

2. Europäische Lärmkarten - Methodik und Bewertung im Kontext überregionaler Umweltgerechtigkeitsstudien

**Jeroen Staab^{1,2}, Matthias Weigand^{1,3}, Arthur Schady⁴, Michael Wurm¹, Tobia Lakes^{2,5}
& Hannes Taubenböck^{1,3}**

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum

² Humboldt-Universität zu Berlin, Geographisches Institut

³ Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Institut für Geographie und Geologie

⁴ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Physik der Atmosphäre

⁵ Integrative Research Institute on Transformations of Human-Environment Systems (IRI THESys)

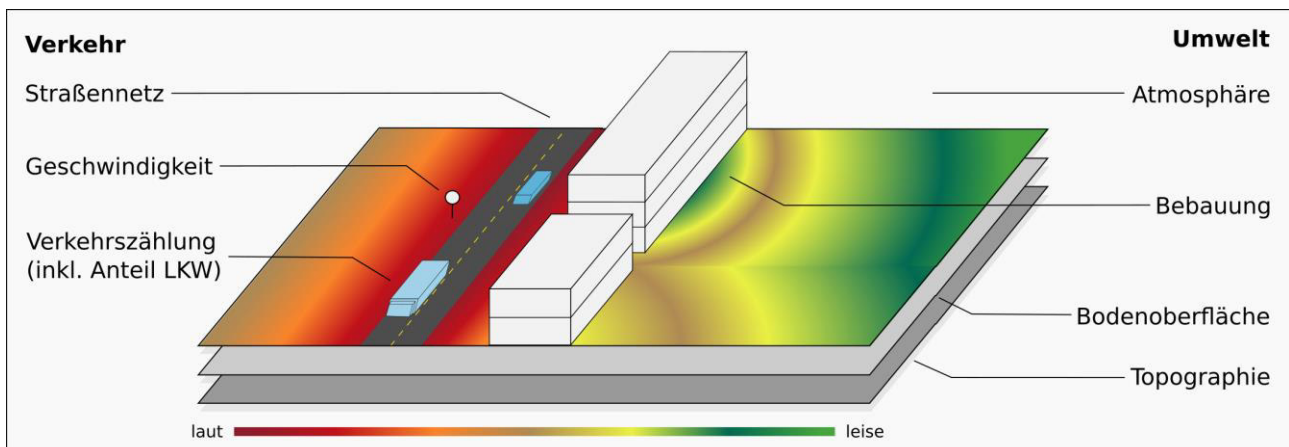
Problemaufriss

Mit der zunehmenden Urbanisierung gehen nicht nur extensives Flächenwachstum und steigende Bevölkerungsdichten einher, sondern es nimmt in der Konsequenz auch der Verkehr zu. Infolgedessen steigen in unseren Städten die Lärmpegel und damit die Belastungen für Mensch und Umwelt. In ihrem Grünbuch bezeichnet die Europäische Kommission (1996) Lärm als eines der größten Umweltprobleme in Europa und hat ihre Mitgliedsstaaten mit der Umgebungslärmrichtlinie 2002/49/EG dazu verpflichtet, Daten über durchschnittliche Lärmpegel zu erheben und daraus Aktionspläne abzuleiten. Bisher angewandte Verfahren sind allerdings zum einen sehr teuer und zum anderen räumlich auf die administrativen Grenzen von Ballungsräumen mit über 100.000 Einwohnern, Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken und Großflughäfen beschränkt. Dies schränkt sowohl Studien, die die Umweltgerechtigkeit zwischen urbanen und peripheren Räumen vergleichen, als auch solche, die die Benachteiligung spezieller sozialer Gruppen bewerten (Lakes, Brückner & Krämer, 2013; Riedel et al., 2014; Dreger et al., 2019), ein. Ziel dieses Beitrags ist es in diesem Kontext, zunächst die aktuellen Methoden zur Kartierung von Lärm am Beispiel von Straßenverkehrslärm darzustellen und sie anschließend, für die Verwendung in überregionalen Studien der Umweltgerechtigkeit einzuordnen. Abschließend wird ein kurzer Ausblick auf Potenziale der Lärmkartierung mithilfe von Methoden der Erdbeobachtung geworfen.

Wie werden Lärmkarten erstellt?

Lärm ist ein räumlich sowie zeitlich hoch dynamisches Phänomen. Der Lärmpegel an einem Ort wird beeinflusst von einer Vielzahl von Faktoren, wie zum Beispiel Verkehrsdichten und Wettereinflüssen (Heimann et al., 2007). In-situ Messungen von Lärmpegeln stellen sich deshalb als sehr schwierig dar, da über längere Zeit Messstationen in einem dichten Netz (in der Regel in 10 Meter-Abständen) aufgestellt werden müssten, um die räumliche und zeitliche Variation von Lärm zu erfassen. Dieser Aufwand ist praktisch nicht realisierbar, weshalb die Lärminformationen nicht umfangreich gemessen, sondern flächendeckend simuliert werden (Garg & Maji, 2014). Konkret werden, entsprechend dem Frequenzgang des menschlichen Gehörs A-bewertete und gemäß ISO-9613-2 im Jahresverlauf gemittelte, Dauerschallpegel modelliert. Dabei integrieren die Modelle die beiden Teilaspekte Emission (aus Verkehrsdaten) und (meist schalldämpfende) Umweltinteraktion. Die für die Modelle wichtigsten Eingangsparameter sind in Abbildung 1 beispielhaft skizziert.

Abbildung 1: Schematische Darstellung einer integrierenden Modellierung von Straßenverkehrslärm



Quelle und Bildrecht: Jeroen Staab

Emission

Je nach Exposition setzt sich Lärm aus bis zu fünf Emissionsarten zusammen: (I) *Straßenverkehrslärm* ist der bedeutendste Faktor innerhalb von Städten. Er entsteht beim Fahren und ist proportional zu Masse und Geschwindigkeit eines Fahrzeugs (Garg & Maji, 2014). (II) *Schienenverkehrslärm* entsteht durch das Rollen und Bremsen von Fahrzeugen auf Gleisen. (III) *Fluglärm* ist vor allem durch die hochfrequenten und lärmintensiven Start- und Landevorgänge für große Städte mit nahegelegenen Flughäfen relevant. Aufgrund der extremen Lautstärke und der Flughöhe breiten sich die Schallwellen über große Flächen aus und belasten somit die Umwelt (Smith, 1989). Eine vierte Lärmquelle ist die (IV) *Industrie*, welche aufgrund ihres heterogenen Charakters gesondert erfasst wird (WG-AEN, 2007). An fünfter Stelle (V) ist Lärm zu nennen, wie er von Baustellen, Nachbarn und Sportanlagen ausgehen kann. Da er aufgrund seiner heterogenen Struktur nur sehr schwer abzuschätzen ist, ist er nicht Gegenstand der EU-Umgebungslärmrichtlinie und wird daher nicht weiter betrachtet.

Für die unterschiedlichen Lärmquellen existieren jeweils spezielle Emissionsmodelle (WG-AEN, 2007; Heimann & Schady, 2016; Brittain & Hale, 2008; Taylor, 1984). Um beispielsweise Straßenverkehrslärm zu berechnen, werden das Straßennetz, die mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit und der durchschnittliche Verkehrsfluss, aufgeteilt nach Fahrzeugtypen, in entsprechenden Modellen berücksichtigt (Garg & Maji, 2014). Diese errechnen daraus den aus Antriebs- und Reibungslärm zusammengesetzten Schalldruck für PKW und LKW (Garg & Maji, 2014; Steele, 2001; Pallas et al., 2016).

Umweltinteraktion

Ausgehend von der Lärmquelle interagiert der Lärm mit der Beschaffenheit der Umwelt. Die Luft der Erdatmosphäre dient ihm als Medium zur Ausbreitung durch mechanische Schwingung. Von einer Punktquelle ausgehend, breitet sich der Schall in alle Richtungen kugelsymmetrisch aus. Das heißt, mit zunehmendem Abstand zur Quelle (r) verteilt sich die Schallenergie auf eine immer größere Fläche und die Amplitude nimmt mit $1/r$ ab (Möser, 2005). In einem Tal beispielsweise ist das

verfügbare Luftvolumen durch die Hänge reduziert, sodass der Schall sich weniger ausbreiten kann und die Anwohner einer höheren Lärmexposition ausgesetzt sind als im Flachland (Heimann et al., 2007). Analog verhält es sich in Straßenschluchten, wobei auch hier noch ein weiteres, physikalisches Phänomen wirkt – das Echo. Trifft der Schall auf ein Hindernis, können die Wellen reflektiert bzw. gestreut werden. Überlagert sich der zurückgeworfene Schall mit dem Ursprünglichen, steigert dies die Lärmbelastung. In seinen Simulationen zeigte Heutschi (1995), dass Strukturmerkmale wie Gebäudehöhe und Siedlungsdichte einen erheblichen Einfluss auf die Lärmausbreitung haben. Die wichtigsten Parameter sind hier die Breite der Straße sowie Höhe und Anordnung der einzelnen Gebäude. So kann etwa ein ungünstiges Verhältnis von Fassadenhöhe zur Breite der Schlucht zu einer Intensivierung des Lärms beitragen. Im Umkehrschluss zeigte er, dass bauliche Lücken und deren Anordnung deutlich zur Reduktion des Straßenlärms führen. Neben der Bebauung ist auch die Bodenoberfläche für die Schallmodellierung essenziell. Feste Oberflächen wie Asphalt und Wasser reflektieren den Schall, wohingegen poröse bzw. weiche Oberflächen ihn absorbieren (beispielsweise Schotterwege, Grünstreifen). In Bezug auf Vegetation gilt allgemein ein positiver Zusammenhang zwischen Biomasse und Dämpfungseigenschaften (Aylor, 1972; Embleton, 1963).

Um die Interaktion des Schalls mit seiner Umwelt zu berechnen, werden verschiedene Diffraktionsmodelle eingesetzt, welche die Regeln der physikalischen Schallausbreitung innerhalb der Simulation definieren. Sie unterscheiden sich in der Art der Schallbrechung, ihrer Genauigkeit und dem Rechenaufwand. Am genauesten sind wellenbasierte Schallausbreitungsmodelle, die die physikalischen Grundgleichungen der Strömungsmechanik lösen und damit auch explizit Beugungs- und Brechungseffekte berücksichtigen können. Diese sind jedoch sehr rechenaufwändig und werden vorwiegend im akademischen Kontext eingesetzt (zum Beispiel in Schady & Heimann, 2018). Das vereinfachende *straight-ray model* (RAY) hingegen geht von einer geradlinigen Ausbreitung in Form von Strahlen aus. Diese ressourceneffiziente Analyse eignet sich deshalb besonders gut für komplexe Umgebungen mit vielen Streuungen durch Hindernisse und Topografie (Garg & Maji, 2014; Steele, 2001). Parametrisiert wird das Modell über die Zahl maximal zulässiger Reflexionen, der Anzahl aus einer solchen Interaktion resultierenden neuen Strahlen und einem Schwellwert, unterhalb dessen die Simulation des Strahls abgebrochen werden darf. Aufgrund seiner Wirtschaftlichkeit ist das *straight-ray model* das in der EU übliche Berechnungsverfahren zur Modellierung der Lärmausbreitung (WG-AEN, 2007).

Lärmbelastung

Um letztendlich die aus der Lärmemission und Schallausbreitung resultierende Lärmbelastung zu modellieren, stehen diverse Computerprogramme (zum Beispiel CadnaA) zur Verfügung. Sie integrieren beide Teilaspekte – Emission und Umweltinteraktion – in eine aufwändige Simulation. Zunächst wird darin der emittierte Lärm (beispielsweise Verkehrslärm) errechnet, bevor anschließend davon ausgehend die Schallausbreitung in Abhängigkeit der geographischen Objekte in der jeweiligen Umgebung simuliert wird. Optional können in-situ Messungen hinzugezogen werden, um das Endprodukt stichprobenartig zu validieren (Garg & Maji, 2014; Steele, 2001). Die integrierte Modellierung ist allerdings sehr aufwändig. Aus diesem Grund wird sie weder über die gesetzlich verpflichteten Flächen hinaus noch für Strahlen mit Schallpegeln unter 55 dB(A) durchgeführt.

Ein Beispiel für eine solche modellierte Verkehrslärmbelastung ist in Abbildung 2 für München und Umgebung dargestellt. Da den Daten inner- und außerhalb der administrativen Grenzen unterschiedliche Kartierungskriterien zugrunde liegen, ist es bei der Betrachtung wichtig zu berücksichtigen, dass hier sowohl der Lärm entlang von Hauptverkehrsachsen (weißer Hintergrund, sprich nicht kartierter Bereich außerhalb der Hauptverkehrsachsen) als auch die Simulationsergebnisse innerhalb des Ballungsraums (grünlicher Hintergrund, sprich Werte unterhalb von 55dB(A)) dargestellt sind. Deutlich zu erkennen ist, dass die Straßenverkehrslärmkarten das Infrastrukturnetzwerk nachzeichnen, wobei Jahresmittelwerte über 70 dB(A) eigentlich nur direkt auf der Fahrbahn erreicht werden. Besonders deutlich ist der abschattende Effekt von Gebäuden. Wie ein Blick in den vergrößerten Ausschnitt (Abbildung 2b) zeigt, reicht bei der strahlenbasierten Ausbreitungsmodellierung ein geschlossener Straßenzug in der Regel bereits aus, um der Fläche auf der Gebäuderückseite Werte von unter 55 dB(A) zuzuweisen. Etwa zwei Drittel des Stadtgebietes wurden dieser Klasse zugeordnet.

Abbildung 2: Modellierter Verkehrslärm in Bayern 2017



Quelle und Bildrecht: Jeroen Staab, Datengrundlage: Lärmkartierung 2017 (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2018)

Eignung für Umweltgerechtigkeitsstudien

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die EU 2002 wichtige Richtlinien zur Kartierung von Lärm definiert hat. Die entsprechend generierten, räumlich hochaufgelösten und im Detail relativ

genauen Jahresmittelwerte stellen standardisierte Grundlageninformationen für Stadt-, Verkehrs- und Umweltplaner*innen dar. Die Daten finden Eingang in die Lärmaktionsplanung, welche in einem öffentlichen Prozess versucht, zwischen Akteuren zu vermitteln und die lärminduzierte Umweltbelastung zu reduzieren.

Darüber hinaus können die öffentlich abrufbaren Lärmkarten in Studien zur öffentlichen Gesundheit und Umweltgerechtigkeit verwendet werden (Lakes, Brückner & Krämer, 2013; Riedel et al., 2014; Dreger et al., 2019). Soll die Umweltbelastung durch Lärm flächendeckend verglichen werden, sind die öffentlich abrufbaren Simulationsergebnisse oft die einzigen Datengrundlagen für derartige Studien. In dem Fall ist jedoch anzumerken, dass hohe Spitzen im Jahresmittelwert untergehen, obwohl auch bzw. gerade sie irreparable Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben (Weltgesundheitsorganisation, 2011). Gleichzeitig ist hervorzuheben, dass die verschiedenen Lärmarten separat modelliert werden, die auf den Menschen einwirkende Gesamtlärmbelastung wird dabei jedoch nicht erfasst. Auch die Datenverfügbarkeit kann Umweltgerechtigkeitsstudien einschränken. Bei der Verwendung der Umweltdaten und speziell beim Vergleich unterschiedlicher Lärmkarten (beispielsweise mehrerer Städte und Bundesländer) im Kontext von Umweltgerechtigkeitsstudien müssen daher die folgenden Details berücksichtigt werden:

- Die modellierten Ergebnisse sollen die tatsächlichen Werte zu Gunsten der Lärmbetroffenen tendenziell etwas überschätzen (Garg & Maji, 2014). So wird in den bestehenden Verfahren beispielsweise oft darauf verzichtet, lärm-dämpfende Vegetation einzutragen (vgl. gleiche Lärmausbreitung über Wald- und Ackerflächen in Abbildung 2c). Dies ist zwar generell nachvollziehbar, doch darf dieser gerichtete Fehler bei nachfolgenden Analysen nicht außer Acht gelassen werden.
- Gleichzeitig lässt der *Good Practice Guide* (WG-AEN, 2007) gewisse Spielräume zu. Dort, wo beispielsweise kein dreidimensionales Gebäudemodell als Eingangsdatensatz verfügbar ist, kann die Gebäudehöhe geschätzt werden. Fehlen detaillierte Verkehrszählungen, gibt es ein Toolkit, um sich Fahrzeugzahlen und LKW-Anteilen zu nähern. Dieses standardisierte Vorgehen ist zwar fundamental für paneuropäische Analysen, könnte jedoch schlussendlich die Vergleichbarkeit durch die Spielräume reduzieren, da die Genauigkeit der Karten von den jeweils verfügbaren Eingangsdaten und investierten Ressourcen abhängt.
- Des Weiteren ist die integrierte Modellierung von Lärm trotz optimierter Ausbreitungsmodelle sehr aufwändig und kostenintensiv. Daher wird sie in der Regel nur für die gesetzlich verpflichteten Gebiete und nicht flächendeckend durchgeführt. Infolgedessen enden offizielle Lärmkartierungen i.d.R. an den administrativen Grenzen. Speziell für ländliche Gebiete sind – mit Ausnahme von Flächen entlang von Hauptverkehrsachsen – keine Daten verfügbar. Das heißt, je nach Bundesland werden unterschiedlich große Teile der Region und damit auch der Bevölkerung nicht erfasst. Außerdem kann es an den Kartierungsgrenzen zu Unstimmigkeiten kommen. So zeigt Abbildung 2a eine lärmende Nebenstraße, welche nur innerhalb der administrativen Grenzen des Ballungsraums modelliert wurde. Die unmittelbar südlich der Stadtgrenze Wohnenden sind jedoch wahrscheinlich genauso betroffen.

Fazit für die (Forschungs-)Praxis

Um die Lärmbelastung der Bevölkerung überregional zu erfassen und zu analysieren, bedarf es einer flächendeckenden Lärmkarte unabhängig von administrativen Zuständigkeiten (Weigand et al., 2019). Um eine solche, flächendeckend konsistente Karte zu erstellen, wird in einem aktuellen, von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Promotionsprojekt untersucht, wie Satellitendaten mit bestehenden Daten zur Lärmemission kombiniert werden können. Während des Workshops „Mehr Chancen auf Gesundheit durch Lärmaktionsplanung?!“ am 12. Februar 2019 in Bremen wurde präsentiert, wie durch das erstmalige Zusammenführen der beiden Forschungsfelder „*Lärmmodellierung*“ und „*Fernerkundung*“ zukünftig ein neuartiger Ansatz entwickelt werden kann, welcher die physikalische Schallausbreitung aus Bildmerkmalen (Gebäudestruktur, Vegetation, etc.) flächendeckend effizient ableitet. Die Ende 2020 erwarteten Ergebnisse des Projektes sollen auf zwei unterschiedlichen Ebenen zur nachhaltigen Lärmaktionsplanung beitragen. Zum einen wird ein Katalog von Siedlungsstrukturtypen erarbeitet, für welche sich jeweils charakteristische Dämpfungseigenschaften nachweisen lassen. Für zukünftige Planungsvorhaben gibt er an, wie Gebäudeformationen zur Reduktion von Lärm beitragen. Zum anderen soll durch die kostengünstige Modellierung der Schallausbreitung in Kombination mit bestehenden Daten zur Lärmemission eine flächendeckend konsistente, kommunenübergreifende Lärmkarte erstellt werden. Sie ist speziell für kleinere Kommunen relevant, für welche bislang Lärmanalysen weitestgehend fehlen, und kann damit einen entscheidenden Beitrag zu überregional vergleichenden Umweltgerechtigkeitsstudien leisten.

Referenzen

- Aylor, D. (1972). Noise Reduction by Vegetation and Ground. *J Acoust Soc Am*, 51(1B), 197–205.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2018). Lärmkartierung 2017.
- Brittain, F., & Hale, M. (2008). Some limitations of ray-tracing software for predicting community noise from industrial facilities. *NoiseCon08*.
- Dreger, S., Schüle, S., Hiltz, L., & Bolte, G. (2019). Social Inequalities in Environmental Noise Exposure: A Review of Evidence in the WHO European Region. In *J Environ Res Pu*, 16(6), 1011.
- Embleton, T. F. W. (1963). Sound Propagation in Homogeneous Deciduous and Evergreen Woods. *J Acoust Soc Am*, 35(8), 1119–1125.
- Europäische Kommission (1996). Künftige Lärmschutzpolitik – Grünbuch der Europäischen Kommission.
- Europäische Kommission, WG-AEN (2007). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure.
- Europäisches Parlament (2002). Richtlinie 2002/49/EG zur Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.
- Garg, N., & Maji, S. (2014). A critical review of principal traffic noise models: Strategies and implications. *Environmental Impact Assessment Review*, 46, 68–81.

Kapitel 2

Staab et al.

- Heimann, D., & Schady, A. (2016). Derivation of sound-level characteristics to assess traffic development scenarios. *Appl Acoust*, 103, 1–9.
- Heimann, D., de Franceschi, M., Emeis, S., Lercher, P., & Seibert, P. (2007). *Leben an der Transitroute – Luftverschmutzung, Lärm und Gesundheit in den Alpen*. Università degli Studi di Trento.
- Heutschi, K. (1995). A simple method to evaluate the increase of traffic noise emission level due to buildings, for a long straight street. *Appl Acoust*, 44(3), 259–274.
- ISO-9613-2 (1989). *Acoustics—Attenuation of Sound During Propagation Outdoors. Part 2 General Method of Calculation*.
- Lakes, T., Brückner, M., & Krämer, A. (2013). Development of an environmental justice index to determine socio-economic disparities of noise pollution and green space in residential areas in Berlin. *J Environ Plann Man*, 57(4), 538–556.
- Möser, M. (2005). *Technische Akustik* (6., erw. und aktualisierte Aufl.). Berlin: Springer.
- Pallas, M.-A., Berengier, M., Chatagnon, R., Czuka, M., Conter, M., & Muirhead, M. (2016). Towards a model for electric vehicle noise emission in the European prediction method CNOSSOS-EU. *Appl Acoust*, 113, 89–101.
- Riedel, N., Scheiner, J., Müller, G., & Köckler, H. (2014). Assessing the relationship between objective and subjective indicators of residential exposure to road traffic noise in the context of environmental justice. *J Environ Plann Man*, 57(9), 1398–1421.
- Schady, A., & Heimann, D. (2018). Einfluss der Siedlungsform auf die Schallimmission an Fassaden – numerische Simulationen. *Lärmbekämpfung*, 13(6), 204–210.
- Smith, M. (1989). *Aircraft noise*. Cambridge; New York: Cambridge University Press.
- Steele, C. (2001). A critical review of some traffic noise prediction models. *Appl Acoust*, 62(3), 271–287.
- Taylor, S. M. (1984). A path model of aircraft noise annoyance. *J Sound Vib*, 96(2), 243–260.
- Weigand, M., Wurm, M., Dech, S., & Taubenböck, H. (2019). Remote Sensing in Environmental Justice Research—A Review. *ISPRS Int J Geo-Inf*, 8(1), 20.
- Weltgesundheitsorganisation (2011). *Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe*. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe.

Kontakt

Jeroen Staab
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
Humboldt-Universität zu Berlin
Geographisches Institut
E-Mail: jeroen.staab[@]dlr.de