

## LUFTQUALITÄTS- UND LÄRMMONITORING IN SSIKON



**im Zusammenhang mit der Sperrung der Axenstrasse  
im Sommer/Herbst 2019**

## **IMPRESSUM**

### **Auftraggeber:**

Amt für Umweltschutz  
Kanton Uri  
Klausenstrasse 4  
6460 Altdorf

### **Bericht:**

Hannah Wey  
Mario Betschart  
inNET Monitoring AG  
Dätwylerstrasse 15  
6460 Altdorf

### **Projektleitung:**

Niklas Joos  
Leiter Abteilung Immissionsschutz  
Amt für Umweltschutz

### **Titelfoto:**

Messstation bei Sisikon  
Renato Mauri, inNET Monitoring AG

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Methodik.....</b>	<b>5</b>
2.1	Allgemeine Messtechnik .....	5
2.2	Lärmdaten .....	6
2.3	Luftqualitätsdaten .....	6
<b>3</b>	<b>Hintergrundinformationen .....</b>	<b>8</b>
3.1	Meteorologie.....	8
3.2	Verkehrsschätzungen .....	9
<b>4</b>	<b>Resultate .....</b>	<b>10</b>
4.1	Lärm.....	10
4.2	Luftqualität .....	15
<b>5</b>	<b>Diskussion und Fazit.....</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>19</b>
6.1	Immissionsgrenzwerte aus der LRV für NO <sub>2</sub> , PM <sub>10</sub> und PM <sub>2.5</sub> .....	19
6.2	Lufthygiene: Standortvergleiche .....	19
6.3	Belastungsgrenzwerte aus der Lärmschutzverordnung.....	20
6.4	Grundlegende und ergänzende Dokumente.....	20
6.5	Auftragnehmer .....	20

# 1 Einleitung

Am 28. Juli 2019 kam es zwischen Sisikon und Flüelen zu einem Steinschlag, der zu einer Sperrung der Axenstrasse bis am 13. September 2019 führte. Diese mehrwöchige Blockade führte zu massiven Verkehrseinschränkungen und -umleitungen in der Grossregion des Vierwaldstädtersees, verkehren doch bei offener Strasse im Schnitt 16'000 Fahrzeuge pro Tag auf dieser Zufahrtsachse zur Gotthardautobahn (Abbildung 1). Die Gemeinde Sisikon, durch welche die Axenstrasse führt, ist deshalb unter normalen Umständen wesentlich geprägt vom Durchgangsverkehr.

Die seltene Begebenheit der Strassensperrung und des damit verbundenen, stark reduzierten Verkehrsflusses versprach, den Einfluss dieses motorisierten Verkehrs auf Lärm und Lufthygiene im Dorf Sisikon zu quantifizieren. Daher startete das Urner Amt für Umweltschutz mit Unterstützung des Bundesamts für Strassen ASTRA ein Umweltmonitoring, mit dem während mehrerer Wochen ein Messcontainer beim Schulhaus betrieben wurde. Damit sollten spezifisch folgende Leitfragen untersucht werden:

- Wie verhalten sich ausgewählte Lärm- und Luftqualitätsparameter während der Sperrung sowie nach der Wiedereröffnung der Axenstrasse?
- Welchen Einfluss hat also der motorisierte Durchgangsverkehr auf die Lufthygiene und die Lärmsituation in Sisikon?

Die Messresultate und -auswertungen sind in diesem Abschlussbericht dargestellt. In Sisikon selber wurde die gesperrte Strasse zum Anlass für zwei Dorffeste genommen. Die Sperrung wurde ausserdem für Bauarbeiten am Strassenbelag genutzt.

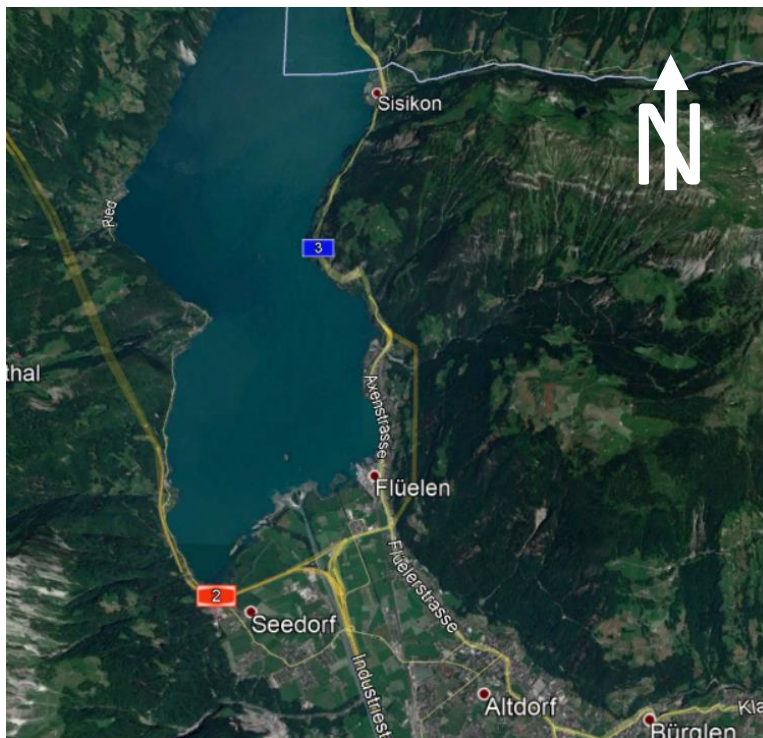


Abbildung 1: Der Urnersee mit der Axenstrasse am Ostufer zwischen Sisikon und Flüelen.

## 2 Methodik

### 2.1 Allgemeine Messtechnik

Der Messcontainer zur Erhebung der Luftqualitätsparameter wurde vom 16.08.2019 bis zum 03.10.2019, also während knapp sieben Wochen, an der Kantonsstrasse beim Schulhaus in Sisikon aufgestellt (Titelbild). Die Lärmmessungen starteten am 23.08.2019 (Tabelle 2). Damit umfassen alle Messungen sowohl eine Zeitperiode während der Strassenschliessung und damit mit sehr wenig Durchgangsverkehr als auch ein Zeitfenster bei geöffneter Axenstrasse mit hohem Durchgangsverkehr.

Alle in diesem Projekt verwendeten Messparameter sind in Tabelle 1 zusammengefasst, werden aber in den folgenden Unterkapiteln jeweils noch genauer beschrieben.

Die Strassensperrung wurde in Sisikon auch dazu genutzt, Arbeiten am Strassenbelag vorzunehmen. Diese Tätigkeiten können die Luft- und Lärmmessungen ebenfalls beeinflussen. 1) ohne nachträgliche Aggregation

2) Die Messungen wurden von der Firma «Acht Grad Ost AG» durchgeführt.

3) externer Bezug von MeteoSchweiz

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über alle wichtigen Daten.

Tabelle 1: Verwendete Messparameter bezüglich Luftqualität, Lärm und Meteorologie.

	Parameter	Messgerät	Auflösung <sup>1)</sup>
Luftqualität	PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub>	FIDAS® 200E	1 Minute
	NO <sub>x</sub> , NO	Thermo Scientific™ Model 42i	
	Russ	Aethalometer AE33	
Lärm	Dauerschallpegel L <sub>eq</sub>	Norsonic 140 <sup>2)</sup>	1 Sekunde
Meteorologie	Temperatur	Wettersensors WS300 (Lufft)	1 Minute
	Windrichtung, Windgeschwindigkeit	WNZ 37 (Meteolabor)	
	Niederschlag	<sup>3)</sup>	1 Stunde

1) ohne nachträgliche Aggregation

2) Die Messungen wurden von der Firma «Acht Grad Ost AG» durchgeführt.

3) externer Bezug von MeteoSchweiz

Tabelle 2: Detailinformationen zu den Sperrzeiten, den Bauarbeiten und den Umweltmessungen.

	Anfang	Ende	Bemerkungen
Luftmessungen	16.08.2019	03.10.2019	-
Lärmmessungen	23.08.2019	03.10.2019	-
Strassensperrung	28.07.2019 16:30	13.09.2019 14:00	erste Sperrung
	02.10.2019 23:00	12.10.2019 01:00	zweite Sperrung, nicht in Messintervall enthalten
Bauarbeiten	06.09.2019 08:00	06.09.2019 12:00	Fräsarbeiten, Einbau von Bindern
	07.09.2019 08:00	07.09.2019 10:00	Fräsarbeiten
	09.09.2019 07:00	09.09.2019 17:00	Einbau von Bindern, Deckbelag
	10.09.2019 10:30	10.09.2019 12:00	Deckbelag

## 2.2 Lärmdaten

Im Rahmen der Lärmmessungen wurde der äquivalente Dauerschallpegel  $L_{eq}$  erfasst. Für die quantitative und qualitative Lärmbeschreibung wurden verschiedene Lärmindikatoren benutzt (Tabelle 3).<sup>1</sup> Bei der Berechnung dieser Parameter wurden Datenpunkte bei Niederschlag oder während Bauarbeiten ausgeschlossen. Die Indikatoren wurden getrennt für die Periode vor und nach der Eröffnung der Axenstrasse sowie separat für Werktage und Wochenenden ermittelt.

Die in der Dateninterpretation verwendeten Referenzwerte für die Charakterisierung der Perioden mit Ruhe resp. mit begrenzter Störung (44 dB(A) und 59 dB(A)) wurden aus der Lärmschutzverordnung abgeleitet, welche auch im Anhang ausgeführt ist:

44 dB(A)      Planungswert Nacht von 45 dB(A) für Gebiete mit Empfindlichkeitsstufe II  
 59 dB(A)      Planungswert Tag von 60 dB(A) für Gebiete mit Empfindlichkeitsstufe II

Diese Werte gelten jedoch nur in der Mitte offener Fenster von lärmempfindlichen Räumen. Sie sind daher hier nicht direkt anwendbar, sondern als Referenz zu verstehen.

**Tabelle 3: Eigenschaften der benutzten Lärmindikatoren**

Indikator	Beschreibung	Einheit	Interpretation	Name in Grafiken
<b>Energetischer Mittelwert</b>	Energetischer Mittelwert aller 1s-Werte von $L_{eq}$ einer Stunde	dB(A)	Mass für die Stärke der Lärmbelastung während einer Stunde	Intensität
<b>Standardabweichung</b>	Standardabweichung über alle 1s-Werte von $L_{eq}$ einer Stunde	dB(A)	Variabilität der Lärmbelastung während einer Stunde	Variabilität
<b>Summe der Dauer der 'Ruheperioden'</b>	Summe der Dauer der Perioden, für welche $L_{eq}$ unterhalb eines bestimmten Referenzwertes (44 dB(A) bzw. 59 dB(A)) liegt	Sekunde	Anteil der Zeit mit Ruhe resp. mit einer begrenzten Störung während einer Stunde	Ruhe tot.
<b>Dauer der längsten 'Ruheperiode'</b>	Dauer der längsten Periode, für welche $L_{eq}$ unterhalb eines bestimmten Referenzwertes (44 dB(A) bzw. 59 dB(A)) liegt	Sekunde	Dauer des längsten Zeitintervalls mit Ruhe resp. mit einer begrenzten Störung während einer Stunde	Ruhe t max

## 2.3 Luftqualitätsdaten

Die grundlegende Idee hinter den Luftqualitätsmessungen ist es, den Einfluss des Verkehrs auf bestimmte Luftschadstoffe zu messen und zu quantifizieren. Für  $PM_{10}$ - und  $PM_{2.5}$ -Feinstaub ist allerdings aus vielen anderen Messungen bekannt, dass der Einfluss des Verkehrs höchstens schwach sichtbar ist.<sup>2</sup> Die Messparameter umfassen  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , Russ,  $NO_x$  und NO (Tabelle 1) sowie aus den beiden letztgenannten Parametern abgeleitet  $NO_2$ .

Die Luftqualitätsmessungen wurden mit meteorologischen Parametern ergänzt. Zu den meteorologischen Parametern gehören die Lufttemperatur, die Windrichtung und -stärke sowie der Niederschlag. Allerdings wurden die Niederschlagsdaten nicht vor Ort gemessen, sondern stammen von der rund

<sup>1</sup> IFEC ingegneria SA (2018). Altdorf WOV Lärmmonitoring - Auswertung der Lärmdaten der Pilot-Messungen (Oktober 2017 – Januar 2018).

<sup>2</sup> z.B. Ducret-Stich, R. (2013). Luftschadstoffbelastung entlang der Autobahn A2 und ihr Einfluss auf die Atemwegsgesundheit in der betroffenen Bevölkerung. Technischer Schlussbericht. Swiss TPH.

sieben Kilometer südlich gelegenen Messstation «Altdorf Gartenmatt» von MeteoSchweiz. Es wurde angenommen, dass die Niederschlagsverhältnisse an den zwei Standorten ähnlich sind.

Um den Effekt der Strassensperrung auf die Luftqualität zu ermitteln, wurden die folgenden Auswertungen durchgeführt (die Resultate werden im Kapitel 4 dargestellt).

#### Vergleich mit anderen Messstationen

Die Luftqualitätsdaten aus Sisikon wurden zuerst mit langfristigen Passivsammlermessungen in Sisikon (NO<sub>2</sub>) und Messdaten der permanenten Stationen «Altdorf, Gartenmatt» (NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>) sowie «Sedel» in Luzern (NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, Russ) verglichen. Es wurde angenommen, dass in Altdorf die meteorologischen Verhältnisse ähnlich sind wie in Sisikon. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch in Altdorf die Sperrung der Axenstrasse spürbar war. Aus diesem Grund sowie wegen fehlender Russmesswerte in «Altdorf, Gartenmatt» wurde zusätzliche die Station «Sedel» in Luzern in den Vergleich miteinbezogen. Diese Station ermöglicht es, auch grossräumige Wetterverhältnisse zu berücksichtigen und somit Rückschlüsse auf die lufthygienische Situation zu ziehen.

#### Vergleich mit gesetzlichen Grenzwerten

Zur Einordnung der gemessenen Konzentrationen wurden sie ausgewählten Grenzwerten aus der Luftreinhalte-Verordnung gegenübergestellt (Anhang). Dabei handelt es sich um Grenzwerte für Jahresmittelwerte. Da die hier beschriebenen Messungen deutlich weniger lange dauerten, sind die Grenzwerte nicht direkt anwendbar, sondern dienen lediglich als Hilfestellung für eine grobe Einordnung.

#### Vergleich der Messwerte zwischen offener und gesperrter Axenstrasse

Die Zeitreihen und statistischen Kennzahlen der Schadstoffkonzentrationen bei offener und geschlossener Strasse wurden miteinander verglichen. Dies erlaubt später auch einen Vergleich mit Literaturdaten aus ähnlichen Projekten.

#### Ergänzende Modellierung

Mit dem reinen Vergleich von Konzentrationsmittelwerten während und nach der Schliessung der Axenstrasse kann der Einflussfaktor des Verkehrs noch nicht ausreichend gut abgeschätzt werden, da die gemessenen Luftbelastungen neben dem Verkehr auch stark von meteorologischen und weiteren Einflüssen geprägt werden. Um die einzelnen Einflussfaktoren auf die Luftqualitätsparameter weiter zu untersuchen, wurde für NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und Russ ein lineares Tagesmodell angepasst, welche die Parameter «Verkehrszahlen», «Windgeschwindigkeit», «Niederschlag» und «Baustelle» enthalten. Das Modell berücksichtigt nur Daten zwischen dem 25. August und dem 3. Oktober, damit es sich um ein vollständiges und ausgeglichenes Datenset handelt. Das Signifikanzniveau  $\alpha$  beträgt 5%. Die jeweils verwendete lineare Gleichung für die drei Schadstoffe laute:

$$\ln(C_{NO_2 / PM_{10} / Russ}) \sim \ln(\text{Fahrzeuge}) + \ln(\text{Windgeschwindigkeit}) + \text{sqr}t(\text{Niederschlag}) + \text{Baustelle}$$

Dabei wird die Windgeschwindigkeit als Mass für die Luftverdünnung betrachtet. Alle erklärenden Variablen sind numerisch, ausser die Eingabe für die Baustelle, welche kategorial ist.

Die gewählten statistischen Methoden setzen als Grundvoraussetzung voraus, dass alle Messwerte untereinander unabhängig sind. Diese Voraussetzung wird bei den vorliegenden Zeitreihen nicht eingehalten. Das Modell ist zwar anwendbar, die Aussagekraft jedoch ein bisschen eingeschränkt<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Laut statistischem Dienst der ETH Zürich unterliegt das Modell wegen der Verletzung der Grundvoraussetzung gewissen Einschränkungen, ist aber trotzdem anwendbar (persönliche Kommunikation).

## 3 Hintergrundinformationen

### 3.1 Meteorologie

Der Monat August endete 2019 mit sommerlichen Temperaturen.<sup>4</sup> Anfang September fielen sie durch den Einfluss einer Kaltfront aus Westen. In dieser kühlen Phase führten Gewitter zu starken Niederschlägen. Daraufhin war das Wetter hochdruckbestimmt, warm und trocken. Nach für September aussergewöhnlich hohen Temperaturen Mitte des Monats endete der September wechselhaft.<sup>5</sup> Der Oktober startete kühl.<sup>6</sup> Die Windparameter waren generell unauffällig und zeigen in dieser Periode keine Föhnereignisse. Die zwei hiesigen Windphänomene «Ussewind» aus dem Nordwesten und der thermische Wind aus Riemenstaldnertal aus Osten sind deutlich zu sehen.<sup>7</sup> (Abbildung 2)

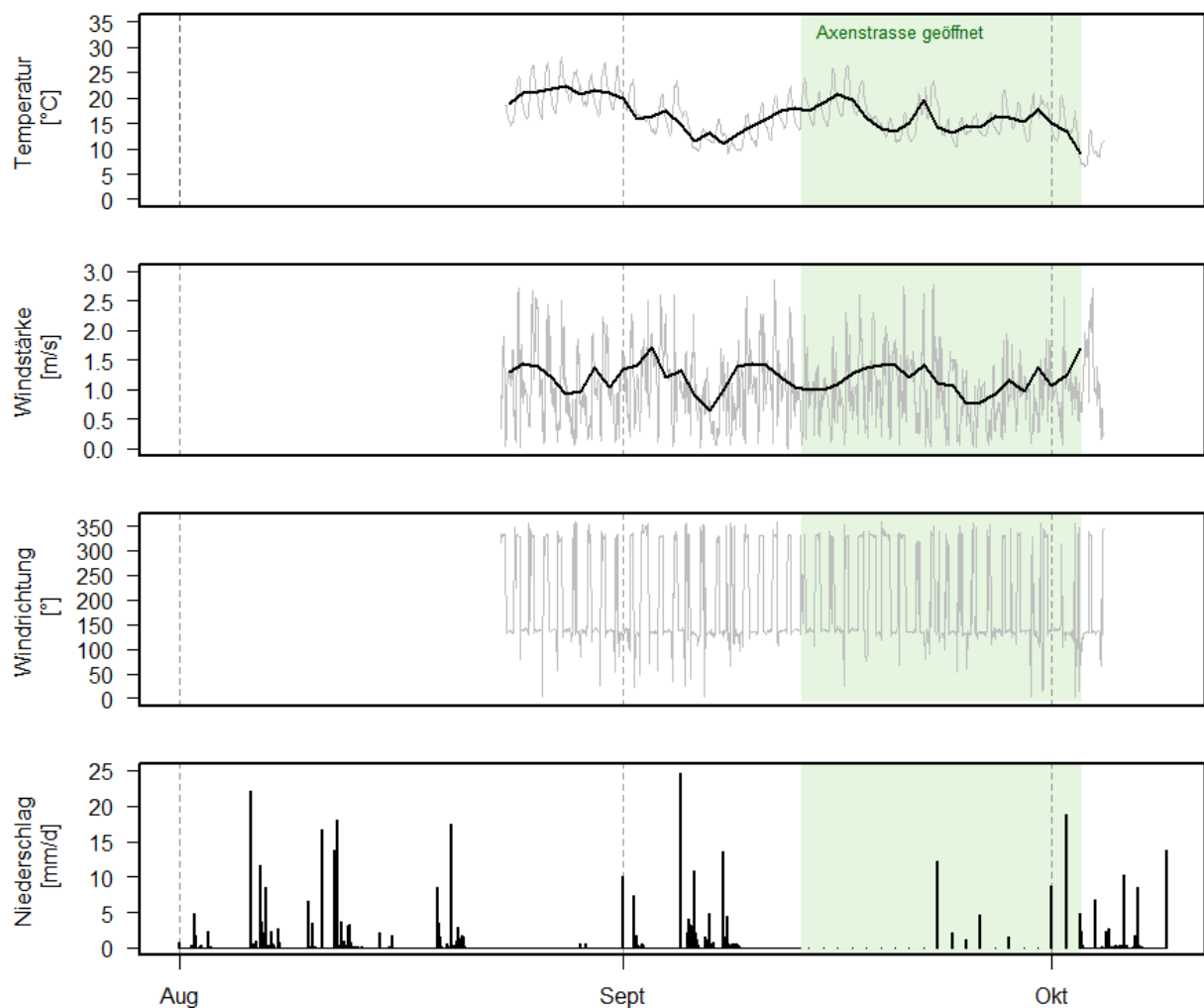


Abbildung 2: Meteorologische Daten in Sisikon (Temperatur, Wind) bzw. Altdorf (Niederschlag) zwischen August und Oktober 2019. Eine grüne Markierung steht für die geöffnete Axenstrasse, die Schliessung ist weiss hinterlegt. Die grauen Linien sind Stundendaten, die schwarzen Linien bzw. Balken Tagesdaten.

<sup>4</sup> MeteoSchweiz (2019). Klimabulletin August 2019.

<sup>5</sup> MeteoSchweiz (2019). Klimabulletin September 2019.

<sup>6</sup> MeteoSchweiz (2019). Klimabulletin Oktober 2019.

<sup>7</sup> inNET Monitoring AG (2020). Luftqualitätsauswertungen in Sisikon. Präsentation.



## 3.2 Verkehrsschätzungen

Für die Periode Sommer/Herbst 2019 sind keine realistischen Verkehrsdaten für Sisikon vorhanden, da das Verkehrsmessgerät am Standort 120 südlich von Sisikon nicht ordnungsgemäss funktionierte. Deshalb wurden das Verkehrsaufkommen (Anzahl Fahrzeuge in beide Richtungen pro Stunde) einerseits aus akustischen Peaks der Lärmmessung abgeleitet. Wo dies wegen Störgeräuschen wie Regen nicht möglich war, wurden die Verkehrszahlen ergänzend aus Daten der Vorjahresperiode abgeschätzt.<sup>8</sup>

Diese Schätzung zeigt damit zwar grosse Ungenauigkeiten, für die Verwendung der Verkehrszahlen in diesem Bericht ist die Qualität jedoch ausreichend. Der Unterschied im Verkehrsaufkommen zwischen geöffneter und geschlossener Strasse ist erwartungsgemäss deutlich zu sehen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

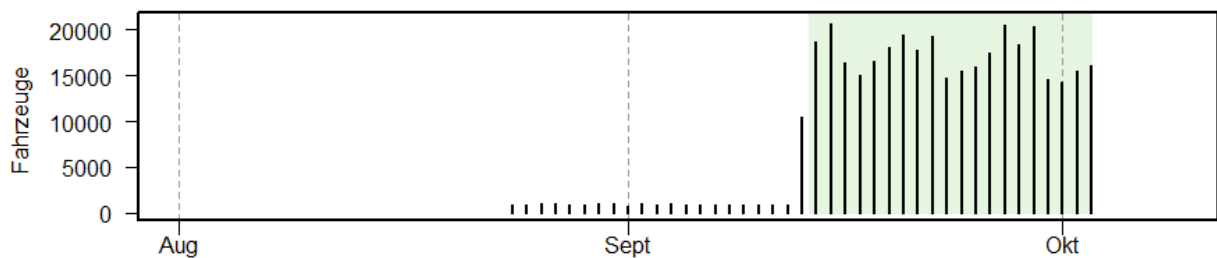


Abbildung 3: Geschätzte Verkehrsdaten in Tagesauflösung für Sisikon im gleichen Zeitraum wie die Meteodaten. Eine grüne Markierung steht für die geöffnete Axenstrasse, die Schliessung ist weiss hinterlegt.

Während der Sperrung der Axenstrasse waren ausschliesslich Fahrzeuge von Sisikon nach Norden oder umgekehrt unterwegs. Der gesamte Transitverkehr, der üblicherweise durch Sisikon fährt, wurde über andere Routen geführt.

<sup>8</sup> inNET Monitoring AG (2020). Luftqualitätsauswertungen in Sisikon. Präsentation.

## 4 Resultate

### 4.1 Lärm

#### Energetischer Mittelwert Lärmpegels

Der energetische Mittelwert des äquivalenten Dauerschallpegels ( $L_{eq}$ , Abbildung 4) zeigt, dass die Lärmbelastung sowohl bei offener als auch bei geschlossener Strasse einen zu den menschlichen Aktivitäten synchron verlaufenden Tagesgang aufweist. Der Unterschied zwischen den beiden Perioden ist allerdings deutlich: Die Lärmbelastung ist bei offener Axenstrasse sowohl während des Tags als auch in der Nacht durchschnittlich 9 dB(A) höher als bei gesperrter Axenstrasse. Diese Zunahme des Schallpegels entspricht einer Vervielfachung der Schallenergie um den Faktor 8, was eine sehr starke Änderung der akustischen Landschaft bedeutet.

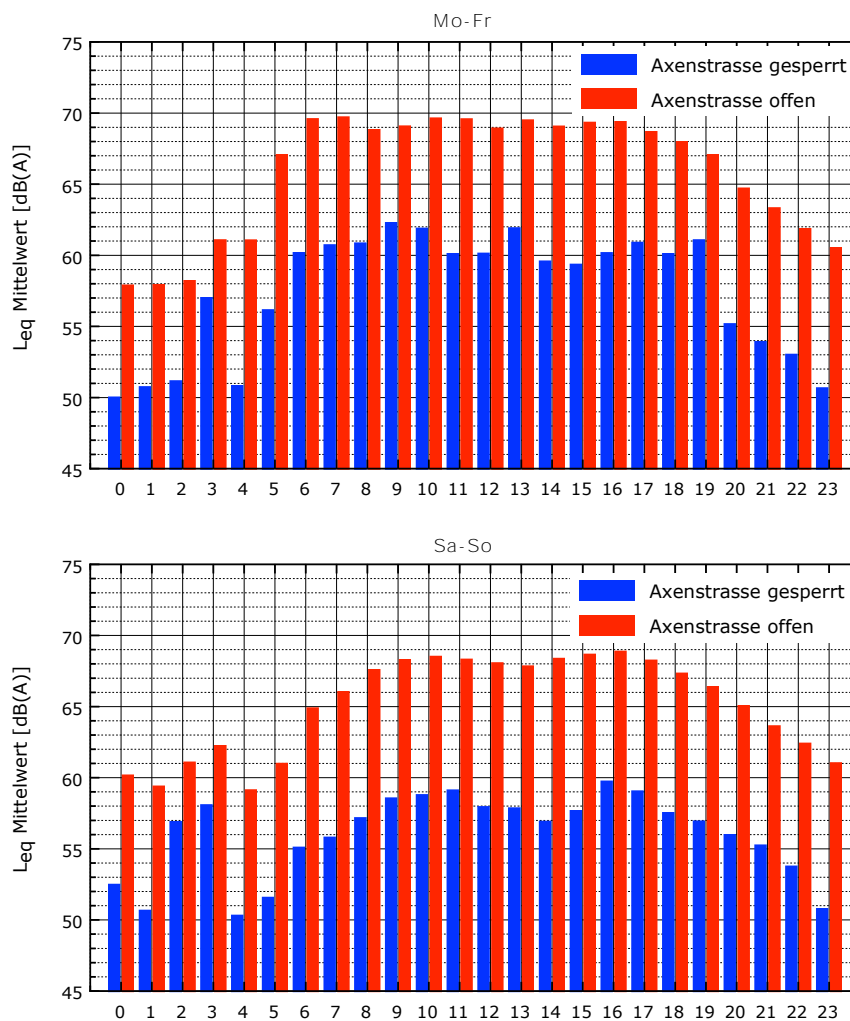


Abbildung 4: Lärmtintensität (energetischer Mittelwert) an Werktagen und am Wochenende sowie bei geöffneter und geschlossener Axenstrasse.

### Standardabweichung des energetischen Mittelwerts

Die Standardabweichung des energetischen Mittelwerts (Abbildung 5) beschreibt die Variabilität des Lärmpegels. Sie gilt als Mass für die Lärmqualität. Dabei stehen tiefe Werte für eine gleichmässige, monotone Geräuschkulisse, einzelne Durchfahrten von Fahrzeugen werden im Gesamtgeräusch der Strasse nur bedingt wahrgenommen. Demgegenüber bedeuten hohe Werte, dass einzelne Fahrzeuge deutlich wahrnehmbar sind und aus dem Hintergrundlärm herausstehen. Insgesamt ist die Lärmkulisse bei hohen Werten sehr wechselhaft.

Auch bei der Standardabweichung sind charakteristische Tagesverläufe erkennbar, welche aber für die zwei Messperioden entgegengesetzt verlaufen: Bei offener Axenstrasse reduziert sich die Variabilität des Lärmpegels während des Tages wegen des hohen und konstanten Verkehrs. Die mittlere Standardabweichung während des Tages beträgt 6.4 dB(A) an Werktagen und 5.2 dB(A) an Wochenendtagen. In der Nacht hingegen verursachen sporadische Durchfahrten von Fahrzeugen eine hohe Variabilität des Lärmpegels (8.0 dB(A) an Werktagen bzw. 7.4 dB(A) an Wochenendtagen). Bei geschlossener Strasse verkehren in der Nacht praktisch keine Fahrzeuge. Die Variabilität des Lärmpegels ist entsprechend tief mit 4.3 dB(A) an Werktagen bzw. 3.8 dB(A) an Wochenendtagen. Tagsüber erhöht sich hingegen die Variabilität auf 6.9 dB(A) (Werktagen) bzw. 6.4 dB(A) (Wochenendtage) aufgrund von sporadischen Durchfahrten.

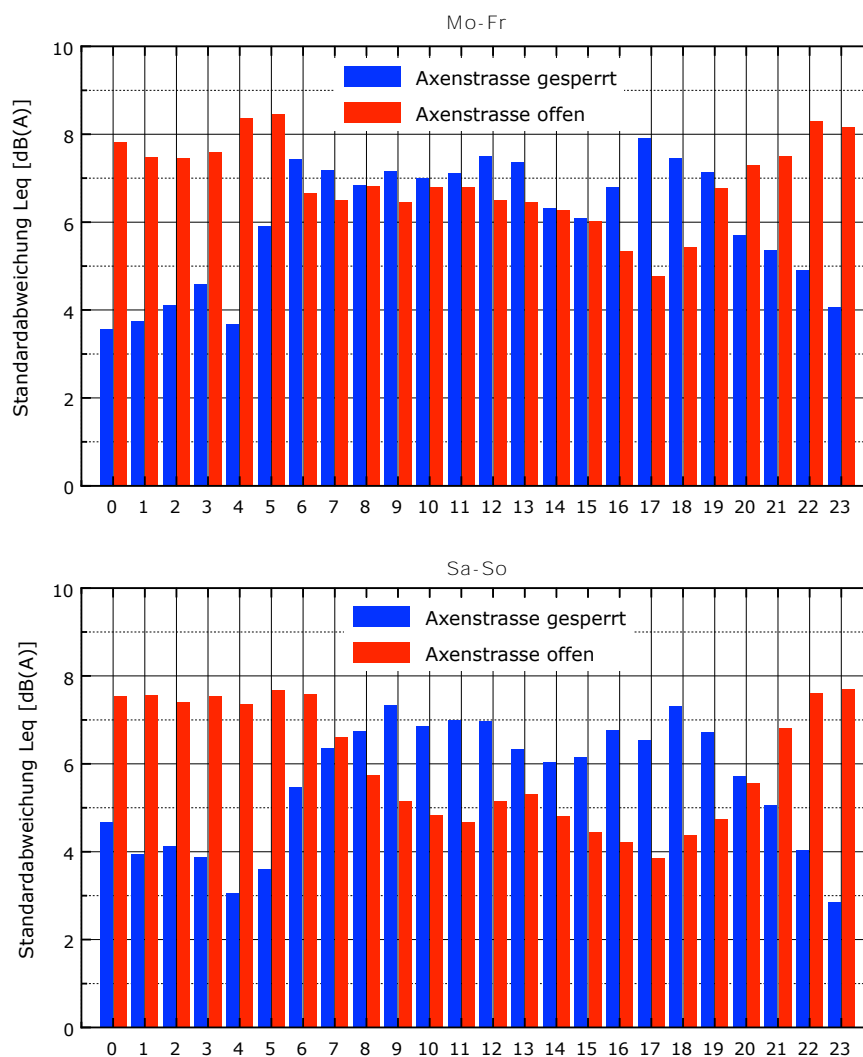


Abbildung 5: Lärmvariabilität (Standardabweichung) an Werktagen und am Wochenende sowie bei geöffneter und geschlossener Axenstrasse.

Generell trägt eine niedrige Lärmintensität in Verbindung mit einer niedrigen Variabilität zu einer höheren Lebensqualität bei. Insbesondere während der Nachtstunden führt eine niedrige Variabilität – wie es bei gesperrter Axenstrasse der Fall ist - zu weniger potenziellen Aufwachreaktionen und somit zu einer erhöhten Schlafqualität.

#### Summe der Dauer der «Ruheperioden»

Die summierte Dauer der Ruheperioden ist in Abbildung 6 für offene und gesperrte Strasse sowie für Werk- und Wochenendtage dargestellt. Generell nimmt die aufsummierte Dauer von Ruheperioden während der Morgenstunden ab und während der Abendstunden wieder zu. Der Unterschied zwischen offener und geschlossener Strasse ist beträchtlich, tagsüber noch einmal deutlicher als nachts.

Für die Auswertung wurde mit zwei unterschiedlichen Referenzwerten definiert, ab welchem Geräuschpegel von einer Ruheperiode ausgegangen wird: 59 dB(A) orientiert sich am Immissionsgrenzwert für eine Lärmempfindlichkeitsstufe II tags, 44 dB(A) am Planungswert für eine Lärmempfindlichkeitsstufe II nachts.

Bei offener Strasse bricht der Anteil an Ruheperioden, gemessen am Referenzwert von 59 dB(A), mit aufkommendem Verkehr in den Morgenstunden stark ein. Der mittlere Anteil Ruhe pro Tag (Referenzwert 59 dB(A)) sinkt von 90% bei gesperrter Strasse auf nur 39%, d.h. auf weniger als die Hälfte, bei offener Strasse.

Mit dem zweiten Referenzwertwert von 44 dB(A) sinkt dieser Anteil in den Morgenstunden sogar auf null. Dieser Effekt ist an befahrenen Wochenenden leicht stärker ausgeprägt als unter der Woche. Gemessen am Referenzwert von 44 dB(A), sinkt somit der mittlere Anteil Ruhe pro Tag von 33% bei gesperrter Strasse auf 8%, d.h. auf weniger als ein Drittel, bei offener Strasse (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Veränderung in der Dauer von Ruheperioden**

Referenzwert für die Definition «Ruheperiode»	Anteil Ruheperiode bei gesperrter Strasse	Anteil Ruheperiode bei offener Strasse
59 dB(A)	90 %	39 %
44 dB(A)	33 %	8 %

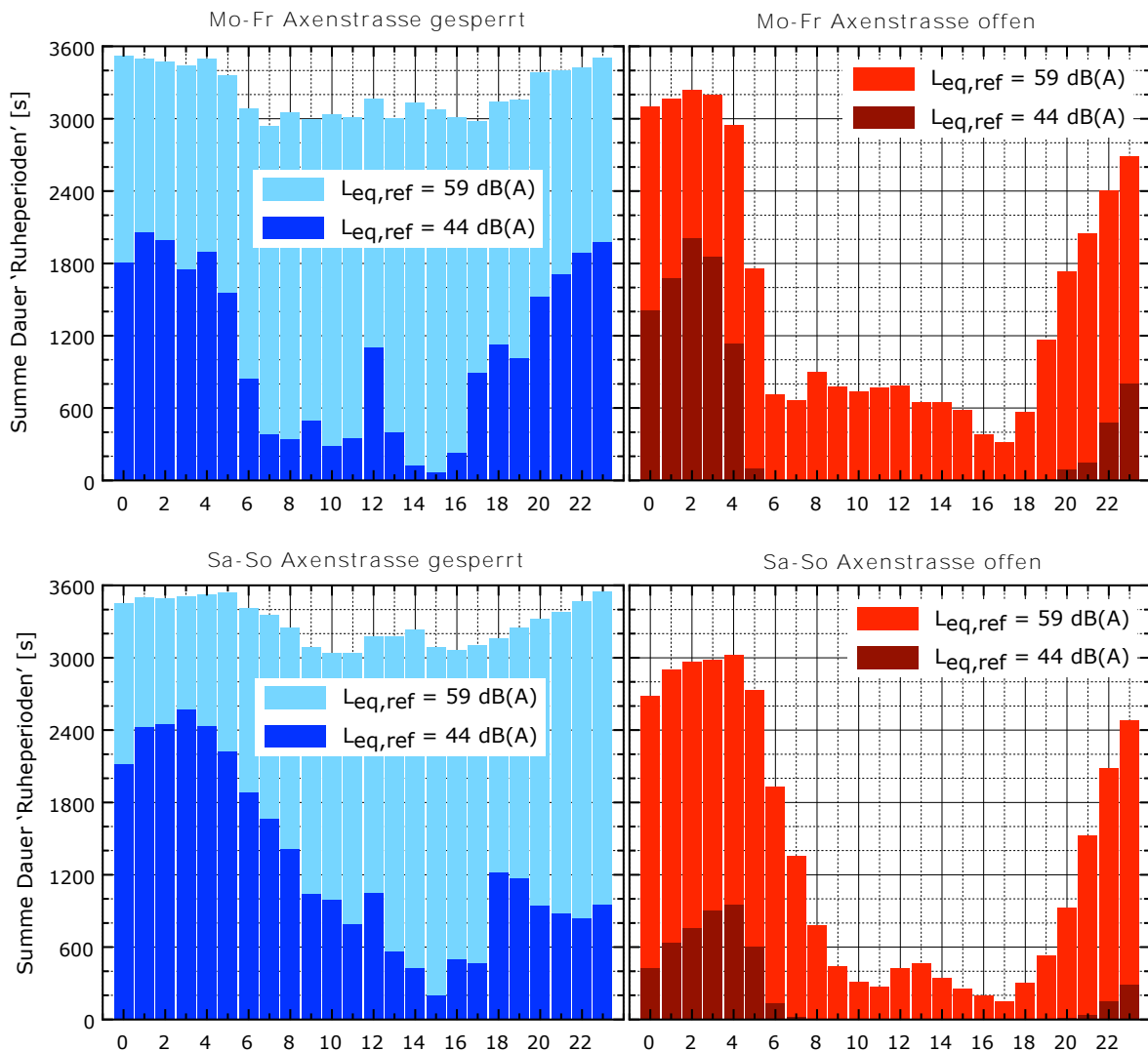


Abbildung 6: Summe der Dauer der Ruheperioden für zwei Referenzwerte, getrennt dargestellt für offene und gesperrte Strasse sowie Werk- und Wochenendtage.

### Dauer der längsten «Ruheperiode»

Auch der letzte berechnete Lärmparameter, die Dauer der längsten Ruheperiode pro Stunde (Abbildung 7), zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen gesperrter und offener Strasse. Bei gesperrter Strasse sind immer gewisse Ruheperioden vorhanden. Mit dem Referenzwert von 59 dB(A) beträgt die längste Ruheperiode pro Stunde auch tagsüber immer mindestens 5 Minuten, während in der Nacht Ruheperioden von 20 bis zu 30 Minuten. Bei offener Strasse sind diese Ruheperioden zu allen Tageszeiten deutlich kürzer und betragen für den Referenzwert von 59 dB(A) während des Tages nur wenige Sekunden, während für den Referenzwert von 44 dB(A) Ruheperioden tagsüber praktisch nicht auftreten. Im Vergleich zur gesperrten Strasse verkürzen sich die Ruheperioden für beide Referenzwerte bei offener Strasse im Schnitt um 86%.

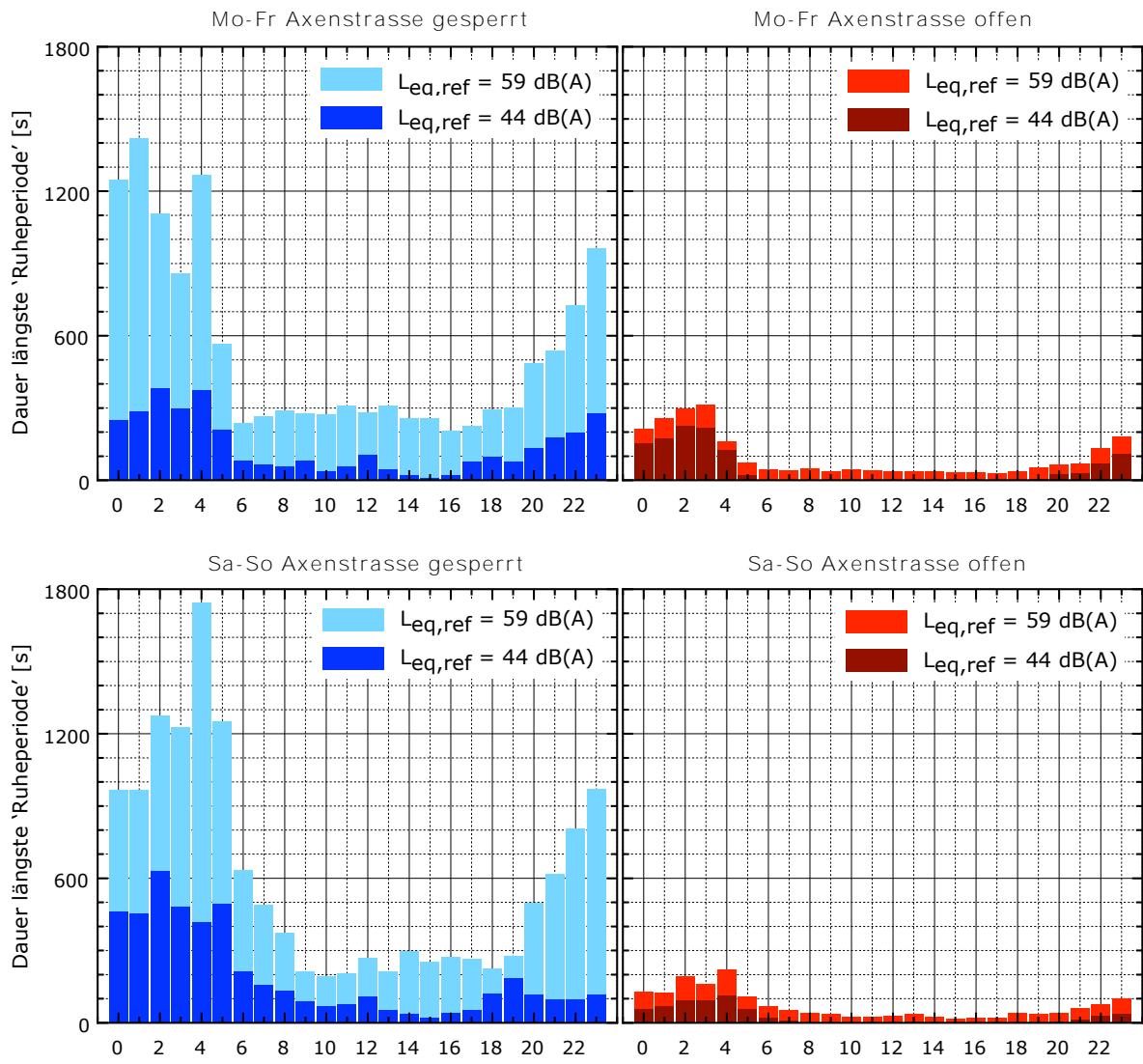


Abbildung 7: Dauer der längsten Ruheperiode für zwei Referenzwerte, getrennt dargestellt für offene und gesperrte Strasse sowie Werk- und Wochenendtage.

## 4.2 Luftqualität

Die Luftqualität in Sisikon wird zu einem grossen Teil vom Verkehr beeinflusst. Dabei reagiert allerdings nicht jeder einzelne Luftschadstoff gleich auf das Verkehrsaufkommen. Dies zeigt in einem ersten Schritt die grafische Analyse: In Abbildung 8 sind die Zeitreihen für die Luftschadstoffe  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  und Russ für Mitte August bis Anfang Oktober als Tages- als auch Stundendaten abgebildet. Zusätzlich sind die Perioden von Bauarbeiten und geöffneter bzw. geschlossener Strasse eingezeichnet. Die statistischen Kennzahlen für die Luftschadstoffe sind in Tabelle 5 angegeben.

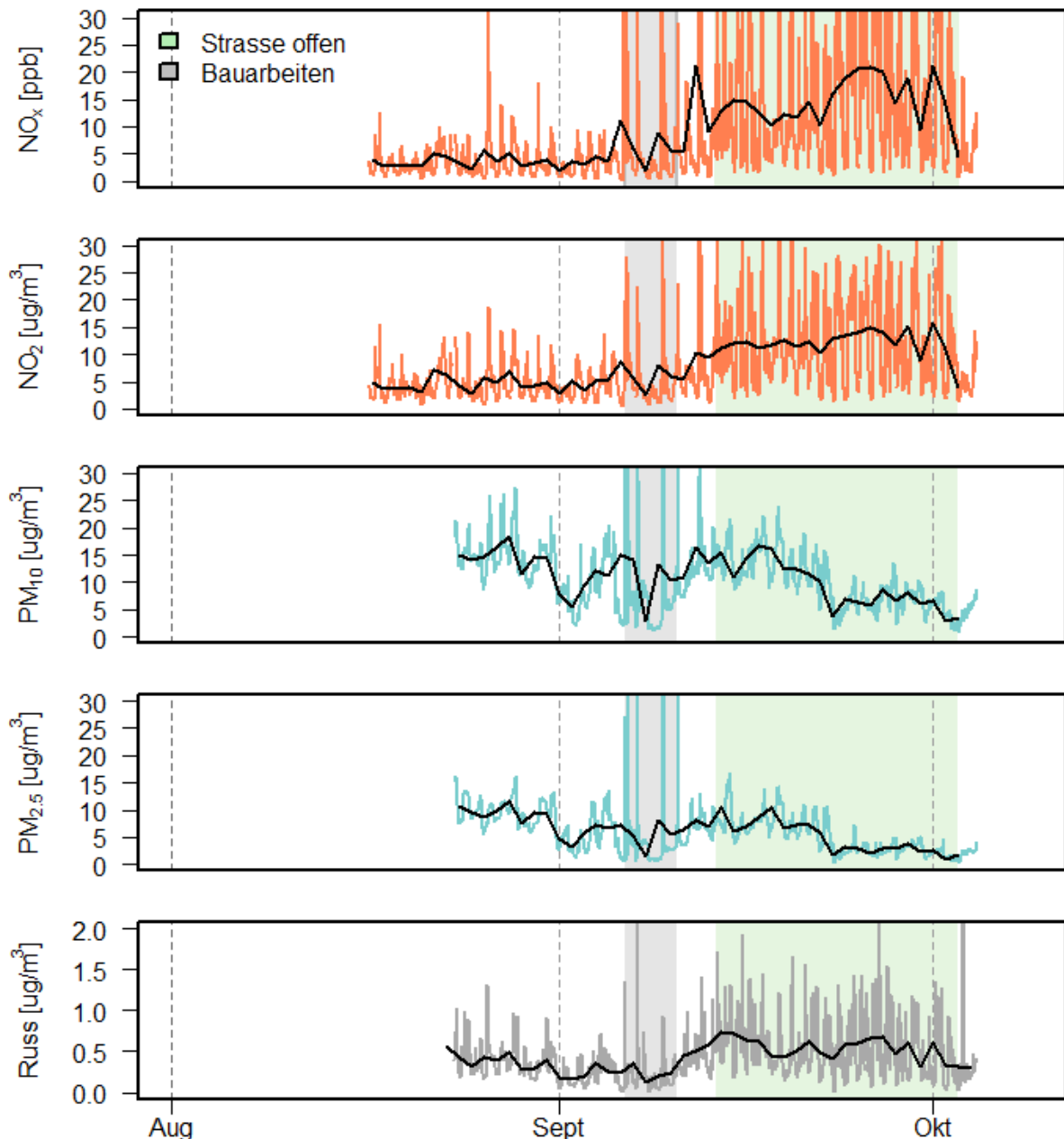


Abbildung 8: Luftqualitätsmessungen in Sisikon zwischen August und Oktober 2019. Eine grüne Markierung steht für die geöffnete Axenstrasse, die Schliessung ist weiss hinterlegt. Die graue Markierung zeigt die Bauarbeiten an. Die farbigen Linien sind Stundendaten, die schwarzen Linien Tagesdaten.

Tabelle 5: Mittelwerte von Luftqualitätsparametern bei geschlossener und offener Strasse.

	Mittelwert geschlossen <sup>1</sup>	Mittelwert offen	Differenz	Differenz [%] <sup>1</sup>	Standardabw. geschlossen <sup>2</sup>	Standardabw. offen
NO <sub>x</sub> [ppb]	5.44	15.19	+ 9.75	+ 179 %	10.86	12.41
NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	5.28	12.60	+ 7.31	+ 139 %	4.52	7.93
PM <sub>2.5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	6.90	5.12	- 1.78	- 26 %	4.36	3.32
PM <sub>10</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	11.93	9.73	- 2.20	- 18 %	6.96	4.77
Russ [µg/m <sup>3</sup> ]	0.31	0.56	+ 0.24	+ 81 %	0.22	0.37

<sup>1</sup> Der Mittelwert bei geschlossener Strasse wird für die Berechnungen als 100% genommen. Wird die offene Strasse als Referenz genommen, beträgt die prozentuale Differenz -64 % (NO<sub>x</sub>), -58 % (NO<sub>2</sub>), +35% (PM<sub>2.5</sub>), +23 % (PM<sub>10</sub>) und -45 % (Russ).

<sup>2</sup> Für die Berechnung der Standardabweichung wurden die Messwerte bei Bauarbeiten ausgeschlossen.

## Stickoxide

Die Verläufe der beiden Stickoxide NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> sind bei geschlossener Strasse auf tiefem Niveau (5.44 ppb bzw. 5.28 µg/m<sup>3</sup>). Sie zeigen während der Bauarbeiten einige kurze Peaks und steigen kurz vor der Öffnung der Axenstrasse an. Dieser Anstieg beträgt für NO<sub>x</sub> +179 %, derjenige für NO<sub>2</sub> +139 % (Tabelle 5). Dieser Unterschied im Konzentrationsniveau wird von zusätzlichen Daten bestätigt:

- Das unterschiedliche NO<sub>2</sub>-Niveau bei offener und geschlossener Strasse zeigt sich auch in den Passivsammlermessungen in Sisikon (Kapitel 6.2 im Anhang).
- Die NO<sub>x</sub>-Werte aus Sisikon wurden mit denjenigen der permanenten Messstation «Sedel» in Luzern und «Altdorf, Gartenmatt» verglichen. Auch hier zeigt sich, dass bei geschlossener Strasse die NO<sub>x</sub>-Werte in Sisikon im Vergleich mit den beiden anderen Stationen deutlich vermindert sind (Kapitel 6.2 im Anhang).
- Der Anstieg der NO<sub>x</sub>-Werte kurz vor der Strassenöffnung scheint im ersten Moment widersprüchlich. Er zeigt sich aber ebenfalls an den Vergleichsstationen. Für die Zunahme zu diesem Zeitpunkt sind also andere Parameter als der Verkehr verantwortlich.

Auffällig ist, dass bei geöffneter Strasse die Standardabweichungen für Stickoxide grösser sind (Tabelle 5) bzw. der Konzentrationsunterschied zwischen Tag und Nacht höher ist (orange Stundenwerte in Abbildung 8). Diese grössere Tag-Nacht-Variabilität entspricht den Erwartungen, da bei geöffneter Strasse die Stickoxid-Emissionen tagsüber, d.h. bei menschlicher Aktivität, höher sind als bei geschlossener Strasse.

Gleichzeitig liegen die NO<sub>2</sub>-Werte weit unter dem gesetzlich festgelegten Jahresmittelgrenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> (Kapitel 6.1 im Anhang).

## Feinstaub

Die Feinstaubwerte, gemessen als PM<sub>10</sub>- und PM<sub>2.5</sub>-Konzentrationen, reagieren hingegen nicht auf die Strassensperrung (Abbildung 8). Diese Beobachtung wird durch den statistischen Vergleich der Mittelwerte bestätigt (Tabelle 5), welche bei geschlossener Strasse sogar leicht höher sind als mit höherem Durchgangsverkehr. Für die PM<sub>10</sub>- bzw. PM<sub>2.5</sub>-Feinstaubkonzentration müssen also andere Parameter als der Verkehr ausschlaggebend sein. Dieser Befund deckt sich mit Erkenntnissen der letzten Jahrzehnte, wonach die vom Verkehr verursachten Feinstäube deutlich kleiner sind als PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> und sich daher mit diesen Parametern kaum erfassen lassen.

Auffällig sind einige kurze Peaks während der Bauarbeiten und ein Abfall im letzten Drittel des Oktobers (Abbildung 8). Ein Vergleich mit den meteorologischen Daten (Abbildung 2) zeigt, dass es in diesem Zeitraum vermehrt zu Niederschlag kam. Der Einbruch ist auch in den Feinstaubmessungen in «Sedel» und «Altdorf, Gartenmatt» zu sehen (Kapitel 6.2 im Anhang).



Die Feinstaubwerte weisen während der Bauarbeiten teilweise kurze Spitzenbelastungen auf. Diese sind aber nicht kritisch für die mittel- und langfristige Einhaltung der Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung.

### Russ

Die Russkonzentrationen in Abbildung 8 zeigen ebenfalls einen Anstieg kurz vor der Strasseneröffnung. Quantitativ beträgt dieser +81 %. Ein ähnlicher Anstieg ist aber auch in der Russkonzentration an der Vergleichsstation «Sedel» zu sehen, wohingegen die Werte dort kurz darauf wieder sinken und diejenigen in Sisikon auf hohem Niveau bleiben (Kapitel 6.2 im Anhang).

Die bei den Stickoxiden gemachte Beobachtung der erhöhten Standardabweichung bei offener Strasse (Tabelle 5) gilt auch für Russ. Die höheren Amplituden sind in den grau dargestellten Stundenwerten in Abbildung 8 zu sehen.

### Modellierung

Um den Anteil der einzelnen Einflüsse auf die Luftqualität bestimmen zu können, wurden eine Modellierung mit Daten von ausgewählten Luftschadstoffen in Tagesauflösung erstellt. Sie bestätigt die meisten Beobachtungen aus der grafischen Analyse. Die Signifikanz für den Einfluss wird dabei folgendermassen festgelegt:

p-Wert > 0.05	nicht signifikant
p-Wert < 0.05	leicht signifikant
p-Wert < 0.01	mittel signifikant
p-Wert < 0.001	hoch signifikant

Während die Anzahl Fahrzeuge bei NO<sub>2</sub> und Russ ein hoch signifikanter Parameter ist, hat dieser Faktor im PM<sub>10</sub>-Modell nur einen leichten Einfluss. Die letztere Aussage widerspricht aber den grafischen Beobachtungen bezüglich Einfluss des Verkehrs auf Feinstaubimmissionen, was wohl auf die Ungenauigkeiten in diesem besagten Modell zurückzuführen ist (R<sup>2</sup> = 0.48, Abbildung 9). Diese Modellaussage wird deshalb als falsch interpretiert.

Dafür spielt der Niederschlag für die PM<sub>10</sub> Konzentration eine hoch signifikante Rolle, wie schon in der grafischen Analyse sichtbar wurde (Abbildung 8). Die Windgeschwindigkeit als Variable für die Luftverdünnung ist bei Russ stark signifikant. Die Baustelle zeigt im Tagesmodell nur bei NO<sub>2</sub> eine (geringe) Signifikanz. Im ebenfalls angewandten Stundenmodell<sup>9</sup> aber ist die Baustelle sowohl für PM<sub>10</sub> als auch für NO<sub>2</sub> relevant, was eventuell an der jeweiligen kurzen tatsächlichen Arbeitsdauer liegt, welche auf Tagesbasis nicht abgebildet wird.

	R <sup>2</sup>	# Fahrzeuge	Wind-V	Niederschlag	Baustelle
NO <sub>2</sub>	0.71				
PM <sub>10</sub>	0.48				
Russ	0.70				

Hoch signifikant ***
Mittel signifikant **
Leicht signifikant *

Abbildung 9: Signifikanzen der Einflussfaktoren aus dem linearen Tagesmodell. Das Signifikanzniveau  $\alpha$  beträgt 5%. Die angepasste lineare Gleichung lautet:  $\ln(c) \sim \ln(\text{Fahrzeuge}) + \ln(\text{Windgeschwindigkeit}) + \sqrt{\text{Niederschlag}} + \text{Baustelle}$ .

<sup>9</sup> inNET Monitoring AG (2020). Luftqualitätsauswertungen in Sisikon. Präsentation.

## 5 Diskussion und Fazit

Der Verkehr hat einen wesentlichen Einfluss auf die Luft- und Lärmsituation in Sisikon. Unterschiede zwischen den beiden Messperioden – also bei geschlossener und offener Strasse – sind in den Lärm- und Luftqualitätsmessdaten zu sehen.

Bezüglich Lärm ist es generell sehr viel leiser ohne den Durchgangsverkehr und die Ruheperioden sind deutlicher ausgeprägter. Nachts ist es ohne Durchgangsverkehr ruhig. Dafür nimmt das Störpotenzial tagsüber nicht im gleichen Ausmass ab wie der Lärmpegel, da bei geschlossener Strasse einzelne Fahrzeuge viel mehr auffallen als beim homogenen (aber auch lauterem) Geräusch bei offener Strasse. Vergleiche mit einem ähnlichen Messprojekt in Altdorf zeigen, dass es Parallelen zwischen den Indikatoren bei offener Axenstrasse und den Indikatoren des Standorts Schmiedgasse (SMG) in Altdorf gibt.<sup>10</sup> Dieses Resultat ist konsistent mit der Tatsache, dass beide Standorte durch einen starken Durchgangsverkehr charakterisiert sind.

Auch bezüglich Lufthygiene spielt der Verkehr eine wesentliche Rolle – allerdings nicht für alle Luftschadstoffe in gleichem Masse. Auf die Luftkonzentrationen von Stickoxiden hat der Verkehr einen grossen Einfluss, was sowohl in den grafischen Vergleichen als auch den linearen Modellen sichtbar wird ( $\text{NO}_2$ :  $p < 0.001$ ).  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  «sinken» bei Strassenschliessung um -64 bzw. -58 % (Fussnote in Tabelle 5). Diese Beobachtungen decken sich sehr gut mit einer vergleichbaren Messkampagne: Bei der Schliessung des Gotthardstrassentunnels 2006 wurden in Erstfeld ebenfalls bei offener und geschlossener Strasse Messungen bezüglich Lufthygiene durchgeführt.<sup>11</sup> Für  $\text{NO}_x$  wurde damals bei Strassenschliessung eine Reduktion von -64 % verzeichnet, für  $\text{NO}_2$  -60 %.

Auf die Feinstaubkonzentration hat der Verkehr in den Messungen in Sisikon jedoch keinen Einfluss. Die bei den Gotthardmessungen festgestellte, leichte Reduktion bei den  $\text{PM}_{10}$  Werten (-10 %), konnte in der vorliegenden Arbeit also nicht festgestellt werden. Vielmehr spielt der Niederschlag in Sisikon die entscheidende Rolle ( $p < 0.01$ ).

Bei Russ scheinen sowohl der Verkehr als auch die meteorologischen Parameter wichtig zu sein: Im Tagesmodell schlagen die drei Einflussvariablen Verkehr, Windgeschwindigkeit als auch Niederschlag an. Die Russbelastung sinkt bei Schliessung der Strasse um 45 %.

---

<sup>10</sup> IFEC ingegneria SA (2018). Altdorf WOV Lärmmonitoring - Auswertung der Lärmdaten der Pilot-Messungen (Oktober 2017 – Januar 2018).

<sup>11</sup> Kantonale Umweltschutzämter GR/TI/UR, Ostluft, BAFU (2006). Umleitung Gotthard 2006. Auswirkungen der Verkehrsverlagerung auf die Luftbelastung entlang den Alpentransitachsen A2 und A3/A13.

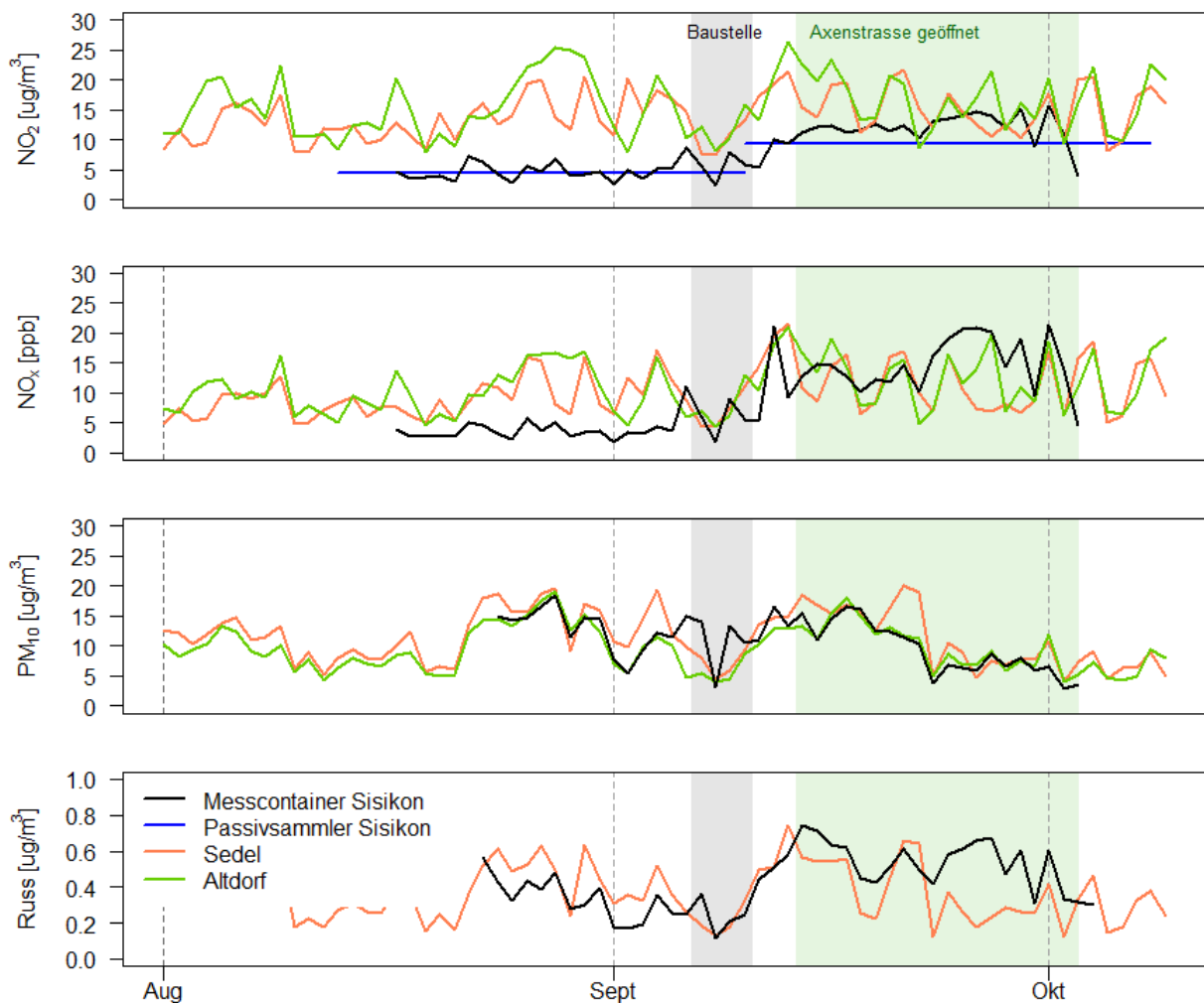
## 6 Anhang

### 6.1 Immissionsgrenzwerte aus der LRV für NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub>.

Schadstoff	Immissions-Grenzwert	Statistische Definition
Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	30 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	100 µg/m <sup>3</sup>	Mindestens 95 % der 1/2h-Mittelwerte eines Jahres ≤ 100 µg/m <sup>3</sup>
	80 µg/m <sup>3</sup>	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	20 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)
	50 µg/m <sup>3</sup>	24h-Mittelwert; darf höchstens einmal pro Jahr überschritten werden
Feinstaub (PM <sub>2.5</sub> )	10 µg/m <sup>3</sup>	Jahresmittelwert (arithmetischer Mittelwert)

### 6.2 Lufthygiene: Standortvergleiche

Mit NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessungen aus Sisikon sowie Vergleichsmessungen an der Messstationen «Sedel» und «Altdorf Gartenmatt» (siehe Kapitel 2.3).



## 6.3 Belastungsgrenzwerte aus der Lärmschutzverordnung

### 2 Belastungsgrenzwerte

Empfindlichkeitsstufe (Art. 43)	Planungswert		Immissions- grenzwert		Alarmwert	
	Lr in dB(A)		Lr in dB(A)		Lr in dB(A)	
	Tag	Nacht	Tag	Nacht	Tag	Nacht
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

## 6.4 Grundlegende und ergänzende Dokumente

- inNET Monitoring AG (2020). Luftqualitätsauswertungen in Sisikon. Präsentation.
- ifec (2019). Lärmauswertungen in Sisikon. Präsentation.
- ifec (2020). Umweltbeobachtung Sisikon - Auswertung der Lärmdaten. Abschlussbericht. Dokumentennummer 41-0006 B\_INN01.

## 6.5 Auftragnehmer

Die Lärmmessungen selbst wurden von «Acht Grad Ost AG» durchgeführt. Die Erarbeitung der Lärmparameter mit der dazugehörigen Auswertung führte «ifec» aus.

Die Luftqualitätsmessungen und deren Datenanalyse wurde von der «inNET Monitoring AG» realisiert.