Bevölkerungsdichte, Stadtstruktur und Umweltverschmutzung

Rainald Borck

Online publiziert: 28. Oktober 2019
© Der/die Autor(en) 2019

Zusammenfassung In diesem Aufsatz wird der Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte, Stadtstruktur und Umweltverschmutzung untersucht. Der Beitrag präsentiert stadtökonomische Modelle, in denen die Haupttreiber der städtischen Verschmutzung analysiert werden. Zudem wird empirische Evidenz zu den betrachteten Zusammenhängen präsentiert sowie wirtschaftspolitische Implikationen diskutiert. Kurz gesagt: größere und dichter besiedelte Städte produzieren mehr Luftverschmutzung und CO₂, aber vermutlich weniger CO₂ pro Kopf. Ohne Regulierung werden Städte zu wenig dicht bebaut, und große Städte könnten im Vergleich zum Wohlfahrtsoptimum zu klein sein.

Schlüsselwörter Bevölkerungsdichte · Stadtstruktur · Luftverschmutzung · CO₂

Population density, urban structure and air pollution

Abstract This paper examines the relationship between population density, urban structure and pollution. The paper presents urban economic models that analyze the main drivers of urban pollution. It also presents empirical evidence on the relationships considered and discusses policy implications. In short, larger and more densely populated cities produce more air pollution and CO₂, but probably less CO₂ per capita. Without regulation, cities are insufficiently dense, and large cities may be too small compared to the welfare optimum.

R. Borck (✉)
Universität Potsdam, Potsdam, Deutschland
E-Mail: rainald.borck@uni-potsdam.de

CESifo, München, Deutschland

DIW Berlin, Berlin, Deutschland

Keywords Population density · Urban structure · Air pollution · CO₂

1 Einleitung

Deutschland ist ein urbanes Land. Wie in anderen Industrieländern haben Agglomerationseffekte dazu geführt, dass mehr als 75 % aller Einwohner in Städten wohnen. Dies lohnt sich für Haushalte, weil die Vorteile die Nachteile überwiegen. Zu den Agglomerationsvorteilen gehören z. B. höhere Löhne, größere Produktvielfalt oder niedrigere Kosten öffentlicher Leistungen; zu den Nachteilen gehören z. B. längere Pendelzeiten, höhere Wohnspreise, Kriminalität und Verschmutzung. Doch während es eine riesige ökonomische Literatur zu Agglomerationsvorteilen gibt, ist die Literatur zu den Kosten der Agglomeration deutlich weniger entwickelt (s. z. B. Ahlfeldt und Pietrostefani 2019).

Ein wichtiger Faktor, der die Lebensqualität in Städten negativ beeinflusst, ist Luftverschmutzung. Zudem produziert die ökonomische Aktivität in Städten Treibhausgase, die zum Klimawandel beitragen. Zwar hat die Belastung mit verschiedenen Schadstoffen in deutschen Städten im Zeitverlauf deutlich abgenommen, aber die aktuelle Diskussion um Feinstaub, NO₂-Grenzwerte und Dieselfahrverbote in Innenstädten zeigt, dass das Thema auf der Agenda der Politik bleibt.¹ Feinstaub entsteht (außer durch natürliche Quellen) durch Emissionen aus Kraftfahrzeugen und in Kraftwerken sowie bei der Metall- und Stahlerzeugung. Feinstaub kann zu Entzündungen der Atemwege bis hin zu Herz-Kreislaufkrankungen führen. Stickstoffoxide entstehen durch Reaktionen in Verbrennungsmotoren und Feuerungsanlagen für Kohle, Öl, Gas, Holz und Abfälle. Gesundheitliche Wirkungen haben sie vor allem für Asthmatiker.²

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der gemessenen Feinstaub- und Stickstoffdioxidkonzentration in Kreisen mit hoher bzw. niedriger Bevölkerungsdichte (über bzw. unter der Median-Bevölkerungsdichte), und Abb. 2 zeigt die Verteilung der Verschmutzung in den deutschen Kreisen. Dabei zeigt sich, dass die Feinstaubbelastung in den letzten Jahren deutlich abgenommen hat, während die NO₂-Belastung annähernd stabil geblieben ist. Die gemessenen Konzentrationen sind insbesondere in großen Städten sowie in den industriellen Zentren im Süden und Südwesten hoch. Zudem zeigen sich hohe Konzentration in einigen ostdeutschen Kreisen, vermutlich wegen der Verbrennung von Kohle in Kraftwerken.

Aus ökonomischer Sicht ist die Lösung für Umweltverschmutzung relativ simpel. Spätestens seit Pigou (1920) wissen wir, dass Individuen oder Firmen, die die Umwelt verschmutzen, den negativen externen Effekt dieser Verschmutzung auf die Betroffenen vernachlässigen und daher zu viel Verschmutzung ausstoßen. Die erstbeste Politik wäre, diese Externalitäten durch eine Steuer oder handelbare Emissionsrechte mit einem Preis zu versehen, der dazu führt, dass die Verursacher weniger Verschmutzung ausstoßen. Aus unterschiedlichen Gründen sind aber diese

¹ Deshalb beschränkt sich die Beschreibung der Luftverschmutzung im Folgenden auf Feinstaub und Stickstoffoxide.

² S. z. B. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick>.

Abb. 1 Verschmutzung in Kreisen mit hoher und niedriger Bevölkerungsdichte (2002–2015)

Instrumente häufig nicht diejenigen, die von der Politik zur Eindämmung von Umweltverschmutzung genutzt werden. Neben Ge- und Verboten (s. Dieselfahrverbote) sind insb. technologische Maßnahmen wie Vorschriften zum Stand der Technik ein oft von der Politik verwendetes Mittel.

Dieser Beitrag knüpft an die Diskussion über die Umweltverschmutzung in Städten an. Insbesondere fragen wir, in wie weit die Luftverschmutzung durch zunehmende Urbanisierung und die Stadtstruktur beeinflusst wird. Dazu stellt der nächste Abschnitt ein ökonomisches Modell vor, mit dem sich analysieren lässt, wie Urbanisierung bzw. eine Zunahme der Bevölkerungsdichte in Städten die Umweltver-

Abb. 2 a NO₂- und b PM₁₀-Konzentration in deutschen Kreisen (2015)

schmutzung beeinflusst. Diese Art von Verdichtung wird z. B. von der OECD und anderen Organisationen im Rahmen von „compact city“ Initiativen gefordert (OECD 2012). Danach betrachten wir die empirische Evidenz zu der Frage, ob größere und dichter besiedelte Städte mehr Luftverschmutzung und Treibhausgase (THGs) produzieren.

In Abschn. 3 wenden wir uns der Frage zu, was daraus für die optimale Stadtstruktur folgt: Sind große Städte ohne Politikeingriffe zu groß oder zu klein? Wie wir sehen werden, kann die Antwort durchaus lauten, dass die größeren Städte zu klein sind. Abschnitt 4 betrachtet die Auswirkungen der Stadtstruktur, insbesondere der Bebauungsdichte und Gebäudehöhe auf die Verschmutzung. In Abschn. 5 betrachten wir die sich ergebenden Politikimplikationen, und der letzte Abschnitt enthält kurze Schlussfolgerungen.

2 Bevölkerungsdichte und Luftverschmutzung

Sind große und dicht besiedelte Städte „grüner“ als kleine und zersiedelte Städte? Bevor wir die Evidenz hierzu analysieren, betrachten wir zunächst theoretische Argumente.³

2.1 Theorie

Wir betrachten eine Stadt, in der die Individuen zum Arbeiten ins Stadtzentrum pendeln, wo sich alle Arbeitsplätze befinden. Die Individuen sind innerhalb der Stadt mobil und können ihren Wohnort frei wählen. Wohnungen werden von gewinnmaximierenden Unternehmen unter vollständigem Wettbewerb produziert. Als Folge müssen die Wohnungspreise pro m² mit der Entfernung der Wohnung zum Zentrum abnehmen: Da die Pendelkosten mit der Entfernung steigen, müssen die Individuen durch niedrigere Quadratmetermieten entschädigt werden. Im Gleichgewicht steigen deshalb mit der Entfernung zum Zentrum die Wohnungsgrößen und die Gebäudehöhe nimmt ab: nahe am Zentrum sind die Wohnungen klein und teuer; da zudem Land teuer ist, bauen Wohnungsunternehmer in die Höhe. Umgekehrt sind Wohnungen am Stadtrand billig (bezogen auf die Quadratmetermiete) und groß, Land ebenfalls billig und die Gebäude flach.⁴

Im Modell wird Luftverschmutzung durch die ökonomischen Aktivitäten der Stadtbewohner verursacht. Nehmen wir an, dass die Individuen alle mit dem Auto zur Arbeit fahren. Dabei werden sowohl lokale Luftverschmutzung in Form von NO₂ und Feinstaub als auch CO₂ emittiert. Die Gesamtverschmutzung durch Pendeln ergibt sich dann durch die Summe der gefahrenen Kilometer, multipliziert mit dem Emissionskoeffizienten, d. h. der Verschmutzung, die das Autofahren pro km

³ Die folgenden Argumente basieren auf Borck und Pflüger (2019). Siehe auch Gagné et al. (2012), Larson et al. (2012) und Larson und Yezer (2015).

⁴ Kompakte Darstellungen dieses Grundmodells der Stadtökonomie finden sich z. B. bei Brueckner (1987) und Fujita (1989).

verursacht.⁵ Zudem verursachen die Bewohner Emissionen durch die Nutzung von Energie für Licht, Haushaltsgeräte und Heizen. Dies verursacht zum einen direkt (z.B. durch Kaminfeuer) oder indirekt (durch die Verbrennung fossiler Energieträger) zur Energieproduktion lokale Umweltverschmutzung und wiederum indirekt CO₂-Emissionen. Die Gesamtverschmutzung sei proportional zur gesamten Wohnraumfläche in der Stadt: Je größer die Wohnung im Schnitt, desto mehr Energie ist für Licht, Heizen etc. nötig.⁶ Um die Gesamtverschmutzung zu erhalten, wird die Gesamtfläche mit einem Emissionskoeffizienten multipliziert. Dieser besagt, wieviel Emissionen ein durchschnittlicher Haushalt pro m² Wohnfläche durch Heizen, Licht etc. verursacht.

Stellen wir uns nun vor, dass die Bevölkerung unserer Modellstadt wächst. Hierdurch wird die Stadt dichter besiedelt, durch den steigenden Wettbewerb um knappes Land steigen die Wohnungs- und Landpreise, was dazu führt, dass Wohnungsunternehmer im langfristigen Gleichgewicht höhere Gebäude mit mehr Wohnungen bauen und die Haushalte im Schnitt kleinere Wohnungen nachfragen.

Welche Folgen hat die gewachsene Bevölkerung und höhere Dichte für die Umweltverschmutzung? Betrachten wir zunächst die Verkehrsemissionen. Da die Stadt gewachsen ist, steigen auch die durchschnittlichen Pendelentfernungen. Weil zudem die Bevölkerung gewachsen ist, kommt es somit zu höheren Gesamtemissionen aus dem Pendelverkehr. Dem könnten allerdings zwei Effekte entgegen stehen: Erstens wird mit steigender Bevölkerungsdichte der ÖPNV kostengünstiger (Verkehrsökonom bezeichnen dies als „Mohring-Effekt“), so dass mehr Pendler auf den emissionsärmeren öffentlichen Verkehr umsteigen. Und zweitens gelten die Ergebnisse nicht unbedingt, wenn die Stadt mit zunehmender Bevölkerung polyzentrisch wird, weil dann manche Arbeitnehmer, die weit vom Zentrum wohnen, kürzere Wege zum Arbeitsplatz haben als in einer monozentrischen Stadt, in der sich alle Jobs im Stadtzentrum befinden.

Im Wohnungssektor führt die steigende Bevölkerung aufgrund der geringeren Wohnungsgröße zunächst dazu, dass jeder Haushalt weniger Emissionen produziert. Verstärkt wird dieser Effekt dadurch, dass die Gebäude höher und somit energieeffizienter werden. Somit sinkt die durchschnittliche Energienutzung und Emission aus Wohnungsnutzung; da die Bevölkerung aber wächst, wird vermutlich die Menge der Gesamtemissionen zunehmen. Zusammengefasst impliziert unser theoretisches Modell, dass die Gesamtemissionen mit zunehmender Bevölkerung und Bevölkerungsdichte steigen. Dies gilt auch für die Verschmutzungskonzentration, d.h. die Verschmutzung gemessen in Einheiten pro m³ Luft.⁷ Ob aber die Emissionen pro

⁵ Hierbei wird angenommen, dass die Verschmutzung sich gleichmäßig über die Stadt verteilt; innerhalb der Stadt variierende Verschmutzung betrachten z.B. Robson (1976) und Schindler et al. (2017). Zudem nehmen wir auch an, dass es keine Staus gibt; Larson et al. (2012) argumentieren bspw., dass Staus die Verschmutzung erhöhen und daher eine wichtige Rolle bei der Analyse von Stadtstrukturen und Verschmutzung spielen.

⁶ Borck und Brueckner (2018) nehmen an, dass der Energietransfer aus einem Gebäude proportional zur Außenfläche des Gebäudes ist; dies führt zu höherer Energieeffizienz bei hohen Gebäuden mit vielen Wohnungen.

⁷ Siehe hierzu Borck und Schrauth (2019).

Kopf steigen oder sinken, ist unbestimmt, ein Effekt, auf den wir weiter unten zurück kommen.

2.2 Empirie

2.2.1 Lokale Verschmutzung

Betrachten wir nun die empirische Evidenz zur Frage, ob größere und dichter besiedelte Städte höhere Luftverschmutzung aufweisen. Eine Reihe von Studien untersucht den Zusammenhang zwischen Bevölkerung/Bevölkerungsdichte und Luftverschmutzung. Die Mehrzahl der Studien findet dabei zunehmende Verschmutzung, einige allerdings auch abnehmende Verschmutzung mit steigender Bevölkerung.⁸ Allerdings sind die Ergebnisse dieser Studien nur bedingt kausal zu interpretieren, da sie auf reinen Querschnittsvergleichen beruhen. So wäre z. B. denkbar, dass nicht die Bevölkerungsgröße die Verschmutzung treibt, sondern umgekehrt eine hohe Verschmutzung durch Abwanderung die Bevölkerung reduziert. Mit anderen Worten, die Bevölkerungsdichte ist endogen, da sie selber durch Umweltverschmutzung beeinflusst wird. Zudem werden wahrscheinlich beide Größen durch unbeobachtete dritte Variablen beeinflusst. Denkbar wäre bspw., dass große Städte Individuen mit einem „grünen“ Lebensstil anziehen, so dass sowohl Bevölkerungsgröße wie auch Verschmutzung durch diese unbeobachtete Variable bestimmt werden. Das ökonomische Problem besteht somit darin, den Teil der Dichte zu isolieren, der exogen ist – also nicht determiniert durch die Dichte selber oder eine unbeobachtete dritte Variable, die wiederum mit der Dichte korreliert.

In einem aktuellen Forschungspapier versuchen wir genau dies anhand von Daten für deutsche Kreise (Borck und Schrauth 2019). Die Idee ist, eine Instrumentvariable zu finden, d. h. eine Variable, die zwar die Bevölkerungsdichte beeinflusst, nicht aber die Umweltverschmutzung „direkt“ (d. h. außer durch ihren Einfluss auf die Dichte). Wie ein größerer Teil der Literatur zu Agglomerationseffekten benutzen wir hierfür historische Daten für die Bevölkerungsdichte von 1910 sowie Maße für die Bodenqualität. Die zentrale Annahme bei der historischen Dichte ist, dass die Bevölkerung persistent ist: Städte, die 1910 groß und dicht besiedelt waren, sind es zum großen Teil auch heute noch. Aber die Umweltverschmutzung zu Beginn des 20. Jahrhunderts speiste sich aus anderen Quellen als heute: so gab es damals kaum Autos, und die Industriestruktur hat sich in den letzten 100 Jahren dramatisch gewandelt. Wir können daher argumentieren, dass die Bevölkerungsstruktur von 1910 keinen direkten Einfluss auf die heutige Umweltverschmutzung hat. Die Bodenqualität beeinflusst die Dichte durch ihre Effekte auf die Bebauungsmöglichkeiten und dadurch, dass historisch fruchtbare Böden die Bildung von Städten fördern. Aber der direkte Einfluss auf die Verschmutzung sollte gering sein, da die Landwirtschaft heute weniger als 2 % der Beschäftigung ausmacht.⁹

⁸ S. Borck und Schrauth (2019) für eine Übersicht.

⁹ Dies gilt aber nicht für alle Verschmutzer, so sind z. B. von der Landwirtschaft emittiertes Ammoniak und Methan Vorläuferstoffe für die Bildung von Feinstaub.

Das Ergebnis unserer Analyse ist, dass eine zehnprozentige Erhöhung der Bevölkerungsdichte die Konzentration von Stickstoffdioxid (NO_2) um ca. 3 % und die Konzentration von Feinstaub (PM_{10}) um ca. 0,3 % erhöht.

2.2.2 Treibhausgase

Einige Autoren haben den Zusammenhang zwischen CO_2 -Emissionen und Stadtbevölkerung (oder Bevölkerungsdichte) empirisch geschätzt. Gudipudi et al. (2016) untersuchen den Einfluss der Bevölkerungsdichte auf CO_2 -Emissionen und finden eine Elastizität um 0,6, so dass eine Verdoppelung der Bevölkerungsdichte die Pro-Kopf-Emissionen um 24 % reduzieren würde. Oliveira et al. (2014) verwenden den gleichen Datensatz und die gleiche Methode, aber eine etwas andere Definition von Städten. Sie finden, dass die CO_2 -Emissionen pro Kopf mit der Größe der Stadt steigen. Fragkias et al. (2013) schätzen ebenfalls den Einfluss der Bevölkerung auf die CO_2 -Emissionen anhand von Paneldaten aus US-Städten. Sie finden, dass pro-Kopf CO_2 -Emissionen im Wesentlichen unabhängig von der Bevölkerungsgröße sind. Rybski et al. (2017) präsentieren eine Meta-Analyse und zeigen, dass die Pro-Kopf-Emissionen in entwickelten Ländern mit der Stadtgröße abnehmen, während sie in Entwicklungsländern mit der Stadtbevölkerung zunehmen.

Die meisten dieser Schätzungen erscheinen jedoch problematisch. So verwenden Gudipudi et al. (2016) und Oliveira et al. (2014) OLS-Regressionen mit Querschnittsdaten. Dabei wird jedoch ignoriert, dass es möglicherweise unbeobachtete Variablen gibt, die mit der Bevölkerungsdichte und der Umweltverschmutzung korrelieren, so dass OLS-Schätzungen verzerrt sein können (s.o.). Man denke an Städte mit unterschiedlichen Industriestrukturen, Umwelttechnologien, Einstellungen der Bevölkerung etc. Jede Variable, die nicht beobachtet wird und sowohl mit der Bevölkerung wie auch den THG-Emissionen korreliert, verzerrt die Ergebnisse.

Ein neues Papier benutzt einen Panel-Datensatz von Fragkias et al. (2013) über CO_2 -Emissionen und Bevölkerungsgröße für amerikanische Metropolregionen, um diese Frage zu untersuchen (Borck und Tabuchi 2019). Wir nutzen die Panelstruktur der Daten und kontrollieren für unbeobachtete Heterogenität, die mit der Stadtgröße und dem CO_2 -Ausstoß korreliert ist, durch „fixe Effekte“. Im Grunde wird dabei angenommen, dass sich große und kleine Städte in unbeobachteten Merkmalen unterscheiden, die sowohl Stadtgröße wie CO_2 -Ausstoß beeinflussen und über die Zeit konstant sind. Während eine einfache OLS-Regression einen Koeffizienten von 0,93 ergibt, sinkt der Koeffizient mit der fixed effects-Schätzung auf 0,8. Das bedeutet, dass eine 10%ige Erhöhung der Bevölkerung die CO_2 -Emissionen nur um 7,9 % erhöht. Der Pro-Kopf-Ausstoß von CO_2 sinkt also mit zunehmender Bevölkerung. Dies hat wichtige Implikationen für die optimale Stadtgrößenverteilung. Dieser Frage wenden wir uns im Folgenden zu.

3 Umweltverschmutzung und Stadtgröße: sind große Städte zu klein?

Die Stadtökonomie hat sich schon lange mit den Fragen beschäftigt, wie die optimale Verteilung von Haushalten auf Städte unterschiedlicher Größe aussieht und

ob und inwiefern sich diese Verteilung von der Marktallokation unterscheidet.¹⁰ Der klassische Trade-off hierbei ist, dass größere Städte Agglomerationsvorteile z. B. in Form höherer Löhne generieren und auf der anderen Seite Kosten der Agglomeration in Form längerer Pendelzeiten, Staus etc. Das klassische Ergebnis von Henderson (1974) lautet, dass Städte im Gleichgewicht mit unregulierter Wanderung zu groß werden. Der Grund dafür ist ein Koordinationsproblem: Einzelne Individuen bevorzugen große Städte, solange die Vorteile die Nachteile überwiegen und ziehen daher nicht in sehr kleine Städte. Aber die Gesellschaft würde sich besser stellen, wenn statt dessen mehrere mittelgroße Städte gegründet werden, in denen die Ballungskosten geringer sind.

Wie verändert sich diese Analyse, wenn wir Umweltverschmutzung betrachten?¹¹ Borck und Tabuchi (2019) zeigen, dass sich an der Grundidee nichts ändert, wenn Verschmutzung lokal ist, d. h. dass die Auswirkungen im Wesentlichen auf eine Stadt beschränkt bleiben. Für Feinstaub und Stickstoffoxide trifft diese Annahme im Wesentlichen zu.¹² In diesem Fall werden große Städte zu groß, und die Wohlfahrt würde steigen, wenn man Haushalte von den größten in die kleinsten Städte umverteilt. Der Grund hierfür ist, dass hierdurch zwar die Bewohner der kleinen Städte schlechter gestellt werden, weil dort die Überfüllungskosten zunehmen; dem steht aber der Wohlfahrtsgewinn der Bewohner der großen Städte gegenüber, die nun weniger überfüllt und verschmutzt sind. Da diese aber mehr Einwohner haben als die kleinen Städte, steigt die Gesamtwohlfahrt.

Anders sieht es aus, wenn wir globale Verschmutzung betrachten, also Emissionen, die den Nutzen der Bewohner im ganzen Land mindern, egal an welchem Ort sie entstehen. Treibhausgase sind ein klassisches Beispiel. Hier kann gezeigt werden, dass große Städte im Gleichgewicht zu klein sein können, wenn die pro-Kopf Emissionen mit der Stadtgröße sinken; die Wohlfahrt würde demnach steigen, wenn Haushalte von kleinen in große Städte ziehen. Die Intuition hierfür ist, dass aufgrund der sinkenden pro-Kopf-Emissionen die Gesamtverschmutzung sinkt, wenn Haushalte in großen Städten konzentriert sind. Dies nutzt aber den Bewohnern aller Städte, so dass der Wohlfahrtseffekt positiv ist. Aufgrund der oben präsentierten empirischen Ergebnisse (insb. mit der Stadtgröße sinkender pro-Kopf Emissionen) finden Borck und Tabuchi (2019) in einer numerischen Simulation, dass die größten US-Städte tatsächlich zu klein sein könnten. In einem realistischen Szenario, in dem Verschmutzung weder vollkommen lokal noch vollkommen global ist, finden Borck

¹⁰ Mit „Größe“ ist hier die Bevölkerungsgröße gemeint. Allerdings geht – nach dem stadtökonomischen Grundmodell, das Abschn. 2.1 zugrundeliegt, mit einer größeren Bevölkerung auch eine größere räumliche Ausdehnung von Städten einher.

¹¹ Die folgenden Aussagen beruhen auf der Analyse in Borck und Tabuchi (2019). S. auch Pflüger (2018) für ein ähnliches Modell.

¹² Zumindest für Verkehrsemissionen und Verschmutzung aus Verbrennung fossiler Energieträger zum Heizen; industrielle Emissionen sowie die Emissionen aus der Energieproduktion diffundieren teils über größere Entfernungen.

¹³ Das Modell abstrahiert von Wanderungskosten, wenn diese signifikant sind, dann würde sich das auf die optimale Stadtgröße auswirken.

und Tabuchi (2019), dass die größten Städte um 3,4 % zu klein sind. New York City müsste demnach um ca. 650.000 Bewohner wachsen.^{13,14}

4 Stadtstruktur und Luftverschmutzung

Wenden wir uns nun dem Zusammenhang zwischen Luftverschmutzung und Stadtstruktur zu. Wie in Abschn. 2 schon gesehen, gibt es einen Zusammenhang zwischen Bevölkerungsdichte und Luftverschmutzung. Im Folgenden werden die folgenden Fragen vertieft: (i) wie sieht der Zusammenhang zwischen der Struktur der Gebäude – insb. der Gebäudehöhe – in einer Stadt und der Verschmutzung aus, und (ii) wie unterscheidet sich die optimale von der gleichgewichtigen Stadtstruktur.¹⁵

Glaeser (2009) argumentiert, dass der CO₂-Ausstoß amerikanischer Städte reduziert werden kann, wenn diese dichter bebaut würden, insb. in Gegenden mit moderatem Klima: „To save the planet, build more skyscrapers“. Was ist an dieser Aussage dran? Betrachten wir eine Stadt, in der die maximal erlaubte Gebäudehöhe reguliert ist, wie es in vielen Städten der Fall ist. Führt eine Erhöhung der maximal erlaubten Höhe nun tatsächlich zu geringeren THG-Emissionen? Borck (2016) argumentiert, dass der Effekt nicht eindeutig ist. Auf der einen Seite führen höhere Gebäude, die v.a. im Stadtzentrum gebaut werden, zu kürzeren Pendelzeiten, da nun mehr Haushalte in zentrumsnahen Hochhäusern wohnen. Dies wirkt sich positiv auf von den Haushalten verursachten Emissionen aus. Auf der anderen Seite kann aber gezeigt werden, dass die Wohnungspreise fallen und Haushalte somit im Schnitt in größerem Wohnungen wohnen. Denn die Lockerung der Regulierung erhöht das effektive Wohnungsangebot, so dass der Marktmechanismus zu sinkenden Preisen führt. Dies erhöht die Emissionen im Wohnsektor, so dass der Gesamteffekt unklar ist.

In einem erweiterten Modell zeigen Borck und Brueckner (2018) allerdings, dass unregulierte Städte im Gleichgewicht zu zersiedelt und zu wenig dicht bebaut sind, wenn man Umweltexternalitäten berücksichtigt. Im Modell wird angenommen, dass der Wärmeverlust eines Gebäudes proportional zu dessen Außenfläche ist. Als Folge sind hohe Gebäude energieeffizienter als niedrige. Solange diese Externalitäten nicht durch optimale Umweltsteuern internalisiert werden, sind die Gebäude, die Entwickler bauen, im Gleichgewicht zu niedrig. Dies liegt daran, dass gewinnmaximierende Entwickler diese externen Effekte nicht berücksichtigen. Aus diesem Modell ergeben sich klare Politikimplikationen, die im folgenden Abschnitt dargestellt werden.

¹⁴ Eine Annahme in Borck und Tabuchi (2019) ist, dass lokale und globale Emissionen gleichmäßig mit der Bevölkerung ansteigen (mit einer Elastizität von 0,8). Nehmen wir hingegen, Borck und Schrauth (2019) folgend, für lokale Emissionen eine geringere Elastizität an (z. B. 0,25), dann würde New York im Optimum sogar um 780.000 Bewohner oder 4 % wachsen.

¹⁵ Die folgenden Ausführungen basieren auf Borck (2016) und insb. Borck und Brueckner (2018).

5 Politikimplikationen

Im Folgenden will ich die Politikimplikationen der vorangegangenen Erkenntnisse herausstellen. Umweltverschmutzung ist aus Sicht der ökonomischen Theorie ein externer Effekt, der zu Marktversagen führt. Die effiziente Antwort des Staates darauf wäre ein Preis für die Verschmutzung in Form von Pigousteuern oder handelbaren Zertifikaten. Wenn dies jedoch nicht oder nur eingeschränkt möglich ist, dann zeigen die stadtökonomischen Analyse auf, wie mit „second-best“-Instrumenten gegengesteuert werden kann. Borck und Brueckner (2018) zeigen z. B., dass das Wohlfahrtsoptimum in ihrem Modell statt mit Energiesteuern auch mit einer Kombination aus einer Steuer auf das Pendeln, auf Wohnraum und auf Land erzeugt werden kann. Die Pendel- und Wohnraumsteuer bringen die Haushalte dazu, die von ihnen verursachte Verschmutzung zu internalisieren. Die Landsteuer hingegen bringt die Wohnungsunternehmen dazu, Gebäude zu bauen, die den Tradeoff aus höherer Energieeffizienz und höheren Baukosten gesellschaftlich optimal austarieren. Somit können lokale Regierungen z. B. durch Grundsteuern auch korrekte Anreize zum Energiesparen setzen.

Wenden wir uns nun der Frage zu, wie die optimale Verteilung von Städten unterschiedlicher Größe im Stadtsystem erreicht werden kann. In einem Zentralplansystem könnte der Staat durch direkte Regulierung der Stadtgrößen eine optimale Verteilung erreichen. In China bspw. führt das *Hukou*-System zu einer Begrenzung der Bevölkerung der großen Städte.¹⁶ Wenn der Staat nicht direkt die Bevölkerungsgröße einzelner Städte beschränken kann, bieten sich andere wirtschaftspolitische Instrumente an. So zeigen Borck und Tabuchi (2019), dass die optimale Bevölkerungsverteilung durch differenzierte Steuern erreicht werden kann. Insb. müsste in ihrer Simulation eine Subvention an die Bewohner der größten Städte gezahlt werden (z. B. 1,4 % des Lohns für New Yorker), während die Bewohner kleiner Städte besteuert werden müssten.¹⁷

6 Schlussfolgerungen

Dieser Beitrag fasst aktuelle Ergebnisse aus Studien zusammen, die sich mit dem Zusammenhang von Umweltverschmutzung, Stadtstruktur, Bevölkerungsdichte und der Größe von Städten beschäftigen. Insoweit die von Stadtbewohnern verursachte Verschmutzung nicht durch Preise (in Form von Pigousteuern oder Emissionszertifikaten) internalisiert wird, gewinnen stadtplanerische Fragen, z. B. ob Städte dicht oder weniger dicht bebaut werden sollen oder die Verteilung der Bevölkerung in Städte unterschiedlicher Größe, an Bedeutung. Vielleicht wird sich dies eines Tages

¹⁶ Au und Henderson (2006) argumentieren allerdings, dass dies dazu führt, dass die großen Städte in China zu klein sind. Mit westlichen Vorstellungen ist ein so weitreichender Eingriff in die Freizügigkeit allerdings schwer zu vereinbaren.

¹⁷ Eeckhout und Guner (2015) finden, dass die Steuern in den größten US-Städten höher sein sollten als in kleineren, aber nicht so viel höher wie sie aktuell sind. Allerdings ist der von ihnen analysierte Mechanismus ein anderer.

ändern, aber solange das nicht der Fall ist, kann diese Literatur hoffentlich zu einem fruchtbaren Dialog zwischen Umweltpolitik, Stadtplanung und Ökonomie beitragen. Die Fragen, die sich stellen, werden sich mit der Änderung von städtischem Verkehr und Wohnen durch Vernetzung, autonomes Fahren und andere künftige Entwicklungen sicherlich wandeln, aber deshalb nicht weniger wichtig werden.

Danksagung Ich danke Gabriel Ahlfeldt und einem anonymen Gutachter für Verbesserungsvorschläge sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für finanzielle Unterstützung. Der Aufsatz basiert auf gemeinsamen Arbeiten mit Jan Brueckner, Michael Pflüger, Philipp Schrauth und Takatoshi Tabuchi, denen ich für die Zusammenarbeit danke.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Literatur

- Ahlfeldt G, Pietrostefani E (2019) The economic effects of density: a synthesis. *J Urban Econ* 111:93–107
- Au C-C, Henderson JV (2006) Are chinese cities too small? *Rev Econ Stud* 73(3):549–576
- Borck R (2016) Will skyscrapers save the planet? Building height limits and urban greenhouse gas emissions. *Reg Sci Urban Econ* 58:13–25
- Borck R, Brueckner JK (2018) Optimal energy taxation in cities. *J Assoc Environ Resour Econ* 5(2):481–516
- Borck R, Pflüger M (2019) Green cities? Urbanization, trade, and the environment. *J Regional Sci* 59(4):743–766
- Borck R, Schrauth P (2019) Population density and urban air quality. CESifo Working Paper 7629
- Borck, R, Tabuchi, T (2019) Pollution and city size: can cities be too small? *J Econ Geogr* 19(5):995–1020
- Brueckner JK (1987) The structure of urban equilibria: An integrated treatment of the Muth-Mills model. In: Mills ES (Hrsg) *Handbook of regional and urban economics*, Bd. II. Elsevier, Amsterdam, S 821–845
- Eeckhout J, Guner N (2015) Optimal spatial taxation: Are big cities too small? IZA DP 8781
- Fragkias M, Lobo J, Strumsky D, Seto KC (2013) Does size matter? Scaling of CO₂ emissions and US urban areas. *PLoS ONE* 8(6):e64727
- Fujita M (1989) *Urban economic theory*. Cambridge University Press, Cambridge
- Gaigné C, Riou S, Thisse J-F (2012) Are compact cities environmentally friendly? *J Urban Econ* 72(2–3):123–136
- Glaeser EL (2009) Green cities, brown suburbs. *City J* 19(1):50–55
- Gudipudi R, Fluschnik T, Ros AGC, Walther C, Kropp JP (2016) City density and CO₂ efficiency. *Energy Policy* 91:352–361
- Henderson JV (1974) The sizes and types of cities. *Am Econ Rev* 64:640–656
- Larson W, Yezer A (2015) The energy implications of city size and density. *J Urban Econ* 90:35–49
- Larson W, Liu F, Yezer A (2012) Energy footprint of the city: effects of urban land use and transportation policies. *J Urban Econ* 72(2):147–159
- OECD (2012) *Compact city policies: a comparative assessment*. OECD, Paris
- Oliveira EA, Andrade JS Jr., Makse HA (2014) Large cities are less green. *Sci Rep* 4:4235
- Pflüger MP (2018) City size, pollution and emission policies. IZA Discussion Papers 11354. IZA, Bonn
- Pigou AC (1920) *The economics of welfare*. MacMillan, London
- Robson AJ (1976) Two models of urban air pollution. *J Urban Econ* 3(3):264–284
- Rybski D, Reusser DE, Winz A-L, Fichtner C, Sterzel T, Kropp JP (2017) Cities as nuclei of sustainability? *Environ Plann B Plann Des* 44(3):425–440
- Schindler M, Caruso G, Picard P (2017) Equilibrium and first-best city with endogenous exposure to local air pollution from traffic. *Reg Sci Urban Econ* 62:12–23