

Empa

Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11

www.empa.ch



Empa

Materials Science and Technology

Studie: Lärmdisplay – Lärmwirkung Metaanalyse 2022

Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5214.029297

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Anzahl Seiten inkl. Beilagen: 96

Autoren: Axel Heusser, Kurt Heutschi

Dübendorf, 20. September 2022

Projektleiter

**Kurt
Heutschi**

Dr. Kurt Heutschi

Digital unterschrieben
von Kurt Heutschi
Datum: 2022.09.20
16:40:38 +02'00'

Akustik / Lärminderung

Abteilungsleiter

**Jean-Marc
Wunderli**

Dr. Jean-Marc Wunderli

Digital unterschrieben von
Jean-Marc Wunderli
Datum: 2022.09.27 07:33:56
+02'00'

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Auftrag	3
2	Analysierte Pilotversuche	4
3	Datenauswertung	6
4	Ergebnisse	7
4.1	Mathematische Grundlagen	7
4.1.1	Durchschnitt (= Mittelwert)	7
4.1.2	Median	7
4.1.3	Modus	7
4.1.4	Perzentil	7
4.2	Perzentildifferenzen	7
4.2.1	Phase 2 – Phase 1	8
4.2.2	Phase 3 – Phase 1	12
4.3	Spontane Verhaltensänderung	16
4.4	Standortspezifische Emissionsmodelle	17
4.5	Standortspezifische Schallpegelverteilungen	18
5	Fazit	19
6	Anhang	20
6.1	Tagesverläufe der Perzentilschallpegel	20
6.2	Tagesverläufe der Perzentilgeschwindigkeiten	54
6.3	Phasendifferenzen Perzentilschallpegel und -geschwindigkeiten	88
6.4	Modellparameter a und b	96

1 Ausgangslage und Auftrag

Das BAFU prüft Möglichkeiten zur Sensibilisierung von Fahrzeugführerinnen und -führern hinsichtlich des von ihnen verursachten Lärms bei hochtouriger Fahrweise im siedlungsnahen Gebiet mit dem Ziel, laute und dadurch besonders ruhestörende Einzelereignisse zu reduzieren. Eine Möglichkeit können Lärmdisplays bieten, die unmittelbar ein allfälliges Überschreiten einer Schallpegelschwelle anzeigen. Im Rahmen von temporären Pilotversuchen wurden in den letzten zwei Jahren schweizweit mehrere Lärmdisplays von INNOLUTIONS aufgestellt. Die Versuche wurden jeweils messtechnisch begleitet, um eine mögliche Wirkung zu dokumentieren.

Mit dem Ziel, eine allgemeingültige Aussage zur Wirkung von Lärmdisplays zu formulieren, beauftragte das BAFU die Empa, Abteilung Akustik mit einer einheitlichen Analyse sämtlicher Pilotversuche.

Als Auswertungen sind folgende Analysen vorgesehen:

- Einfluss der Lärmdisplays auf die Lärmemissionen
(bspw. Mittelwerte der Geschwindigkeits- und Schalldruckpegelperzentilwerte)
- Einfluss der Lärmdisplays auf die Geschwindigkeit
- Erstellen von standortspezifischen Emissions-Geschwindigkeitsmodellen
- Erstellen von Pegelverteilungen
- Ermitteln von Perzentilpegeln

wobei folgende Aspekte bei der Auswertung berücksichtigt werden:

- Witterungseinflüsse (Ausschluss von Regenereignissen)
- Getrennte Auswertung der Vor-, Während-, und Nachherphase mit Vergleich der Phasen
(Pegeldifferenzen)
- Getrennte Auswertung für die Kategorien PW und Motorräder
- Getrennte Auswertung für Fahrzeuge ohne und Fahrzeuge mit Display-Hinweis zu leiserem Fahren

2 Analyisierte Pilotversuche

Tabelle 1 zeigt in einer Übersicht jene Pilotversuche, für welche mit dem System von Innolutions erfasste Messdaten zur Verfügung standen. Von diesen 27 Kampagnen wurden 20 mit ausschliesslich einem Innolutions-Messpunkt mit Display betrieben, bei 7 Kampagnen wurde der Display-Messpunkt durch einen weiteren, in Fahrtrichtung abgesetzten Innolutions-Messpunkt ergänzt, um so direkt eine potenziell durch das Display provozierte geänderte Fahrweise zu beobachten. 24 Standorte befanden sich an Abschnitten mit einer signalisierten Geschwindigkeit von 50 km/h, 3 Standorte waren an Strecken mit Tempo 80 eingerichtet. Bei 13 Kampagnen war das Display während des ganzen Versuchs aktiviert. An 14 Standorten wurden ein oder zwei Messpunkte auch während Perioden vor und nach einer Phase mit Display betrieben.

Tabelle 1: Übersicht der analysierten DD.Lärm-Versuche.

Standort	Limit [km/h]	Messpunkt 1 (Display)	Messpunkt 2 (nach Display)	Messung erfolgt	Display aktiv
Bellinzona Via al Ticino	50	x		21.05. - 08.06.2021	21.05. - 08.06.2021
Bellinzona Via Lugano	50	x		11.06. - 24.06.2021	11.06. - 24.06.2021
Bellinzona Via Zorzi	50	x		29.04. - 11.05.2021	29.04. - 11.05.2021
Bern Bundesgasse	50	x	x	03.11. - 30.11.2020	09.11. - 23.11.2020
Brugg	50	x	x	27.07. - 10.11.2021	27.09. - 21.10.2021
Bulle Rue de Vevey	50	x	x	03.09. - 04.10.2020	11.09. - 25.09.2020
Caslano Via Cantonale	50	x		02.07. - 18.08.2021	02.07. - 14.07.2021 06.08. - 18.08.2021
Filzbach Kerenzerbergstrasse	50	x		12.05. - 25.05.2021	19.05. - 25.05.2021
Genf Avenue Wendt	50	x		02.06. - 26.06.2020	08.06. - 21.06.2020
Glarus Kirchweg	50	x		09.06. - 22.06.2021	16.06. - 22.06.2021
Küttigen	50	x	x	25.06. - 20.09.2021	25.07. - 19.08.2021
Lausanne Av. de Tivoli	50	x		19.10. - 25.10.2020	19.10. - 25.10.2020
Lausanne Av. d'Ouchy	50	x		02.11. - 08.11.2020	02.11. - 08.11.2020
Lausanne Av. du Lemman	50	x		09.11. - 15.11.2020	09.11. - 15.11.2020
Lausanne Chemin du Reposoir	50	x		16.11. - 22.11.2020	16.11. - 22.11.2020
Lausanne Rue Centrale	50	x		05.10. - 11.10.2020	05.10. - 11.10.2020
Lausanne Rue de Genève	50	x		26.10. - 01.11.2020	26.10. - 01.11.2020
Lausanne Rue de la Borde	50	x		23.11. - 29.11.2020	23.11. - 29.11.2020
Lausanne Rue du Bugnon	50	x		12.10. - 18.10.2020	12.10. - 18.10.2020
Meiringen Brünigpassstrasse	80	x	x	13.07. - 23.08.2021	27.07. - 10.08.2021
Metzerlen 1	50	x		19.08. - 15.09.2019	30.08. - 05.09.2019
Metzerlen 2	50	x	x	04.07. - 26.07.2020	10.07. - 20.07.2020
Niederurnen Ziegelbrückstrasse	50	x		12.05. - 25.05.2021	19.05. - 25.05.2021
Oberhof	80	x	x	24.03. - 22.07.2021	28.04. - 01.07.2021
Russin Route de Verbois	80	x		20.10. - 22.11.2020	20.10. - 22.11.2020
Schwanden Spittel	50	x		09.06. - 22.06.2021	16.06. - 22.06.2021
Sion Rue du Rawil	50	x		20.04. - 26.04.2021	20.04. - 26.04.2021

Typ 1

Typ 2

Typ 3

Typ 4

Die Standort-Typen werden in Kapitel 3 beschrieben.

Die Messdauer betrug standortabhängig 1–18 Wochen, während welcher 10'000 bis 500'000 Vorbeifahrten erfasst wurden. Nach Ausschluss fehlerhafter Messungen (Schallpegel = 0, keine Zahl oder ausserhalb des sinnvollen Wertebereichs), Daten von Regentagen (≥ 1 mm/Tag) und Vorbeifahrten von Fahrzeugen anderer Kategorien als Motorrad und PW, sind über 1.5 Millionen Vorbeifahrten in die Analyse eingeflossen.

Um die Vorbeifahrten an den abgesetzten Messpunkten 2 denen am Displaymesspunkt 1 zuzuordnen, kam ein eigens entwickelter Matching-Algorithmus zum Einsatz: Aus der am Messpunkt 1 per RADAR gemessenen Geschwindigkeit eines Fahrzeugs und dem Abstand zwischen den Messpunkten 1 und 2 wird ein Zeitfenster berechnet, innerhalb dessen die Vorbeifahrt desselben Fahrzeugs an Messpunkt 2 erwartet wird. Passieren in diesem Zeitfenster mehrere Fahrzeuge derselben Kategorie den Messpunkt 2, wird diesen der Wert einer Wahrscheinlichkeitsfunktion zugeordnet. Falls mehreren Fahrzeugen dieselbe Wahrscheinlichkeit zugeordnet wurde, wird die zuerst registrierte Vorbeifahrt gewählt. Dies geschieht unter der Annahme, dass das nachfolgende Fahrzeug das vorausfahrende zwischen den Messpunkten nicht überholt. Beispiele hierfür sind versetzt fahrende Motorrad-Gruppen und zu dicht auffahrende Fahrzeuge (Drängler). Die zeitliche Auflösung der Messdaten beträgt 1 s. Der Fall der Zuordnung derselben Wahrscheinlichkeit tritt bei kurz nacheinander folgenden Fahrzeugen ein, wenn sie innerhalb derselben Sekunden an Messpunkt 1 und 2 registriert werden.

Die kumulative Matchingrate beträgt 81% und ist standortabhängig. Die automatische Fahrzeugkategorisierung per RADAR-Daten tendiert im dichten städtischen Verkehr, vermutlich aufgrund der Überschneidung mehrerer Fahrzeuge, zu einer höheren Fehlerrate, woraus die geringe Matchingrate von 57% für Bern folgt.

Im Zeitraum vom 25. bis 31. Mai 2021 war die akustische Sensorik von Messpunkt 2 in Oberhof defekt (siehe Abbildung 48). Die Schallpegel der Vorbeifahrten in diesem Zeitraum wurden von der Analyse ausgeschlossen.

Abbildung 1 zeigt die Anzahl der gültigen PW- und Motorrad-Vorbeifahrten an allen Standorten.

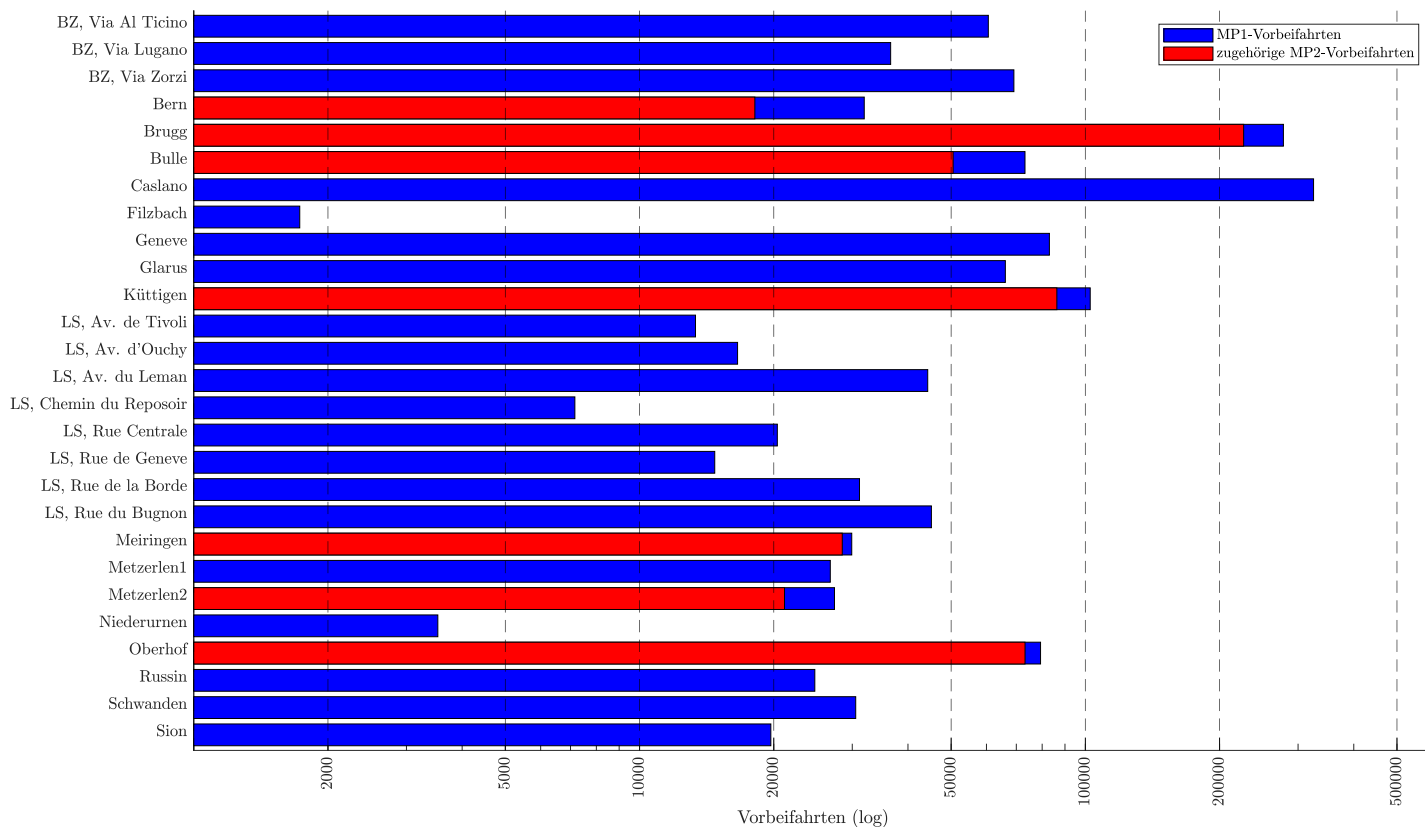


Abbildung 1: Anzahl der Vorbeifahrten (logarithmische Achse) an den Messpunkten 1 (blau) und zugehörige Vorbeifahrten an Messpunkt 2 (rot) bei allen 27 Standorten.

3 Datenauswertung

Aus der Datenauswertung werden Regentage mit kumuliertem Niederschlag ≥ 1 mm ausgeschlossen. Sämtliche Analysen werden getrennt für die Fahrzeugkategorien PW und Motorrad vorgenommen und beziehen sich sowohl auf den gemessenen Schallpegel als auch die gefahrene Geschwindigkeit. An allen Standorten werden spezifische Modelle erstellt, welche die von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängige Schallpegeländerung abbilden. Da die akustischen Messsysteme der Messpunkte nicht kalibriert waren, lassen sich keine absoluten Werte ableiten, weshalb diese Modelle auf 50 km/h normiert wurden. Die eingestellten Triggerschallpegel an den Standorten Filzbach, Glarus, Niederurnen und Schwanden sind nicht bekannt. An diesen Standorten wurde der Standardwert 83 dB angenommen. Dieser Pegel ist jedoch so hoch, dass er, je nach Standort, nie bis maximal viermal erreicht oder überschritten wurde. Somit ist die statistische Aussagekraft zur Wirkung des DD.Lärm an diesen Standorten nicht gegeben.

Die in Tabelle 1 aufgelisteten Pilotversuche stellen Daten in folgenden Typen dar:

1. Standorte mit einem Messpunkt kurz vor dem Display (Messpunkt 1) sowie einem zusätzlichen Messpunkt 2 in Abständen von 70 bis 500 m nach dem Display und den drei Phasen vor, während und nach aktivem Display
2. Standorte mit nur Messpunkt 1 und den drei Phasen vor, während und nach aktivem Display
3. Standorte mit nur Messpunkt 1 und den zwei Phasen vor und während aktivem Display
4. Standorte mit nur Messpunkt 1 und durchgängig aktivem Display
 - Caslano mit nur Messpunkt 1 und den drei inversen Phasen während, nach und wieder während aktivem Display

An den 7 Standorten vom Typ 1 können durch Vergleichen der verschiedenen Phasen mit Bezug auf die Vorhermessung

- Wirkungen während aktivem Display
- Wirkungen nach deaktiviertem oder entferntem Display

am Displaymesspunkt und am nachgesetzten Messpunkt 2 analysiert werden. Dies erfolgt durch die Auswertung der Phasen-Differenzen von 1%-, 5%-, 10%-, 20%- und 50%-Perzentilen der gefahrenen Geschwindigkeit und erreichten Schallpegel. Zusätzlich wird analysiert, ob zu schnell oder zu laut fahrende durch die Meldung am Display zu einem anderen Verhalten am Kontrollpunkt motiviert werden.

An beiden Standorten vom Typ 2 können durch Vergleichen der verschiedenen Phasen mit Bezug auf die Vorhermessung

- Wirkungen während aktivem Display
- Wirkungen nach deaktiviertem oder entferntem Display

nur am Displaymesspunkt analysiert werden. Dies erfolgt ebenfalls durch die Auswertung der Phasen-Differenzen von 1%-, 5%-, 10%-, 20%- und 50%-Perzentilen der gefahrenen Geschwindigkeit und erreichten Schallpegel.

An 4 Standorten vom Typ 3 können nur die Phase 1, bevor das Display aktiv war, und Phase 2 mit aktivem Display am Displaymesspunkt verglichen werden.

An 13 Standorten vom Typ 4 können keine direkten Wirkungen beobachtet, sondern lediglich tageweise Perzentilpegel und –geschwindigkeiten über die gesamte jeweilige Messperiode ausgewertet werden, da vor und nach aktiviertem Display keine Vergleichsmessungen aufgezeichnet wurden.

Am Standort Caslano war das Display während Phase 1 für zwei Wochen aktiv, während Phase 2 deaktiviert und während Phase 3 wieder aktiv. Phase 2 in Caslano kann daher wie Phase 1 der Standorte vom Typ 3 behandelt werden. Alle Messwerte der Phasen 1 und 3 werden wie jene in Phase 2 der Standorte vom Typ 3 behandelt, auch wenn das Display hier teilweise zum zweiten Mal aktiv war.

4 Ergebnisse

In allen Box Plots sind die Mediane über alle einflussenden Standorte als durchgehende schwarze Linien — und die Mittelwerte als schwarze Ronden • eingetragen. Von links nach rechts bzw. rot nach violett sind die jeweiligen 1%-, 5%-, 10%, 20%- und 50%-Perzentile (= Mediane) der Grössen Schallpegel L und gefahrene Geschwindigkeit v für Motorrad und PW getrennt aufgetragen. Trotz der sehr unterschiedlichen Vorbeifahrtszahlen zwischen den Standorten (vgl. Abbildung 1), wird keine Wichtung vorgenommen. Das heisst, obwohl in Caslano die zehnfache Anzahl der Messwerte in Meiringen vorliegt, gehen beide mit gleichem Einfluss in die Analyse ein.

4.1 Mathematische Grundlagen

In den folgenden Abschnitten werden die Begriffe Durchschnitt, Median, Modus und Perzentil verwendet, welche hier definiert werden.

4.1.1 Durchschnitt (= Mittelwert)

Summe aller Werte geteilt durch die Anzahl an Werten.

4.1.2 Median

n sei die Hälfte der Anzahl an Werten. Ordnet man alle Werte ihrer Grösse nach, so ist der Median bei ungerader Anzahl an Werten der $(n + 0.5)$ -te Wert und bei gerader Anzahl an Werten der Durchschnitt des n -ten und des $(n + 1)$ -ten Werts.

4.1.3 Modus

Der am häufigsten auftretende Wert.

4.1.4 Perzentil

Das $n\%$ -Perzentil ist derjenige Wert, welcher von $n\%$ der Werte erreicht oder überschritten wird. Trotz Diskretisierung der Messwerte auf ganze Zahlen können Perzentile rationale Zahlen annehmen, nämlich dann, wenn zwischen Werten interpoliert wird.

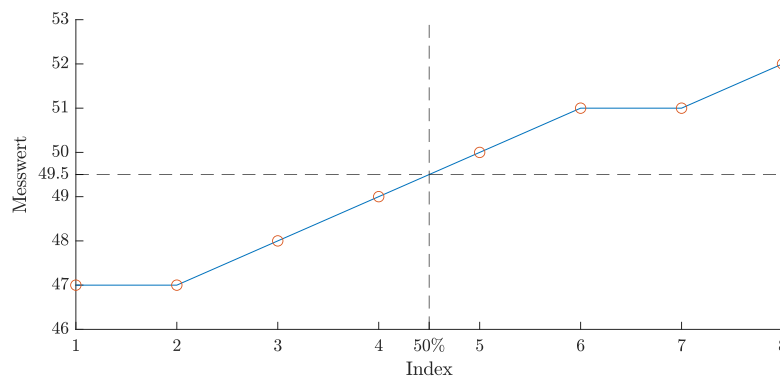


Abbildung 2: Beispiel für ein 50%-Perzentil im Interpolationsfall

4.2 Perzentildifferenzen

Als Perzentilpegel $L\%$ wird derjenige Schallpegel verstanden, welcher von einem bestimmten Prozentsatz der vorbeifahrenden Fahrzeuge erreicht oder überschritten wird. Analog ist die Perzentilgeschwindigkeit $v\%$ diejenige Geschwindigkeit, die von einem bestimmten Prozentsatz der vorbeifahrenden Fahrzeuge erreicht oder überschritten wird.

Um eine Aussage über die Beeinflussung des Fahrverhaltens durch das Display treffen zu können, werden die Differenzen der Perzentilpegel und -geschwindigkeiten zwischen der Ausgangssituation (Phase 1, bevor das Display die Vorbeifahrten bewertet), der Phase 2 (Display aktiv) und, wo vorhanden, der Phase 3 (wieder ohne Displayanzeige) betrachtet.

Lesebeispiel für Abbildung 3: Der Schallpegel am Displaystandort, der von 20% der vorbeifahrenden PW erreicht und überschritten wird (L_{20}), senkt sich mit aktivem Display um durchschnittlich 0.5 dB gegenüber der Ausgangssituation (vorherige Phase ohne Displayanzeige). Es ergibt sich keine mediane Schallpegeländerung. An einem Standort erhöht sich der L_{20} um 2 dB, an einem ist er um 4 dB gesenkt.

4.2.1 Phase 2 – Phase 1

Abbildung 3 zeigt die Veränderung der Perzentilschallpegel von Phase 1 (Display noch nicht aktiv) zu Phase 2 (Display aktiv) an allen Standorten. Bis auf die Mediane von L_5 und L_{50} der Motorräder, die sich um 1 dB verringern, bleiben sie unverändert bei 0 dB. In den arithmetischen Mittelwerten lässt sich eine leichte Senkung aller Perzentilpegel um etwa 0.5 dB feststellen. Die beiden Ausreisser in den L_1 und L_5 der Motorräder haben mit einer Anzahl von drei bzw. 12 Vorbeifahrten in Filzbach (siehe Abbildung 22) keine statistische Aussagekraft.

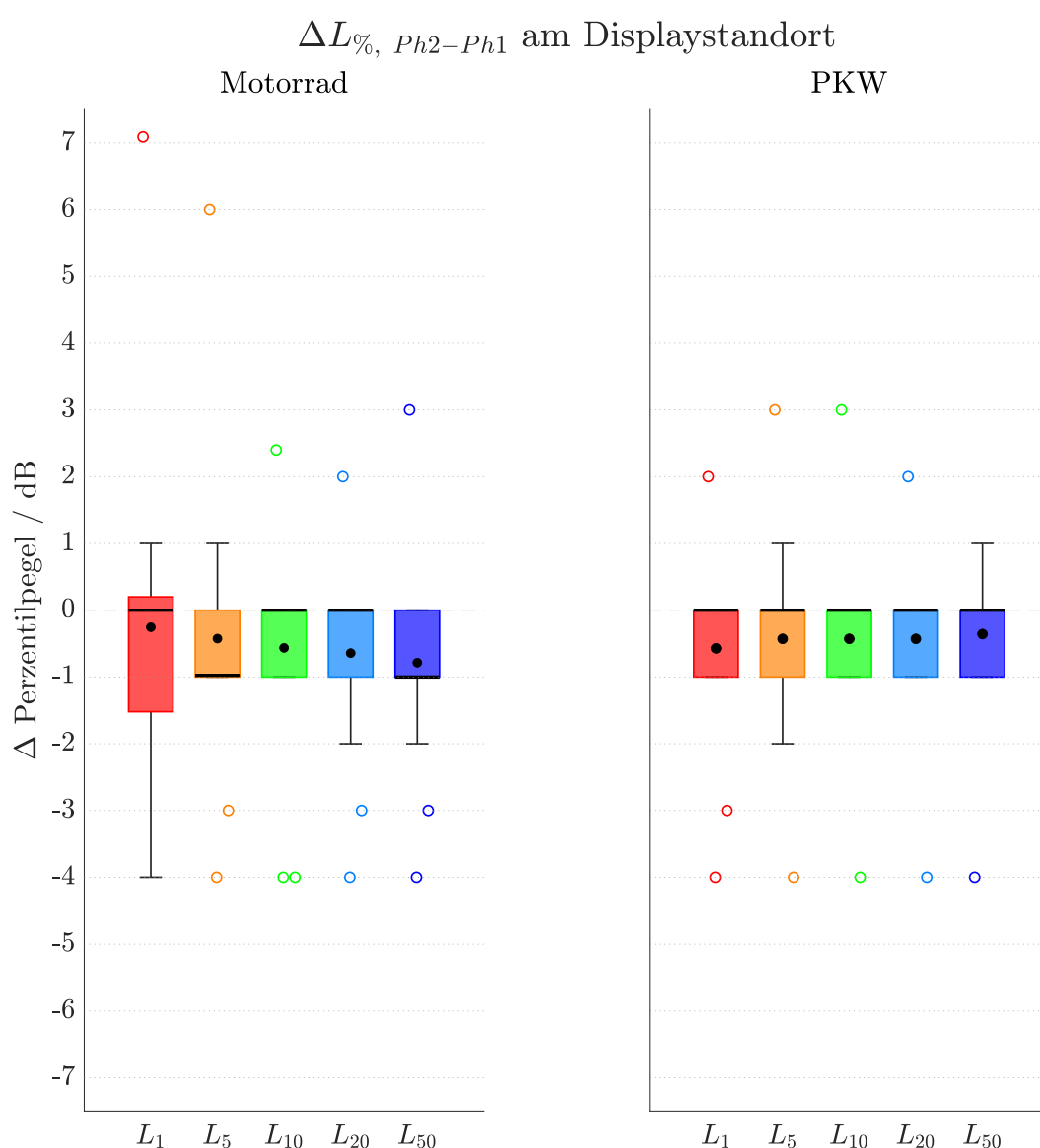


Abbildung 3: Differenz der Perzentilschallpegel am Displaystandort in den Phasen 1 und 2.
 14 Standorte, siehe Tabelle 2 im Anhang.

Abbildung 4 zeigt die Veränderung der Perzentilgeschwindigkeiten von Phase 1 (Display noch nicht aktiv) zu Phase 2 (Display aktiv). Sowohl die Mediane als auch die arithmetischen Mittelwerte zeigen eine Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeiten bis zu 1 km/h. Der Ausreisser in der v_1 der Motorräder hat mit zwei Vorbeifahrten in Niederurnen (siehe Abbildung 71) keine statistische Aussagekraft.

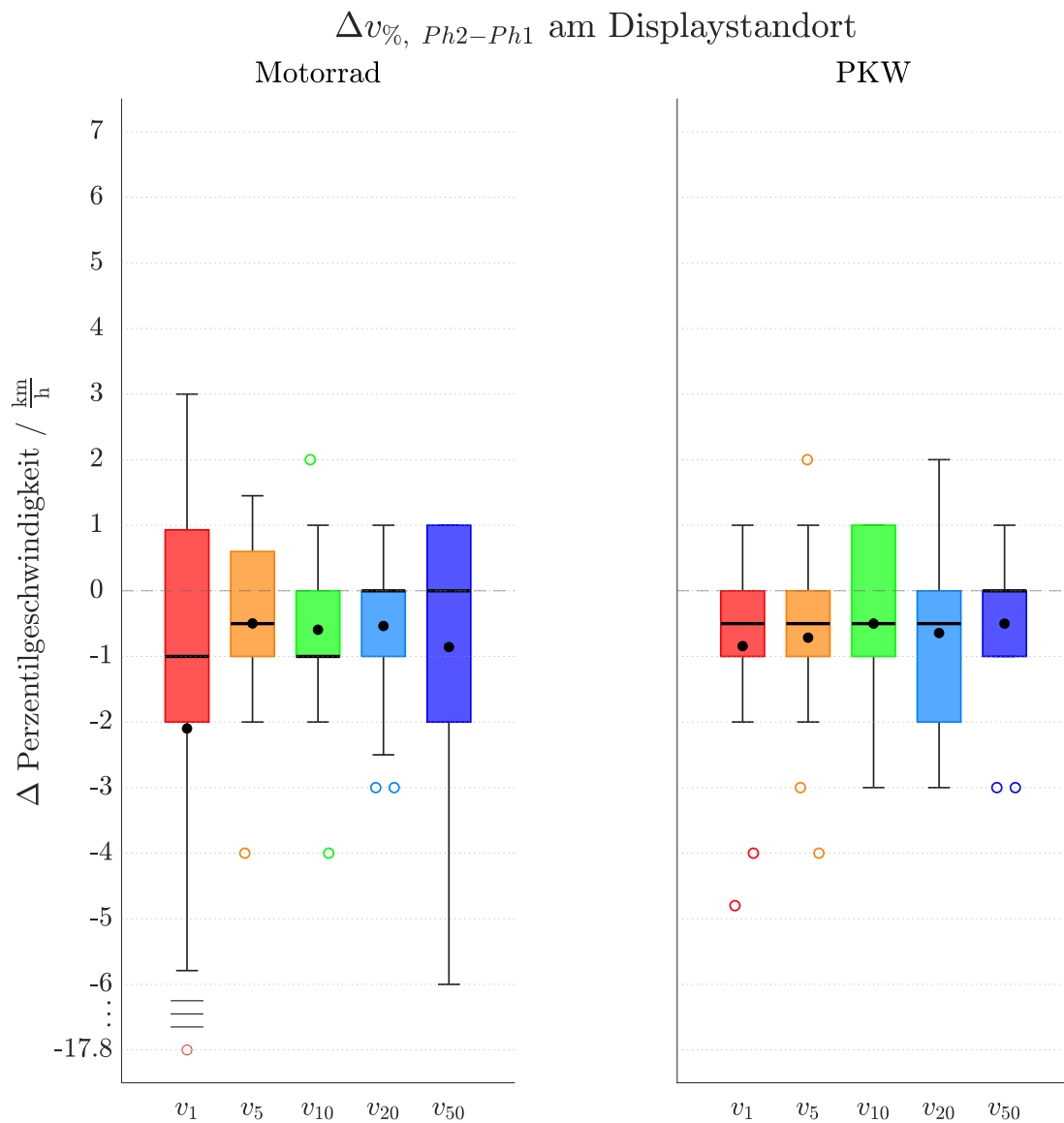


Abbildung 4: Differenz der Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in den Phasen 1 und 2.
 14 Standorte, siehe Tabelle 3 im Anhang.

Abbildung 5 zeigt die Veränderung der Perzentilschallpegel von Phase 1 (Display noch nicht aktiv) zu Phase 2 (Display aktiv) am zweiten Messpunkt, welcher an 7 Standorten in Abständen von 70 bis 500 m nach dem Display installiert war. Sowohl die Mediane als auch die arithmetischen Mittelwerte zeigen eine Reduzierung der Perzentilschallpegel von ca. 1 dB.

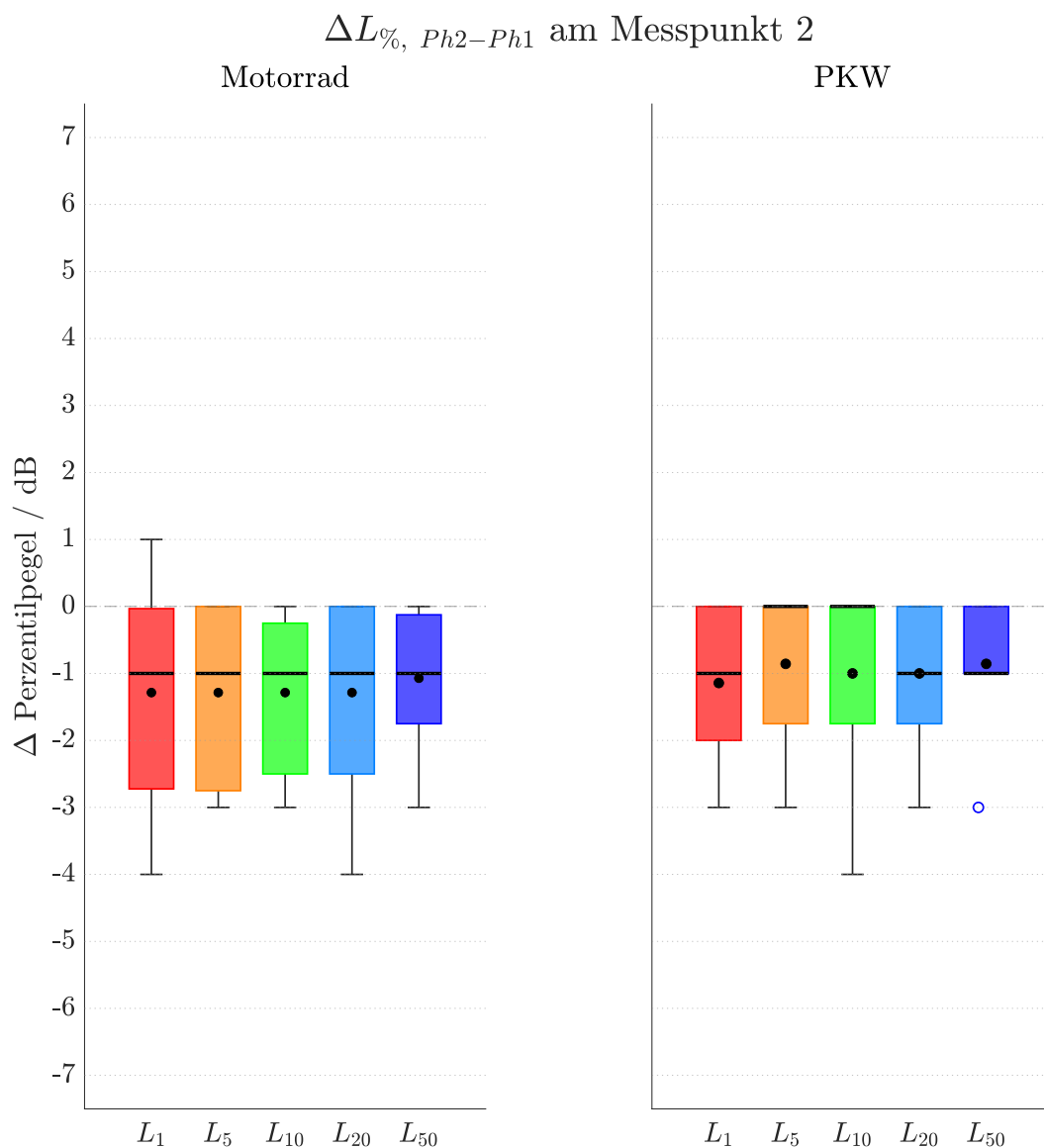


Abbildung 5: Differenz der Perzentilschallpegel am abgesetzten Messpunkt 2 in den Phasen 1 und 2.
 7 Standorte, siehe Tabelle 4 im Anhang.

Abbildung 6 zeigt die Veränderung der Perzentilgeschwindigkeiten von Phase 1 (Display noch nicht aktiv) zu Phase 2 (Display aktiv) am zweiten Messpunkt. Der Median der v_{50} für Motorräder ist um 1 km/h, der Median und arithmetische Mittelwert der v_1 sogar um 1.5 km/h gesenkt. Für PKW fällt die Wirkung mit ca. 0.5 km/h geringer aus.

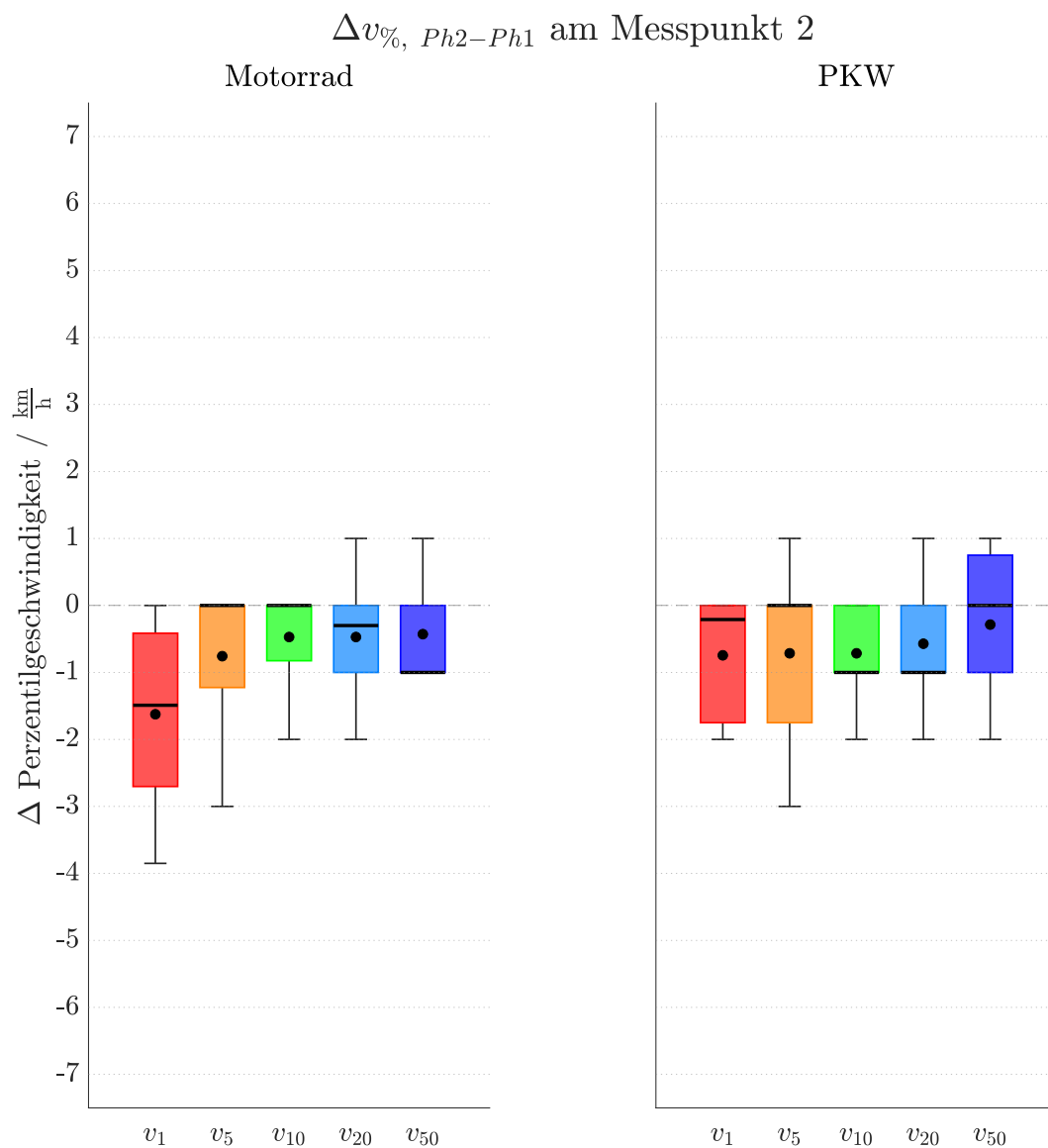


Abbildung 6: Differenz der Perzentilgeschwindigkeiten am abgesetzten Messpunkt 2 in den Phasen 1 und 2.
 7 Standorte, siehe Tabelle 5 im Anhang.

4.2.2 Phase 3 – Phase 1

Um den Lerneffekt der Verkehrsteilnehmenden durch das DD.Lärm zu prüfen, werden auf dieselbe Art wie in Abschnitt 4.2.1 die Perzentildifferenzen zwischen den Phasen untersucht, allerdings nun die beiden Phasen ohne Displayanzeige.

Abbildung 7 zeigt die Veränderung der Perzentilschallpegel von Phase 1 (Display noch nicht aktiv) zu Phase 3 (Display nicht mehr aktiv) an allen Standorten. Tendenziell ist eine positive Nachwirkung zu erkennen, indem die Mediane der Perzentilschallpegel über alle Standorte für Motorräder einheitlich um 1 dB gesunken sind. Gleiches gilt auch für PKW, wobei der mediane L_{50} unverändert bleibt. Der Ausreisser im L_1 der Motorräder hat mit einer Anzahl von vier Vorbeifahrten in Bulle (siehe Abbildung 20) keine statistische Aussagekraft.

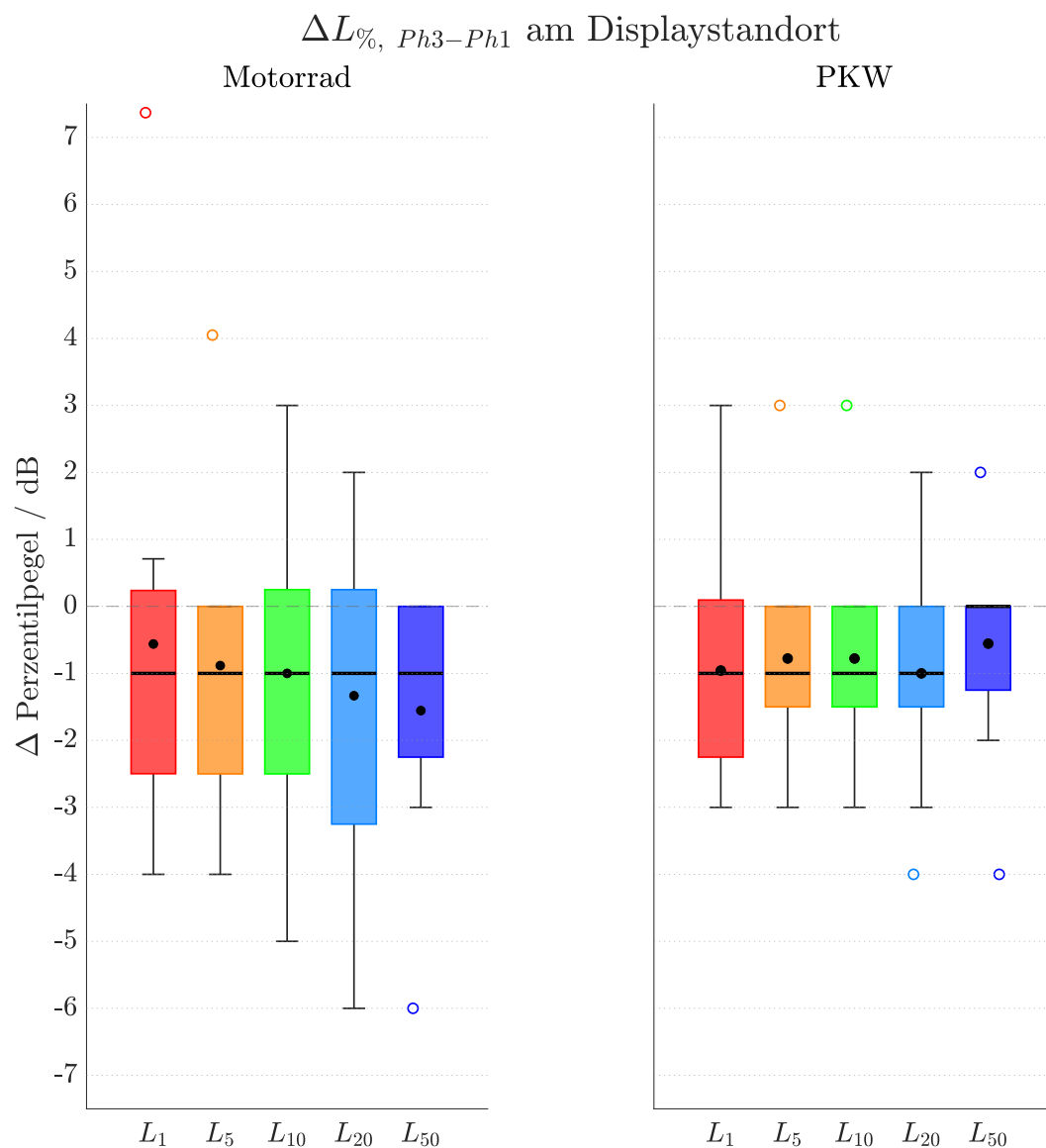


Abbildung 7: Differenz der Perzentilschallpegel am Displaystandort in den Phasen 1 und 3.
 9 Standorte, siehe Tabelle 6 im Anhang.

Abbildung 8 zeigt die Veränderung der Perzentilgeschwindigkeiten von Phase 1 (Display noch nicht aktiv) zu Phase 3 (Display nicht mehr aktiv). Sowohl die Mediane als auch die arithmetischen Mittelwerte zeigen eine Reduzierung der gefahrenen Geschwindigkeiten bis zu 1 km/h. Der Ausreisser in der v_1 der Motorräder hat mit einer Anzahl von 21 Vorbeifahrten in Bern (siehe Abbildung 52) keine statistische Aussagekraft.

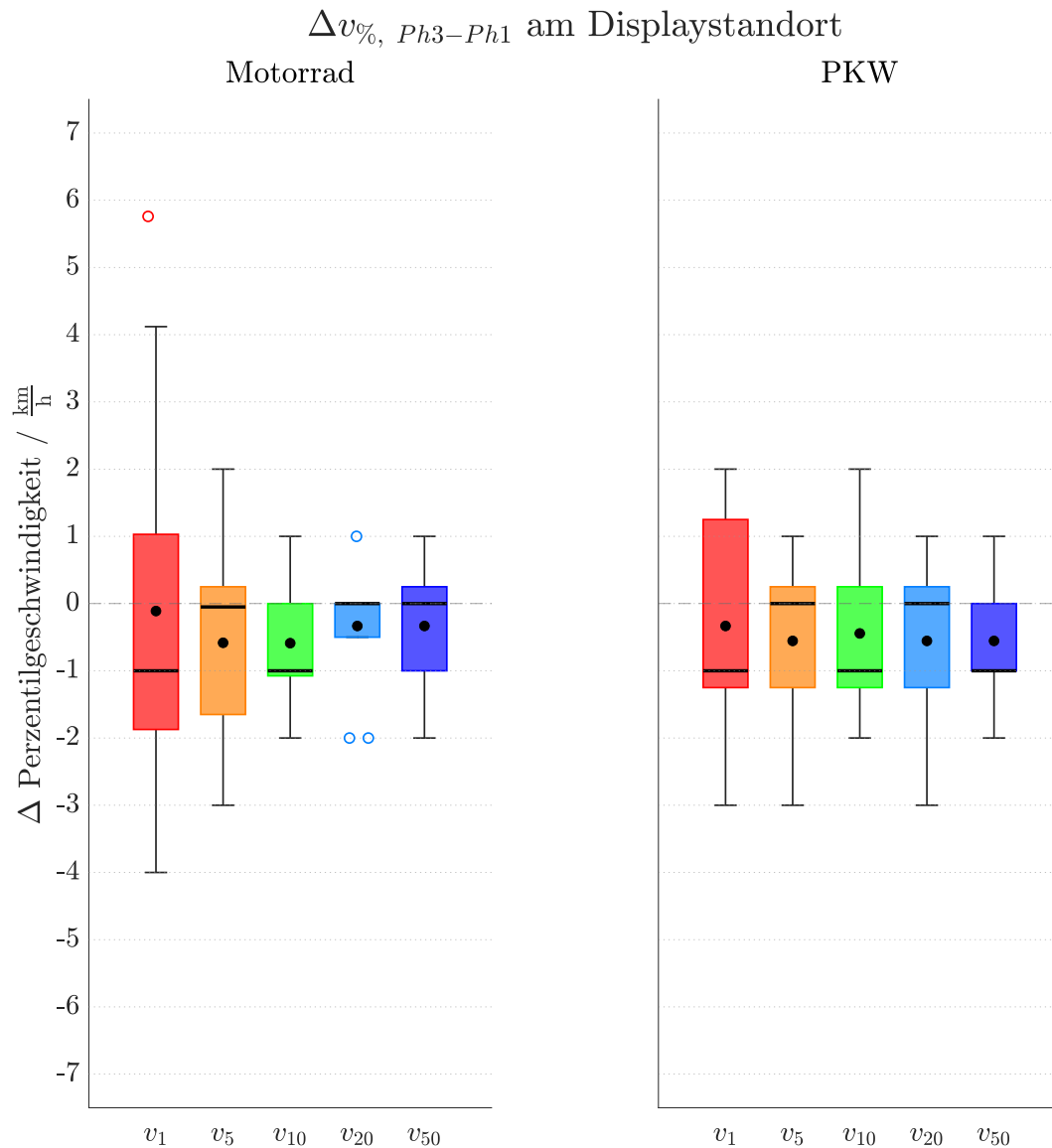


Abbildung 8: Differenz der Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in den Phasen 1 und 3.
 9 Standorte, siehe Tabelle 7 im Anhang.

Abbildung 9 zeigt die Veränderung der Perzentilschallpegel von Phase 1 (Display noch nicht aktiv) zu Phase 3 (Display nicht mehr aktiv) am zweiten Messpunkt. Es zeigt sich eine tendenziell positive Nachwirkung für Motorräder mit einer Reduzierung der Perzentilschallpegel um ca. 1 dB. Auch bei den PKW verbleibt eine leicht positive Nachwirkung, wenn auch nicht so deutlich wie für Motorräder.

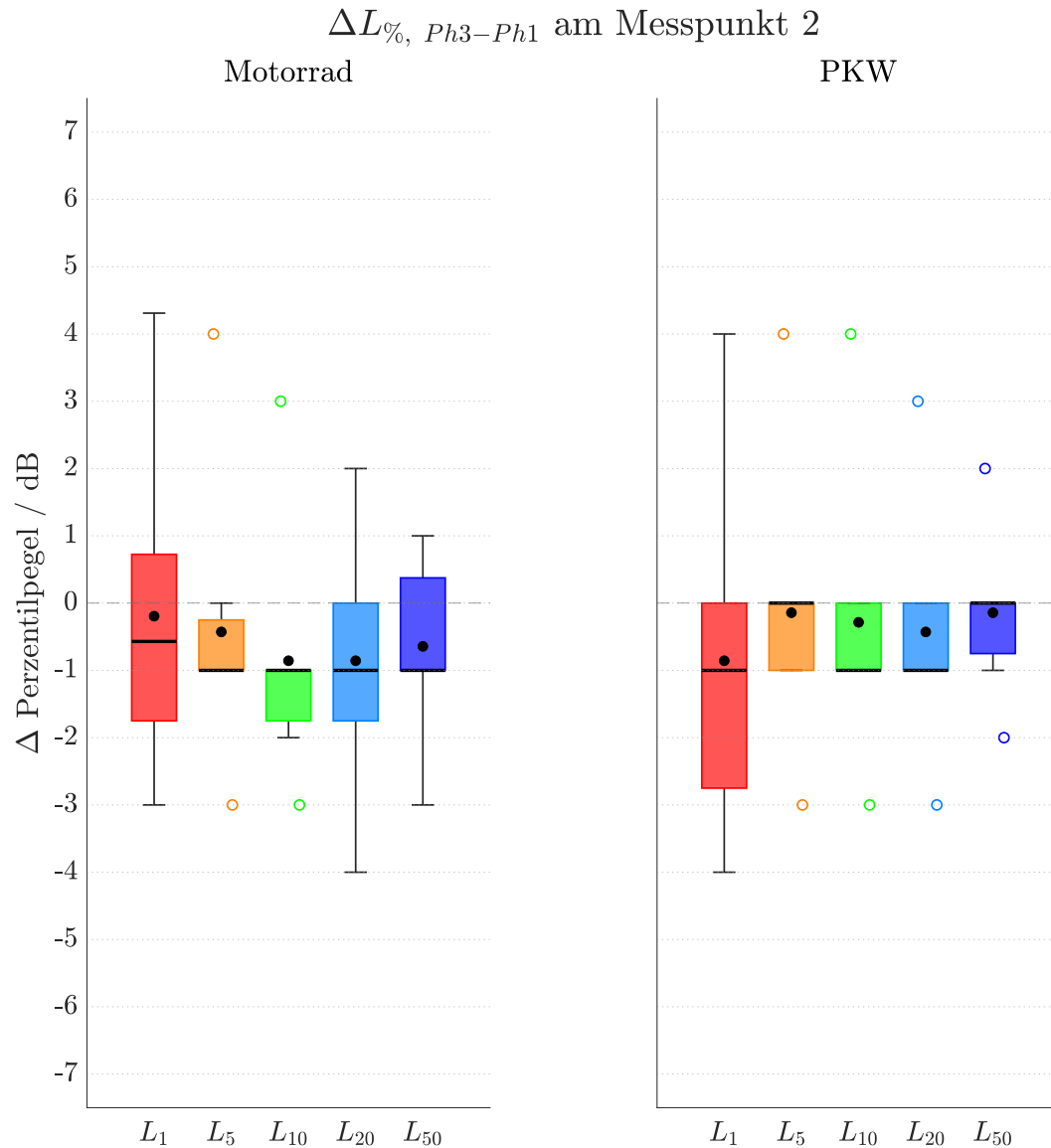


Abbildung 9: Differenz der Perzentilschallpegel am abgesetzten Messpunkt 2 in den Phasen 1 und 3.
 7 Standorte, siehe Tabelle 8 im Anhang.

Abbildung 10 zeigt die Veränderung der Perzentilgeschwindigkeiten von Phase 1 (Display noch nicht aktiv) zu Phase 3 (Display nicht mehr aktiv) am zweiten Messpunkt. Der Median der v_{50} für Motorräder bleibt unverändert, jedoch zeigt sich bei den PW median und durchschnittlich eine Erhöhung der gefahrenen Geschwindigkeiten um 1 km/h.

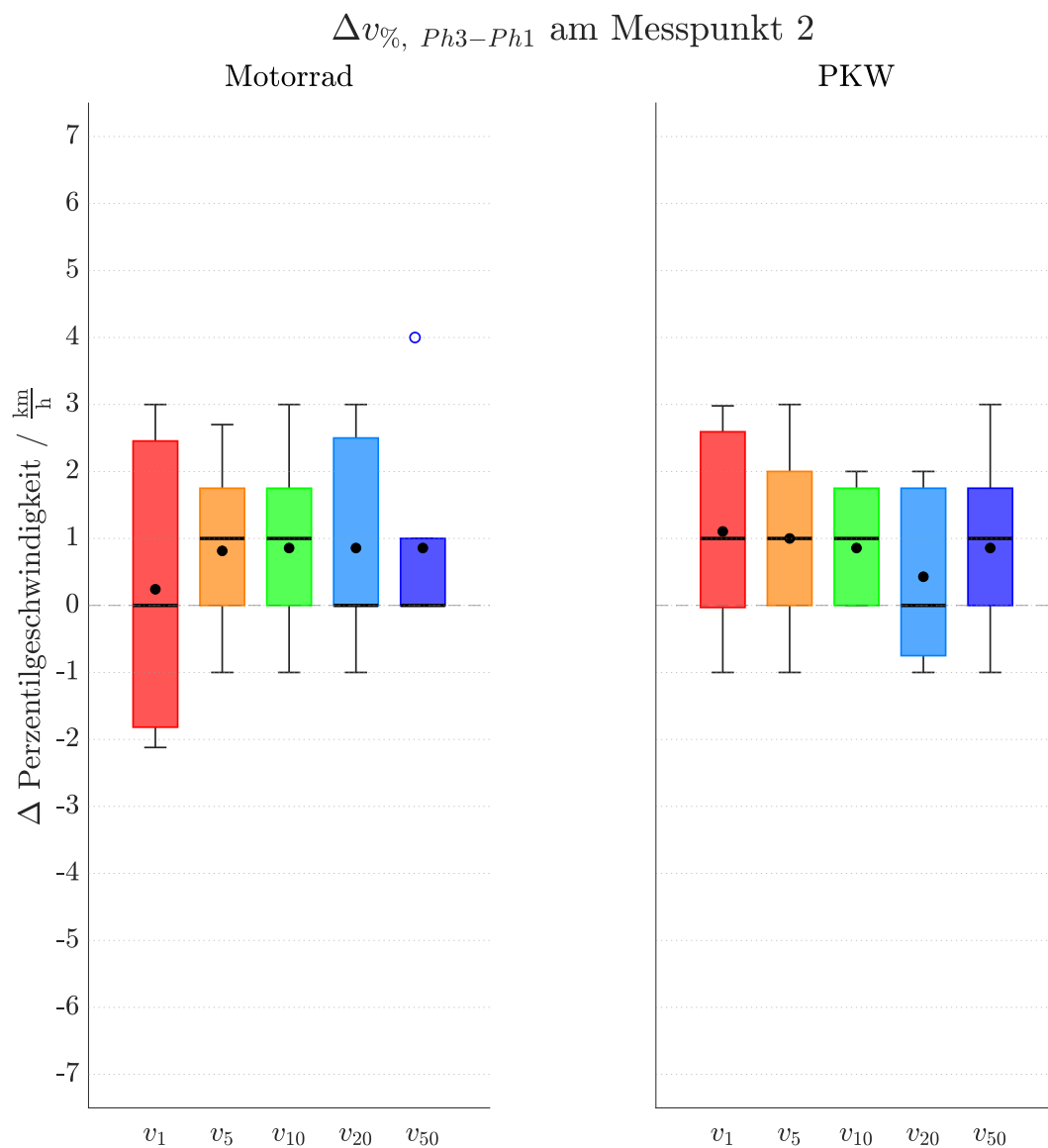


Abbildung 10: Differenz der Perzentilgeschwindigkeiten am abgesetzten Messpunkt 2 in den Phasen 1 und 3.
 7 Standorte, siehe Tabelle 9 im Anhang.

4.3 Spontane Verhaltensänderung

An den 7 Standorten mit einem zweiten Messpunkt, der 70–500 m nach dem Displaymesspunkt installiert war, lässt sich die direkte Wirkung des DD.Lärm untersuchen, indem die Änderung des Schallpegels bzw. der Geschwindigkeit am Messpunkt 2 mit den Werten am Display verglichen werden, wenn ein Fahrzeug zu laut oder zu schnell am Display vorbeigefahren ist. In Abbildung 11 sind die Verteilungen der Schallpegel- und Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen beiden Messpunkten ohne Warnung (rot) und nach Warnung (blau) getrennt für Motorräder und PKW dargestellt.

Aufgrund der fehlenden Kalibration der akustischen Messsysteme, wurden die medianen Differenzen zwischen den Messpunkten während der Phasen ohne Warnung durch die Displayanzeige als Referenzwert herangezogen. Folglich fallen die Mediane der Verhaltensänderung in diesen Phasen auf 0 dB.

Die Mediane der Schallpegeldifferenzen bleiben trotz Warnung unverändert bei 0 dB. Jedoch zeigt sich bei aktivem Display nach der Warnung der Vorbeifahrenden sowohl bei Motorrädern als auch bei PKW eine Reduzierung der Geschwindigkeit um 1 km/h.

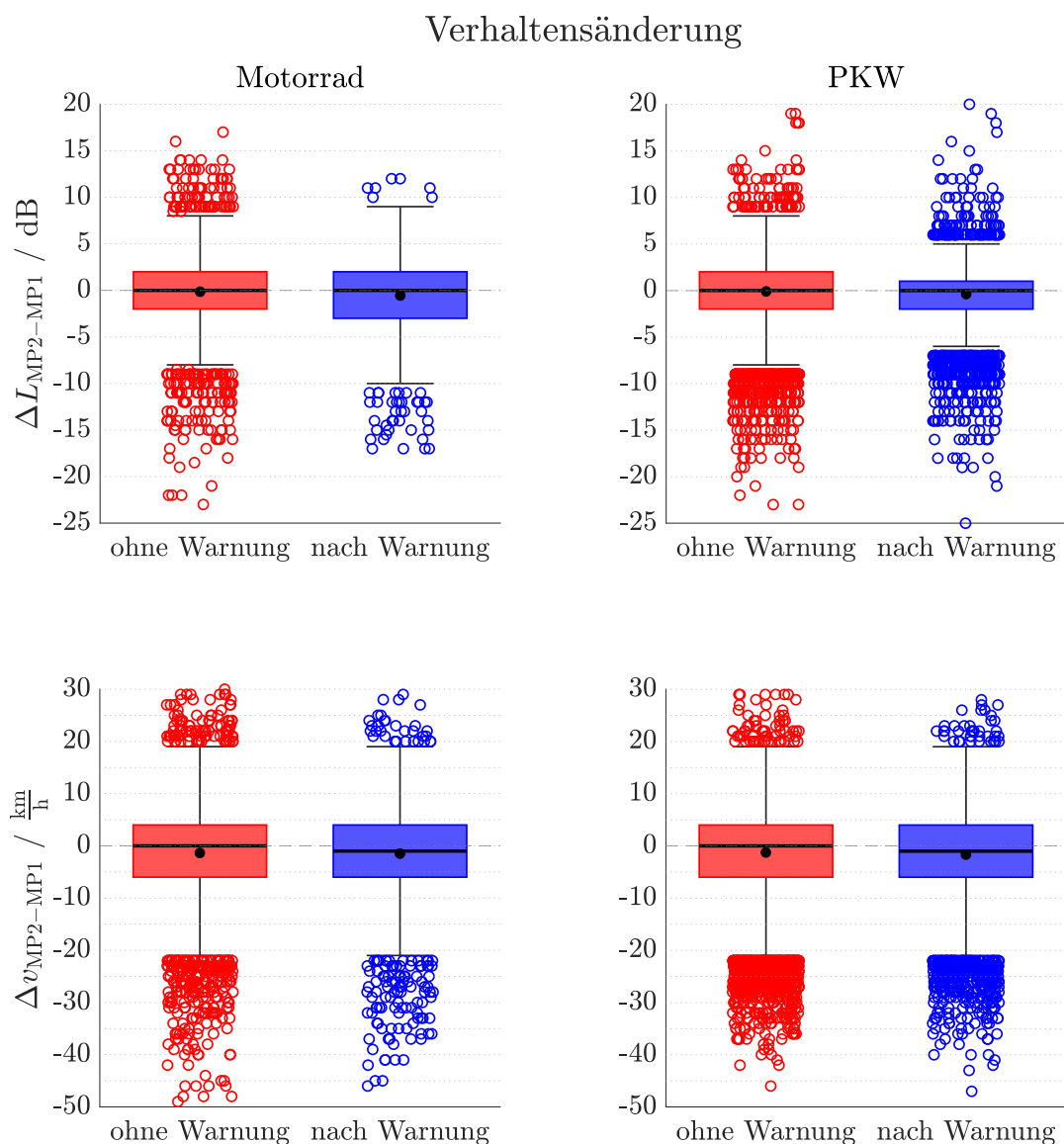


Abbildung 11: Änderungen der Schallpegel und gefahrenen Geschwindigkeiten zwischen Displaymesspunkt und abgesetztem Messpunkt 2 von zu lauten und zu schnellen Fahrzeugen.
7 Standorte (Typ 1)

4.4 Standortspezifische Emissionsmodelle

Die Abhängigkeit des emittierten Schallpegels von der gefahrenen Geschwindigkeit wird per logarithmischer Regression modelliert. Für jeden Standort wird getrennt für Motorräder und PKW ein Faktor a berechnet, welcher die Steigung der Funktion $L(v) = a \times \log_{10}(v) + b$ beeinflusst. Aufgrund der fehlenden Kalibration der akustischen Messsysteme kann b nicht bestimmt werden und wird deshalb so gewählt, dass sich alle modellierten Funktionen bei 50 km/h auf 0 dB schneiden. Es ergibt sich kein Modell zur Berechnung des absoluten Schallpegels, sondern seiner Änderung abhängig von der relativ zu 50 km/h gefahrenen Geschwindigkeit. Abbildung 12 zeigt die Verteilung der Faktoren a links und die Funktionsgraphen von 20 ... 140 km/h rechts.

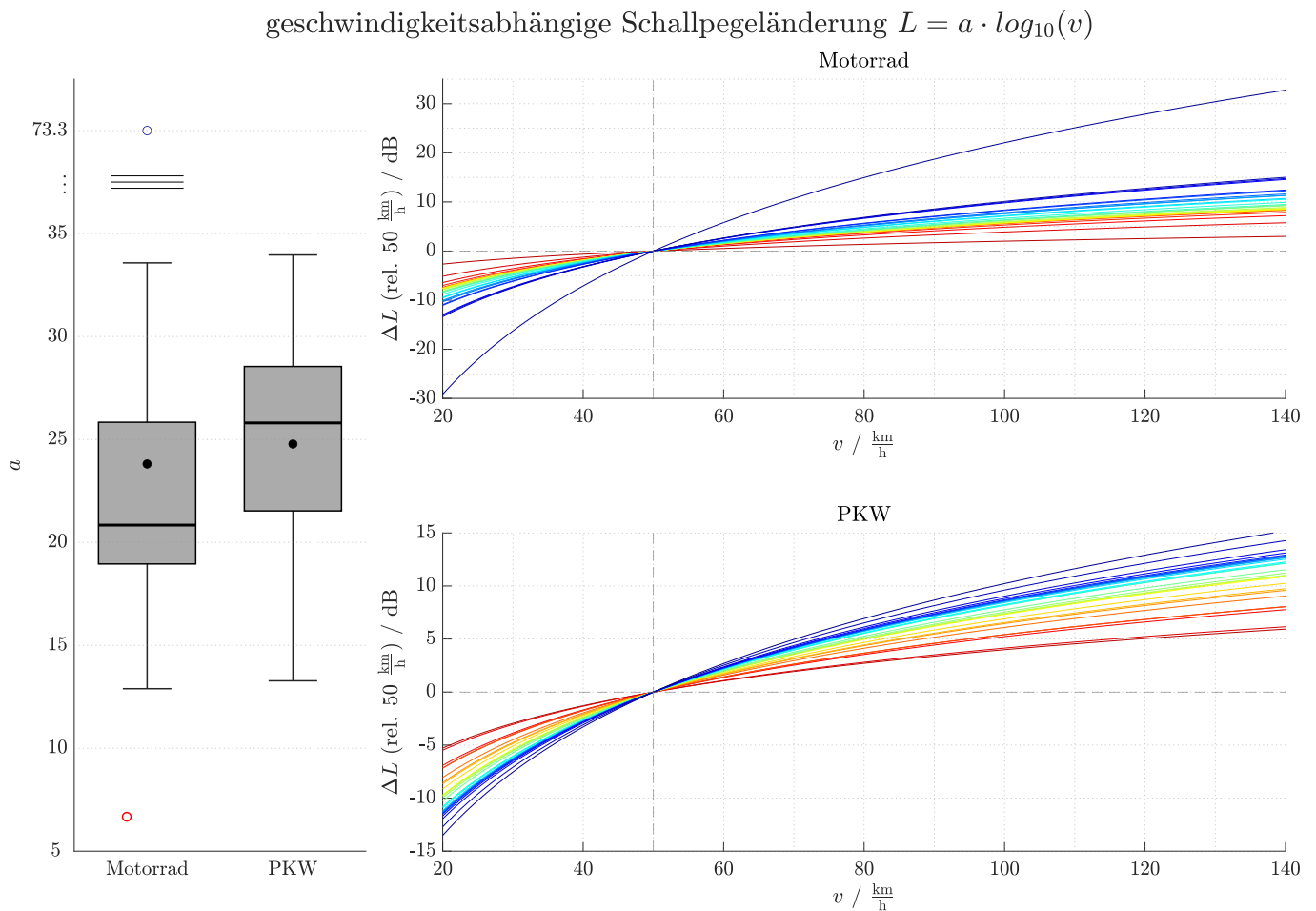


Abbildung 12: standortspezifische Modelle der Schallpegeländerung abhängig von gefahrener Geschwindigkeit
 27 Standorte, siehe Tabelle 10 im Anhang.

Die Werte für a und b aller Standorte und deren Bestimmtheitsmass R^2 sind in Tabelle 10 im Anhang gelistet.

4.5 Standortspezifische Schallpegelverteilungen

Aufgrund der fehlenden Kalibration der akustischen Sensorik an den DD.Lärm können keine Absolutpegelverteilungen berechnet werden. Um dennoch die auftretenden Pegel an allen 27 Standorten zu zeigen, wurden die Verteilungen auf den standortspezifischen Modus normiert.

Am Standort Russin ist im Pegelbereich von 18 bis 12 dB unter dem Modus der Motorradschallpegel eine Häufung der vorbeifahrenden Fahrzeuge zu erkennen. Es kann vermutet werden, dass die Fahrzeugdetektion an diesem Standort auch Fahrräder als Motorräder fehlerkannt hat.

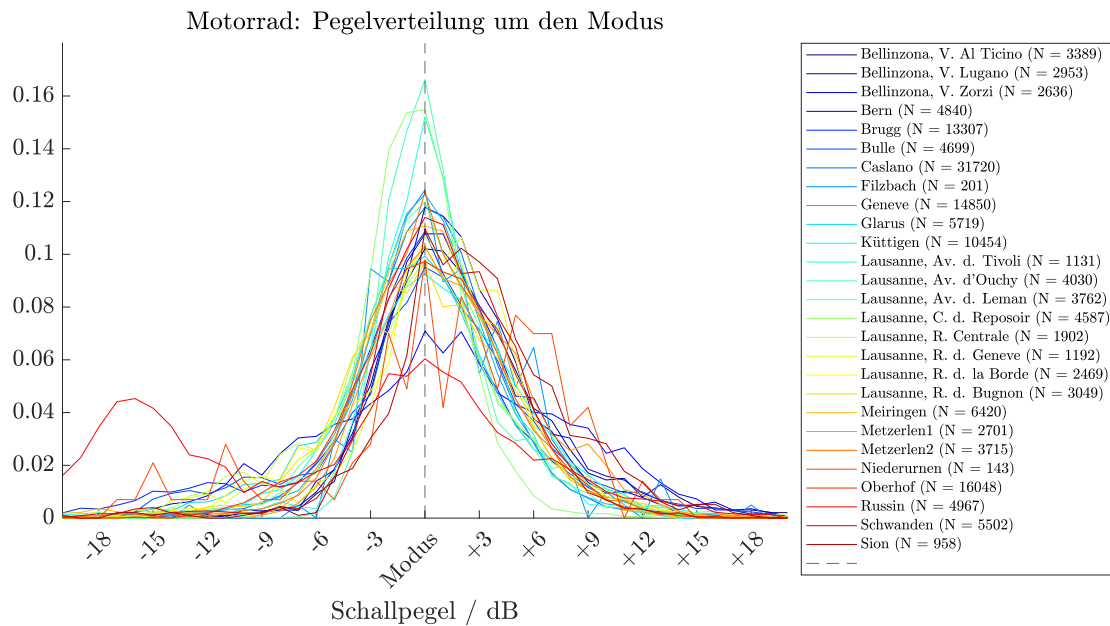


Abbildung 13: standortspezifische Wahrscheinlichkeitsverteilung auftretender Schallpegel bei Motorrädern

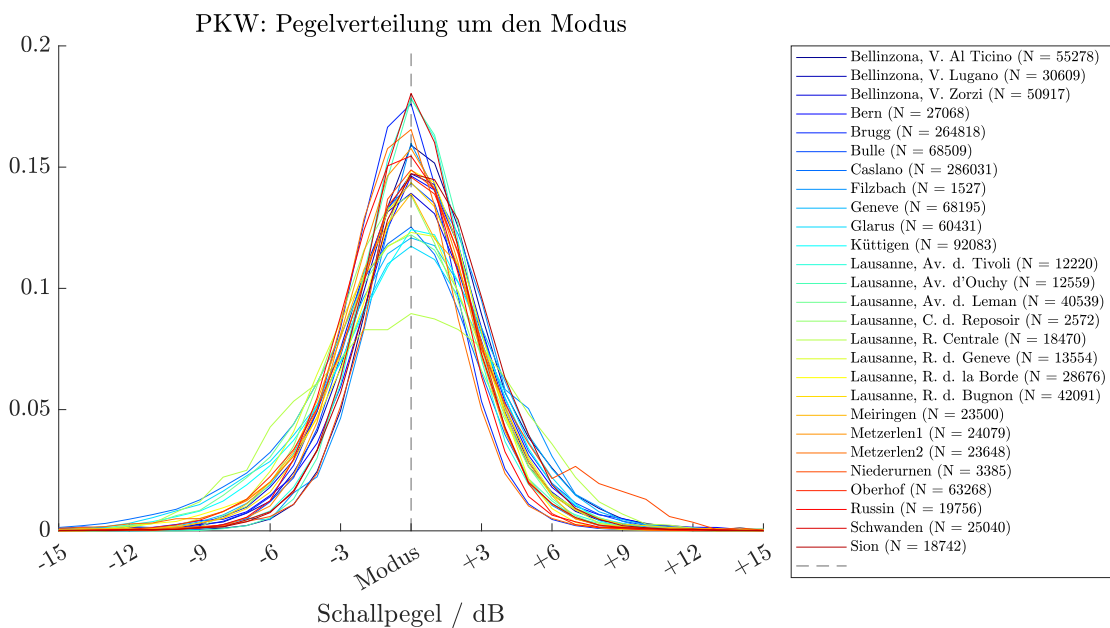


Abbildung 14: standortspezifische Wahrscheinlichkeitsverteilung auftretender Schallpegel bei PW

5 Fazit

An den Standorten, an welchen Messdaten während der beiden Phasen *vor Inbetriebnahme des Displays* (Phase 1) und *mit aktiviertem Display* (Phase 2) erhoben wurden, konnten am Displaystandort im Mittel bei aktiviertem Display leicht tiefere Schallpegel festgestellt werden. Die erwünschte "Displaywirkung" liegt sowohl für PW als auch für Motorräder bei rund 0.5 dB. Diese Wirkung findet sich relativ einheitlich für alle Perzentilpegel, die Pegelreduktion der seltenen lauten Ereignisse ist also nicht ausgeprägter als z.B. für den Median. Die geringe Pegeländerung geht einher mit einer leichten Geschwindigkeitsreduktion von etwa 1 km/h, wobei auch hier keine bedeutende Abhängigkeit vom Perzentilwert zu erkennen ist. An den Standorten mit einem abgesetzten zweiten Messpunkt ergeben sich – wiederum über alle Perzentile hinweg – leicht grössere erwünschte Displaywirkungen von rund 1 dB, wobei die Geschwindigkeitsreduktion mit etwa 1 km/h dem Effekt beim Displaymesspunkt ähnlich ist. Bei den Motorradgeschwindigkeiten zeigt sich im 1% Perzentil ein etwas ausgeprägter Effekt als bei den übrigen Perzentilwerten. Durch das Display werden also die schnellsten Motorräder etwas stärker verlangsamt als jene mit durchschnittlichen Geschwindigkeiten.

Im Vergleich der Phasen *nach aktiviertem Display* (Phase 3) mit *vor Inbetriebnahme des Displays* (Phase 1) kann am Displaymesspunkt im Mittel die erwünschte, über die aktive Phase hinaus anhaltende Displaywirkung von rund 1 dB beobachtet werden. Ebenso bleibt eine Geschwindigkeitsreduktion von rund 1 km/h erhalten. Am abgesetzten zweiten Messpunkt geht dagegen mit der Deaktivierung die erwünschte Displaywirkung weitgehend verloren, in den Geschwindigkeiten zeigt sich sogar eine leichte Erhöhung von rund 1 km/h. Wiederum verhalten sich alle Perzentilwerte ähnlich, d.h. die Veränderungen betreffen nicht primär die seltenen lauten oder schnellen Vorbeifahrten.

Über alle Standorte gesehen weist Küttigen die stärkste erwünschte Displaywirkung auf. Der Display- als auch der abgesetzte zweite Messpunkt befinden sich im Innerortsbereich (Tempo 50) auf einer eher engen Strasse mit teilweise fehlender Mittellinienmarkierung. Im Übrigen ist der Standort aber unauffällig. Das andere Ende der Displaywirkungs-Rangliste wird durch mehrere Standorte gebildet, sodass insgesamt keine Empfehlung hinsichtlich geeigneter Displaystandorte abgeleitet werden kann.

Gestützt auf die durchgeführten Lärmdisplayversuche kann gefolgert werden, dass diese Einrichtungen eine geringe Reduktion der Schallpegel und der Geschwindigkeit provozieren können. Mit durchschnittlich 0.5 ... 1 dB bzw. 1 km/h ist die nachgewiesene Wirkung aber so gering, dass nicht generell von einer effektiven Massnahme zur Eindämmung von lauten Einzelereignissen gesprochen werden kann. Lärmdisplays können aber zur Sensibilisierung rund um störende Lärmspitzen beitragen und in Einzelfällen unter besonderen Bedingungen relevante Wirkungen erzielen. Eine Analyse der standortspezifischen Pegelverteilungen bestätigt, dass die maximalen Vorbeifahrtpegel der PW- und insbesondere der Motorradereignisse grosse Streuungen aufweisen, sodass nach effektiven Massnahmen gesucht werden sollte, um die lauten Ereignisse leiser zu machen und damit diese grosse Variation einzuengen.

6 Anhang

6.1 Tagesverläufe der Perzentilschallpegel

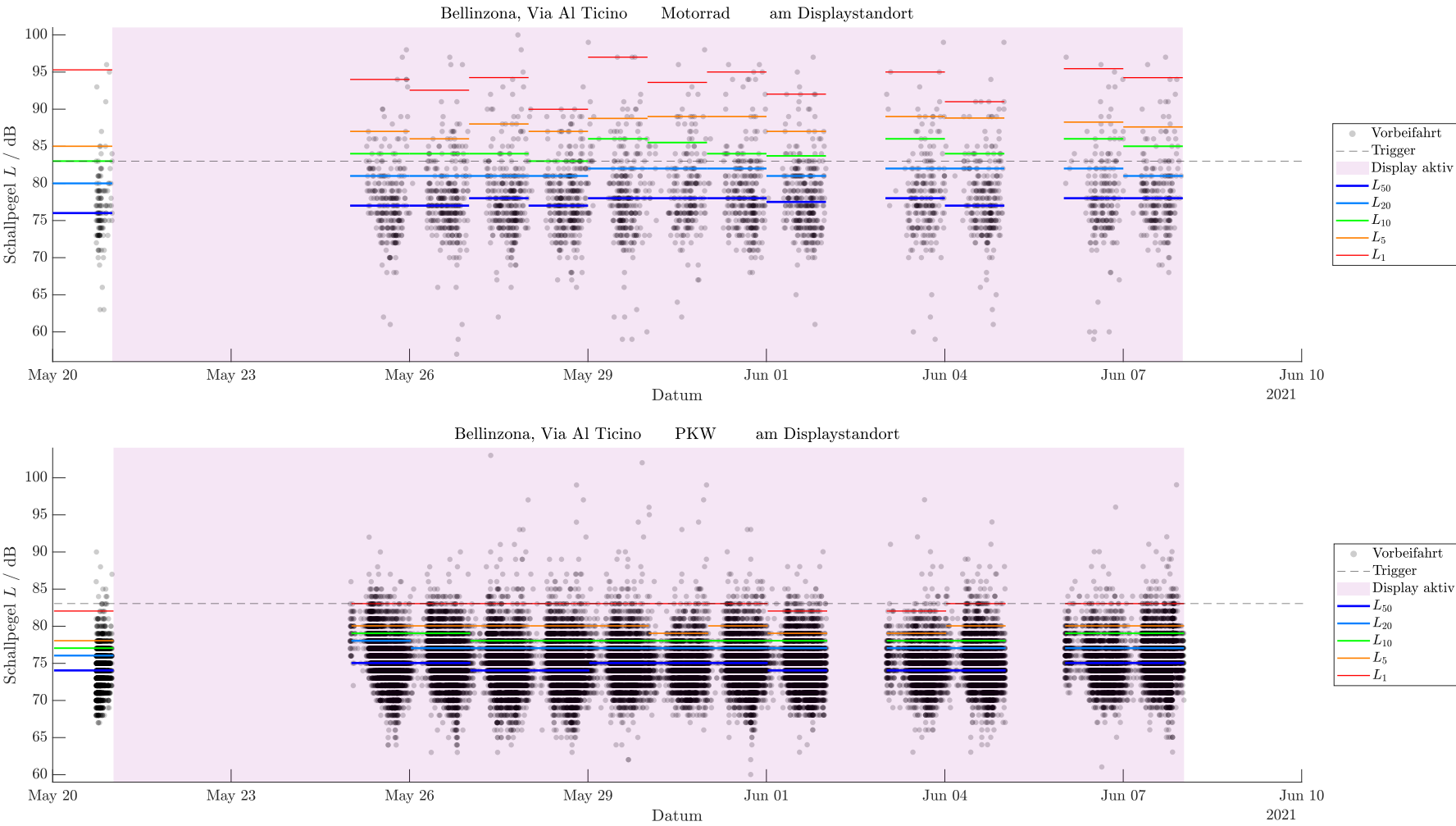


Abbildung 15: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Bellinzona (Via al Ticino)

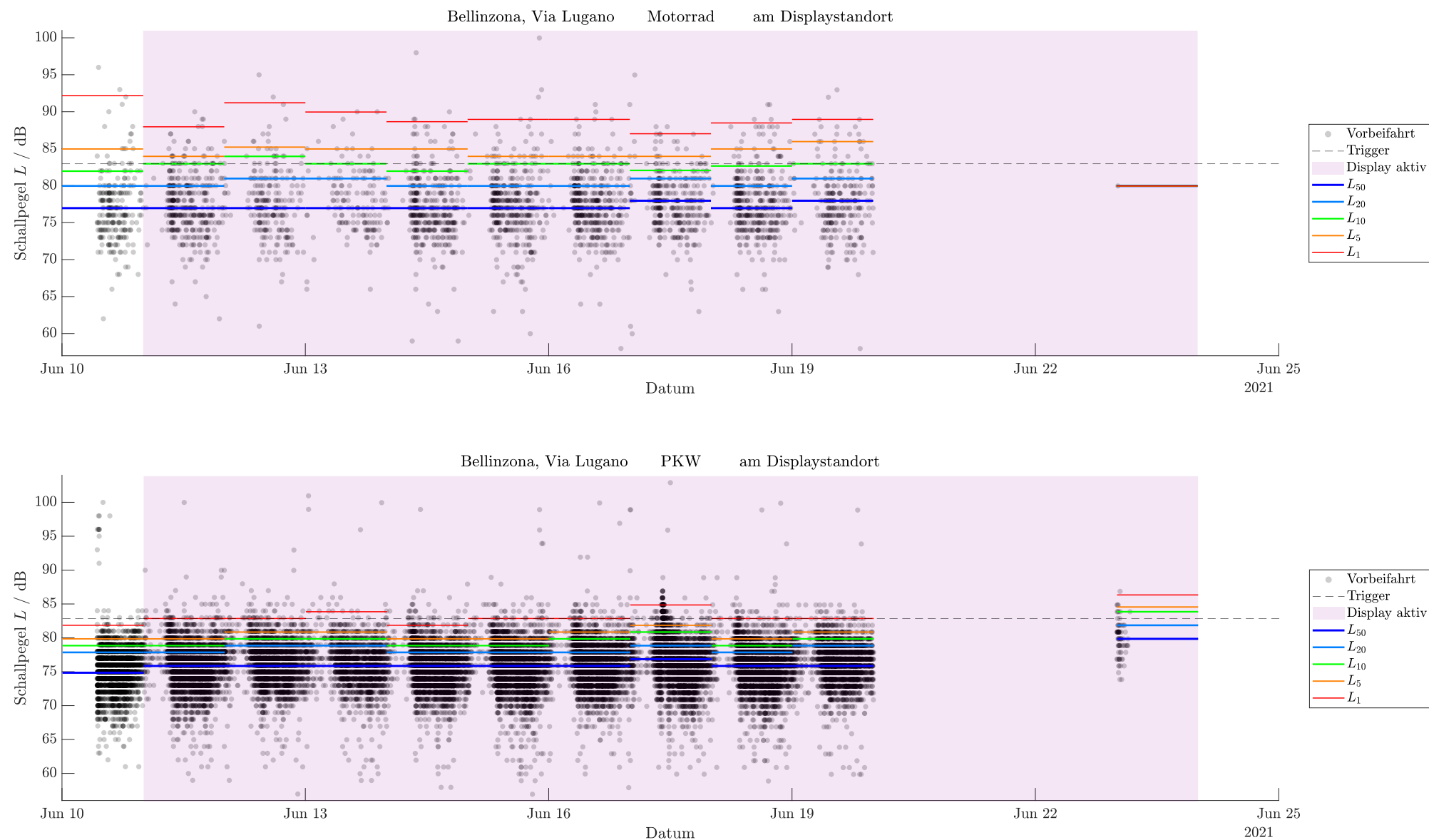


Abbildung 16: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Bellinzona (Via Lugano)

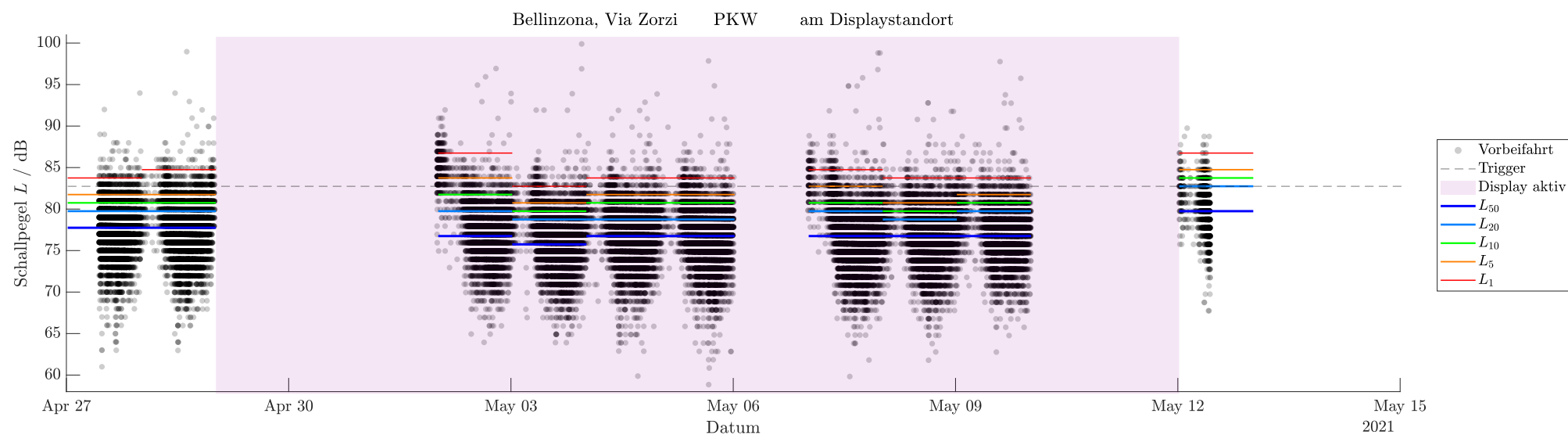
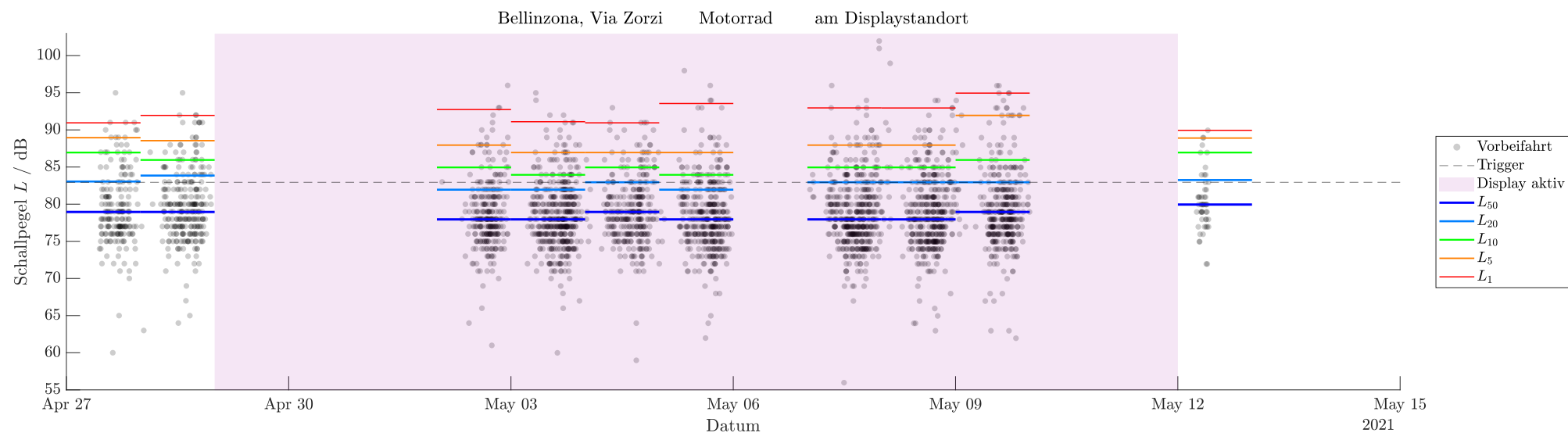


Abbildung 17: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Bellinzona (Via Zorzi)

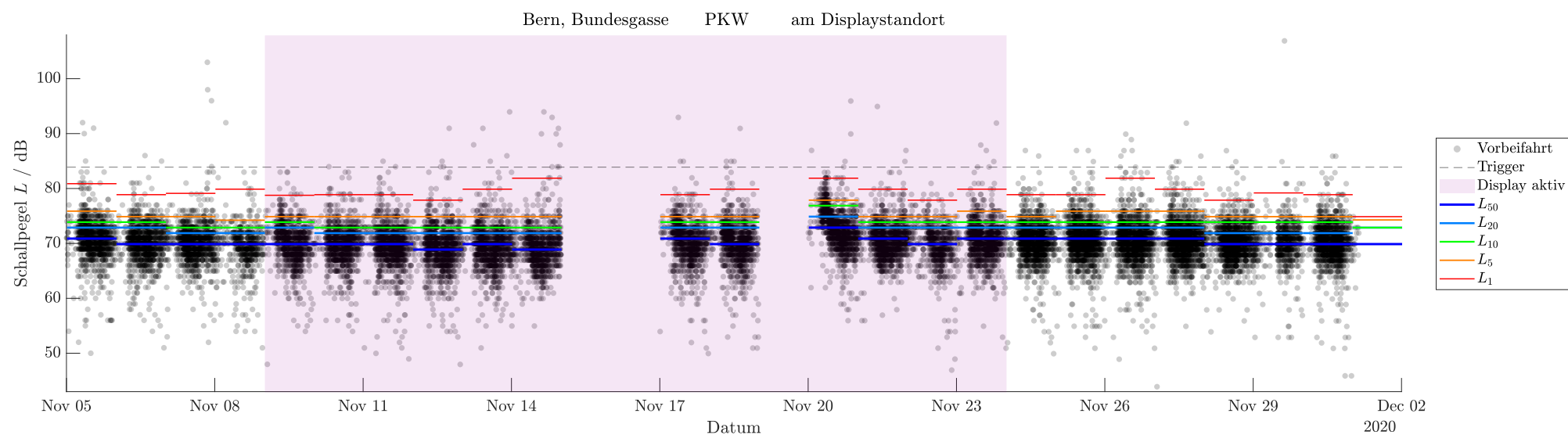
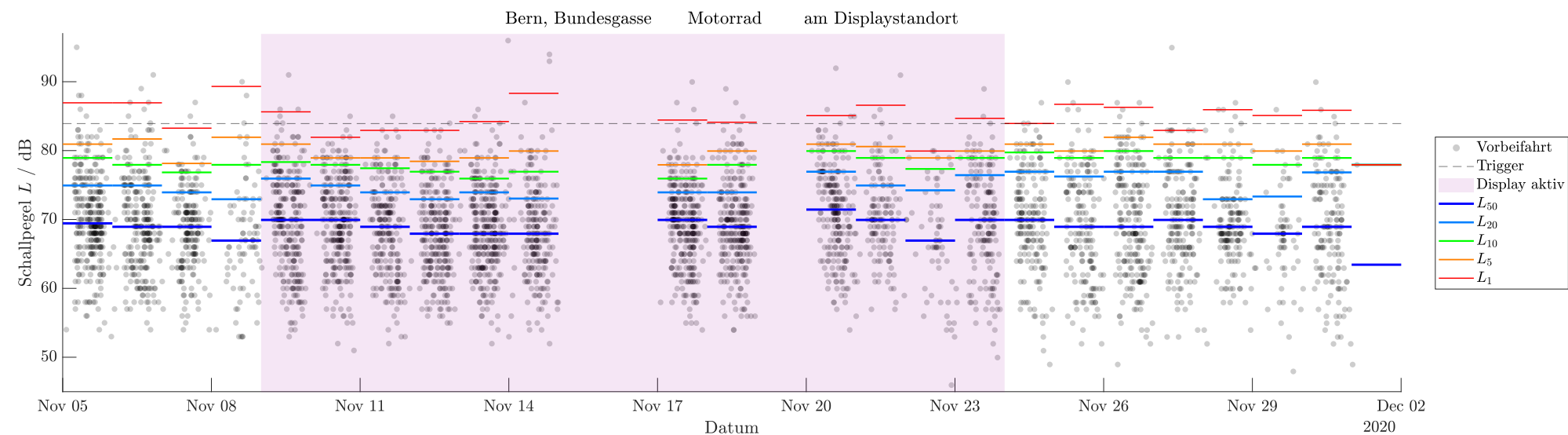


Abbildung 18: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Bern (Bundesgasse)

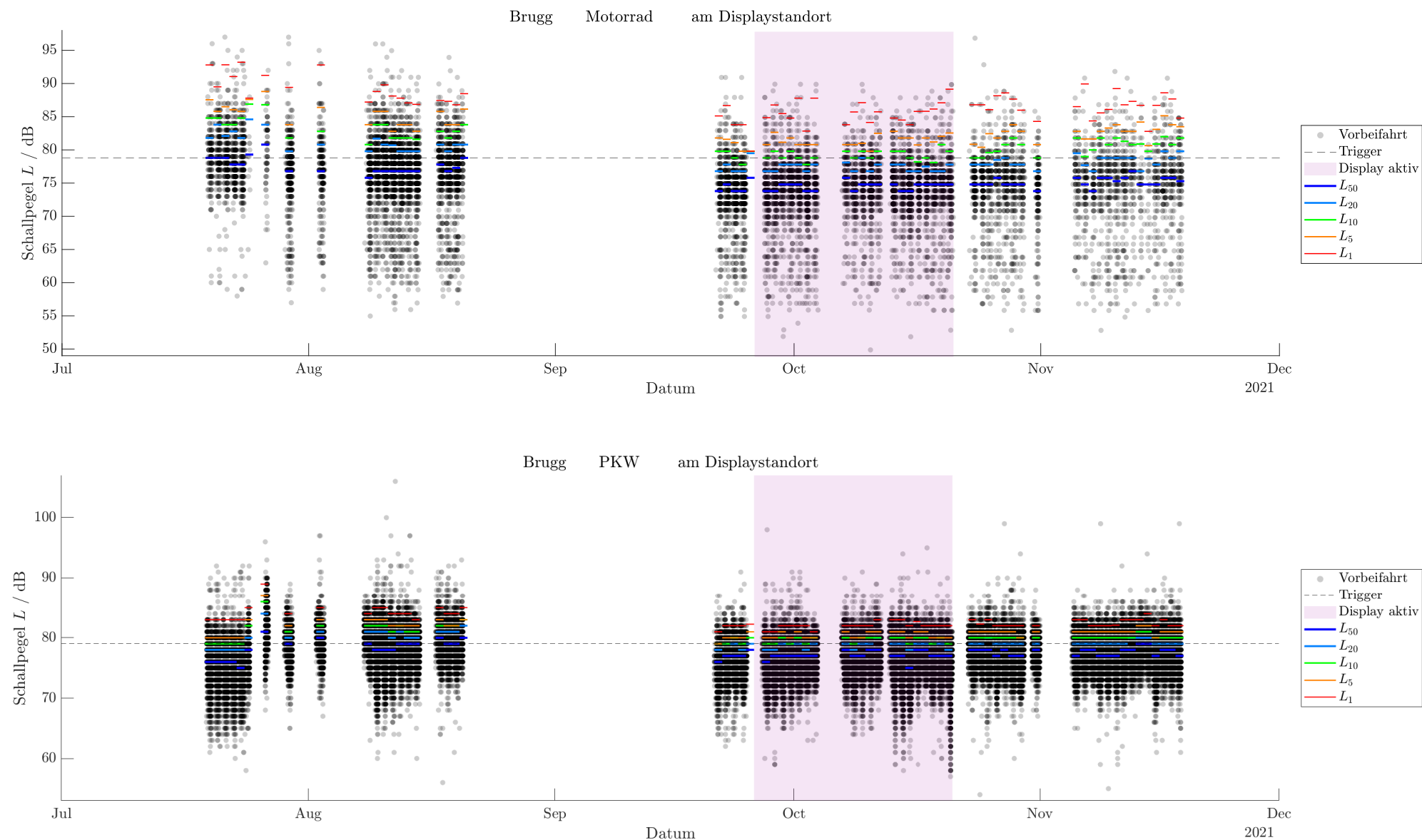


Abbildung 19: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Brugg

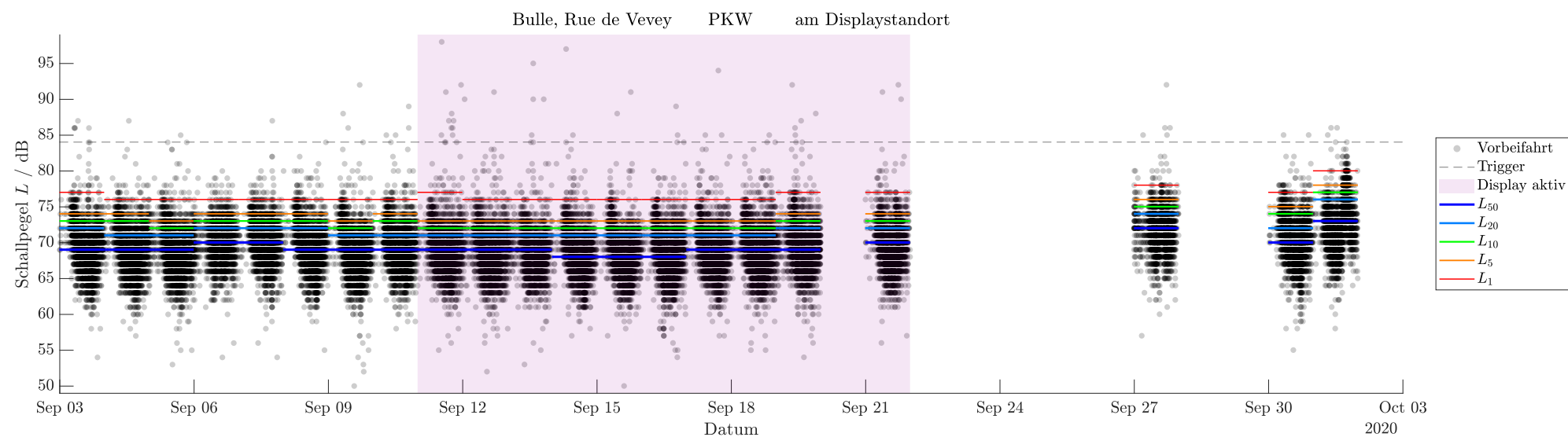
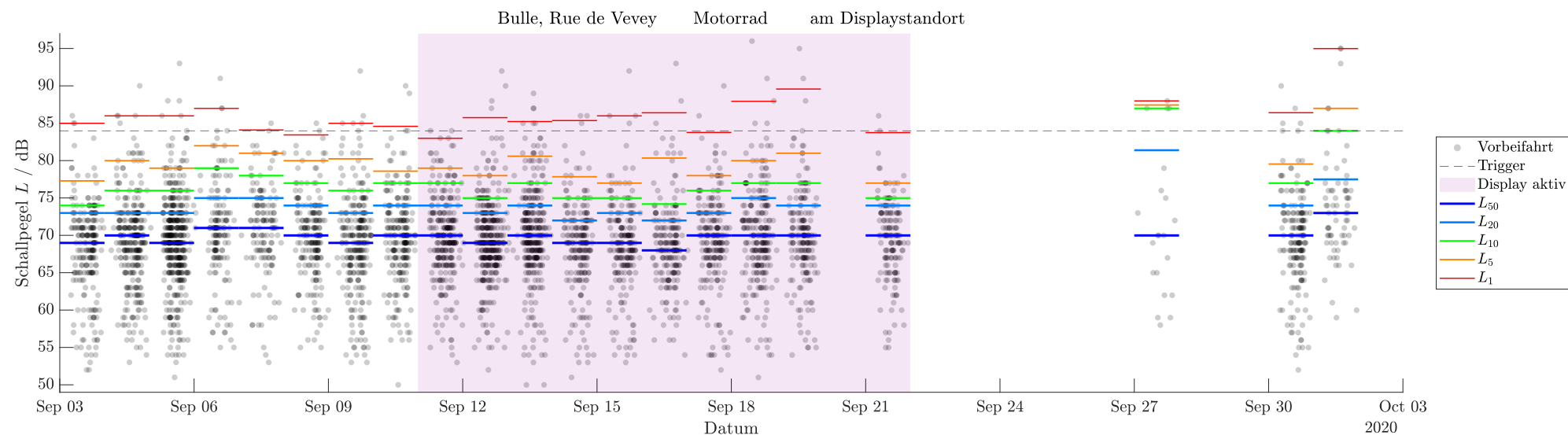


Abbildung 20: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Bulle (Rue de Vevey)

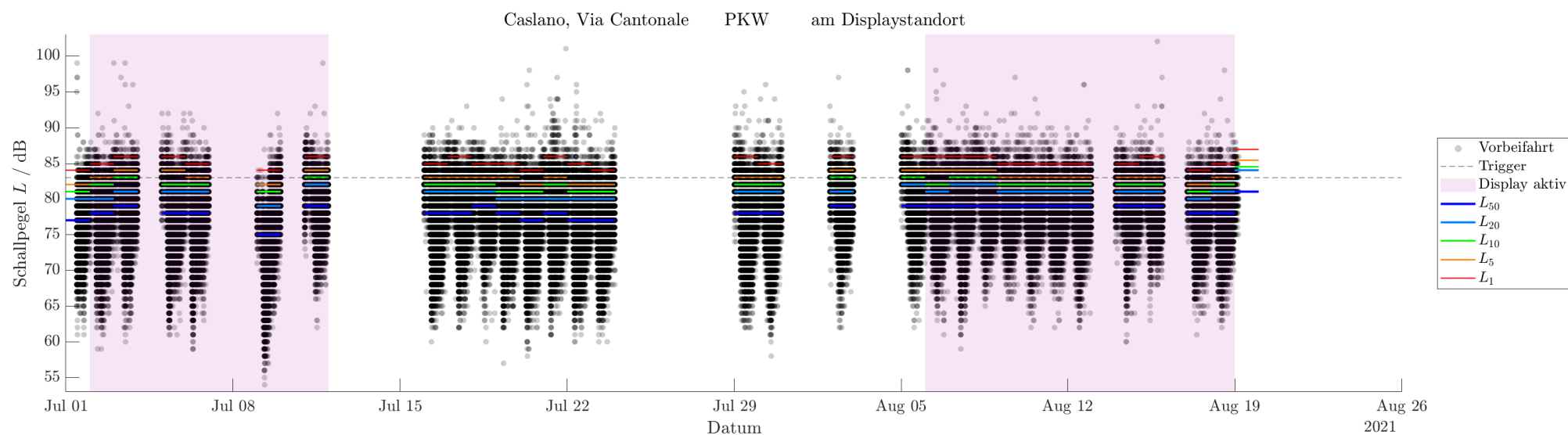
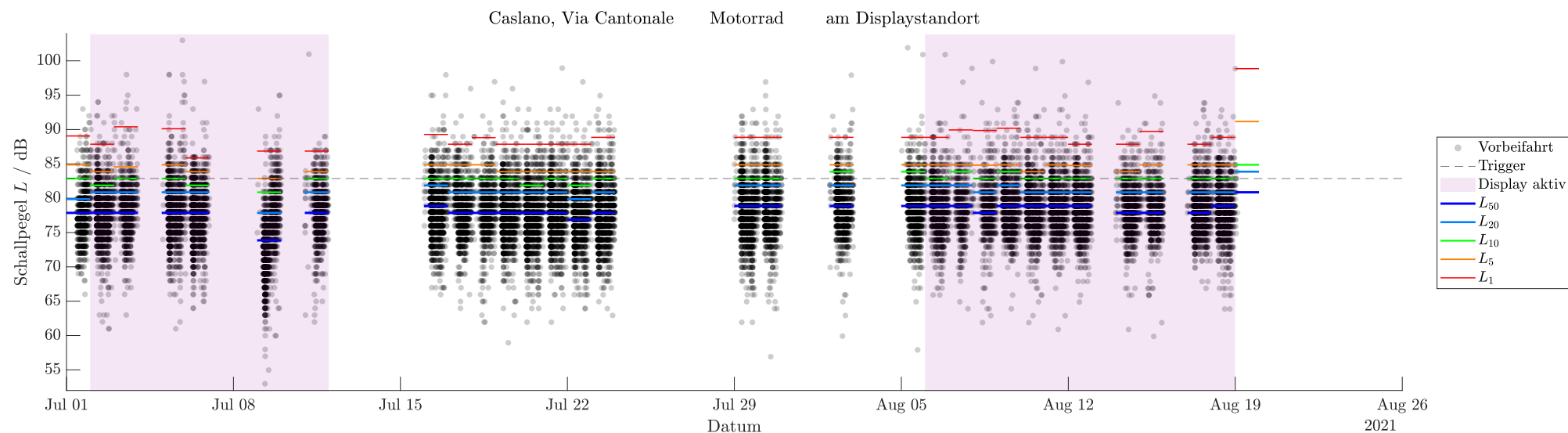


Abbildung 21: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Caslano (Via Cantonale)

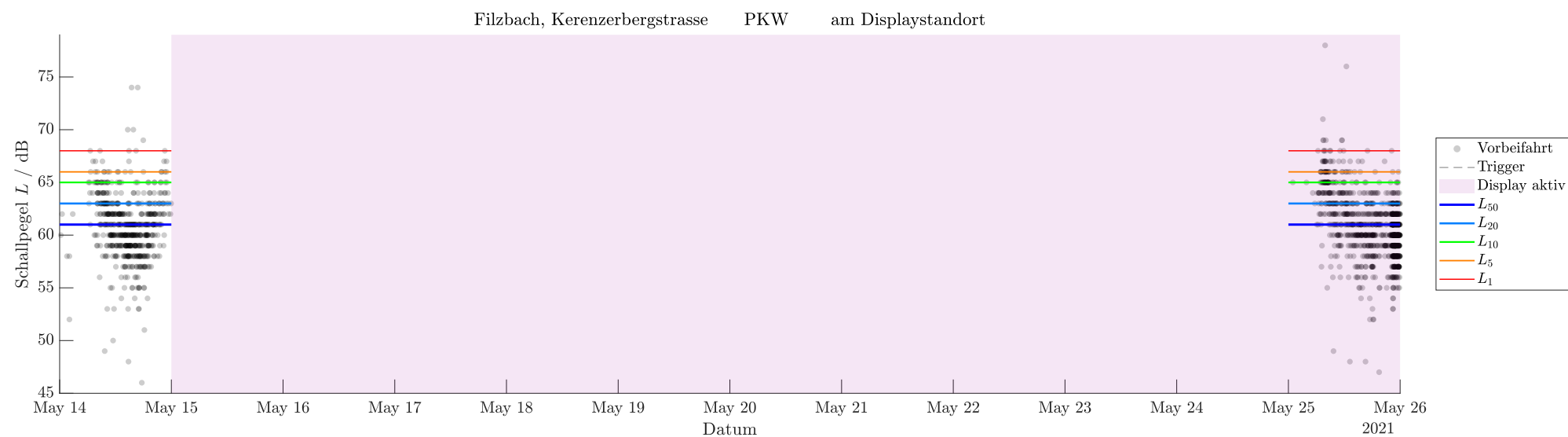
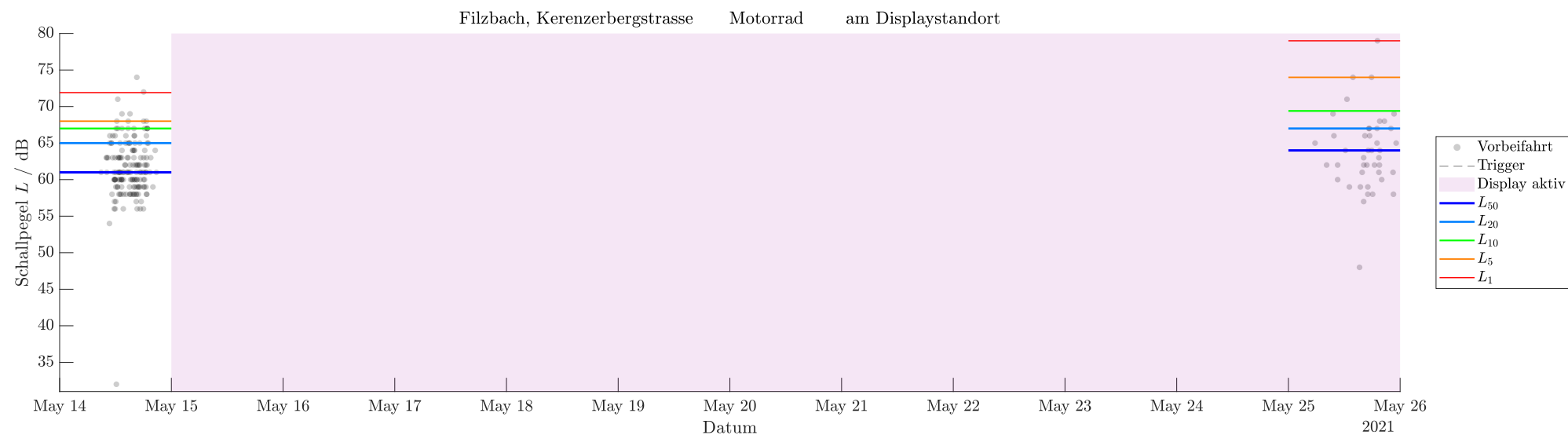


Abbildung 22: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Filzbach (Kerenzerbergstrasse)

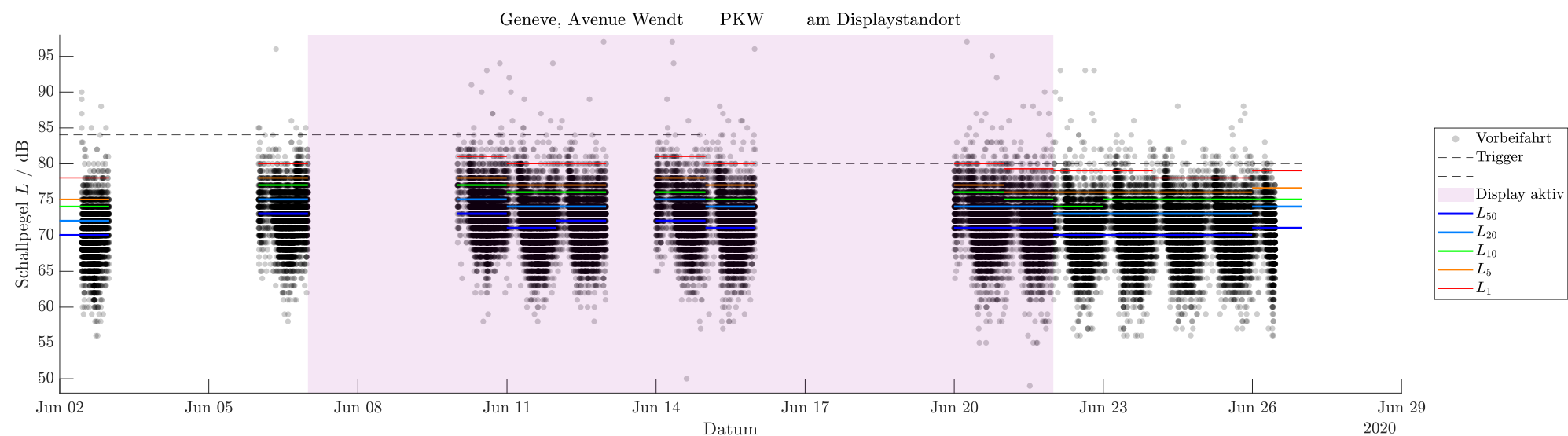
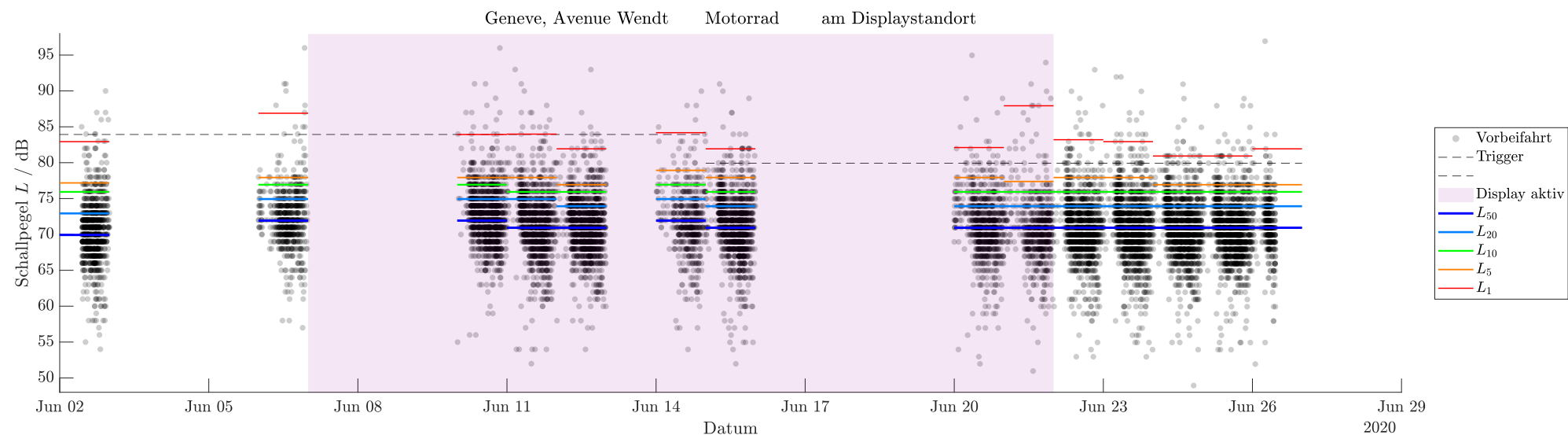


Abbildung 23: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Genf (Avenue Wendt)

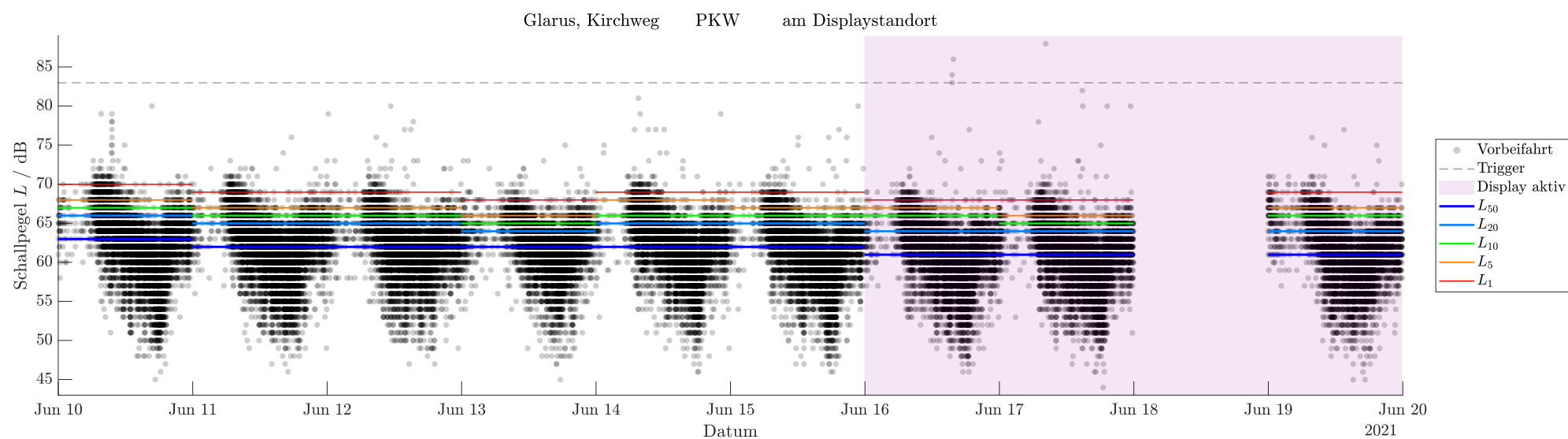
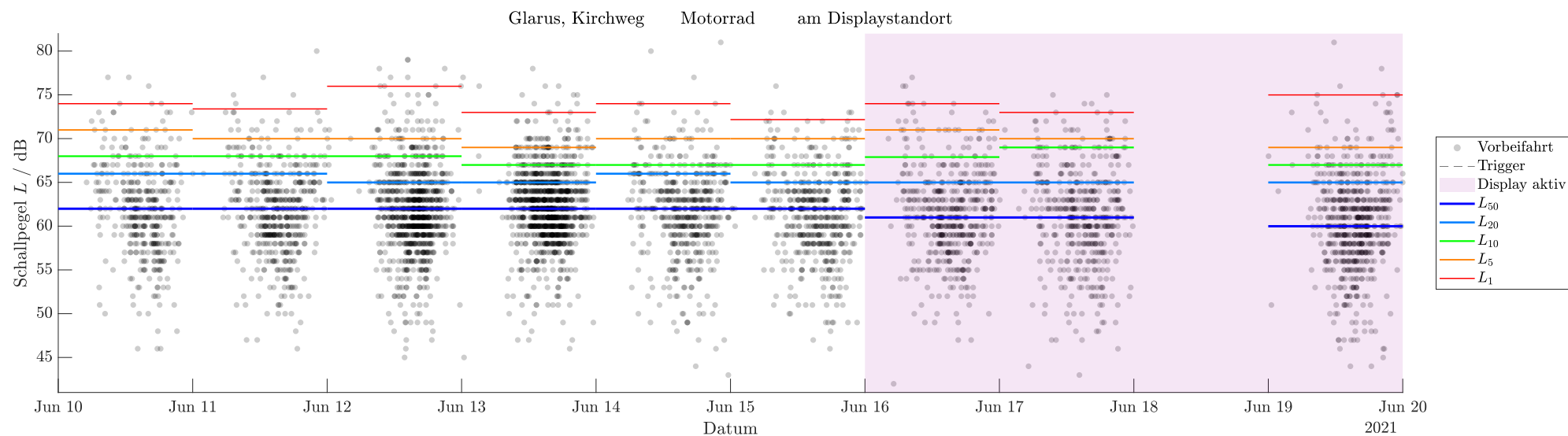


Abbildung 24: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Glarus (Kirchweg)

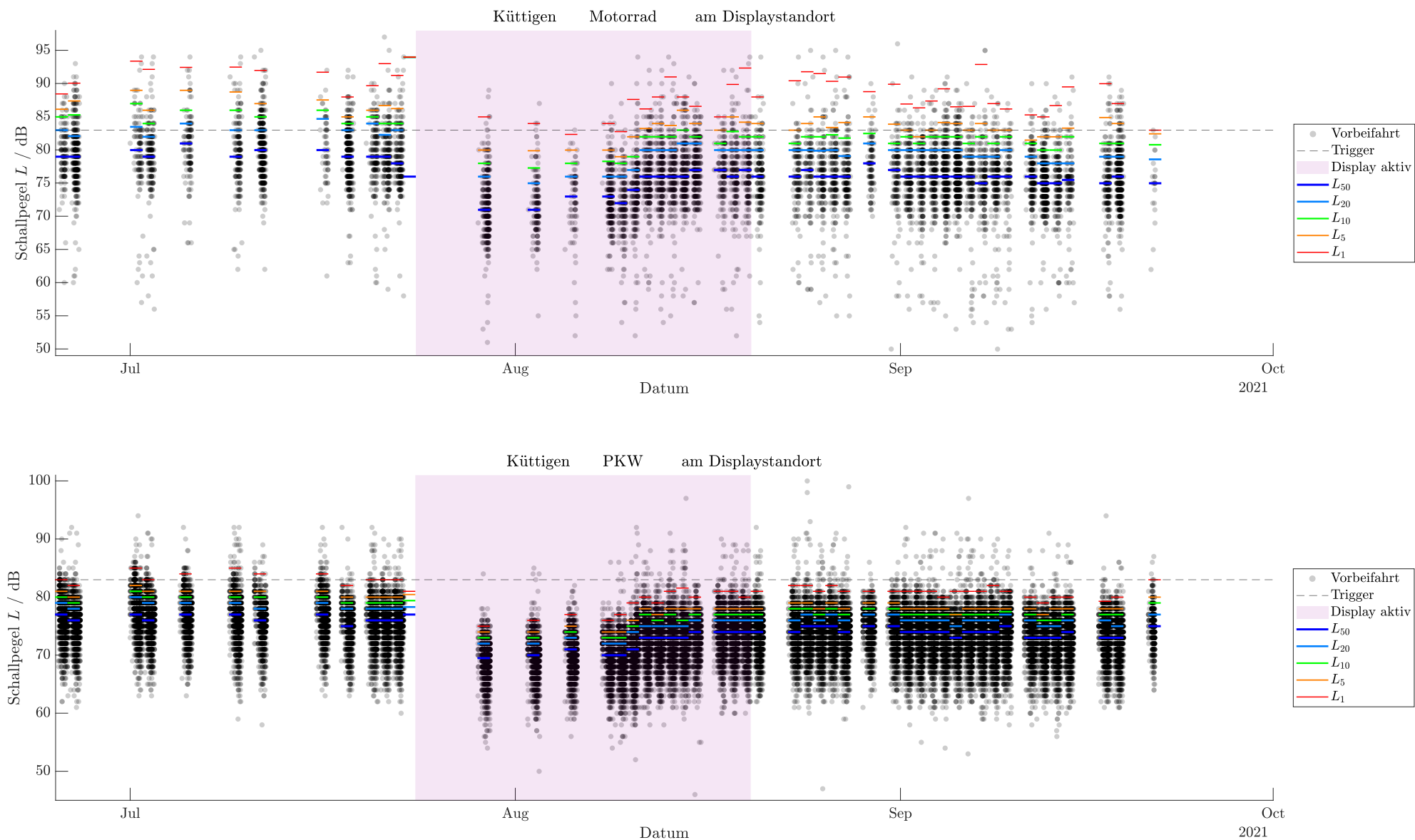


Abbildung 25: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Küttigen

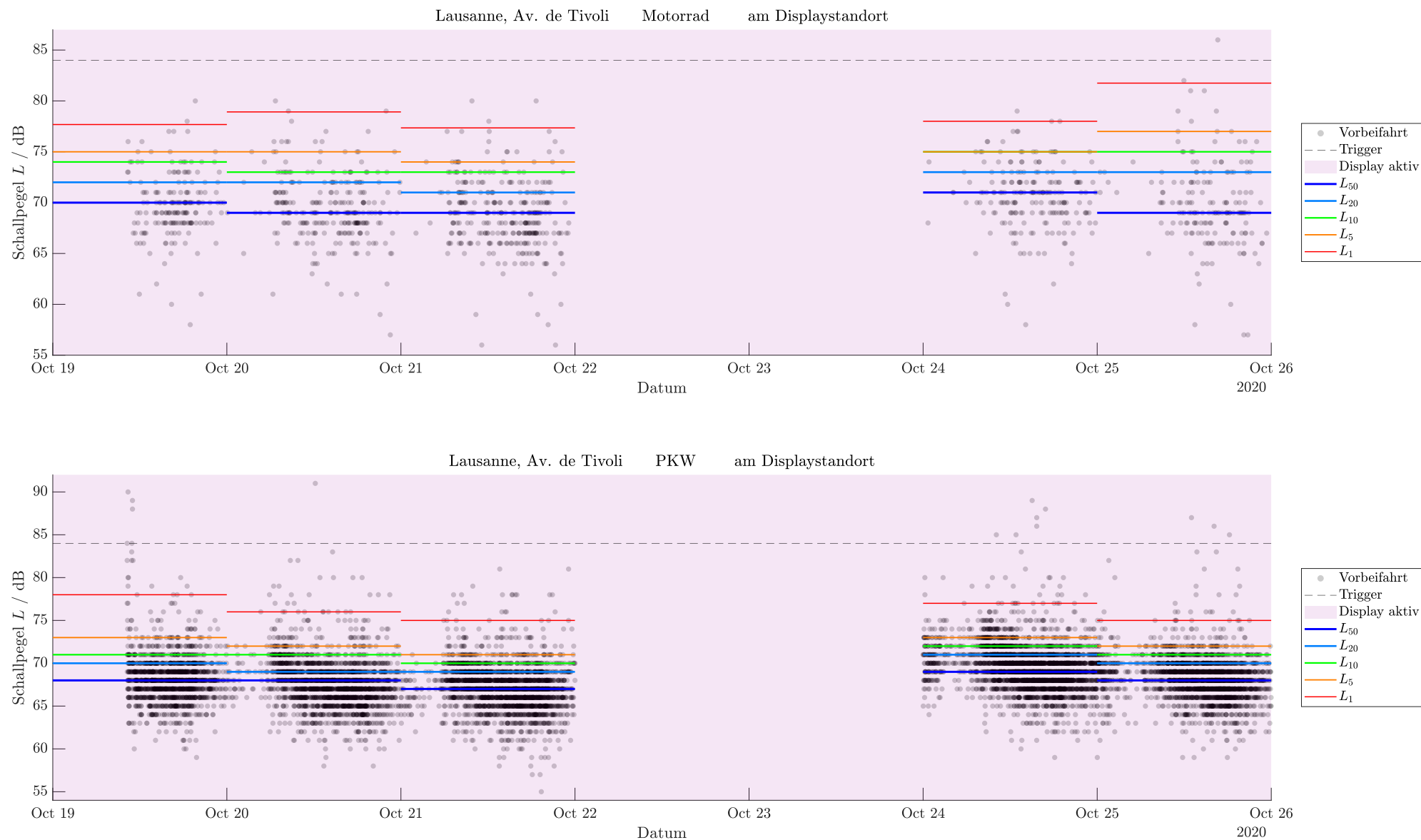


Abbildung 26: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Lausanne (Avenue de Tivoli)



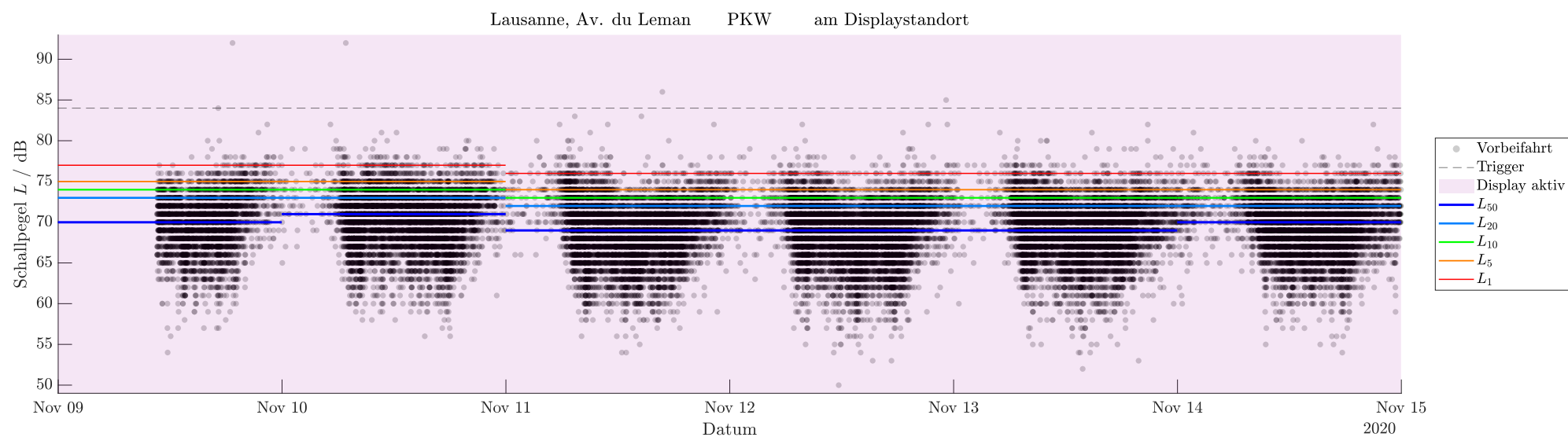
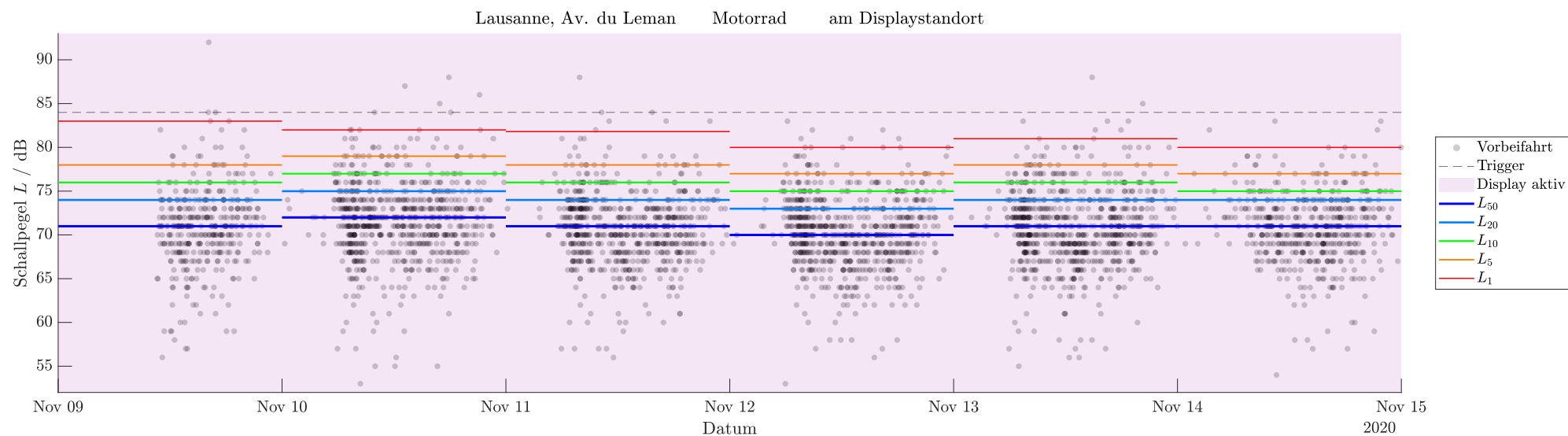


Abbildung 28: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Lausanne (Avenue du Lemman)

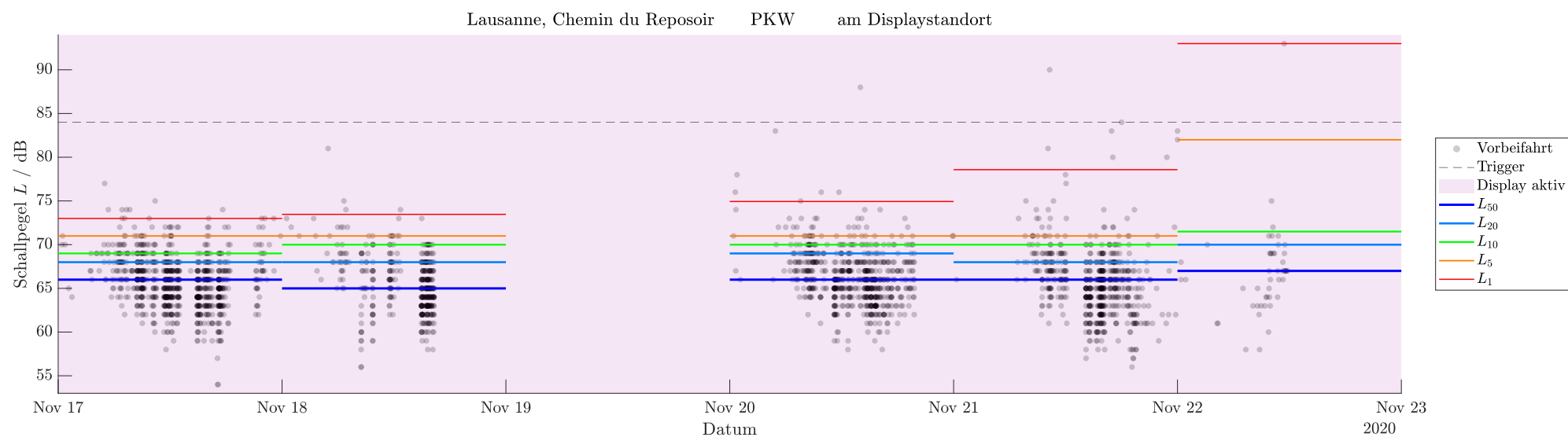
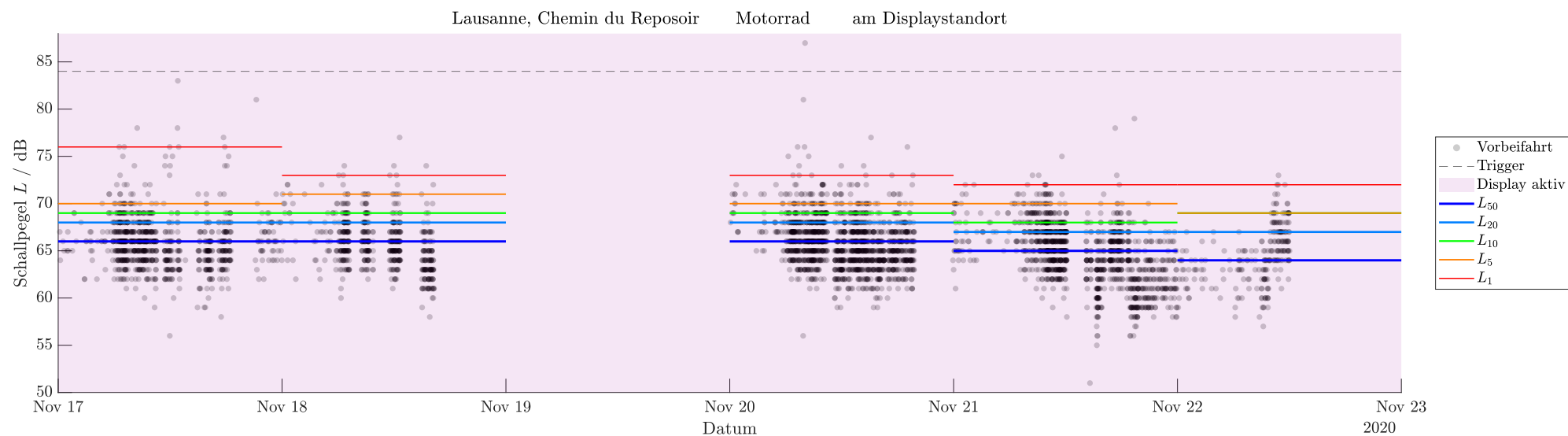


Abbildung 29: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Lausanne (Chemin du Reposoir)

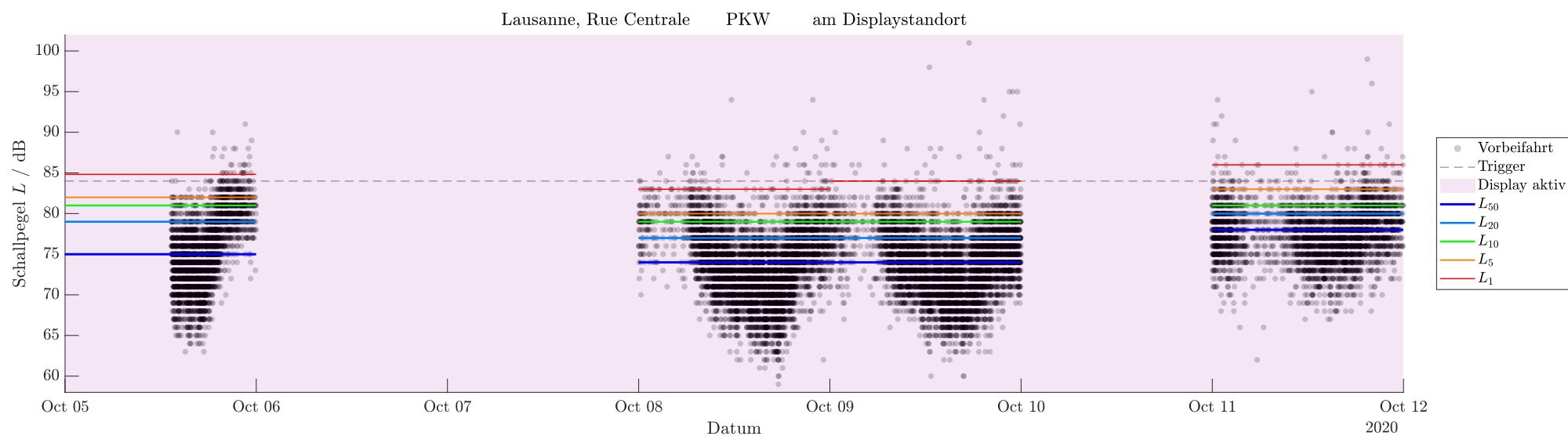
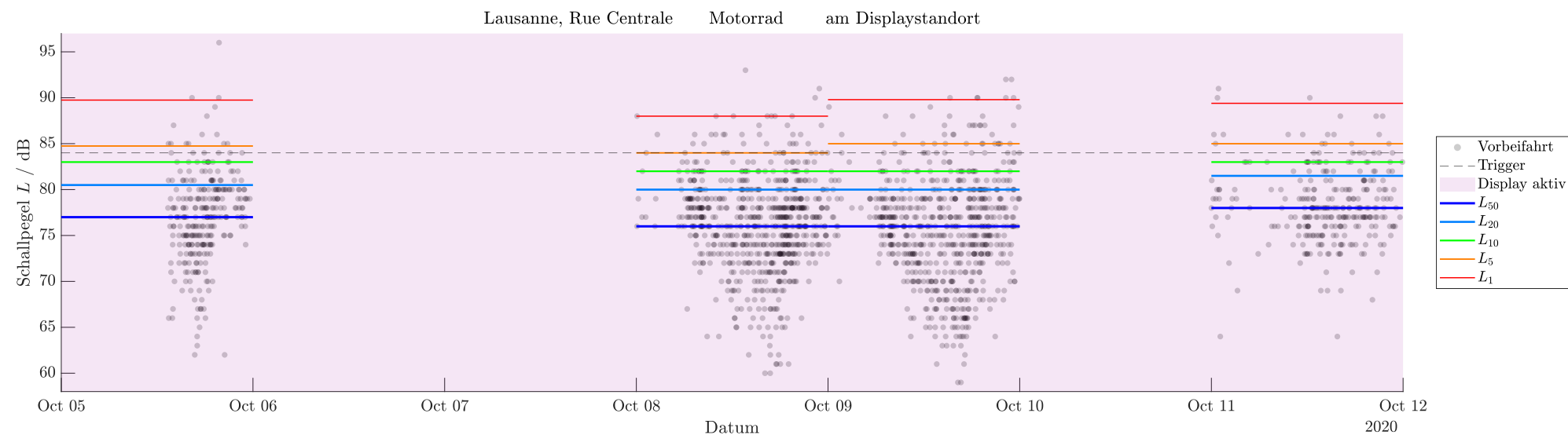
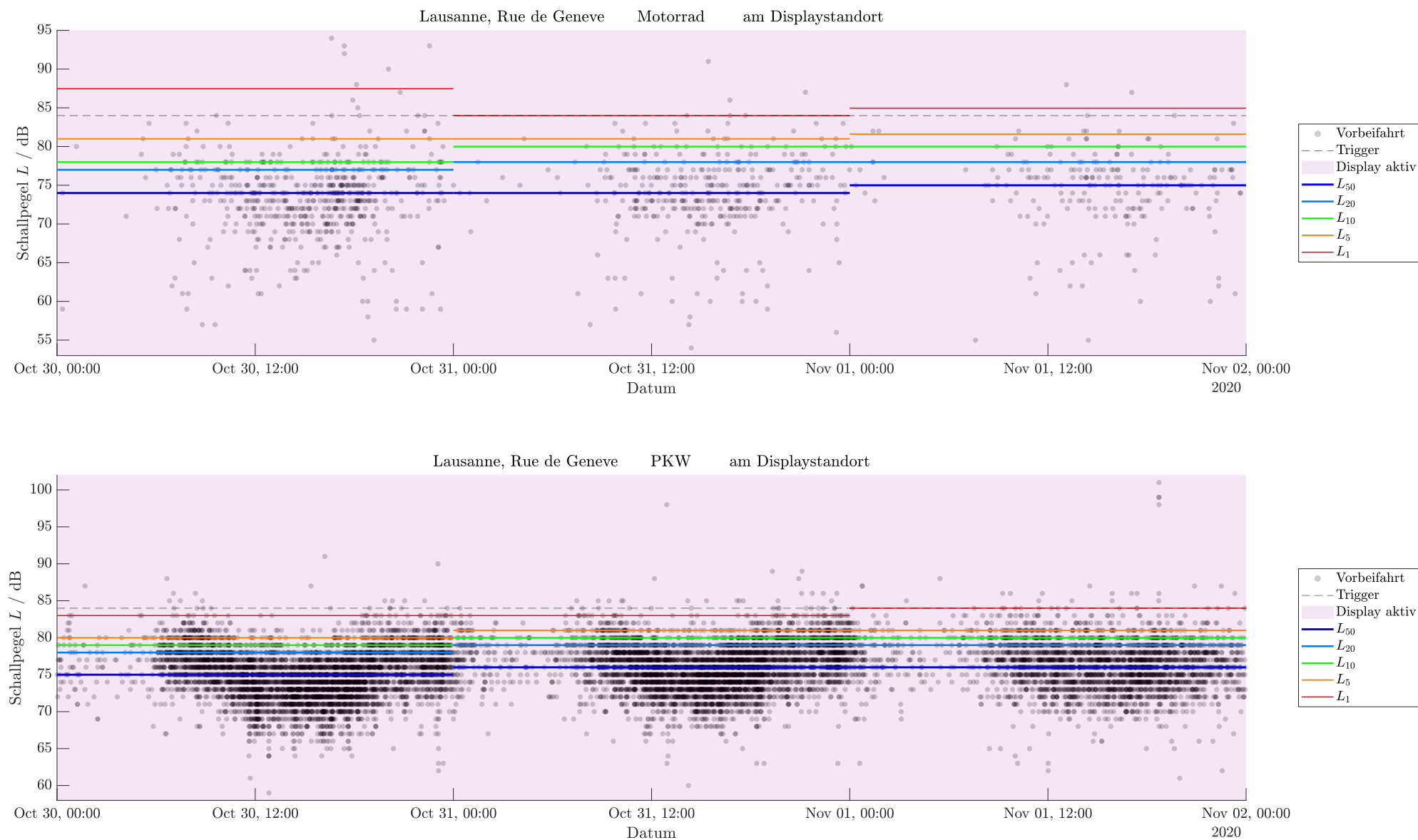
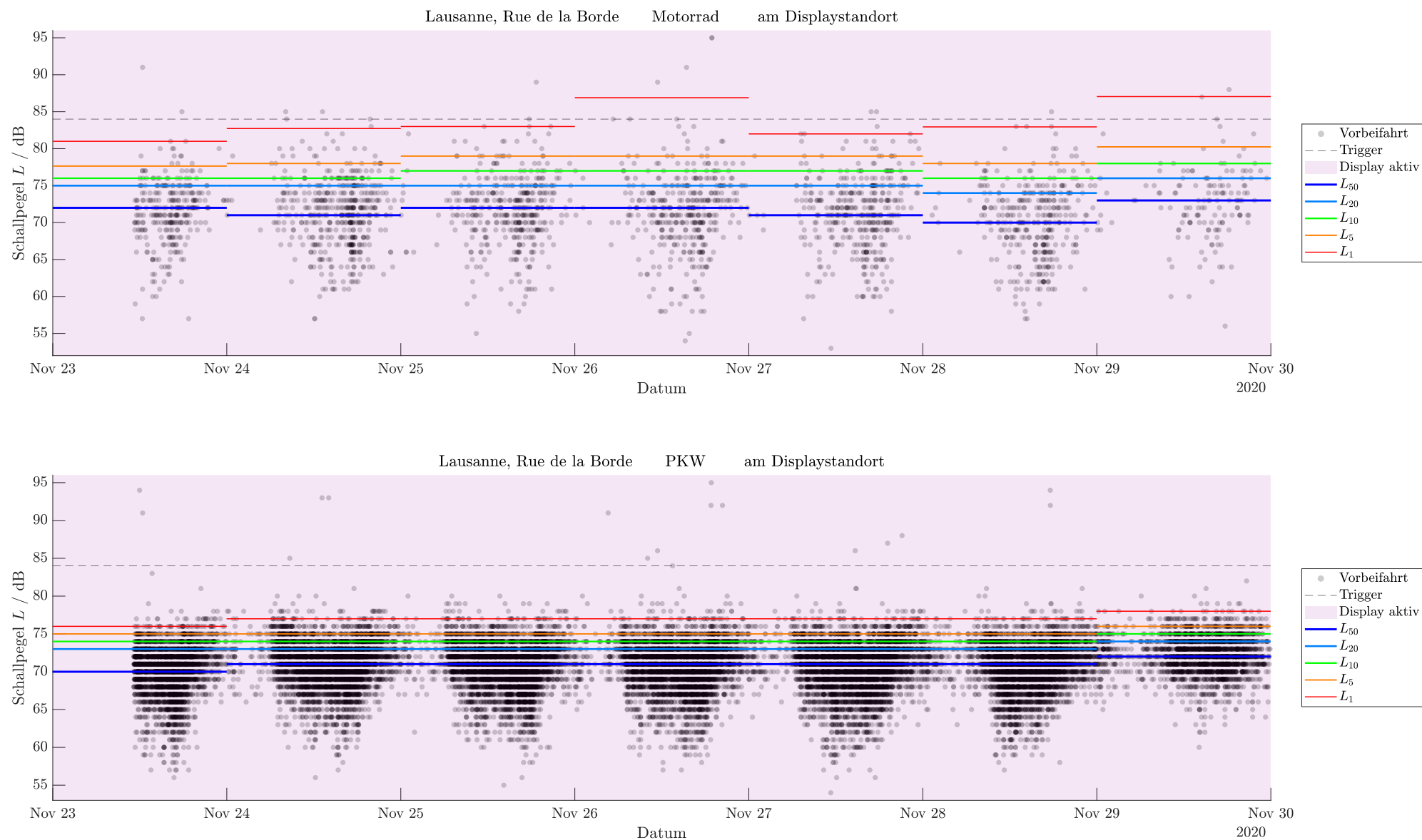


Abbildung 30: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Lausanne (Rue Centrale)





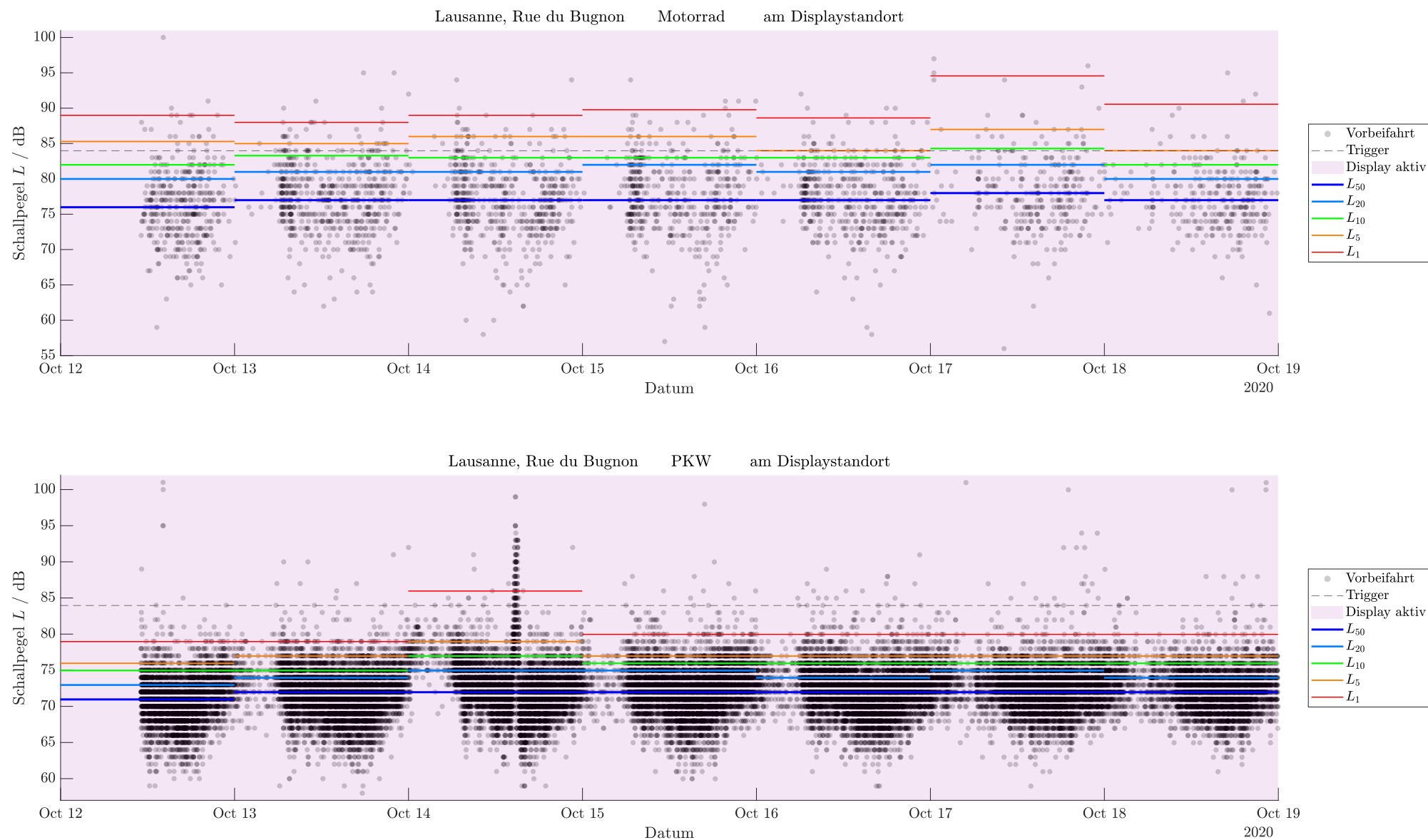


Abbildung 33: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Lausanne (Rue du Bugnon)

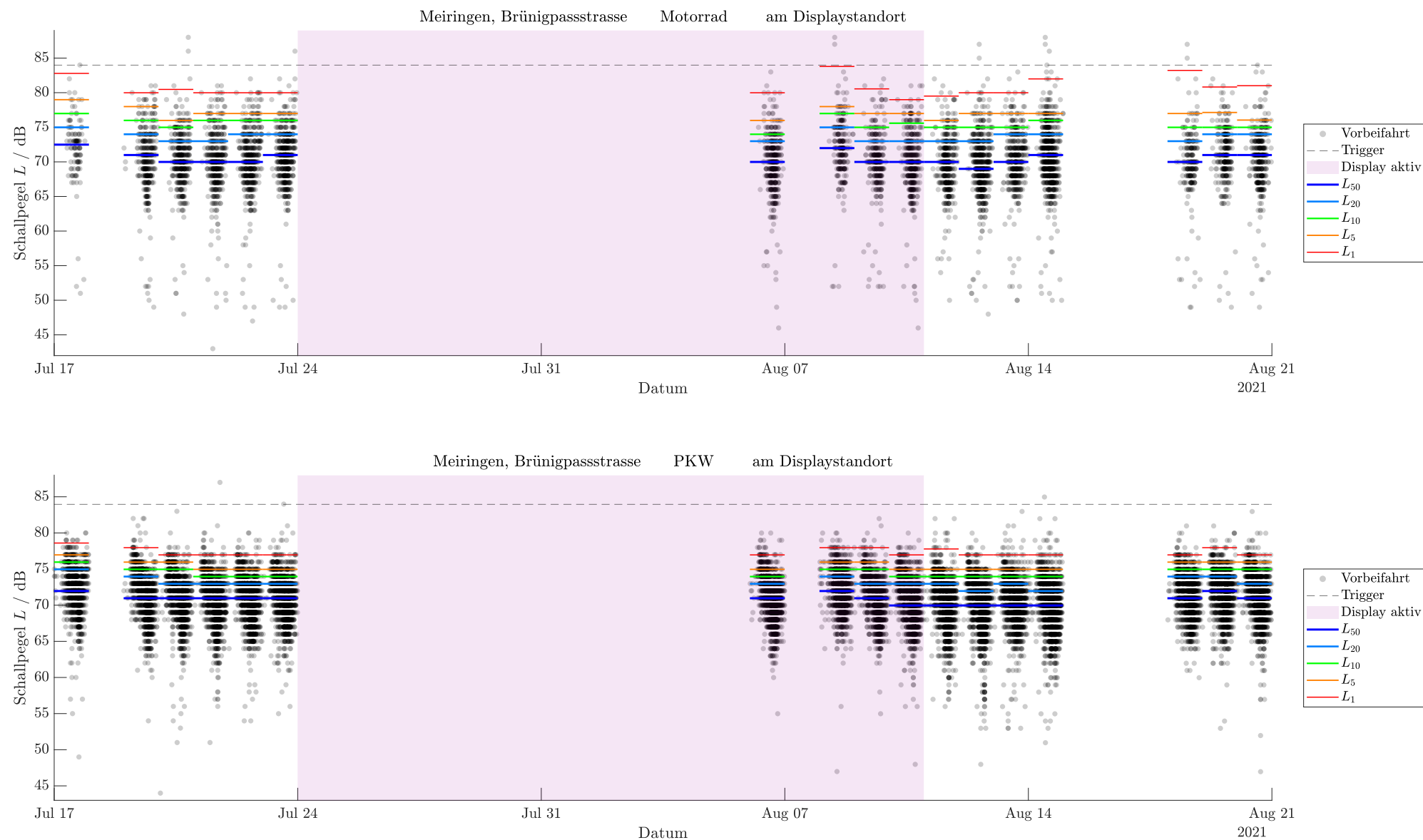


Abbildung 34: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Meiringen (Brünigpassstrasse)

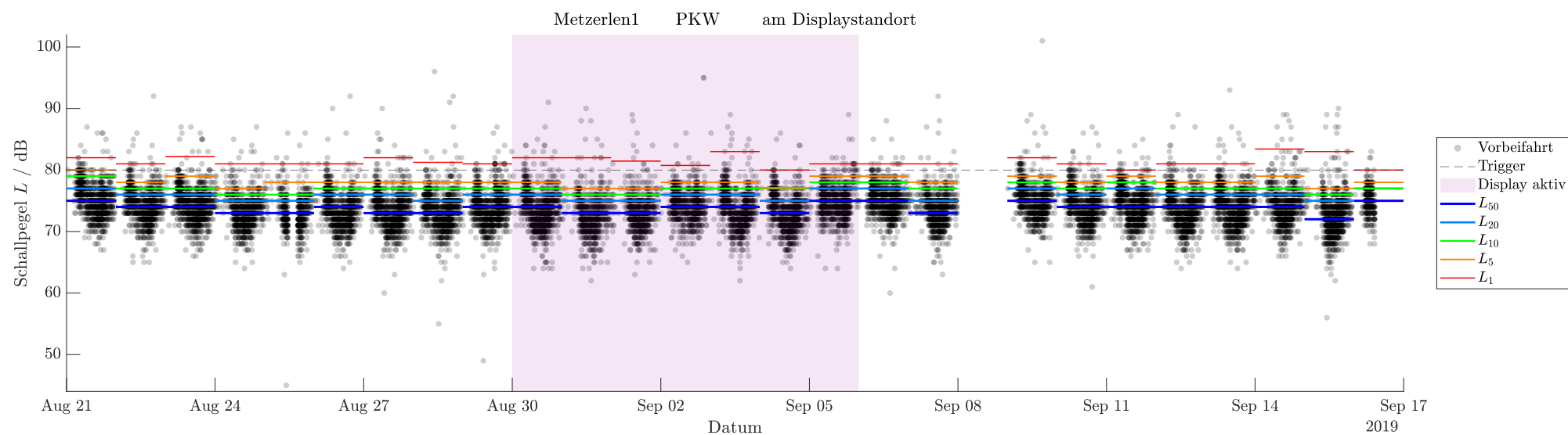
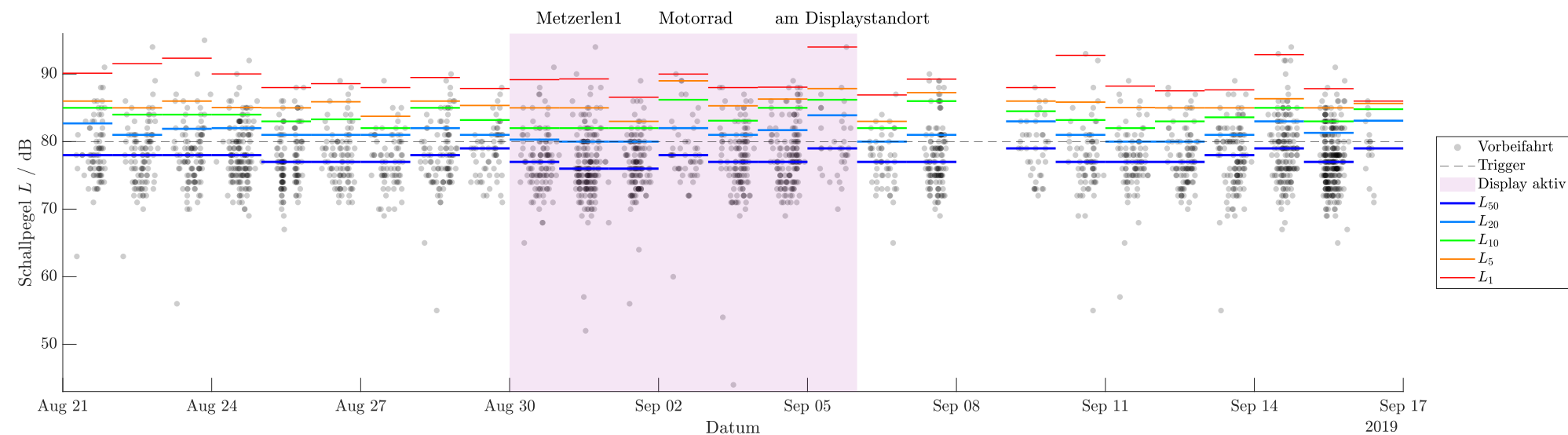


Abbildung 35: tägliche Perzentilschallpegel der ersten Messkampagne am Displaystandort in Metzerlen

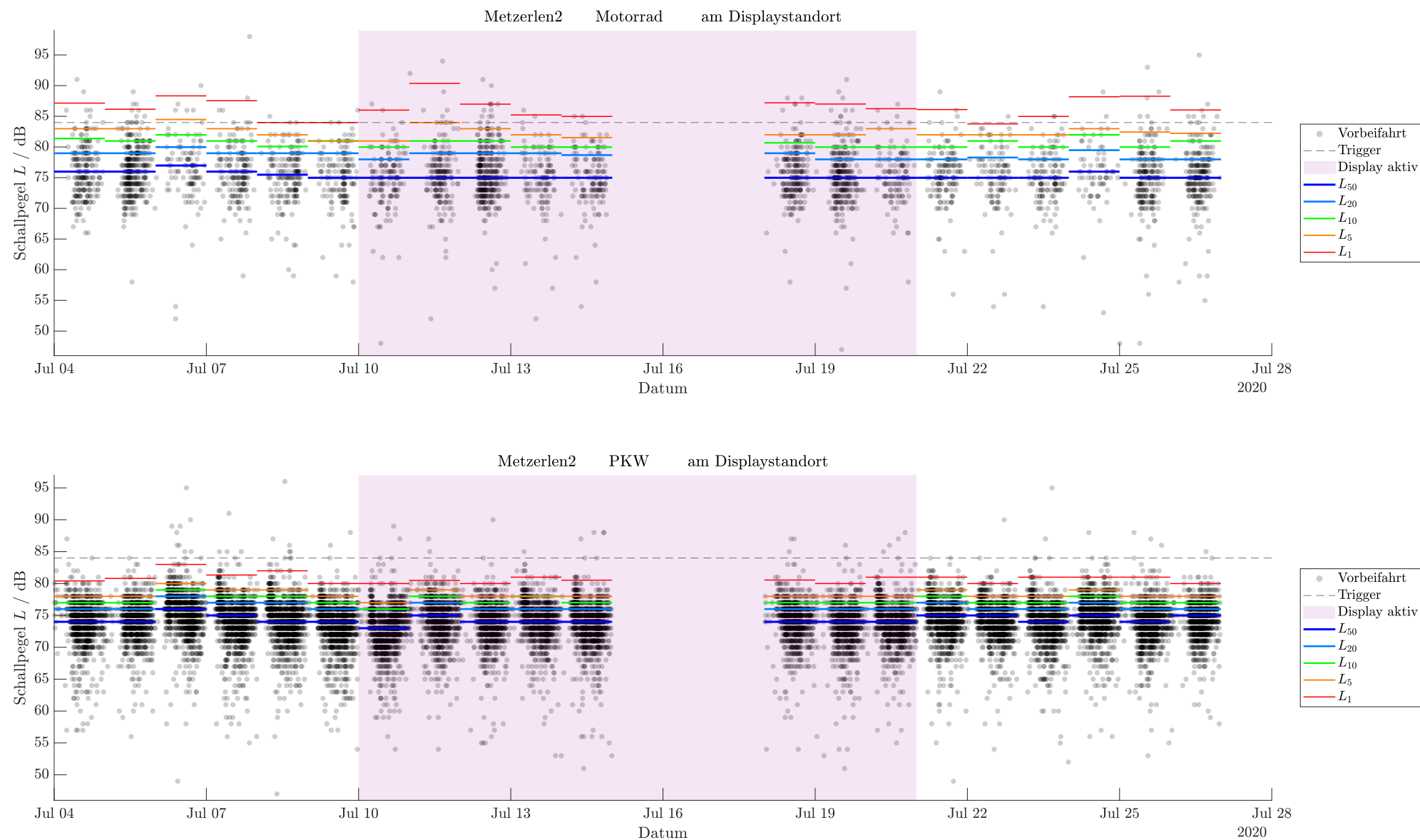


Abbildung 36: tägliche Perzentilschallpegel der zweiten Messkampagne am Displaystandort in Metzerlen

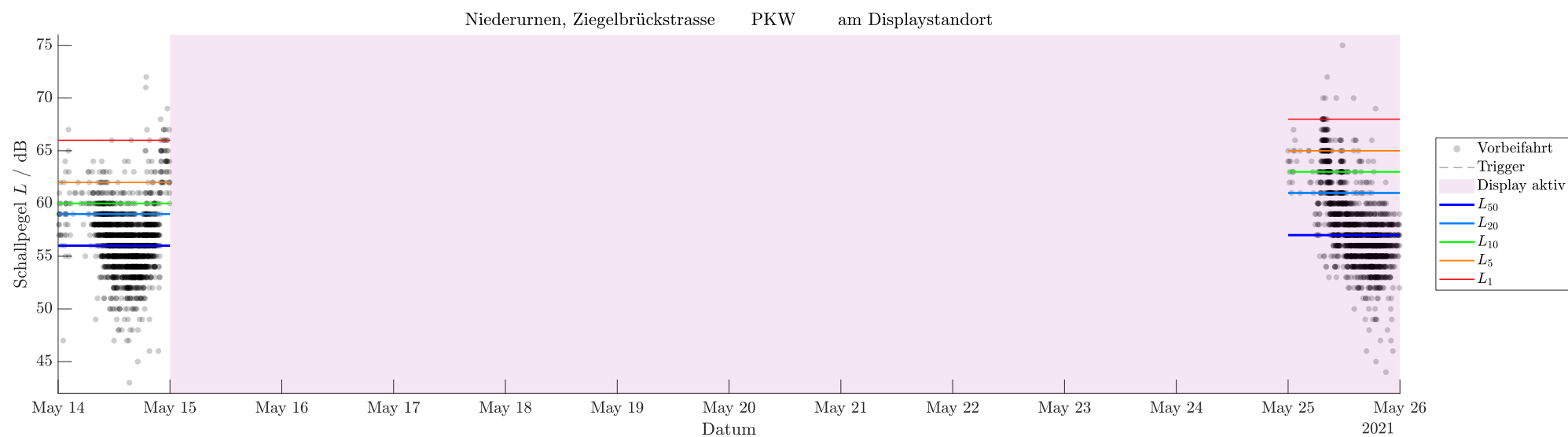
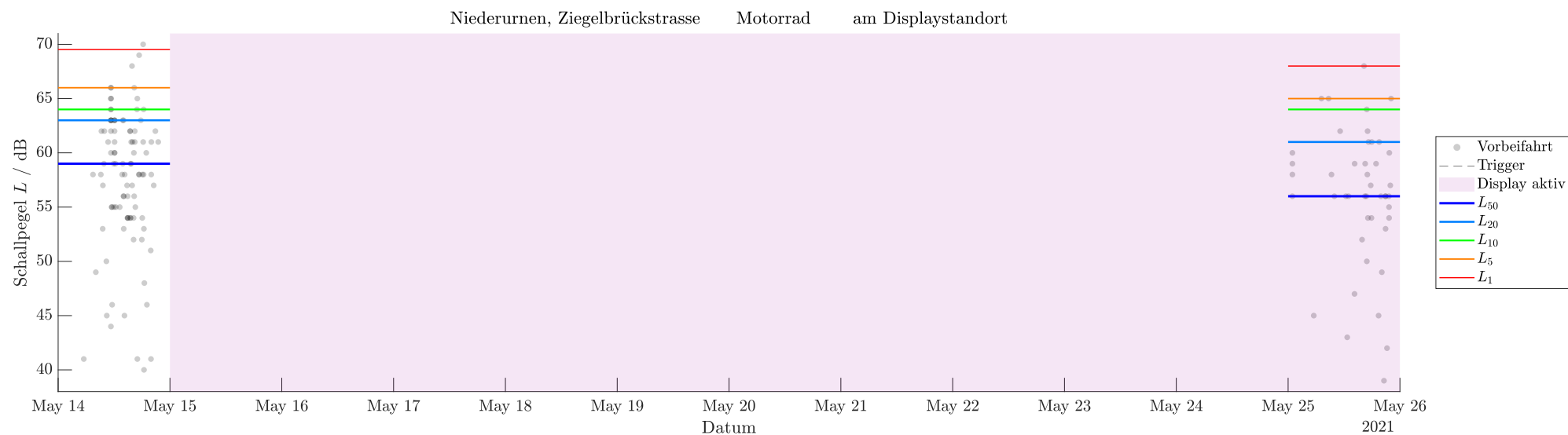


Abbildung 37: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Niederurnen (Ziegelbrückstrasse)

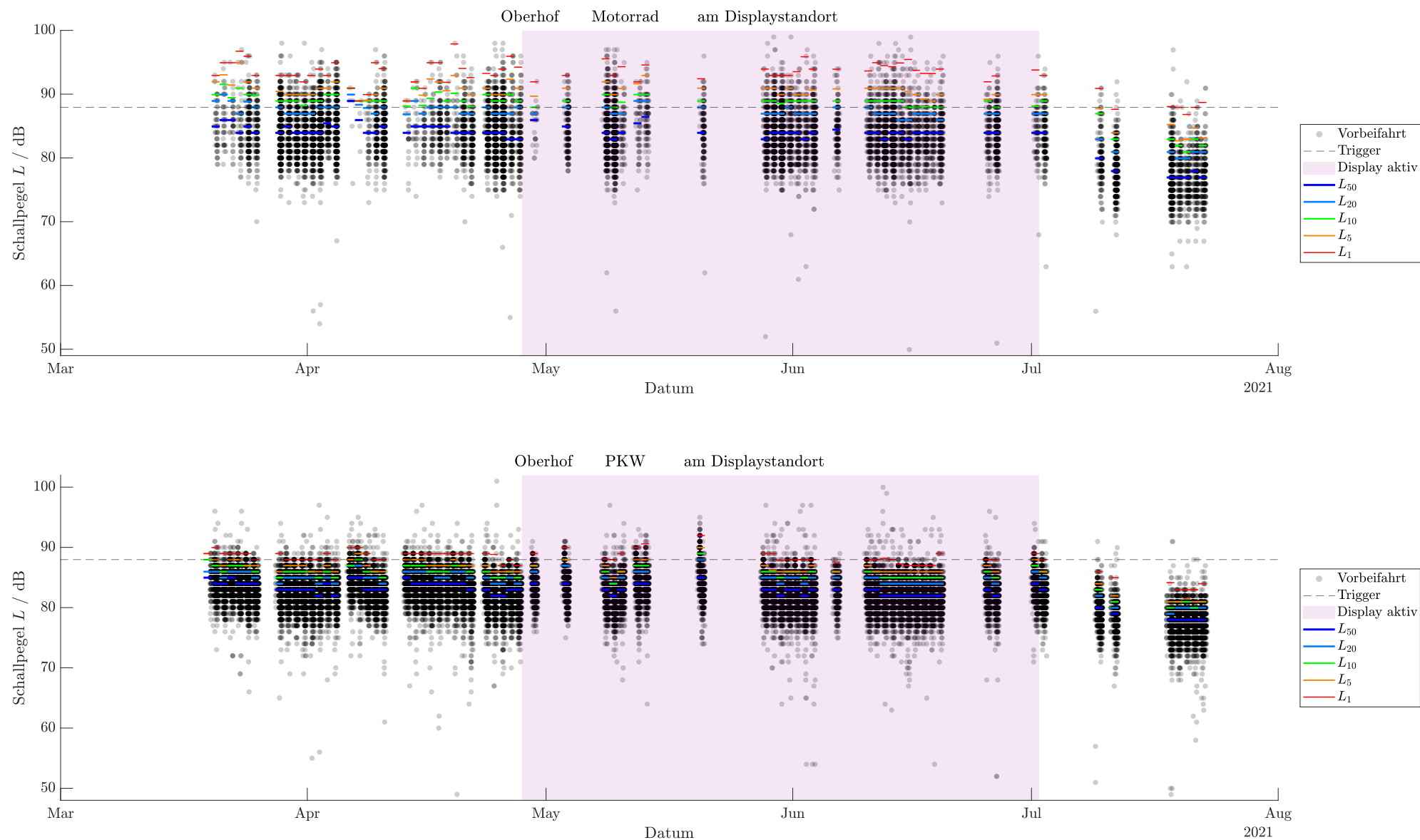


Abbildung 38: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Oberhof

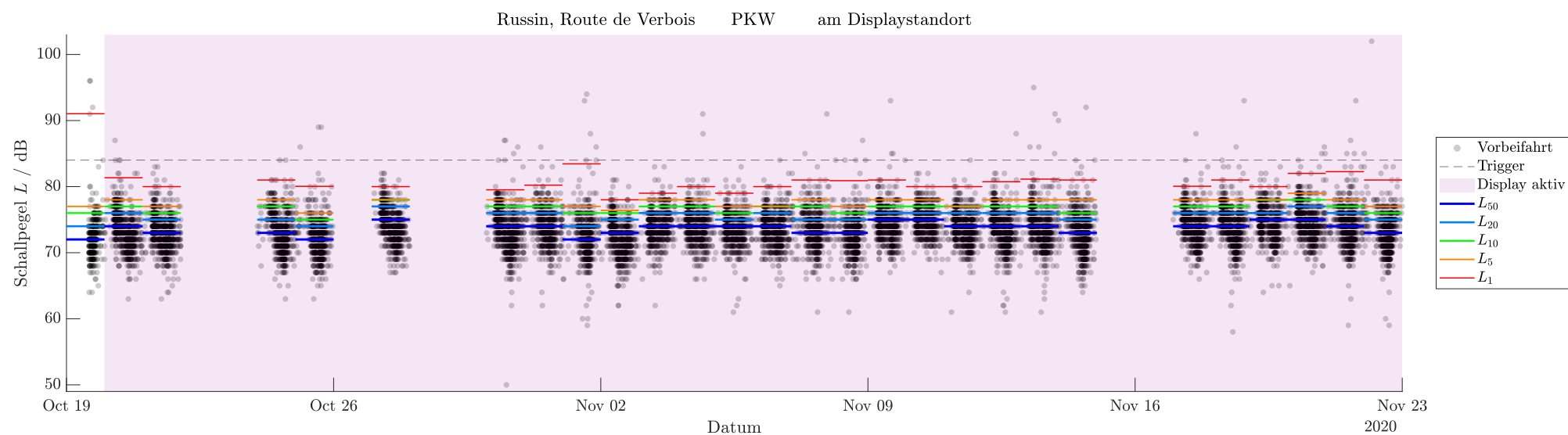
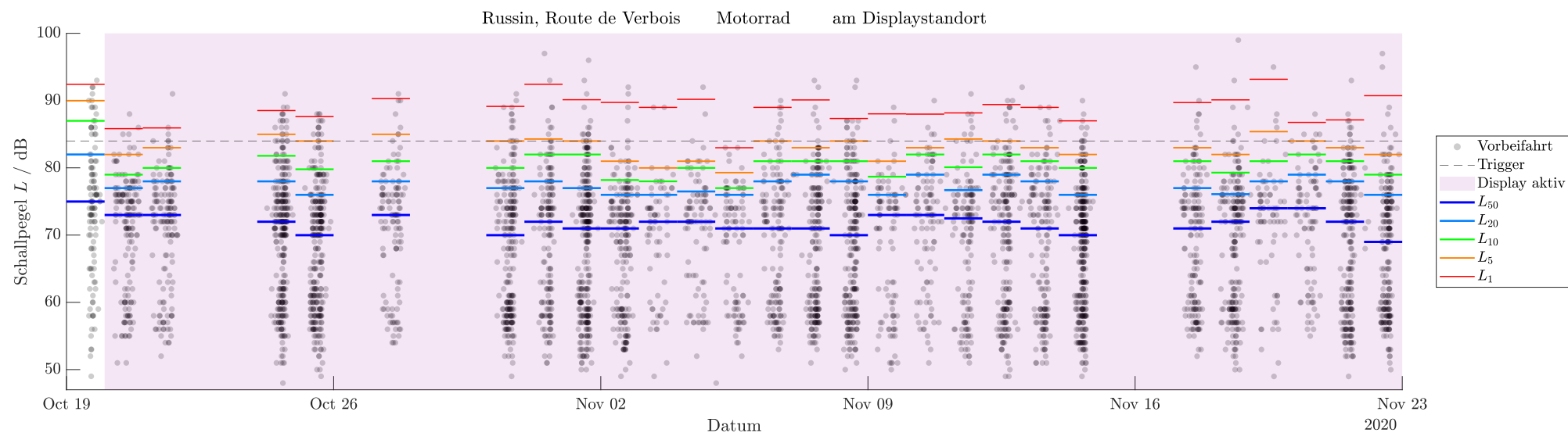
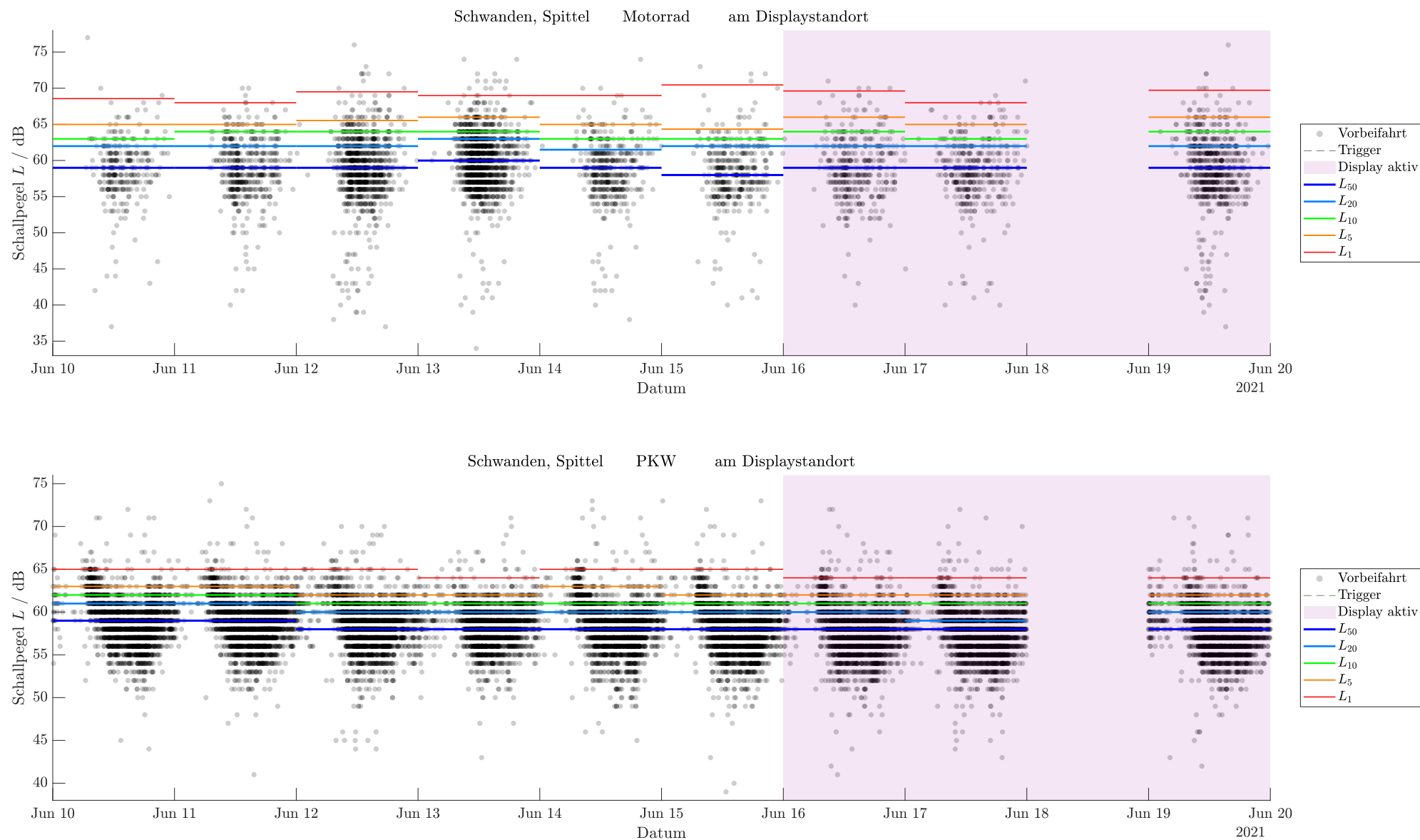


Abbildung 39: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Russin (Route de Verbois)



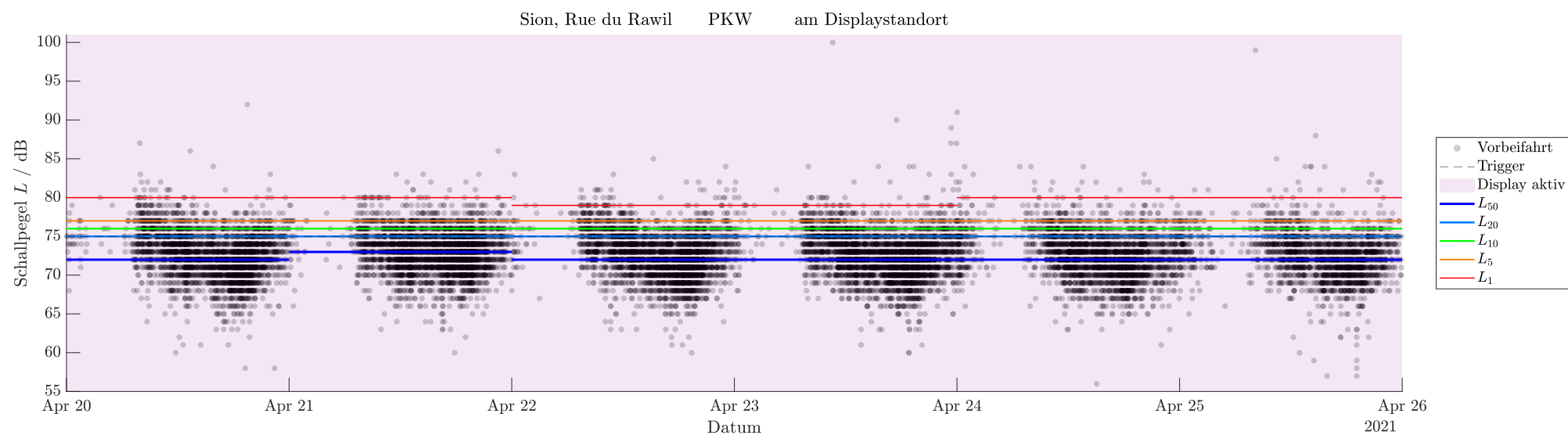
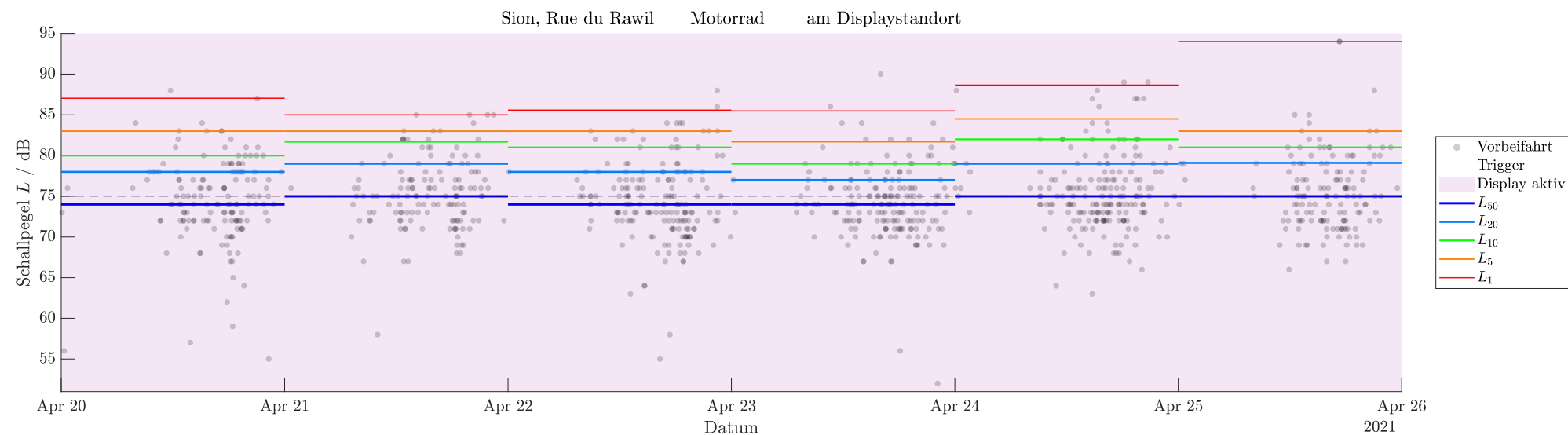


Abbildung 41: tägliche Perzentilschallpegel am Displaystandort in Sion (Rue du Rawil)

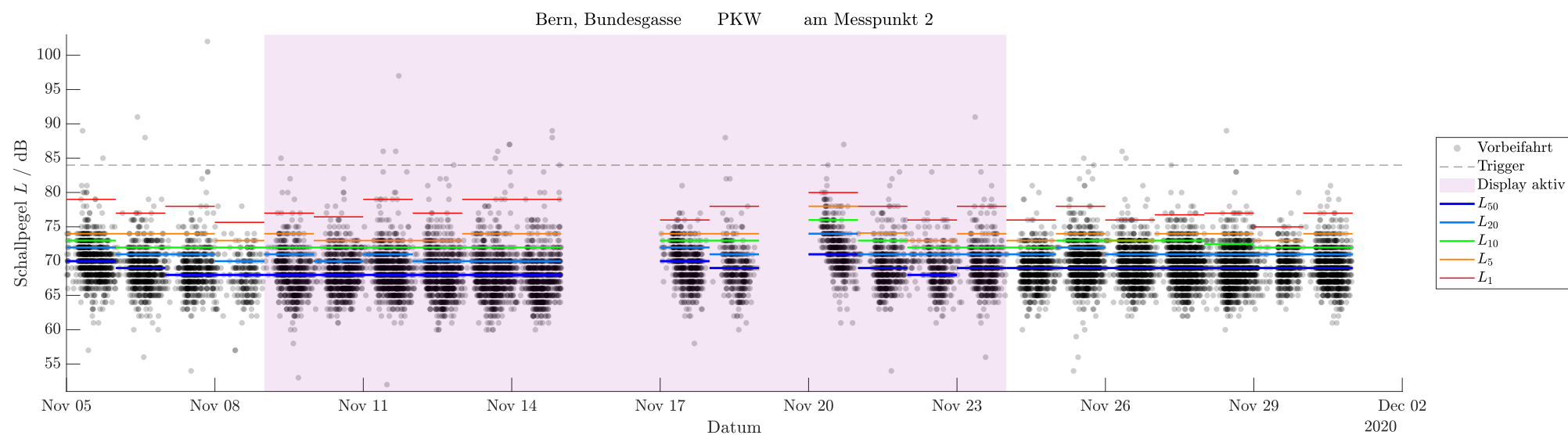
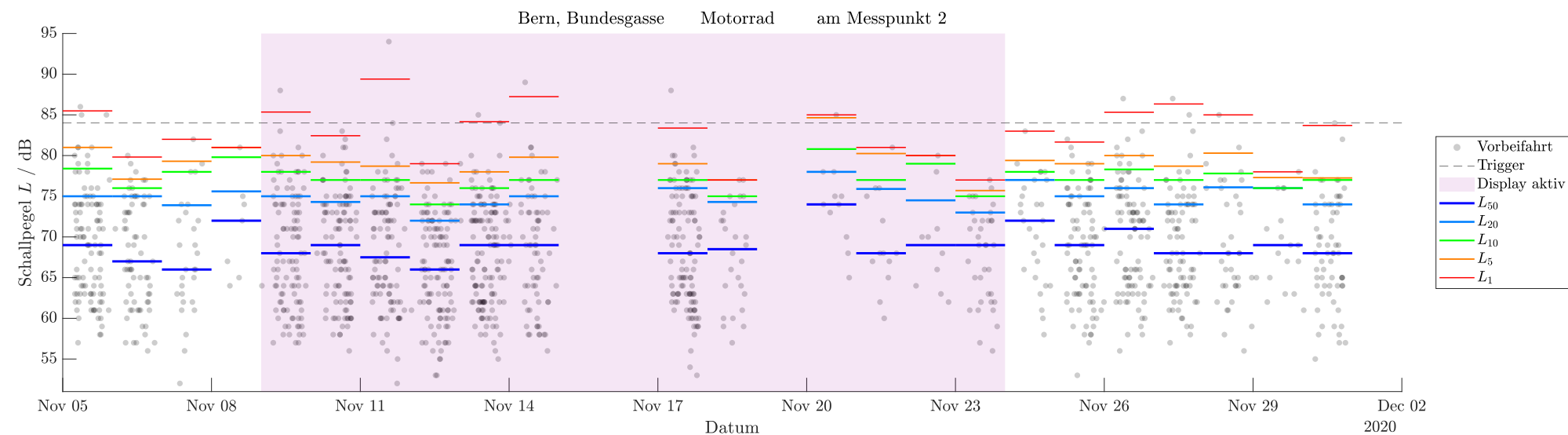


Abbildung 42: tägliche Perzentilschallpegel am 70 m abgesetzten Messpunkt 2 in Bern (Bundesgasse)

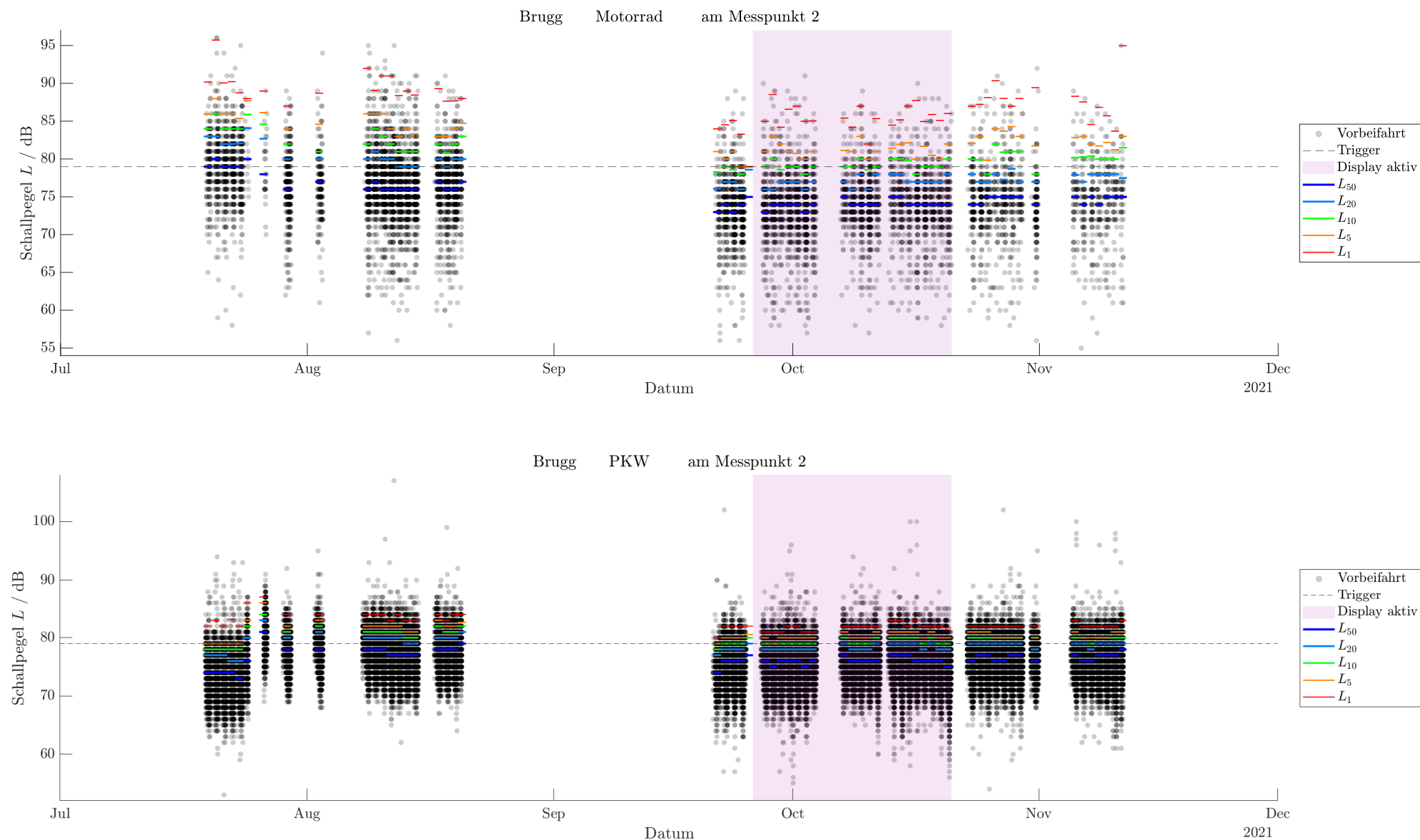


Abbildung 43: tägliche Perzentilschallpegel am 300 m abgesetzten Messpunkt 2 in Brugg

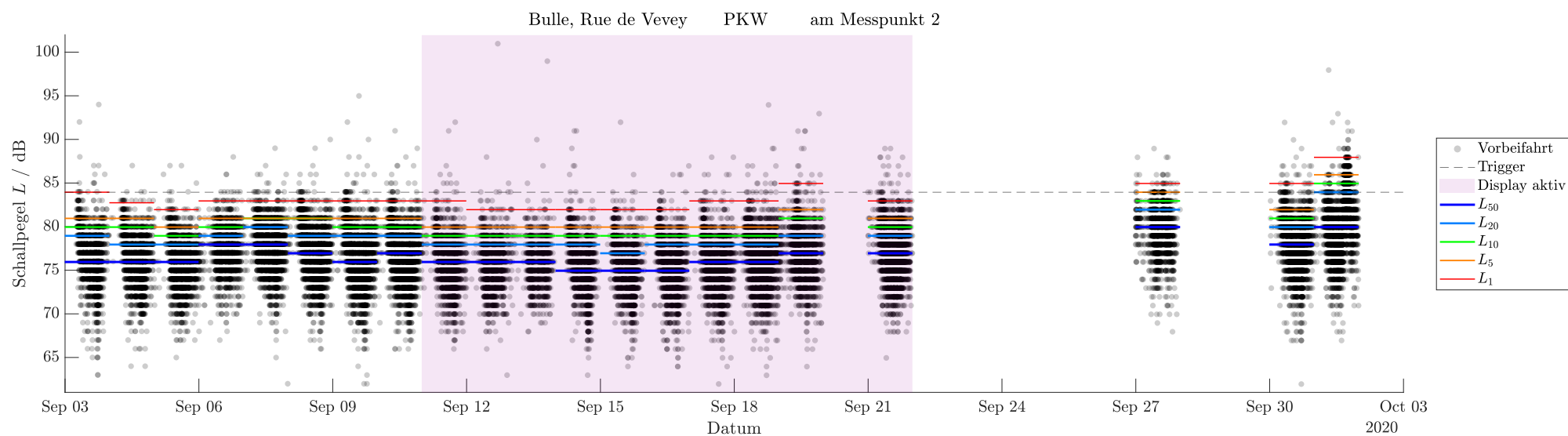
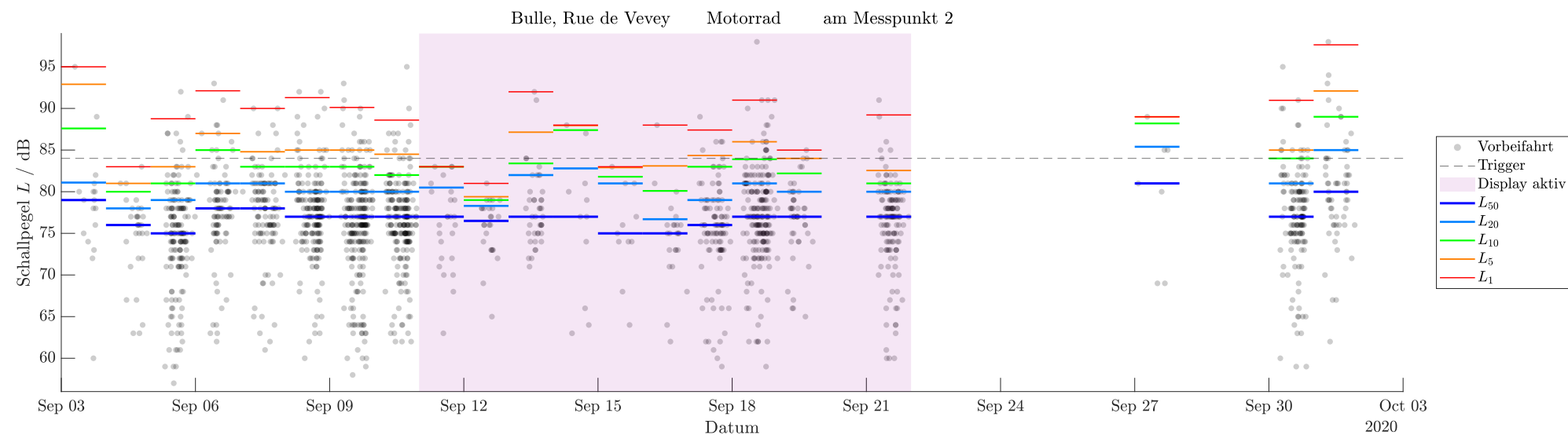


Abbildung 44: tägliche Perzentilschallpegel am 73 m abgesetzten Messpunkt 2 in Bulle (Rue de Vevey)

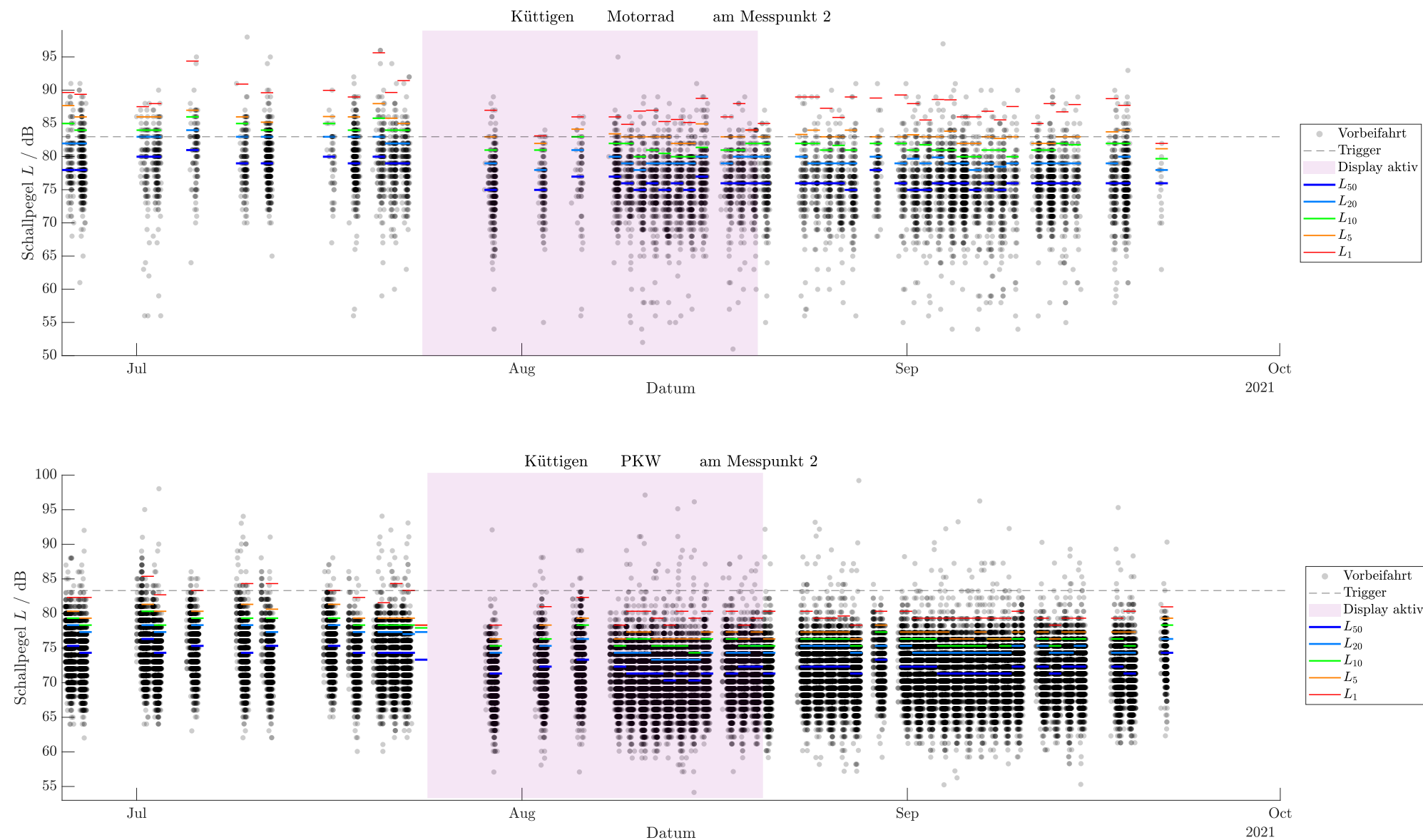


Abbildung 45: tägliche Perzentilschallpegel am 245 m abgesetzten Messpunkt 2 in Küttigen

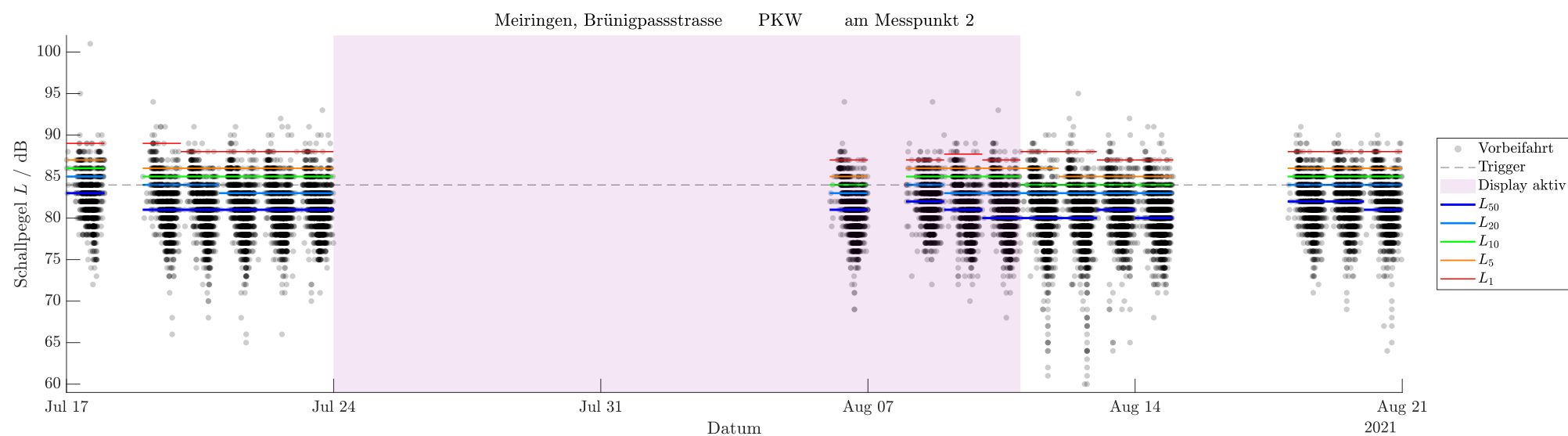
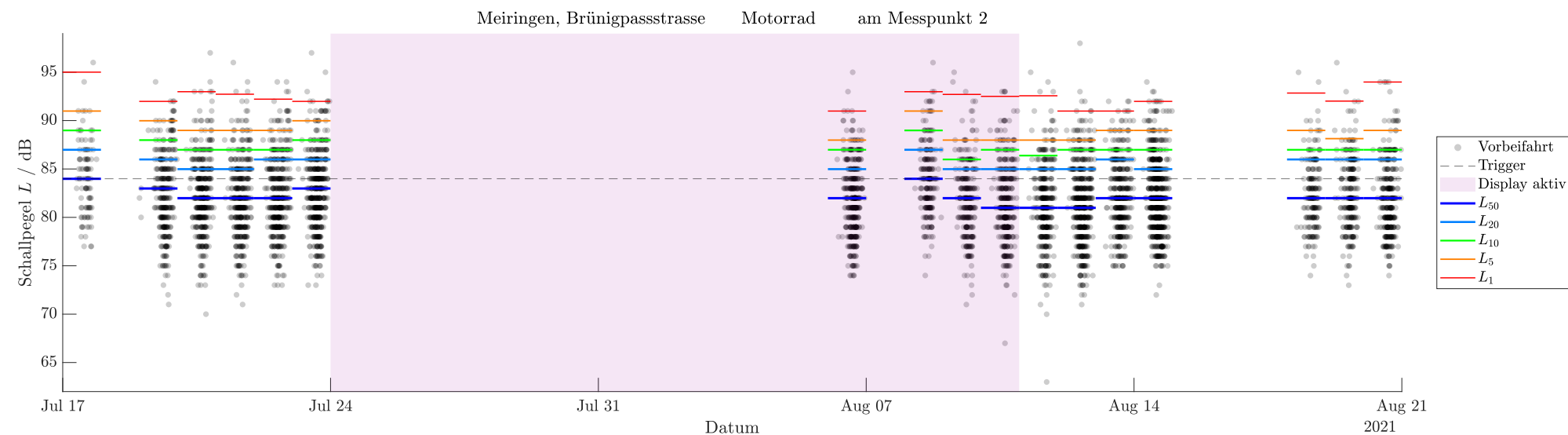


Abbildung 46: tägliche Perzentilschallpegel am 230 m abgesetzten Messpunkt 2 in Meiringen (Brünigpassstrasse)

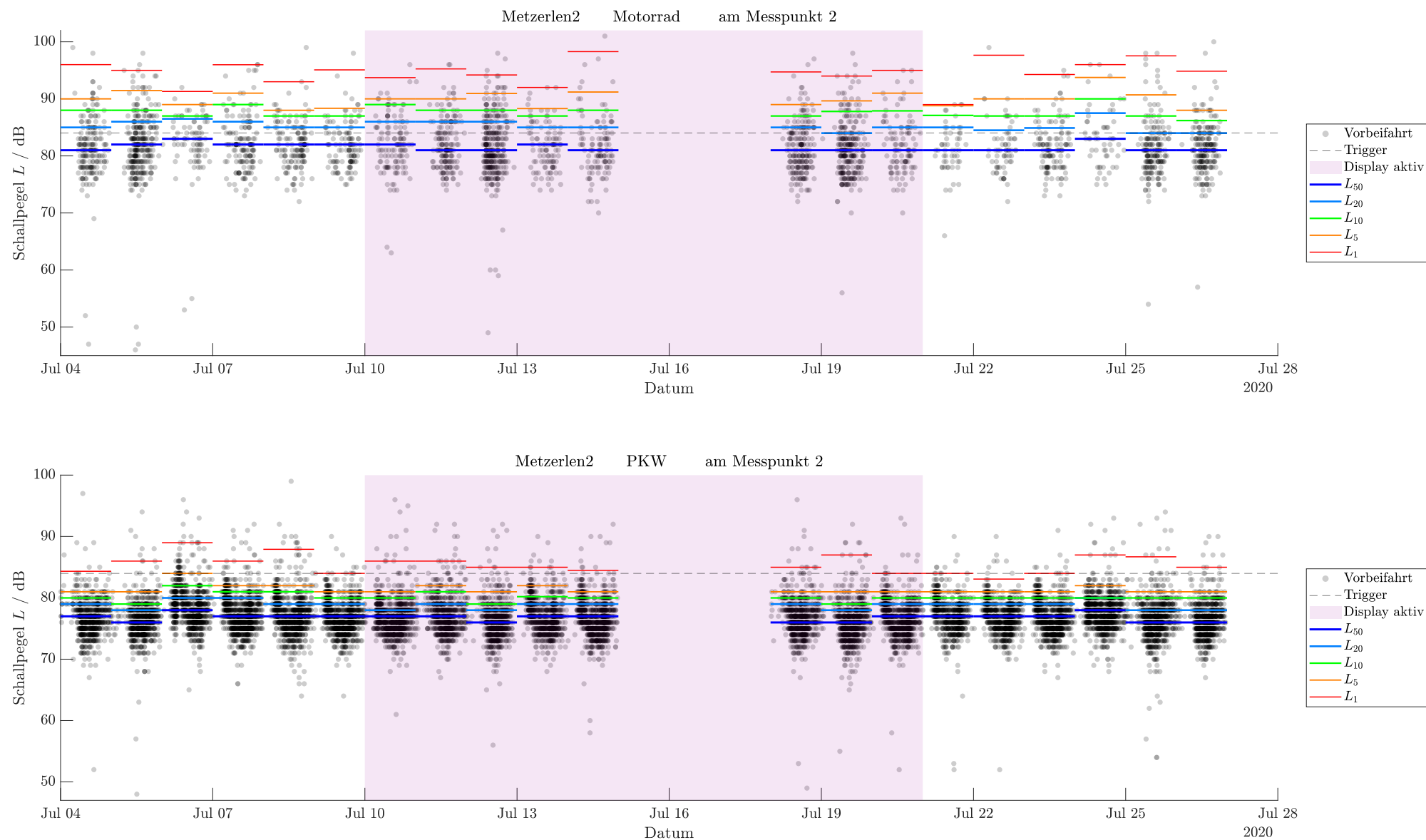


Abbildung 47: tägliche Perzentilschallpegel der zweiten Messkampagne am 444 m abgesetzten Messpunkt 2 in Metzerlen

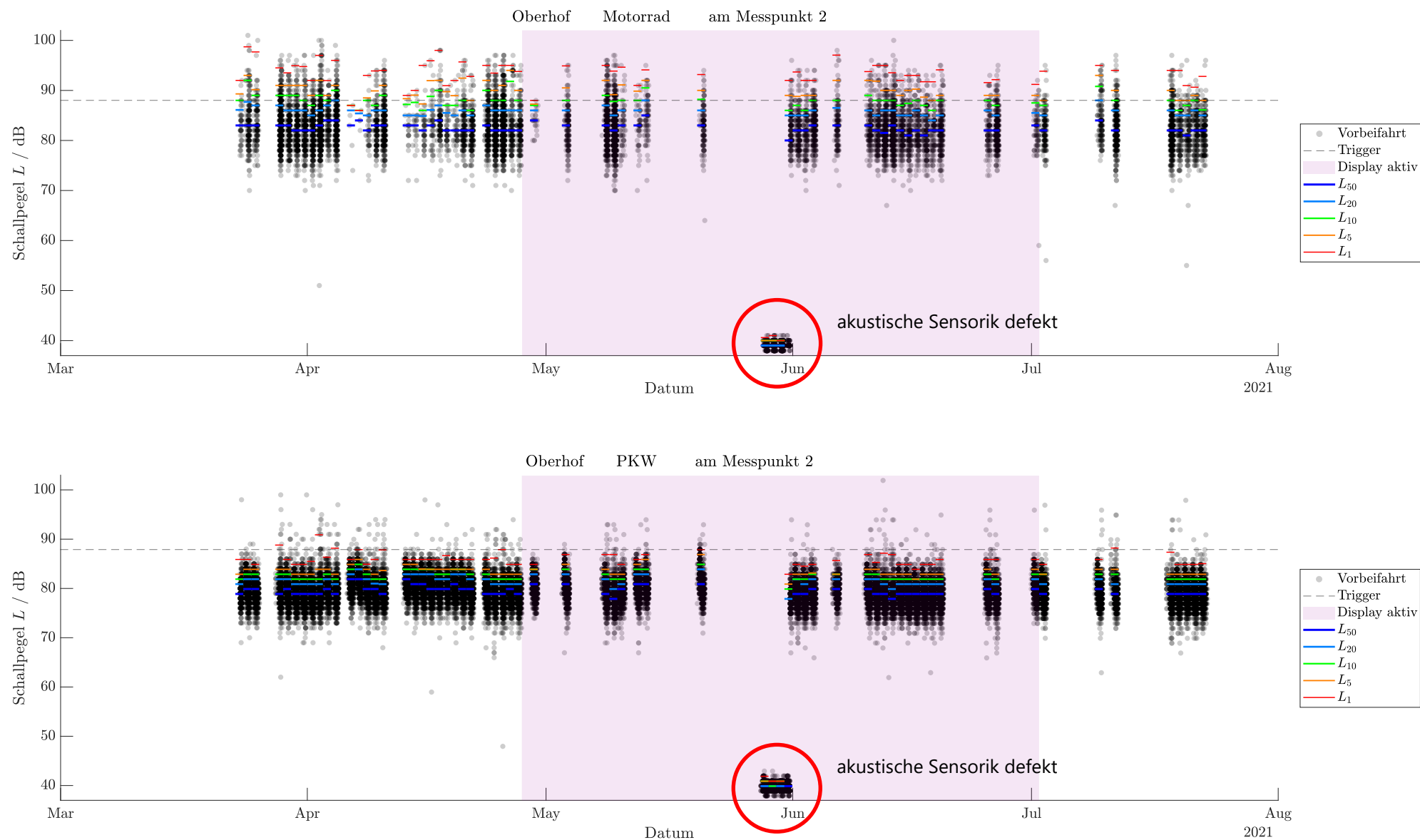


Abbildung 48: tägliche Perzentilschallpegel am 500 m abgesetzten Messpunkt 2 in Oberhof

6.2 Tagesverläufe der Perzentilgeschwindigkeiten

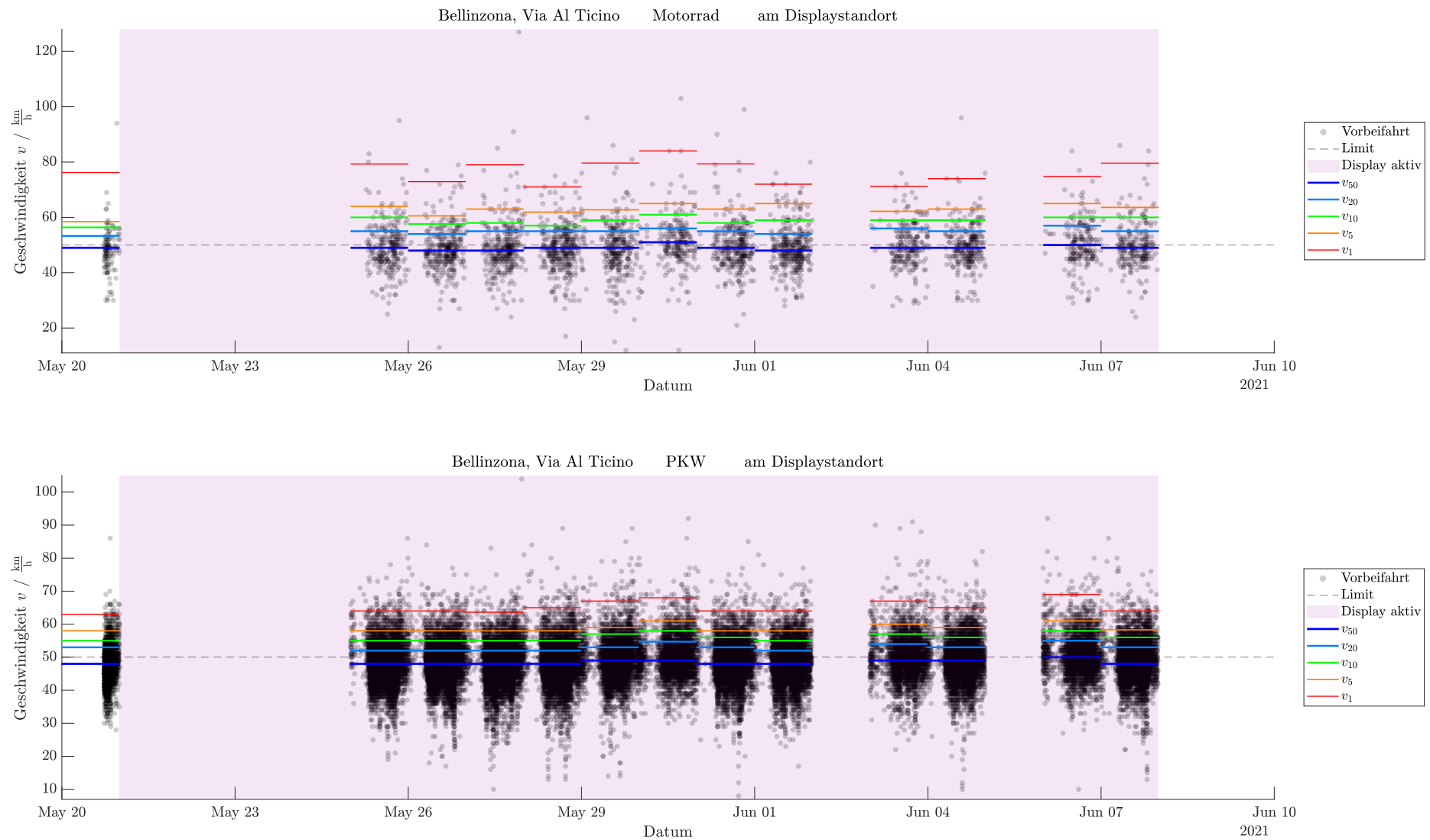


Abbildung 49: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Bellinzona (Via al Ticino)

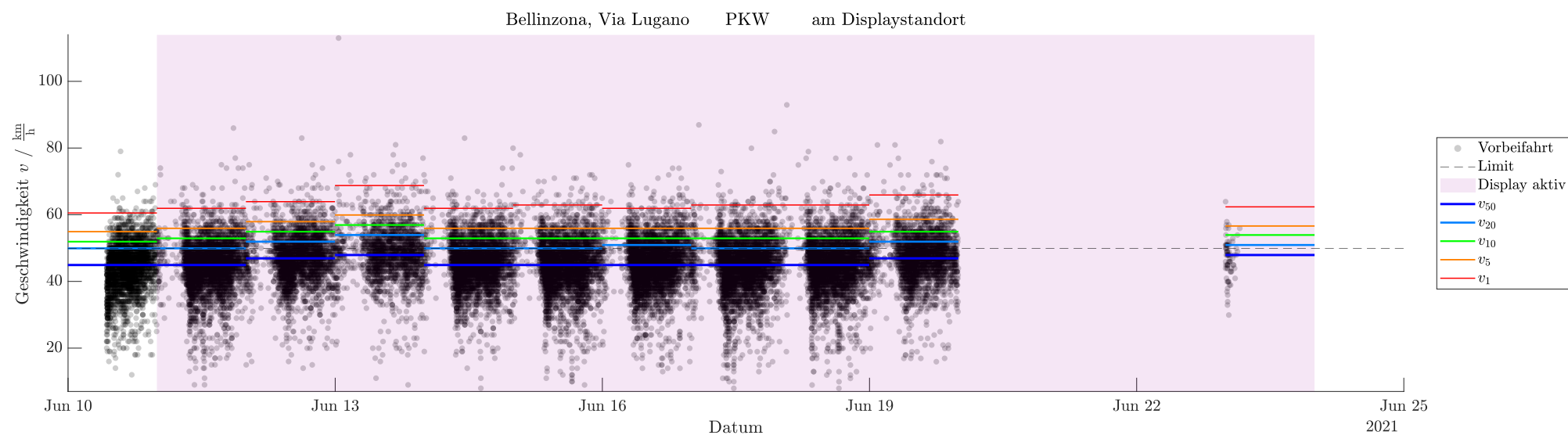
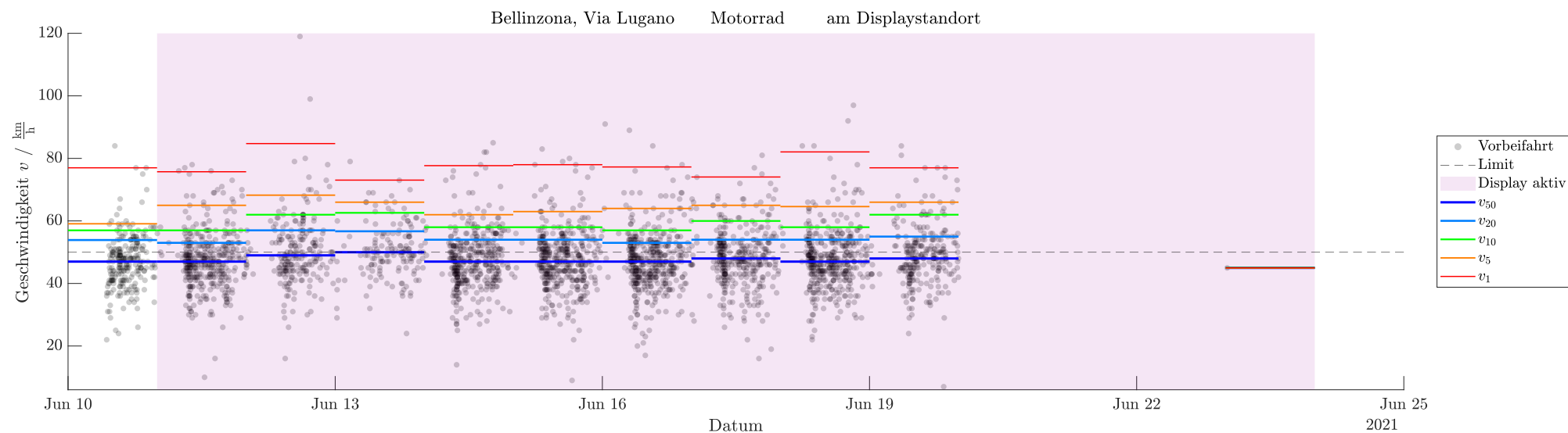


Abbildung 50: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Bellinzona (Via Lugano)

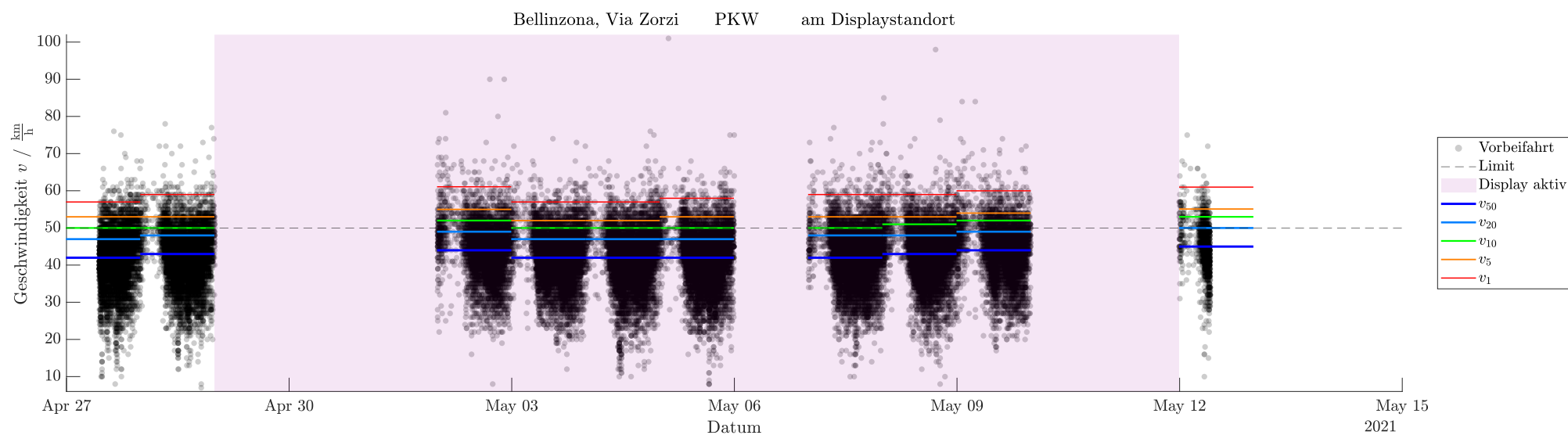
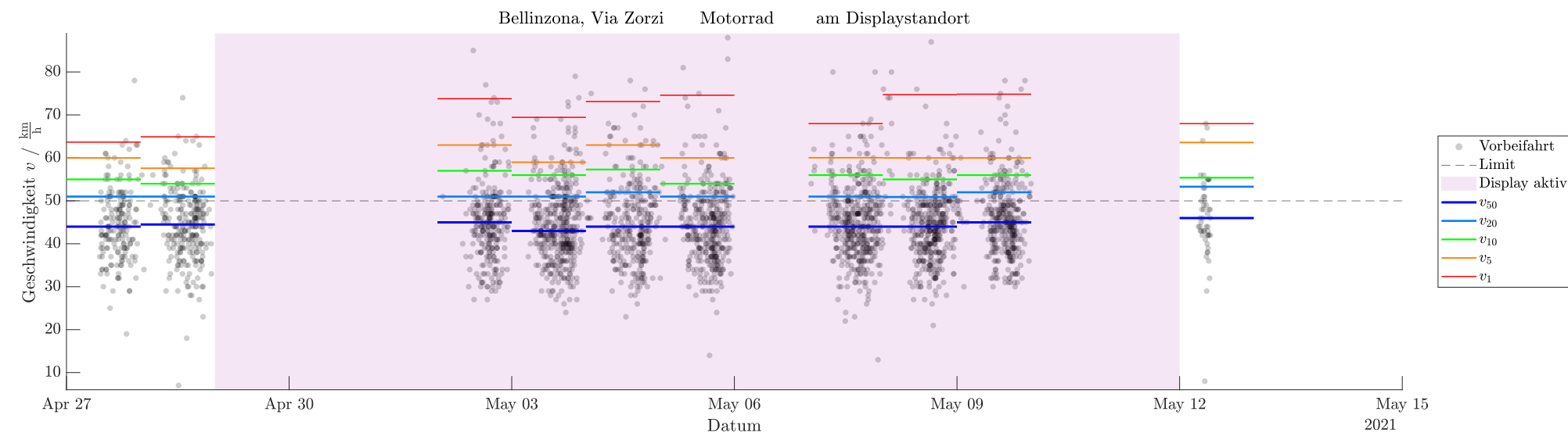


Abbildung 51: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Bellinzona (Via Zorzi)

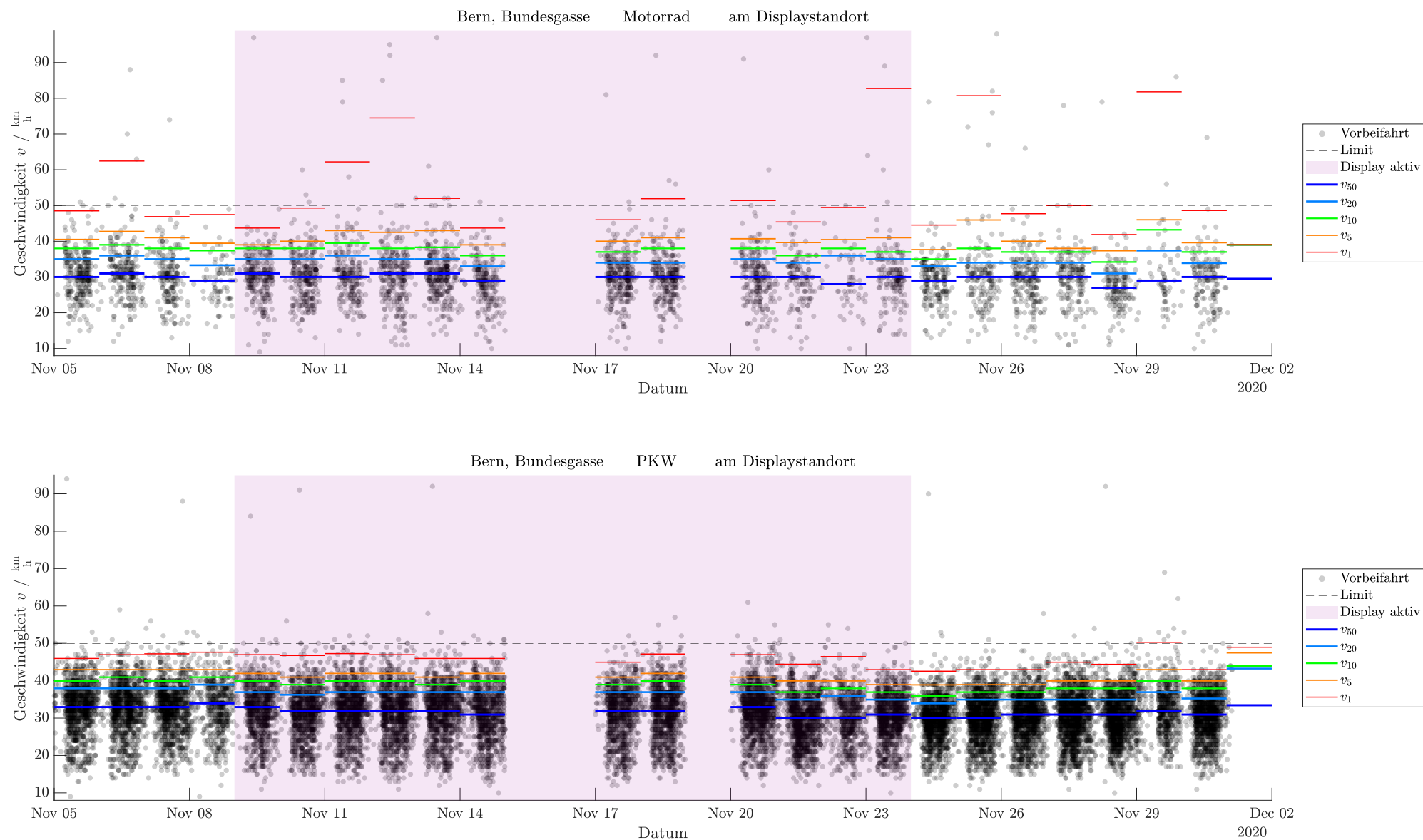


Abbildung 52: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Bern (Bundesgasse)

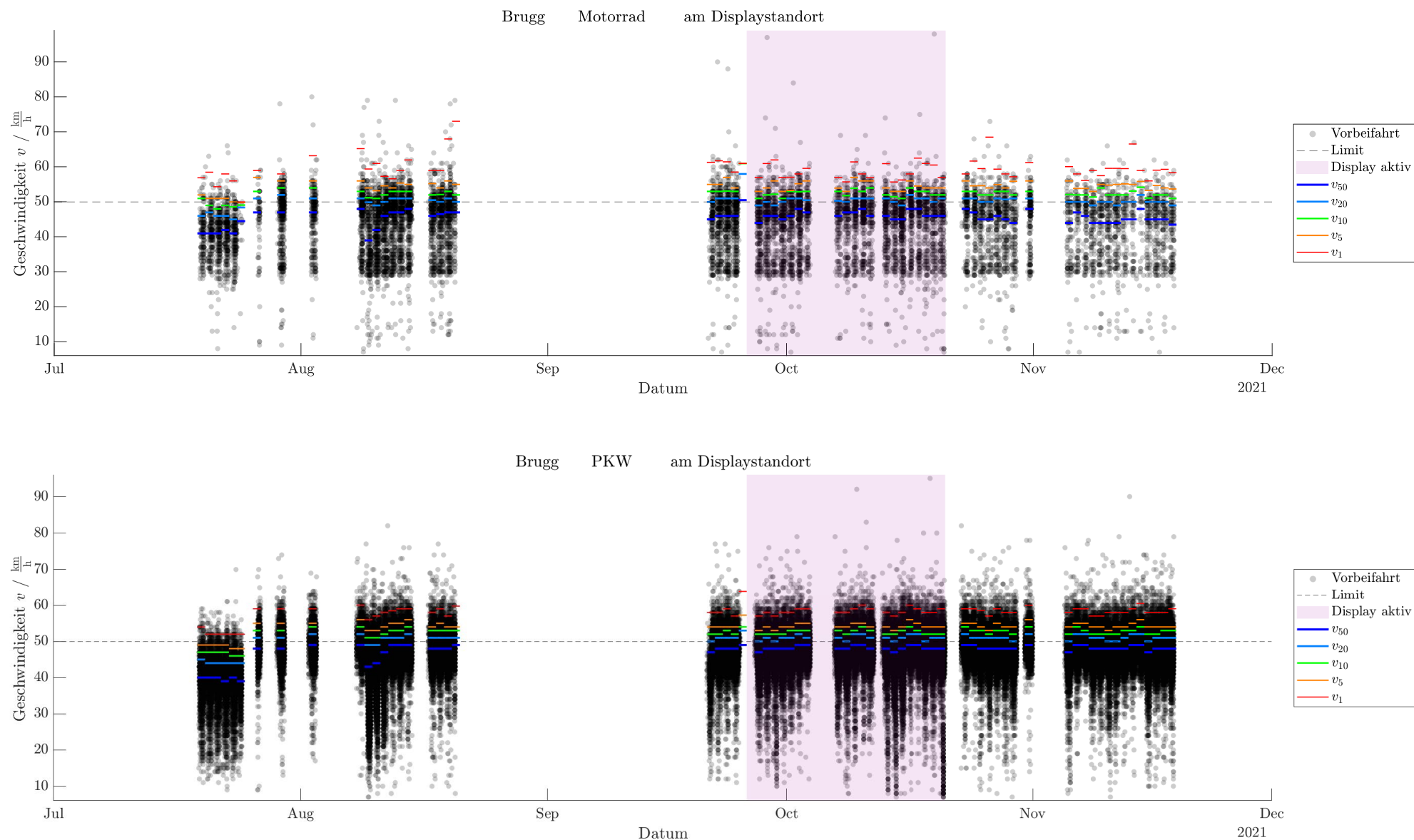


Abbildung 53: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Brugg

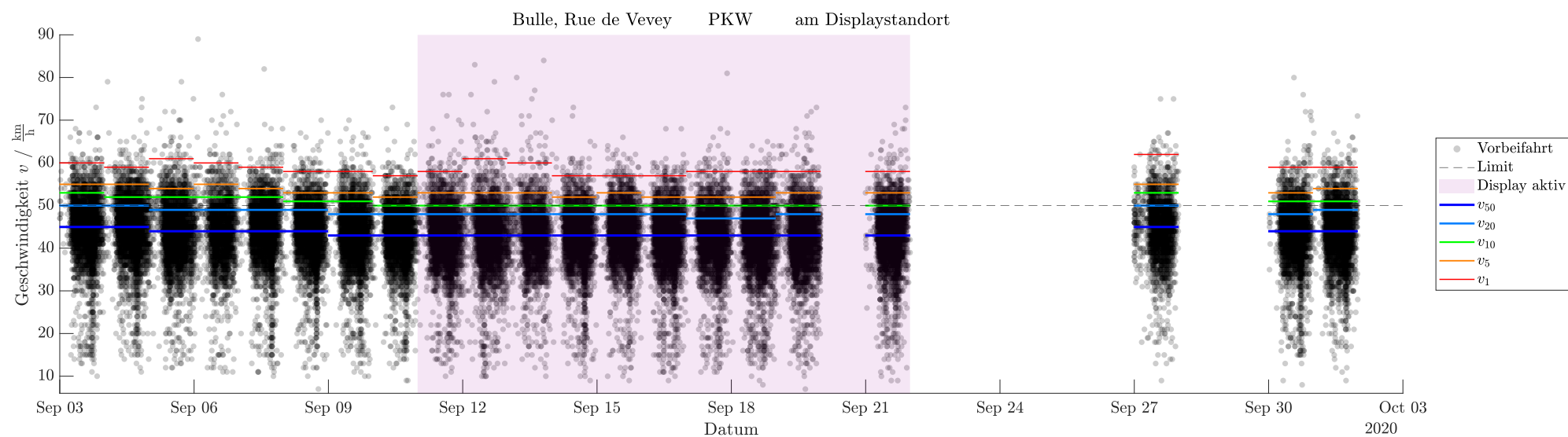
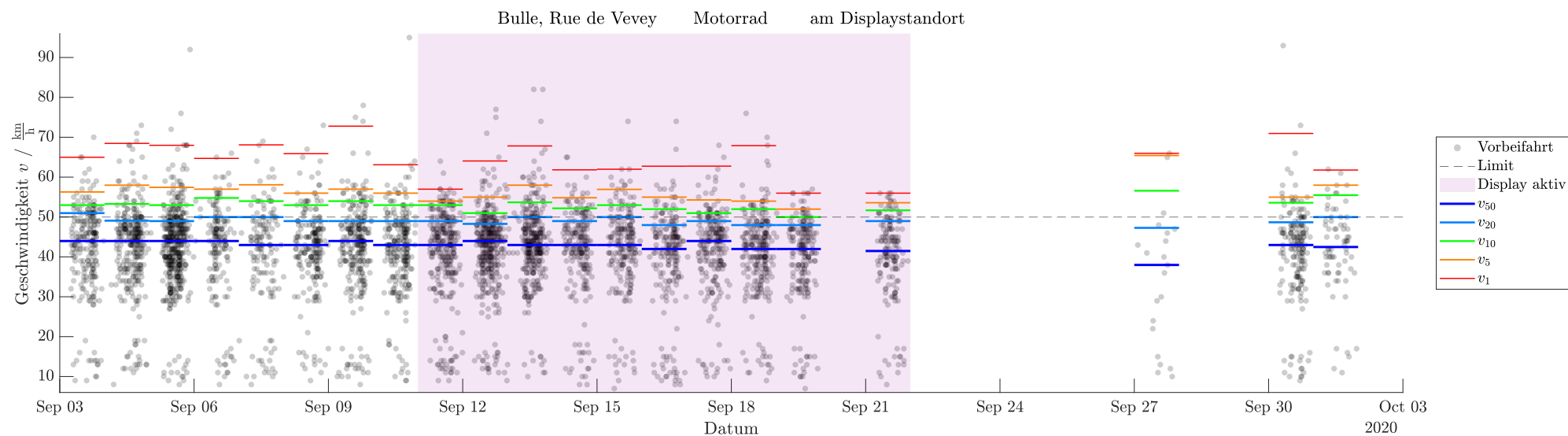


Abbildung 54: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Bulle (Rue de Vevey)

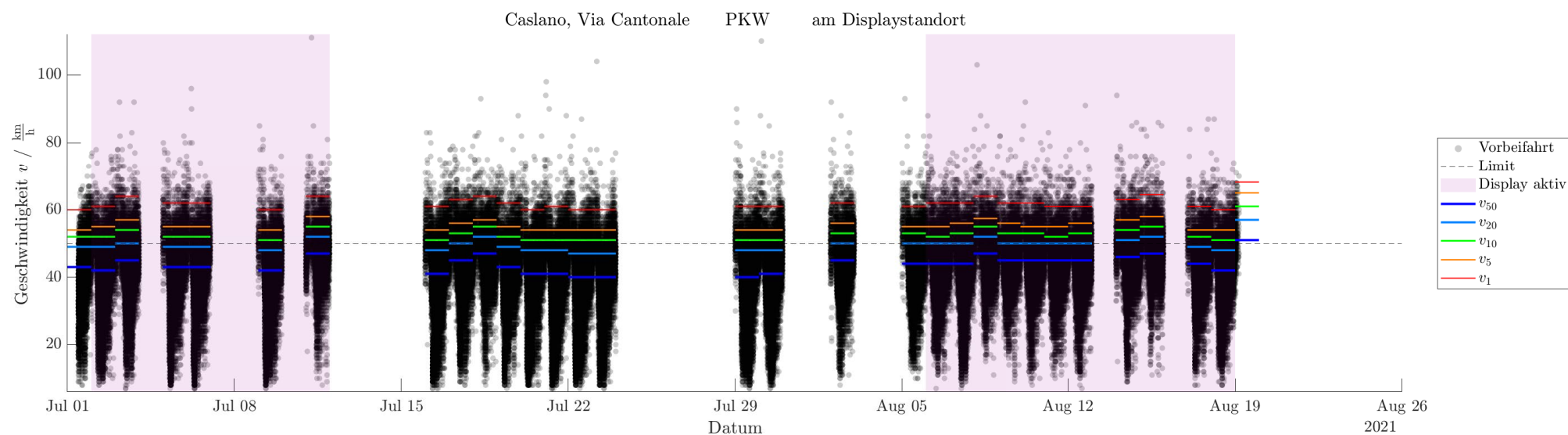
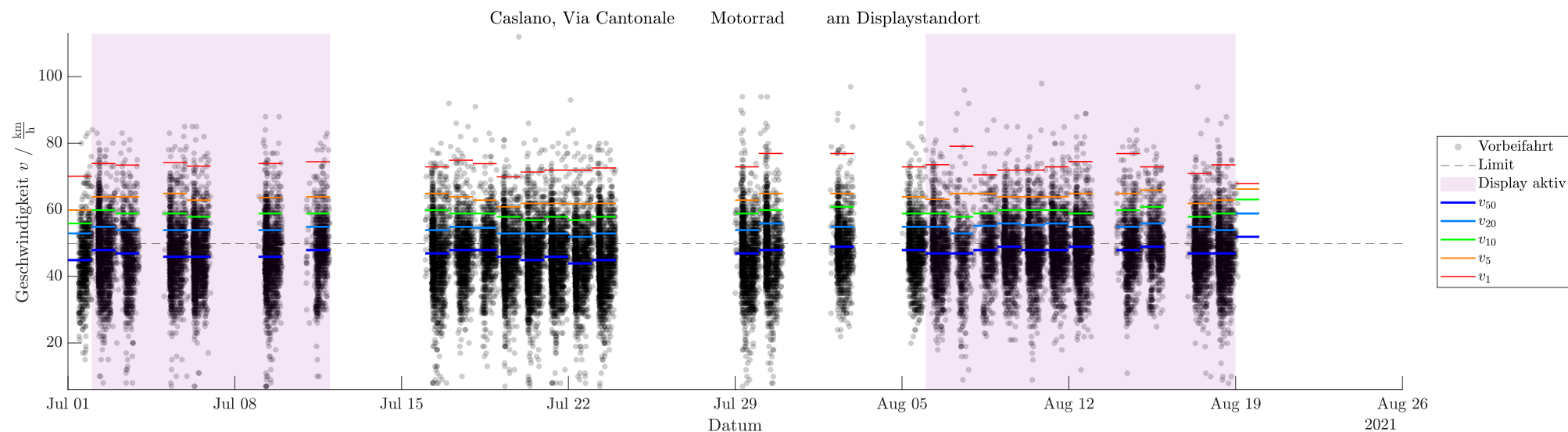


Abbildung 55: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Caslano (Via Cantonale)

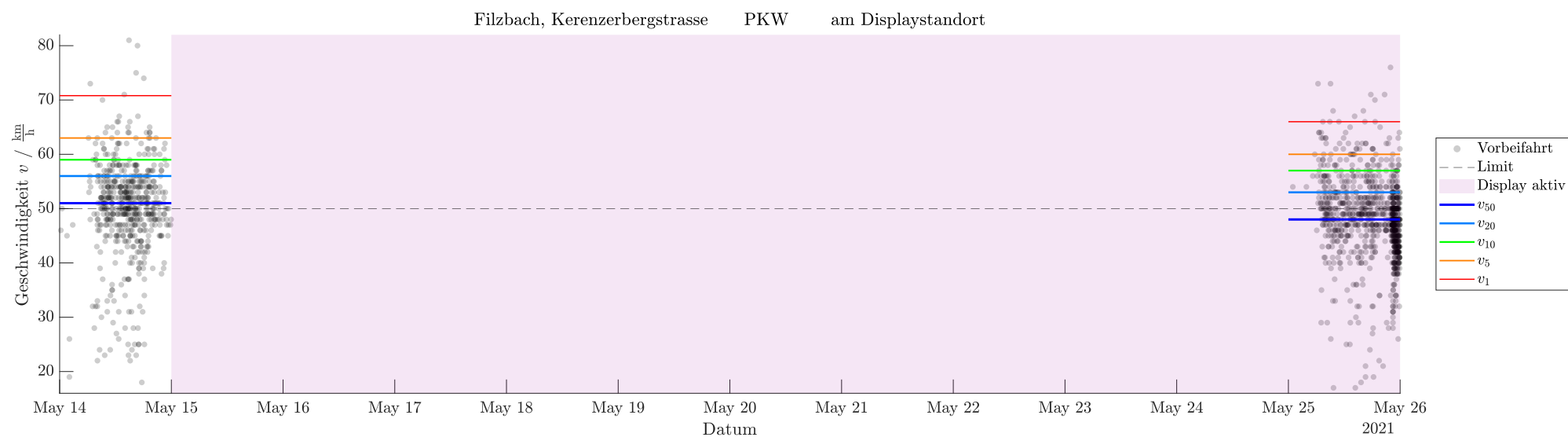
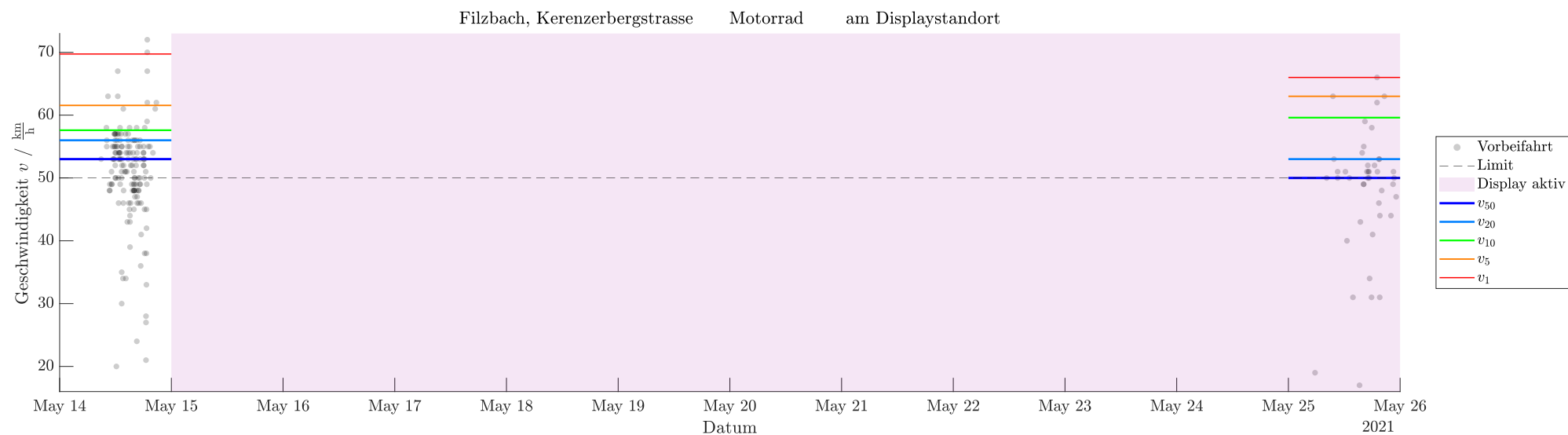


Abbildung 56: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Filzbach (Kerenzerbergstrasse)

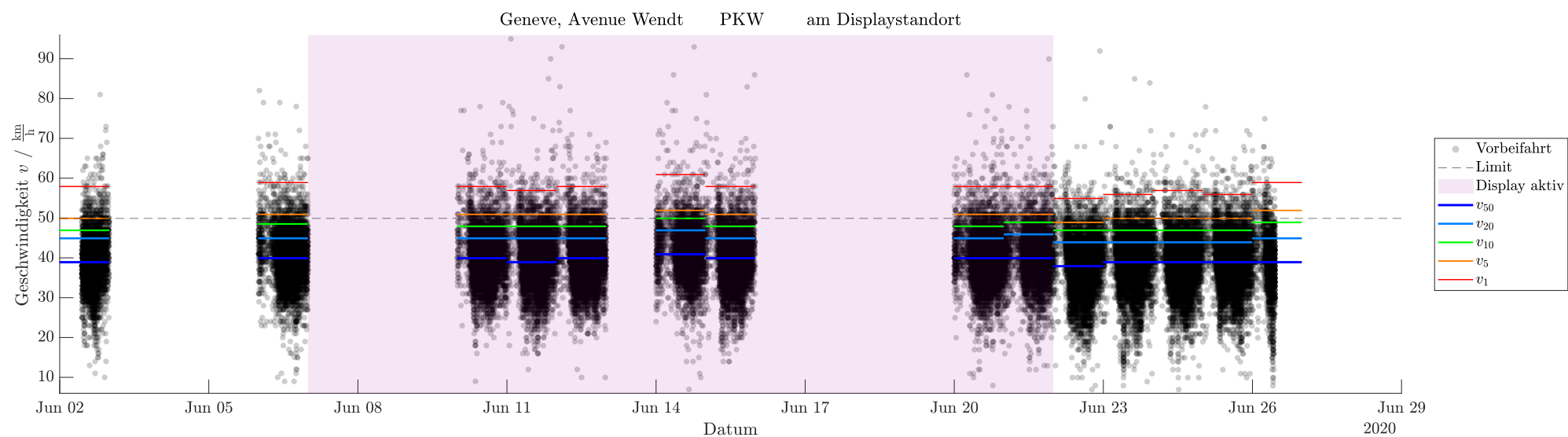
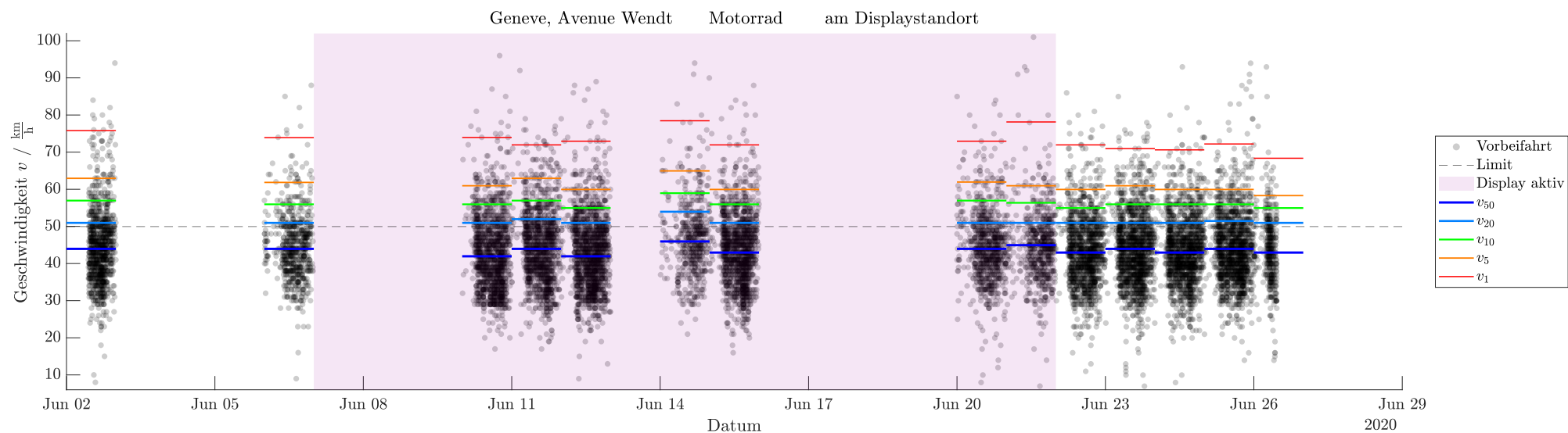


Abbildung 57: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Genf (Avenue Wendt)

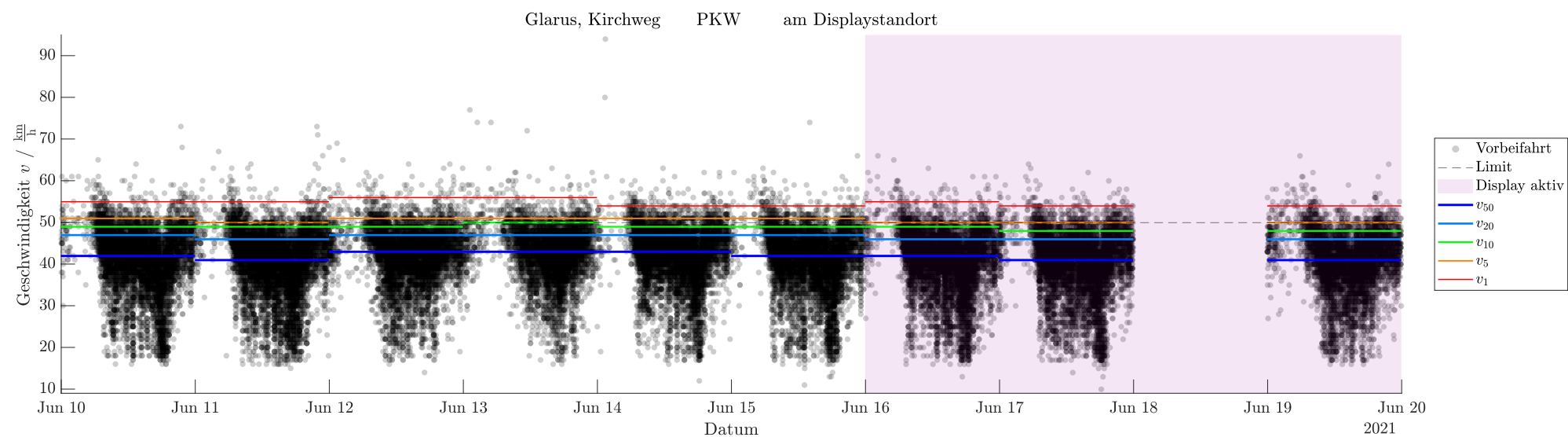
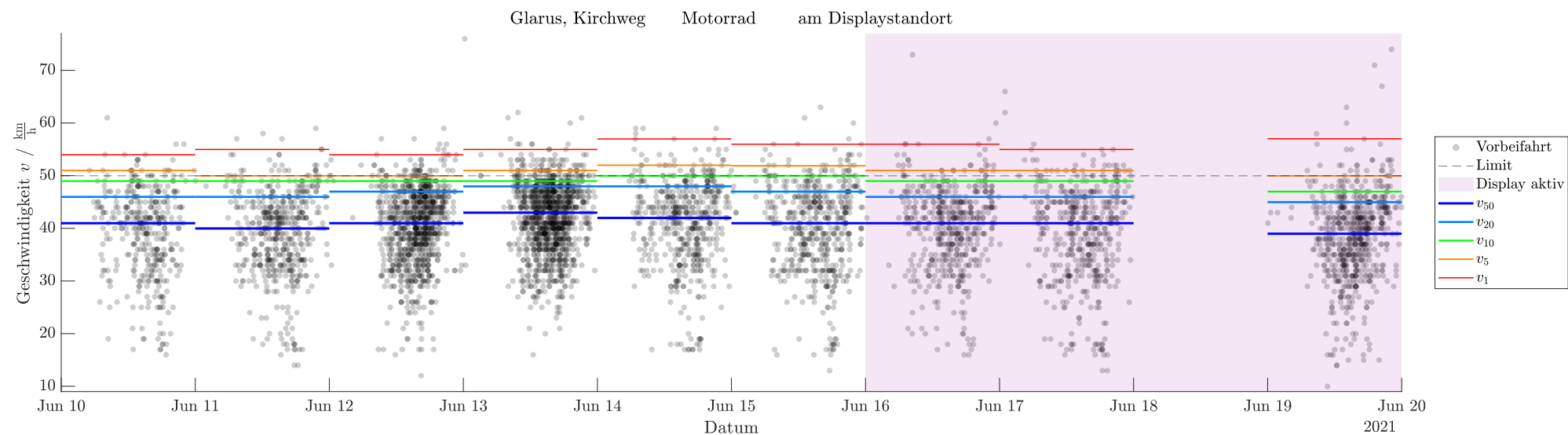


Abbildung 58: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Glarus (Kirchweg)

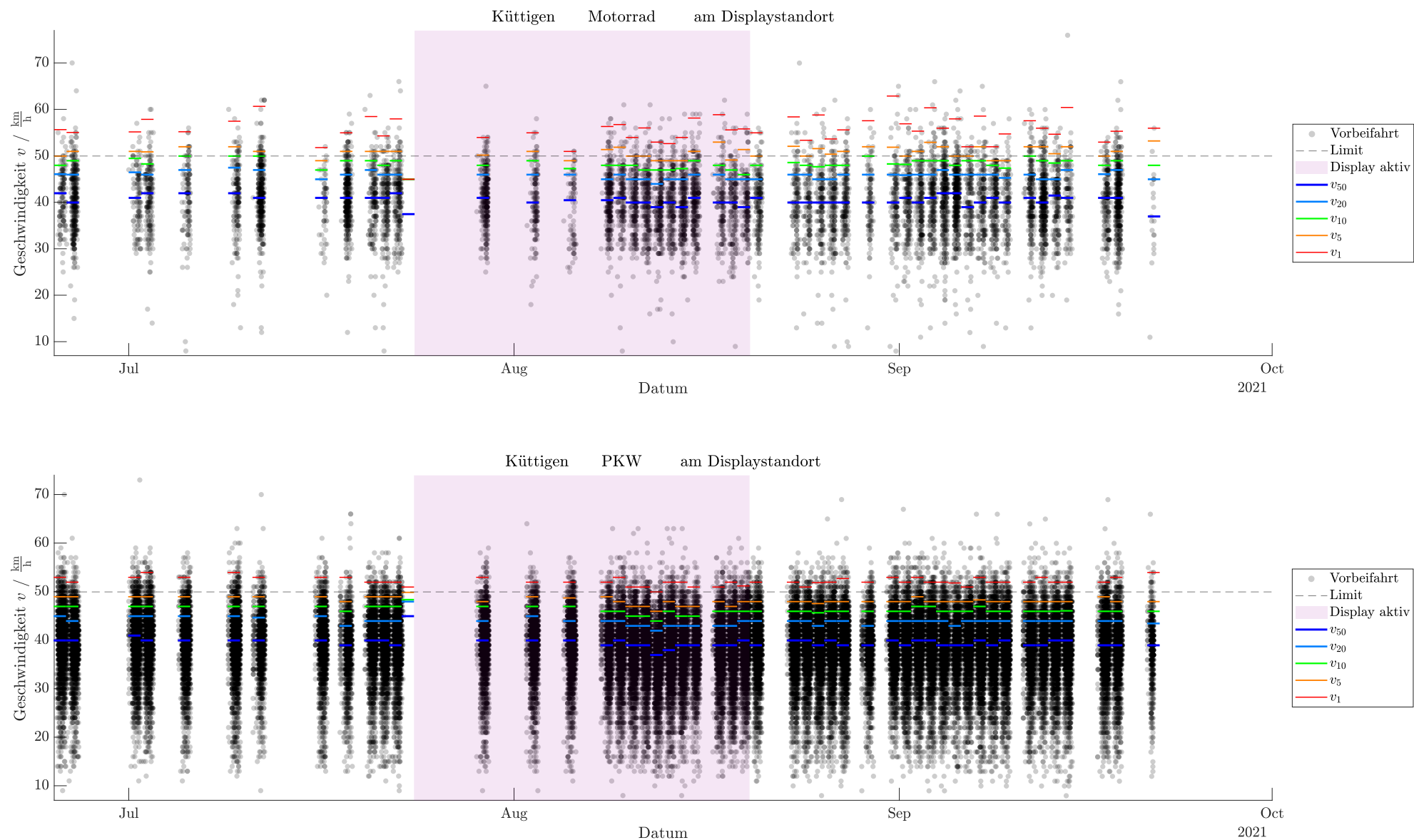


Abbildung 59: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Küttigen

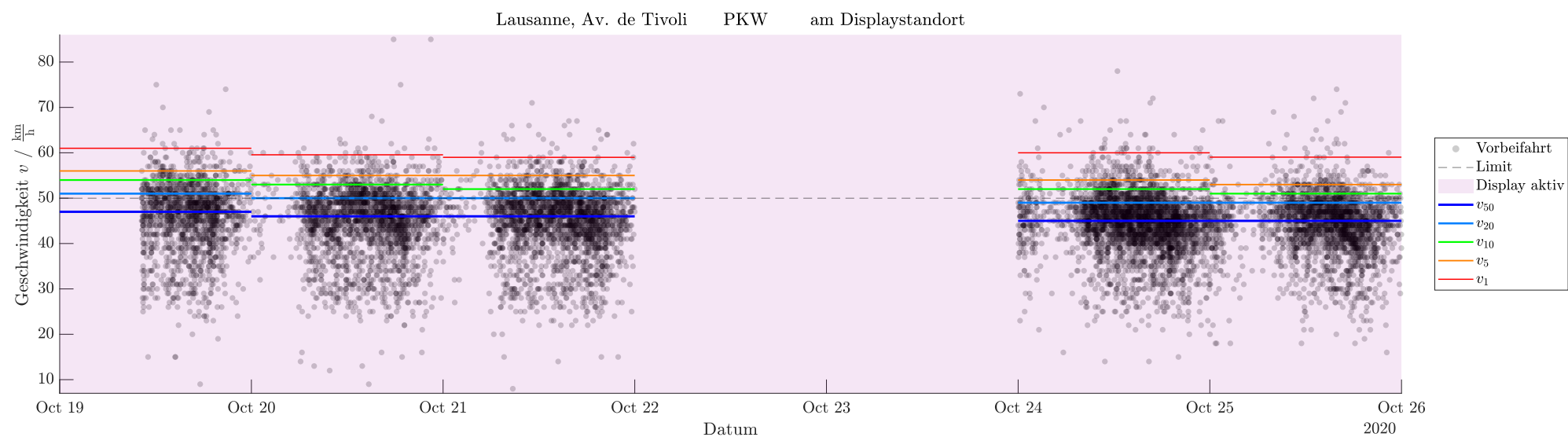
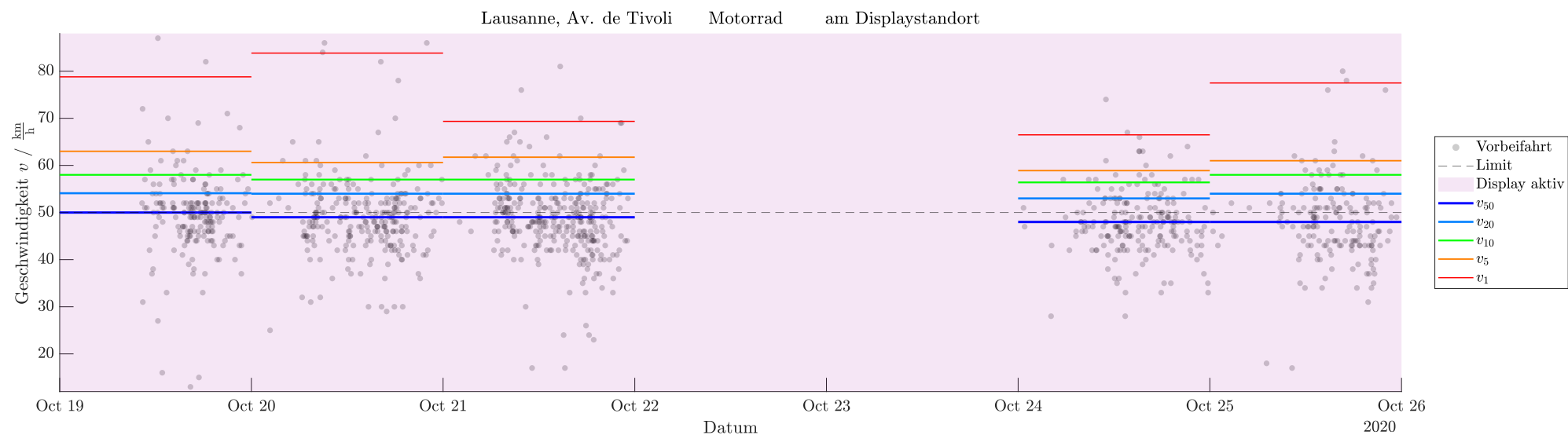


Abbildung 60: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Lausanne (Avenue de Tivoli)

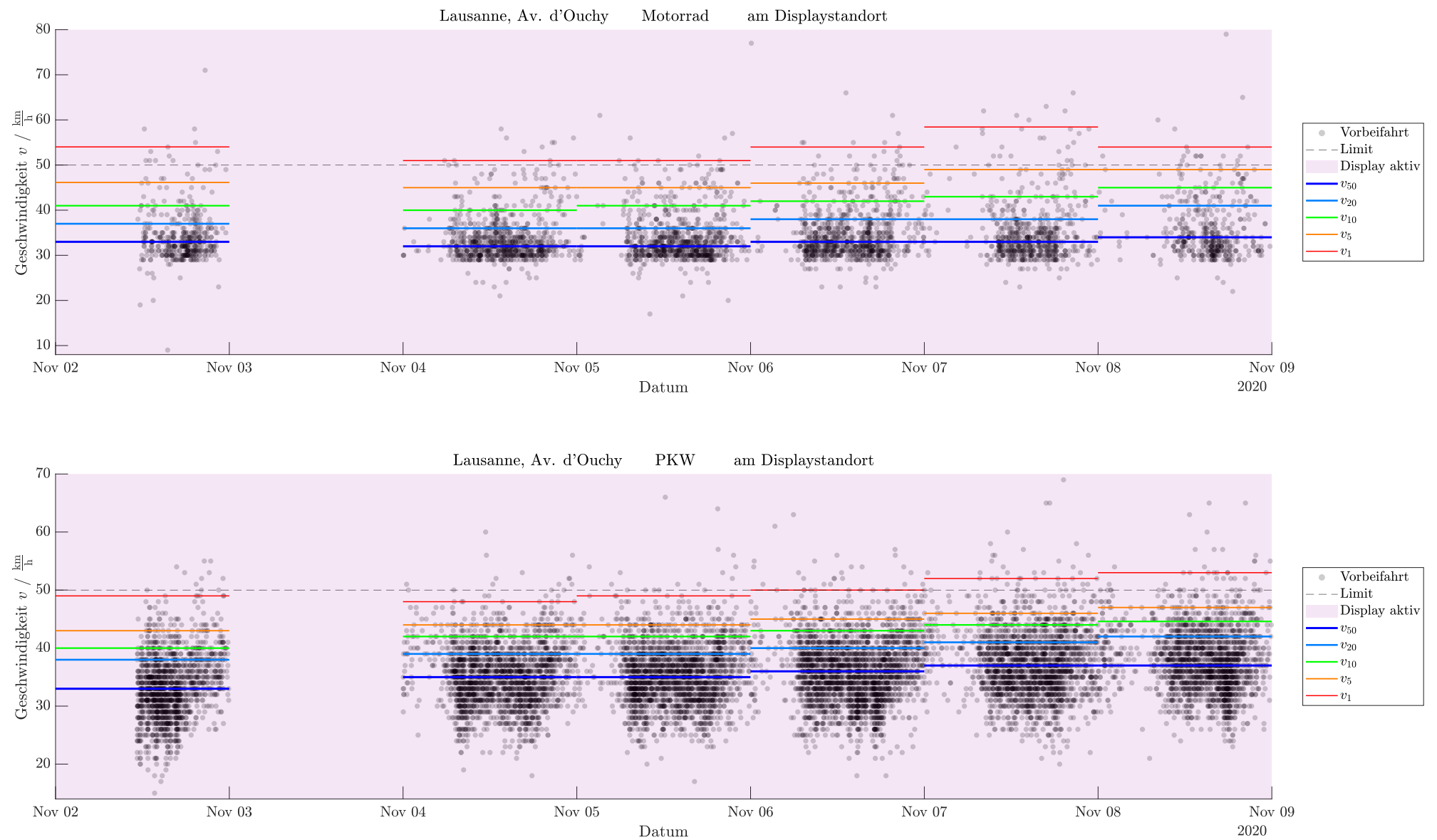


Abbildung 61: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Lausanne (Avenue d'Ouchy)

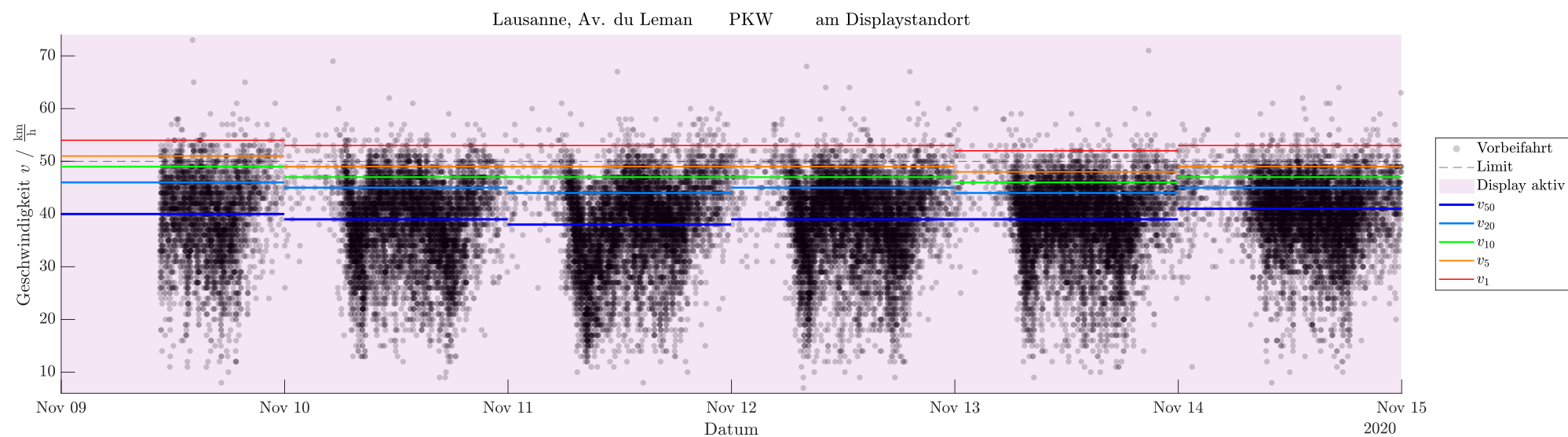
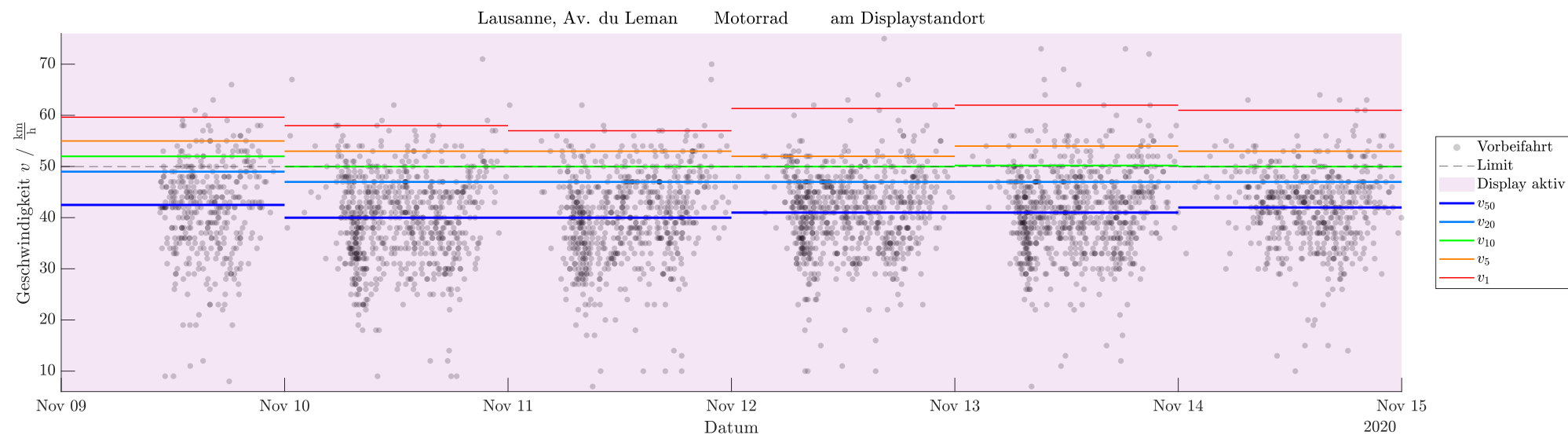


Abbildung 62: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Lausanne (Avenue du Lemman)

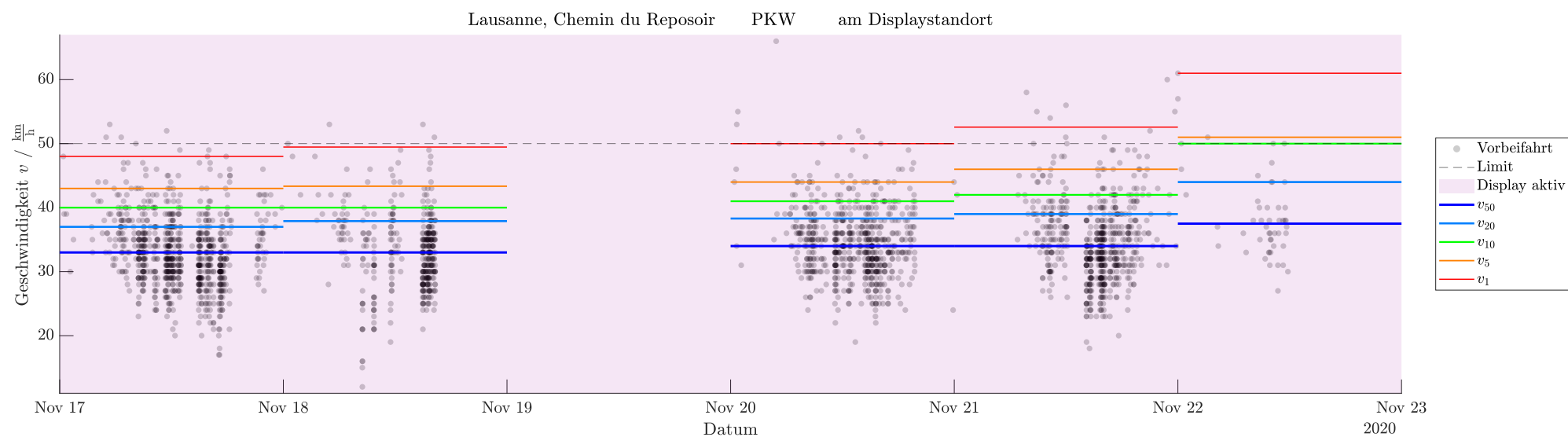
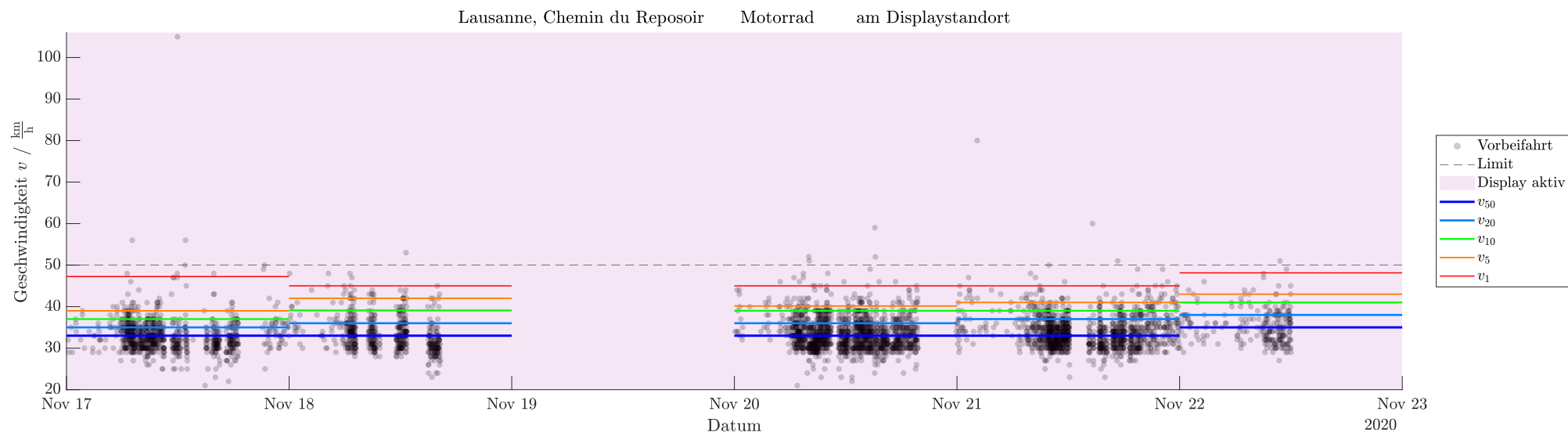


Abbildung 63: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Lausanne (Chemin du Reposoir)

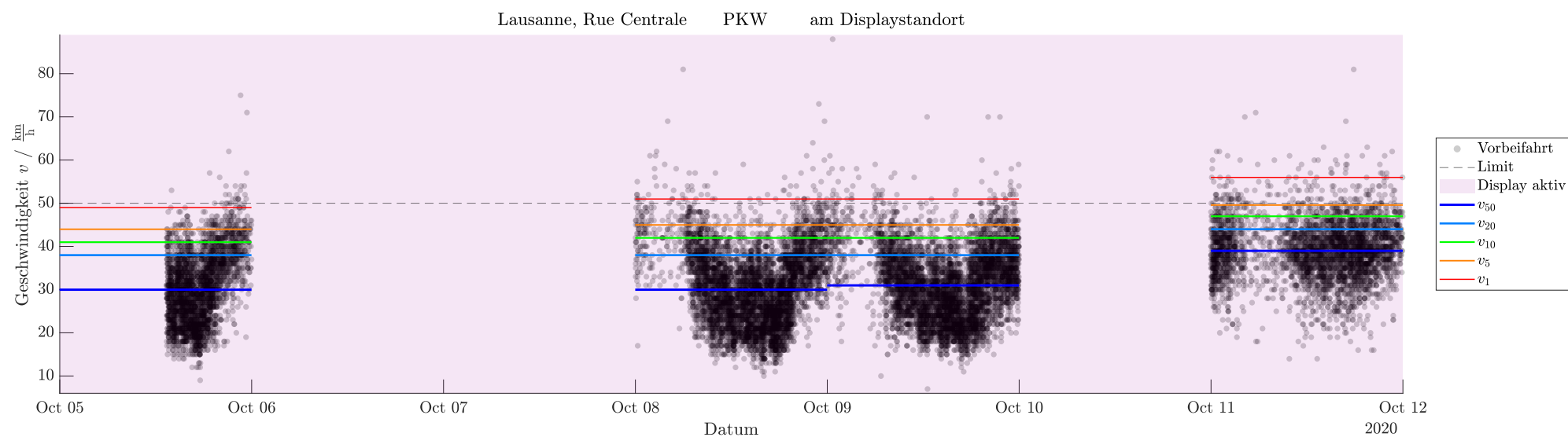
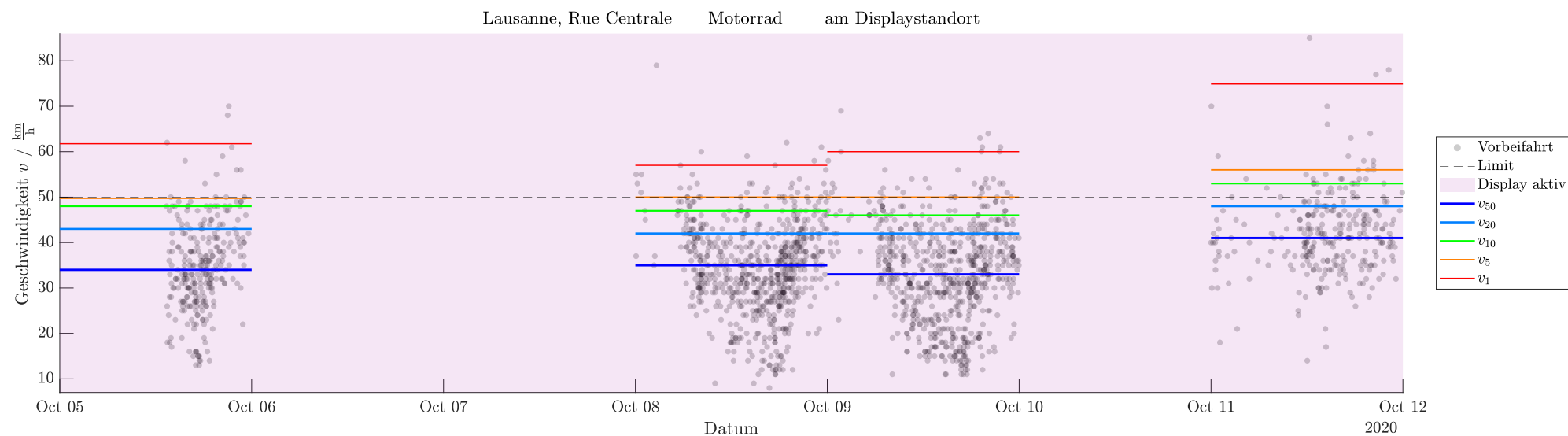


Abbildung 64: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Laussane (Rue Centrale)

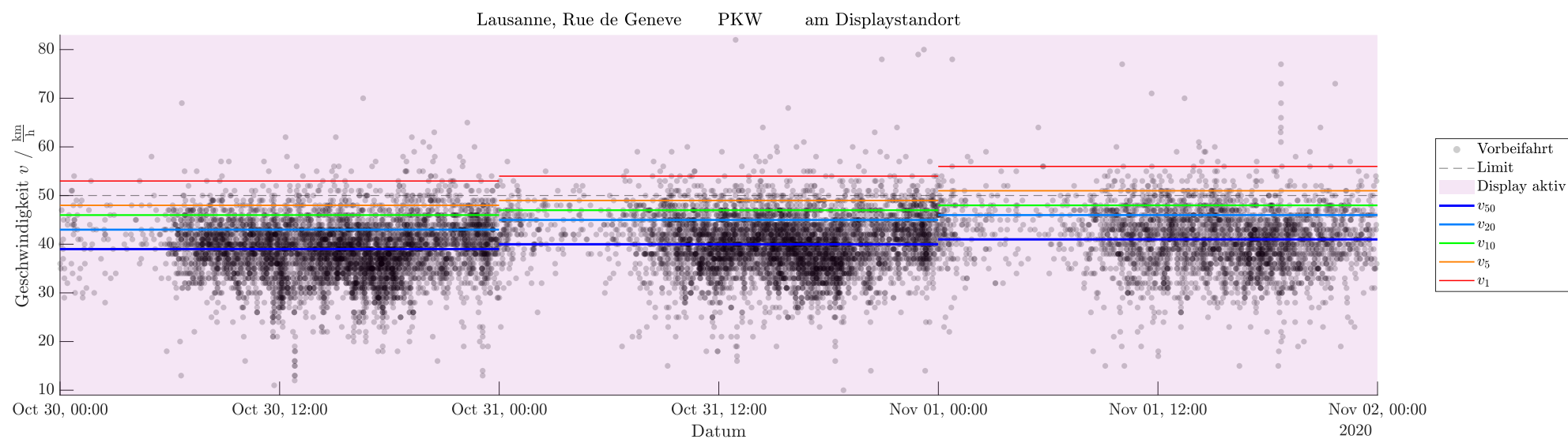
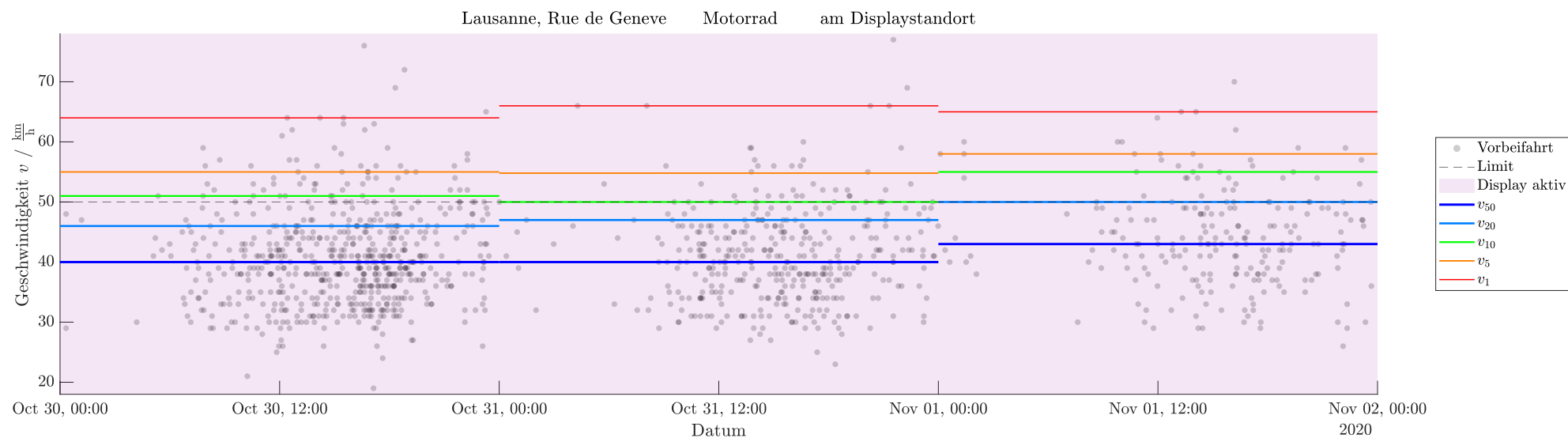


Abbildung 65: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Lausanne (Rue de Genève)

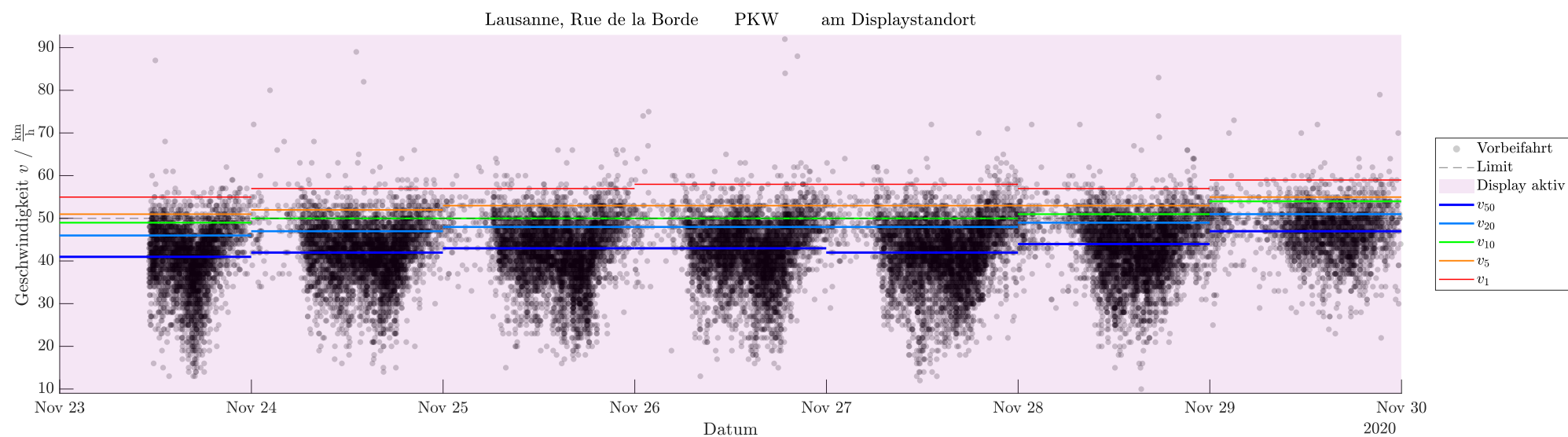
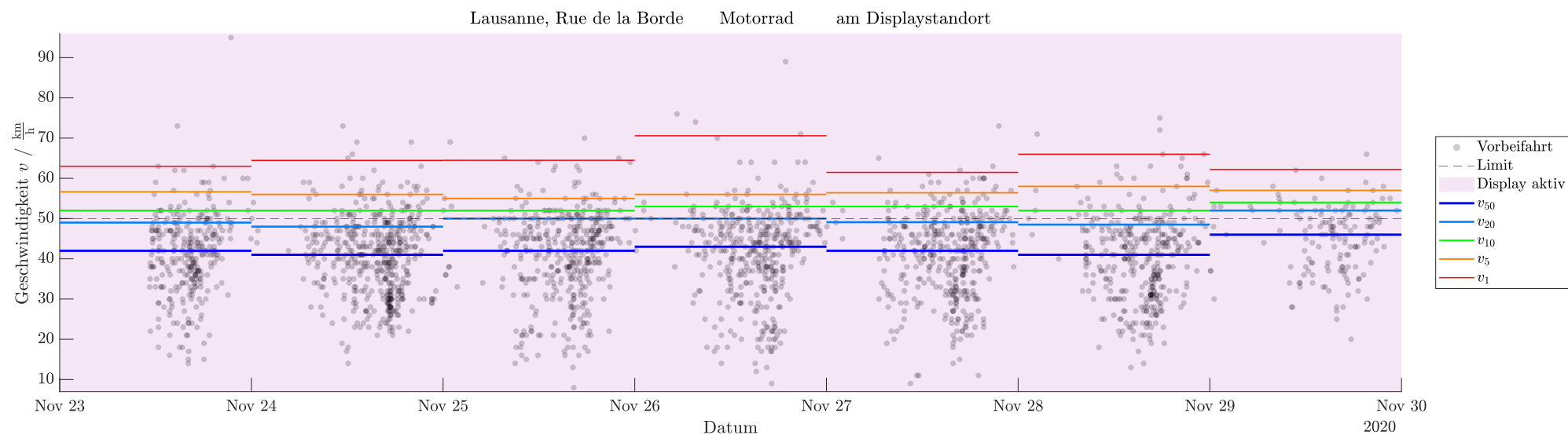


Abbildung 66: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Lausanne (Rue de la Borde)

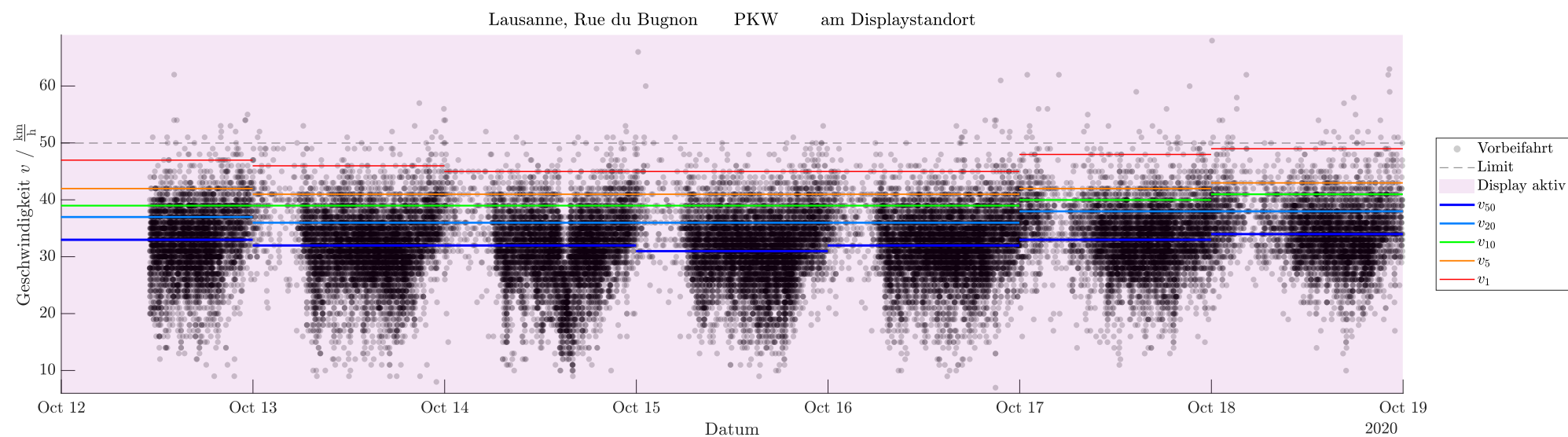
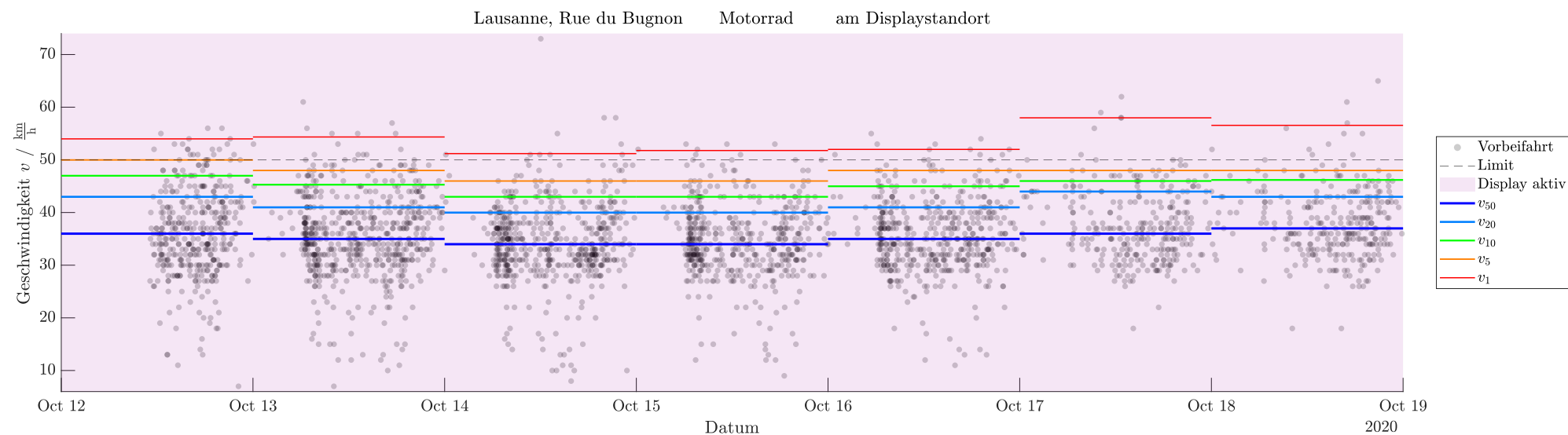


Abbildung 67: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Lausanne (Rue du Bugnon)

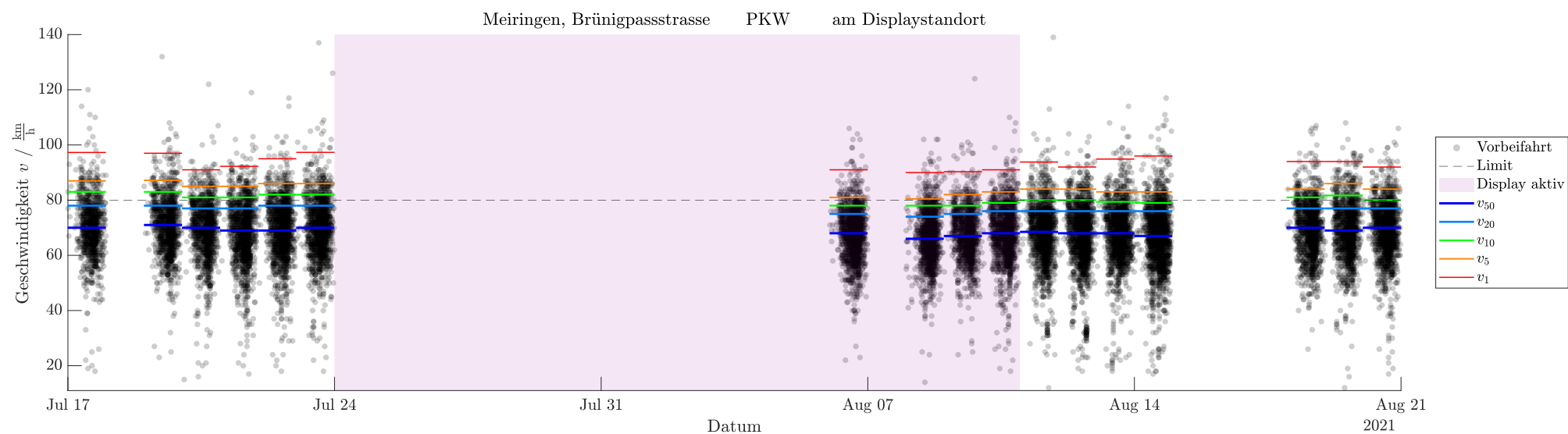
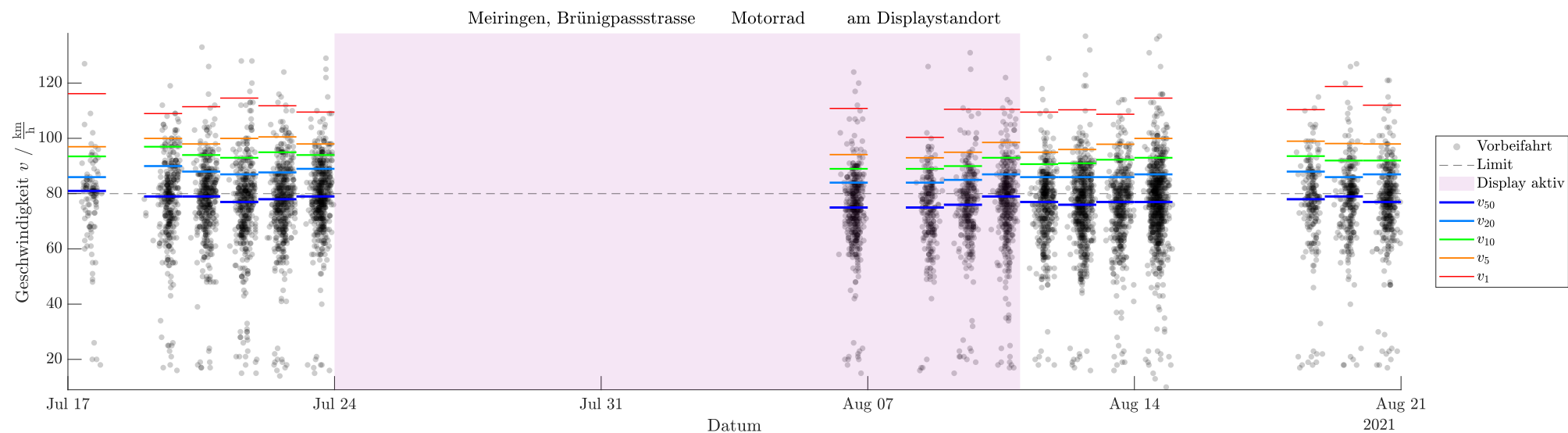


Abbildung 68: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Meringen (Brünigpassstrasse)

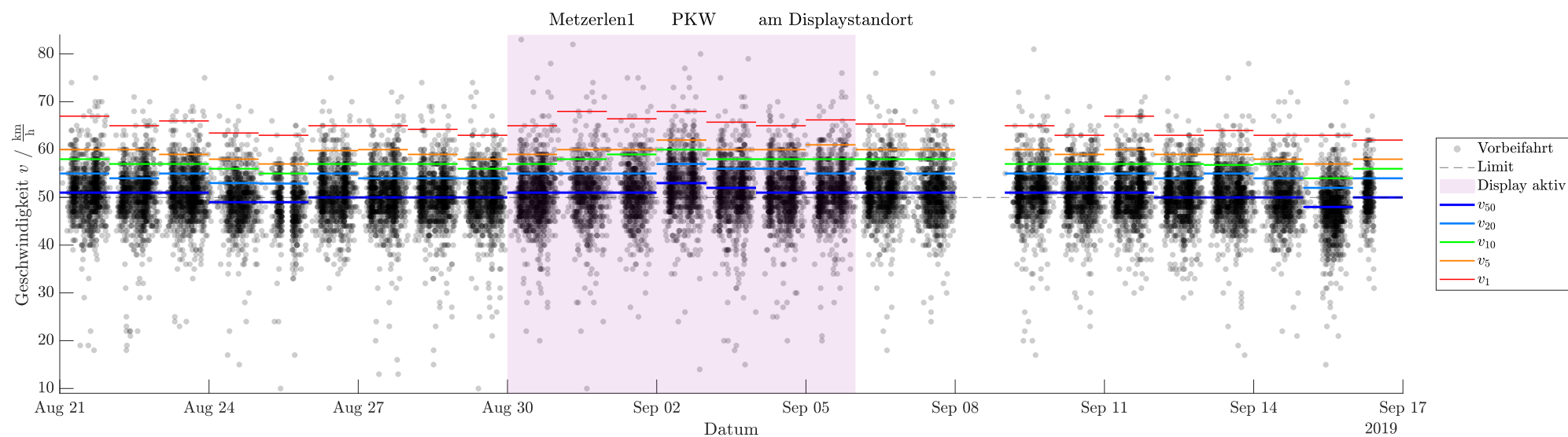
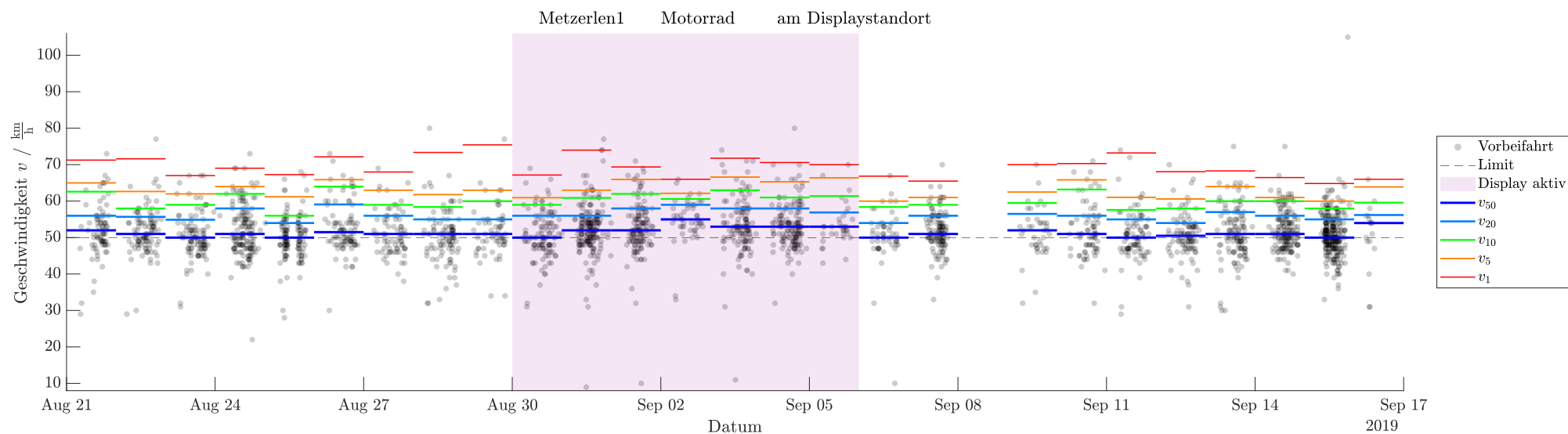


Abbildung 69: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten der ersten Messkampagne am Displaystandort in Metzerlen

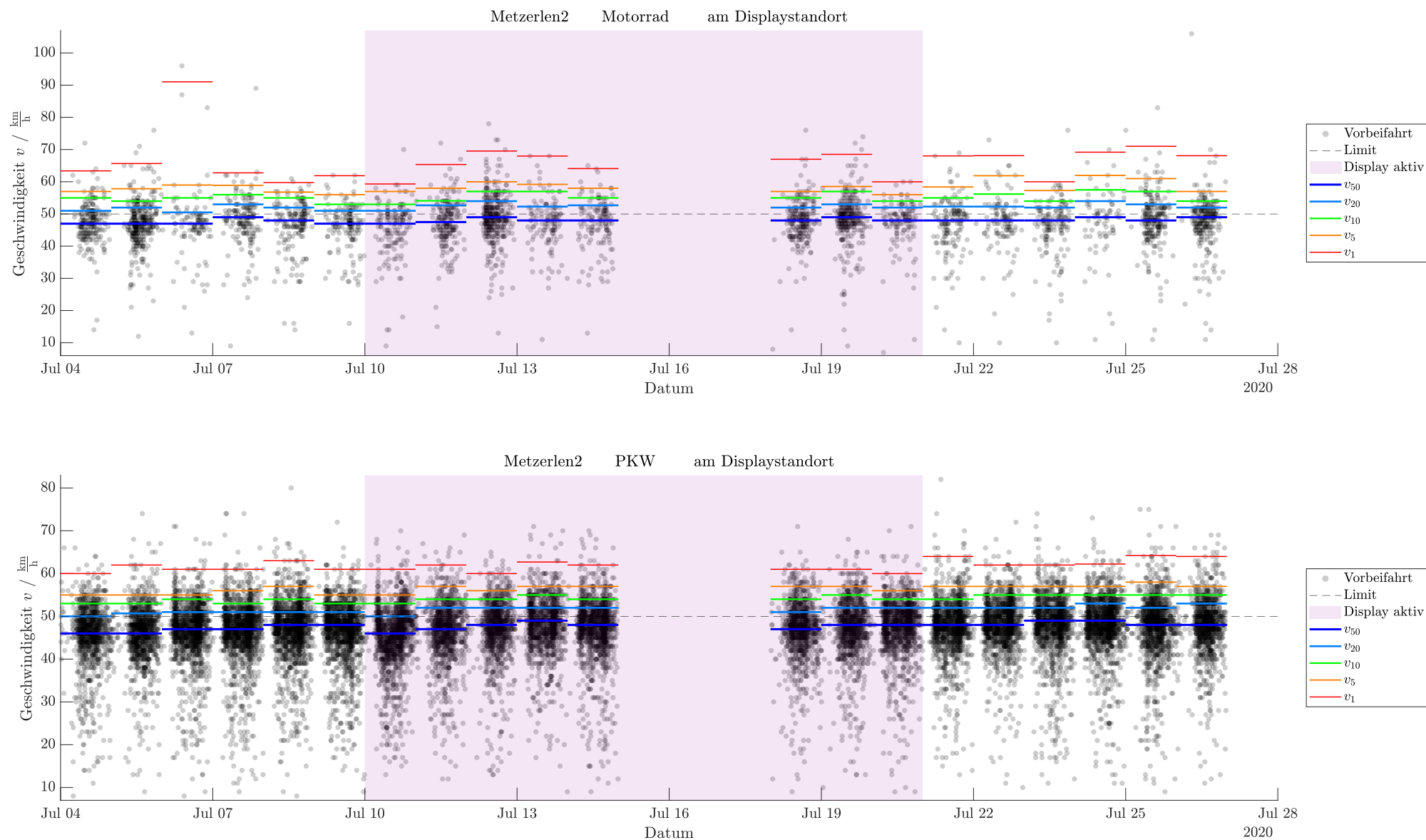


Abbildung 70: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten der zweiten Messkampagne am Displaystandort in Metzerlen

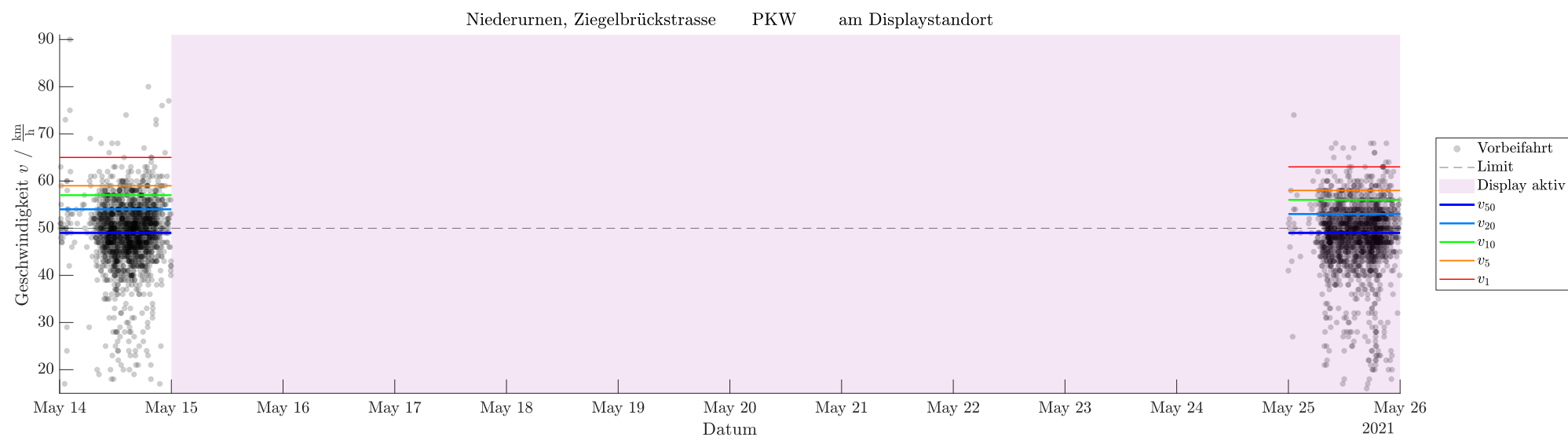
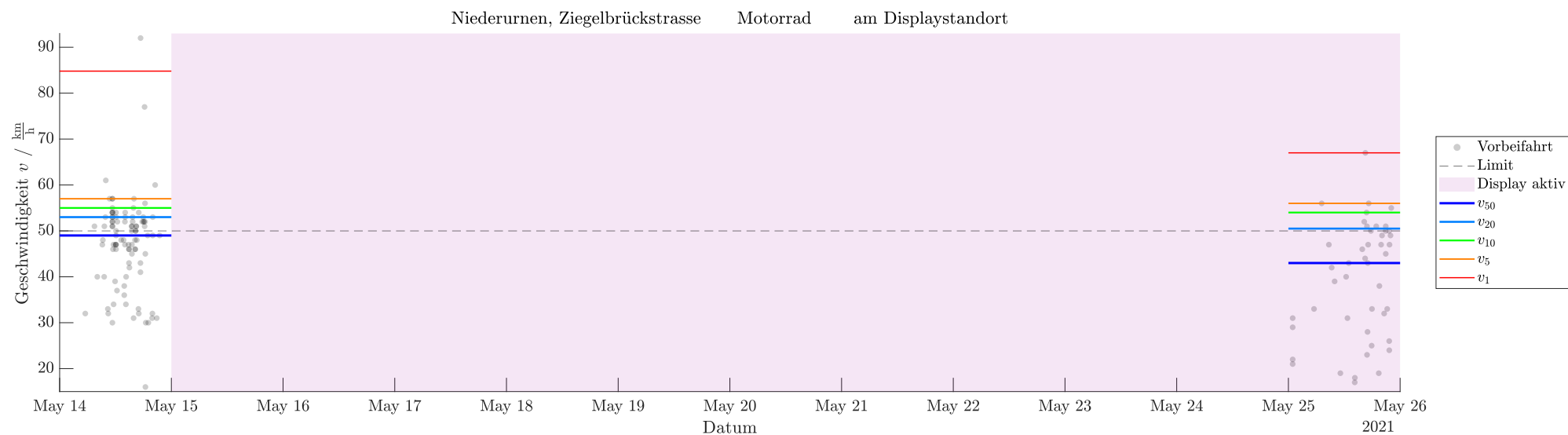


Abbildung 71: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Niederurnen (Ziegelbrückstrasse)

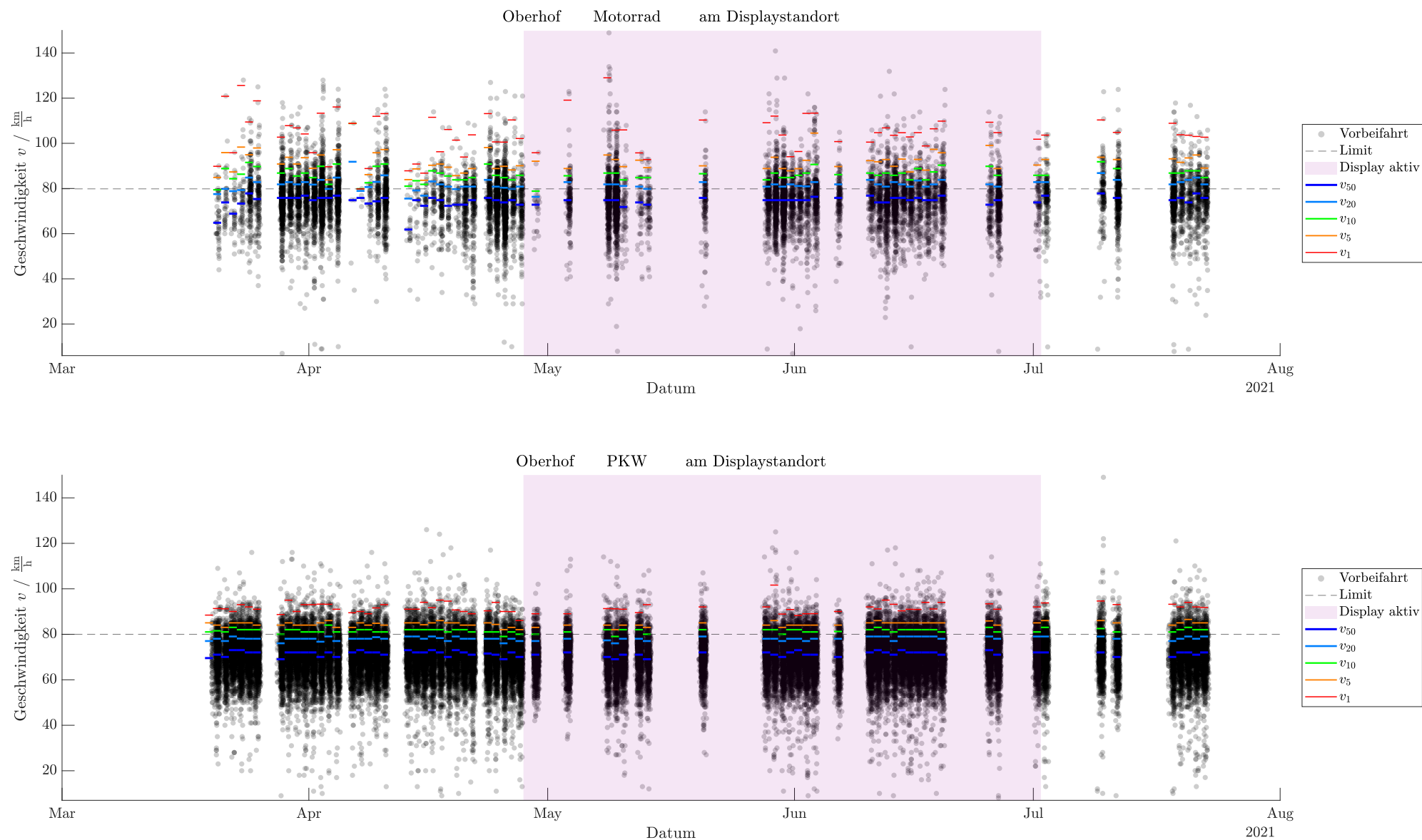


Abbildung 72: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Oberhof

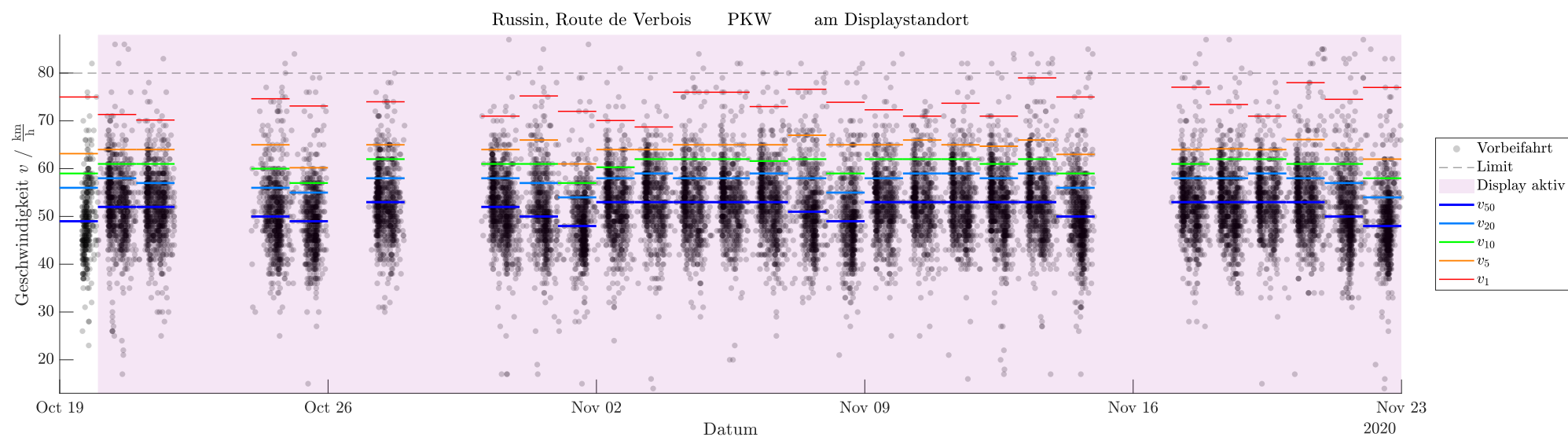
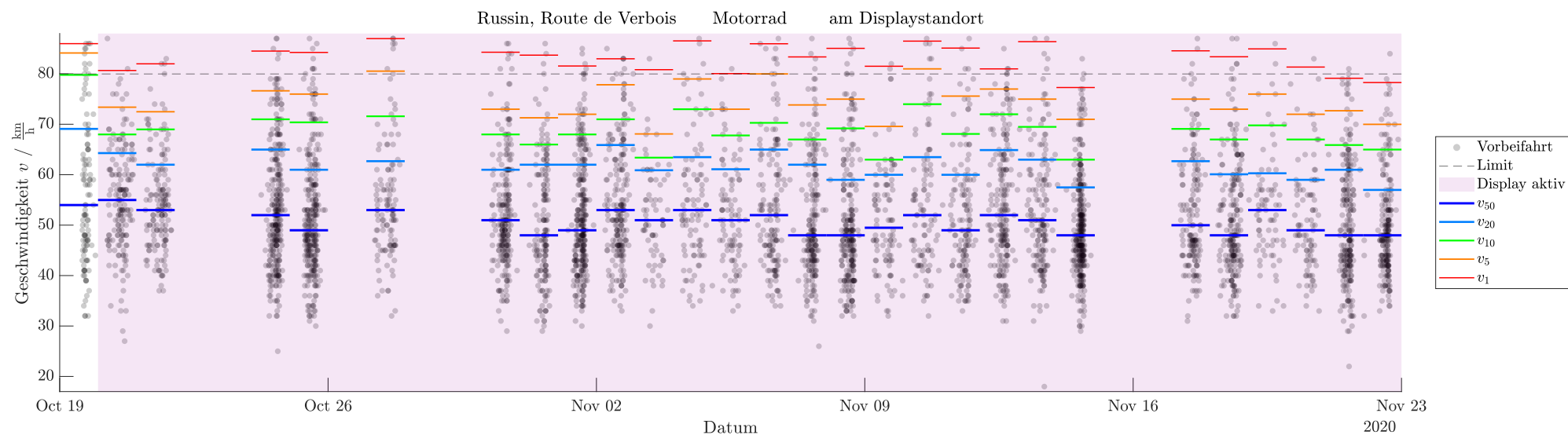


Abbildung 73: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Russin (Route de Verbois)

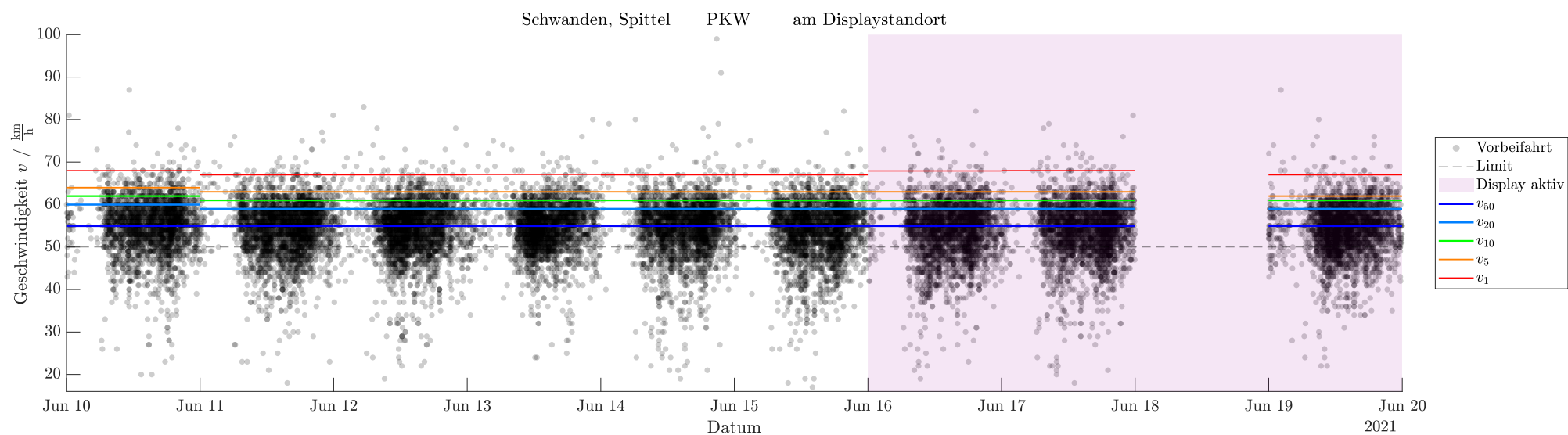
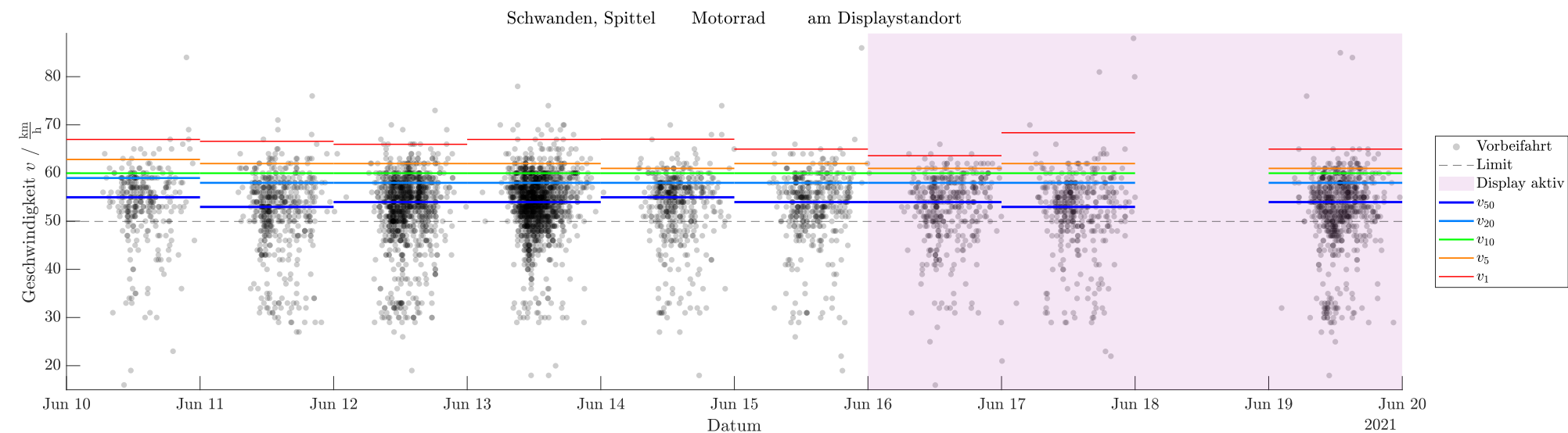


Abbildung 74: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Schwanden (Spittel)

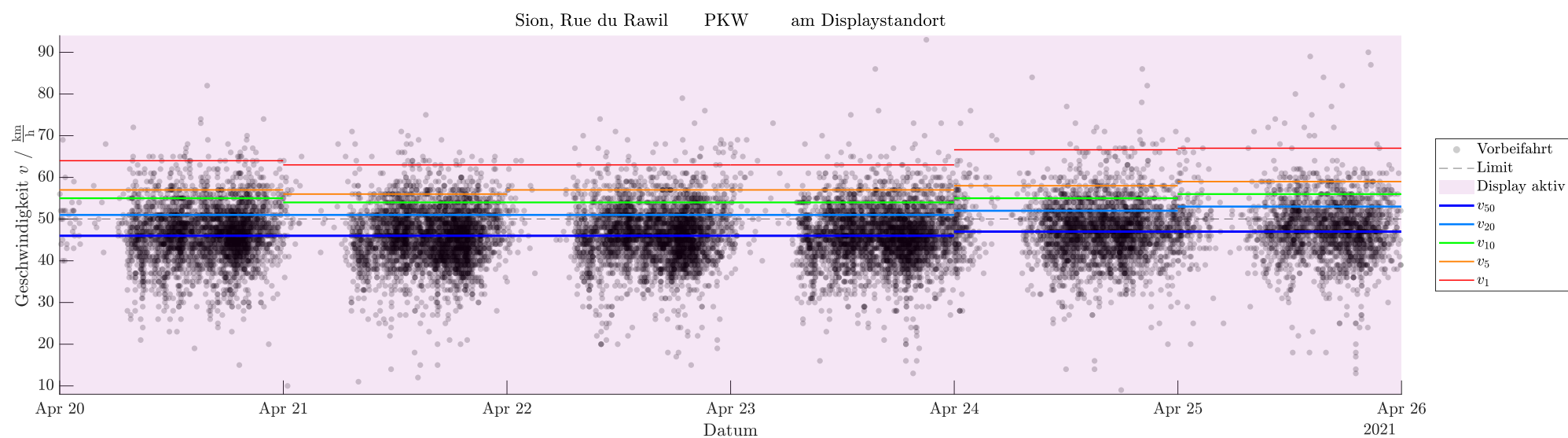
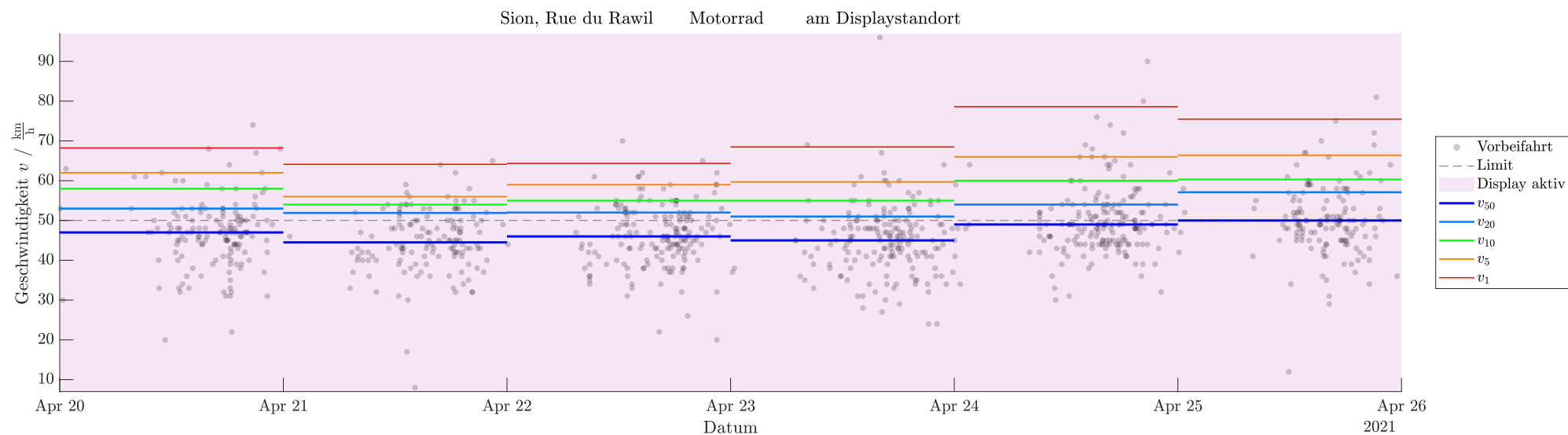


Abbildung 75: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am Displaystandort in Sion (Rue du Rawil)

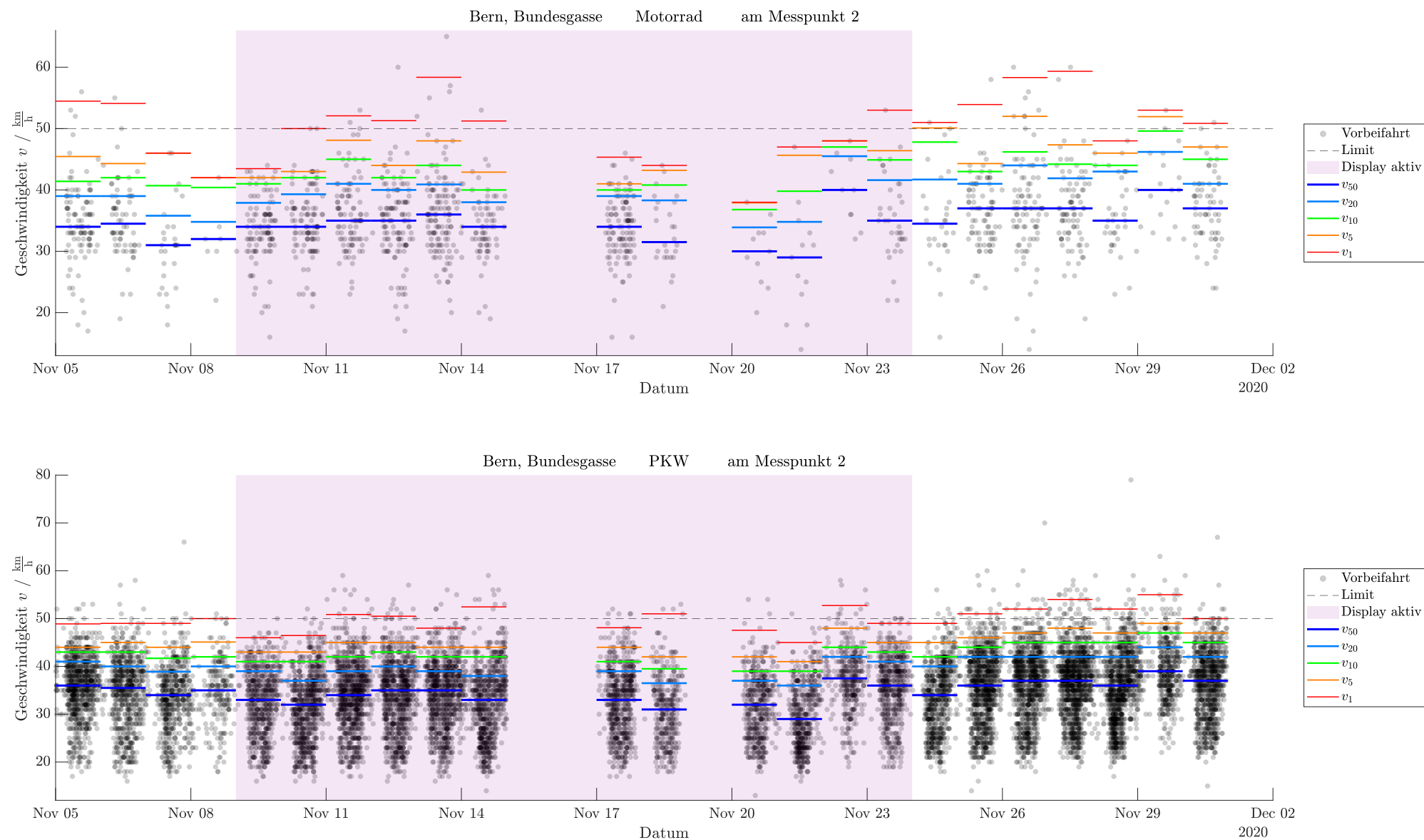


Abbildung 76: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am 70 m abgesetzten Messpunkt 2 in Bern (Bundesgasse)

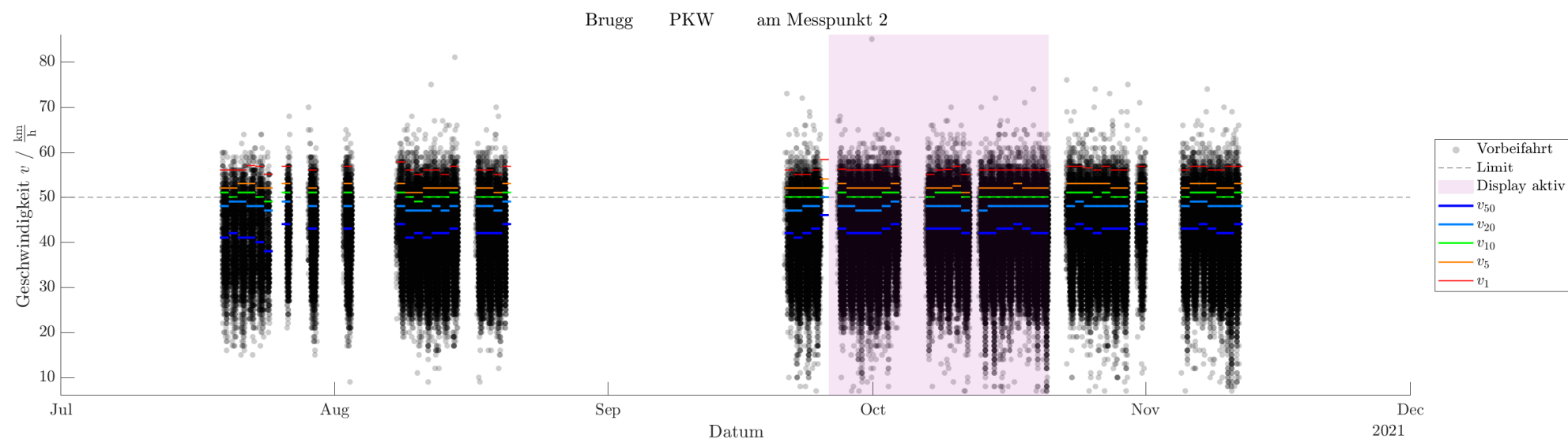
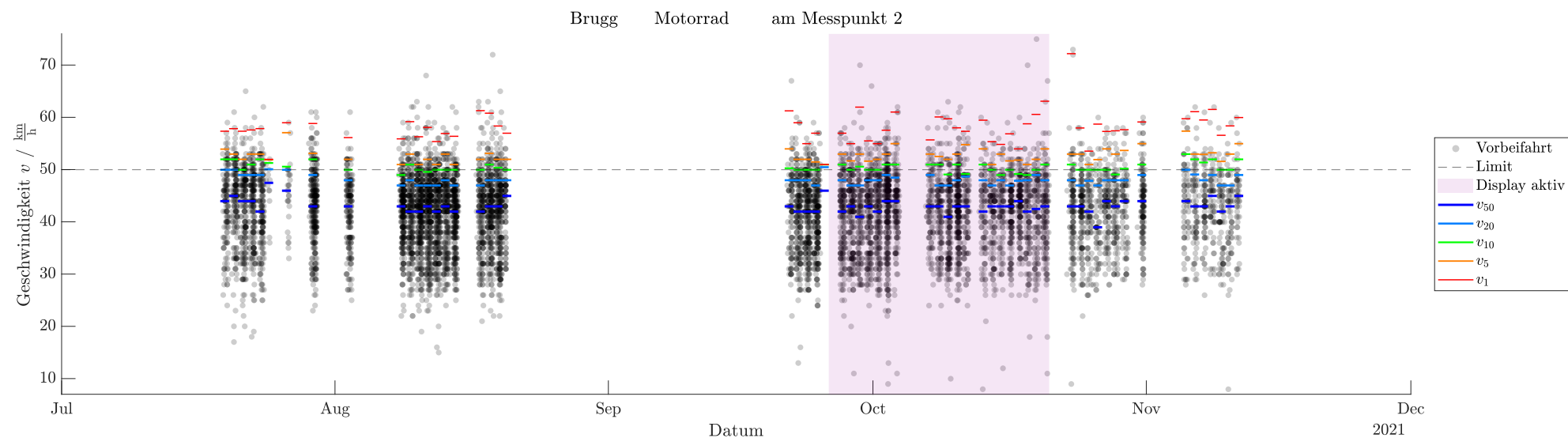


Abbildung 77: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am 300 m abgesetzten Messpunkt 2 in Brugg

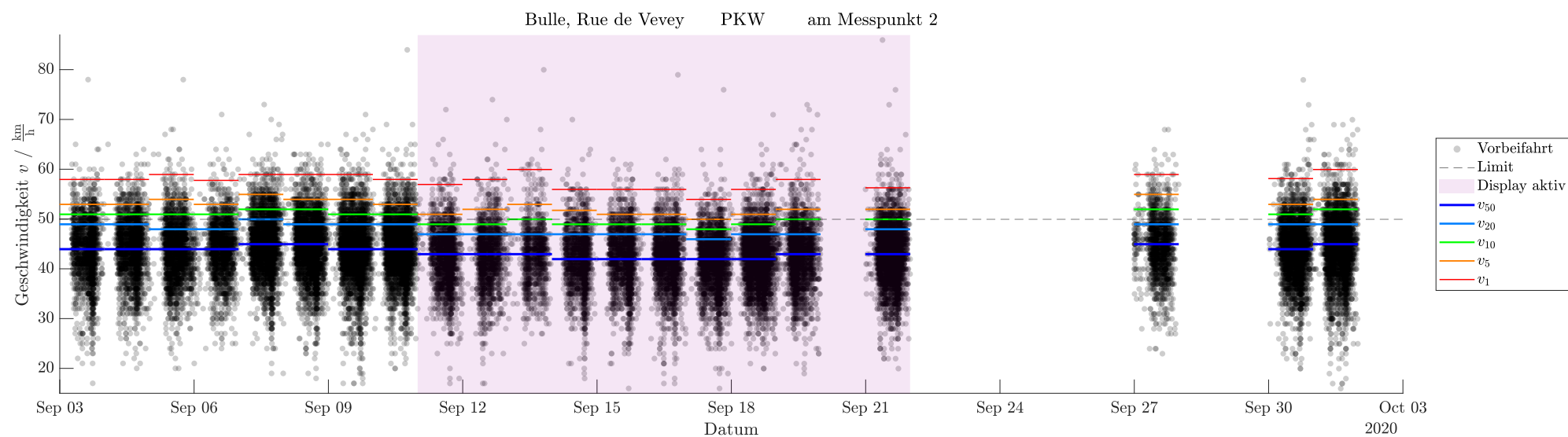
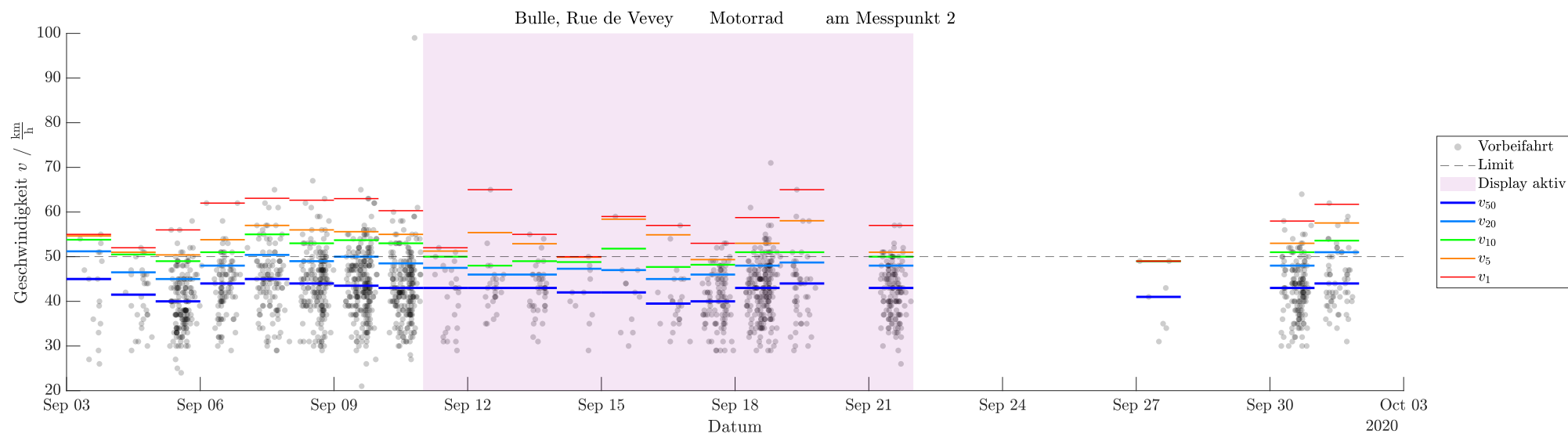


Abbildung 78: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am 73 m abgesetzten Messpunkt 2 in Bulle (Rue de Vevey)

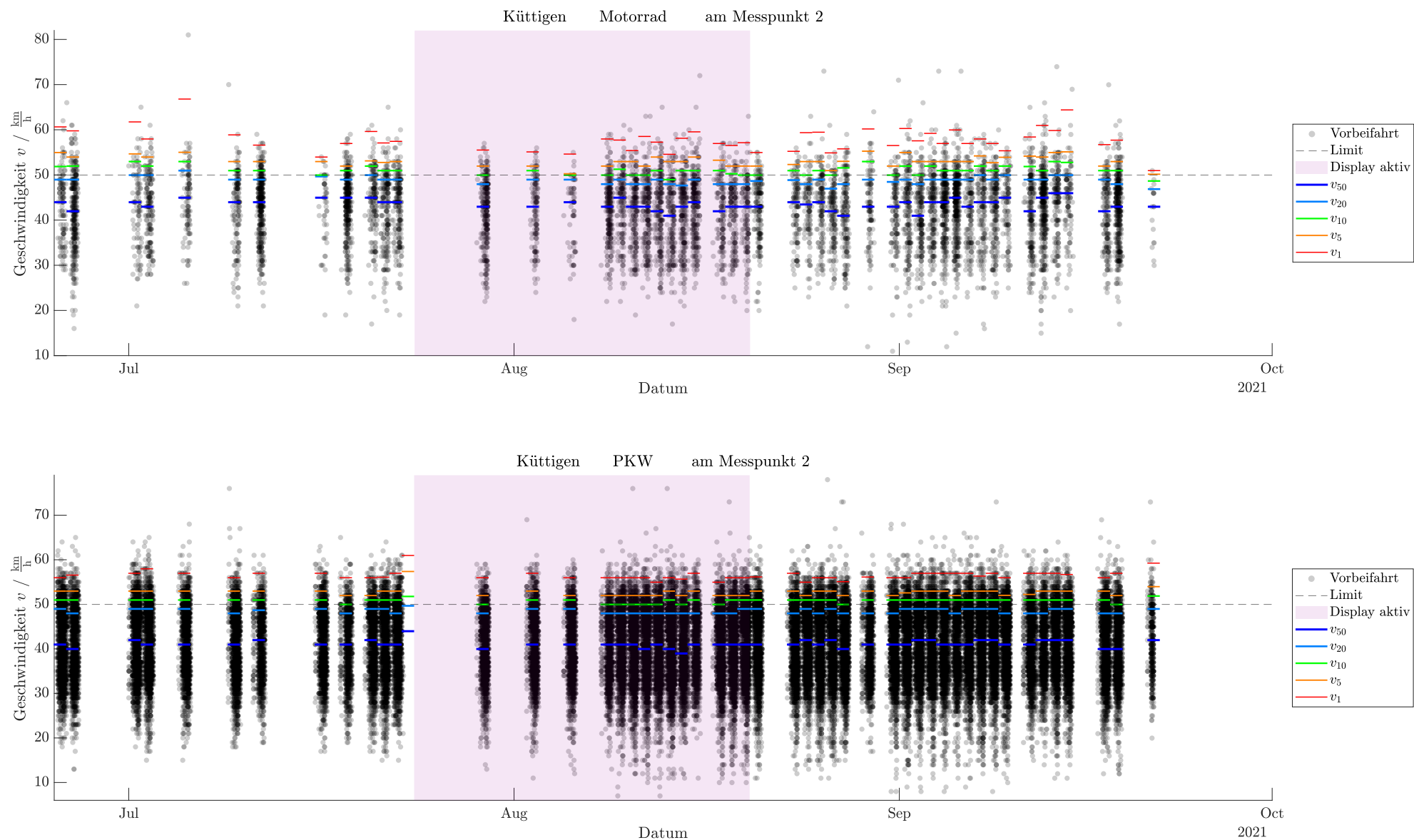


Abbildung 79: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am 245 m abgesetzten Messpunkt 2 in Küttigen

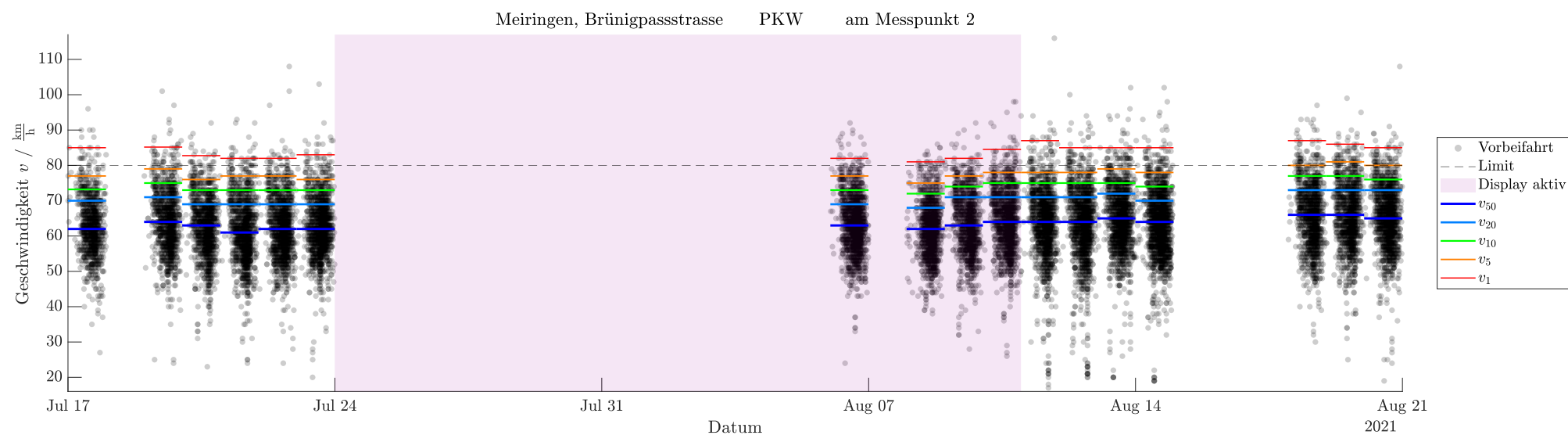
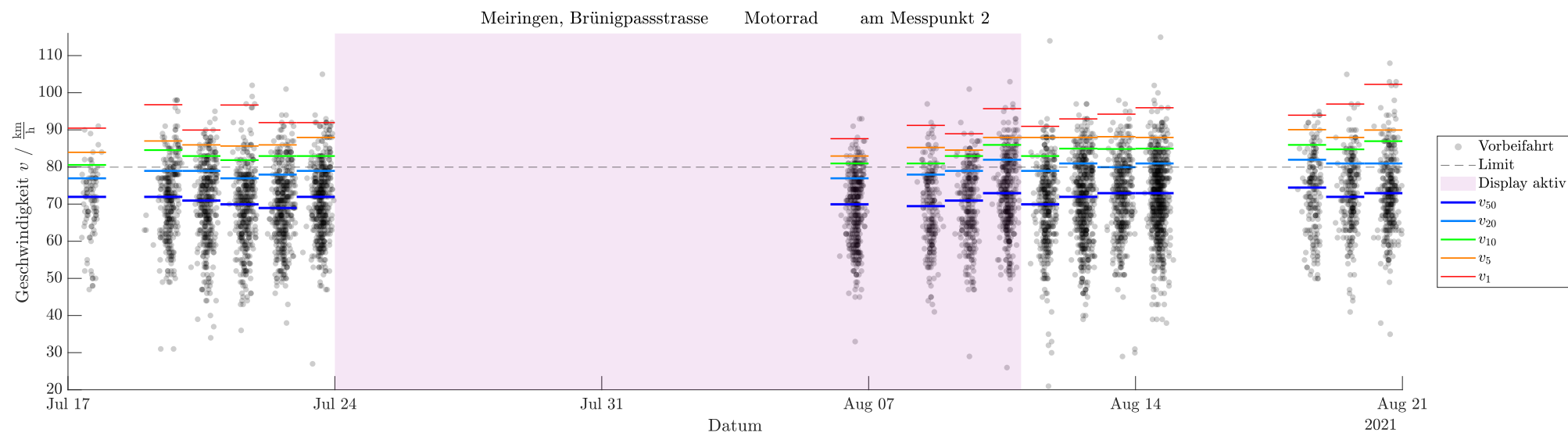


Abbildung 80: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am 230 m abgesetzten Messpunkt 2 in Meringen (Brünigpassstrasse)

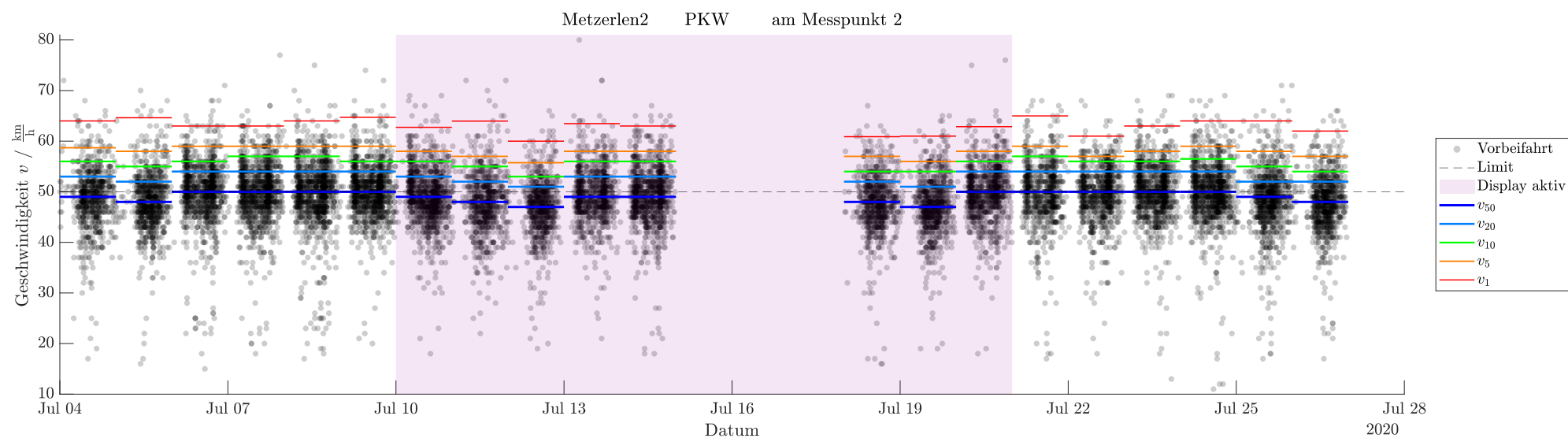
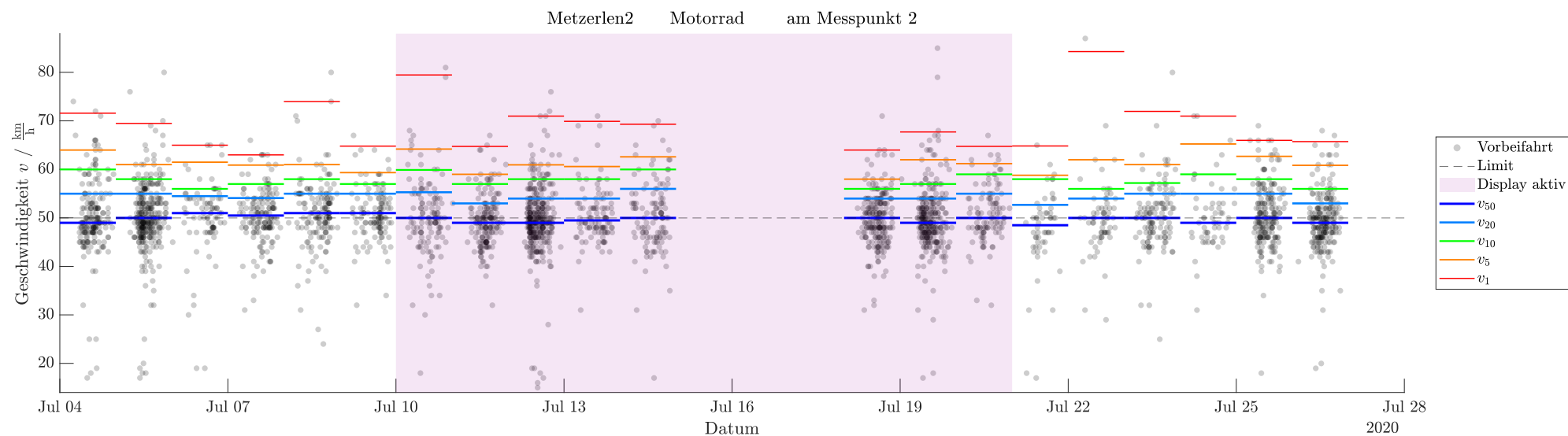


Abbildung 81: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten der zweiten Messkampagne am 444 m abgesetzten Messpunkt 2 in Metzerlen

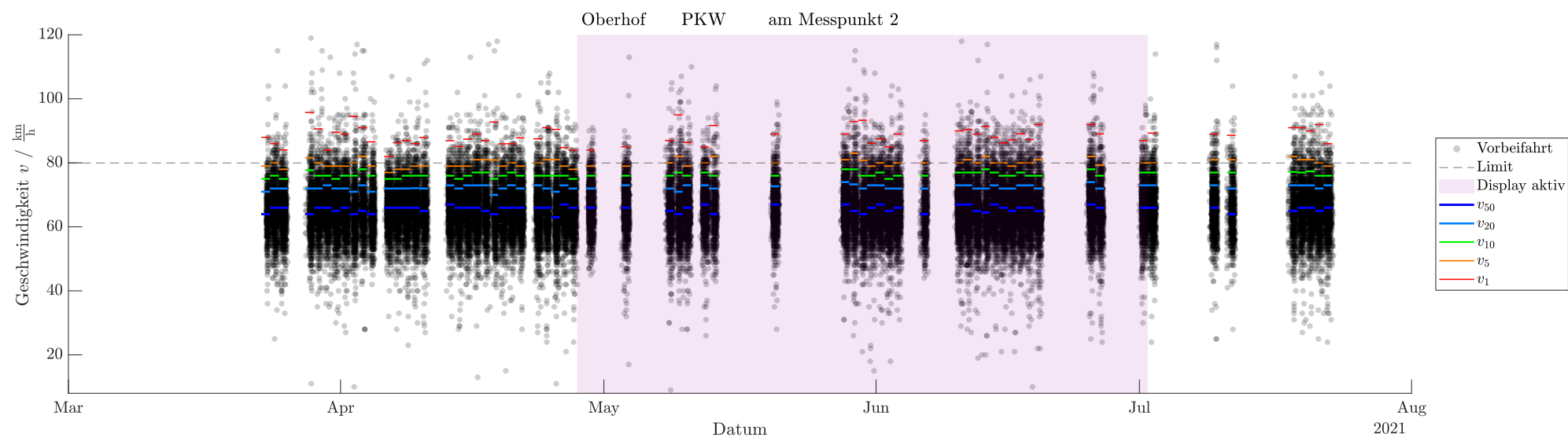
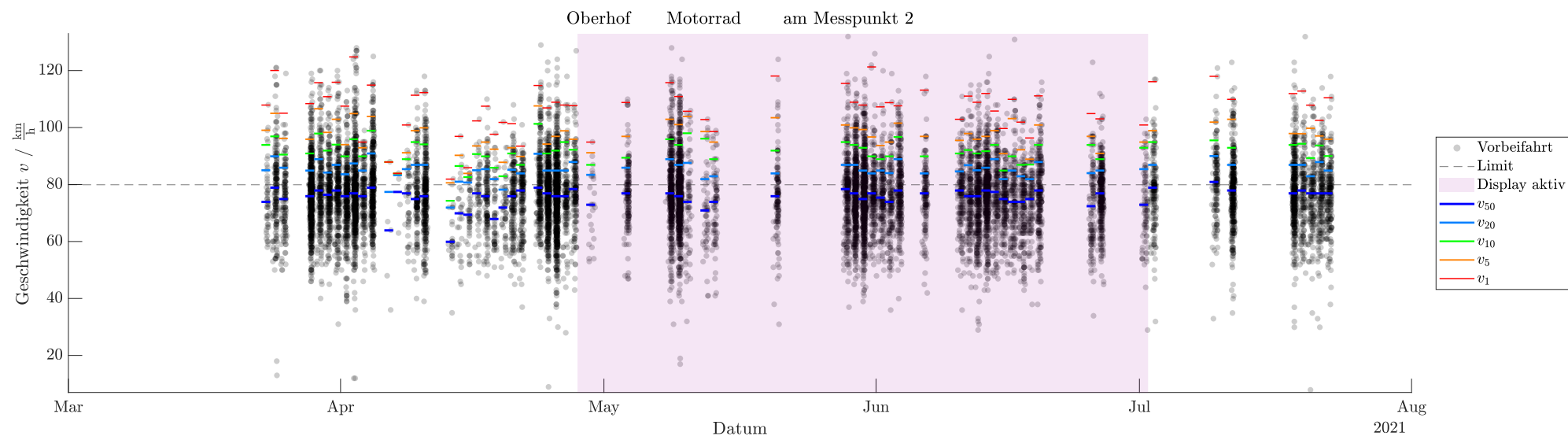


Abbildung 82: tägliche Perzentilgeschwindigkeiten am 500 m abgesetzten Messpunkt 2 in Oberhof

6.3 Phasendifferenzen der Perzentilschallpegel und -geschwindigkeiten

Tabelle 2: Differenzen der Perzentilschallpegel zwischen Phase 2 und Phase 1 (Display-Messpunkt)

Fahrzeugtyp Standort	PW					N _{Ph1}	N _{Ph2}	Motorrad					N _{Ph1}	N _{Ph2}
	ΔL_1	ΔL_5	ΔL_{10}	ΔL_{20}	ΔL_{50}			ΔL_1	ΔL_5	ΔL_{10}	ΔL_{20}	ΔL_{50}		
Bern	0	1	0	0	0	3976	13356	-3	-1	0	0	0	842	2849
Brugg	-3	-2	-1	-1	-1	80365	89977	-3	-3	-4	-3	-2	6279	4412
Bulle	0	-1	-1	-1	0	25923	33387	0	-0.95	0	-1	-1	1971	2462
Caslaro	0	0	0	0	0	123967	162064	1	-1	0	0	0	14163	17557
Filzbach	0	0	0	0	0	570	957	7.09	6	2.4	2	3	159	43
Genf	0	0	0	0	1	8978	35683	-1.33	0	0	0	0	1617	7378
Glarus	-1	-1	-1	-1	-1	40153	20279	0	0	0	0	-1	4087	1632
Küttigen	-4	-4	-4	-4	-4	21310	25936	-4	-4	-4	-4	-4	2564	3026
Meiringen	0	0	0	0	0	7534	5586	0.2	0	-1	0	-1	2213	1330
Metzerlen 1	0	0	0	0	0	8653	6317	0	0	-0.3	0	-1	883	778
Metzerlen 2	-1	-1	-1	-1	-1	7530	8993	1	-1	-1	0	-1	1150	1632
Niederurnen	2	3	3	2	1	1695	1690	-1.52	-1	0	-2	-3	98	45
Oberhof	0	0	0	0	0	29081	27547	0	-1	0	-1	0	6901	7295
Schwanden	-1	-1	-1	0	0	16283	8757	0	1	0	0	0	4048	1454

Tabelle 3: Differenzen der Perzentilgeschwindigkeiten zwischen Phase 2 und Phase 1 (Display-Messpunkt)

Fahrzeugtyp Standort	PW					N _{Ph1}	N _{Ph2}	Motorrad					N _{Ph1}	N _{Ph2}
	Δv_1	Δv_5	Δv_{10}	Δv_{20}	Δv_{50}			Δv_1	Δv_5	Δv_{10}	Δv_{20}	Δv_{50}		
Bern	-1	-2	-1	-2	-1	3976	13356	0.01	0	-0.3	0	0	842	2849
Brugg	0	0	0	0	0	80365	89977	-2	-1	-1	0	1	6279	4412
Bulle	-1	-1	-2	-1	-1	25923	33387	-5.79	-2	-2	0	-1	1971	2462
Caslaro	1	1	1	1	1	123967	162064	0.93	1	0	1	1	14163	17557
Filzbach	-4.8	-3	-2	-3	-3	570	957	-3.73	1.45	2	-3	-3	159	43
Genf	0	0	0	0	0	8978	35683	-2	-1	-1	0	0	1617	7378
Glarus	-1	-1	-1	-1	-1	40153	20279	1	0	-1	-1	-2	4087	1632
Küttigen	-1	-1	-1	-2	-1	21310	25936	-1	-1	-1	-1	-1	2564	3026
Meiringen	-4	-4	-3	-3	-3	7534	5586	-2	-4	-4	-3	-3	2213	1330
Metzerlen 1	1	2	1	2	1	8653	6317	2	0.6	1	1	1	883	778
Metzerlen 2	0	0	1	1	1	7530	8993	3	1	1	1	1	1150	1632
Niederurnen	-2	-1	-1	-1	0	1695	1690	-17.8	-1	-1	-2.5	-6	98	45
Oberhof	0	0	1	0	0	29081	27547	-1	0	-1	0	0	6901	7295
Schwanden	1	0	0	0	0	16283	8757	-1	-1	0	0	0	4048	1454

Tabelle 4: Differenzen der Perzentilschallpegel zwischen Phase 2 und Phase 1 (Messpunkt 2)

Fahrzeugtyp Standort	PW					N _{Ph1}	N _{Ph2}	Motorrad					N _{Ph1}	N _{Ph2}
	ΔL_1	ΔL_5	ΔL_{10}	ΔL_{20}	ΔL_{50}			ΔL_1	ΔL_5	ΔL_{10}	ΔL_{20}	ΔL_{50}		
Bern	0	0	0	0	0	2329	7973	-1.89	-2	-1	-1	-0.5	204	839
Brugg	-2	-2	-2	-2	-1	74773	84664	-3	-3	-3	-3	-2	5015	3172
Bulle	0	0	0	-1	-1	20066	20729	1	0	0	0	0	1060	635
Küttigen	-3	-3	-4	-3	-3	17687	21752	-4	-3	-3	-4	-3	2334	2728
Meiringen	-1	0	0	-1	0	7288	5402	-0.1	0	-1	-1	0	2040	1259
Metzerlen 2	-2	-1	-1	0	0	5712	7020	-0.01	0	0	0	-1	1001	1451
Oberhof	0	0	0	0	-1	25271	23528	-1	-1	-1	0	-1	6186	5434

Tabelle 5: Differenzen der Perzentilgeschwindigkeiten zwischen Phase 2 und Phase 1 (Messpunkt 2)

Fahrzeugtyp Standort	PW					N _{Ph1}	N _{Ph2}	Motorrad					N _{Ph1}	N _{Ph2}
	Δv_1	Δv_5	Δv_{10}	Δv_{20}	Δv_{50}			Δv_1	Δv_5	Δv_{10}	Δv_{20}	Δv_{50}		
Bern	-0.21	0	-1	-1	-1	2329	7973	-1.81	-1.3	0	0	1	204	839
Brugg	0	0	0	0	1	74773	84664	-0.22	0	0	0	0	5015	3172
Bulle	-2	-3	-2	-2	-2	20066	20729	-3.85	-3	-2	-2	-1	1060	635
Küttigen	-1	-1	-1	-1	0	17687	21752	-1	0	-0.3	-1	-1	2334	2728
Meiringen	0	0	0	0	1	7288	5402	0	0	0	1	0	2040	1259
Metzerlen 2	-2	-2	-1	-1	-1	5712	7020	-1.49	0	0	-1	-1	1001	1451
Oberhof	0	1	0	1	0	25271	23528	-3	-1	-1	-0.3	-1	6186	5434

Tabelle 6: Differenzen der Perzentilschallpegel zwischen Phase 3 und Phase 1 (Display-Messpunkt)

Fahrzeugtyp Standort	PW					N _{Ph1}	N _{Ph3}	Motorrad					N _{Ph1}	N _{Ph3}
	ΔL_1	ΔL_5	ΔL_{10}	ΔL_{20}	ΔL_{50}			ΔL_1	ΔL_5	ΔL_{10}	ΔL_{20}	ΔL_{50}		
Bern	-1	0	0	0	0	3976	9743	-1	0	1	1	0	842	1154
Brugg	-2	-1	-1	-1	0	80365	94478	-2	-2	-2	-3	-2	6279	2618
Bulle	3	3	3	2	2	25923	9203	7.37	4.05	3	2	0	1971	271
Genf	-2	-1	-1	-1	-1	8978	23538	-2.33	-1	0	0	0	1617	5857
Küttigen	-3	-3	-3	-3	-2	21310	44841	-3	-4	-4	-4	-3	2564	4867
Meiringen	-1	-1	-1	-1	0	7534	10382	0.71	0	-1	-1	-1	2213	2879
Metzerlen 1	0.38	0	0	0	0	8653	9112	0.08	0	0	0	-1	883	1042
Metzerlen 2	0	-1	-1	-1	0	7530	7129	-0.88	-1	-1	-1	-1	1150	938
Oberhof	-3	-3	-3	-4	-4	29081	6655	-4	-4	-5	-6	-6	6901	1862

Tabelle 7: Differenzen der Perzentilgeschwindigkeiten zwischen Phase 3 und Phase 1 (Display-Messpunkt)

Fahrzeugtyp Standort	PW					N _{Ph1}	N _{Ph3}	Motorrad					N _{Ph1}	N _{Ph3}
	Δv_1	Δv_5	Δv_{10}	Δv_{20}	Δv_{50}			Δv_1	Δv_5	Δv_{10}	Δv_{20}	Δv_{50}		
Bern	-3	-3	-2	-3	-2	3976	9743	5.76	-1.2	-1.3	-2	-1	842	1154
Brugg	0	0	0	0	0	80365	94478	-1.68	0	-1	0	0	6279	2618
Bulle	1	0	-1	0	0	25923	9203	-1.79	-0.05	0	0	-1	1971	271
Genf	-2	-1	-1	-1	-1	8978	23538	-4	-3	-1	0	-1	1617	5857
Küttigen	-1	-1	-1	-1	-1	21310	44841	0	0	0	0	0	2564	4867
Meiringen	-1	-2	-2	-2	-1	7534	10382	-0.29	-1	-2	-2	-2	2213	2879
Metzerlen 1	-1	0	0	0	0	8653	9112	-1	-3	-1	0	0	883	1042
Metzerlen 2	2	1	2	1	1	7530	7129	4.12	2	0	0	1	1150	938
Oberhof	2	1	1	1	-1	29081	6655	-2.12	1	1	1	1	6901	1862

Tabelle 8: Differenzen der Perzentilschallpegel zwischen Phase 3 und Phase 1 (Messpunkt 2)

Fahrzeugtyp Standort	PW					N _{Ph1}	N _{Ph3}	Motorrad					N _{Ph1}	N _{Ph3}
	ΔL_1	ΔL_5	ΔL_{10}	ΔL_{20}	ΔL_{50}			ΔL_1	ΔL_5	ΔL_{10}	ΔL_{20}	ΔL_{50}		
Bern	-1	0	0	0	0	2329	6391	-0.57	-1	-1	0	0.5	204	407
Brugg	-2	-1	-1	-1	0	74773	57529	-2	-1	-2	-2	-1	5015	1331
Bulle	4	4	4	3	2	20066	7802	4.31	4	3	2	1	1060	219
Küttigen	-4	-3	-3	-3	-2	17687	37437	-3	-3	-3	-4	-3	2334	4374
Meiringen	0	0	0	-1	0	7288	9852	-0.1	0	-1	-1	0	2040	2654
Metzerlen 2	-3	-1	-1	0	0	5712	5254	1	-1	-1	-1	-1	1001	707
Oberhof	0	0	-1	-1	-1	25271	6396	-1	-1	-1	0	-1	6186	1762

Tabelle 9: Differenzen der Perzentilgeschwindigkeiten zwischen Phase 3 und Phase 1 (Messpunkt 2)

Fahrzeugtyp Standort	PW					N _{Ph1}	N _{Ph3}	Motorrad					N _{Ph1}	N _{Ph3}
	Δv_1	Δv_5	Δv_{10}	Δv_{20}	Δv_{50}			Δv_1	Δv_5	Δv_{10}	Δv_{20}	Δv_{50}		
Bern	2.79	3	2	2	2	2329	6391	2.94	2.7	3	3	4	204	407
Brugg	1	1	1	0	1	74773	57529	1	1	1	0	0	5015	1331
Bulle	0	0	0	0	1	20066	7802	-2.07	-1	0	0	0	1060	219
Küttigen	-1	0	0	-1	0	17687	37437	0	0	0	0	0	2334	4374
Meiringen	2.98	2	2	2	3	7288	9852	3	2	2	3	1	2040	2654
Metzerlen 2	-0.04	-1	0	-1	-1	5712	5254	-1.06	1	-1	-1	0	1001	707
Oberhof	2	2	1	1	0	25271	6396	-2.12	0	1	1	1	6186	1762

6.4 Modellparameter a und b

Tabelle 10: Modellparameter a und b und die Bestimmtheitsmasse R^2 ohne Normierung auf $50 \frac{km}{h}$ der standortspezifischen Emissionsmodelle $L(v) = a \times \log_{10}(v) + b$

Standort	a_{PW}	b_{PW}	R^2_{PW}	a_{MOT}	b_{MOT}	R^2_{MOT}
Bellinzona, Via al Ticino	24.52	33.64	0.25	20.84	42.98	0.10
Bellinzona, Via Lugano	28.03	29.83	0.51	19.86	44.27	0.17
Bellinzona, Via Zorzi	28.40	31.17	0.51	19.11	47.64	0.12
Bern, Bundesgasse	13.77	49.89	0.14	17.62	43.46	0.08
Brugg	21.78	41.09	0.25	22.18	39.15	0.17
Bulle, Rue de Vevey	17.37	41.09	0.23	16.12	43.76	0.18
Caslano, Via Cantonale	21.45	43.43	0.57	18.52	47.48	0.23
Filzbach, Kerenzerbergstrasse	22.93	22.31	0.36	6.67	50.82	0.02
Genf, Avenue Wendt	30.02	23.48	0.49	19.11	40.1	0.20
Glarus, Kirchweg	31.92	10.43	0.60	23.55	24.06	0.21
Küttigen	25.07	34.16	0.35	18.94	46.22	0.08
Lausanne, Av. de Tivoli	13.27	46.41	0.14	12.89	47.92	0.08
Lausanne, Av. d'Ouchy	18.02	34.41	0.23	33.58	10.66	0.36
Lausanne, Av. du Lemman	24.33	31.02	0.50	18.82	40.74	0.21
Lausanne, Chemin du Reposoir	29.32	21.16	0.43	27.39	23.72	0.22
Lausanne, Rue Centrale	27.41	33.80	0.60	21.22	44.03	0.35
Lausanne, Rue de Genève	33.96	21.56	0.53	32.60	21.36	0.28
Lausanne, Rue de la Borde	28.89	23.98	0.60	25.99	29.77	0.45
Lausanne, Rue du Bugnon	20.25	41.74	0.31	23.95	40.36	0.25
Meiringen, Brünigpassstrasse	28.68	18.33	0.46	25.36	22.88	0.42
Metzerlen 1	27.12	27.84	0.26	33.02	21.21	0.20
Metzerlen 2	25.80	31.16	0.44	18.98	43.83	0.14
Niederurnen, Ziegelbrückstrasse	17.98	26.95	0.16	27.77	11.77	0.31
Oberhof	24.63	37.17	0.30	19.52	47.06	0.11
Russin, Route de Verbois	28.59	24.73	0.46	73.27	-55.95	0.52
Schwanden, Spittel	27.17	11.14	0.33	25.26	15.64	0.17
Sion, Rue du Rawil	28.30	25.56	0.44	20.61	40.56	0.14