



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Umwelt BAFU**  
Abteilung Lärm und NIS

# Test-Szenarien zu sonROAD18

## Zusammenstellung und Analyse

Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Lärm und NIS

## Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen.....	3
2	Einleitung und Ziel.....	3
3	Grundsätzliches.....	4
3.1	Übersicht, Berechnungsvarianten und Auftrag .....	4
3.2	Modellvergleich an fiktiven Prototyp-Situationen .....	5
3.3	Immissionsmessungen.....	5
3.5	Darstellung der Resultate.....	6
4	Test-Szenario I, Nationalstrassen.....	7
4.1	Test-Szenario I, Modellvergleich.....	7
4.2	Test-Szenario I, Vergleich mit Immissionsmessungen .....	9
5	Test-Szenario II, ländlicher Kanton.....	11
5.1	Test-Szenario II, Modellvergleich, Auftrag BAFU.....	11
5.2	Test-Szenario II, Modellvergleich, Auftrag Kanton Aargau .....	12
5.3	Test-Szenario II, Vergleich mit Immissionsmessungen .....	14
6	Test-Szenario III, städtischer Lärmkataster .....	16
6.1	Test-Szenario III, Modellvergleich.....	16
6.2	Test-Szenario III, Vergleich mit Immissionsmessungen .....	19
7	Ursachen für Modelldifferenzen .....	21
8	Fazit/Schlussfolgerungen.....	25



## 1 Grundlagen

- [1] Lärmschutzverordnung LSV, SR 814.41 vom 15.12.1986
- [2] Heutschi K., Locher B.: *sonROAD18 - Berechnungsmodell für Strassenlärm*, 2018
- [3] JRC Reference Report *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*, 2012
- [4] *Strassenlärm-Berechnungsmodell sonROAD18. Aufbereitung der Eingabedaten und Ausbreitungsrechnung*, Bundesamt für Umwelt, Bern, Umwelt-Wissen Nr. 2127, 2021
- [5] Konzept zu Test-Szenarien für sonROAD18, 30.04.2019
- [6] Heutschi K., *sonROAD18 - Berechnungsmodell für Strassenlärm - Weiterentwicklungen und Ergänzungen*, Empa, 15.05.2020

## 2 Einleitung und Ziel

Gemäss [Schweizerischer Lärmschutzverordnung](#) LSV, Anhang 2<sup>1</sup>, empfiehlt das Bundesamt für Umwelt (BAFU) den Vollzugsbehörden entsprechend dem Stand der Technik geeignete Berechnungsverfahren.

Das neue Strassenlärm-Emissionsmodell sonROAD18 erlaubt die Ermittlung der Lärmemissionen von auf schweizerischen Strassen zugelassenen Fahrzeugen im Hinblick auf die Beurteilung gemäss Lärmschutzverordnung [1], insbesondere Anhang 3.

Die ermittelten Emissionen können mit Hilfe des weit verbreiteten Modells ISO 9613-2<sup>2</sup> oder mit Hilfe des Ausbreitungsmodells sonX<sup>3</sup> (momentan noch nicht in einer kommerziellen Lärmberechnungssoftware implementiert) in einen frequenzabhängigen Immissionspegel umgerechnet werden.

Im Rahmen der Modellentwicklung führte die EMPA bereits eine Validierung des Emissionsmodells durch (vgl. Schlussbericht zu sonROAD18 [2] Kap. 12, S. 99). Im Sinne eines Proof of Concepts wurde im Teilprojekt "Test-Szenarien" das Emissionsmodell in Kombination mit dem Ausbreitungsmodell ISO 9613-2 getestet und mit dem gängigen Strassenlärm-Modell StL86+ verglichen. Zusätzlich wurden bestehende Strassenlärm-Messungen mit den Berechnungsergebnissen verglichen.

---

<sup>1</sup> Art. 38 LSV, Art der Ermittlung, Abs. 3, verweist auf Anhang 2

<sup>2</sup> International Standard ISO 9613-2, Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation, 15.12.1996 (First Edition)

<sup>3</sup> Bericht "Dokumentation des sonX-Ausbreitungsmodells", EMPA Dübendorf, 18.08.2014

### 3 Grundsätzliches

#### 3.1 Übersicht, Berechnungsvarianten und Auftrag

Das Hauptziel der verschiedenen Testszenarien bestand darin, die Modelle StL86+ und sonROAD18 in verschiedenen Situationen zu vergleichen. Zu diesem Zweck wurden im Minimum die folgenden zwei Standard-Berechnungsvarianten berechnet:

Berechnungsvarianten:	StL86+	sonROAD18
Emission:	StL86+	sonROAD18
Ausbreitung:	StL86+	ISO 9613-2

→ Wenn nachfolgend von einer sonROAD18-Berechnung geschrieben wird, so ist damit stets implizit eine Emissionsberechnung nach sonROAD18 in Kombination mit einer Ausbreitungsrechnung nach ISO 9613-2 gemeint. Auf eine explizite Erwähnung der ISO9613-2 wird für eine bessere Lesbarkeit in der Regel verzichtet.

Die Testszenarien sind in Test-Szenario I, II und III, unterteilt, welche unterschiedliche Strassentypen (National, Haupt- und übrige Strassen) und verschiedene Verwendungszwecke (z.B. Lärmsanierung und Lärmbelastungskataster) abdecken.

Test-szenario	Strassentyp	Projekte	weitere Berechnungsvarianten	Bemerkungen
I	Natio-nalstrassen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- N01 Frauenkappelen (BE)</li> <li>- N1/32,34 AP Lärmschutz Lenzburg/Länzerz: Anschluss Baden-Dättwil</li> <li>- N01 Wankdorf - Kirchberg, Teilgebiet „Grauholz, Ittigen und Zollikofen“</li> <li>- N02 SSP Sursee - Rothenburg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkehrszusammensetzung mit effektiven SWISS10-Verkehrszahlen und mit SWISS10-Konverter geschätzten Verkehrszusammensetzungen</li> <li>- Negative Bodendämpfung abziehen / nicht abziehen</li> <li>- Ausbreitung bei StL86+ mit negativen Umwegen nach ISO 9613-2</li> </ul>	Berechnungsvarianten von Auftrag abhängig.
II	Ländlicher Kanton	Auftrag BAFU: <ul style="list-style-type: none"> <li>- LSP Küttigen, K470</li> <li>- LSP Ueken</li> <li>- LSP Aarau, K108</li> <li>- LSW Berikon KZM</li> </ul> Auftrag Kanton Aargau: <ul style="list-style-type: none"> <li>- NASA Baden, K268</li> <li>- NASA Oftringen, K104</li> <li>- LSP Unterkulm</li> <li>- LSP Staufenbergstr., Niederlenz</li> <li>- LSW Rudolfstetten KZM</li> </ul>	Auf einzelnen Abschnitten: Verkehrszusammensetzung mit effektiven SWISS10-Verkehrszahlen und mit SWISS10-Konverter geschätzten Verkehrszusammensetzungen	LSP: Lärmschutzprojekt NASA: Nachsanierung LSW: Untersuchung der Abschirmwirkung von Lärmschutzwänden KZM: Kurzzeitmessungen
III	Städtischer LBK	LBK 2015 der Stadt Zürich	städtischer Lärmkataster (ganzes Stadtgebiet)	ohne Berücksichtigung Tramemissionen

## **Die Auftragnehmer wurden angehalten, die Vorgaben gemäss sonROAD18-Umwelt-Wissen [4] sowie gemäss Konzept zu den Test-Szenarien [5] zu berücksichtigen.**

Da zum Zeitpunkt der Berechnungen der Test-Szenarien noch keine spektralen sonROAD18-Belagskorrekturen zur Verfügung standen, forderten wir im Konzept [5], dass die nicht-spektralen, herkömmlichen KB-Werte als Belagskorrekturen einzusetzen seien. In den meisten Test-Szenarien wurden daher die im ursprünglichen Projekt verwendeten KB-Werte für die sonROAD18-Berechnungen unverändert übernommen.

Einige Auftragnehmer rechneten eine Berechnungsvariante gänzlich ohne Modellkorrekturen und somit auch ohne Belagskorrektur. In einer weiteren Berechnungsvariante wurden dann auf der Basis von CPX-, SEM- und/oder Immissions-Kurzzeitmessungen Modellkorrekturen modellabhängig festgelegt. Die nachfolgenden Grafiken und Auswertungen beschränken sich jeweils auf die Berechnungsvariante ohne Modellkorrekturen. Für Details bezüglich der Belagskorrektur und Modellkorrekturen im Allgemeinen wird auf die einzelnen Berichte zu den Test-Szenarien verwiesen.

### **Es galt die folgenden Zielgrössen zu vergleichen:**

- Emissions- und Immissionswerte als Einzahlwert  $L_{r,e}$  resp.  $L_{r,i}$  in dBA
- Anzahl Immissionspunkte über Belastungsgrenzwert (PW/IGW)
- Anzahl Personen über Belastungsgrenzwert (PW/IGW)
- Rechendauer und Speicherbedarf

### **3.2 Modellvergleich an fiktiven Prototyp-Situationen**

Die Empa führte in unserem Auftrag einen Modellvergleich durch: Dieser verglich an einigen fiktiven Prototyp-Situationen die Immissionspegel ([6], Kap. 8). Der Vergleich beinhaltete zwar sowohl die Emissions- als auch die Immissionsdifferenzen. Da aber eine Verkehrssituation gewählt wurde, bei der die Emissionen nahezu identisch sind ( $v = 60$  km/h und ebene Strasse), können die emissionsseitigen Unterschiede vernachlässigt werden. Der Vergleich beinhaltet somit hauptsächlich die Ausbreitungsrechnung nach StL86+ und ISO9613-2.

- ➔ **Es zeigte sich, dass ohne Abschirmung und über ebenem Grasboden relativ kleine Unterschiede von maximal  $\pm 2$  dBA auftreten.**
- ➔ **Bei anderen Situationen hingegen können u.a. in Abhängigkeit der Ausbreitungsdistanz und der Empfängerhöhe relativ grosse Modelldifferenzen von mehreren Dezibel auftreten.**
- ➔ **In Lärmbelastungskatastern, Lärmschutz-Projekten bei Gemeinde- und Kantonsstrassen sind Abstände zw. Strassenachse und Immissionsort von rund 20 m typisch (erste Bautiefe). In solchen Situationen rechnet ISO9613-2 ohne Abschirmung in der Regel 0 bis 2 dBA leiser.**

### **3.3 Immissionsmessungen**

Ein Ziel des sonROAD18-Projekts war, dass die Anzahl erforderlicher Messungen zur Kalibrierung der 3D-Berechnungsmodelle reduziert werden kann. Die im Rahmen der Test-Szenarien vorgenommenen Vergleiche zwischen den rechnerischen Prognosen und den Messungen zeigen, dass zumindest für die Ermittlung der Immissionen weiterhin Kalibrierungsmessungen erforderlich sind. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass in diesen Test-Szenarios keine neuen Messungen durchgeführt wurden, sondern dass auf bestehende Kalibrierungsmessungen abgestützt wurde. Diese wurden im Rahmen von StL86+-Modellierungen durchgeführt. Nur in einigen wenigen Fällen wurden die Messungen neu bezüglich der Verkehrszusammensetzung nach SWISS10 normalisiert. Ebenfalls fand keine Normalisierung bezüglich der Temperatur statt, da das StL86+ gar keine Temperaturabhängigkeit kennt und damit die (Luft-)Temperatur bei den Messungen nicht mitbestimmt wurde. Bei Situationen mit grossen Ausbreitungsdistancen könnte die Berücksichtigung der Meteoefekte bessere Übereinstimmung zwischen Modellprognose und Immissionsmessung ergeben, da das Ausbreitungsmodell ISO9613-2 Meteoefekte im Gegensatz zu StL86+ berücksichtigen kann. Die ISO9613-2 Default-Meteo-Bedingungen wurden aber - mangels Meteo-Erhebungen während den Messungen - für die Berechnungen nicht geändert.

### 3.5 Darstellung der Resultate

Die hier dargestellten Auswertungen und Analysen sind als Zusammenfassung zu verstehen und für den besseren Vergleich mit einheitlichen Grafiken dargestellt. Für die Beschreibung der Verkehrseigenschaften, der Situationen, der Berechnungsdetails sowie für die individuellen Schlussfolgerungen der Auftragnehmer wird auf die umfangreichen Berichte zu den Test-Szenarien verwiesen.

Der in diesem Dokument verwendete Farb-Code in den Grafiken lautet wie folgt:

Modellvergleich:	Tag	Nacht
Vergleich mit Messungen:	StL86+	sonROAD18

Um beurteilen zu können, bei welchen Immissionsniveaus Abweichungen zwischen den Modellen resp. zw. Modell und Messungen auftreten, wurden für alle Test-Szenarien - so weit möglich - einheitliche Standard-Grafiken in Form von XY-Plots erstellt. Dies erleichtert den Vergleich zwischen den verschiedenen Test-Szenarien. Es ist jeweils auch eine Regressionsgerade eingezeichnet, welche den Trend in den Datenpunkten erkennen lässt.

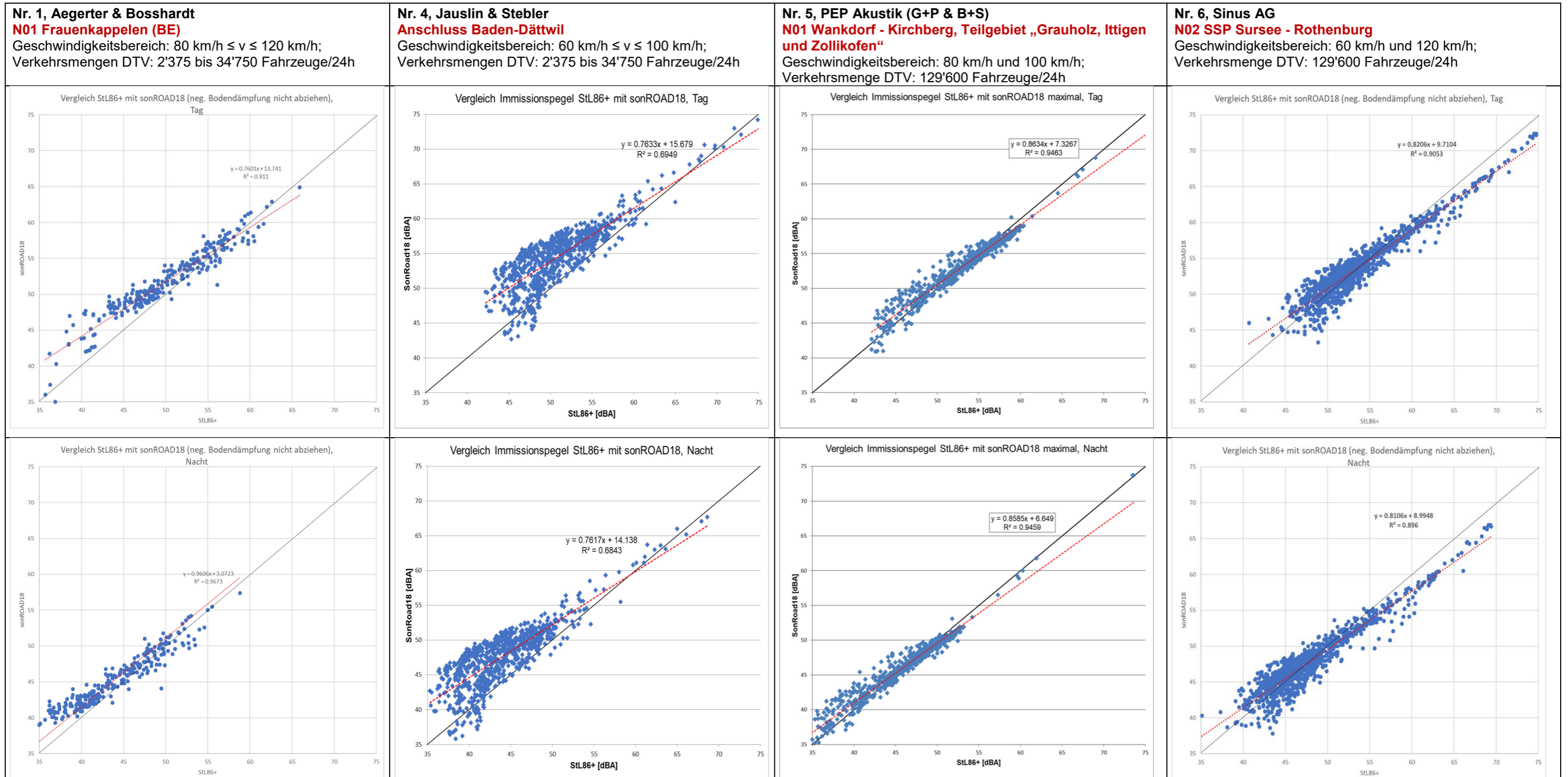
Um einen schnellen Überblick über die Verteilung der Immissions- und Messpegel zu erhalten, wurden zusätzlich sogenannte "Box-Plots" erstellt:

**Interpretation der Boxplots:** Die Box-Zentrum-Linie zeigt den Median-Wert. Die Box-Grenzen stellen das 25. und das 75. Perzentil dar. Die Antennen («Whiskers») erweitern pro Seite die Boxplots um (maximal) die 1.5-fache Distanz zwischen dem 25. und dem 75. Perzentil (Interquartilsbereich). Die ausserhalb liegenden, entfernten Punkte sind Ausreisser. Falls der grösste resp. der kleinste Wert (min/max) innerhalb des 1.5-fachen Bereichs liegen, werden die Whiskers bis auf die Min- resp. Max-Werte verkürzt. Das Kreuz repräsentiert den Mittelwert.

## 4 Test-Szenario I, Nationalstrassen

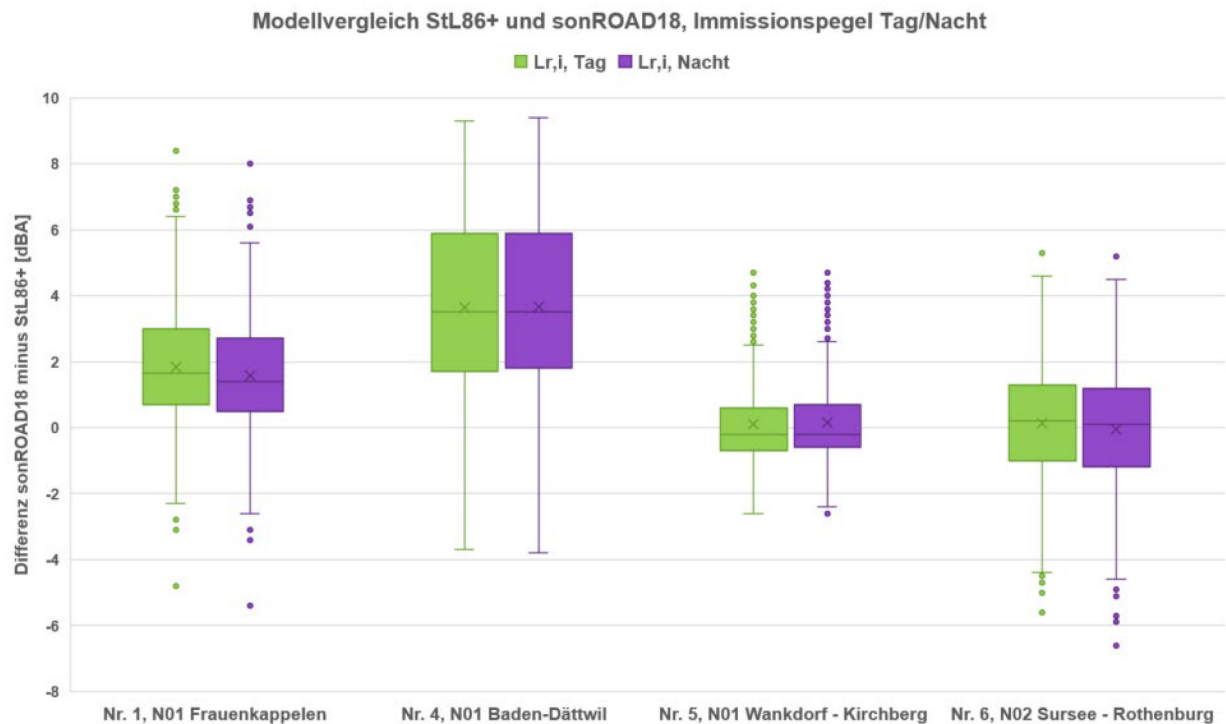
### 4.1 Test-Szenario I, Modellvergleich

Die untenstehenden Grafiken stellen sämtliche berechneten Immissionspegel für alle Test-Szenarios I jeweils als XY-Plot (sonROAD18-Prognose vs. StL86+-Prognose) für den Tag (obere Zeile) und die Nacht (untere Zeile) zusammen:





Die nachfolgende Grafik zeigt für alle Test-Szenarios I die Immissionspegeldifferenzen in Form von Box-Plots (sonROAD18-Prognose minus StL86+-Prognose) jeweils für den Tag (grün) und für die Nacht (violett):



#### Resultate:

- 1) In allen untersuchten Projekten zeigt sich ein einheitlicher Trend: Bei hohen Immissionspegeln ist sonROAD18 tendenziell leiser gegenüber StL86+. Bei niedrigen Immissionspegeln hingegen ist sonROAD18 tendenziell lauter.  
Der "Wendepunkt" (Regressionsgerade schneidet die Diagonale der 1:1-Beziehung) liegt tags bei rund 55 dBA und nachts bei rund 47 dBA. Lediglich beim Projekt Nr. 4, Anschluss Baden-Dättwil, liegt dieser Punkt ungefähr 10 dBA höher.
- 2) Die Streuung der Modellabweichungen nimmt bei den Projekten Nr. 4, Anschluss Baden-Dättwil, und Nr. 6, N02 SSP Sursee - Rothenburg, zu niedrigeren Immissionspegeln hin zu. Bei den beiden anderen Projekten ist dies jedoch kaum oder nicht beobachtbar.
- 3) Beim Projekt Nr. 4, N01 Anschluss Baden-Dättwil, bei niedrigen Immissionspegeln ist sonROAD18 im Vergleich mit den übrigen Projekten aus dem Test-Szenario deutlich lauter als StL86+. Auch die Streuung ist aussergewöhnlich hoch.



## Interpretationen:

- Emissionsseitig ist gemäss [2], Abs. 20.2 *Szenarienrechnungen*, Tab. 20.7, im Hochgeschwindigkeitsbereich (ohne Steigung) zu erwarten, dass sonROAD18 knapp 1 dBA lauter rechnet. In den Test-Szenarien I, wird dies bestätigt: **Die emissionsseitige Modelldifferenz beträgt maximal 1 dBA in allen Projekten des Test-Szenarios I<sup>4</sup>.**

Die Erfahrung zeigt, dass das Modell StL86+ beim heutigen Fahrzeugpark die Lärmzunahme in Steigungen überschätzt. **In sonROAD18 ist dies aktualisiert und entsprechend rechnet sonROAD18 in Steigungen leiser als StL86+** (vgl. [2], Abs. 20.2 *Szenarienrechnungen*, Tab. 20.7, S. 118). Falls die Autobahn nun eine Steigung aufweist, so wird die oben erwähnte Emissionszunahme von knapp 1 dBA bedingt durch den Wandel im Fahrzeugpark und deren Bereifung durch die Emissionsabnahme in Steigungen kompensiert und die emissionsseitigen Unterschiede zwischen den Modellen verschwinden. Dies ist der Fall in den Projekten Nr. 1, N01 Frauenkappelen, und Nr. 5, N01 Wankdorf-Kirchberg.

- Die Ausbreitungsmodelle unterscheiden sich in mehrfacher Hinsicht. Die Art und Weise wie beispielsweise die Abschirmwirkung von Hindernisse (Gebäuden, Gelände, Lärmschutzhindernisse) berechnet wird oder wie der Bodeneffekt berücksichtigt wird (siehe [6], Kap. 8). Je mehr Hindernisse sich auf dem Ausbreitungsweg befinden und je grösser die Ausbreitungsdistanz, desto mehr Einfluss haben diese Effekte auf das Endresultat. Je niedriger der Immissionspegel desto mehr Hindernisse waren bei der Bestimmung des Immissionspegels beteiligt und/oder desto grösser war die Ausbreitungsdistanz. **Die Streuung nimmt zu, je mehr verschiedene Ausbreitungseffekte in den Ausbreitungsmodellen zu berücksichtigen sind.**

Beim Projekt Nr. 4, N01 Anschluss Baden-Dättwil werden zahlreiche Immissionspunkte durch Gebäude abgeschirmt und sie liegen bis zu ungefähr 400 m weit von der Nationalstrasse entfernt. Beim Projekt Nr. 1, N01 Frauenkappelen, beträgt die Distanz zwischen Nationalstrasse und den entferntesten Liegenschaften knapp 700 m (die Mehrheit der Liegenschaften ist nicht weiter entfernt als 500 m). In diesem Projekt sind ebenfalls mehrere unterschiedliche die Ausbreitung beeinflussende Aspekte relevant: Lärmschutzwände/-dämme, Fahrzeugrückhaltesystem "New Jersey", Geländekanten, Gebäude, Immissionspunkte über- und unterhalb der Nationalstrasse.

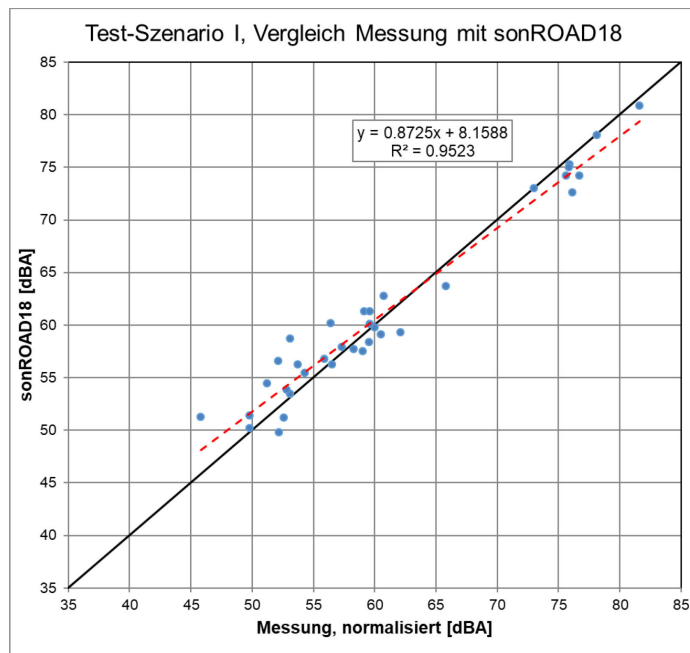
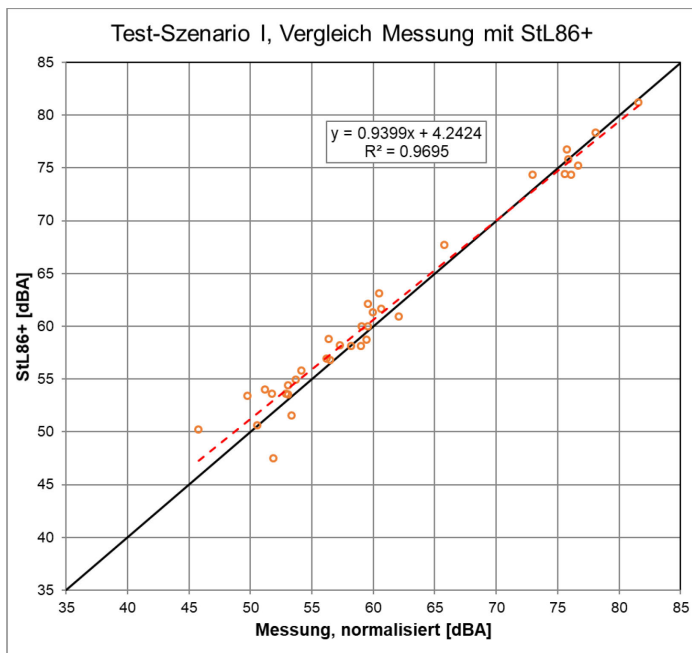
- **Bei unabgeschirmter Ausbreitung über ebenem Grasboden rechnet ISO9613-2 ab einer Ausbreitungsdistanz von rund 200 m lauter als StL86+ ([6], Abs. 8.2).** Unter der Bedingung von förderlicher Ausbreitung dürfte dies auch bei abgeschirmter Ausbreitung der Fall sein ([6], Abs. 8.5). Dies liegt wohl hauptsächlich daran, dass ISO9613-2 von förderlichen Meteo-Bedingungen ausgeht, das StL86+ jedoch von neutralen Meteo-Bedingungen resp. diese gar nicht berücksichtigen kann. Bei noch grösseren Ausbreitungsdistanzen nehmen die Modelldifferenzen weiter zu. Insbesondere bei den Projekten Nr. 1, N01 Frauenkappelen und Nr. 4, N01 Anschluss Baden-Dättwil liegen vielen Immissionspunkte in grosser Entfernung (deutlich grösser als 200 m). **Diese bei geringen Immissionspegeln deutlich höheren sonROAD18/ISO9613-2-Prognosen sind immissionsseitig vorwiegend auf die förderlichen Meteo-Bedingungen zurückzuführen.**

## 4.2 Test-Szenario I, Vergleich mit Immissionsmessungen

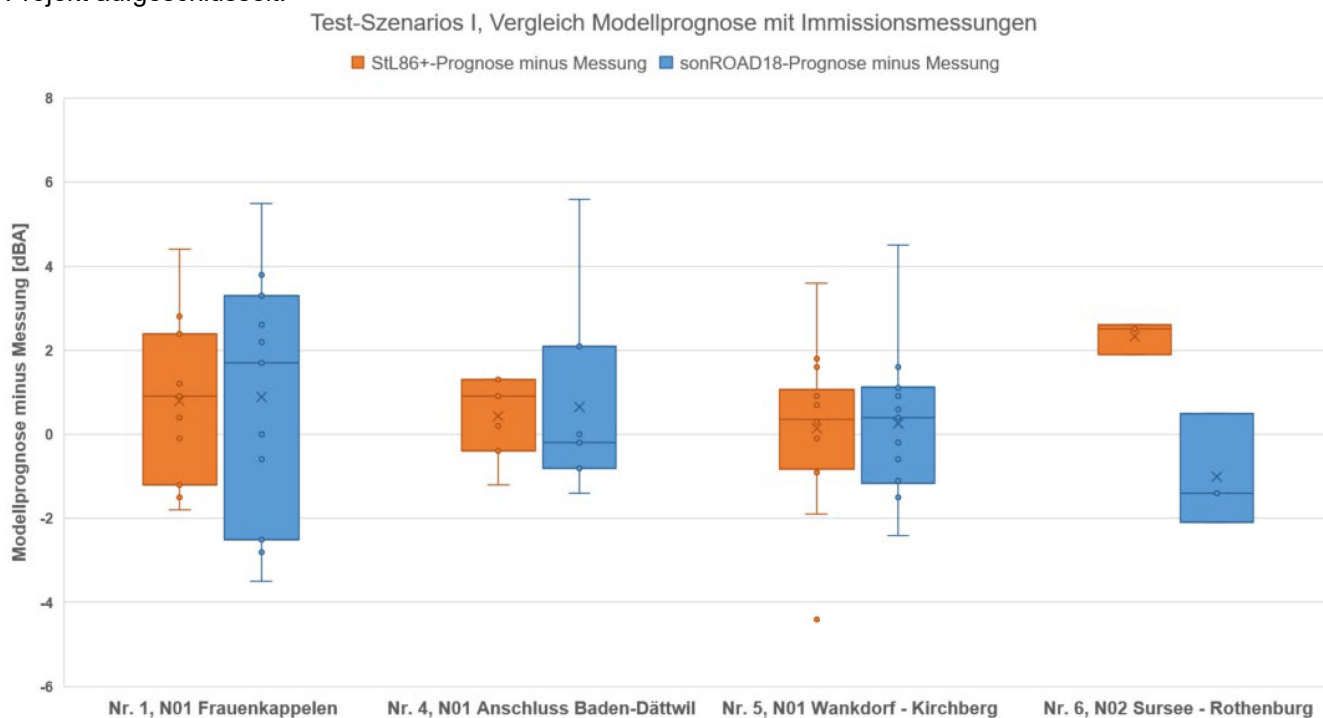
Es handelt sich meist um Kurzzeitmessungen während der Tagesphase. Bei einigen wenigen Messpunkten handelt es sich um Langzeitmessungen, welche auch die Nachtphasen enthalten.

Die beiden nachfolgenden Grafiken stellen für sämtliche Immissionspunkte aus den Test-Szenarien I die Modellprognosen (links StL86+; rechts sonROAD18) den Immissionsmessungen gegenüber (Tag und Nacht zusammengeführt):

<sup>4</sup> Ausnahmen bilden die Ein- und Ausfahrten, wo geringere Höchstgeschwindigkeiten gelten und teils Steigungen vorhanden sind.



Die untenstehende Grafik zeigt in Form von Box-Plots die Verteilung der Abweichungen zwischen der Modellprognose (StL86+ in orange; sonROAD18 in hellblau) und der Immissionsmessung; jeweils nach Projekt aufgeschlüsselt:



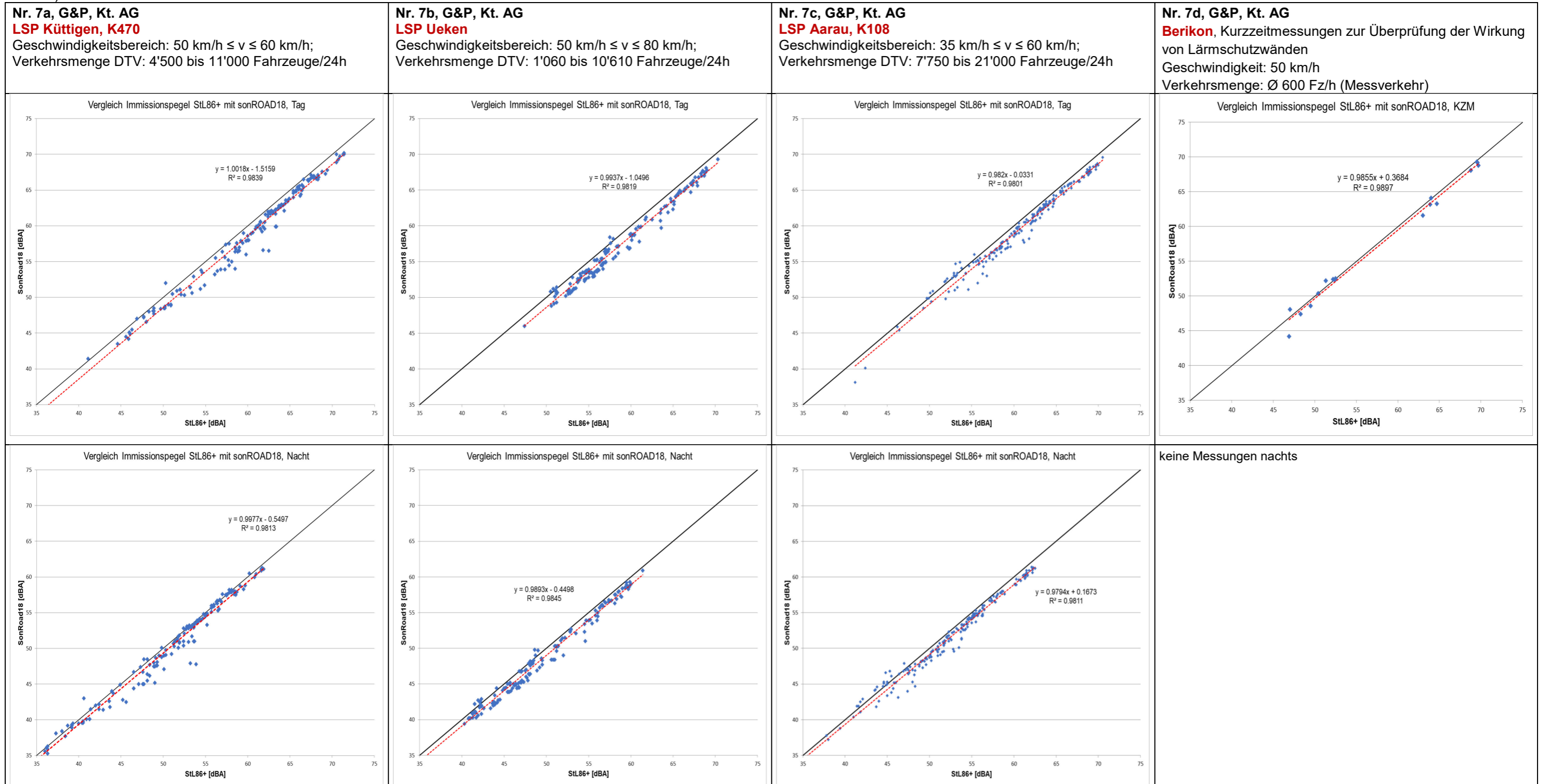
- Im Test-Szenario I ist bei den Vergleichen mit den Immissionsmessungen kein eindeutiges Muster erkennbar. Bei den Projekten Nr. 1 und Nr. 4 ist bei sonROAD18 die Streuung grösser, jedoch trifft es beim Projekt Nr. 4, N01 Anschluss Baden-Dättwil, im Mittel (bez. Median) die Immissionsmessungen besser.
- Beim Projekt Nr. 5, N01 Wankdorf - Kirchberg liegen beide Modelle im Mittel nahe bei den Immissionsmessungen (d.h. keine systematische Abweichung zw. Prognose und Messung)<sup>5</sup>.
- Beim Projekt Nr. 6 N02 Sursee - Rothenburg sind keine verlässlichen statistischen Aussagen möglich, da es sich lediglich um drei Messpunkte handelt.

<sup>5</sup> sowohl bezüglich Durchschnittswert als auch bezüglich Median

## 5 Test-Szenario II, ländlicher Kanton

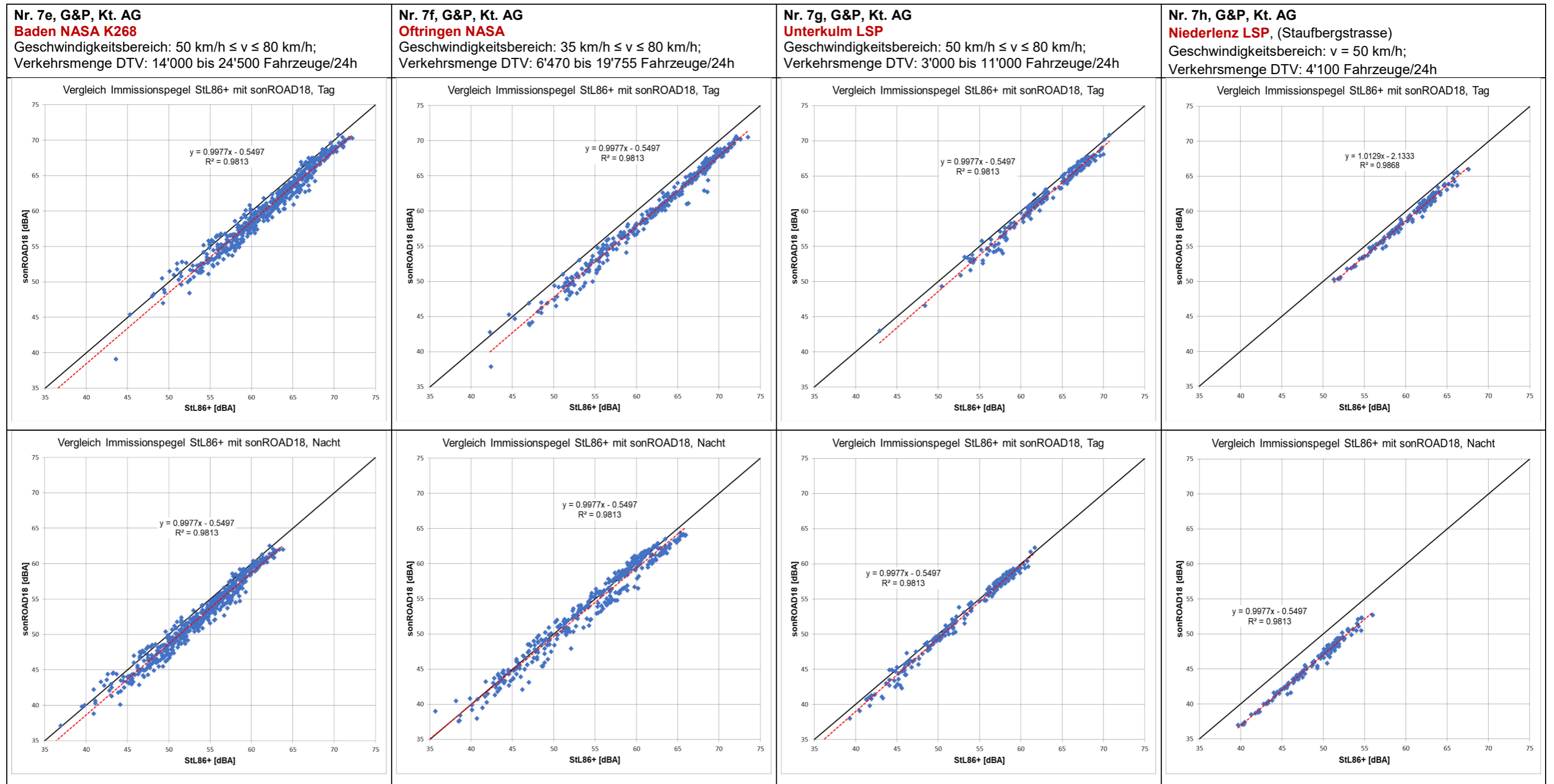
### 5.1 Test-Szenario II, Modellvergleich, Auftrag BAFU

Die untenstehenden Grafiken stellen sämtliche berechneten Immissionspegel für alle Projekte des Test-Szenarios II, Auftrag BAFU, jeweils als X-Y-Plot (sonROAD18-Prognose vs. StL86+-Prognose) für den Tag (obere Zeile) und die Nacht (untere Zeile) zusammen:



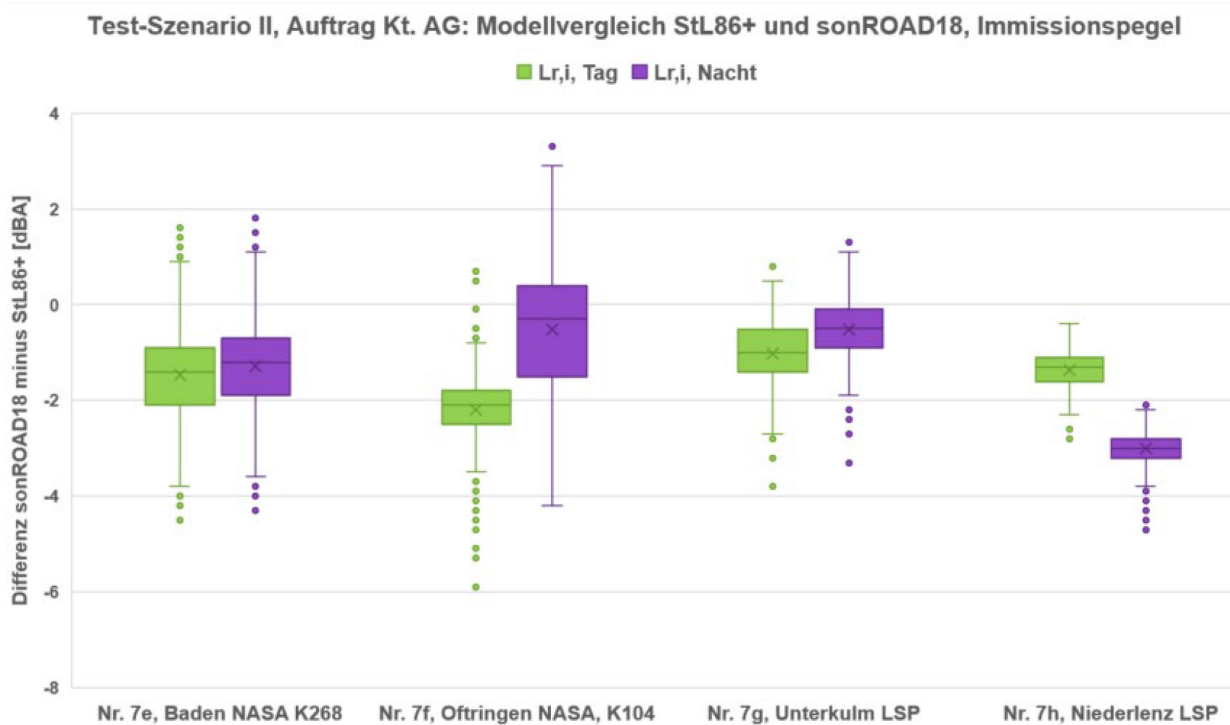
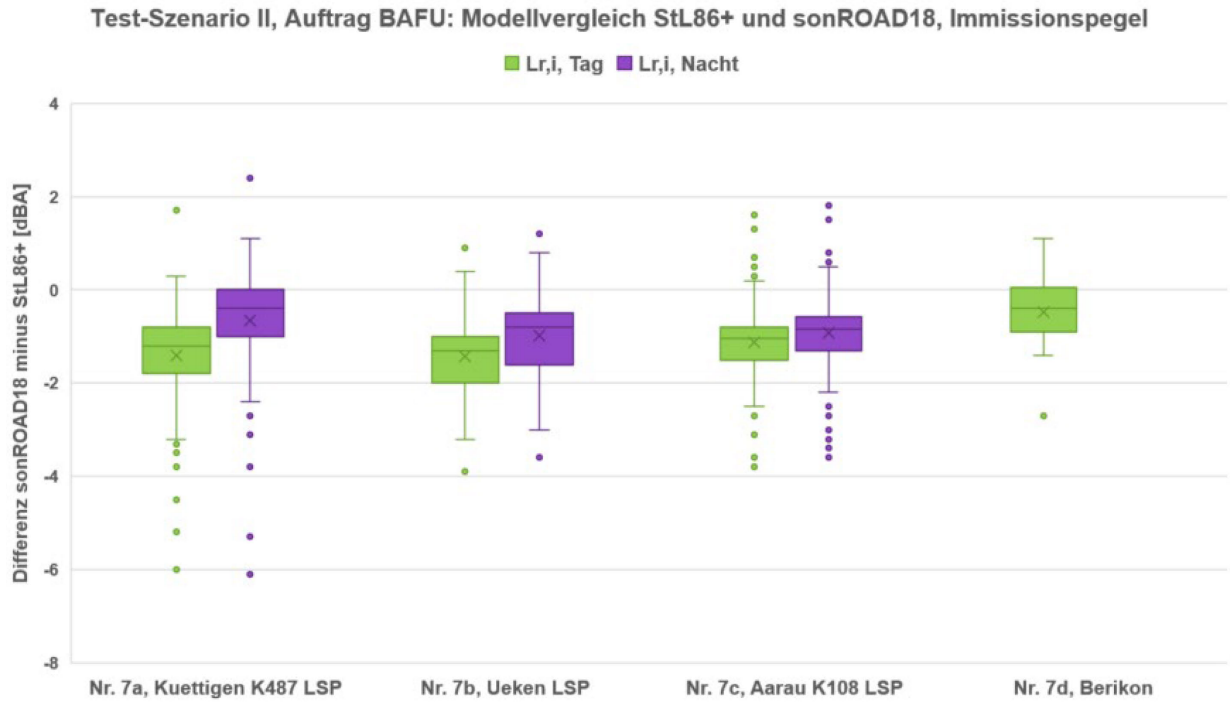
### 5.2 Test-Szenario II, Modellvergleich, Auftrag Kanton Aargau

Die untenstehenden Grafiken stellen sämtliche berechneten Immissionspegel für alle Projekte des Test-Szenarios II, Auftrag Kanton Aargau, jeweils als X-Y-Plot (sonROAD18-Prognose vs. StL86+-Prognose) für den Tag (obere Zeile) und die Nacht (untere Zeile) zusammen:





Die nachfolgenden zwei Grafiken (Auftrag BAFU und Auftrag Kt. AG) zeigen für alle Test-Szenarios II die Immissionspegeldifferenzen in Form von Box-Plots (sonROAD18-Prognose minus StL86+-Prognose) jeweils für den Tag (grün) und für die Nacht (violett):

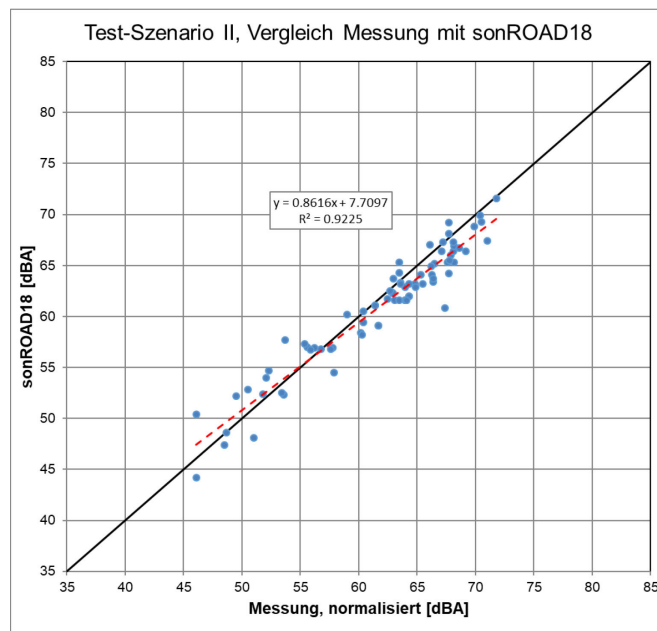
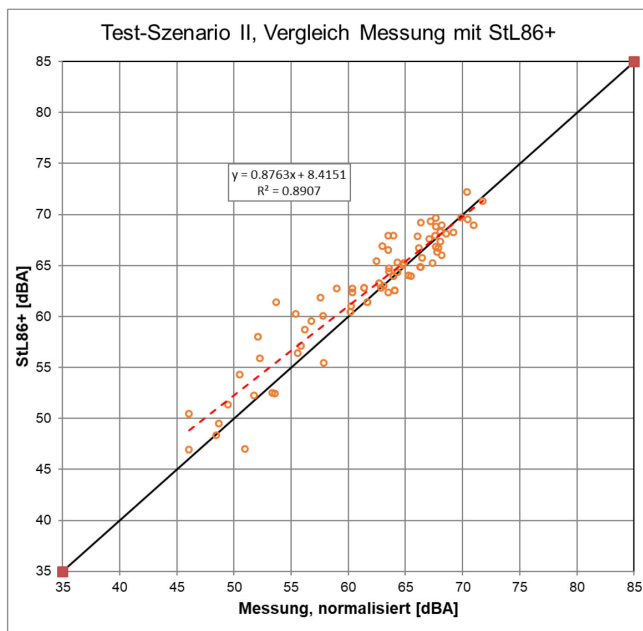


- Der Modellvergleich zeigt, dass sonROAD18 in der Tendenz - nahezu unabhängig vom Lärmintervall, d.h. sowohl bei leisen wie auch bei lauten Immissionspegeln - um rund 1.5 dBA leiser rechnet als das Modell StL86+.
- In der Nachtperiode liegen die beiden Modellprognosen in fast allen Projekten näher beieinander.
- In den Projekten Nr. 7a, Küttigen LSP, Nr. 7f, Oftringen NASA und Nr. 7g, Unterkulm LSP stimmen die beiden Modell in der Nachtperiode im Mittel aussergewöhnlich gut überein.
- Die Box-Plots zeigen die in den meisten Fällen relativ geringe Streuung der Modellabweichungen. Der Interquartilsbereich umfasst rund 1 dBA (mit Ausnahme Nr. 7f, Oftringen NASA, nachts).

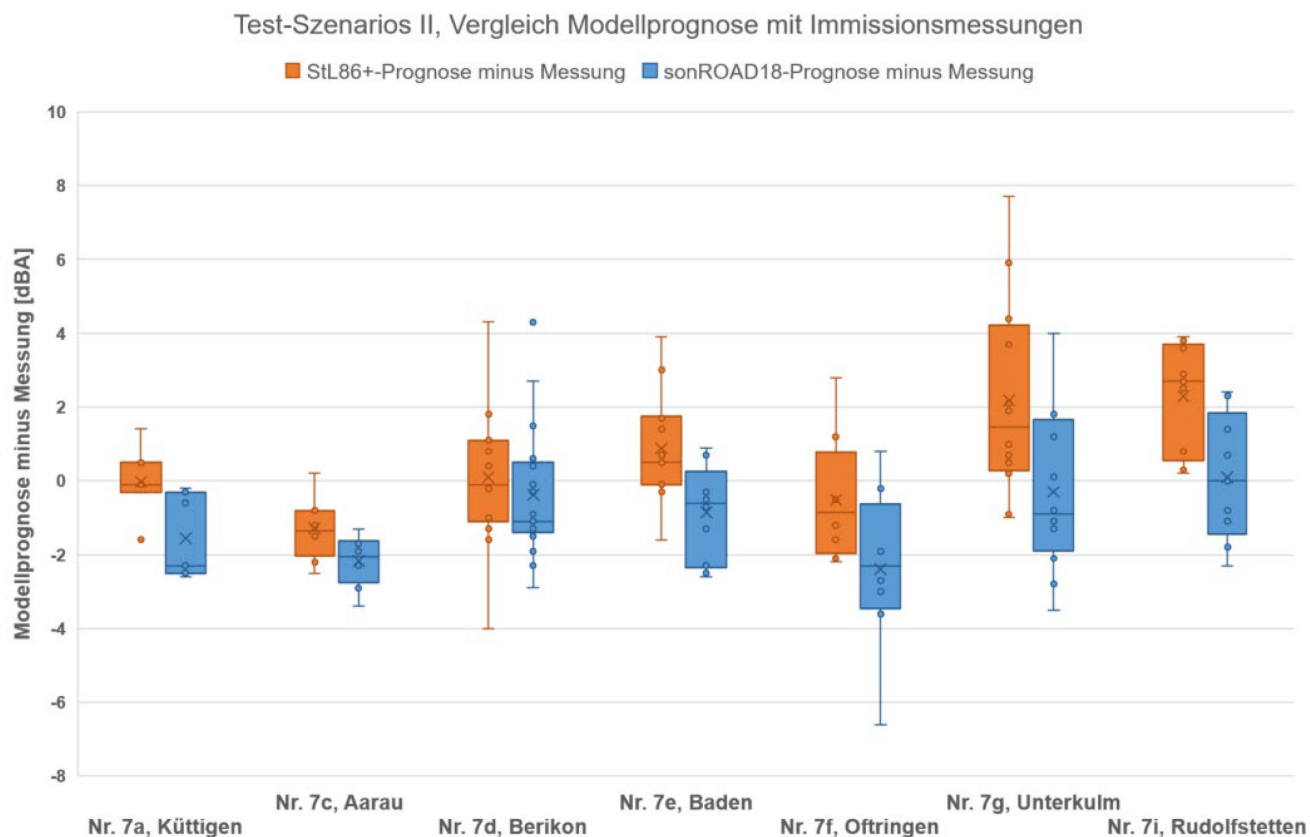
Auf der Emissionsseite berechnet sonROAD18 bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h leicht tiefere Emissionswerte als StL86+. Die Differenz beträgt je nach Verkehrszusammensetzung und je nach Projekt durchschnittlich -1 dBA tags und -0.5 dBA nachts. Mit signalisierter Geschwindigkeit 80 km/h (Hauptverbindungsstrasse, HVS) gibt der Emissionsansatz sonROAD18 höhere Emissionswerte als StL86+. Die Differenz beträgt durchschnittlich knapp +0.5 dBA tags und +1.0 dBA nachts. Die Streuung der Modelldifferenzen in einem Projekt lässt sich somit zumindest teilweise auf unterschiedliche Geschwindigkeitsregimes zurückführen.

### 5.3 Test-Szenario II, Vergleich mit Immissionsmessungen

In der untenstehenden Grafik sind sowohl die Immissionsmessungen, die zur Kalibrierung der Modelle durchgeführt wurden, dargestellt, als auch Messungen, welche die Firma G+P AG im Rahmen von Wirkungskontrollen von diversen neu erstellten Lärmschutzwänden in den Gemeinden Berikon und Rudolfstetten vornahm.



In der nachfolgenden Darstellung sind die Messungen - im Gegensatz zu den beiden obigen Grafiken - nach den Gemeinden aufgeschlüsselt (ohne Nr. 7b Ueken und ohne Nr. 7g Niederlenz, da weniger als 5 Messpunkte):



Aufgeschlüsselt nach Gemeinden ergibt sich kein einheitliches Bild:

- In der Gemeinde Küttigen (Nr. 7a) und in der Gemeinde Aarau (Nr. 7c) liegt das Modell StL86+ etwas näher bei den Immissionsmessungen als sonROAD18. Die Streuung (statistische Abweichungen) ist bei beiden Modellen sehr gering.
- In der Gemeinde Berikon (Nr. 7d) trifft das Modell StL86+ zwar im Mittel geringfügig besser die Messung, sonROAD18 weist aber eine knapp kleinere Streuung auf.
- In der Gemeinde Baden (Nr. 7e) und der Gemeinde Unterkulm (Nr. 7g) ist keines der beiden Modelle präziser. Wird der Mittelwert (nicht der Median) betrachtet, so schneidet sonROAD18 leicht besser ab. StL86+ überschätzt und sonROAD18 unterschätzt die gemessenen Werte.
- In der Gemeinde Oftringen (Nr. 7f) liegt das Modell StL86+ näher bei der Messung.
- In der Gemeinde Rudolfstetten (Nr. 7i) überschätzt StL86+ deutlich die gemessenen Immissionen. Beim Modell sonROAD18 hingegen liegen sowohl der Mittelwert als auch der Median bei 0 dBA, d.h. das Modell weist keine systematische Abweichung auf (keinen "Offset"). Die Streuung ist bei beiden Modellen in diesem Fall vergleichbar.

Die Aussagen werden durch die eher geringe Anzahl Messpunkte relativiert.

## 6 Test-Szenario III, städtischer Lärmkataster

### 6.1 Test-Szenario III, Modellvergleich

Auf der folgenden Seite werden sämtliche berechneten Immissionspegel des Test-Szenarios III, als "Spatial heat map" (sonROAD18-Prognose vs. StL86+-Prognose) für den Tag (linke Seite) und die Nacht (rechte Seite) dargestellt.

Bei einem herkömmlichen X-Y-Plot würden sich durch die enorm hohe Anzahl Datenpunkte im Test-Szenario III (über 3 Mio. Immissionspegel) viele Datenpunkte überlagern. Somit wäre nicht erkennbar, wo sich besonders viele Datenpunkte befinden. Ein Ausweg bietet die sogenannte Spatial heat map, welche die überlagerten Datenpunkte in Abhängigkeit ihrer Auftretenshäufigkeit farbkodiert.

**Definition "Spatial heat map":** Eine Heat map ist eine Datenvisualisierungstechnik, die das Ausmass eines Phänomens als Farbe in zwei Dimensionen darstellt. Die Farbvariation kann durch Farbton oder Intensität erfolgen, was dem Leser offensichtliche visuelle Hinweise darauf gibt, wo das Phänomen gehäuft auftritt oder im Raum variiert. Die Position einer Grösse wird in einer räumlichen Heat map durch die Lage der Grösse in diesem Raum erzwungen; es wird davon ausgegangen, dass das Phänomen kontinuierlich variiert. (Quelle: en.wikipedia.org, gekürzt)

Im hier benutzten "Hex-Bin-Plot" (einem Spezialfall einer Heat map) wird der X-Y-Raum in Hexagon-Flächen unterteilt und die Häufigkeit, mit der ein bestimmter Immissionspegel in dieser Hexagon-Fläche auftreten, farbkodiert.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> erstellt von M. Brink, A. Cattilaz, BAFU, und M. Habermacher, n-Sphere, mit der Software R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org))

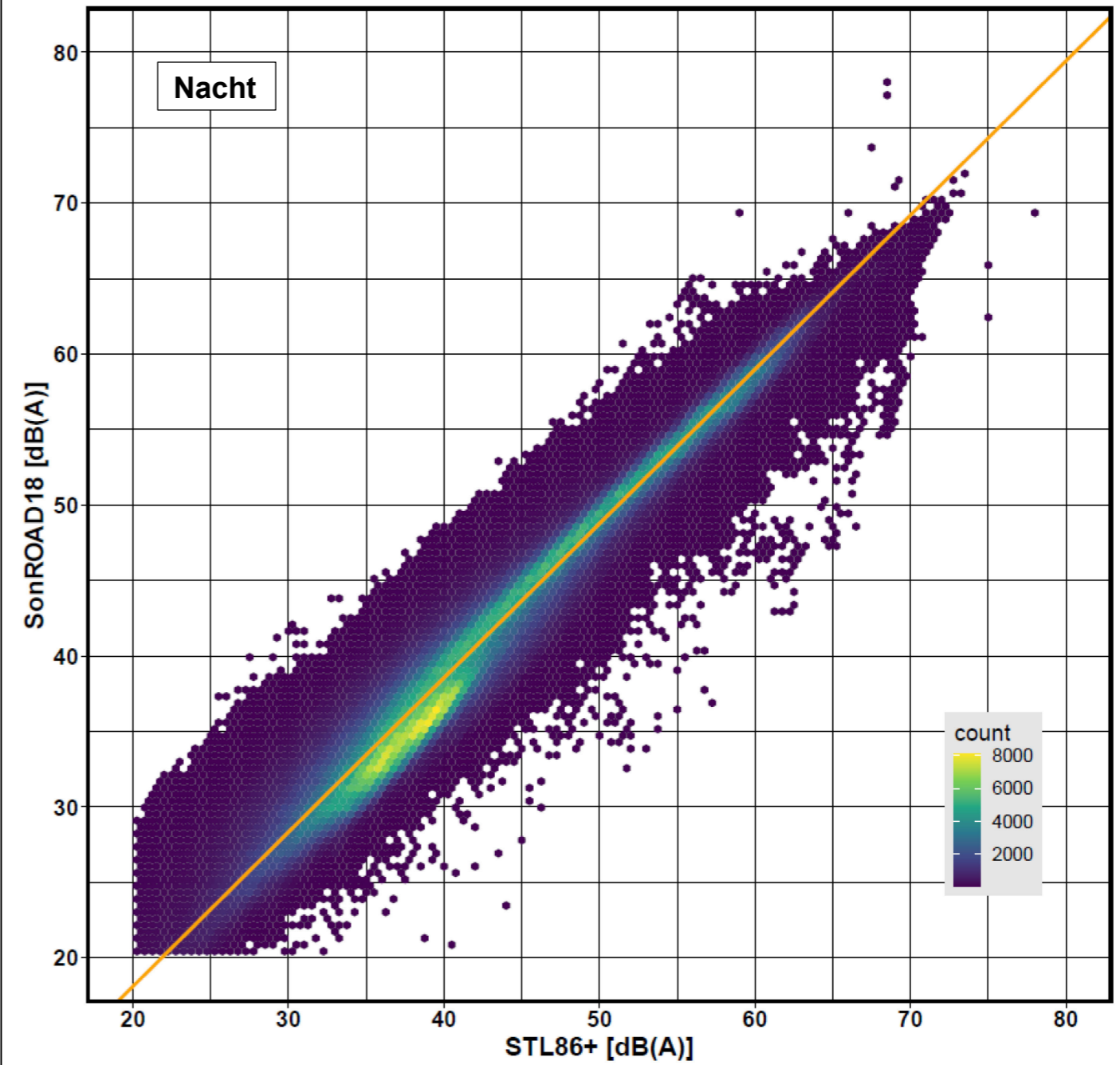
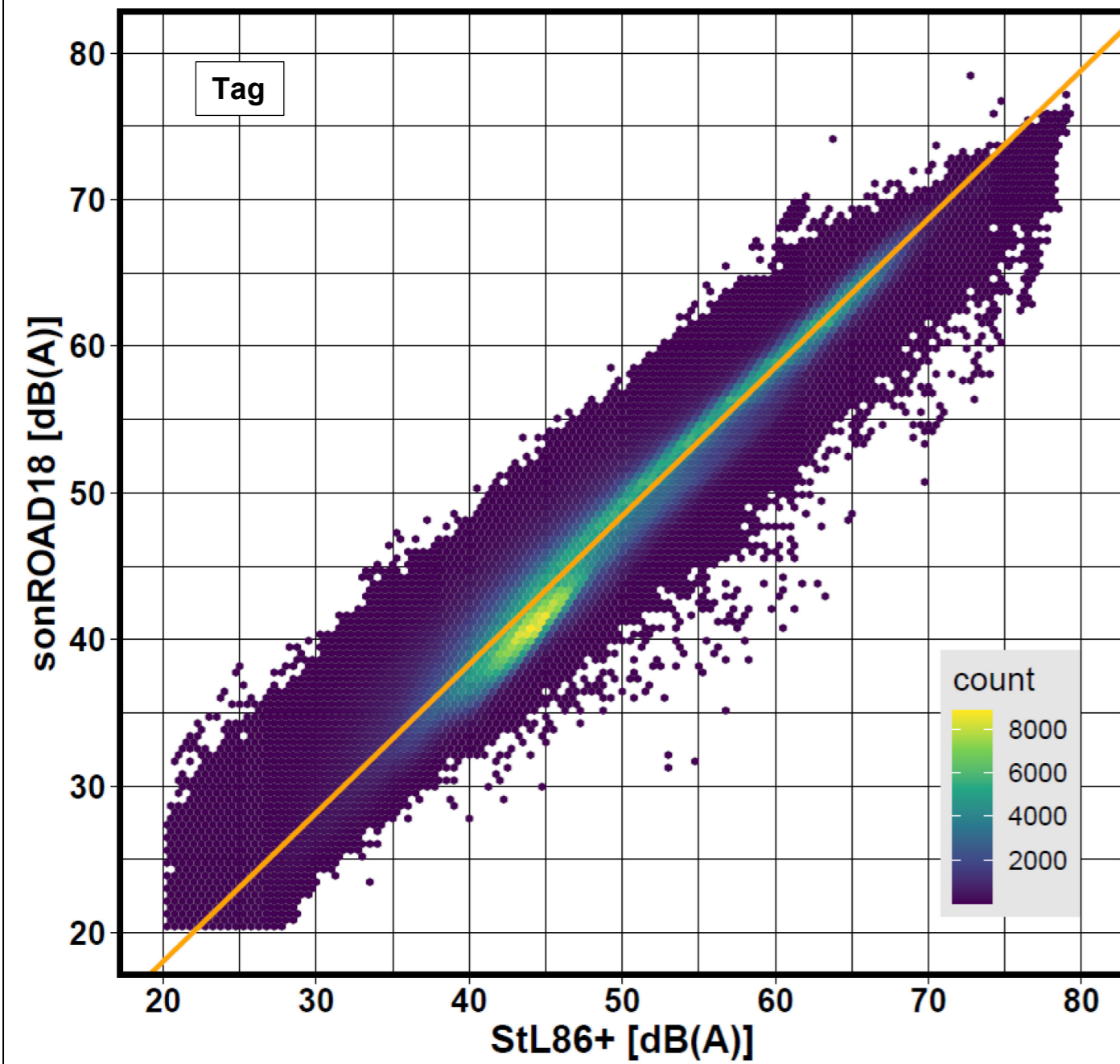


Nr. 8, n-Sphere AG

Lärmbelastungskataster LBK Stadt Zürich (ganzes Stadtgebiet)

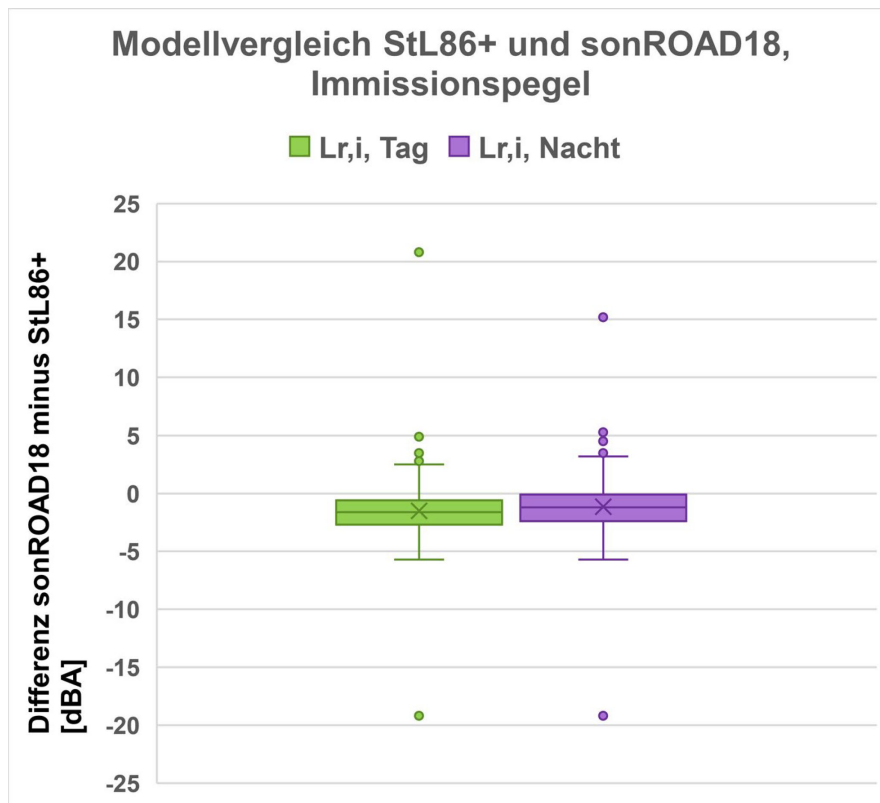
Geschwindigkeitsbereich: 20 km/h  $\leq v \leq$  60 km/h; Verkehrsmenge DTV: 5 bis 67'000 Fahrzeuge/24h

Totale Anzahl Immissionspunkte: 3'116'869; Darstellung als "Spatial heat map"; orange: Regressionsgrade; Farbkodierung: Auftretenshäufigkeit (counts)





Die nachfolgende Grafik zeigt für das Test-Szenario III die Immissionspegeldifferenzen in Form von Box-Plots (sonROAD18-Prognose minus StL86+-Prognose) jeweils für den Tag (grün) und für die Nacht (violett). Darin wurden nicht alle drei Millionen Immissionspunkte berücksichtigt, sondern jeder Datenpunkt, der in die Grafikauswertung einging, stellt ein halbes Perzentil dar (d.h. total 200 Datenpunkte):



→ Der Modellvergleich zeigt, dass sonROAD18 in der Tendenz - nahezu unabhängig vom Lärm-niveau, d.h. sowohl bei leisen wie auch bei lauten Immissionspegeln - um rund 1.5 dBA leiser rechnet als das Modell StL86+.

→ Die Standardabweichung ist verhältnismässig niedrig und beträgt 1.8 dBA

Gründe für die geringeren sonROAD18-Immissionspegel:

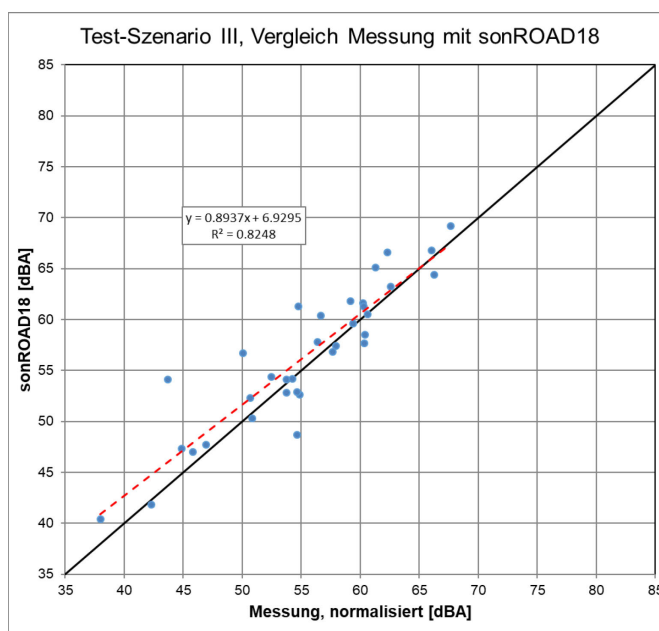
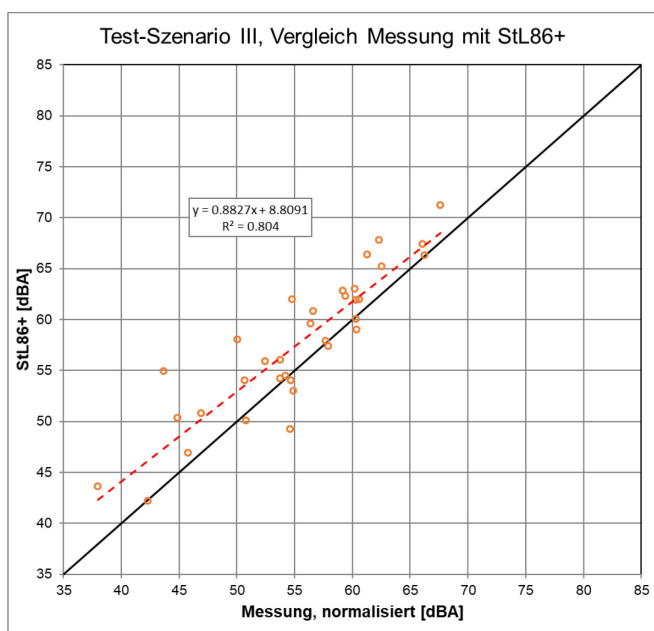
- Die sonROAD18-Emissionen im tiefen Geschwindigkeitsbereich (< 50 km/h) liegen um mehrere Dezibel tiefer als die StL86+-Emissionen (bei T30 bis zu 3.5 dBA; siehe Bericht Test-Szenario III, Abb. 3 und 4, ab S. 14).
- Bei Abschnitten mit Geschwindigkeiten von 50 km/h ist die durchschnittliche Emission mit sonROAD18 um 1 dB(A) tiefer als mit StL86+.
- Die Auswirkungen der vertikalen Abstrahlcharakteristik, welche nur im sonROAD18-Modell berücksichtigt wird, ist im Test-Szenario III durch die typischerweise geringen Abstände zwischen den Strassenachsen und den Immissionsorten sowie den hohen, mehrstöckigen Gebäuden gut sichtbar geworden (siehe Bericht Test-Szenario III, Abb. 13 bis 16, ab S. 25). → Die Lärmemissionen nehmen zu höheren Stockwerken ab.

Bei lediglich knapp 600 Immissionspunkten - von den total über 3 Mio. Immissionspunkten im Test-Szenario III - traten Modelldifferenzen von  $\pm 10$  dBA und mehr tagsüber auf. Bei nur 40 Immissionspunkten davon gibt es eine Differenz von mindestens  $\pm 20$  dBA tagsüber.

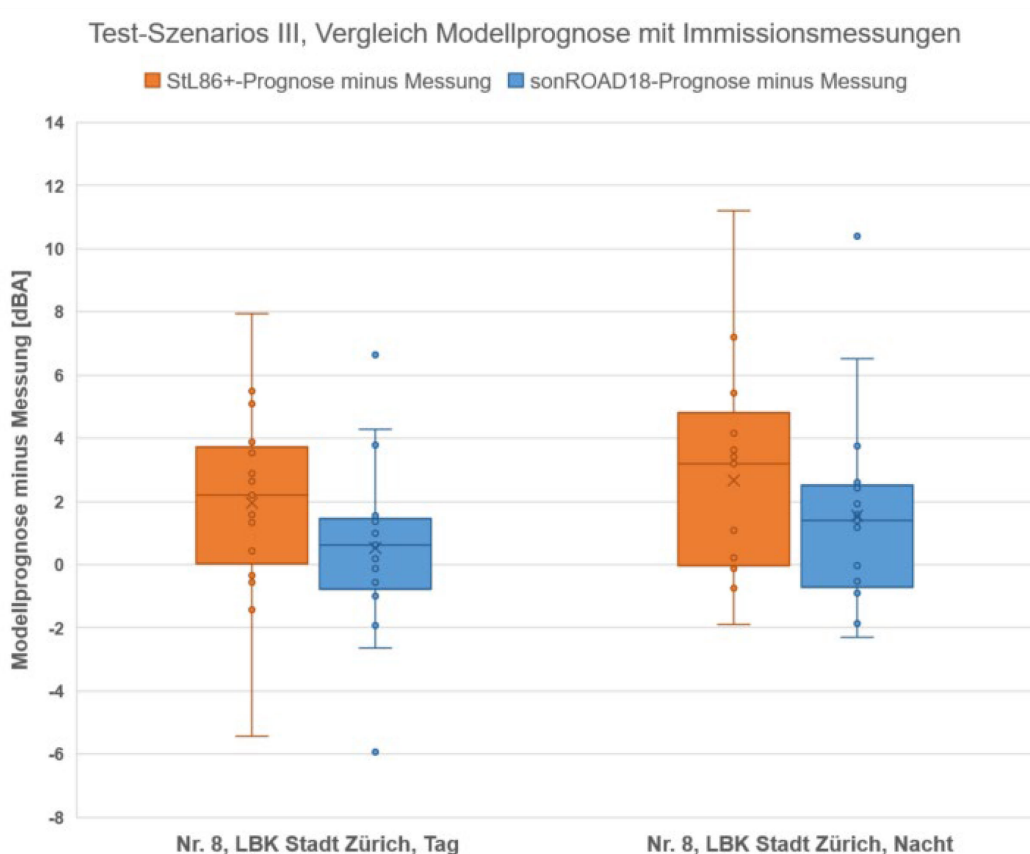
Diese als Ausreisser zu bezeichnenden Abweichungen können bei Immissionspunkten auftreten, die in Innenhöfen liegen oder in grosser Entfernung mit mehrfacher Abschirmung (beispielsweise durch mehrere Bautiefen). Dabei können sich mehrere Gründe für Modelldifferenzen (Emissionsdifferenzen u.a. bei Steigungen, vertikale Abstrahlcharakteristik, Bodeneffekt, unterschiedliche Abschirmwirkung, usw.) aufsummieren. Zudem wählen die Modell-Algorithmen zum Auffinden der akustisch relevanten Schallwege in komplexen Ausbreitungsverhältnissen unterschiedliche Schallwege aus, was unabhängig von den sonstigen Modelldifferenzen in seltenen Fällen zu grossen Abweichungen führen kann.

## 6.2 Test-Szenario III, Vergleich mit Immissionsmessungen

Beim Testscenario III, LBK Stadt Zürich, wurden ausschliesslich Langzeitmessungen über mindestens 24 h durchgeführt. Somit wurde für jeden Messpunkt ein Immissionspegel für die Tages- sowie die Nachtphase prognostiziert.



- Beide Modelle überschätzen in der Tendenz die tatsächlichen Immissionen leicht und liegen somit auf der sicheren Seite.
- Bei tieferen Immissionspegeln sind die Abweichungen der Modellprognosen zu den Immissionsmessungen bei beiden Modellen tendenziell grösser als bei den hohen, grenzwertrelevanten Pegeln.



- Die Box-Plots zeigen (deutlicher als die obigen XY-Plots), dass sonROAD18 im Mittel näher bei den Immissionsmessungen liegt als StL86+.
- Die Standardabweichungen sind bei beiden Modellen vergleichbar und liegen bei rund 3 dBA (vgl. Bericht, Kap. 5, S. 32, Tab. 12).

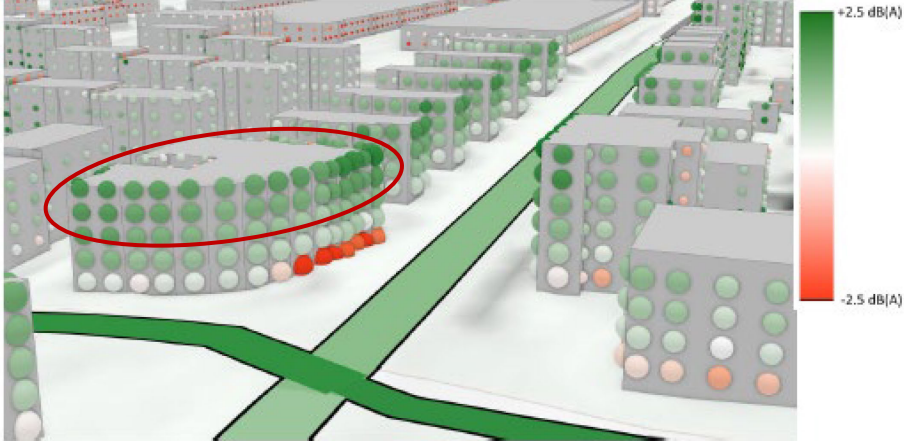
Diese Aussagen sind mit Vorsicht zu geniessen, da sie lediglich auf 17 Messorten basieren. Immerhin war aber das Test-Szenario III das Szenario mit der höchsten Anzahl Messpunkten.

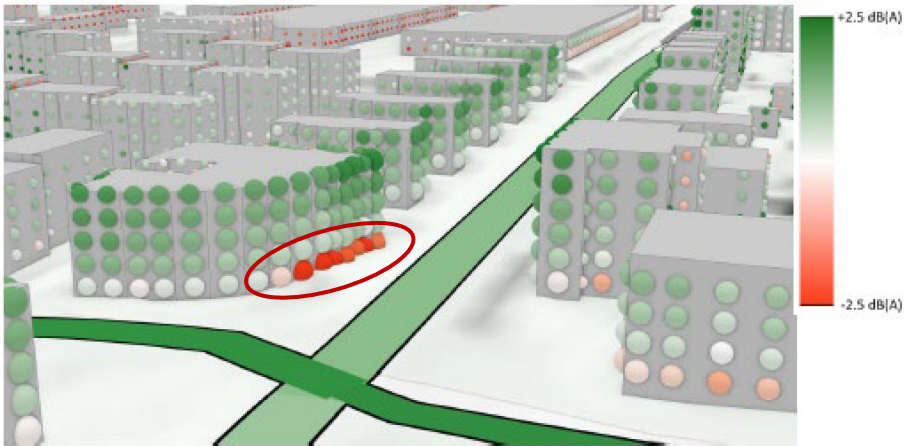
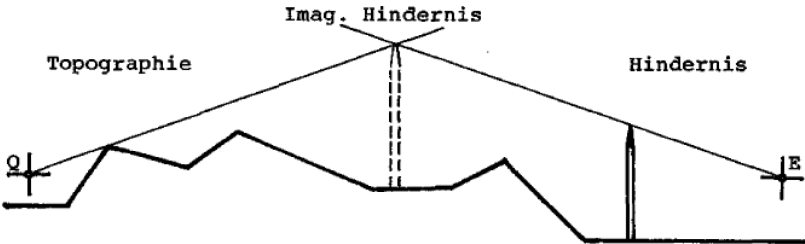
Durch die vertikale Richtcharakteristik in sonROAD18 werden die in höheren Stockwerken liegenden Immissionspunkte im Vergleich mit StL86+ leiser. Im Testszenario III - wie in allen anderen Testszenarios ebenfalls - wurde nur die erste Reflexionsordnung gerechnet. Somit werden bei den sonROAD18-Berechnungen wohl die in engen, eher geschlossenen, städtischen Bauverhältnissen ("Strassenschluchten") auftretenden Mehrfachreflexionen zu wenig berücksichtigt. Somit könnten in sonROAD18-Berechnungen in höheren Stockwerken die Immissionen eher unterschätzt werden. StL86+ rechnete zwar auch nur die erste Reflexion jedoch ohne die Abschwächung über die vertikale Richtcharakteristik. Daher könnte das Modell StL86+ im Vergleich zu einer Messung trotzdem näher bei der Realität liegen. Diese Hypothese konnte aber aufgrund der zu geringen Anzahl Messpunkte in hohen Stockwerken nicht verifiziert werden.



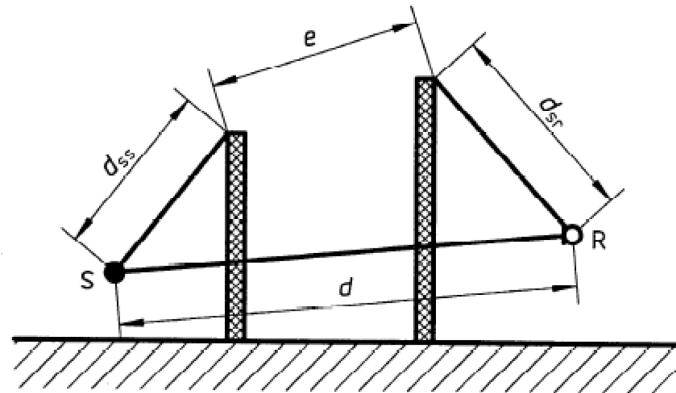
## 7 Ursachen für Modelldifferenzen

Die folgende Tabelle listet einige akustische Effekte auf, die je nach Art und Weise ihrer Modellierung in den Modellen in der gleichen Situation zu unterschiedlichen Resultaten führen können. Gewisse akustische Effekte können im Modell StL86+ gar nicht berücksichtigt werden.

Nr.	Akustischer Effekt	Auswirkung (im Vergleich zu StL86+)	Illustration	Plausibilität
1	<p><b>Vertikale Abstrahlcharakteristik</b></p> <p><b>Aufgetreten in Test-Szenario:</b></p> <p>TS III, Nr. 8, LBK Stadt Zürich</p>	<p>soROAD18 in höheren Stockwerken und kurzer Distanz zur Strasse leiser</p>	 <p>Bildlegende: Emissions- und Immissionsdifferenzen LrTag bei der Kreuzung Albi- sstrasse / Paradiesstrasse. Rot = sonROAD18 ist lauter. Grün = StL86+ ist lauter. Quelle: Test-Szenario III, Nr. 8, LBK Stadt Zürich, n-Sphere</p>	<p>→ akustisch korrekt</p>

<p>2</p>	<p><b>Bodeneffekt bei niedrigen Immissionspunkten</b></p> <p><b>Aufgetreten in Test-Szenario:</b></p> <p>TS III, Nr. 8, LBK Stadt Zürich TS II?</p>		 <p>Bildlegende: Emissions- und Immissionsdifferenzen LrTag bei der Kreuzung Albi-sstrasse / Paradiesstrasse. Rot = sonROAD18 ist lauter. Grün = StL86+ ist lauter. Quelle: Test-Szenario III, Nr. 8, LBK Stadt Zürich, n-Sphere</p>	<p>→ akustisch korrekt</p>
	<p><b>Abschirmungswirkung / Beugung bei Mehrfachhindernissen</b></p> <p><b>Aufgetreten in Test-Szenario:</b></p> <p>TS I, Nr. 4, Anschluss Baden-Dättwil, weitere TS I?</p>		<p><b>Mehrfachhindernisse mit StL86+:</b></p>  <p>Bildlegende: Abb. 4: Hinderniswirkung bei mehreren Hindernissen Quelle: Computermodell zur Berechnung von Strassenlärm, Teil 1, Bedienungsanleitung zum Computerprogramm StL-86, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 60, Bundesamt für Umweltschutz, 1987</p>	

**Zweifachhindernisse mit ISO 9613-2:**

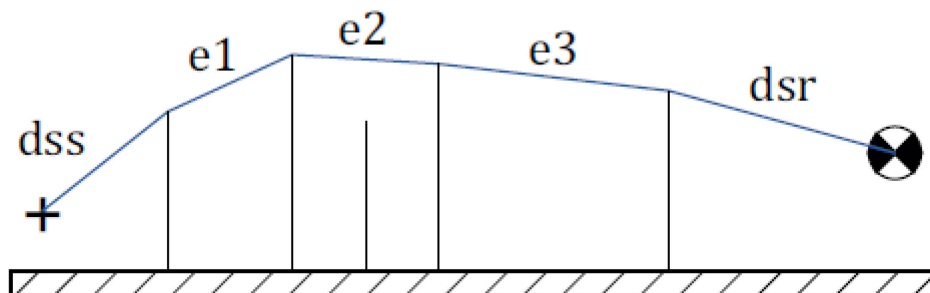


Bildlegende: *Figure 7 - Geometrical quantities for determining the pathlength difference for double diffraction.*

Quelle: International Standard ISO 9613-2, Acoustics - Attenuation of sound during propagation outdoors - Part 2: General method of calculation, 15.12.1996

"The barrier attenuation for more than two barriers may also be calculated approximately using equation (14), by choosing the two most effective barriers, neglecting the effects of the others."

**Mehrfachhindernisse gemäss ISO/TR 17534-3:**



→ akustisch korrekt, führt zu genauerer Abschirmwirkung und reduziert Sensitivität gegenüber niedrigen quellen- resp. empfangernahen Hindernissen  
(z. Bps. niedrige Stützmauer vor Lärmschutzwand)

			<p><i>keine Bildlegende</i>          Quelle: Technical Report ISO/TR 17534-3, Acoustics — Software for the calculation of sound outdoors — Part 3: Recommendations for quality assured implementation of ISO 9613-2 in software according to ISO 17534-1, 15.01.2015 (First edition), Abs. 5.2 <i>Screening</i></p> <p>→ "Rubberband"-Methode</p>	
	<p><b>Quellenhöhe</b></p> <p><b>Aufgetreten in Test-Szenario:</b></p> <p>TS II, einzelne Immissionspunkte</p>	<p>gering, (ausser bei schleifende Abschirmung falls in einem Modell abgeschirmt und im anderen Modell nicht)</p>	<p>Die beiden Modelle verwenden unterschiedliche Quellhöhen: StL86+: 0.8 m, sonROAD18: 0.05 m. Im Modell StL86+ wird die Abschirmwirkung überschätzt. Durch die (heutzutage) zu hohe Quellhöhe in StL86+ wird dieser Effekt leicht kompensiert. Im ISO9613-2-Ausbreitungsmodell wird die Abschirmwirkung nach unserem Kenntnisstand in der Regel weder über- noch unterschätzt (bei schleifender Abschirmung bestehen noch Fragezeichen). Werden die beiden Modelle miteinander verglichen (StL86+ und sonROAD18/ISO9613-2) so treten in vergleichbaren, abgeschirmten Situationen immissionsseitig nur geringe Differenzen auf.</p>	<p>→ <b>akustisch korrekt</b></p>





## 8 Fazit/Schlussfolgerungen

Aus den Resultaten der Test-Szenarien lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- **Die Emissionsresultate sind nachvollziehbar/plausibel**  
→ Es besteht somit keine Notwendigkeit, das Emissionsmodell sonROAD18 anzupassen
- Beim **Modellvergleich StL86+ mit sonROAD18** ist zwischen den verschiedenen Test-Szenarien zu differenzieren:
  - **Test-Szenario I:** Die emissionsseitige Modelldifferenz beträgt maximal 1 dBA in allen Projekten des Test-Szenarios I. Immissionsseitig ist sonROAD18 tendenziell leiser gegenüber StL86+ bei hohen Immissionspegeln und tendenziell lauter bei niedrigen Immissionspegeln.
  - **Test-Szenario II:** Der Modellvergleich zeigt, dass sonROAD18 in der Tendenz - nahezu unabhängig vom Lärmniveau, d.h. sowohl bei leisen wie auch bei lauten Immissionspegeln - um rund 1.5 dBA leiser rechnet als das Modell StL86+. In fast allen Projekten weichen die beiden Modelle in der Nachtphase weniger voneinander ab als in der Tagesphase.
  - **Test-Szenario III:** Die sonROAD18-Emissionen liegen bei T30 bis zu 3.5 dBA tiefer und bei T50 durchschnittlich 1 dBA tiefer als beim StL86+ Modell. Auch hier rechnet sonROAD18 immissionsseitig in der Tendenz - nahezu unabhängig vom Lärmniveau - um rund 1.5 dBA leiser als das Modell StL86+.  
→ **Die Modellabweichungen sind erklärbar** (siehe oben jeweils Abs. *Interpretationen* sowie Kap. 7)
- **Der Vergleich mit den Immissionsmessungen zeigt, dass das Modell StL86+ und das Modell sonROAD18 in Kombination mit einer Ausbreitungsrechnung nach ISO 9613-2 in den meisten Fällen ähnlich gut mit den Messungen übereinstimmen (bei ähnlicher Streuung).** Beim Test-Szenario II (Nr. 7i, Kt. AG, Rudolfstetten) und beim Test-Szenario III ist die sonROAD18/ISO9613-2 Prognose präziser als die Prognose mit StL86+ (bez. Median). Lediglich beim Test-Szenario Nr.1 Frauenkappelen und Nr. 7d, Kt. AG, Berikon schneidet sonROAD18/schlechter ab (bez. Median).  
→ Die Kombination sonROAD18/ISO9613-2 weist keine systematische Abweichung auf  
→ Die Kombination sonROAD18/ISO9613-2 ist im Vergleich zum Modell StL86+ nicht in allen Fällen präziser → **Folglich sind weiterhin Kalibrationsmessungen zu empfehlen.**
- Die Ausbreitungsrechnung mit ISO 9613-2 weist mehr vom Anwender wählbare Berechnungsparameter auf als das Modell StL86+ und reagiert relativ sensitiv auf diese Berechnungseinstellungen.  
→ In der Anwendungshilfe werden Vorgaben für Berechnungseinstellungen aufgelistet und die Berücksichtigung der Empfehlungen aus dem Technical report ISO/TR 17534-3 gefordert.  
→ CadnaA kann seit der Version 2020 länderspezifische Vorgaben für Berechnungsmodelle kontrollieren → Für die Schweiz eine entsprechende Vorgabe in CadnaA integrieren.

BAFU, Abt. Lärm und NIS, GEM, fertiggestellt im Mai 2020