

Project Air View Hamburg – Nutzungspotenziale der Daten und des Messverfahrens zur Luftqualität

Diskussionspapier

Michael Ziehl, Anabele Pardi, Paul Linnow, Daniel Schulz, Gesa Ziemer

HafenCity Universität Hamburg, City Science Lab, Henning-Voscherau-Platz 1, 20457 Hamburg
Kontakt: michael.ziehl@hcu-hamburg.de, +49 (0)40 – 42827-4588

veröffentlicht am 23. April 2024

DOI: 10.34712/142.50



Dieses Werk steht unter einer Creative Commons Lizenz (CC BY 4.0 Deed). Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z.B. Abbildungen erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	S. 2
1. Einleitung	S. 2
1.1 Projekthintergrund	S. 2
1.2 Projektpartner und Praxisakteure	S. 3
1.3 Projektverlauf	S. 4
2. Forschungsmethode	S. 4
2.1 Befahrung und Messung der Luftqualität in Hamburg	S. 5
2.2 Datenwissenschaftliche und stadtplanerische Forschung	S. 6
3. Ergebnisse und Erkenntnisse	S. 7
3.1 Hochemissionskarte	S. 7
3.2 Stadträumliche Betrachtung in CoSI	S. 9
3.2.1 Hochemissionsbereich 1: Dammtor/Gänsemarkt	S. 14
3.2.2 Hochemissionsbereich 2: Hauptbahnhof/Wallringtunnel	S. 14
3.3 Potenzielle Anwendungsfälle	S. 15
3.3.1 Schutz vulnerabler Gruppen	S. 15
3.3.2 Optimierung von Fahrradwegen	S. 15
3.3.3 Ausbau und Elektrifizierung der öffentlichen Busflotte	S. 15
3.4 Daten und Darstellungen	S. 15
3.4.1 Project Air View Daten	S. 15
3.4.2 Karten im Environmental Insights Explorer	S. 16
3.5 Unterschiedlichkeit zu offiziellem Messverfahren	S. 18
3.6 Messfehler und datenwissenschaftliche Unsicherheiten	S. 19
3.7 Rückschlüsse für die Befahrungspraxis, Datenerhebung und -bearbeitung	S. 20
4. Potenziale für die Stadtplanung	S. 20
4.1 Umfang der erhobenen Daten	S. 21
4.2 Mobiles Messverfahren	S. 22
4.3 Optimierung von Prognosemodellen	S. 22
4.4 Daten zur Luftqualität als Entscheidungsgrundlage	S. 23
4.5 Mobilitätswende	S. 23
Danksagung	S. 24
Quellenverzeichnis	S. 24
Abbildungsverzeichnis	S. 26
Anhang: Screenshots stadträumliche Betrachtung mittels CoSI	
A) Hochemissionsbereich 1: Dammtor/Gänsemarkt	
B) Hochemissionsbereich 2: Hauptbahnhof/Wallringtunnel	

Zusammenfassung

Das vorliegende Diskussionspapier fasst die Forschungsergebnisse des City Science Labs (CSL) an der HafenCity Universität zum Project Air View Hamburg zusammen. Es wurde anlässlich der Präsentation der von Google erhobenen Daten zur Luftqualität in Hamburg am 13.06.2023 erstellt, um die interessierte Fachöffentlichkeit wissenschaftlich zu informieren. Zentrale Punkte des Diskussionspapiers sind die Erläuterung des Projekthintergrunds und der Forschungsmethode, die stadträumliche Betrachtung der aufgearbeiteten Daten, potenzielle Anwendungsfälle für die Stadt- und Verkehrsplanung, sowie das Aufzeigen von verschiedenen Potenzialen des im Project Air View angewendeten Messverfahrens sowie der damit erhobenen Daten (die gesammelten Rohdaten können hier heruntergeladen werden: <https://repos.hcu-hamburg.de/handle/hcu/893>).

1. Einleitung

1.1 Projekthintergrund

Die Weltbevölkerung ist laut der WHO zu 99% schlechter Luft ausgesetzt.¹ Besonders von Luftverschmutzung betroffen sind Bewohner:innen von Städten. Das gilt auch für die EU. Laut der europäischen Umweltagentur sind 2020 in Deutschland ca. 43.000 Menschen aufgrund der Luftschadstoffe Feinstaub (PM 2,5), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) vorzeitig gestorben.² Vor diesem Hintergrund startete Google das Project Air View in mehreren europäischen Großstädten. In Dublin, Amsterdam, Kopenhagen, London und in Hamburg als erste deutsche Stadt sammelte Google Daten zur Luftverschmutzung. Dafür fährt ein mit Sensoren ausgestattetes Auto durch die jeweilige Stadt und misst über einen längeren Zeitraum verschiedene Luftschadstoffe (siehe Abbildung 1).

Mit dem Projekt verfolgt Google laut eigener Aussage das Ziel, Daten zur Luftqualität öffentlich zur Verfügung zu stellen, sodass sie seitens Politik und Verwaltung sowie Wissenschaft, Zivilgesellschaft und Unternehmen zur Verbesserung der Lebensqualität in Städten genutzt werden können. Die Daten sollen helfen, die Gesundheit von Stadtbewohner:innen zu schützen und Städte nachhaltiger zu gestalten, etwa indem die Daten in den Bereichen Stadt- und Verkehrsplanung genutzt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Project Air View Daten nicht nach den gesetzlichen Vorgaben des Bundes-Immissionsschutzgesetzes erhoben werden. Das Projekt ist nicht darauf ausgerichtet, Daten zu erheben, die vergleichbar mit offiziellen Messungen zur Beurteilung der Luftqualität sind und die zur Einhaltung/Nichteinhaltung offizieller Schadstoffgrenzwerte herangezogen werden können (siehe Kapitel 3.5). Um zu erforschen, wie die Project Air View Daten dennoch zielführend im Hamburger Kontext verwendet werden könnten, haben Google und CSL im Rahmen des Projektes kooperiert.

¹ siehe https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1 (letzter Aufruf 31.05.2023)

² siehe <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2021-country-fact-sheets/germany> (letzter Aufruf 31.05.2023)



Abbildung 1: Project Air View Elektroauto in Hamburg mit Sensoren der Firma Aclima zur Messung von Luftschadstoffen und einer Kamera, um Bildmaterial für Google Maps zu erstellen, Foto: Google, 2021.

Verkehr, Industrie und Haushalte emittieren üblicherweise die meisten Luftschadstoffe innerhalb von Großstädten. Speziell in Hamburg sind die Hafenwirtschaft und die damit verbundene Schifffahrt weitere Faktoren. Gleichzeitig ist der Luftaustausch Hamburgs mit der Umgebung aufgrund des häufig auftretenden Windes relativ hoch, weshalb Luftschadstoffe, die in der Stadt anfallen, recht gut auf natürlichem Wege abtransportiert werden. Die Luftqualität in Hamburg hat sich in den vergangenen Jahren stetig verbessert, trotzdem wurden wiederholt erhöhte offizielle Werte gemessen, die negativen Einfluss auf die Gesundheit von Stadtbewohner:innen haben können. Dies gilt insbesondere für Stickstoffdioxid [1][2]. Für diesen Stoff wurden 2021 erstmals an allen verkehrsbelasteten Straßenabschnitten, für die Luftqualitätsdaten erhoben werden, die gesetzlich zulässigen Jahresmittelgrenzwerte eingehalten.³

1.2 Projektpartner und Praxisakteure

Das Project Air View Hamburg ist eine Kooperation zwischen Google Germany GmbH (Google) und der HafenCity Universität Hamburg (HCU). Die wissenschaftliche Projektleitung seitens der HCU liegt bei Prof. Gesa Ziemer, Leiterin des City Science Labs (CSL). Das Projekt wird von Beginn an seitens der Hamburger Stadtverwaltung begleitet: Im Vorfeld und während des Projekts fanden mehrere Arbeitstreffen mit Vertreter:innen der Verkehrsbehörde (BVM) und der Umweltbehörde (BUKEA) der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) statt. Diese sind maßgeblich für die Verkehrsplanung bzw. Mobilitätswende (BVM) sowie für die Erhebung von Daten über die Luftqualität in Hamburg und den Umweltschutz (BUKEA) zuständig. Die Bereiche Mobilitätswende und Luftqualität sind von besonderem Interesse für das CSL in Bezug auf die Anwendung der Daten in der Praxis.

³ siehe <https://www.welt.de/regionales/hamburg/article236811673/Stickoxide-in-der-Luft-Hamburg-haelt-erstmal-alle-Grenzwerte-ein.html> (letzter Aufruf 31.05.2023)

Des Weiteren wurde die Erhebung und/oder mögliche Verwendung der Daten unter anderem diskutiert mit Vertreter:innen des Landesbetriebs Geoinformation und Vermessung (LGV), des Landesbetriebs Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG), der Hamburg Port Authority (HPA) und der Hochbahn.

1.3 Projektverlauf

September 2021

- Finale Unterzeichnung Kooperationsvertrag Google und HCU/CSL
- offizieller Termin zum Start des Projekts mit Senator Kerstan (BUKEA), Prof. Gesa Ziemer (CSL) und Marianne Stroehmann (Google) an der HCU

Oktober 2021

- Vorstellung des Projektvorhabens beim Intelligent Transport Systems (ITS) Kongress Hamburg mit Martin Huber (BVM), Prof. Gesa Ziemer (CSL) und Marianne Stroehmann (Google)
- Beginn der Befahrung und Luftdatenerhebung mittels des Project Air View Autos

Dezember 2022

- Ende der Befahrung und Luftdatenerhebung mittels des Project Air View Autos

Juni 2023

- Veröffentlichung der Project Air View Daten und der Metadatenbeschreibung für alle Stoffe, die erhoben wurden (CO, CO₂, NO₂, NO, O₃, PM_{2,5}) via Hamburg Open Science durch HCU/CSL
- Veröffentlichung der aufgearbeiteten Daten für die gemessenen NO₂- und PM_{2,5}-Werte in Form von Karten durch Google im Environmental Insights Explorer
- Fertigstellung Diskussionspapier
- offizielle Präsentation der bisherigen Ergebnisse mit Senator Tjarks (BVM), Prof. Gesa Ziemer (CSL) und Marianne Stroehmann (Google) im CSL

2. Forschungsmethode

Die Forschung im Project Air View Hamburg folgt einem praxisorientierten Ansatz, um Wissen für Praxisakteure mit Bezug zur Stadt- und Verkehrsplanung in Hamburg zu gewinnen. Die Untersuchung orientiert sich dabei an folgenden im Projektverlauf ausgearbeiteten Fragen:

- Inwiefern können die im Project Air View erhobenen Daten Entscheidungen von städtischen Akteuren für eine nachhaltige Stadtentwicklung und Verkehrsplanung in Hamburg unterstützen?
- Welche konkreten Anwendungsfälle (use cases) lassen sich identifizieren?
- Welche Verknüpfungen mit anderen georeferenzierten Daten der Stadt Hamburg sind relevant, um entsprechende Entscheidungen zu unterstützen?
- Wie können die im Project Air View erhobenen Daten verifiziert, aufbereitet und visualisiert werden, damit sie von relevanten Akteuren bei der Entscheidungsfindung genutzt werden?

Die Forschungsmethode ist in Bezug auf das Messverfahren insofern experimentell ausgerichtet, als dass Technologie (vor allem Sensortechnologie) und Verfahrensweisen (vor allem Befahrung, Datenerhebung und -verarbeitung) getestet wurden, um so zu Erkenntnissen über die Anwendbarkeit der gewonnenen Daten im Bereich Stadt- und Verkehrsplanung zu gelangen. Des Weiteren ist die Forschung inter- und transdisziplinär angelegt, da Forscher:innen aus den Disziplinen Stadtplanung und Datenwissenschaft zusammenarbeiten (Interdisziplinarität) und weil nicht-wissenschaftliche Akteure intensiv in den Forschungsprozess eingebunden werden (Transdisziplinarität).

2.1 Befahrung und Messung der Luftqualität in Hamburg

Zentraler Bestandteil der Wissensgewinnung ist die Erhebung von Messdaten zur Luftqualität mittels eines Elektroautos, das mit Sensortechnik der Firma Aclima ausgestattet ist.⁴ Das im Folgenden kurz beschriebene Verfahren zur Messung und Befahrung wurde unter den Projektpartnern und Praxisakteuren im Vorfeld abgestimmt.

Das Auto fuhr montags bis freitags von circa 7:00 bis 19:00 Uhr und hat sekundlich (für O₃ jede zweite Sekunde) Luftschadstoffe gemessen. Gemessen wurden Werte für:

- Kohlenstoffmonoxid (CO)
- Kohlenstoffdioxid (CO₂)
- Stickstoffdioxid (NO₂)
- Stickstoffmonoxid (NO)
- Ozon (O₃)
- Feinstaub mit Partikelgröße 0,3 bis 2,5 µm (PM_{2,5})⁵

Schwerpunkt der Befahrung bildet ein von den Projektpartnern festgelegter innerstädtischer Bereich. Dieser umfasst im Wesentlichen Ottensen im Westen, Rothenburgsort im Osten und den Stadtpark im Norden, die südliche Grenze bildet die Norderelbe. Insgesamt wurden an rund 2,3 Millionen Messpunkten in der Stadt Daten erfasst. Das Auto folgte dem üblichen Straßenverkehr und ist unterschiedlich oft verschiedene Straßen entlang gefahren, sodass die Anzahl der Messpunkte im befahrenen Bereich variiert (siehe Abbildung 2).⁶ Gemessen wurden nicht nur Luftschadstoffe, die durch den Verkehr verursacht werden, sondern auch von anderen Emittenten (Schifffahrt, Industrie, Baustellen, Landwirtschaft etc.) ausgestoßene Luftschadstoffe. Nach der Messung wurden die Daten von Aclima zwecks Qualitätssicherung prozessiert (als Project Air View Daten bezeichnet).⁷

⁴ Die an dem Google Auto montierten Sensoren werden von der US-amerikanischen Firma Aclima bereitgestellt. Aclima arbeitet seit 2013 mit der Umweltschutzbehörde der USA (U.S. Environmental Protection Agency) zusammen, um kostengünstige Lösungen zur Überwachung der Luftqualität auf kommunaler Ebene zu testen. Siehe <https://www.aclima.io/science> (letzter Aufruf 31.05.2023)

⁵ Feinstaub wurde in sechs verschiedenen Partikelgrößen erfasst. Auf dieser Grundlage wurden Werte für PM_{2,5} von Aclima errechnet.

⁶ Für weitere Informationen von Google zum Messverfahren und zur Visualisierung siehe <https://insights.sustainability.google/labs/airquality> (letzter Aufruf 31.05.2023)

⁷ Für genauere Angaben zur Prozessierung siehe die Metadatenbeschreibung der Firma Aclima: <https://aclima.docsend.com/view/e5jdrkfnway7rj2> (letzter Aufruf 31.05.2023)

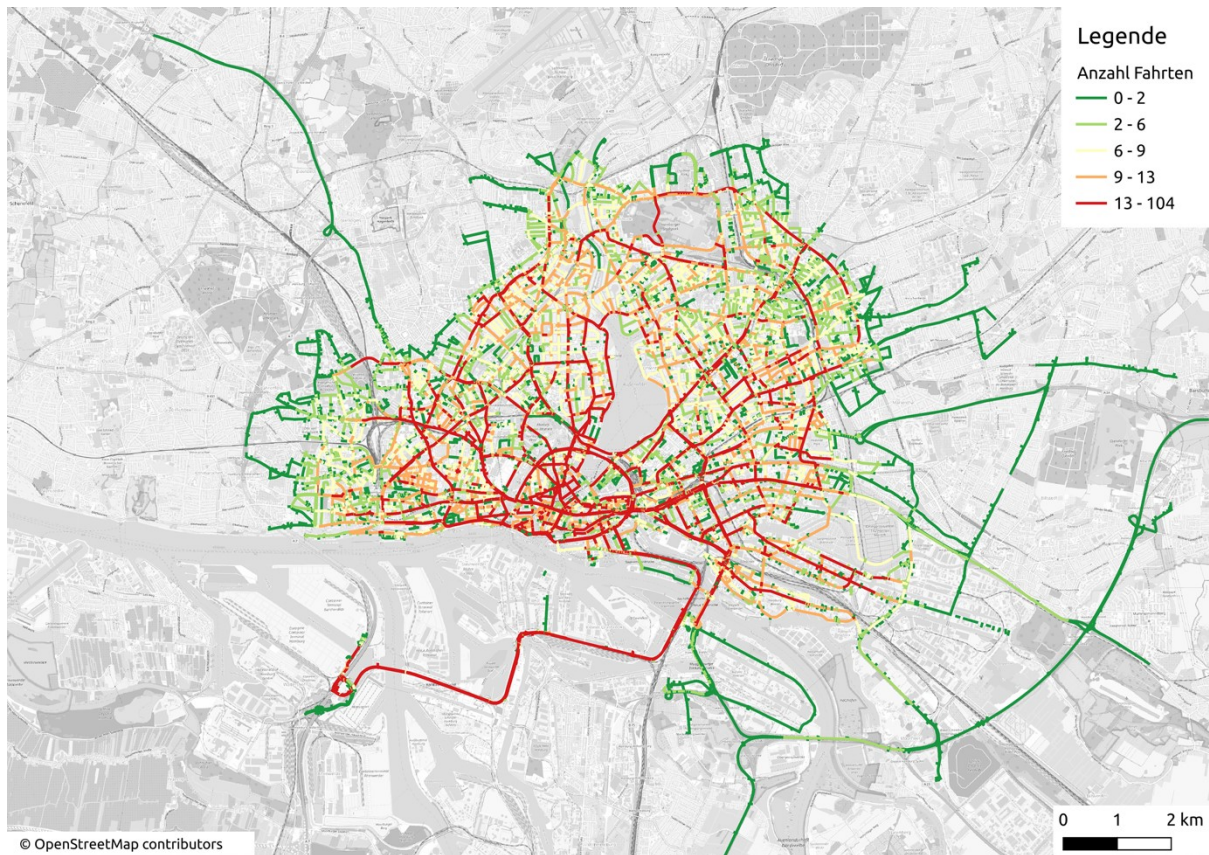


Abbildung 2: Anzahl der Befahrungen je Straßenabschnitt, Quelle: City Science Lab.

2.2 Datenwissenschaftliche und stadtplanerische Forschung

Neben der zuvor beschriebenen Befahrung und Messung der Luftqualität in Hamburg wurden folgende datenwissenschaftliche und stadtplanerische Forschungspraktiken umgesetzt:

- Die Project Air View Daten wurden mittels grundlegender Methoden zur Qualitätsbewertung ausgewertet, dazu zählen Metadaten- und Gültigkeitsprüfungen, grundlegende deskriptive Statistiken und visuelle Datenverteilungsanalysen.
- Definition und Identifizierung von Hochemissionsbereichen mittels eines geografischen Rasters und weitergehender Datenanalyse (siehe Kapitel 3.1).⁸
- Stadträumliche Betrachtung von Hochemissionsbereichen sowie der aggregierten Karten des Environmental Insights Explorers auf Grundlage des Hamburger Stadtplans mittels eines digitalen Tools zur Modellierung städtischer Datensätze (Cockpit Städtische Infrastrukturen – CoSI, siehe Kapitel 3.2).
- Erstellen einer Sammlung potenzieller Anwendungsfälle der Project Air View Daten für die Stadt- und Verkehrsplanung auf Grundlage von Desktop-Recherche sowie dem Input der Projektpartner:innen und der beteiligten Praxisakteure (siehe Kapitel 3.3).

⁸ In diesem Repository können die grundlegenden deskriptiven Statistiken (Beschreibung und Python-Skripte) sowie die zur Definition und Identifizierung von Hochemissionsbereichen verwendeten Python-Skripte eingesehen und ausgeführt werden: <https://github.com/citysciencelab/airview-analysis>

- Organisation und Teilnahme an Arbeitstreffen mit Projektpartner:innen und Praxisakteuren, um Feedback zu den vorgeschlagenen Use Cases, den erhobenen Daten und deren Visualisierung einzuholen.
- Protokollierung und Auswertung von Workshops und Arbeitstreffen mit Projektpartner:innen und Praxisakteuren in Bezug auf die untersuchungsleitenden Fragestellungen.

Mit Blick auf die Erkenntnisse aus dem Forschungsprozess ist zu beachten, dass der Zeitraum zur Analyse und Interpretation der finalen Project Air View Daten aufgrund der Projektplanung recht kurz angelegt war, weshalb eine fundierte datenwissenschaftliche und stadträumliche Analyse und Interpretation der Daten bis dato noch aussteht.

3. Ergebnisse und Erkenntnisse

3.1 Hochemissionskarte

Ziel dieser Analyse ist die Identifizierung von Bereichen in der Stadt, wo die Messwerte möglichst vieler chemischer Stoffe auffällig hoch sind, sogenannte Hochemissionsbereiche. Grundlage zur Identifizierung von Hochemissionsbereichen in Hamburg durch das CSL bilden die von Google und Aclima sekundlich gemessenen Punktdaten folgender Luftschadstoffe: CO, CO₂, NO₂, PM_{2.5}. Die räumliche Eingrenzung von Hochemissionsbereichen erfolgt anhand eines geografischen Rasters mit 500m x 500m großen Quadraten, dessen Ausmaß auf der im Project Air View befahrenen Fläche basiert (siehe Abbildung 3). Dabei werden keine tatsächlichen Werte betrachtet, sondern solche Bereiche, die eine Vielzahl von signifikant höheren Werten aufweisen (obere 0,3% plus Ausreißer) als andere Bereiche des Stadtgebiets. Mit dieser Methode wird bestmöglich ausgenutzt, dass die Project Air View Daten eine große Anzahl von Messpunkten umfassen, dass die Daten kleinräumig erhoben werden und dass mehrere chemische Stoffe gleichzeitig gemessen werden. Die Methode wurde außerdem vom CSL entwickelt, um Auswirkungen der in Kapitel 3.6 erläuterten projektspezifischen Messfehler und Unsicherheiten auf die Analyse der Project Air View Daten zu minimieren.⁹

⁹ Dem zugrunde liegen folgende Annahmen: Das Ausmaß der gemessenen Ausreißerwerte in den Project Air View Daten für die beobachteten Hochemissionsbereiche ist deutlich größer als das mögliche Ausmaß der Sensorfehler (1). Da für verschiedene Schadstoffe unterschiedliche Sensortypen verwendet werden, ist es unwahrscheinlich, dass Korrelationen bei Hochemissionsbereichen zwischen verschiedenen Schadstoffen auf Sensorfehler zurückzuführen sind (2). Es ist sehr unwahrscheinlich, dass die wiederholte Beobachtung von Hochemissionsbereichen über einen längeren Zeitraum am selben Ort auf Sensorfehler oder Verzerrungen zurückzuführen sind (3).

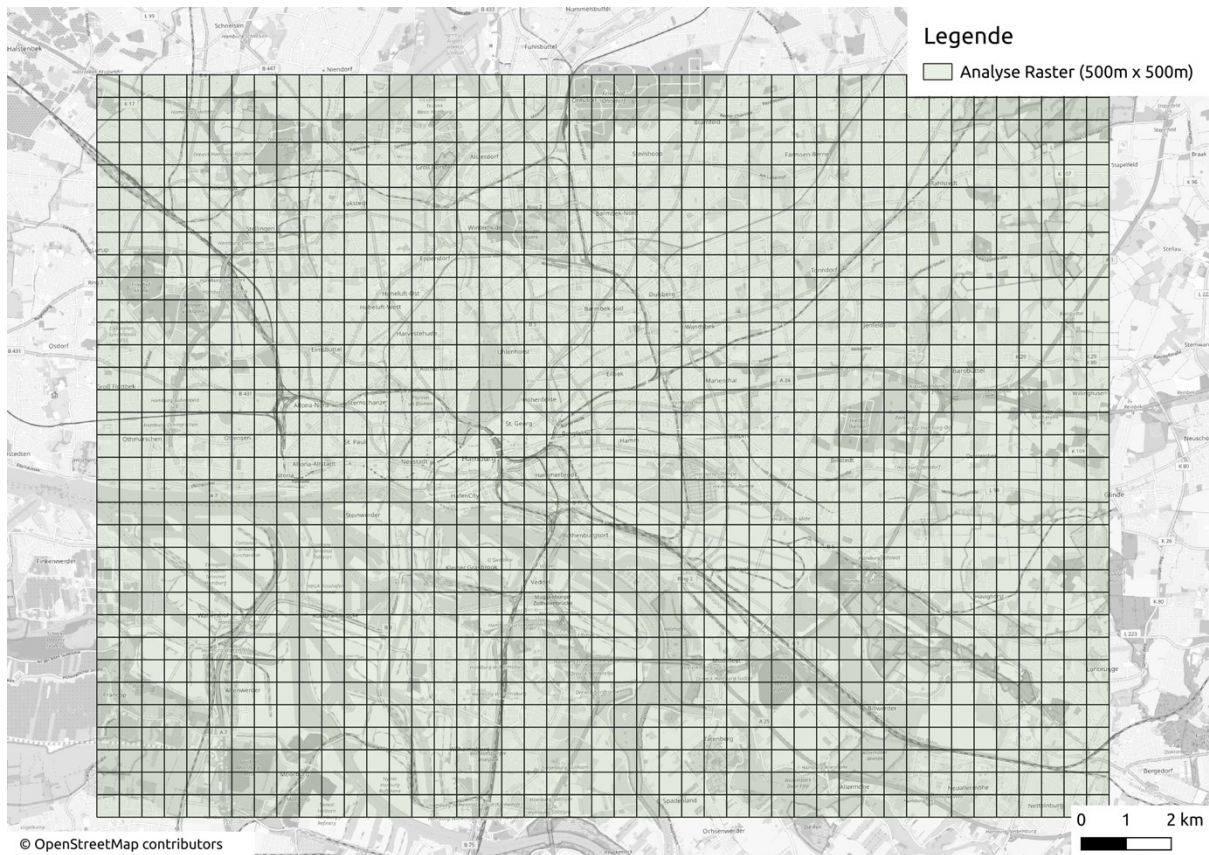


Abbildung 3: Raster zur Identifizierung von Hochemissionsbereichen in Hamburg, Quelle: City Science Lab.

Es konnten in einem ersten Schritt 22 sogenannte vermutete Hochemissionsbereiche ausgemacht werden. In diesen vermuteten Hochemissionsbereichen treten für die Stoffe NO, NO₂, CO, CO₂ und PM_{2.5} mindestens 25 Werte (15 für O₃) über der 3-Sigma-Grenze auf. In einem zweiten Schritt zur statistischen Verifizierung wurde für alle Rasterfelder geprüft, ob in Summe mindestens 10.0000 Messdaten für NO₂, CO, CO₂, und PM_{2.5} vorliegen, wobei mindestens 12% der gemessenen Werte über dem oberen Limit von drei Standardabweichungen des arithmetischen Mittels liegen müssen. Zudem wurde geprüft, ob die signifikant höheren Messwerte über den Messzeitraum verteilt auftreten, denn die Verteilung der analysierten Daten über mehrere Monate hinweg ist relevant, um auszuschließen, dass Wetterverhältnisse oder andere punktuell auftretende Umweltereignisse die Messwerte verzerren. Die Variablen der Analyse wurden so gesetzt, um die zwei kritischsten Rasterfelder zu identifizieren (siehe Abbildung 4). Eines liegt zwischen Alster, Planten und Blumen, Dammtor Bahnhof und dem Gänsemarkt (Hochemissionsbereich 1). Ein zweites liegt um den Hauptbahnhof herum (Hochemissionsbereich 2). Durch Herabsetzen der Variablen ließen sich weitere Hochemissionsbereiche ausfindig machen.

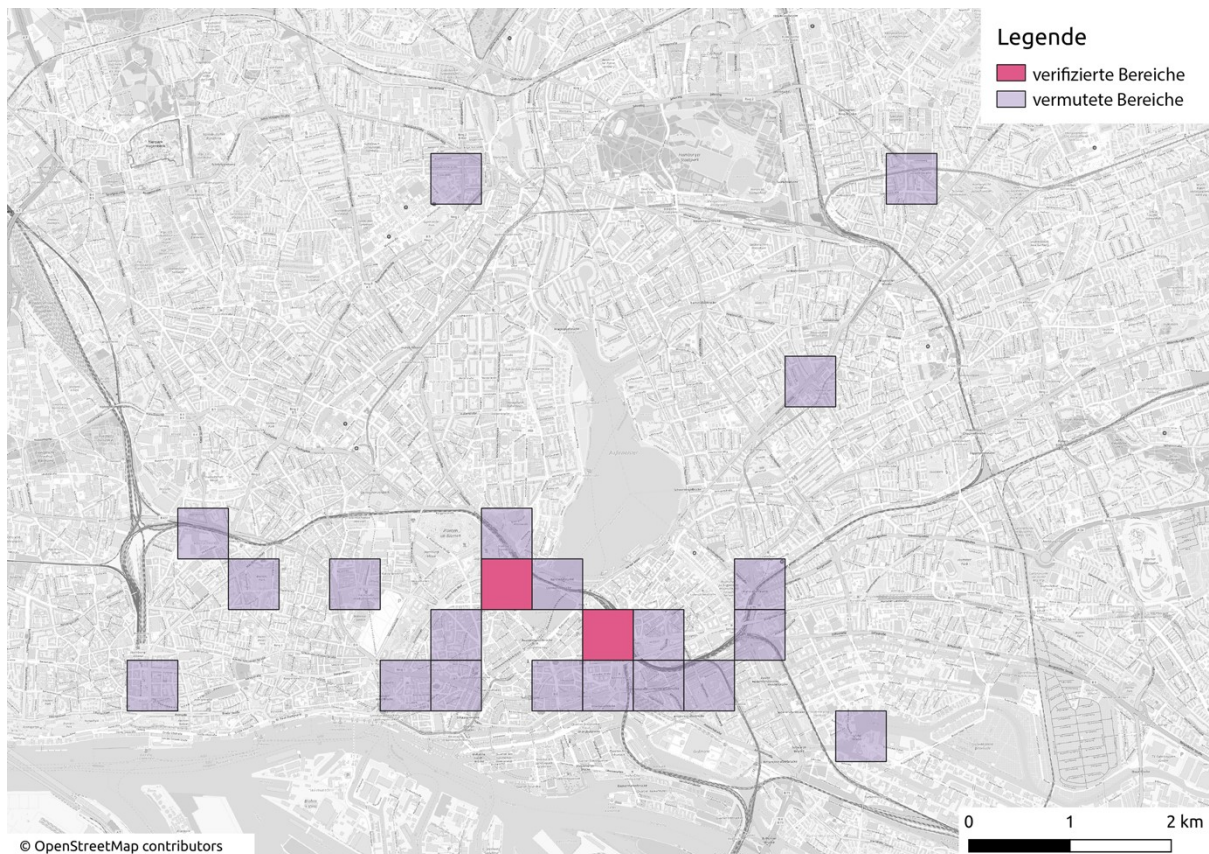


Abbildung 4: Vermutete Hochemissionsbereiche und statistisch verifizierte Hochemissionsbereiche, Quelle: City Science Lab.

3.2 Stadträumliche Betrachtung in CoSI

Die von Google aggregierten Project Air View Daten sowie die vom CSL identifizierten Hochemissionsbereiche wurden in das Cockpit Städtische Infrastrukturen (CoSI)¹⁰ integriert, um sie im Zusammenhang mit weiteren relevanten Datensätzen zu betrachten. Dafür wurden Datensätze der Urbane Datenplattform (UDP) zum städtebaulichen Kontext¹¹, zu den Angeboten Sozialer Infrastruktur und Gesundheitsversorgung¹², zentrale Versorgungsbereiche¹³, Verkehr¹⁴ und Demografie¹⁵ herangezogen (siehe Tabelle 1). Darüber hinaus wurde die Verteilung aller Einzelmesswerte der Project Air View Daten im Rasterfeld zur Darstellung der Verteilungsdichte als sogenannte Heatmap visualisiert. Die

¹⁰ CoSI ist ein digitales Analyse- und Planungstool, das vom City Science Lab in enger Zusammenarbeit mit der Stadt Hamburg entwickelt wird. Mit CoSI können Daten der Hamburger Verwaltung aus der Urbanen Datenplattform modelliert werden. Außerdem verfügt CoSI über Prognose- und Simulationsfunktionen zur Unterstützung von Planungsentscheidungen.

¹¹ Dazu zählen Daten von/zu ALKIS, Feinkartierung Straßen, Digitaler Grünplan, Straßenbäume.

¹² Dazu zählen Daten von/zu Kindertagesstätten, Schulen, Krankenhäusern, Pflegeeinrichtungen, Integrationsangeboten, ASD, JSA, OKJA, Einrichtungen für Senior:innen, Einrichtungen für Geflüchtete, Einrichtungen für Obdachlose.

¹³ Dazu zählen Daten von/zu Freizeit und Kultur, Einzelhandel (ohne Nahversorgung), Gastronomie, Hotellerie.

¹⁴ Dazu zählen Daten von/zu Dauerzählstellen, StadtRAD Stationen, HVV Haltestellen, Fahrradwege, Feinkartierung Straße.

¹⁵ Dazu zählen Daten von/zu Statistikamt Nord, addressgenaue Abfrage der Einwohner:innenzahl (siehe Tabelle 1), regionalstatistische Daten der statistischen Gebiete.

Messwerte für jede Stoffklasse wurden auf den Bereich 0-1 normalisiert und dementsprechend die relative Höhe der Schadstoffbelastung dargestellt: Niedrige Werte werden schwächer (grün, kleiner Radius) dargestellt als höhere Werte (rot, größer Radius) (siehe Abbildungen 5 und 6 sowie Anhang A und B). Insofern sind die Darstellungen qualitativ und relativ zu den Project Air View Daten zu verstehen und nicht geeignet, um Aussagen in Bezug auf rechtlich verbindliche Schadstoffgrenzwerte zu treffen (dasselbe gilt für die Karten im EIE, siehe Kapitel 3.4.2).

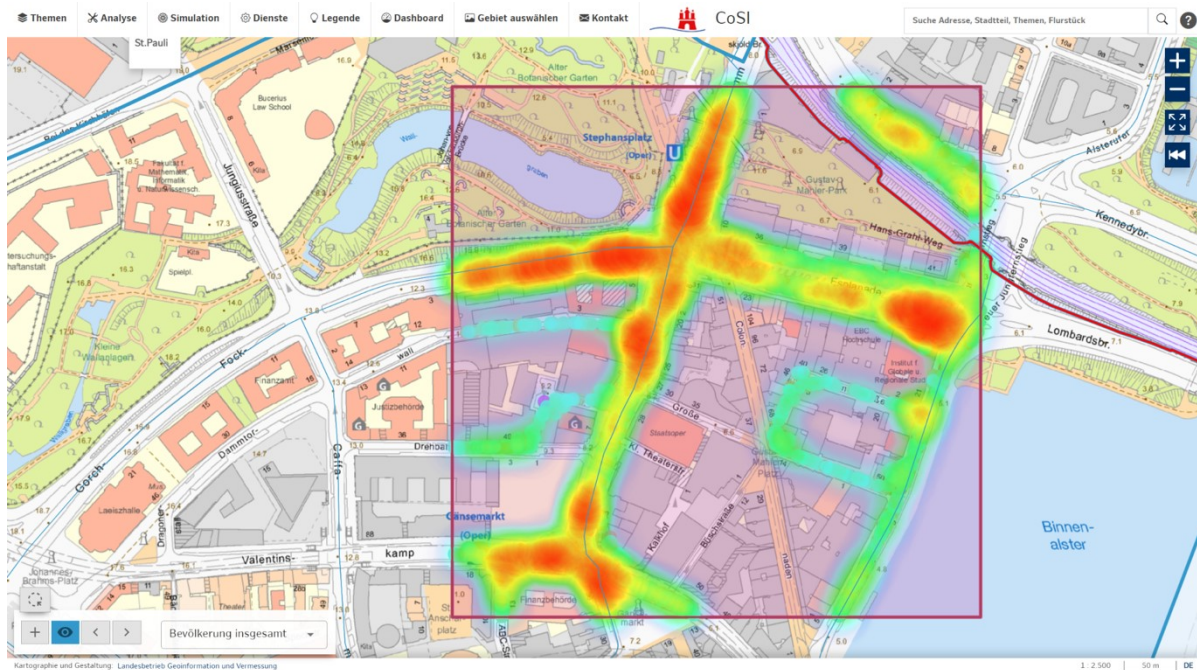


Abbildung 5: Heatmap der Messwerte Hochemissionsbereich 1 für alle Stoffklassen außer NO, gewichtet (vgl. Anhang), Quelle: City Science Lab.



Abbildung 6: Heatmap der Messwerte Hochemissionsbereich 2 für alle Stoffklassen außer NO, gewichtet (vgl. Anhang), Quelle: City Science Lab.

Im Folgenden werden ausgewählte stadträumliche Zusammenhänge, die für Planungsaufgaben relevant sein könnten, exemplarisch erläutert. Dabei werden vor allem solche Faktoren herangezogen, die im Zusammenhang mit Personen stehen, die sich im Stadtraum aufhalten oder bewegen (vor allem Fahrradfahrer:innen und Fußgänger:innen) und die daher – so unsere Annahme – in besonderem Maße Luftschadstoffen ausgesetzt sind. Dazu zählt auch die Betrachtung von Orten mit erhöhtem Publikumsverkehr (Gastronomie, Einzelhandel etc.). Besonderes Interesse gilt Einrichtungen für vulnerable Gruppen (Schulen, Kindergärten, Altenpflegeeinrichtungen etc.), deren Gesundheit üblicherweise in erhöhtem Maße von Luftschadstoffen beeinträchtigt wird. Eine vertiefende Einzelbetrachtung inklusive thematischer Schwerpunktsetzung müsste im Rahmen einer weitergehenden Auswertung oder Planung umgesetzt werden.

Beide identifizierten Hochemissionsbereiche liegen im Stadtzentrum und umfassen Hauptverkehrsstraßen, auf denen sich die Ausreißer der Messwerte häufen. Wir gehen daher davon aus, dass die Emissionen des Straßenverkehrs wesentlich zu den relativ hohen Luftschadstoffen in diesen Bereichen beitragen.

Insgesamt betrachtet verlaufen keine hochfrequentierten Fußgänger:innenwege entlang der stärker belasteten Straßen.¹⁶ Allerdings gibt es Kreuzungen, an denen es für den motorisierten Verkehr zu längeren Stehzeiten kommt.¹⁷ Hier befinden sich Bushaltestellen mit entsprechenden Wartezeiten für Fahrgäste. Außerdem queren Fußgänger:innen die Straße in den Kreuzungsbereichen und teilweise verlaufen hier Fahrradwege auf der Straße. Vor allem aber werden sowohl der Hauptbahnhof wie auch der Bahnhof Dammtor und die dort ansässigen Orte des Einzelhandels, der Gastronomie und Kultur alltäglich von vielen Menschen besucht und Bushaltestellen liegen hier häufig in stärker belasteten Bereichen.

Die Straßen Alsterglaxis und Esplanade/Dammtordamm (Hochemissionsbereich 1) und Steintorwall (Hochemissionsbereich 2) sind primär von Durchgangsverkehr geprägt. Hier dominieren offene Flächen (unter anderem Bahnhofsvorplatz, botanischer Garten) und geschlossene Gebäudefassaden ohne Einzelhandel und Gastronomie. Besucher:innenverkehr mit entsprechenden Aufenthaltszeiten in unmittelbarer Nähe der Straßen ist dementsprechend selten.¹⁸

Mit Blick auf die Bebauungsstruktur fällt auf, dass beide Hochemissionsbereiche von im Durchschnitt 5-geschossiger Blockrandbebauung geprägt sind, die mehr oder weniger enge Straßenschluchten ausbildet. Nach rein visueller Einschätzung steht die Häufung von Ausreißern der Messwerte allerdings nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Weite (und Durchlüftung) von Straßenschluchten. Dasselbe gilt für umbaute Räume wie Tunnel und Unterführungen. Mit Blick auf die Grünflächen wird deutlich, dass der Botanische Garten im Hochemissionsbereich 1 größere Bereiche einnimmt, während im Rasterfeld Hochemissionsbereich 2 keine Grünflächen oder Parks liegen.

¹⁶ Aussagen sind nur für Straßen möglich, für die Air View Messdaten vorliegen wurden.

¹⁷ Diese Aussage gilt insbesondere für die Berufsverkehrszeit und basiert auf eigenen Beobachtungen, Daten von Verkehrszählstellen, den Projekt AirView Daten sowie einem Abgleich mit aktuellen Daten von Google Maps am 31.05.2023 um 9:15Uhr.

¹⁸ Aussage basierend auf Erfahrungswerten, einer Betrachtung der lokalen Infrastruktur und einem Vergleich mit Daten zum Hauptverkehrsstraßennetz (siehe <https://www.hamburg.de/bvm/start-hauptverkehrsstrassennetz>).

Innerhalb der beiden Hochemissionsbereiche liegen keine Einrichtungen speziell für vulnerable Gruppen (Kindertagesstätten, Krankenhäuser, etc.). Es gibt einen relativ kleinen Anteil an Wohnbebauung und die Einwohner:innenzahl ist insgesamt niedrig. Eine genauere soziodemografische Betrachtung der statistischen Gebiete wäre notwendig, um genauere Aussagen über die Personengruppen treffen zu können, die potentiell Schadstoffen ausgesetzt sind.

Stadtteil	Hochemissionsbereich 1: Dammtor / Gänsemarkt	Hochemissionsbereich 2: Hauptbahnhof (inklusive Tunnel)	(exklusive Tunnel)
Fläche (m²)	250,000.00	250,000.00	-
Einwohner:innen	249	64	-
NO₂ Ausreißer (1s)	2698	2707	1836
NO₂ Durchschnitt (ppb)	18.94	19.86	18.42
CO₂ Ausreißer (1s)	2280	2256	1604
CO₂ Durchschnitt (ppm)	468.79	470.85	468.312
CO Ausreißer (1s)	2834	2361	1869
CO Durchschnitt (ppb)	0.37	0.36	0.35
O₃ Ausreißer (1s)	534	51	27
O₃ Durchschnitt (ppb)	14.04	12.59	13.61
PM 2.5 Ausreißer (1s)	1585	1994	1521
PM 2.5 Durchschnitt (µg/m³)	11.49	12.41	12.00
Anzahl der Befahrungen (ø)	13.20	14.20	12.33
ÖPNV Haltestellen	5	7	-
Schulen	-	-	-
Kindertagesstätten	-	-	-

Krankenhäuser	-	-	-
Sportstätten	-	-	-
Sonstige Soziale Einrichtungen	-	-	-
Spielplätze	-	-	-
Einzelhandel (ohne Nahversorgung)	84	88	-
Freizeit / Kultur	7	7	-
Gastronomie / Hotellerie	44	43	-
StadtRAD Stationen	1	4	-
Parkhäuser (Stellplätze)	550	628	-
Gebäudegeschosse (Ø)	5.00	4.87	-
Gebäudegrundfläche (m²)	113,440.01	155,853.25	-
Parks (m²)	43,292.16	37.75	-
Verkehrsflächen (m²)	67,241.80	104,679.02	-
Fahrradwege (abseits Straßen, m)	1.417,07	1.719,26	-
Straßenlänge gesamt (Kfz, m)	3.166,13	4.769,36	-
Straßenbäume (Kronendurchm., m)	2.121	919	-
Grünflächen (Straßenraum, m²)	5,716.67	1,724.01	-
Verkehrsstärken (Pkw/Tag, Mo-Fr, 2020)¹⁹	15,000.00	12,000.00	-

Tabelle 1: Stadträumliche Auswertung der Hochemissionsbereiche.

¹⁹ Stationäre Zählstellen für den Verkehr sind für Hochemissionsbereich 1 "Dammtordamm N Esplanade T189" und für Hochemissionsbereich 2 "Ernst-Merck-Straße NO Glockengießerwall T192". Die im Jahr 2020 gemessenen Zahlen unterliegen dem Einfluss der Corona-Pandemie sowie den damit verbundenen Einschränkungen. Sie liegen zum Teil ca. 20% niedriger als Zahlen für das Jahr 2019. Zahlen für 2022 liegen noch nicht vor. Die Reisezeitindizes für 2021 (BVM, INRIX 2021) weisen jedoch eine mittlere Verlängerung der Fahrzeiten in Hamburg in der Höhe von 4% aus.

3.2.1 Hochemissionsbereich 1: Dammtor/Gänsemarkt

Im Hochemissionsbereich Dammtor/Gänsemarkt (siehe Abbildung 5) verteilen sich die statistischen Ausreißer relativ gleichmäßig auf die Hauptstraßen und konzentrieren sich dort (je nach Fahrtrichtung) auf die Ampelbereiche, wo während der Rotphasen Autos vermehrt zum Stehen kommen. Fußgänger:innen sind im Hochemissionsbereich vermutlich am stärksten an der Bushaltestelle Stephansplatz betroffen, denn diese liegt in der Straßenmitte vor einem stärker belasteten Ampelbereich. Dagegen sind Fahrradfahrende wahrscheinlich vor allem im Bereich Gänsemarkt betroffen, denn hier wird der Fahrradverkehr in der Straßenmitte geführt.

Die höchsten Konzentrationen von mit Autoverkehr assoziierten Stoffen (NO₂, CO₂, CO) finden sich an den Kreuzungen Esplanade/Neuer Jungfernstieg und Alsterglaciis/Neuer Jungfernstieg, wo sich der Verkehr vor allem zu Berufsverkehrszeiten staut und eine Baustelle während des Messzeitraums den Verkehrsfluss eingeschränkt hat. Die hohen Werte an diesen Kreuzungsbereichen bilden sich nur unvollständig in der Heatmap ab, da durch die Lage des Rasters viele hohe Messwerte in benachbarten Rasterfeldern liegen. Wie Abbildung 4 zeigt, sind die nördlich und östlich angrenzenden Rasterfelder vermutete Hochemissionsbereiche. Dies legt nahe, dass eine entsprechende Folgebetrachtung mittels kleineren Rasterquadraten (zum Beispiel 200m x 200m) und von überlappenden Quadraten sinnvoll sein könnte, um genauere Betrachtungen durchführen zu können.

3.2.2 Hochemissionsbereich 2: Hauptbahnhof/Wallringtunnel

Im Hochemissionsbereich am Hauptbahnhof (siehe Abbildung 6) konzentrieren sich Ausreißer vor allem auf den Steintorwall und den Wallringtunnel. Dabei haben die im Wallringtunnel verorteten Messwerte einen sichtbaren Einfluss auf die Luftqualität²⁰ (siehe Tabelle 1). Doch auch ohne den Tunnel qualifiziert sich das Rasterfeld als Hochemissionsbereich.²¹ Entlang des Steintorwalls finden sich unserer Einschätzung nach keine für den Fußgängerverkehr besonders relevanten Einrichtungen, jedoch sind hier die Fahrradwege zum Teil nicht baulich von der Straße getrennt, so dass Fahrradverkehr in unmittelbarer Nähe zum motorisierten Verkehr geführt wird. Fast alle gastronomischen Angebote und Einzelhandelsstandorte befinden sich in verkehrsberuhigten Bereichen oder Fußgängerzonen der Mönckebergstraße, der Spitalerstraße, Kurze Mühren und Lange Mühren, wo aufgrund des Messverfahrens keine Messungen mittels des Project Air View Autos durchgeführt wurden.

²⁰ Gemäß der auf 50 Meter-lange Straßenabschnitte aggregierten Messwerte (siehe Kapitel 3.4.2).

²¹ Die Zuordnung der Messpunkte zum Wallringtunnel mittels GPS-Signal weist keine hundertprozentige Sicherheit auf (siehe Kapitel 3.6), ist aber für die Qualifizierung des Rasterfelds als Hochemissionsbereich von untergeordneter Bedeutung.

3.3 Potenzielle Anwendungsfälle

3.3.1 Schutz vulnerabler Gruppen

Schulen, Kindergärten, Spielplätze, Altersheime etc. sollten wenn möglich dort errichtet werden, wo die Luftqualität in einer Stadt vergleichsweise gut ist und Zuwegungen sollten so geplant werden, dass sie Bereiche mit schlechter Luftqualität umgehen.²² Zu diesem Zweck können die Project Air View Daten herangezogen werden. Außerdem könnten die Nutzer:innen solcher Einrichtungen vor Luftschadstoffen aus dem Stadtverkehr durch gezielte Maßnahmen geschützt werden, zum Beispiel mittels rückwärtiger Belüftung, zusätzlicher Bäume, veränderter Zuwegung, verkehrsberuhigten Zonen.

3.3.2 Optimierung von Fahrradwegen

Anhand einer Belastungsanalyse von Fahrradwegen mittels der Project Air View Daten könnten Routen-Umleitungen und bauliche Anpassungen in Betracht gezogen werden. Die Daten könnten zudem bei der Konzeption neuer Radwege als zusätzliches Kriterium berücksichtigt werden, um stark belastete Gebiete zu umgehen oder die Ausführung der Radwege entsprechend anzupassen (Führung auf, neben oder mit Abstand zur Straße, schützender Grünstreifen etc.). Darüber hinaus ließe sich möglicherweise ein Navigationstool entwickeln, das unter Berücksichtigung des Wochentags und der Tageszeit alternative Routen vorschlägt, die möglichst gering belastet sind.

3.3.3 Ausbau und Elektrifizierung der öffentlichen Busflotte

Entlang von Straßen, die laut der Project Air View Daten eine hohe Schadstoffbelastung aufweisen und wo sich viele Menschen aufhalten, könnte der Einsatz von öffentlichen Bussen mit elektrischem Antrieb priorisiert werden, um die Luftqualität dort zu verbessern.²³ Außerdem könnten in diesen Bereichen Buslinien ausgebaut werden, wenn eine ausreichende Nachfrage an ÖPNV-Angeboten besteht. In diesem Zusammenhang sollte außerdem der entsprechende Umbau und Neubau von Busbetriebshöfen priorisiert werden, um Leerfahrten sowohl für elektrische als auch für Busse mit Verbrennermotoren zu reduzieren.

3.4 Daten und Darstellungen

3.4.1 Project Air View Daten

Die im Rahmen der Befahrung in Hamburg erhobenen und von der Firma Aclima zur Qualitätssicherung prozessierten Daten für alle gemessenen Stoffe (ca. 23 Millionen Datenpunkte) sowie die Metadatenbeschreibung wurden in Abstimmung mit Google und

²² Die Europäische Umweltagentur fordert zum Beispiel den besseren Schutz von Schulkindern vor Schadstoffen in der Luft, siehe <https://www.eea.europa.eu/publications/air-pollution-and-childrens-health> (letzter Aufruf 31.05.2023)

²³ Unter anderem diesen Handlungsansatz verfolgt der aktuelle Luftreinhalteplan der FHH.

Aclima von der HafenCity Universität öffentlich zur Verfügung gestellt und sind über die Plattform Hamburg Open Science frei zugänglich abrufbar.²⁴

3.4.2 Karten im Environmental Insights Explorer

Auf Grundlage der Project Air View Daten wurden von Google Medianwerte für die Stoffe NO₂- und PM_{2,5} für 50 Meter-lange Straßenabschnitte gebildet und in Form von Kartendarstellungen im Environmental Insights Explorer (EIE) frei zugänglich zur Verfügung gestellt (siehe Abbildungen 7 und 8).²⁵ Diese beiden Stoffe wurden ausgewählt, weil NO₂- und PM_{2,5} zur Bewertung der Luftqualität in Hamburg und anderen Städten zentral sind und im Fokus der öffentlichen und fachlichen Debatten stehen [2]. Weil das Auto unterschiedlich oft verschiedene Straßen entlang gefahren ist und die Anzahl der Messpunkte daher variiert, hat Google die Darstellung der veröffentlichten Karten für NO₂ und PM_{2,5} im EIE so gestaltet, dass sie nach 6+, 10+, 15+ und 20+ Messungen je Straßenabschnitt gefiltert werden können.²⁶ Dadurch ergibt sich ein differenzierteres Bild der Project Air View Daten, denn es kann detaillierter nachvollzogen werden, wie viele Messungen den gebildeten Medianwerte für die 50-Meter Straßenabschnitte zugrunde liegen.

Aufgrund der in Kapitel 3.6 beschriebenen Unsicherheiten in Bezug auf die Datenerhebung und der weiteren Verarbeitung für die Darstellung im EIE (Aggregation in 50-Meter Straßenabschnitten), ist die Interpretation der Karten aus datenwissenschaftlicher und stadtplanerischer Sicht dennoch nur sehr eingeschränkt möglich. Außerdem ist ein direkter Vergleich der dargestellten Werte mit offiziellen Gesundheitsgrenzwerten nicht ohne weiteres möglich, da die Project Air View Daten die Luftbelastung eines Straßenabschnitts für kurze Momente abbilden, während sich Gesundheitsgrenzwerte auf deutlich längere Zeiträume beziehen, in denen Menschen Luftschadstoffen ausgesetzt sind. Insofern wären weitergehende Analysen der Daten notwendig sowie deren Abgleich mit anderen Datensätzen (unter anderem Wetterdaten) und Modellen (unter anderem Windmodell, 3D-Stadtmodell), um verlässliche Aussagen treffen zu können. Dabei muss beachtet werden, dass ein Vergleich mit offiziellen Daten zur Luftqualität allerdings auch nicht Ziel des Projekts war (siehe Kapitel 1.1)

²⁴ siehe <https://doi.org/10.34712/042.1> (letzter Aufruf 16.04.2024)

²⁵ EIE ist ein digitales „Analyse- und Statistiktool“, das die Firma im Internet bereitstellt. Der EIE umfasst firmeneigene Umweltdaten und Modellierungsfunktionen. Google möchte damit laut eigenen Angaben Entscheidungsträger:innen bei konkreten Maßnahmen unterstützen, um „Städte und Kommunen sowohl klimafreundlicher als auch resilienter und anpassungsfähiger im Hinblick auf den Klimawandel“ zu machen. Siehe <https://insights.sustainability.google/> (letzter Aufruf 05.06.2023)

²⁶ Die Festlegung der Filterkategorien 6+, 10+, 15+ und 20+ Messungen basiert auf [3].

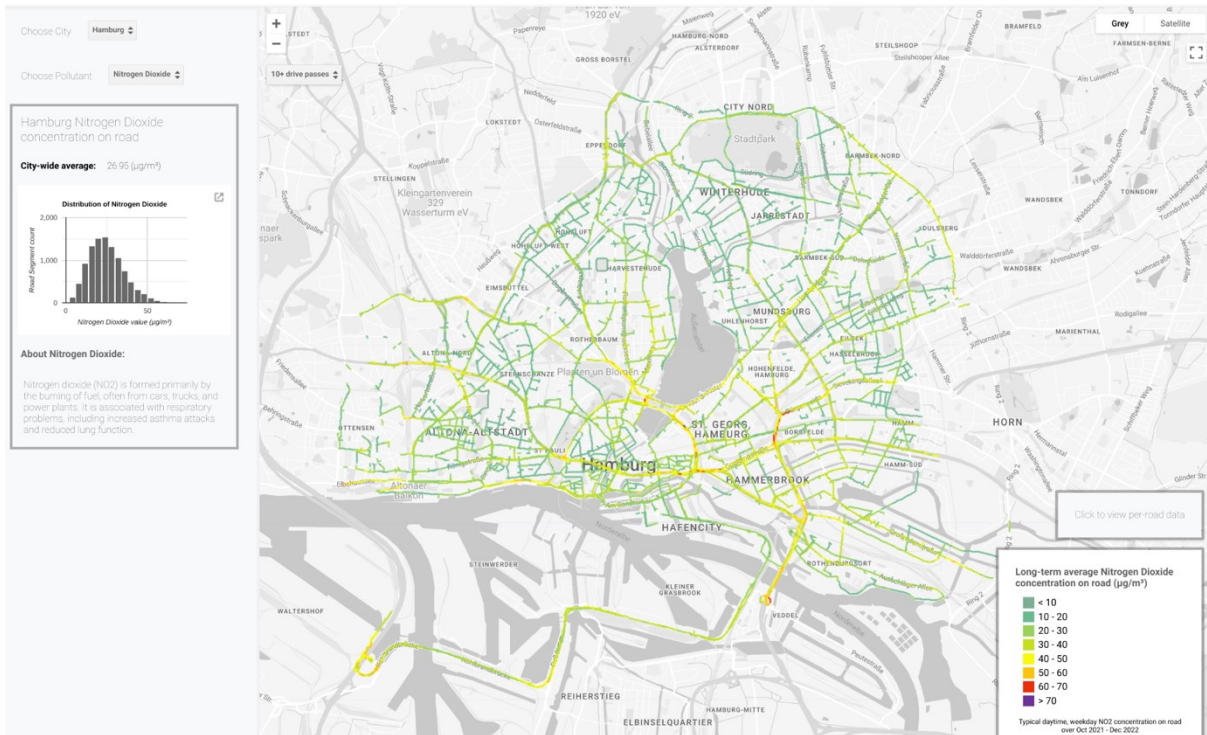


Abbildung 7: Karte der aggregierten Project Air View Daten für NO₂ und mindestens zehn Befahrungen, Quelle: Google.

Vor diesem Hintergrund lässt die Darstellung der NO₂ Messwerte (siehe Abbildung 7) vermuten, dass viele der rot eingefärbten Bereiche entlang von Hauptstraßen auf Staus zurückgehen, in denen das Air View Auto während der Datenerhebung stand und daher für diese Bereiche höhere NO₂ Werte gemessen hat. Auffällig sind die Darstellungen relativ hoher Werte in Teilbereichen von verschiedenen Tunneln, was an der vergleichsweise geringen Luftventilation in den Tunneln liegen könnte.²⁷ Außerdem fallen zwei Kreuzungsbereiche im Nordosten des Kartenausschnitts auf (Habichtstraße/Bramfelder Straße und Ring 2/Straßburger Straße). Dies passt teilweise zu den Ergebnissen des Luftreinhalteplan der FHH, wonach in der Habichtstraße Grenzwerte wiederholt überschritten und daher Gegenmaßnahmen ergriffen wurden. Der Stadtteil Rotherbaum fällt im Vergleich zu anderen Wohnquartieren mit stärker variierenden NO₂-Darstellungen auf.

²⁷ Jedoch könnte es in Tunnelbereichen zu GPS-Signalfehlern gekommen sein, weshalb sich einzelne Messwerte womöglich nicht eindeutig einem bestimmten Straßenabschnitt zuordnen lassen (siehe Kapitel 3.6).

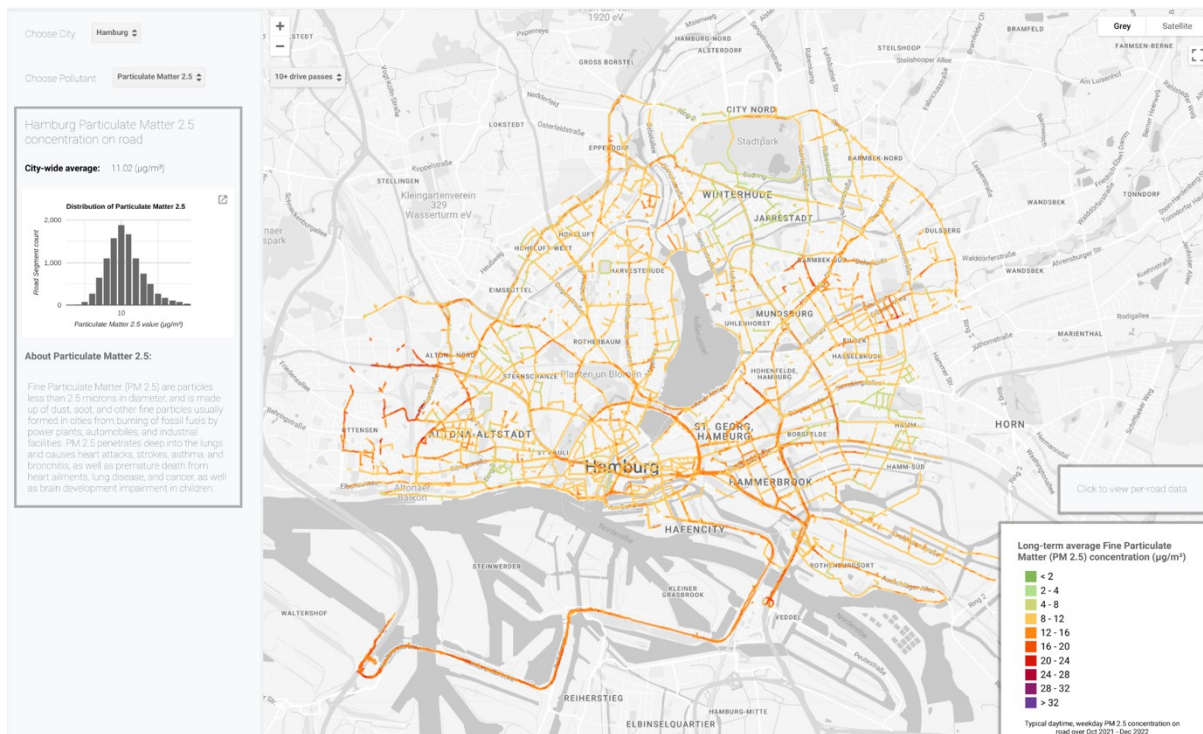


Abbildung 8: Karte der aggregierten Project Air View Daten für PM_{2,5} und mindestens zehn Befahrungen, Quelle: Google.

Bei den PM_{2,5} Werten (siehe Abbildung 8) fällt unter anderem auf, dass für den Stadtteil Ottensen recht hohe Werte dargestellt werden. Dies kann mehrere Gründe haben. Dazu zählt Feinstaub, der aus dem Hafengebiet im Süden angeweht wird oder von den Großbaustellen zur Überdeckung der A7 im Westen und Norden des Stadtteils.

3.5 Unterschiedlichkeit zu offiziellem Messverfahren

Das Messverfahren im Project Air View (siehe Kapitel 2.1) unterscheidet sich grundlegend von dem der FHH und als es der Gesetzgeber vorschreibt.²⁸ Die rechtliche Grundlage, auf der die FHH Luftdaten misst, die Luftqualität bewertet und Entscheidungen trifft, bildet die Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV). Drei offensichtliche Unterschiede zum Project Air View bestehen darin, dass Google in Zusammenarbeit mit Aclima mobile statt stationäre Sensoren einsetzt (1), ausschließlich unmittelbar im Straßenbereich misst statt an unterschiedlichen Bereichen des Stadtgebiets (2) und lediglich tagsüber an Wochentagen misst statt zur Tages- und Nachtzeit an allen Wochentagen (3). Hinzu kommen technische

²⁸ Die BUKEA als Oberste Immissionsschutzbehörde misst und bewertet die Luftqualität in Hamburg nach den gesetzlichen Bestimmungen des Bundes (39. Bundes-Immissionsschutzverordnung, BImSchV), was mobile Messverfahren ausschließt (siehe <https://www.hamburg.de/luftreinhaltung/15444962/luftreinhaltung/> und <https://www.hamburg.de/luftreinhaltung/15441214/luftreinhaltung/>, letzter Aufruf 31.05.2023). Zur Messung der Luftqualität unterhält sie 12 ortsfeste Messstationen. Acht davon sind Hintergrundmessstationen, die über Hamburg verteilt die Werte für PM₁₀, PM_{2,5}, NO, NO₂, SO₂, und teilweise CO kontinuierlich messen. Sie dienen der allgemeinen Luftüberwachung, womit die Luftqualität für größere Gebiete bestimmt wird. Vier straßennahe Stationen messen für den Autoverkehr übliche Schadstoffe in wie NO, NO₂, Benzol, CO und Feinstäube. Damit kann die Luftqualität für einen Straßenabschnitt von wenigen hundert Metern Länge bewertet werden (siehe <https://www.hamburg.de/luftreinhaltung/2716602/luftmessnetz-artikel/>, für eine Kartendarstellung der Messstationen und aktuelle Messwerte siehe <https://luft.hamburg.de/>, letzter Aufruf 31.05.2023).

Unterschiede zu den von der FHH verwendeten Sensoren, deren Kalibrierung sowie die Art der Datenverarbeitung im unmittelbaren Anschluss an die Erhebung. Daher ist laut der Hamburger Stadtverwaltung die Verwendbarkeit der erhobenen Daten zur offiziellen Beurteilung der Luftqualität und als Grundlage für Planungsentscheidungen der FHH erheblich eingeschränkt, was zwischen den am Projekt Beteiligten von Beginn an kommuniziert wurde.²⁹

3.6 Messfehler und datenwissenschaftliche Unsicherheiten

Nicht nur aus verwaltungsrechtlicher Sicht, sondern auch aus wissenschaftlicher Sicht sind mit der Datenerhebung und -verarbeitung im Project Air View Unsicherheiten verbunden, weshalb eine datenwissenschaftliche Interpretation nur eingeschränkt möglich ist. Generell gibt es bei Messdaten drei Kategorien von Fehlern: systematische Fehler (1), zufällige Fehler (2) und umgebungsbedingte Fehler (3). Hinzu kommen im Project Air View angelegte spezifische Unsicherheiten des Messverfahrens (4):

1. Zu den systematischen (oder vorhersehbaren) Fehlern zählen Fehler bei der Kalibrierung zu Beginn oder nach dem Einsatz der Sensoren, Verzerrungsfehler, Empfindlichkeitsfehler und Nichtlinearitätsfehler.
2. Bei den zufälligen (oder unvorhersehbaren) Fehlern kann es sich um Rauschen und Drift handeln. Obwohl solche Präzisionsfehler kaum vermieden werden können und während der Datenerfassung nur schwer zu erkennen sind, ist es dennoch wichtig, sie zu charakterisieren, um atmosphärische Schwankungen und Sensorfehler unterscheiden zu können.
3. Auch umgebungsbedingte Fehler wie Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit können die Leistung der Sensoren beeinflussen.

Laut Aclima charakterisiert und minimiert die Firma für die Punkte 1 bis 3 mittels verschiedener Maßnahmen entsprechende Messfehler (Sensor-Kalibrierung, Sensor-zu-Sensor-Vergleiche).³⁰ Aclima hat mehrere Studien zur Kartierung von Luftverschmutzung (insbesondere zur mobilen Überwachung) durchgeführt [3][4][5][6][7][8][9][10][11]. Ihr Fachwissen umfasst auch andere Arten von Sensoren [12][13][14][15][16] sowie gesundheitsbezogene Studien [17][18][19][20]. Obwohl Aclima über umfangreiches Fachwissen über diese Art von Messungen und Sensoren verfügt und intensiv mit anderen Project Air View Teams zusammengearbeitet hat, haben wir aufgrund der zeitlichen Beschränkungen des Hamburger Projekts keinen Zugriff auf Informationen, die über das hinausgehen, was Aclima in der Metadatenbeschreibung bereitgestellt. Dabei enthält die uns vorliegende Beschreibung nicht alle Informationen, die unserer Meinung nach für eine fundierte datenwissenschaftliche Analyse der Hamburger Project Air View Daten notwendig sind. Insofern wäre es erstrebenswert, die Zusammenarbeit mit Aclima fortzusetzen, um besser verstehen zu können, wie sich die in 1 bis 3 genannten Unsicherheiten auf die Analyse der Daten auswirken können.

²⁹ Seitens der Stadtverwaltung wurde vor allem angemerkt, dass die Anzahl der Messungen für verschiedene Straßenabschnitte stark variiert, wodurch die Vergleichbarkeit der Luftqualität an den verschiedenen Straßenabschnitten erschwert wird (1); die Messungen dort stattfinden, wo die Luft besonders belastet ist (unmittelbarer Straßenbereich), was zu hohen Werten führen kann, etwa wenn das Air View Auto einem anderen Auto folgt, welches besonders viele Schadstoffe ausstößt (2); die exakte Kalibrierung und Qualitätssicherung der von Google verwendeten Sensoren durch den Hersteller Aclima nicht bekannt ist (3).

³⁰ Siehe <https://aclima.docsend.com/view/mtbdhu7hh95q9m6w>, letzter Aufruf 12.06.2023.

4. Die spezifischen Unsicherheiten des Air View Messverfahrens ergeben sich im Wesentlichen aus folgenden unseres Erachtens noch offenen Fragen, die wir aufgrund der kurzen Zeit zur Analyse der Daten nicht im Rahmen des Projektes klären konnten:
- Inwiefern verzerren unterschiedliche Geschwindigkeiten, mit denen das Auto während der Messungen gefahren ist, die gemessenen Werte?
 - Wie zuverlässig ist die GPS-Lokalisierung der Messungen und kann es zu GPS-Signalstörungen kommen, in deren Folge Messwerte falsch verortet werden (zum Beispiel vor und in Tunneln aufgrund schlechten Empfangs in diesen Bereichen)?
 - Inwiefern beeinflussen die unterschiedliche Tageszeiten und Wochentage der Messungen die Messwerte?

3.7 Rückschlüsse für die Befahrungspraxis, Datenerhebung und -bearbeitung

Aus unserer Sicht wären für eine zukünftige Zusammenarbeit im Project Air View folgende Maßnahmen geeignet, um die oben genannten Unsicherheiten und Fehler zu reduzieren und die Datenerhebung für datenwissenschaftliche und stadträumliche Analysen zu optimieren:

- Um bestimmte Ereignisse wie bauliche Maßnahmen mit Blick auf die Luftqualität monitoren zu können, sollte eine systematische Befahrung vor, während und nach den getroffenen Maßnahmen stattfinden, damit Vergleiche angestellt werden können.
- Um weitere Hochemissionsbereiche zu finden und analysieren zu können, sollten bereits während des Befahrungszeitraums vermutete Hochemissionsbereiche identifiziert und speziell für diese Bereiche die Messungen intensiviert werden, sodass ausreichende Datenmengen für eine umfassende Validierung zur Verfügung stehen.
- Der Prozess zur Kalibrierung von Sensoren sowie deren Leistungsanalyse sollten vollständig offengelegt werden.
- Eine vollständige und detaillierte Beschreibung der Methoden zur Datenverarbeitung im laufenden Messbetrieb sowie unmittelbar nach den Messungen wäre notwendig.
- Eine vollständige und detaillierte Liste möglicher Artefakte oder Fehlerquellen mit Einfluss auf die Daten wäre notwendig.
- Messungen sollten an allen Tagen der Woche und zu allen Tages- und Nachtzeiten durchgeführt werden.
- Es sollten bei allen Messpunkten im Project Air View immer alle Luftschadstoffe gemessen werden, die die Sensoren erfassen können.
- Der Zeitraum der Messungen sollte insgesamt mehr als zwei Jahre umfassen.

4. Potenziale für die Stadtplanung

Die Notwendigkeit zur Überwachung und Beurteilung der Luftqualität wird in Zukunft voraussichtlich steigen, weil entsprechende Richtlinien verschärft oder spezielle Maßnahmen zum Schutz von Stadtbewohner:innen vorgeschrieben werden. Derzeit plant die EU eine Verschärfung der gesetzlichen Grenzwerte für NO₂ und Feinstaub bis zum Jahr

2030.³¹ Vor diesem Hintergrund sehen wir trotz der beschriebenen datenwissenschaftlichen Unsicherheiten und verwaltungsrechtlichen Probleme verschiedene Potenziale in Luftqualitätsdaten, die wie in Hamburg im Project Air View erhoben wurden. Wenn es gelingt, die im Project Air View identifizierten Unsicherheiten und Fehler bei der Datenerhebung weiter einzugrenzen, können auf diese Weise erhobene Daten unseres Erachtens Planungsentscheidungen in Zukunft unterstützen und dazu beitragen, die Lebensqualität von Stadtbewohner:innen zu erhöhen. Davon zeugen die in Kapitel 3.3 dargestellten potenziellen Anwendungsfälle in der Stadtentwicklung. Im Folgenden diskutieren wir weiterführende Aspekte des Projekts Air View in Bezug auf die Überwachung und Beurteilung der Luftqualität in Städten und die Anwendung der Daten in der Stadt- und Verkehrsplanung. Zur Hebung der genannten Potenziale ist es unseres Erachtens allerdings notwendig, dass die Validierung und Verwendbarkeit der Project Air View Daten im Kontext der Stadtplanung sichergestellt wird. Hier sehen wir weiteren Forschungs- und Handlungsbedarf (siehe Kapitel 3.5 bis 3.7).

4.1 Umfang der erhobenen Daten

Die im Project Air View erhobenen Daten zeichnen sich durch die zahlreichen Messpunkte und die vielen gemessenen Luftschadstoffe aus, wodurch eine umfangreiche Datengrundlage geschaffen wird, um die Luftqualität einer Stadt bewerten zu können. Diese kann offizielle Messungen aus verwaltungsrechtlichen Gründen nicht ersetzen, aber sie kann eine Ergänzung sein. Für Hamburg wird dies daran deutlich, dass die vier straßennahen Messstationen lediglich für einige Hundert Meter des Straßenbereichs aussagekräftige Daten zur Luftqualität liefern können. Zum weitaus größten Teil des Hamburger Straßennetzes von rund 4.000 km Länge³² liegen keine ortsbezogenen Messdaten zur Luftqualität vor. Zwar ergänzt ein aufwändig erstelltes Immissionsbelastungsmodell die Messdaten zum Straßennetz in Hamburg, es geht allerdings mit Unsicherheiten einher, die sich aus dem Modellierungsverfahren sowie den zugrunde liegenden Vorannahmen ergeben. Solche Modelle ließen sich mit den Project Air View Daten abgleichen und sie könnten anhand der Messdaten präzisiert werden. Außerdem ist das Spektrum der modellierten Stoffe üblicherweise deutlich kleiner als die Messungen beim Project Air View. So bezieht sich das Immissionsbelastungsmodell für Hamburg von 2014 lediglich auf NO₂.³³ Insofern liefert das Project Air View Messverfahren deutlich umfassendere und aktuellere Daten zur Luftqualität im unmittelbaren Straßenbereich als mittels offizieller Messverfahren üblicherweise erstellt werden. Aufgrund der vielen gemessenen Stoffe können diese Daten auch zu einem besseren Verständnis von anderen Verschmutzungsquellen als dem städtischen Straßenverkehr beitragen. Dazu zählen Autobahnen im Umland, Waldbrände in der Region oder Feinstaubemissionen durch Baustellen.

³¹ siehe <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/rapid-reaction/details/news/eu-kommission-schlaegt-neue-grenzwerte-fuer-luftschadstoffe-vor/> (letzter Aufruf 31.05.2023)

³² siehe <https://www.hamburg.de/presse-meldungen/4316078/marode-strassen/> (letzter Aufruf 31.05.2023)

³³ Das Modell wurde vor allem deshalb erstellt, weil in Hamburg an einigen verkehrsreichen Straßenabschnitten der Jahresmittelgrenzwert für NO₂ überschritten wurde [1].

4.2 Mobiles Messverfahren

Viele Studien zur Luftqualität einer Stadt werden über Jahrzehnte hinweg durchgeführt. Die Messung im Project Air View geht im Vergleich relativ schnell und eignet sich unseres Erachtens vor allem für eine kurzfristige Bewertung der Luftqualität in einem bestimmten Teil einer Stadt. Das gilt vor allem für Bereiche, wo eine hohe Luftverschmutzung vermutet wird und infolgedessen ein hoher Handlungsbedarf besteht. Auf Grundlage der erhobenen Daten können geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität schnell und ggf. für begrenzte Zeit getroffen werden, zum Beispiel temporäre Durchfahrverbote für LKW und/oder bestimmte PKW. Aus Sicht der Stadtverwaltung liegt ein weiteres Potenzial im Messverfahren darin, dass mittels der im Project Air View verwendeten Technik – insbesondere der Sensoren – auch kleinere Kommunen Daten zu Luftqualität erheben könnten, etwa indem die Sensoren auf kommunalen Bussen installiert würden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Qualitätssicherung und die Datenverarbeitung durch die Firma Aclima arbeitsintensiv ist und entsprechendes Fachwissen erfordert. Dennoch könnten auch aus unserer Sicht Kommunen auf diese Weise die Luftqualität zumindest im Straßenbereich auf praktikable Weise überwachen und darauf aufbauend beurteilen. Dies könnte vor allem für Kommunen interessant sein, für die die Messung der Luftqualität eine logistische und finanzielle Herausforderung darstellt, weil sie – anders als die FHH – über kein umfassendes Luftmessnetz und die dafür notwendigen finanziellen Mittel verfügen. Aber auch Vertreter:innen der FHH zeigen sich grundsätzlich interessiert an dem Air View Messverfahren, da dies deutlich günstiger sei als die Unterhaltung des Hamburger Luftmessnetzes.

4.3 Optimierung von Prognosemodellen

Im Laufe des Projektes wurde diskutiert, inwiefern mittels des Messverfahrens erhobene Daten zur Verfeinerung und Validierung von Wind- und Ausbreitungsmodellen auf gesamtstädtischer Ebene beitragen könnten. Das Verständnis von Dynamiken der Schadstoffausbreitung in städtischen Umgebungen wird bisher in Laboren (zum Beispiel dem Wind Tunnel Laboratory der UHH³⁴) sowie mittels Computersimulationen und kleinräumlichen Analysen³⁵ erforscht. Diese Forschungen können anhand der vielen Project Air View Daten um eine raum-zeitliche Analyse für mehrere chemische Stoffe in einem großen Stadtgebiet ergänzt werden. Dadurch könnte es möglich sein, dass die Vorhersagegenauigkeit von Modellen zur Schadstoffverteilung – wie sie unter anderem zur Verkehrsplanung (siehe Kapitel 4.1) oder von der Feuerwehr genutzt werden – optimiert wird. Darauf aufbauend könnten eventuell neue Modelle und Prognoseverfahren entwickelt werden, die es erlauben, verkehrsplanerische und städtebauliche Maßnahmen frühzeitig im Hinblick auf die Schadstoffverteilung in Städten zu bewerten.

³⁴ siehe <https://www.cen.uni-hamburg.de/en/facilities/wind-tunnel.html> (letzter Aufruf 31.05.2023)

³⁵ siehe <https://www.cen.uni-hamburg.de/about-cen/news/2017-09-26-wettermessung-hcu.html> (letzter Aufruf 02.06.2023)

4.4 Daten zur Luftqualität als Entscheidungsgrundlage

Planungsentscheidungen sind immer von einer Vielzahl an Faktoren abhängig, die untereinander abgewogen werden müssen (Standort, Kosten, Genehmigungsrecht, Belange Dritter etc.). Bei vielen Planungsentscheidungen spielt die Luftqualität allerdings keine zentrale Rolle, wie der Austausch mit Praxisakteuren im Projekt gezeigt hat. Obwohl die Relevanz des Themas für die Lebensqualität in Hamburg und eine nachhaltige Stadtentwicklung als hoch eingeschätzt wird, werden Entscheidungen darüber, wo zum Beispiel ein Fahrradweg, eine Schule oder ein Betriebshof für schadstoffarme Elektrobusse gebaut werden, weitgehend unabhängig von der Luftqualität in den betroffenen Bereichen der Stadt gefällt – unter anderem, weil dazu keine geeigneten Daten vorliegen. Die Daten des Projekts Air View können dabei helfen, diese Lücke zumindest teilweise zu schließen, indem hohe Belastungen im Straßenbereich identifiziert und in Bezug zu weiteren Daten der FHH gesetzt werden (Verlauf von Fahrradwegen, Schulstandorten, Buslinien etc.). Auf dieser Grundlage können Standortentscheidungen getroffen und bauliche Maßnahmen geplant werden, die geeignet sind, die Luftqualität zu verbessern und Stadtbewohner:innen vor schlechter Luft zu schützen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Anwendung der Project Air View Daten zur Entscheidungsfindung im Arbeitsalltag von Unternehmens- und Behördenmitarbeiter:innen eine Herausforderung darstellt, weil dort personelle Ressourcen knapp sind und relevante ergänzende Daten mitunter nicht oder nicht in geeigneter Form vorliegen.

4.5 Mobilitätswende

Mobile Luftqualitätsmessungen können aus unserer Sicht wichtige Daten liefern, um Auswirkungen der voranschreitenden Mobilitätswende auf die städtische Umwelt zu prüfen. Zum Beispiel ließen sich durch die systematische Befahrung von Straßen und Stadtteilen bevor und nachdem dort Maßnahmen umgesetzt wurden (neuer Fahrradweg, Verkehrsberuhigung, Ausbau ÖPNV etc.) Aussagen über deren Wirksamkeit zur Verbesserung der Luftqualität in diesen Bereichen treffen. Außerdem ermöglichen die Daten die Überwachung und schrittweise Anpassung solcher Maßnahmen, um ihre Wirksamkeit in Bezug auf die öffentliche Gesundheit sicherzustellen und zu optimieren. Darüber hinaus können Project Air View Daten auf politischer Ebene Argumente für entsprechende Maßnahmen unterstützen, etwa indem sich Politiker:innen mit Verweis auf die Luftqualitätsdaten dafür einsetzen, dass ressourcen- und klimaschonende Verkehrsmittel ausgebaut werden. Seitens der Stadtverwaltung wird allerdings angemerkt, dass sich aus den Daten womöglich auch Gegenargumente ableiten lassen – vor allem dann, wenn die Daten frei verfügbar sind. Wenn zum Beispiel nach baulichen Veränderungen keine signifikant bessere Luftqualität gemessen wird und diese Informationen öffentlich zugänglich sind, könnten beeinträchtigte Verkehrsteilnehmer:innen oder politische Gegner:innen Maßnahmen der Mobilitätswende als wirkungslos darstellen. Daran wird deutlich, wie wichtig es auch für die politische Ebene ist, dass die Validität der Project Air View Daten sichergestellt ist, wenn damit Entscheidungen und die öffentliche Debatte im Sinne der Mobilitätswende unterstützt werden sollen.

Danksagung

Wir danken Kayla Barginda und Steven Benkhardt, die das Project Air View Hamburg seitens des CSL lange Zeit begleitet haben und auf deren Arbeit wir aufbauen durften.

Quellenverzeichnis

- [1] Volker, Matthias, Ramacher, Martin, und Quante, Markus, „Luftqualität in Hamburg“, in *Nachhaltige StadtGesundheit Hamburg*, R. Fehr und A. Trojan, Hrsg., oekom verlag, 2018. doi: 10.14512/9783962384845.
- [2] „Luftreinhalteplan für Hamburg (2. Fortschreibung)“, Behörde für Umwelt und Energie, Hamburg, Juni 2017. Zugegriffen: 22. April 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.hamburg.de/contentblob/9024022/7dde37bb04244521442fab91910fa39c/data/d-lrp-2017.pdf>
- [3] J. S. Apte *u. a.*, „High-Resolution Air Pollution Mapping with Google Street View Cars: Exploiting Big Data“, *Environ. Sci. Technol.*, Bd. 51, Nr. 12, S. 6999–7008, Juni 2017, doi: 10.1021/acs.est.7b00891.
- [4] K. P. Messier *u. a.*, „Mapping Air Pollution with Google Street View Cars: Efficient Approaches with Mobile Monitoring and Land Use Regression“, *Environ. Sci. Technol.*, Bd. 52, Nr. 21, S. 12563–12572, Nov. 2018, doi: 10.1021/acs.est.8b03395.
- [5] A. R. Whitehill, M. Lunden, S. Kaushik, und P. Solomon, „Uncertainty in collocated mobile measurements of air quality“, *Atmospheric Environ. X*, Bd. 7, S. 100080, Okt. 2020, doi: 10.1016/j.aeoa.2020.100080.
- [6] P. A. Solomon, D. Vallano, M. Lunden, B. LaFranchi, C. L. Blanchard, und S. L. Shaw, „Mobile-platform measurement of air pollutant concentrations in California: performance assessment, statistical methods for evaluating spatial variations, and spatial representativeness“, *Atmospheric Meas. Tech.*, Bd. 13, Nr. 6, S. 3277–3301, Juni 2020, doi: 10.5194/amt-13-3277-2020.
- [7] S. E. Chambliss *u. a.*, „Comparison of Mobile and Fixed-Site Black Carbon Measurements for High-Resolution Urban Pollution Mapping“, *Environ. Sci. Technol.*, Bd. 54, Nr. 13, S. 7848–7857, Juli 2020, doi: 10.1021/acs.est.0c01409.
- [8] S. E. Chambliss *u. a.*, „Local- and regional-scale racial and ethnic disparities in air pollution determined by long-term mobile monitoring“, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Bd. 118, Nr. 37, S. e2109249118, Sep. 2021, doi: 10.1073/pnas.2109249118.
- [9] S. Gani, S. E. Chambliss, K. P. Messier, M. M. Lunden, und J. S. Apte, „Spatiotemporal profiles of ultrafine particles differ from other traffic-related air pollutants: lessons from long-term measurements at fixed sites and mobile monitoring“, *Environ. Sci. Atmospheres*, Bd. 1, Nr. 7, S. 558–568, 2021, doi: 10.1039/D1EA00058F.

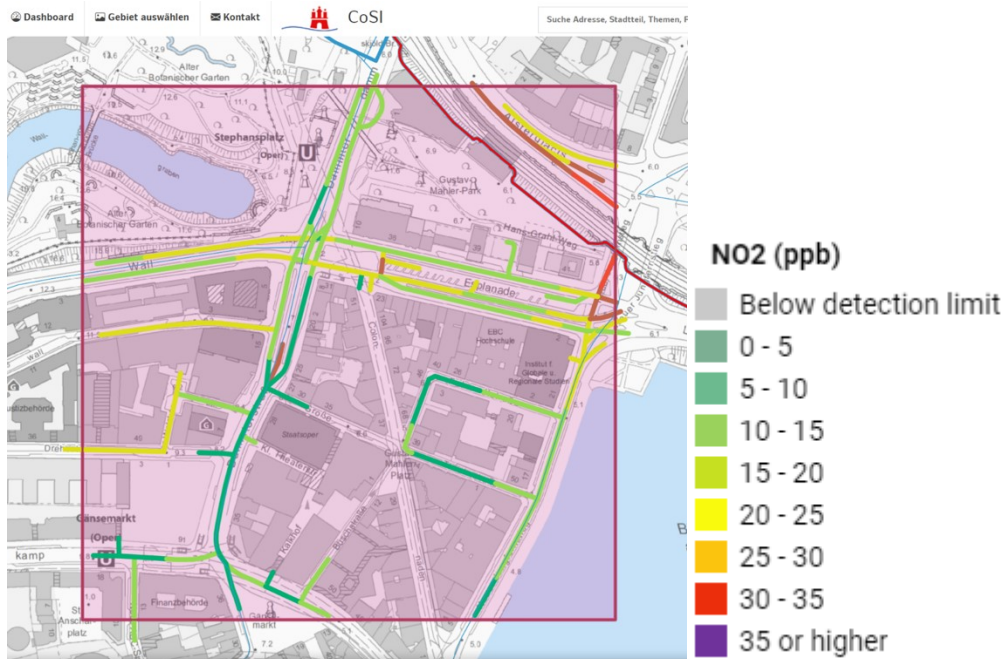
- [10] S. E. Alexeeff *u. a.*, „High-resolution mapping of traffic related air pollution with Google street view cars and incidence of cardiovascular events within neighborhoods in Oakland, CA“, *Environ. Health*, Bd. 17, Nr. 1, S. 38, Dez. 2018, doi: 10.1186/s12940-018-0382-1.
- [11] Y. Guan *u. a.*, „Fine-Scale Spatiotemporal Air Pollution Analysis Using Mobile Monitors on Google Street View Vehicles“, *J. Am. Stat. Assoc.*, Bd. 115, Nr. 531, S. 1111–1124, Juli 2020, doi: 10.1080/01621459.2019.1665526.
- [12] A. Ku, D. M. Kammen, und S. Castellanos, „A quantitative, equitable framework for urban transportation electrification: Oakland, California as a mobility model of climate justice“, *Sustain. Cities Soc.*, Bd. 74, S. 103179, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.scs.2021.103179.
- [13] C. M. Lindberg *u. a.*, „Effects of office workstation type on physical activity and stress“, *Occup. Environ. Med.*, Bd. 75, Nr. 10, S. 689–695, Okt. 2018, doi: 10.1136/oemed-2018-105077.
- [14] J. P. Temprano, P. Eichholtz, M. Willeboordse, und N. Kok, „Indoor environmental quality and learning outcomes: protocol on large-- scale sensor deployment in schools“, *Open Access*.
- [15] M. Tang und D. Niemeier, „How Does Air Pollution Influence Housing Prices in the Bay Area?“, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Bd. 18, Nr. 22, S. 12195, Nov. 2021, doi: 10.3390/ijerph182212195.
- [16] A. Ghahramani *u. a.*, „Personal CO2 bubble: Context-dependent variations and wearable sensors usability“, *J. Build. Eng.*, Bd. 22, S. 295–304, März 2019, doi: 10.1016/j.jobe.2018.11.015.
- [17] V. A. Southerland *u. a.*, „Assessing the Distribution of Air Pollution Health Risks within Cities: A Neighborhood-Scale Analysis Leveraging High-Resolution Data Sets in the Bay Area, California“, *Environ. Health Perspect.*, Bd. 129, Nr. 3, S. 037006, März 2021, doi: 10.1289/EHP7679.
- [18] J. Pantelic *u. a.*, „Personal CO2 cloud: laboratory measurements of metabolic CO2 inhalation zone concentration and dispersion in a typical office desk setting“, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.*, Bd. 30, Nr. 2, S. 328–337, März 2020, doi: 10.1038/s41370-019-0179-5.
- [19] J. Razjouyan *u. a.*, „Wellbuilt for wellbeing: Controlling relative humidity in the workplace matters for our health“, *Indoor Air*, Bd. 30, Nr. 1, S. 167–179, Jan. 2020, doi: 10.1111/ina.12618.
- [20] C. A. Riddell *u. a.*, „Hyper-localized measures of air pollution and risk of preterm birth in Oakland and San Jose, California“, *Int. J. Epidemiol.*, Bd. 50, Nr. 6, S. 1875–1885, Jan. 2022, doi: 10.1093/ije/dyab097.

Abbildungsverzeichnis

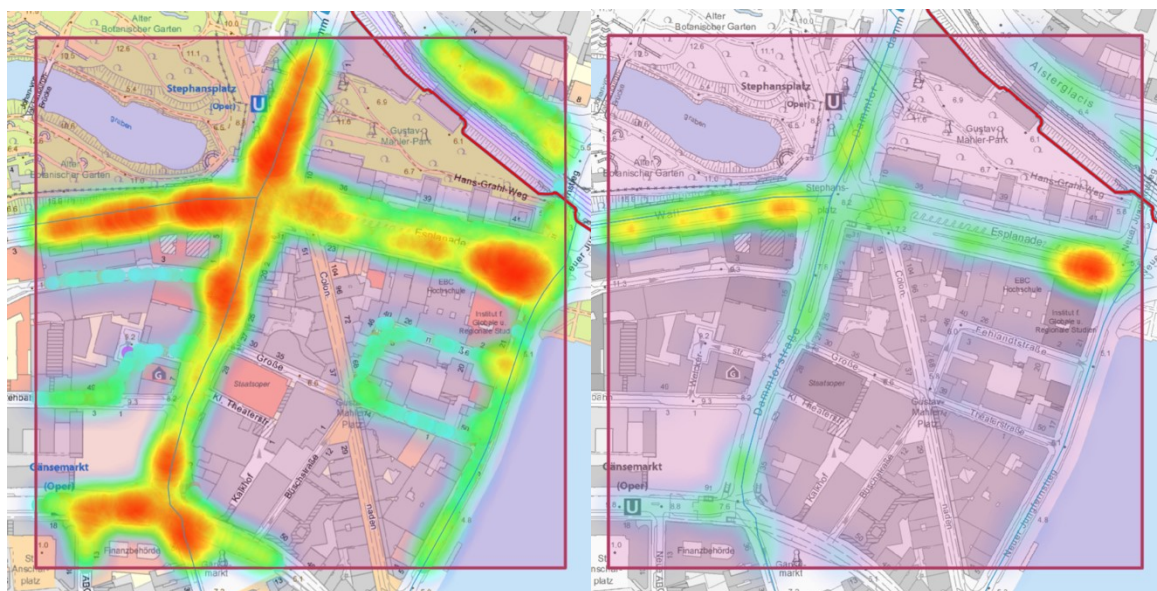
1: Project Air View Elektroauto in Hamburg mit Sensoren der Firma Aclima zur Messung von Luftschadstoffen und einer Kamera, um Bildmaterial für Google Maps zu erstellen.	S. 3
2: Anzahl der Befahrungen je Straßenabschnitt.	S. 6
3: Raster zur Identifizierung von Hochemissionsbereichen in Hamburg.	S. 8
4: Vermutete Hochemissionsbereiche und statistisch verifizierte Hochemissionsbereiche.	S. 9
5: Heatmap der Messwerte Hochemissionsbereich 1 für alle Stoffklassen außer NO, gewichtet.	S. 10
6: Heatmap der Messwerte Hochemissionsbereich 2 für alle Stoffklassen außer NO, gewichtet.	S. 10
7: Karte der aggregierten Project Air View Daten für NO ₂ und mindestens zehn Befahrungen.	S. 17
8: Karte der aggregierten Project Air View Daten für PM _{2,5} und mindestens zehn Befahrungen.	S. 18

Anhang: Screenshots stadträumliche Betrachtung mittels CoSI

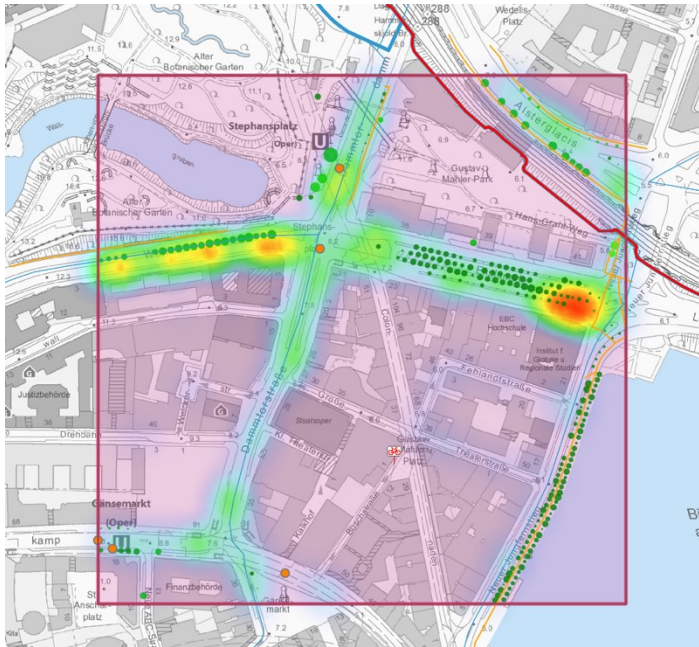
A) Hochemissionsbereich 1: Dammtor/Gänsemarkt



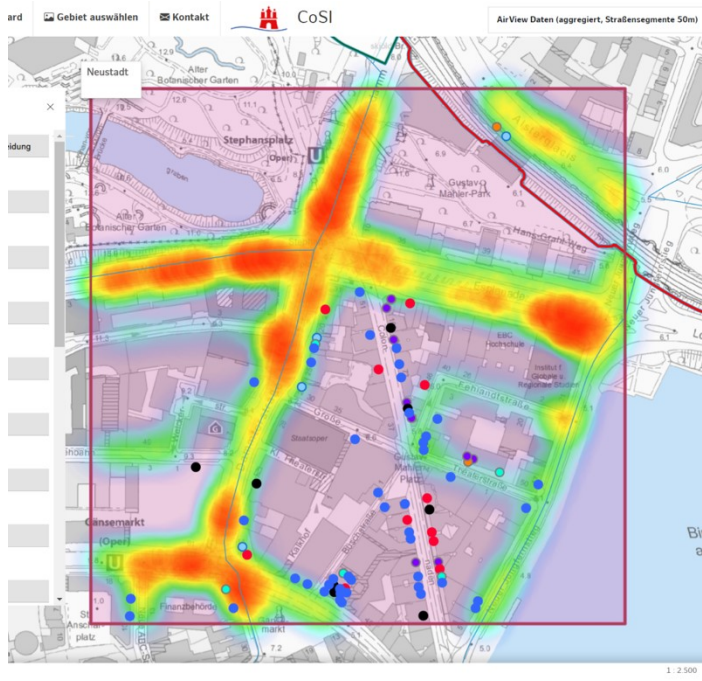
Aggregierte mittlere NO2 Messwerte (4h, Median).



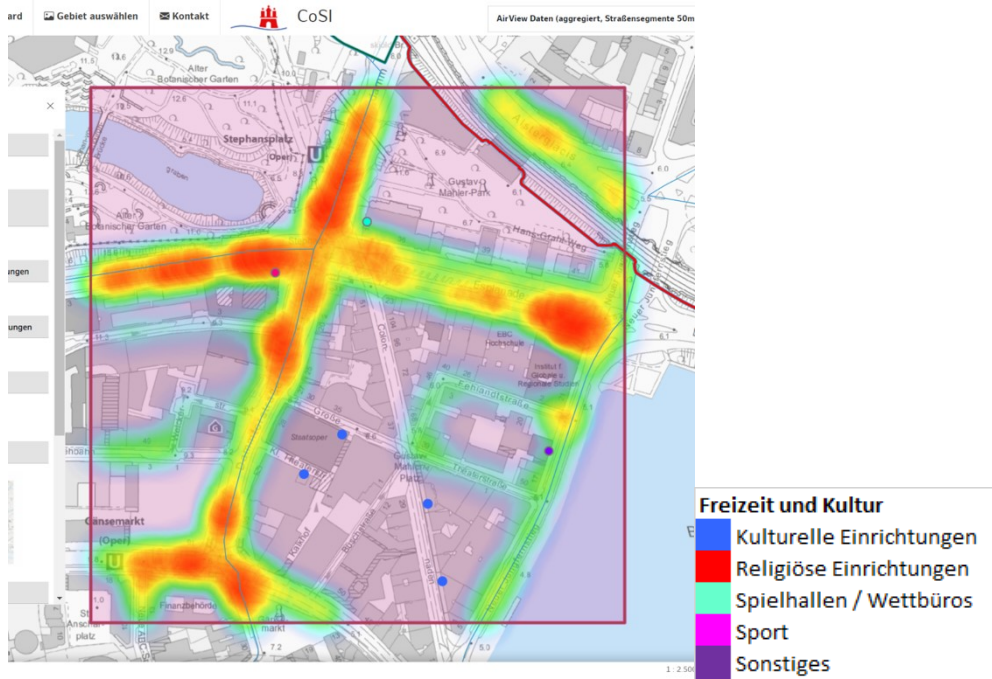
Heatmap aller Messpunkte (ohne NO), gewichtet (links), nur Ausreißer, gewichtet, >3σ (rechts).



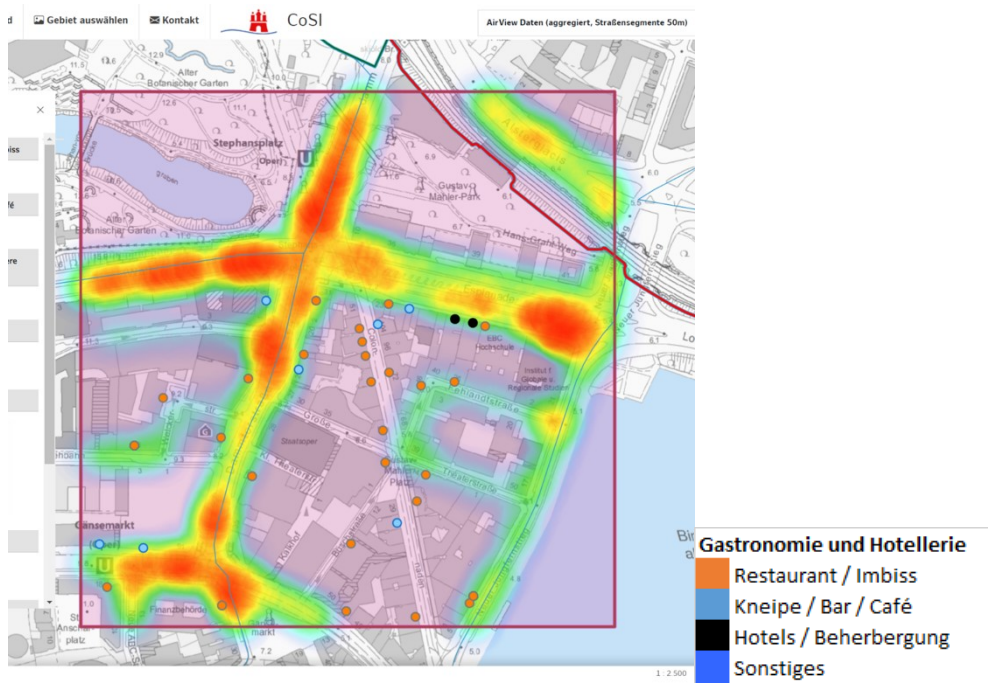
Straßenbäume und Verkehrsinfrastruktur, Heatmap nur Ausreißer.



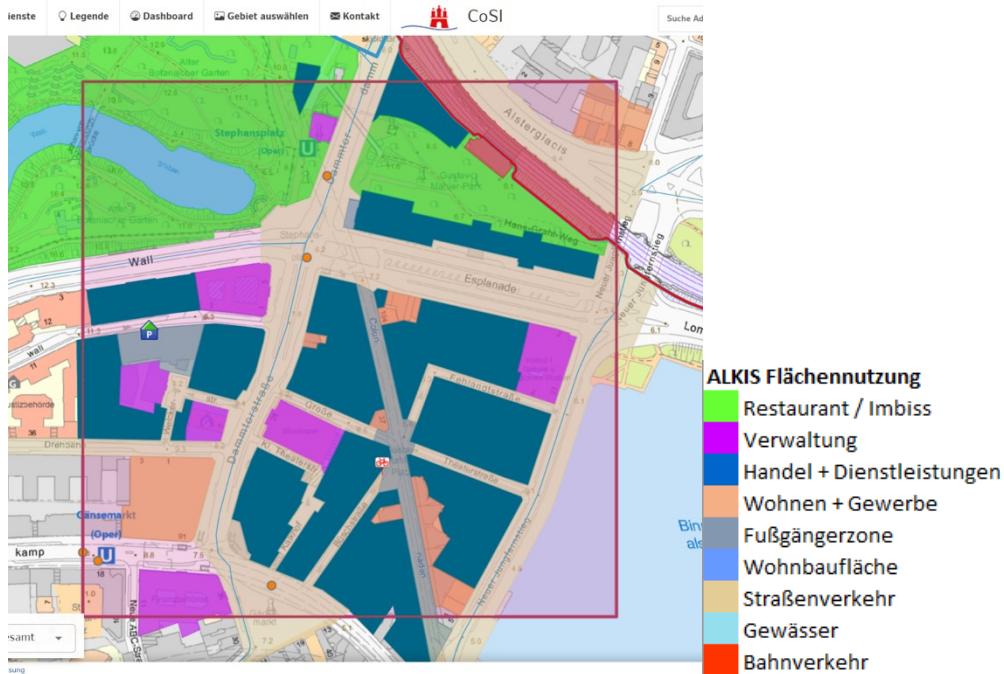
Standorte Einzelhandel.



Standorte Freizeit- und Kultureinrichtungen.

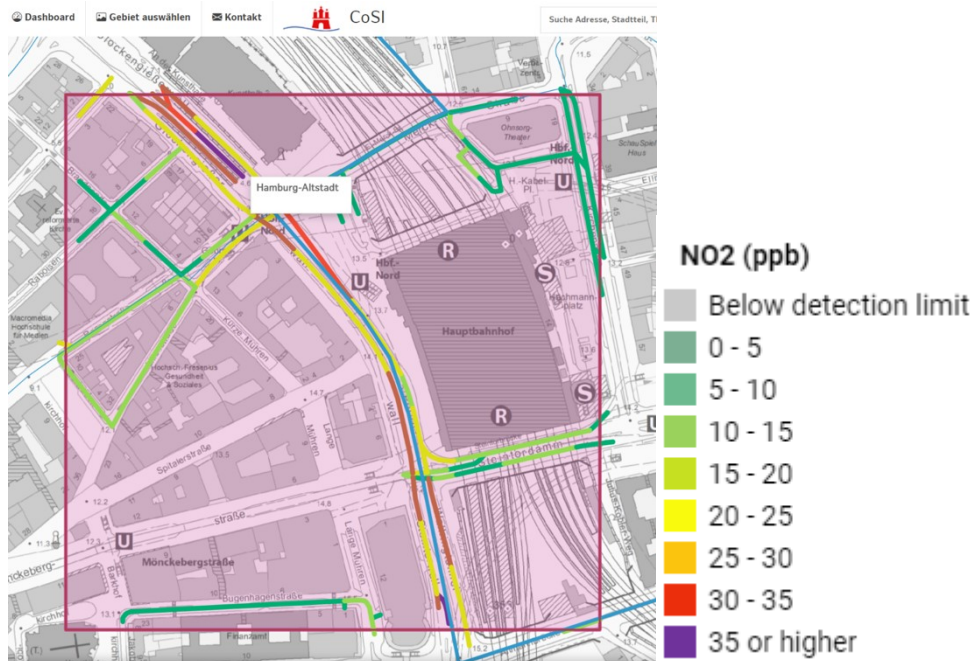


Standorte Gastronomie und Hotellerie.

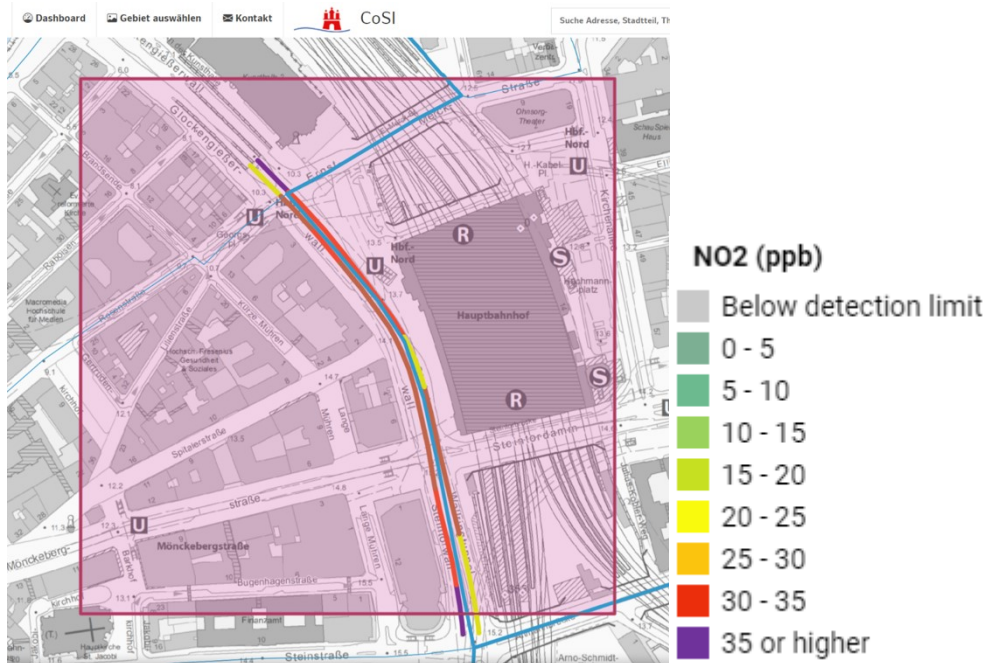


Tatsächliche Flächennutzung nach ALKIS (amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem).

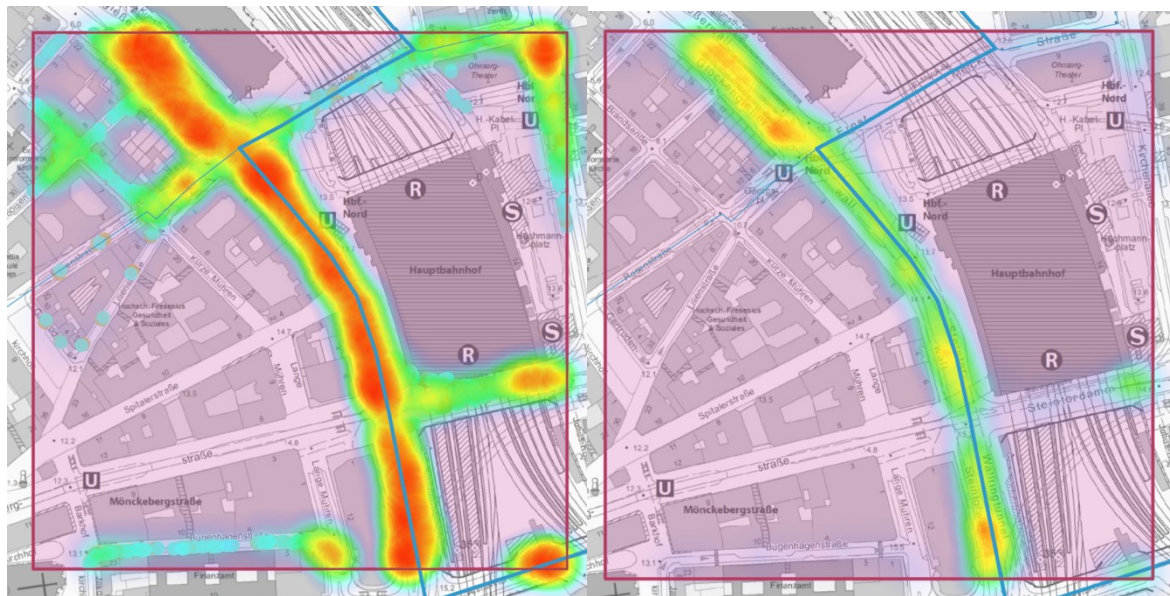
B) Hochemissionsbereich 2: Hauptbahnhof/Wallringtunnel



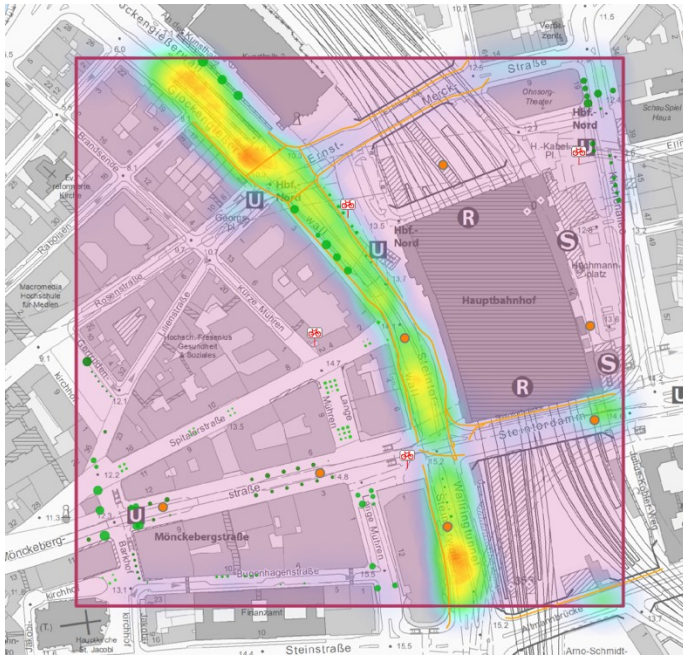
Aggregierte mittlere NO2 Messwerte (4h, Median), exkl. Tunnel.



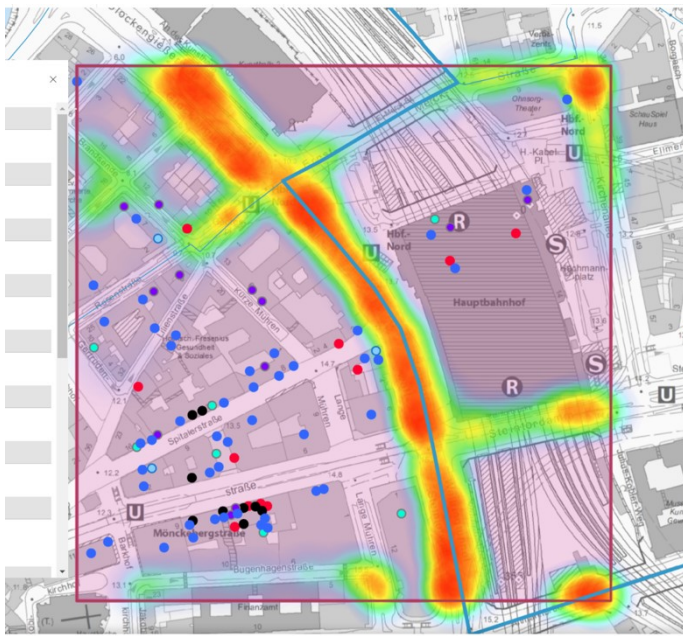
Aggregierte mittlere NO2 Messwerte (4h, Median), nur Wallringtunnel.



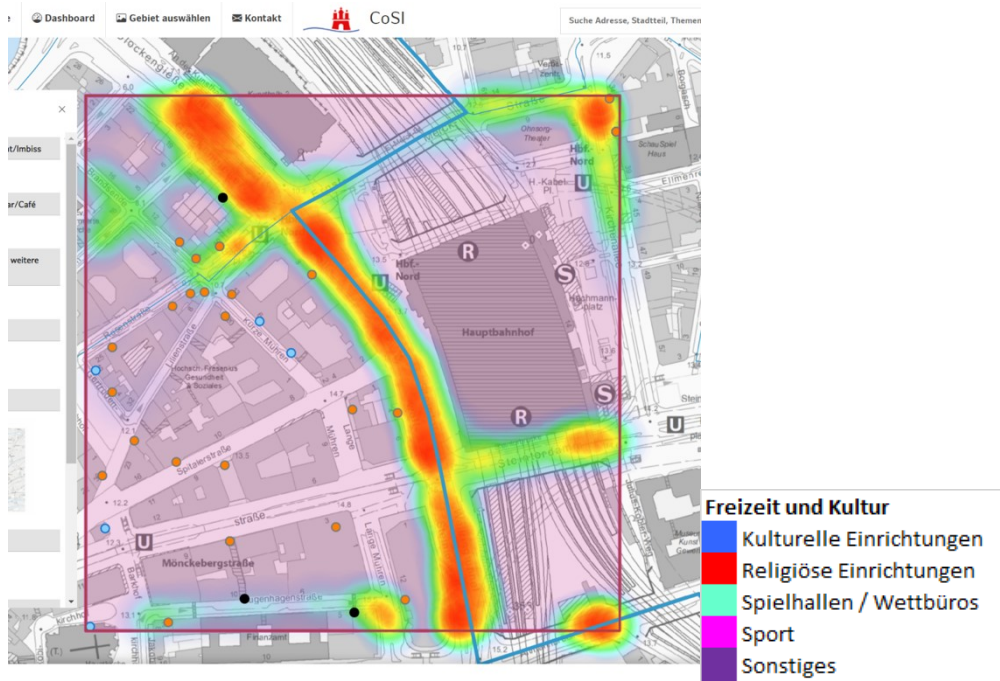
Heatmap aller Messpunkte (ohne NO, inkl. Tunnel), gewichtet (links), nur Ausreißer, gewichtet, $>3\sigma$ (rechts).



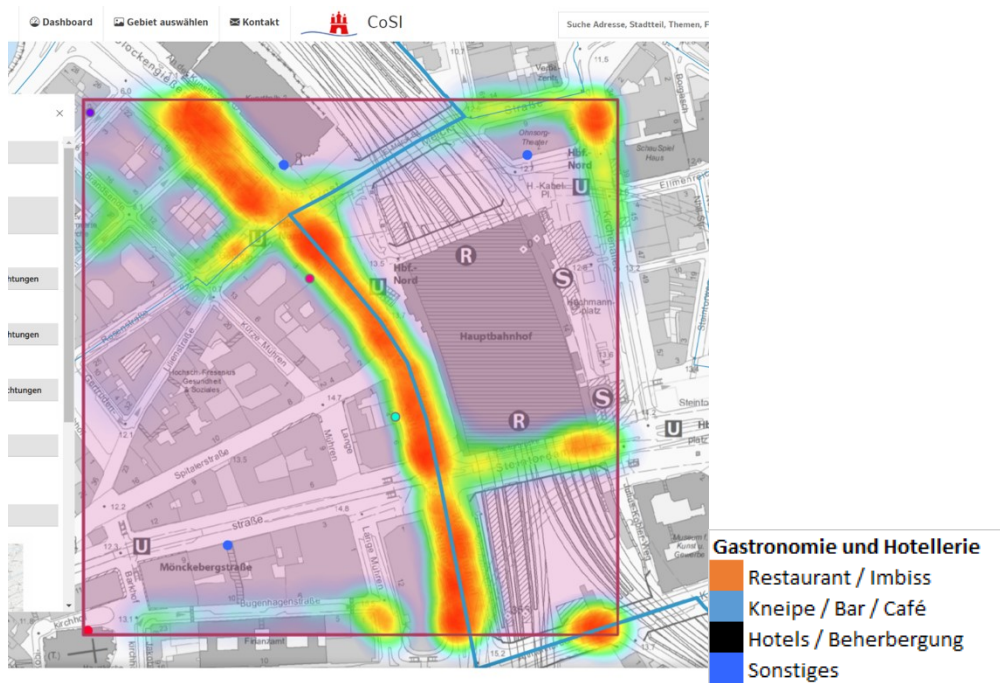
Straßenbäume und Verkehrsinfrastruktur, Heatmap nur Ausreißer.



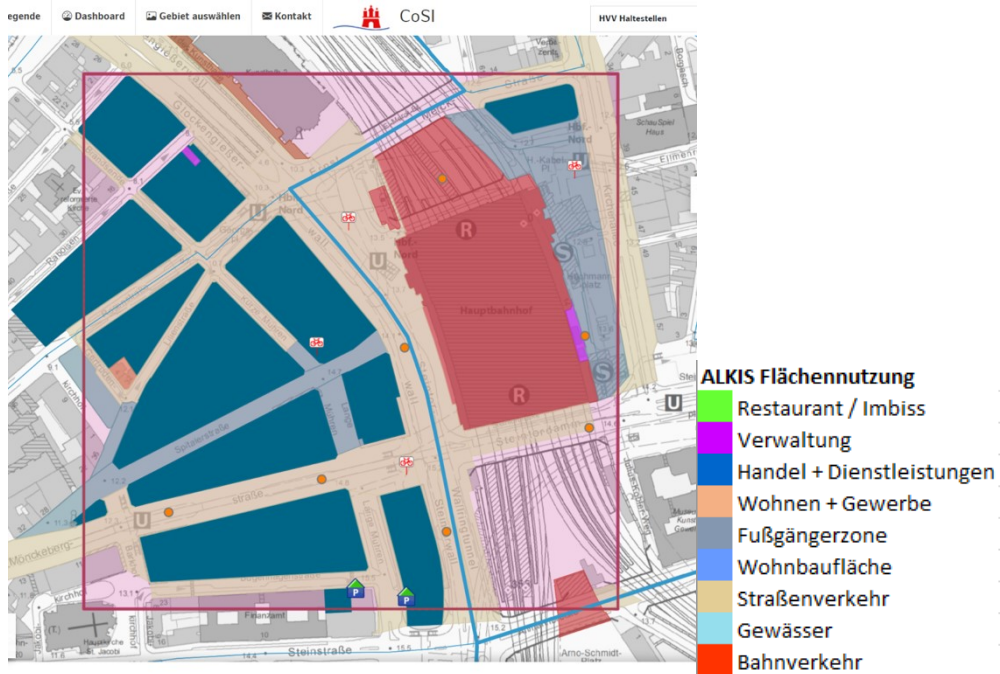
Standorte Einzelhandel.



Standorte Freizeit- und Kultureinrichtungen.



Standorte Gastronomie und Hotellerie.



Tatsächliche Flächennutzung nach ALKIS (amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem).