige RAD	Tage	42	56	GVP
Bronchitis-Symptome bei asthmatischen Kindern	Anzahl der betroffenen Kinder	588	855	Inflation
Frühgeburten	Fallstudien	242.097	199.633	BIP-Wachstum

Referenzen

- Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) - Columbia University 2018: Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4): Bevölkerungsdichte angepasst an 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)
- Europäische Umweltagentur (EUA) 2014: Kosten der Luftverschmutzung durch europäische Industrieanlagen 2008-2012 - eine aktualisierte Bewertung. Technischer Bericht Nr. 20/2014 des EWR. <https://www.eea.europa.eu/publications/costs-of-air-pollution-2008-2012>
- Huangfu, P., & Atkinson, R. (2020). Langfristige Exposition gegenüber NO₂ und O₃ sowie Gesamtmortalität und Atmungsmortalität: Eine systematische Überprüfung und Metaanalyse. *Environment International*, 144, 105998. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105998>
- Globales kooperatives Netzwerk Globale Krankheitsbelastung. Ergebnisse der Studie Globale Krankheitsbelastung 2019 (GBD 2019). Seattle, USA: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME), 2020. <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>
- Sapkota, A., Chelikowsky, A. P., Nachman, K. E., Cohen, A. J., & Ritz, B. (2012). Exposition gegenüber Feinstaub und ungünstige Geburtsfolgen: Eine umfassende Überprüfung und Meta-Analyse. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 5(4), 369–381. <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0106-3>
- 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>
- Viscusi, W. K., & Masterman, C. J. (2017). Einkommenselastizitäten und Globale Werte eines Statistischen Lebens. *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 8(2), 226–250. <https://doi.org/10.1017/bca.2017.12>
- Weltgesundheitsorganisation (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_proje

