

# Luftqualität und Verkehr in der Kreuzbergstraße und Monumentenstraße

Zwischenbericht im Rahmen des eUVM-Projekts

---

Autorenteam

Seán Schmitz  
Lorena Vega García  
Beyza Kesen  
Erika von Schneidemesser

# Zusammenfassung

Der Bericht analysiert die Luftqualität und den Verkehr in der Kreuzbergstraße und der Monumentenstraße in Berlin im Rahmen des eUVM-Projekts. Ziel des Projekts ist es, die Wirkung eines umweltsensitiven Verkehrsmanagementsystems, einschließlich der Einführung von "Grünen Wellen" und Lichtsignalanlagen (LSA) für Radfahrende, zu bewerten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Luftqualität in der Kreuzbergstraße schlechter ist als in der Monumentenstraße, insbesondere bei Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>). Dies ist wahrscheinlich auf das höhere Verkehrsaufkommen und die Nähe zu Emissionsquellen zurückzuführen. In der Monumentenstraße wurden morgendliche Spitzenwerte von NO<sub>x</sub> festgestellt, die vermutlich durch Lkw-Aktivitäten einer nahegelegenen BSR-Anlage verursacht werden. Die Feinstaubwerte (PM<sub>2,5</sub>) sind an beiden Standorten vergleichbar und entsprechen weitgehend den städtischen Hintergrundbelastung – lokale Emissionen haben nur einen geringen Einfluss.

Die Verkehrszählungen zeigen, dass die Kreuzbergstraße ein höheres Verkehrsaufkommen aufweist, insbesondere bei Fahrrädern und Pkw während der Hauptverkehrszeiten. Der Fahrradverkehr übersteigt hier werktags oft die Zahl der Pkw, selbst in den Wintermonaten. Die Telraam-Kameras lieferten zuverlässige Daten zu motorisierten Fahrzeugen und Fahrrädern, jedoch zeigten sich Schwächen bei der Zählung von Fußgänger:innen und schweren Fahrzeugen.

Es wird empfohlen, die Auswirkungen der BSR-Emissionen genauer zu untersuchen und den Einfluss von GLOSA-Systemen auf den Verkehrsfluss und das Verhalten von Radfahrenden weiter zu analysieren. Diese Erkenntnisse sollen helfen, die städtische Mobilität und die Luftqualität langfristig zu verbessern.

## Unterstützt von:

Die hier dargestellte Forschung ist Bestandteil des Rahmenvertrags "Evaluation der durchgeführten Maßnahmen im Rahmen des eUVM-Projektes sowie Vorschläge zur zeitnahen Nachsteuerung der verkehrlichen Maßnahmen", finanziert von der Senatsverwaltung für Mobilität, Verkehr, Klimaschutz und Umwelt in Berlin (SenMVKU). Dieser ist wiederum Teil der Forschungsinitiative "eUVM: Aufbau und Betrieb eines erweiterten umweltsensitiven Verkehrsmanagementsystems in Berlin" (Laufzeit: 01.01.2020 bis 31.09.2025), gefördert durch das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV).

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Methoden</b>	<b>7</b>
2.1	Messstandorte	7
2.2	Geräte	7
2.2.1	EarthSense Zephyrs	7
2.2.2	Telraam S2-Kamera	9
2.2.3	Datenverfügbarkeit und Leistung	9
2.3	Analytische Herangehensweise	10
2.3.1	Analyse der Luftqualität, Meteorologie und Verkehrsdaten	10
2.3.2	Vergleich zwischen manuellen und Telraam-Zählungen	10
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>11</b>
3.1	Meteorologische Bedingungen	11
3.2	Luftqualitätsmessungen	12
3.3	Verkehrszählungen	16
3.3.1	Vergleich zwischen manuellen und Telraam-Zählungen	19
<b>4</b>	<b>Fazit</b>	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>21</b>

## Abbildungen

Abbildung 1: Karte des messstandorts monumentenstraße / kreuzbergstraße Zephyrs sind durch blaue quadrate, telraams durch lila quadrate gekennzeichnet.	8
Abbildung 2: Vorherrschende stündliche Windrichtung und Windgeschwindigkeit an der DWD-Wetterstation Tempelhof nach Monaten geordnet.	11
Abbildung 3: Tägliche Durchschnittskonzentrationen (dünne durchgezogene Linien) und geglättete Anpassungen (dicke durchgezogene Linien) für NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> und PM <sub>2,5</sub> an jedem Standort. Die Schattierung um die geglättete Anpassung stellt das 95%-Konfidenzintervall dar.	13
Abbildung 4: Durchschnittliche stündliche NO-, NO <sub>2</sub> -, O <sub>3</sub> - und PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen nach Wochentagen und Wochenenden, geordnet nach Messorten.	14
Abbildung 5: Durchschnittliche stündliche NO-, NO <sub>2</sub> -, O <sub>3</sub> - und PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen an Wochentagen und Wochenenden, normiert auf durchschnittliche städtische Hintergrundkonzentrationen, geordnet nach Messorten.	14
Abbildung 6: Boxplots der durchschnittlichen stündlichen NO-, NO <sub>2</sub> -, O <sub>3</sub> - und PM <sub>2,5</sub> -Konzentrationen, normiert auf die durchschnittlichen städtischen Hintergrundkonzentrationen und geordnet nach Messort.	15
Abbildung 7: Mittlere stündliche Schadstoffkonzentrationen (NO-, NO <sub>2</sub> -, O <sub>3</sub> - und PM <sub>2,5</sub> ), dargestellt als Windrosen, sortiert nach Konzentrationsbereich und Richtung unter Verwendung der Winddaten des DWD Tempelhof.	16
Abbildung 8: Durchschnittliche stündliche Verkehrszählungen für Fahrräder, Pkw, Lkw/Busse und alle Nachtfahrzeuge an KSW und MW an Wochentagen und Wochenenden und für jeden Monat. Die durchgezogenen Linien stellen den Verkehr in eine Richtung dar (von links nach rechts: MW - nach Westen, KSW - nach Osten), die gestrichelten Linien den Verkehr in die Gegenrichtung (von rechts nach links: MW - nach Osten, KSW - nach Westen). Zählungen von Fahrzeugen in der Nacht (ab Anfang der Dunkelheit) waren im September für die Telraam bei KSW nicht verfügbar.	17
Abbildung 9: Durchschnittliche tägliche Gesamtzahlen von Pkw, Lkw/Busen und Fahrrädern sowie alle Fahrzeuge (Nachts) während der gesamten Kampagne (September-December) für Montag-Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonntag. Die Balken stellen eine Standardabweichung über und unter dem durchschnittlichen Tageswert dar.	18

# Tabellen

Tabelle 1: Die drei Messstandorte an den Messstellen Kreuzbergstraße und Monumentenstraße mit ihren Adressen, Kurzbezeichnungen und den dort installierten Geräten.	7
Tabelle 2: Standorte und Zeiträume der Co-Locations zur Kalibrierung der Zephyrs.	8
Tabelle 3: Verfügbarkeitszeiträume für Daten jeder Kamera.	9
Tabelle 4: Monatliche Durchschnittswerte der meteorologischen Bedingungen während der Kampagne. Die Daten stammen von der DWD-Wetterstation am Tempelhofer Feld.	11
Tabelle 5: Monatliche Durchschnittswerte der Luftschadstoffkonzentrationen für jeden Standort an der Monumentenstraße/Kreuzbergstraße-Messstelle. Unsicherheitsbereiche sind für alle Messungen angegeben. Außerdem werden die Werte nach der Normierung auf die durchschnittlichen städtischen Hintergrundkonzentrationen der einzelnen Schadstoffe angegeben. Alle Konzentrationen sind in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben.	12
Tabelle 6: Durchschnittliche tägliche Gesamtzählungen für Fahrräder, Pkw, Lkw/Busse und Nachtfahrzeuge in KSW und MW, geordnet nach Wochentagen (Montag-Donnerstag, Freitag, Samstag und Sonntag). Die nächtlichen Verkehrszahlen sind von der Dunkelheit bestimmt.	18
Tabelle 7: Vergleich des mittleren prozentualen Fehlers (MPE) zwischen manuellen und Telraam-Zählungen für Fußgänger:innen, Zweiräder (Fahrräder und Motorräder), Autos und schwere Fahrzeuge während ausgewählter Zeiträume am 27.09.2024 und 22.10.2024. Die Tabelle enthält Fehlergrenzenwerte für einzelne Zeitintervalle und Gesamtwerte, die die Genauigkeit und die Abweichungen der automatischen Zählungen im Vergleich zu den manuellen Beobachtungen hervorheben. Positive Fehlergrenzenwerte weisen auf eine Überschätzung durch Telraam hin, während negative Werte eine Unterschätzung anzeigen.	19

# 1 Einführung

Berlin erweitert seine städtische Radverkehrsinfrastruktur, um eine nachhaltige und effiziente Mobilität zu fördern. Eine der Initiativen in diesem Rahmen ist die Einführung der "Grünen Welle" an Lichtsignalanlagen (LSA), die speziell für Radfahrende konzipiert wurden. Die Lichtsignalanlagen werden so aufeinander abgestimmt, dass Radfahrende die Kreuzungen möglichst ohne Unterbrechungen oder mit nur wenigen Stopps passieren können. Für Radfahrende bedeutet dies, dass sie mit konstanter Geschwindigkeit fahren können und häufiger grüne Ampeln erreichen.

Dies soll durch einen GLOSA-Service (Green Light Optimal Speed Advisory) unterstützt werden, der auf Echtzeit-Geschwindigkeitsempfehlungen beruht. Die Geschwindigkeitsempfehlungen werden auf der Grundlage von Daten der aktuellen und geplanten LSA-Signale berechnet, welche fortschrittliche LSA mittels der sog. V2X-Kommunikation aussenden können.

Klassische Grüne Wellen für den Autoverkehr wurden in vielen Studien untersucht. Eine Studie hat z.B. gezeigt, dass Grüne Wellen je nach Verkehrsfluss und Signalzeitpunkt Luftschadstoffemissionen um zehn bis 40 Prozent senken können (De Coensel et al., 2012). Neuere Forschungsarbeiten haben sich auf die Entwicklung von GLOSA-Systemen speziell für Radfahrende konzentriert. Beispielsweise zeigten die Ergebnisse einer Studie von Brand et al. (2024) in Münster, dass sich die Zahl der an roten Ampeln haltenden Radfahrenden um 6,6 Prozent reduzierte. In einer Studie von K. Ben Fredj et al. (2023) wurde ein personalisiertes und datenschutzfreundliches Intelligent Speed Adaptation System (ISA-System) für E-Bikes vorgestellt, das Radfahrenden hilft, ihre Geschwindigkeit anzupassen, um grüne Ampeln zu erreichen. Es stellte sich heraus, dass ISA die Wahrscheinlichkeit des Überquerens von Ampeln im Vergleich zu einer fehlenden Geschwindigkeitsanpassung um etwa 77 Prozent erhöht. Es besteht also ein hohes Potenzial, das Radfahren in städtischen Umgebungen mit Hilfe solcher Systeme erheblich zu verbessern. Eine weitere Studie von De Angelis et al. (2019) untersuchte die Benutzerakzeptanz von unterschiedlichen Methoden der Grünen Welle für Radfahrende und bewertete sechs verschiedene Schnittstellen-Designs. Die Ergebnisse zeigen eine Präferenz für drei Systeme: numerischer Countdown, LED-Linie und LED-Fahrbahnoberfläche. Gleichsam wird deutlich, wie wichtig es ist, die Präferenzen der Nutzer:innen bei der Einführung solcher Systeme zu berücksichtigen.

Im Rahmen des Berliner eUVM-Projekts werden auf der Kreuzbergstraße und der Monumentenstraße zwischen dem Mehringdamm und dem Kleistpark an den jeweils ersten Kreuzungen Anzeigen für einen GLOSA-Service installiert, um Radfahrenden den Zugang zur Grünen Welle zu erleichtern. Für das Projekt wurde für diese Anzeigen der Begriff VeloFlow-Anzeigen eingeführt. Die Evaluation des Projekts umfasst vier Hauptkomponenten: (1) Verkehrszählungen mit Kameras zur Messung der Auswirkungen der Grünen Welle, (2) Umfragen zur Wahrnehmung der Grünen Welle und der VeloFlow-Anzeigen, (3) Luftqualitätsmessungen vor und nach der Umsetzung sowie (4) Testfahrten zur Erfassung von Reisezeitveränderungen.

Die gesammelten Daten werden analysiert, um die Gesamtauswirkungen des Projekts auf Verkehrsfluss, Zufriedenheit der Radfahrenden und Umweltqualität zu bewerten. Als dieser Bericht entstand, wurden bereits Verkehrszählungen und Luftqualitätsmessungen als Teil der Vorhererfassung durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Projekts werden zur wachsenden Zahl von Forschungsarbeiten über radfahrerspezifische Verkehrsmanagementsysteme und deren Potenzial zur Verbesserung der städtischen Mobilität beitragen.

## 2 Methoden

Um die aktuelle Luftqualität und den Verkehr an zwei Standorten entlang der Kreuzbergstraße und der Monumentenstraße zu bewerten, wurden drei Luftqualitätssensoren und zwei Verkehrskameras installiert. Bei den Luftqualitätssensoren handelt es sich um EarthSense Zephyrs, die zur Messung der Luftqualität installiert wurden. Zwei von ihnen wurden am 20. September 2024 an der Messstelle Kreuzbergstraße und einer an der Monumentenstraße installiert. Darüber hinaus wurden zwei Telraam-Kameras<sup>1</sup> installiert. Die Telraam-Kamera an der Kreuzbergstraße wurde am selben Tag wie die Zephyrs installiert, während sich die Installation der Kamera an der Monumentenstraße aufgrund technischer Probleme bis zum 07. November 2024 verzögerte. Seit ihrer Installation waren beide Kameras ununterbrochen in Betrieb.

### 2.1 Messstandorte

Tabelle 1 bietet eine Übersicht der drei ausgewählten Standorte, einschließlich der Straßenadressen, der installierten Geräte und der im Bericht verwendeten Kurzbezeichnungen (Kürzel). An jedem Standort wurden Metallpfosten in der Nähe von Laternenmasten installiert, von denen der Strom für die Geräte bezogen wurde.

TABELLE 1: DIE DREI MESSSTANDORTE AN DEN MESSSTELLEN KREUZBERGSTRASSE UND MONUMENTENSTRASSE MIT IHREN ADRESSEN, KURZBEZEICHNUNGEN UND DEN DORT INSTALLIERTEN GERÄTEN

Adresse	Kürzel	Zephyr	Telraam-Kamera
Kreuzbergstraße 22	KNO	z557	NA
Kreuzbergstraße 11	KSW	z925	Telraam 01
Monumentenstraße 32	MW	z285	Telraam 02

Abbildung 1 zeigt eine Karte der Messstellen Kreuzbergstraße und Monumentenstraße mit Symbolen für die Zephyrs (blaues Quadrat) und die Telraam-Kameras (lila Quadrat) an jedem Standort. Diese drei Standorte wurden strategisch ausgewählt, um die Luftqualität und den Verkehr in dem Abschnitt zu messen, in dem die grüne Welle und die LSA eingeführt werden sollten. Die Messstellen waren weit genug von der Kreuzung entfernt, um den Verkehrsfluss von Fahrzeugen und Fahrrädern zu erfassen.

### 2.2 Geräte

#### 2.2.1 EarthSense Zephyrs

In dieser Studie wurden EarthSense Zephyrs zur Messung verschiedener Luftschadstoffe eingesetzt, darunter Stickstoffoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Ozon (O<sub>3</sub>) und Feinstaub (PM<sub>2,5</sub>). Diese Geräte verwenden elektrochemische Sensoren von Alphasense zur Messung der gasförmigen Schadstoffe und Plantower Optical Particle Counters (OPCs) zur Messung von Feinstaub. Damit die Gerätegröße klein und die Kosten niedrig bleiben, verwenden diese Sensoren stets Messprinzipien, die mit einer höheren Unsicherheit behaftet sind als Standard-Referenzinstrumente. Sie können daher nicht für die langfristige Messung der Luftqualität verwendet werden. Durch sie sind jedoch Messungen an verschiedenen Orten möglich, die für sie sichereren Referenzinstrumenten nicht in Frage kommen. Die Genauigkeit der Werte reichen immerhin aus, insbesondere bei stündlicher Auflösung, um ein gutes Verständnis der Luftverschmutzung an einem bestimmten Ort zu erhalten.

<sup>1</sup> Die Telraam-Daten sind öffentlich zugänglich unter: <https://telraam.net/#14/52.4935/13.3880>.

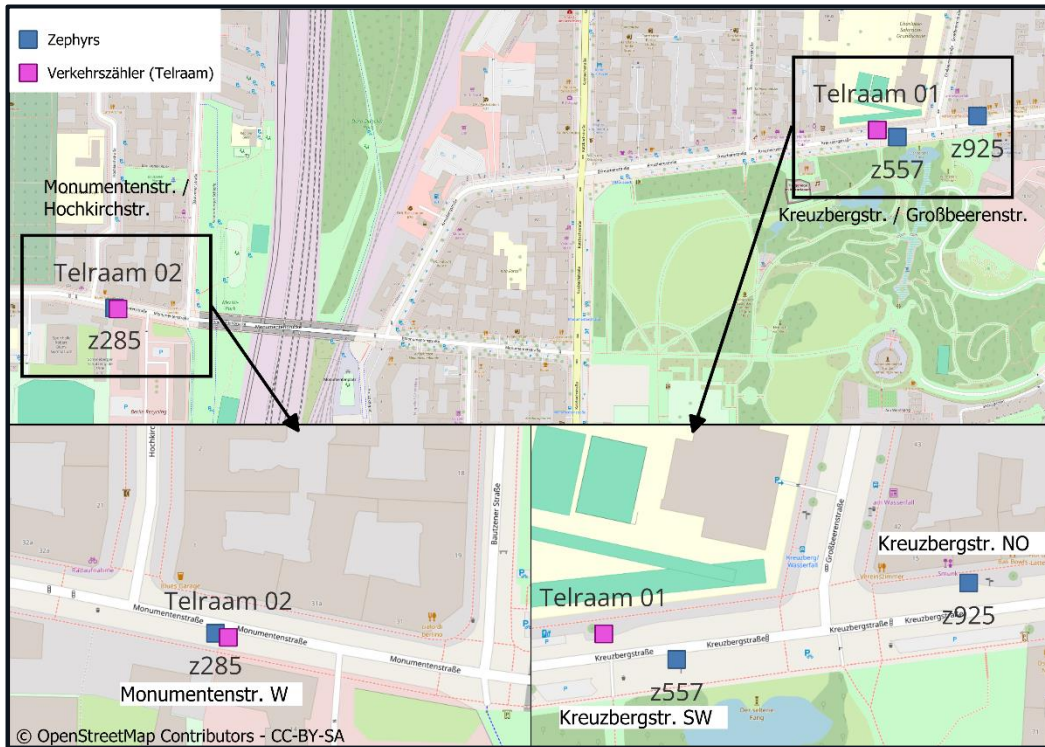


ABBILDUNG 1: KARTE DES MESSSTANDORTS MONUMENTENSTRASSE / KREUZBERGSTRASSE ZEPHYRS SIND DURCH BLAUE QUADRATE, TELRAAMS DURCH LILA QUADRATE GEKENNZEICHNET.

Zur Verbesserung der Genauigkeit und Kalibrierung auf die örtlichen Umweltbedingungen wurden die Zephyrs an zwei Messstationen des Berliner Luftgütemessnetzes (BLUME) aufgestellt (Tabelle 2). Es wurden dafür Standorte ausgewählt, die ein ähnliches Verkehrsaufkommen und eine ähnliche städtische Topologie aufweisen wie die Messstellen Kreuzbergstraße und Monumentenstraße. Es wurden zwei getrennte Stationen für die Kollokation verwendet (MC042 und MC174). Ursprünglich ging man davon aus, dass das Verkehrsaufkommen an den Standorten Kreuzbergstraße und Monumentenstraße geringere Emissionen verursachen würde, die besser mit den städtischen Hintergrundkonzentrationen an MC042 übereinstimmen würden. Diese Annahme erwies sich jedoch als falsch, so dass die zweite Kollokation in MC174 stattfand. Aufgrund logistischer Verzögerungen zu Beginn der Messkampagne wurden nur Daten von der zweiten Kollokation am MC174 zur Kalibrierung verwendet. Sie deckten die Umweltbedingungen der Messkampagne ausreichend ab. Unter Verwendung dieser Datensätze wurden die Geräte anhand von Referenzdaten für jeden Schadstoff nach der 7-Schritte-Methode (Schmitz et al., 2021) kalibriert. Bei diesem Ansatz werden Ausreißer entfernt, ein Modell der multiplen linearen Regression (MLR) wird mit der besten Anpassung ausgewählt und validiert, und die vorhergesagten Konzentrationen der experimentellen Daten werden mit einem geeigneten Maß an Unsicherheit exportiert. Dies wurde für alle Schadstoffe durchgeführt. Eine Kalibrierung an einem lokalen Standort verbessert die Daten, da sie die lokalen Umweltbedingungen berücksichtigt.

TABELLE 2: STANDORTE UND ZEITRÄUME DER CO-LOCATIONS ZUR KALIBRIERUNG DER ZEPHYRS

Messstation	Adresse	Daten	Kalibrierten Zephyrs
MC042	Nansenstr. 10	17.06.2024 - 02.07.2024	z285, z557, z925
MC174	Frankfurter Allee 86b	21.10.2024 - 04.11.2024	z285, z557, z925

### 2.2.2 Telraam S2-Kamera

Der Verkehrszähler Telraam S2 ist ein innovatives, kompaktes Gerät zur Verkehrserfassung und -analyse, das speziell für das kommunale Verkehrsmanagement und die Stadtplanung entwickelt wurde. Er ist ideal für die autonome Sammlung von Verkehrsdaten und für den langfristigen Einsatz geeignet. Während der Telraam-Verkehrszähler ursprünglich als bürgerwissenschaftliche Initiative entwickelt wurde, bei der die Sensoren an straßenseitigen Fenstern angebracht wurden, gibt es bei den neueren, weiterentwickelten Modellen auch eine Version für den Außenbereich (Telraam S2 Outdoor). Sie kann, wie in diesem Fall, an Laternenpfählen oder Ähnlichem angebracht werden. Der Telraam S2 wurde unter Einhaltung der DSGVO-Standards entwickelt: Er verarbeitet die Bilder sofort und erfasst die Daten ohne Aufzeichnung von Videos oder persönlichen Daten.

Das Telraam S2-System besteht aus drei Hauptkomponenten:

1. **Telraam S2-Gerät:** Eine Plug-and-Play-Hardwareeinheit, die mit einer niedrig auflösenden Kamera und Edge-Processing-Funktionen ausgestattet ist. Es überwacht und klassifiziert kontinuierlich Verkehrsdaten, einschließlich Autos, Fußgänger:innen, Fahrräder und schwere Fahrzeuge, mit minimalen Installationsanforderungen.
2. **Datenverarbeitungsmodul:** Dieses in das Gerät integrierte Modul verwendet moderne KI-Algorithmen zur Erkennung, Klassifizierung und Zählung von Verkehrsteilnehmenden. Es bietet eine hohe Genauigkeit für zehn wichtige Verkehrskategorien und unterstützt das Erfassen von Fahrzeugen und V85-Geschwindigkeiten sowie Verkehrsflussmetriken für jede Klasse.
3. **Telraam Dashboard:** Eine Cloud-basierte Plattform, auf der Benutzer:innen die vom Telraam S2 erfassten Verkehrsdaten visualisieren und analysieren können. Sie bietet Echtzeit-Zugang zu Verkehrszählungen, historischen Trends und detaillierten Analysen und unterstützt damit kommunale Initiativen und professionelle Stadtplanung.

Weitere Informationen zur Telraam-Technik, der Standortwahl und mehr sind auf der Telraam-Website<sup>2</sup> verfügbar. Der Telraam S2-Verkehrszähler eignet sich besonders für gemeindegeführte Projekte und bietet eine erschwingliche, datenschutzfreundliche Lösung für die lokale Verkehrserfassung. Die von den Telraam-Kameras aufgezeichneten Daten sind Open-Source und ebenfalls auf der Telraam-Website abrufbar.

### 2.2.3 Datenverfügbarkeit und Leistung

Die zur Verkehrserfassung installierten Telraam S2-Kameras sind in der Lage, auch nachts kontinuierlich Daten aufzuzeichnen. Die Genauigkeit der Zählungen hängt jedoch vom verfügbaren Tageslicht ab. In der Nacht kann die Kamera nur vorbeifahrende Fahrzeuglichter zählen und sie mit einer Genauigkeit von etwa 70 Prozent in eine Kategorie einordnen. Die im Rahmen des Projekts erfolgte Datenerfassung wurde während des Messzeitraums der einzelnen Kameras nie unterbrochen, obwohl größere Fahrzeuge wie Lieferwagen oder ein Bus stets gelegentlich die Sicht behindern, was zu einer Unterschätzung der Verkehrszählungen und zu möglichen Datenlücken führt. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Aufzeichnungsdaten für die beiden Kamerastandorte KSW und MW. Die Daten wurden am 04.12.2024 zur Analyse aus der Cloud heruntergeladen, während die Kameras weiterhin ohne Unterbrechung Daten bis zum 16.12.2024 sammelten. Die Kameras waren an Außenmasten in einer Höhe von ca. 3,5 m über dem Boden angebracht und so ausgerichtet, dass der Verkehr in beide Richtungen optimal gezählt werden konnte.

TABELLE 3: VERFÜGBARKEITSZEITRÄUME FÜR DATEN JEDER KAMERA

Ort	Anfangsdatum	Enddatum	Daten in diesem Bericht
KSW	20.09.2024	-	20.09.2024 - 04.12.2024
MW	07.11.2024	-	07.11.2024 - 04.12.2024

Wie schon erwähnt, trotz der robusten Leistungsfähigkeit von Telraam S2 kann es unter bestimmten Bedingungen zu Ungenauigkeiten kommen – etwa bei extremen Beleuchtungssituationen, wie Sonnenlicht direkt im Sichtfeld der Kamera oder starke Kontraste zwischen hellen und schattigen Bereichen. Darüber hinaus können witterungsbedingte

<sup>2</sup> <https://telraam.net>

Sichtbehinderungen, Jalousien oder Straßenmöbel die Fähigkeit des Geräts zur genauen Zählung beeinträchtigen. Nicht optimale ROI-Einstellungen (Region of Interest) und atypische Verkehrsszenarien, wie etwa dicht gedrängte Fußgängerströme oder nicht sichtbare Fahrradspuren hinter geparkten Autos, können die Leistung ebenfalls beeinträchtigen. Trotz dieser Herausforderungen können die meisten Probleme durch eine sorgfältige Platzierung und Einrichtung entschärft werden, was den Telraam S2-Verkehrszähler zu einem zuverlässigen und erschwinglichen Instrument für die langfristige Verkehrserfassung macht.

## 2.3 Analytische Herangehensweise

### 2.3.1 Analyse der Luftqualität, Meteorologie und Verkehrsdaten

Den in diesem Bericht vorgestellten Analysen liegen Luftqualitätsdaten vom 20. September bis Ende November 2024 zugrunde. Langfristige Trends für jeden Luftschadstoff werden sowohl als Tagesmittelwerte als auch als durchschnittliche Tagesmuster dargestellt. Es werden außerdem allgemeine Vergleiche zwischen den Standorten vorgenommen. Zusätzlich wurden diese Daten mit den meteorologischen Daten der DWD-Wetterstation am Flughafen Tempelhof verglichen.

Für diesen Bericht standen die Ergebnisse von Verkehrszählungen ab Ende September (KSW) bzw. ab Anfang November (MW) bis Anfang Dezember 2024 zur Verfügung. Für jeden Standort wurden durchschnittliche Tageszählungen sowie tägliche und stündliche Gesamtdurchschnittswerte für Fahrräder, Pkw, Lkw/Busse und den Nachtverkehr berechnet und ein Links-Rechts-Vergleich der täglichen und stündlichen Zählungen vorgenommen. Da sie für diesen Bericht nicht relevant waren, wurden Zählungen von Fußgänger:innen nicht ausgewertet.

### 2.3.2 Vergleich zwischen manuellen und Telraam-Zählungen

Die Ergebnisse der automatischen Telraam-Zählungen wurden mit manuellen Zählungen für zufällige Zeiträume und Tage während des Messzeitraums verglichen, um ihre Genauigkeit zu bewerten. Dabei wurden verschiedene Fahrzeugtypen ausgewählt und die Zählungen unter verschiedenen Bedingungen ausgewertet.

Für die Bewertung der Genauigkeit wurde ein statistisches Maß verwendet: der mittlere prozentuale Fehler, der Mean Percentage Error (MPE). Diese Kennzahl ist wie folgt definiert:

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i - \hat{y}_i}{\hat{y}_i}$$

Dabei steht  $\hat{y}_i$  für den manuell gezählten Wert für den  $i$ -ten Datenpunkt, der als Referenzwert oder wahrer Wert betrachtet wird, und  $y_i$  bezeichnet den automatisch gezählten Wert der Telraam-Kamera für denselben  $i$ -ten Datenpunkt. Die Variable  $n$  entspricht der Gesamtzahl der in der Analyse verglichenen Beobachtungen oder Datenpunkte.

# 3 Ergebnisse

## 3.1 Meteorologische Bedingungen

Tabelle 4 zeigt die vorherrschenden meteorologischen Bedingungen während der Messkampagne an den Standorten Kreuzbergstraße und Monumentenstraße. Während des Kampagnenzeitraums von September bis November 2024 gingen die Temperaturen vom Spätsommer bis in den Herbst hinein stetig zurück. Die relative Luftfeuchtigkeit stieg in diesem Zeitraum an und entsprach damit dem jahreszeitlichen Übergang. Die Windgeschwindigkeit war im September etwas höher, blieb aber im Oktober und November relativ konstant. Die vorherrschende Windrichtung verlagerte sich von Süd-Südost (171°) im September auf etwas südlichere Richtungen (185° und 203°) im Oktober bzw. November.

TABELLE 4: MONATLICHE DURCHSCHNITTSWERTE DER METEOROLOGISCHEN BEDINGUNGEN WÄHREND DER KAMPAGNE. DIE DATEN STAMMEN VON DER DWD-WETTERSTATION AM TEMPELHOFFER FELD.

Monat	Temperatur (°C)	Relative Feuchte (%)	Windgeschwindigkeit (m/s)	Windrichtung (°)
September	17.7	66.3	4.2	171
Oktober	11.9	82.2	3.3	185
November	5.7	84.8	3.3	203

Die vorherrschende Windrichtung und -geschwindigkeit für jeden Monat sind in Abbildung 2 dargestellt, die den Anteil der Zeit zeigt, in der der Wind aus jeder Richtung bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten wehte. In allen drei Monaten herrschten Winde aus Süd-Südost vor, was mit den historischen meteorologischen Mustern für Berlin zu dieser Jahreszeit übereinstimmt.

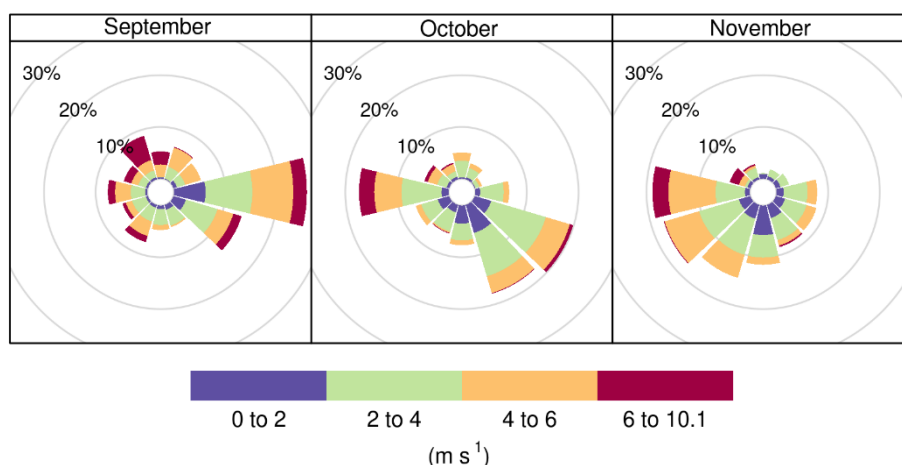


ABBILDUNG 2: VORHERRSCHENDE STÜNDLICHE WINDRICHTUNG UND WINDGESCHWINDIGKEIT AN DER DWD-WETTERSTATION TEMPELHOF NACH MONATEN GEORDNET

## 3.2 Luftqualitätsmessungen

Tabelle 5 gibt einen detaillierten Überblick über die monatlichen Durchschnittskonzentrationen für die vier in dieser Studie gemessenen Luftschadstoffe NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> und PM<sub>2,5</sub> an den Messstellen Kreuzbergstraße und Monumentenstraße von September bis November 2024. Die Unsicherheitsbereiche sind dort für alle Messungen enthalten. Die Unsicherheitsbereiche für die Gasphasenschadstoffe variieren erheblich zwischen den Zephyrs, was die sensorspezifische Empfindlichkeit der elektrochemischen Sensoren und die schnelle Schwankung der Konzentrationen (z. B. für NO) widerspiegelt. Bei den PM-Sensoren ist die Variabilität zwischen den Sensoren geringer, was vor allem darauf zurückzuführen ist, dass es minimale lokale Emissionsquellen gibt und die Konzentrationen stabiler sind.

TABELLE 5: MONATLICHE DURCHSCHNITTSWERTE DER LUFTSCHADSTOFFKONZENTRATIONEN FÜR JEDEN STANDORT AN DER MONUMENTENSTRASSE/KREUZBERGSTRASSE-MESSSTELLE. UNSICHERHEITSBEREICHE SIND FÜR ALLE MESSUNGEN ANGEZEIGT. AUßERDEM WERDEN DIE WERTE NACH DER NORMIERUNG AUF DIE DURCHSCHNITTLICHEN STÄDTISCHEN HINTERGRUNDKONZENTRATIONEN DER EINZELNEN SCHADSTOFFE ANGEZEIGT. ALLE KONZENTRATIONEN SIND IN  $\mu\text{G}/\text{M}^3$  ANGEZEIGT.

Ort	Monat	NO	NO Normiert	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> Normiert	O <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> Normiert	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>2,5</sub> Normiert
KNO	September	17 ± 24	13	16 ± 4	2	57 ± 6	-2	14 ± 3	3
	Oktober	20 ± 23	14	19 ± 4	3	35 ± 5	-2	10 ± 2	2
	November	22 ± 23	14	20 ± 4	2	28 ± 4	-2	15 ± 3	3
	<b>Durchschnitt</b>	<b>20 ± 23</b>	<b>14</b>	<b>18 ± 4</b>	<b>2</b>	<b>40 ± 5</b>	<b>-2</b>	<b>13 ± 3</b>	<b>3</b>
KSW	Septemb	17 ± 17	12	17 ± 5	4	56 ± 5	-3	15 ± 2	2
	Oktober	17 ± 17	10	19 ± 4	4	36 ± 4	-1	11 ± 2	2
	November	18 ± 17	10	20 ± 4	3	27 ± 3	-3	13 ± 2	2
	<b>Durchschnitt</b>	<b>17 ± 17</b>	<b>11</b>	<b>19 ± 4</b>	<b>4</b>	<b>40 ± 4</b>	<b>-2</b>	<b>13 ± 2</b>	<b>2</b>
MW	September	10 ± 11	5	18 ± 5	4	58 ± 5	-1	14 ± 2	2
	Oktober	11 ± 11	4	19 ± 4	4	36 ± 3	-1	10 ± 2	2
	November	14 ± 11	6	20 ± 4	2	29 ± 3	-1	14 ± 2	2
	<b>Durchschnitt</b>	<b>12 ± 11</b>	<b>5</b>	<b>19 ± 4</b>	<b>3</b>	<b>41 ± 4</b>	<b>-1</b>	<b>13 ± 2</b>	<b>2</b>

Im Durchschnitt waren die NO-Konzentrationen an den Standorten in der Kreuzbergstraße (KNO, KSW) höher als an der Monumentenstraße (MW), was auf das höhere Verkehrsaufkommen und die Nähe zu Emissionsquellen an diesen Standorten zurückzuführen ist. Ebenso waren die O<sub>3</sub>-Konzentrationen im September höher, was mit dem chemischen Zusammenspiel zwischen O<sub>3</sub>-Produktion und NO<sub>x</sub>-Titration<sup>3</sup> in städtischen Umgebungen übereinstimmt. Die PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen waren an allen Standorten vergleichbar. Dies verdeutlicht den Einfluss des regionalen Transports und der lokalen Hintergrundbelastung eher als einen Einfluss der standortspezifischen Emissionen.

Abbildung 3 zeigt die täglichen Durchschnittskonzentrationen (dünne durchgezogene Linien) für NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> und PM<sub>2,5</sub> an jedem Standort zusammen mit der besten Anpassung (dicke durchgezogene Linien), um allgemeine Trends im Laufe der Zeit zu verdeutlichen. Die Schattierung um die geglättete Linie stellt das 95%-Konfidenzintervall der Anpassung dar.

<sup>3</sup> NO<sub>x</sub>-Titration bezeichnet den Prozess, bei dem Stickoxide (NO und NO<sub>2</sub>, zusammengefasst als NO<sub>x</sub>) in städtischen Gebieten Ozon (O<sub>3</sub>) chemisch abbauen bzw. „wegspülen“. Vereinfacht läuft dies folgendermaßen ab: NO reagiert mit O<sub>3</sub> zu NO<sub>2</sub> und O<sub>2</sub>, wodurch Ozon abgebaut wird. In Bereichen mit hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen (z. B. Verkehrszonen) sinkt dadurch die Ozonkonzentration. Sonnenlicht zerlegt das entstandene NO<sub>2</sub> anschließend in NO und O, die mit O<sub>2</sub> wiederum O<sub>3</sub> bilden – ein zyklischer Prozess.

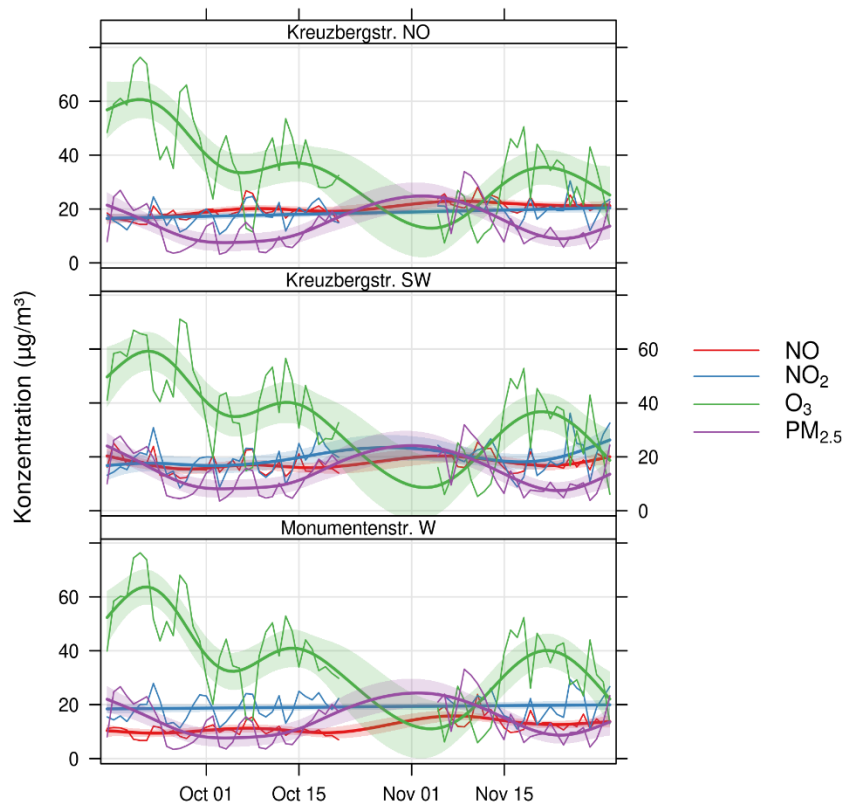


ABBILDUNG 3: TÄGLICHE DURCHSCHNITTSKONZENTRATIONEN (DÜNNE DURCHGEZOGENE LINIEN) UND GEGLÄTTETE ANPASSUNGEN (DICKE DURCHGEZOGENE LINIEN) FÜR NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> UND PM<sub>2,5</sub> AN JEDEM STANDORT. DIE SCHATTIERUNG UM DIE GEGLÄTTETE ANPASSUNG STELLT DAS 95%-KONFIDENZINTERVALL DAR.

In Abbildung 4 sind für jeden Schadstoff und jeden Standort die tageszeitlichen Trends für Wochentage und Wochenenden dargestellt. An der Kreuzbergstraße (KNO, KSW) ist an Wochentagen ein deutlicher morgendlicher und abendlicher Spitzenwert der NO<sub>2</sub>-Konzentration zu erkennen, der dem Berufsverkehr entspricht. Dies steht im Einklang mit bekannten NO<sub>2</sub>-Mustern in Städten. Im Gegensatz dazu weist die Monumentenstraße (MW) abends niedrigere NO<sub>2</sub>-Spitzenwerte auf, was wahrscheinlich auf eine geringere Verkehrsdichte zurückzuführen ist. Es gibt jedoch eine ausgeprägte NO- und NO<sub>2</sub>-Spitze, die an Wochentagen zwischen sechs und sieben Uhr morgens in der MW beobachtet wird. Es wird vermutet, dass diese Spitze mit den Müllfahrzeugen zusammenhängt, die zu dieser Zeit eine nahe gelegene Anlage der Berliner Stadtreinigung (BSR) verlassen und zu den erhöhten Emissionen beitragen. Wenn diese Lkw in die Anlage einfahren und sie verlassen, muss ein Tor geöffnet werden, was etwa zehn bis 15 Sekunden dauert. In dieser Zeit sind die Lkw im Leerlauf und stoßen große Mengen an NO<sub>x</sub> aus, die von dem etwa 25 Meter entfernten Zephyr gemessen werden. Im genannten Zeitraum fahren viele Lkw gleichzeitig ab, was zu erheblichen Spitzenwerten in den Konzentrationen führt. Mögliche Auswirkungen von Kaltstarts in den Wintermonaten können ebenfalls zu erhöhten Emissionen beitragen, dies wurde jedoch nicht untersucht. Die O<sub>3</sub>-Konzentrationen sinken während der morgendlichen Rushhour, was die NO<sub>x</sub>-Titration widerspiegelt, steigen aber während der Mittagszeit durch photochemische Produktion an.

In den Abbildungen 5 und 6 sind die gleichen Luftqualitätsergebnisse dargestellt, die für jeden Schadstoff auf die durchschnittlichen städtischen Hintergrundkonzentrationen normiert wurden, um den Beitrag lokaler Emissionen zu den gemessenen Gesamtkonzentrationen aufzuzeigen. Für NO<sub>2</sub> wurden geringfügige lokale Beiträge gemessen, die wahrscheinlich von Fahrzeugemissionen stammen. Diese sind bei KNO höher und am auffälligsten bei KNO, obwohl eine Erklärung dafür noch nicht gefunden werden kann. Die O<sub>3</sub>-Konzentrationen entsprechen weitgehend denen des städtischen Hintergrunds. Dies könnte auf die erhöhten NO<sub>x</sub>-Emissionen durch die BSR-Anlage verlassenden großen Fahrzeuge zurückzuführen sein, die zur Titration von O<sub>3</sub> führen, aber darüber kann nur spekuliert werden. Abb. 5 unterstützt die Interpretation, dass die PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen weitgehend die städtischen Hintergrundwerte widerspiegeln, mit vernachlässigbaren lokalen Beiträgen.

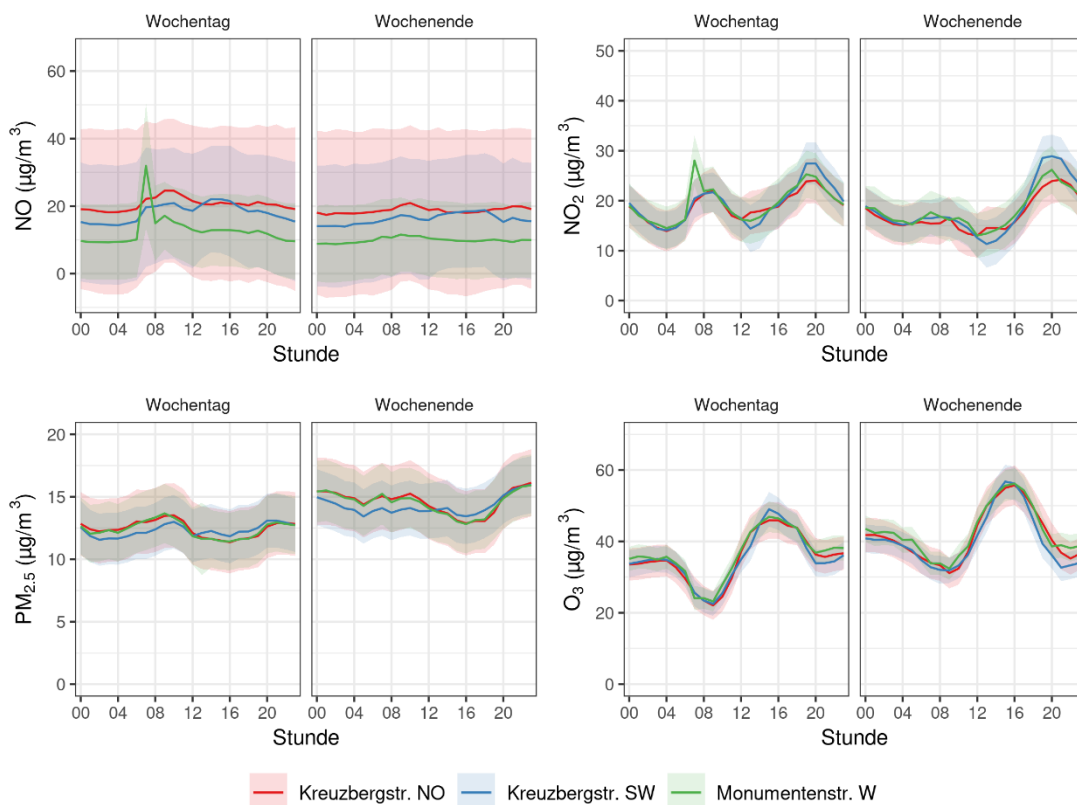


ABBILDUNG 4: DURCHSCHNITTliche STÜNDliche NO-, NO<sub>2</sub>-, O<sub>3</sub>- UND PM<sub>2,5</sub>-KONZENTRATIONEN NACH WOCHENTAGEN UND WOCHENENDEN, GEORDNET NACH MESSORTEN

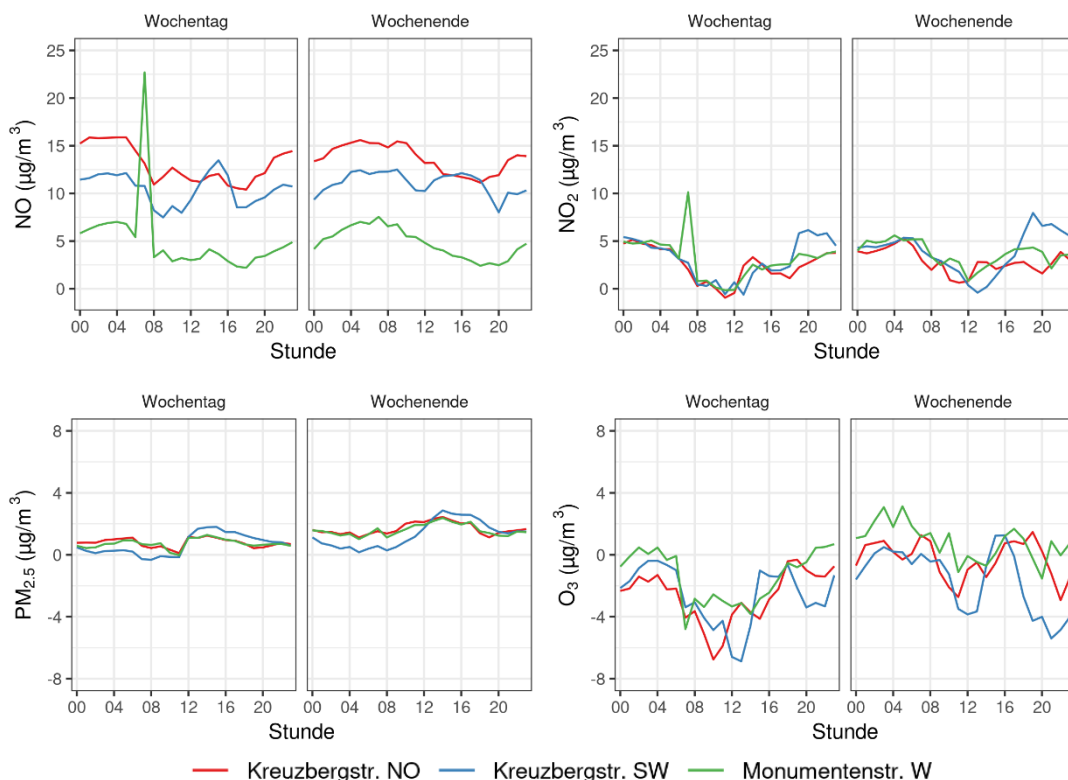


ABBILDUNG 5: DURCHSCHNITTliche STÜNDliche NO-, NO<sub>2</sub>-, O<sub>3</sub>- UND PM<sub>2,5</sub>-KONZENTRATIONEN AN WOCHENTAGEN UND WOCHENENDEN, NORMIERT AUF DURCHSCHNITTliche STÄDTISCHE HINTERGRUNDKONZENTRATIONEN, GEORDNET NACH MESSORTEN

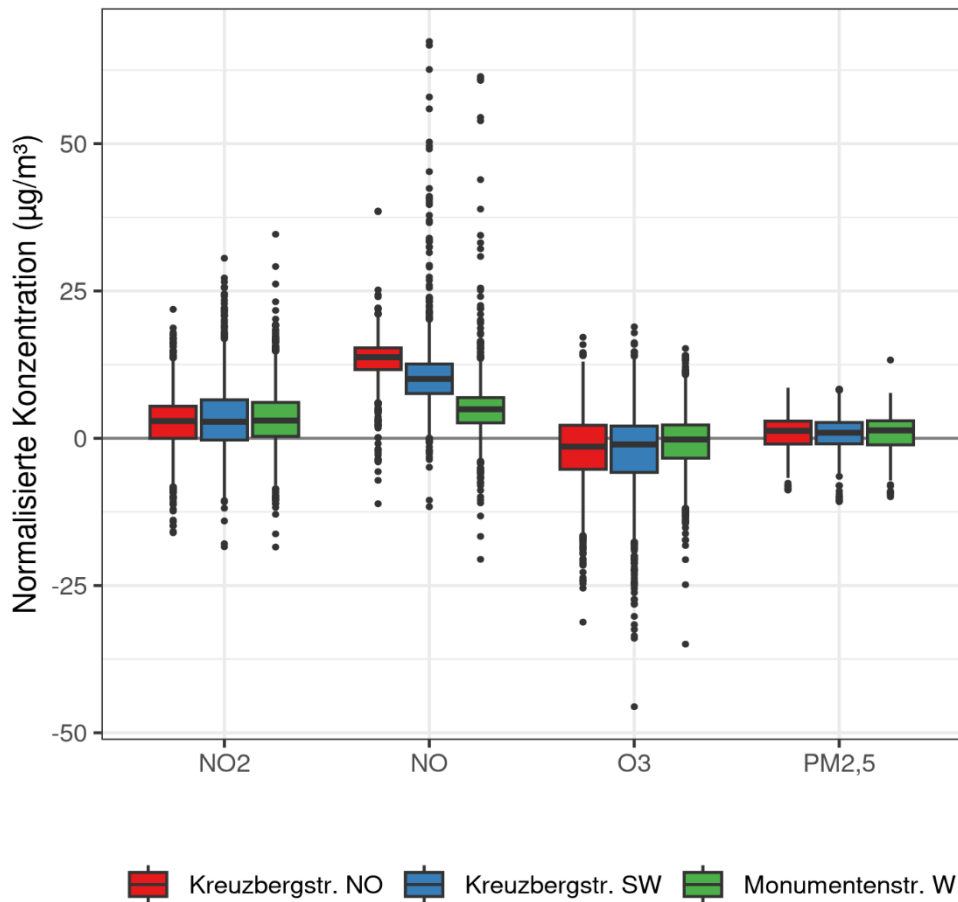


ABBILDUNG 6: BOXPLOTS DER DURCHSCHNITTLICHEN STÜNDLICHEN NO-, NO<sub>2</sub>-, O<sub>3</sub>- UND PM<sub>2,5</sub>-KONZENTRATIONEN, NORMIERT AUF DIE DURCHSCHNITTLICHEN STÄDTISCHEN HINTERGRUNDKONZENTRATIONEN UND GEORDNET NACH MESSORT.

Abbildung 7 zeigt Windrosen für die stündlichen Schadstoffkonzentrationen an den einzelnen Standorten und verdeutlicht den Einfluss der vorherrschenden Windrichtung auf die Luftqualität. Bei den Gasphasenschadstoffen gibt es Hinweise auf einen Einfluss der vorherrschenden Windrichtung auf die lokalen Konzentrationen. Erhöhte NO<sub>x</sub>-Konzentrationen wurden an der Kreuzbergstraße bei südlichen Winden beobachtet, was wahrscheinlich auf Verkehrsmuster und lokale Emissionen zurückzuführen ist. Die O<sub>3</sub>-Konzentrationen waren unter Bedingungen mit reduziertem NO<sub>x</sub> am höchsten, insbesondere an der KSW. Für PM<sub>2,5</sub> hingegen ist die Beziehung zwischen Windrichtung und Konzentration an allen drei Standorten gleich. Dies unterstreicht die Bedeutung des allgemeinen städtischen Hintergrunds und des regionalen Verkehrs für die lokalen PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen an den Messstellen Kreuzbergstraße und Monumentenstraße.

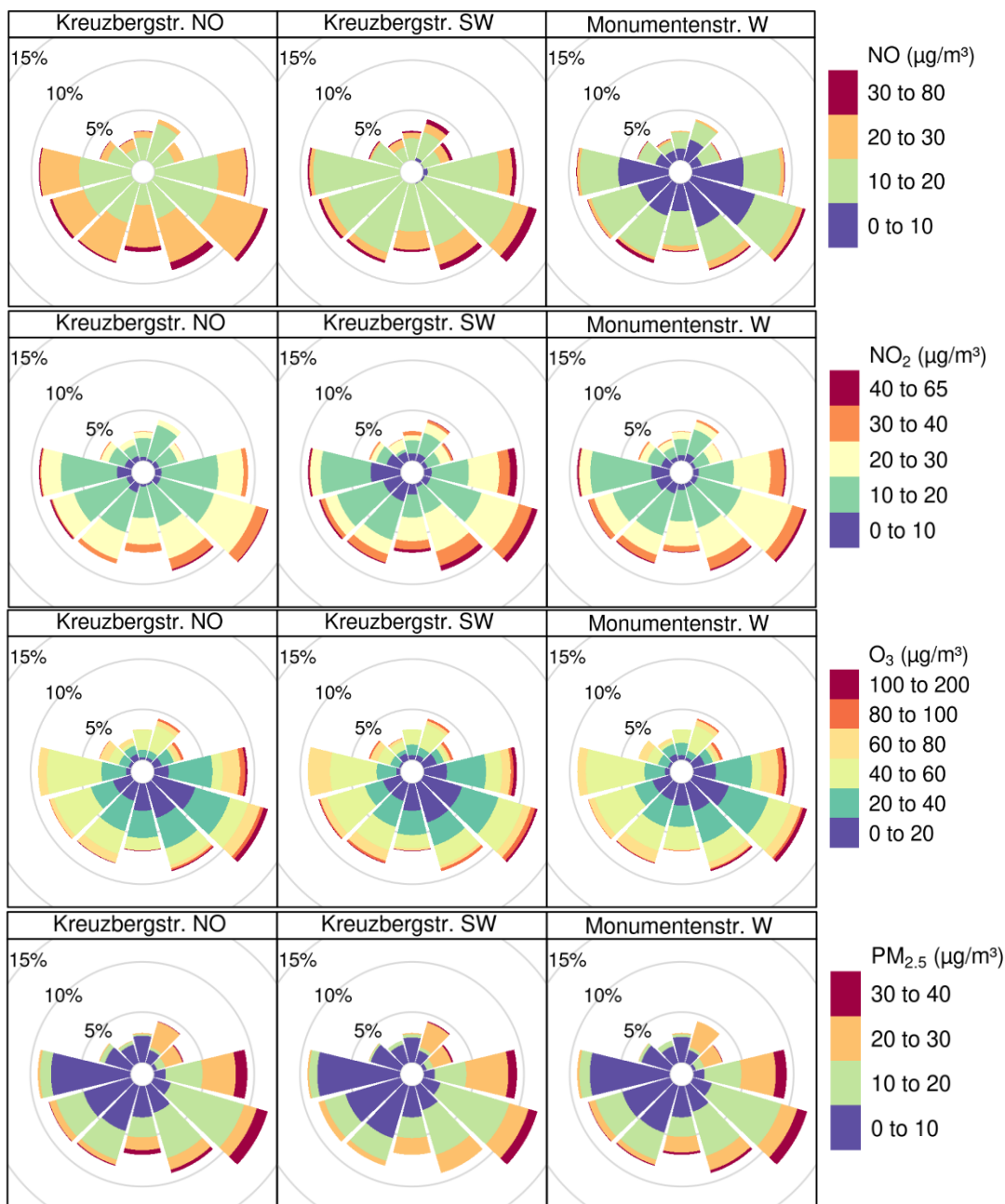


ABBILDUNG 7: MITTLERE STÜNDLICHE SCHADSTOFFKONZENTRATIONEN (NO-, NO<sub>2</sub>-, O<sub>3</sub>- UND PM<sub>2,5</sub>), DARGESTELLT ALS WINDROSEN, SORTIERT NACH KONZENTRATIONSBEREICH UND RICHTUNG UNTER VERWENDUNG DER WINDDATEN DES DWD TEMPELHOF

### 3.3 Verkehrszählungen

Die Abbildungen 8 und 9 sowie die Tabelle 6 fassen die Ergebnisse der Verkehrszählungen zusammen, die zwischen September und November 2024 an den Standorten Kreuzbergstraße und Monumentenstraße (KSW und MW) durchgeführt wurden. Abbildung 6 zeigt die Entwicklung des durchschnittlichen stündlichen Verkehrsaufkommens an Werktagen und Wochenenden, gruppiert nach Monat und Standort. Sowohl an der KSW als auch an der MW weist der Pkw-Verkehr an Wochentagen über den ganzen Tag hinweg ein relativ gleichmäßiges Niveau auf, mit geringfügigen Spitzen in den morgendlichen (8 Uhr) und abendlichen Stoßzeiten (17-18 Uhr). Während der Lkw- und Busverkehr (Lkw/Bus) am KSW den ganzen Tag über konstant bleibt, weist der MW eine ausgeprägte Morgenspitze für Lkw/Bus zwischen sechs und sieben Uhr auf, die möglicherweise mit frühen Abfahrten von einer nah gelegenen BSR-Anlage zusammenhängt. Diese Spitze stimmt mit den erhöhten NO- und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen überein, die im gleichen Zeitfenster beobachtet wurden (siehe Abschnitt 3.2). Der Radverkehr an der KSW weist in den morgendlichen und abendlichen Stoßzeiten deutliche Spitzen auf, während diese am Morgen an der MW weniger stark ausgeprägt ist und es keine offensichtliche abendliche Spitze gibt. Die Zahl der

Radfahrenden übersteigt die Zahl der Pkw am KSW durchweg in den Morgenstunden, unabhängig vom Monat. Selbst in den Wintermonaten ist die Kreuzbergstraße eine sehr wichtige Straße für Radfahrende.

An Wochenenden ist an beiden Standorten eine verzögerte Verkehrsspitze über alle Fahrzeugkategorien hinweg zu beobachten, die um die Mittagszeit auftritt, was die geringere morgendliche Rushhour widerspiegelt. Der Lkw- und Busverkehr ist an beiden Standorten an Wochenenden deutlich reduziert, was wahrscheinlich auf eine geringere arbeitsbedingte Aktivität zurückzuführen ist. Die nächtlichen Verkehrszählungen weisen sowohl an Wochentagen als auch an Wochenenden signifikante Spitzenwerte in den Abendstunden (16-20 Uhr) auf, die den typischen Stoßzeiten entsprechen. Die Auswirkungen der abnehmenden Sonneneinstrahlung im gesamten Messzeitraum lassen sich an der stetigen Zunahme der nächtlichen Fahrzeugzählungen ablesen, da es mehr Stunden der Dunkelheit gibt (was als "nachts" definiert wird), die mit dem Berufsverkehr übereinstimmen. Die Telraam-Kameras können die Fahrzeugtypen während der Nacht nicht klassifizieren, so dass diese Zählungen kollektiv kategorisiert werden.

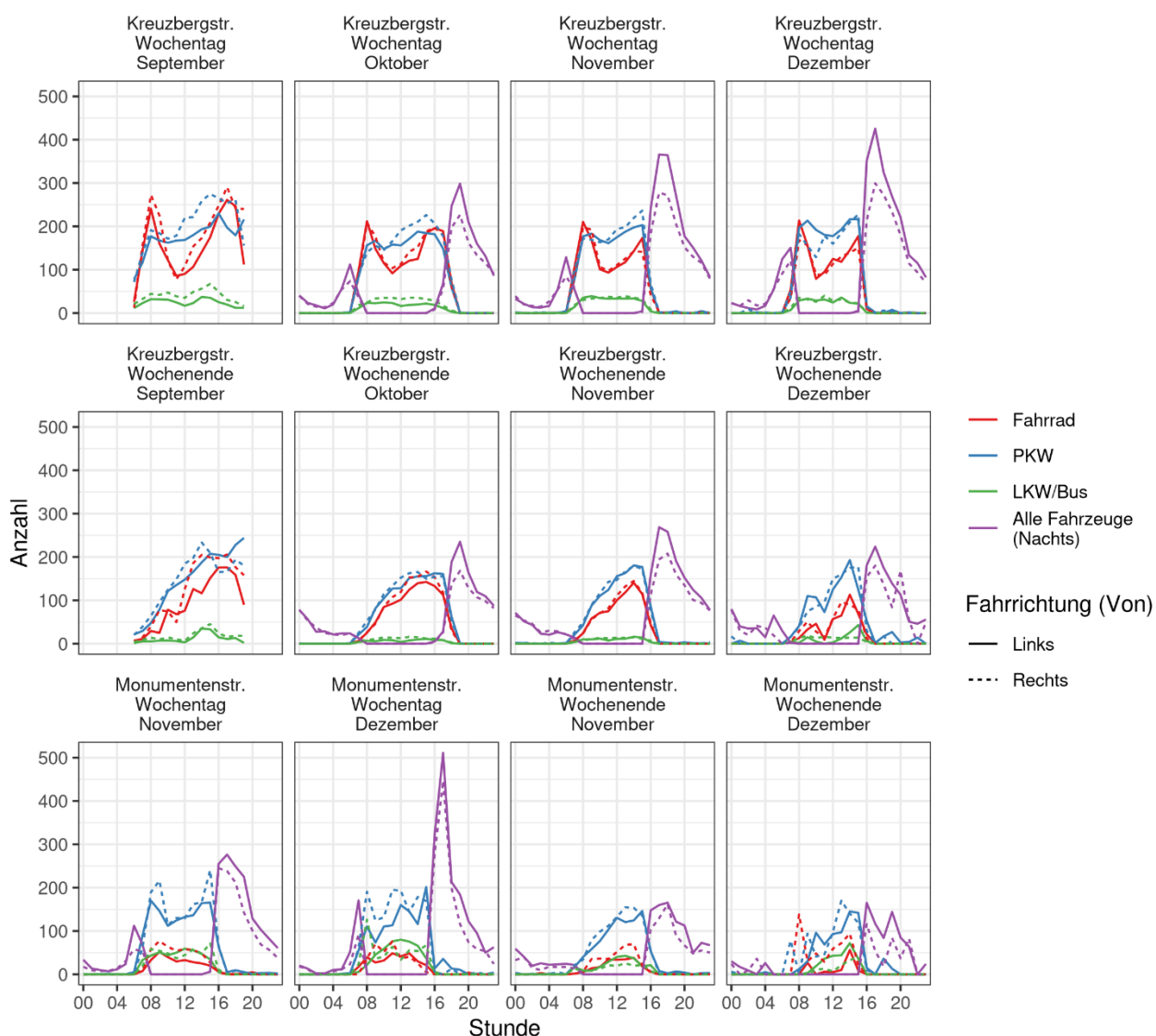


ABBILDUNG 8: DURCHSCHNITTliche STÜNDliche VERKEHRSZÄHLungen FÜR FAHRRÄDER, PKW, LKW/BUSSE UND ALLE NACHTFAHRZEUGE AN KSW UND MW AN WOCHENTAGEN UND WOCHENENDEN UND FÜR JEDEN MONAT. DIE DURCHGEZOGENEN LINIEN STELLEN DEN VERKEHR IN EINE RICHTUNG DAR (VON LINKS NACH RECHTS: MW - NACH WESTEN, KSW - NACH OSTEN), DIE GESTRICHELTEN LINIEN DEN VERKEHR IN DIE GEGENRICHTUNG (VON RECHTS NACH LINKS: MW - NACH OSTEN, KSW - NACH WESTEN). ZÄHLungen VON FAHRZEUGEN IN DER NACHT (AB ANFANG DER DUNKELHEIT) WAREN IM SEPTEMBER FÜR DIE TELRAAM BEI KSW NICHT VERFÜGBAR.

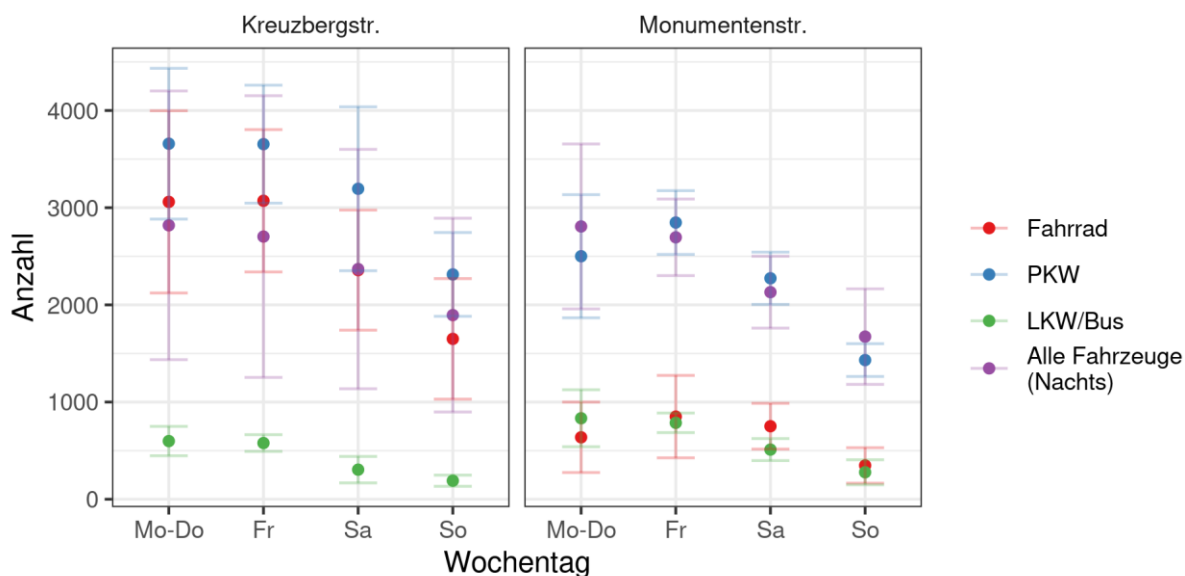


ABBILDUNG 9: DURCHSCHNITTLICHE TÄGLICHE GESAMTZAHLN VON PKW, LKW/BUSSEN UND FAHRRÄDERN SOWIE ALLE FAHRZEUGE (NACHTS) WÄHREND DER GESAMTEN KAMPAGNE (SEPTEMBER-DECEMBER) FÜR MONTAG-DONNERSTAG, FREITAG, SAMSTAG UND SONNTAG. DIE BALKEN STELLEN EINE STANDARDABWEICHUNG ÜBER UND UNTER DEM DURCHSCHNITTLICHEN TAGESWERT DAR.

TABELLE 6: DURCHSCHNITTLICHE TÄGLICHE GESAMTZÄHLUNGEN FÜR FAHRRÄDER, PKW, LKWS/BUSSE UND NACHTFAHRZEUGE IN KSW UND MW, GEORDNET NACH WOCHENTAGEN (MONTAG-DONNERSTAG, FREITAG, SAMSTAG UND SONNTAG). DIE NÄCHTLICHEN VERKEHRSAHLEN SIND VON DER DUNKELHEIT BESTIMMT.

Ort	Wochentag	Fahrrad	Pkw	Lkw/ Bus	Alle Fahrzeuge (Nachts)
KSW	Mo-Do	3060	3658	598	2819
	Fr	3071	3654	578	2703
	Sa	2358	3195	304	2368
	Su	1650	2313	191	1895
MW	Mo-Do	637	2500	833	2807
	Fr	850	2847	786	2695
	Sa	751	2274	511	2131
	Su	348	1432	278	1673

### 3.3.1 Vergleich zwischen manuellen und Telraam-Zählungen

Die Genauigkeit der automatischen Telraam-Zählungen wurde durch den Vergleich mit manuell erhobenen Daten an zwei ausgewählten Tagen (27.09.2024 und 22.10.2024) bewertet. Die Bewertung erstreckte sich auf vier Kategorien der Verkehrsteilnehmenden: Fußgänger:innen, Zweiräder (Fahrräder und Motorräder), Autos und schwere Fahrzeuge, d. h. die Kategorien, die derzeit von Telraam mit einer Auflösung von 15 Minuten erfasst werden<sup>4</sup>. Der MPE wurde für jede Kategorie berechnet, um die Übereinstimmung zwischen den beiden Datensätzen zu quantifizieren. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Insgesamt zeigen die MPE-Werte, dass die Telraam-Zählungen bei Autos und Zweirädern den manuellen Zählungen sehr nahekommen. Bei Schwerlastkraftwagen und Fußgänger:innen waren die Fehlergrenzen etwas höher, was darauf hindeutet, dass Telraam-Kameras bei der Zählung von motorisierten Fahrzeugen wie Autos und Zweirädern wie etwa Fahrrädern oder Motorrädern besser abschneiden.

Für Zweiräder und schwere Fahrzeuge betrug die gesamte Fehlergrenze sieben Prozent bzw. 24 Prozent, was auf eine leichte Überschätzung der Telraam-Zahlen hinweist. Im Gegensatz dazu lag die gesamte Fehlergrenze für Pkw bei minus sechs Prozent was auf eine leichte Unterschätzung hinweist. Fußgänger:innen wiesen mit einer Gesamt-MPE von 25 Prozent die größten Schwankungen auf, was die Schwierigkeit einer genauen Zählung des nicht motorisierten Verkehrs mit Telraam-Kameras weiter verdeutlicht. Auf der Basis einzelner Zeitintervalle zeigten die MPE-Werte für bestimmte Kategorien während bestimmter Intervalle erhebliche Abweichungen bei den Zählungen. Diese Abweichungen können durch Umweltfaktoren wie Verdeckungen oder Lichtverhältnisse, die die Sichtbarkeit bestimmter Kategorien von Verkehrsteilnehmenden beeinträchtigen beeinflusst worden sein. Trotz gelegentlicher hoher Abweichungen in bestimmten Zeiträumen deuten die MPE-Werte insgesamt darauf hin, dass die Telraam-Kameras zuverlässige Daten für Autos und Zweiräder liefern. Es könnten jedoch weitere Verbesserungen erforderlich sein, um die Genauigkeit für Fußgänger:innen und schwere Fahrzeuge zu erhöhen, insbesondere bei wechselnden Verkehrsbedingungen.

TABELLE 7: VERGLEICH DES MITTLEREN PROZENTUALEN FEHLERS (MPE) ZWISCHEN MANUELLEN UND TELRAAM-ZÄHLUNGEN FÜR FUßGÄNGER:INNEN, ZWEIRÄDER, AUTOS UND SCHWERE FAHRZEUGE WÄHREND AUSGEWÄHLTER ZEITRÄUME AM 27.09.2024 UND 22.10.2024. DIE TABELLE ENTHÄLT FEHLERGRENZENWERTE FÜR EINZELNE ZEITINTERVALLE UND GESAMTWERTE, DIE DIE GENAUIGKEIT UND DIE ABWEICHUNGEN DER AUTOMATISCHEN ZÄHLUNGEN IM VERGLEICH ZU DEN MANUELLEN BEOBSACHTUNGEN HERVORHEBEN. POSITIVE FEHLERGRENZENWERTE WEISEN AUF EINE ÜBERSCHÄTZUNG DURCH TELRAAM HIN, WÄHREND NEGATIVE WERTE EINE UNTERSCHÄTZUNG ANZEIGEN.

Datum	Zeit	Fußgänger:innen	Zweiräder	Autos	Schwere Fahrzeuge
27.09.2024	13:15 - 13:30 h	-23	2	-15	25
	13:30 - 13:45 h	189	14	-1	67
	13:45 - 14:00 h	45	16	-6	50
	14:00 - 14:15 h	24	12	-5	6
22.10.2024	14:00 - 14:15 h	9	-17	10	27
	14:15 - 14:30 h	-17	23	-26	6
	14:30 - 14:45 h	15	-15	5	90
	14:45 - 15:00 h	-44	23	-9	-82
<b>Insgesamt</b>		<b>25</b>	<b>7</b>	<b>-6</b>	<b>24</b>

<sup>4</sup>Telraam kategorisiert die Fahrzeuge je nach zeitlicher Auflösung unterschiedlich. Für die zeitliche Auflösung von 1 Stunde gibt es 10 Kategorien: pedestrian, car, bicycle, bus, light truck, motorcycle, stroller, tractor, trailer und truck. Außerdem gibt es eine Kategorie, die den Nachtverkehr erfasst: night. Allerdings werden die Daten mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten in 4 Gruppen eingeteilt: pedestrian, bike, car und large vehicle, zusätzlich zu der Kategorie, die den Nachtverkehr aufzeichnet.

## 4 Fazit

In diesem Bericht werden Zwischenergebnisse der Erfassung der Luftqualität und des Verkehrs an den Standorten Kreuzbergstraße und Monumentenstraße in Berlin zwischen September und November 2024 vorgestellt. Insgesamt deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Luftqualität an der Kreuzbergstraße geringfügig schlechter ist als an der Monumentenstraße, insbesondere für NO und NO<sub>2</sub>, was wahrscheinlich auf das höhere Verkehrsaufkommen und die Nähe zu Emissionsquellen zurückzuführen ist. Erste Ergebnisse deuten auch auf einen leichten Einfluss der Windrichtung auf die Schadstoffkonzentrationen an beiden Standorten hin, wobei in der Kreuzbergstraße bei südlichen Winden erhöhte NO<sub>x</sub>-Konzentrationen gemessen wurden. Es werden erwartete tageszeitliche Muster der Schadstoffkonzentrationen beobachtet, wobei die morgendlichen und abendlichen Spitzenwerte der NO- und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen mit dem Berufsverkehr korrespondieren. Diese Muster sind in der Monumentenstraße aufgrund der geringeren Gesamtverkehrsdichte weniger ausgeprägt. Die O<sub>3</sub>-Konzentrationen zeigen die erwartete umgekehrte Beziehung zu den NO<sub>x</sub>-Konzentrationen, wobei die Einbrüche während der Hauptverkehrszeiten auf die Titration durch NO und die Anstiege zur Mittagszeit auf die photochemische Produktion zurückzuführen sind. Die PM<sub>2,5</sub>-Konzentrationen waren an beiden Standorten gleich und wiesen nur minimale Schwankungen in Abhängigkeit von der Windrichtung auf, was den Einfluss regionaler und städtischer Hintergrundquellen auf die lokalen Emissionen verdeutlicht.

Deutliche NO- und NO<sub>2</sub>-Spitzenwerte zwischen sechs und sieben Uhr in der Monumentenstraße stehen wahrscheinlich im Zusammenhang mit der Lkw-Aktivität einer nahe gelegenen BSR-Anlage. Diese Hypothese müsste in einer zukünftigen Messkampagne weiter untersucht werden.

Die Daten der Verkehrszählungen zeigen, dass die Kreuzbergstraße im Vergleich zur Monumentenstraße durchweg ein höheres Aufkommen an Autos, Fahrrädern und Nachtverkehr aufweist. Der Fahrradverkehr erreicht in der Kreuzbergstraße werktags während der Hauptverkehrszeit seinen Höhepunkt, der über den maximalen Pkw-Zahlen liegt, auch in den Wintermonaten. In der Monumentenstraße ist die Morgenspitze weniger ausgeprägt und es gibt keine eindeutige Abendspitze, wobei es möglicherweise eine starke Unterschätzung der Radfahrenden durch die (notwendige) Positionierung der Kamera gab. Der Lkw- und Busverkehr ist an den Wochenenden an beiden Standorten reduziert, insbesondere an Sonntagen, was auf eine geringere gewerbliche Aktivität zurückzuführen ist. Das nächtliche Verkehrsaufkommen ist unter der Woche stabil, wobei die Telraam-Kameras aufgrund des fehlenden Tageslichts die Fahrzeuge nicht klassifizieren konnten, und deshalb nur eine Zahl für den Gesamtverkehr erfasst wurden.

Der Vergleich der automatischen Telraam-Verkehrszählung mit der manuellen Zählung zeigt eine gute Übereinstimmung bei Autos und Zweirädern. Höhere Abweichungen wurden jedoch bei schweren Fahrzeugen (Lkw/Busse) und Fußgänger:innen beobachtet, was auf Schwierigkeiten bei der genauen Erfassung dieser Kategorien hinweist. Die MPE-Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Telraam-Kameras die Zahl der Autos leicht unterschätzen und die Zahl der Zweiräder und schweren Fahrzeuge leicht überbewerten. Trotz dieser gelegentlichen Diskrepanzen lassen die Ergebnisse darauf schließen, dass Telraam verlässliche Daten für motorisierte Fahrzeuge liefert. Eine weitere Verfeinerung könnte jedoch erforderlich sein, um die Genauigkeit der Ergebnisse für nicht-motorisierten Verkehr zu erhöhen.

Insgesamt bieten diese Zwischenergebnisse wertvolle Einblicke zum Verkehrsaufkommen, zur Luftqualität und zu den meteorologischen Bedingungen in der Kreuzbergstraße und der Monumentenstraße. Wir empfehlen, dass sich zukünftige Messungen auf zwei Hauptaspekte konzentrieren: 1) die Auswirkungen der Velo-Flow-Anzeigen für Radfahrende auf den gesamten Verkehrsfluss und auf die Anzahl der Radfahrenden, insbesondere im Hinblick auf die auf der Straße verbrachten Fahrzeit, und 2) ein besseres Verständnis der Auswirkungen der BSR-Anlage auf die lokale Luftqualität und auf die Verkehrssicherheit, insbesondere für Radfahrende. Bei 1) wären weitere Messungen vor der Einführung der Grünen Welle mit GLOSA-Service nötig, die das Radverkehrsverhalten auf der Strecke besser erfasst, idealerweise während der Radfahrzeit. Es sind keine weiteren Luftqualitätsmessungen notwendig, außer wenn eine gezielte Erfassung der Schadstoffemissionen gewünscht ist, die aus dem stärkeren Verkehrs rund um die BSR-Anlage resultieren.

# 5 Literaturverzeichnis

---

Ben Fredj, K., Pallamreddy, A. R., Heijnen, G., Havinga, P. J. M., & Huang, Y. (2023). E-Go Bicycle Intelligent Speed Adaptation System for Catching the Green Light. Paper presented at 20th EAI International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, MobiQuitous 2023, Melbourne, Victoria, Australia.

---

Brand, C., Hagedorn, T., Kösters, T., Meier, M., Sieg, G., & Wessel, J. (2024). Riding the green wave – How countdown timers at bicycle traffic lights impact on cycling behavior. *Travel Behaviour and Society*, 35, 100731. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2023.100731>.

---

De Angelis, M., Stuiver, A., Fraboni, F., Prati, G., Puchades, V. M., Fassina, F., de Waard, D., & Pietrantonio, L. (2019). Green wave for cyclists: Users' perception and preferences. *Applied Ergonomics*, 76, 113-121. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.12.008>

---

De Coensel, B., Can, A., Degraeuwe, B., De Vlieger, I., & Botteldooren, D. (2012). Effects of traffic signal coordination on noise and air pollutant emissions. *Environmental Modelling & Software*, 35, 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.02.009>

---

Schmitz, S., Towers, S., Villena, G., Caseiro, A., Wegener, R., Klemp, D., Langer, I., Meier, F., & von Schneidmesser, E. (2021). Unravelling a black box: an open-source methodology for the field calibration of small air quality sensors. *Atmospheric Measurement Techniques*, 14(11), 7221-7241. <https://doi.org/10.5194/amt-14-7221-2021>

---

Schmitz, S., Villena, G., Caseiro, A., Meier, F., Kerschbaumer, A., & von Schneidmesser, E. (2023). Calibrating low-cost sensors to measure vertical and horizontal gradients of NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> pollution in three street canyons in Berlin. *Atmospheric Environment*, 307. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2023.119830>

---

Am Forschungsinstitut für Nachhaltigkeit (RIFS) werden Entwicklungspfade für die globale Transformation zu einer nachhaltigen Gesellschaft erforscht, aufgezeigt und unterstützt. Das Institut wurde 2009 als Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) gegründet und ist seit dem 1. Januar 2023 unter dem neuen Namen angebunden an das Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches Geoforschungszentrum GFZ und damit Teil der Helmholtz-Gemeinschaft. Der Forschungsansatz ist transdisziplinär, transformativ und kokreativ. Gemeinsam mit Vertreter:innen aus Wissenschaft, politischen Institutionen, kommunalen Verwaltungen, Wirtschaft und Zivilgesellschaft werden von allen getragene Lösungen entwickelt. Zentrale Forschungsthemen sind unter anderem die Energiewende, der Klimawandel und soziotechnische Wandel, aber auch Fragen der nachhaltigen Governance und Partizipation. Ein starkes nationales und internationales Netzwerk verbunden mit einem Fellow-Programm unterstützen das Institut.

## RIFS Study

Dezember 2024

### Kontakt:

Seán Schmitz: [sean.schmitz@rifs-potsdam.de](mailto:sean.schmitz@rifs-potsdam.de)

Erika von Schneidemesser: [erika.von.schneidemesser@rifs-potsdam.de](mailto:erika.von.schneidemesser@rifs-potsdam.de)

### Adresse:

Berliner Straße 130

14467 Potsdam

T: +49 (0) 331-28822-340

[media@rifs-potsdam.de](mailto:media@rifs-potsdam.de)

[www.rifs-potsdam.de](http://www.rifs-potsdam.de)

### ViSdP:

Prof. Dr. Mark G. Lawrence,  
Wissenschaftlicher Direktor, Sprecher

### Redaktion:

Damian Harrison

DOI: 10.48481/rifs.2025.010

