Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Immissionen in der Innerschweiz

Bevölkerungsexposition und Kartografie

Genossenschaft Meteotest
Fabrikstrasse 14
3012 Bern, Schweiz
+ 41 31 307 26 26
+ 41 31 307 26 10
office@meteotest.ch
www.meteotest.ch

Impressum

Auftraggeber	Amt für Umweltschutz des Kantons Zug
Kontaktperson	Peter Stofer
Adresse	Abteilung Luft Aabachstrasse 5 6300 Zug
Datum	22.12.2017
Aktuelle Version	Schlussbericht
Ältere Versionen	19.09.2017 Entwurf Schlussbericht
Projektnummer	17_045
Datei	no2_pm10_auswertungen_zudk.docx
Erstellt durch	Thomas Künzle
Kontrolliert durch	23.11.2017 | Simon Albrecht-Widler
Genehmigt durch	27.11.2017 | René Cattin
Gewährleistung	Meteotest gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsbearbeitung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

Inhalt

1 Ausgangslage **7**
2 Datengrundlagen **8**
3 Auftrag **9**
4 Bevölkerungsexposition **10**
5 Karten **22**
A Anhang **42**
A.1 Modellkarten BAFU 42
A.2 Unterschiede zwischen den Modellen ZUDK und BAFU (Karten Jahreswerte) 45
A.3 Sensitivitätsberechnung zu Einwohnerdaten 51

Tabellen

Tabelle 1: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m^3 von NO_2 und PM10 in der Zentralschweiz. 18
Tabelle 2: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m^3 von NO_2 und PM10 im Kanton Luzern. 18
Tabelle 3: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m^3 von NO_2 und PM10 im Kanton Nidwalden. 19
Tabelle 4: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m^3 von NO_2 und PM10 im Kanton Obwalden. 19
Tabelle 5: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m^3 von NO_2 und PM10 im Kanton Schwyz. 20
Tabelle 6: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m^3 von NO_2 und PM10 im Kanton Uri. 20
Tabelle 7: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m^3 von NO_2 und PM10 im Kanton Zug. 21
Tabelle 8: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m^3 von NO_2 und PM10 in der Gemeinde Luzern. 21
Tabelle 9: Vergleich **ZUDK-Modellwerte** mit Messwerten (Jahre 2013–2016; oben PM10, unten NO_2). 50
Tabelle 10: Vergleich **BAFU-Modellwerte** mit Messwerten (Jahre 2013–2016; oben PM10, unten NO_2). 50
Tabelle 11: Anzahl Hektaren mit 3 Einwohnern pro Kanton, Differenz Einwohner sowie prozentualer Unterschied der bevölkerungsgewichteten Mittelwerte von NO_2 und PM10 in der Zentralschweiz. 51

Abbildungen

Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten NO_2-Mittelwerte sowie Vergleich mit der Entwicklung gemäss BAFU-Modellen B und C. 12
Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten PM10-Mittelwerte sowie Vergleich mit der Entwicklung gemäss BAFU-Modellen B und C. 12
Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten NO_2-Mittelwerte sowie Vergleich mit der zeitlichen Entwicklung der NO_2-Messwerte. 13
Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten PM10-Mittelwerte sowie Vergleich mit der zeitlichen Entwicklung der PM10-Messwerte. 13
Abbildung 5: Kumulierte Häufigkeit der Bevölkerungsexposition von NO_2 in der Zentralschweiz. 14
Abbildung 6: Kumulierte Häufigkeit der Bevölkerungsexposition von NO_2 für Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz. 14
Abbildung 7: Kumulierte Häufigkeit der Bevölkerungsexposition von PM10 in der Zentralschweiz. 15
Abbildung 8: Kumulierte Häufigkeit der Bevölkerungsexposition von PM10 für Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz. 15
Abbildung 9: Bevölkerungsexposition von NO_2 in der Zentralschweiz im Jahr 2016. 16
Abbildung 10: Bevölkerungsexposition von NO_2 für Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz im Jahr 2016. 16
Abbildung 11: Bevölkerungsexposition von PM10 in der Zentralschweiz im Jahr 2016. 17
Abbildung 12: Bevölkerungsexposition von PM10 für Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz im Jahr 2016. 17
Abbildung 13: Karte der NO_2-Immissionen 2013 (Zentralschweiz). 23
Abbildung 14: Karte der NO_2-Immissionen 2014 (Zentralschweiz). 23
Abbildung 15: Karte der NO_2-Immissionen 2015 (Zentralschweiz). 24
Abbildung 16: Karte der NO_2-Immissionen 2016 (Zentralschweiz). 24
Abbildung 17: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Zentralschweiz). 25
Abbildung 18: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Luzern). 26
Abbildung 19: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Nidwalden). 26
Abbildung 20: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Obwalden). 27
Abbildung 21: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Schwyz). 27
Abbildung 22: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Uri). 28
Abbildung 23: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Zug). 28

Abbildung 24: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Gemeinde Luzern). 29
Abbildung 25: Karte der PM10-Immissionen 2013 (Zentralschweiz). 30
Abbildung 26: Karte der PM10-Immissionen 2014 (Zentralschweiz). 30
Abbildung 27: Karte der PM10-Immissionen 2015 (Zentralschweiz). 31
Abbildung 28: Karte der PM10-Immissionen 2016 (Zentralschweiz). 31
Abbildung 29: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Zentralschweiz). 32
Abbildung 30: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Luzern). 33
Abbildung 31: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Nidwalden). ...33
Abbildung 32: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Obwalden). ...34
Abbildung 33: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Schwyz). 34
Abbildung 34: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Uri). 35
Abbildung 35: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Zug). 35
Abbildung 36: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Gemeinde Luzern). ...36
Abbildung 37: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Zentralschweiz, nur Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare gemäss Volkszählung 2016). 37
Abbildung 38: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Luzern, nur Flächen mit mehr als 25 Einw. pro ha gemäss Volkszählung 2016). 38
Abbildung 39: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Nidwalden, nur Flächen mit mehr als 25 Einw. pro ha gemäss Volkszählung 2016). 38
Abbildung 40: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Obwalden, nur Flächen mit mehr als 25 Einw. pro ha gemäss Volkszählung 2016). 39
Abbildung 41: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Schwyz, nur Flächen mit mehr als 25 Einw. pro ha gemäss Volkszählung 2016). 39
Abbildung 42: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Uri, nur Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro ha gemäss Volkszählung 2016). .40
Abbildung 43: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Zug, nur Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro ha gemäss Volkszählung 2016). .40
Abbildung 44: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Gemeinde Luzern, nur Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare gemäss Volkszählung 2016). 41
Abbildung 45: Karte der NO_2-Immissionen 2010 gemäss Datengrundlagen B. ..43
Abbildung 46: Karte der NO_2-Immissionen 2010 gemäss Datengrundlagen C. ..43
Abbildung 47: Karte der PM10-Immissionen 2010 gemäss Datengrundlagen B. 44
Abbildung 48: Karte der PM10-Immissionen 2010 gemäss Datengrundlagen C. 44
Abbildung 49: NO_2-Immissionen 2013–2016 (BAFU Karten Jahreswerte). 46
Abbildung 50: PM10-Immissionen 2013–2016 (BAFU Karten Jahreswerte). 46
Abbildung 51: Differenzen der NO_2-Immissionen 13–16 (ZUDK minus BAFU). .47

Abbildung 52: Differenzen der PM10-Immissionen 13–16 (ZUDK minus BAFU). 47
Abbildung 53: Vergleich **ZUDK-Modellwerte** mit Messwerten (Jahre 2013–2016; oben PM10, unten NO_2). 48
Abbildung 54: Vergleich **BAFU-Modellwerte** mit Messwerten (Jahre 2013–2016; oben PM10, unten NO_2). 49

1 Ausgangslage

Meteotest hat 2013 im Auftrag der Zentralschweizer Umweltdirektionen (ZUDK) resp. Urs Zihlmann (von der Dienststelle Umwelt und Energie Luzern) Auswertungen zu Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Immissionen in der Innerschweiz realisiert[1]. Peter Stofer (vom Amt für Umweltschutz des Kantons Zug) hat Meteotest beauftragt, Aktualisierungen für die Jahre 2013–2016 zu realisieren.

Es gab folgende Änderungen gegenüber der letzten Auswertung im Jahr 2013:

- Die PM10- und NO_2-Karten der Beurteilungsjahre wurden neu vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt und basieren nicht mehr auf der PolluMap-Modellierung.
- Die Stadt Luzern beteiligte sich auch an der Untersuchung (Jahresmittelkarten für ihr Gebiet sowie Auswertungen zur Bevölkerungsexposition).

Die Veränderung gegenüber der letzten Erhebungsperiode musste ausgewiesen werden.

[1] Meteotest, 2013: Stickstoffdioxid- und Feinstaub-Immissionen in der Innerschweiz. Kartografie und Bevölkerungsexposition. Im Auftrag der ZUDK.

2 Datengrundlagen

Der Auftraggeber hat folgende Daten zur Verfügung gestellt:

A. Daten der Jahresmittelwerte von NO_2- und PM10-Modelldaten für die Jahre 2013, 2014, 2015 und 2016 im Gebiet der ZUDK[2] (Modell ZUDK).

Vom BAFU standen folgende Daten zur Verfügung:

B. Karten der Jahresmittelwerte für die Jahre 2010, 2013, 2014, 2015 und 2016 für das Gebiet der Schweiz [3] (Modell BAFU Karten Jahreswerte).

C. Modellresultate für das Jahr 2010 gemäss BAFU-Berichten[4] (Modell BAFU PolluMap).

Vom BFS standen die Daten der Volkszählung zur Verfügung[5].

---

[2] http://www.inluft.ch/luftqualitaet [11.09.17]
Modellbeschreibung unter https://home.zhaw.ch/~lore/OLK/ [11.09.17]

[3] https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--historische-daten/karten-jahreswerte.html [11.09.17]

[4] Im Projekt 2013 wurden NO_2- und PM10-Karten aus BAFU-Projekten aus dem Jahr 2010 verwendet.
BAFU, 2011: NO_2 ambient concentrations in Switzerland. UW-1123-E
https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/publikationen/no2-ambient-concentrations-in-switzerland.html [11.09.2017]
BAFU, 2013: PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland. UW-1304-D
https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/publications-studies/publications/pm10-and-pm2-5-ambient-concentrations-in-switzerland.html [11.09.17]

[5] https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/dienstleistungen/geostat/geodaten-bundesstatistik/gebaeude-wohnungen-haushalte-personen/ergebnisse-volkszaehlung-ab-2010.html [11.09.17]
Die minimale Anzahl pro Hektare beträgt 3 Einwohner, daher weicht die Summe der Einwohner pro Kanton ab von den offiziellen Angaben.

3 Auftrag

Da neue Kartengrundlagen zur Verfügung standen und ein Vergleich mit den früheren Resultaten vorgesehen war, drängte sich die Verwendung und Analyse verschiedener Datengrundlagen (Kartenversionen und Jahre) auf.

- Die Bevölkerungsexposition (Tabelle 1 im Bericht 2013, Fussnote 1) des Jahres 2010 mit den Grundlagen gemäss C (Modell BAFU PolluMap; siehe oben) wurde den Auswertungen der BAFU-Karten 2010 gemäss B (Modell BAFU Karten Jahreswerte; siehe oben) gegenübergestellt. Dies ergab einen Anhaltspunkt, wie stark die ursprüngliche Modellkarte mit der Version der an die Jahresmittelwerte angepassten Version abweicht.

- Mit den Belastungskarten A (Modell ZUDK) und B (Modell BAFU Karten Jahreswerte) wurden für die vier Jahre 2013–2016 die Bevölkerungsexpositionen bestimmt.

- Berechnung der Bevölkerungsexposition von NO_2 und PM10 für das Gebiet der Zentralschweiz, der 6 Kantone und der Stadt Luzern für alle Jahre.

- Berechnung der Bevölkerungsexposition von NO_2 und PM10 für das Gebiet mit grösser 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz sowie den 6 Kantonen und der Stadt Luzern für alle Jahre.

- Die Exposition der Bevölkerung aller Jahre 2013 bis 2016 wird grafisch und tabellarisch aufbereitet.

- Karten der NO_2- und PM10-Immissionen (Ausschnitt Zentralschweiz, 6 Kantone) in den Jahren 2013–2016 sowie für den Mittelwert der Jahre 2013–2016.

- Karten der NO_2- und PM10-Immissionen pro Kanton und die Stadt Luzern (Massstab jeweils auf Kantonsgrösse resp. Stadt Luzern angepasst) im Mittel der Jahre 2013–2016.

- Karte der NO_2-Immissionen (Ausschnitt Zentralschweiz, 6 Kantone und die Stadt Luzern nur Gebiet mit grösser 25 Einwohner pro Hektare) im Jahr 2016.

Es wurden die gleichen Farblegenden wie im Bericht des Jahres 2013 verwendet. Auf den Karten wurden zusätzlich die wichtigsten Orte mit Textblöcken ergänzt. Dazu wurde in Absprache mit dem Auftraggeber die Pixelkarte 1:500'000 der swisstopo[6] verwendet. Zusätzlich wurden die Standorte der Messungen an Fixstationen und mit Passivsammlern eingezeichnet. Die Karten wurden als png-Dateien an den Auftraggeber geliefert. Die Excel-Datei mit den Auswertungen zur Bevölkerungsexposition wurde ebenfalls an den Auftraggeber zugestellt.

---

[6] https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/maps/national/digital/srm500

4 Bevölkerungsexposition

Die mit der Bevölkerungsanzahl gewichteten Mittelwerte[7] sind nachfolgend dargestellt. Es war nicht Gegenstand des Auftrages, die Ergebnisse zu interpretieren. Trotzdem einige Hinweise:

- Bei der Interpretation sollte berücksichtigt werden, dass für die Modellierung der Immissionen gewisse Einschränkungen gelten (z.B. sind nicht alle Strassen im Modell realitätsnah abgebildet, Strassenschluchten werden nicht berücksichtigt, Quartierstrassen fehlen in vielen Orten, Emissionen gewisser Untergruppen sind mit methodisch besten Ansätzen, jedoch nicht zwingend voll der Realität entsprechend verteilt). Siehe dazu die Kapitel 5.1. „Comparison of model results and measurements" in den BAFU-Berichten Nr. 1123 (NO_2) und Nr. 1304 (PM10).

- Basis der ZUDK-Modelldaten, welche aus 365 Tageskarten der gleitenden 24h-Mittelwerte gebildet wurden, sind die BAFU-Modellkarten.

- Beim PM10 ist zusätzlich das Kapitel 4.4 und der Anhang 3 aus BAFU-Bericht Nr. 1304 relevant. Darin wurden mit zusätzlichen statistischen Methoden die Unsicherheiten in den Modellresultaten berücksichtigt. Für diesen Bericht werden die PM10-Expositionszahlen demnach anders und vereinfacht berechnet und dargestellt.

- Die Ergebnisse der Bevölkerungsexposition, insbesondere auch PM10, welche z.B. 2013 nahe beim Immissionsgrenzwert lagen, sind sehr stark von der Unsicherheit des Modelles geprägt, welche hier nicht bekannt ist. Wenn nur einige Modellwerte z.B. 0.5 µg/m^3 abweichen, so ergeben sich andere bevölkerungsgewichtete Mittelwerte und v.a. deutlich andere Anteile der Bevölkerung über dem IGW.

- Die Modelldaten des Jahres 2010 können nicht direkt mit denjenigen der ZUDK 2013–2016 verglichen werden, wegen verschiedenen methodischen Unterschieden (Unterschiede sind in Abbildung 1 und Abbildung 2 zu erkennen).

- Die Zeitreihe 2013–2016 ist innerhalb der gleichen Modellversionen vergleichbar. Es wurde jeweils das entsprechende Jahr der Volkzählung als Berechnungsbasis verwendet (die minimale Anzahl Einwohner pro Hektare beträgt aus Datenschutzgründen drei. Sensitivitätsberechnungen dazu sind in Anhang A.3 erläutert). Die geringfügigen Abweichungen in der Summe der Einwohner (siehe Tabellen) ist darauf zurückzuführen, dass die Grids von NO_2 und PM10 im Randgebiet nicht vollständig gleiche Flächen aufweisen (was für die Aussage der Resultate jedoch nicht relevant ist).

---

[7] Die bevölkerungsgewichteten Mittelwerte werden wie folgt berechnet: Die Immissionswerte pro Hektaren werden mit der Anzahl Einwohner pro Hektaren multipliziert. Die Summe all dieser Werte wurde anschliessend durch die Anzahl Einwohner dividiert.

- Die bevölkerungsgewichteten Mittelwerte in den Tabellen wurden auf Basis von 1 µg/m^3 skalierten Immissionskarten berechnet.

- Je kleiner das Untersuchungsgebiet (z.B. Kanton), umso grösser werden die Unsicherheiten in den Ergebnissen, wegen der Summe der Teilunsicherheiten. Dies verstärkt sich zudem bei der Berechnung für Gebiete mir nur grösser 25 Einwohner pro Hektare.

- Das BAFU-Modell für das Jahr 2010 (Modell C gemäss Datengrundlagen; Abbildung 48) basiert auf einer Ausbreitungsrechnung von gesamtschweizerischen Emissionen zu Immissionen mit einem durchschnittlichen meteorologischen Jahr. Es ist daher klar, dass die Ergebnisse der Bevölkerungsexposition nicht mit der Zeitreihe 2013–2016 mit dem anderen ZUDK-Modellansatz verglichen werden dürfen. Der ZUDK-Modellansatz passt die BAFU-Modellkarte stündlich an die tatsächlich gemessenen Werte an.

- Die zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten Mittelwerte (rote, dicke Linie in Abbildung 3) läuft im Prinzip parallel zu den gemittelten Messwerten (violette, dicke Linie in Abbildung 3) aller NO_2-Fixstationen und NO_2-Passivsammler im Gebiet der ZUDK. Das gleiche gilt für PM10 (Abbildung 4). Der Vergleich ist streng genommen natürlich nicht zulässig, weil die Messstationen räumlich nicht repräsentativ zu den Einwohnerdaten lokalisiert sind und die Anzahl Stationen, v.a. beim PM10, gering ist.

Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen die Unterschiede der Bevölkerungsexposition zwischen den drei verschiedenen Modellvarianten. Wie oben erwähnt sind die Unterschiede im Belastungsniveau durch die unterschiedlichen methodischen Ansätze begründet. Im Anhang A.2 wird näher auf diese Unterschiede eingegangen und begründet, wieso im Modell ZUDK höhere Werte der Bevölkerungsexposition festgestellt werden.

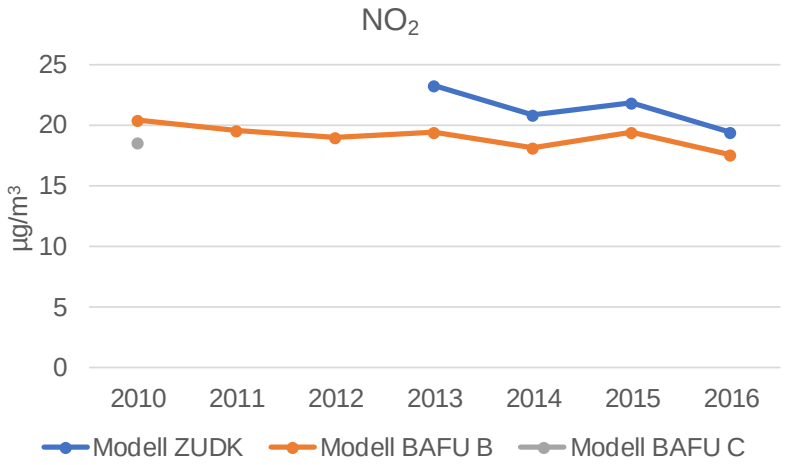


Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten NO_2-Mittelwerte sowie Vergleich mit der Entwicklung gemäss BAFU-Modellen B und C.

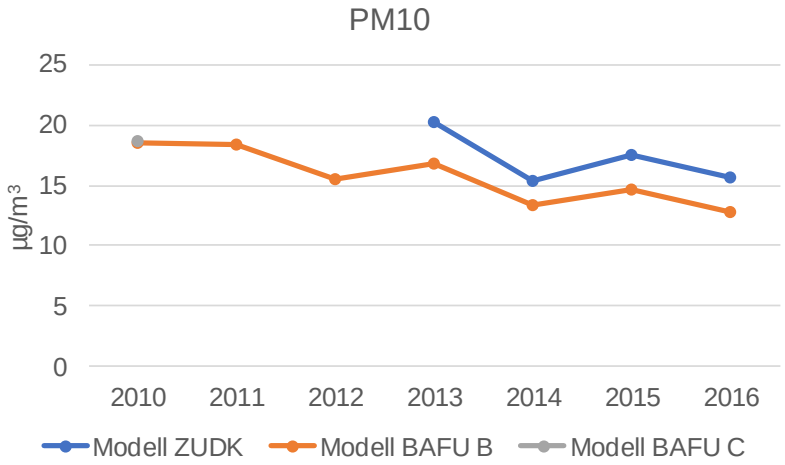


Abbildung 2: Zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten PM10-Mittelwerte sowie Vergleich mit der Entwicklung gemäss BAFU-Modellen B und C.

Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die zeitliche Entwicklung der Bevölkerungsexposition im Gebiet der ZUDK und den Kantonen sowie einen Vergleich mit der zeitlichen Entwicklung der Immissionen an verfügbaren Messstellen.

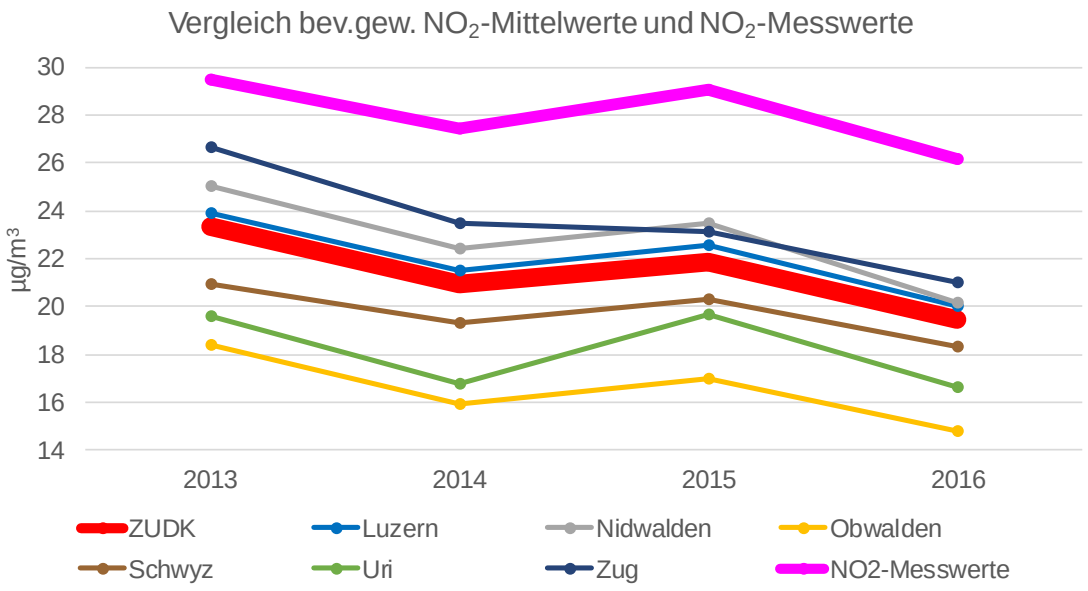


Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten NO_2-Mittelwerte sowie Vergleich mit der zeitlichen Entwicklung der NO_2-Messwerte.

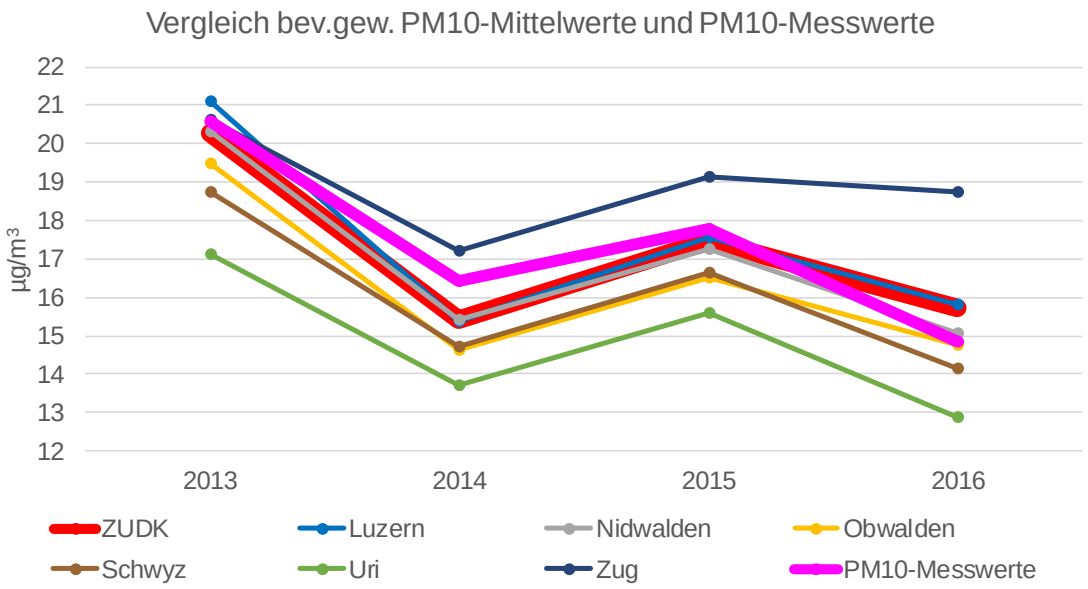


Abbildung 4: Zeitliche Entwicklung der bevölkerungsgewichteten PM10-Mittelwerte sowie Vergleich mit der zeitlichen Entwicklung der PM10-Messwerte.

In den Abbildung 5 bis Abbildung 8 sind die kumulierten Häufigkeiten für die vier untersuchten Jahre dargestellt.

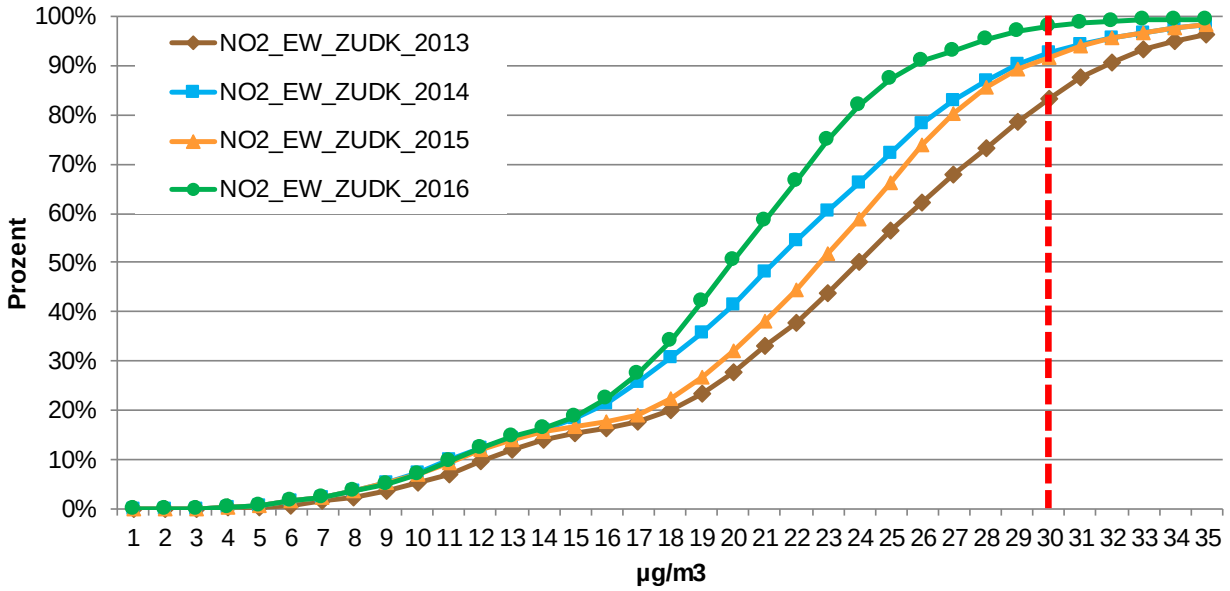


Abbildung 5: Kumulierte Häufigkeit der Bevölkerungsexposition von NO_2 in der Zentralschweiz.

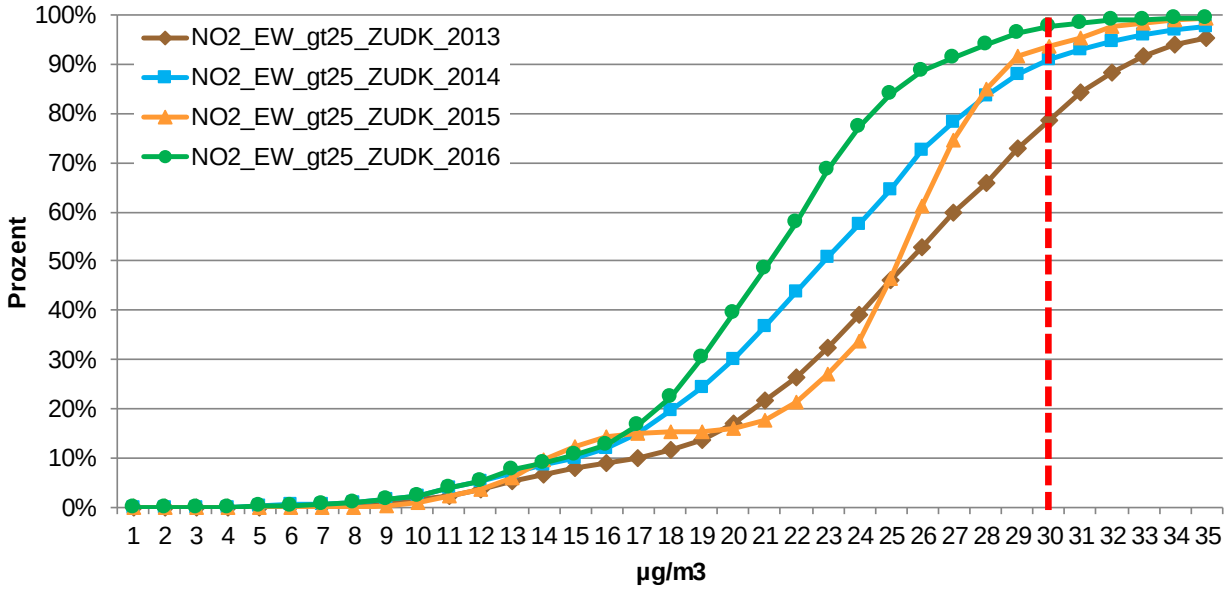


Abbildung 6: Kumulierte Häufigkeit der Bevölkerungsexposition von NO_2 für Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz.

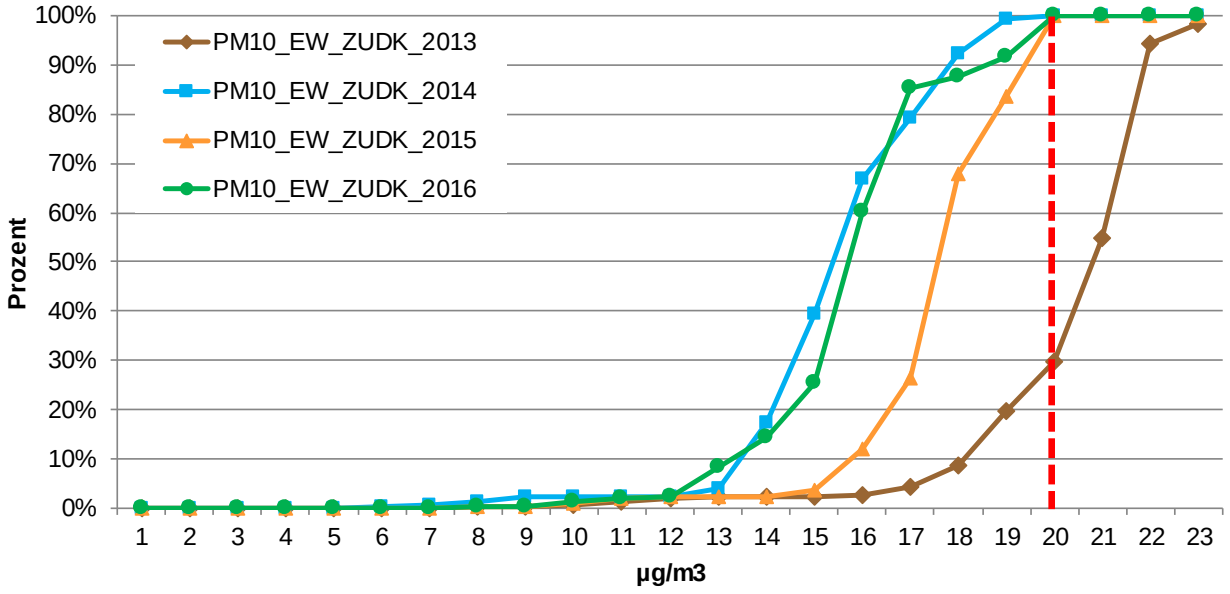


Abbildung 7: Kumulierte Häufigkeit der Bevölkerungsexposition von PM10 in der Zentralschweiz.

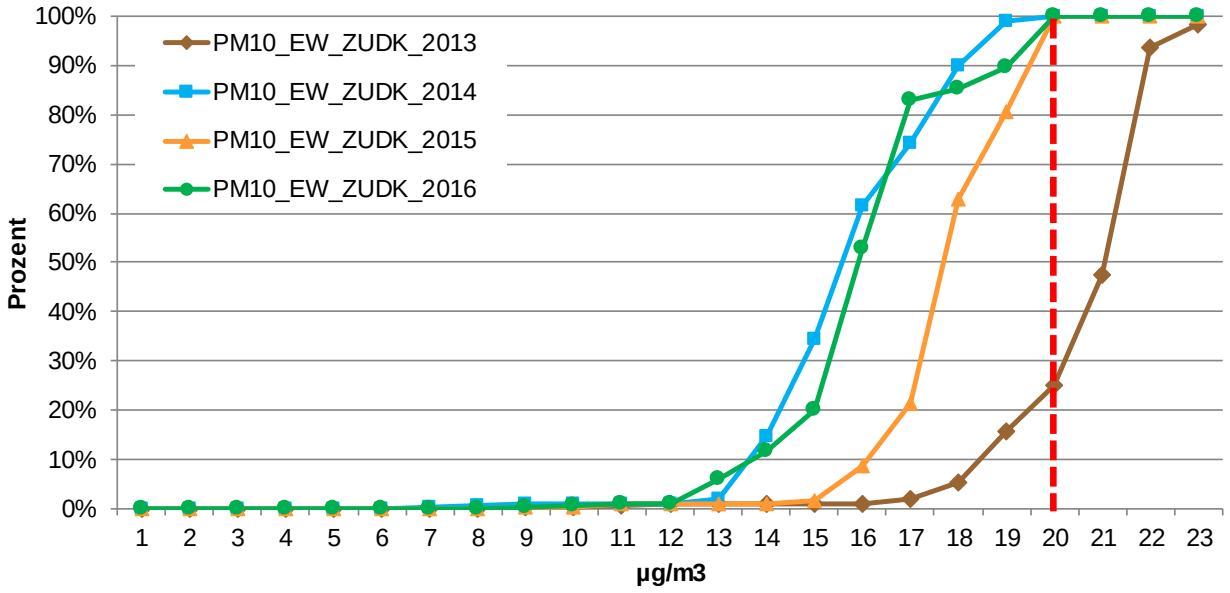


Abbildung 8: Kumulierte Häufigkeit der Bevölkerungsexposition von PM10 für Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz.

Die Abbildung 9 bis Abbildung 12 zeigen die berechneten Bevölkerungsexpositionen und in Tabelle 1 bis Tabelle 8 sind die Daten zusammengestellt. Die Anteile der Bevölkerung über dem Grenzwert mit Werten unter einem Prozent sind mit "< 1%" ausgewiesen.

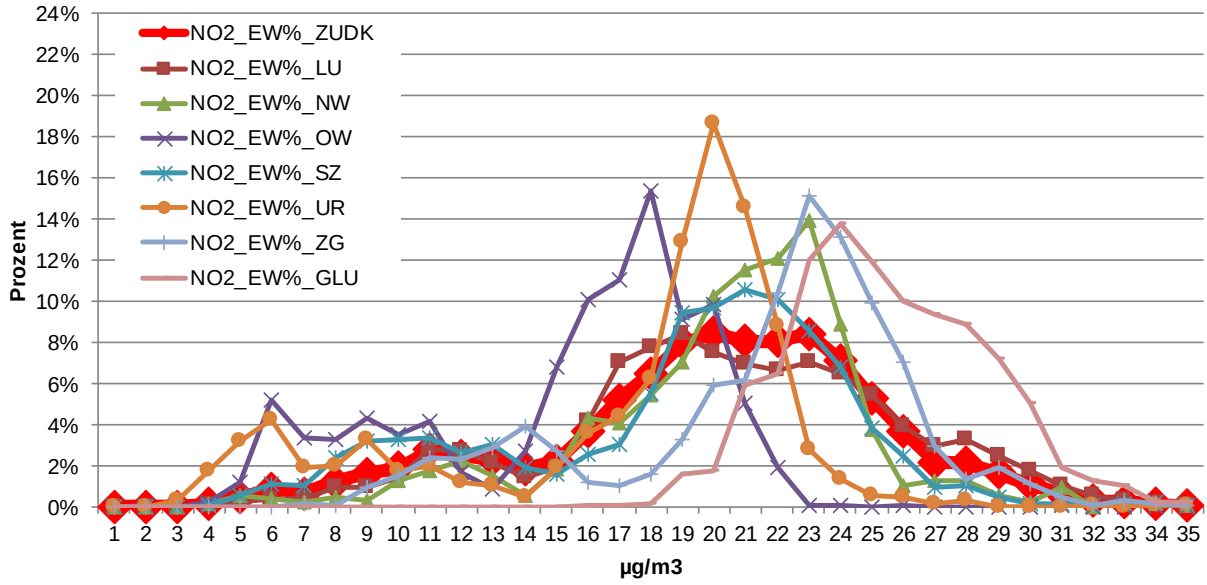


Abbildung 9: Bevölkerungsexposition von NO_2 in der Zentralschweiz im Jahr 2016.

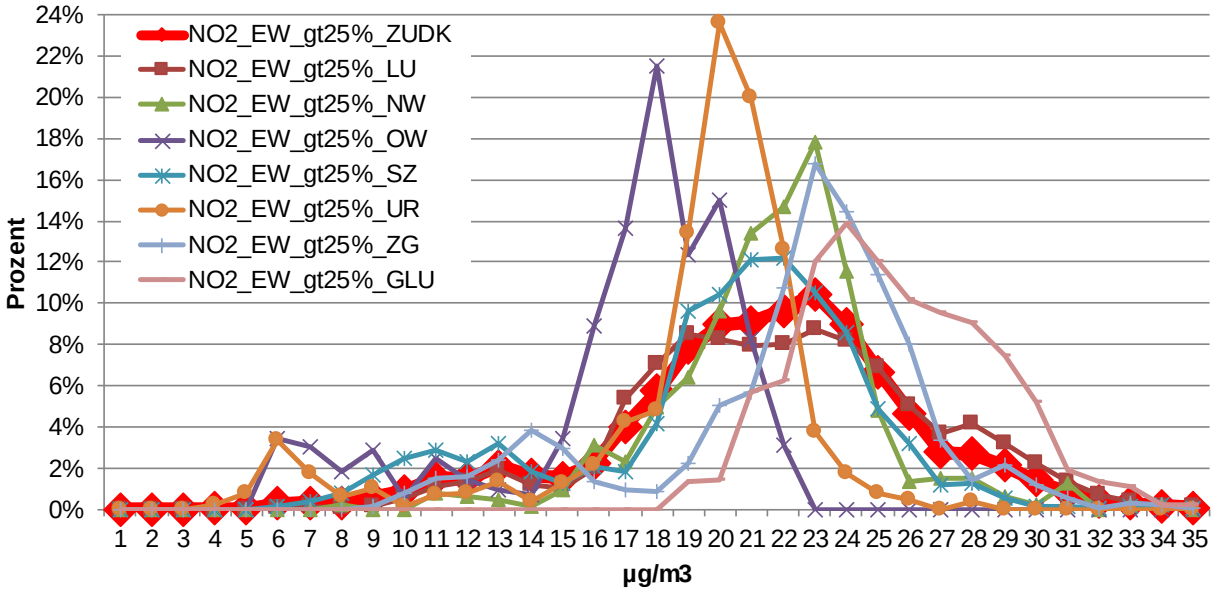


Abbildung 10: Bevölkerungsexposition von NO_2 für Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz im Jahr 2016.

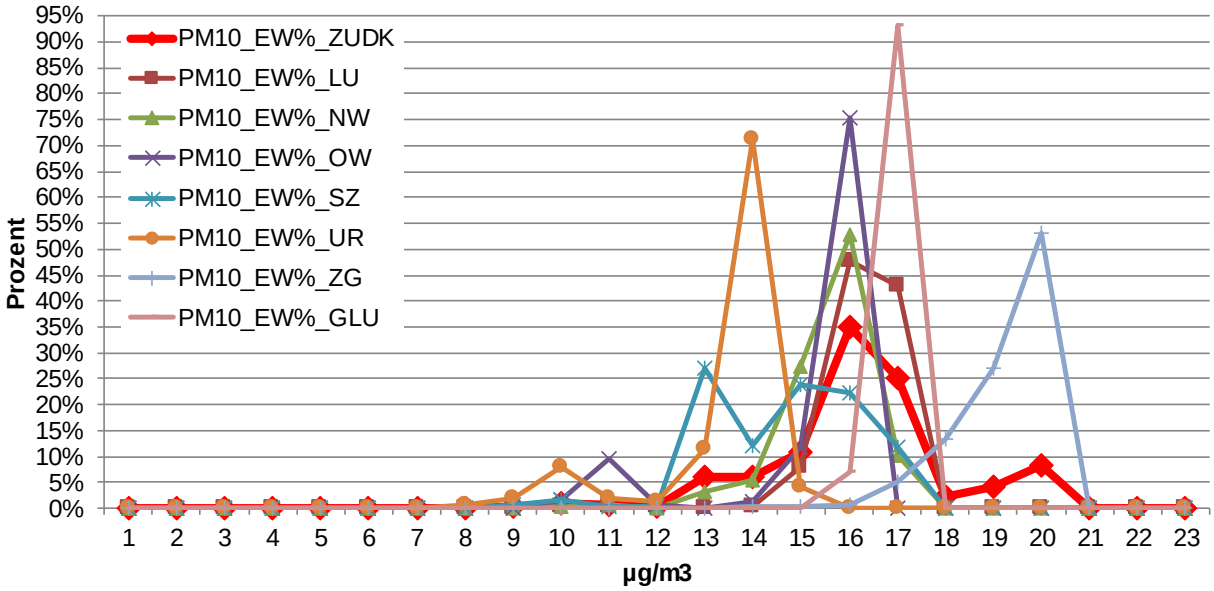


Abbildung 11: Bevölkerungsexposition von PM10 in der Zentralschweiz im Jahr 2016.

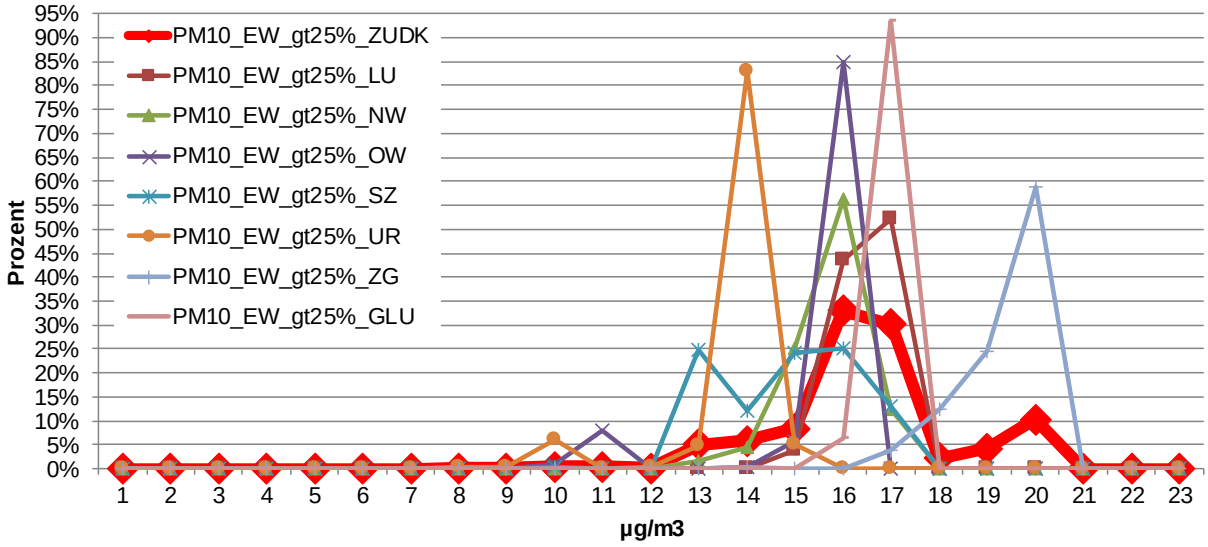


Abbildung 12: Bevölkerungsexposition von PM10 für Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare in der Zentralschweiz im Jahr 2016.

Tabelle 1: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m³ von NO_2 und PM10 in der Zentralschweiz.

		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	NO_2	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
ZUDK	2010	19	752'653	2%	20	549'268	3%	Modell BAFU *)
	2013	23	778'173	17%	25	577'414	21%	Modell ZUDK
	2014	21	786'331	7%	23	586'058	9%	Modell ZUDK
	2015	22	794'407	8%	24	594'596	11%	Modell ZUDK
	2016	19	803'097	2%	21	602'413	2%	Modell ZUDK
		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	PM10	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
ZUDK	2010	19	752'653	11%	19	549'268	14%	Modell BAFU *)
	2013	20	777'367	70%	21	576'887	75%	Modell ZUDK
	2014	15	786'054	< 1%	16	585'906	< 1%	Modell ZUDK
	2015	17	794'135	< 1%	18	594'470	< 1%	Modell ZUDK
	2016	16	802'823	< 1%	16	602'284	< 1%	Modell ZUDK
	*) Die Ergebnisse aus dem BAFU-Modell können wegen methodischen Unterschieden nicht mit den Ergebnissen des Modelles ZUDK verglichen werden.							

Tabelle 2: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m³ von NO_2 und PM10 im Kanton Luzern.

		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	NO_2	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Luzern	2010	19	378'928	3%	21	277'471	4%	Modell BAFU *)
	2013	24	392'072	20%	26	291'278	25%	Modell ZUDK
	2014	21	396'197	11%	23	295'763	14%	Modell ZUDK
	2015	23	400'425	13%	24	300'316	17%	Modell ZUDK
	2016	20	405'052	3%	22	304'542	4%	Modell ZUDK
		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	PM10	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Luzern	2010	19	378'928	11%	19	277'471	14%	Modell BAFU *)
	2013	21	391'494	94%	21	290'933	98%	Modell ZUDK
	2014	15	395'974	< 1%	16	295'653	< 1%	Modell ZUDK
	2015	18	400'206	< 1%	18	300'231	< 1%	Modell ZUDK
	2016	16	404'831	< 1%	16	304'454	< 1%	Modell ZUDK
	*) Die Ergebnisse aus dem BAFU-Modell können wegen methodischen Unterschieden nicht mit den Ergebnissen des Modelles ZUDK verglichen werden.							

Tabelle 3: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m³ von NO_2 und PM10 im Kanton Nidwalden.

		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	NO_2	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Nidwalden	2010	19	41'039	3%	20	28'834	2%	Modell BAFU *)
	2013	25	41'999	10%	27	30'336	11%	Modell ZUDK
	2014	22	42'207	6%	24	30'301	7%	Modell ZUDK
	2015	23	42'554	7%	25	31'001	8%	Modell ZUDK
	2016	20	42'694	3%	21	31'002	3%	Modell ZUDK
		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	PM10	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Nidwalden	2010	18	41'039	3%	18	29'098	3%	Modell BAFU *)
	2013	20	42'001	76%	21	30'336	83%	Modell ZUDK
	2014	15	42'207	< 1%	16	30'301	< 1%	Modell ZUDK
	2015	17	42'554	< 1%	17	31'001	< 1%	Modell ZUDK
	2016	15	42'694	< 1%	15	31'002	< 1%	Modell ZUDK

*) Die Ergebnisse aus dem BAFU-Modell können wegen methodischen Unterschieden nicht mit den Ergebnissen des Modelles ZUDK verglichen werden.

Tabelle 4: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m³ von NO_2 und PM10 im Kanton Obwalden.

		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	NO_2	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Obwalden	2010	14	36'113	< 1%	16	20'315	< 1%	Modell BAFU *)
	2013	18	37'062	< 1%	20	21'262	< 1%	Modell ZUDK
	2014	16	37'354	< 1%	18	21'789	< 1%	Modell ZUDK
	2015	17	37'600	< 1%	19	22'154	< 1%	Modell ZUDK
	2016	15	37'876	< 1%	17	21'845	< 1%	Modell ZUDK
		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	PM10	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Obwalden	2010	18	36'113	13%	19	20'315	16%	Modell BAFU *)
	2013	19	37'062	73%	20	21'262	85%	Modell ZUDK
	2014	15	37'354	< 1%	15	21'789	< 1%	Modell ZUDK
	2015	17	37'600	< 1%	17	22'154	< 1%	Modell ZUDK
	2016	15	37'876	< 1%	15	22'588	< 1%	Modell ZUDK

*) Die Ergebnisse aus dem BAFU-Modell können wegen methodischen Unterschieden nicht mit den Ergebnissen des Modelles ZUDK verglichen werden.

Tabelle 5: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m³ von NO_2 und PM10 im Kanton Schwyz.

		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	NO_2	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Schwyz	2010	17	147'496	< 1%	18	104'798	< 1%	Modell BAFU *)
	2013	21	152'423	6%	22	110'748	7%	Modell ZUDK
	2014	19	153'832	2%	21	112'620	2%	Modell ZUDK
	2015	20	155'110	3%	22	113'792	4%	Modell ZUDK
	2016	18	156'911	< 1%	20	115'212	< 1%	Modell ZUDK
		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	PM10	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Schwyz	2010	18	147'496	1%	18	104'824	2%	Modell BAFU *)
	2013	19	152'209	14%	19	110'566	15%	Modell ZUDK
	2014	15	153'781	< 1%	15	112'578	< 1%	Modell ZUDK
	2015	17	155'060	< 1%	17	113'751	< 1%	Modell ZUDK
	2016	14	156'861	< 1%	14	115'171	< 1%	Modell ZUDK
	*) Die Ergebnisse aus dem BAFU-Modell können wegen methodischen Unterschieden nicht mit den Ergebnissen des Modelles ZUDK verglichen werden.							

Tabelle 6: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m³ von NO_2 und PM10 im Kanton Uri.

		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	NO_2	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Uri	2010	16	35'825	< 1%	18	22'006	< 1%	Modell BAFU *)
	2013	20	36'270	< 1%	22	23'229	< 1%	Modell ZUDK
	2014	17	36'402	< 1%	19	23'346	< 1%	Modell ZUDK
	2015	20	36'346	1%	22	23'210	< 1%	Modell ZUDK
	2016	17	36'536	< 1%	18	23'247	< 1%	Modell ZUDK
		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	PM10	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Uri	2010	18	35'825	17%	19	22'006	24%	Modell BAFU *)
	2013	17	36'270	< 1%	18	23'229	< 1%	Modell ZUDK
	2014	14	36'402	< 1%	14	23'346	< 1%	Modell ZUDK
	2015	16	36'346	< 1%	16	23'210	< 1%	Modell ZUDK
	2016	13	36'536	< 1%	13	23'247	< 1%	Modell ZUDK
	*) Die Ergebnisse aus dem BAFU-Modell können wegen methodischen Unterschieden nicht mit den Ergebnissen des Modelles ZUDK verglichen werden.							

Tabelle 7: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m³ von NO_2 und PM10 im Kanton Zug.

		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	NO_2	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Zug	2010	20	113'252	< 1%	20	95'554	< 1%	Modell BAFU *)
	2013	27	118'347	33%	28	100'561	38%	Modell ZUDK
	2014	23	120'339	7%	24	102'239	8%	Modell ZUDK
	2015	23	122'372	6%	24	104'123	6%	Modell ZUDK
	2016	21	124'028	1%	22	105'822	1%	Modell ZUDK
		gesamtes Kantonsgebiet			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	PM10	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Zug	2010	19	113'252	27%	19	95'554	27%	Modell BAFU *)
	2013	21	118'331	83%	21	100'561	86%	Modell ZUDK
	2014	17	120'336	< 1%	17	102'239	< 1%	Modell ZUDK
	2015	19	122'369	< 1%	19	104'123	< 1%	Modell ZUDK
	2016	19	124'025	< 1%	19	105'822	< 1%	Modell ZUDK

*) Die Ergebnisse aus dem BAFU-Modell können wegen methodischen Unterschieden nicht mit den Ergebnissen des Modelles ZUDK verglichen werden.

Tabelle 8: Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte in µg/m³ von NO_2 und PM10 in der Gemeinde Luzern.

		gesamtes Gemeindegebiet (nur Stadtgebiet)			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	NO_2	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Gmde Luzern	2010	---			---			
	2013	31	80'033	55%	31	76'053	56%	Modell ZUDK
	2014	29	80'555	31%	29	76'520	32%	Modell ZUDK
	2015	29	80'809	36%	29	76'937	37%	Modell ZUDK
	2016	25	81'129	6%	25	77'429	6%	Modell ZUDK
		gesamtes Gemeindegebiet (nur Stadtgebiet)			nur Gebiete mit > 25 Einwohner pro ha			
	PM10	Bevölkerungsgewichter Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Mittelwert [µg/m³]	Bevölkerung	Anteil Bev.> IGW	Grundlagen
Gmde Luzern	2010	---			---			
	2013	22	80'033	100%	22	76'053	100%	Modell ZUDK
	2014	16	80'555	< 1%	16	76'520	< 1%	Modell ZUDK
	2015	18	80'809	< 1%	18	76'937	< 1%	Modell ZUDK
	2016	16	81'129	< 1%	16	77'429	< 1%	Modell ZUDK

5 Karten

Die nachfolgenden Karten zeigen die Jahresmittelwerte, welche aus den täglichen Modelldaten gemäss http://www.inluft.ch/luftqualitaet berechnet wurden (100 m-Rasterauflösung, Punkt A im Kapitel 2 Datengrundlagen, Modell ZUDK). Nebst den Karten der Jahre 2013 bis 2016 wird auch der Mittelwert über den Zeitraum 2013–2016 dargestellt.

In Anhang A.1 sind auch die Karten der Jahreswerte aus dem Modell BAFU PolluMap dargestellt für das Jahr 2010 (200 m-Rasterauflösung, Datengrundlagen B und C gemäss Kapitel 2).

In Anhang A.2 werden Unterschiede zwischen den Modellkarten ZUDK und BAFU (Karten Jahreswerte) erläutert.

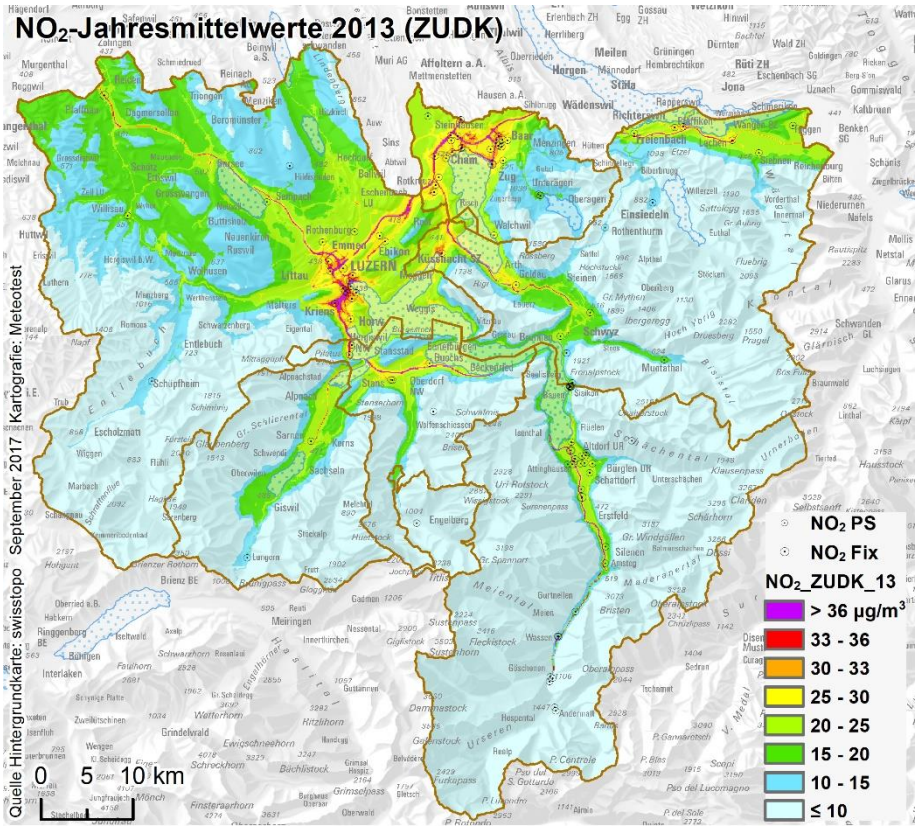


Abbildung 13: Karte der NO_2-Immissionen 2013 (Zentralschweiz).

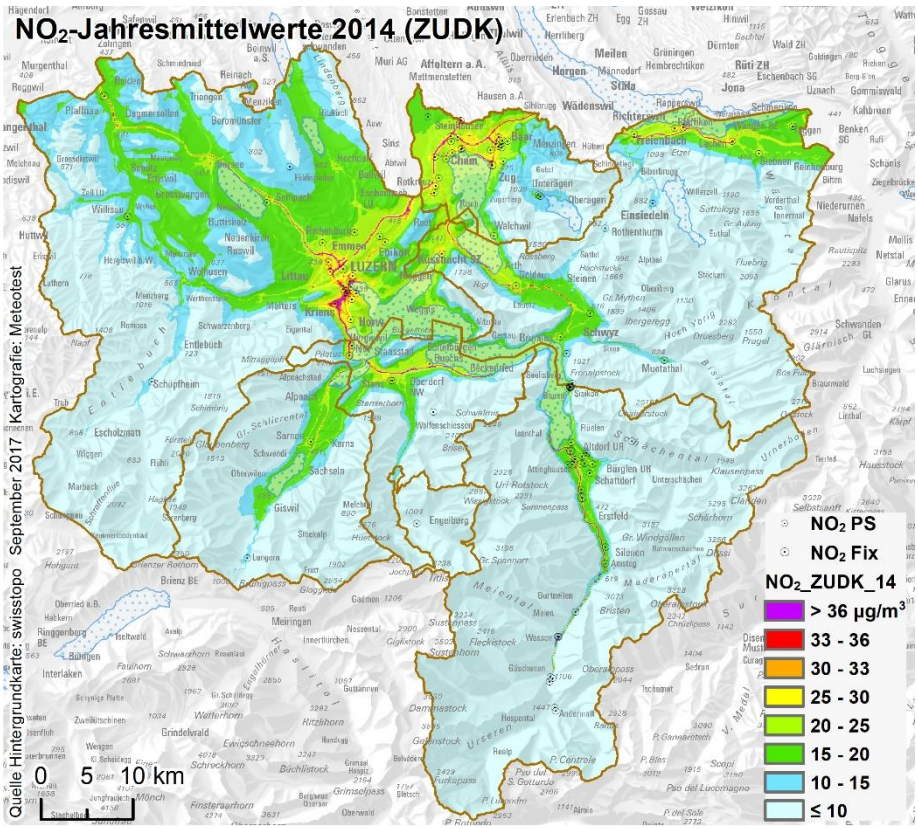


Abbildung 14: Karte der NO_2-Immissionen 2014 (Zentralschweiz).

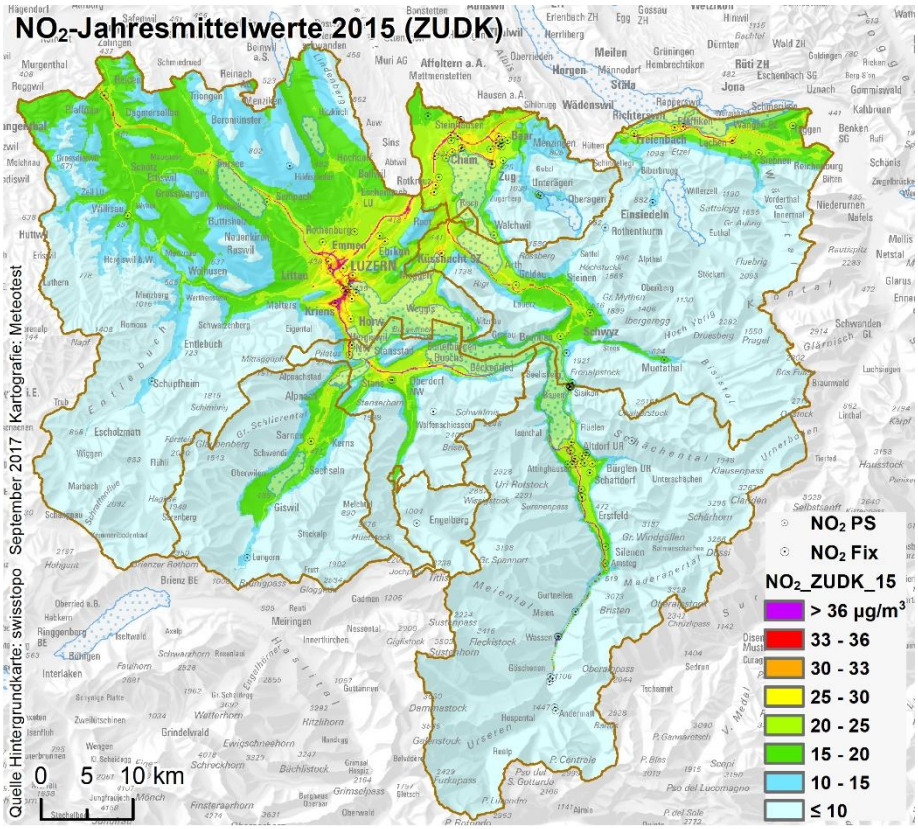


Abbildung 15: Karte der NO_2-Immissionen 2015 (Zentralschweiz).

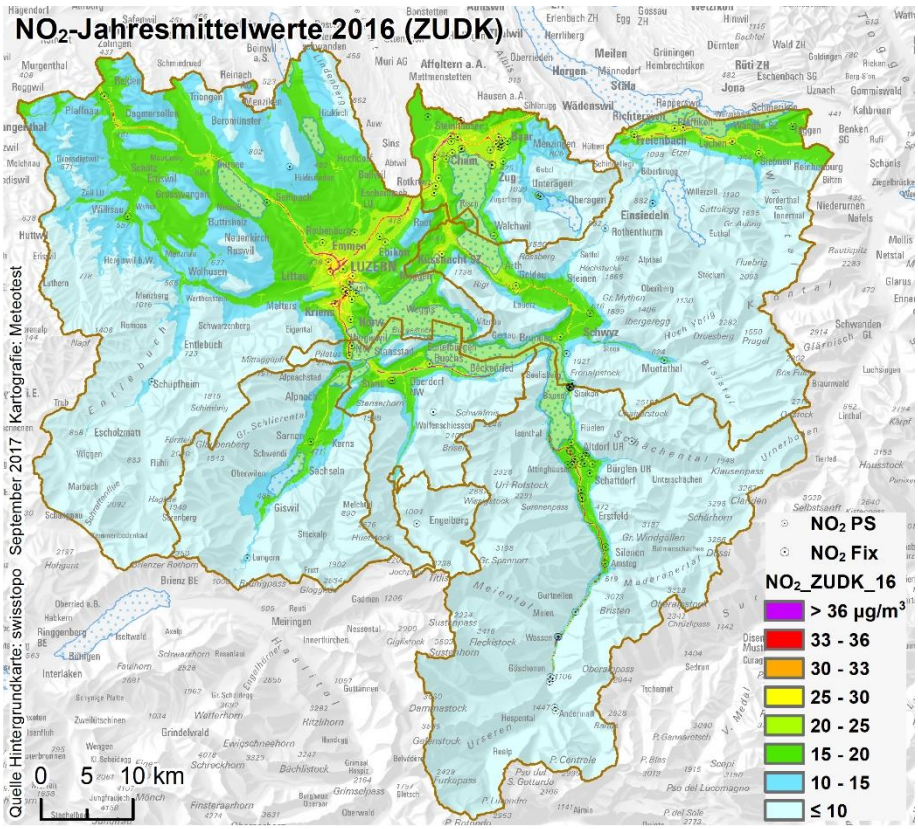


Abbildung 16: Karte der NO_2-Immissionen 2016 (Zentralschweiz).

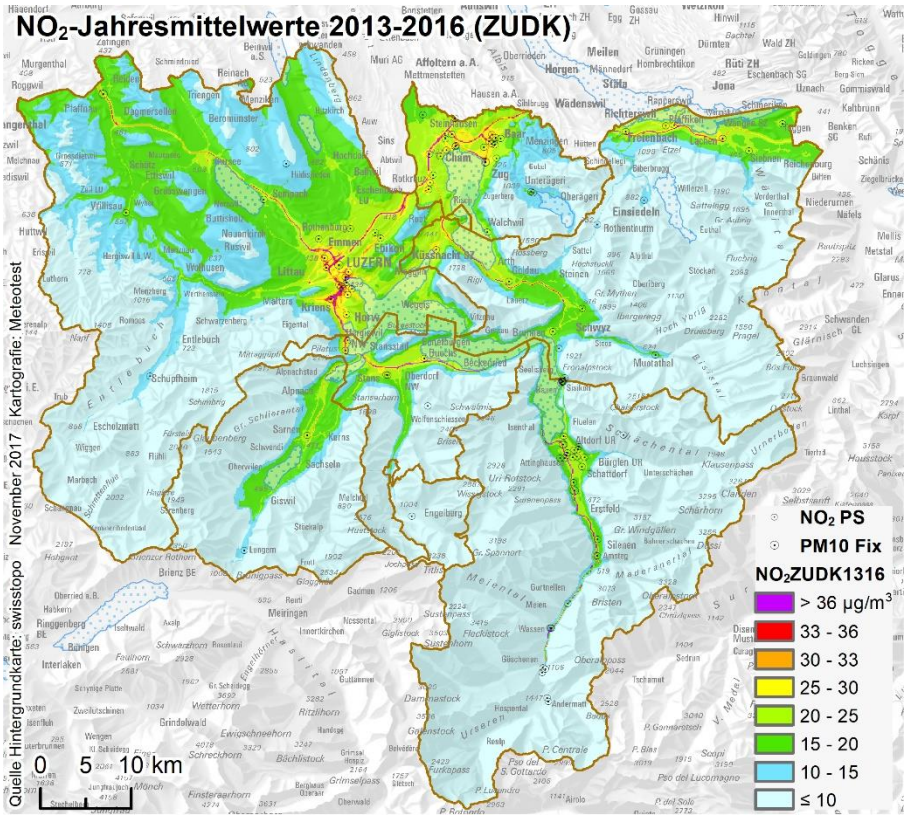


Abbildung 17: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Zentralschweiz).

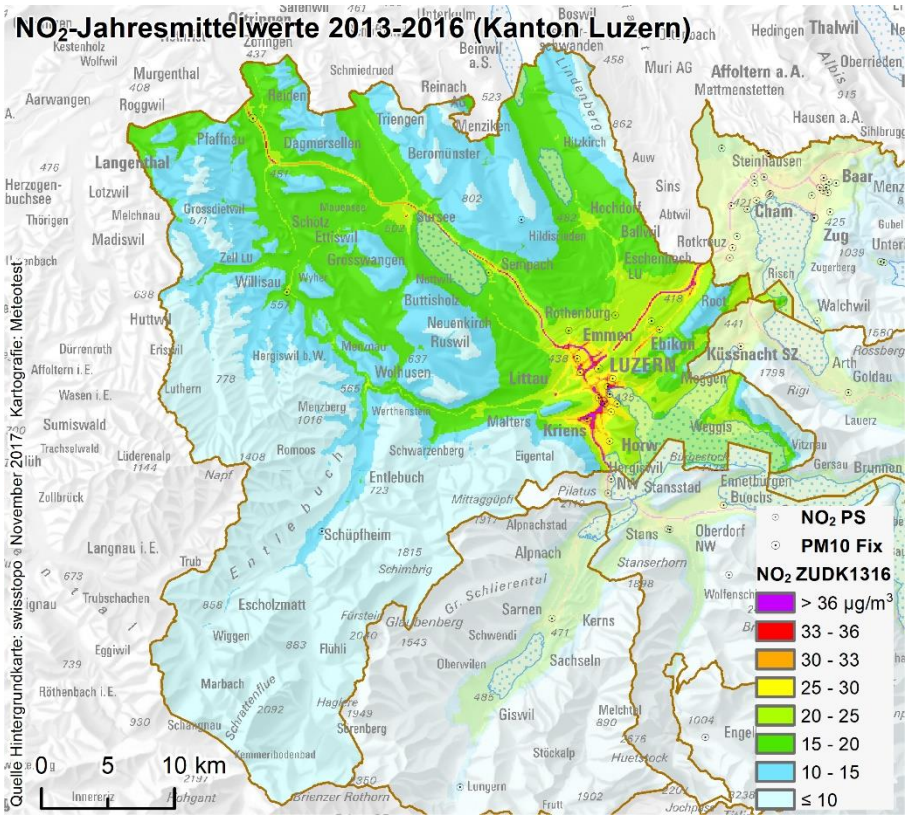


Abbildung 18: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Luzern).

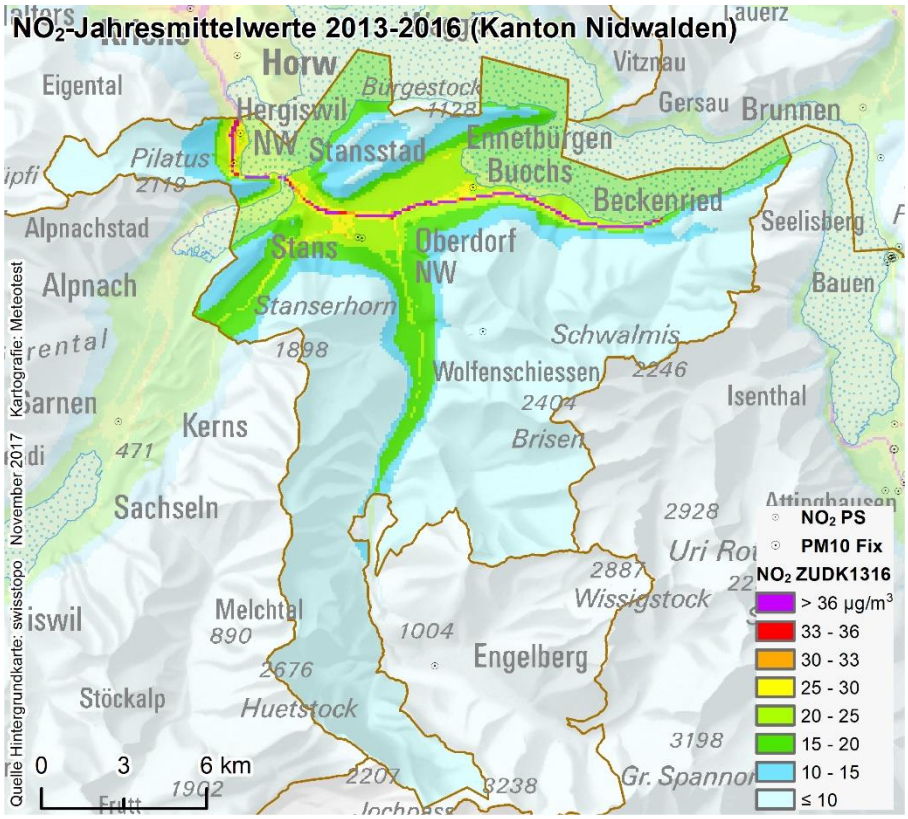


Abbildung 19: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Nidwalden).

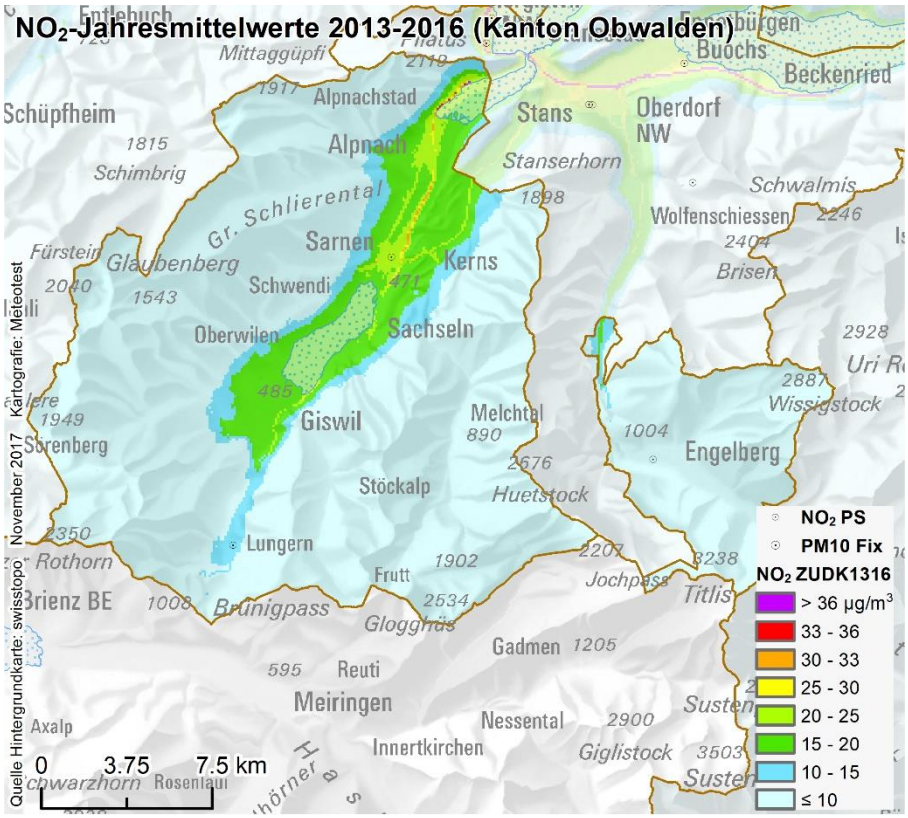


Abbildung 20: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Obwalden).

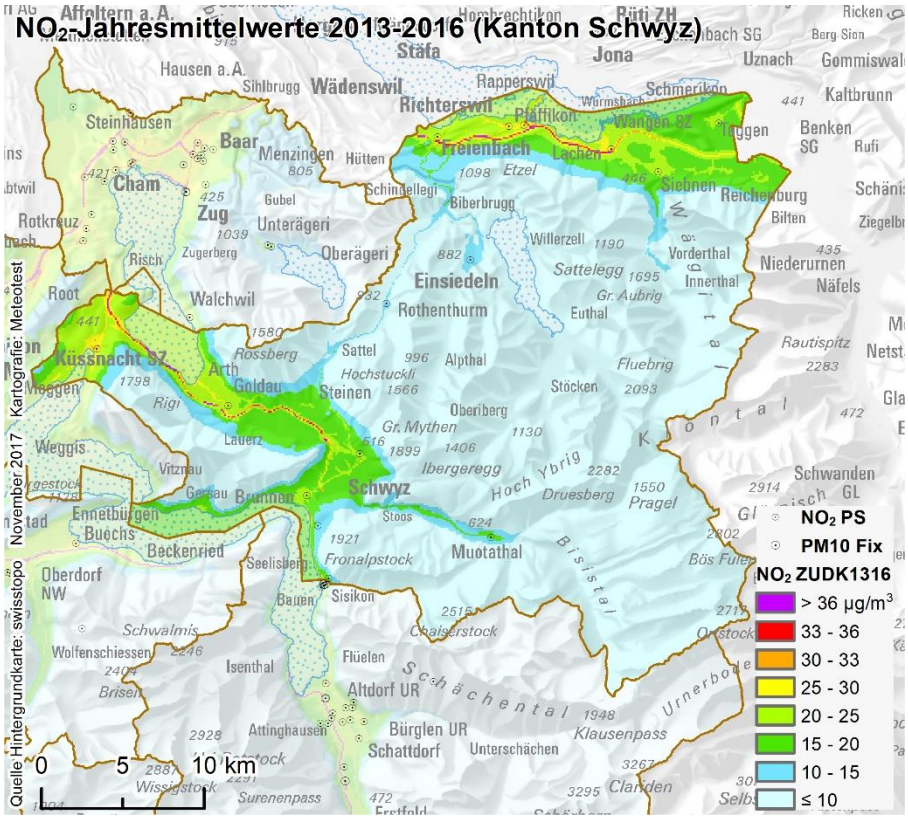


Abbildung 21: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Schwyz).

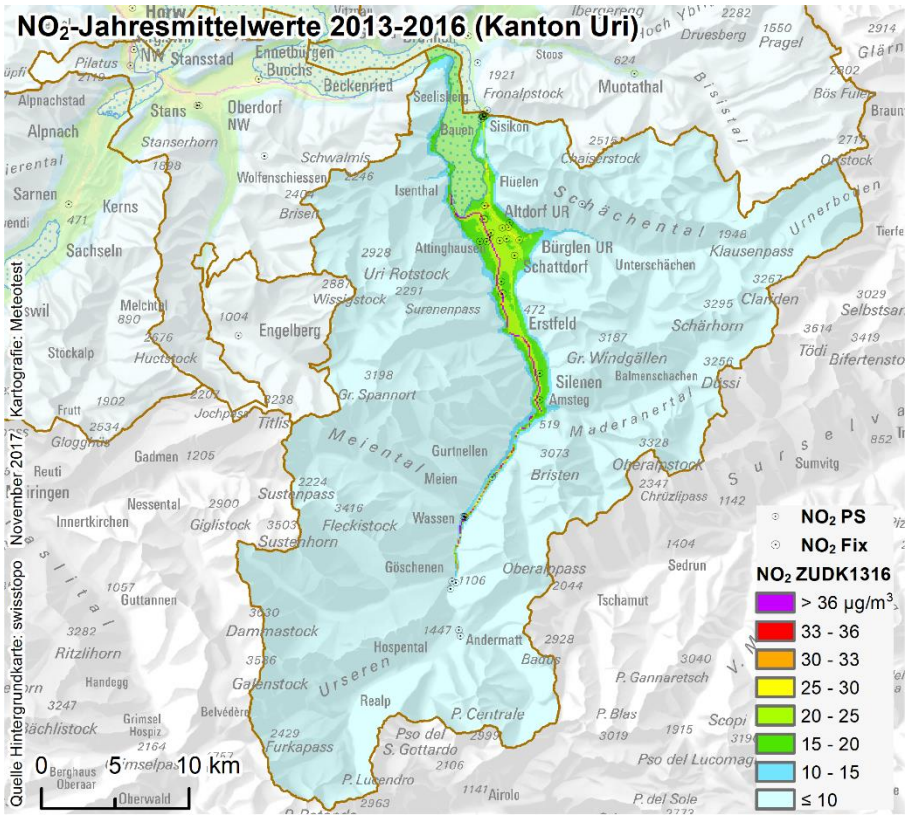


Abbildung 22: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Uri).

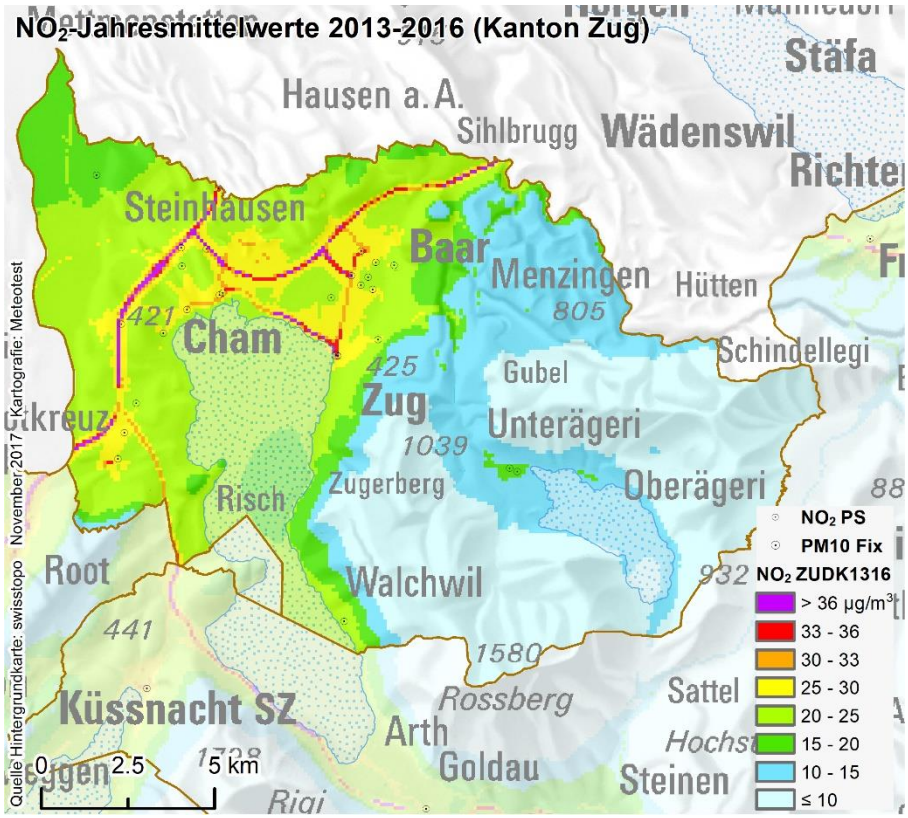


Abbildung 23: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Zug).

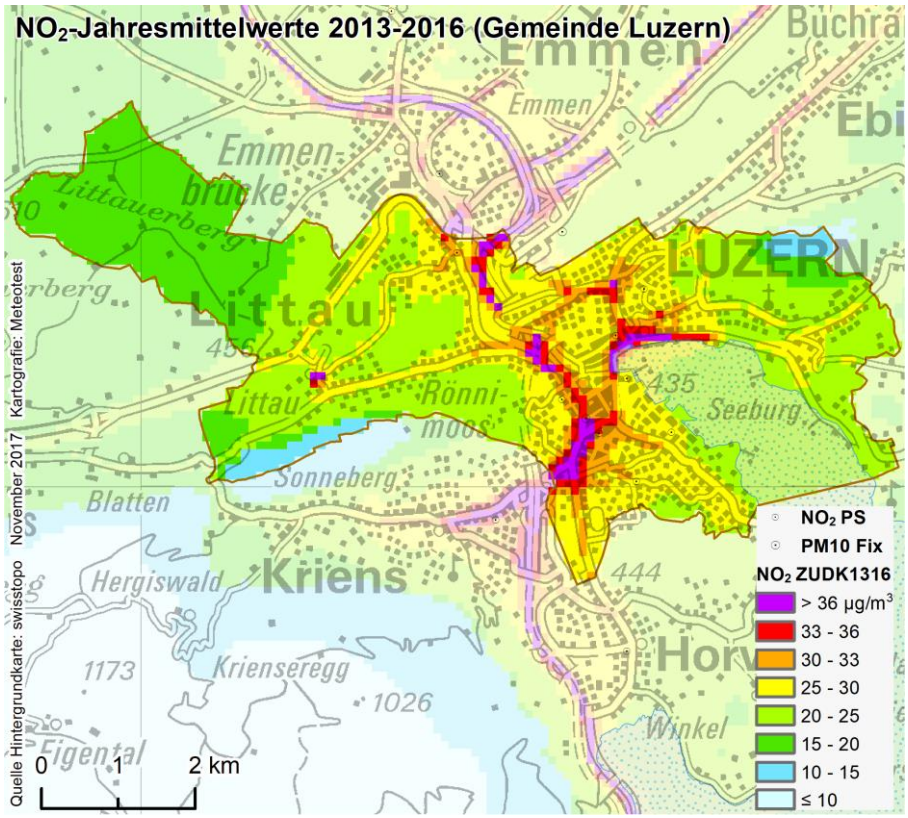


Abbildung 24: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Gemeinde Luzern[8]).

[8] Der zweite Teil der Gemeinde Luzern nördlich des Bürgenstock wird hier nicht dargestellt, weil dort keine Siedlungen vorhanden sind und demnach auch keine Einwohner wohnen.
Ein Gebiet mit hohen Belastungen ist in Littau zu erkennen- Dies sind die resultierenden Immissionen aus den Industrieemissionen (Ausbreitungsmodellierung PolluMap). Da im ZUDK-Modell eine PolluMap-Karte als Basiskarte für die stündlich berechneten Karten verwendet wird, bleibt dieses Immissionsmuster erhalten, obwohl in Realität in den letzten Jahren in diesem Gebiet allenfalls deutliche Reduktionen bei den Emissionen und Immissionen festgestellt werden konnten.

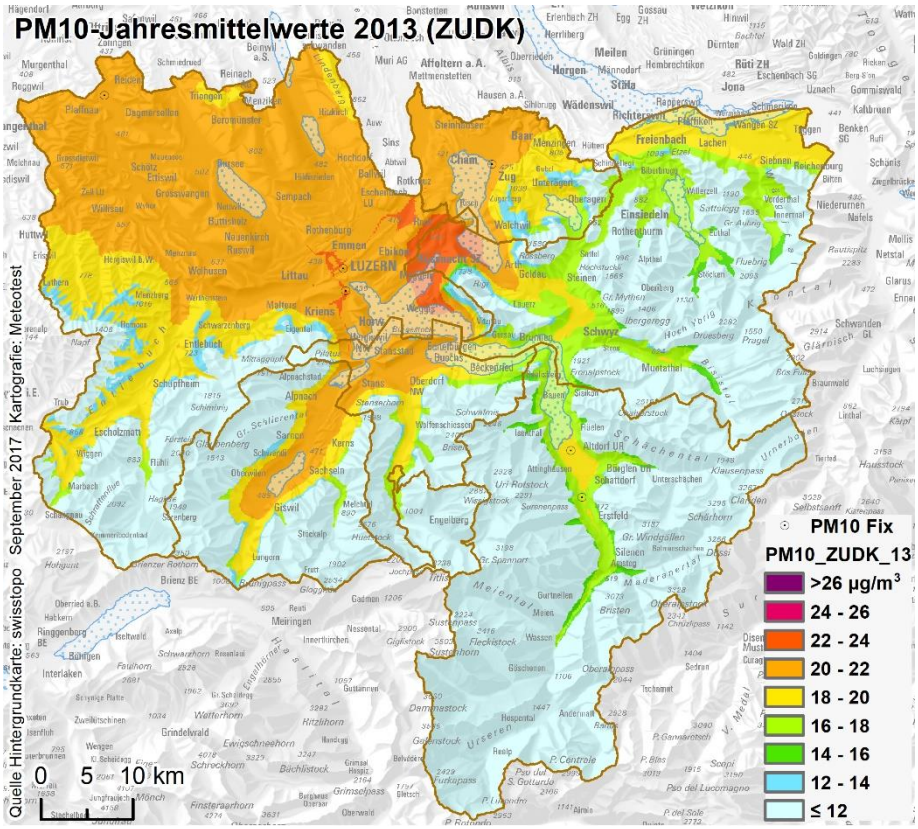


Abbildung 25: Karte der PM10-Immissionen 2013 (Zentralschweiz).

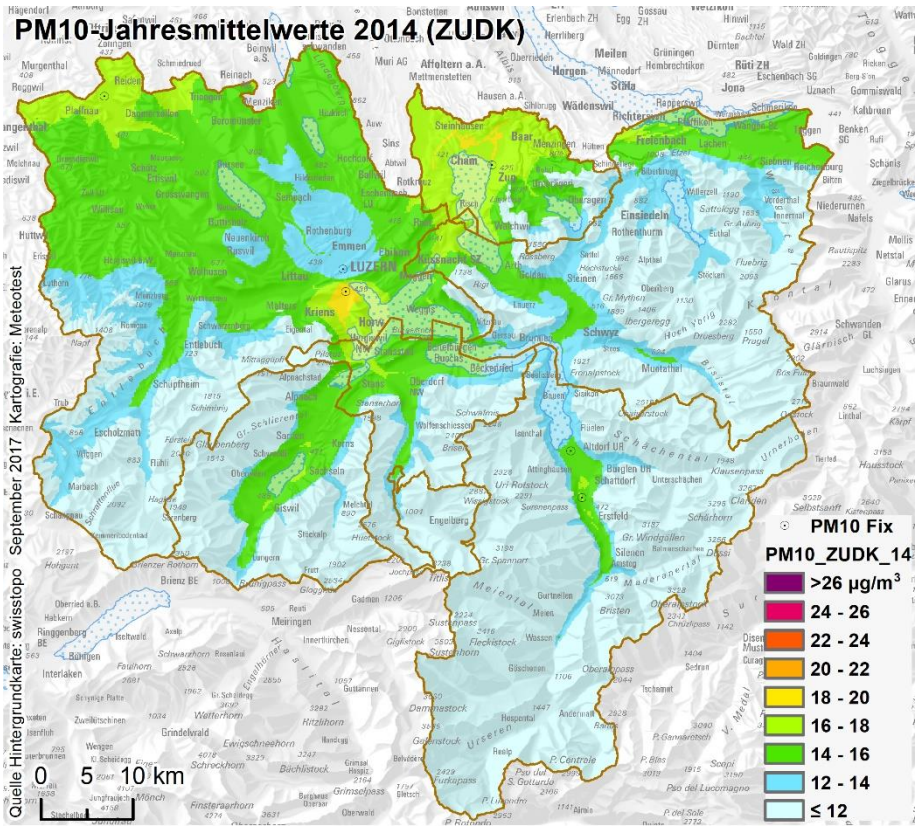


Abbildung 26: Karte der PM10-Immissionen 2014 (Zentralschweiz).

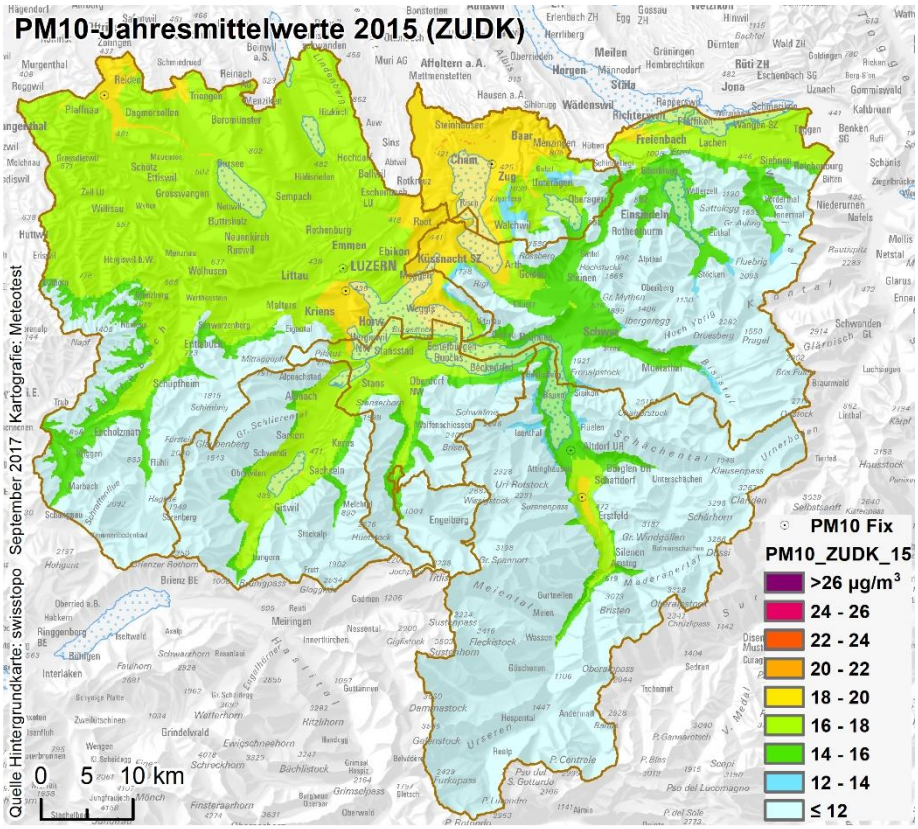


Abbildung 27: Karte der PM10-Immissionen 2015 (Zentralschweiz).

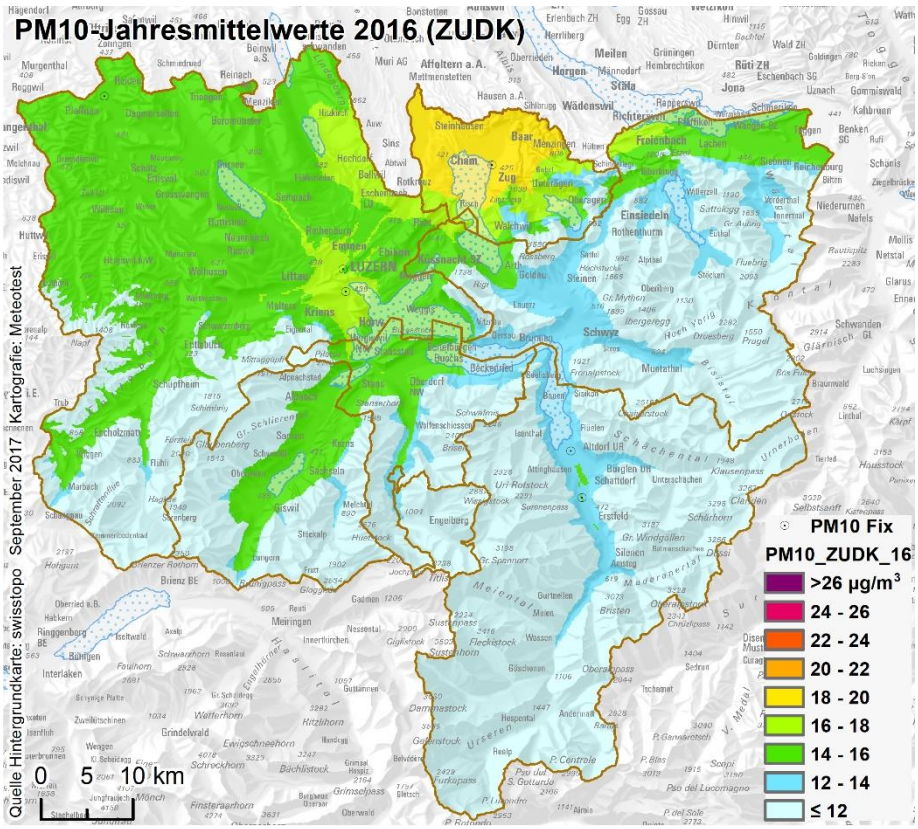


Abbildung 28: Karte der PM10-Immissionen 2016 (Zentralschweiz).

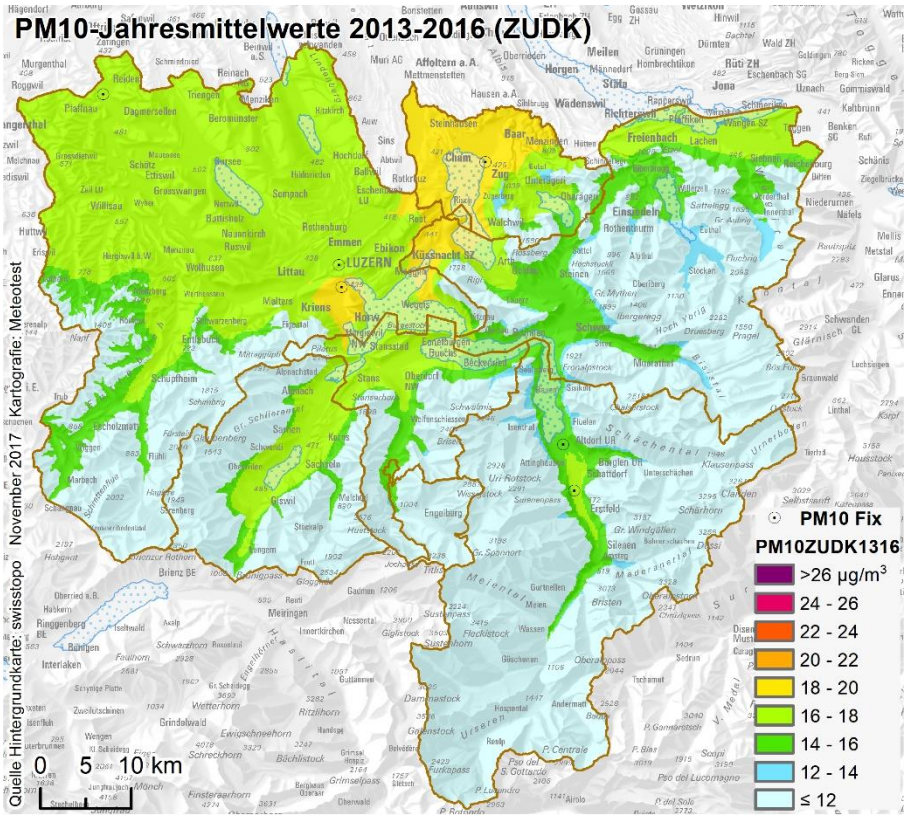


Abbildung 29: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Zentralschweiz).

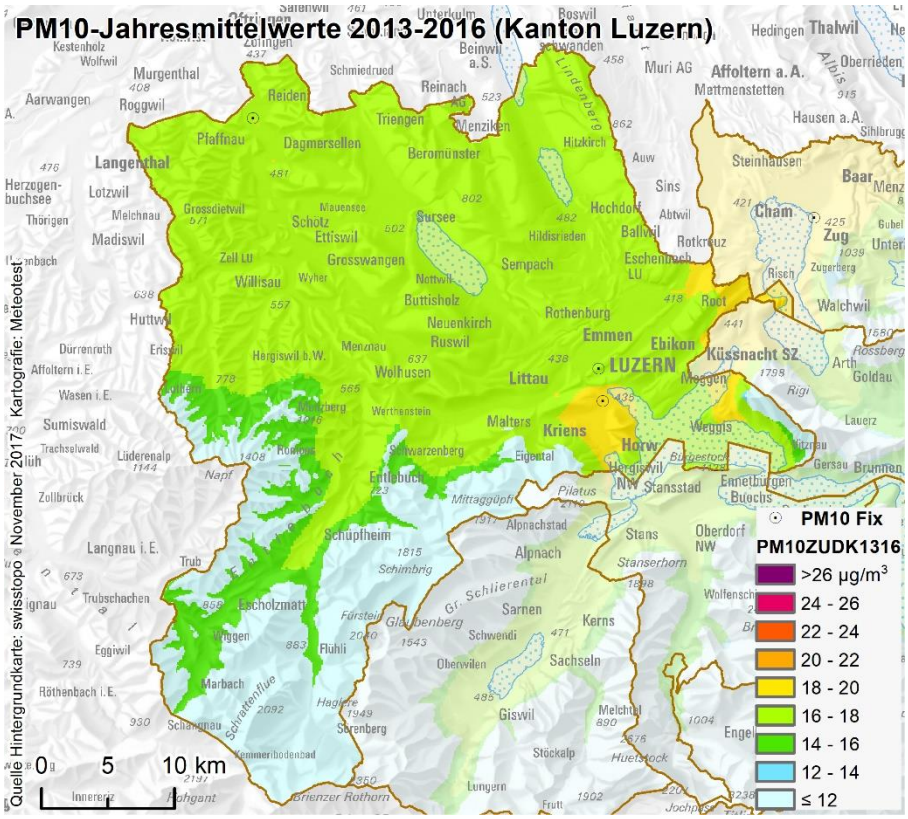


Abbildung 30: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Luzern).

Abbildung 31: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Nidwalden).

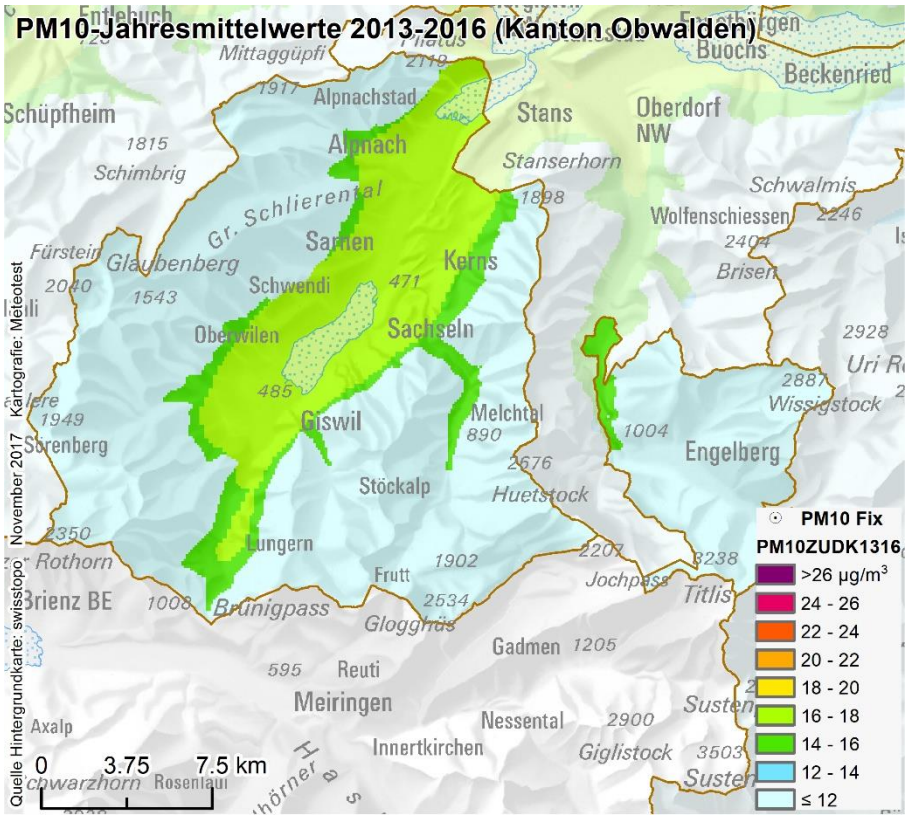


Abbildung 32: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Obwalden).

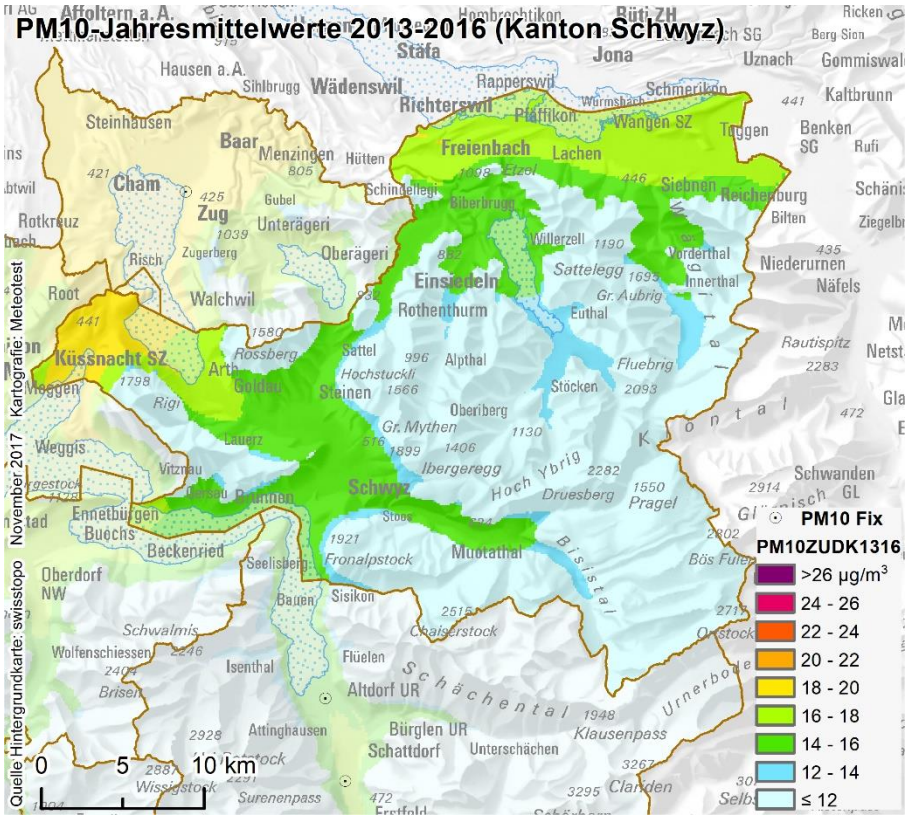


Abbildung 33: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Schwyz).

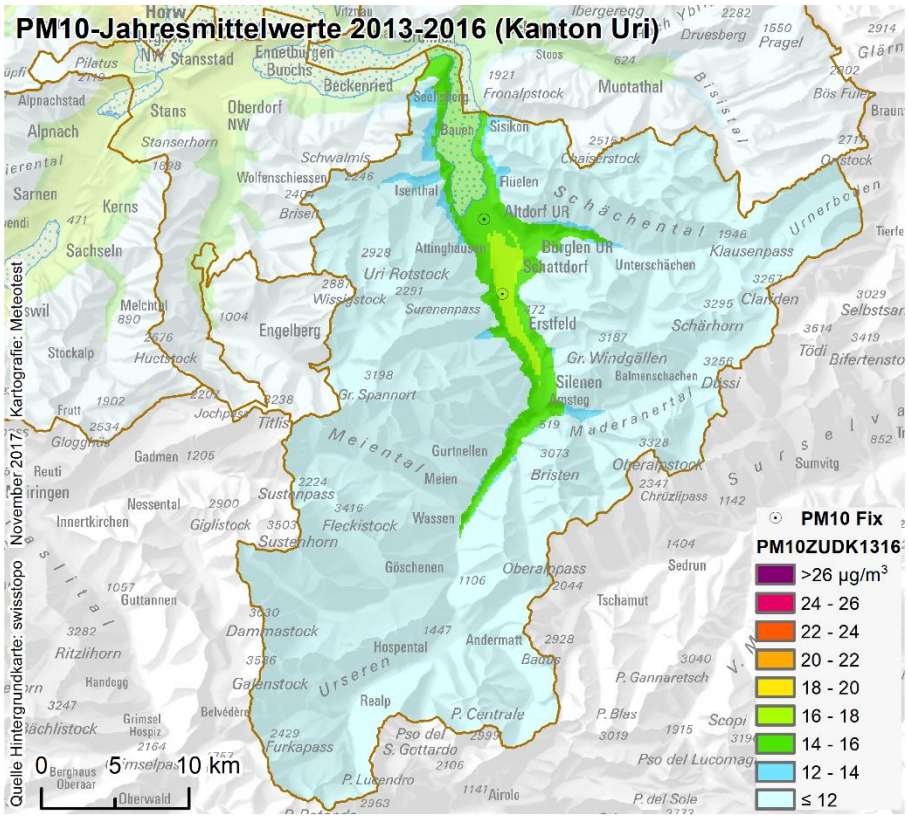


Abbildung 34: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Uri).

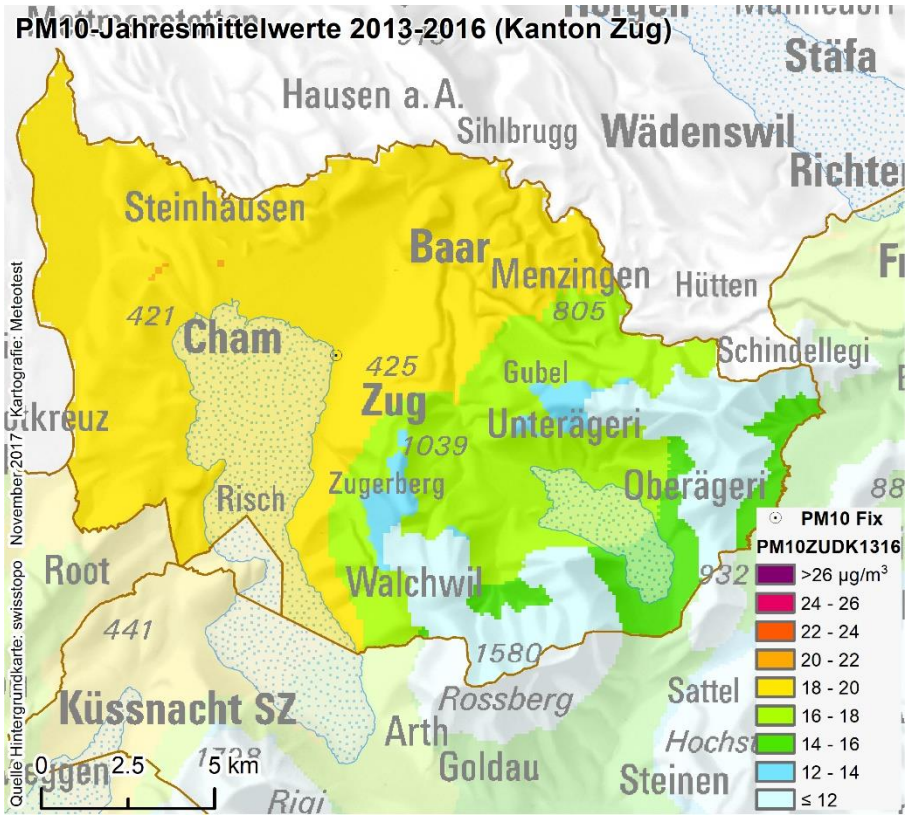


Abbildung 35: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Kanton Zug).

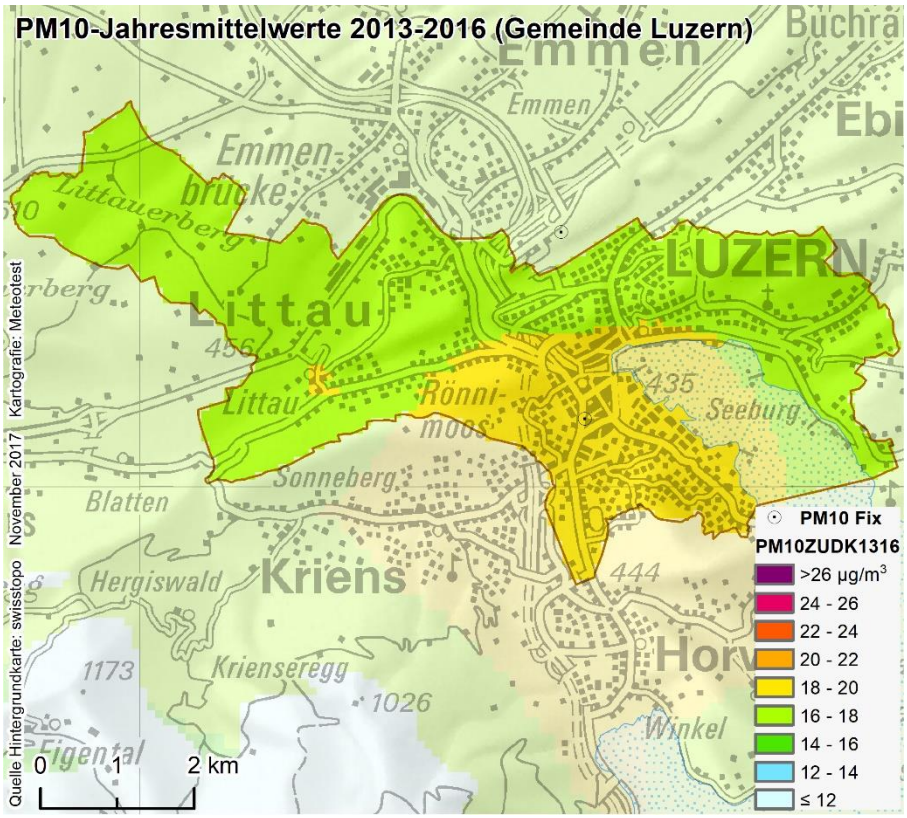


Abbildung 36: Karte der PM10-Immissionen 2013–2016 (Gemeinde Luzern).

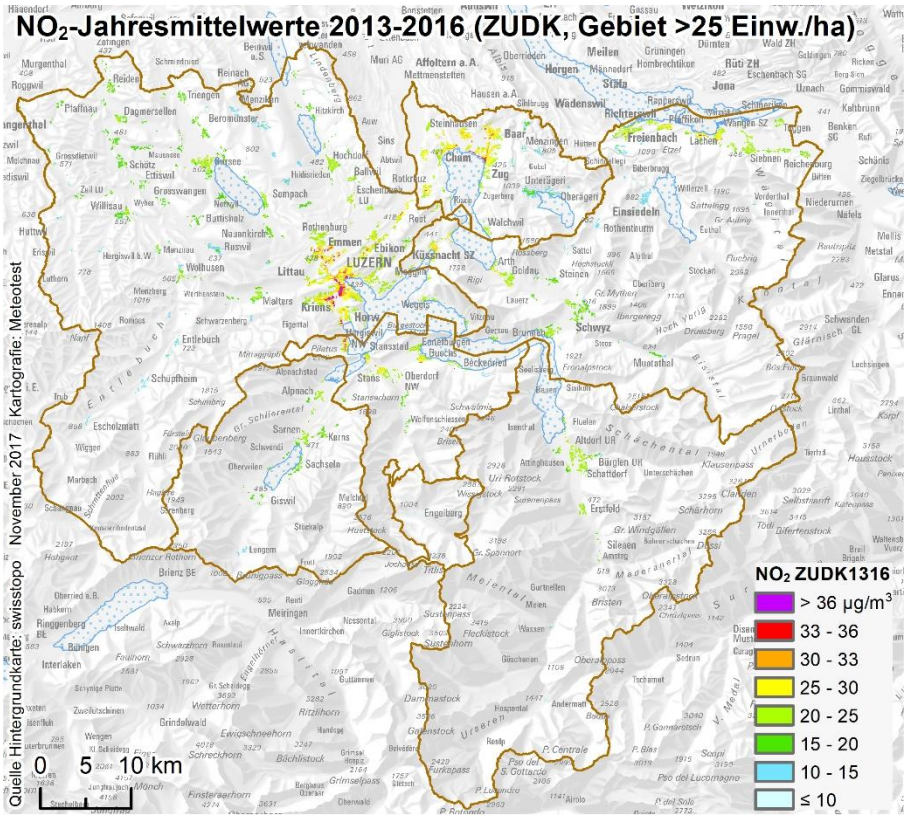


Abbildung 37: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Zentralschweiz, nur Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare gemäss Volkszählung 2016).

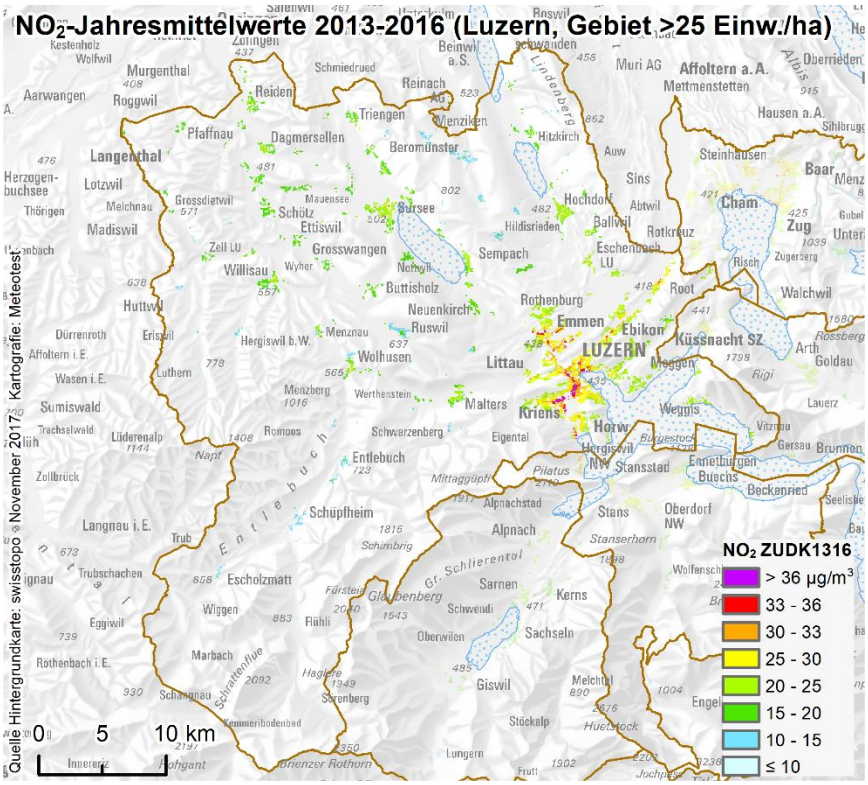


Abbildung 38: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Luzern, nur Flächen mit mehr als 25 Einw. pro ha gemäss Volkszählung 2016).

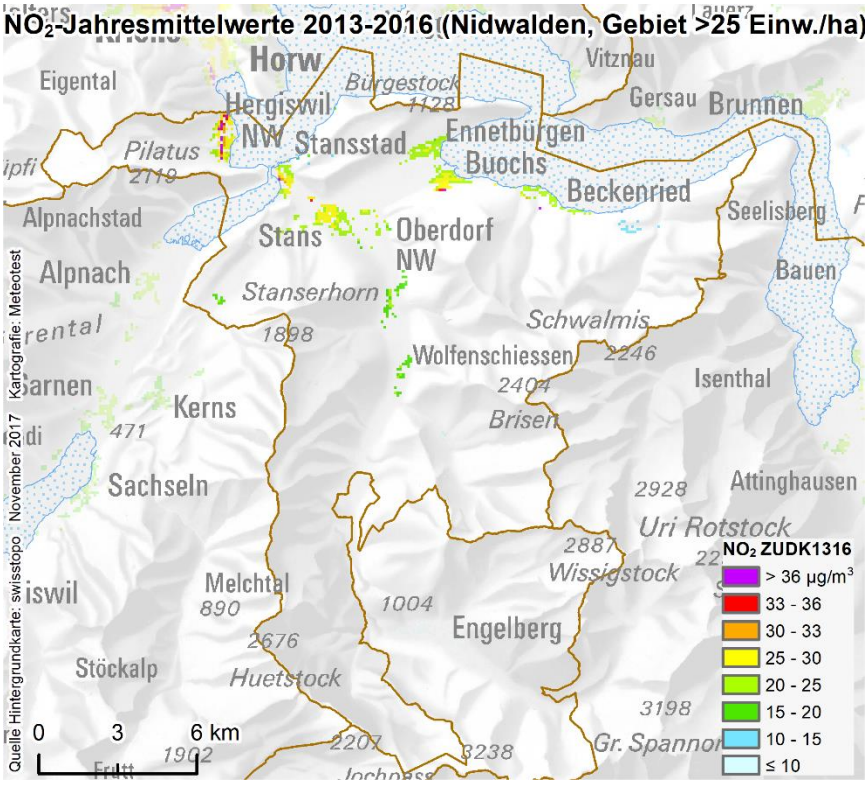


Abbildung 39: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Nidwalden, nur Flächen mit mehr als 25 Einw. pro ha gemäss Volkszählung 2016).

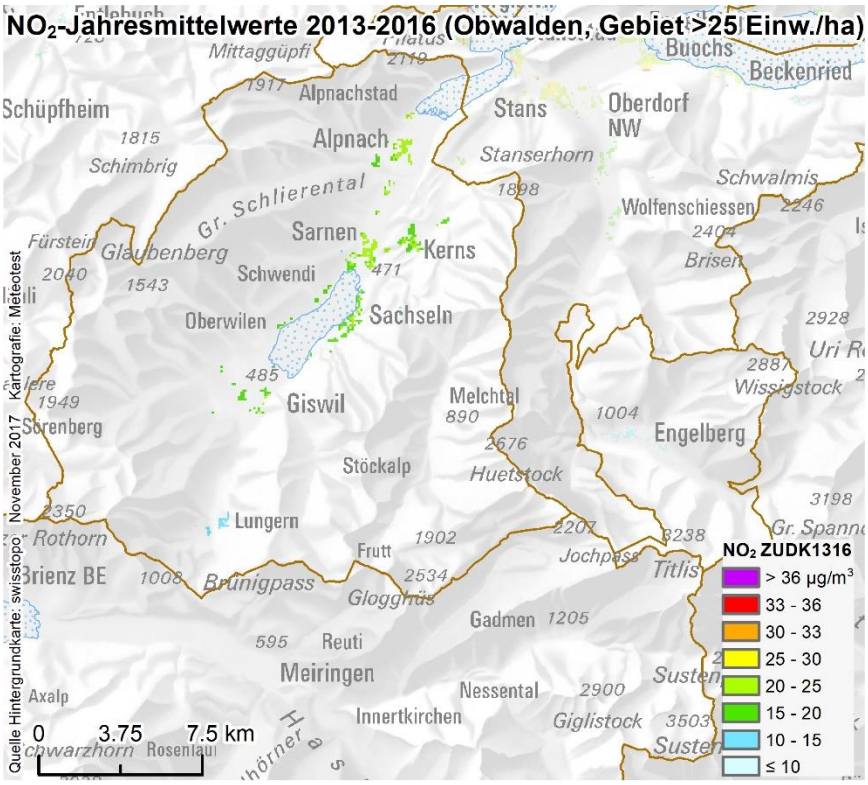


Abbildung 40: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Obwalden, nur Flächen mit mehr als 25 Einw. pro ha gemäss Volkszählung 2016).

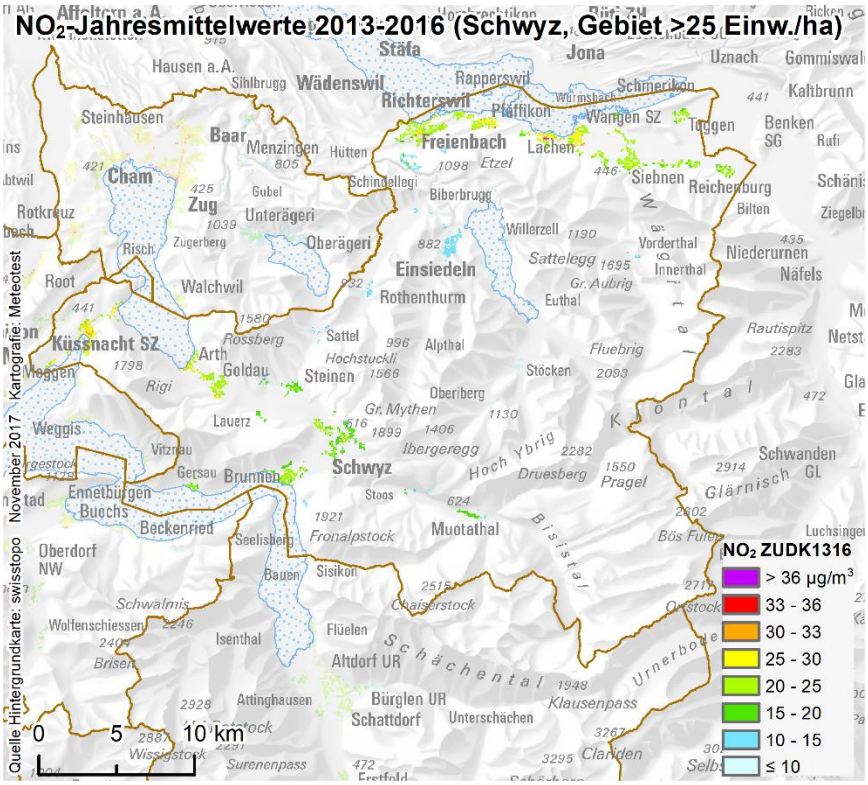


Abbildung 41: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Schwyz, nur Flächen mit mehr als 25 Einw. pro ha gemäss Volkszählung 2016).

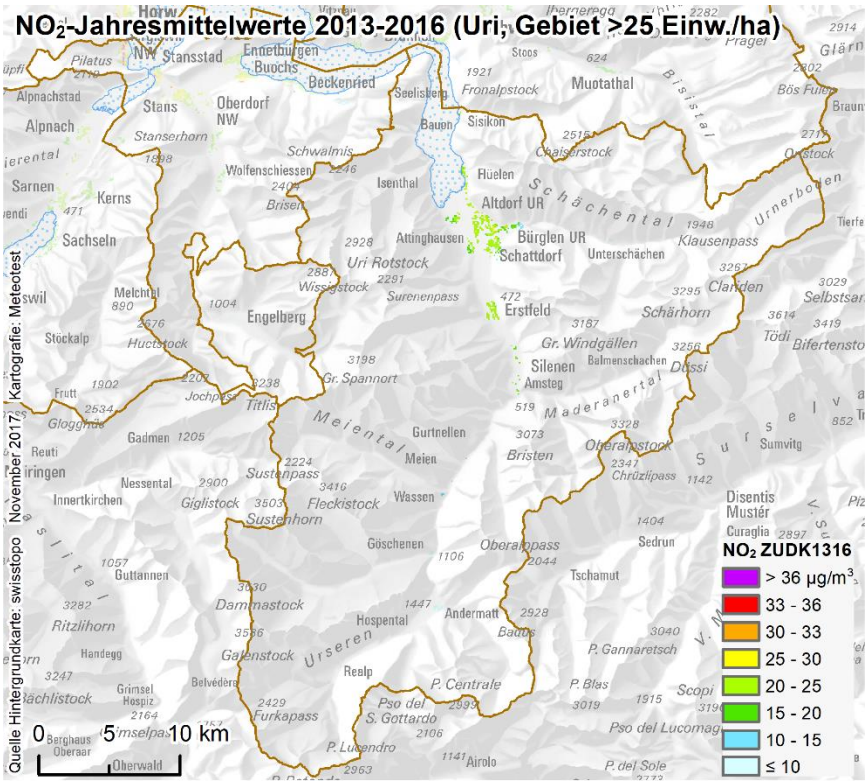


Abbildung 42: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Uri, nur Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro ha gemäss Volkszählung 2016).

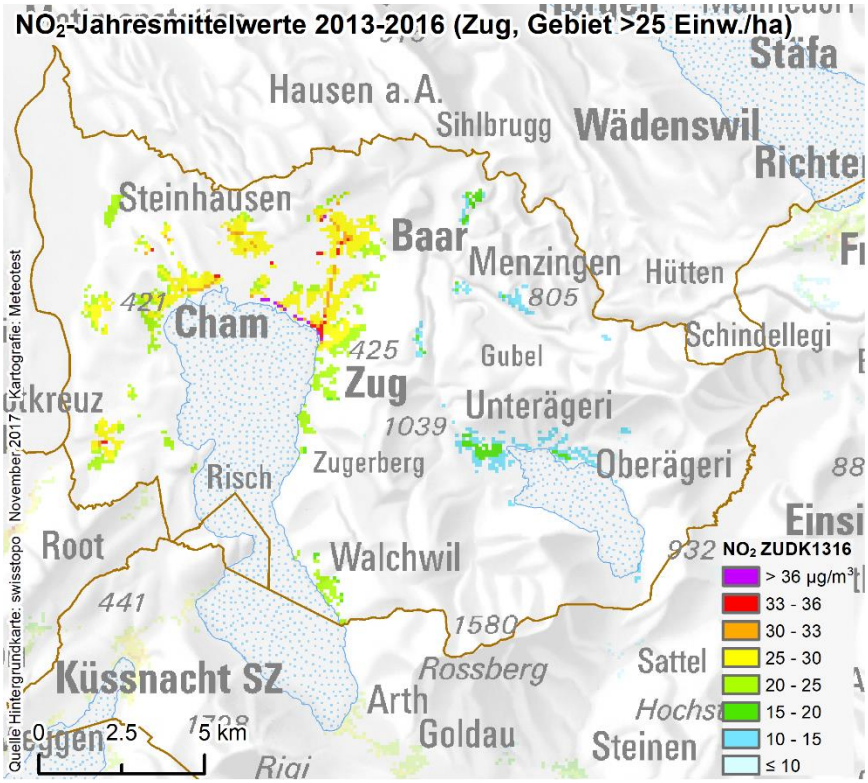


Abbildung 43: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Kanton Zug, nur Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro ha gemäss Volkszählung 2016).

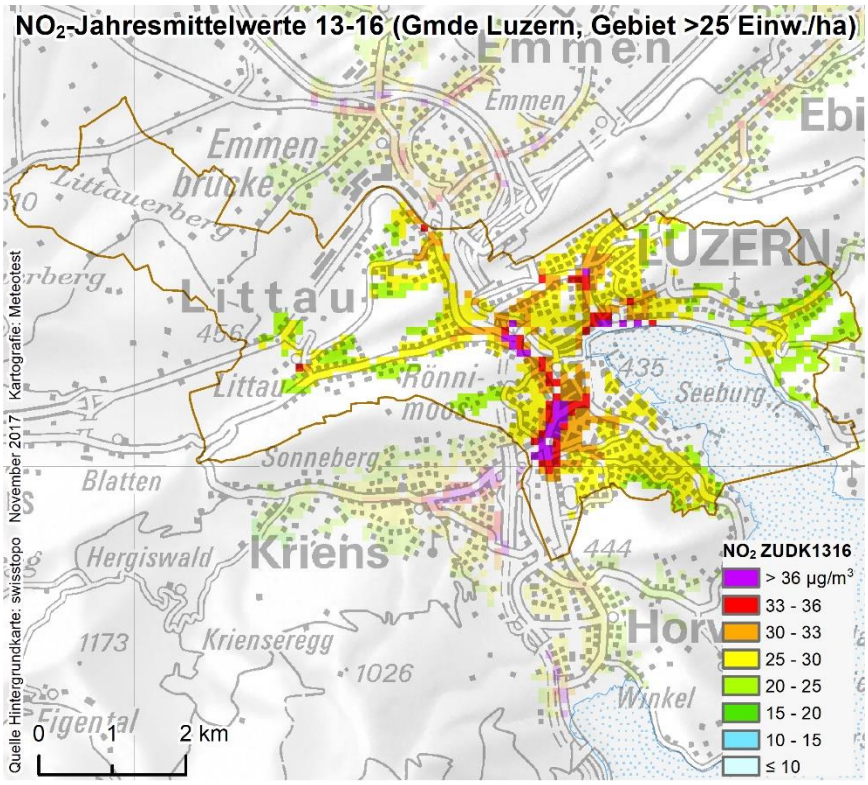


Abbildung 44: Karte der NO_2-Immissionen 2013–2016 (Gemeinde Luzern, nur Flächen mit mehr als 25 Einwohner pro Hektare gemäss Volkszählung 2016).

A Anhang

A.1 Modellkarten BAFU

Nachfolgend sind die Karten der Jahreswerte gemäss BAFU-Modellen für das Jahr 2010 dargestellt.

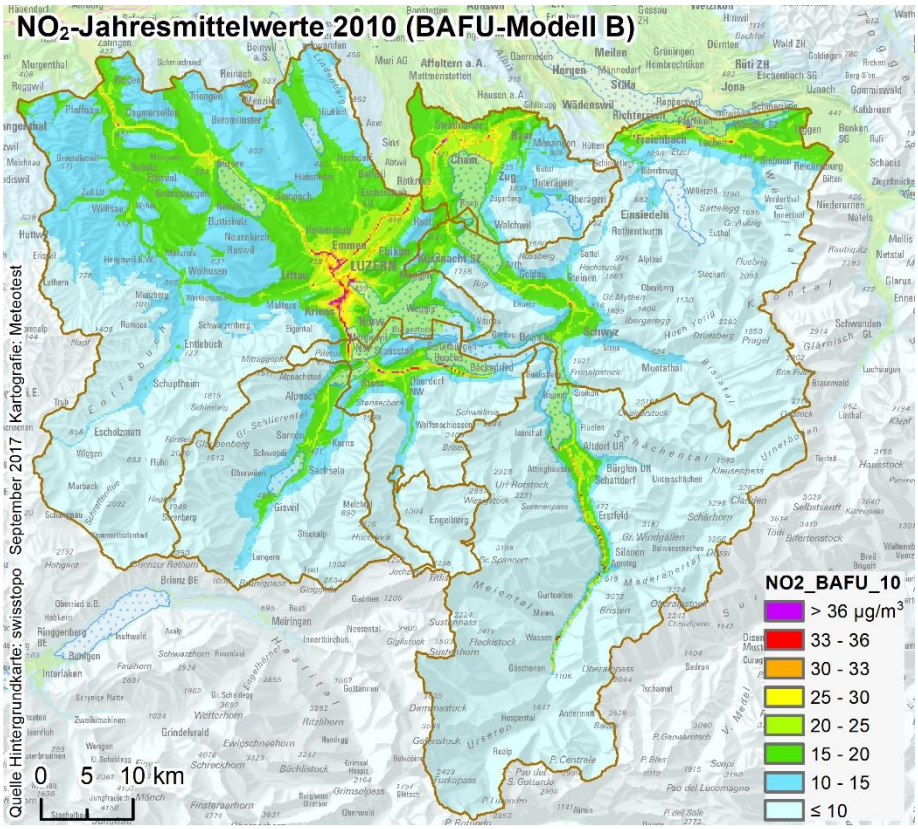


Abbildung 45: Karte der NO_2-Immissionen 2010 gemäss Datengrundlagen B.

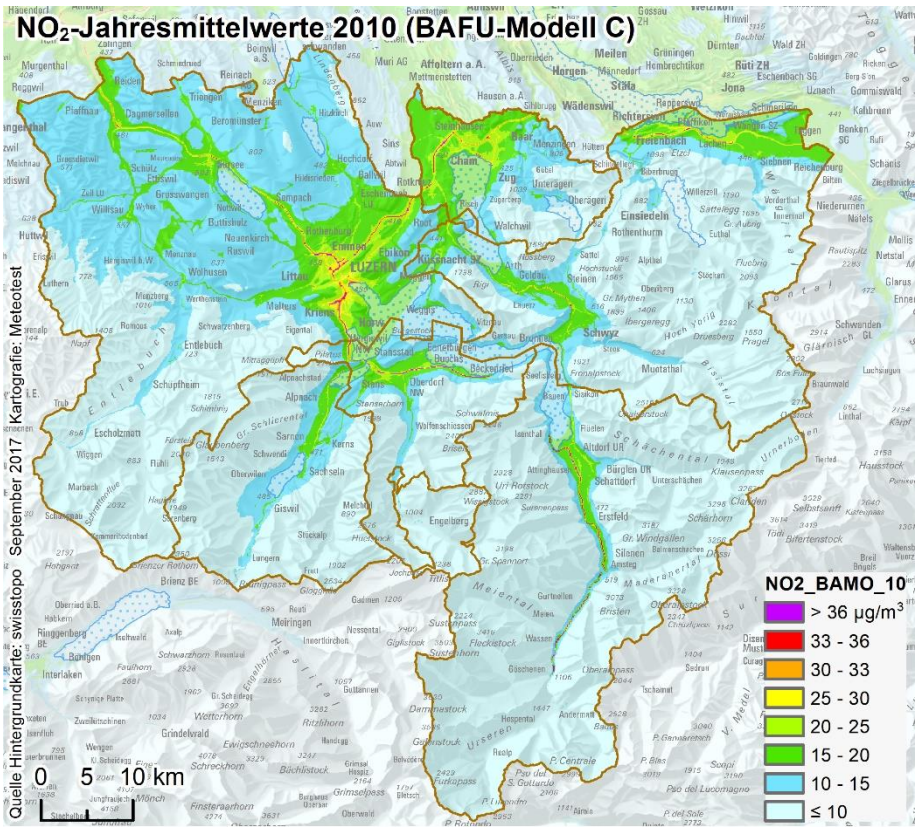


Abbildung 46: Karte der NO_2-Immissionen 2010 gemäss Datengrundlagen C.

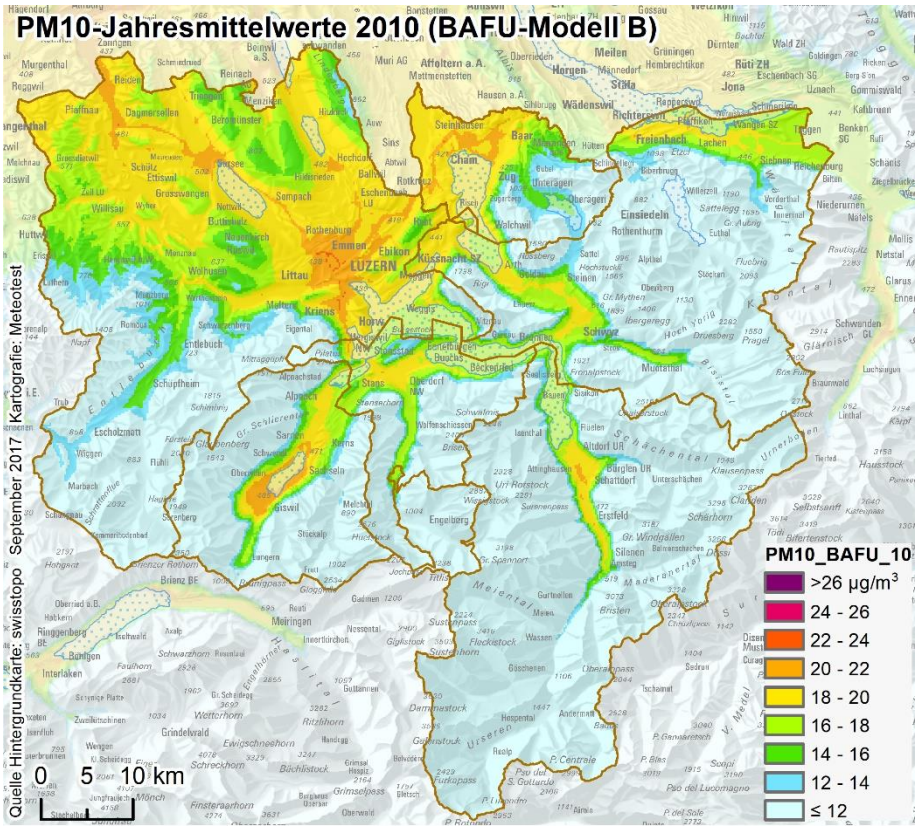


Abbildung 47: Karte der PM10-Immissionen 2010 gemäss Datengrundlagen B.

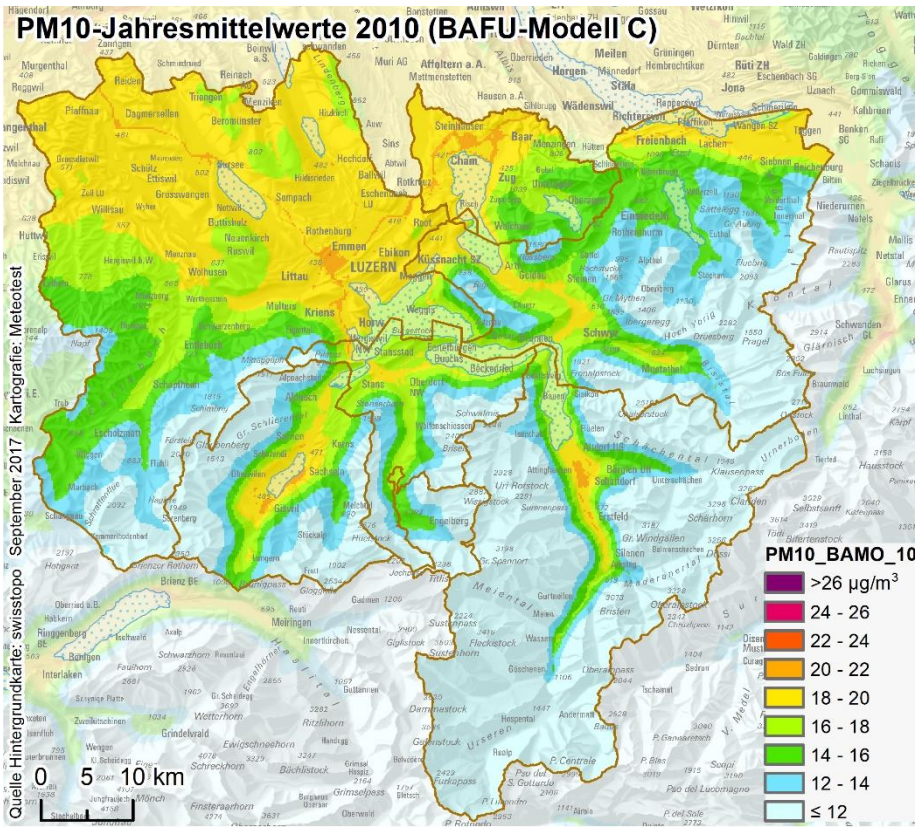


Abbildung 48: Karte der PM10-Immissionen 2010 gemäss Datengrundlagen C.

A.2 Unterschiede zwischen den Modellen ZUDK und BAFU (Karten Jahreswerte)

In Abbildung 17 und Abbildung 29 sind die NO_2- und PM10-Karten aus dem Modell ZUDK als Mittelwerte der Jahre 2013–2016 dargestellt. Nachfolgende Abbildung 49 und Abbildung 50 zeigen die mit dem Modell BAFU (Karten Jahreswerte) erstellen Karten als Mittelwerte der Jahre 2013–2016. Es ist erkennbar, dass das Niveau der Belastung in diesen Modellversionen tiefer liegt als beim Modell ZUDK, wodurch auch tiefere Werte der Bevölkerungsexposition resultieren.

Die Begründungen für die Unterschiede sind wie folgt:

- Das Modell ZUDK berechnet die Karten mit Regressionsmodellen auf Basis einer BAFU-Modellkarte (Details siehe Fussnote 2) und hat eine räumliche Auflösung von 100 m. Das Modell BAFU für die Karten der Jahreswerte verwendet hingegen Interpolationsverfahren und hat eine räumliche Auflösung von 200 m (Details siehe Fussnote 3). Eine geringere Auflösung führt durch die Ausmittelung über eine grössere Fläche (10'000 m^2 vs. 40'000 m^2) insbesondere beim NO_2, wo ein starker Gradient von der Quelle ins Umland zu beobachten ist, zu tieferen Immissionen. Entsprechend gross sind dann auch die Differenzen für die Bevölkerungsexposition.

- Im Modell BAFU werden hohe Messwerte im Vergleich zu den Messdaten eher unterschätzt (siehe Tabelle 10). Dies erscheint jedoch sinnvoll und realistisch, da Standorte mit sehr hohen Belastungen nicht repräsentativ sind für grössere Flächen (100 m * 100 m resp. 200 m * 200 m). Im Gegenzug kann der Messwert der Station Rigi in der Höhe vom BAFU-Modell deutlich besser abgebildet werden (vergl. dazu Abbildung 53 und Abbildung 54 sowie Tabelle 9 und Tabelle 10).

- Der Mittelwert der Differenzenkarten zwischen ZUDK- und BAFU-Versionen beträgt beim NO_2 rund 1 µg/m^3 und beim PM10 rund 3 µg/m^3.

Fazit des Vergleichs:

- Jeder Modellansatz hat seine Stärken und Schwächen und führt zu leicht unterschiedlichen Karten.

- Die Resultate der Bevölkerungsexposition müssen so interpretiert werden, dass diese in einem Unsicherheitsbereich der Inputdaten liegen.

- Die ZUDK-Karten sind vermutlich am oberen Bereich und die BAFU-Karten sind vermutlich eher im unteren Bereich der realen Exposition. Die effektive Bevölkerungsexposition liegt evtl. im mittleren Bereich der beiden Modelle.

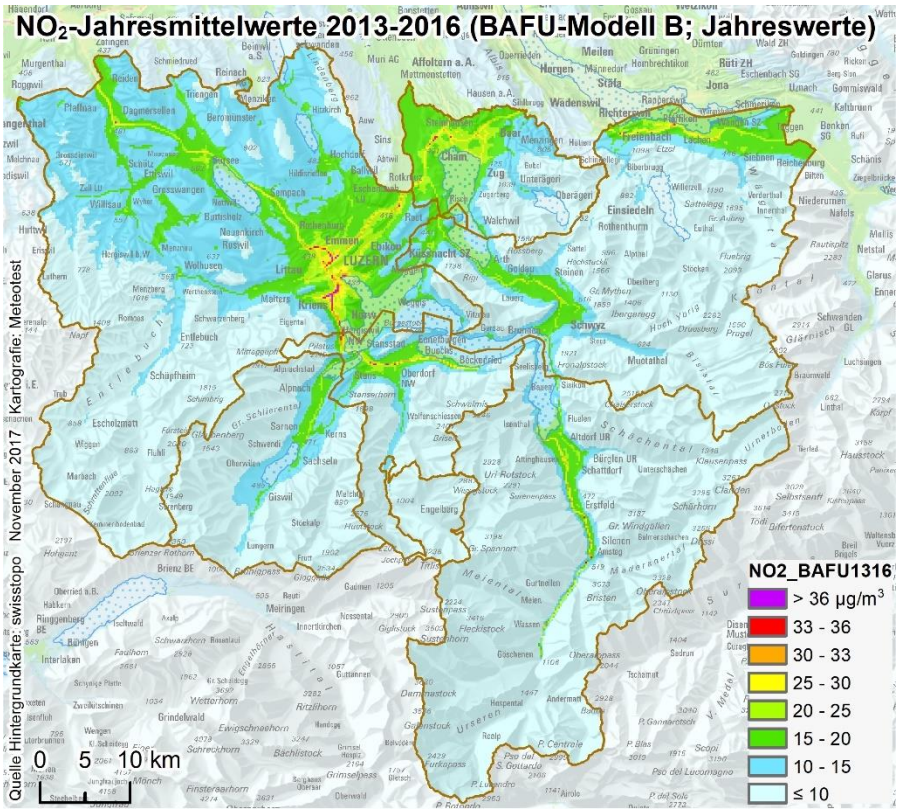


Abbildung 49: NO_2-Immissionen 2013–2016 (BAFU Karten Jahreswerte).

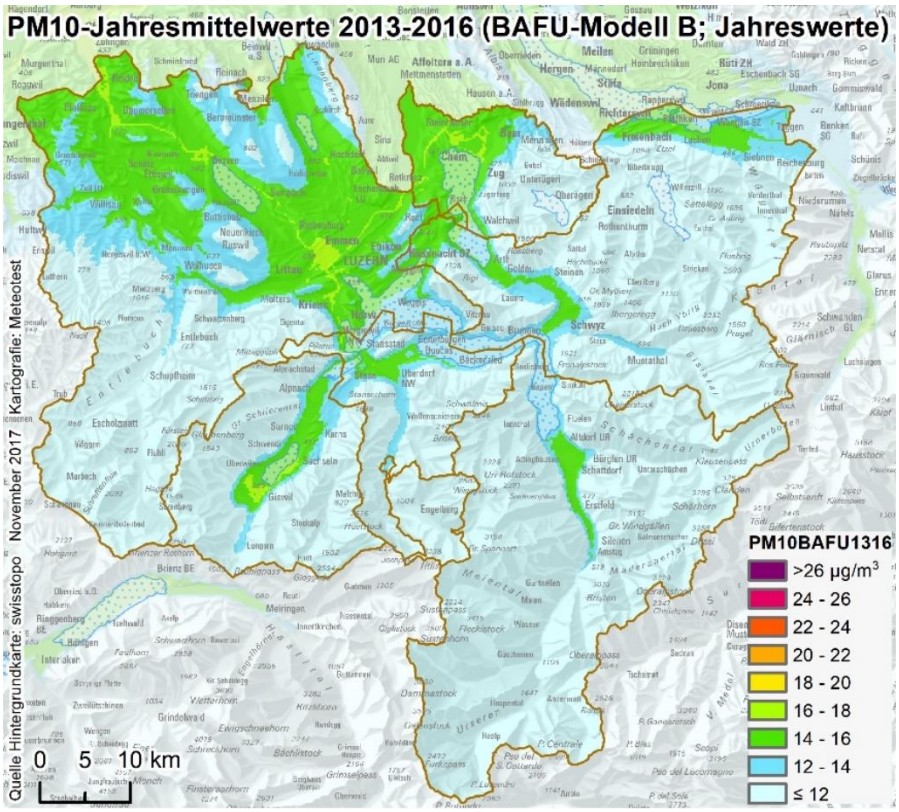


Abbildung 50: PM10-Immissionen 2013–2016 (BAFU Karten Jahreswerte).

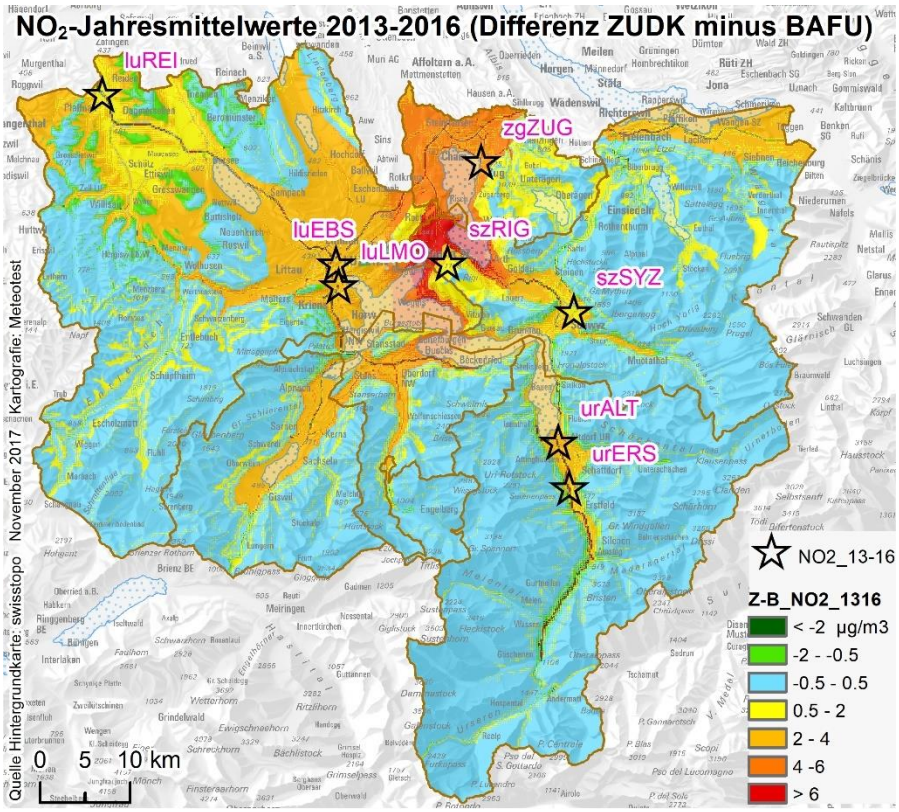


Abbildung 51: Differenzen der NO_2-Immissionen 13–16 (ZUDK minus BAFU).

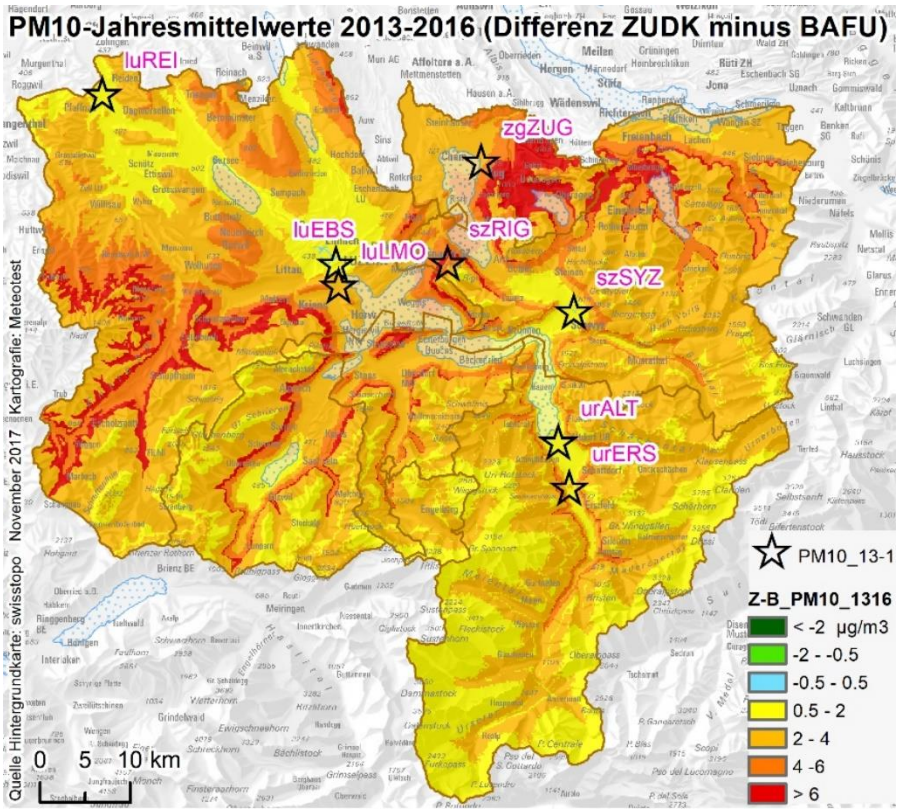
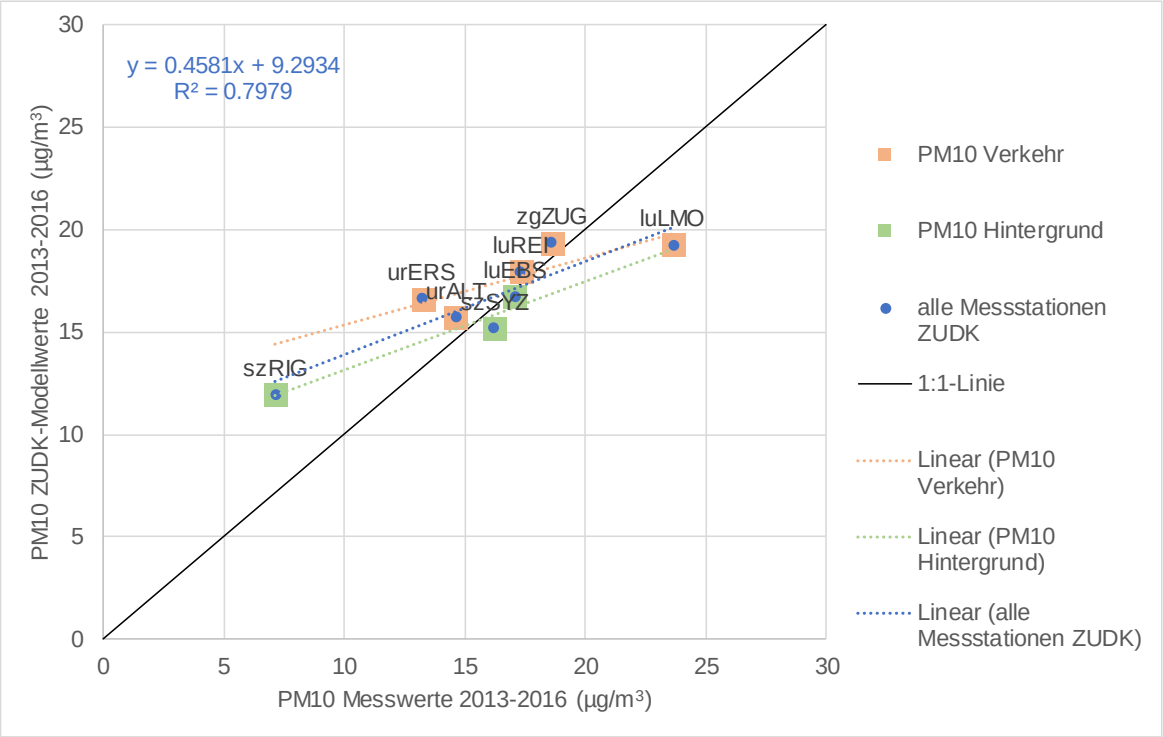


Abbildung 52: Differenzen der PM10-Immissionen 13–16 (ZUDK minus BAFU).

Die Vergleiche der Messdaten mit den Modellwerten sind nachfolgend für beide Modelle aufgezeigt. Dabei wurden nur Mittelwerte der Jahre 2013–2016 berücksichtigt.



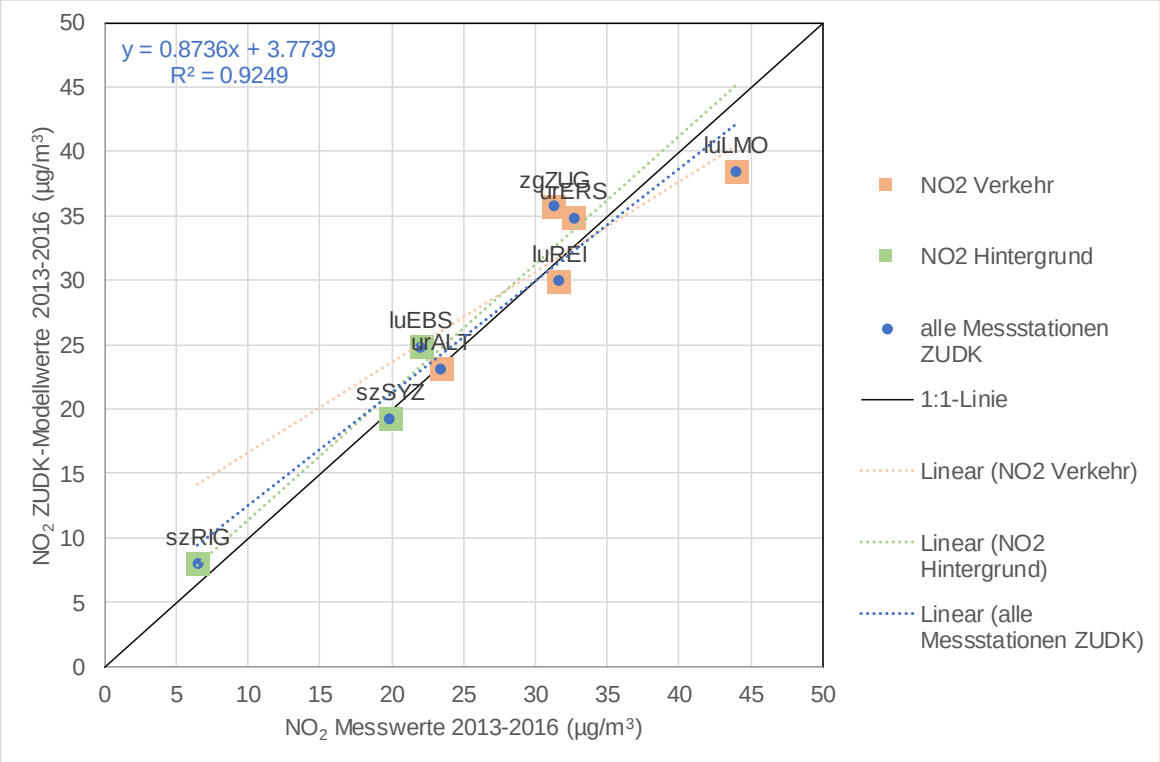
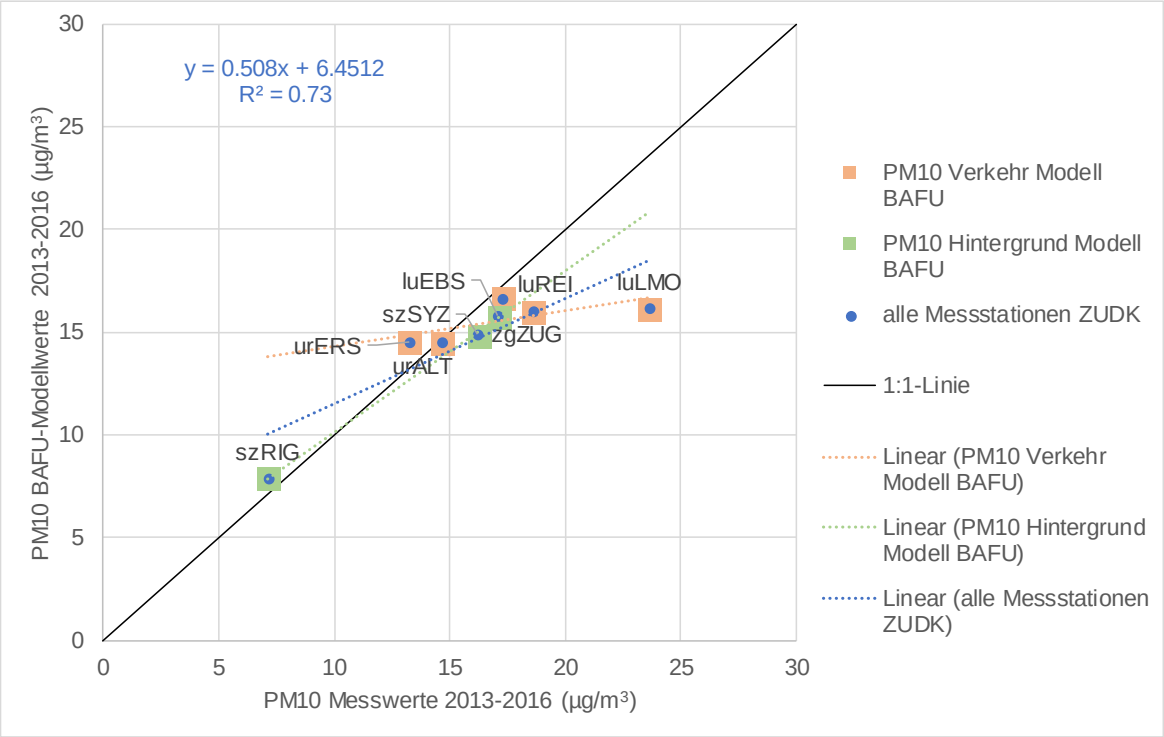


Abbildung 53: Vergleich **ZUDK-Modellwerte** mit Messwerten (Jahre 2013–2016; oben PM10, unten NO_2).



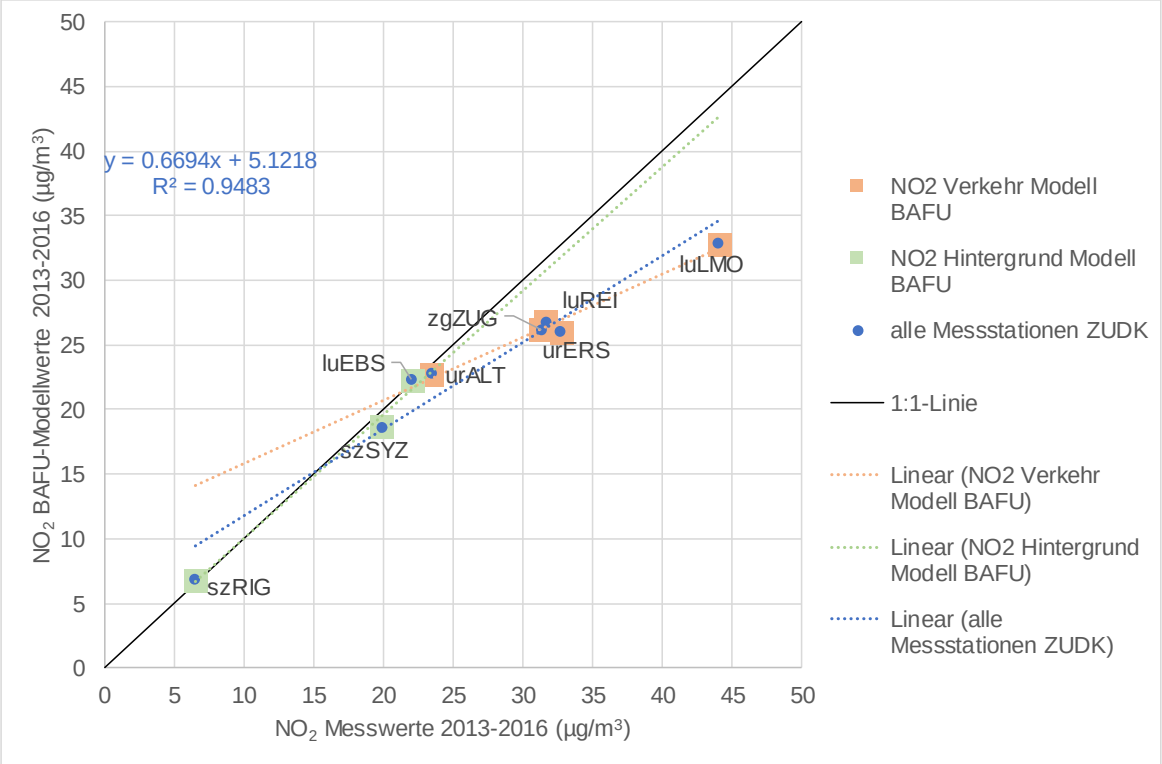


Abbildung 54: Vergleich **BAFU-Modellwerte** mit Messwerten (Jahre 2013–2016; oben PM10, unten NO_2).

Tabelle 9: Vergleich **ZUDK-Modellwerte** mit Messwerten (Jahre 2013–2016; oben PM10, unten NO_2).

Station	Code	Zonentyp	Stationstyp	PM10_ZUDK-Modell_13-16	PM10 Modell Verkehr	Modell Hintergrund	PM10_Mess-ung_13-16	Diff_Mo-Me
Ebikon-Sedel	luEBS	Vorstädtisch	Hintergrund	16.8		16.8	17.1	-0.3
Luzern-Moosstrasse	luLMO	Städtisch	Verkehr	19.3	19.3		23.6	-4.4
Reiden-A2	luREI	Ländlich	Verkehr	18.0	18.0		17.3	0.7
Rigi-Seebodenalp	szRIG	Ländlich	Hintergrund	11.9		11.9	7.1	4.8
Schwyz	szSYZ	Vorstädtisch	Hintergrund	15.2		15.2	16.2	-1.0
Altdorf	urALT	Ländlich	Verkehr	15.7	15.7		14.6	1.1
Erstfeld-A2	urERS	Ländlich	Verkehr	16.7	16.7		13.2	3.4
Zug	zgZUG	Städtisch	Verkehr	19.4	19.4		18.6	0.8
						Mittelwert alle	ZUDK	0.6
						Mittelwert Verkehr	ZUDK	0.3
						Mittelwert Hintergrund	ZUDK	1.2
Station	Code	Zonentyp	Stationstyp	NO2_ZUDK-Modell_13-16	NO_2 Modell Verkehr	NO_2 Modell Hintergrund	NO_2_Mess-ung_13-16	Diff_Mo-Me
Ebikon-Sedel	luEBS	Vorstädtisch	Hintergrund	24.9		24.9	22.0	2.9
Luzern-Moosstrasse	luLMO	Städtisch	Verkehr	38.5	38.5		44.0	-5.5
Reiden-A2	luREI	Ländlich	Verkehr	30.0	30.0		31.6	-1.6
Rigi-Seebodenalp	szRIG	Ländlich	Hintergrund	8.1		8.1	6.5	1.6
Schwyz	szSYZ	Vorstädtisch	Hintergrund	19.3		19.3	19.8	-0.5
Altdorf	urALT	Ländlich	Verkehr	23.2	23.2		23.4	-0.2
Erstfeld-A2	urERS	Ländlich	Verkehr	34.9	34.9		32.7	2.3
Zug	zgZUG	Städtisch	Verkehr	35.8	35.8		31.3	4.5
						Mittelwert alle	ZUDK	0.4
						Mittelwert Verkehr	ZUDK	-0.1
						Mittelwert Hintergrund	ZUDK	1.3

Tabelle 10: Vergleich **BAFU-Modellwerte** mit Messwerten (Jahre 2013–2016; oben PM10, unten NO_2).

Station	Code	Zonentyp	Stationstyp	PM10_BAFU-Modell_13-16	Modell Verkehr	Modell Hintergrund	PM10_Mess-ung_13-16	Diff_Mo-Me
Ebikon-Sedel	luEBS	Vorstädtisch	Hintergrund	15.8		15.8	17.1	-1.3
Luzern-Moosstrasse	luLMO	Städtisch	Verkehr	16.2	16.2		23.6	-7.5
Reiden-A2	luREI	Ländlich	Verkehr	16.7	16.7		17.3	-0.6
Rigi-Seebodenalp	szRIG	Ländlich	Hintergrund	7.9		7.9	7.1	0.8
Schwyz	szSYZ	Vortädtisch	Hintergrund	14.9		14.9	16.2	-1.3
Altdorf	urALT	Ländlich	Verkehr	14.5	14.5		14.6	-0.1
Erstfeld-A2	urERS	Ländlich	Verkehr	14.6	14.6		13.2	1.3
Zug	zgZUG	Städtisch	Verkehr	16.0	16.0		18.6	-2.5
						Mittelwert alle	BAFU	-1.4
						Mittelwert Verkehr	BAFU	-1.9
						Mittelwert Hintergrund	BAFU	-0.6
Station	Code	Zonentyp	Stationstyp	NO_2_BAFU-Modell_13-16	NO_2 Modell Verkehr	NO_2 Modell Hintergrund	NO_2_Mess-ung_13-16	Diff_Mo-Me
Ebikon-Sedel	luEBS	Vorstädtisch	Hintergrund	22.3		22.3	22.0	0.3
Luzern-Moosstrasse	luLMO	Städtisch	Verkehr	32.8	32.8		44.0	-11.2
Reiden-A2	luREI	Ländlich	Verkehr	26.8	26.8		31.6	-4.8
Rigi-Seebodenalp	szRIG	Ländlich	Hintergrund	6.8		6.8	6.5	0.4
Schwyz	szSYZ	Vorstädtisch	Hintergrund	18.7		18.7	19.8	-1.2
Altdorf	urALT	Ländlich	Verkehr	22.8	22.8		23.4	-0.6
Erstfeld-A2	urERS	Ländlich	Verkehr	26.0	26.0		32.7	-6.7
Zug	zgZUG	Städtisch	Verkehr	26.2	26.2		31.3	-5.1
						Mittelwert alle	BAFU	-3.6
						Mittelwert Verkehr	BAFU	-5.7
						Mittelwert Hintergrund	BAFU	-0.2

A.3 Sensitivitätsberechnung zu Einwohnerdaten

Aus Datenschutzgründen werden in den GEOSTAT-Datensätzen des BFS pro Hektaren mindestens drei Einwohner angegeben, obwohl es in Realität evtl. auch nur eine oder zwei Personen sind. Nachfolgend sind Resultate von Sensitivitätsberechnungen erläutert. Von Seiten des Auftraggebers wurde angeregt, die Grösse der Auswirkungen zu testen. Es wurde vermutet, dass v.a. in ländlich geprägten Kantonen dadurch Verzerrungen im Resultat auftreten könnten. Es wurden daher analoge Berechnungen wie in Abbildung 1 und Abbildung 2 durchgeführt, aber unter der Annahme, dass auf den Hektaren nur eine statt drei Personen registriert sind. Tabelle 11 zeigt die Anzahl Hektaren pro Kanton mit solchen Hektaren (im GEOSTAT-Datensatz mindestens drei Einwohner) sowie die prozentualen Differenzen. Die Differenz der Einwohner zeigt an, wie viel weniger Einwohner in die Berechnungen einflossen (weil nun EW= 1 statt EW= 3). Das Resultat der Sensitivitätsberechnung zeigt, dass die Unterschiede vernachlässigbar sind und im Rahmen der anderen Untersicherheiten keine Bedeutung haben. Die Unterschiede wurden für die einzelnen Kantone nicht berechnet. Er kann angenommen werden, dass die Unterschiede in der gleichen bedeutungslosen Grössenordnung liegen.

Tabelle 11: Anzahl Hektaren mit 3 Einwohnern pro Kanton, Differenz Einwohner sowie prozentualer Unterschied der bevölkerungsgewichteten Mittelwerte von NO_2 und PM10 in der Zentralschweiz.

Jahr	Gebiet	Anz. ha ≤ 3	Differenz Einwohner	ZUDK NO_2_Bev.exp. Unterschied	ZUDK PM10_Bev.exp. Unterschied
2013	ZUDK	7879	15751	0.7%	0.2%
2013	LU	3980	7957		
2013	OW	708	1416		
2013	NW	369	738		
2013	SZ	1731	3461		
2013	UR	566	1129		
2013	ZG	525	1050		
2013	Gmde LU	77	154		
2014	ZUDK	7927	15850	0.8%	0.2%
2014	LU	4002	8003		
2014	OW	697	1394		
2014	NW	385	770		
2014	SZ	1747	3493		
2014	UR	580	1158		
2014	ZG	516	1032		
2014	Gmde LU	78	156		
2015	ZUDK	8001	15993	0.7%	0.2%
2015	LU	4069	8133		
2015	OW	677	1354		
2015	NW	375	750		
2015	SZ	1767	3533		
2015	UR	582	1161		
2015	ZG	531	1062		
2015	Gmde LU	79	158		
2016	ZUDK	8062	16113	0.7%	0.2%
2016	LU	4116	8226		
2016	OW	687	1374		
2016	NW	377	754		
2016	SZ	1772	3542		
2016	UR	579	1155		
2016	ZG	531	1062		
2016	Gmde LU	84	168		