



## Sozial-ökologische Transformation

**731 Editorial** von Franziska Holz und Alexander Schiersch

### Verkehrswende als Teil der sozial-ökologischen Transformation denken

**733 Bericht** von Laura Schmitz, Johannes Brehm, Henri Gruhl, Robin Kottmann,  
Nico Pestel und Sandra Schaffner

### Umweltzonen in Deutschland: Emissionsbegrenzungen verbessern Bildung und psychische Gesundheit

**742 Interview** mit Laura Schmitz

**743 Bericht** von Wolf-Peter Schill, Julius Jöhrens, Dominik Räder, Hendrik  
Beeh, Josef Klingl und Markus Werner

### Klimaschutz im Straßengüterverkehr: Die Zukunft ist batterieelektrisch

**756 Kommentar** von Stefan Bach

### Soli abschaffen und bei Spitzenverdienenden in den Einkommensteuertarif integrieren

## Die Sozialeinkommen in der SBZ

Sozialversicherungsrenten in der SBZ  
monatlich in DM-Ost

|  | 1951  | 1952   | 1953   |
|--|-------|--------|--------|
| <b>1. Mindestrenten<sup>1)</sup></b>       |       |        |        |
| Invaliden- und Altersrenten . . . . .      | 65,—  | 65,—   | 75,—   |
| Ehegattenzuschlag . . . . .                | 10,—  | 10,—   | 10,—   |
| Kinderzuschlag . . . . .                   | 32,50 | 32,50  | 32,50  |
| Vollwaisen . . . . .                       | 55,—  | 55,—   | 55,—   |
| Halbwaisen . . . . .                       | 35,—  | 35,—   | 35,—   |
| <b>2. Durchschnittsrenten<sup>2)</sup></b> | 65,56 | 67,80  | 75,75  |
| <b>3. Bergmannsrenten</b>                  |       |        |        |
| Mindestrenten . . . . .                    | 65,—  | 75,—   | 85,—   |
| Durchschnittsrenten . . . . .              | 99,75 | 131,48 | 133,34 |

Quellen: 1) „Arbeit und Sozialfürsorge“, 1954, Nr. 10, S. 322.  
2) „Deutsche Finanzwirtschaft“, 1953, Nr. 20, S. 1066.

Sozialversicherungsrenten im Bundesgebiet 1953  
monatlich in DM-West

| Empfänger-<br>kategorien                           | Mindest-<br>renten |                  | Durchschnitts-<br>renten |                  | Höchste<br>Effektivrenten |                  |
|--|--------------------|------------------|--------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
|  | Inv.<br>Vers.      | Angest.<br>Vers. | Inv.<br>Vers.            | Angest.<br>Vers. | Inv.<br>Vers.             | Angest.<br>Vers. |
| Versicherte  |                    |                  |                          |                  |                           |                  |
| männlich . . . . .                                 | 55,—               | 55,—             | 90,80                    | 130,60           | 292,30                    | 697,20           |
| weiblich . . . . .                                 | 55,—               | 55,—             | 62,90                    | 99,70            | 255,—                     | 408,80           |
| Witwen . . . . .                                   | 44,—               | 44,—             | 49,—                     | 63,10            | 202,90                    | 366,50           |
| Waisen . . . . .                                   | 32,—               | 32,—             | .                        | .                | 113,90                    | 150,40           |
| Kinderzuschlag<br>(unabhängig v.<br>d. Rentenhöhe) | 20,—               | 20,—             | 20,—                     | 20,—             | 20,—                      | 20,—             |

Quelle: „Statistik der deutschen Invaliden- und Angestelltenversicherung“, Band I, herausgegeben vom Verband deutscher Rentenversicherungsträger, 1954.

© DIW Berlin 1954

Das Gefüge der Sozialeinkommen Mitteldeutschlands stand in den ersten Nachkriegsjahren unter dem Einfluß von Bemühungen um Vereinheitlichung und Zentralisation. Mit der fortschreitenden Veränderung der gesamten Gesellschaftsordnung traten dann in zunehmendem Maße gesellschaftspolitische Gesichtspunkte in den Vordergrund und bewirkten Differenzierungen zugunsten einzelner Bevölkerungsschichten. Neben Sonderregelungen für die sog. Intelligenzschichten, zu denen selbstverständlich auch die politischen Funktionäre zählen, treten neuerdings soziale Zusatzleistungen, zu denen volkseigene und ihnen gleichgestellte Betriebe in den auch in der Lohnstaffelung bevorzugten Wirtschaftszweigen veranlaßt werden.

### Sozialversicherung

Im Bereich der sozialen Sicherung wurden die Prinzipien einer weitestgehenden Einbeziehung aller Arbeitenden in die Sozialversicherung und die Versorgung auch der im Bundesgebiet an Sonderinstitutionen Anspruchsberechtigten, wie Kriegsoffer und Beamte, durch die Sozialversicherung unter möglicher Einschränkung der Fürsorgeleistungen unverändert beibehalten<sup>1</sup>. Nach einer zeitweiligen Lockerung der Bestimmungen in der Zeit des „Neuen Kurses“ unterliegt die Anerkennung von Ansprüchen in den letzten Monaten wieder schärferen Maßstäben, während einzelne Leistungen erhöht wurden. Liegen die Mindestrenten in der SBZ auch über den westdeutschen Vergleichszahlen, so sind die Durchschnittsrenten doch erheblich niedriger. Von den rd. 3 Millionen Rentenempfängern in der SBZ erhalten rd. zwei Millionen nur die Mindestrenten<sup>2</sup>, während in Westdeutschland lediglich 3,4 vH aller männlichen und 21,7 vH der weiblichen Rentenempfänger 1953 die Mindestrente bezogen. Hinzu kommt, daß im Bundesgebiet infolge der Vielfalt der Versicherungsansprüche rd. zwei Drittel der Rentenbezieher Einkommen aus mehr als einer Quelle erhalten.

Aus dem DIW Wochenbericht Nr. 47 vom 19. November 1954

1 Vgl. Wochenbericht des DIW, 20. Jg. Nr. 42, S. 167f.

2 „Neues Deutschland“, vom 30.6.1953.

## IMPRESSUM

### DIW BERLIN

DIW Berlin — Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V.

Mohrenstraße 58, 10117 Berlin

[www.diw.de](http://www.diw.de)

Telefon: +49 30 897 89-0 E-Mail: [kundenservice@diw.de](mailto:kundenservice@diw.de)

91. Jahrgang 20. November 2024

#### Herausgeber\*innen

Prof. Dr. Tomaso Duso; Sabine Fiedler; Prof. Marcel Fratzscher, Ph.D.;  
Prof. Dr. Peter Haan; Prof. Dr. Claudia Kemfert; Prof. Dr. Alexander S. Kritikos;  
Prof. Dr. Alexander Kriwoluzky; Prof. Karsten Neuhoﬀ, Ph.D.;  
Prof. Dr. Carsten Schröder; Prof. Dr. Katharina Wrohlich

#### Chefredaktion

Prof. Dr. Pio Baake; Claudia Cohnen-Beck; Sebastian Kollmann;  
Kristina van Deuverden

#### Lektorat

Fernanda Ballesteros; Dr. Alexander Schiersch

#### Redaktion

Rebecca Buhner; Dr. Hella Engerer; Petra Jasper; Adam Mark Lederer;  
Frederik Schulz-Greve; Sandra Tubik

#### Gestaltung

Roman Wilhelm; Stefanie Reeg; Eva Kretschmer, DIW Berlin

#### Umschlagmotiv

© imageBROKER / Steffen Diemer

#### Satz

Satz-Rechen-Zentrum Hartmann + Heenemann GmbH & Co. KG, Berlin

Der DIW Wochenbericht ist kostenfrei unter [www.diw.de/wochenbericht](http://www.diw.de/wochenbericht) abrufbar. Abonnieren Sie auch unseren Wochenberichts-Newsletter unter [www.diw.de/wb-anmeldung](http://www.diw.de/wb-anmeldung)

ISSN 1860-8787

Nachdruck und sonstige Verbreitung — auch auszugsweise — nur mit Quellenangabe und unter Zusendung eines Belegexemplars an den Kundenservice des DIW Berlin zulässig ([kundenservice@diw.de](mailto:kundenservice@diw.de)).

# Verkehrswende als Teil der sozial-ökologischen Transformation denken

Von Franziska Holz und Alexander Schiersch

In den nächsten Jahren ist eine tiefgreifende Transformation der Wirtschaft notwendig, um das Ziel der EU und Deutschlands zu erreichen, bis zur Mitte des Jahrhunderts klimaneutral zu wirtschaften. Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW Berlin) begleitet diese sozial-ökologische Transformation mit gezielter Forschung zu verschiedenen Aspekten derselben.

Entsprechend der Ausrichtung des Instituts konzentrieren sich die Forschenden dabei auf drei Bereiche. Dies ist zum einen der Themenkomplex „Energiewende und Ressourcenmärkte“. Hier liegt der Fokus auf Fragen rund um die Energiewende, zum Beispiel wie die Vollversorgung mit erneuerbaren Energien gelingen kann. Zudem geht es um die Ausgestaltung der entstehenden Märkte für künftig wichtige Energieträger wie Wasserstoff. Damit verbunden ist der Umbau der Infrastruktur ein wichtiger Fokus sowohl hinsichtlich der Investitionen als auch der Regulierung der Netze und ihres Umbaus. Ebenso wird die Verbrauchsseite betrachtet, sei es in der Forschung zur Wärmewende, der Verkehrswende oder der Umstellungs- und Anpassungsprozesse in der Industrie.

Damit verknüpft sind die Fragestellungen im zweiten Themenkomplex „Dekarbonisierung von Unternehmen und Haushalten“. Ein wichtiger Aspekt ist hier die Kapitalstocktransformation, die erforderlich ist, um CO<sub>2</sub>-arm zu produzieren, zu konsumieren und zu wohnen. Die Forschung umfasst die notwendigen Maßnahmen und potenziellen Folgen der Kapitalstocktransformation in der Immobilien- und Bauwirtschaft sowie in der Grundstoffindustrie. Zugleich werden die Auswirkungen der Transformation auf die Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes untersucht, deren bisheriger Kapitalstock an Wert verliert und durch Investitionen angepasst werden muss. Diese Themen sind eng verbun-

den mit der Forschung zur Technologieadaption, etwa zur Digitalisierung, der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit von Unternehmen sowie zu Green Finance. Da die deutsche Wirtschaft stark in die internationalen Handelsnetze eingebunden ist, werden auch Wertschöpfungsketten und internationaler Handel im Hinblick auf den CO<sub>2</sub>-Gehalt von Gütern untersucht.

Ein Schwerpunkt der Forschung am DIW Berlin sind Verbraucher\*innen und Haushalte. Deren Reaktion auf politische Maßnahmen und die Veränderung ihrer Präferenzen und ihres Verhaltens kann mithilfe der am DIW Berlin vorliegenden Datensätze, insbesondere dem Sozio-oekonomischen Panel (SOEP) fundiert untersucht werden. Hierzu zählen beispielsweise Analysen zu CO<sub>2</sub>-relevanten Konsumgewohnheiten privater Haushalte und deren Veränderungen über die Zeit, um etwa die Klimafolgen ökonomischer Ungleichheiten sowie die Wirksamkeit politischer Anreizsetzungen zu erfassen.

Eng damit verbunden ist der dritte Themenkomplex, der sich mit den „Wohlfahrtswirkungen und sozialen Implikationen“ der Transformation beschäftigt. Neben den Verteilungswirkungen der ökologischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Veränderungen ist hier die Anpassungsfähigkeit der Haushalte ein zentrales Thema, um die Lenkungswirkung politischer Maßnahmen zu beurteilen und ihre sozial gerechte Ausgestaltung zu ermöglichen. Daneben werden auch die Auswirkungen der Transformation auf die Sorgen und Einstellungen der Menschen sowie auf das individuelle Wohlergehen untersucht, von Einkommen über die Gesundheit bis hin zur gesellschaftlichen Teilhabe und Anerkennung.

Entsprechend der Methodenvielfalt werden sowohl Ex-post-Betrachtungen auf Basis von Datensätzen als auch Ex-ante-Untersuchungen mit Hilfe von numerischen Simulationen vorgenommen. Ex-post-Untersuchungen ermöglichen es, Effektivität und Effizienz von politischen Maßnahmen zu evaluieren und (möglicherweise unbedachte) Nebenwirkungen zu identifizieren. Ex-ante-Modellierungen berücksichtigen in der Regel mehrere Szenarien, um verschiedene Zukunftspfade miteinander zu vergleichen und Erfolgskriterien für Politikmaßnahmen zu erkennen.

Seit dem ersten Halbjahr 2024 publiziert das DIW Berlin regelmäßig Themenhefte zur sozialökologischen Transformation im DIW Wochenbericht. Im Heft 27/2024 wurden erste Ergebnisse zum Thema Haushalte und Konsum veröffentlicht. Zwei Forschungsteams gingen der Frage nach, wie Einkommensungleichheit nachhaltigen Konsum beeinflusst und zeigten auf, wie die Ernährungsgewohnheiten, das Mobilitätsverhalten und die Wohnsituation den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck deutscher Haushalte bestimmen. Unter anderem wurde deutlich, dass das Mobilitätsverhalten einen starken Einfluss auf die Höhe des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks hat. Auch gesamtwirtschaftlich haben die Emissionen aus dem Verkehrssektor mit rund 20 Prozent einen hohen Anteil an den deutschen Treibhausgasemissionen und sinken nur sehr langsam.

In diesem zweiten Themenheft zur sozial-ökologischen Transformation werden daher schwerpunktmäßig neue Forschungsergebnisse für den Verkehrssektor präsentiert. Die Berichte beleuchten zum einen die Auswirkungen von Luft-

verschmutzung des bisher emissionsintensiven Verkehrs und zum anderem die für die Verkehrswende notwendigen Veränderungen im Straßengüterverkehr.

Der erste Bericht untersucht die Auswirkungen von Feinstaubbelastung und Stickoxidemissionen des Verkehrssektors und deren Änderung durch die 2008 eingeführten Umweltzonen. Infolge der reduzierten Luftverschmutzung verbesserten sich unter anderem die schulischen Leistungen und die mentale Gesundheit der Bewohner\*innen von Umweltzonen, die zudem im Durchschnitt einen schlechteren sozioökonomischen Status haben als im deutschlandweiten Mittel. Diese Ergebnisse lassen hoffen, dass eine erfolgreiche Verkehrswende die Bildungschancen und mentale Gesundheit der städtischen Bevölkerung verbessern kann.

Im zweiten Bericht zeichnen die Autoren die Entwicklung und den aktuellen Stand bei der Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs mittels batterieelektrischer Lkw und Lkw mit Brennstoffzellen nach. Dabei wird deutlich, dass sowohl der Bestand batterieelektrischer Lkw als auch die Zahl verfügbarer Fahrzeugmodelle in Deutschland zuletzt deutlich gewachsen sind und somit die Entwicklung am Markt stark für batterieelektrische Lkw spricht. Hinzu kommen Vorteile bei Energieeffizienz, Kosten sowie bis 2030 realistisch zu erwartenden Treibhausgaseinsparungen. Ein wesentlicher Hebel für den weiteren Markthochlauf von Batterie-Lkw ist ein schneller Ausbau der Ladeinfrastruktur.

**Franziska Holz** ist stellvertretende Leiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | fholz@diw.de

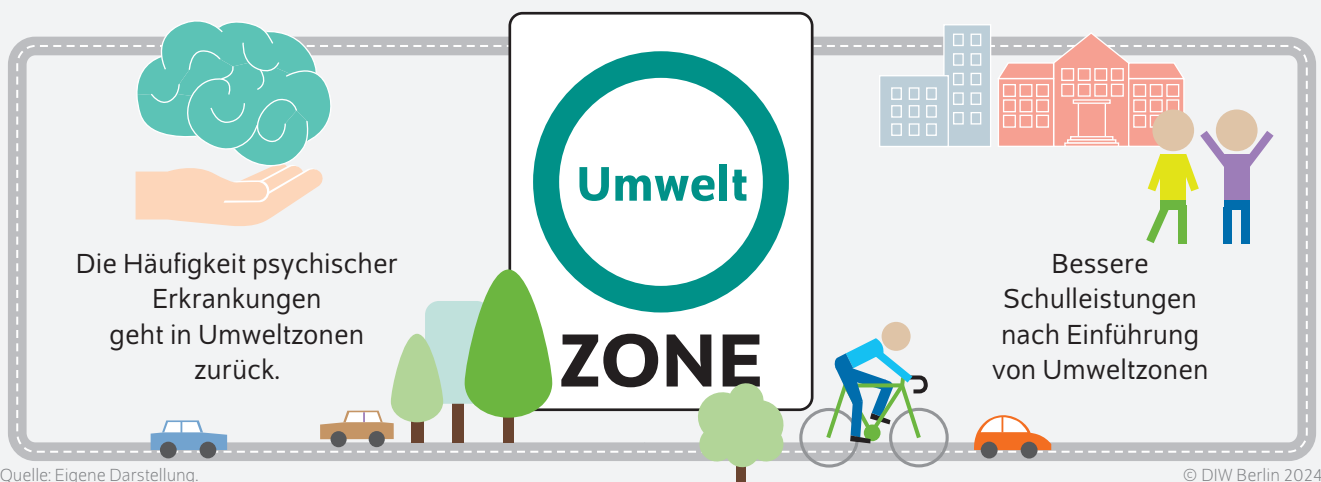
**Alexander Schiersch** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Unternehmen und Märkte im DIW Berlin | aschiersch@diw.de

## Umweltzonen in Deutschland: Emissionsbegrenzungen verbessern Bildung und psychische Gesundheit

Von Laura Schmitz, Johannes Brehm, Henri Gruhl, Robin Kottmann, Nico Pestel und Sandra Schaffner

- Ab 2008 wurden in deutschen Städten Umweltzonen eingeführt, um EU-Grenzwerte für Luftschadstoffe einzuhalten
- Bisherige Studien zeigen positive Effekte auf Luftqualität und physische Gesundheit
- Vorliegende Studie belegt kausale Effekte auf Schulerfolg und mentale Gesundheit
- Kinder in Umweltzonen weisen langfristig bessere Bildungserfolge auf, psychische Erkrankungen wie Depressionen und Angststörungen gehen zurück
- Politische Entscheidungsträger\*innen sollten Umweltmaßnahmen auch mit Blick auf soziale Aspekte stärker vorantreiben

### Bessere Luft in Umweltzonen wirkt sich positiv auf das menschliche Gehirn aus



#### ZITAT

„Umweltzonen sorgen nicht nur für bessere Luft und damit eine bessere körperliche Gesundheit der Anwohner\*innen. Sie wirken sich auch positiv auf die Bildung und die mentale Gesundheit aus.“

— Laura Schmitz —

#### MEDIATHEK



Audio-Interview mit Laura Schmitz  
[www.diw.de/mediathek](http://www.diw.de/mediathek)

# Umweltzonen in Deutschland: Emissionsbegrenzungen verbessern Bildung und psychische Gesundheit

Von Laura Schmitz, Johannes Brehm, Henri Gruhl, Robin Kottmann, Nico Pestel und Sandra Schaffner

## ABSTRACT

Diese Studie untersucht die Auswirkungen von Umweltzonen auf Schulleistungen und psychische Gesundheit in Deutschland. Auf Basis administrativer Schul- und Gesundheitsdaten belegt die Untersuchung, dass Umweltzonen nicht nur die Luftqualität verbessern, sondern auch positive soziale Effekte haben. Der Anteil der Grundschüler\*innen, die aufs Gymnasium wechseln, stieg in den betroffenen Gebieten um einen Prozentpunkt. Zudem sank die Wahrscheinlichkeit für Antidepressiva-Verschreibungen um vier Prozent (von 7,3 auf 7 Prozent), wobei die Effekte bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen besonders ausgeprägt waren. Diese Befunde verdeutlichen, dass junge Menschen in höherem Maße von besserer Luftqualität profitieren. Die Ergebnisse sind für die Gestaltung nachhaltiger Umwelt- und Sozialpolitik relevant, da sie nahelegen, dass Bemühungen zur Luftreinhaltung weitreichende gesellschaftliche Vorteile mit sich bringen. Politische Entscheidungsträger\*innen sollten daher solche Maßnahmen vorantreiben, die langfristig auch Bildung und mentaler Gesundheit zugutekommen.

Trotz erheblicher Verbesserungen der Luftqualität in den vergangenen Jahrzehnten führen Luftschadstoffe nach wie vor weltweit zu etwa sieben Millionen vorzeitigen Todesfällen pro Jahr.<sup>1</sup> Zahlreiche Studien belegen, dass Luftverschmutzung in der Bevölkerung gesundheitliche Beschwerden verursacht, insbesondere im Bereich der Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen.<sup>2</sup> Jüngere Studien deuten darauf hin, dass auch das menschliche Gehirn unter der Schadstoffbelastung leidet, was sich unter anderem an einem Abfall der kognitiven Leistung<sup>3,4</sup> und Produktivität<sup>5</sup>, wie auch an Verhaltensauffälligkeiten bei Kindern<sup>6</sup> äußert. Diese neuen Erkenntnisse rücken die Frage in den Vordergrund, inwieweit Umweltmaßnahmen nicht nur dem Umweltschutz und der körperlichen Gesundheit dienen, sondern auch andere Lebensbereiche wie Bildungschancen und Lebensqualität fördern können.

Zwar hat sich die Luftqualität in den vergangenen Jahrzehnten dank technologischer Fortschritte in der Fahrzeug- und Industrieproduktion deutlich verbessert, doch in vielen Ballungsgebieten werden nach wie vor die von der Europäischen Union (EU) festgelegten und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlenen Richtwerte für Luftqualität verfehlt. Um diese Belastungen zu reduzieren und die EU-Grenzwerte einzuhalten, führten viele Städte gebietsbezogene Fahrbeschränkungen wie Umweltzonen ein, in

<sup>1</sup> Siehe Pressemitteilung der Weltgesundheitsorganisation vom 22. September 2022: New WHO global air quality guidelines aim to save millions of lives from air pollution (online verfügbar, abgerufen am 1. November 2024, dies gilt auch für alle anderen Online-Quellen dieses Berichts, sofern nicht anders vermerkt).

<sup>2</sup> Siehe unter anderem Nico Pestel und Florian Wozny (2021): Health effects of Low Emission Zones: Evidence from German hospitals. *Journal of Environmental Economics and Management*, 109, 102512.

<sup>3</sup> James Archsmith, Anthony Heyes und Soodeh Saberian (2018): Air quality and error quantity: Pollution and performance in a high-skilled, quality-focused occupation. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 5(4), 827–863.

<sup>4</sup> Steffen Künn, Juan Palacios und Nico Pestel (2023): Indoor Air Quality and Strategic Decision Making. *Management Science* 69(9), 5354–5377.

<sup>5</sup> Tom Y. Changet al. (2019): The effect of pollution on worker productivity: evidence from call center workers in China. *American Economic Journal: Applied Economics*, 11(1), 151–72.

<sup>6</sup> Marion Mortamais et al. (2019): Effects of prenatal exposure to particulate matter air pollution on corpus callosum and behavioral problems in children. *Environmental Research*, 178, 108734.

denen nur Fahrzeuge mit bestimmten Emissionsstandards erlaubt sind. Auch in Deutschland wurden ab 2008 in mehreren Städten Umweltzonen eingerichtet, um die Luftverschmutzung durch den Straßenverkehr zu verringern. Dieser politische Schritt stieß aufgrund der potenziellen Kosten für Autofahrer\*innen sowie möglicher wirtschaftlicher Nachteile für den innerstädtischen Handel vielerorts auf Kritik.

Für eine umfassende Bewertung solcher Maßnahmen ist es entscheidend, nicht nur die direkten Effekte auf die Luftqualität, sondern auch die indirekten sozialen Auswirkungen zu berücksichtigen. Dieser Wochenbericht untersucht erstmals die Effekte von Umweltzonen auf zwei gesellschaftlich besonders relevante Bereiche: Bildung und psychische Gesundheit.<sup>7</sup> Anhand administrativer Schul- und Krankenkassendaten und mittels ökonomischer Analysen wird untersucht, wie sich die Einführung von Umweltzonen auf Schulerfolg und mentale Gesundheit auswirkt – beides zentrale Faktoren für den sozialen und wirtschaftlichen Fortschritt einer Gesellschaft.

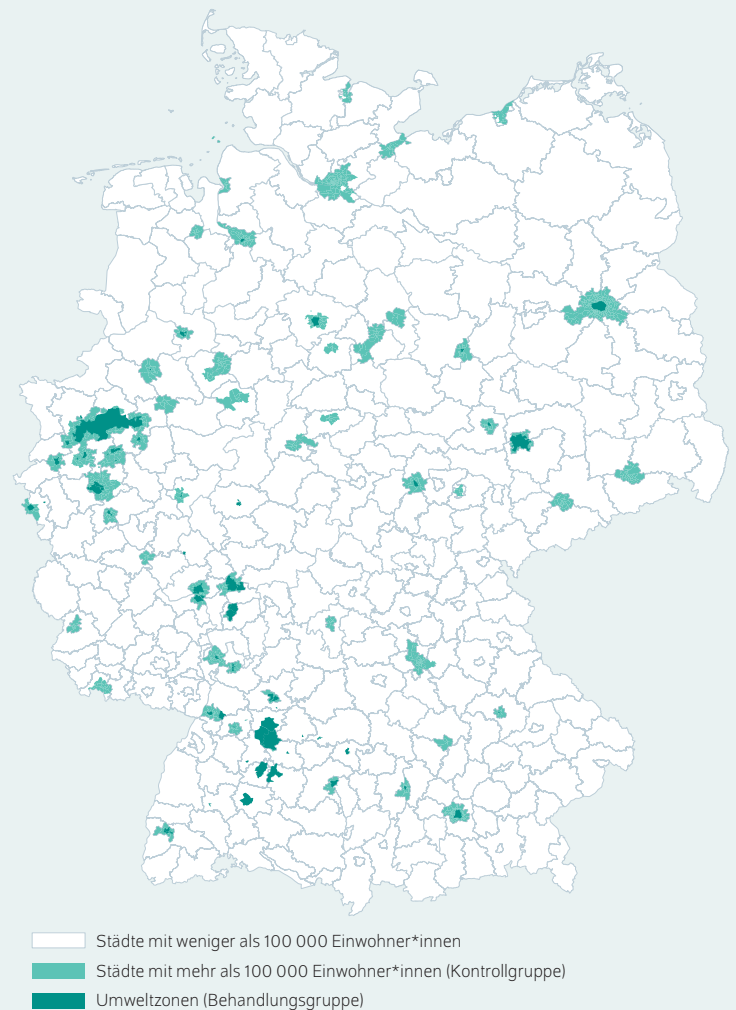
**Zahl der Umweltzonen in Deutschland geht zurück**

Die Luftverschmutzung in Städten wird vor allem durch Feinstaub (PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>) und Stickoxide (NO<sub>x</sub>) verursacht. Diese Partikel können aufgrund ihres teils mikroskopisch kleinen Umfangs tief in die Atemwege eindringen und schwerwiegende gesundheitliche Probleme auslösen.<sup>8</sup> Der Straßenverkehr spielt dabei eine zentrale Rolle: Fahrzeuge, besonders solche mit Dieselantrieb, stoßen große Mengen an Stickoxiden aus.<sup>9</sup> 2012 stufte die WHO Staubpartikel, die bei der Verbrennung von Diesel entstehen, als „sicher krebserregend“ ein.<sup>10</sup> Umweltzonen greifen als politische Maßnahme, indem sie die Zufahrt zu bestimmten Stadtgebieten für Fahrzeuge mit hohen Emissionen beschränken.

Die Einführung von Umweltzonen in Deutschland erfolgte im Rahmen der EU-Richtlinie 2008/50/EG, die Grenzwerte für Luftschadstoffe festlegte und die Mitgliedstaaten verpflichtete, Maßnahmen zu ergreifen, wenn diese überschritten wurden. Ab 2008 wurden die ersten Umweltzonen in Städten wie Berlin, Köln und Hannover eingerichtet. Fahrzeuge in diesen Zonen müssen eine entsprechende Plakette tragen, die auf den Emissionsstandards basiert. Heute dürfen nur Fahrzeuge mit einer grünen Plakette uneingeschränkt in Umweltzonen fahren. Bis 2019 wurden in Deutschland insgesamt 58 Umweltzonen eingerichtet (Abbildung 1). In den letzten Jahren ist jedoch ein rückläufiger Trend zu

Abbildung 1

**Umweltzonen und Großstädte in Deutschland**



Anmerkung: Die Abbildung zeigt die Behandlungs- und Kontrollgruppe auf Kreisebene. Die Behandlungsgruppe wird in ihrer größten Ausdehnung im Jahr 2018 dargestellt.

Quellen: OpenStreetMap.org; eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2024

Bis 2019 wurden in Deutschland insgesamt 58 Umweltzonen eingerichtet.

verzeichnen: 2023 und 2024 wurden in Baden-Württemberg in Städten wie Heidelberg und Heilbronn mehrere Umweltzonen wieder aufgehoben. Im Jahr 2024 sind in Deutschland noch 38 Umweltzonen in Kraft. Obwohl die alten EU-Grenzwerte von 2008<sup>11</sup> mittlerweile nur noch selten überschritten werden, hat die EU dieses Jahr eine Revision der Richtlinie beschlossen, die neue und strengere Ziel- und Grenzwerte ab 2030 vorsieht (Tabelle 1). Diese basieren auf den

<sup>7</sup> Dem Wochenbericht liegen zwei Arbeitspapiere zugrunde: Johannes Brehmet et al. (2022): From low emission zone to academic track: Environmental policy effects on educational achievement in elementary school Ruhr Economic Papers Nr. 980; und Johannes Brehmet et al. (2024): Low depression zones? The effect of driving restrictions on air pollution and mental health Ruhr Economic Papers Nr. 1093.

<sup>8</sup> Bert Brunekreef und Stephen T. Holgate (2002): Air pollution and health. The Lancet, 360(9341), 1233–1242.

<sup>9</sup> Laut Umweltbundesamt verursachen Diesel-Pkw rund 65 Prozent der direkten Stickstoffdioxid-Emissionen des Straßenverkehrs, siehe Webseite des Umweltbundesamtes.

<sup>10</sup> Siehe Pressemitteilung der WHO vom 12. Juni 2012 (online verfügbar).

<sup>11</sup> Die EU-Grenzwerte aus dem Jahr 2010 für PM<sub>10</sub> betragen 40 µg/m<sup>3</sup> im Jahresmittel und 50 µg/m<sup>3</sup> im Tagesmittel, mit maximal 35 erlaubten Überschreitungen pro Jahr. Für PM<sub>2,5</sub> lag der Jahresmittelwert bei 25 µg/m<sup>3</sup>, während für NO<sub>x</sub> ein Jahresmittelwert von 40 µg/m<sup>3</sup> und ein stündlicher Grenzwert von 200 µg/m<sup>3</sup> (mit maximal 18 erlaubten Überschreitungen pro Jahr) festgelegt war.

Tabelle 1

**Alte und neue EU-Jahresgrenzwerte und WHO-Richtlinien zur Luftverschmutzung**

|                                   | PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) | PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--|
| EU-Jahresgrenzwerte 2008          | 40                                    | 40                                   | 25                                     |
| Neue EU-Jahresgrenzwerte für 2030 | 20                                    | 20                                   | 10                                     |
| WHO-Richtlinie 2021               | 15                                    | 10                                   | 5                                      |

Anmerkung: Die EU-Grenzwerte von 2008 umfassen neben den Jahresmittelwerten auch Tagesmittelwerte von 50 µg/m<sup>3</sup> für PM<sub>10</sub> (maximal 35 Überschreitungen pro Jahr erlaubt) und stündliche Grenzwerte von 200 µg/m<sup>3</sup> für NO<sub>2</sub> (maximal 18 Überschreitungen pro Jahr erlaubt).

Quellen: WHO, Darstellung basierend auf Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa (online verfügbar).

© DIW Berlin 2024

Tabelle 2

**Umweltzonen im Vergleich zu sonstigen städtischen Gebieten in Deutschland**

|  | Umweltzonen | Sonstige städtische Gebiete |
|--|-------------|-----------------------------|
| <b>Sozioökonomische Merkmale</b>   |             |                             |
| Kaufkraft pro Kopf (in Euro)   | 20 456,8    | 21 291,1                    |
| Arbeitslosenquote (in Prozent)   | 9,7         | 8,5                         |
| Anteil Bewohner*innen mit ausländischer Staatsangehörigkeit (in Prozent)     | 20,3        | 14,9                        |
| Anteil Kinder (in Prozent)   | 22,9        | 23,1                        |
| <b>Luftverschmutzung</b>   |             |                             |
| PM <sub>10</sub> (in µg/m <sup>3</sup> )                                     | 24,3        | 22,3                        |
| NO <sub>2</sub> (in µg/m <sup>3</sup> )                                      | 41,5        | 26,9                        |
| PM <sub>2,5</sub> (in µg/m <sup>3</sup> )                                    | 13,9        | 13,6                        |
| <b>Ergebnisvariablen</b>   |             |                             |
| <b>Bildung</b>   |             |                             |
| Anteil der Grundschüler*innen, die auf ein Gymnasium wechselten (in Prozent) | 38,2        | 40,0                        |
| <b>Mentale Gesundheit</b>  |             |                             |
| Anteil an Bewohner*innen, die...   |             |                             |
| ... an einer Depression leiden (in Prozent)                                  | 7,0         | 6,8                         |
| ... an einer Angststörung leiden (in Prozent)                                | 5,9         | 6,4                         |
| ... Antidepressiva einnehmen (in Prozent)                                    | 7,2         | 7,1                         |
| ... in psychotherapeutischer Behandlung sind (in Prozent)                    | 6,2         | 6,3                         |

Anmerkung: Sonstige städtische Gebiete umfassen Städte mit mindestens 100 000 Einwohner\*innen. Eigene Darstellung, 2005–2019.

Quellen: Sozioökonomische Daten auf 1km x 1km-Rasterzelebene von RWI-GEO-GRID, Luftverschmutzungsdaten des Umweltbundesamtes, administrativen Schul- und Krankenkassendaten.

© DIW Berlin 2024

Empfehlungen der WHO<sup>12</sup> und zielen darauf ab, die Luftqualität weiter zu verbessern und die Gesundheitsrisiken durch Luftverschmutzung zu minimieren. Insbesondere in deutschen Großstädten werden zusätzliche Maßnahmen zur Reduzierung von Emissionen notwendig sein, um die neuen Vorgaben bis 2030 zu erfüllen (Abbildung 2).

<sup>12</sup> Diese Aktualisierung der Air Quality Guidelines (AQGs) hatte die WHO bereits 2021 auf Basis der wissenschaftlichen Evidenz zu den gesundheitlichen Effekten von Luftverschmutzung erstellt.

Gebiete, in denen Umweltzonen eingeführt wurden, sind im Vergleich zu sonstigen städtischen Gebieten in Deutschland tendenziell sozioökonomisch benachteiligt und weisen eine höhere Luftverschmutzung auf (Tabelle 2).

**Luftverschmutzung beeinträchtigt Gehirnfunktion**

Die medizinische Forschung zeigt, dass Luftverschmutzung nicht nur Atemwege und das Herz-Kreislauf-System belastet, sondern auch signifikante Auswirkungen auf das menschliche Gehirn hat.<sup>13</sup> Feinstaub und Stickoxide lösen entzündliche Prozesse aus, die sowohl kurzfristige kognitive Beeinträchtigungen als auch langfristige neurologische Schäden verursachen können.<sup>14</sup> Besonders betroffen sind Kinder, deren Gehirne sich noch in der Entwicklung befinden,<sup>15</sup> sowie ältere Erwachsene, bei denen die Belastung das Risiko für neurodegenerative Erkrankungen wie Demenz und Alzheimer erhöht.<sup>16</sup> Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>) spielt dabei eine zentrale Rolle: Diese besonders kleinen Partikel gelangen über die Lunge in den Blutkreislauf und können so das Gehirn erreichen und dort Entzündungen auslösen. Diese Entzündungen schädigen neuronale Verbindungen und beeinträchtigen kognitive Funktionen wie Aufmerksamkeit, Gedächtnis und Lernfähigkeit.<sup>17</sup> Stickoxide reduzieren zudem die Sauerstoffversorgung des Gehirns und sorgen so für kognitive Beeinträchtigungen.<sup>18</sup>

Die meisten dieser Studien zeigen jedoch lediglich einen korrelativen Zusammenhang auf. Die komplexen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Umweltfaktoren, sozioökonomischen Einflüssen und individuellen gesundheitlichen Voraussetzungen erschweren es, klar festzustellen, ob die beobachteten gesundheitlichen Auswirkungen direkt durch die Luftverschmutzung verursacht werden oder ob sie das Ergebnis anderer, miteinander verwobener Faktoren sind. Hier setzt die vorliegende Studie an, indem umfangreiche neue Datenquellen erschlossen und mittels ökonomischer Analysen (Kasten 1) ausgewertet werden, um die kausalen Effekte der Verbesserung der Luftqualität durch die Einführung von Umweltzonen zu identifizieren.

<sup>13</sup> Clara G. Zundel et al. (2022): Air pollution, depressive and anxiety disorders, and brain effects: A systematic review. *NeuroToxicology*, 93, 272–300 (online verfügbar).

<sup>14</sup> Rubén D. Arias-Pérez et al. (2020): Inflammatory effects of particulate matter air pollution. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), 42390–42404.

<sup>15</sup> Lilian Calderón-Garcidueñas et al. (2015): Air pollution and children: Neural and tight junction antibodies and combustion metals, the role of barrier breakdown and brain immunity in neurodegeneration. *Journal of Alzheimer's disease*, 43(3), 1039–1058.

<sup>16</sup> Kelly Bishop, Jonathan D. Ketcham and Nicolai V. Kuminoff (2023): Hazed and confused: The effect of air pollution on dementia. *Review of Economic Studies*, 90(5), 2188–2214.

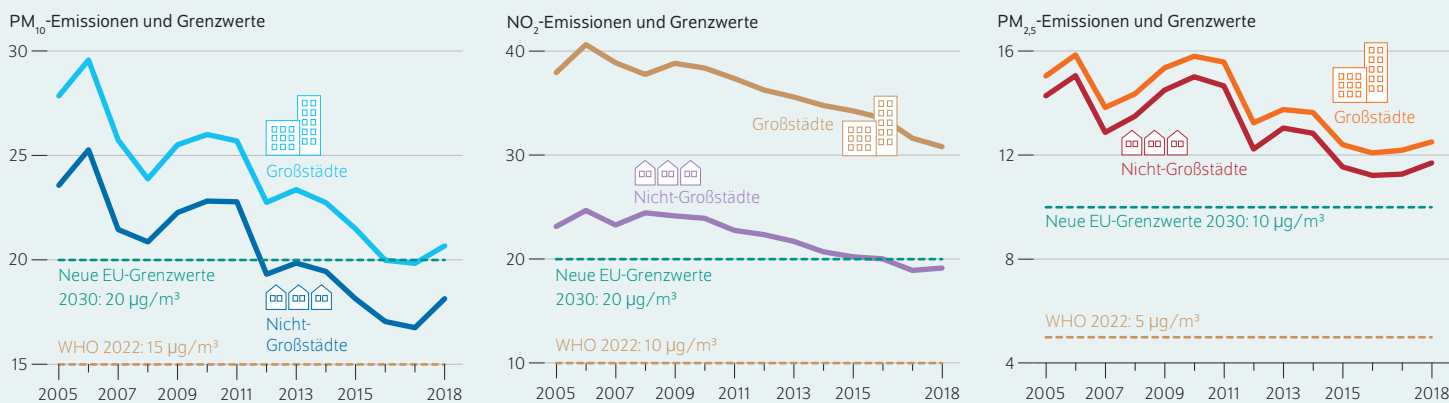
<sup>17</sup> Mengwen Ye et al. (2023): Progress in mechanisms, pathways and cohort studies about the effects of PM<sub>2,5</sub> exposure on the central nervous system. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 261(1), 7.

<sup>18</sup> Michele Salvagno et al. (2024): Oxidative Stress and Cerebral Vascular Tone: The Role of Reactive Oxygen and Nitrogen Species. *International journal of molecular sciences*, 25(5), 3007.

Abbildung 2

**Entwicklung der Schadstoffemissionen in und außerhalb von Großstädten (mehr als 100 000 Einwohner\*innen) im Vergleich zu EU- und WHO-Richtlinien**

In  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



Quelle: Daten des Umweltbundesamts, eigene Darstellung.

© DIW Berlin 2024

Um die neuen EU-Vorgaben zur Schadstoffreduktion zu erreichen, müssen zusätzliche Maßnahmen umgesetzt werden.

**Umweltzonen verringern verkehrsbedingte Luftverschmutzung**

Zunächst untersucht die Studie, inwiefern die Einführung von Umweltzonen die Luftqualität in deutschen Städten verbessert hat. Zur Messung der Luftqualität werden verschiedene Datenquellen genutzt (Kasten 2). Das Umweltbundesamt betreibt ein landesweites Netzwerk von Messstationen, die kontinuierlich Schadstoffkonzentrationen wie Feinstaub (PM<sub>10</sub>) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) erfassen. Frühere Studien haben bereits belegt, dass Umweltzonen ein wirksames Mittel zur Reduzierung der Luftverschmutzung sind.<sup>19</sup> Aufbauend darauf zeigt die vorliegende Studie, dass Umweltzonen die Konzentrationen von Feinstaub (PM<sub>10</sub>) um durchschnittlich 10,4 Prozent und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) um 15,3 Prozent im Vergleich zur Kontrollgruppe senken konnten.<sup>20</sup> Erstmals werden in dieser Studie zusätzlich satellitengestützte Schätzungen der Feinstaubkonzentration (PM<sub>2,5</sub>) zur Analyse herangezogen. Die Untersuchung ergibt, dass Umweltzonen auch die PM<sub>2,5</sub>-Belastung um 3,1 Prozent reduzieren konnten, auch wenn dieser Effekt weniger stark ausgeprägt ist als bei PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub> (Abbildung 3). Hier könnte der tatsächliche Effekt möglicherweise unterschätzt werden, da Satellitendaten im Vergleich zu den stationären Daten des Umweltbundesamts eine geringere Präzision bei lokal variierenden Schadstoffkonzentrationen bieten.

<sup>19</sup> Luis Sarmiento, Nicole Wäagner und Aleksandar Zaklan (2022): Umweltzonen verbessern Luftqualität und Gesundheit, verringern aber temporär Lebenszufriedenheit. DIW Wochenbericht Nr. 89 (13), 203–211 (online verfügbar).

<sup>20</sup> Dies deckt sich mit den Ergebnissen früherer Studien, z. B. Nico Pestel und Nico Wozny (2021): Health effects of Low Emission Zones: Evidence from German hospitals. Journal of Environmental Economics and Management, 109, 102512.

**Weniger Schadstoffe wirken sich positiv auf Schulerfolg aus**

Anschließend wird in der Studie untersucht, inwiefern sich die Einführung von Umweltzonen und die damit verbundene geringere Schadstoffbelastung auf den Bildungserfolg von Schüler\*innen ausgewirkt hat. Dabei werden administrative Schuldaten aus Nordrhein-Westfalen verwendet, die die Schulübergangsraten von Grundschüler\*innen auf weiterführende Schulen im Zeitraum von 2005 bis 2018 dokumentieren (Kasten 2). Als zentrale abhängige Variable dient die Übergangsrate auf das Gymnasium, die in der deutschen Bildungslandschaft eine entscheidende Rolle spielt, da sie maßgeblich über die langfristigen Bildungschancen und späteren beruflichen Perspektiven eines Kindes bestimmt.<sup>21</sup>

Vor der Schaffung von Umweltzonen gingen in den betroffenen Gebieten weniger Grundschüler\*innen zum Gymnasium als in der Kontrollgruppe, was auf sozioökonomische Unterschiede in der Zusammensetzung der Schüler\*innenschaft zurückzuführen ist (Tabelle 2). Diese Differenzen verringerten sich jedoch nach der Einführung der Umweltzonen (Abbildung 5). Insgesamt erhöhte sich die Übergangsrate auf das Gymnasium in Umweltzonen um etwa einen Prozentpunkt, von 38,9 auf 39,9 Prozent. Dies könnte darauf hindeuten, dass – wie es die medizinische Forschung nahelegt – die Lernfähigkeit durch bessere Luftqualität positiv beeinflusst wurde.

Weiterführende Analysen zeigen, dass Kinder, die in Umweltzonen leben, seltener an Atemwegsinfektionen erkranken. Dies deutet darauf hin, dass eine bessere Gesundheit und

<sup>21</sup> Christian Dustmann, Patrick A. Puhani und Uta Schonberg (2017): The long-term effects of early track choice. The Economic Journal, 127, 1348–1380.

Kasten 1

**Differenz-von-Differenzen-Ansatz**

Die Analyse der Effekte von Umweltzonen auf Bildungs- und Gesundheitsergebnisvariablen in den diesem Wochenbericht zugrunde liegenden Studien basiert auf einem Differenz-von-Differenzen (DvD)-Ansatz. Er ermöglicht es, die kausalen Effekte der Umweltzonen zu isolieren, indem zwei Gruppen verglichen werden: eine Behandlungsgruppe, die von der Einführung der Umweltzonen betroffen ist, und eine Kontrollgruppe, die nicht betroffen ist. Die Veränderungen der betrachteten Variablen (Schulübergangsquoten beziehungsweise Gesundheitsindikatoren) werden vor und nach der Einführung der Umweltzonen in beiden Gruppen analysiert.

Die DvD-Methode setzt voraus, dass sich die Ergebnisse der beiden Gruppen ohne Intervention parallel entwickelt hätten („parallel trend assumption“). Um Verzerrungen zu vermeiden, werden Kontrollgruppen ausgewählt, die in ihrer sozioökonomischen und regionalen Struktur möglichst ähnlich zur Behandlungsgruppe sind. In diesem Fall besteht die Kontrollgruppe aus großen Städten mit über 100 000 Einwohner\*innen,<sup>1</sup> da Umweltzonen mehrheitlich in Großstädten eingeführt wurden. Zudem werden Kreis-Jahres-Trends und kleinräumige sozioökonomische Variablen berücksichtigt, um mögliche Veränderungen der gesellschaftlichen Zusammensetzungen in- und außerhalb der Umweltzonen herauszurechnen.<sup>2</sup>

In dieser Analyse kommen erweiterte DvD-Modelle zum Einsatz, die speziell die schrittweise Einführung der Umweltzonen und mögliche dynamische Effekte abbilden.<sup>3</sup> Da Umweltzonen über mehrere Jahre hinweg sukzessive eingeführt wurden, wird die zeitliche Staffelung berücksichtigt. Es wird erwartet, dass Anpassungen wie ein verändertes Mobilitätsverhalten oder der verstärkte Kauf emissionsarmer Fahrzeuge zu zeitlich variierenden Effekten auf die analysierten Ergebnisse führen können.

1 Abbildung 1.

2 Zusätzliche Spillover-Analysen zeigen, dass die Effektgröße nicht durch Spillovers von der Behandlungsgruppe in die Kontrollgruppe verzerrt werden, siehe Brehm et al. (2022), a.a.O. und Brehm et al. (2024), a.a.O.

3 Clément De Chaisemartin und Xavier d'Haultfoeuille (2024): Difference-in-differences estimators of intertemporal treatment effects. *Review of Economics and Statistics*, 1–45 und Liyang Sun und Sarah Abraham (2021): Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects. *Journal of Econometrics*, 225(2), 175–199.

die damit verbundene Verringerung von Krankheitstagen – neben möglichen direkten Effekten auf die kognitive Leistung – ein Mechanismus sein könnte, durch den Umweltzonen den Bildungserfolg fördern.<sup>22</sup> Weitere Heterogenitätsanalysen zeigen, dass die Effekte bei Jungen und in sozioökonomisch benachteiligten Gebieten etwas

22 Dass sich Umweltzonen positiv auf die Gesundheit von Kindern auswirken, zeigen auch Hannah Klauber et al. (2024): Killing prescriptions softly: Low emission zones and child health from birth to school. *American Economic Journal: Economic Policy*, 16, 220–248.

ausgeprägter sind, was darauf schließen lässt, dass Umweltzonen auch zur Verringerung von Bildungsungleichheiten beitragen dürften. Der stärkere Effekt bei Jungen könnte darauf zurückzuführen sein, dass diese im Kindesalter anfälliger für Atemwegserkrankungen sind.<sup>23</sup>

**Auch die mentale Gesundheit verbessert sich**

Zuletzt untersucht die Studie, inwiefern sich die geringere Schadstoffbelastung durch die Einführung von Umweltzonen auf die psychische Gesundheit der Bevölkerung ausgewirkt hat. Dabei werden anonymisierte Gesundheitsdaten einer großen deutschen Krankenkasse verwendet, die Diagnosen von Depressionen und Angststörungen sowie die Zahl entsprechender Behandlungen und Verschreibungen im Zeitraum von 2005 bis 2019 dokumentieren (Kasten 2). Als zentrale abhängige Variablen dienen die Wahrscheinlichkeit einer Diagnose von Depressionen oder Angststörungen sowie die Häufigkeit von Medikamentenverschreibungen und Facharztbesuchen.

Die Häufigkeit psychischer Erkrankungen in Gebieten mit Umweltzonen geht im Vergleich zur Kontrollgruppe deutlich zurück (Abbildung 5). Die Ergebnisse belegen eine statistisch signifikante Reduktion der Wahrscheinlichkeit von Antidepressiva-Verschreibungen um vier Prozent, was einer Verringerung von 7,3 auf sieben Prozent entspricht. Zugleich sinkt die Wahrscheinlichkeit, eine\*n Spezialist\*in aufzusuchen, um 5,7 Prozent (Inzidenz sinkt von 6,2 auf 5,9 Prozent). Auch die Wahrscheinlichkeit der Diagnose einer psychischen Erkrankung geht zurück: Depressionen verringern sich um 3,5 Prozent und Angststörungen um 4,2 Prozent. Diese Effekte sind vergleichbar mit den gesundheitlichen Auswirkungen von Umweltzonen auf Herz-Kreislaufkrankungen die in früheren Studien gezeigt wurden.<sup>24</sup>

Zudem finden sich etwas größere Effekte auf die Intensität der Behandlung: So sinkt etwa die Anzahl der Facharztbesuche um 7,4 Prozent, was darauf hindeutet, dass durch die Einführung von Umweltzonen auch die Intensität psychischer Probleme verringert wurde. Besonders starke Effekte zeigen sich bei jungen Menschen zwischen 15 und 29 Jahren (Abbildung 5). Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass entzündliche Reize während der Gehirnentwicklung intensiver wirken.<sup>25</sup> Zudem sind Kinder und Jugendliche aufgrund ihres höheren Atemvolumens im Verhältnis zur Körpergröße und ihrer weniger entwickelten Abwehrmechanismen in der Lunge anfälliger für Luftschadstoffe.<sup>26</sup> Dieser Befund – dass Luftverschmutzung besonders jungen Menschen schadet – steht im Einklang mit der Literatur zu den

23 D.S. Postma (2007) Gender differences in asthma development and progression. *Gender medicine*, 4, S133–S146.

24 Klauber et al. (2024), a. a. O. und Pestel et al. (2021), a. a. O.

25 Susanna Roberts et al. (2019): Exploration of NO<sub>2</sub> and PM<sub>2.5</sub> air pollution and mental health problems using high-resolution data in london-based children from a UK longitudinal cohort study. *Psychiatry research*, 272, 8–17.

26 Sam Brockmeyer und Amedeo d'Angiulli (2016): How air pollution alters brain development: The role of neuroinflammation. *Translational neuroscience*, 7 (1), 24–30.

Kasten 2

Datengrundlage

Die Daten zur Einführung der Umweltzonen in Deutschland stammen vom Umweltbundesamt (UBA), während die geografische Abdeckung der Zonen auf Informationen von OpenStreetMap.org basiert. Die Luftqualitätseffekte werden anhand täglicher Schadstoffwerte (PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub>) des UBA, erhoben zwischen 2005 und 2018 an über 650 Messstationen, analysiert. Ergänzend werden Satellitendaten zu Feinstaub mit einem Durchmesser von weniger als 2,5 Mikrometern (PM<sub>2,5</sub>) in die Analyse einbezogen.<sup>1</sup>

Für die Bildungseffekte werden Schulübergangsquoten von Grundschulen in Nordrhein-Westfalen zwischen 2005 und 2018 genutzt, wobei die Übertrittsrate auf das Gymnasium als zentraler Indikator für den langfristigen Bildungserfolg dient. Schulstandorte wurden mit der geografischen Abdeckung der Umweltzonen abgeglichen, um zu bestimmen, ob eine Schule innerhalb einer Umweltzone liegt. Insgesamt besteht die Stichprobe aus 3 464 Grundschulen in NRW. Ergänzend dazu werden Daten auf Kreisebene aus ganz Deutschland ausgewertet.

Die Analyse der Auswirkungen auf die mentale Gesundheit basiert auf anonymisierten Daten einer großen deutschen Krankenkasse. Diese Daten umfassen unter anderem Diagnosen zu Depressionen und Angststörungen, Verschreibungen von Antidepressiva sowie Facharztbesuche bei Psychotherapeut\*innen und Psychiater\*innen. Diagnosen wurden nach ICD-10-GM klassifiziert<sup>2</sup>, Verschreibungen nach dem ATC-System.<sup>3</sup> Die Stichprobe besteht aus Personen im Alter von 15 bis 65 Jahren, die zwischen 2005 und 2019 versichert waren. Personen, die während des Untersuchungszeitraums ihren Wohnsitz wechselten, wurden ausgeschlossen, um Verzerrungen zu vermeiden. Aus Datenschutz- und Rechenaufwandsgründen werden die Individualdaten auf das Postleitzahlen-Jahr-Niveau aggregiert, woraus sich eine Stichprobengröße von 20 070 Postleitzahlengebieten mit insgesamt über zwei Millionen versicherten Personen ergibt. Zusätzlich werden sozioökonomische Daten auf ein Kilometer mal ein Kilometer-Rasterzelebene (RWI-GEO-GRID<sup>4</sup>) sowie Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes in die Analysen integriert.

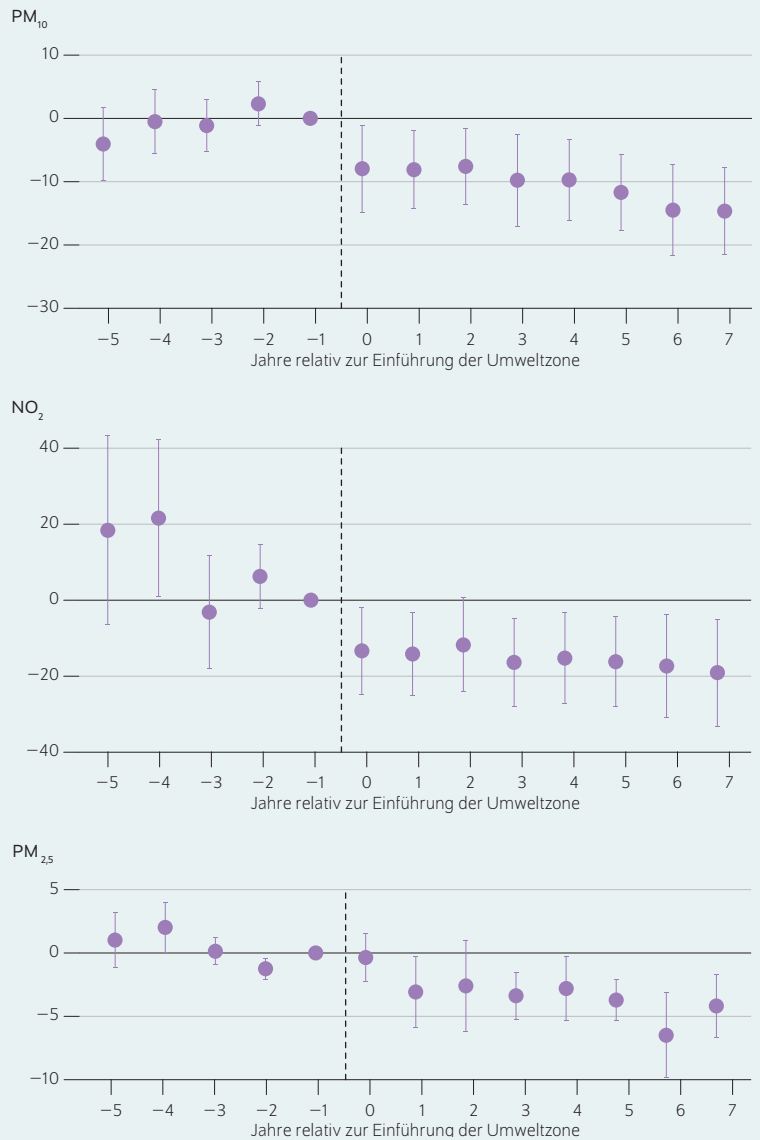
- 1 Aaron van Donkelaar et al. (2021): Monthly global estimates of fine particulate matter and their uncertainty. *Environmental Science & Technology*, 55(22), 15287–15300.
- 2 Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (online verfügbar).
- 3 ATC-Klassifikation (online verfügbar).
- 4 RWI-GEO-GRID: Socio-Economic Data on grid level (online verfügbar).

langfristigen gesundheitlichen Folgen einer frühen Belastung durch Luftverschmutzung<sup>27</sup> und korrespondiert mit den

<sup>27</sup> Kenneth Chay und Michael Greenstone (2003): The impact of air pollution on infant mortality: Evidence from geographic variation in pollution shocks induced by a recession. *The Quarterly Journal of Economics*, 118(3), 1121–1167.

Abbildung 3

**Effekt der Einführung von Umweltzonen auf Luftverschmutzung**  
Veränderung in Prozent



Anmerkung: Die Abbildung zeigt die dynamischen Effekte von Umweltzonen auf die jährlichen Werte für groben Feinstaub (PM<sub>10</sub>) und Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) aus Messstationen sowie feinen Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>) basierend auf satellitengestützten, validierten Schätzungen in logarithmierter Form. Die Effekte wurden mit dem Schätzverfahren von Sun und Abraham (2021) a.a.O. berechnet und werden zusammen mit 95 Prozent-Konfidenzintervallen dargestellt. Die Hypothese eines gemeinsamen Trends in beiden Gruppen vor der Einführung von Umweltzonen kann nicht verworfen werden.

Quellen: Bundesumweltamt (Schätzungen zu PM<sub>10</sub> und NO<sub>2</sub>), van Donkelaar et al. (2021) (Schätzungen zu PM<sub>2,5</sub>).

© DIW Berlin 2024

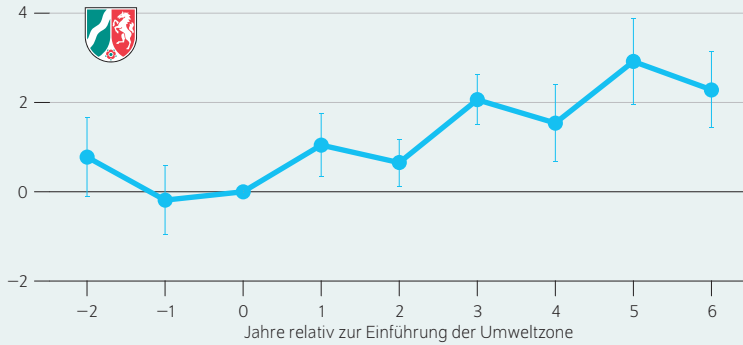
In Umweltzonen geht die Belastung mit Feinstaub und Stickstoffdioxid zurück.

in dieser Studie dargestellten positiven Effekten auf den Bildungserfolg von Grundschüler\*innen.

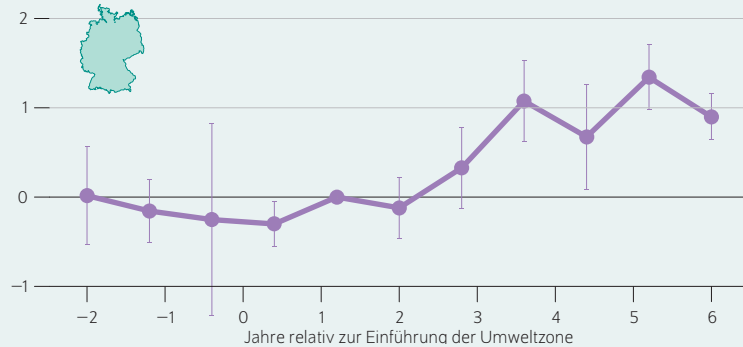
Abbildung 4

**Effekt der Einführung von Umweltzonen auf die Übergangsquoten zum Gymnasium in NRW und Gesamtdeutschland**  
 Übergangsrate zum Gymnasium, in Prozentpunkten

Analyse auf Schulebene, Nordrhein-Westfalen



Analyse auf Kreisebene, Gesamtdeutschland



Anmerkung: Die Abbildung zeigt die dynamischen Differenz-von-Differenzen-Schätzungen für den Effekt der Einführung von Umweltzonen auf die schulbezogenen Übergangsquoten zum Gymnasium. Die erste Abbildung bezieht sich auf Grundschulen in Großstädten (mehr als 100 000 Einwohner\*innen) in NRW, die zweite auf kreisfreie Städte in ganz Deutschland. Die Schätzung enthält zeitvariable wirtschaftliche und demografische Kontrollvariablen (Kaufkraft pro Kopf, Arbeitslosenquote, Ausländerquote, Anteil der Haushalte mit Kindern). Die Effekte wurden mit dem Schätzverfahren von De Chaisemartin und d'Haultfoeuille (2024) berechnet und werden zusammen mit 95 Prozent-Konfidenzintervallen dargestellt. Die Hypothese eines gemeinsamen Trends in beiden Gruppen vor der Einführung von Umweltzonen kann nicht verworfen werden.

Quelle: Amtliche Schuldaten der Statistikämter der Bundesländer.

© DIW Berlin 2024

Die Einführung von Umweltzonen wirkt sich positiv auf den Bildungserfolg aus.

**Fazit: Umweltmaßnahmen haben auch positive soziale Effekte**

Die Ergebnisse dieser Studie zur Wirkung von Umweltzonen auf Schulleistungen und psychische Gesundheit verdeutlichen die weitreichenden gesellschaftlichen Vorteile solcher Maßnahmen. Umweltzonen, die ursprünglich zur Reduzierung der Luftverschmutzung und zum Schutz der physischen Gesundheit eingeführt wurden, zeigen signifikant positive Effekte auf den Bildungserfolg von Grundschüler\*innen und die mentale Gesundheit der Bevölkerung. Die Verringerung von Feinstaub und anderen Luftschadstoffen

führt nicht nur zu einem Rückgang von Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen, sondern auch zu verbesserten kognitiven Fähigkeiten und einem geringeren Risiko für psychische Erkrankungen wie Depressionen und Angststörungen. Ein zentraler Befund der Studie ist, dass besonders Kinder und junge Menschen von der besseren Luftqualität profitieren.

Diese Ergebnisse sind damit relevant für die aktuellen Debatten in der Bildungs- und Gesundheitspolitik sowie für eine nachhaltige städtische Umweltpolitik. Deutschland steht hier vor großen Herausforderungen: So schnitten deutsche Schüler\*innen in der PISA-Studie 2022 schlechter ab als jemals zuvor,<sup>28</sup> und insbesondere bei Kindern und Jugendlichen wird zunehmend häufiger eine Depression diagnostiziert.<sup>29</sup> Gleichzeitig wohnen immer mehr Menschen und vor allem junge Menschen in Städten. Besonders in sozioökonomisch benachteiligten Gebieten, die überproportional unter hoher Schadstoffbelastung leiden, könnte eine bessere Luftqualität Ungleichheiten im Bildungs- und Gesundheitswesen reduzieren. Kinder aus diesen Familien haben bekanntermaßen geringere Bildungschancen<sup>30</sup> und ein höheres Risiko, an Depressionen zu erkranken.<sup>31</sup>

Politische Entscheidungsträger\*innen können aus diesen Erkenntnissen wichtige Schlüsse ziehen. So sollten Umweltmaßnahmen nicht nur aus einer Umwelt- und Gesundheitsperspektive betrachtet werden, sondern auch hinsichtlich ihrer Vorteile für das gesellschaftliche Wohl und die Bildungschancen. Dies ist besonders relevant angesichts der jüngsten Entwicklungen in Baden-Württemberg, wo bereits Umweltzonen aufgehoben wurden. Da die überarbeitete EU-Luftqualitätsrichtlinie strengere Grenzwerte für Feinstaub und Stickoxide vorsieht, sind weitere ambitionierte Maßnahmen zur Luftreinhaltung zu erwarten. In diesem Zusammenhang könnte die Reduzierung von Emissionen des Verkehrssektors neben dem Klimaschutz erhebliche gesundheitliche und soziale Vorteile bringen. Politische Entscheidungsträger\*innen sollten nicht nur kurzfristige wirtschaftliche Aspekte abwägen, sondern auch die langfristigen sozialen und gesundheitlichen Vorteile einer nachhaltigen Verkehrspolitik einbeziehen – da diese letztlich auch den wirtschaftlichen Interessen des Landes zugutekommen.

<sup>28</sup> OECD (2023): PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education, PISA. OECD Publishing (online verfügbar).

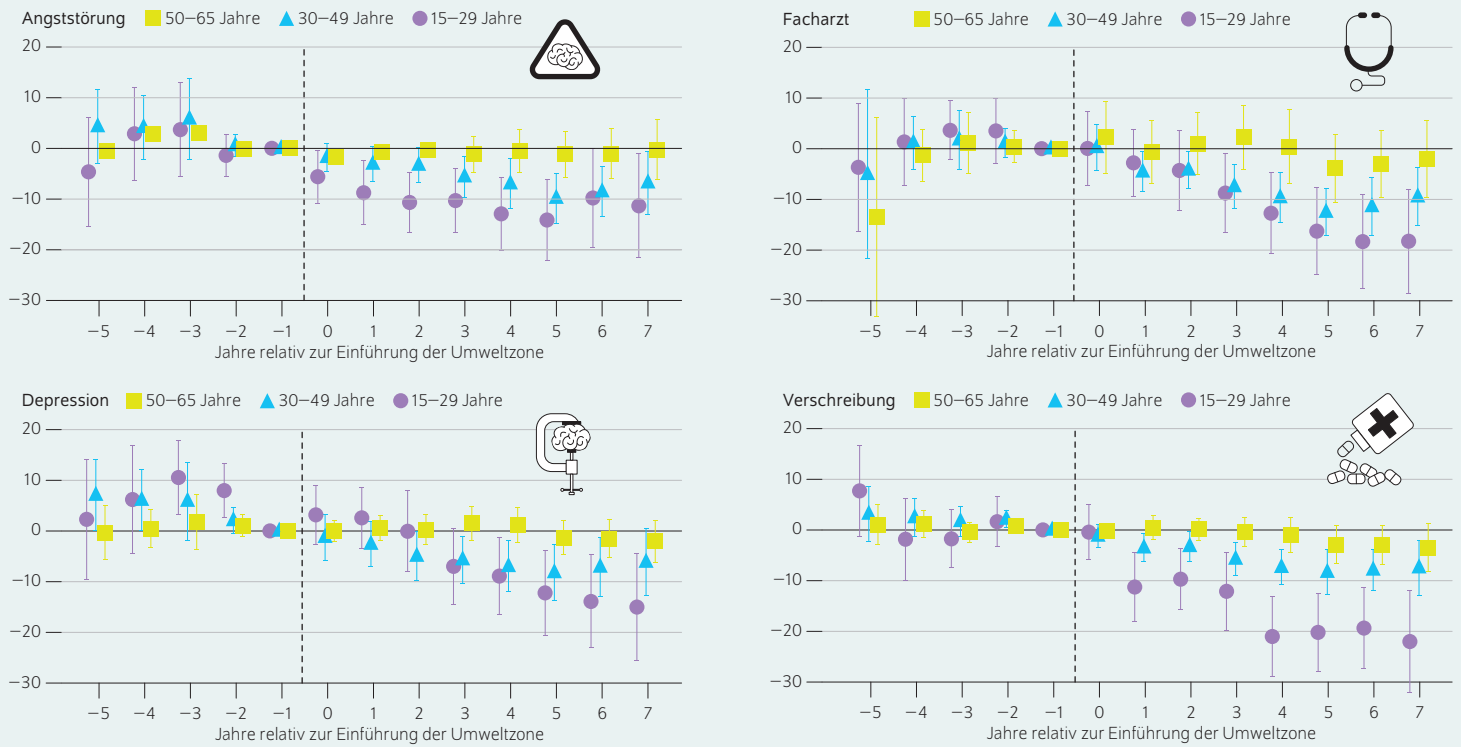
<sup>29</sup> Immer mehr Kinder und Jugendliche leiden an Depressionen, vgl. Destatis (online verfügbar).

<sup>30</sup> OECD (2018): Equity in Education: Breaking Down Barriers to Social Mobility. OECD Publishing (online verfügbar).

<sup>31</sup> Caroline Cohrdeset et al. (2022): Erkennen-Bewerten-Handeln. Schwerpunktbericht zur psychischen Gesundheit der Bevölkerung in Deutschland. Teil 1–Erwachsenenalter. Robert Koch Institut.

Abbildung 5

**Effekt der Einführung von Umweltzonen auf mentale Gesundheit nach Altersgruppen**  
In Prozent



Anmerkung: Diese Abbildung zeigt die dynamischen Effekte von Umweltzonen auf die Wahrscheinlichkeit, Antidepressiva verschrieben zu bekommen, einen Facharzt oder eine Fachärztin zu besuchen, an einer Depression zu erkranken und eine Angststörung zu entwickeln, jeweils in logarithmierter Form. Die Effekte wurden mit den Schätzverfahren von Sun und Abraham (2021) berechnet. Standardfehler sind auf Kreisebene gruppiert. Die Schätzungen werden mit 95 Prozent-Konfidenzintervallen dargestellt. Die Hypothese eines gemeinsamen Trends in beiden Gruppen vor der Einführung von Umweltzonen kann nicht verworfen werden.

Quelle: Krankenkassendaten einer großen deutschen Krankenkasse.

© DIW Berlin 2024

Die Häufigkeit psychischer Erkrankungen geht in Gebieten mit Umweltzonen deutlich zurück.

**Laura Schmitz** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | [lschmitz@diw.de](mailto:lschmitz@diw.de)

**Johannes Brehm** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | [johannes.brehm@rwi-essen.de](mailto:johannes.brehm@rwi-essen.de)

**Henri Gruhl** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | [henri.gruhl@rwi-essen.de](mailto:henri.gruhl@rwi-essen.de)

**Robin Kottmann** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | [robin.kottmann@rwi-essen.de](mailto:robin.kottmann@rwi-essen.de)

**Nico Pestel** ist Associate Professor am Centre for Education and the Labour Market (ROA) der Universität Maastricht | [n.pestel@maastrichtuniversity.nl](mailto:n.pestel@maastrichtuniversity.nl)

**Sandra Schaffner** ist Gastwissenschaftlerin am RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung | [sandra-schaffner@rwi-essen.de](mailto:sandra-schaffner@rwi-essen.de)

JEL: I18, I21, J24, Q53, Q58

Keywords: low emission zones, air quality, education, mental health

INTERVIEW



# “Umweltzonen sind auch relevant für bildungspolitische Debatten“

Laura Schmitz, wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt am DIW Berlin

1. **Frau Schmitz, inwiefern hat die Einführung von Umweltzonen die Luftqualität in deutschen Städten verbessert?** Umweltzonen beschränken in städtischen Gebieten die Zufahrt für bestimmte Fahrzeuge mit hohen Emissionen, also zum Beispiel alte Dieselfahrzeuge. Unsere Studie zeigt, dass sich dadurch in Umweltzonen die Feinstaubbelastung um etwa zehn Prozent und die Belastung mit Stickstoffdioxid um etwa 15 Prozent verringert hat.
2. **Welche Schadstoffe haben eine besonders schädliche Wirkung und welche gesundheitlichen Probleme werden durch sie verursacht?** Besonders problematisch sind Feinstaub und Stickoxide. Diese Partikel sind so klein, dass sie beim Einatmen tief in unsere Lunge gelangen, und in manchen Fällen können Sie auch in den Blutkreislauf gelangen. Zum einen wissen wir schon länger, dass sich dadurch das Risiko für Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen erhöht und zum anderen zeigen jüngere Studien, dass es auch Auswirkungen auf das Gehirn geben kann.
3. **Welche gesundheitlichen Effekte gehen mit der Luftverbesserung einher?** Dass sich Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität, wie zum Beispiel Umweltzonen, positiv auf Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Gesundheit auswirken, war bereits bekannt. Was wir uns in unserer Studie nun angeschaut haben, sind die Auswirkungen auf die mentale Gesundheit. Dafür nutzen wir anonymisierte Krankenkassendaten von neun Millionen Versicherten in ganz Deutschland und haben herausgefunden, dass es durch die Einführung von Umweltzonen zu einem geringeren Risiko für Depressionen und Angststörungen kam. Außerdem wurden Antidepressiva verschrieben und weniger Menschen haben Psychotherapeut\*innen und Psychiater\*innen aufgesucht.
4. **Wie wirkt sich die bessere Luftqualität in Umweltzonen auf den Lernerfolg von Schulkindern aus?** Unsere Studie zeigt, dass es Auswirkungen der Luftqualität auf den Bildungserfolg gibt. Dazu haben wir uns Schulübergangsdaten aus Nordrhein-Westfalen angeschaut. Die Entscheidung, auf

welche weiterführende Schule ein Kind nach der Grundschule wechselt, ist ganz entscheidend für den späteren Bildungserfolg und auch für die Arbeitsmarktperspektiven. Wir haben herausgefunden, dass sich in Nordrhein-Westfalen die Übergangsrate auf das Gymnasium durch die Einführung von Umweltzonen und der damit einhergehenden Verbesserungen der Luftqualität um einen Prozentpunkt erhöht hat.

5. **In welchem Alter machen sich die von Ihnen gemessenen Effekte bemerkbar?** In Bezug auf die mentale Gesundheit finden wir die stärksten Effekte auf die 15- bis 30-jährigen, also Jugendliche und junge Erwachsene. In Bezug auf die Bildung schauen wir auf Kinder am Ende der Grundschulzeit, also Kinder in der vierten Klasse. Hier kommen wir zu dem Schluss, dass in jedem Fall Kinder, Jugendliche und junge Erwachsene sehr von diesen Maßnahmen zur Luftreinhaltung profitieren.
6. **Welche Schlüsse könnte die Politik aus Ihren Ergebnissen ziehen?** Unsere Ergebnisse sind relevant für die aktuellen Debatten in der Bildungs- und Gesundheitspolitik, weil wir dort vor großen Herausforderungen stehen. Zum Beispiel schnitten deutsche Schülerinnen und Schüler bei der letzten Pisa-Studie 2022 schlechter ab denn je und bei Kindern und Jugendlichen werden immer mehr Depressionen diagnostiziert. Gleichzeitig wohnen immer mehr junge Menschen in Städten. Insbesondere in sozioökonomisch benachteiligten Gebieten, in denen die Luftschadstoffbelastung besonders hoch ist, können Maßnahmen wie Umweltzonen Ungleichheiten im Bildungs- und Gesundheitswesen reduzieren. Somit werden Maßnahmen wie die Einrichtung von Umweltzonen auch in der Zukunft dringend gebraucht.

Das Gespräch führte Erich Wittenberg.



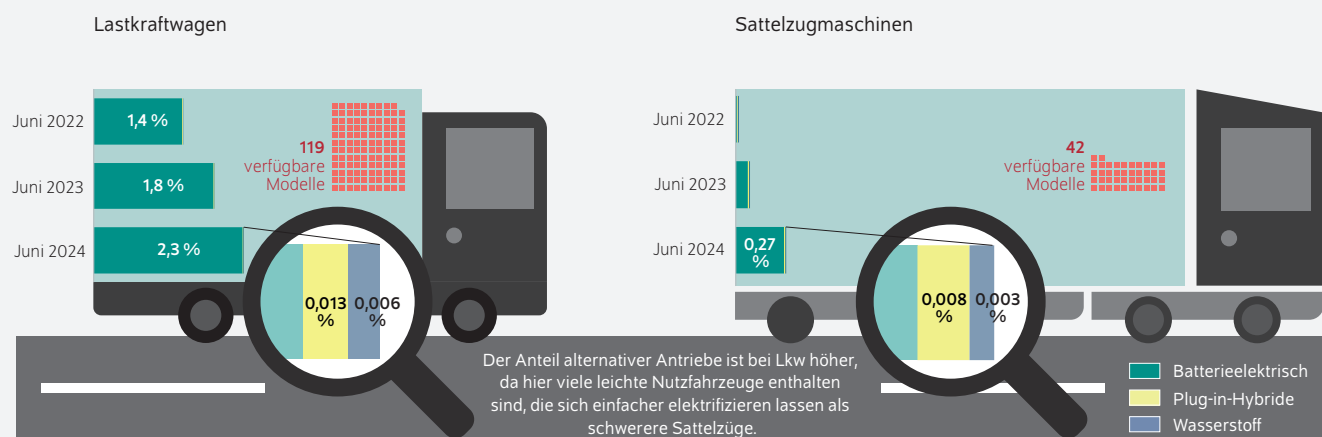
Das vollständige Interview zum Anhören finden Sie auf [www.diw.de/interview](http://www.diw.de/interview)

## Klimaschutz im Straßengüterverkehr: Die Zukunft ist batterieelektrisch

Von Wolf-Peter Schill, Julius Jöhrens, Dominik Räder, Hendrik Beeh, Josef Klingl und Markus Werner

- Straßengüterverkehr mit schweren Lkw war 2022 für rund sechs Prozent der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich
- Flotte batterieelektrischer Lkw wächst von niedrigem Niveau aus, Wasserstoff-Antriebe stagnieren
- Zahl verfügbarer Modelle gewachsen, große Hersteller bieten vor allem Batterieantriebe an
- Marktentwicklungen, Kosten und Effizienzvorteile sprechen klar für stationär geladene Batterie-Lkw
- Ausbau der Ladeinfrastruktur mit Schnellademöglichkeiten für Lkw sollte weiterhin staatlich flankiert werden

### Marktentwicklung spricht für batterieelektrische Antriebe im Straßengüterverkehr



Quellen: Daten des Kraftfahrt-Bundesamts, aggregiert und visualisiert im Open Energy Tracker; Lkw-Datenbank des ifeu-Instituts.

© DIW Berlin 2024

### ZITAT

„Die Marktentwicklung sowie Vorteile bei Energieeffizienz und Kosten sprechen eindeutig für batterieelektrische Antriebe im Straßengüterverkehr. Die Politik sollte nun klar auf diese Technologie setzen und Engpässe beim Ausbau der Ladeinfrastruktur gezielt beseitigen, um Investitionssicherheit für Hersteller und Logistiker zu schaffen.“

— Wolf-Peter Schill —

# Klimaschutz im Straßengüterverkehr: Die Zukunft ist batterieelektrisch

Von Wolf-Peter Schill, Julius Jöhrens, Dominik Räder, Hendrik Beeh, Josef Klingl und Markus Werner

## ABSTRACT

Für den Klimaschutz im Straßengüterverkehr ist eine Antriebswende erforderlich. Hierfür werden neben batterieelektrischen Fahrzeugen auch wasserstoffbasierte Antriebe diskutiert. Zwischenergebnisse eines laufenden Forschungsprojekts zeigen, dass sowohl der Bestand batterieelektrischer Lkw als auch die Zahl verfügbarer Fahrzeugmodelle in Deutschland zuletzt deutlich gewachsen sind, wenn auch von einem sehr niedrigen Niveau aus. Dies ist bei Wasserstoff-Lkws nicht der Fall. Bei der Ladeinfrastruktur sind derzeit zudem erhebliche privatwirtschaftliche Investitionen im Gange. Batterieelektrische Fahrzeuge haben gegenüber Wasserstoff-Lkw weiterhin große Vorteile bei der Energieeffizienz, den absehbaren Energiekosten sowie dem realistisch erwartbaren Beitrag zum Klimaschutz. Der politische Fokus sollte daher klar auf dem Hochlauf batterieelektrischer Lkw in Kombination mit dem Ausbau der Ladeinfrastruktur liegen. Insbesondere sollte die Erweiterung des Schnellladenetzes energisch vorangebracht werden. Um möglichen Herausforderungen insbesondere bei den Netzanschlüssen zu begegnen, könnten ergänzend auch Batteriewechsel- oder Oberleitungssysteme weiter erprobt werden, die technologisch große Schnittmengen mit Batterie-Lkw haben. Darüber hinaus sollten die Energieeffizienz-Vorteile batterieelektrischer Lkw in der Systematik der Treibhausgasminderungsquote berücksichtigt werden.

Deutschland soll bis zum Jahr 2045 klimaneutral werden. Dies erfordert entsprechende Maßnahmen in allen Wirtschaftssektoren, so auch im Straßengüterverkehr. Eine wesentliche Strategie hierfür ist der Ersatz von Diesel-Lkw durch andere Technologien wie batterieelektrische oder auch wasserstoffbasierte Antriebe.

In diesem Bericht wird ein Überblick über aktuelle Trends bei der Flotten- und Marktentwicklung von batterieelektrischen und wasserstoffbasierten Lkw sowie beim Aufbau der Lade- beziehungsweise Tankinfrastruktur gegeben. Danach werden Vor- und Nachteile sowie mögliche Beiträge anderer Technologien diskutiert. Grundlage hierfür sind Zwischenergebnisse eines laufenden Forschungsprojekts des ifeu-Instituts, der TU Dresden und des DIW Berlin.<sup>1</sup>

## Notwendigkeit und Optionen für Klimaschutz im Straßengüterverkehr

Der Straßengüterverkehr reicht vom urbanen Verteiler- und Lieferverkehr mit leichten Nutzfahrzeugen bis hin zum grenzüberschreitenden Schwerlastverkehr. Hierfür wird eine große Vielfalt von Fahrzeugen genutzt, die sich unter anderem durch ihren Aufbau und das zulässige Gesamtgewicht unterscheiden. Sind Fahrzeuge schwerer als 3,5 Tonnen, wird auch von schweren Nutzfahrzeugen gesprochen. Die Statistik des Kraftfahrtbundesamts unterscheidet dabei „Lastkraftwagen“ mit festem Aufbau und „Zugmaschinen“. Besonders relevant für den Schwerlastverkehr ist die Untergruppe der Sattelzugmaschinen, umgangssprachlich auch als „Sattelschlepper“ bezeichnet.<sup>2</sup> Diese Fahrzeuggruppe fährt mit 400 bis 500 Kilometer im Schnitt deutlich längere tägliche Distanzen als sonstige Lkw (rund 300 Kilometer).

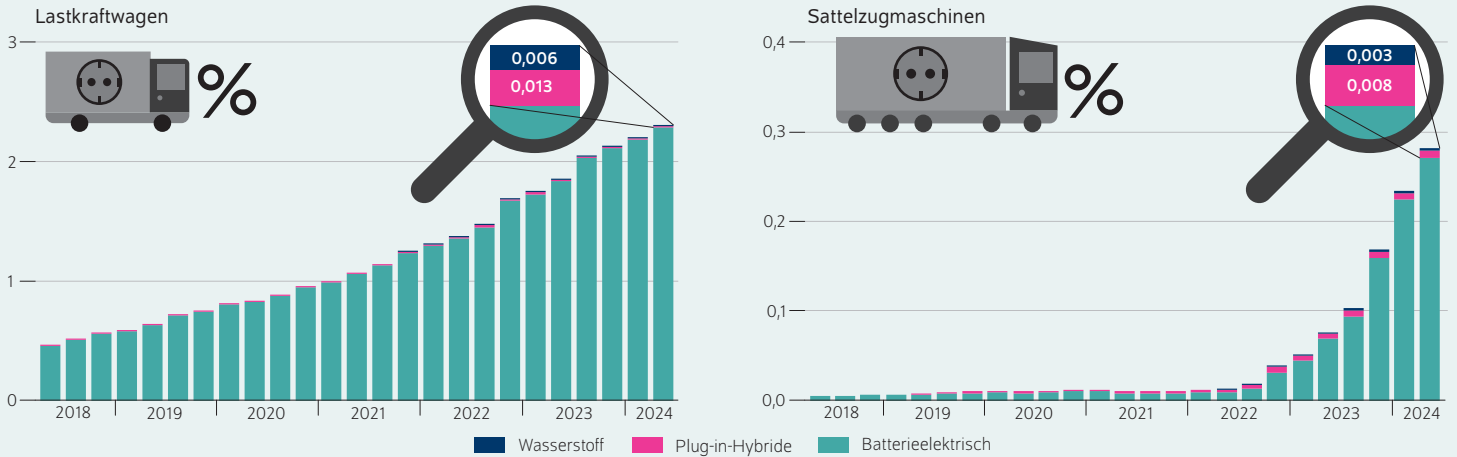
<sup>1</sup> Die Grundlage dieses Berichts bilden zwei kürzlich erschienene Projektberichte: Julia Pelzer et al. (2024): Bewertung von Technologiekonfigurationen für den Straßengüterverkehr. ifeu, TU Dresden, DIW Berlin (online verfügbar, abgerufen am 28. Oktober 2024). Dies gilt auch für alle anderen Online-Quellen dieses Berichts, sofern nicht anders vermerkt; sowie Julius Jöhrens et al. (2024): Komplementärtechnologien zu BEV-Lkw – ein techno-ökonomischer Vergleich. ifeu, TU Dresden, DIW Berlin (online verfügbar).

<sup>2</sup> Umgangssprachlich und auch in diesem Bericht wird die Abkürzung „Lkw“ so gebraucht, dass sie sowohl Lastkraftwagen als auch Zugmaschinen im Sinne der amtlichen Statistik miteinschließt.

Abbildung 1

## Bestand von Fahrzeugen des Straßengüterverkehrs in Deutschland

### Anteile alternativer Antriebe in Prozent



Anmerkung: Wasserstoff beinhaltet Brennstoffzellen und Wasserstoff-Verbrenner.

Quellen: Daten des Kraftfahrt-Bundesamt, aggregiert und visualisiert im Open Energy Tracker (online verfügbar).

© DIW Berlin 2024

Der Bestand batterieelektrischer Fahrzeuge wächst von einem niedrigen Niveau aus, der von Wasserstoff-Fahrzeugen dagegen kaum.

Der Straßengüterverkehr verursacht in Deutschland erhebliche und zuletzt sogar noch steigende Treibhausgasemissionen. Nutzfahrzeuge über 3,5 Tonnen waren 2022 für 28 Prozent der Emissionen des Verkehrssektors und für rund sechs Prozent der gesamten deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich.<sup>3</sup> Rund zwei Drittel davon entfielen auf Fahrzeuge über 26 Tonnen, die überwiegend auf der Langstrecke genutzt werden.

### Verschiedene Optionen für die Antriebswende

Mögliche Strategien für den Klimaschutz im Straßengüterverkehr sind die Verkehrsvermeidung, die Verlagerung auf die Schiene sowie der Antriebswechsel. Die Potenziale für Vermeidung und Verlagerung erscheinen begrenzt.<sup>4</sup> Im Fokus steht daher der Ersatz von Diesel-Lkw durch batterieelektrische Fahrzeuge, was auch einen Ausbau der Schnellladeinfrastruktur erfordert. Daneben gibt es zwei wasserstoffbasierte Optionen: Fahrzeuge mit Brennstoffzellen, die ebenfalls einen elektrischen Motor haben, sowie Wasserstoff-Verbrennungsmotoren. Beide benötigen Wasserstoff-Tankstellen.

Teilweise wird auch ein Festhalten am Dieselantrieb in Kombination mit Biokraftstoffen oder synthetischen Kraftstoffen auf Basis von grünem Wasserstoff (sogenannte E-Fuels)

diskutiert. Da diese Optionen jedoch nicht kostengünstig skalierbar erscheinen, werden sie im Folgenden nicht weiter betrachtet.<sup>5</sup>

### Bisher keine technologiespezifischen Ziele

Das „Klimaschutzprogramm 2030“ der Bundesregierung sieht vor, dass bis zum Jahr 2030 etwa ein Drittel der Fahrleistung im schweren Straßengüterverkehr elektrisch oder mit strombasierten Kraftstoffen erbracht werden soll.<sup>6</sup> Ein Antriebswechsel im Straßengüterverkehr stellt einen besonders großen Hebel für die Dekarbonisierung dar.<sup>7</sup> Konkrete Ziele für die Neuzulassungen oder den Bestand elektrischer Lkw gibt es jedoch – im Gegensatz zu Elektro-Pkw – bisher nicht.

Auf europäischer Ebene wurden im Jahr 2024 verschärfte Flottengrenzwerte für die CO<sub>2</sub>-Emissionen von neu zugelassenen schweren Nutzfahrzeugen beschlossen.<sup>8</sup> Demnach sollen im Jahr 2030 neu zugelassene Lkw über 7,5 Tonnen 45 Prozent geringere Emissionen gegenüber 2019 aufweisen. In den Jahren 2035 und 2040 sollen die Einsparungen

<sup>3</sup> Eigene Berechnungen auf Basis des Transport Emission Model (TREMOD) Version 6.61 sowie Daten des Umweltbundesamts (online verfügbar).

<sup>4</sup> Vgl. Sachverständigenrat für Wirtschaftsfragen (2024): Güterverkehr zwischen Infrastrukturanforderungen und Dekarbonisierung. Kapitel 2 des Frühjahrsgutachtens (online verfügbar).

<sup>5</sup> Wolf-Peter Schill (2021): E-Fuels: Ja, aber nicht für Pkw. Kommentar im DIW Wochenbericht Nr. 17, 304 (online verfügbar); sowie Falko Ueckerdt und Adrian Odenweller (2023): E-Fuels – Aktueller Stand und Projektionen (online verfügbar).

<sup>6</sup> Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 vom 8. Oktober 2019 (online verfügbar).

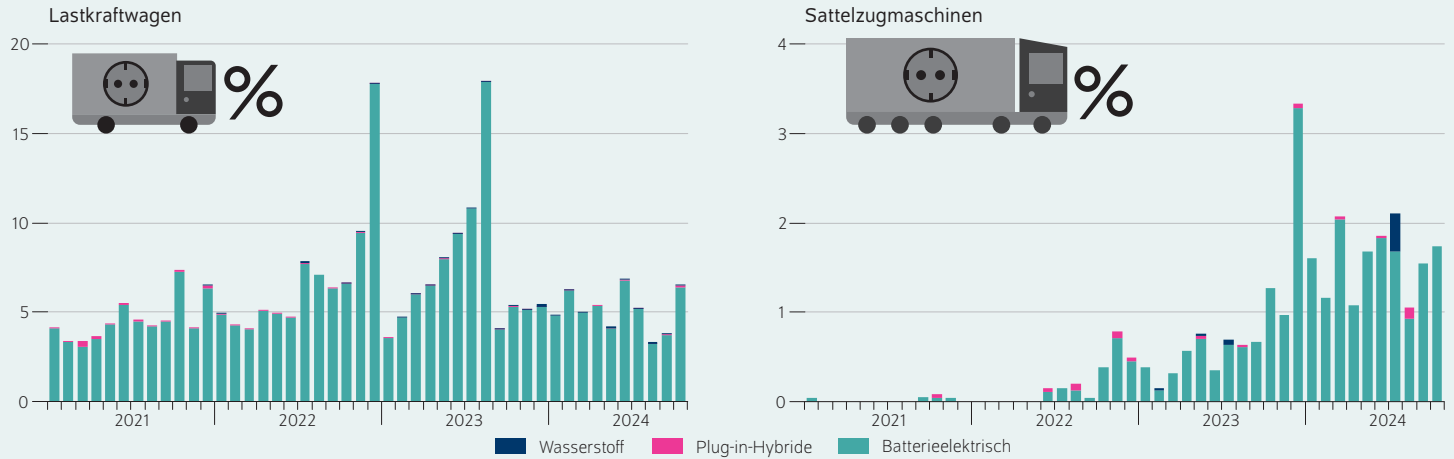
<sup>7</sup> Sachverständigenrat für Wirtschaftsfragen (2024), a. a. O.

<sup>8</sup> Amtsblatt der Europäischen Union (2024): Verordnung (EU) 2024/1610 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Mai 2024 (online verfügbar).

Abbildung 2

Monatliche Neuzulassungen von Fahrzeugen des Straßengüterverkehrs in Deutschland

Anteile alternativer Antriebe in Prozent



Anmerkung: Wasserstoff beinhaltet Brennstoffzellen und Wasserstoff-Verbrenner.

Quellen: Daten des Kraftfahrt-Bundesamts, aggregiert und visualisiert im Open Energy Tracker (online verfügbar).

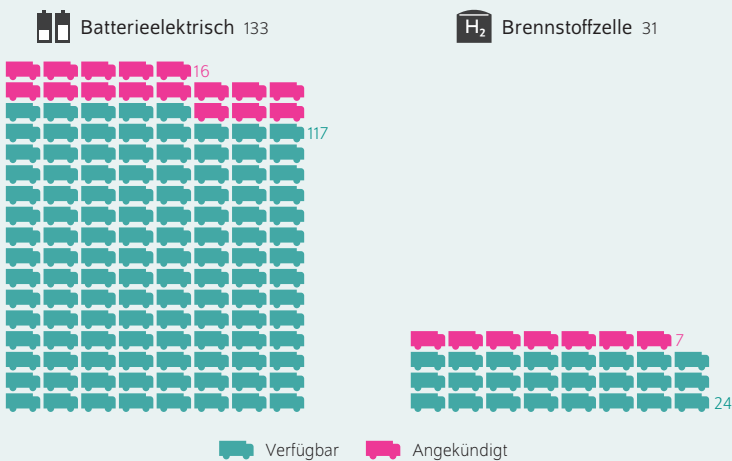
© DIW Berlin 2024

Die Anteile an den Neuzulassungen sind bei den schweren Sattelzugmaschinen zuletzt deutlich gestiegen.

Abbildung 3

Angekündigte und verfügbare Fahrzeugmodelle in Deutschland

Anzahl (Stand: Oktober 2024)



Anmerkung: Da es zum Teil viele unterschiedliche Konfigurationen je Modell gibt, wurden jeweils nur die höchste Batteriekapazität sowie die kleinste Anzahl der Achsen als separate Modelle gewertet. Wasserstoff-Verbrenner sind in diesen Zahlen nicht enthalten.

Quelle: Lkw-Datenbank des ifeu-Instituts.

© DIW Berlin 2024

Die meisten Modelle sind batterieelektrisch.

65 beziehungsweise 90 Prozent gegenüber 2019 betragen.<sup>9</sup> Diese Ziele sind voraussichtlich nur mit einer schnellen Steigerung elektrischer Antriebe an den Neuzulassungen erreichbar.<sup>10</sup>

Aktuelle Marktentwicklung spricht für batterieelektrische Fahrzeuge

Derzeit gibt es in Deutschland gut 3,8 Millionen Lkw, von denen rund 530 000 schwerer als 3,5 Tonnen sind, sowie etwa 236 000 Sattelzugmaschinen (Abbildung 1).<sup>11</sup> In beiden Segmenten dominiert noch klar der Dieselmotor (92 Prozent bei Lkw, 97 Prozent bei Sattelzugmaschinen). Unter den Lkw sind derzeit rund 2,3 Prozent rein batterieelektrisch. Die meisten davon sind leichte Nutzfahrzeuge unter 3,5 Tonnen. Unter den Sattelzugmaschinen sind es lediglich 0,3 Prozent.

Allerdings sind die batterieelektrischen Anteile an den Neuzulassungen deutlich höher, so dass ihr Bestand – wenn auch von niedrigem Niveau aus – zuletzt deutlich gewachsen ist

<sup>9</sup> Dabei gibt es Ausnahmen für Kleinserienhersteller, für Bergbau, Land- oder Forstwirtschaft, sowie Fahrzeuge für Militär, Zivilschutz, öffentliche Sicherheit und medizinische Versorgung.

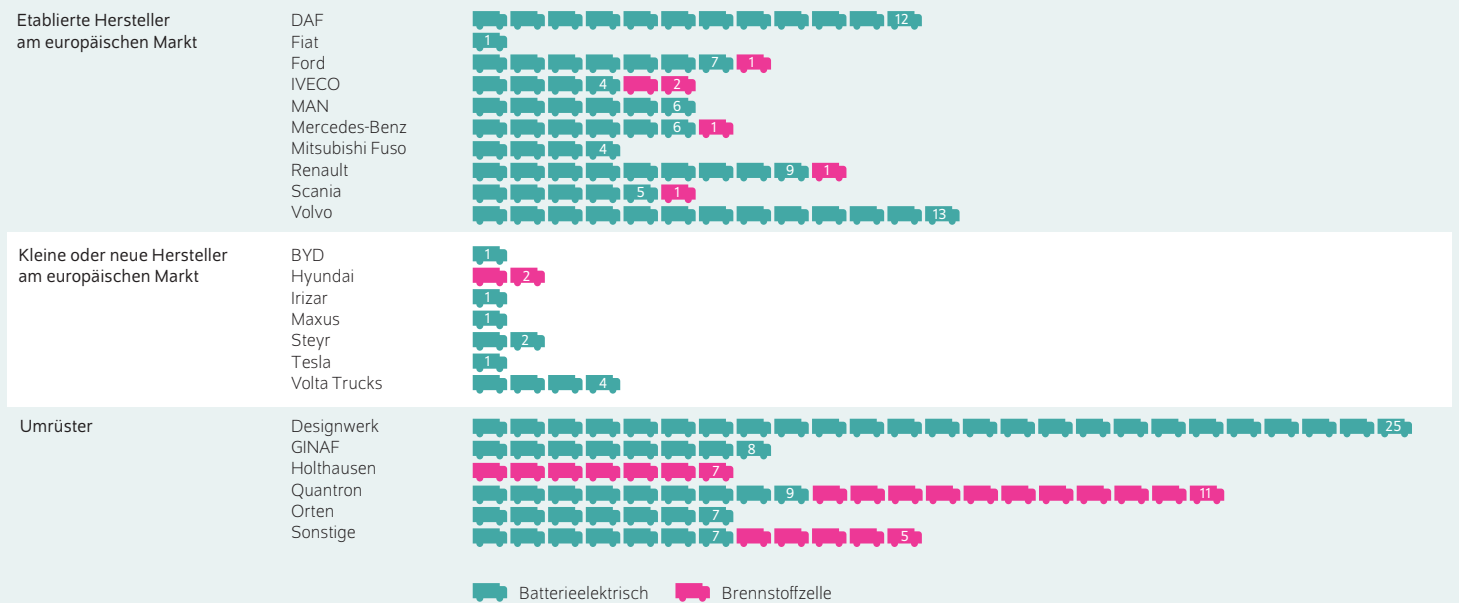
<sup>10</sup> Zur Dekarbonisierung des Straßengüterverkehrs und der möglichen Rolle verschiedener Technologien vgl. auch Alexander Roth und Wolf-Peter Schill (2024): Elektro-Lkw, Teil 1: Batterien oder Wasserstoff?, fossilfrei-Podcast Folge 18 vom 14. Juni 2024 (online verfügbar), sowie Alexander Roth und Wolf-Peter Schill (2024): Elektro-Lkw: Technologieoffenheit als Kampfbegriff?, fossilfrei-Podcast Folge 19 vom 28. Juni 2024 (online verfügbar).

<sup>11</sup> Datengrundlage für diesen Abschnitt ist die Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes zu Nutzfahrzeugen (FZ 25, online verfügbar), zum vierteljährlichen Fahrzeugbestand (FZ 27, online verfügbar) sowie zu den monatlichen Neuzulassungen (FZ 28, online verfügbar). Diese Daten werden regelmäßig im Open Energy Tracker ausgewertet und visualisiert (online verfügbar).

Abbildung 4

## Fahrzeugmodelle aufgeschlüsselt nach Herstellern

Anzahl (Stand: Oktober 2024)



Anmerkungen: Umrüster sind Spezialfirmen mit üblicherweise geringen Stückzahlen, die sich auf die Umrüstung von Fahrzeugen anderer Hersteller konzentrieren. Wasserstoff-Verbrenner sind in diesen Zahlen nicht enthalten.

Quelle: Lkw-Datenbank des ifeu-Instituts.

© DIW Berlin 2024

Die großen Hersteller bieten überwiegend Batterie-Lkw an. Die meisten Brennstoffzellen-Lkw werden von Umrüstern angeboten.

(Abbildung 2). Im Mittel der letzten zwölf Monate waren fünf Prozent aller neuen Lkw sowie 1,6 Prozent aller neuen Sattelzugmaschinen rein batterieelektrisch.<sup>12</sup>

Wasserstoff spielt bisher im Straßengüterverkehr – trotz häufiger Nennung in der politischen Debatte – keine nennenswerte Rolle. Im Bestand kommen auf einen wasserstoffbasierten Lkw derzeit rund 400 rein batterieelektrische Lkw und auch bei den schwereren Sattelzugmaschinen gibt es mehr als hundertmal so viele batterieelektrische wie wasserstoffbasierte Fahrzeuge. Auch bei den Neuzulassungen ist kein positiver Trend bei Wasserstoff-Fahrzeugen zu erkennen.

### Zahl elektrischer Fahrzeugmodelle stark gestiegen

Für die Marktchancen elektrisch angetriebener Lkw ist die Verfügbarkeit von verschiedenen Fahrzeugmodellen ein wichtiger Faktor. Gründe dafür sind unter anderem unterschiedliche Anforderungen im Logistikbereich aufgrund verschiedener Güterarten und Tourenprofile oder auch eine oftmals starke Markenbindung der Lkw-Betreiber.

Insgesamt konnten im Oktober 2024 für den deutschen Markt 164 elektrisch angetriebene Fahrzeugmodelle im Segment der schweren Lkw und Sattelzüge über 3,5 Tonnen identifiziert werden (Abbildung 3).<sup>13</sup> Davon sind 141 Modelle (86 Prozent) bereits verfügbar und 23 sind angekündigt (14 Prozent). Im Vergleich zu einer früheren Auswertung im Oktober 2022 hat sich die Zahl der verfügbaren Modelle von damals 65 somit mehr als verdoppelt.

Rund 80 Prozent der Modelle sind batterieelektrisch und 20 Prozent haben eine Brennstoffzelle. Damit sind Wasserstofffahrzeuge beim Modellangebot im Vergleich zu ihrer derzeitigen Nischenrolle bei Bestand und Neuzulassungen vergleichsweise stark vertreten.<sup>14</sup> Allerdings entfällt dabei ein großer Teil der Wasserstoff-Lkw auf wenige Spezialfirmen, die sich überwiegend auf die Umrüstung von Fahrzeugen anderer Hersteller konzentrieren. Von den großen, am europäischen Markt etablierten Herstellern werden dagegen lediglich sechs Brennstoffzellenfahrzeuge angeboten oder angekündigt (Abbildung 4).

<sup>12</sup> Zu den Gründen für Ausreißer in einzelnen Monaten zählen unter anderem Änderungen bei den Flottengrenzwerten für Neuzulassungen sowie bei Förderprogrammen. So gab es auf Bundesebene bis 2023 eine aus dem Klima- und Transformationsfonds finanzierte Förderung für den Kauf von batterie- oder wasserstoffelektrischen Nutzfahrzeugen. Diese wurde nach dem Urteil des Bundesverfassungsgerichts vom 15. November 2023 und der folgenden Haushaltskonsolidierung ersatzlos gestrichen. Auf Ebene der Bundesländer gibt es jedoch noch einzelne Förderprogramme, vgl. Übersicht des ifeu (online verfügbar).

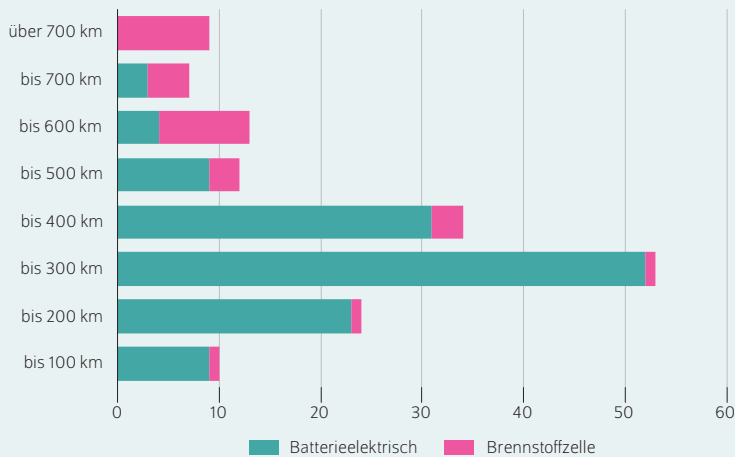
<sup>13</sup> Ein Fahrzeugmodell wird durch die Parameter Hersteller, Antriebssystem, Antriebsleistung, Batteriekapazität, Wasserstofftank-Kapazität, Leistung der Brennstoffzelle und Zahl der Achsen bestimmt. Da es zum Teil viele unterschiedliche Konfigurationen je Modell gibt (zum Beispiel bei der Batteriekapazität oder der Anzahl der Achsen), wurden jeweils nur die höchste Batteriekapazität sowie die kleinste Anzahl der Achsen als separate Modelle gewertet.

<sup>14</sup> Dies gilt auch im Vergleich zum ungleich größeren Pkw-Markt, in dem derzeit nur zwei Brennstoffzellen-Modelle in Deutschland verfügbar sind.

Abbildung 5

## Reichweiten der verfügbaren und angekündigten Fahrzeugmodelle

Anzahl von Modellen (Stand: Oktober 2024)



Anmerkung: Die Abbildung zeigt die Summe der verfügbaren und angekündigten Modelle

Quelle: Lkw-Datenbank des ifeu-Instituts.

© DIW Berlin 2024

Die meisten Fahrzeuge werden mit Reichweiten für den Regionalverkehr angeboten.

Gut 80 Prozent der Modelle, fast ausschließlich Batterie-Lkw, haben weniger als 500 km Reichweite. Der Schwerpunkt liegt auf Reichweiten von 200 bis 300 km, womit der Regionalverkehr bedient werden kann (Abbildung 5).<sup>15</sup> Oberhalb von 500 km Reichweite gibt es zwar noch einzelne batterieelektrische Modelle, die meisten sind aber mit einer Brennstoffzelle ausgestattet. Der in der Diskussion zu Brennstoffzellenfahrzeugen oft stark im Vordergrund stehende Reichweitenaspekt spiegelt sich also deutlich im Modellangebot wider.

Die angebotenen Fahrzeugmodelle erstrecken sich auf sämtliche Größenklassen von Nutzfahrzeugen.<sup>16</sup> Über die Hälfte der Lkw-Modelle hat ein zulässiges Gesamtgewicht von über zwölf Tonnen. Zwar gibt es bei den größeren Fahrzeugen eine Tendenz zu etwas höheren Reichweiten, insgesamt ist das Reichweitenprofil aber für alle Größenklassen ähnlich. Dies gilt auch für die im Fernverkehr üblicheren Sattelzugmaschinen, da diese derzeit meist nur mit den gleichen Batteriegrößen bestellt werden können wie Lkw über zwölf Tonnen.

## Unterschiedliche Strategien der Hersteller

Die strategische Bedeutung, die wasserstoffbasierten Antrieben beigemessen wird, unterscheidet sich zwischen einzelnen

<sup>15</sup> Die Reichweiten wurden fahrzeugmodell-spezifisch anhand der Netto-Batteriekapazitäten sowie eines typischen Energieverbrauchs berechnet (Batteriekapazität/Energieverbrauch=Reichweite).

<sup>16</sup> Betrachtet werden hier die Größenklassen N2 (< zwölf Tonnen) und N3 (> zwölf Tonnen). Leichte Nutzfahrzeuge (N1) werden hier nicht betrachtet.

Herstellern deutlich. Während etwa die TRATON-Gruppe (MAN/Scania) in den vergangenen Jahren stark die wirtschaftlichen Vorteile von Batteriefahrzeugen betont hat und dort den klaren Fokus der Firmenstrategie sieht<sup>17</sup>, verfolgt Daimler eine „Doppelstrategie“ mit batterieelektrischen Antrieben und der Brennstoffzelle als Basis für den schweren Fernverkehr.<sup>18</sup> Andere Hersteller sehen die Frage noch offener und sprechen von einem „Drei-Säulen-Modell“ unter Einbezug erneuerbarer Kraftstoffe (Volvo)<sup>19</sup> oder von einem „technologieneutralen Multi-Antriebs-Ansatz“ (Iveco).<sup>20</sup> Explizit ausgeschlossen werden fossil betriebene Verbrennungsmotoren lediglich von Renault Trucks für die Zeit nach 2040.<sup>21</sup> Volvo, MAN, DAF und Iveco beziehen zudem in unterschiedlichem Maße auch den Wasserstoff-Verbrennungsmotor als Option mit ein.

Angaben der Hersteller im Rahmen sogenannter Cleanroom-Gespräche<sup>22</sup> zeigen, dass bei den schweren Nutzfahrzeugen in den kommenden Jahren deutlich steigende Marktanteile rein batterieelektrischer Antriebe erwartet werden. Sie werden demnach bis zum Jahr 2030 rund die Hälfte der Verkäufe im Segment über zwölf Tonnen ausmachen. Verschiedenen anderen Technologien kommt eine eher ergänzende Rolle zu.

## Hochlauf der Lade- und Tankstelleninfrastruktur

Hinsichtlich der öffentlichen Energieversorgungsinfrastruktur stehen Batterie- und Wasserstoff-Antriebe vor unterschiedlichen Herausforderungen. Batterie-Lkw können – sofern Netzanschlüsse und Fahrzeugprofile es erlauben – in vielen Fällen im Depot aufgeladen werden und dort einen großen Teil ihrer Antriebsenergie aufnehmen. Vor allem im Fernverkehr ist jedoch ein gewisser Anteil an Schnellladung erforderlich.<sup>23</sup> Wasserstoff-Lkw sind dagegen in aller Regel auf öffentliche Wasserstoff-Tankstellen angewiesen, da Bau und Betrieb solcher Tankstellen im Vergleich zu Depotladepunkten teuer ist.

## Vielfältige Aktivitäten bei Schnellladesäulen

Bei der Ladeinfrastruktur gibt es bis zu einer Ladeleistung von 400 Kilowatt den bereits etablierten CCS-Standard.

<sup>17</sup> MAN (2024): Strategie – MAN auf einen Blick (online verfügbar); Scania (2021): Das Bekenntnis von Scania zu batteriebetriebenen Elektrofahrzeugen (online verfügbar).

<sup>18</sup> Daimler Truck (2022): Diskussion Batterie vs. Wasserstoff: Daimler Truck setzt mit beiden Technologien konsequent auf Doppelstrategie (online verfügbar).

<sup>19</sup> Volvo Trucks (2024): Gemeinsam in Richtung null Emissionen: Unser Weg zur Dekarbonisierung des Transports (online verfügbar).

<sup>20</sup> IVECO Group (2024): Iveco Group präsentiert Multi-Antriebs-Strategie und stellt innovative Lösungen auf der IAA TRANSPORTATION 2024 vor (online verfügbar).

<sup>21</sup> Renault Trucks (2021): Renault Trucks bietet ab 2023 eine elektrische Baureihe für jedes Marktsegment an (online verfügbar); vgl. auch Renault Trucks (2024): Towards low-carbon transport (online verfügbar).

<sup>22</sup> NOW (2024): Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr. Nationale Organisation Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (online verfügbar).

<sup>23</sup> Daniel Speth, Patrick Plötz (2024): Depot slow charging is sufficient for most electric trucks in Germany. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 128, 104078.

## Tabelle

## Aktivitäten zum Ausbau der Ladeinfrastruktur für Lkw

Stand Oktober 2024

|                         | Staatlich                       | Privatwirtschaftlich                         |  |                  |                       |  |
|-------------------------|---------------------------------|--|--|------------------|-----------------------|--|
|                         | Initiales Ladenetz (BMDV, BMWK) | e.On, MAN                                    | Milence                                  | Aral Pulse       | TST+EWB (PVSM Energy) | CityWatt   |
| Standorte geplant       | 350                             | 125 (D), 170 (EU + UK)                       | 25 (D), 70 (EU)                          | 30               | 41                    | k.A.   |
| Ladepunkte geplant      | 4200                            | 400  | 570 bis 2025, 1700 bis 2027 (EU)         | k. A.            | k. A.                 | k.A.   |
| Standorte realisiert    | 0                               | 1 (D)  | 0 (D) / 4 (EU)                           | 25 (D) / 26 (EU) | 1                     | 50   |
| Standorttyp             | Raststätten                     | Autobahnnähe (erster Standort)               | Autobahnnähe, Autohöfe, innerstädtisch   | Aral-Autohöfe    | Autobahnnähe          | Innerstädtisch/Industriegebiet, Autobahnnähe, Bundesstraße |
| Geplante Fertigstellung | Bis 2030                        | Noch offen                                   | 2025                                     | 2024             | 2025                  | 2024   |
| Ladeleistung            | 1 800 x MCS, 2 400 x CCS        | Zunächst 400 kW CCS, Nachrüstung MCS geplant | CCS+MCS (zunächst an fünf Altstandorten) | CCS 300 kW       | CCS 400 kW            | CCS 300 kW   |

Quelle: Eigene Recherchen.

© DIW Berlin 2024

Derzeit sind gut 31 000 CCS-Ladepunkte öffentlich zugänglich.<sup>24</sup> Sie sind in der Regel für Pkw ausgelegt, können in einzelnen Fällen jedoch auch von Lkw genutzt werden. Für eine weitgehende Aufladung der Batterien von schweren Lkw im Fernverkehr während der vorgeschriebenen Lenkzeitpausen des Fahrpersonals können jedoch deutlich höhere Ladeleistungen notwendig sein. Hierfür befindet sich ein neuer Schnellladestandard in Entwicklung und kurz vor der Einführung, das sogenannte Megawatt Charging System (MCS). Es soll Ladeleistungen bis zu 3,75 Megawatt (3 750 Kilowatt) erlauben.<sup>25</sup>

Zuletzt haben verschiedene privatwirtschaftliche Akteure Planungen für den Aufbau spezifischer Lkw-Ladepunkte für insgesamt über 200 Standorte bekannt gegeben und teils bereits umgesetzt (Tabelle). Auf staatlicher Seite haben die Bundesministerien für Wirtschaft und Klimaschutz sowie für Digitales und Verkehr eine Initiative für ein Lkw-Schnellladenetz gestartet.<sup>26</sup> Dabei geht es um etwa 350 Standorte an Bundesautobahnen. Eine erste Ausschreibung für Lkw-Ladepunkte an rund 130 unbewirtschafteten Rastanlagen wurde bereits gestartet, eine weitere soll folgen.<sup>27</sup> Für sämtliche vorgesehenen Standorte wurden die benötigten elektrischen Anschlussleistungen abgeschätzt und entsprechende Netzanschlüsse bereits beantragt.

Benötigt wird die öffentliche Schnellladeinfrastruktur in erster Linie, um typische Fernverkehrs-Profile für Batterie-Lkw zu ermöglichen. Dies wird voraussichtlich für die Einhaltung

der verschärften europäischen CO<sub>2</sub>-Flottenzielwerte ab dem Jahr 2030 von großer Bedeutung sein. Solange öffentliche Lkw-Ladeinfrastruktur noch nicht flächendeckend bereitsteht, können vor allem im Regionalverkehr viele Einsatzprofile von Batterie-Lkw auf Basis von Depotladeinfrastruktur realisiert werden, was ihren Markthochlauf befördern kann.<sup>28</sup>

### Herausforderungen bei Wasserstoff-Tankstellen

Wasserstoff-Tankstellen wurden bisher hauptsächlich für Pkw mit einem Druckniveau von 700 bar geplant. Für Lkw wird jedoch ein niedrigerer Druck von 350 bar benötigt, was nur rund die Hälfte der existierenden Tankstellen derzeit leisten kann, im September 2024 waren dies 42 Standorte.<sup>29</sup> Einige Hersteller erwägen zudem den Einsatz von flüssigem Wasserstoff in zukünftigen Fahrzeugmodellen, was entsprechende Unsicherheit für die Errichtung neuer Tankstellen mit sich bringt.<sup>30</sup> Die vormals existierende Förderung für Wasserstoff-Tankstellen aus Mitteln des Klima- und Transformationsfonds wurde wegen Finanzierungsproblemen eingestellt.

Während bei Ladeinfrastruktur für Batterie-Lkw also konkrete privatwirtschaftliche Aktivitäten zu beobachten sind, die durch staatliche Ausschreibungen flankiert werden, gibt es beim Aufbau von Wasserstoff-Tankstellen deutlich größere Planungsunsicherheiten. Von staatlicher Seite geht es hier hauptsächlich um die Frage, wie die Einhaltung der europäischen Mindestanforderungen an die Infrastruktur gewährleistet werden kann<sup>31</sup> und ob die Ziele an eine geänderte Marktrealität anzupassen sind.<sup>32</sup>

<sup>24</sup> Bundesnetzagentur (2024): Ladeinfrastruktur in Zahlen. Stand: 1. September 2024 (online verfügbar). Informationen zur Ladeinfrastruktur werden auch regelmäßig im Open Energy Tracker aufbereitet (online verfügbar).

<sup>25</sup> Die Leistung der Ladeinfrastruktur für Pkw ist dagegen deutlich geringer. Gleichstrom-Schnellladepunkte erreichen bisher maximal 0,4 Megawatt, typische Wechselstrom-Ladepunkte nur 0,022 Megawatt.

<sup>26</sup> BMWK und BMDV (2024): Gemeinsame Pressemitteilung vom 3. Juli 2024 (online verfügbar).

<sup>27</sup> BMDV (2024): Pressemitteilung vom 16. September 2024 (online verfügbar); sowie Nationale Leitstelle Ladeinfrastruktur: Standorte für das LKW-Schnellladenetz an Rastanlagen mit benötigten Netzanschlussleistungen (online verfügbar).

<sup>28</sup> Julia Pelzeter et al. (2024), a. a. O.

<sup>29</sup> BMDV (2024): Informationsveranstaltung zum nationalen Strategierahmen gemäß EU-Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) (online verfügbar).

<sup>30</sup> Vgl. auch Sachverständigenrat (2024), a. a. O.

<sup>31</sup> Dabei geht es um die Dichte der Standorte sowie Abgabemengen vgl. BMDV (2024), a. a. O.

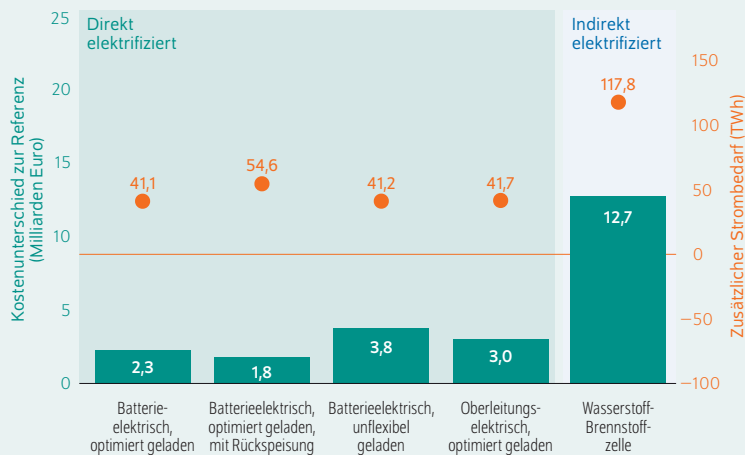
<sup>32</sup> Vgl. Sachverständigenrat (2024), a. a. O.

Kasten

## Stromsektoranalyse: Vorteile der Wasserstoff-Speicherung wiegen Energieeffizienznachteile nicht auf

Abbildung

**Änderung der Stromsektorkosten gegenüber der Referenz mit Diesel-Lkw sowie Strombedarf der Fahrzeuge**  
Milliarden Euro (linke Achse), Terawattstunden (rechte Achse)



Anmerkungen: Berechnungen für 2030 unter der Annahme, dass der gesamte Schwerlastverkehr mit der jeweiligen Technologie elektrifiziert ist. Grüner Wasserstoff wird annahmegemäß in Deutschland erzeugt.

Quelle: Carlos Gaete-Morales et al. (2024): Power sector effects of alternative options for de-fossilizing heavy-duty vehicles—Go electric, and charge smartly. Cell Reports Sustainability 1(6), 100123 (online verfügbar).

© DIW Berlin 2024

Die Kosten der Stromversorgung sind bei Batterie-Lkw geringer als bei Brennstoffzellen-Lkw, sogar bei unflexibler Ladung der Batterien.

Eine Analyse mit dem quelloffenen Stromsektormodell DIETER des DIW Berlin zeigt, dass batterieelektrische Fahrzeuge mit Schnellladung zu den niedrigsten Stromsektorkosten aller betrachteten Optionen führen. Selbst bei nicht optimierter Aufladung der Fahrzeuge ergeben sich deutliche Vorteile gegenüber Wasserstoff-Brennstoffzellenfahrzeugen oder synthetischen, wasserstoffbasierten E-Fuels. Noch höher sind die Vorteile bei einer am Strommarktpreis orientierten Aufladung der Fahrzeugbatterien in Kombination mit einer zeitweisen Rückspeisung in das Stromnetz (Vehicle-to-Grid).

Grund hierfür ist die schlechte Energieeffizienz von Wasserstoff- und E-Fuels, die annahmegemäß heimisch produziert werden. Dies führt zu erheblichen Kosten für die zusätzliche Bereitstellung von erneuerbaren Energien. Oft wird argumentiert, dass dem jedoch eine günstige Speicherbarkeit von Wasserstoff und E-Fuels gegenüberstünde, die in einem künftigen Energiesystem mit hohen Anteilen fluktuierender Wind- und Solarenergie wichtiger wird. Die Modellanalysen zeigen jedoch, dass die Vorteile der Speicherung von Wasserstoff und E-Fuels deutlich durch ihre Energieeffizienz-Nachteile überwogen werden (Abbildung).<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Carlos Gaete-Morales et al. (2024): Power sector effects of alternative options for de-fossilizing heavy-duty vehicles—Go electric, and charge smartly. Cell Reports Sustainability 1(6), 100123 (online verfügbar). Eine deutsche Kurzfassung ist als DIW aktuell verfügbar: Wolf-Peter Schill et al. (2024): Klimaschutz im Güterverkehr: Batterieelektrische Antriebe können günstiger mit erneuerbarem Strom versorgt werden als Wasserstoff-Lkw. DIW aktuell 94 (online verfügbar).

## Herausforderungen für Batterie-Lkw und mögliche Beiträge anderer Technologien

Die Entwicklungen am Fahrzeugmarkt und bei der Ladeinfrastruktur sowie Energieeffizienz- und Energiesystemanalysen legen nahe, dass stationär geladene Batteriefahrzeuge ein zentraler Baustein des klimafreundlichen Schwerlastverkehrs sein werden. Ein systematischer Vergleich verschiedener Kriterien zeigt allerdings, dass diese Technologie auch vor verschiedenen Herausforderungen steht.<sup>33</sup> Dazu gehören die Stromnetzintegration und Wirkungen auf die Energiesystemstabilität, der Flächenbedarf der Ladeinfrastruktur, der Rohstoffbedarf für die Fahrzeugbatterien, der operationelle Anpassungsbedarf bei Logistikern und die Fahrzeugkosten.

### Einzelne Vor-, aber auch viele Nachteile beim Wasserstoff

Wasserstoffbasierte Antriebe haben Vorteile bei einzelnen der genannten Kriterien. Beispielsweise erfordern sie keinen Anschluss von Schnellladeinfrastruktur an das Stromnetz und damit gegebenenfalls einhergehenden

Verstärkungsmaßnahmen in den dahinter liegenden Netzen. Auch der Flächenbedarf und die Notwendigkeit für operationelle Anpassungen bei Logistikern wird etwas vorteilhafter bewertet als bei Batterie-Lkw.<sup>34</sup> Wasserstofffahrzeuge bringen aber auch eigene Herausforderungen beim Infrastrukturausbau und bei den Energiekosten mit sich, was letztlich an ihrer schlechten Energieeffizienz liegt (Kasten). Zudem erscheint die Energiekostenunsicherheit aufgrund des bisher kaum existierenden Wasserstoffmarkts mit einer Vielzahl zukünftiger Nachfrager deutlich höher als bei Batterie-Lkw.

Angesichts des hohen absehbaren Wasserstoffbedarfs anderer Sektoren, vor allem der Industrie, erscheint fraglich, ob mittelfristig überhaupt nennenswerte Mengen grüner Wasserstoff für den Straßenverkehr bereitgestellt werden können. Sowohl bei der heimischen Erzeugung als auch bei den geplanten Importen von Wasserstoff wurden bisher kaum Projekte konkret realisiert.<sup>35</sup>

<sup>34</sup> Pelzeter et al. (2024), a. a. O.

<sup>35</sup> Vgl. Stand und Ziele für die Elektrolyse im Ampel-Monitor Energiewende (online verfügbar); sowie Martin Kittel et al. (2023): Nationale Wasserstoffstrategie konsequent und mit klarem Fokus umsetzen. DIW Wochenbericht Nr. 41, 561–571 (online verfügbar).

<sup>33</sup> Grundlage dieses Abschnitts ist die Analyse von Jöhrens et al. (2024), a. a. O.

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob Wasserstoff-Lkw überhaupt zur schnellen Minderung der Treibhausgasemissionen in Deutschland beitragen können. Ihre Emissionsbilanz in einer Lebenszyklusbetrachtung für das Jahr 2030, die auch die Fahrzeugherstellung miteinschließt, erscheint mittelfristig wenig vorteilhaft (Abbildung 6).<sup>36</sup> Dies gilt vor allem, falls sogenannter grauer, auf Basis von Erdgas hergestellter Wasserstoff genutzt wird. Dass es dazu kommt, erscheint plausibel, da die Produktionskosten von grünem Wasserstoff noch für längere Zeit deutlich über denen von grauem Wasserstoff liegen dürften. Noch schlechter ist die Emissionsbilanz, wenn Elektrolysewasserstoff auf Basis von Netzstrom erzeugt wird. Selbst im Fall, dass die Elektrolyse vollständig mit erneuerbarem Strom betrieben wird (grüner Wasserstoff), würde sich kein Emissionsvorteil gegenüber Batterie-Lkw mit Netzstrombezug ergeben, da der Anteil erneuerbarer Energien im Stromnetz bis 2030 auf mindestens 80 Prozent steigen soll. Zumindest bis zum Jahr 2030 dürften Batterie-Lkw in einer Lebenszyklusbetrachtung somit deutliche Emissionsvorteile gegenüber Wasserstoff-Lkw haben. Die Analyse zeigt zudem, dass die Herstellung der Fahrzeuge (inklusive Batterien) im Vergleich zur Energiebereitstellung der Nutzungsphase nur einen geringen Teil der Klimabilanz ausmacht.

### Weitere elektrische Technologien in Teilbereichen vorteilhaft

Andere elektrische Technologien, die derzeit noch kaum am Markt verbreitet, aber technisch erprobt sind, könnten manche Schwachstellen von rein batterieelektrischen Lkw teilweise ausgleichen. Dazu gehören sogenannte elektrische Straßensysteme wie Oberleitungen oder Stromschienen, mit denen elektrische Lkw während der Fahrt dynamisch mit Strom versorgt werden können und die eine Verkleinerung der Fahrzeugbatterien erlauben. Oberleitungssysteme für Lkw wurden in Deutschland bereits umfassend erprobt.<sup>37</sup> Daneben werden Batteriewechselsysteme für Lkw diskutiert. Diese sind in China bereits sehr verbreitet, in Deutschland jedoch bisher kaum erprobt. Eine weitere Möglichkeit sind Sattelaufzieger mit elektrischen Antriebsachsen und eigener Batterie (E-Trailer), die zunächst auch in Kombination mit Diesel-Zugmaschinen eingesetzt werden könnten.

Diese Technologien werden teilweise als vorteilhaft bewertet in Hinblick auf einzelne Aspekte, bei denen der Markthochlauf von Batterie-Lkw mit Schnellladung vor Herausforderungen steht (Abbildung 7).<sup>38</sup> Besonders ausgeprägt ist dies bei den Kriterien Netzintegration, Beitrag zur Stabilität des Energiesystems sowie Flächenbedarf. Es gibt jedoch bisher keine Technologie, die alle Nachteile von Batterie-Lkw gleichermaßen adressiert. Zudem bringt jede Technologie

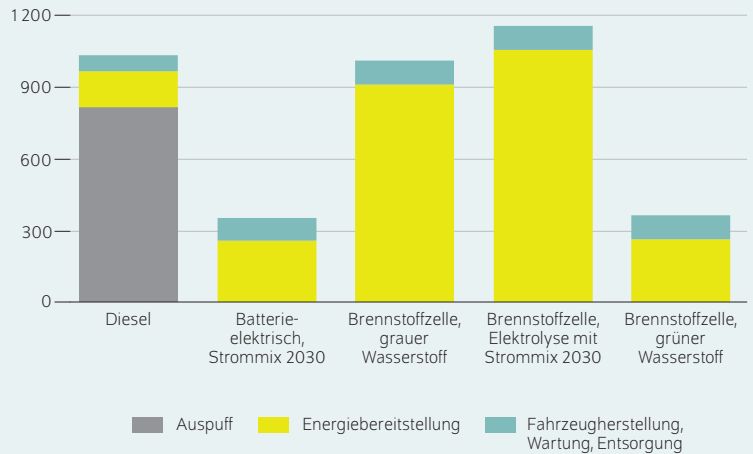
<sup>36</sup> Julius Jöhrens et al. (2024): Perspektivische Kosten und Klimabilanz von Lkw mit alternativen Antrieben 2030. enERSyn Schwerpunktpaper #2 (im Erscheinen).

<sup>37</sup> Julius Jöhrens et al. (2022): Current technical findings on the eHighway system from field tests and accompanying research in Germany. Working paper compiled by the German cross-project Working Group on eHighway Technology (AG Technikbewertung) (online verfügbar).

<sup>38</sup> Jöhrens et al. (2024), a. a. O.

Abbildung 6

### Klimabilanz von Sattelzugmaschinen im Fernverkehr 2030 Gramm CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kilometer



Anmerkung: Betrachtung des gesamten Lebenszyklus.

Quelle: Julius Jöhrens et al. (2024): Perspektivische Kosten und Klimabilanz von Lkw mit alternativen Antrieben 2030. enERSyn Schwerpunktpaper #2 (im Erscheinen).

© DIW Berlin 2024

Auch bei Nutzung von grünem Wasserstoff verursachen Brennstoffzellenfahrzeuge über den Lebenszyklus keine geringeren Emissionen als Batteriefahrzeuge.

eigene Herausforderungen mit sich, beispielsweise hohe Anfangsinvestitionen für ein Kernnetz bei Oberleitungen oder die nötigen Standardisierungen bei Batteriewechselsystemen.

### Treibhausgasminderungsquote könnte starke Anreize für Wasserstoffnutzung schaffen

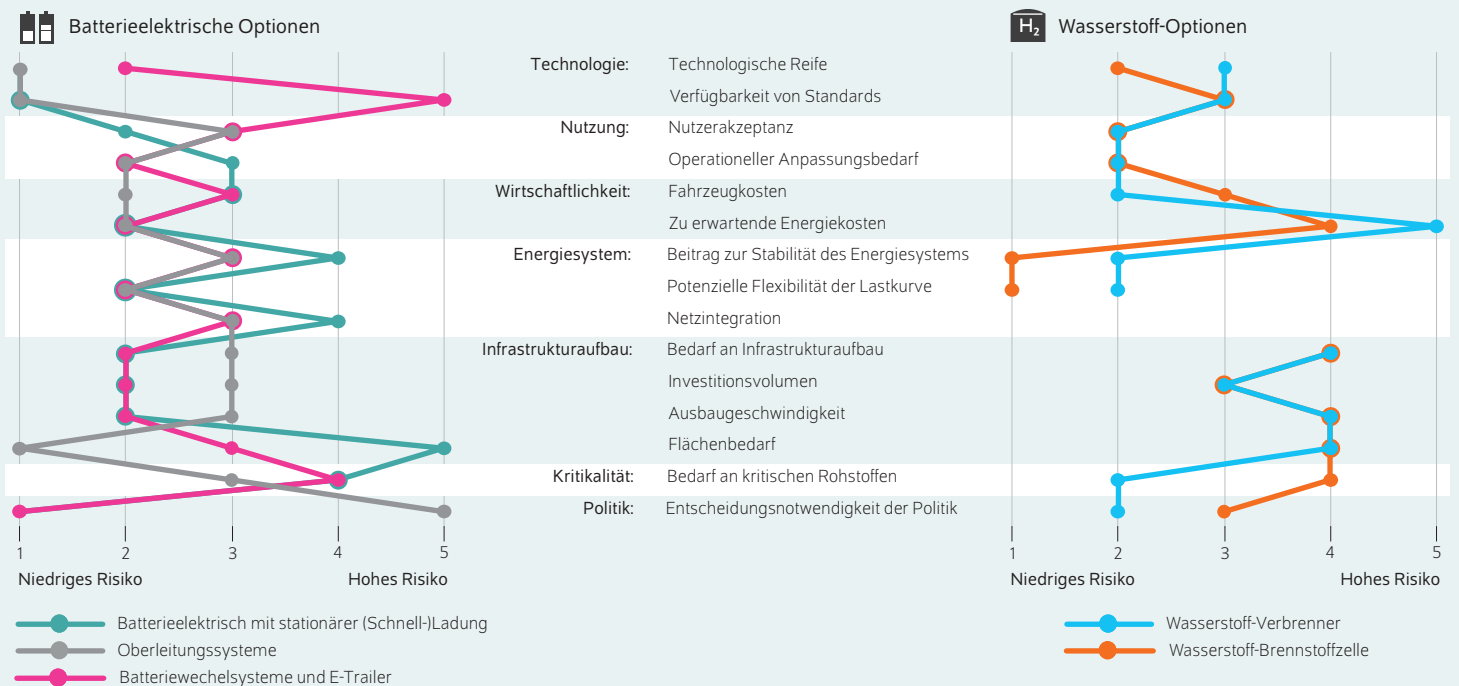
Die Treibhausgasminderungsquote (THG-Quote) ist ein marktbasierendes Klimaschutzinstrument, mit dem die Nutzung fossiler Kraftstoffe im Verkehrssektor verringert werden soll. Unternehmen, die fossile Kraftstoffe in den Verkehr bringen, werden verpflichtet, die durch diese Kraftstoffe verursachten Emissionen (inklusive Kraftstoffherstellung) zu verringern. Die Minderungsquote steigt dabei Jahr für Jahr. Derzeit liegt sie bei 9,35 Prozent gegenüber dem fossilen Referenzwert, im Jahr 2030 sind es 25,1 Prozent.<sup>39</sup> Zur Minderung können verschiedene sogenannte Erfüllungsoptionen gewählt werden, unter anderem die Nutzung von elektrischem Strom als Antriebsenergie oder das Inverkehrbringen von strombasierten Kraftstoffen wie Wasserstoff. Die Quoten müssen nicht von jedem Unternehmen selbst erbracht werden, sondern können über Zertifikate gehandelt werden.

In der Systematik der THG-Quote wird die bessere Energieeffizienz von batterieelektrischen gegenüber wasserstoffbasierten Lkw jedoch nicht ausreichend berücksichtigt. Dies führt dazu, dass mit der Inverkehrbringung von Wasserstoff höhere

<sup>39</sup> Weitere Informationen auf der Homepage des Zolls (online verfügbar).

Abbildung 7

Bewertung der Risiken für den Markthochlauf verschiedener Technologien in Hinblick auf 15 verschiedene Kriterien



Anmerkungen: Hier wird angenommen, dass Wasserstoff nicht heimisch per Elektrolyse erzeugt werden muss, sondern zum Beispiel aus dem Ausland importiert werden kann. Das Kriterium Netzintegration bezieht sich auf das Stromnetz und trifft für Wasserstoff-Antriebe nicht zu.

Quelle: Julia Pelzeter et al. (2024): Bewertung von Technologiekonfigurationen für den Straßengüterverkehr. ifeu, TU Dresden, DIW Berlin. (online verfügbar).

Bei vier Kriterien haben batterieelektrische Lkw höhere Risiken beim Markthochlauf als andere Optionen.

Zertifikatserlöse erzielt werden können als mit einer entsprechend geringeren Menge von Antriebsstrom, die die gleiche Fahrleistung ermöglicht. Werden diese Erlöse genutzt, um den Verkauf von grünem Wasserstoff an Tankstellen zu subventionieren, bedeutet dies beim aktuellen Quotenpreis von rund 70 Euro pro Tonne CO<sub>2</sub> eine Senkung des Wasserstoffpreises um rund zwei Euro pro Kilogramm. Falls die Zertifikatspreise aufgrund steigender Minderungsquoten in Zukunft wieder auf ein Niveau von circa 400 Euro pro Tonne steigen, auf dem sie im Jahr 2022 bereits lagen, könnte der Verkauf von grünem Wasserstoff mit rund zwölf Euro pro Kilogramm subventioniert werden. Dies liegt in der Größenordnung des heutigen Tankstellenpreises für Wasserstoff und würde die momentan sehr hohen Energiekosten von Brennstoffzellen-Lkw drastisch senken. Damit kann die THG-Quote in ihrer aktuellen Ausgestaltung stärkere Anreize für die Nutzung von Wasserstoff als von Strom als Antriebsenergie geben.

**Fazit: Fokussierung auf batterieelektrische Antriebe und Schnellladung sinnvoll**

In der Debatte um einen Antriebswechsel im Schwerlastverkehr wird oft argumentiert, dass ein breites Technologieportfolio erforderlich sei, um die Treibhausgasemissionen schnell und effektiv zu reduzieren. Dieses Argument

wird insbesondere von Akteuren aus der Fahrzeugherstellung, der Logistik und der Wasserstoffwirtschaft vorgetragen. Teils wird auch argumentiert, dass ein möglichst breites Technologieportfolio industriepolitisch sinnvoll sei, um langfristige Marktchancen für heimische Hersteller zu wahren.<sup>40</sup>

Die aktuellen Marktentwicklungen sowie systematische Erwägungen zur Energieeffizienz, den Energiesystemwirkungen und den mittelfristig erwartbaren Beiträgen zur Emissionsminderung legen jedoch nahe, dass ein klarer politischer Fokus auf stationär geladene Batterie-Lkw vorteilhaft ist. Zum einen entspricht dies der Marktrealität und unterstützt somit laufende privatwirtschaftliche Aktivitäten. Zum anderen entspricht diese Technologie dem aus heutiger Sicht plausibelsten Pfad für mittel- und langfristig effektiven Klimaschutz im Schwerlastverkehr. Eine klare Kommunikation der Bundespolitik zu Batterie-Lkw als zentraler Technologie könnte Lkw-Herstellern und -Betreibern Sicherheit bei anstehenden Investitionen geben. Eine politische Förderung von zu vielen alternativen Technologieoptionen könnte dagegen zu Planungsunsicherheit bei Fahrzeugherstellern, Bereitstellern von Infrastruktur sowie Logistikern führen und damit letztlich die Antriebswende verzögern.

<sup>40</sup> Vgl. Sachverständigenrat (2024), a. a. O.

Die bereits laufenden privatwirtschaftlichen Aktivitäten beim Hochlauf der Ladeinfrastruktur für Batterie-Lkw sollten weiter staatlich flankiert werden. Die entsprechenden Ausschreibungen sind ein erster positiver Schritt in diese Richtung. Auch weitergehende Aktivitäten beim Bereitstellen der erforderlichen Flächen sowie der Netzanschlüsse erscheinen sinnvoll. Darüber hinaus sollten die Regelungen der Treibhausgasminderungsquote so angepasst werden, dass sie die Energieeffizienzvorteile von Batterie-Lkw angemessen berücksichtigen.

In Hinblick auf die Offenhaltung alternativer Technologien sollten Optionen im Fokus stehen, die technisch relativ eng mit Batterie-Lkw verwandt sind und möglicherweise mit

Schnelllade-Konzepten modular kombiniert werden können. Hier könnten sich Batteriewechselsysteme sowie E-Trailer zu sinnvollen Komplementärtechnologien entwickeln. Auch die technisch eng verwandte Option der Oberleitungs-Lkw könnte mit einem größeren Demonstrationsprojekt weiter offengehalten werden.

Wasserstoff-Lkw würden dagegen eine gänzlich andere Fahrzeug- und Infrastrukturtechnologie sowie entsprechende Pfadentscheidungen der Lkw-Betreiber erfordern. Um die Umsetzung der Antriebswende nicht weiter zu verschleppen und in Anbetracht der vielfältigen Herausforderungen erscheint es nicht sinnvoll, die Nutzung von Wasserstoff im Schwerlastverkehr weiter zu fördern.

**Hendrik Beeh** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Mobilität des ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH | [hendrik.beeh@ifeu.de](mailto:hendrik.beeh@ifeu.de)

**Julius Jöhrens** ist Themenfeldleiter Antriebstechnologien im Fachbereich Mobilität des ifeu-Instituts | [julius.joehrens@ifeu.de](mailto:julius.joehrens@ifeu.de)

**Josef Klingl** ist Praktikant im Fachbereich Mobilität des ifeu-Instituts | [josef.klingl@ifeu.de](mailto:josef.klingl@ifeu.de)

**Dominik Räder** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Fachbereich Mobilität des ifeu-Instituts | [dominik.raeder@ifeu.de](mailto:dominik.raeder@ifeu.de)

**Wolf-Peter Schill** ist Leiter des Forschungsbereichs Transformation der Energiewirtschaft in der Abteilung Energie, Verkehr, Umwelt im DIW Berlin | [wpschill@diw.de](mailto:wpschill@diw.de)

**Markus Werner** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Elektrische Bahnen der Technischen Universität Dresden | [markus.werner@tu-dresden.de](mailto:markus.werner@tu-dresden.de)

**JEL:** L62, Q42, R40, R48

**Keywords:** road freight transport, battery-electric vehicles, electric road systems, hydrogen

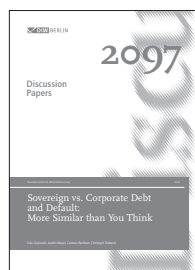
This report is also available in an English version as DIW Weekly Report 47+48/2024:

[www.diw.de/diw\\_weekly](http://www.diw.de/diw_weekly)



Discussion Papers Nr. 2097

2024 | Gita Gopinath, Josefin Meyer, Carmen Reinhart, Christoph Trebesch



## Sovereign vs. Corporate Debt and Default: More Similar than You Think

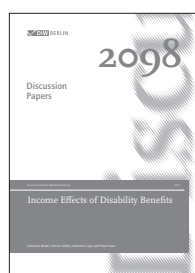
Theory suggests that corporate and sovereign bonds are fundamentally different, also because sovereign debt has no bankruptcy mechanism and is hard to enforce. We show empirically that the two assets are more similar than you think, at least when it comes to high-yield bonds over the past 20 years. Based on rich new data we compare risky US corporate bonds ("junk" bonds) to risky emerging market sovereign bonds 2002-2021 (EMBI bonds). Investor experiences in these two asset classes were surprisingly aligned, with (i) similar average excess returns, (ii) similar average risk-return patterns (Sharpe ratios), (iii) a similar default frequency, and (iv) comparable haircuts. A notable difference is that the average default duration is higher for sovereigns. Furthermore, the time profile of bond returns and default events differs. One explanation is that the two markets co-move differently with domestic and global factors. US "junk" bond yields are more closely linked to US market conditions such as US stock market returns, US stock price volatility (VIX), US industrial production, or US monetary policy.

[www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere](http://www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere)



Discussion Papers Nr. 2098

2024 | Sebastian Becker, Annica Gehlen, Johannes Geyer, Peter Haan



## Income Effects of Disability Benefits

We provide novel evidence about the incentive and welfare effects of an increase in the generosity of disability benefits. Importantly, a unique policy variation in Germany allows us to isolate the income effect of a change in benefit generosity. We leverage this quasi-experimental policy variation using an RD design to estimate the effect of increasing disability benefits on employment, earnings, labor market transitions, and mortality outcomes using administrative data on the universe of new disability benefit recipients. Contrary to previous literature, our analysis reveals no significant impact on the employment and earnings of DI recipients due to the increased benefits. However, we find a sizable effect of

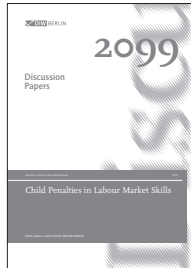
the probability of returning to the labor market. We find no effects on recipient mortality six years after benefit award, but estimates imply a notable reduction in poverty risk, highlighting meaningful welfare implications of increased generosity.

[www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere](http://www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere)



Discussion Papers Nr. 2099

2024 | Jonas Jessen, Lavinia Kinne, Michele Battisti



## Child Penalties in Labour Market Skills

Child penalties in labour market outcomes are well-documented: after childbirth, mothers' employment and earnings drop persistently compared to fathers. Beyond gender norms, a potential driver could be the loss in labour market skills due to mothers' longer employment interruptions. This paper estimates child penalties in adult cognitive skills by adapting the pseudo-panel approach to a single cross-section of 29 countries in the PIAAC dataset. We find a persistent drop in numeracy skills after childbirth for both parents between 0.13 (short-run) and 0.16 standard deviations (long-run), but no statistically significant difference between mothers and fathers. Estimates of child penalties in skills strongly

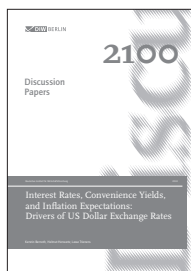
depend on controlling for pre-determined characteristics, especially education. Additionally, there is no evidence for worse occupational skill matches for mothers after childbirth. Our findings suggest that changes in general labour market skills cannot explain child penalties in labour market outcomes, and that a cross-sectional estimation of child penalties can be sensitive to characteristics of the outcome variable

[www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere](http://www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere)



Discussion Papers Nr. 2100

2024 | Kerstin Bernoth, Helmut Herwartz, Lasse Trienens



## Interest Rates, Convenience Yields, and Inflation Expectations: Drivers of US Dollar Exchange Rates

Using a data-driven approach to identify structural vector autoregressive models, we examine key factors influencing the US dollar exchange rate across eight advanced economies from 1980 to 2022. We find that shocks to inflation expectations, which are closely tied to unfunded government transfer payments, have a pronounced effect on the US dollar's value. This underscores the fiscal dimension of exchange rates. External shocks, related to the convenience yield investors forgo to hold US dollar assets, have emerged over time as the most powerful driver of US dollar exchange rate fluctuations. These findings provide

new insights into the complex interplay of monetary policy, fiscal dynamics, and global market forces in shaping US dollar exchange rates.

[www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere](http://www.diw.de/publikationen/diskussionspapiere)





STEFAN BACH

# Soli abschaffen und bei Spitzenverdienenden in den Einkommensteuertarif integrieren

Stefan Bach ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Staat im DIW Berlin. Der Kommentar gibt die Meinung des Autors wieder.

Das Bundesverfassungsgericht entscheidet demnächst über das weitere Schicksal des Solidaritätszuschlags – liebevoll Soli genannt. Sechs FDP-Abgeordnete klagen dagegen – durchaus privilegiert, denn normalerweise muss man sich als Normalsterblicher ewig und drei Tage durch die Instanzen hochklagen, bevor man Verfassungsbeschwerde einlegen darf.

Dieser Tage haben wir in Berlin den 35. Jahrestag des Mauerfalls gefeiert. Der Soli wird seit dem Jahr 1995 dauerhaft erhoben als Zuschlag auf die Einkommensteuer und Körperschaftsteuer, seit 1998 mit 5,5 Prozent. Immerhin muss er seit 2021 nur noch auf hohe Einkommen gezahlt werden. Unternehmen und Kapitalanleger\*innen zahlen ihn aber noch generell.

Nach mehr als einer Generation ist der Zuschlag kaum noch mit den Kosten der Wiedervereinigung zu begründen. Seit dem Jahr 2019 gibt es im Bund-Länder-Finanzausgleich keine Sonderregelungen mehr für die ostdeutschen Länder. Natürlich sind diese immer noch wirtschaftsschwach; der Rückstand bei Wertschöpfung, Einkommen und Vermögen hat sich leider seit den Nullerjahren kaum noch reduziert. Aber das sind regionale Ungleichgewichte, die mit dem bestehenden Steuer- und Finanzausgleichssystem, den Sozialversicherungen und der Regionalförderung bewältigt werden können.

Auch im Westen gibt es strukturschwache Gebiete. Und die Bundeshauptstadt Berlin ist der Kostgänger des Finanzausgleichs schlechthin – sie wird mit Subsidien in Höhe von jährlich vier bis fünf Milliarden Euro gepampert. Da kommt ja auch keiner auf die Idee, einen Südpfalz- oder Ostfriesen-Soli zu erheben oder das legendäre Notopfer Berlin wieder zu beleben.

Ob der Soli tatsächlich auslaufen muss, wenn sich der Finanzierungszweck der Deutschen Einheit erledigt hat, ist juristisch umstritten. Vor Gericht und auf hoher See ... Politisch wäre das aber vernünftig, das hat man dem Steuerzahlervolk immer so verkauft.

Andererseits haben wir in unserem Steuer- und Abgabensystem andere Sorgen, als Hochverdienende mit milliardenschweren Steuerentlastungen zu beglücken. Würde der Soli abgeschafft, gingen die Mindereinnahmen von 12,5 Milliarden Euro im Jahr zu 91 Prozent an die reichsten fünf Prozent der Bevölkerung. Allein das oberste Hundertstel würde mit 7,2 Milliarden Euro entlastet – das sind 10 400 Euro je Steuerpflichtigen.

Gerechter und wachstumsfreundlicher wäre es, Geringverdienende und Mittelschichten zu entlasten, die mit hohen Sozialabgaben gebeutelt werden und auch schon von der Steuerprogression betroffen sind. Oder auch noch die Besserverdienenden, die auf dem Arbeitsmarkt dringend gebraucht werden. Daher sollte die Abschaffung des Solis durch eine Erhöhung des Spitzen- und Reichensteuersatzes des Einkommensteuertarifs kompensiert werden, zum Beispiel von 42 auf 44 Prozent und von 45 auf 47,5 Prozent. Durch den Wegfall der unsinnigen Freigrenzen-Milderungszone des Solis, die als „Besserverdiener-Prellbock“ wirkt, würden die Steuerpflichtigen mit Soli immerhin noch um 2,5 Milliarden Euro entlastet – das reicht.

Bei der Körperschaftsteuer sollte man den Soli nicht auf den Steuersatz draufschlagen. Das würde den im internationalen Vergleich recht hohen deutschen Unternehmensteuersatz ein wenig senken. Die Kapitalertragsteuersätze könnte man ebenfalls unverändert lassen, im Gegenzug die Abgeltungsteuer aufheben und die Kapitalerträge wieder bei der persönlichen Einkommensteuer erfassen.

Das restliche Aufkommen des Solidaritätszuschlags sollte man dazu einsetzen, vor allem untere und mittlere Einkommen durch eine Erhöhung des Grundfreibetrags und einen weniger schnellen Anstieg der Steuerprogression oder bei den Sozialbeiträgen zu entlasten. Oder auch, um die Unternehmen stärker zu entlasten. Das bringt mehr für Steuergerechtigkeit und Wachstum als Einkommensteuerentlastungen für Hochverdienende.