

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Immissionen Schweiz und Liechtenstein

Modellresultate NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} für 2015, 2020, 2030

Schlussbericht zu den Resultaten
Zürich, 15. Dezember 2020

J. Heldstab, B. Schächli, INFRAS
T. Künzle, Meteotest

Impressum

Immissionen Schweiz und Liechtenstein

Modellresultate NO₂, PM10, PM2.5 für 2015, 2020, 2030

Schlussbericht zu den Resultaten

Zürich, 15. Dezember 2020

PolluMap-Resultate-Bericht-final.docx

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)

Projektoberleitung

R. Ballaman, B. Müller, R. Weber, BAFU

A. von Känel, Lufthygieneamt beider Basel (LHA)

V. Delb, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich (AWEL)

Autorinnen und Autoren

J. Heldstab, B. Schächli, INFRAS

T. Künzle, Meteotest

INFRAS, Binzstrasse 23, 8045 Zürich

Tel. +41 44 205 95 95

Meteotest, Fabrikstrasse 14, 3012 Bern

Tel. +41 31 307 26 26

Begleitgruppe

G.-M. Alt (AWEL ZH), P. Kunz (SABRA GE), H. Loretan (AfU AG), N. Joos (AfU UR), M. Steiger (SPAAS TI), C. Todaro (LHA BS/BL)

Hinweis

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhalt

Motivation	5
1. Immissionsmodellierung mit PolluMap	7
1.1. Entwicklung von PolluMap und bisherige Anwendungen	7
1.2. Aktualisierungen und Modellerweiterungen 2020	7
2. Emissionen 2015, 2020 und 2030	8
3. Modellkonzept PolluMap	11
4. Immissionskarten NO₂ 2015, 2020 und 2030	12
4.1. Schweiz und Liechtenstein	12
4.2. Ausschnitte nach Regionen	17
5. Immissionskarten PM₁₀ 2015, 2020 und 2030	25
5.1. Schweiz und Liechtenstein	25
5.2. Ausschnitte nach Regionen	31
6. Immissionskarten PM_{2.5} 2015, 2020 und 2030	39
6.1. Schweiz und Liechtenstein	39
6.2. Ausschnitte nach Regionen	44
7. Bevölkerungsexpositionen	52
7.1. Methode	52
7.2. Resultate für die Schweiz	52
7.3. Resultate für Liechtenstein	56
7.4. Bevölkerungsgewichtete Anteile für PM ₁₀	57
Annex	59
Abbildungsverzeichnis	60
Tabellenverzeichnis	61

Glossar _____ **62**

Literatur _____ **63**

Motivation

An der Jubiläums-Tagung für das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) am 18. Januar 2018 zitierte Prof. N. Künzli, Präsident der Eidgenössische Kommission für Lufthygiene, Forscher beim Schweizerischen Tropen- und Public Health-Institut Basel mehrere wissenschaftlichen Untersuchungen, um auf die gravierenden Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die menschliche Gesundheit hinzuweisen. Demnach ist die Umweltverschmutzung weltweit die wichtigste Ursache für vorzeitige Todesfälle und nicht übertragbare Krankheiten, und davon gehen 50 % zu Lasten der Luftverschmutzung (Landrigan et al. 2017, WHO 2018). Die Dokumentationsstelle Luft und Gesundheit – LUDOK informiert regelmässig über neue wissenschaftliche Ergebnisse über die Auswirkungen der Luftverschmutzung (LUDOK 2020).

Das BAFU, das nach dem Bundesgesetz über den Umweltschutz zur Information über den Umweltzustand verpflichtet ist (Art. 10e USG¹), publiziert seit Ende der 1990er Jahre Immissionskarten von relevanten Luftschadstoffen, die mithilfe des Modells PolluMap erstellt werden. Das Modell wurde in Etappen weiterentwickelt, die letzten Aktualisierungen fanden vor knapp zehn Jahren statt. Inzwischen konnten die Emissionen dieser Schadstoffe dank Luftreinhalte-massnahmen des Bundes, der Kantone und Städte sowie auch der Nachbarstaaten reduziert werden. Die Methoden zur Bestimmung der Emissionen wurden in den letzten Jahren ebenfalls verfeinert. Das BAFU verfügt inzwischen über hochaufgelöste Emissionskataster (Meteotest 2020), die eine entsprechend höher aufgelöste Kartografie der Immissionen gestatten. Diese ist notwendig, um Orte identifizieren zu können, an denen die Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung überschritten sind. Deshalb drängte sich nicht nur eine Aktualisierung des Immissionsmodells auf, sondern auch eine Verfeinerung dessen Methoden. Höhere räumliche Auflösung, bessere Berücksichtigung der komplexen, schweizerischen Topografie und präzisere Modellierung der sekundären Feinstaubanteile durch EMEP (das europäischen Monitoring und Evaluationsprogramm unter der UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution) waren Anforderungen des BAFU, um das PolluMap-Modell zu verfeinern und bezüglich der Emissionsdaten zu aktualisieren sowie weitere Prognosejahre zu integrieren. Ausserdem sollte in der neuen PolluMap-Applikation erstmals auch das Fürstentum Liechtenstein in den Untersuchungsperimeter integriert werden. Die Entwicklerin des PolluMap, die Arbeitsgemeinschaft INFRAS/Meteotest, hat die nötigen Arbeitsschritte ausgeführt. Die modelltechnischen Neuerungen sind in einem Bericht ausführlich dokumentiert (INFRAS 2020), im vorliegenden Bericht sind die neuen Resultate zusammengefasst: Immissionskarten für Stickstoffdioxid (NO₂), für die beiden Feinstaubfraktionen PM₁₀ und PM_{2.5} sowie Kennziffern zur Bevölkerungsexposition. Diese Karten sind für den Vergleich mit den Langzeit-Immissionsgrenzwerten

¹ Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG) vom 7. Oktober 1983 (Stand am 1. Juli 2020). SR 814.01

der Luftreinhalte-Verordnung (Schweiz: Anh. 7, LRV², Liechtenstein: Anh. 6 LRV³) geeignet. Die Immissionskarten werden in Kürze auf einer Webseite des BAFU⁴ publiziert, denn die Erkennbarkeit in der vorliegenden Raumauflösung (ca. 100 Mio. Rasterzellen) ist in einem Papierdokument für die gesamte Schweiz nicht mehr möglich.

Die Arbeiten an den Emissionskatastern und am Immissionsmodell begannen 2018. Als Datenstand der Emissionen für die Bezugsjahre 2015, 2020 und 2030 wurde April 2019 festgelegt. Das war noch fast ein Jahr vor Ausbruch der Corona-Pandemie in der Schweiz. Die gesellschaftlichen und volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Lockdowns im Frühling 2020 haben Emissionsreduktionen einzelner Quellen zur Folge, die sich möglicherweise in den jahresmittleren Immissionen 2020 niederschlagen werden. In welchem Ausmass ist zurzeit noch unbekannt. Ob und in welcher Art auch die Ergebnisse 2030 noch betroffen sind, lässt sich heute ebenso wenig abschätzen. Die Modellergebnisse für das Jahr 2020 sowohl für die Emissionen als auch für die Immissionen, wie sie im vorliegenden Bericht dargestellt sind, müssen deshalb als eher zu hohe Werte betrachtet werden. Eine Quantifizierung dürfte frühestens im Jahr 2022 möglich werden. Aus Immissionsmessungen während des Lockdowns und im Vergleich mit den Messungen im Vorjahr hat das BAFU den vorläufigen Schluss gezogen, dass beim Stickstoffdioxid, dessen grösste Quelle der Verkehr ist, sich «das verminderte Verkehrsaufkommen auch in einer besseren Luftqualität insbesondere an strassennahen Standorten manifestiert»; hingegen «hat die Belastung von Feinstaub, zu der viele Emissionsquellen lokal und grossräumig beitragen, kaum abgenommen» (zitiert von der BAFU-Website⁵).

Die PolluMap-Arbeiten wurden von einer Projektoberleitung gesteuert, und eine Gruppe mit Vertretern der kantonalen Luftreinhalte-Fachstellen begleitete die fachlichen Schritte.

² Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 (Stand am 1. April 2020). SR 814.318.142.1

³ Luftreinhalteverordnung (LRV) vom 30. September 2008 (Stand am 1.12.2015), 814.301.1

⁴ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--modelle-und-szenarien.html>

⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/fachinformationen/luftqualitaet-in-der-schweiz/corona-massnahmen.html> [05.09.2020]

1. Immissionsmodellierung mit PolluMap

1.1. Entwicklung von PolluMap und bisherige Anwendungen

In den Jahren 1996 bis 1999 entwickelte die Arbeitsgemeinschaft INFRAS / Meteotest im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (damals Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL/SAEFL) ein einfaches Immissionsmodell unter dem Namen PolluMap. 1997 wurden erstmals Ergebnisse für NO₂-Immissionen publiziert (BUWAL 1997), zwei Jahre später folgten Ergebnisse für die PM10-Immissionen (BUWAL 1999). Während die Ausbreitungsrechnung für NO₂ noch mit empirischen Profilkfunktionen erfolgt war, wurden die PM10-Immissionen bereits anspruchsvoller mit einem Gaussmodell modelliert.

Sechs Jahre später wurden die Immissionsresultate aktualisiert (NO₂, dokumentiert in SAEFL 2003 und PM10, PM2.5 in SAEFL 2004). Im PM10-Modell wurden damals die Emissionen nach feiner (PM2.5) und grober Fraktion (PM10-PM2.5) unterteilt, sodass auch die PM2.5-Immissionen separat modelliert werden konnten. Die letzte Applikation auf Stufe Bund stammt aus den Jahren 2011 für NO₂ (Federal Office for the Environment, FOEN 2011) und 2013 für Feinstaub (FOEN 2013) mit weiter reichenden Prognosen bis 2015 (NO₂) und 2020 (PM10, PM2.5).

1.2. Aktualisierungen und Modellerweiterungen 2020

Mit den zitierten Publikationen können die heutigen und zukünftig erwarteten Belastungen nicht mehr hinreichend gut abgebildet werden. Aus heutiger Sicht beruhen diese Prognosen auf veralteten Emissionszahlen, und die damalige Version des PolluMap genügt den heutigen Ansprüchen nicht mehr.

Die Massnahmen des Bundes und der Kantone führten in den letzten Jahrzehnten zu eindrucklichen Reduktionen der Schadstoffemissionen und damit auch der Immissionen, siehe NABEL-Bericht (BAFU 2020). Auch die Nachbarländer haben grosse Anstrengungen unternommen, um die Immissionsbelastung zu reduzieren, sodass auch weiträumige Verfrachtungen in die Schweiz abgenommen haben. An vielen Orten, an denen vor Jahren noch Immissionsgrenzwerte der Luftreinhalte-Verordnung überschritten wurden, ist die Belastung unter die Grenzwerte gesunken. Generell sind die Gebiete mit Grenzwertüberschreitungen kleiner geworden. insbesondere in der Umgebung von Hochleistungsstrassen werden Gradienten gemessen, die zeigen, dass am Strassenrand die Immissionen zwar noch übermässig sind, aber bereits nach 30 m oder 50 m Abstand zur Strasse dies nicht mehr der Fall ist. PolluMap arbeitete bisher mit einer räumlichen Auflösung von 100 m und generierte auf den Hektar-Rasterzellen räumliche

Mittelwerte. Gerade in Strassennähe hatte das zur Folge, dass die modellierten Konzentrationen unter den Werten lagen, die im Strassenraum gemessen wurden. Solche Unterschätzungen der tatsächlichen Luftbelastung vermindern scheinbar den Handlungs- und Sanierungsbedarf. Um dieses Problem zu eliminieren, wurde die räumliche Auflösung für den Strassenverkehr von 100 m auf 20 m reduziert. Damit gelingt eine realistischere Darstellung der Immissionsbelastung in Strassennähe und in Strassenschluchten.

2. Emissionen 2015, 2020 und 2030

Der wesentliche Treiber für die Immissionsentwicklung sind die Emissionen. Für die neue PolluMap-Applikation wurden aktualisierte Emissionen 2015 und Emissionsprognosen 2020 und 2030 verwendet, wie sie ab Mitte 2019 im Emissionsinformations-System Schweiz (EMIS) – die Datenbank des BAFU mit den nationalen Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen – implementiert waren mit zwei wichtigen Ausnahmen:

- Die Emissionen des Strassenverkehrs waren per Anfang 2019 aktualisiert worden, sowohl beim Verkehrsaufkommen (INFRAS 2017) wie auch bei den Emissionsfaktoren (INFRAS 2019, 2019a). Die neuen Resultate waren Mitte 2019 noch nicht im EMIS implementiert, konnten aber für die Immissionsmodellierung bereits übernommen werden.
- Die Prognosen 2020 und 2030 für die Emissionen der beiden Landesflughäfen Zürich und Genf wurden von den Flughafenbetreibern zur Verfügung gestellt. Deren Angaben liegen höher als jene in der EMIS-Datenbank, insbesondere beim NO_x.

Für die Immissionsmodellierung sind die territorialen⁶ Emissionen relevant. Einige wenige Quellen werden für die Immissionsmodellierung nicht berücksichtigt, weil sie nicht lokalisierbar sind (Emissionen des Militärs) oder in grosser Höhe (Überflüge) emittiert werden und somit für die Immissionen in Bodennähe lokal nicht nachweisbar sind. Das führt in den Emissionsbilanzen des PolluMap-Modells zu geringen Abweichungen von den Emissionen, die in der EMIS-Datenbank mit Stand Mitte 2019 enthalten waren.

Die Emissionsbilanzen sind Inputdaten für die Immissionsmodellierung und gehen in Form von Katastern (Rasterdaten) ins PolluMap-Modell ein. Die räumliche Aufschlüsselung der Emissionsdaten ist im Auftrag des BAFU in einem Bericht beschrieben (Meteotest 2020). Die Emissionssummen, wie sie für die Immissionsmodellierung benutzt wurden, sind in Abbildung 1 dargestellt, die Zahlen zu den Abbildungen sind im Annex angegeben (Tabelle 4).

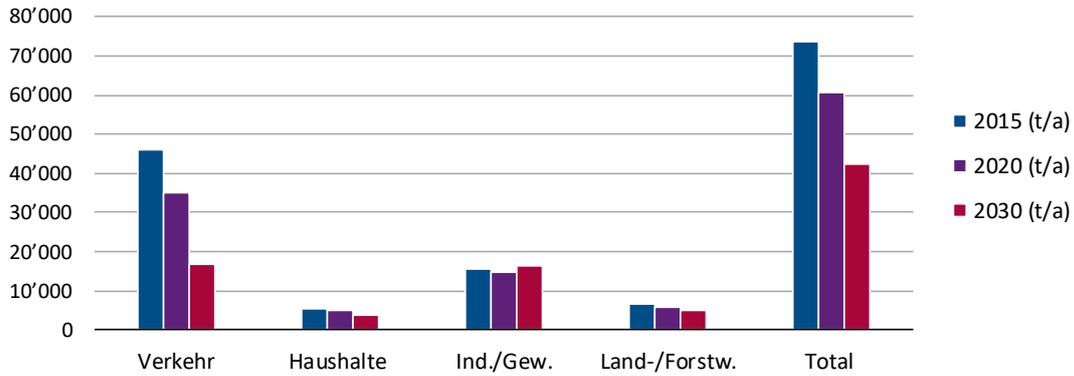
⁶ Im Unterschied zu den Emissionen, wie sie aus dem Absatzprinzip berechnet werden können (z. B. Emissionen aus dem Treibstoffverbrauch von Fahrzeugen, die in der Schweiz betankt werden, aber im Ausland verkehren).

Man beachte, dass mit PM10- und PM2.5-Emissionen die Emissionen primärer Partikel bezeichnet werden. Die Emissionen von Vorläufer-Gasen (NO_x , SO_2 , NH_3 , NMVOC), die in der Folge zu sekundären PM10- und PM2.5-Immissionen führen, sind in den PM10- und PM2.5-Emissionen nicht enthalten.

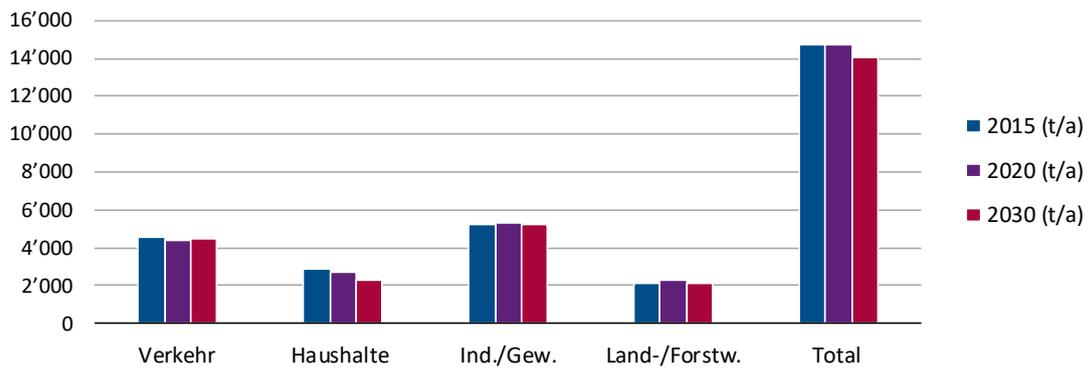
Wie erwähnt, basieren die Emissionen auf dem Datenstand 2019, also aus der Zeit vor der Corona-Pandemie. Die Emissionen 2015 bleiben davon unberührt. Die gesellschaftlichen und volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Lockdowns im Frühling 2020 haben hingegen Emissionsreduktionen einzelner Quellen zur Folge, die sich möglicherweise in den jahresmittleren Immissionen 2020 niederschlagen werden. In welchem Ausmass ist zurzeit noch unbekannt. Ob und in welcher Art auch die Ergebnisse 2030 noch betroffen sind, lässt sich heute ebenso wenig abschätzen. Die Modellergebnisse für das Jahr 2020 sowohl für die Emissionen als auch für die Immissionen sind deshalb als zu pessimistisch (zu hohe Werte) zu betrachten zumindest beim NO_2 wie es gemäss BAFU aus vorläufigen Erkenntnissen zu erwarten ist (siehe Fussnote 5).

Abbildung 1: Territoriale Emissionen Schweiz 2015, 2020, 2030 (t/a). Oben NO_x, Mitte PM10, unten PM2.5.

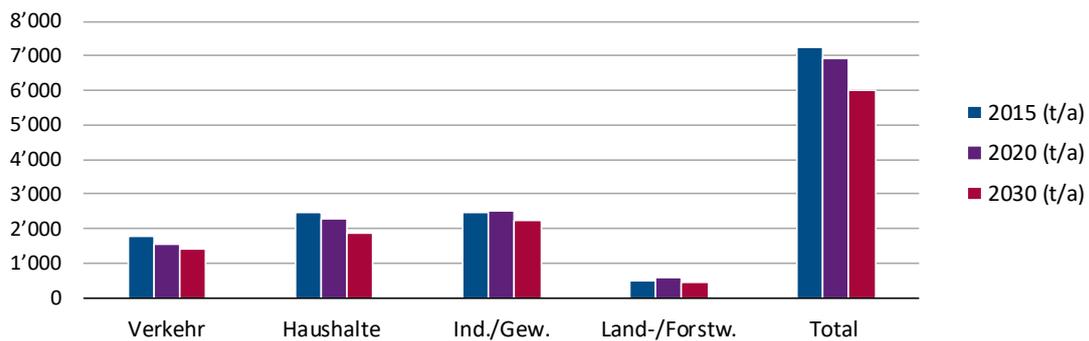
NO_x-Emissionen



PM10-Emissionen



PM2.5-Emissionen (PM fine)

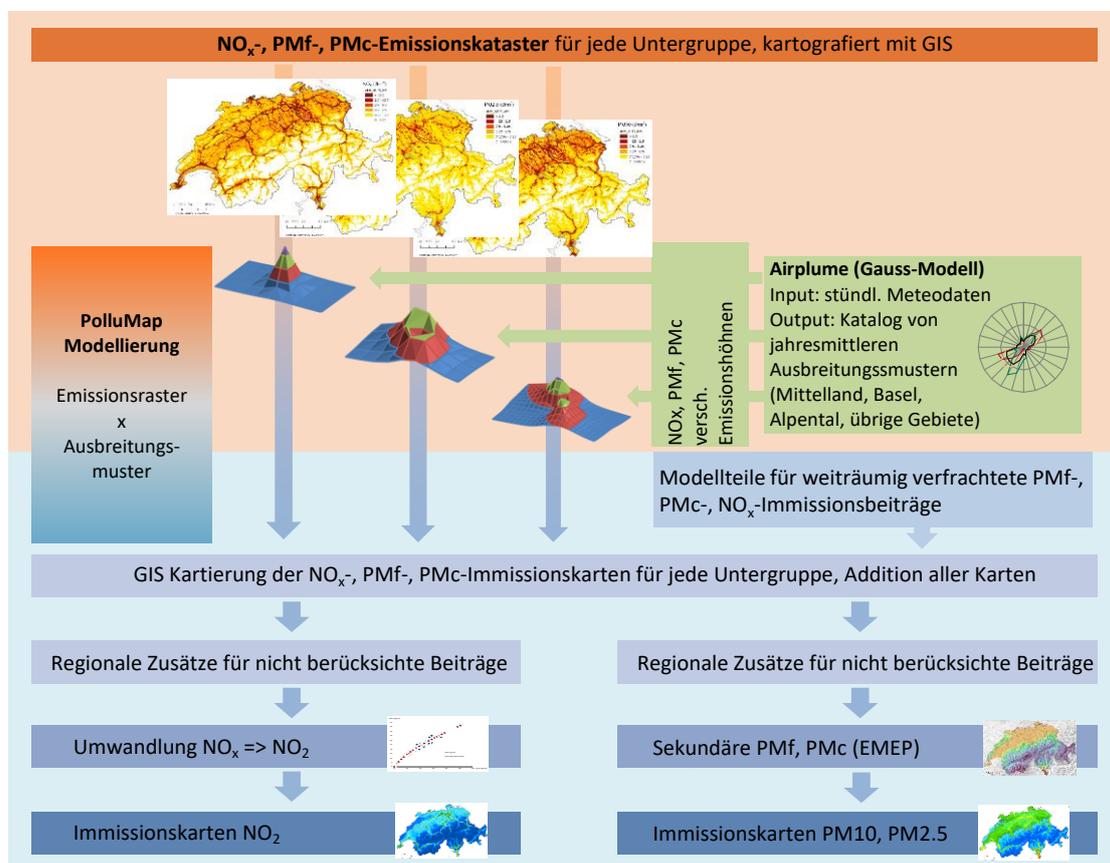


Quellen : EMIS (BAFU 2019a), Meteotest (2020), INFRAS (2019, 2019a)

3. Modellkonzept PolluMap

Für die Berechnung der Jahres-Immissionen, die durch territoriale Emissionen in der Schweiz verursacht werden, wird ein Ausbreitungsmodell benutzt. Importe und weitere Beiträge werden dazu addiert. Im Fall des NO_2 braucht es nach Summierung aller Teilbeiträge in Form von NO_x noch eine Umwandlung von NO_x in NO_2 .⁷ Abbildung 2 zeigt das Modellkonzept von PolluMap schematisch, eine detaillierte Beschreibung gibt der Bericht INFRAS (2020).

Abbildung 2: Immissionsmodellierung mit PolluMap.



PMf: PM fine fraction (PM2.5); PMc PM coarse fraction (PM10-PM2.5)

⁷ Der grösste Teil der oxidierten Stickstoffverbindungen von Emissionen aus motorischen und Feuerungsprozessen besteht aus direkt Emissionen von Stickstoffmonoxid (NO), das in der Atmosphäre zu bestimmten Teilen in Stickstoffdioxid (NO_2) rasch umgewandelt wird. Aus toxikologischen Gründen gibt es in der Luftreinhalte-Verordnung Immissionsgrenzwerte (IGW) für NO_2 , nicht aber für NO. Für den Vergleich mit IGW muss das Immissionsmodell deshalb NO_2 -Immissionen berechnen.

4. Immissionskarten NO₂ 2015, 2020 und 2030

4.1. Schweiz und Liechtenstein

Abbildung 3 bis Abbildung 6 zeigen die NO₂-Belastungskarten für die drei Bezugsjahre 2015, 2020, 2030.

- Die Farbabstufungen stimmen bezüglich Klasseneinteilung und Farben mit den BAFU-Karten für die NO₂-Jahreswerte auf dem Internet überein. Die Farbe Gelb markiert die Stufe direkt über dem Jahres-Immissionsgrenzwert der LRV für NO₂, 30 µg/m³. Höhere Konzentrationen sind in orange, rot, violett dargestellt, tiefere Konzentrationen in blau und grün.
- Bereits im Jahr 2015 ist der Grenzwert auf dem grössten Teil der Fläche eingehalten. Nur in den grossen Städten, im Südtessin und entlang der Hochleistungsstrassen kommen Grenzwertüberschreitungen vor.
- In den Jahren 2020 und 2030 nehmen die NO₂-Konzentrationen noch weiter ab. Grenzwertüberschreitungen treten kaum noch auf.
- Vergrösserte Karten mit Ausschnitten von sieben Städten aus den Grossregionen der Schweiz (Genf, Lausanne, Bern, Zürich, Luzern, Basel, Lugano folgen im Kap. 4.2. Betrachtungen von anderen Landesteilen sind mithilfe der online-Karte⁸ möglich.
- Datenqualität:
 - Für die Summe der territorialen NO_x-Emissionen wird vom BAFU eine Unsicherheit von 14 % angegeben (FOEN 2019). Änderungen in den Emissionen haben nahezu entsprechende Änderungen in den Immissionen zu Folge.⁹ Unsicherheiten in den NO_x-Emissionen übertragen sich direkt auf die Immissionen.
 - Der Vergleich der Modellwerte mit Messwerten von 117 Stationen ergibt eine hohe Übereinstimmung: Bestimmtheitsmass $R^2 = 0.84$, Mittelwert der Messungen 23.8 µg/m³, Mittel der Modellwerte 25.0 µg/m³ (Bias 1.3 µg/m³). Weitere statistische Auswertungen siehe technischer Bericht (INFRAS 2020).
 - Die Modellunsicherheit für die NO₂-Immissionen wird im technischen Bericht (INFRAS 2020) mit ±4 µg/m³ - im Bereich des Grenzwerts knapp 15 % - angegeben. Auf der NO₂-Immissionskarte entspricht das etwa einem Sprung in die benachbarte Farbklasse.
- Die Emissionen für das Jahr 2020 stammen wie erwähnt aus der Zeit vor der Corona-Pandemie und sind deshalb zu hoch. Entsprechend sind auch die NO₂-Immissionen in Abbildung 4 in der Tendenz zu hoch.

⁸ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--modelle-und-szenarien.html>

⁹ Die NO₂-Immissionen sind in nicht-linearer Weise von den NO_x-Immissionen abhängig. Im Bereich des Grenzwerts hätte eine Erhöhung der NO_x-Immissionen von 14 % eine Erhöhung der NO₂-Immissionen von 10 % zur Folge.

Abbildung 3: NO₂-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2015.

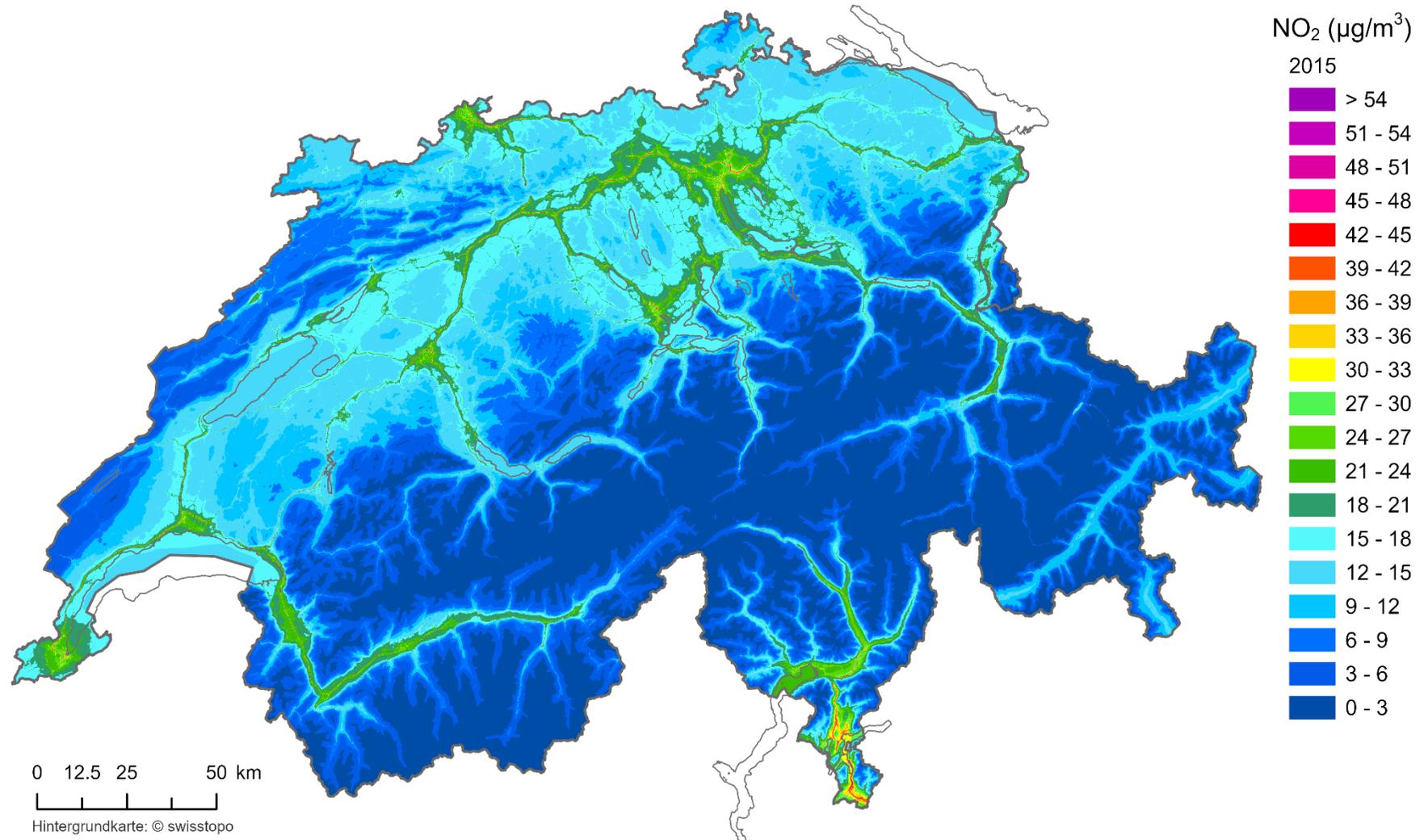


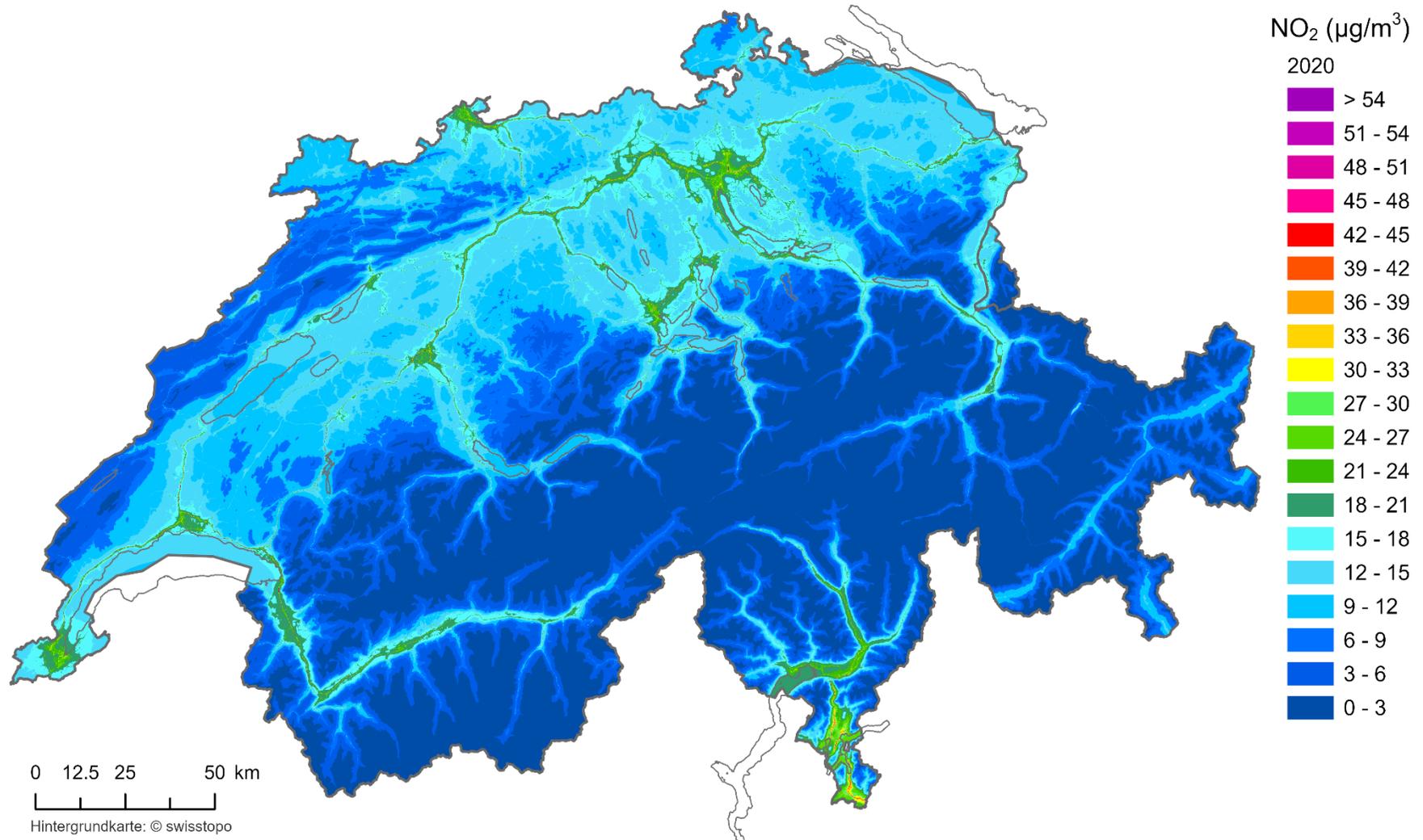
Abbildung 4: NO₂-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2020.

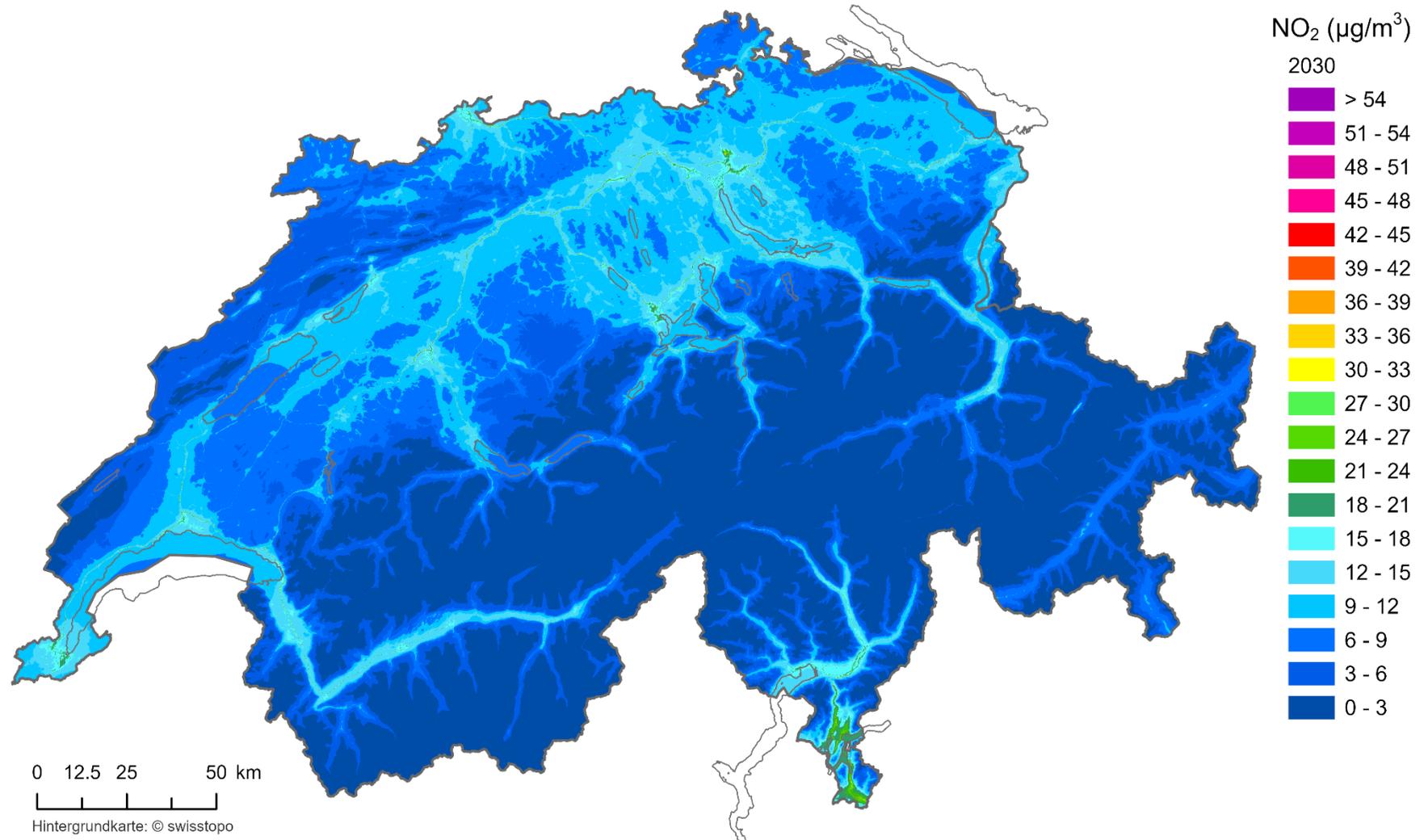
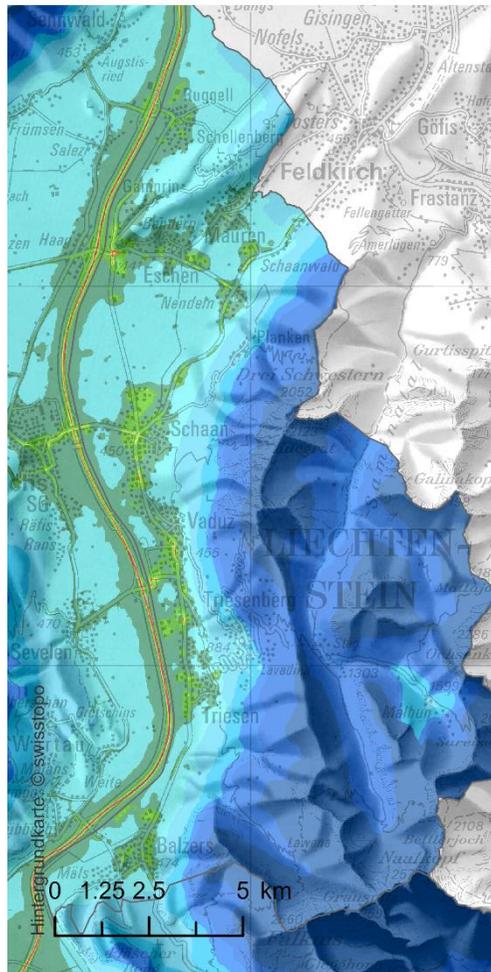
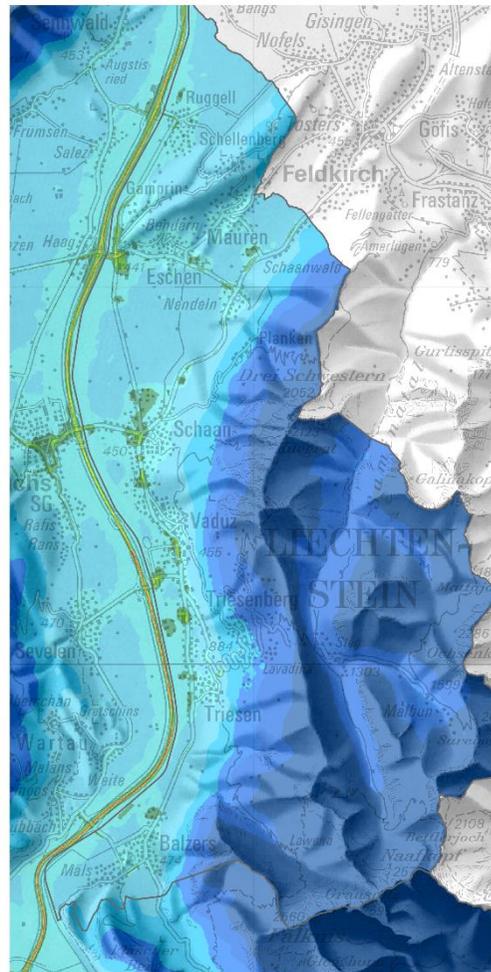
Abbildung 5: NO₂-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2030.

Abbildung 6: NO₂-Immissionen Liechtenstein 2015 bis 2030. Bewertungen siehe Kap. 7.3.

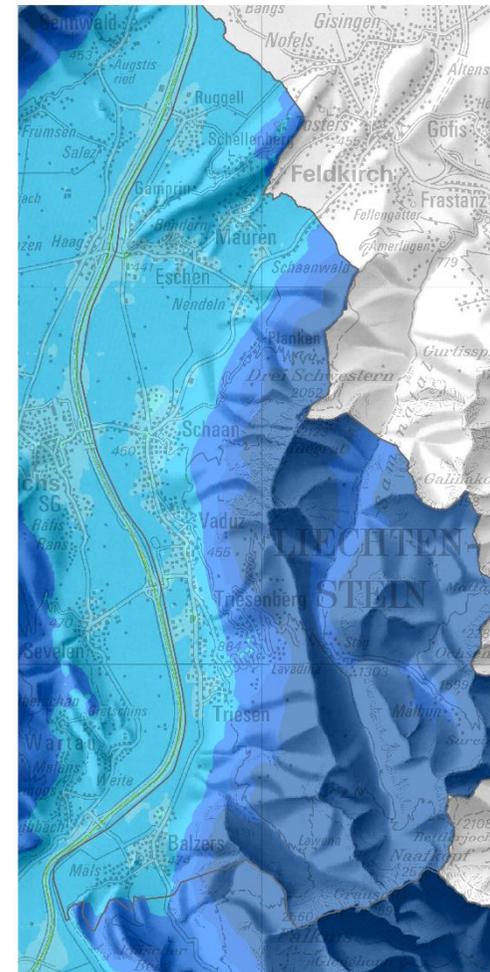
2015



2020



2030

NO₂ (µg/m³)

2015, 2020, 2030



4.2. Ausschnitte nach Regionen

Die folgenden Seiten mit Abbildung 7 bis Abbildung 13 zeigen Vergrößerungen aus den NO₂-Immissionskarten 2015 und 2030 (Abbildung 3 und Abbildung 5) für die wichtigsten Städte pro Grossregion: Genf, Lausanne, Bern, Zürich, Luzern, Basel und Lugano.

- Die Karten konkretisieren die Aussagen im Kap. 4.1, dass 2015 in allen grossen Städten an den stärkst befahrenen Strassen der NO₂-Immissionsgrenzwert teilweise überschritten ist. Die höchsten Immissionen treten an den Autobahnen auf, die auch das höchste Verkehrsaufkommen aufweisen. In der Region Lugano ist der Grenzwert auch noch flächenhaft überschritten.
- Bis ins Jahr 2030 sinken die Immissionen, selbst in den Städten, deutlich unter den Grenzwert (30 µg/m³). In den Wohnquartieren liegen die Immissionen im Bereich von 10-20 µg/m³, in der näheren Umgebung von wichtigen Strassen liegen sie noch über 20 µg/m³. Überschreitungen des Grenzwerts kommen praktisch nur noch an städtischen Autobahnen/Umfahrungen vor.
- Betrachtungen von anderen Landesteilen sind mithilfe der online-Karten¹⁰ möglich. Sie zeigen, dass Grenzwertüberschreitungen 2015 nicht nur in den dargestellten Landesteilen vorkommen, sondern auch an weiteren Orten mit ähnlichen Expositionen.

¹⁰ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--modelle-und-szenarien.html>

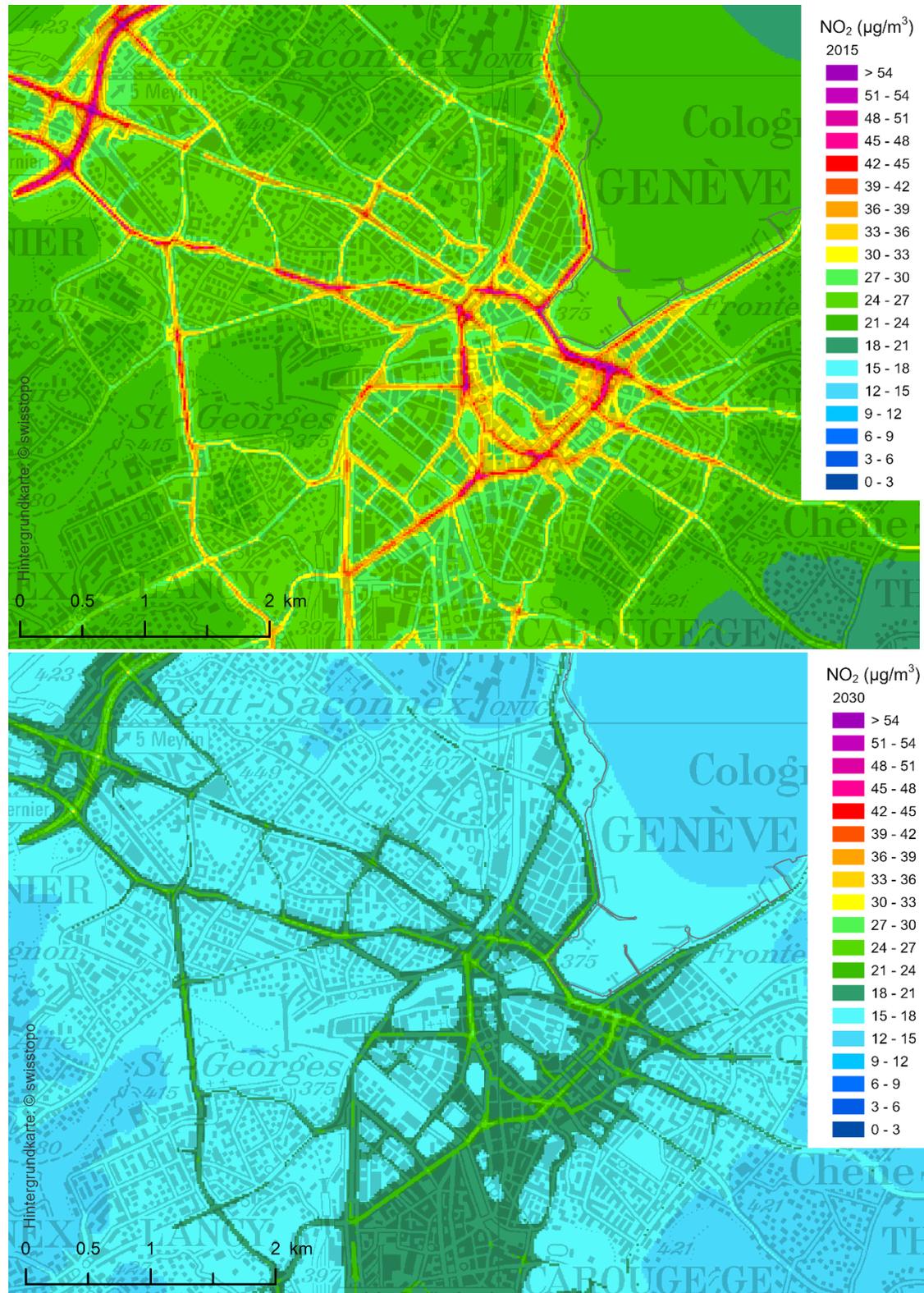
Abbildung 7: NO₂-Immissionen Genf. Oben 2015, unten 2030.

Abbildung 8: NO₂-Immissionen Lausanne. Oben 2015, unten 2030.

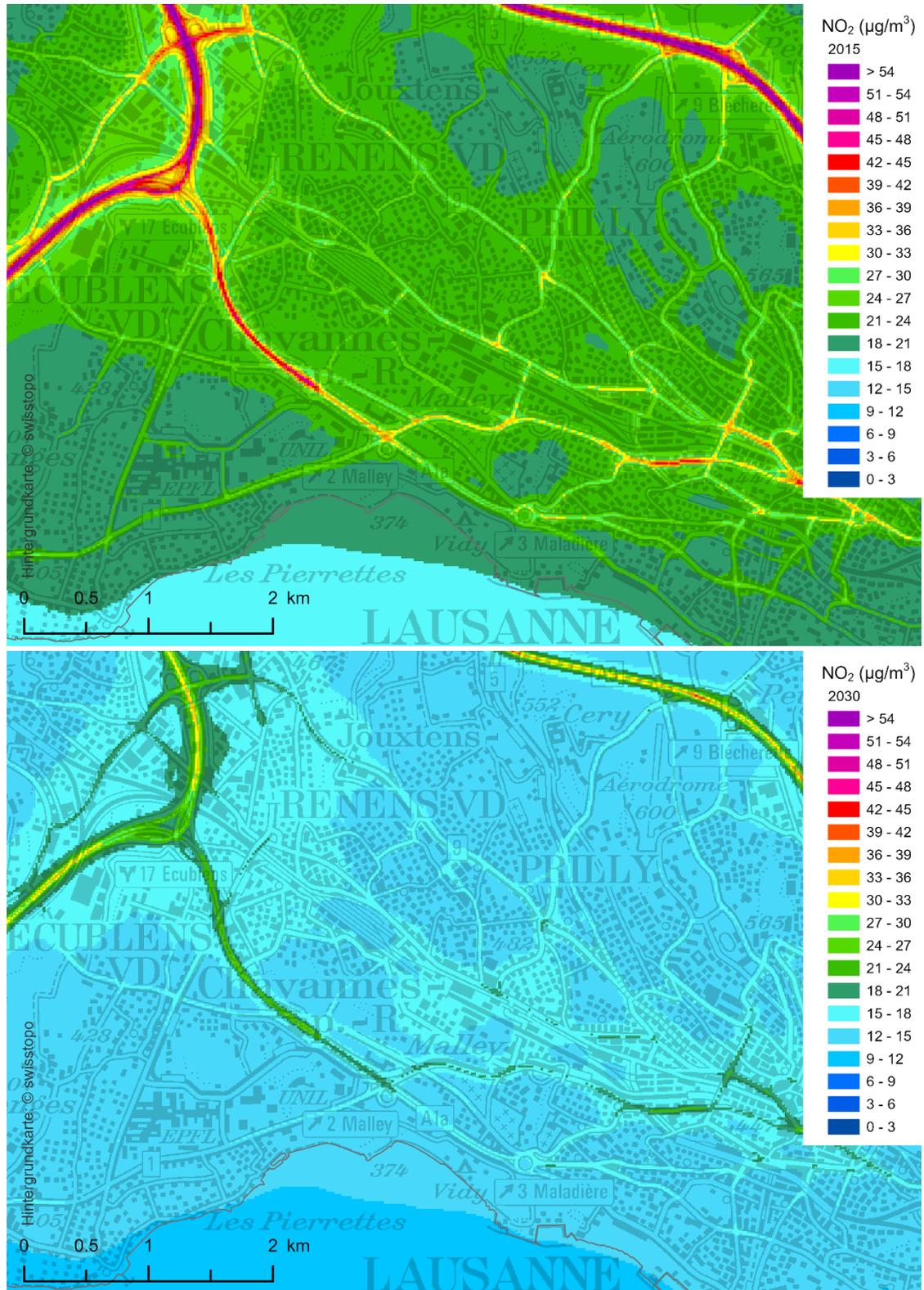


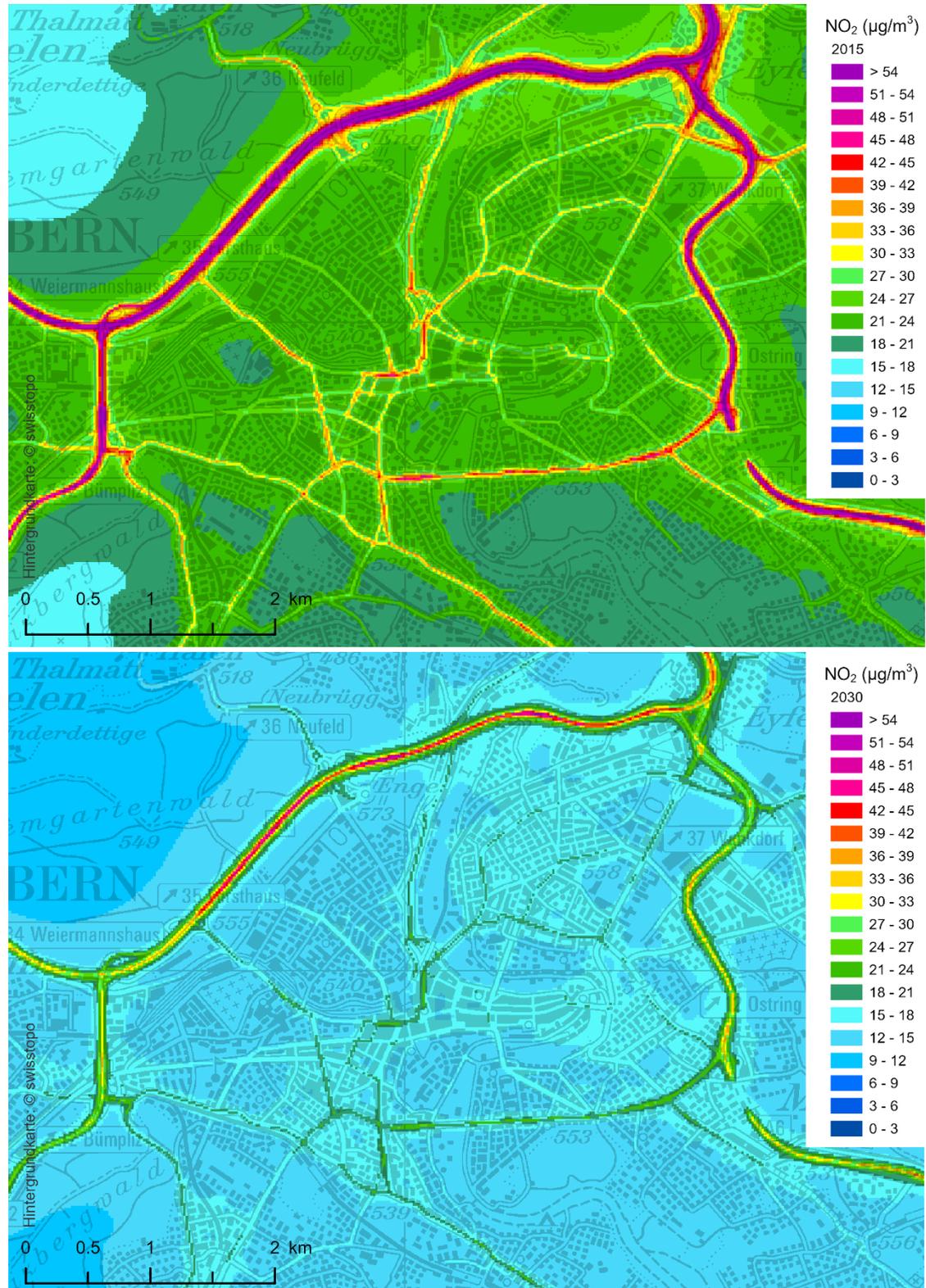
Abbildung 9: NO₂-Immissionen Bern. Oben 2015, unten 2030.

Abbildung 10: NO₂-Immissionen Basel. Oben 2015, unten 2030.

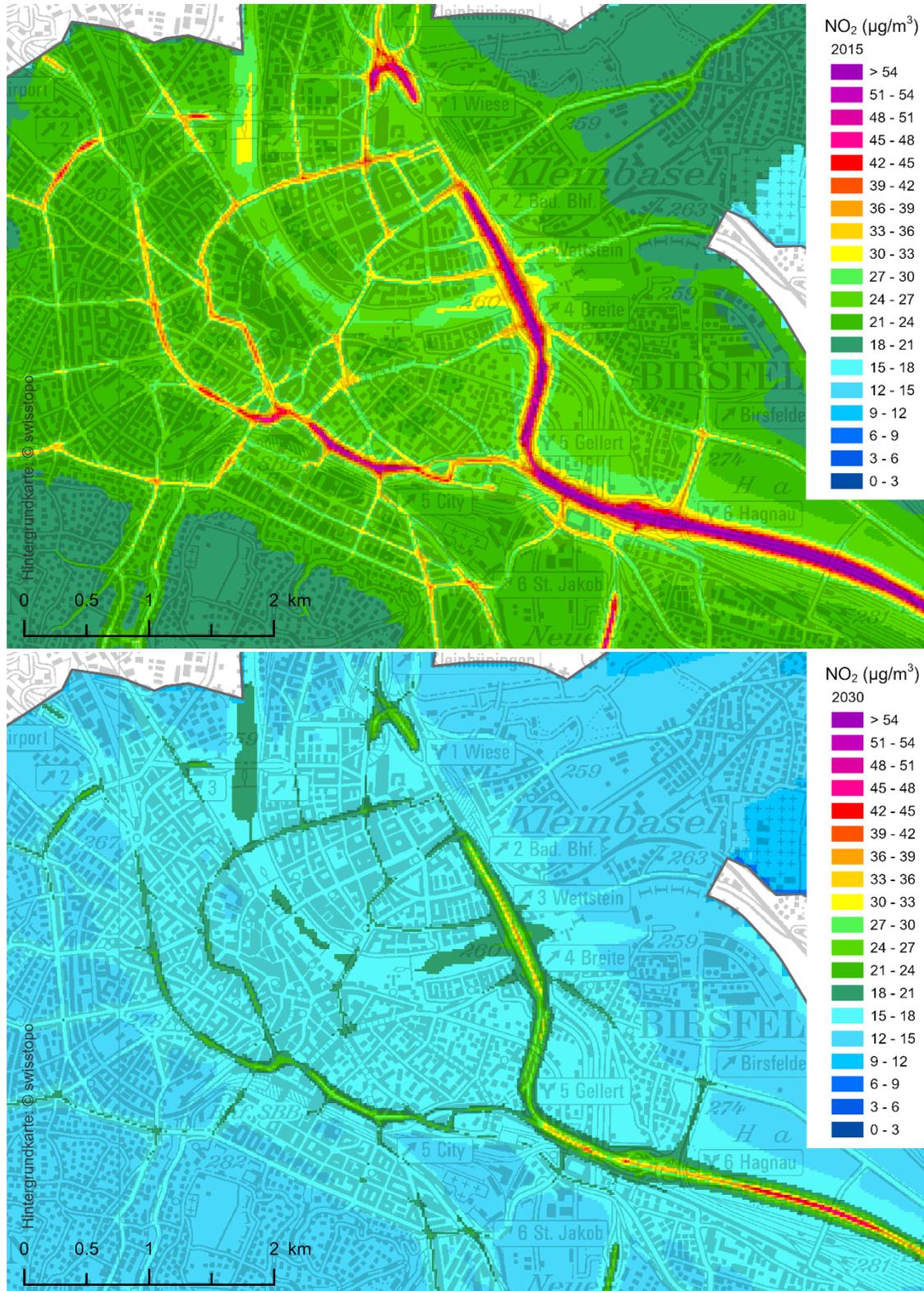


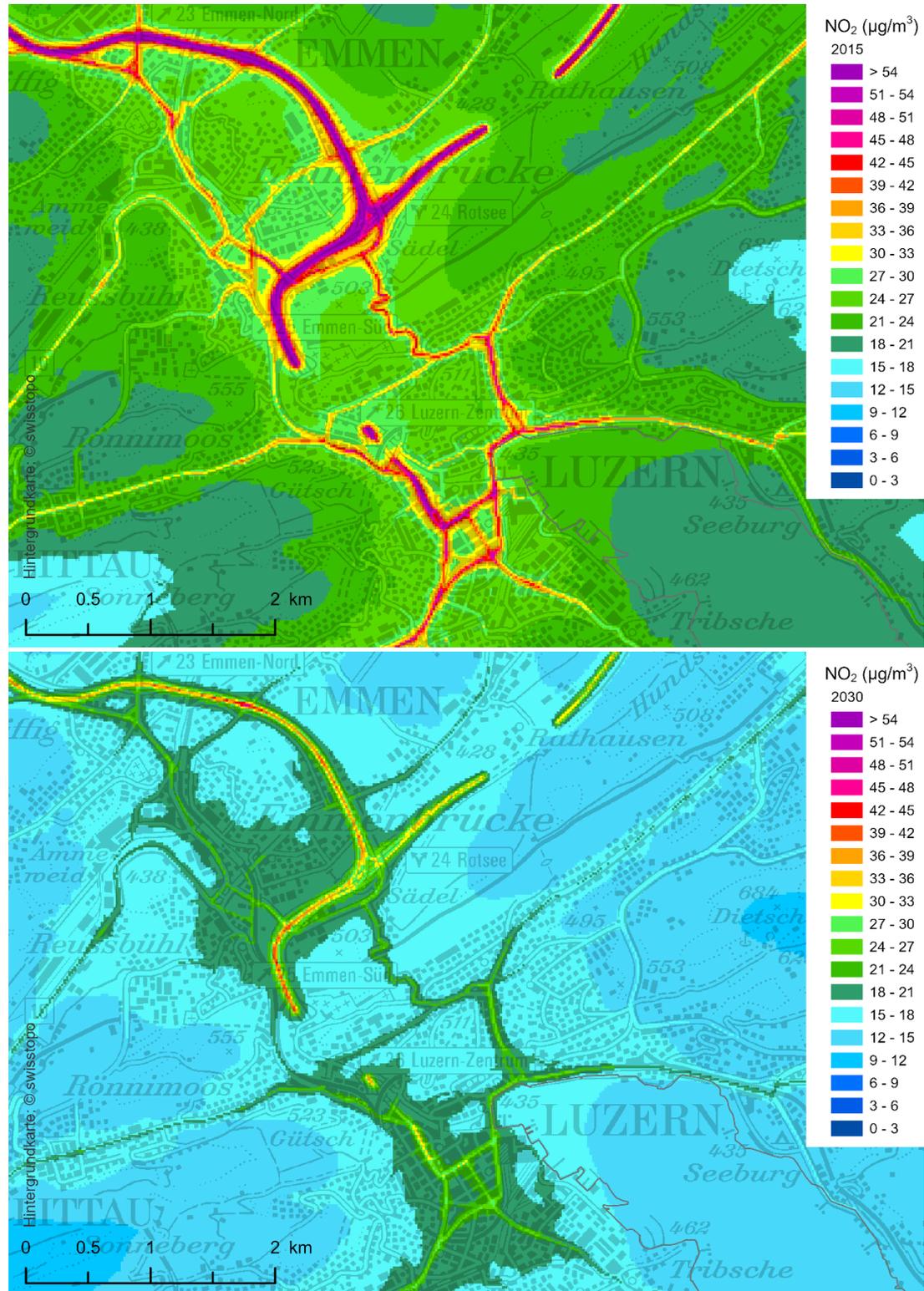
Abbildung 11: NO₂-Immissionen Luzern. Oben 2015, unten 2030.

Abbildung 12: NO₂-Immissionen Zürich. Oben 2015, unten 2030.

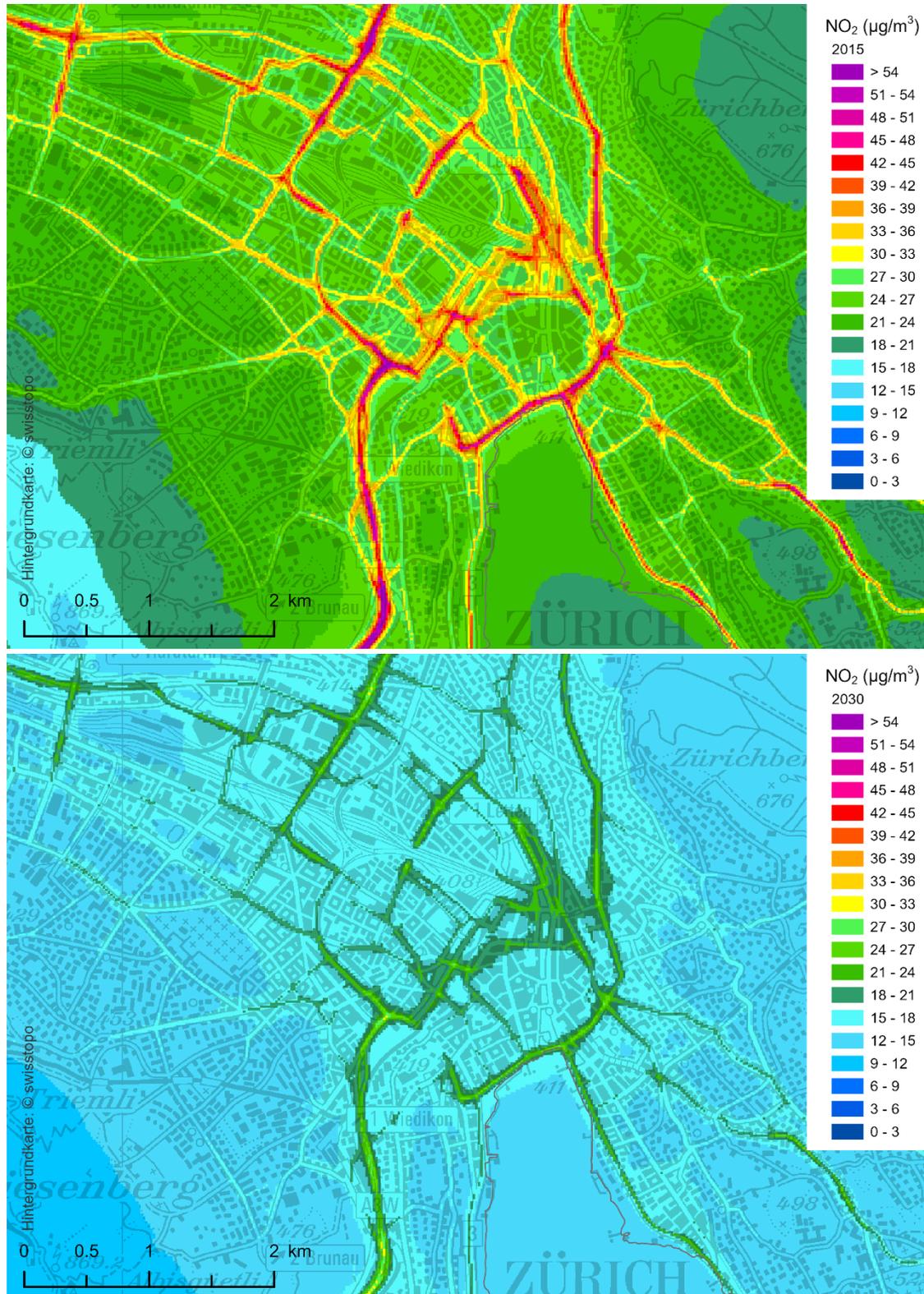
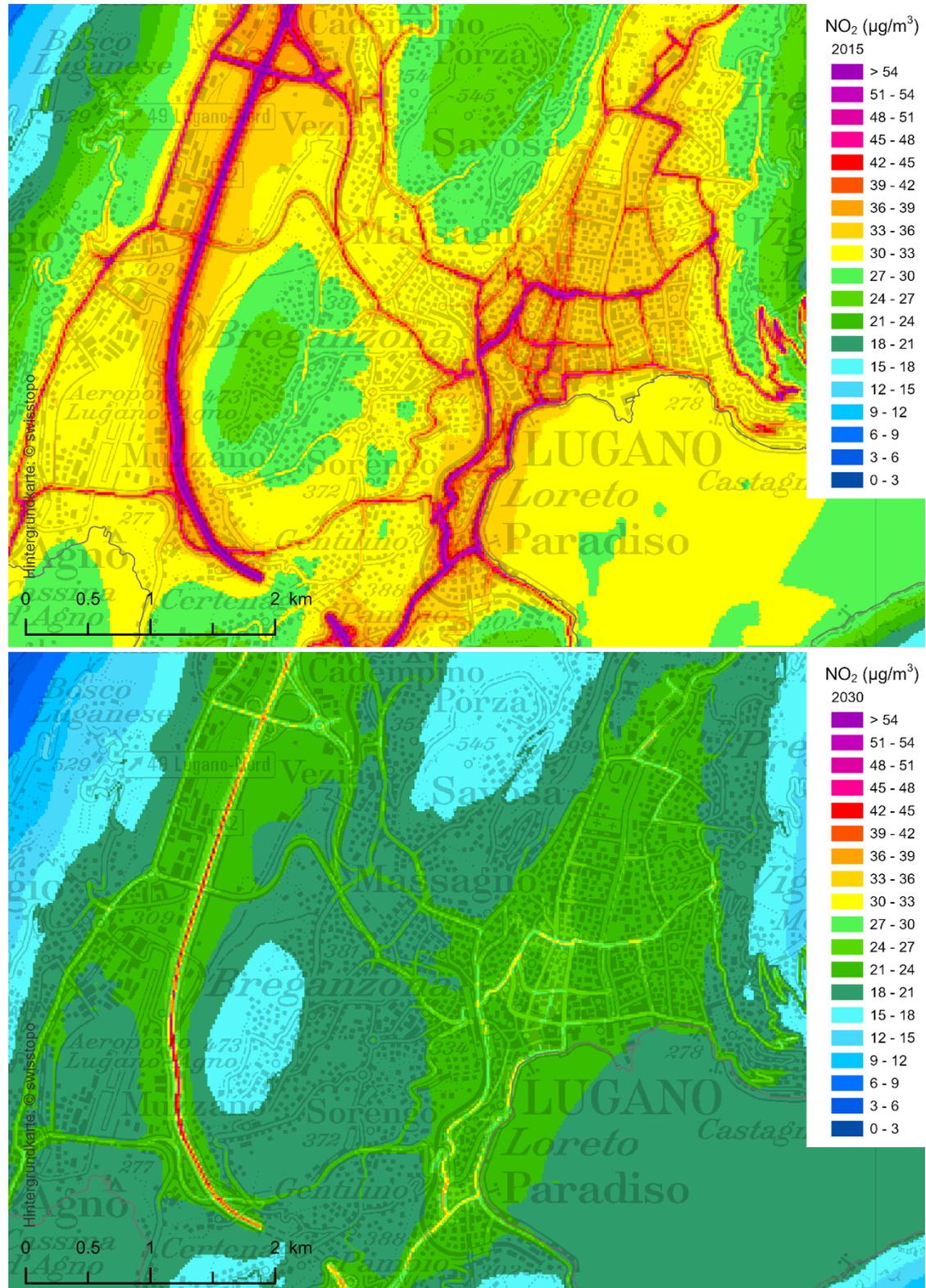


Abbildung 13: NO₂-Immissionen Lugano. Oben 2015, unten 2030.

5. Immissionskarten PM10 2015, 2020 und 2030

5.1. Schweiz und Liechtenstein

Abbildung 14 bis Abbildung 17 zeigen die PM10-Belastungskarten für die drei Bezugsjahre 2015, 2020, 2030.

- Die Farbabstufungen stimmen bezüglich Klasseneinteilung und Farben mit den BAFU-Karten für die PM10-Jahreswerte auf dem Internet überein. Die Farbe Gelb markiert die Stufe direkt über dem Jahres-Immissionsgrenzwert der LRV für PM10, $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Höhere Konzentrationen sind in orange, rot, violett dargestellt, tiefere Konzentrationen in blau bzw. grün.
- Bereits im Jahr 2015 ist der Grenzwert fast überall eingehalten. Nur in den grossen Städten und im Südtessin treten entlang der am stärksten befahrenen Strassen Grenzwertüberschreitungen auf.
- Im Jahr 2020 sind die Immissionen nahezu gleich wie im Jahr 2015. Das widerspiegelt die Emissionsentwicklung, wie sie in Abbildung 1, Bild Mitte dargestellt ist. Die primären PM10-Emissionen nehmen zwischen 2015 und 2020 nur gerade um 0.35 % ab.
- Bis ins Jahr 2030 ist dann aber doch eine Reduktion der PM10-Konzentrationen zu erwarten. Die Emissionen nehmen gegenüber 2015/2020 um ca. 5 % ab. Grenzwertüberschreitungen treten kaum noch auf.
- Vergrösserte Karten mit Ausschnitten von sieben Städten (Genf, Lausanne, Bern, Zürich, Luzern, Basel, Lugano) aus den Grossregionen der Schweiz sowie Liechtenstein folgen im Kap. 5.2. Betrachtungen von anderen Landesteilen sind mithilfe der online-Karten¹¹ möglich.
- Datenqualität:
 - Für die Summe der territorialen PM10-Emissionen wird vom BAFU eine Unsicherheit von 32 % angegeben (FOEN 2019).¹² Änderungen in den Emissionen haben zwar auch Änderungen in den Immissionen zur Folge, allerdings ist nur etwa die Hälfte der Immissionen durch primäres, anthropogenes PM10 verursacht (der Rest durch sekundäres sowie primäres biogenes/geogenes PM10, siehe Kap. 7). Unsicherheiten in den PM10-Emissionen übertragen sich in dementsprechend abgeschwächter Form auf die Immissionen.
 - Der Vergleich der Modellwerte mit Messwerten von 121 Stationen ergibt eine hohe Übereinstimmung: Bestimmtheitsmass $R^2 = 0.78$, Mittelwert der Messungen $15.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mittel der Modellwerte $15.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bias $-0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Weitere statistische Auswertungen siehe technischer Bericht (INFRAS 2020).

¹¹ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--modelle-und-szenarien.html>

¹² Siehe dazu auch Ausführungen im Bericht INFRAS (2020) im Kap. 2.2.3

- Die Modellunsicherheit für die PM10-Immissionen wird im technischen Bericht (INFRAS 2020) mit $\pm 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - im Bereich des Grenzwerts knapp 10 % - angegeben. Auf der PM10-Immissionskarte entspricht das etwa einem Sprung in die benachbarte Farbklasse.

Abbildung 14: PM10-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2015.

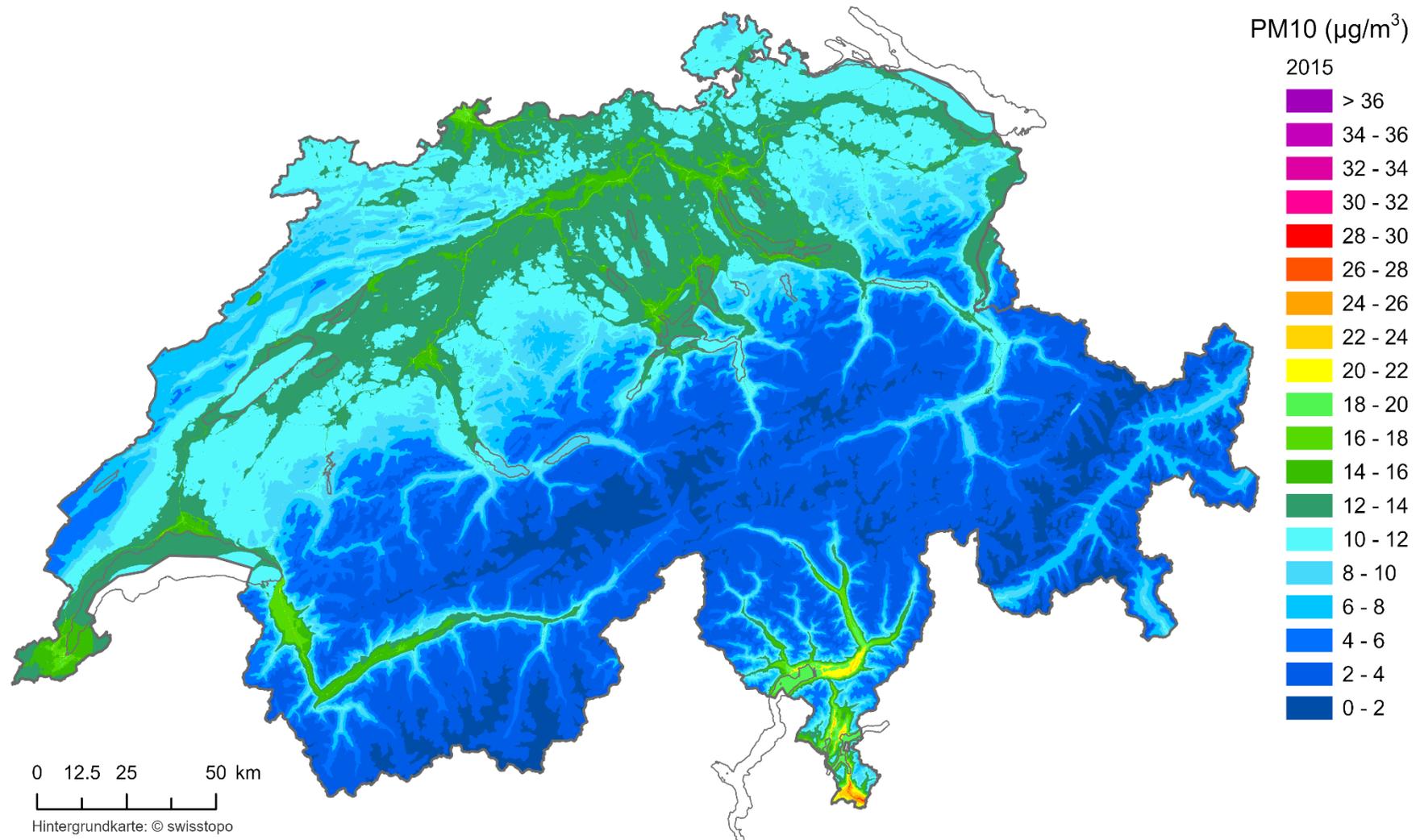


Abbildung 15: PM10-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2020.

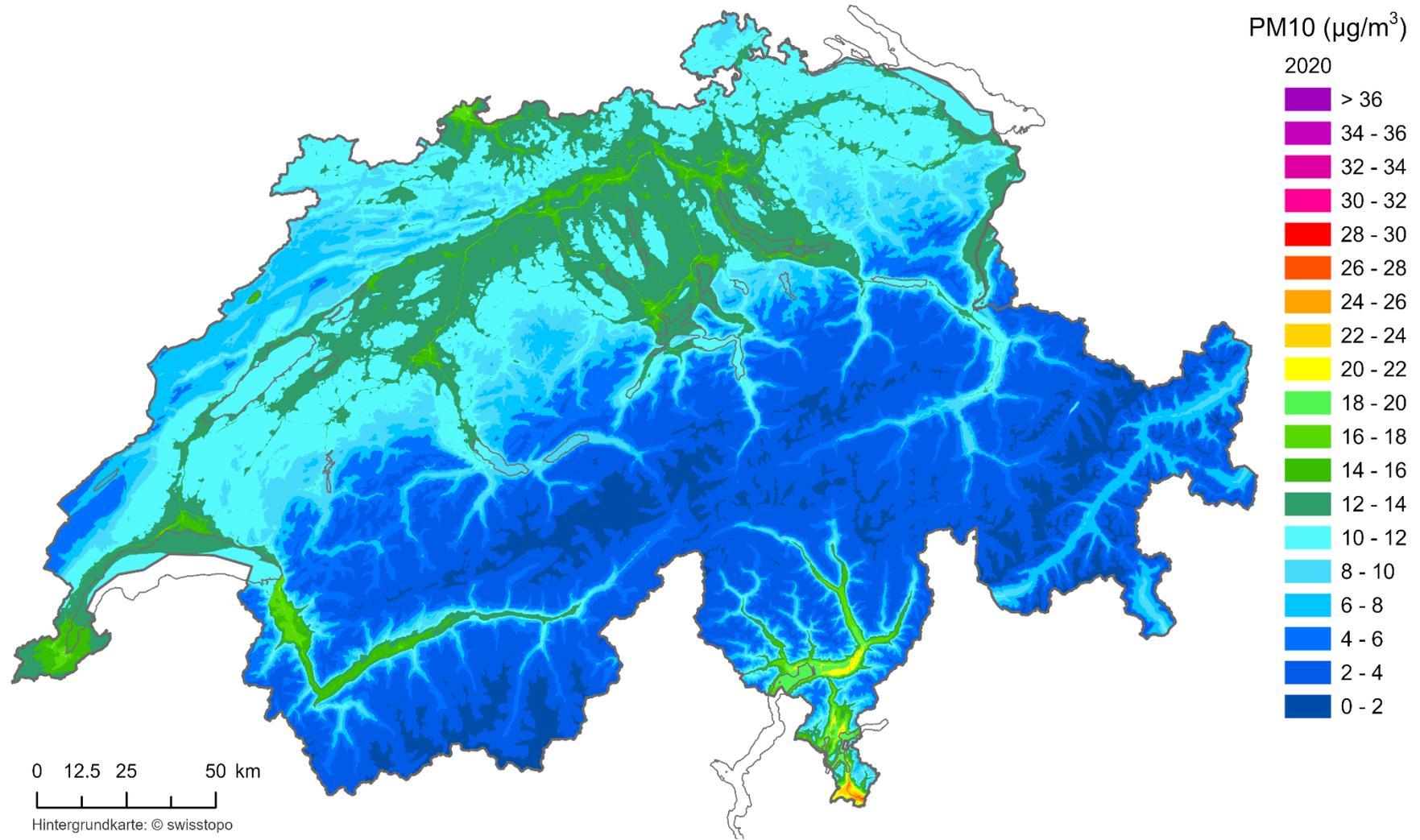


Abbildung 16: PM10-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2030.

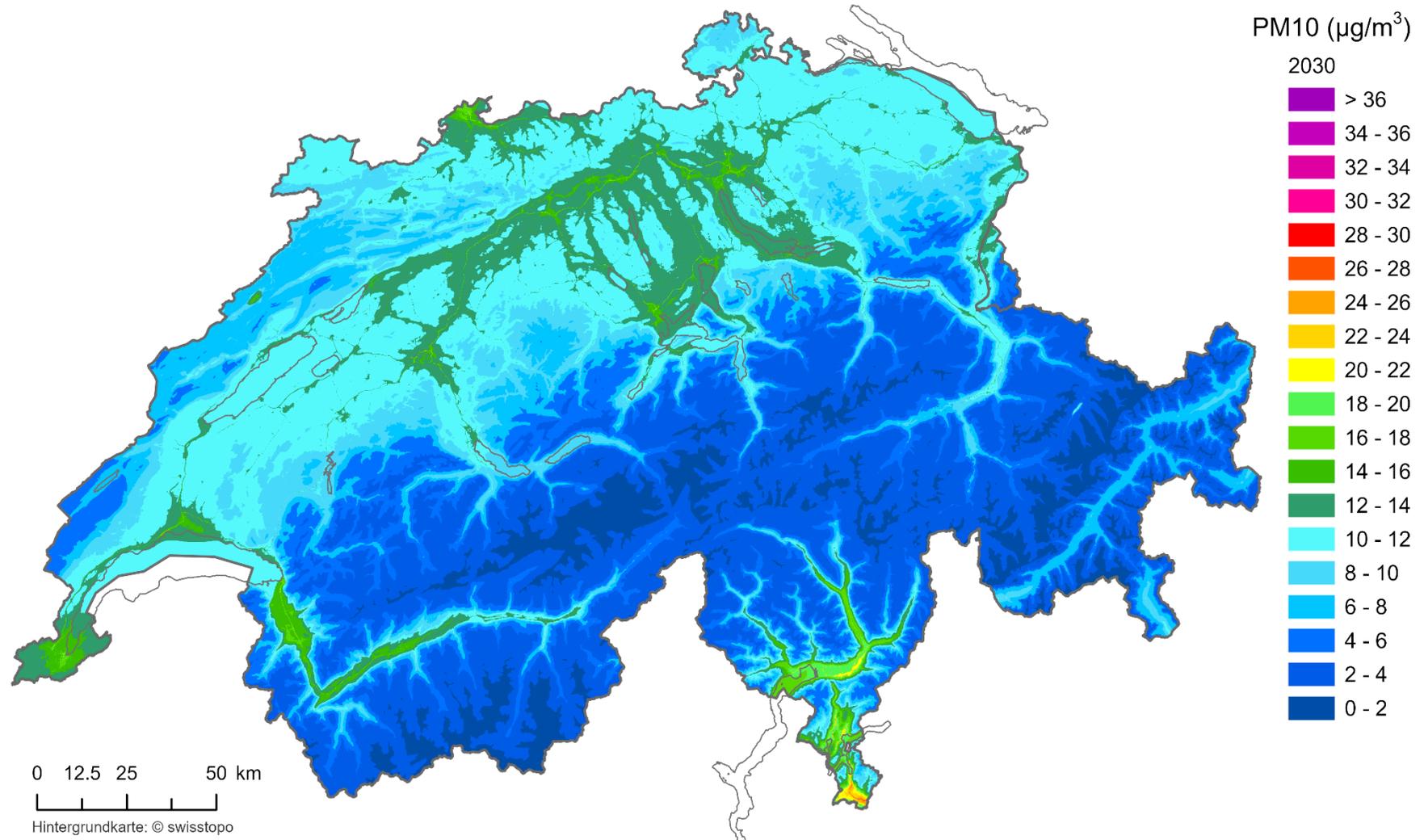
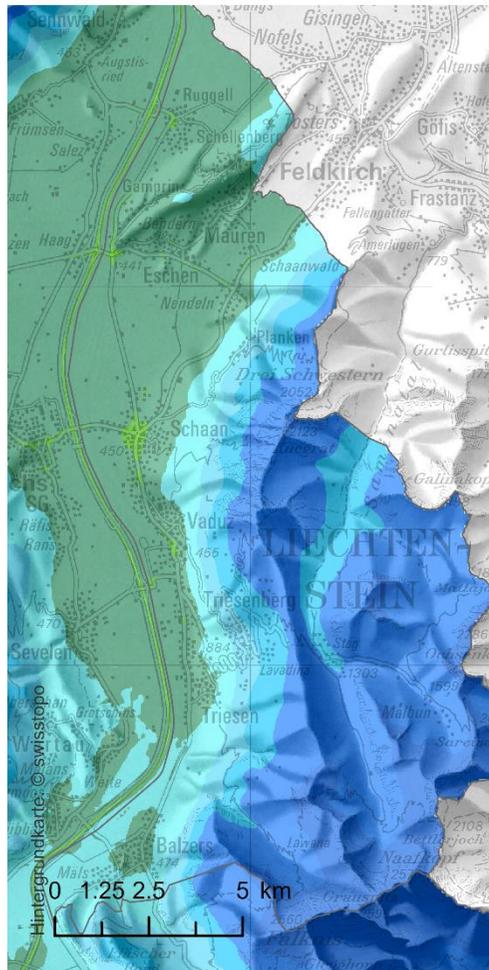
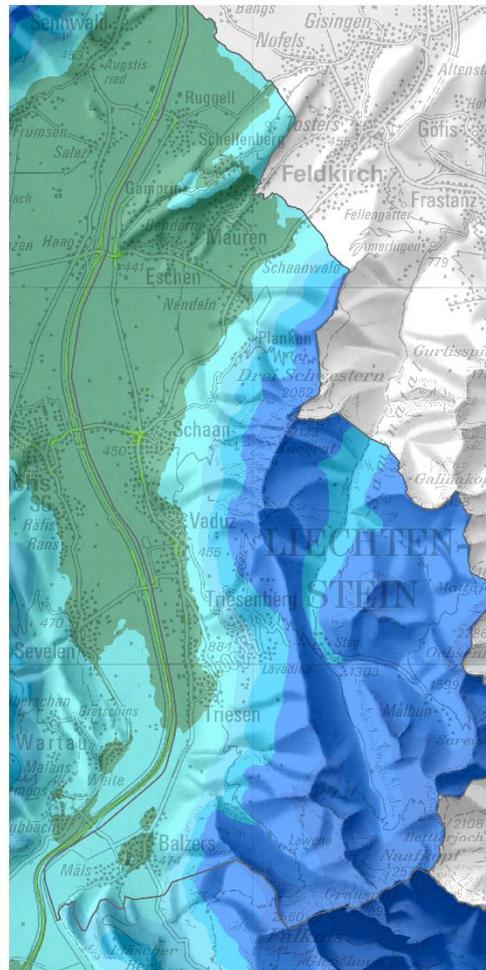


Abbildung 17: PM10-Immissionen Liechtenstein 2015 bis 2030. Bewertungen siehe Kap. 7.3.

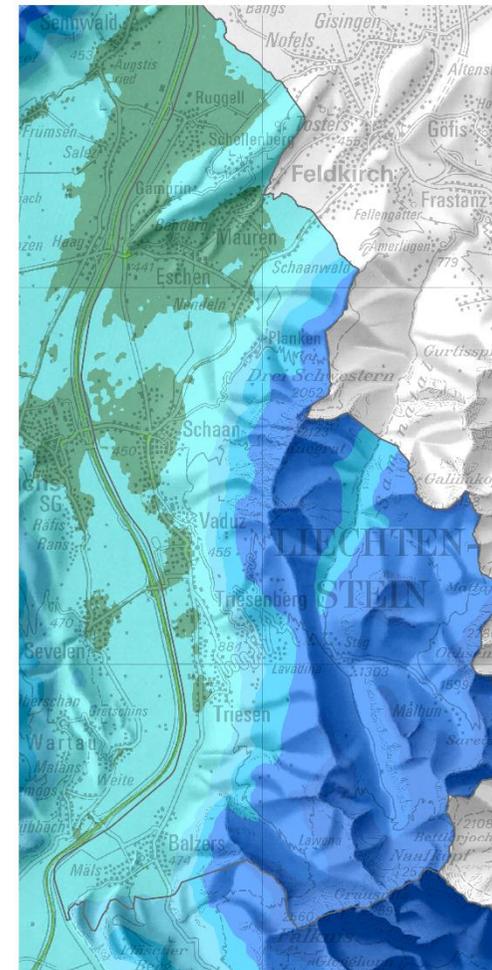
2015



2020



2030

PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2015, 2020, 2030



5.2. Ausschnitte nach Regionen

Die folgenden Seiten mit Abbildung 18 bis Abbildung 24 zeigen Vergrößerungen aus den PM10-Immissionskarten 2015 und 2030 (Abbildung 14 und Abbildung 16) für die wichtigsten Städte pro Grossregion: Genf, Lausanne, Bern, Zürich, Luzern, Basel und Lugano.

- Die Karten konkretisieren die Aussagen im Kap. 5.1, dass 2015 die PM10-Immissionen fast überall unter dem Grenzwert liegen. In den grossen Städten treten stellenweise an den stärkst befahrenen Strassen noch Überschreitungen auf, in der Region Lugano teilweise noch flächenhaft.
- Bis Jahr 2030 gibt es nur wenige Verbesserungen, was zum Ausdruck bringt, dass die PM10-Emissionen bis dahin auch nur um etwa 5 % gesenkt werden können. In den Städten werden die PM10-Immissionen zwischen 10 und 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen, an wichtigen Strassen zwischen 16 und 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, auf städtischen Autobahnen / Umfahrungen über 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Betrachtungen von anderen Landesteilen sind mithilfe der online-Karten¹³ möglich. Sie zeigen, dass Grenzwertüberschreitungen 2015 nicht nur in den dargestellten Landesteilen vorkommen, sondern auch an weiteren Orten mit ähnlichen Expositionen.

¹³ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--modelle-und-szenarien.html>

Abbildung 18: PM10-Immissionen Genf. Oben 2015, unten 2030.

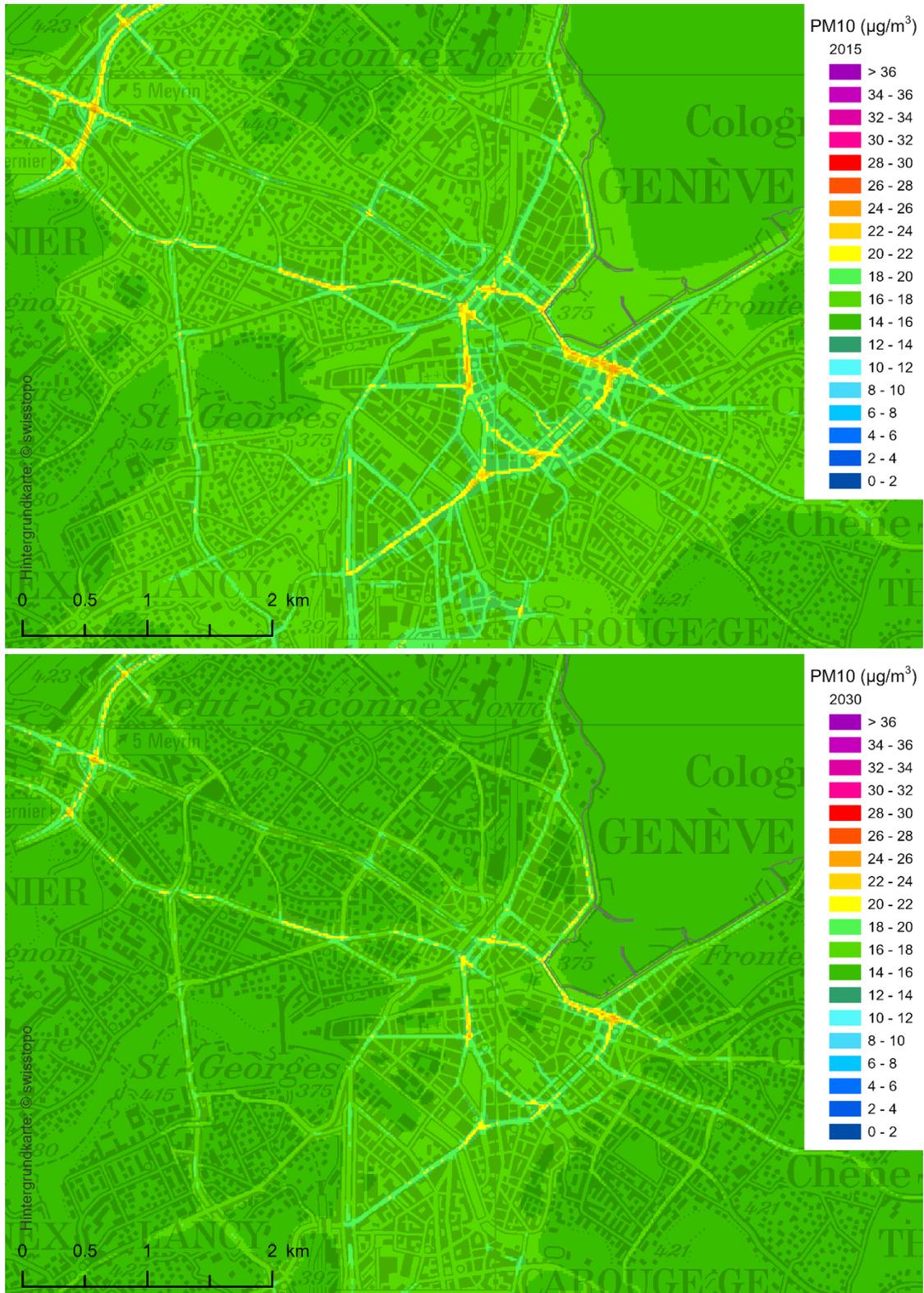


Abbildung 19: PM10-Immissionen Lausanne. Oben 2015, unten 2030.

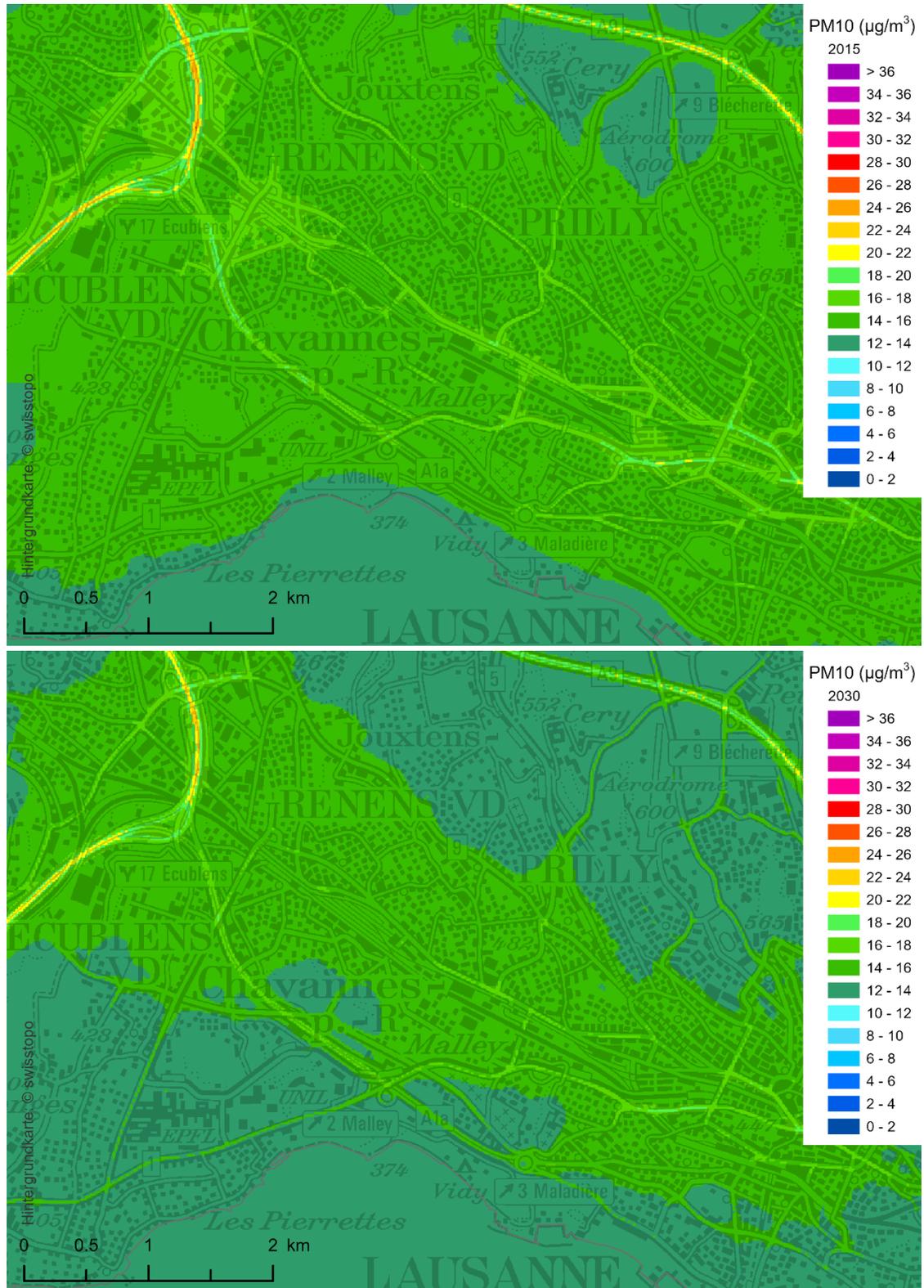


Abbildung 20: PM10-Immissionen Bern. Oben 2015, unten 2030.

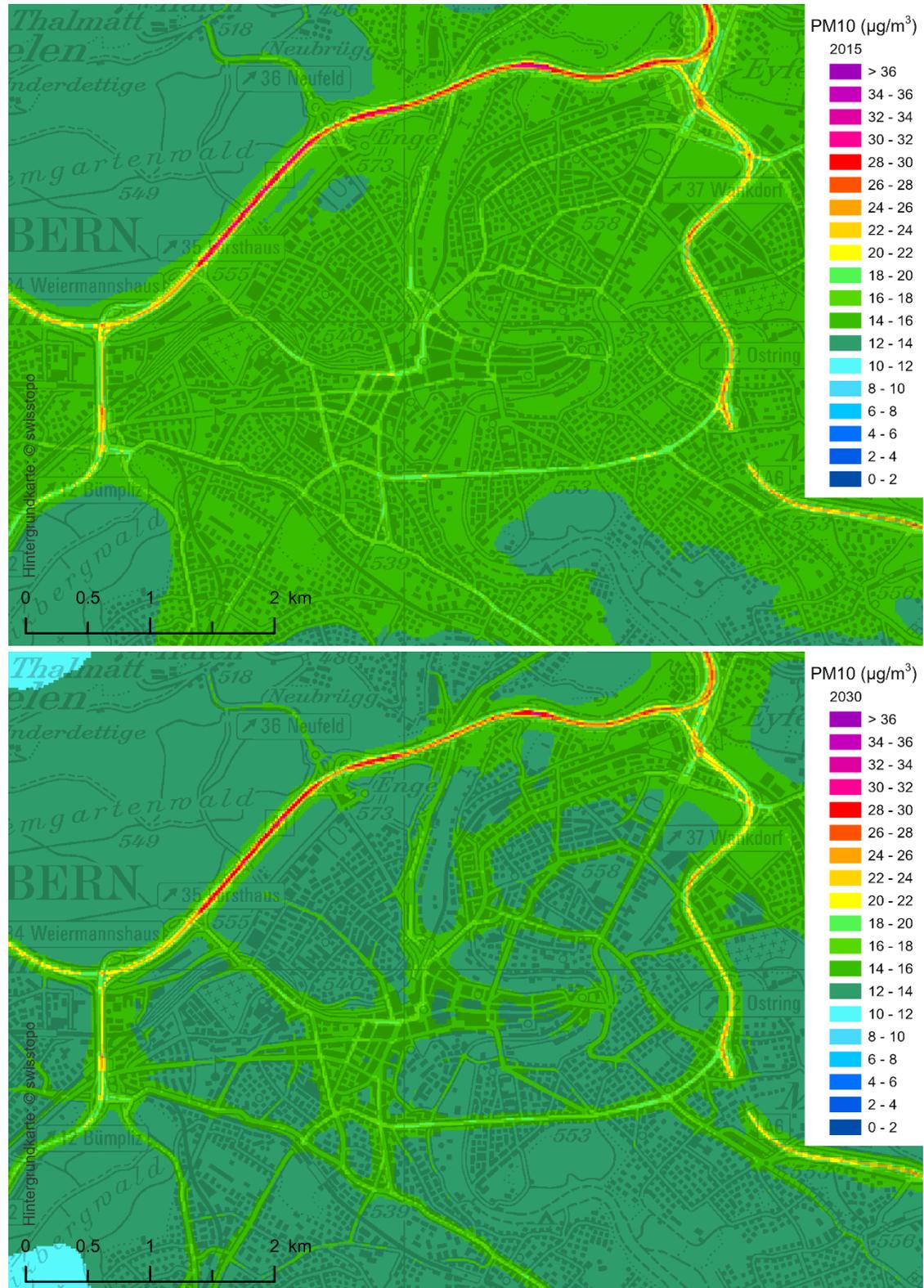


Abbildung 21: PM10-Immissionen Basel. Oben 2015, unten 2030.

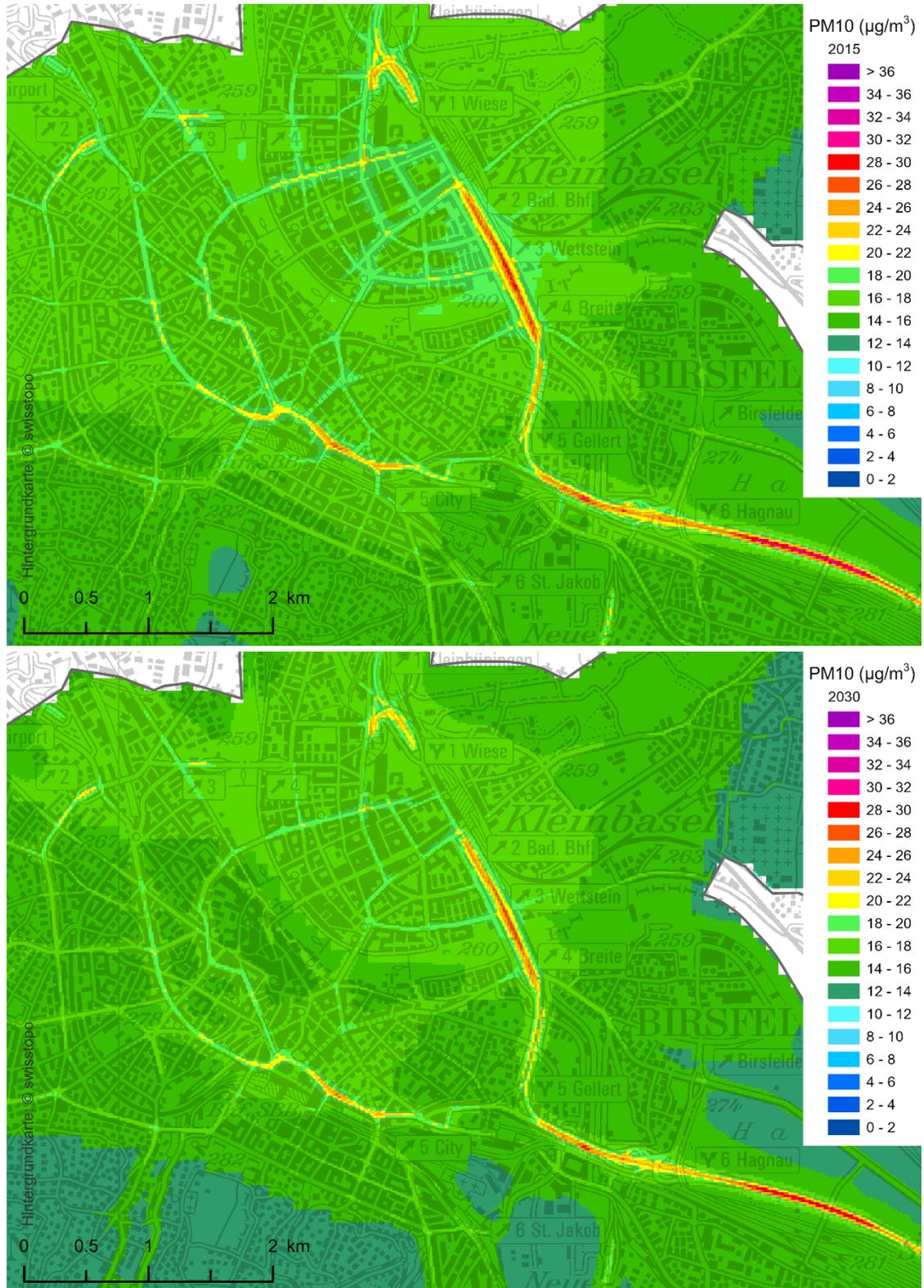


Abbildung 22: PM10-Immissionen Luzern. Oben 2015, unten 2030.

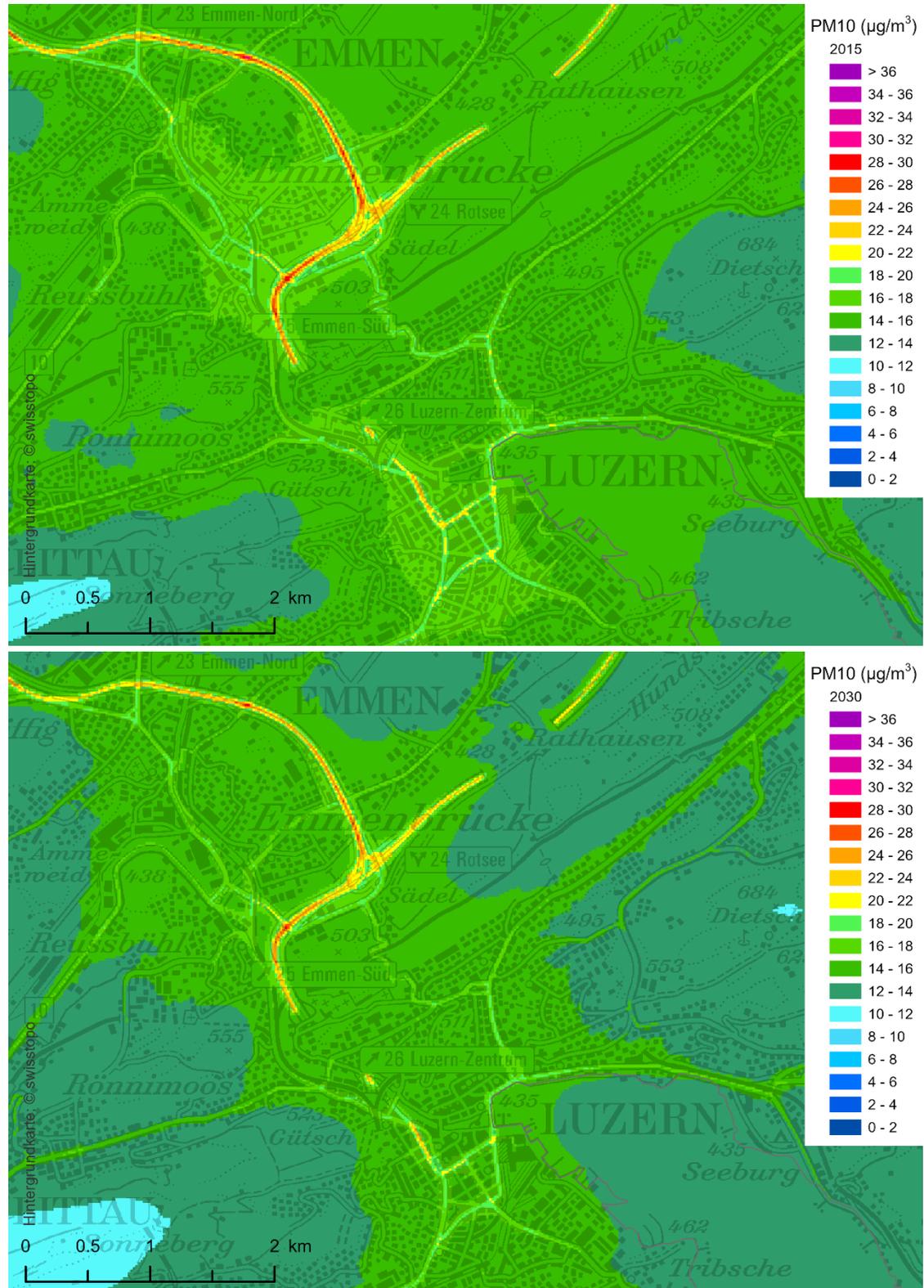


Abbildung 23: PM10-Immissionen Zürich. Oben 2015, unten 2030.

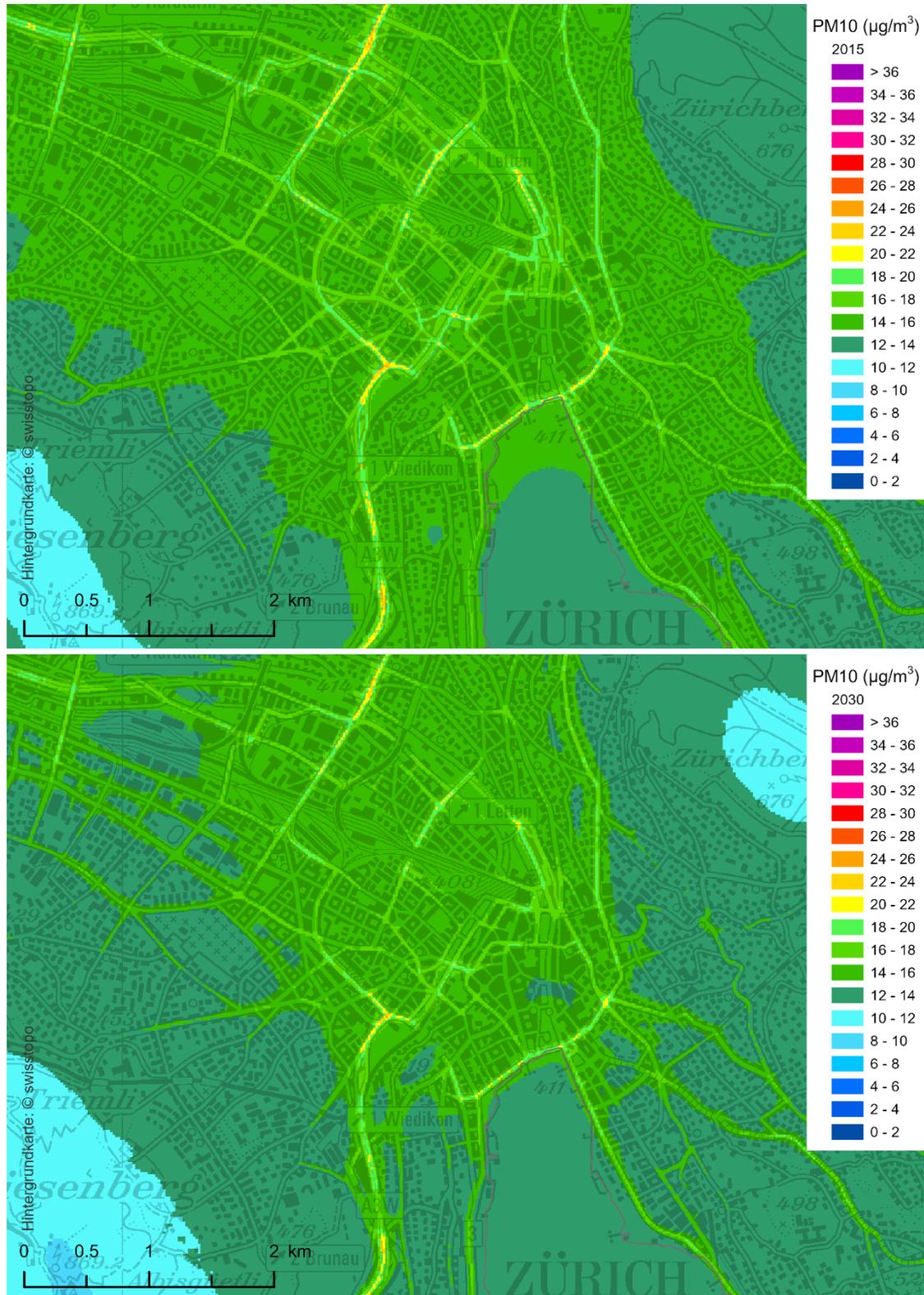
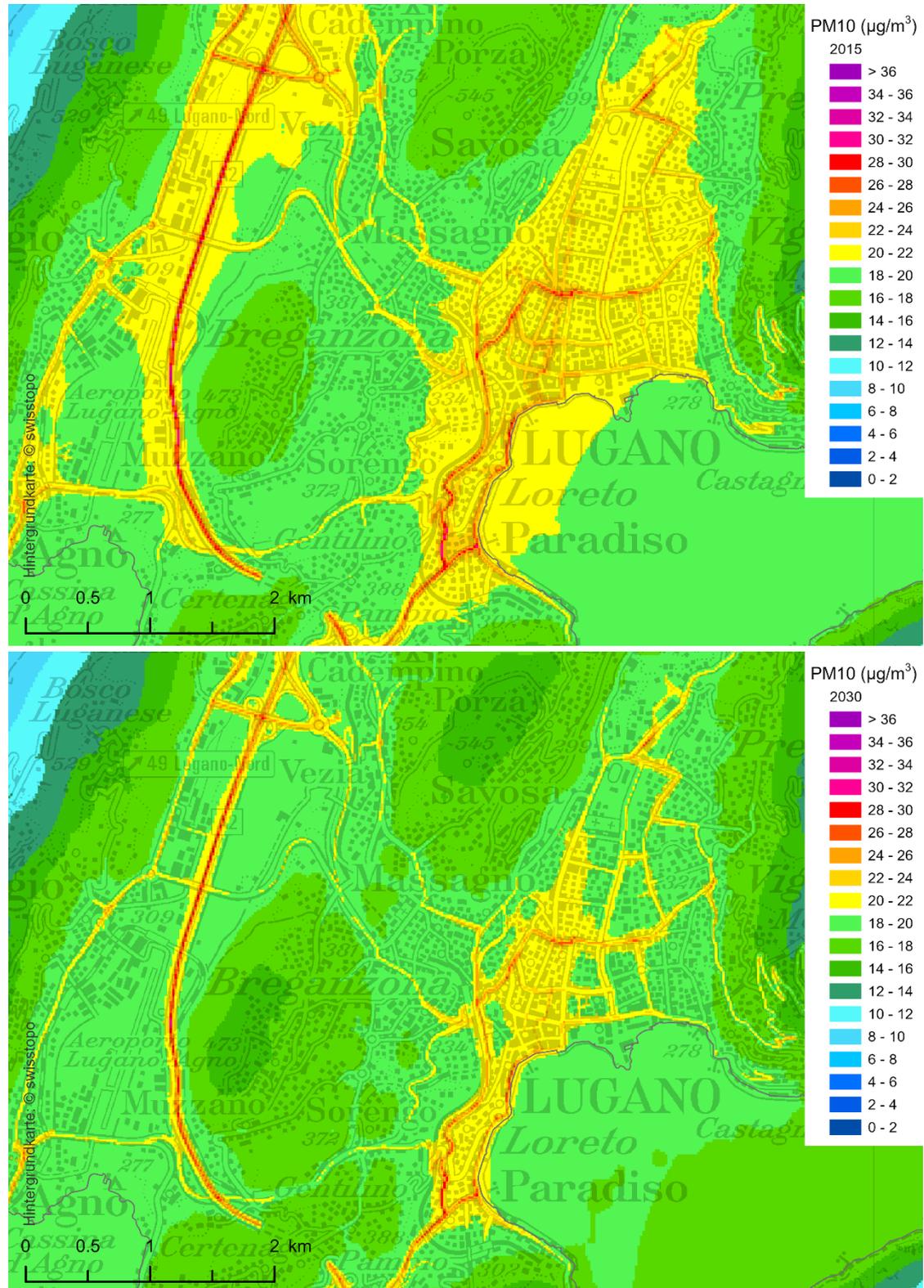


Abbildung 24: PM10-Immissionen Lugano. Oben 2015, unten 2030.



6. Immissionskarten PM2.5 2015, 2020 und 2030

6.1. Schweiz und Liechtenstein

Abbildung 25 bis Abbildung 28 zeigen die PM2.5-Belastungskarten für die drei Bezugsjahre 2015, 2020, 2030.

- Die Farbabstufungen sind bezüglich Klasseneinteilung und Farben auf die PM10-Karten abgestimmt: Die Farbe Gelb markiert die Stufe direkt über dem Jahres-Immissionsgrenzwert der LRV für PM2.5, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Höhere Konzentrationen sind in orange, rot, violett dargestellt, tiefere Konzentrationen in blau und grün.
- Anders als beim PM10 ist der Grenzwert für PM2.5 im Jahr 2015 in vielen Agglomerationen im Mittelland, in der Region Basel und im Tessin, selbst in den grossen Alpentälern St. Gallen-Rheintal und Unterwallis überschritten. Dabei sind auch nicht nur strassennahe Standort betroffen, die Überschreitungen treten flächig und vorwiegend im Siedlungsgebiet auf.
- Im Jahr 2020 sind die Immissionen etwas tiefer als im Jahr 2015. Das widerspiegelt die Emissionsentwicklung, wie sie in Abbildung 1, Bild unten dargestellt ist. Die PM2.5-Emissionen nehmen zwischen 2015 und 2020 um ca. 4 % ab.
- Bis ins Jahr 2030 sind deutliche Reduktionen zu erwarten, gegenüber 2015 um ca. 17 % ab. Grenzwertüberschreitungen treten nur noch stellenweise in den grössten Agglomerationen, an Hochleistungsstrassen und im Tessin auf.
- Vergrösserte Karten mit Ausschnitten von Städten aus den sechs Grossregionen der Schweiz (Genf, Lausanne, Bern, Zürich, Luzern, Basel, Lugano) sowie Liechtenstein folgen im Kap. 6.2. Betrachtungen von anderen Landesteilen sind mithilfe der online-Karten¹⁴ möglich.
- Datenqualität:
 - Die Unsicherheit der territorialen PM10-Emissionen werden vom BAFU mit 34 % angegeben (FOEN 2019). Änderungen in den Emissionen haben zwar auch Änderungen in den Immissionen zur Folge, allerdings ist nur weniger als ein Drittel der Immissionen durch primäres, anthropogenes PM2.5 verursacht. Unsicherheiten in den PM2.5-Emissionen übertragen sich deshalb in abgeschwächter Form auf die Immissionen.
 - Der Vergleich der Modellwerte mit Messwerten von 9 Stationen ergibt eine hohe Übereinstimmung: Bestimmtheitsmass $R^2 = 0.86$, Mittelwert der Messungen $10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Mittel der Modellwerte $11.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bias $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Siehe auch (INFRAS 2020).
- Die Modellunsicherheit für PM2.5-Immissionen wird im technischen Bericht nicht in quantitativer Form bezeichnet (diese wird aus dem Vergleich mit Messwerten hergeleitet, im Fall des PM2.5 stehen aber nur 9 Messwerte zur Verfügung). Es ist zu erwarten, dass die relativen Unsicherheiten grösser als beim PM10 (10 %) sind.

¹⁴ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--modelle-und-szenarien.html>

Abbildung 25: PM2.5-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2015.

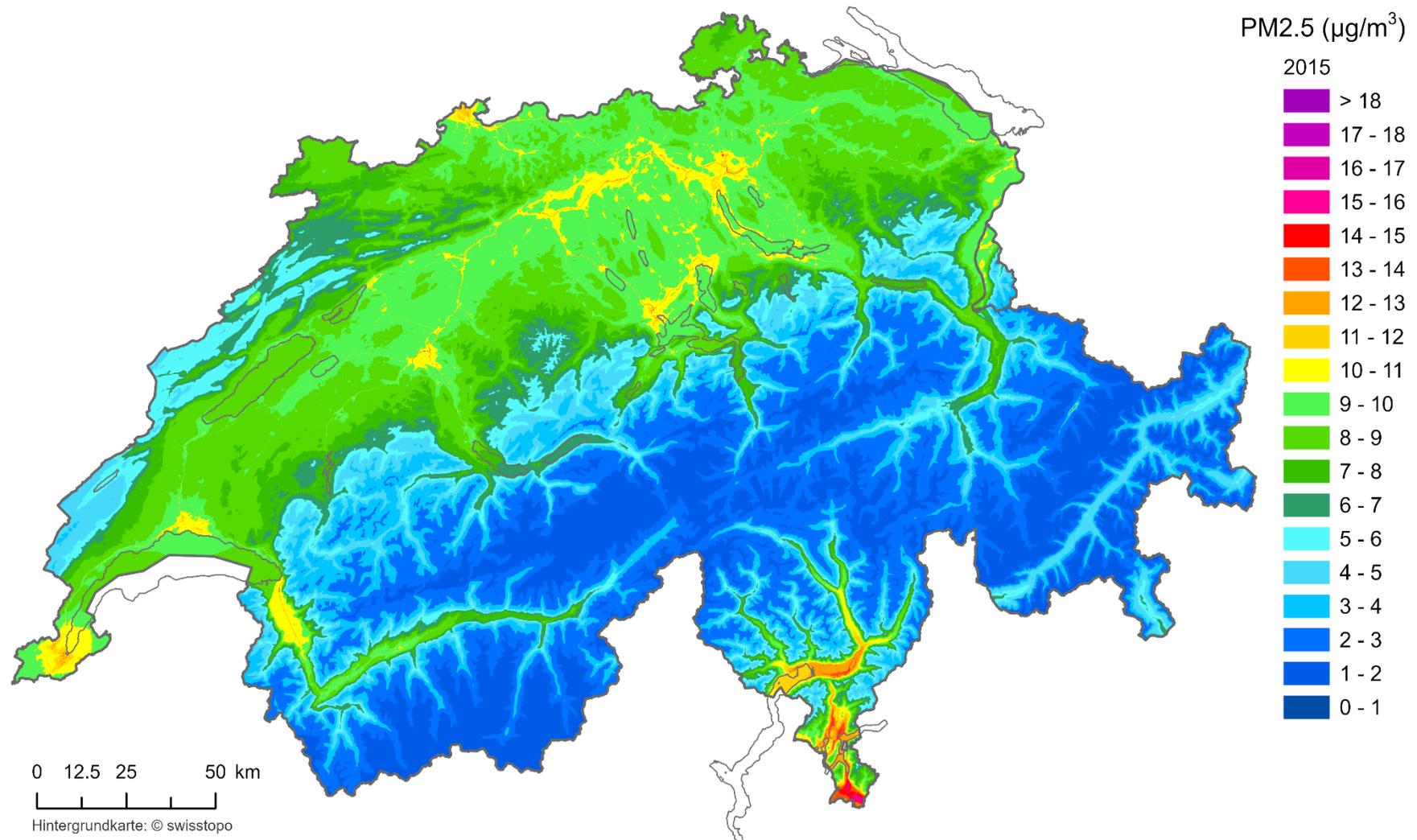


Abbildung 26: PM2.5-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2020.

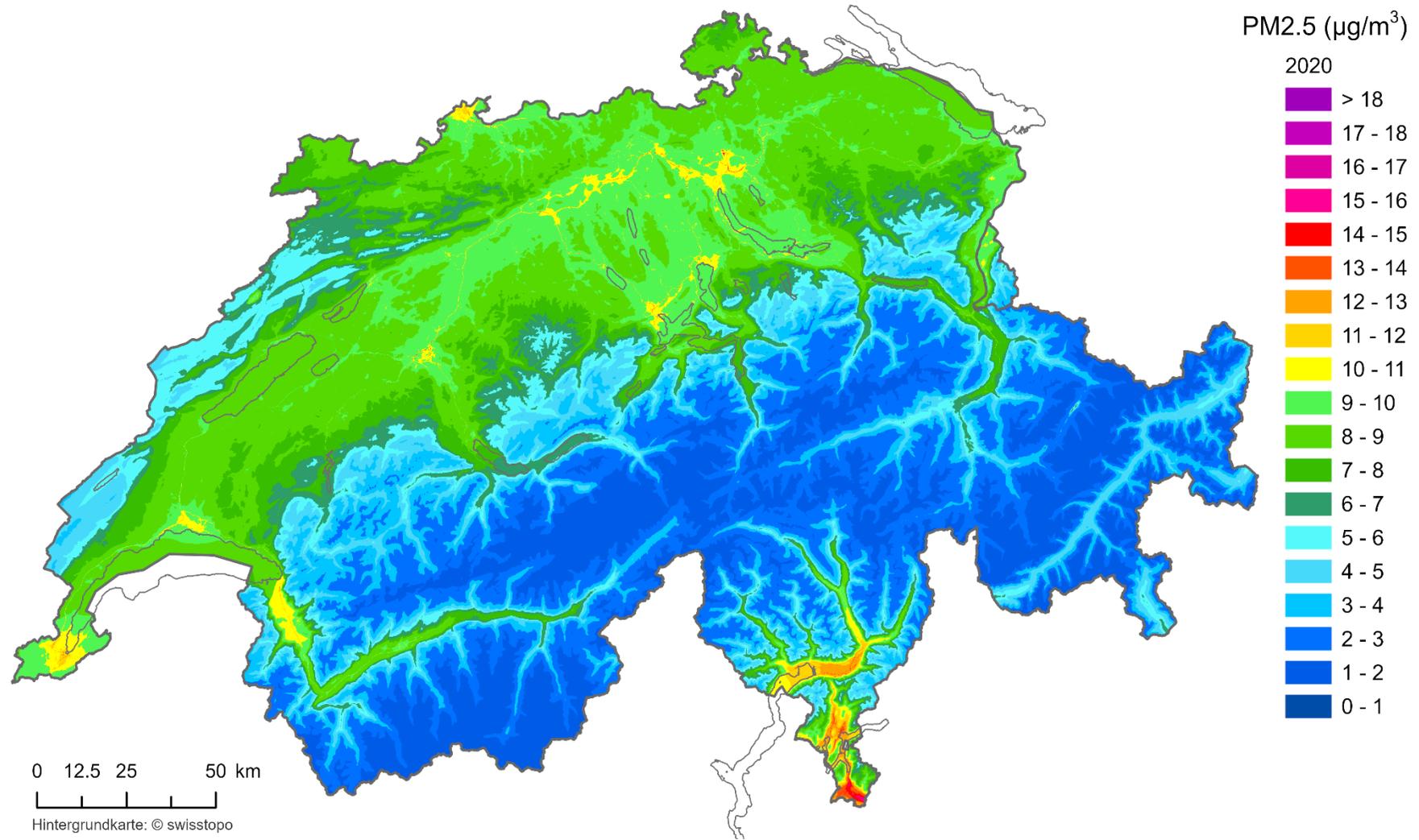


Abbildung 27: PM2.5-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2030.

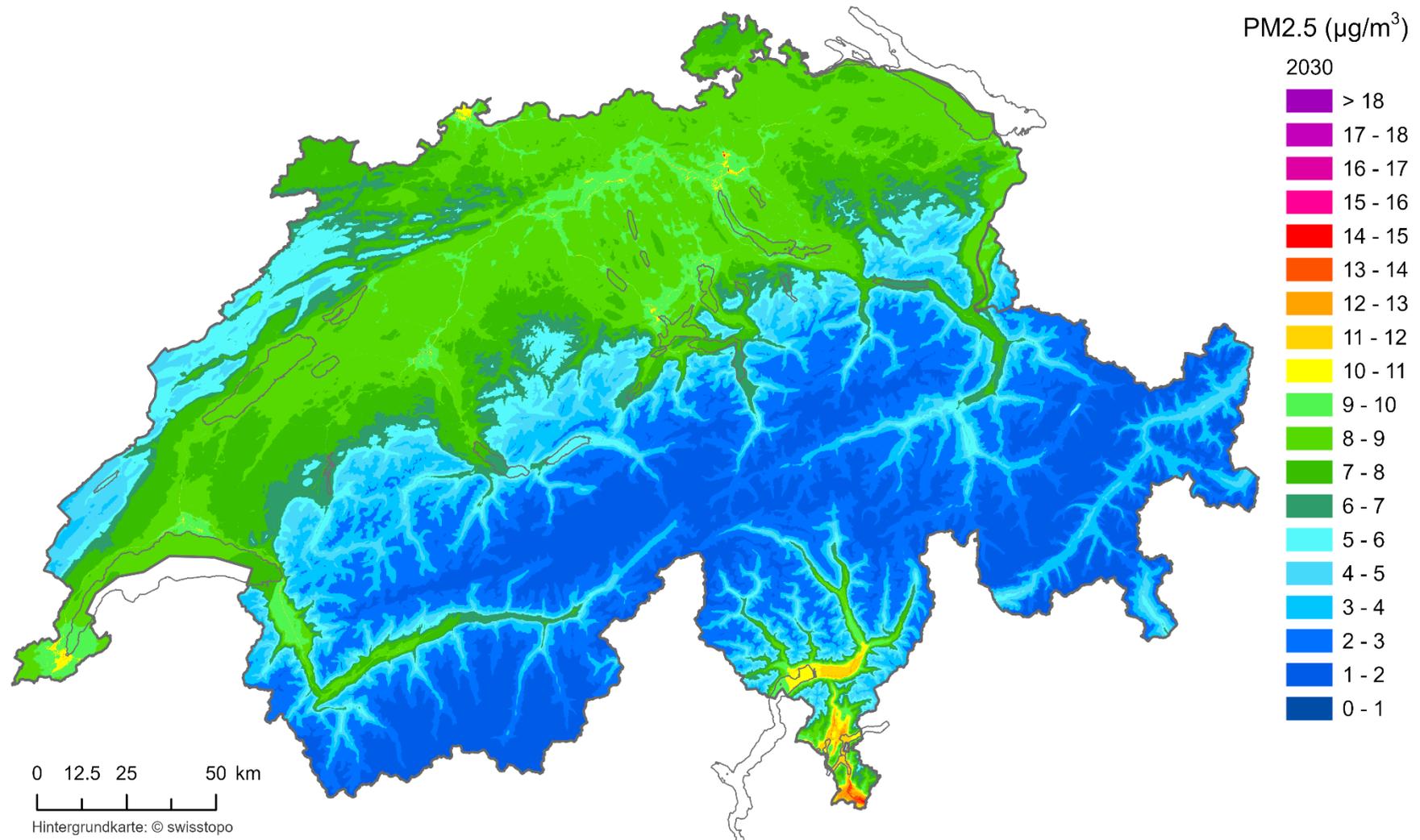
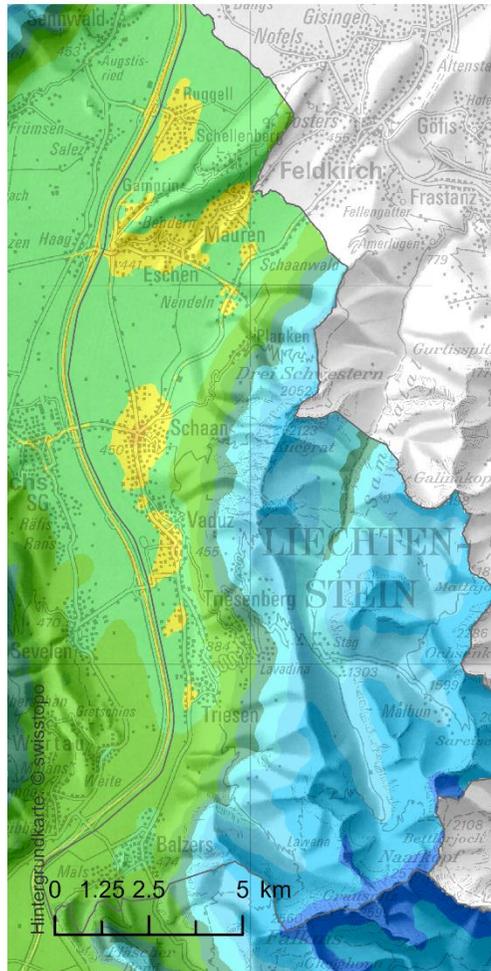
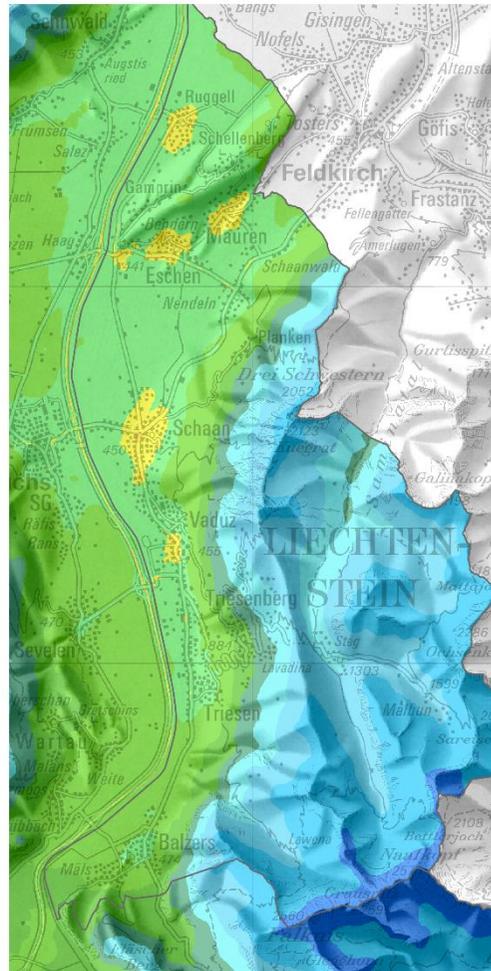


Abbildung 28: PM2.5-Immissionen Liechtenstein 2015 bis 2030. Bewertungen siehe Kap. 7.3.

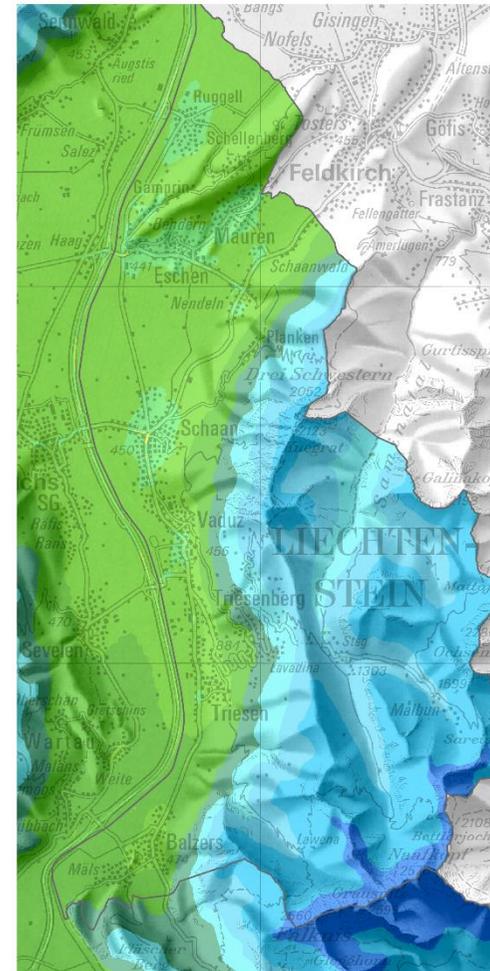
2015



2020



2030



PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

2015, 2020, 2030



6.2. Ausschnitte nach Regionen

Die folgenden Seiten mit Abbildung 29 bis Abbildung 35 zeigen Vergrößerungen aus den PM2.5-Immissionskarten 2015 und 2030 (Abbildung 25 und Abbildung 27) für die wichtigsten Städte pro Grossregion: Genf, Lausanne, Bern, Zürich, Luzern, Basel und Lugano.

- Die Karten konkretisieren die Aussagen im Kap. 6.1, dass 2015 die PM2.5-Immissionen in allen Städten mit typischen Werten zwischen 10 und 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ über dem Grenzwert liegen, an den stark befahrenen Strassen bis 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Bis Jahr 2030 sind deutliche Verbesserungen zu erwarten. In den Städten liegt die Konzentration mehrheitliche knapp unter dem Grenzwert, an wenigen exponierten Stellen entlang der wichtigen Strassen kommen noch Überschreitungen vor. In der Region Lugano bleibt der Grenzwert flächig mit 10 bis 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten.
- Betrachtungen von anderen Landesteilen sind mithilfe der online-Karten¹⁵ möglich. Sie zeigen, dass Grenzwertüberschreitungen 2015, 2020 und 2030 nicht nur in den dargestellten Landesteilen vorkommen, sondern auch an weiteren Orten mit ähnlichen Expositionen.

¹⁵ <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/daten/luftbelastung--modelle-und-szenarien.html>

Abbildung 29: PM2.5-Immissionen Genf. Oben 2015, unten 2030.

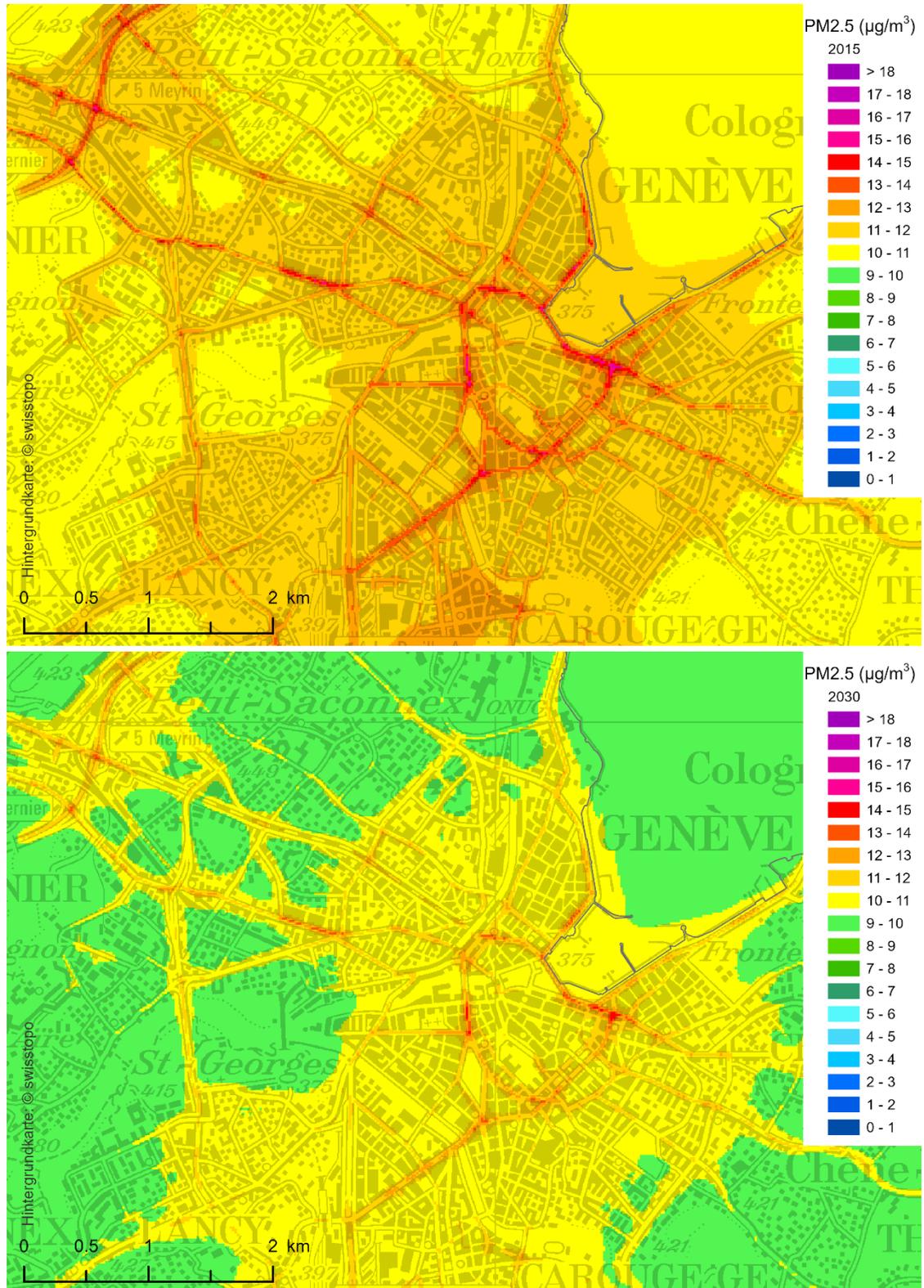


Abbildung 30: PM2.5-Immissionen Lausanne. Oben 2015, unten 2030.

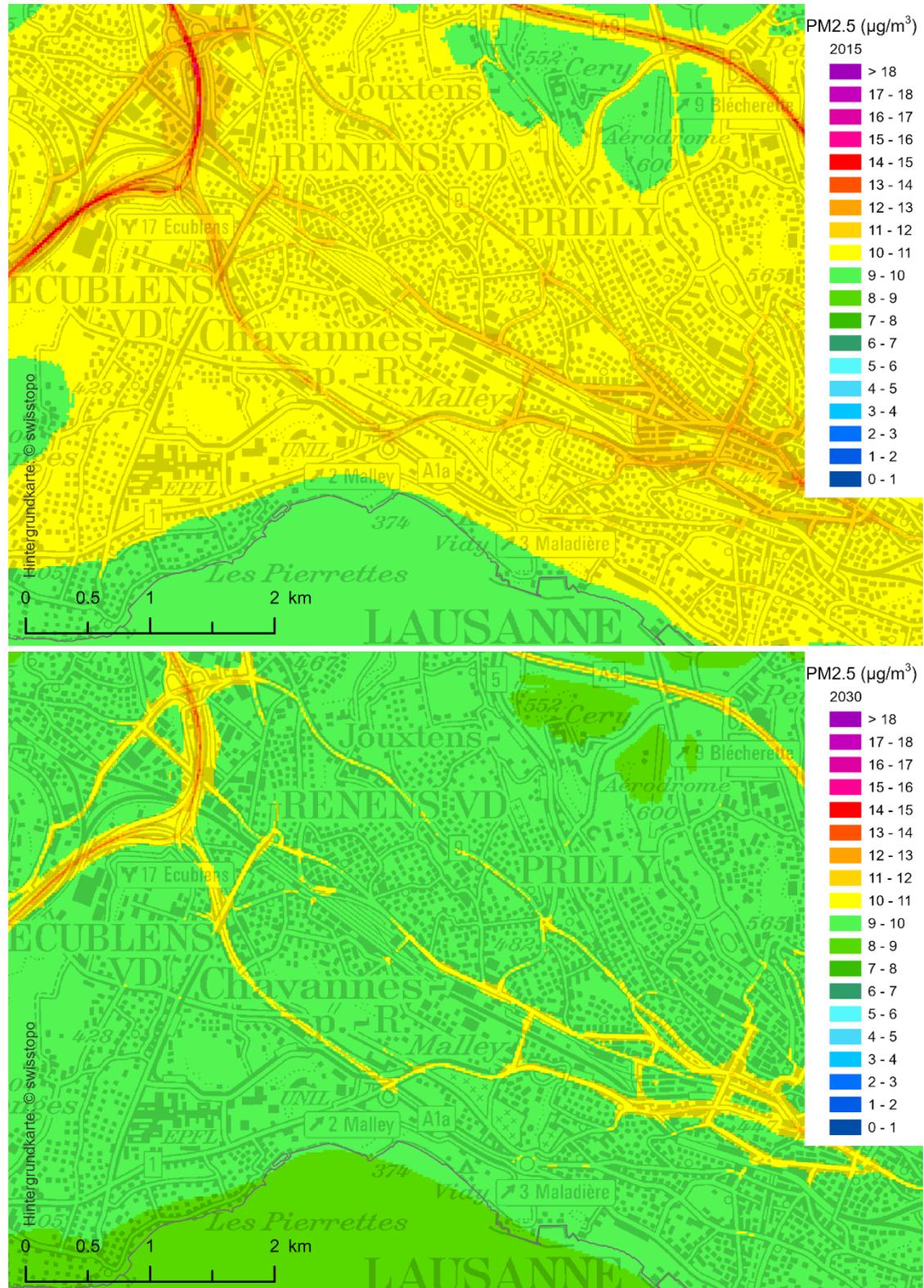


Abbildung 31: PM2.5-Immissionen Bern. Oben 2015, unten 2030.

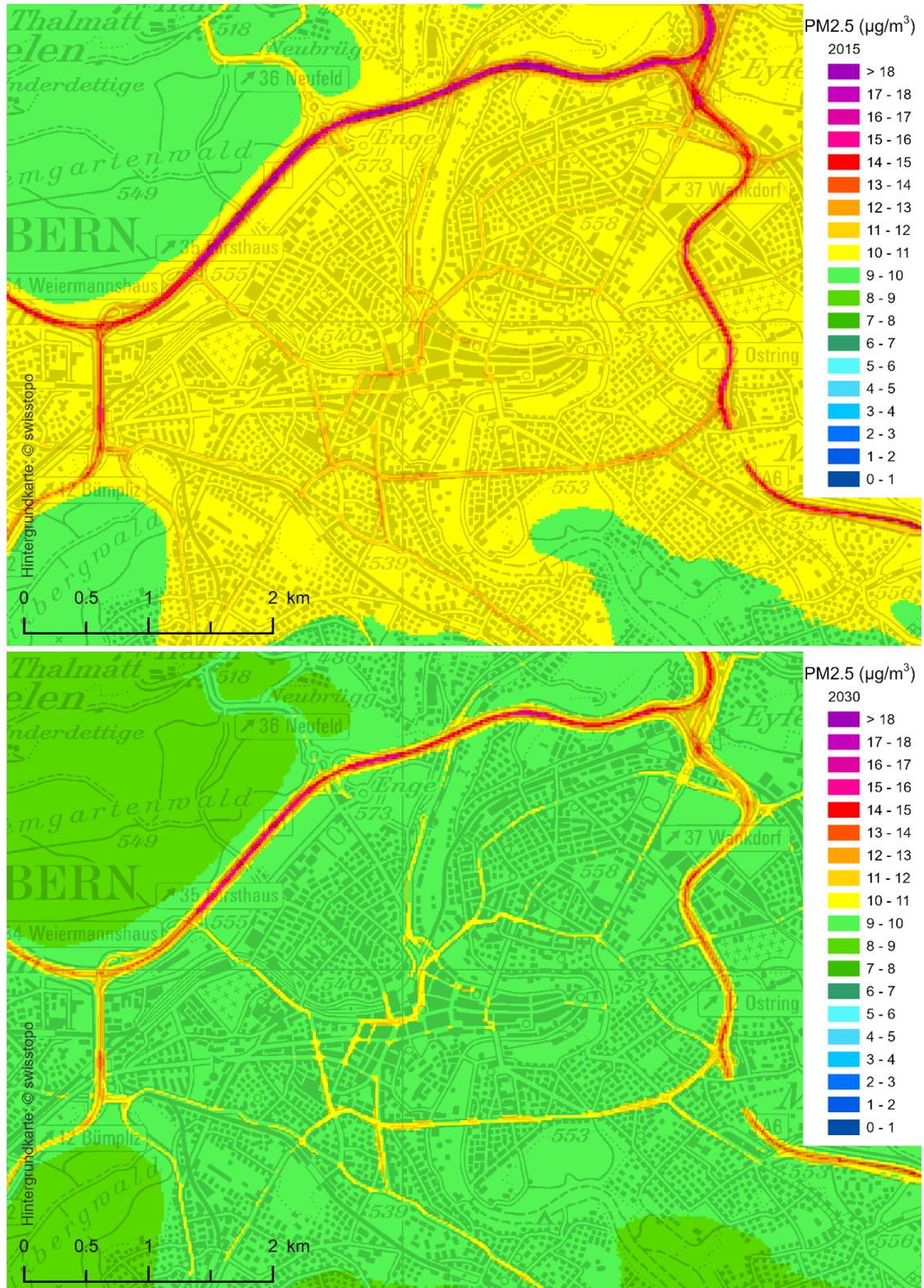


Abbildung 32: PM2.5-Immissionen Basel. Oben 2015, unten 2030.

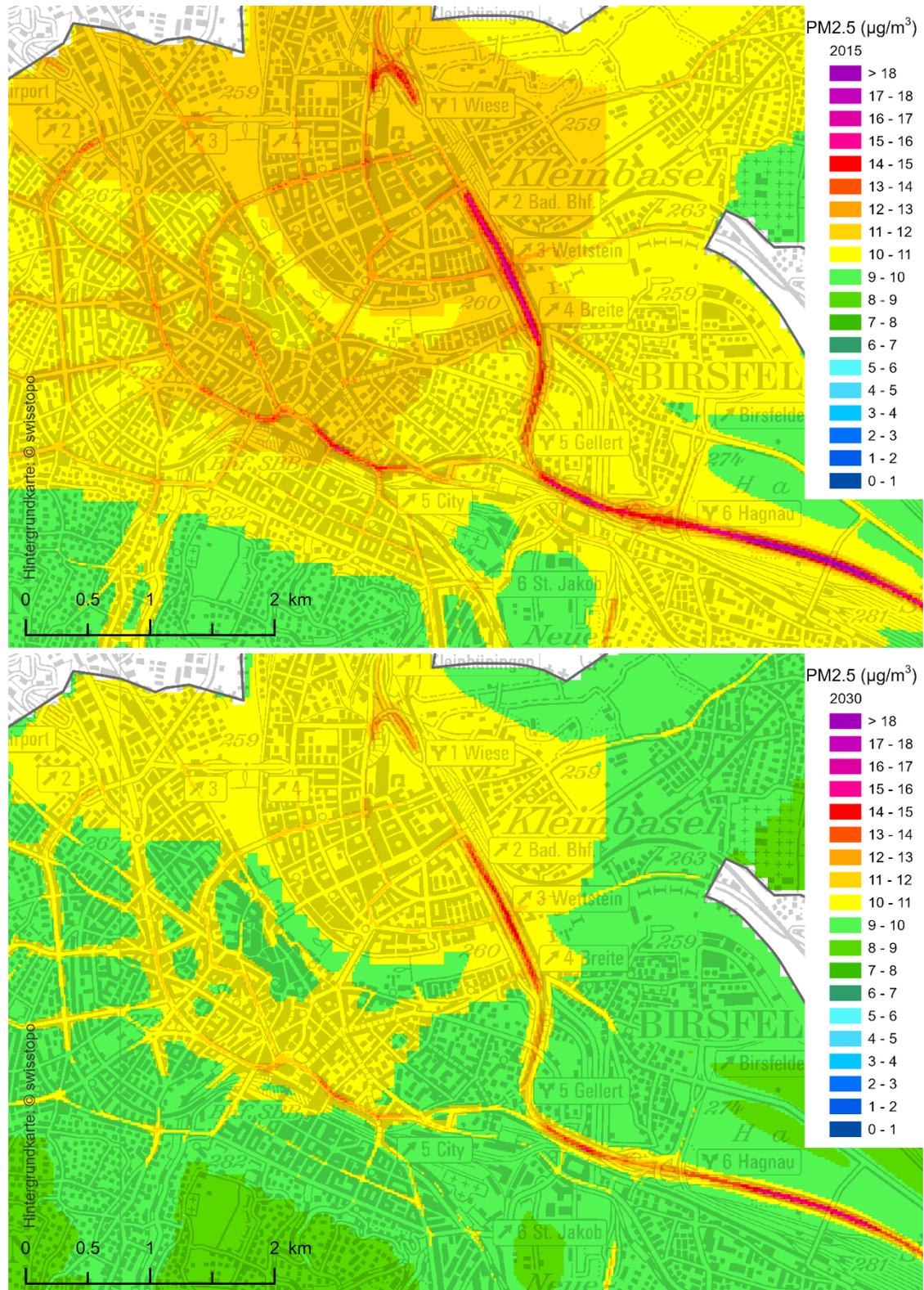


Abbildung 33: PM2.5-Immissionen Luzern. Oben 2015, unten 2030.

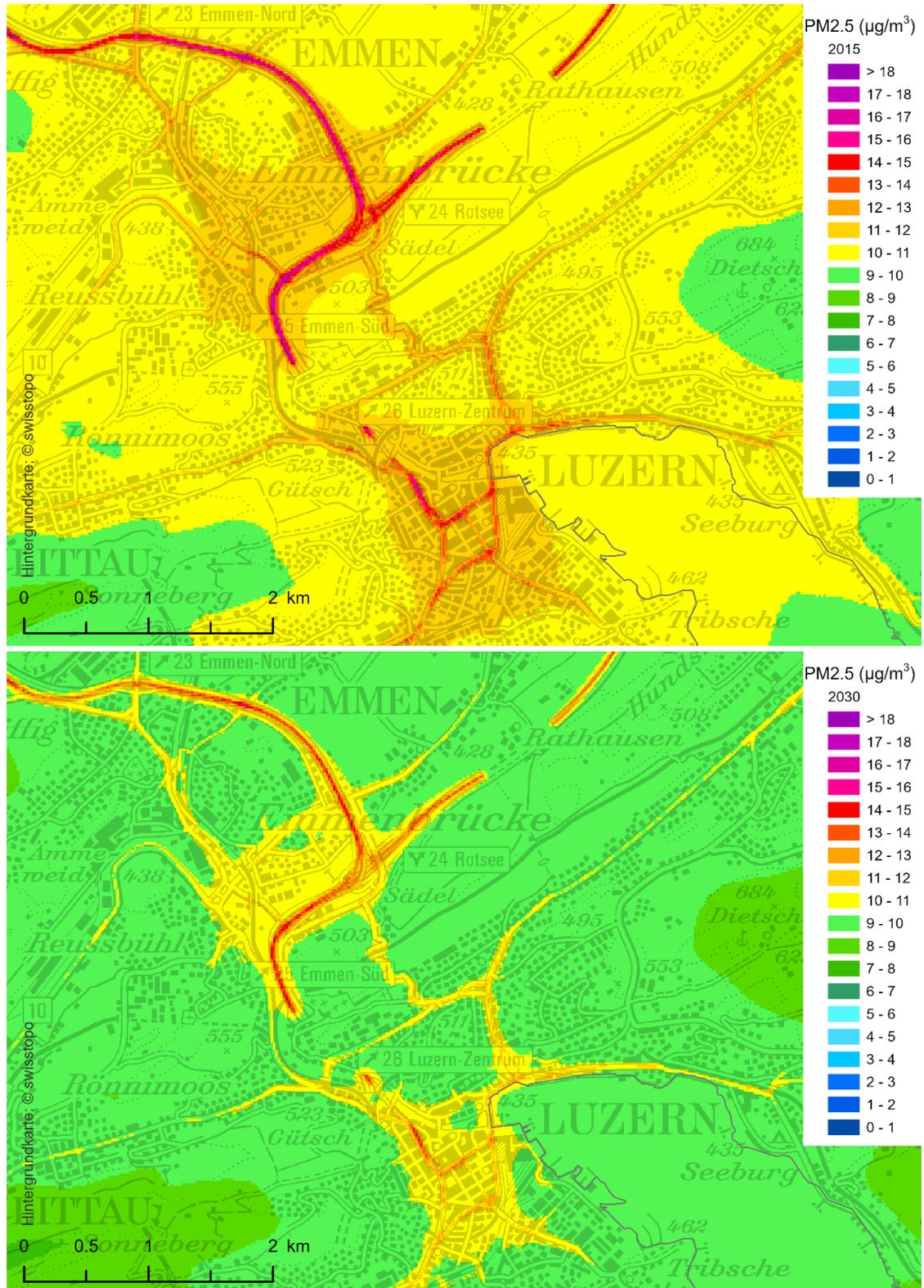


Abbildung 34: PM2.5-Immissionen Zürich. Oben 2015, unten 2030.

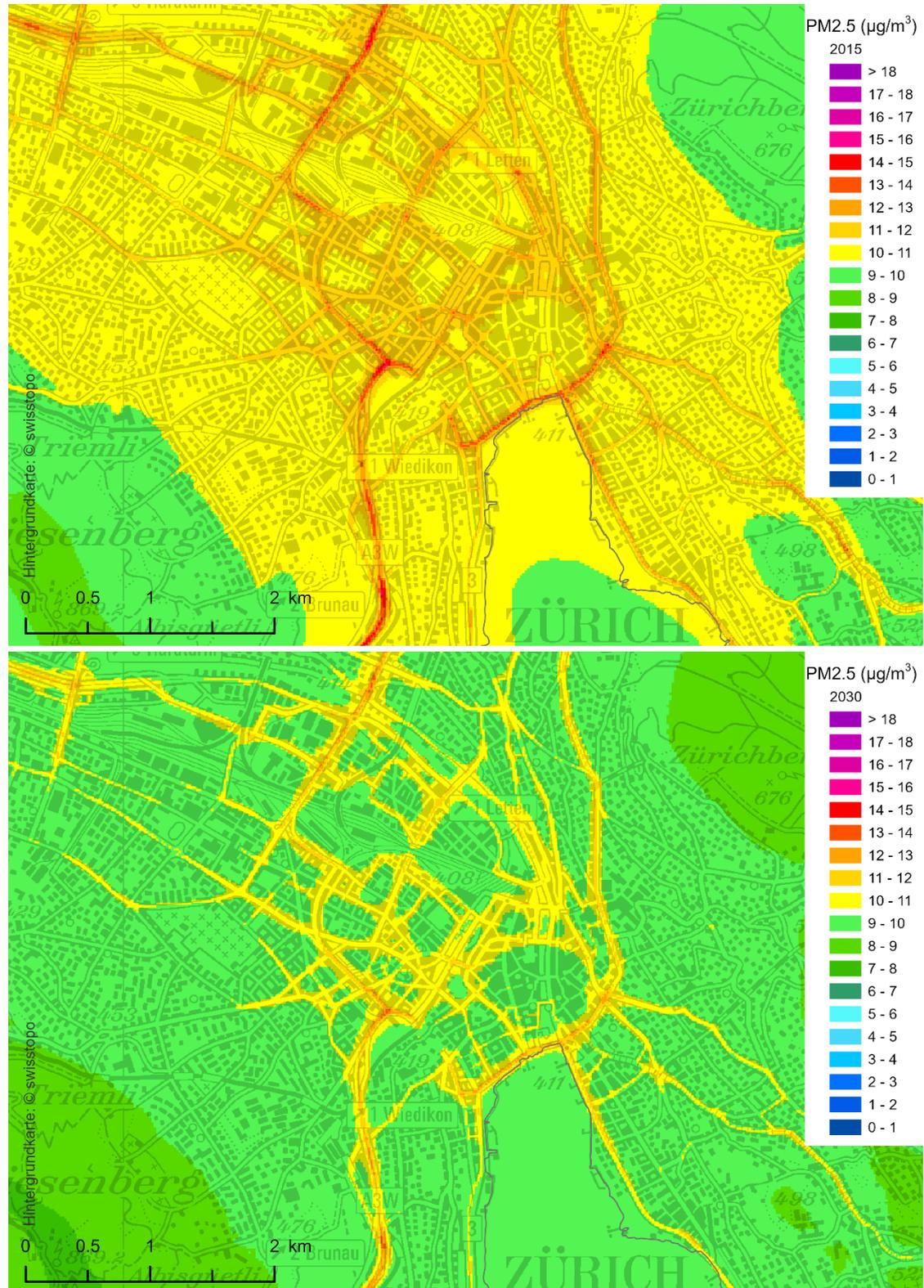
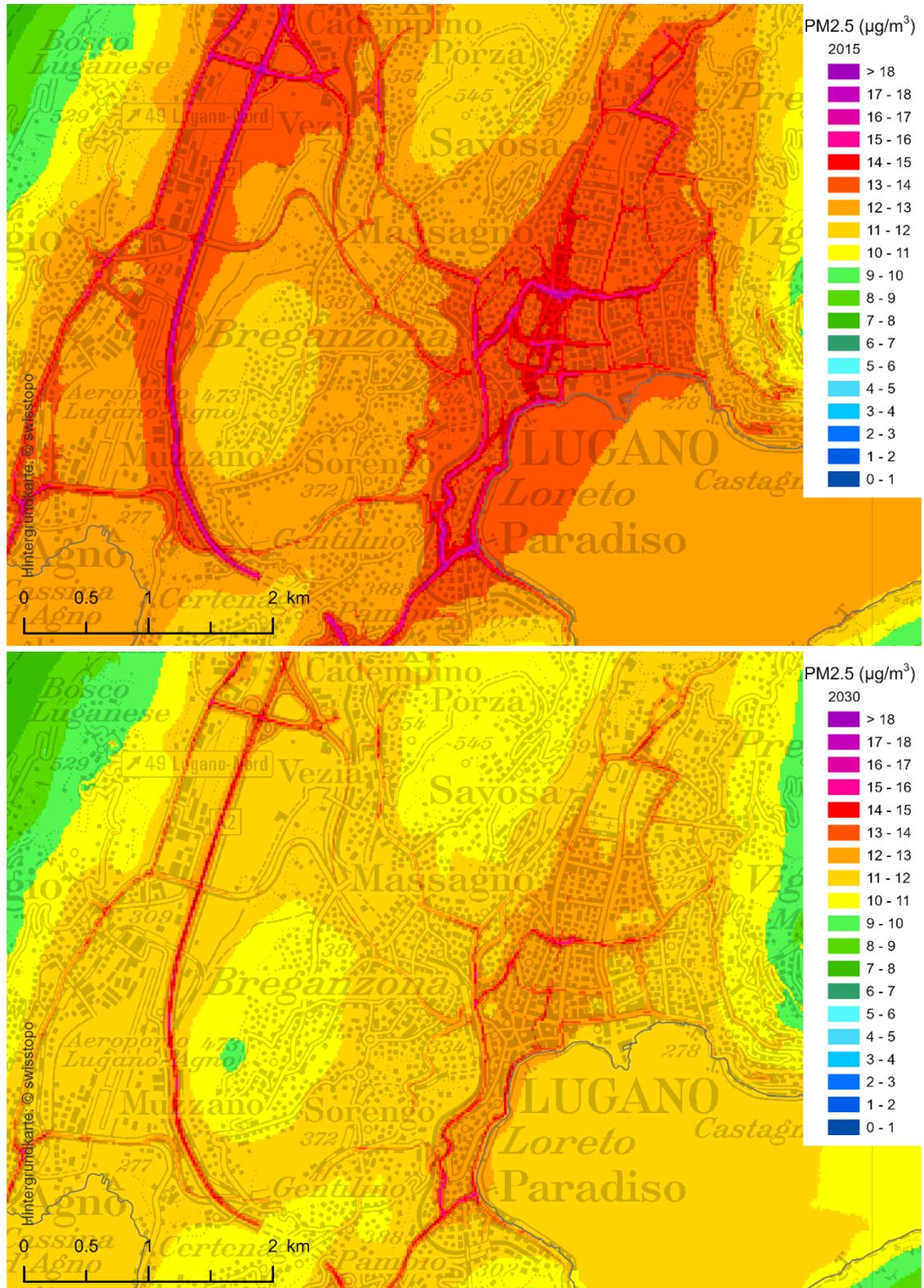


Abbildung 35: PM2.5-Immissionen Lugano. Oben 2015, unten 2030.



7. Bevölkerungsexpositionen

7.1. Methode

Die Bevölkerungsexposition gibt Auskunft darüber, wie stark die Bevölkerung der Schadstoffbelastung ausgesetzt ist. Die Immissionskarten werden mit dem Hektarraster der Einwohner (Wohnorte) überlagert. Auf diese Weise lässt sich für alle Hektaren in der Schweiz abzählen, wie viele Einwohner (respektive ihre Wohnorte) welcher Immissionskonzentration ausgesetzt sind. Daraus werden folgende Grössen und Kennziffern berechnet:

- Histogramme zu den Anteilen der Bevölkerung in Funktion der Immissionskonzentrationen,
- Bevölkerungsgewichtete Mittelwerte, für PM10 auch noch aufgeschlüsselt nach Anteilen primär/sekundär, anthropogen/biogen und geogen,
- Anteile der Bevölkerung über den Immissionsgrenzwerten.

Die Bevölkerungszahlen liegen als Hektardaten vor. Die Immissionen sind feiner aufgelöst (pro Hektare 25 Werte à 20 m x 20 m). Für die Berechnungen der Expositionen wird je Hektare der Mittelwert über die 25 Konzentrationswerte innerhalb der Hektare verwendet. Zur Abschätzung von Minimum und Maximum werden zudem alle Berechnungen auch noch mit dem minimalen respektive maximalen Konzentrationswert je Hektare ausgeführt.

Alle Expositionsberechnungen werden mit demselben Hektarraster der Einwohner Schweiz für das Jahr 2015 ausgeführt, dasselbe auch für Liechtenstein. Es sind keine Hektardaten der Einwohner für 2020 und 2030 vorhanden, die die räumlichen Veränderungen der Einwohner prognostizieren, weder für die Schweiz noch für Liechtenstein.

7.2. Resultate für die Schweiz

Abbildung 36 zeigt die Häufigkeitsverteilungen für die mittlere Bevölkerungsexposition. Im technischen Bericht INFRAS (2020) sind auch die Histogramme für die minimale und die maximale Exposition dargestellt.

- Die erwarteten Immissions-Reduktionen zeigen sich in den Histogrammen als eine Verschiebung der glockenförmigen Kurven hin zu niedrigeren Immissionen.
- Diese Reduktion kommt bei NO₂ am stärksten zum Ausdruck, weil die NO_x-Emissionen zwischen 2015 und 2030 den stärksten Rückgang (um 42 %) aufweisen. Beim PM10 ist die Verschiebung am geringsten (Rückgang der PM10-Emissionen um 5 %), PM2.5 liegt dazwischen (Rückgang der PM2.5-Emissionen um 17 %) – in Übereinstimmung mit der Emissionsentwicklung von PM10 und PM2.5.

- Die Fläche unter den Kurven ergibt jeweils 100 % der Bevölkerung. Die Teilfläche unter den Kurven ab dem Immissionsgrenzwert ergibt den Anteil der übermässig belasteten Bevölkerung. Die zugehörigen Werte sind in Tabelle 1 angegeben.

Abbildung 36: Häufigkeitsverteilung der Bevölkerungsexposition 2015, 2020, 2030. Oben NO₂, Mitte PM10, unten PM2.5. Die Kurven repräsentieren die mittlere Exposition. IGW: Immissionsgrenzwert.

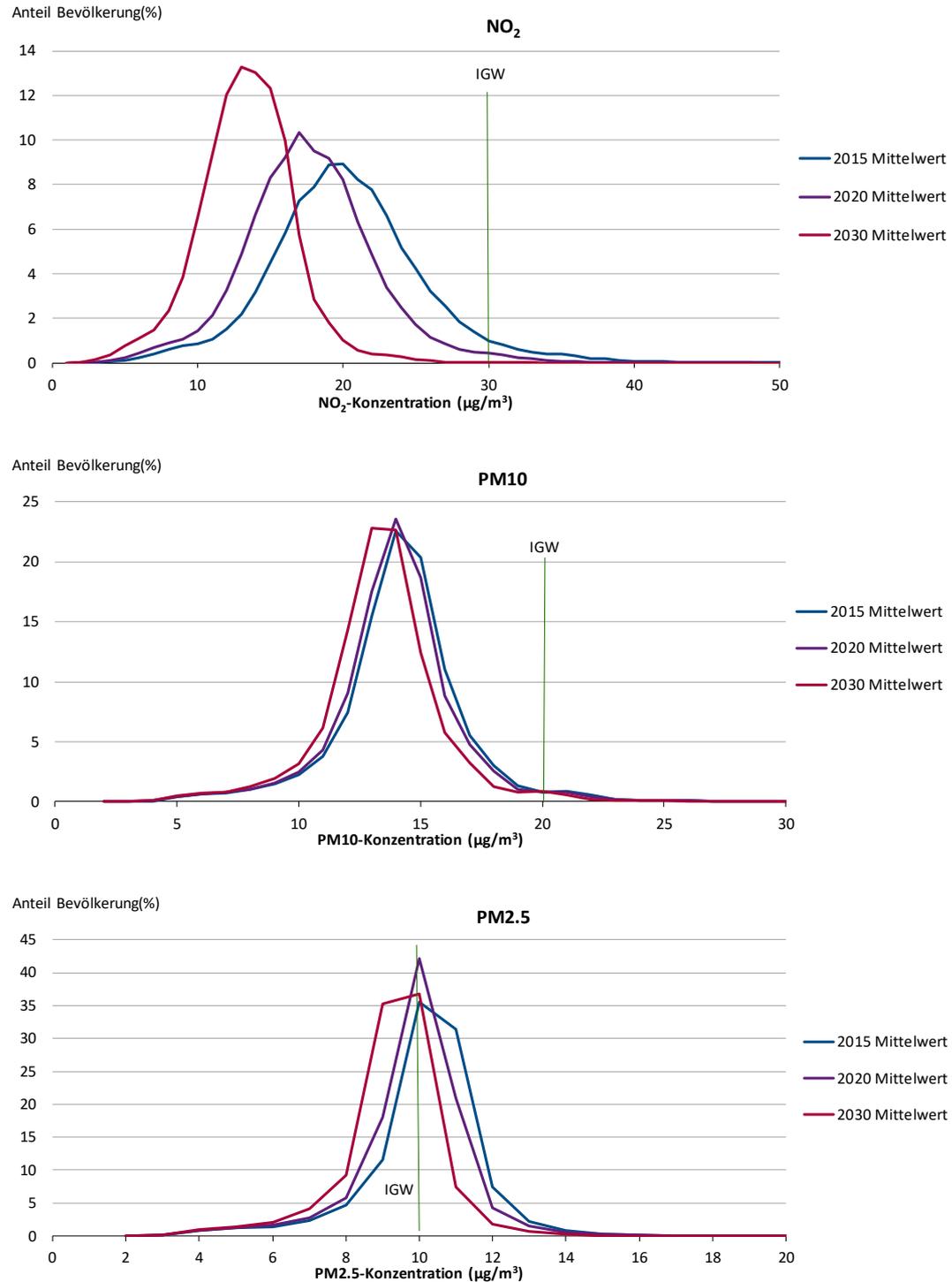
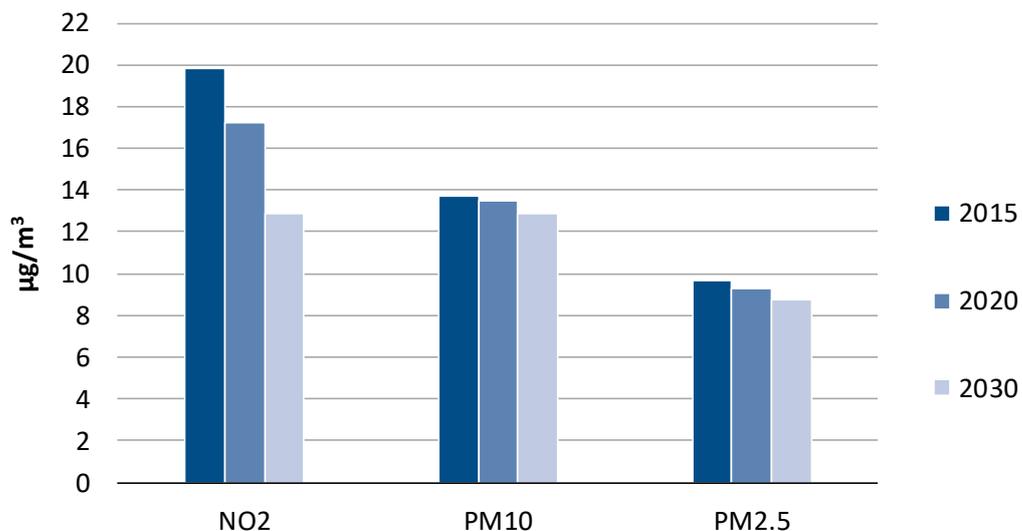


Tabelle 1: Kennziffern zur Bevölkerungsexposition Schweiz.

Parameter	Einheit	NO ₂			PM10			PM2.5		
		2015	2020	2030	2015	2020	2030	2015	2020	2030
Bevölkerungsgewichtete Konzentration										
Mittelwert	µg/m ³	19.8	17.2	12.9	13.7	13.5	12.9	9.7	9.3	8.8
Minimum	µg/m ³	18.8	16.4	12.4	13.5	13.2	12.7	9.5	9.2	8.6
Maximum	µg/m ³	21.5	18.6	13.5	14.0	13.8	13.2	9.8	9.4	8.9
Anteil der Bevölkerung > IGW										
Mittelwert	--	3.9%	1.2%	0.01%	2.0%	1.8%	1.2%	43%	28%	10%
Minimum	--	1.6%	0.4%	0.00%	1.6%	1.4%	0.8%	37%	22%	7%
Maximum	--	9.8%	4.2%	0.28%	3.1%	2.7%	2.0%	46%	32%	14%

Eine grafische Darstellung der Mittelwerte für die bevölkerungsgewichtete Immission gibt Abbildung 37.

Abbildung 37: Zeitentwicklung 2015, 2020, 2030 der bevölkerungsgewichteten Immissions-Mittelwerte in der Schweiz. Grafik zu den Zahlen in Tabelle 1.



Die Anteile der Bevölkerung mit übermässiger (über dem Immissionsgrenzwert) Belastung, sind beim NO₂ und PM10 gering und liegen im Jahr 2015 in einer ähnlichen Grössenordnung. Während der Anteil beim NO₂ bis 2030 fast auf Null zurückgeht, verringert er sich beim PM10 aber nur wenig von 2.2 % auf 1.3 %. Beim PM2.5 (IGW liegt bei 10 µg/m³ als Jahresmittelwert seit 2018) sind im Jahr 2015 noch 43 % der Bevölkerung übermässig belastet, bis 2030 geht der Anteil auf 10 % zurück.

Die Berechnungen für die minimalen und maximalen Anteile ergeben die Streubreiten. Sie sind asymmetrisch um die Mittelwerte verteilt und verhalten sich approximativ wie eine log-normal-Verteilung: Das Minimum lässt sich als M/q_i , das Maximum als $M \cdot q_i$ darstellen. Dabei ist M der Mittelwert und q_i ein Schadstoff-spezifischer Faktor. Für NO_2 beträgt der Faktor $q_{\text{NO}_2} = 2.5$, für PM_{10} $q_{\text{PM}_{10}} = 1.3$ und für $\text{PM}_{2.5}$ $q_{\text{PM}_{2.5}} = 1.1$. die Streuung ist also besonders gross beim NO_2 , deutlich geringer (und ähnlich) für PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$.

7.3. Resultate für Liechtenstein

Für Liechtenstein ergibt die Auswertung der Bevölkerungsexposition folgende Ergebnisse¹⁶:

Tabelle 2: Kennziffern zur Bevölkerungsexposition Liechtenstein.

Parameter	Einheit	NO ₂			PM10			PM2.5		
		2015	2020	2030	2015	2020	2030	2015	2020	2030
Bevölkerungsgewichtete Konzentration										
Mittelwert	µg/m ³	20.2	16.7	12.9	12.7	12.5	11.8	9.8	9.5	8.8
Minimum	µg/m ³	18.3	16.1	12.4	12.6	12.3	11.7	9.7	9.4	8.6
Maximum	µg/m ³	21.1	17.3	13.3	12.8	12.6	11.9	9.9	9.6	8.8
Anteil der Bevölkerung > IGW										
Mittelwert	--	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	53%	30%	0.1%
Minimum	--	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	43%	22%	0.0%
Maximum	--	1.7%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	55%	34%	1.4%

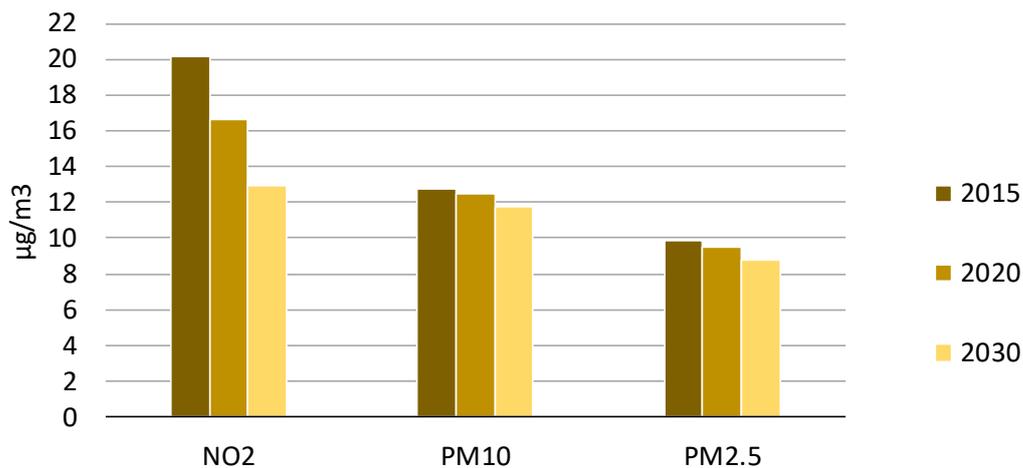
Die bevölkerungsgewichteten Immissionen sind in Liechtenstein beim NO_2 für 2015 $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höher, beim PM_{10} um $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ niedriger als in der Schweiz, beim $\text{PM}_{2.5}$ praktisch gleich. Die Entwicklungen 2015-2030 verlaufen in beiden Ländern sehr ähnlich. Die Anteile der Einwohner über den Immissionsgrenzwerten (> IGW) zeigen gewisse Unterschiede:

- Die räumliche Verteilung der Einwohner (Wohnorte) Liechtensteins unterscheidet sich insofern von der Schweiz, als fast alle Einwohner in den Siedlungen leben, wo die Immissionen erhöht sind. Das führt im Fall des $\text{PM}_{2.5}$ dazu, dass 2015 der Anteil der Einwohner > IGW höher ist als in der Schweiz. Gleichzeitig hat es in Liechtenstein aber keine so grossen Städte wie in der Schweiz, wo selbst im Jahr 2030 in den Zentren noch Grenzwertüberschreitungen vorkommen. Deshalb ist der Anteil der Einwohner > IGW im Jahr 2030 kleiner als in der Schweiz.
- Im Vergleich zu Schweiz ist Liechtensteins Fläche sehr viel kleiner (0.4 %) und die Zahl bewohnter Hektaren relativ gering. Bei der Auszählung der Einwohner treten Sprünge auf, die sich als zusätzliche, methodische Unsicherheiten bemerkbar machen (im Fall der Schweiz

¹⁶ Der Langzeit-IGW $\text{PM}_{2.5}$ ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wird in der Liechtensteiner LRV erst mit der aktuell laufenden Revision aufgenommen.

sind diese vernachlässigbar). Eine Quantifizierung konnte im Rahmen des Projekts allerdings nicht durchgeführt werden.

Abbildung 38: Zeitentwicklung 2015, 2020, 2030 der bevölkerungsgewichteten Immissions-Mittelwerte (Liechtenstein ohne Schweiz). Grafik zu den Zahlen in Tabelle 2.



7.4. Bevölkerungsgewichtete Anteile für PM10

Die Bevölkerungsgewichtung kann auch für die weiteren Anteile an der PM10-Immission durchgeführt werden. Von Interesse ist die Aufteilung nach primären / sekundären¹⁷ und anthropogenen / nicht anthropogenen Anteilen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Die biogenen/geogenen¹⁸ Anteile bleiben für alle Bezugsjahre konstant. Bei den anthropogenen Anteilen nehmen die primären um ca. 0.5 µg/m³ bis 2030 ab, die sekundären mit 0.35 µg/m³ etwas weniger. Die anthropogenen Anteile bleiben mit 85 % dominant.

¹⁷ Die sekundären Anteile bestehen zur Hauptsache aus Nitrat, Sulfat, Ammonium und organischem Material

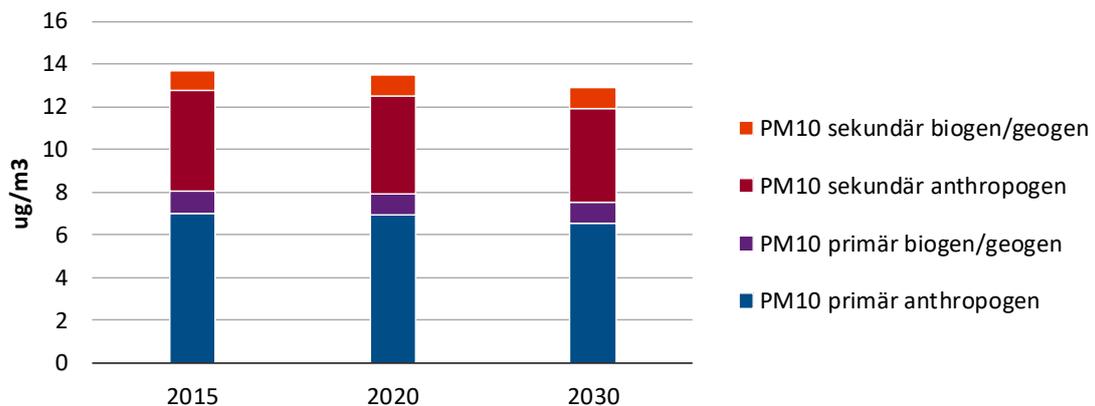
¹⁸ Biogen primär: Bruchstücke biologischen Ursprungs, biogen sekundär: Terpene und weitere biologische NMVOC-Emissionen, die in der Atmosphäre in die partikuläre Phase umgewandelt werden.

Tabelle 3: Anteile PM10 am bevölkerungsgewichteten Mittelwert (Schweiz ohne Liechtenstein). Oben absolute Werte, unten Anteile am Total 2015, 2020, 2030.

Jahr	Quelle	PM10 primär	PM10 sekundär	PM10 total
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2015	anthropogen	7.0	4.7	11.8
	biogen/geogen	1.0	1.0	2.0
	Total	8.0	5.7	13.7
2020	anthropogen	6.9	4.6	11.5
	biogen/geogen	1.0	1.0	2.0
	Total	7.9	5.5	13.5
2030	anthropogen	6.6	4.4	10.9
	biogen/geogen	1.0	1.0	2.0
	Total	7.6	5.3	12.9

Jahr	Quelle	PM10 primär	PM10 sekundär	PM10 total
		%	%	%
2015	anthropogen	51%	35%	86%
	biogen/geogen	7%	7%	14%
	Total	58%	42%	100%
2020	anthropogen	51%	34%	85%
	biogen/geogen	7%	7%	15%
	Total	59%	41%	100%
2030	anthropogen	51%	34%	85%
	biogen/geogen	8%	7%	15%
	Total	59%	41%	100%

Abbildung 39: Anteile PM10 am bevölkerungsgewichteten Mittelwert (Schweiz ohne Liechtenstein). Grafik zu den Zahlen in Tabelle 3.



Annex

Tabelle 4: Territoriale Emissionen Schweiz.

Hauptgruppen	NO _x -Emissionen Schweiz		
	2015 (t/a)	2020 (t/a)	2030 (t/a)
Verkehr	46'085	35'088	16'851
Haushalte	5'415	4'885	3'797
Ind./Gew.	15'408	14'928	16'566
Land-/Forstw.	6'572	5'905	5'100
Total	73'480	60'806	42'313
<i>Index (2015 = 100%)</i>	100%	83%	58%

Hauptgruppen	PM10-Emissionen Schweiz		
	2015 (t/a)	2020 (t/a)	2030 (t/a)
Verkehr	4'582	4'421	4'469
Haushalte	2'854	2'716	2'285
Ind./Gew.	5'205	5'326	5'201
Land-/Forstw.	2'128	2'256	2'103
Total	14'770	14'719	14'058
<i>Index (2015 = 100%)</i>	100%	100%	95%

Hauptgruppen	PM2.5-Emissionen Schweiz		
	2015 (t/a)	2020 (t/a)	2030 (t/a)
Verkehr	1'798	1'544	1'434
Haushalte	2'461	2'296	1'875
Ind./Gew.	2'468	2'505	2'265
Land-/Forstw.	513	589	439
Total	7'240	6'934	6'013
<i>Index (2015 = 100%)</i>	100%	96%	83%

Quellen: EMIS (BAFU 2019a), Meteotest (2020), INFRAS (2019, 2019a)

Die 95%-Unsicherheiten der nationalen Emissionen werden vom BAFU wie folgt beziffert (FOEN 2019): U(NO_x) = 14 %, U(PM10) = 32 %, U(PM2.5) = 34 % (FOEN 2019). Für die NO_x-Emissionen 2015 wäre deshalb anstelle von 73'480 t korrekterweise 73'500 t ±10'300 t anzugeben. Der Einfachheit halber stehen in Tabelle 4 die rechnerisch ermittelten Werte.

Für den Vergleich mit den Zahlen in der EMIS Datenbank (Datenstand Juni 2019) ist zu beachten, dass in der Tabelle erstens die territorialen Emissionen angegeben sind (sie weichen von den Emissionen gemäss Absatzprinzip ab) und dass zweitens die Emissionen des Strassenverkehrs die aktualisierten Werte enthalten, wie sie erst seit Nov. 2019 vorliegen (INFRAS 2017, 2019, 2019a).

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Territoriale Emissionen Schweiz 2015, 2020, 2030 (t/a). Oben NO _x , Mitte PM10, unten PM2.5.	10
Abbildung 2: Immissionsmodellierung mit PolluMap.	11
Abbildung 3: NO ₂ -Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2015.	13
Abbildung 4: NO ₂ -Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2020.	14
Abbildung 5: NO ₂ -Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2030.	15
Abbildung 6: NO ₂ -Immissionen Liechtenstein 2015 bis 2030. Bewertungen siehe Kap. 7.3.	16
Abbildung 7: NO ₂ -Immissionen Genf. Oben 2015, unten 2030.	18
Abbildung 8: NO ₂ -Immissionen Lausanne. Oben 2015, unten 2030.	19
Abbildung 9: NO ₂ -Immissionen Bern. Oben 2015, unten 2030.	20
Abbildung 10: NO ₂ -Immissionen Basel. Oben 2015, unten 2030.	21
Abbildung 11: NO ₂ -Immissionen Luzern. Oben 2015, unten 2030.	22
Abbildung 12: NO ₂ -Immissionen Zürich. Oben 2015, unten 2030.	23
Abbildung 13: NO ₂ -Immissionen Lugano. Oben 2015, unten 2030.	24
Abbildung 14: PM10-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2015.	27
Abbildung 15: PM10-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2020.	28
Abbildung 16: PM10-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2030.	29
Abbildung 17: PM10-Immissionen Liechtenstein 2015 bis 2030. Bewertungen siehe Kap. 7.3.	30
Abbildung 18: PM10-Immissionen Genf. Oben 2015, unten 2030.	32
Abbildung 19: PM10-Immissionen Lausanne. Oben 2015, unten 2030.	33
Abbildung 20: PM10-Immissionen Bern. Oben 2015, unten 2030.	34
Abbildung 21: PM10-Immissionen Basel. Oben 2015, unten 2030.	35
Abbildung 22: PM10-Immissionen Luzern. Oben 2015, unten 2030.	36
Abbildung 23: PM10-Immissionen Zürich. Oben 2015, unten 2030.	37
Abbildung 24: PM10-Immissionen Lugano. Oben 2015, unten 2030.	38
Abbildung 25: PM2.5-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2015.	40
Abbildung 26: PM2.5-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2020.	41
Abbildung 27: PM2.5-Immissionen Schweiz und Liechtenstein 2030.	42
Abbildung 28: PM2.5-Immissionen Liechtenstein 2015 bis 2030. Bewertungen siehe Kap. 7.3.	43
Abbildung 29: PM2.5-Immissionen Genf. Oben 2015, unten 2030.	45
Abbildung 30: PM2.5-Immissionen Lausanne. Oben 2015, unten 2030.	46
Abbildung 31: PM2.5-Immissionen Bern. Oben 2015, unten 2030.	47
Abbildung 32: PM2.5-Immissionen Basel. Oben 2015, unten 2030.	48
Abbildung 33: PM2.5-Immissionen Luzern. Oben 2015, unten 2030.	49

Abbildung 34: PM2.5-Immissionen Zürich. Oben 2015, unten 2030. _____	50
Abbildung 35: PM2.5-Immissionen Lugano. Oben 2015, unten 2030. _____	51
Abbildung 36: Häufigkeitsverteilung der Bevölkerungsexposition 2015, 2020, 2030. Oben NO ₂ , Mitte PM10, unten PM2.5. Die Kurven repräsentieren die mittlere Exposition. IGW: Immissionsgrenzwert. _____	54
Abbildung 37: Zeitentwicklung 2015, 2020, 2030 der bevölkerungsgewichteten Immissions- Mittelwerte in der Schweiz. Grafik zu den Zahlen in Tabelle 1. _____	55
Abbildung 38: Zeitentwicklung 2015, 2020, 2030 der bevölkerungsgewichteten Immissions- Mittelwerte (Liechtenstein ohne Schweiz). Grafik zu den Zahlen in Tabelle 2. _____	57
Abbildung 39: Anteile PM10 am bevölkerungsgewichteten Mittelwert (Schweiz ohne Liechtenstein). Grafik zu den Zahlen in Tabelle 3. _____	58

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennziffern zur Bevölkerungsexposition Schweiz. _____	55
Tabelle 2: Kennziffern zur Bevölkerungsexposition Liechtenstein. _____	56
Tabelle 3: Anteile PM10 am bevölkerungsgewichteten Mittelwert (Schweiz ohne Liechtenstein). Oben absolute Werte, unten Anteile am Total 2015, 2020, 2030. _____	58
Tabelle 4: Territoriale Emissionen Schweiz. _____	59

Glossar

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (früherer Name BAFU)
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
EMIS	Emissionsinformations-System Schweiz (BAFU)
FOEN	Federal Office for the Environment (engl. Bez. BAFU)
GIS	geografisches Informationssystem
IGW	Immissionsgrenzwert (gemäss LRV)
LRV	Luftreinhalte-Verordnung des Bundesrats, SR 814.318.142.1
µm	Mikrometer (1 Millionstel Meter)
µg/m ³	Mikrogramm pro Kubikmeter
NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe
NMVOG	flüchtige Nicht-Methan Kohlenwasserstoffe
NO, NO ₂	Stickstoffmonoxid, Stickstoffdioxid
NO _x	Stickstoffoxide (Summe NO+NO ₂), meist abgekürzt als Stickoxide
PM2.5, PM10	Feinstaub mit aerodynamischem Durchmesser < 2.5 µm resp. < 10 µm
PMc	coarse particulate matter, grobkörnige Staubfraktion PM10 minus PM2.5)
PMf	fine particulate matter, feinkörnige Fraktion, identisch mit PM2.5
SAEFL	Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (frühere engl. Bez. BUWAL)
USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz SR 814.01

Literatur

- BAFU 2020:** Luftqualität 2019. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. UZ-2020.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/publikationen/nabel-luftqualitaet.html> (dt.) [27.10.2020]
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/air/publications-etudes/publications/nabel-luftqualitaet.html> (frz.) [27.10.2020]
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/it/home/temi/aria/pubblicazioni-studi/pubblicazioni/nabel-luftqualitaet.html> (ital). [27.10.2020]
- BAFU 2019a:** Auszug EMIS-Datenbank für NO_x, PM₁₀, PM_{2.5}. Aufteilung der Emissionen nach dem Territorialbaum mit Datenstand Mai 2019. E-Mail B. Müller (BAFU) an T. Künzle (Meteotest). 04.06.2019.
- BUWAL 1997:** NO₂-Immissionen in der Schweiz, Schriftenreihe Umwelt Nr. 289. INFRAS/Meteotest im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- BUWAL 1999:** Modellierung der PM₁₀-Belastung in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 310. INFRAS/Meteotest im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL).
- FOEN 2011:** NO₂ ambient concentrations in Switzerland. Modelling results for 2005, 2010, 2015. J. Heldstab, F. Leippert, P. Wüthrich (INFRAS); T. Künzle (Meteotest). Ed. Federal Office for the Environment. Environmental studies no 1123. Bern 2011.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/publications-studies/publications/no2-ambient-concentrations-in-switzerland.html> [28.10.2020]
- FOEN 2013:** PM₁₀ and PM_{2.5} ambient concentrations in Switzerland. Modelling results for 2005, 2010, 2020. INFRAS/Meteotest. Ed. Federal Office for the Environment. Environmental studies no 1304. Bern 2013.
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/air/publications-studies/publications/pm10-and-pm2-5-ambient-concentrations-in-switzerland.html> [28.10.2020]
- FOEN 2019:** Switzerland's Informative Inventory Report 2019 (IIR). Submission under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution. Submission of March 2019 to the United Nations ECE Secretariat. Federal Office for the Environment. Bern. March 2019.
<https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2019-submissions> [27.10.2020]

- INFRAS 2017:** Pilotstudie zum Treibstoffverbrauch und den Treibhausgasemissionen im Verkehr 1990-2050. Szenarien für den Strassenverkehr. INFRAS im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU. Bern. 21.08.2017.
- INFRAS 2019:** Handbuch Emissionsfaktoren für Strassenfahrzeuge, Version 4.1. INFRAS im Auftrag von BAFU/Schweiz; Umweltbundesamt Dessau/Germany; Umweltbundesamt Wien/Austria; Swedish Road Administration, ADEME/France; SFT/Norway. Bern.
<http://www.hbefa.net/e/index.html> [[28.10.2020]
- INFRAS 2019a:** Emissionen des Strassenverkehrs Schweiz. E-Mail von B. Notter, INFRAS an T. Künzle, Meteotest vom 28.11.2019.
- INFRAS 2020:** NO₂-, PM10- und PM2.5-Immission Schweiz / Liechtenstein: Aktualisierung des PolluMap-Modells für 2015, 2020 und 2030. Technischer Bericht. INFRAS/Meteotest im Auftrag des BAFU. Zürich/Bern. Dezember 2020.
- Landrigan et al. 2017:** The Lancet Commission on pollution and health. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJR, Adeyi O, Arnold R, Basu N (Nil), et al. 2017. Lancet; doi:10.1016/S0140-6736(17)32345-0. [1.9.2020]
- LUDOK 2020:** Newsletter der Dokumentationsstelle Luft und Gesundheit - LUDOK. Dienstleistung des Schweizerischen Tropen- und Public Health-Instituts. Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Basel, April 2020.
https://www.swisstph.ch/fileadmin/user_upload/SwissTPH/Institute/Ludok/Newsletter/NewsletterLUDOK_April2020.pdf [[28.10.2020]
- Meteotest 2020:** Emissionen Schweiz. Aufbereitung von Emissionskatastern für die Luftschadstoffe NO_x, PM10 und PM2.5 der Jahre 2015, 2020 und 2030. Meteotest / INFRAS im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Bern, 2020.
- SAEFL 2003:** Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010. Env. documentation No 169. INFRAS/Meteotest under a contract of the Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL).
- SAEFL 2004:** Modelling of NO₂ and benzene ambient concentrations in Switzerland 2000 to 2020. Env. documentation No 188. INFRAS/Meteotest under a contract of the Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL).
- WHO 2018:** Ambient (outdoor) air quality and health. World Health Organization. 2.5.2018.
[https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) [06.09.2020]