

Ariadne-Hintergrund

Quantifizierung externer Effekte als Steuerbasis für ein nachhaltiges Steuersystem

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

KOPERNIKUS
Ariadne **PROJEKTE**

Die Zukunft unserer Energie

Autorinnen und Autoren



» Dr. Christina Roolfs
Mercator Research Institute on
Global Commons and Climate
Change



» Prof. Dr. Matthias Kalkuhl
Mercator Research Institute on
Global Commons and Climate
Change



» Tobias Bergmann
Mercator Research Institute on
Global Commons and Climate
Change



» Henrika Meyer
Mercator Research Institute on
Global Commons and Climate
Change

Der vorliegende Ariadne-Hintergrund wurde von den oben genannten Autorinnen und Autoren des Ariadne-Konsortiums ausgearbeitet. Er spiegelt nicht zwangsläufig die Meinung des gesamten Ariadne-Konsortiums oder des Fördermittelgebers wider. Die Inhalte der Ariadne-Publikationen werden im Projekt unabhängig vom Bundesministerium für Bildung und Forschung erstellt.

Die Autorinnen und Autoren danken den Projektpartnerinnen und Projektpartnern aus der Kopernikus-Ariadne Arbeitsgruppe Steuerreform für inhaltliche Hinweise im Rahmen der Arbeitsgruppentreffen sowie Maria Bader für redaktionelle Hinweise und Franziska Funke für Literaturhinweise zu externen Kosten des Fleischkonsums.

Herausgeben von

Kopernikus-Projekt Ariadne
Potsdam-Institut für Klimafolgen-
forschung (PIK)
Telegrafenberg A 31
14473 Potsdam

Juni 2021

Abstract

Führen wirtschaftliche Aktivitäten zu Schäden an unbeteiligten Dritten, so werden diese Schäden als externe Kosten bezeichnet. Während es eine wachsende Literatur zur Quantifizierung externer Kosten vor allem im Umwelt- und Gesundheitsbereich gibt, fehlt bisher eine umfassende Zusammenfassung über bedeutende externe Kosten in Deutschland als auch für andere Ländern und Regionen. Dieser Bericht liefert eine erste Synthese zum Ausmaß externer Kosten in den Bereichen Umwelt und Gesundheit für Deutschland, basierend auf wissenschaftlicher Literatur und offiziellen Regierungsdokumenten. Die Gesamtkosten der hier betrachteten externen Effekte belaufen sich auf 455-671 Mrd. EUR und entsprechen damit 13-19% des deutschen Bruttoinlandsprodukts. Eine konsequentere Bepreisung dieser externen Effekte durch Pigou-Steuern könnte einerseits die betrachteten Umwelt- und Gesundheitsschäden verringern und gleichzeitig erhebliche zusätzliche Steuereinnahmen generieren.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Quantifizierung bedeutender externer Kosten im Bereich Umwelt und Gesundheit	3
2.1. Etablierte Studienlage.....	5
2.1.1. <i>Gesundheitsschädlicher Konsum</i>	5
2.1.2. <i>Klimawandel</i>	7
2.1.3. <i>Lokale Luftverschmutzung</i>	10
2.1.4. <i>Verkehr</i>	12
2.2. Vorläufige bzw. sich noch entwickelnde Studienlage zu Kostenschätzungen.....	14
2.2.1. <i>Antibiotikaeinsatz</i>	15
2.2.2. <i>Flächenverbrauch</i>	18
2.2.3. <i>Gewässereutrophierung durch Stickstoff- und Phosphoreintrag</i>	21
2.2.4. <i>Pestizideinsatz</i>	23
2.2.5. <i>Plastikmüll</i>	25
2.3. Gesamtübersicht bedeutender externer Kosten und Durchschnittskosten.....	27
3. Zusammenfassung und Ausblick	30
Literatur	32

1. Einleitung

Zur Ausgestaltung eines nachhaltigen Steuersystems kann die Lenkungswirkung von sogenannten Pigou-Preisen verwendet werden, um damit (mitunter temporäre) Steuerbasen zu erschließen und umwelt- oder gesundheitsschädlichen Aktivitäten zu verringern. Das Grundprinzip der Pigou-Steuer besteht darin, gesellschaftliche Folgekosten – sogenannte externe Kosten – in das Angebots- und Nachfragekalkül von Unternehmen und Konsumenten zu integrieren. Dadurch werden bei der Gewinn- bzw. Nutzenmaximierung in optimaler Weise die gesellschaftlichen Auswirkungen („externe Effekte“) individueller Entscheidungen berücksichtigt.

Die Pigou-Steuer beseitigt damit das Marktversagen, das durch externe Effekte entsteht. Um jedoch die Höhe der Pigou-Steuer zu ermitteln und das Potential dieser Steuerbasen zu bemessen, ist eine quantitative Erfassung der volkswirtschaftlichen externen Kosten umwelt- und gesundheitsschädlicher Aktivitäten nötig.

Dieser Bericht liefert die Details zu der in Kalkuhl et al. (2021) dargestellten Gesamtkostenschätzung bedeutender externer Kosten in den Bereichen Umwelt, Energie und Gesundheit in Deutschland. Diese Bereiche sind eng miteinander verknüpft: Umweltprobleme wie Luftverschmutzung verursachen oft gesundheitliche Schäden oder der Konsum von Fleisch ist mit Klima-, Umwelt-, aber auch mit gesundheitlichen Folgen verbunden. Die hier vorliegenden Schätzungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, stellen jedoch einen ersten Ansatz zur Strukturierung und Quantifizierung externer Kosten dar. Ziel dieser Analyse ist es, wissenschaftliche und politische Handlungsfelder zu identifizieren und letztendlich Potentiale der Bepreisung externer Effekte zur Ausgestaltung eines nachhaltigen Steuersystems auszuloten.

Bei der Auswahl der verschiedenen externen Effekte orientieren wir uns an politisch und gesellschaftlich legitimierten Zielen und Prioritäten, wie sie in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, den Sustainable Development Goals, dem Pariser Klimaabkommen oder den jüngsten EU-Beschlüssen zum European Green Deal formuliert sind. In diesen Beschlüssen lassen sich umweltpolitische und gesundheitspolitische Problemfelder identifizieren, die durch externe Effekte hervorgerufen werden: Emis-

sionen von Treibhausgasen (Klimawandel), Stickstoff- und Phosphoreintrag in die Umwelt, Luftverschmutzung, Pestizideinsatz, Plastikmüll, Flächenverbrauch, erhöhter Konsum von Zucker, Tabak, Alkohol oder Fleisch (Gesundheit und Lebenserwartung). Wir ergänzen diese um Problemfelder, die von der Gesellschaft oder Wissenschaft als relevant betrachtet werden, aber bisher politisch nicht als gesellschaftliche Priorität formuliert sind: Verringerung von Antibiotikaeinsätzen in der Tierhaltung, wie insbesondere durch Verkehr bedingte Nutzung von Infrastruktur, Staus, Unfälle sowie Lärm.

Zur Berechnung der gesellschaftlichen Gesamtkosten verwenden wir aufgrund einer zum Teil sehr begrenzten Studienlage zu externen Kosten in den meisten Fällen die Durchschnittskosten der jeweiligen Externalität (z.B. einer Tonne CO₂ oder einer Tonne Stickstoff). Damit wird ein linearer Zusammenhang zwischen Emission bzw. Aktivität und Schadensumfang als erste Näherung angenommen. Durch diese Vereinfachung entsprechen die Steuereinnahmen einer (idealisierten) Pigou-Steuer den gesamten externen Kosten.¹ Die hier angegebenen Kostenschätzungen oder verwendeten Daten stammen, wann immer möglich, aus von Experten begutachteten Fachpublikationen, offiziellen Regierungsdokumenten oder Veröffentlichungen etablierter internationaler Organisationen.

Die in dieser Studie betrachteten externe Kosten belaufen sich auf einen Umfang von insgesamt 455-671 Mrd. EUR – dies entspricht 13-19% des deutschen Bruttoinlandsproduktes (BIP). Bei der Schätzung der Schäden und der damit verbundenen externen Kosten, gibt es zum Teil große Unsicherheiten. Die Unsicherheit zu den Schäden und Kosten werden in den Studien zum Teil explizit kommuniziert (z.B. bei Treibhausgasemissionen in IPCC (2014)) oder werden implizit erkenntlich durch wenige, partielle oder keine existenten Studien, die Kostenschätzungen aufweisen (z.B. Plastik). Verkehr und Landwirtschaft sind komplexe Themenfelder, die sich in diverse hier benannte Problemfelder einbinden. In den folgend betrachteten Problembereichen werden daher Schäden aus Aktivitäten im Bereich Landwirtschaft und Verkehr mehrfach wiederzufinden sein.

¹ Bei steigenden externen Grenzkosten sind die Steuereinnahmen im Allgemeinen höher als die aggregierten externen Kosten.

2. Quantifizierung bedeutender externer Kosten im Bereich Umwelt und Gesundheit

Im Folgenden beschreiben wir bedeutende externe Kosten aus Problembereichen, die oftmals politisch und gesellschaftlich legitimierte Ziele und Prioritäten haben und in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, den Sustainable Development Goals, dem Pariser Klimaabkommen oder den jüngsten EU-Beschlüssen zum European Green Deal formuliert sind.

Wir geben einen Überblick über ihre Ursache (Prozesse), Auswirkungen und Schäden, Quantifizierung, Durchschnittskosten, Einnahmen als auch die zugrundeliegende Methodik, mit der die externen Kosten ermittelt wurden. Die Quantifizierung externer Kosten erfolgt auf Basis bestehender Studien. Im Abschnitt 2.1 geben wir Kostenschätzungen zu Problembereichen an, die eines oder mehrere der folgenden Charakteristika aufweisen:

- (i) es existieren zu dem Problemfeld mehrere oder viele begutachtete Studien,
- (ii) es sind Studien von oder im Auftrag von Regierungsorganen (z.B. Umweltbundesamt) oder renommierten Institutionen (z.B. Academy of Sciences, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)),
- (iii) die Methodik ist etabliert und wurde mehrfach angewandt.

In Abschnitt 2.2 zeigen wir Kostenschätzungen für Problembereiche auf, die bisher nur wenige Studien zur Kostenschätzung von Schäden aufweisen aber gesellschaftlich, politisch wie wissenschaftliche als relevant eingestuft werden. Mit einem Stern* gekennzeichnet sind nicht-wissenschaftliche Artikel, die auch nicht Gegenstand oder im Auftrag von Regierungsorganen (z.B. Umweltbundesamt) oder großen, etablierten Institutionen (z.B. Academy of Sciences, The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) erstellt wurden. Die Schätzungen aus den mit Stern* gekennzeichneten Studien sind aus diesen Gründen insbesondere kritisch zu beurteilen, da sie keine wissenschaftlichen Standards erfüllen. Sie stellen keine Grundlage für diesen Bericht dar, werden aber in

ausgewählten Fällen erwähnt, um eine erste Näherung zu bekommen.

Die zugrundeliegenden Studien verwenden unterschiedliche Ansätze zur Schätzung der externen Kosten. Zum Beispiel berechnen einige Studien aggregierte Kosten, andere ermitteln Kosten pro emittierte oder verwendete Einheit. Wenn Kosten pro Einheit berechnet werden, dann sind dies zumeist Durchschnittskosten und in selteneren Fällen Grenzkosten. Des Weiteren ermitteln einige Studien Kostensätze für bestimmte Weltregionen, andere spezifizieren die Kosten explizit für Deutschland, wie beispielsweise die Methodenkonvention des Umweltbundesamtes (UBA). Wenn in Studien die aggregierten Kosten für Deutschland nicht angegeben sind, ermitteln wir diese, indem wir die Kosten pro Einheit aus der entsprechenden Studie mit den für Deutschland relevanten Mengen multiplizieren.

Die angegebenen Kosten sind in Euro (EUR) und inflationsbereinigt zum Jahr 2020, wenn nicht explizit anders angegeben. Wenn in den zugrundeliegenden Studien keine Angabe zum Referenzjahr der Währung gemacht wurde, dann nehmen wir an, dass die verwendete Kostenschätzung sich auf das Publikationsjahr bezieht. Die Berechnungen mitsamt Daten und Quellen sind in einem Online-Appendix als Excel-Tabellen unter <http://doi.org/10.5281/zenodo.4730277>, Referenz Roolfs et al. (2021), zum Download bereitgestellt.

2.1. Etablierte Studienlage

In diesem Abschnitt betrachten wir in alphabetischer Sortierung jene Problembereiche, zu denen mehrere oder viele begutachtete Studien oder Studien von deutschen Regierungsorganen existieren oder die Methodik der Studie etabliert und mehrfach angewandt wurde.

2.1.1. Gesundheitsschädlicher Konsum

Der Konsum gesundheitsschädlicher Genuss- und Lebensmittel wirkt sich negativ auf die Gesundheit aus. Er verursacht Krankheiten oder begünstigt die Entstehung von Krankheiten, die einerseits das Individuum trägt, die andererseits über Behandlungskosten, Arbeits- und Steuerausfälle erkrankter Arbeitnehmerinnen und Arbeiter auf weite Teile der Gesellschaft abgewälzt werden.

Im Folgenden betrachten wir die Kosten des gesundheitsschädlichen Konsums von Alkohol, Tabak, Zucker und Fleisch.²

Auswirkung und Schäden. Hieraus resultierende Erkrankungen können zu Produktivitätsausfällen und verringerter Lebenserwartung führen. Die anfallenden Behandlungskosten und Produktivitätsausfälle werden über die Sozialversicherungen und das Steuersystem sozialisiert, so dass externe Kosten durch den individuellen Konsum entstehen.³

Quantifizierung. Bisherige Studien quantifizieren zumeist die Gesundheitskosten, die einen großen Anteil an den externen Kosten ausmachen, vernachlässigen aber sogenannte interne Kosten aufgrund mangelnder Selbstdisziplin, fehlenden Wissens oder Suchtverhaltens.

2 Weitere gesundheitsschädliche Konsumgüter sind beispielsweise Fette oder Salz. Vergleiche hierzu auch Meier et al. (2015).

3 Eine verringerte Lebenserwartung kann zu einer Entlastung bei Renten- und Lebensversicherungen führen (positive Externalität). Fehlendes Wissen, Sucht bzw. Abhängigkeiten sowie mangelnde Selbstdisziplin (zeitinkonsistentes Verhalten) führen zudem zu einem schädlichen und exzessiven Konsum für das Individuum (Internalität). Selbst ohne externe Kosten kann eine Besteuerung von Konsumgütern in diesen Fällen Wohlfahrtsgewinne generieren (O'Donoghue and Rabin, 2006; Gruber and Köszegi, 2008).

Meier et al. (2015) geben die reinen Gesundheitskosten des Zuckerkonsums mit 8,6 Mrd. Euro für Deutschland in 2008 an (entspricht rund 9,9 Mrd. EUR im Jahr 2020 und dementsprechend Durchschnittskosten von 3,45 EUR/kg Zucker). In einer Studie für die USA schätzen Allcott et al. (2019) die Optimalsteuerhöhe für gesüßte Getränke auf 0,41 EUR/Liter, welche interne und externe Kosten beinhaltet. Wendet man Allcott et al. (2019) auf deutsche Verbrauchsdaten an (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2021), belaufen sich die Optimalsteuereinnahmen für gesüßte Getränke auf 3,5-4,1 Mrd. EUR.⁴

Springmann et al. (2018) schätzen die Gesundheitskosten des roten Fleisch- und verarbeiteten Fleischkonsums auf jeweils 0,94 USD/kg und 4,17 USD/kg für einkommensstarke Länder (entspricht circa 0,98 und 4,35 EUR/kg inflationsbereinigt zum Jahr 2020). Basierend auf der Schätzung des o.g. Fleischkonsums von Springmann et al. (2018) belaufen sich die Kosten des roten und verarbeiteten Fleischkonsums damit für Deutschland auf rund 10 Mrd. EUR pro Jahr.⁵

Die Studien von Effertz et al. (2017) und Effertz (2019) schätzen die externen Kosten des Alkohol- und Tabakkonsums auf jeweils 41,37 Mrd. EUR. und 99,12 Mrd. (inflationsbereinigt zu 2020) und dementsprechend Durchschnittskosten von 44,65 EUR/Liter purem Alkohol und 0,85 EUR/Stück (Tabakprodukt). Bei diesen Berechnungen werden jedoch meist die Entlastungen für die Rentenversicherung aufgrund früherer Sterblichkeit ausgeblendet, die unter bestimmten Voraussetzungen die externen Gesundheitskosten aufwiegen können (siehe Sloan et al., 2004; Steidl and Wigger, 2015). Beim Tabakkonsum liegen die internen Kosten aufgrund von Abhängigkeiten allerdings um ein Vielfaches höher als die externen Kosten (Gruber and Köszegi, 2008).

⁴ Bei 3,5 Mrd. EUR nehmen wir eine Preiselastizität von 1,37 an basierend auf Allcott et al. (2019) für US-Daten. Der Wert von 4,1 Mrd. EUR ergibt sich unter der Annahme einer völlig unelastischen Nachfrage.

⁵ Springmann et al. (2018) schätzen den Konsum von rotem und verarbeitetem Fleische für das Jahr 2020. Andere Datenquellen zu Konsummengen haben keine Untergliederung in die oben genannten Kategorien, so dass wir hierfür diese Schätzung statt konkreter Daten verwenden. Weitere Schätzungen zum Fleischkonsum ermittelt Wood (2017). Konsummengen im Jahr 2020 ohne Unterteilung in rotes und verarbeitetes Fleisch sind auf der Website der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) zu finden, (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021). Ein strukturierter Überblick der Externalitäten des Fleischkonsums und der Interaktion mit anderen Problembereichen gibt Funke et al. (2021).

Auf Basis der aufgeführten Studien liegen die externen Kosten des gesundheits-schädlichen Konsums von Alkohol, Tabak, Zucker, Fleisch bei circa 154-160 Mrd. EUR pro Jahr. Mit Entfaltung der Lenkungswirkung ist mit einer Einnahmenabnahme zu rechnen – allerdings kann auch bei hoher Besteuerung davon ausgegangen werden, dass der Konsum (und damit die Einnahmen) nicht zum Erliegen kommen. Abbildung 1 fasst dies zusammen.

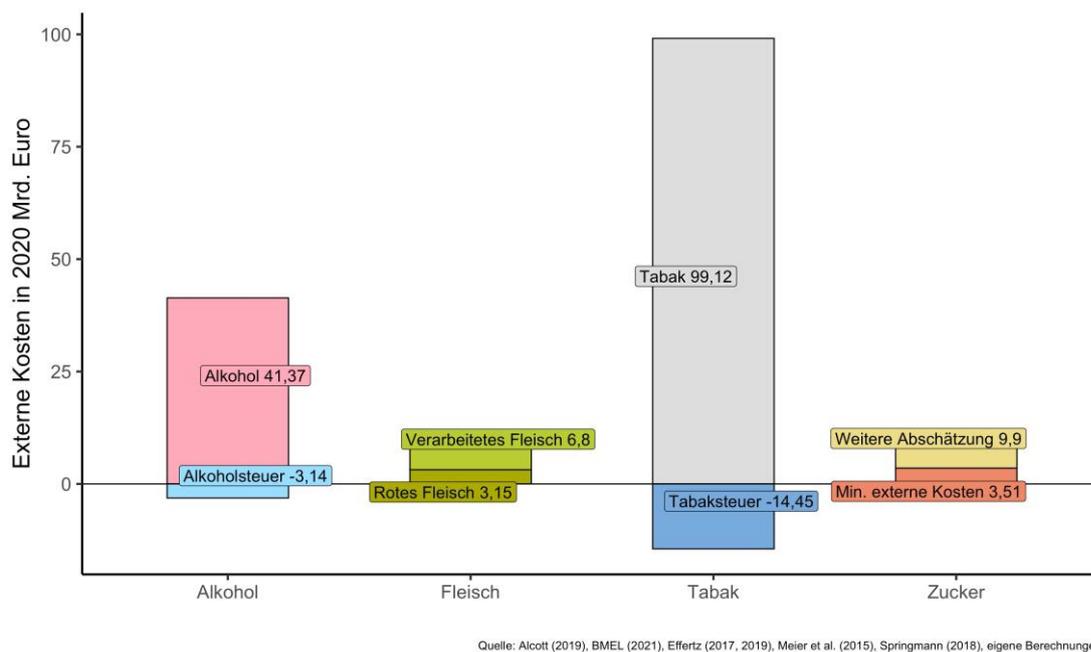


Abbildung 1: Externe Kosten (vor allem externe Gesundheitskosten) pro Jahr durch gesundheits-schädlichen Konsum von Tabak, Alkohol, Zucker und rotem und verarbeitetem Fleisch.

Einnahmen. Die Einnahmen aus Alkohol und Tabaksteuer aus dem Jahr 2019 belaufen sich auf 3,14 und 14,45 Mrd. EUR (in EUR 2019) (Statistisches Bundesamt, 2021) und sind in Abbildung 1 als negative Balken eingezeichnet.

2.1.2. Klimawandel

Treibhausgase entstehen als Nebenprodukt aus der Verbrennung fossiler Energie, Landnutzung, landwirtschaftlichen und industriellen Prozessen, die CO₂, Methan und Lachgas freisetzen. Die Schäden, die Treibhausgase durch ihre Anreicherung in der Atmosphäre (Erwärmung, Klimawandel) anrichten, werden dabei von den Emittenten nicht getragen bzw. berücksichtigt.

Auswirkung und Schäden. Globale Erwärmung um bis zu 5° C bis 2100 relativ zur Temperatur vor der Industrialisierung verursacht einen Meeresspiegelanstieg um bis zu 100 cm bis 2100, Versauerung der Ozeane, Reduktion der landwirtschaftlichen Erträge, Verknappung von Wasser und Land, vermehrtes Artensterben, Ausbreitung von (Infektions-)Krankheiten, extreme Wetterereignisse, Vermögens- und Sachschäden sowie Produktionseinbußen (IPCC, 2014).

Quantifizierung. Eine vollständige Erfassung der Schäden ist schwierig und mit Unsicherheiten behaftet; jüngste Arbeiten basierend auf empirisch messbaren, bereits erfolgten rein wirtschaftlichen Klimaschäden geben als externe Kosten 80-150 Euro/tCO₂ in 2020 an (Kalkuhl and Wenz, 2020). Gemessen an den gesamten deutschen Treibhausgasemissionen im Jahr 2019 betragen diese Schäden bereits 69-129 Mrd. Euro. Auf Basis von Expertenbefragungen ermittelt Pindyck (2019) externe Kosten von 150-300 USD/tCO₂ (circa 130-260 EUR) und Hänsel et al. (2020) 119-208 USD/tCO₂ (circa 100-180 EUR/tCO₂) für das Jahr 2020. Die aktuellste Umfrage von Howard and Sylvan (2021a,b) findet, dass Gesamtkosten bei dem aktuellen Verlauf der Klimaerwärmung bis zum Jahr 2025 bei 1,7 Billionen US-Dollar pro Jahr liegen, folgend bis 2075 bei etwa 30 Billionen Dollar pro Jahr (5% des prognostizierten BIP).

Studien der US-amerikanischen Nationalen Akademie der Wissenschaften (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2017) und des US-amerikanischen Umweltbundesamtes (United States Environmental Protection Agency, 2016) schätzen die Kosten bei einer Diskontrate von 2.5% auf 62 USD/tCO₂ für das Jahr 2007 (68 EUR/tCO₂ in 2020), welches Schäden von 58 Mrd. EUR für deutsche Treibhaus-

gasemissionen in 2019 bedeutet.⁶ Abhängig von Annahmen u.a. zur Diskontrate und regionaler Auflösung kommen o.g. und weitere Studien zum Teil geringere aber auch deutlich höhere externe Kosten. Das Umweltbundesamt ermittelt für Deutschland einen Wert von 195 EUR/t CO₂ und kommt damit auf circa 167 Mrd. EUR Gesamtkosten im Jahr 2019⁷. Umweltbundesamt (2020) empfiehlt außerdem Sensitivitätsanalysen mit 680 EUR/tCO₂.

In Abbildung 2 verwenden wir den Schaden basierend auf (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2017) als untere Grenze und Kalkuhl and Wenz (2020) für die ‚weitere‘ Abschätzung. Die Werte aus National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017) sind als relativ konservativ⁸ und solide anzusehen, da diese Methodik auch in den USA zur Berechnung der ‚Soziale Kosten des Kohlenstoffs‘ (englisch ‚Social Cost of Carbon‘) so angelegt ist, dass es vor Gericht Bestand hat (Sunstein, 2018). In diesen Berechnungen sind neuere Studien, wie z.B. Kalkuhl and Wenz (2020), die ebenfalls eine solide und eher konservative Schätzung darstellt, jedoch noch nicht enthalten. Die Schadensschätzung zum Klimawandel ist weiterhin Gegenstand aktueller Forschung und wird kontinuierlich weiterentwickelt (IPCC, 2014); viele Schadenswirkungen (wie z.B. der Verlust der Artenvielfalt) konnten bisher noch nicht quantifiziert werden. Deshalb geben wir eine potenzielle Unsicherheitsmarge zusätzlich zu den weiteren Abschätzungen an. Abbildung 2 zeigt jeweils die niedrige und hohe Kostenschätzung sowie die Unsicherheit der Schadensbemessung (gestrichelte Box).

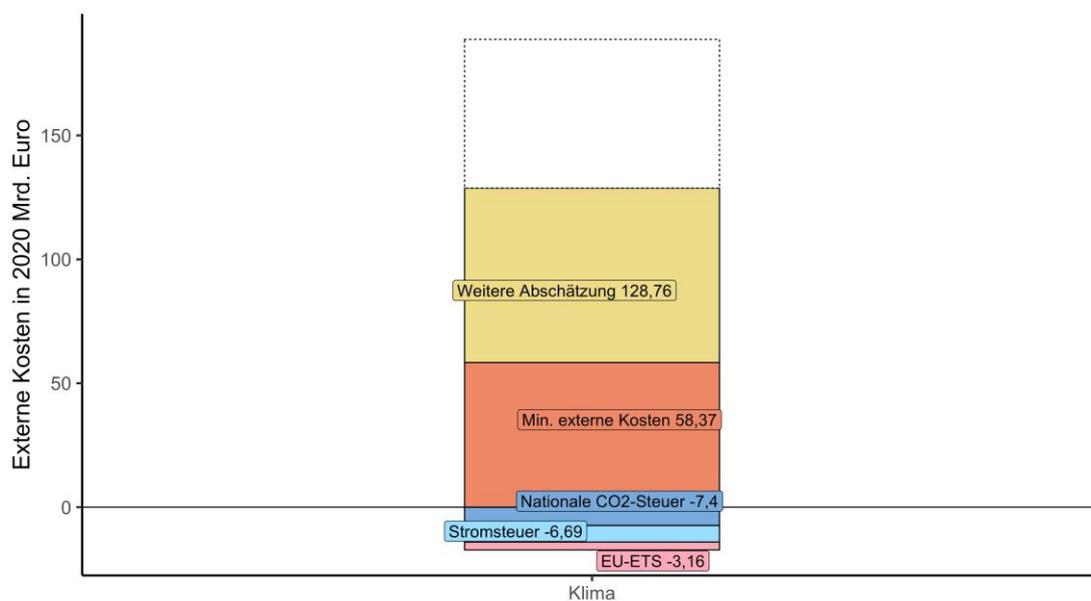
Einnahmen. Die Versteigerung der Emissionen im Europäischen Emissionshandel (EU-ETS) hat im Jahr 2019 insgesamt 3,16 Mrd. Euro Erlöst (Deutsche Emissionshandelsstelle, 2019). Die Einnahmen aus dem Nationalen Emissionshandel werden für das Jahr 2021 auf etwa 7,4 Mrd. Euro geschätzt (Bundestag, 2020b). Beide Einnahmen werden in einem Sonderfonds verwaltet und stehen nicht dem allgemeinen Haushalt zur Verfügung. Die Einnahmen aus der Stromsteuer betragen im Jahr 2019 6,69 Mrd.

6 Die Berechnung der externen Kosten ist sehr sensitiv gegenüber der Wahl der Diskontrate, weil Klimaschäden größtenteils in der fernen Zukunft entstehen und deshalb auf ihren Gegenwartswert abdiskontiert werden müssen.

7 Wir verwenden den CO₂-Ausstoß des Jahres 2019, um eine Verzerrung der Schätzung durch die Corona-Pandemie zu verhindern.

8 Einflussfaktoren wie nicht-marktbezogene Schäden sind noch nicht berücksichtigt.

Euro und werden hier ebenfalls den externen Kosten des Klimawandels gegenübergestellt. Mit einer höheren Bepreisung würden die Einnahmen zuerst zunehmen. Mit Entfaltung der Lenkungswirkung und danach Erreichen der Klimaneutralität werden die Einnahmen mittelfristig abnehmen und langfristig verschwinden. Die aktuellen Einnahmen sind in Abbildung 2 als negative Balken dargestellt.



Quelle: DEHST (2019), Kalkuhl und Wenz (2020), National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2017), eigene Berechnungen

Abbildung 2: Externe Kosten des Klimawandels pro Jahr.

2.1.3. Lokale Luftverschmutzung

Energieerzeugung, industrielle und landwirtschaftliche Produktion wie auch Verkehr emittieren Feinstaub oder dessen Vorläufersubstanzen; Stickoxide und flüchtige organische Verbindungen verursachen bodennahes Ozon.

Auswirkung und Schäden. Luftverschmutzung verursacht Krankheiten und führt zu vorzeitigen Todesfällen und zu Produktivitätsverlusten und Kosten für das Gesundheitssystem. Dabei sind Feinstaub und (bodennahes) Ozon die für die Gesundheit ge-

fährlichsten Arten der Luftverschmutzung. Ammoniak aus der Landwirtschaft lagert sich in Ökosystemen ab und führt zu unkontrollierbaren Eutrophierungseffekten, sowie zur Versauerung der Böden. Darüber hinaus kann Ammoniak auch direkt Ökosysteme und Pflanzen schädigen, da es sich toxisch auf Blattorgane auswirkt (vgl. Umweltbundesamt, 2015).

Quantifizierung. Die rein wirtschaftlichen Kosten (Produktivitätsverluste) von Feinstaub betragen jüngsten empirischen Untersuchungen zufolge mehrere Prozentpunkte der Wirtschaftsleistung (Dechezleprêtre et al., 2019). Die externen Kosten der Luftverschmutzung ohne Verkehr beliefen sich 2012 in Deutschland auf rund 53 Mrd. EUR (European Environment Agency., 2014). Die größten Kostenblöcke verursachen Ammoniak-Emissionen in der Landwirtschaft mit 21,46 Mrd. EUR und Luftverschmutzung durch Verkehr mit 12,42 Mrd. EUR (Umweltbundesamt, 2020).

Die EU-Kommission findet in ihrer Studie zu den externen Kosten des Verkehrs noch höhere Umweltkosten in Höhe von 15,55 Mrd. EUR durch Luftverschmutzung im Verkehr (Europäische Kommission, 2019a).

Abbildung 3 fasst diese Kosten lokaler Luftverschmutzung zusammen. Dort zeigen wir die Schätzungen für den Verkehr aus der Methodenkonvention des UBA (Umweltbundesamt, 2020), die unter der Schätzung der Europäische Kommission (2019a) liegen (circa 3 Mrd. EUR geringer). Wir geben die entsprechenden Durchschnittskosten in EUR/Kg in Tabelle 1 an.

Einnahmen. Derzeit keine. Wenn eine Bepreisung eingeführt wird, dann ist mit der Entfaltung der Lenkungswirkung tendenziell mit abnehmenden Einnahmen zu rechnen.

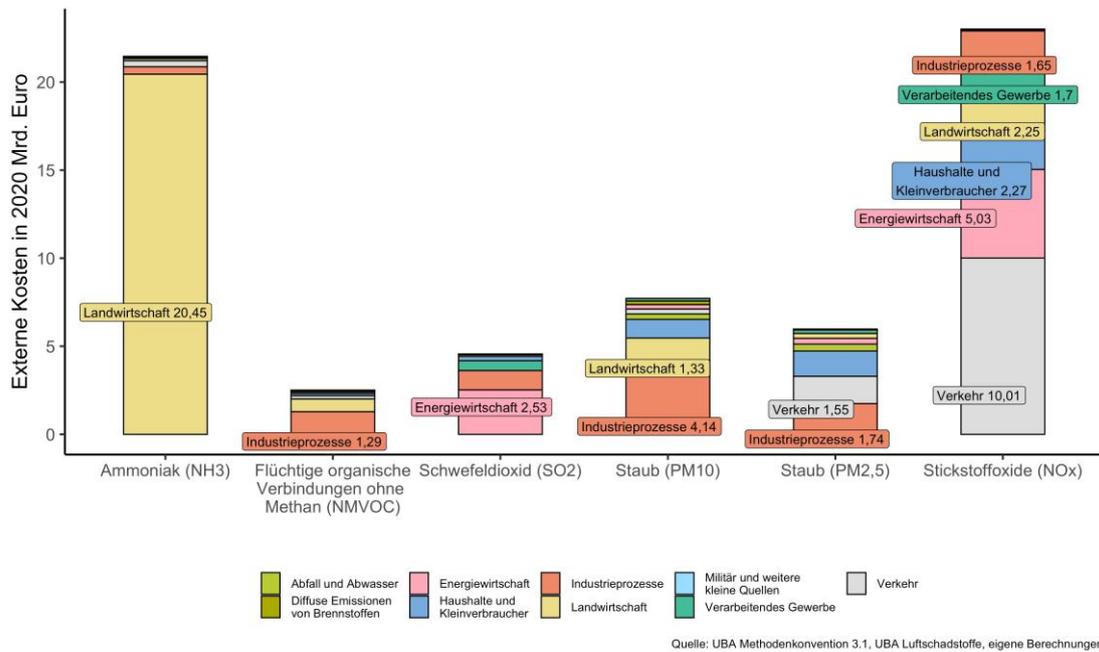


Abbildung 3: Externe Kosten lokaler Luftverschmutzung pro Jahr.

2.1.4. Verkehr

Verkehr benötigt Fläche, Infrastruktur und verursacht umwelt- und gesundheits-schädliche Emissionen und sorgt für Arbeitsausfälle oder Produktivitätsverluste durch Unfälle und Staus.

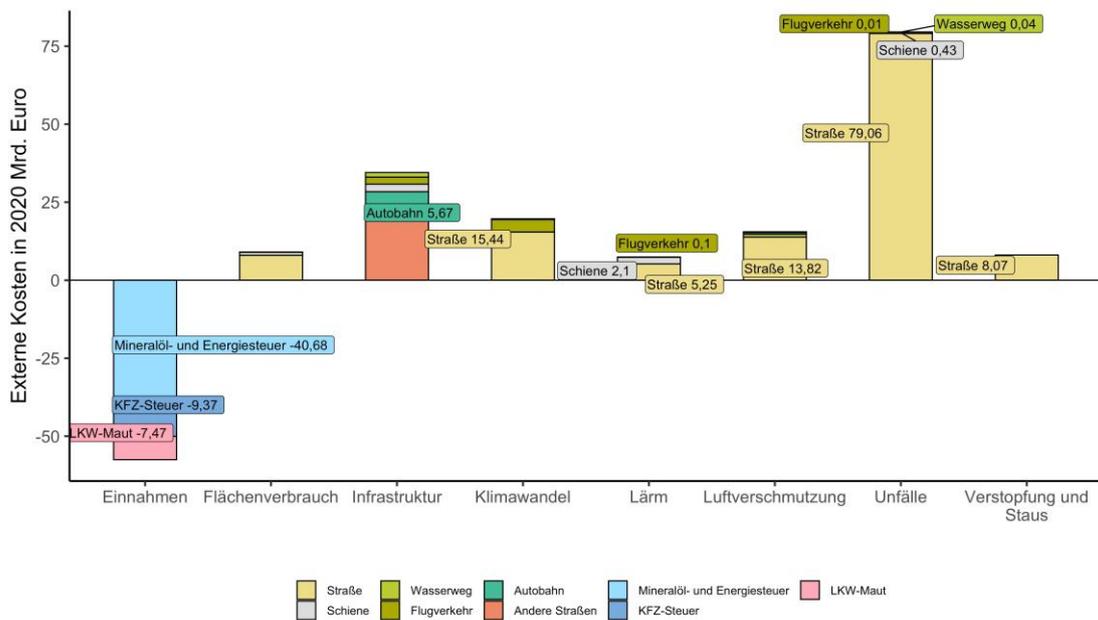
Auswirkungen und Schäden. Staus verursachen Zeitkosten und Produktivitätsverluste; Verkehrslärm verursacht Kosten für das Gesundheitssystem und Produktivitätsverluste; Unfälle verursachen menschliches Leid, medizinische Kosten, Behandlungskosten, Arbeitsausfälle, Staus und Verwaltungskosten. Diese Kosten sind nur teilweise von Versicherungen abgedeckt. Die Nutzung von Infrastruktur führt zu höheren Wartungs- und Instandhaltungskosten. Werden Verkehrsteilnehmer nicht angemessen an den Kosten beteiligt, kommt es zu Fehlanreizen bei der Wahl der Verkehrsmittel und der Wahl des Wohn- bzw. Arbeitsortes, also der Nachfrage nach Infrastruktur.

Quantifizierung. Die Kosten des Straßenverkehrs werden von der europäischen Kommission in ihrem Handbuch zu externen Kosten des Transports ermittelt (Europäische Kommission, 2019a). 5 Mrd. EUR werden durch Lärm im Straßenverkehr verursacht, rund 2 Mrd. EUR durch Lärm im Zug-, Wasser- und Luftverkehr. Der größte Kostenblock sind Unfälle im Straßenverkehr. Die externen Kosten – also nicht von Versicherungen abgedeckten Kosten – von Unfällen werden mit rund 79 Mrd. EUR angegeben. Die Kosten für Stau und Überlastung von Straßen belaufen sich auf 8 Mrd. EUR und entstehen ausschließlich im Straßenverkehr Europäische Kommission (2019b) (vgl. auch INRIX (2016), die ähnliche Kosten in Höhe von 5 Mrd. EUR findet). Wir geben die entsprechenden Durchschnittskosten in EUR-Cent pro Personenkilometer in Tabelle 1 an. Die Wohlfahrtsverluste aus der suboptimalen Nachfrage nach Infrastruktur und den damit verbundenen Siedlungsstrukturen und Verkehrsströmen sind bisher nicht untersucht und quantifiziert worden. Die Kosten der Bereitstellung der Verkehrsinfrastruktur bestehend aus Investition und Instandhaltung in Deutschland belaufen sich nach Europäische Kommission (2019b) auf 28 Mrd. Euro (Straße) und 6 Mrd. Euro (andere Verkehrswege).

Die Kostenblöcke sind in Abbildung 4 dargestellt und nach Verkehrsweg untergliedert. Dabei sind die hier angegebenen Kostenblöcke zu Luftverschmutzung (12,42-15,55 Mrd. EUR), Klimakosten (19,72 Mrd. EUR) und Flächenverbrauch (9,02 Mrd. EUR) zudem auch den Abschnitten 2.1.3, 2.1.2 und 2.2.2 zuzuordnen.⁹

Einnahmen. Die Energiesteuer, die größtenteils auf Mineralölerzeugnisse erhoben wird, generierte im Jahr 2019 Einnahmen in Höhe von circa 41 Mrd. EUR; die KFZ- Steuer Einnahmen in Höhe von circa 9 Mrd. EUR. Die LKW-Maut generierte in 2020 circa 7 Mrd. Euro/Jahr (Wegekostenanteil), vgl. Europäische Kommission (2019a).

⁹ Während wir in den einzelnen Abschnitten diese doppelte Zuordnung zulassen, wird sie in der Berechnung und Übersicht der Gesamtkosten aller Bereiche, die wir ganz am Ende in Abb. 10 zeigen werden, herausgerechnet.



Quelle: European Commission (2019), eigene Berechnungen

Abbildung 4: Externe Kosten des Verkehrs pro Jahr.

Mit der Ausweitung auf PKW und kleinere Nutzfahrzeuge könnten weitere 9 Mrd. Euro/Jahr generiert werden (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018). Die langfristigen Einnahmen dürften aufgrund des steigenden Verkehrsaufkommens ebenfalls steigen. Jedoch könnte technischer Fortschritt zu Reduktion von Lärm, Staus und Unfällen führen.

2.2. Vorläufige bzw. sich noch entwickelnde Studienlage zu Kostenschätzungen

In diesem Abschnitt betrachten wir in alphabetischer Sortierung Problembereiche, die Gegenstand aktueller Forschung sind, aber zu denen es relativ wenige oder nur partielle, bis keine Kostenschätzungen gibt.

2.2.1. Antibiotikaeinsatz

Antibiotika werden nicht nur in der Humanmedizin, sondern auch in der Landwirtschaft von der Veterinärmedizin eingesetzt und wirken dabei nicht nur bei der Infektionsbehandlung sondern auch als Wachstumsbeschleuniger. Die explizite Verwendung als alleiniger Wachstumsbeschleuniger ist in Deutschland verboten, jedoch ist es schwer, den konkreten Einsatz zwischen Infektionsbehandlung und Nutzen der Wachstumsbeschleunigung klar zu trennen (Bundesministerium für Gesundheit, 2019).

Jegliche Verwendung von Antibiotika, ob in der Tiermast, als auch in der Human- und Veterinärmedizin, trägt zur Entwicklung von Antibiotikaresistenzen bei, die über die Gesundheits- und Behandlungskosten im Sozialstaat auf die Gesellschaft abgewälzt wird (negative Externalität). Umso höher der Verbrauch, umso höher das Risiko von entstehenden Resistenzen (O'Neill, 2015a,b; Goossens et al., 2005). 75-90% der von Nutztieren eingenommenen Antibiotika werden ausgeschieden und gelangen so in Abwassersysteme, Böden und andere Wasserquellen (O'Neill, 2015a).

Des Weiteren wird die Gülle vieler Nutztiere als Dünger verwendet und gelangt so direkt auf landwirtschaftliche Böden und Felder (O'Neill, 2015a). Über den direkten Kontakt von Tier zu Tier und über Ausscheidungen auf den Weiden und im Stall ist somit eine Übertragung antibiotikaresistenter Bakterien möglich. Die Reduktion von Antibiotikaaufnahme in der Viehhaltung reduziert Antibiotikaresistenzen in Nutztieren (Scott et al., 2018). Der Transfer von Tier zu Mensch ist ebenfalls über direkten Kontakt, Konsum von nicht pasteurisierten oder ungekochten tierischen Lebensmitteln oder durch Ausbreitung der Bakterien in die Umwelt möglich (Rushton et al., 2014).

O'Neill (2015a) werten die gegenwärtige Literatur zu Antibiotika in der Landwirtschaft aus und finden, dass 72% aller wissenschaftlichen Papiere eine Verbindung von Antibiotikaaufnahme in der Landwirtschaft und antibiotikaresistenten Keimen in Menschen nachweisen konnten. Nur 5% der Studien sahen keinen Einfluss (O'Neill, 2015a).

Dennoch besteht in diesem Bereich weiterer Forschungsbedarf, um Übertragungsrisiken von dem Einsatz in der Landwirtschaft auf andere Bereiche der Gesellschaft besser

quantifizieren zu können.

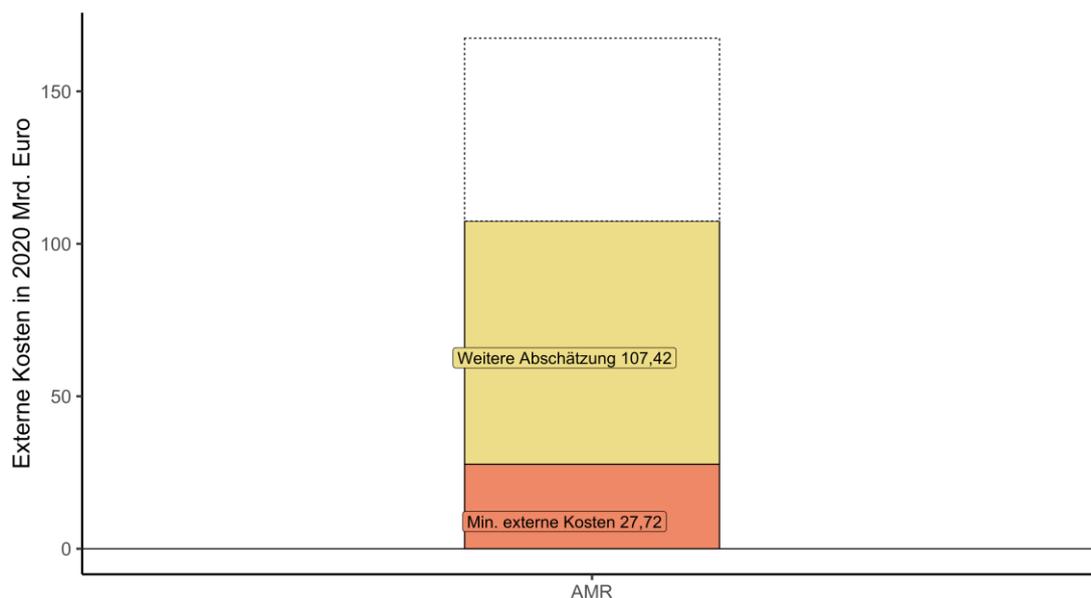
In den USA werden über 70% der für Menschen als medizinisch wichtig eingestuften Antibiotika für die Verwendung an Tieren in der Landwirtschaft verwendet (O'Neill, 2016, S.24). Viehhaltung auf engstem Raum führt dann zu einem erhöhten Risiko, dass antibiotikaresistente Bakterien sich ausbreiten und auf Menschen überspringen.

Auswirkung und Schäden. Antibiotikaresistenzen führen dazu, dass normalerweise unkomplizierte Infektionen bei Menschen mit einer höheren Wahrscheinlichkeit zu chronischen Krankheiten und allgemein längeren Krankenhausaufenthalten führen, stärkere Antibiotika mit größeren Nebenwirkungen eingesetzt werden müssen oder die Infektion tödlich endet. Viele heutzutage normale medizinische Eingriffe, wie Kaiserschnitte, Prothesen-Operationen oder Organtransplantationen führen sehr häufig zu bakteriellen Infektionen. Heute harmlose Eingriffe werden durch die Zunahme von Antibiotikaresistenzen risikoreicher, schmerzhafter und enden häufiger tödlich (Roope et al., 2019).

Quantifizierung. Bis dato existieren nach unserem besten Wissen keine Studien, die ausschließlich die sozialen Kosten des Antibiotikaeinsatzes in der Landwirtschaft schätzen. Für die Quantifizierung verwenden wir daher eine Studie der Weltbank (Jonas et al., 2017), welche die jährlichen weltweiten Kosten durch Reduktion des Arbeitsangebots mit 1,1% bis 3,8% des globalen Bruttoinlandsprodukt (BIP) durch Antibiotikaresistenzen beziffert. Für Länder mit hohem Einkommen (z.B. Deutschland) schätzt die Weltbank jährliche Kosten in Höhe von 0,8% - 3,1% des BIP. Für Deutschland im Jahr 2019 wären das soziale Kosten in Höhe von 27,72-107,42 Mrd. Euro, dargestellt in Abbildung 5. Die entsprechenden Durchschnittskosten belaufen sich basierend auf diesen Kostenschätzungen auf 20.688 bis 80.166 EUR/kg, vgl. Tabelle 1.

Die von Jonas et al. (2017) ermittelten Kosten basieren auf einem dynamischen, allgemeinen Gleichgewichtsmodell mit neoklassischen Wachstumseigenschaften für mehrere Länder und Sektoren. Die Kostensituationen sind modelliert als Reduktion des Arbeitsangebots und somit als entgangene Arbeitslöhne. Diese indirekten Kosten

umfassen den Verlust im BIP durch frühzeitigen Tod und gesunkene Arbeitsproduktivität, als auch eine gestiegene Todesrate in der Nutztierwirtschaft, die zu geringerem Angebot von tierischen Nahrungsmitteln und somit zu höheren Preisen führt. Direkte Kosten umfassen aufgewendete Ressourcen, um Krankheiten zu behandeln und Kosten für Krankenhausaufenthalte und Medikamente. Die Gesundheit und das Wohlbefinden der Patienten sind nicht eingepreist, ebenso wenig wie eventuelle Schmerzen, wenn auf minderwertige Behandlungsmethoden zurückgegriffen werden muss. Außerdem legen empirische Studien nahe, dass Menschen ihr Leben höher bewerten als die Summe ihrer entgangenen Löhne. Die geschätzten sozialen Kosten können daher noch höher sein als hier angegeben (Jonas et al., 2017, S. 16 - 17). Eine Studie im Auftrag der Regierung des Vereinigten Königreichs schätzt, dass jährlich 10 Millionen Menschen aufgrund von Antibiotikaresistenzen sterben könnten und beziffern die kumulierten Kosten bis zum Jahr 2050 mit 84 Billionen Euro (100 Billionen US-Dollar) (O’Neill, 2016).¹⁰



Quelle: Jonas et al. (2017), Statistisches Bundesamt (2021), eigene Berechnungen

Abbildung 5: Externe Kosten des Antibiotikaeinsatzes als Auslöser für Antibiotikaresistenzen (AMR) in Deutschland pro Jahr. Der gestrichelte Balken zeigt die hohe Unsicherheit der Kostenschätzung an, da es bis dato keine, bis wenigen Studien gibt.

¹⁰ Unklar ist, ob diese Studie auch die Kosten durch die Reduktion von Arbeitsangebot berechnet.

Zum derzeitigen Forschungsstand sind die sozialen Kosten aus dem Antibiotikaeinsatz in der Landwirtschaft und der Humanmedizin nicht separat beziffert worden.

In Deutschland wurden in der Landwirtschaft 670t Antibiotika in 2019 an Nutztiere verabreicht (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit and PEG, 2016). Dies entspricht in etwa der gleichen Menge wie in der Humanmedizin (Köper et al., 2020). Eine Aufgliederung der Kosten in gleiche Teile für Mensch und Tier anhand der reinen Menge verschriebener Antibiotika ist nicht möglich. Die Effekte sind nicht linear skalierbar, da die Übertragung von resistenten Bakterien von Tier zu Mensch anders abläuft als von Mensch zu Mensch. Außerdem ist die Art des von Resistenzen betroffene Antibiotikum und die Hartnäckigkeit der Resistenz entscheidend. Um eine bessere Quantifizierung vornehmen zu können, ist weitere Forschung mit Hinblick auf die Übertragungskanäle als auch die Entwicklung von Resistenzen erforderlich (Roope et al., 2019).

Einnahmen. Derzeit keine. Mit Einführung einer Preislenkung in der Tiermast zusätzliche Einnahmen, die mit der Entfaltung der Lenkungswirkung mittelfristig voraussichtlich abnehmen würden.

2.2.2. Flächenverbrauch

Wirtschaftliche Aktivitäten und menschliche Lebensräume bedürfen Infrastruktur. Die Infrastruktur wird auf bereits wirtschaftlich genutzten oder ungenutzten Flächen errichtet.

Auswirkung und Schäden. Lebensräume von Tieren und Pflanzen werden verringert oder fragmentiert. Durch die Flächenversiegelung kann es einerseits zu negativen Auswirkungen auf den Boden kommen, andererseits ergeben sich Beeinträchtigungen des Wasserhaushaltes durch weniger Versickerung und den damit verbundenen Auswirkungen auf die Wasserversorgung des versiegelten Bodens und Anstauung/ Umlenkung

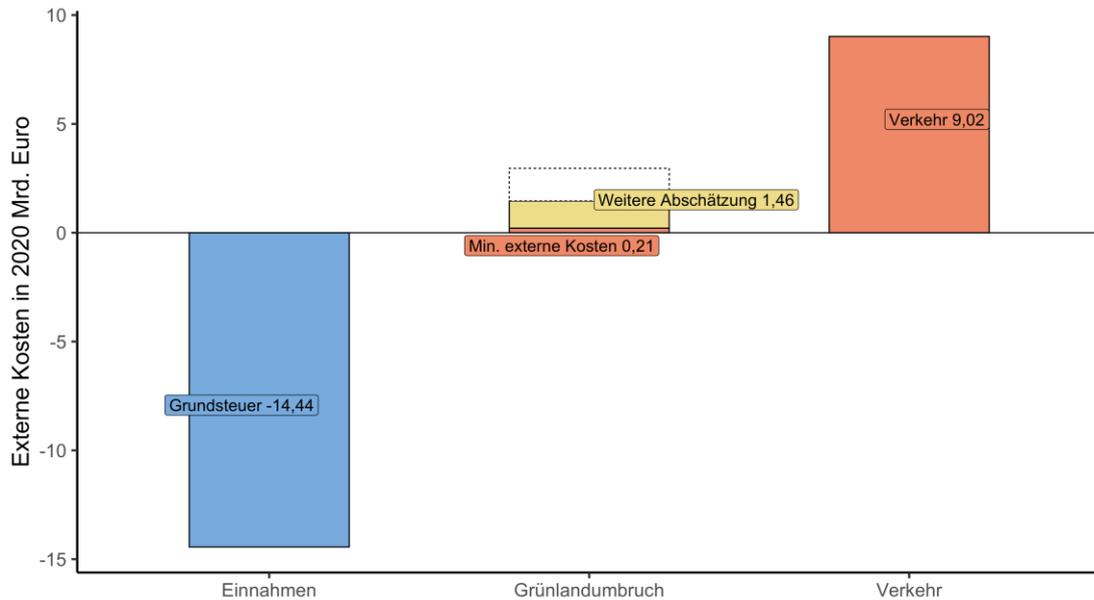
von Wasserabflüssen. Damit verbunden ist auch ein erhöhtes Risiko von Bodenerosion.¹¹ Grünland reguliert das lokale Klima, leistet Erosions- und Gewässerschutz, trägt zur Erhaltung der Biodiversität bei und seine Zerstörung verringert diese Dienstleistungen. Natürliche oder naturnahe Flächen dienen als Erholungsgebiet und damit in vielen Fällen auch der Gesundheit des Menschen.

Quantifizierung. Die Quantifizierung externer Kosten des Flächenverbrauchs ist komplex und wissenschaftliche Studien, die eine umfassende Quantifizierung des Flächenverbrauchs vornehmen, fehlen bis dato. Im Folgenden verwenden wir Schätzungen aus spezifischen Studien zu spezifischen Arten von Flächenverbrauch, welche als eine erste Näherung der externen Kosten des Flächenverbrauchs zu begreifen sind.

Naturkapital Deutschland - TEEB DE (2016) ermitteln die Kosten von Grünlandumbruch auf 466 EUR und 3174 EUR pro Hektar und Jahr. Da die landwirtschaftlich genutzte Fläche in Deutschland konstant bleibt, wird hier angenommen, dass Grünlandumbruch und Inanspruchnahme von Siedlungsfläche einander ungefähr entsprechen. Auf Basis der Studie von Naturkapital Deutschland - TEEB DE (2016) ergeben sich damit jährliche Gesamtkosten von zwischen 0,007 Mrd. EUR und 0,048 Mrd. EUR. Wichtig ist dabei, dass die Kosten, die in einem Jahr verursacht werden, sich erst im Laufe der Zeit materialisieren. Über einen Zeitraum von 30 Jahren beziffern sich die Schäden, die in einem Jahr verursacht werden, auf zwischen 0,21 Mrd. EUR und 1,46 Mrd. EUR, wie in Abbildung 6 dargestellt.

Eine Möglichkeit ist es, die Kosten des Flächenverbrauchs auf Basis der Restorationskosten zu berechnen. Die Restorations- bzw. Aufforstungskosten von genutzter Siedlungsfläche belaufen sich nach einer Studie beauftragt von der Europäischen Kommission auf 11,3 EUR/m² (Europäische Kommission, 2009). Basierend auf diesen Zahlen belaufen sich die Gesamtkosten für die 2019 versiegelte Fläche (exklusive geplante Verkehrsfläche) damit auf knapp 1,73 Mrd. EUR.

¹¹ Aus globaler Sicht hat die Umwandlung natürlicher Lebensräume in landwirtschaftliche oder urbane Ökosysteme Einfluss auf das Risiko und die Inzidenz von Zoonosekrankheiten beim Menschen. Daher kann die Verringerung des Verlusts natürlicher Lebensräume die Wahrscheinlichkeit zukünftiger Epidemie- und Pandemieausbrüche verringern (Gibb et al., 2020; Tollefson, 2020; Olivero et al., 2017).



Quelle: European Commission (2019), Naturkapital Deutschland (2016), eigene Berechnungen

Abbildung 6: Externe Kosten von Flächenverbrauch durch Grünlandumbruch und Verkehrsinfrastruktur pro Jahr. Der gestrichelte Balken zeigt die hohe Unsicherheit der Kostenschätzung an, da es bis dato keine, bis wenigen Studien gibt.

Die Europäische Kommission schätzt die externen Kosten des Flächenverbrauchs durch Verkehrsinfrastruktur auf rund 9,02 Mrd. EUR alleine in Bezug auf Habitatsverlust und Habitatsfragmentierung (Europäische Kommission, 2019a). Die entsprechenden Durchschnittskosten für Flächenverbrauch von Autobahnen sind im EU-Durchschnitt 114,4 EUR/km*a und für andere Straßen 19,4 EUR/km*a pro Personenkilometer ergeben sich Kosten von 0,74 EUR-cent, vergleiche Tabelle 1.

Einnahmen. In Deutschland existiert keine Steuer mit dem Ziel der Verringerung des Flächenverbrauchs. Allenfalls die Grundsteuer auf Gebäude und Flächen könnte zwar prinzipiell Flächenverbrauch beeinflussen. Weil sie aber auch den Wert der auf der Fläche stehenden Gebäude mitbesteuert und die Steuer gemessen am Immobilienwert sehr gering ist, ist von keiner bedeutenden Lenkungswirkung auszugehen. Im Jahr 2019 hat die Grundsteuer 14,44 Mrd. EUR generiert. Im Hinblick auf die Einpreisung von Externalitäten ist die Besteuerung von Fläche einschließlich Gebäuden suboptimal, da Flächeninanspruchnahme und Nutzung eine negative Externalität aufweist, die Bebauung davon aber getrennt werden muss. Ideal wäre zur Einpreisung von Externalitäten

eine reine Bodensteuer, die die Flächeninanspruchnahme reduziert, die Bebauung bereits bestehender Siedlungsfläche aber fördert.

Dies würde zu einer Verdichtung führen und somit die Flächeninanspruchnahme reduzieren ohne das Angebot an Wohnraum zu verringern. Mit zunehmender Flächeninanspruchnahme würden die Einnahmen aus einer Bodensteuer sich erhöhen, ab Erreichen des Netto-Null-Ziels konstant bleiben. Die Bodensteuer hätte also langfristig eine stabile Steuerbasis.

Weil Infrastrukturausgaben jedoch selbst bisher steuerfinanziert sind, würden keine Mehreinnahmen generiert (anders bei einer Maut, bei der die Flächenkosten umgelegt werden können). Mit Entfaltung der Lenkungswirkung abnehmend bzw. verschwindend, da bis 2050 nach EU-Ressourcenstrategie und deutschem Klimaschutzplan ein Netto-Null-Ziel zum Flächenverbrauch erreicht werden soll.¹²

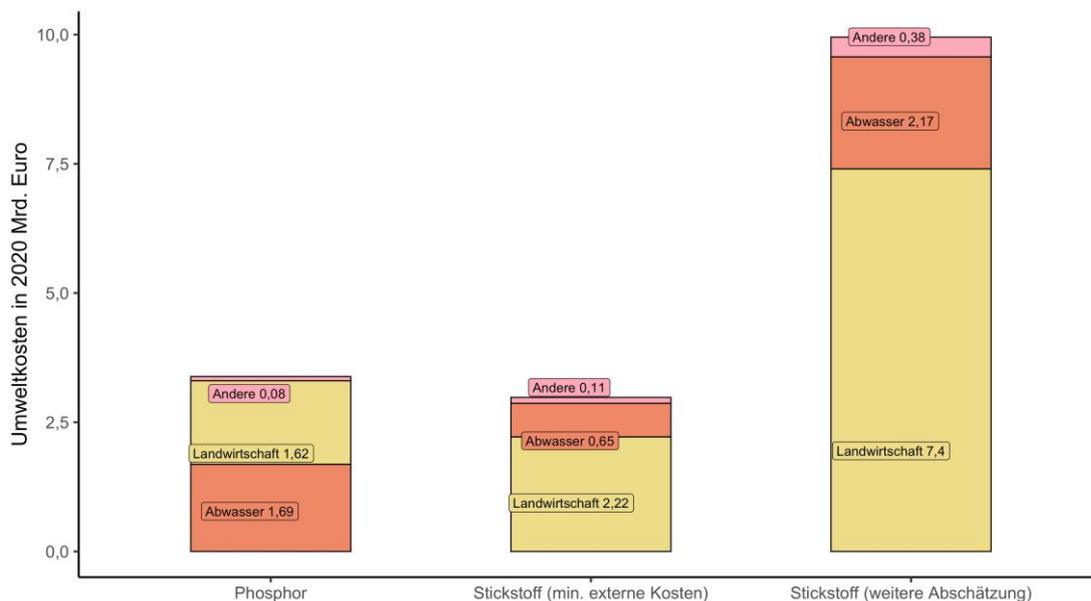
2.2.3. *Gewässereutrophierung durch Stickstoff- und Phosphoreintrag*

Stickstoff und Phosphor werden in der Landwirtschaft durch die Verwendung von Kunstdünger (bei Stickstoff auch bei der Ausbringung von Gülle bzw. Wirtschaftsdünger) freigesetzt. Dabei werden die Nährstoffüberschüsse, die nicht von Nutzpflanzen aufgenommen werden, in tiefere Bodenschichten, in das Grundwasser sowie in Oberflächengewässer abgeleitet. Weitere Stoffeinträge kommen überwiegend aus Klärwasser und urbaner Kanalisation.

Auswirkung und Schäden. Im Grundwasser stellen hohe Stickstoffkonzentrationen in Form von Nitraten eine gesundheitliche Gefährdung dar, die durch Beimischung von unbelastetem Trinkwasser aus anderen Quellen durch die Wasserversorger behoben werden muss. In Oberflächengewässern führen Stickstoff und Phosphor zu Eutrophierung. Dadurch werden Ökosysteme gestört bzw. zerstört, die Artenvielfalt nimmt ab und der Erholungswert der Natur sinkt; in großen Gewässern (z.B. der Ostsee) kommt es zu Algenblüten und Fischsterben durch Sauerstoffmangel.

¹² Siehe Bundesregierung (2016).

Quantifizierung. Die Kosten durch Eutrophierung, Biodiversitätsverlust, Renaturierung von Ökosystemen sowie Aufbereitung von Trinkwasser betragen nach Umweltbundesamt (2020) durch Stickstoffeintrag im Durchschnitt 20,8 EUR/kgN; die Kosten durch Phosphor durchschnittlich 153,5 EUR/kgP. Van Grinsven et al. (2013) schätzen die Umweltkosten von Stickstoffeintrag in Gewässern auf 5-20 EUR/kgN. Wir geben daher eine hohe und niedrige Schätzung der Stickstoffkosten an. Die Gesamtkosten durch Nährstoffeinträge machen damit zwischen 6,37 und 13,34 Mrd. Euro pro Jahr aus, wobei allein zwischen 2,2 und 7 Mrd. Euro Umweltschäden durch Stickstoffeintrag aus der Landwirtschaft anfallen. Diese Kostenschätzungen erhalten wir, indem wir die vom UBA berechneten Stickstoff- und Phosphoreinträge in deutschen Oberflächengewässern mit den Durchschnittskosten der UBA Methodenkonvention und den Kosten aus Van Grinsven et al. (2013) pro kgP oder kgN multiplizieren.¹³ Die Schätzung der externen Kosten kann sich jedoch nach Region und getroffenen Modellierungsannahmen stark unterscheiden (Keeler et al., 2016).



Quelle: van Grinsven et al. (2013), UBA Methodenkonvention 3.1 (2020), eigene Berechnungen

Abbildung 7: Externe Kosten von Stickstoff- und Phosphoreintrag, Gewässereutrophierung pro Jahr. Der gestrichelte Balken zeigt die hohe Unsicherheit der Kostenschätzung an, da es bis dato keine, bis wenigen Studien gibt.

¹³ Wir haben die Schätzung von Van Grinsven et al. (2013) inflationsbereinigt und erhalten so 6,23 EUR/kgN in 2020 Preisen.

Einnahmen. Bisher keine. Wenn eine Bepreisung eingeführt werden würde, ist mit Einsetzen der Lenkungswirkung über längere Zeit mit sinkenden Einnahmen zu rechnen. Dennoch ist von erheblichen dauerhaften Einnahmen auszugehen, da Nährstoffüberflüsse nicht komplett eliminiert werden können.

2.2.4. Pestizideinsatz

Pestizide erhöhen landwirtschaftliche Erträge, indem sie unerwünschte Pflanzen, Pilze und Tiere abtöten. Sie sind potenziell auch für Nicht-Zielorganismen giftig und reduzieren die Nahrungsgrundlage von Tieren.

Auswirkung und Schäden. Pestizide reduzieren die Biodiversität. Darüber hinaus können Pestizide auch für den Menschen gesundheitsschädlich sein, beispielsweise, wenn sie bei der Applikation, über Trinkwasser oder durch Nahrungsmittel damit in Berührung kommen. Außerdem entstehen Regulierungs- und Monitoringkosten.

Quantifizierung. Die Kosten unterteilen sich in Vermeidungs- und Schadenskosten und sind mit hohen Unsicherheiten verbunden. Vermeidungskosten sind vor allem Kosten für die Reinigung des Trinkwassers und belaufen sich nach Schätzungen des UBA auf zwischen 609 Mio. und 809 Mio. Euro (Umweltbundesamt, 2017).¹⁴ Schadenskosten betreffen insbesondere den Verlust von Biodiversität und die Gesundheit. Leach and Mumford (2008) schätzen die Kosten für den Biodiversitätsverlust auf knapp 7,2 Mio. Euro (Leach and Mumford, 2008), basierend auf Zahlen von Pretty et al. (2000). Neuere Studien gehen für den Verlust der Biodiversität von bedeutend höheren Zahlen aus. Eine nicht-wissenschaftliche Studie von 2017 schätzt die Kosten für die Landwirtschaft als ganze auf 47 Mrd. Euro (Boston Consulting Group*, 2019).

Unter der Annahme, dass Landwirtschaft ohne leichtlösliche Mineraldünger und Pestizide die Biodiversität im Vergleich zur jetzigen Landnutzung eher erhöhen würde und

¹⁴ Bei den hier angegebenen Kosten der Trinkwasserreinigung kann potentiell eine Doppelzählung mit den Kosten zu Gewässereutrophierung vorliegen von rund 1 Mrd. EUR.

beides etwa zur Hälfte für die Biodiversitätsverluste in der Landwirtschaft verantwortlich ist, können die externen Kosten von Pestiziden auf Basis dieser Studie und inflationsbereinigt auf 24,0 Mrd. Euro geschätzt werden. Kosten für die negativen Effekte auf die menschliche Gesundheit schätzen Leach and Mumford auf 27 Mio. Euro. Auch diese Zahl ist mit hohen Unsicherheiten verbunden. Glyphosat wird beispielsweise als wahrscheinlich krebserregend eingestuft, sodass die Kosten potenziell sehr hoch sein könnten. Eine genauere Aussage ist auf Basis der Datenlage nicht möglich. Für die USA schätzt eine Studie die Kosten durch Gesundheitsschäden auf zwischen 1,5 Mrd. und 15 Mrd. Dollar (Bourguet and Guillemaud, 2016).

Unter der Annahme, dass die Schäden proportional zur landwirtschaftliche bewirtschafteten Fläche sind, wären das für Deutschland zwischen 0,07 Mrd. EUR und 0,71 Mrd. EUR. Abbildung 8 gibt eine Übersicht. Nach diesen Schätzungen belaufen sich die entsprechenden Durchschnittskosten nach Inflationsbereinigung auf 23.513 und 917.598 EUR/Tonne reines Pestizid, siehe auch Tabelle 1.

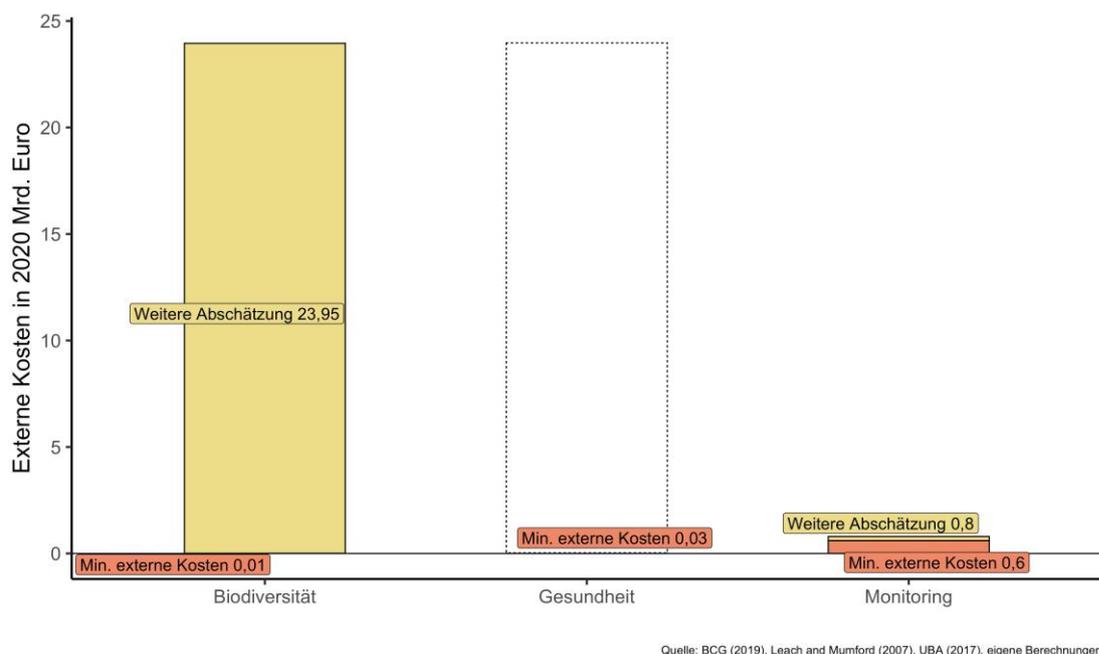


Abbildung 8: Externe Kosten Pestizideinsatz in der Landwirtschaft pro Jahr.

Einnahmen. Derzeit keine. Durch Lenkungswirkung sinken potentielle Einnahmen tendenziell: die Elastizität hängt jedoch stark vom jeweiligen Wirkstoff, dessen Funktion und Substituierbarkeit ab. Der Einsatz mancher Pestizide ist wenig preiselastisch, bei anderen kann davon ausgegangen werden, dass sie durch weniger toxische Produkte ersetzt werden, die bei einer differenzierten Steuer relativ billiger sind. Die Anwendung einiger Pestizide kann außerdem durch den Einsatz digitaler Technologien reduziert werden.

2.2.5. Plastikmüll

Plastik ist in vielen Gütern verarbeitet (z.B. in Verpackungen, Bekleidung, aber auch produzierende Maschinen) und wird nach Nutzungsende zu Plastikmüll. Die Abbauphase von Plastik ist sehr lang, so dass es sich in der Umwelt ansammelt. Durch fortlaufende Produktion von Plastik sammelt sich somit immer mehr Plastik – auch in Form von Mikro- und Nanoplastik – beispielsweise in den Meeren, aber auch in Böden und über die Nahrungsketten auch in Tieren und im menschlichen Körper an.

Auswirkung und Schäden. Die Schäden sind vielfältig. Einerseits hat die Ansammlung von zu viel Plastik negativen Einfluss auf die Biodiversität. Auch vom Menschen als Lebensmittel genutzte Tierbestände, wie beispielsweise Fisch, sammeln mehr Plastik im Körper an. Durch die Nahrungskette wird das Plastik wiederum vom Menschen aufgenommen. Des Weiteren kann eine Anhäufung von Plastik auch das produzierende Gewerbe schädigen, wenn beispielsweise Maschinen in der Fischerei von Plastikbeifang zerstört werden. Zudem führt Plastikverschmutzung in der Natur (z.B. an Stränden) zur Minderung der Erholungsqualität von Naturräumen und damit zu Einbußen in der Tourismusbranche.

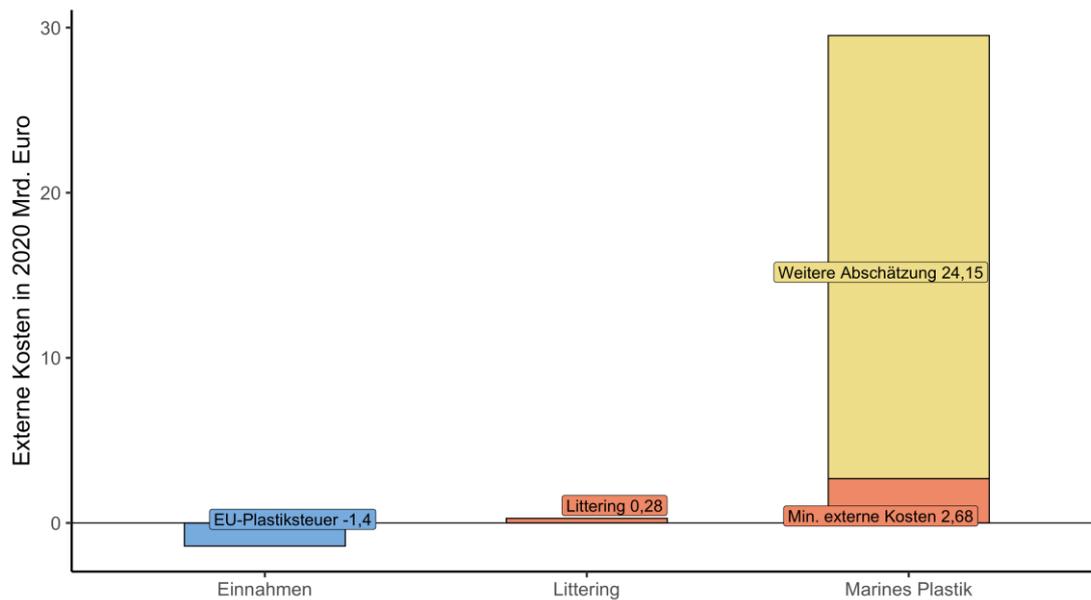
Quantifizierung. Bisher sind keine umfassenden Kostenabschätzungen weltweit oder für Deutschland vorhanden. Wir geben zwei partielle Betrachtungen wieder: Die Entsorgungskosten für Müll aus öffentlichen Räumen beträgt im Jahr 700 Mio. EUR. 40% davon sind Plastik/ Verpackungen (Verband Kommunaler Unternehmen, 2019). Unter der Annahme, dass die Kosten proportional zu Menge sind, liegen die Entsor-

gungskosten für Plastik damit bei 280 Mio. EUR. Die Kosten für Plastikmüll in den Weltmeeren werden global auf 3.30033.000 USD/Tonne geschätzt (Beaumont et al., 2019). Dies entspricht inflationsbereinigt 3.611-36.106 EUR/Tonne.

Jambeck et al. (2015) prognostizieren, dass im Jahr 2025 33.317 Tonnen Plastik aus Deutschland im Meer landen. Bei dieser Menge würden die Kosten für Plastikmüll, die von den deutschen Küstenregionen im Meer landen zwischen 0,12 Mrd. EUR und 1,2 Mrd. EUR betragen. Deutschland exportiert rund 710.000 Tonnen Plastikmüll pro Jahr (Plastikatlas, 2019). Wenige Studien zu den tatsächlichen Recyclingmengen des exportierten Plastikmülls existieren. Die United States Environmental Protection Agency (2020) schätzt, dass rund 10% des Plastikmülls recycled wird. Aufgrund der unklaren Datenlage mit der Tendenz, dass v.a. reichere Länder inländisch mehr recyceln (Jambeck et al., 2015) und Exportmüll weniger recycelt wird, nehmen wir vereinfachend für die Abschätzung der Kosten der deutschen Plastikmüllexporte und Meeresmüll folgendes an: Angenommen, die deutschen Plastikmüllexportmenge würde final in das Meer eingetragen, dann belaufen sich die Kosten durch marine Plastikverschmutzung damit auf zwischen 2,56 Mrd. und 25,6 Mrd. EUR (Beaumont et al., 2019 und PlastikAtlas, 2019).¹⁵ Abbildung 9 fasst die Kostenschätzungen zusammen.

Auch die Kosten für die Gesundheit lassen sich kaum beziffern, insbesondere weil selbst die qualitativen Zusammenhänge noch nicht hinreichend erforscht sind. Ähnliches gilt für Mikroplastik.

¹⁵ Welcher Anteil des exportierten Plastikmülls tatsächlich ins Meer gelangt, ist aufgrund mangelnder Kontrollsysteme schwer nachzuvollziehen und Gegenstand anhaltender Debatten.



Quelle: Beaumont et al. (2019), Jambeck et al. (2015), PlastikAtlas (2019), VKU (2019), eigene Berechnungen

Abbildung 9: Externe Kosten Plastikmüll in Meer und Straßenmüll pro Jahr unter der Annahme, dass der deutsche Gesamtplastikmüllexport in die Weltmeere eingetragen wird.

Einnahmen. Keine Einnahmen in Deutschland. Die Bundesregierung schätzt den deutschen Einnahmenanteil an einer möglichen EU-Plastiksteuer auf 1,4 Mrd. EUR (Bundestag, 2020a).

2.3. Gesamtübersicht bedeutender externer Kosten und Durchschnittskosten

Im Folgenden geben wir eine Gesamtübersicht Kosten der betrachteten Problembe-
reiche und geben, wenn möglich, in Tabelle 1 resultierende Durchschnittskosten an. Die
dargestellten Kosten sind als erste Orientierung und Annäherung zu den Kostensätzen
bedeutender umwelt- und oder gesundheitsschädlicher Aktivitäten anzusehen und aus
bestehenden Studien abgeleitet. Die Datenlage ist dabei zum Teil sehr gering, so dass
zukünftige Forschung hier aufbauen kann.

Abbildung 10 stellt die Kosten der betrachteten Problemfelder aus den Abschnitten 2.1
und 2.2 alphabetisch sortiert zusammen. Bereiche mit noch sehr vorläufiger Studienlage
(Abschnitte 2.2) sind mit einem Stern* gekennzeichnet. Die aggregierten Kosten aus den

Abschnitten 2.1 und 2.2 belaufen auf mindestens 455,27 Mrd. Euro. Weitere Schätzungen kommen auf bis zu 670,48 Mrd. Euro. Insgesamt entspricht dies 13-19% des deutschen BIP.¹⁶

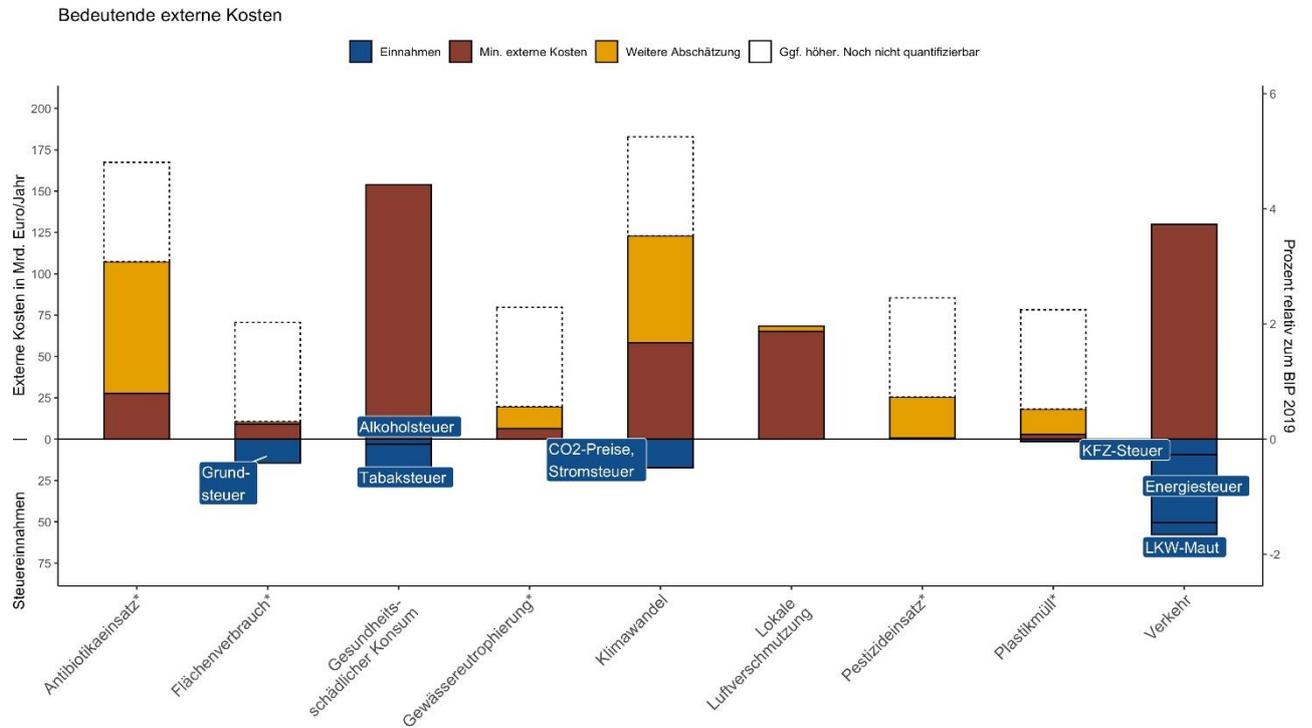


Abbildung 10: Höhe der externen Kosten (in Mrd. Euro pro Jahr) sowie der Einnahmen durch bestehende Steuern (negativ, blau dargestellt) basierende auf den Kostenabschätzungen aus Abschnitt 2.1 und Abschnitt 2.2. Die schlechte Studienlage aus Abschnitt 2.2 ist hier jeweils mit einem Stern* gekennzeichnet.

¹⁶ Die in den Abschnitten zum Teil doppelt angeführten Kostenblöcke, wie beispielsweise im Verkehr und der Überlappung der Kosten des Klimawandels, sind hier abgezogen, so dass bei den Gesamtkosten keine Doppelverbuchung stattfindet.

Kategorie		DK (EUR2020)	Einheit
Gesundheits- schädlicher Konsum	Rotes Fleisch	0,98	EUR/Kg
	Verarbeitetes Fleisch	4,35	EUR/Kg
	Zucker	3,45	EUR/Kg
	Gesüßte Getränke (Optimalsteuer)	0,41	EUR/l
	Tabak (Zigaretten, Zigarren, Zigarillos)	0,85	EUR/Stück
	Alkohol	44,65	EUR/l (pur)
Klimawandel	niedrig	68	EUR/tCO ₂
	hoch	150	EUR/tCO ₂
Lokale Luftverschmutzung	Stickstoffoxid	19	EUR/Kg
	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe (NMHC)	2,2	EUR/Kg
	Ammoniak	33,7	EUR/Kg
	Schwefeldioxid	15,8	EUR/Kg
	Feinstaub (PM 2.5)	61,5	EUR/Kg
	Feinstaub (PM 10)	43,3	EUR/Kg
Verkehr	Autounfälle	6,74	EUR-cent/pkm
	Autolärm	0,35	EUR-cent/pkm
	Staukosten Auto	4,1	EUR-cent/pkm
	Infrastrukturkosten Auto	1,89	EUR-cent/pkm
Antibiotikaeinsatz*	niedrig	20.688	EUR/Kg
	hoch	80.166	EUR/Kg
Flächenverbrauch*	Grünlandumbruch (niedrig)	465,5	EUR/Ha pro Jahr
	Grünlandumbruch (hoch)	3.174	EUR/Ha pro Jahr
	Wiederaufforstung	11,3	EUR/m ²
	Straße	0,74	EUR-cent/pkm
Gewässer- eutrophierung*	Stickstoff (niedrig)	6,23	EUR/Kg
	Stickstoff (hoch)	20,8	EUR/Kg
	Phosphor	153,5	EUR/Kg
Pestizideinsatz*	niedrig	23.513	EUR/Tonne
	hoch	917.598	EUR/Tonne
Plastikmüll*	niedrig	3.611	EUR/Tonne
	hoch	36.106	EUR/Tonne

Tabelle 1: Durchschnittskosten (DK) ausgewählter Externalitäten, inflationsbereinigt auf das Jahr 2020 und in gängigen Einheiten dargestellt. In den meisten Fällen sind die Zusammenhänge nicht-linear, so dass diese Durchschnittskosten als sehr grobe Annäherung verstanden werden müssen. Quellen: siehe Abschnitt 2. Ein * bedeutet, dass es hier sehr große Unsicherheiten zu den Schäden und der Quantifizierung gibt.

3. Zusammenfassung und Ausblick

Die gesamten externen Kosten der hier betrachteten Problemfelder in den Bereichen Umwelt, Energie und Gesundheit sind als sehr hoch zu bewerten. Sie belaufen sich auf 13-19% des BIP in Deutschland. Daraus lässt sich ein politischer Handlungsbedarf ableiten, diese hohen gesellschaftlichen Kosten zu adressieren. Eine Möglichkeit ist der Weg der Bepreisung durch Steuern oder Abgaben (sog. Pigou-Bepreisung) im Rahmen einer nachhaltigen Steuerreform. Dies verschafft kurz- und mittelfristig weitere Steuereinnahmen und langfristig eine Verringerung von negativen Externalitäten.

Allerdings zeigt dieser Bericht auch wissenschaftlichen Handlungsbedarf auf. Die Studienlage ist zum Teil dürftig oder noch nicht ausgereift, sodass teilweise nur partielle Schäden betrachtet und dazugehörige Kosten ermittelt wurden. Die hier vorliegenden Studien beziehen sich zumeist auf die Annahme von linearen Schadenszusammenhängen. Vor allem im Bereich Verkehr und Landwirtschaft sind diverse externe Effekte zu beobachten, die oftmals miteinander interagieren. Methodisch sollten Kostenschätzungen daher um weitere Ansätze in Bezug auf komplexere Einbettung von Wirkungsweisen der Schäden ergänzt werden als auch vermehrt Grenzkostenschätzungen berücksichtigen. Zum Teil fehlen jedoch bisher mitunter umfassende Erkenntnisse zu Schadens-Wirkungsweisen. Ein besseres Verständnis von externen Kosten in den Bereichen Umwelt, Energie und Gesundheit und deren Quantifizierung erscheint daher nötig, um den politisch-gesellschaftlichen Prozess auf dem Weg zur Klimaneutralität zu begleiten.

Die hier dargestellten externen Kosten bezeichnen Bruttokosten. Für eine Quantifizierung der Wohlfahrtskosten müssen neben externen Kosten auch Vermeidungskosten sowie die Auswirkungen bestehender Politikmaßnahmen – wie Steuern oder andere Regulierung – berücksichtigt werden.

Die Wohlfahrtskosten ergeben sich aus der Differenz der aggregierten Wohlfahrt im Status Quo gegenüber einer optimalen Berücksichtigung der externen Effekte. Dies erfordert wiederum ein Gleichgewichtsmodell, in dem externe Effekte endogen als Produktivitätsverluste oder Reduktion des Wohlbefindens modelliert werden. Eine derartige Modellentwicklung wäre daher ein nächster Schritt für eine umfassende wohlfahrtsökonomische Bewertung von klimapolitischen Maßnahmen, insbesondere von Politik-Mixen.

Literatur

- Allcott, H., Lockwood, B.B., Taubinsky, D., 2019. Regressive Sin Taxes, with an Application to the Optimal Soda Tax. *The Quarterly Journal of Economics* 134, 1557–1626.
- Beaumont, N.J., Aanesen, M., Austen, M.C., Börger, T., Clark, J.R., Cole, M., Hooper, T., Lindeque, P.K., Pascoe, C., Wyles, K.J., 2019. Global ecological, social and economic impacts of marine plastic. *Marine Pollution Bulletin* 142, 189–195.
- Boston Consulting Group*, 2019. Die Zukunft der deutschen Landwirtschaft sichern Denkanstöße und Szenarien für ökologische, ökonomische und soziale Nachhaltigkeit.
- Bourguet, D., Guillemaud, T., 2016. The hidden and external costs of pesticide use. *Sustainable agriculture reviews*, 35–120.
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, PEG, P., 2016. Germap 2015: Antibiotika-Resistenz und -Verbrauch; Bericht über den Antibiotikaverbrauch und die Verbreitung von Antibiotikaresistenzen in der Human- und Veterinärmedizin in Deutschland.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2021. Versorgung mit Fleisch in Deutschland seit 1991. URL: https://www.ble.de/DE/BZL/Daten-Berichte/Fleisch/fleisch_node.html.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2021. X. Genussmittel, Getränke Verbrauch von Getränken je Kopf. URL: <https://www.bmel-statistik.de/ernaehrung-fischerei/tabellen-kapitel-d-und-hiv-des-statistischen-jahrbuchs/>.
- Bundesministerium für Gesundheit, 2019. Antibiotika Resistenzen vermeiden (DART 2020) - 4. Zwischenbericht. URL: https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/5_Publikationen/Praevention/Broschueren/DART2020_4-Zwischenbericht_2019_DE.pdf.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2018. Berechnung der Wegekosten für das Bundesfernstraßennetz sowie der externen Kosten nach Maßgabe der Richtlinie 1999/62/EG für die Jahre 2018 bis 2022. URL: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/wegekostengutachten-2018-2022-endbericht.html>.
- Bundesregierung, 2016. Klimaschutzplan 2050 Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung.
- Bundestag, 2020a. Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Judith Skudelny, Frank Sitta, Jens Beeck, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der Fdp. Drucksache 19/22068. URL: <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/226/1922653.pdf>.
- Bundestag, 2020b. Entwurf eines ersten Gesetzes zur Änderung des brennstoffemissionshandelsgesetzes. Drucksache 19/19929. URL: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/199/1919929.pdf>.
- Dechezleprêtre, A., Rivers, N., Stadler, B., 2019. The economic cost of air pollution: Evidence from Europe. *OECD Economics Department Working Papers* No. 1584. URL: <https://doi.org/10.1787/56119490-en>.
- Deutsche Emissionshandelsstelle, 2019. Auktionierung Deutsche Versteigerungen von Emissionsberechtigungen. URL: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/versteigerung/2019/2019_Jahresbericht.pdf?blob=publicationFile&v=2.

- Effertz, T., 2019. Die Kosten des Rauchens in Deutschland im Jahr 2018 aktuelle Situation und langfristige Perspektive. *Atemwegs- und Lungenkrankheiten* 45, 307–314. doi:10.5414/ATX02359.
- Effertz, T., Verheyen, F., Linder, R., 2017. The costs of hazardous alcohol consumption in Germany. *The European Journal of Health Economics* 18, 703–713. URL: <http://link.springer.com/10.1007/s10198-016-0822-1>, doi:10.1007/s10198-016-0822-1.
- European Environment Agency., 2014. Costs of Air Pollution from European Industrial Facilities 2008-2012: An Updated Assessment. Publications Office. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2800/23502>.
- Europäische Kommission, 2019a. Handbook on the external costs of transport. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2832/51388>.
- Europäische Kommission, 2019b. Overview of transport infrastructure expenditures and costs. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2832/853267>.
- Europäische Kommission, 2009. New Externalities Development for Sustainability. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/502687>.
- Funke, F., Mattauch, L., Klenert, D., Springmann, M., Treich, N., 2021. Is Meat Too Cheap? Towards Optimal Meat Taxation. INET Oxford Working Paper No. 2021-08. , 30.
- Gibb, R., Redding, D.W., Chin, K.Q., Donnelly, C.A., Blackburn, T.M., Newbold, T., Jones, K.E., 2020. Zoonotic host diversity increases in human-dominated ecosystems. *Nature* 584, 398–402. doi:10.1038/s41586-020-2562-8.
- Goossens, H., Ferech, M., Vander Stichele, R., Elseviers, M., 2005. Outpatient antibiotic use in Europe and association with resistance: A cross-national database study. *Lancet (London, England)* 365, 579–587. arXiv:15708101.
- Gruber, J., Köszegi, B., 2008. A Modern Economic View of Tobacco Taxation.
- Hänsel, M.C., Drupp, M.A., Johansson, D.J.A., Nesje, F., Azar, C., Freeman, M.C., Groom, B., Sterner, T., 2020. Climate economics support for the un climate targets. *Nature Climate Change* 10, 781–789. doi:10.1038/s41558-020-0833-x.
- Howard, P., Sylvan, D., 2021a. Gauging Economic Consensus on Climate Change. URL: <https://policyintegrity.org/publications/detail/gauging-economic-consensus-on-climate-change>.
- Howard, P., Sylvan, D., 2021b. Gauging Economic Consensus on Climate Change Issue Brief. URL: <https://policyintegrity.org/publications/detail/gauging-economic-consensus-on-climate-change-issue-brief>.
- INRIX, 2016. Europe’s Traffic Hotspots – Measuring the impact of congestion in Europe. URL: <https://inrix.com/resources/inrix-europes-traffic-hotspots/>.
- IPCC, 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf.
- IPCC (Ed.), 2014. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change:

- [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx]. Cambridge University Press, Cambridge and United Kingdom and New York, NY and USA.
- Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347, 768–771.
- Jonas, O.B., Irwin, A., Berthe, F.C.J., Le Gall, F.G., Marquez, P.V., 2017. Drug-resistant infections: A threat to our economic future.
- Kalkuhl, M., Rooffs, C., Edenhofer, O., Haywood, L., Heinemann, M., Bekk, A., Flachsland, C., George, J., Held, A., aus dem Moore, N., Luderer, G., Koch, N., Nikodinoska, D., Pahle, M., Schill, W.P., Amberg, M., Bergmann, T., Meyer, H., 2021. Reformoptionen für ein nachhaltiges Steuer- und Abgabensystem – Wie Lenkungssteuern effektiv und gerecht für den Klima- und Umweltschutz ausgestaltet werden können.
- Kalkuhl, M., Wenz, L., 2020. The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions. *Journal of Environmental Economics and Management* 103, 102360.
- Keeler, B.L., Gourevitch, J.D., Polasky, S., Isbell, F., Tessum, C.W., Hill, J.D., Marshall, J.D., 2016. The social costs of nitrogen. *Science Advances* 2, 10.
- Köper, L.M., Bode, C., Bender, A., Reimer, I., Heberer, T., Wallmann, J., 2020. Eight years of sales surveillance of antimicrobials for veterinary use in Germany What are the perceptions? *PLOS ONE* 15, e0237459. URL: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0237459>, doi:10.1371/journal.pone.0237459.
- Leach, A., Mumford, J., 2008. Pesticide environmental accounting: A method for assessing the external costs of individual pesticide applications. *Environmental Pollution* 151, 139–147.
- Meier, T., Senftleben, K., Deumelandt, P., Christen, O., Riedel, K., Langer, M., 2015. Healthcare Costs Associated with an Adequate Intake of Sugars, Salt and Saturated Fat in Germany: A Health Econometrical Analysis. *PLOS ONE* 10, e0135990.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, 2017. Valuing Climate Changes: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide. National Academies Press, Washington, D.C. doi:10.17226/24651.
- Naturkapital Deutschland - TEEB DE, 2016. Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen: Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung: Schlussfolgerungen für Entscheidungsträger. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Leipzig., Leibniz Universität Hannover, Hannover. URL: https://www.ufz.de/export/data/global/190552_TEEB_DE_Landbericht_Kurzfassung_web_bf.pdf.
- O’Donoghue, T., Rabin, M., 2006. Optimal sin taxes. *Journal of Public Economics* 90, 1825– 1849.
- Olivero, J., Fa, J.E., Real, R., Márquez, A.L., Farfán, M.A., Vargas, J.M., Gaveau, D., Salim, M.A., Park, D., Suter, J., King, S., Leendertz, S.A., Sheil, D., Nasi, R., 2017. Recent loss of closed forests is associated with ebola virus disease outbreaks. *Scientific Reports* 7, 14291.
- O’Neill, J., 2015a. Antimicrobials in agriculture and the environment - Reducing unnecessary use and waste. URL: <http://bit.ly/2d36sEH>.

- O'Neill, J., 2015b. Rapid diagnostics: Stopping unnecessary pre- scriptions. URL: <https://amr-review.org/sites/default/files/Paper-Rapid-Diagnostics-Stopping-Unnecessary-Prescription.pdf>.
- O'Neill, J., 2016. Tackling drug-resistant infections globally: Final report and recommendati- ons. URL: <https://amr-review.org/home.html>.
- Pindyck, R., 2019. The social cost of carbon revisited. *Journal of Environmental Economics and Management* 94, 140–160.
- Plastikatlas, 2019. PlastikAtlas. URL: <https://www.boell.de/de/plastikatlas>.
- Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R., Mason, C., Morison, J., Raven, H., Rayment, M., van der Bijl, G., 2000. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural systems* 65, 113–136.
- Roofs, C., Kalkuhl, M., Bergmann, T., Meyer, H., 2021. Datenbasis zur quantifizierung externer effekte als steuerbasis für ein nachhaltiges steuersystem (version 1) [data set]. zenodo. URL: <http://doi.org/10.5281/zenodo.4730277>.
- Roope, L.S.J., Smith, R.D., Pouwels, K.B., Buchanan, J., Abel, L., Eibich, P., Butler, C.C., Tan, P.S., Walker, A.S., Robotham, J.V., Wordsworth, S., 2019. The challenge of antimicrobial resistance: What economics can contribute. *Science* 364, eaau4679.
- Rushton, J., Ferreira, J.P., Stärk, K., 2014. Antimicrobial Resistance: The Use of Antimicrobials in the Livestock Sector. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/antimicrobial-resistance_5jxvl3dwk3f0-en, doi:10.1787/5jxvl3dwk3f0-en.
- Scott, A.M., Beller, E., Glasziou, P., Clark, J., Ranakusuma, R.W., Byambasuren, O., Bakhit, M., Page, S.W., Trott, D., Mar, C.D., 2018. Is antimicrobial administration to food animals a direct threat to human health? A rapid systematic review. *International Journal of Antimicrobial Agents* 52, 316–323.
- Sloan, F.A., Ostermann, J., Conover, C., Jr. Donald H. Taylor, Gabriel Picone, 2004. The Price of Smoking. volume 1 of *MIT Press Books*. The MIT Press. URL: <https://ideas.repec.org/b/mtp/titles/0262693453.html>.
- Springmann, M., Mason-DCroz, D., Robinson, S., Wiebe, K., Godfray, H.C.J., Rayner, M., Scarborough, P., 2018. Health-motivated taxes on red and processed meat: A modelling study on optimal tax levels and associated health impacts. *PLOS ONE* 13, e0204139.
- Statistisches Bundesamt, 2021. Genesis-online.
- Steidl, F., Wigger, B.U., 2015. Die externen Kosten des Rauchens in Deutschland. *Wirtschaftsdienst* 95, 563–568. URL: <https://doi.org/10.1007/s10273-015-1867-y>, doi:10.1007/s10273-015-1867-y.
- Sunstein, C.R., 2018. The Cost-Benefit Revolution. MIT Press. URL: <https://mitpress.mit.edu/books/cost-benefit-revolution>.
- Tollefson, J., 2020. Why deforestation and extinctions make pandemics more likely. *Nature* 584, 175–176. doi:10.1038/s41467-019-12499-6.
- Umweltbundesamt, 2015. Reaktiver Stickstoff in Deutschland – Ursachen, Wirkungen, Maßnahmen. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/reaktiverstickstoff-in-deutschland>.

Umweltbundesamt, 2017. Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung.

Umweltbundesamt, 2020. Methodenkonvention 3.1 zur Ermittlung von Umweltkosten Kostensätze. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonvention-umweltkosten>.

United States Environmental Protection Agency, 2016. Technical support document: Technical update of the social cost of carbon for regulatory impact analysis - under executive order 12866, august 2016. URL: https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/sc_co2_tsd_august_2016.pdf.

United States Environmental Protection Agency, 2020. Plastics: Material-specific data. URL: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/plastics-material-specific-data>.

Van Grinsven, H.J.M., Holland, M., Jacobsen, B.H., Klimont, Z., a. Sutton, M., Jaap Willems, W., 2013. Costs and Benefits of Nitrogen for Europe and Implications for Mitigation. Environmental Science & Technology 47, 3571–3579. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es303804g>, doi:10.1021/es303804g.

Verband Kommunaler Unternehmen*, 2019. Studie zu Kosten für Sammlung und Entsorgung von Einwegkunststoffartikeln im öffentlichen Raum.

Wood, J.D., 2017. Chapter 20 - Meat Composition and Nutritional Value, in: Toldra, F. (Ed.), Lawries Meat Science (Eighth Edition). Woodhead Publishing, pp. 635–659.



Der rote Faden durch die Energiewende: Das Kopernikus-Projekt Ariadne führt durch einen gemeinsamen Lernprozess mit Politik, Wirtschaft und Gesellschaft, um Optionen zur Gestaltung der Energiewende zu erforschen und politischen Entscheidern wichtiges Orientierungswissen auf dem Weg zu einem klimaneutralen Deutschland bereitzustellen.

Folgen Sie dem Ariadnefaden:

 @AriadneProjekt

 ariadneprojekt.de

Mehr zu den Kopernikus-Projekten des BMBF auf kopernikus-projekte.de

Wer ist Ariadne? In der griechischen Mythologie gelang Theseus durch den Faden der Ariadne die sichere Navigation durch das Labyrinth des Minotaurus. Dies ist die Leitidee für das Energiewende-Projekt Ariadne im Konsortium von mehr als 25 wissenschaftlichen Partnern. Wir sind Ariadne:

adelphi | Brandenburgische Technische Universität Cottbus – Senftenberg (BTU) | Deutsche Energie-Agentur (dena) | Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) | Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) | Ecologic Institute | Fraunhofer Cluster of Excellence Integrated Energy Systems (CINES) | Guidehouse Germany | Helmholtz-Zentrum Geesthacht | Hertie School | Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU) | ifok | Institut der deutschen Wirtschaft Köln | Institut für Klimaschutz, Energie und Mobilität | Institute For Advanced Sustainability Studies (IASS) | Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) | Öko-Institut | Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) | RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | Stiftung 2° - Deutsche Unternehmer für Klimaschutz | Stiftung Umweltenergierecht | Technische Universität Darmstadt | Technische Universität München | Universität Hamburg | Universität Münster | Universität Potsdam | Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) | ZEW - Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung