

Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2019 Messbericht

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), der OSTLUFT, der ZUDK,
des Fürstentums Liechtenstein
und der Kantone AG, AI, BE, BL/BS, FR, GL, GR, LU, NE, SG, SH, SO, TG, ZG und ZH



Autoren:
Eva Seitler, Mario Meier
Juni 2020

Impressum

Auftraggeber

BAFU	Bundesamt für Umwelt Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien; Sektion Luftqualität Rudolf Weber, Reto Meier
OSTLUFT	Zusammenschluss der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein zur gemeinsamen Überwachung der Luftqualität, Projektgruppe N-Deposition Jörg Sintermann, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich Hanna Herich, Amt für Umwelt Kanton St. Gallen Franz Ludwig, Amt für Umwelt Kanton Thurgau
ZUDK	Zentralschweizer Umweltschutzdirektionen Raphael Felber (ZG), Nathanael Lottenbach (ZG) Angela Zumbühl (NW), Marco Dusi (OW), Christian Kiebele (SZ), Niklas Joos (UR)
FL	Fürstentum Liechtenstein, AU Amt für Umwelt / Acontec AG, Schaan Veronika Wolff, AU Patrizia Cengiz-Hagspiel, Acontec
Kt. AG	Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt Franziska Holzer Küng
Kt. AI	AfU AI Amt für Umwelt Albert Kölbener, Manuela Schwizer
Kt. BE	Amt für Umwelt und Energie Stefan Schär
Kt. BL/BS	Lufthygieneamt beider Basel Markus Camenzind, René Glanzmann
Kt. FR	SEn/AfU FR Service de l'environnement Canton de Fribourg/ Amt für Umwelt Kanton Freiburg Bernard Sturny
Kt. GL	Umwelt, Energie Kt. GL Petra Vögeli
Kt. GR	ANU GR Amt für Natur und Umwelt Hanspeter Lötscher
Kt. LU	uwe Umwelt und Energie, Abteilung Energie, Luft und Strahlen Peter Bucher, Christian Ruf
Kt. NE	Service de l'énergie et de l'environnement Denis Jeanrenaud
Kt. SG	Amt für Umwelt und Energie Susanne Schlatter
Kt. SH	Interkantonales Labor, Schaffhausen, Immissionen Roman Fendt
Kt. SO	AfU SO Amt für Umwelt Rolf Stampfli
Kt. TG	AfU TG Amt für Umwelt Franz Ludwig
Kt. ZG	AfU ZG Amt für Umweltschutz, Luftreinhaltung Immissionen Raphael Felber, Nathanael Lottenbach
Kt. ZH	AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich, Abteilung Lufthygiene Jörg Sintermann, Roy Eugster

Beteiligte Institutionen

Agroscope	Reckenholz, Zürich Christoph Ammann
Empa	Dübendorf, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik Christoph Hüglin, Claudia Zellweger
IAP	Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, Schönenbuch Untersuchung auf Dauerbeobachtungsflächen Sabine Braun
Meteotest	Bern Beat Rihm
WSL/LWF	Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf Messungen auf LWF-Flächen (Langfristige Waldökosystemforschung) Maria Schmitt, Anne Thimonier, Peter Waldner

Autorinnen

Eva Seidler und Mario Meier
FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung AG
Alte Jonastrasse 83
CH – 8640 Rapperswil
E-Mail: fub@fub-ag.ch, www.fub-ag.ch

Der Dank

geht an alle Personen, welche die Passivsammler gewechselt haben oder auf eine andere Art die Untersuchungen unterstützt haben.

Titelbild

Station STAD (Stadel), Kanton Zürich (Foto FUB, 05.11.2019)

PDF-Download

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/studien.html>

(eine gedruckte Fassung liegt nicht vor)

Disclaimer

Dieser Bericht wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung, Résumé, Summary.....	1
1.1	Zusammenfassung.....	1
1.2	Résumé.....	4
1.3	Summary.....	7
2	Einleitung	10
2.1	Ausgangslage	10
2.2	Zielsetzung.....	11
2.3	Projektrahmen.....	12
3	Methodisches.....	13
3.1	Messsystem	13
3.2	Empfehlung für Messstandorte	13
3.3	Standorteinteilung in Belastungstypen und Immissionstypen	14
3.4	Zeitraum und Umfang der Messungen.....	14
3.5	Messstandorte im Überblick.....	14
3.6	Auswertung	17
3.6.1	Jahres-, Saison- und Monatsmittelwerte	17
3.6.2	Boxplots.....	17
4	Resultate.....	18
4.1	Langjährige Entwicklung der Ammoniak-Konzentrationen.....	18
4.1.1	Messungen an 13 Standorten seit 2000.....	18
4.1.2	Messungen an 21 Standorten seit 2004.....	20
4.1.3	Messungen an 32 Standorten seit 2008.....	22
4.1.4	Messungen an 70 Standorten seit 2013.....	25
4.2	Vergleich mit Critical Levels	27
4.3	Vergleich mit Emissionsentwicklung	28
4.4	Berechnung von Konzentrationskarten	29
4.5	Zeitreihen der einzelnen Standorte.....	30
4.6	Jahresverläufe der Konzentrationen	53
4.7	Beispiele Regionaler Messnetze.....	56
4.7.1	Kanton Bern	56
4.7.2	Kanton Solothurn.....	57
4.7.3	Kanton Graubünden.....	59
4.7.4	Zentralschweizer Kantone und Ostluft	59
5	Qualitätssicherung	60
6	Literatur	62
7	Anhang	66
7.1	Standort-Umplatzierungen	66
7.2	Beschreibung der Standorte	66
7.3	Jahres- und saisonale Mittelwerte der Standorte.....	69
7.4	Standorte der regionalen Messnetze	72
8	Glossar	73

1 Zusammenfassung, Résumé, Summary

1.1 Zusammenfassung

Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz von 2000 bis 2019

Ammoniak (NH_3) trägt heutzutage in der Schweiz von allen reaktiven Stickstoffverbindungen anteilmässig am meisten zur Stickstoffbelastung von empfindlichen Ökosystemen bei. Damit ist Ammoniak wesentlich für die Überdüngung (Eutrophierung) und Versauerung solcher Systeme verantwortlich. Zu diesen empfindlichen Ökosystemen gehören u.a. Wälder, Hoch- und Flachmoore, artenreiche Naturwiesen und Heidelandschaften. Ammoniak trägt aber auch zum sekundärem Feinstaub bei. Feinstaub hat grosse negative Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Der Handlungsbedarf zur Minderung der Ammoniakbelastung in der Schweiz ist gross und deshalb ist die Belastungssituation und deren Entwicklung immissionsseitig zu überwachen.

Dieser Bericht beschreibt die Resultate der Ammoniakmessungen in der Schweiz, welche im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), der OSTLUFT, der Zentralschweizer Umweltschutzdirektionen (ZUDK) und verschiedener Kantone sowie des Fürstentums Liechtenstein durchgeführt werden. Das Ziel der Messungen ist die Beurteilung der Immissions-situation, um Veränderungen über einen längeren Zeitraum beobachten zu können. Dabei werden auch die Entwicklung der Ammoniak-Konzentrationen im Jahresverlauf sowie die räumliche Variation zwischen unterschiedlichen Standorttypen aufgezeigt.

Die Ammoniakbelastung der Luft wurde 2019 an 86 Standorten in der Schweiz mit Passivsammlern ganzjährig erfasst. An 13 dieser Standorte wird die NH_3 -Konzentration seit 2000 durchgehend gemessen, an acht weiteren Standorten seit 2004, an elf zusätzlichen Standorten seit 2008 und an 38 weiteren seit 2013. An 16 der 86 Standorte wurden die Messungen nach 2013 aufgenommen oder zwischendurch ausgesetzt. Die Standorte repräsentieren unterschiedliche Belastungstypen und reichen von intensiver Tierproduktion bis hin zu extensiv bewirtschafteten Alpweiden, sowie verkehrsnahen und innerstädtischen Standorten.

Die Passivsammler wurden von der "FUB - Forschungsstelle für Umweltbeobachtung" bereitgestellt und analysiert. Die Auswahl und Betreuung der Standorte erfolgte durch die Standortbetreiber. Ammoniakmessungen können stark von lokalen Quellen oder Senken am Messstandort beeinflusst sein. Dementsprechend müssen die Standorte so ausgewählt und gepflegt werden, dass die freie Anströmbarkeit der Passivsammler jederzeit gewährleistet ist und die Messung nicht durch wechselnde Vegetation beeinflusst wird.

Ab 2018 wurde an vielen Standorten von der Radiello- auf die Ferm-Methode umgestellt. Die Vergleichsmessungen zeigen, dass die beiden Methoden gut übereinstimmen.

Die höchsten Ammoniakkonzentrationen und stärksten jahreszeitlichen Schwankungen wurden in Gebieten mit intensiver Tierproduktion gemessen, wo die Jahresmittel von Ammoniak Werte von 6 - 12 $\mu\text{g m}^{-3}$ erreichten. In Regionen mit Ackerbau lagen die Jahresmittelwerte bei 2 - 5 $\mu\text{g m}^{-3}$. Die fünf ländlichen Standorte an Autobahnen oder verkehrsreichen Durchgangsstrassen, die Konzentrationen von 2 - 6 $\mu\text{g m}^{-3}$ aufwiesen, sind durch den Verkehr und die Landwirtschaft beeinflusst. In Städten wurden Konzentrationen von 2 - 5 $\mu\text{g m}^{-3}$ mit geringem Jahresgang beobachtet. Im Jahr 2019 lag der Median der Jahresmittelwerte aller 86 Standorte bei 4.9 $\mu\text{g m}^{-3}$. An vielen Standorten gehörten die Jahresmittelwerte 2019 nach 2018 zu den höchsten seit Messbeginn im Jahr 2000.

Die beobachtete Variabilität von Jahr zu Jahr ist stark durch die Witterung beeinflusst, da sich diese sowohl auf die Emissionen wie auch auf die atmosphärischen Umwandlungs- und Depositionsprozesse auswirkt. Dies scheint ein wesentlicher Grund zu sein, weshalb die rapportierte Abnahme der Emissionen um rund 10% (FOEN 2020) seit dem Jahr 2000 in den gemessenen Immissionen nicht erkennbar ist.

Fazit

- An den meisten der 13 Standorte, an denen seit 2000 ununterbrochen gemessen wurde, blieb die Ammoniakkonzentration ähnlich hoch. Eine Reduktion der Ammoniakkonzentrationen kann in diesem Zeitraum nicht beobachtet werden. (Abbildung Z 1).
- Die konstant hohen Ammoniakkonzentrationen zeigen, dass die umgesetzten Massnahmen zur Emissionsreduktion in der Landwirtschaft nicht ausreichen, um die Ammoniakimmissionen flächendeckend zu senken.
- Die hohen Konzentrationen 2019 wurden, wie schon 2018, durch die spezielle Witterung begünstigt. 2019 war das fünftwärmste Jahr und der drittwärmste Sommer seit Beginn der meteorologischen Messungen 1864, mit vielerorts unterdurchschnittlichen Niederschlagssummen im Frühling.
- Die Ammoniakbelastung ist am höchsten in Gebieten mit intensiver Tierproduktion ($6 - 12 \mu\text{g m}^{-3}$).
- In Gebieten, in denen mehrheitlich Ackerbau betrieben wird, sind die Ammoniak-Konzentrationen ($2 - 5 \mu\text{g m}^{-3}$) und die saisonalen Schwankungen meist kleiner als in Gebieten mit Tierproduktion.
- Die höchsten Konzentrationen werden in Perioden mit Gülleausbringung gemessen.
- Im Dezember und Januar sind die Werte im Jahresverlauf in der Regel am niedrigsten.
- Mehrere Messstandorte in der gleichen Geländekammer können unterschiedlich hohe Ammoniak-Konzentrationen aufweisen, zeigen aber meistens parallele Verläufe der Jahreswerte.
- Die Konzentrationen des gasförmigen Ammoniaks tragen wesentlich zum Stickstoffeintrag in empfindliche Ökosysteme bei. Die kritischen Eintragsraten (Critical Loads) werden in der Schweiz bei den empfindlichen Ökosystemen grossräumig überschritten. Auch die in Bezug auf die Direktwirkungen von Ammoniak festgelegten kritischen Konzentrationen (Critical Levels) zum Schutz der Vegetation in naturnahen Ökosystemen werden in der Schweiz vielerorts überschritten.
- Die vorhandenen Messungen wurden dazu verwendet, ein auf Emissionserhebungen basierendes Ausbreitungsmodell zu kalibrieren, welches eine flächendeckende Darstellung der Ammoniakkonzentrationen erlaubt.

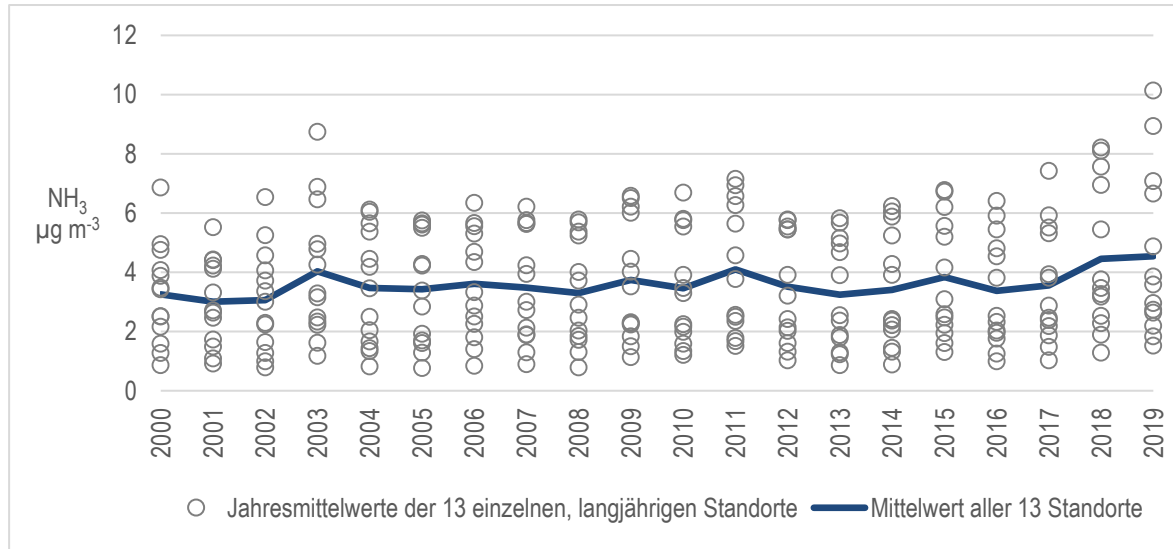


Abb. Z 1 Mittelwert der Ammoniakkonzentrationen
Mittelwert (durchgezogene Linie) und Einzelwerte (Kreise) der Ammoniak-Jahresmittelkonzentrationen aller 13 Standorte, an denen seit 2000 durchgehend gemessen wird.

Ausblick

Im Jahr 2020 werden die Messungen an den meisten Standorten weitergeführt. Eine langfristige Beobachtung der Ammoniakkonzentration ist notwendig, um die Wirksamkeit von Massnahmen zur Minderung der Ammoniakemissionen immissionsseitig zu überprüfen.

OSTLUFT plant den Aufbau eines koordinierten zukunftsorientierten NH_3 -Passivsammler-Messnetz bis 2021 in Analogie zum bestehenden NO_2 -Passivsammler-Messnetz. Die NH_3 -Konzentrationen im OSTLUFT-Gebiet sind seit Jahren stabil und liegen im ländlichen Raum deutlich über den Critical Levels. Die Massnahmenpläne einzelner Kantone setzen vor allem auf technische Lösungen, um die Konzentrationen zu senken, doch der Einfluss der bisher umgesetzten Massnahmen konnte in den Immissionsmessungen nicht nachgewiesen werden. Das NH_3 -Messnetz ab 2021 soll daher weitere Informationen und Argumente liefern, um die Dringlichkeit weitergehender Massnahmen zu unterstreichen. Die zukünftigen Messstandorte werden daher mehrheitlich in empfindlichen Ökosystemen und Naturschutzgebieten liegen, weil gerade diese Lebensräume durch die atmosphärischen Stickstoffeinträge besonders gefährdet sind.

1.2 Résumé

Mesures des immissions d'ammoniac en Suisse entre 2000 et 2019

De tous les composés azotés réactifs l'ammoniac (NH_3) est le polluant le plus important pour les écosystèmes sensibles et un des principaux responsables de leur surfertilisation (eutrophisation) et acidification. Parmi ses écosystèmes sensibles figurent entre autres les forêts, les hauts-marais et bas-marais, les prairies naturelles riches en espèces ou les landes. L'ammoniac contribue aux poussières fines secondaires : Les poussières fines ont des effets négatifs sur la santé humaine. Il y a fort à faire pour réduire la pollution par l'ammoniac en Suisse, d'où l'importance de suivre l'évolution de sa charge polluante, aussi bien sous l'angle des émissions que des immissions.

Ce rapport décrit les résultats des mesures d'ammoniac en Suisse qui sont réalisées sur mandat de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), OSTLUFT, les services de l'environnement de Suisse centrale (ZUDK), et plusieurs autres cantons, ainsi que la Principauté du Liechtenstein. Ces mesures ont pour objectif principal de fournir une vue d'ensemble des immissions d'ammoniac sur différents sites en Suisse et de mettre en évidence l'évolution des concentrations sur une longue période, ainsi que les variations saisonnières et entre divers types de sites.

En 2019, les concentrations d'ammoniac en Suisse ont été mesurées à l'aide de capteurs passifs sur 86 emplacements. Treize de ces stations sont entrées en fonction en 2000, huit ont été ajoutées en 2004, onze en 2008 et 38 en 2013. À 16 des 86 stations, les mesures ont débuté après 2013 ou ont été temporairement interrompu. Elles sont représentatives de différents types d'exposition: de la région d'élevage intensif jusqu'au pâturage alpin extensif, en passant par des sites urbains ou proches d'axes routiers.

Les capteurs passifs ont été fournis par l'entreprise FUB (Forschungsstelle für Umweltbeobachtung) et les analyses effectuées par son laboratoire. Le choix des emplacements et leur suivi ont été assurés par les exploitants des réseaux concernés. Les concentrations d'ammoniac sont parfois fortement influencées par les sources et les puits situés au voisinage immédiat des stations. Celles-ci doivent donc être choisies et entretenues de manière à assurer une ventilation sans entraves dans toutes les directions et à éviter toute influence de la végétation environnante.

A partir de 2018, de nombreux sites sont passés de la méthode Radiello à la méthode Ferm. Les mesures comparatives montrent que les deux méthodes s'accordent bien.

Les concentrations d'ammoniac les plus élevées et les variations les plus fortes ont été enregistrées dans les régions pratiquant l'élevage intensif d'animaux. Les concentrations annuelles d'ammoniac y atteignaient entre 6 et 12 $\mu\text{g m}^{-3}$. Dans les régions de grandes cultures, elles se situaient entre 2 et 5 $\mu\text{g m}^{-3}$. Sur les cinq stations rurales en bordure d'autoroute ou des routes fréquentées, les concentrations variaient entre 2 et 6 $\mu\text{g m}^{-3}$, elles y subissent l'influence conjuguée du trafic et de l'agriculture. Dans les villes, les concentrations fluctuent entre 2 et 5 $\mu\text{g m}^{-3}$ avec de faibles variations saisonnières. La médiane des concentrations annuelles pour les 86 stations s'est élevée à 4.9 $\mu\text{g m}^{-3}$ en 2019. En de nombreux endroits, les concentrations moyennes en 2019 étaient, comme en 2018, parmi les plus élevées depuis le début des mesures en 2000.

Les variations interannuelles observées sont nettement influencées par les conditions météorologiques qui impactent les émissions, ainsi que les processus de transformation dans l'atmosphère et de dépôt. Cela semble être une raison fondamentale pour laquelle la diminution

des émissions rapportées de 10% depuis 2000 (FOEN 2020) n'est pas reflétée dans les concentrations mesurées.

Conclusions

- Sur la majorité des 13 stations ayant fait l'objet d'un suivi ininterrompu depuis 2000, les concentrations d'ammoniac sont restées à peu près constantes. Aucune diminution n'a été constatée pendant cette période. (Fig. R 1)
- Les concentrations d'ammoniac constamment élevées montrent que les mesures mises en œuvre pour réduire les émissions agricoles de l'ammoniac ne sont pas suffisantes pour réduire les immissions d'ammoniac de manière générale.
- Comme en 2018, les concentrations élevées mesurées en 2019 ont été influencées par des conditions météorologiques particulières. 2019 a été la cinquième année la plus chaude et le troisième été le plus chaud depuis le début des mesures météo en 1864, avec des précipitations inférieures à la moyenne au printemps.
- Les stations situées en zone de production animale intensive se caractérisent par des concentrations élevées (6 - 12 $\mu\text{g m}^{-3}$).
- Là où les grandes cultures dominent, les concentrations sont moins élevées (2 - 5 $\mu\text{g m}^{-3}$) et présentent moins de variations saisonnières que dans les régions d'élevage.
- Les concentrations les plus élevées sont enregistrées durant les périodes d'épandages de lisier.
- Les concentrations d'ammoniac sont les plus faibles en décembre et en janvier.
- Plusieurs stations de mesure dans le même compartiment de terrain peuvent montrer des concentrations de différents niveaux, mais souvent avec une évolution parallèle des valeurs annuelles.
- L'ammoniac gazeux contribue substantiellement aux dépôts azotés dans les écosystèmes sensibles. En Suisse, les charges critiques d'azote nutritif sont dépassées sur de vastes étendues. Quant aux niveaux critiques, fixés en fonction des effets directs de l'ammoniac sur la végétation, elles sont également dépassées en maints endroits du pays.
- Les valeurs mesurées ont été utilisées pour calibrer un modèle de dispersion sur la base des inventaires d'émissions qui permet la présentation des concentrations d'ammoniac sur l'ensemble de la Suisse.

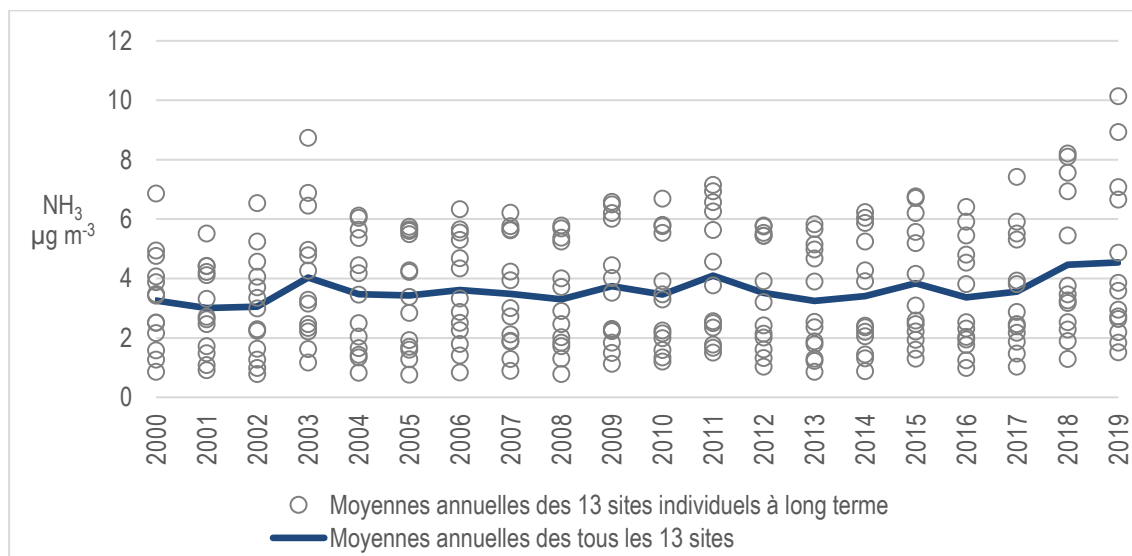


Fig. R 1 Concentrations d'ammoniac en moyenne annuelle
Moyennes annuelles (ligne continue) et valeurs individuelles (cercles) des 13 stations qui mesurent l'ammoniac depuis 2000.

Perspectives

Les mesures se poursuivent en 2019 dans la plupart des stations. L'observation permanente des concentrations d'ammoniac en Suisse est nécessaire pour vérifier si les mesures prises pour diminuer les émissions se reflètent au niveau des immissions.

OSTLUFT prévoit de mettre en place un réseau coordonné de surveillance d'ammoniac avec des capteurs passifs d'ici 2021, par analogie avec le réseau de surveillance existant avec des capteurs passifs de NO₂. Les concentrations d'ammoniac dans la région de OSTLUFT sont stables depuis des années et sont bien supérieures aux niveaux critiques dans les zones rurales. Les plans de mesures des différents cantons s'appuient principalement sur des solutions techniques pour réduire les concentrations, mais l'influence des mesures mises en œuvre jusqu'à présent ne se reflète pas dans les mesures d'immission. Le réseau de surveillance de l'ammoniac à partir de 2021 devrait donc fournir des informations et des arguments supplémentaires pour souligner la nécessité de nouvelles mesures. La majorité des futurs sites de surveillance seront donc situés dans des écosystèmes sensibles et des réserves naturelles, car ces habitats sont particulièrement menacés par les apports d'azote atmosphérique en quantités excessives.

1.3 Summary

Monitoring ambient ammonia concentrations in Switzerland between 2000 and 2019

Of all reactive nitrogen compounds ammonia (NH_3) is the major contributor to nitrogen pollution of sensitive ecosystems, resulting in over-fertilisation (eutrophication) and acidification of such systems. These sensitive ecosystems include, among others, forests, raised bogs, fens, species-rich meadows, and heathlands. Ammonia also contributes to secondary particulate matter. Particulate matter has severe negative impacts on human health. There is a strong need for action to reduce ammonia emissions in Switzerland and monitoring of ambient ammonia concentrations is essential for evaluating their development.

This report describes the results of the ambient ammonia measurements in Switzerland conducted on behalf of the Federal Office for the Environment (FOEN), OSTLUFT (air quality monitoring of cantons in eastern Switzerland and Liechtenstein), the ZUDK (air quality monitoring of cantons in central Switzerland), several cantons and the Principality of Liechtenstein. The main goal of these measurements is to record ambient ammonia concentrations at various sites in Switzerland and to monitor long-term changes. They also aim at monitoring the development of ambient concentrations of ammonia throughout the year, as well as the differences between various types of sites.

In 2019, ambient atmospheric ammonia concentrations in Switzerland were monitored over the entire year at 86 locations, using passive samplers. A total of 13 sites have been operational since 2000, 8 were added in 2004, 11 in 2008 and 38 in 2013. At the remaining 16 locations, monitoring started after 2013 or was temporarily interrupted. The sites represent various exposure situations: from intensive animal production to extensive alpine pastures, as well as near roads and in urban areas.

The passive samplers were provided and analysed by FUB - Research Group for Environmental Monitoring. The selection of the locations and the operation of each site were ensured by the various network operators. Local sources or sinks have a strong influence on the ambient ammonia concentrations. Thus, the sites have to be selected and maintained so as to ensure a freely circulating airflow at all times and to avoid the influence of changes in the surrounding vegetation on the measurements.

From 2018, the measurements have been changed from Radiello to the Ferm samplers at many sites. Comparative measurements show that the two methods are in good agreement.

The highest ammonia concentrations and greatest seasonal fluctuations were found in regions with intensive livestock farming, where annual concentrations reached 6 to 12 $\mu\text{g m}^{-3}$. Values in cultivated crop areas ranged from 2 to 5 $\mu\text{g m}^{-3}$. The five rural sites near motorways or busy roads with annual averages of 2 to 6 $\mu\text{g m}^{-3}$ are influenced by both traffic and agriculture. At urban sites concentrations of 2 to 5 $\mu\text{g m}^{-3}$ with small annual cycle were measured. In 2019, the median of all 86 sites amounted to 4.9 $\mu\text{g m}^{-3}$. For many sites the annual averages in 2019 were as in 2018 among the highest since the beginning of the measurements in 2000.

The year-to-year variability is strongly influenced by meteorological conditions as they affect emissions and at the same time atmospheric transformation and deposition processes. This appears to be a fundamental reason why the reported decrease of ammonia emissions by 10% compared to 2000 (FOEN 2020) is not reflected in the measured concentrations.

Conclusions

- Very little change was observed at the 13 locations where ammonia concentrations were monitored since the year 2000. No reduction in ammonia concentrations has been observed during this period. (Fig. S 1)
- The constantly high ammonia concentrations show that the measures implemented to reduce agricultural ammonia emissions are not sufficient to effectively reduce ammonia levels throughout Switzerland.
- As in 2018, the high concentrations measured in 2019 were influenced by the particular meteorological conditions. 2019 was the fifth warmest year and the third warmest summer since meteorological recordings started in 1864, with low precipitation sums in spring.
- Values were generally highest in areas with intensive animal production ($6 - 10 \mu\text{g m}^{-3}$).
- In areas with predominant crop farming, both concentrations ($2 - 5 \mu\text{g m}^{-3}$) and fluctuations were lower compared to areas with livestock farming.
- The highest ammonia concentrations are measured during periods with slurry application.
- Ammonia concentrations were at most sites lowest during December and January.
- Sites located in similar terrains may show different levels of ammonia concentrations, yet the development of the annual mean values is usually very similar.
- The concentrations of gaseous ammonia contribute substantially to the deposition of nitrogen into sensitive ecosystems. The critical loads for nutrient nitrogen are exceeded in most parts of Switzerland. The ammonia concentrations also exceed the critical levels set to protect vegetation from direct exposure in many regions of Switzerland.
- The measured ammonia concentrations were used for calibrating a dispersion model based on emission inventories, providing a nationwide presentation of the ammonia concentrations.

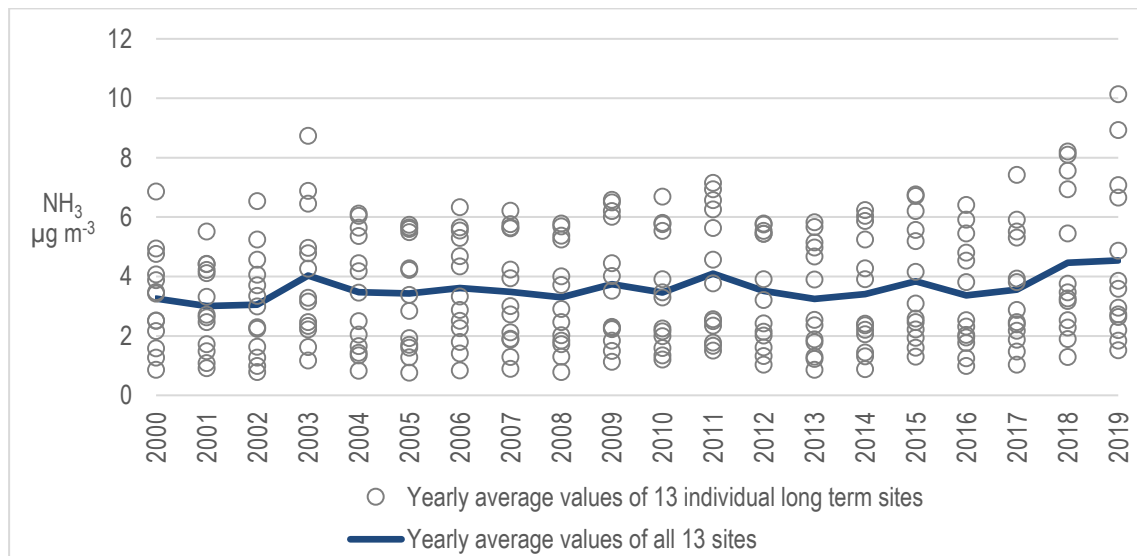


Fig. S 1 Annual mean of ammonia concentrations
Average (solid line) and single values (circles) of the annual mean ammonia concentrations from all 13 sites with continuous measurements since 2000.

Outlook

In 2020 measurements are continued at most of the sites. Monitoring the long-term development of ambient ammonia concentrations is essential to document the efficiency of measures aimed at reducing ammonia emissions.

OSTLUFT is planning to set up a coordinated future-oriented ammonia monitoring network with passive samplers by 2021, in analogy to the existing NO_2 passive sampler monitoring network. Ammonia concentrations in the OSTLUFT area have been stable for years and are well above critical levels in rural areas. The action plans of individual cantons rely primarily on technical solutions to reduce concentrations, but the influence of the measures implemented to date are not reflected in ambient concentrations. The ammonia monitoring network from 2021 should therefore provide further information and arguments to underline the necessity of further measures. The majority of future monitoring sites will therefore be located in sensitive ecosystems and nature reserves, because these habitats are particularly threatened by atmospheric nitrogen inputs.

2 Einleitung

2.1 Ausgangslage

Ammoniakemissionen führen zu bedeutenden Stickstoffeinträgen in empfindliche Ökosysteme wie Wälder, Moore und oligotrophe Stillgewässer, was langfristig zur Bodenversauerung, Überdüngung und einer Verschiebung der Artenzusammensetzung führt. Emittiertes Ammoniak wird teilweise in der näheren Umgebung der Emissionsquellen deponiert, es bildet jedoch auch mit Säuren – vor allem mit Salpetersäure aus Verbrennungsprozessen – Aerosole, die über weite Strecken transportiert werden können (EKL 2013). In Bezug auf die Masse ist Ammonium das weitaus wichtigste beteiligte Kation im Feinstaub. Während winterlicher Inversionen konnte gezeigt werden, dass etwa die Hälfte des PM₁₀ (Empa 2006) und bis zu zwei Drittel des PM₁ aus Ammoniumnitrat und -sulfat bestehen (PSI/uwe 2007).

In der Schweiz betrugen die Ammoniakemissionen im Jahr 2018 rund 55'000 Tonnen NH₃ (FOEN 2020). Die Landwirtschaft verursachte davon 94% (51'300 Tonnen NH₃) und ist damit die grösste Quelle von reduzierten Stickstoffverbindungen in der Schweiz. Weitere Ammoniak-Emittenten sind der "Verkehr", "Industrie und Gewerbe" und "Haushalte" mit je 2% Anteil (BAFU 2020a). Die NH₃-Emissionen aus der Landwirtschaft in der Schweiz sanken zwar zwischen 1990 und 2000 – vor allem wegen der Reduzierung der Tierbestände – von rund 65'000 auf 53'000 Tonnen Ammoniak pro Jahr (FOEN 2020), stagnieren aber seit dem Jahr 2000 auf diesem Niveau. Somit liegen die Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft nach wie vor deutlich über der Zielsetzung von 25'000 Tonnen Ammoniak-Stickstoff pro Jahr, was rund 30'000 Tonnen NH₃ entspricht (BAFU 2013, BAFU & BLW 2016).

Landwirtschaftsland ist nach Gülleausbringung eine starke Ammoniakquelle, in Zeiträumen, in denen keine Gülle ausgebracht wird, sind landwirtschaftliche Flächen, abhängig von der Art und dem Zustand der Vegetation, aber eine mehr oder weniger starke Senke für Ammoniak. Im Gegensatz dazu bietet überbautes Gebiet wenig Senken.

Sowohl die direkte Belastung der Vegetation mit gasförmigem Ammoniak, als auch die durch Ammoniak und Ammoniumsalze zusammen mit oxidierten Stickstoffverbindungen (NO_x) verursachten Stickstoffeinträge, haben schädliche Auswirkungen auf empfindliche Ökosysteme. Um den Langzeitwirkungen erhöhter Ammoniak-Konzentrationen Rechnung zu tragen (UNECE 2007, Cape et al. 2009, Mills et al. 2010), wurden im Rahmen des UNECE Workshops on Atmospheric Ammonia vom Dezember 2006 die Critical Levels für Ammoniak folgendermassen festgelegt¹:

- NH₃-Konzentration von 1 µg m⁻³ für empfindliche Moose und Flechten und Ökosysteme, wo diese niederen Pflanzen für das Ökosystem von Bedeutung sind
- NH₃-Konzentration von 3 µg m⁻³ für höhere Pflanzen. Auf Grund der Schätz-Unsicherheit wird jedoch ein Bereich von 2 – 4 µg m⁻³ bevorzugt.

¹ Gemäss Cape et al. (2009) gibt es für die NH₃-Messungen zur Ermittlung der Critical Levels keine standardisierte Höhe über der Vegetation. Es wird auf die Bedeutung einer genügenden Höhe über der Vegetation hingewiesen (üblicherweise 1.5 m bei kurzer Vegetation), um Unsicherheiten in Bezug auf den Einfluss der Vegetation und den damit im Zusammenhang stehenden vertikalen Gradienten möglichst auszuschalten.

Der Gesamteintrag von Stickstoff setzt sich aus der Nass- und Trockendeposition von oxidierten und reduzierten stickstoffhaltigen Verbindungen zusammen. Dieser Stickstoff-Eintrag liegt weiträumig über den im Rahmen der UNECE Konvention über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) festgelegten Critical Loads für Stickstoffeinträge in empfindliche Ökosysteme (CLRTAP 2017, Kapitel V; Bobbink & Hettelingh 2011; EKL 2005; EKL 2014, Thimonier et al. 2005; Waldner et al., 2007). In der Schweiz werden die Critical Loads für Stickstoff auf fast 90 % der Waldflächen, einem Drittel aller Trockenwiesen und –weiden, fast allen Hochmooren und drei Viertel der Flachmoore überschritten (BAFU 2018). Die grossflächige und teilweise massive Überdüngung mit Stickstoff führt u.a. zu einer Reduktion der Artenvielfalt (BAFU 2011, Roth et al. 2013, Roth et al. 2015). Der Anteil des hauptsächlich von der Landwirtschaft stammenden Ammoniaks und Ammoniums macht dabei je nach Standort 50-80 % des gesamten Stickstoffeintrags aus (Seitler et al. 2016).

Für Ammoniak gibt es im Anhang 7 der Luftreinhalteverordnung (LRV) keinen Immissionsgrenzwert. Critical Loads und Critical Levels sind jedoch von der Bedeutung her mit Immissionsgrenzwerten der LRV gleichwertig (BAFU & BLW 2011)². Bei deren Überschreitung müssen die Immissionen demnach als übermässig bezeichnet werden. Damit sind die Behörden gemäss LRV verbindlich aufgefordert, Massnahmen zur Minderung der massgeblich durch Ammoniak verursachten übermässigen Stickstofffrachten zu treffen. Zur Beurteilung der Übermässigkeit von Stickstoffeinträgen und Ammoniak-Immissionen anhand von Critical Loads und Levels steht den kantonalen Fachstellen eine Vollzugshilfe zur Verfügung (BAFU 2020b). Folgende Massnahmen zur Minderung der Ammoniakverluste in der Landwirtschaft sind Stand der Technik und daher gemäss Art. 4 LRV grundsätzlich anzuwenden: emissionsarme Güllelagerung, Gülleaufbereitung und Gülleausbringung, Optimierung der Stallhaltungssysteme und Tierhaltungsformen (Stall- und Laufhofreinigung, Abluftreinigung etc.), Stickstoff optimierte Fütterung und bedarfsgerechte Düngung (BAFU & BLW 2011, BAFU & BLW 2012, UNECE 2014, Cercl'Air 2002, KOLAS 2006, KVV 2006, Agridea, Landwirtschaftsamt Thurgau 2006, Kanton Luzern uwe 2007, Kanton Appenzell Ausserrhoden 2008).

2.2 Zielsetzung

Das zentrale Ziel der Messungen ist die gesamtschweizerische, langfristige Erfassung und Darstellung der Ammoniak-Immissionssituation. Dabei soll auch die Entwicklung der Ammoniak-Konzentrationen im Jahresverlauf, die räumliche Variation sowie die unterschiedlichen Belastungen an verschiedenen Standorttypen aufgezeigt werden. Die Messungen sollen auch zur Validierung der modellierten Ammoniakkonzentrationen dienen.

Ein wesentliches Ziel des langfristig angelegten Ammoniak-Monitorings an verschiedenen Standorten in der Schweiz ist die Erfolgskontrolle von Massnahmen zur Reduktion von Ammoniakemissionen in der Landwirtschaft (Ressourcenprojekte, Massnahmenpläne, Umsetzung der Vollzugshilfen Landwirtschaft des BAFU und des BLW). Die Reduktion der Ammoniakemissionen ist nötig zum Schutz der Ökosysteme vor Eutrophierung und Versauerung sowie zur Minderung der Feinstaubbelastung (BAFU & BLW 2011, Cercl'Air 2002, EKL 2005, KOLAS 2006, BBI 2009, EKL 2013, EKL 2014).

² Gemäss EKL (2014) soll Ammoniak in erster Linie aufgrund seines hohen Anteils an den Stickstoffeinträgen beurteilt werden, da die Critical Loads die prioritär zu berücksichtigenden Belastungsgrenzen sind.

2.3 Projektrahmen

In diesem Bericht werden die Resultate der Ammoniakmessungen in der Aussenluft im Zeitraum von 2000 bis 2019 präsentiert, wobei nur die Standorte berücksichtigt wurden, an denen 2019 seit mindestens zwei Jahren gemessen wurde. Werden räumlich verdichtete Messnetze betrieben, wurde jeweils ein repräsentativer Standort ausgewählt. Die Messungen erfolgen im Auftrag des BAFU, der OSTLUFT, des Fürstentums Liechtenstein (seit 2008), der Zentralschweizer Kantone ZUDK (seit 2010) sowie der Kantone Luzern und Freiburg (seit 2006), Zug (seit 2007), Bern (seit April 2008), Thurgau (seit August 2008), Graubünden (seit 2009), Aargau, Appenzell Innerrhoden und St. Gallen (seit 2010), Solothurn (seit 2011), Neuenburg (seit 2012), Zürich, Schaffhausen und Basel-Land (seit Frühling 2012), Glarus (seit 2015) und werden durch die FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung – an unterschiedlich belasteten Standorten in der Schweiz durchgeführt. Einige Daten stammen aus regionalen Projekten, wie z.B. der Umsetzung des Ressourcenprogramms des BLW durch die Kantone.³

Die Beschreibungen der Standorte, die gemessenen NH₃-Konzentrationen sowie die modellierten Emissionen und Konzentrationen werden in den Standortdatenblättern 2019 dargestellt (Seitler et al. 2020).

³ Art. 77 LwG, <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/ressourcen--und-gewaesserschutzprogramm/ressourcenprogramm.html>, Stand 16.04.2020

3 Methodisches

3.1 Messsystem

Die Messungen wurden mit Passivsammlern nach VDI 3869 Blatt 4 durchgeführt. Bis 2003 wurden Zürcher-Passivsammler eingesetzt, anfangs 2004 wurde auf Radiello-Passivsammler und ab Anfang 2018 auf die Ferm-Passivsammler umgestellt. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der drei Messmethoden wurde durch Parallelmessungen an verschiedenen Standorten untersucht. Die Zürcher Passivsammler wurden auf die Radiello-Passivsammler kalibriert. Die Übereinstimmung zwischen Radiello und Ferm ist gut (siehe Abb. 48). Aufgrund von nachträglichen Blindwertanpassungen weichen die publizierten Daten des Messjahres 2018 in diesem Bericht von den Daten des vorangegangenen Berichtes ab. Es fand eine leichte Korrektur nach unten statt (um $-0.13 \mu\text{g m}^{-3}$ für 4 Wochen Expositionszeit).

Die Richtigkeit der Passivsammlermessungen wurde mit einer unabhängigen aktiven Messmethode (Denuder, VDI 3869 Blatt 3) sowie durch weitere Vergleichsmessungen und regelmässige Qualitätskontrollen laufend überprüft. An wechselnden NABEL-Stationen werden die Passivsammler seit 2008 mit NABEL-Minidenudern (Abb. 47) und seit 2011 mit Spektrometern zur kontinuierlichen Messung von Ammoniak (Cavity Ring Down Spectroscopy) kontinuierlich verglichen.

Sammel- und Messmethoden, Vergleichsresultate und Aspekte zur Qualitätssicherung sind in einem separaten Methodenbericht (Seitler & Thöni 2009) sowie in Dämmgen et al. (2010) beschrieben.

Vergleichsmessungen haben gezeigt, dass die Expositionsdauer der Radiello-Sammler (1, 2, 4 oder 6 Wochen) keinen Einfluss auf die gemessenen Ammoniakkonzentrationen hat (Seitler 2015).

3.2 Empfehlung für Messstandorte

Die Standorte für Ammoniakmessungen sollen so gewählt werden, dass so weit wie möglich die regionale Immissionsbelastung erfasst werden kann. Dazu sollen folgende Kriterien beachtet werden:

- Platzierung auf einem offenen Feld mit freier Anströmbbarkeit.
- Die Sammler sollen an einem Mast oder Kandelaber befestigt werden. In keinem Fall in einer Baumkrone oder in einer Hecke!
- WMO/GAW und das EMEP empfehlen für Schadstoffe, die mit der Vegetation reagieren können (wie z. B. Ozon) eine Expositionshöhe von 3 bis 5 m über Boden. (WMO 2017, EMEP)
- Von Bäumen, Büschen, Hecken oder hochwachsenden Kulturen (z.B. Mais) soll genügend Abstand (horizontal ein Mehrfaches der Vegetationshöhe) gewählt werden.
- Die Passivsammler müssen jederzeit und langfristig frei anströmbar bleiben, d.h. nachwachsende Vegetation (Gras, Büsche) muss regelmässig zurückgeschnitten werden.
- Der Standort soll regelmässig (mindestens vierteljährlich) fotografiert werden, von Vorteil werden die Bilder in vier Himmelsrichtungen jeweils mit der Messstelle im Vordergrund aufgenommen. Jegliche Veränderungen in der Umgebung, wie z.B. neue Bauten, Strassen sowie getroffene Massnahmen zur Emissionsminderung von NH_3 sollen ebenfalls dokumentiert werden.

Weichen die Messstandorte von diesen Empfehlungen ab, wird dies in den Standortdatenblättern begründet. Beispielsweise wurden niedrigere Expositionshöhen von Standorten mit vorangegangenen Messungen nicht den Empfehlungen angepasst, um die Vergleichbarkeit der Daten beizubehalten. Höhere Expositionshöhen werden bewusst gewählt, um z.B. die Immissionen eines grossräumigeren Bereiches oder die Situation über den Baumkronen zu erfassen.

Ergänzend können für Fallstudien, wie z.B. die Überprüfung der Wirksamkeit von kantonalen Massnahmen, Standorte in unmittelbarer Nähe von Emissionsquellen gewählt werden.

3.3 Standorteinteilung in Belastungstypen und Immissionstypen

Angelehnt an die Belastungstypen der NABEL-Stationen werden die Standorte auf Grund ihrer geografischen Lage und der unterschiedlichen Emittenten in deren Umgebung in acht lufthygienische Belastungstypen eingeteilt:

Alp , oberhalb 1800 m ü. M.	Ländlich , verkehrsbelastet
Ländlich , oberhalb 900 m ü. M.	Vorstädtisch
Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Städtisch
Ländlich , Autobahn	Städtisch , verkehrsbelastet

Auf Grund der Höhe der Ammoniak-Jahresmittelwerte (2015 bis 2018) wurden die Standorte zusätzlich in Immissionstypen eingeteilt. Diese Einteilung ist an die Critical Levels für Ammoniak gemäss UNECE 2007 angelehnt:

< 1 $\mu\text{g m}^{-3}$, 1 – 3 $\mu\text{g m}^{-3}$, 3 – 5 $\mu\text{g m}^{-3}$, 5 – 8 $\mu\text{g m}^{-3}$, > 8 $\mu\text{g m}^{-3}$

3.4 Zeitraum und Umfang der Messungen

Seit 2000 werden in der Schweiz NH_3 -Konzentrationen in der Luft erfasst. An 13 Standorten wird durchgehend seit 2000, an 21 Standorten durchgehend seit 2004 und an 32 Standorten durchgehend seit 2008 gemessen, seit 2013 sind es 70 Standorte. In einigen Kantonen wurde Ammoniak im Zusammenhang mit der Erfolgskontrolle der Ressourcenprojekte gemäss Artikel 77a und 77b des Landwirtschaftsgesetzes (nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen) gemessen. Eine Auswahl dieser Standorte wird hier in die Auswertung miteinbezogen. Bei mehreren Standorten in einem kleinräumigen Gebiet wird jeweils ein möglichst abseits von Dörfern und starken Quellen liegender Standort ausgewählt. Insgesamt werden 86 Standorte in diesem Bericht berücksichtigt, die alle mindestens zwei Jahre betrieben wurden. Die Anzahl vollständiger Messjahre jedes Standortes ist in Tabelle 1 aufgeführt. In Kapitel 7.3, Tabelle 14 ist detailliert ersichtlich, welche Standorte wann beprobt wurden.

3.5 Messstandorte im Überblick

In Abbildung 1 werden die Messstandorte dargestellt⁴ und in Tabelle 1 kurz beschrieben (ausführlicher in Kapitel 7.2, Tabelle 13 sowie in den Standortdatenblättern: Seitler et al. 2020).

⁴ Programm: QGIS; Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

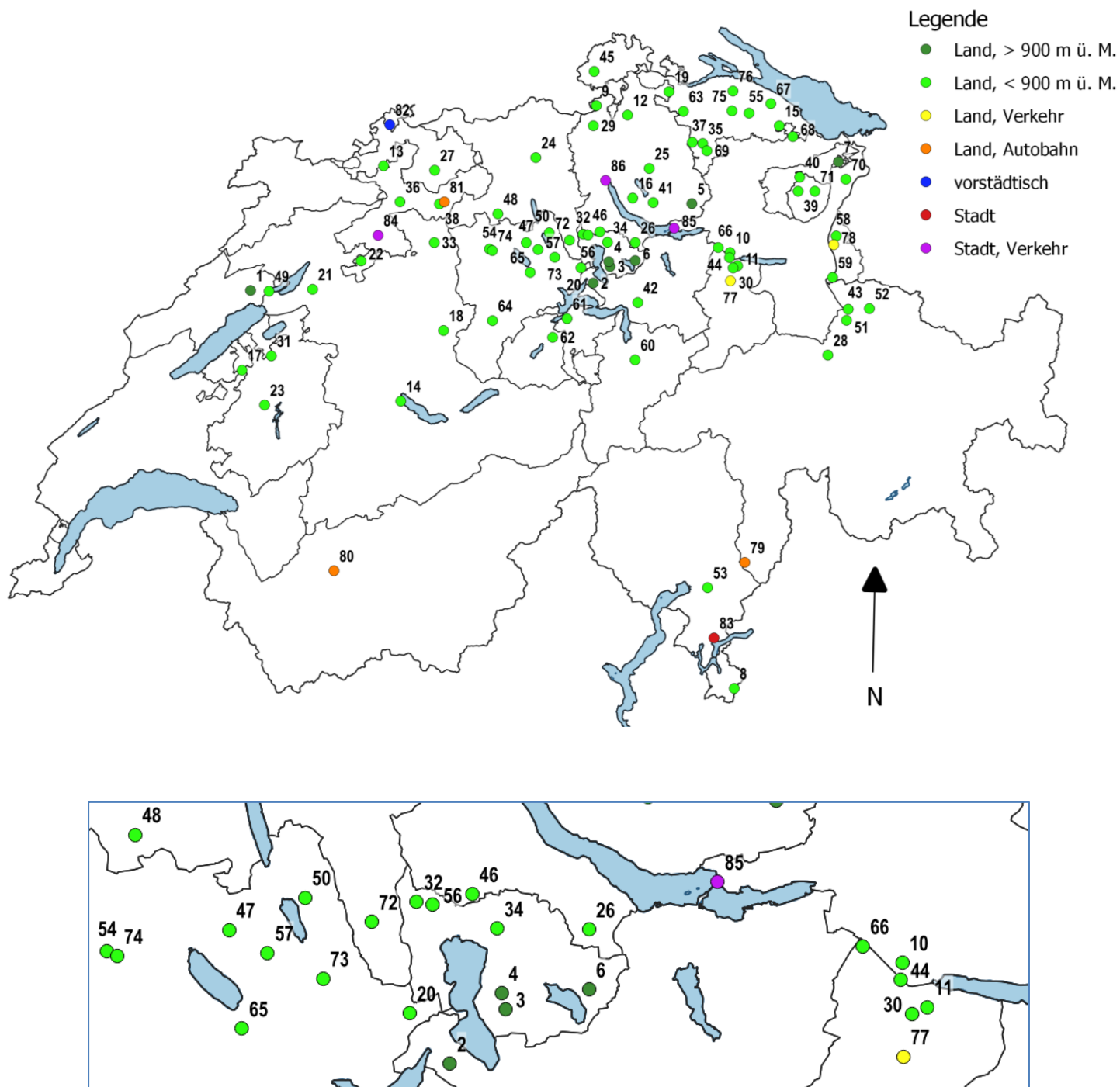


Abb. 1 Messnetz 2019, ganze Schweiz und vergrößerter Ausschnitt von Sempachersee bis Walensee
Die Nummerierung entspricht den Standortnummern in Tabelle 1.

3.6 Auswertung

3.6.1 Jahres-, Saison- und Monatsmittelwerte

Für die Jahresmittelwerte wurden die Messwerte auf das Kalenderjahr umgerechnet, indem die Messperioden über den Jahreswechsel zeitgewichtet aufgeteilt wurden.

Die Messperiode 1999/2000, im Bericht als 2000 beschrieben, stimmt nicht mit einem Kalenderjahr überein. Für die Berechnung dieser Jahresmittelwerte wurde als Ende der Messperiode der Messbeginn plus ein Jahr festgelegt.

Als Saisonmittelwerte wurden die Messwerte aus den folgenden Monaten zeitgewichtet berechnet:

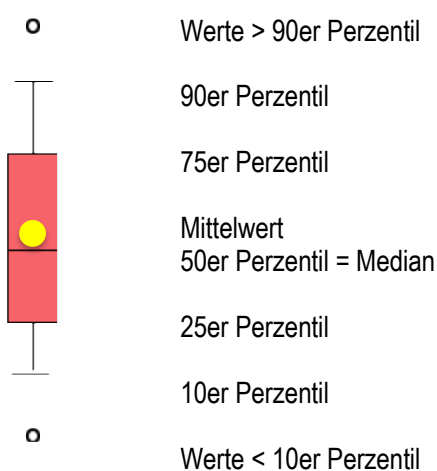
Winter	Dezember des Vorjahrs, Januar, Februar
Frühling	März, April, Mai
Sommer	Juni, Juli, August
Herbst	September, Oktober, November

Die Jahreswerte werden nur berücksichtigt, wenn mindestens 11 Monate vorhanden sind (ca. 85 %). Die Saisonmittelwerte werden verwendet, wenn mindestens 80 % und die Monatsmittel wenn mindestens 50 % der Zeit gemessen wurde.

Monatsmittelwerte wurden als Grundlage für Boxplots und Verlaufsgrafiken genommen.

3.6.2 Boxplots

Die einzelnen Standorte sind als Boxplots dargestellt, darin sind die 10er, 25er, 50er (Median), 75er und 90er Perzentile berücksichtigt. Werte oberhalb des 90er Perzentils respektive unterhalb des 10er Perzentils sind als Einzelpunkte eingezeichnet (siehe unten). Bei den Boxplots aus mehreren, seit 2000, 2004, 2018 und 2013 durchgehend gemessenen Standorten, sind auch die Mittelwerte eingezeichnet (gelber Punkt). Die Monatsmittelwerte eines Jahres bilden jeweils einen Boxplot.



4 Resultate

Die Resultate werden in diesem Bericht zusammengefasst dargestellt. Die Verläufe der Konzentrationen werden in den Standortdatenblättern (Seitler et al. 2020) dargestellt.

4.1 Langjährige Entwicklung der Ammoniak-Konzentrationen

4.1.1 Messungen an 13 Standorten seit 2000

An dreizehn Standorten wird bereits seit 2000 durchgehend gemessen (Tabelle 2). An einigen Standorten mussten die Passivsammler verschoben werden. Zum Teil wurden Parallelmessungen durchgeführt und wenn nötig die früheren Werte angepasst. In Kapitel 7.1 sind die Änderungen detailliert aufgeführt.

Tab. 2 Standorte seit 2000, Standortcharakteristik
Belastungs- und Immissionstypen der 13 Standorte, an denen schon seit 2000 gemessen wird.

4 Standorte	Ländlich , oberhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 - 3	CHA, RIG, ZB 01, BA
2 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 3 - 5	PAY, TAE
4 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 5 - 8	MAG, MAU 01, HOL 01, SCHÜ 00
1 Standort	Ländlich , Autobahn	Immissionstyp 3 - 5	SIO
1 Standort	Vorstädtisch	Immissionstyp 1 - 3	BAS
1 Standort	Städtisch	Immissionstyp 1 - 3	LUG

Tab. 3 Standorte seit 2000, Perzentile und Mittelwerte
Die Perzentile und Mittelwerte der Ammoniak-Konzentrationen (in $\mu\text{g m}^{-3}$) aller 13 Standorte an denen seit 2000 gemessen wird. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

Jahr	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Anzahl Monatsmittelwerte	156	154	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156
kleinster Monatsmittelwert	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4
10er Perzentil	0.8	0.7	0.8	0.7	0.9	0.8	0.8	1.0	1.0	1.0	0.9	1.4	0.9	0.8	0.9	1.2	0.9	1.1	1.1	1.5
25er Perzentil	1.9	1.4	1.3	1.9	1.7	1.9	2.0	1.8	1.8	2.0	1.8	2.2	1.8	1.6	1.6	2.1	1.8	1.9	2.2	2.1
Median	3.0	2.8	2.7	3.6	3.2	3.2	3.2	3.0	3.0	3.5	3.3	3.5	3.1	2.9	3.1	3.3	2.8	3.2	3.8	3.8
Mittelwert	3.3	3.0	3.1	4.0	3.5	3.4	3.6	3.5	3.3	3.7	3.5	4.1	3.5	3.2	3.4	3.8	3.4	3.6	4.5	4.5
75er Perzentil	4.1	4.0	3.9	5.1	4.9	4.8	4.9	4.8	4.6	5.0	4.7	5.7	4.9	4.6	4.9	5.1	4.7	4.6	6.3	5.6
90er Perzentil	5.5	5.4	5.6	7.7	6.2	6.3	6.8	6.5	6.0	7.0	6.3	7.7	6.3	6.4	6.1	7.4	6.7	6.1	8.4	8.6
grösster Monatsmittelwert	14.9	15.6	16.5	17.3	9.6	9.9	11.9	11.7	15.8	12.6	14.4	13.5	13.5	9.2	13.2	12.7	12.5	22.0	19.7	23.1

In Tabelle 3 und Abbildung 2 sind die Perzentile und Mittelwerte der Monatsmittelwerte zusammengefasst. Die Perzentile der Jahre 2000 bis 2002 sowie 2013 sind eher tief. 2003 (wärmster Sommer seit Messbeginn), 2011 (zweitwärmstes Jahr seit Messbeginn), 2018 (wärmstes Jahr) und 2019 (fünftwärmstes Jahr, drittwärmster Sommer) wurden hohe Werte gemessen (MeteoSchweiz 2020).

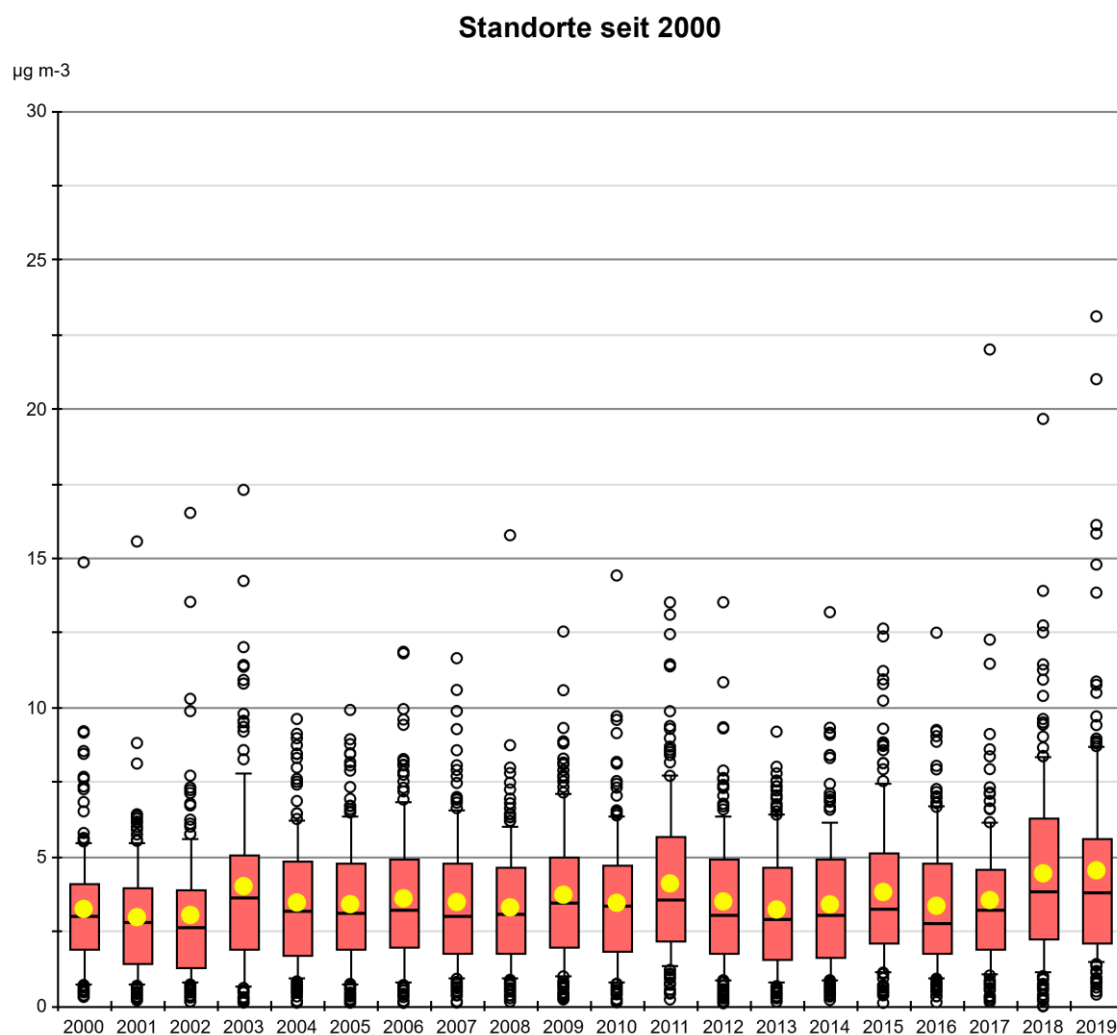


Abb. 2 Monatliche Konzentrationen der Standorte seit 2000, Boxplots
 Die Ammoniak-Konzentrationen der 13 Standorte, an denen seit Messbeginn während 20 Jahren durchgehend gemessen wurde. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

Abbildung 3 zeigt die Jahresmittelwerte der einzelnen Standorte, an denen seit 2000 jedes Jahr gemessen wurde. Bei vielen Verläufen fallen 2003, 2011, 2018 und 2019 mit den höchsten Werten auf. 20 Jahre Ammoniakmessung an verschiedenen belasteten Standorten in der Schweiz zeigen, dass die Immissionen im gemessenen Zeitraum an den meisten Standorten keine Tendenz zur zu- oder Abnahme zeigen.

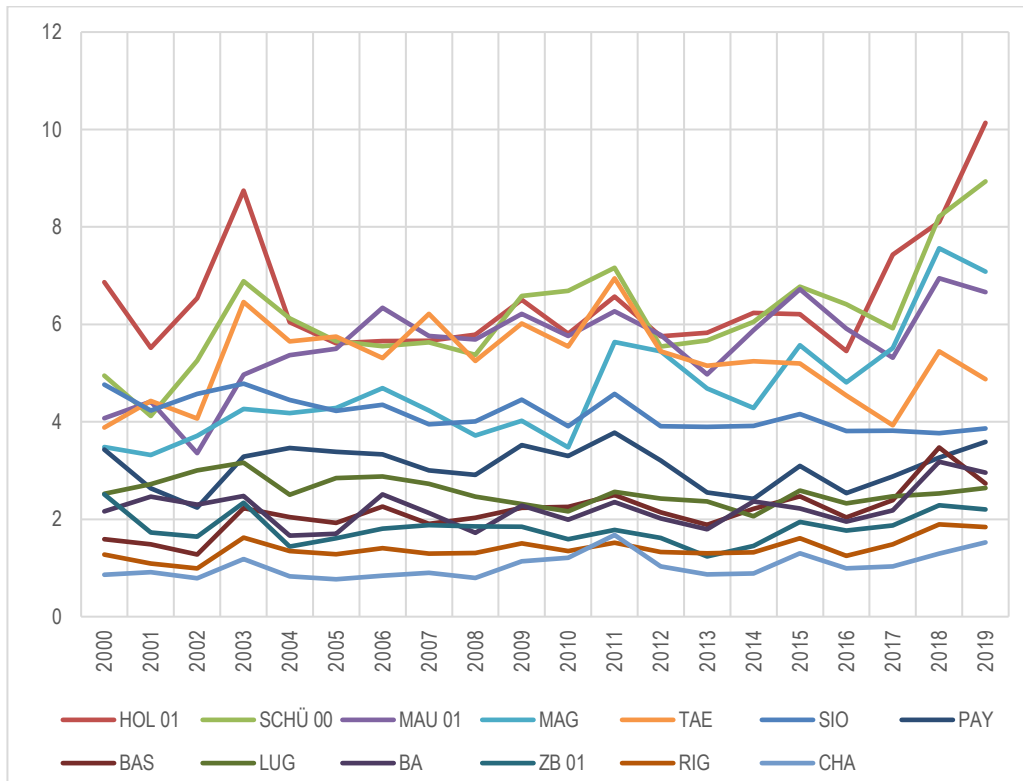


Abb. 3 Standorte seit 2000, Jahresmittelwerte im Verlauf
Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen aller 13 Standorte an denen seit 2000 gemessen wird. Einheit: $\mu\text{g m}^{-3}$

4.1.2 Messungen an 21 Standorten seit 2004

An 21 Standorten wird seit 2004 durchgehend gemessen (Tabelle 4)

Tab. 4 Standorte seit 2004, Perzentile und Mittelwerte
Belastungs- und Immissionstypen der 21 Standorte, an denen seit 2004 gemessen wird.

4 Standorte	Ländlich , oberhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 - 3	CHA, RIG, ZB 01, BA
2 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 - 3	SCH, HUD 03
3 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 3 - 5	PAY, RO, TAE
4 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 5 - 8	MAG, MAU 01, HOL 01, SCHÜ 00
4 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp > 8	HÄG, ESC 08, APS, WAU 13
1 Standort	Ländlich , Autobahn	Immissionstyp 3 - 5	SIO
1 Standort	Vorstädtisch	Immissionstyp 1 - 3	BAS
1 Standort	Städtisch	Immissionstyp 1 - 3	LUG
1 Standort	Städtisch , verkehrsbelastet	Immissionstyp 3 - 5	RAP

In Tabelle 5 und Abbildung 4 sind die Perzentile und Mittelwerte der Monatsmittelwerte zusammengefasst. Die Monatsmittelwerte der 21 Standorte, an denen während 16 Jahren gemessen wurde, sind als Boxplots dargestellt (Abbildung 4). Die Jahresmittel der Jahre 2011, 2018 und 2019 zeigen die höchsten Werte.

Tab. 5 Standorte seit 2004, Perzentile und Mittelwerte
Die Perzentile und Mittelwerte der Ammoniak-Konzentrationen (in $\mu\text{g m}^{-3}$) aller 21 Standorte an denen seit 2004 gemessen wird. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

Jahr	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Anzahl Monatsmittelwerte	252	252	252	252	252	252	251	252	252	252	252	252	252	251	252	252
kleinster Monatsmittelwert	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4
10er Perzentil	1.2	1.0	1.2	1.3	1.2	1.3	1.1	1.6	1.0	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	1.7
25er Perzentil	2.1	2.0	2.2	1.9	1.9	2.1	2.0	2.3	1.9	1.8	1.9	2.3	2.1	2.2	2.8	2.5
Median	3.8	3.6	3.5	3.3	3.3	3.9	3.7	3.9	3.5	3.2	3.4	3.6	3.1	3.6	4.4	4.1
Mittelwert	4.3	4.3	4.7	4.2	4.1	4.5	4.2	4.9	4.2	3.8	4.1	4.6	4.1	4.4	5.4	5.3
75er Perzentil	5.7	5.7	5.9	5.7	5.5	6.3	5.6	6.6	5.7	5.4	5.6	5.7	5.5	5.6	7.5	7.1
90er Perzentil	8.4	8.8	9.6	8.2	8.0	8.5	8.3	9.3	8.3	7.4	7.4	9.3	8.7	8.9	11.1	10.8
grösster Monatsmittelwert	17.5	20.0	19.7	15.1	15.8	18.4	20.5	20.2	21.6	13.1	19.1	22.3	17.7	22.8	19.7	23.1

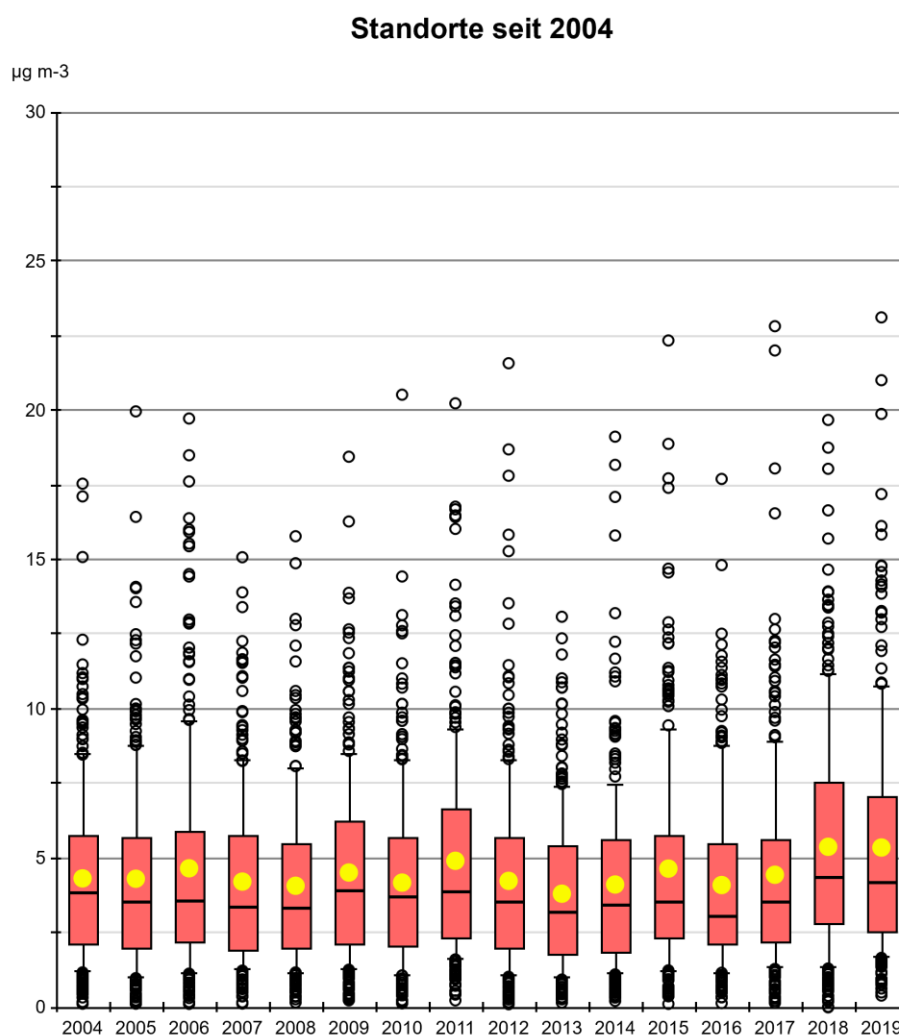


Abb. 4 Monatliche Konzentrationen der Standorte seit 2004, Boxplots
Die Ammoniak-Konzentrationen der 21 Standorte, an denen während 16 Jahren gemessen wurde. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

Abbildung 5 zeigt die Jahresmittelwerte der einzelnen Standorte, an denen seit 2004 durchgehend gemessen wird. Bei den Standorten mit hohen Konzentrationen sind die Schwankungen von Jahr zu Jahr meist grösser als bei Standorten mit niedrigen Konzentrationen.

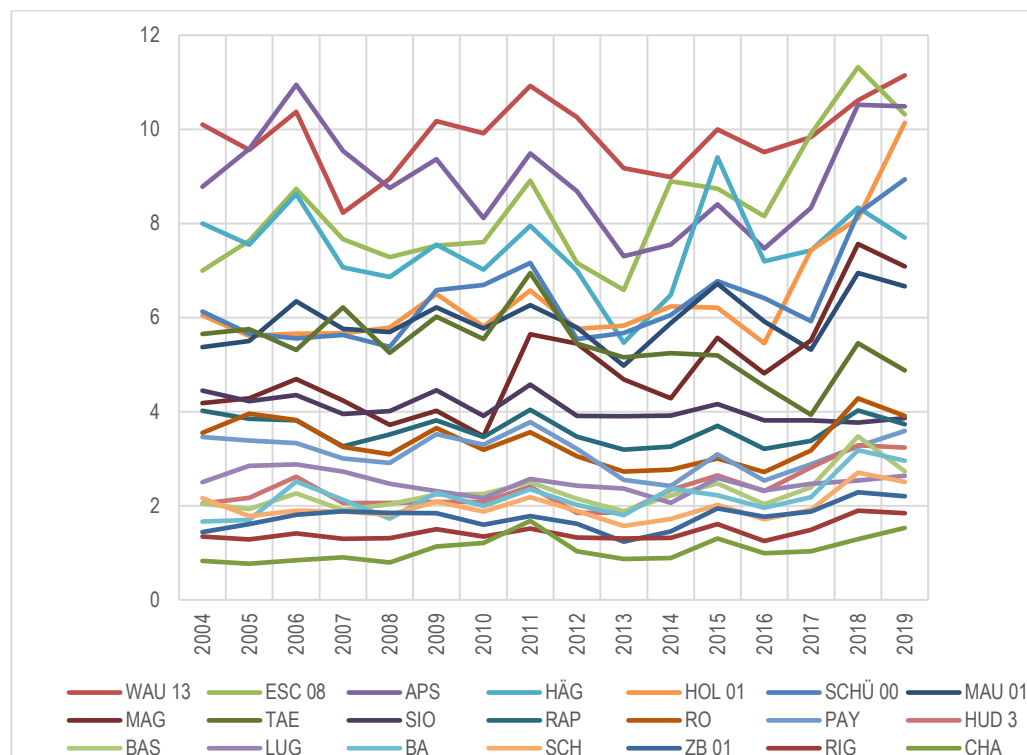


Abb. 5 Standorte seit 2004, Jahresmittelwerte im Verlauf
Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen aller 21 Standorte an denen seit 2004 gemessen wird. Einheit: $\mu\text{g m}^{-3}$

4.1.3 Messungen an 32 Standorten seit 2008

An 32 Standorten wird seit 2008 durchgehend gemessen (Tabelle 6).

Tab. 6 Standorte seit 2008, Standortcharakteristik
Die Perzentile und Mittelwerte der Ammoniak-Konzentrationen (in $\mu\text{g m}^{-3}$) aller 32 Standorte an denen seit 2008 gemessen. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

6 Standorte	Ländlich , oberhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 – 3	CHA, RIG, FRÜE, ZB 01, BA, ZIGE
2 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 – 3	SCH, HUD 03
7 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 3 – 5	PAY, RO, TAE, VU01, MI01, FRAU, INWI
8 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 5 – 8	MAG, WAU16.4, MAU 01, BAV, NEU02, EST, HOL 01, SCHÜ 00
4 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp > 8	HÄG, ESC 08, APS, WAU 13
1 Standort	Ländlich , Autobahn	Immissionstyp 3 – 5	SIO
1 Standort	Ländlich , Autobahn	Immissionstyp 5 – 8	HAE
1 Standort	Vorstädtisch	Immissionstyp 1 – 3	BAS
1 Standort	Städtisch	Immissionstyp 1 – 3	LUG
1 Standort	Städtisch , verkehrsbelastet	Immissionstyp 3 – 5	RAP

Tab. 7 Standorte seit 2008, Perzentile und Mittelwerte
Die Perzentile und Mittelwerte der Ammoniak-Konzentrationen aller 32 Standorte an denen seit 2008 gemessen wird, in $\mu\text{g m}^{-3}$, Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

Jahr	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Anzahl Monatsmittelwerte	384	384	383	384	381	382	383	384	384	383	384	384
kleinster Monatsmittelwert	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4
10er Perzentil	1.3	1.4	1.2	1.8	1.2	1.1	1.3	1.5	1.4	1.4	1.7	1.9
25er Perzentil	2.2	2.3	2.1	2.5	2.0	2.0	2.1	2.4	2.1	2.4	2.9	2.9
Median	3.5	4.1	3.8	4.2	3.6	3.4	3.6	3.9	3.5	3.8	4.5	4.5
Mittelwert	4.0	4.4	4.2	4.9	4.2	3.9	4.1	4.6	4.1	4.4	5.4	5.4
75er Perzentil	5.0	5.7	5.4	6.4	5.4	5.3	5.4	5.9	5.3	5.6	7.1	7.0
90er Perzentil	7.2	7.9	7.6	8.8	7.6	7.3	7.2	8.9	7.7	8.2	10.5	9.9
grösster Monatsmittelwert	15.8	18.4	20.5	20.2	21.6	13.1	19.1	22.3	17.7	22.8	19.7	23.1

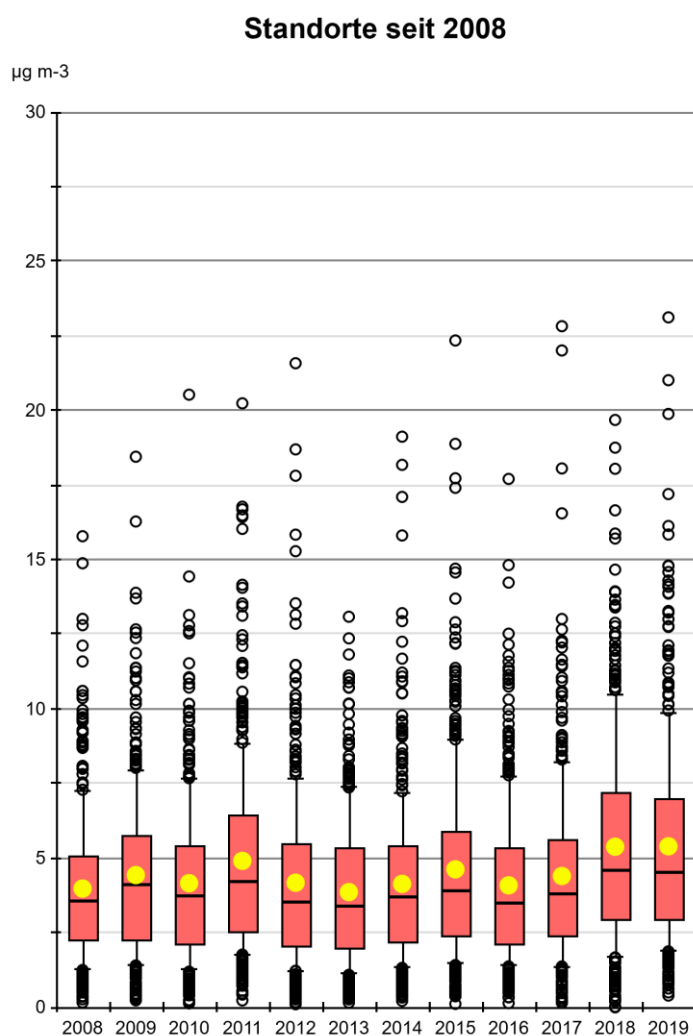


Abb. 6 Monatliche Konzentrationen der Standorte seit 2008, Boxplots
Die Ammoniak-Konzentrationen der 32 Standorte, an denen seit Messbeginn während 20 Jahren durchgehend gemessen wurde. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

In Tabelle 7 sind die Perzentile und Mittelwerte der Monatsmittelwerte zusammengefasst. Die Monatsmittelwerte der 32 Standorte, an denen seit 2008 gemessen wurde, sind als Boxplots dargestellt (Abbildung 6). Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Jahresmittelwerte dieser Standorte. Wiederum fallen die Jahre 2011, 2018 und 2019 auf.

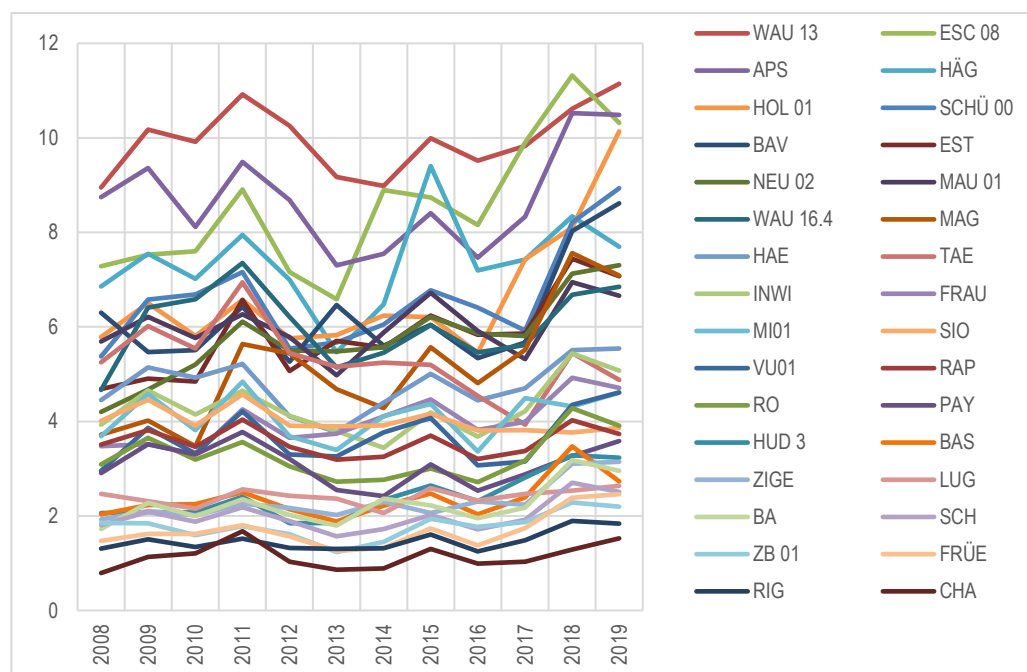


Abb. 7 Standorte seit 2008, Jahresmittelwerte im Verlauf
Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen aller 32 Standorte an denen seit 2008 gemessen wird. Einheit: $\mu\text{g m}^{-3}$

4.1.4 Messungen an 70 Standorten seit 2013

An 70 Standorten wird seit 2013 durchgehend gemessen (Tabelle 8).

Tab. 8 Standorte seit 2013, Standortcharakteristik
Die Perzentile und Mittelwerte der Ammoniak-Konzentrationen (in $\mu\text{g m}^{-3}$) aller 70 Standorte an denen seit 2013 gemessen wird. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

7 Standorte	Ländlich , oberhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 - 3	CHA, RIG, FRÜE, ZB 01, BA, ZIGE, AIO
7 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 - 3	RAF, SCH, BAI, BRIS, VTG, HUD 03, KNB
24 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 3 - 5	PAY, IEB, OBS, RO, WTG1, HEMO, VU01, BIR1, SNB, BENN, N14, STAD, MI01, FRAU, HBL INWI, MAEM, TAE, NEHU, AIG, AIHA, MÖN, SZ-03, NMS
18 Standorte	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 5 - 8	SHKI, KAP, SAM2, NE03, NZI01, NGS, MAG, WAU16.4, MAU 01, ZG-02, NEU02, EST, BAV, UR01, NW-02, OW-02, SCHÜ 00, HOL 01
5 Standort	Ländlich , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp > 8	HÄG, APS, SIN3, ESC08, WAU 13
2 Standorte	Ländlich , Autobahn	Immissionstyp 3 - 5	NV4, SIO
1 Standorte	Ländlich , Autobahn	Immissionstyp 5 - 8	HAE
1 Standort	Ländlich , verkehrsbelastet	Immissionstyp 5 - 8	SLI01
1 Standort	Vorstädtisch	Immissionstyp 1 - 3	BAS
1 Standort	Städtisch	Immissionstyp 1 - 3	LUG
1 Standort	Städtisch , verkehrsbelastet	Immissionstyp 1 - 3	SOAL
2 Standorte	Städtisch , verkehrsbelastet	Immissionstyp 3 - 5	RAP, WIE

In Tabelle 9 und Abbildung 8 sind die Perzentile und Mittelwerte der Monatsmittelwerte zusammengefasst.

Tab. 9 Standorte seit 2013, Perzentile und Mittelwerte
Die Perzentile und Mittelwerte der Ammoniak-Konzentrationen (in $\mu\text{g m}^{-3}$) aller 70 Standorte an denen seit 2013 gemessen wird. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Anzahl Monatsmittelwerte	837	837	836	840	837	839	835
kleinster Monatsmittelwert	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4
10er Perzentil	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	2.0	2.1
25er Perzentil	2.2	2.3	2.5	2.3	2.6	3.1	3.1
Median	3.4	3.5	3.9	3.5	3.9	4.9	4.6
Mittelwert	3.8	4.1	4.5	4.0	4.3	5.3	5.2
75er Perzentil	5.0	5.2	5.6	5.1	5.5	6.8	6.3
90er Perzentil	7.0	6.9	8.3	7.1	7.5	8.9	8.9
grösster Monatsmittelwert	13.1	31.4	22.3	17.7	22.8	19.7	23.1

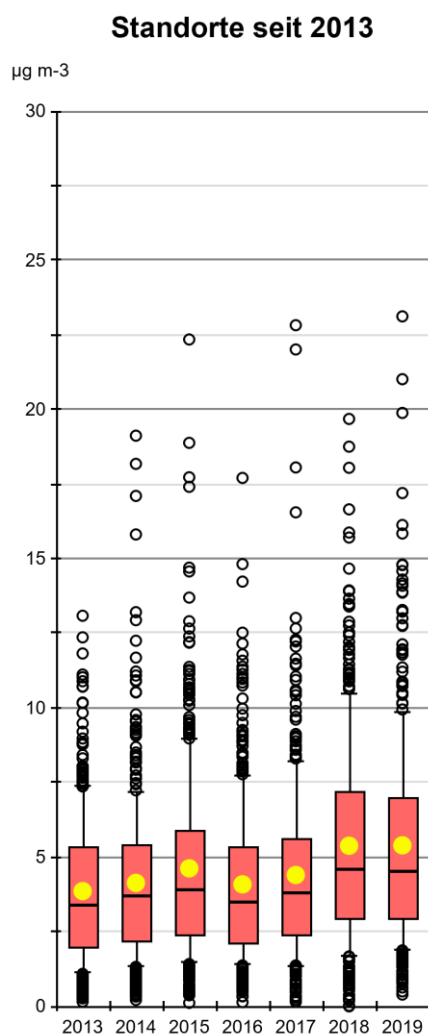


Abb. 8 Standorte seit 2013, monatliche Konzentrationen
 Die Ammoniak-Konzentrationen der 70 Standorte, bei denen während 7 Jahren gemessen wurde. Die jährlichen Boxplots fassen die Monatsmittelwerte zusammen.

4.2 Vergleich mit Critical Levels

Die Critical Levels für Ammoniak betragen (CLRTAP 2017, Kapitel III):

- NH_3 -Konzentration von $1 \mu\text{g m}^{-3}$ für empfindliche Moose und Flechten sowie Ökosysteme, wo diese niederen Pflanzen für das Ökosystem von Bedeutung sind
- NH_3 -Konzentration von $3 \mu\text{g m}^{-3}$ für höhere Pflanzen. Auf Grund der Schätz-Unsicherheit wird jedoch ein Bereich von $2 - 4 \mu\text{g m}^{-3}$ bevorzugt.

Drei Standorte des Messnetzes befinden sich direkt bei Hochmooren (FRÜE und ZB 01 im Kt. ZG, AIG Kt. AI) (Tabelle 10). Mit Mehrjahresmittelwerten von 1.9 , 2.0 und $4.9 \mu\text{g m}^{-3}$ wird an diesen Standorten der Critical Level für Ammoniak für empfindliche Ökosysteme deutlich überschritten. Im Flachmoor bei Zigerhüttli auf dem Zugerberg und Gwatt am Thunersee (VTG) wird der Unsicherheitsbereich des Critical Levels für höhere Pflanzen mit $2.8 \mu\text{g m}^{-3}$ erreicht, im Wauwiler Moos (WAU 16) wird er mit dem Mehrjahresmittelwert von $6.1 \mu\text{g m}^{-3}$ deutlich überschritten. Von vier walddnahen Standorten (innerhalb 25 m vom Waldrand) bleibt der in den Südalpen gelegenen Standort (SARE, Kt. TI) unter dem Critical Level für höhere Pflanzen. Der voralpine (SCH, Kt. SG) und der im Mittelland gelegene Standort (HUD 3, Kt. TG) erreichen den Unsicherheitsbereich des Critical Levels für höhere Pflanzen von $2 - 4 \mu\text{g m}^{-3}$, in Gelfingen (GEF, Kt. LU) wird der Critical Level deutlich überschritten. Grosse Teile der landwirtschaftlichen Flächen in der Schweiz grenzen an empfindliche Ökosysteme, vor allem an Wald.

Zu beachten ist, dass die Critical Loads für Stickstoff für empfindliche Ökosysteme überschritten sein können, auch wenn die Ammoniakkonzentrationen unterhalb des Critical Levels für Ammoniak bleiben. Dies aufgrund des zusätzlichen Stickstoffeintrags durch oxidierte Verbindungen, durch den Eintrag via Niederschläge sowie durch den Ferntransport von sekundären Stickstoffverbindungen.

Tab. 10 Ammoniak-Konzentrationen bei empfindlichen Ökosystemen
Mehrfjahresmittelwerte von nahe bei Hochmooren, Flachmooren oder an Wäldern gelegenen Standorten, verglichen mit den Critical Levels für empfindliche Ökosysteme. Konzentrationen an Standorten im Bereich der Critical Levels sind orange, diejenigen oberhalb der Critical Levels sind rot dargestellt.

Nr. (Karte Abb.1)	Code	direkte Umgebung	NH ₃ -Konzentration	
			Mittelwert 2015 - 2019	Critical Level
			µg m ⁻³	µg m ⁻³
Hochmoore				
3	FRÜE	Wiese, Weide, Hoch- & Flachmoorrand	1.9	1
4	ZB 01	Wiese, Weide, Hoch- & Flachmoorrand	2.0	
39	AIG	Hoch- & Flachmoorrand, Golfplatz	4.9	
Flachmoore				
6	ZIGE	Flachmoor, Naturschutzgebiet	2.6	2 - 4
14	VTG	Flachmoor, auf Turm im Schilf, Seeufer	2.8	
54	WAU 16.4	Flachmoor, extensives Wiesland	6.1	
Waldrand				
8	SARE	Waldlichtung	1.5	2 - 4
10	SCH	Waldlichtung, Schafweide, Graswirtschaft	2.2	
15	HUD 3	Wiesen, Acker, Wald	2.9	
50	GEF	Wiesen, Wald	5.7	

4.3 Vergleich mit Emissionsentwicklung

Die Schweiz rapportiert jährlich die modellierten Emissionszahlen von PM_{2.5}, SO₂, NO_x, NMVOC und NH₃ im Rahmen der LRTAP-Konvention und als Mitglied der Europäischen Umweltagentur (EUA). Die Luftverunreinigungen werden gemäss dem Guidebook zur Emissionsberichterstattung von EMEP und EUA rapportiert (FOEN 2020). Aufgrund von Modelländerungen bei der Emissionsberechnung werden heute niedrigere Ammoniakemissionen ausgewiesen als mit früheren Berechnungen. Dies hat auf die relative zeitliche Entwicklung allerdings keinen Einfluss (Kupper et al. 2018). Bei Ammoniak ist die Landwirtschaft der Hauptemittent (Tabelle 11).⁵

Tab. 11 NH₃-Emissionen der Schweiz zwischen 2000 und 2018
Für die Quellengruppe Landwirtschaft und die Summe aller Quellengruppen (FOEN 2020)
In blau gekennzeichnet: Bezugsjahr für Vergleich Emission und Immission.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Landwirtschaft kt NH ₃	53.4	53.4	52.4	51.7	51.7	52.8	53.5	54.4	54.6	53.6	54.0	53.1	52.7	52.1	52.6	51.9	51.8	51.7	51.3
total kt NH ₃	60.6	60.5	59.2	58.2	57.9	58.8	59.1	59.9	59.9	58.6	58.8	57.7	57.0	56.2	56.5	55.6	55.4	55.3	54.8
Anteil Landwirtschaft %	88.1	88.3	88.5	88.8	89.3	89.8	90.5	90.8	91.2	91.5	91.8	92.0	92.5	92.7	93.1	93.3	93.5	93.5	93.6

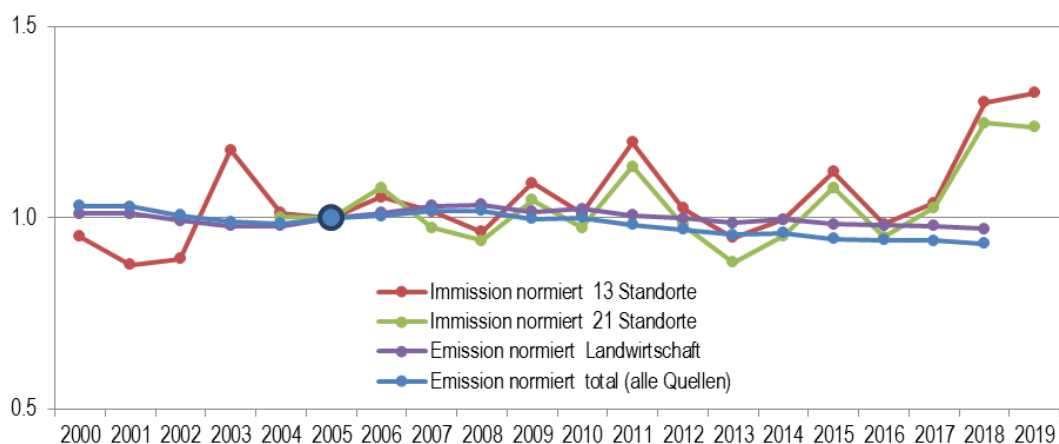


Abb. 9 Vergleich der Entwicklung von Emissionen und Immissionen, alle normiert auf das Jahr 2005.
Die Emissionen (Summe aller Quellengruppen sowie Quelle Landwirtschaft) und die Mittelwerte der Immissionen der 13 bzw. 21 Standorte wurden auf das Bezugsjahr 2005 normiert.

Die Mittelwerte der Immissionen der 13 seit 2000 resp. der 21 seit 2004 gemessenen Standorte werden mit den Ammoniakemissionen verglichen. Dazu wird 2005 als Bezugsjahr festgelegt und alle Werte relativ zum Wert dieses Jahres angegeben (Abb. 9).

Die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen haben sich zwischen 2000 und 2018 wenig verändert, während die gesamten schweizerischen NH₃-Emissionen leicht, jedoch signifikant

⁵ "Emissionsdaten basieren auf Erhebungen, Annahmen und komplexen Modellrechnungen. Diese sind naturgemäss mit zum Teil grossen Unsicherheiten verbunden, was bei der Verwendung der Daten und bei deren Interpretation zu berücksichtigen ist. Viele Bereiche werden bei Methodenänderungen auch rückwirkend aktualisiert, sodass auch Daten aus früheren Jahren nicht als definitiv betrachtet werden können."
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/zustand/emissionsinformationssystem-der-schweiz-emis.html>

um ca. 10 % abgenommen haben. Bei den Immissionen ist kein Trend sichtbar. Die Schwankungen von Jahr zu Jahr bei den Immissionen werden zum Teil durch die meteorologischen Bedingungen in den jeweiligen Jahren beeinflusst, so ist z.B. der Mittelwert 2003 (wärmster Sommer seit Messbeginn), 2011 (drittwärmstes Jahr), 2015 (zweitwärmstes Jahr), 2018 (wärmstes Jahr) und 2019 (fünftwärmstes Jahr, drittwärmster Sommer) (Meteo-Schweiz 2020) erhöht. Bei den Emissionsberechnungen wird die Witterung eines spezifischen Jahres nicht berücksichtigt.

4.4 Berechnung von Konzentrationskarten

Meteotest hat im Auftrag des BAFU die Ammoniakemissionen und -konzentrationen flächendeckend für die Schweiz modelliert (Thöni et al. 2004, Rihm und Achermann 2016, Rihm & Künzle 2019). Dazu wurden die Emissionen in den Jahren 1990, 2000, 2005, 2010 und 2015 auf dem Hektarraster berechnet und daraus mithilfe eines statistischen Ausbreitungsmodells Konzentrationskarten erstellt. Die Modellierung basiert auf gesamtschweizerisch vorhandenen Datensätzen wie der landwirtschaftlichen Betriebszählung und der Arealstatistik des BFS, Gemeindegebiete und Topografie von swisstopo sowie Hofdüngerflüsse und Sömmerungsbetriebe des BLW. Anschliessend wurde durch Vergleich der modellierten Konzentrationen mit den gemessenen Konzentrationen eine höhenabhängige Kalibrierungsfunktion ermittelt und zur Anpassung der Konzentrationskarten an die gemessenen Werte verwendet (Rihm & Künzle 2019).

Abbildung 10 zeigt einen Vergleich der so modellierten Ammoniakkonzentrationen mit den gemessenen Mittelwerten der Jahre 2000-2004, 2003-2007, 2008-2012 und 2013-2017. Dank der verwendeten Kalibrierungsfunktion stimmen die modellierten Werte gut mit den gemessenen Konzentrationen überein ($R^2=0.84, 0.77, 0.48$ resp. 0.68). Messstandorte wurden nicht in die Regression einbezogen, wenn ihr Abstand zu Ställen weniger als 150 m beträgt oder wenn der Stallstandort aus der Betriebszählung des BFS offensichtlich stark vom tatsächlichen Stallstandort abweicht (Abb. 10, rote Punkte).

Die Streuung zwischen den mit Passivsammlern für einen bestimmten Punkt ermittelten Konzentrationen und den Modellresultaten können hauptsächlich mit eingeschränkten räumlichen Informationen zu den stationären landwirtschaftlichen Quellen (Ställe, Hofdüngerlager) und Vereinfachungen bei der Ausbreitungsberechnung erklärt werden. Die hohe Anzahl von Messstandorten (besonders in der Periode 2013-2017) ermöglicht aber eine zuverlässige Schätzung der räumlichen Konzentrationsverteilung.

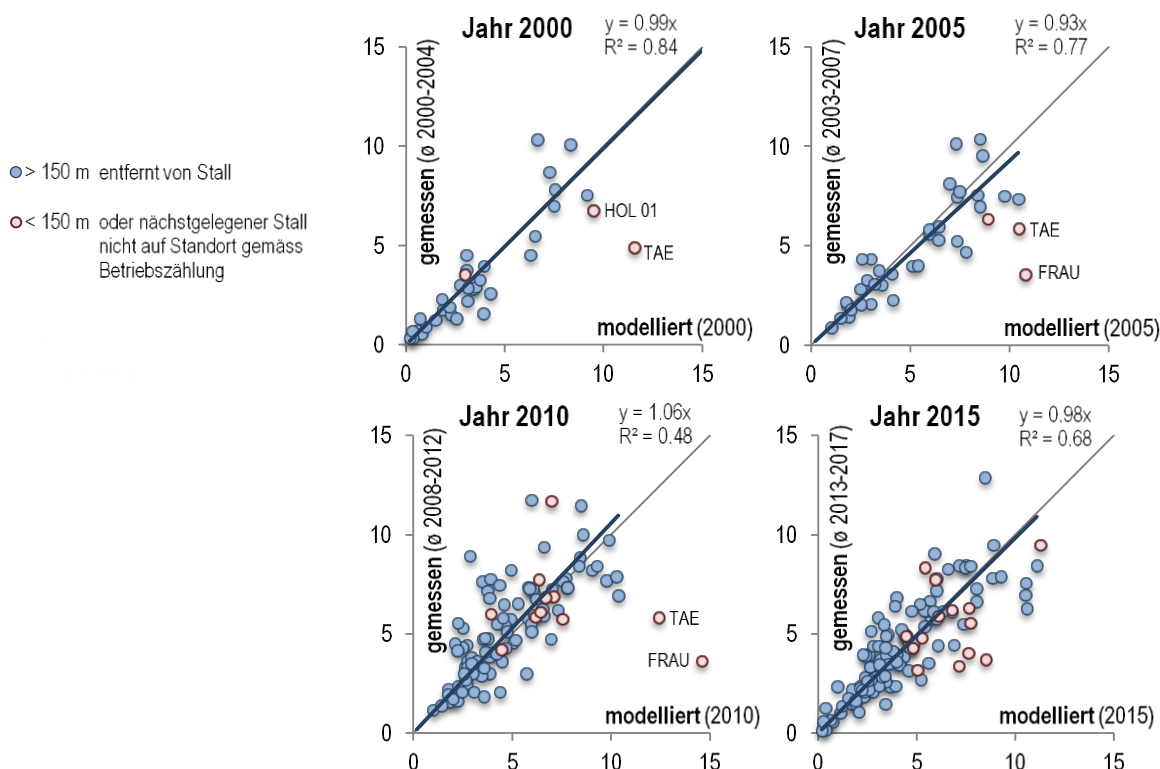


Abb. 10 Vergleich modellierter mit gemessenen NH_3 -Konzentrationen, Jahre 2000 resp. 2000-2004, 2005 resp. 2003-2007, 2010 resp. 2008-2012 und 2015 resp. 2013-2017
Die Trendlinien beziehen sich nur auf Standorte > 150 m entfernt von landwirtschaftlichen Betrieben (blaue Punkte).
Einheit: $\mu\text{g m}^{-3}$

4.5 Zeitreihen der einzelnen Standorte

In den folgenden Abbildungen werden die Ammoniakkonzentrationen der einzelnen Standorte als jährliche Boxplots dargestellt (je aus den 12 Monatsmittelwerten berechnet), einerseits um den Vergleich unter den Standorten besser sichtbar zu machen, andererseits um die Entwicklung über diese 20 Jahre aufzuzeigen. Berücksichtigt wurden die Standorte an denen (auch) im Jahr 2019 und mindestens zwei ganze Jahre gemessen wurde. Die Reihenfolge entspricht weitgehend jener der Tabelle 1. Eine Erklärung der Symbole in den Boxplots findet sich in Abschnitt 3.6.2 auf Seite 17.

Belastungstyp: Ländlich, oberhalb 900 m ü. M.; **Immissionstyp:** NH_3 -Konzentration 1 - 3 $\mu\text{g m}^{-3}$

Abbildungen 11 und 12 zeigen die 7 höher gelegenen Standorte in Wiesen- und Weidegebieten mit Jahresmittelwerten zwischen 1 und 3 $\mu\text{g m}^{-3}$.

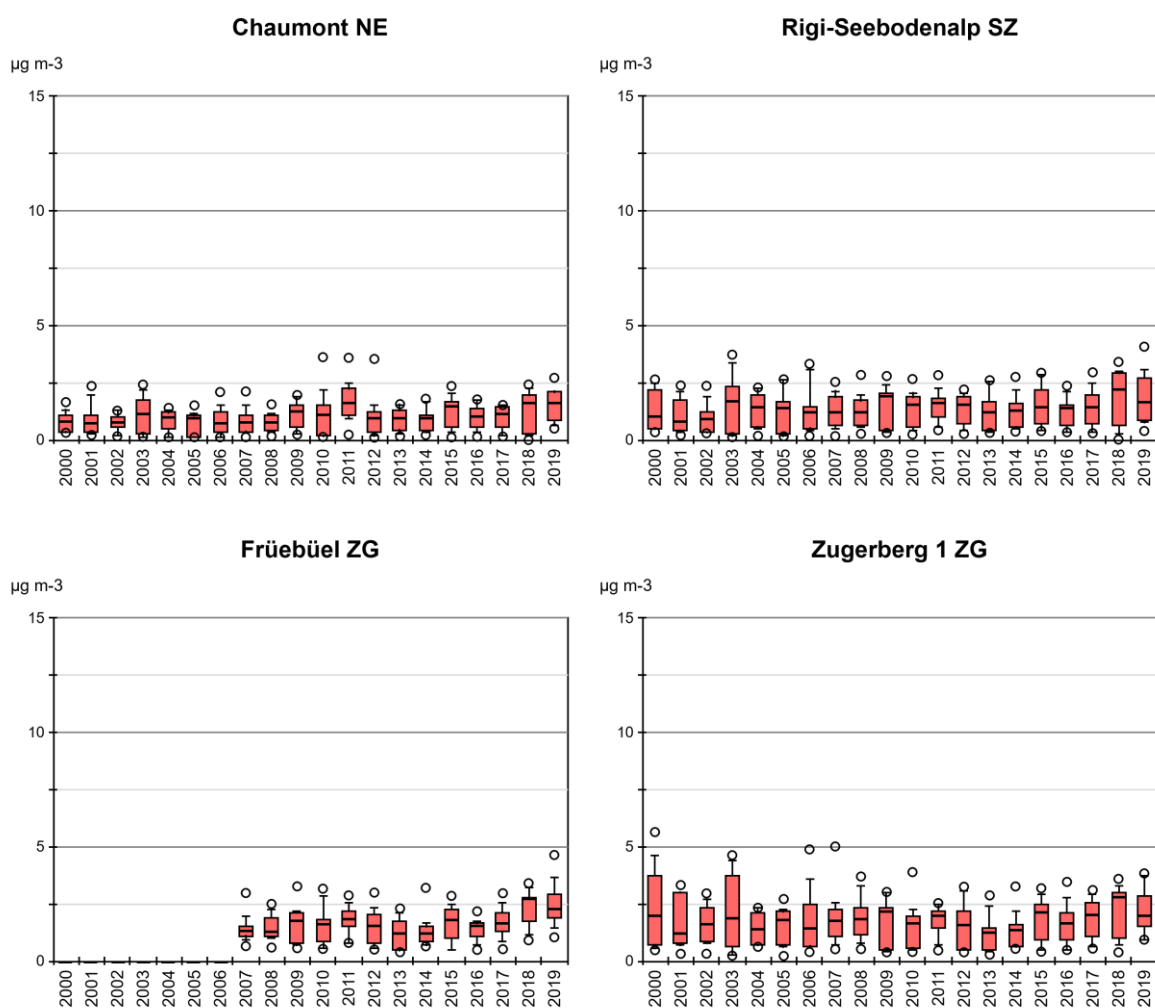


Abb. 11 Ammoniakkonzentration von CHA, RIG, FRÜE und ZB 01
 Monatsmittelwerte von Chaumont (NE), Rigi-Seebodenalp (SZ), Fräebüel (ZG) und Zugerberg 1 (ZG), als Boxplots dargestellt.

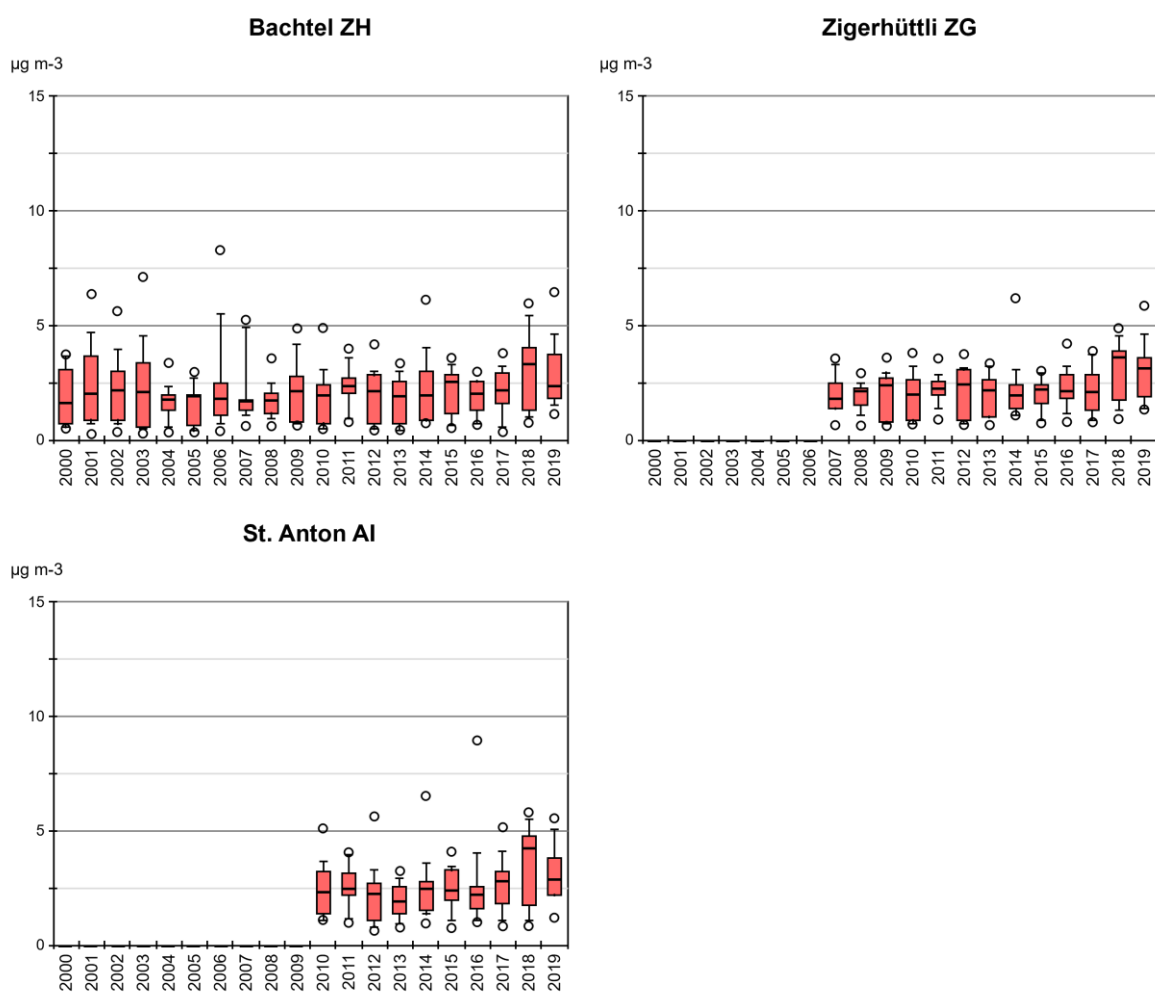


Abb. 12 Ammoniakkonzentration von BA, ZIGE und AIO
Monatsmittelwerte von Bachtel (ZH), Zigerhüttli (ZG) und St. Anton (AI) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, unterhalb 900 m ü. M.; Immissionstyp: NH_3 -Konzentration 1 - 3 $\mu\text{g m}^{-3}$

Abbildungen 13 bis 14 zeigen die neun ländlich gelegenen Standorte unterhalb 900 m ü. M. mit niedrigen Immissionen.

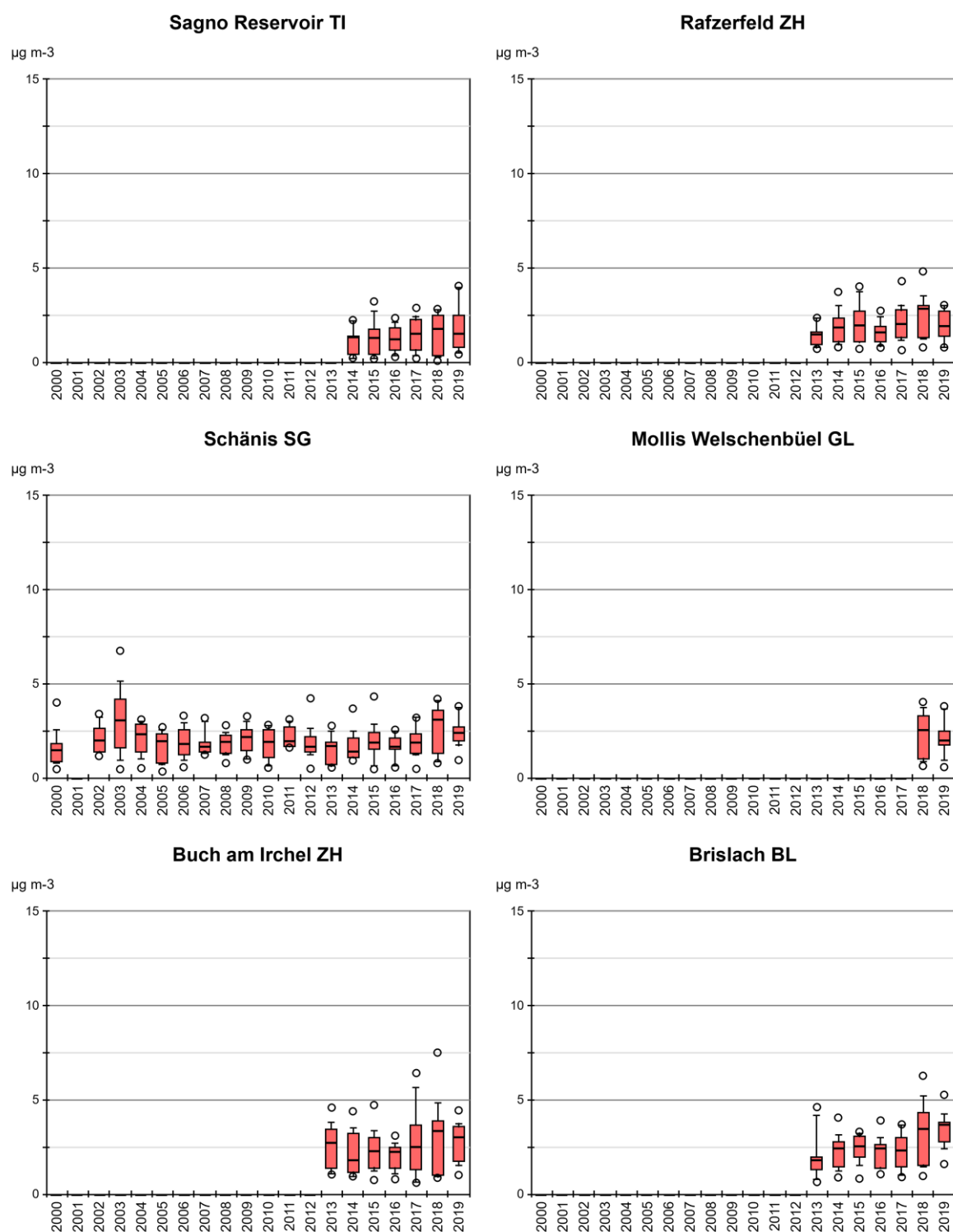


Abb. 13 Ammoniakkonzentration von SARE, RAF, SCH, WBM, BAI und BRIS
 Monatsmittelwerte von Sarno Reservoir (TI), Rafzerfeld (ZH), Schänis (SG), Mollis Welschenbuel (GL), Buch am Irchel (ZH) und Brislach (BL) als Boxplots dargestellt.

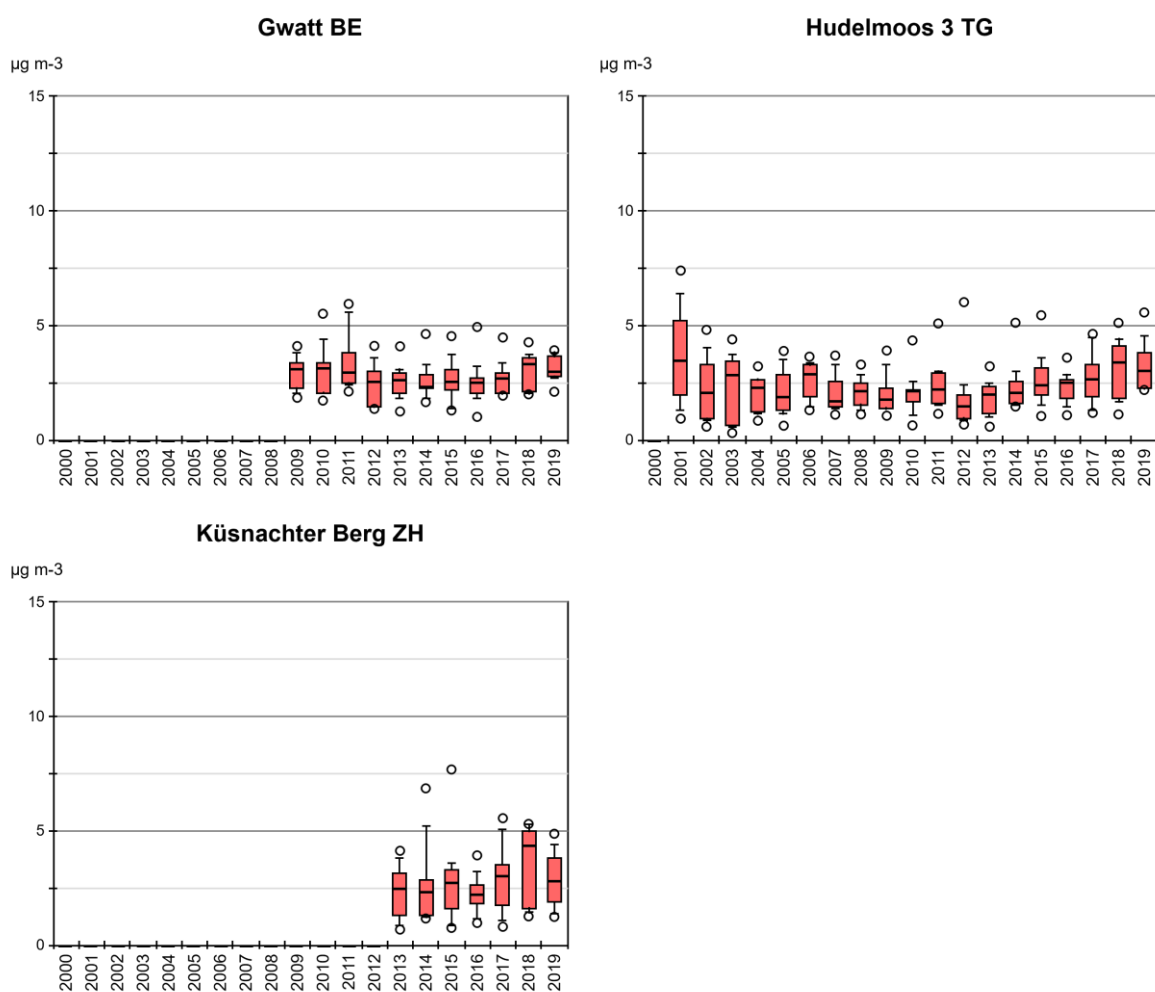


Abb. 14 Ammoniakkonzentration von VTG, HUD 3 und KNB
Monatsmittelwerte von Gwatt (BE), Hudelmoss 3 (TG) und Küsnachter Berg (ZH) und als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, unterhalb 900 m ü. M.; **Immissionstyp:** NH₃-Konzentration 3 - 5 µg m⁻³

Abbildungen 15 bis 19 zeigen die 27 unter 900 m gelegenen ländlichen Standorte mit einem Jahresmittelwert im Bereich von 3 bis 5 µg m⁻³.

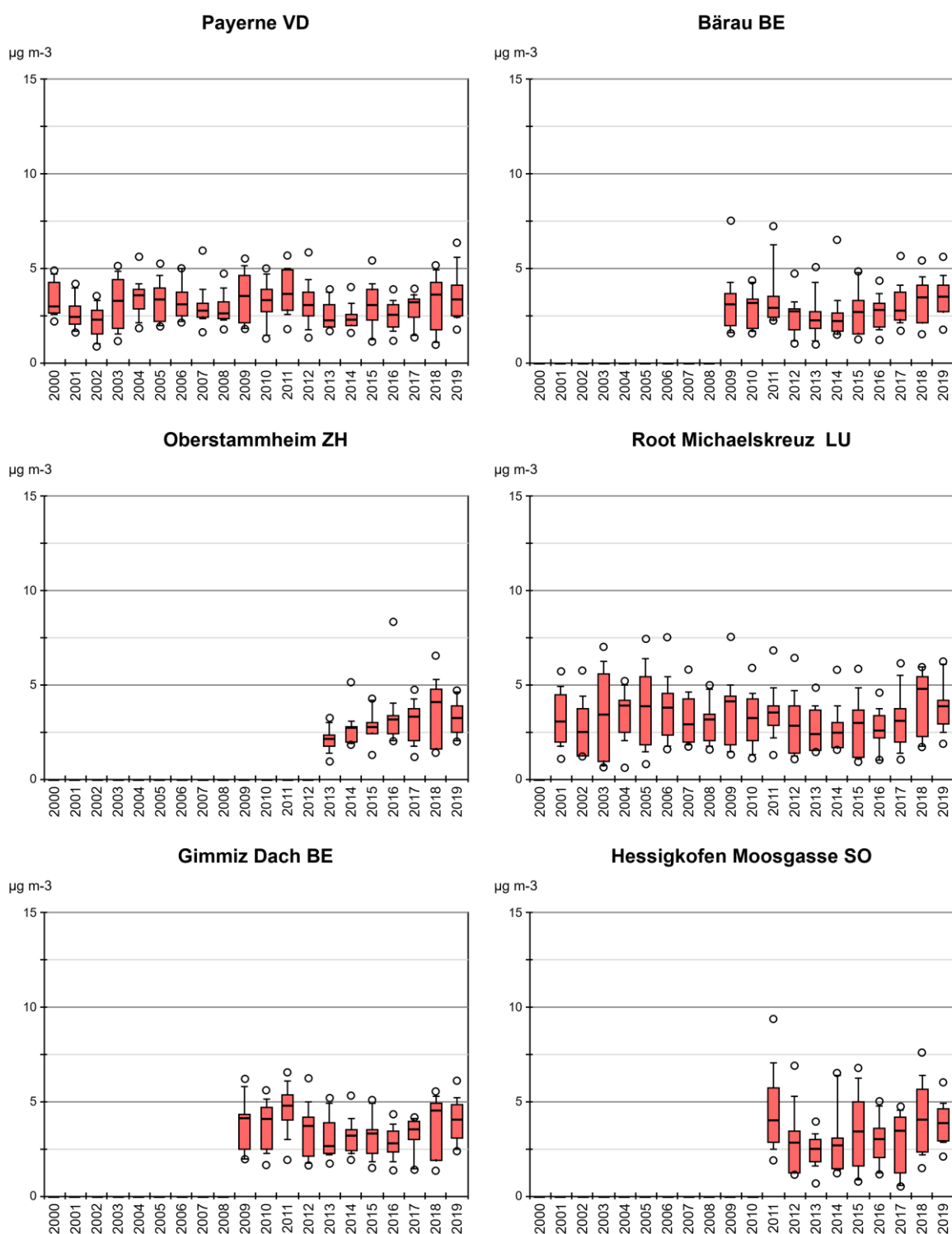


Abb.15 Ammoniakkonzentration von PAY, IEB, OBS, WTG1, RO und HEMO
 Monatsmittelwerte von Payerne (VD), Bärau (BE), Oberstammheim (ZH), Root Michaelskreuz (LU), Gimmiz Dach (BE) und Hessigkofen Moosgasse (SO) als Boxplots dargestellt.

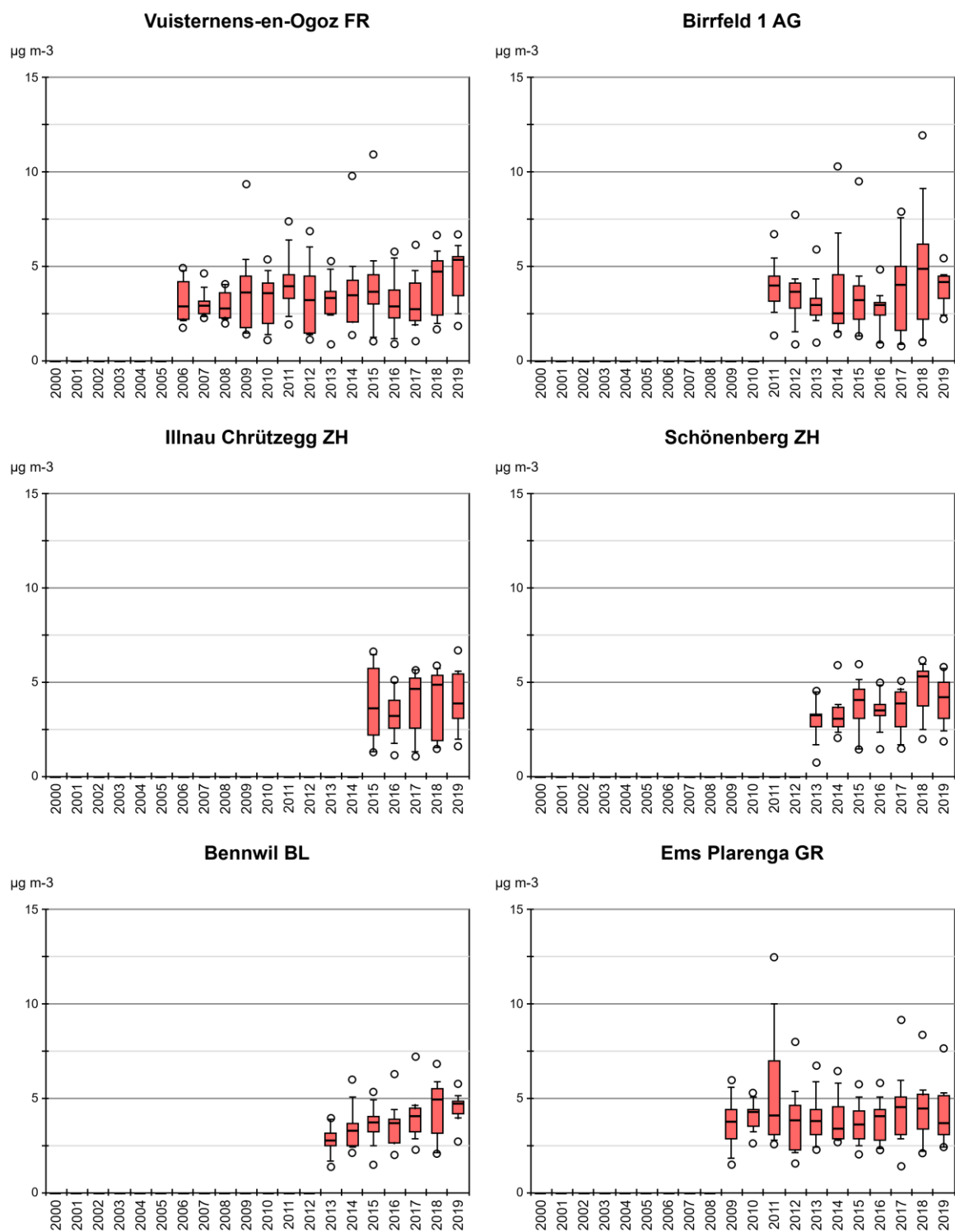


Abb.16 Ammoniakkonzentration von VU01, BIR1, ILN 01, SNB, BENN und N14
Monatsmittelwerte von Vuisternens-en-Ogoz (FR), Birrfeld 1 (AG), Illnau Chrützegg (ZH), Schönenberg (ZH), Bennwil (BL) und Ems Plarena (GR) als Boxplots dargestellt.

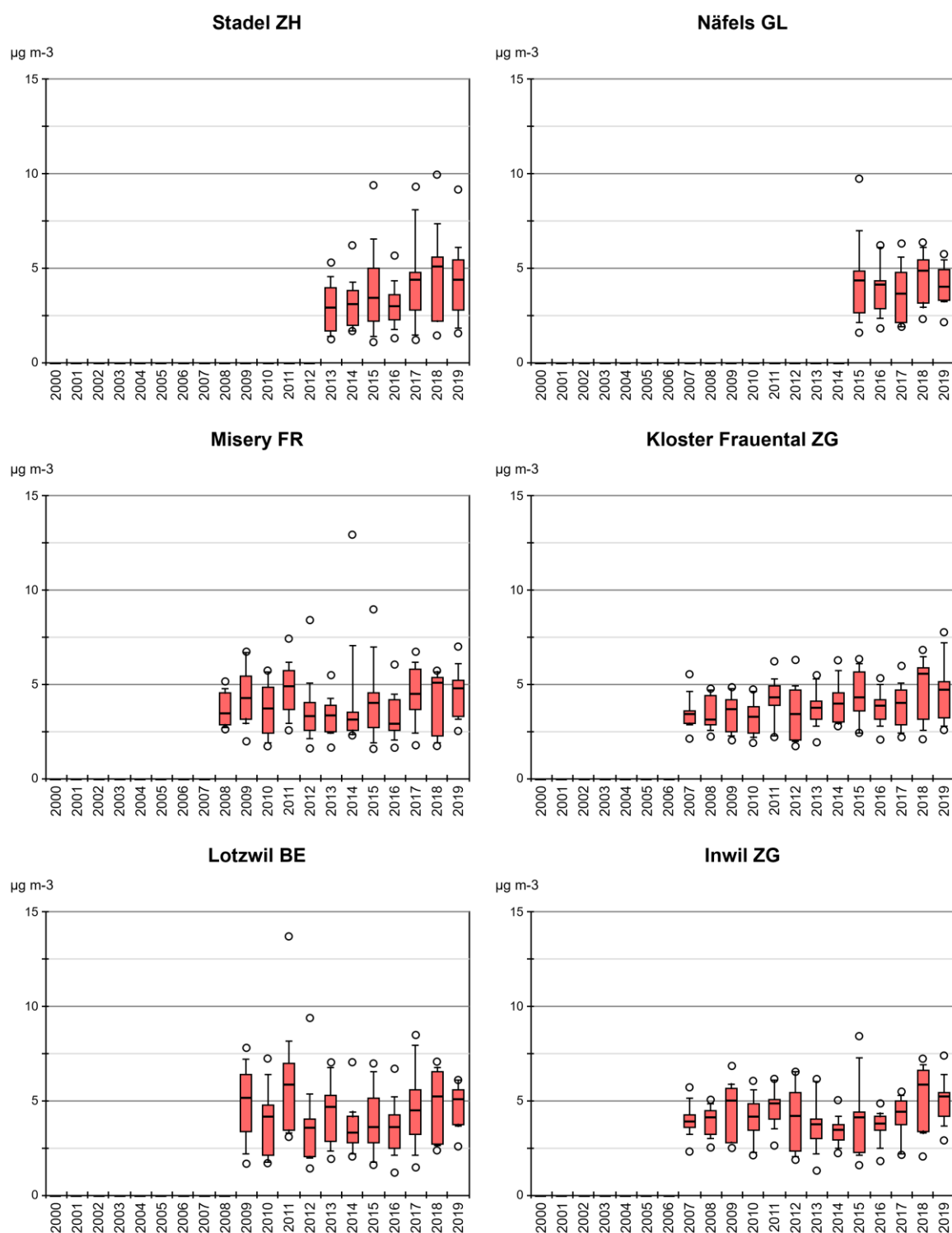


Abb. 17 Ammoniakkonzentration von STAD, DEB, MI01, FRAU, HBL und INWI
 Monatsmittelwerte von Stadel (ZH), Näfels (GL), Misery (FR), Kloster Frauental (ZG), Lotzwil (BE) und Inwil (ZG) als
 Boxplots dargestellt.

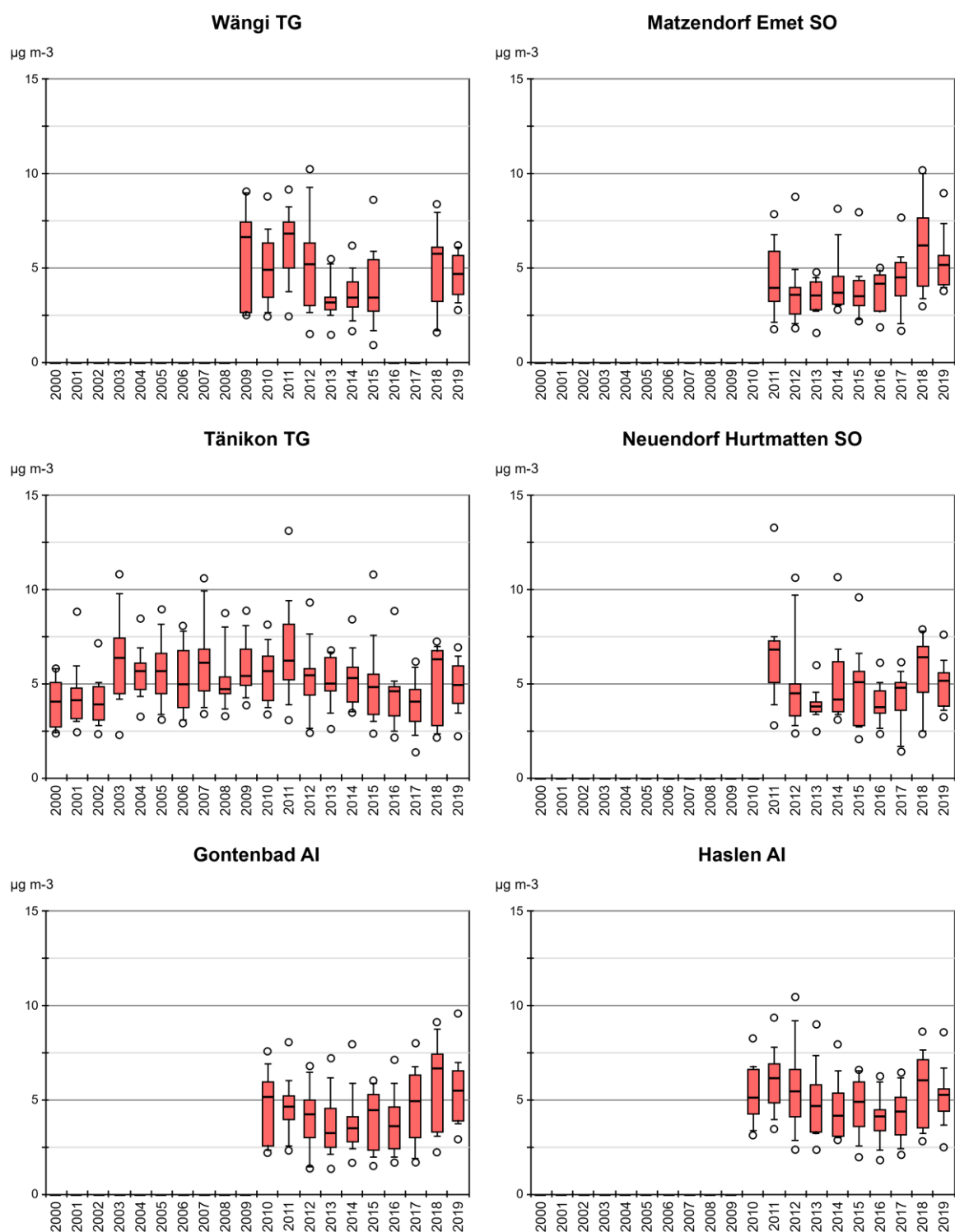


Abb. 18 Ammoniakkonzentration von WAEN, MAEM, TAE, NEHU, AIG und AIHA
Monatsmittelwerte von Wängi (TG), Matzendorf Emet (SO), Tänikon (TG), Neuendorf Hurtmatten (SO), Gontenbad (AI) und Haslen (AI) als Boxplots dargestellt.

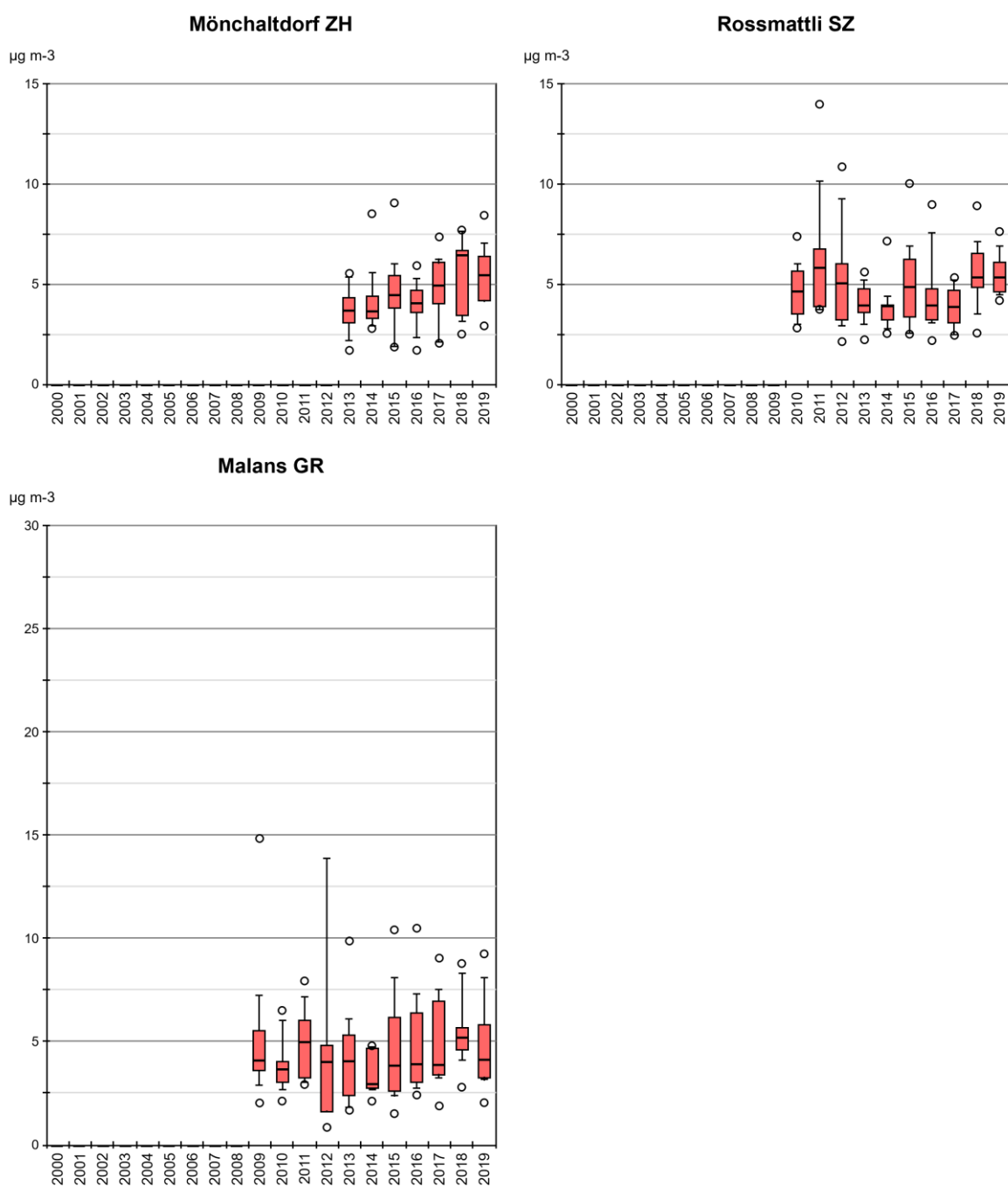


Abb. 19 Ammoniakkonzentration von MÖN, SZ-03 und NMS
Monatsmittelwerte von Mönchaldorf (ZH), Rossmattli (SZ) und Malans (GR) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, unterhalb 900 m ü. M.; **Immissionstyp:** NH₃-Konzentration 5 - 8 µg m⁻³

Abbildungen 20 bis 25 zeigen die 24 landwirtschaftlich geprägten Standorte mit höheren Immissionen von 5 – 8 µg m⁻³.

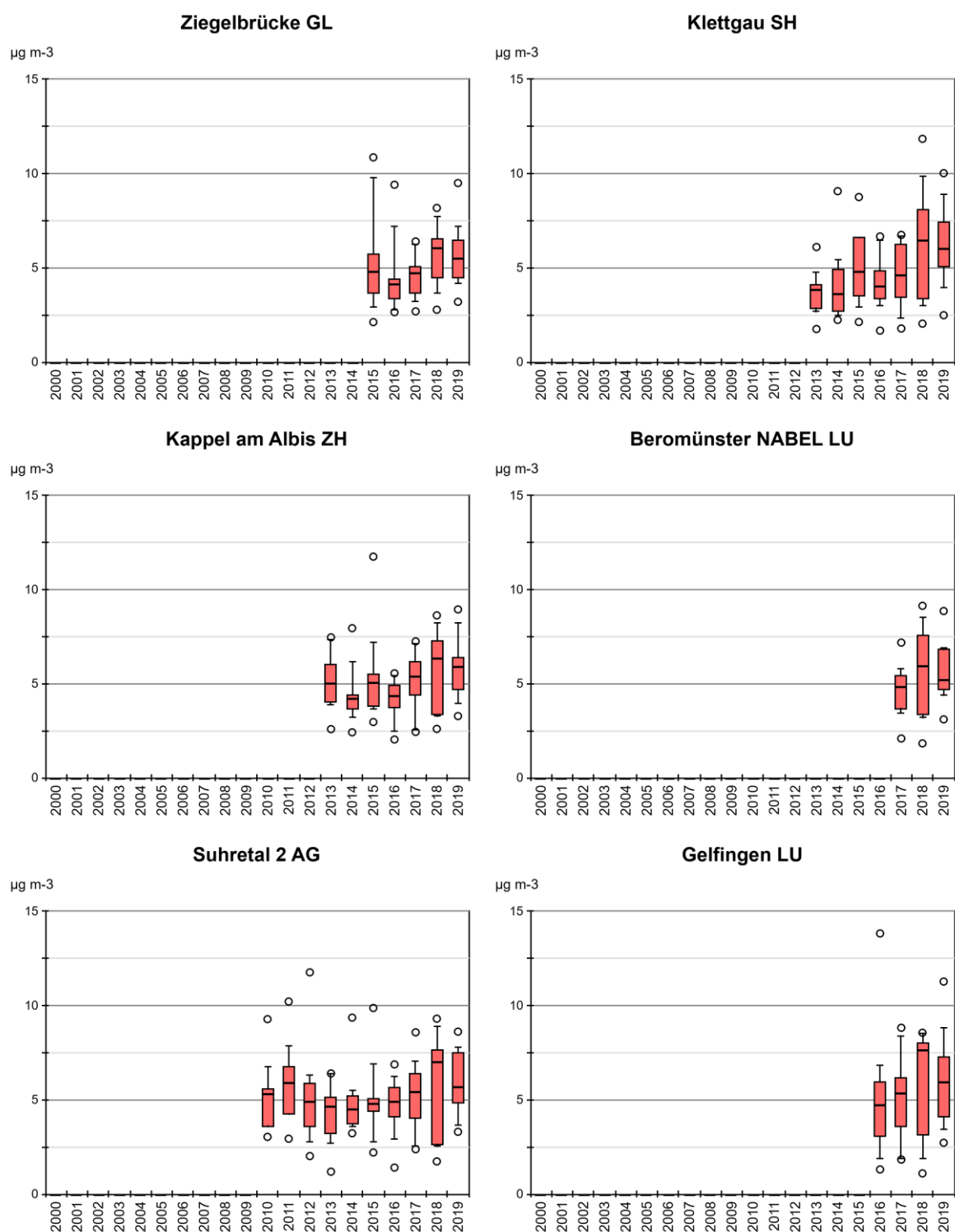


Abb. 20 Ammoniakkonzentration von BSZ, SHkl, KAP, BRM, SAM2 und GEF
Monatsmittelwerte von Ziegelbrücke (GL), Klettgau (SH), Kappel am Albis (ZH), Beromünster NABEL (LU), Suhretal 2 (AG) und Gelfingen (LU) als Boxplots dargestellt.

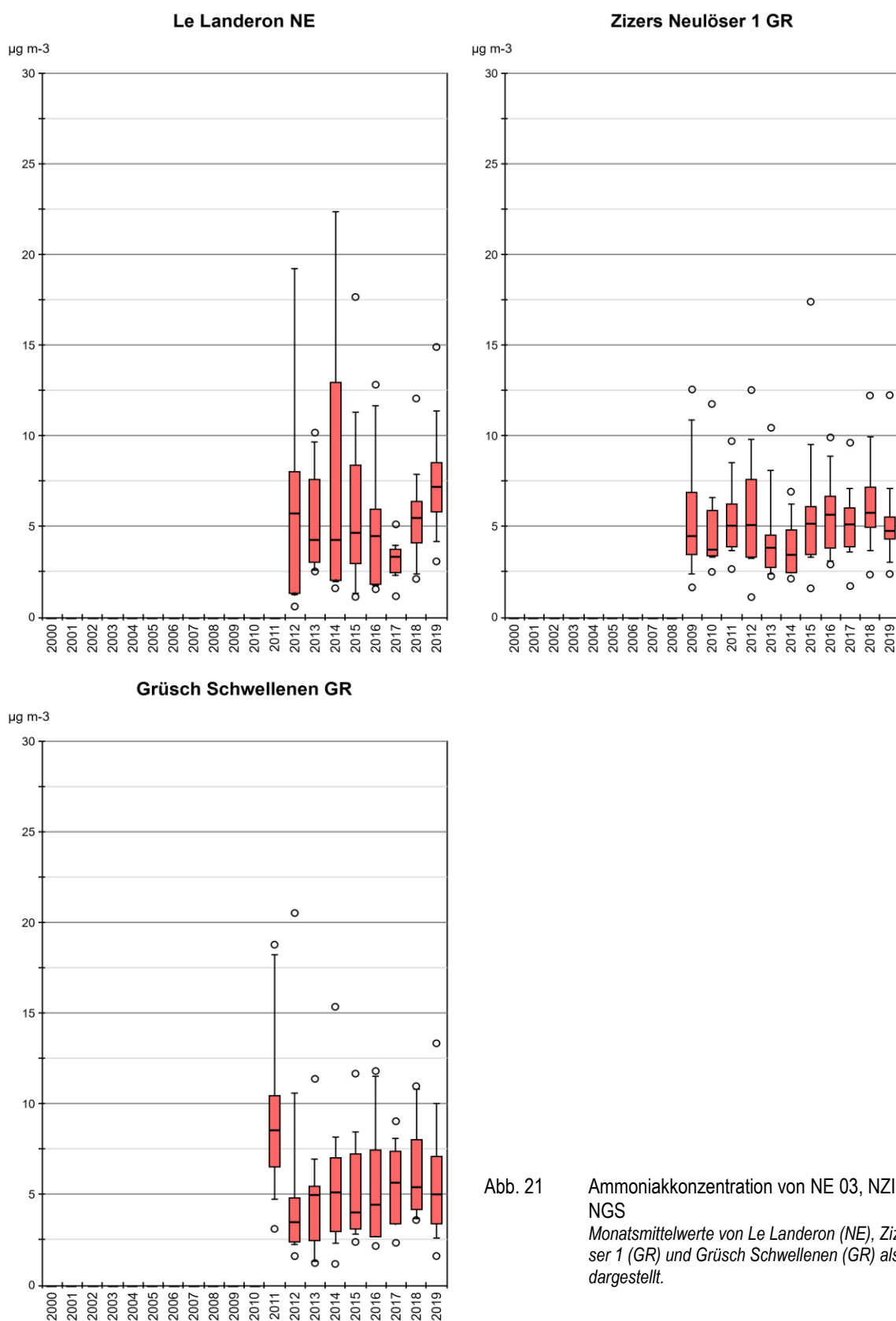


Abb. 21

Ammoniakkonzentration von NE 03, NZI 01 und NGS
 Monatsmittelwerte von Le Landeron (NE), Zizers Neulöser 1 (GR) und Grüşch Schwellenen (GR) als Boxplots dargestellt.

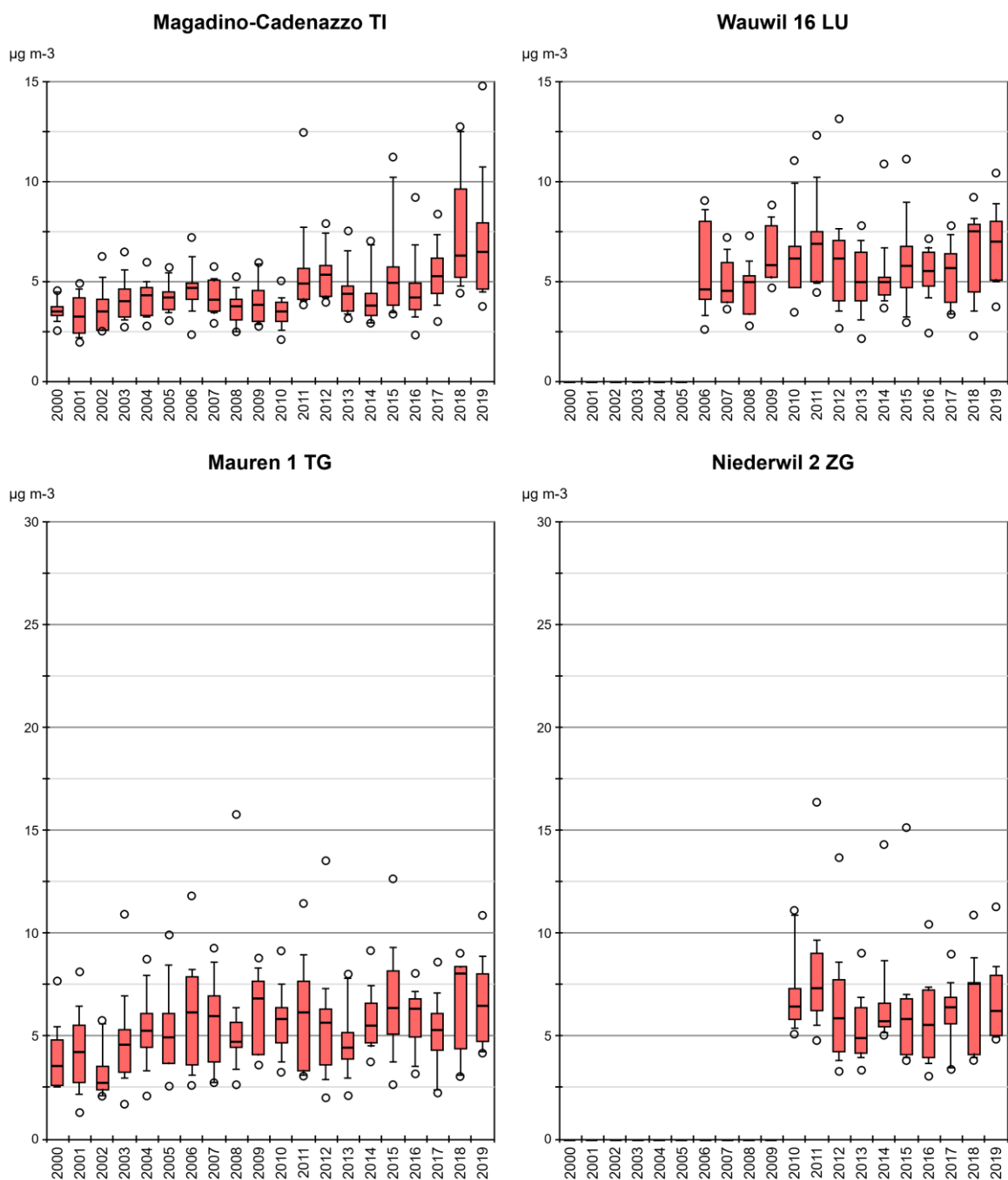


Abb. 22 Ammoniakkonzentration von MAG, WAU 16.4, MAU 01 und ZG-02
Monatsmittelwerte von Magadino-Cadenazzo (TI), Wauwil 16 (LU), Mauren 1 (TG) und Niederwil 2 (ZG) als Boxplots dargestellt.

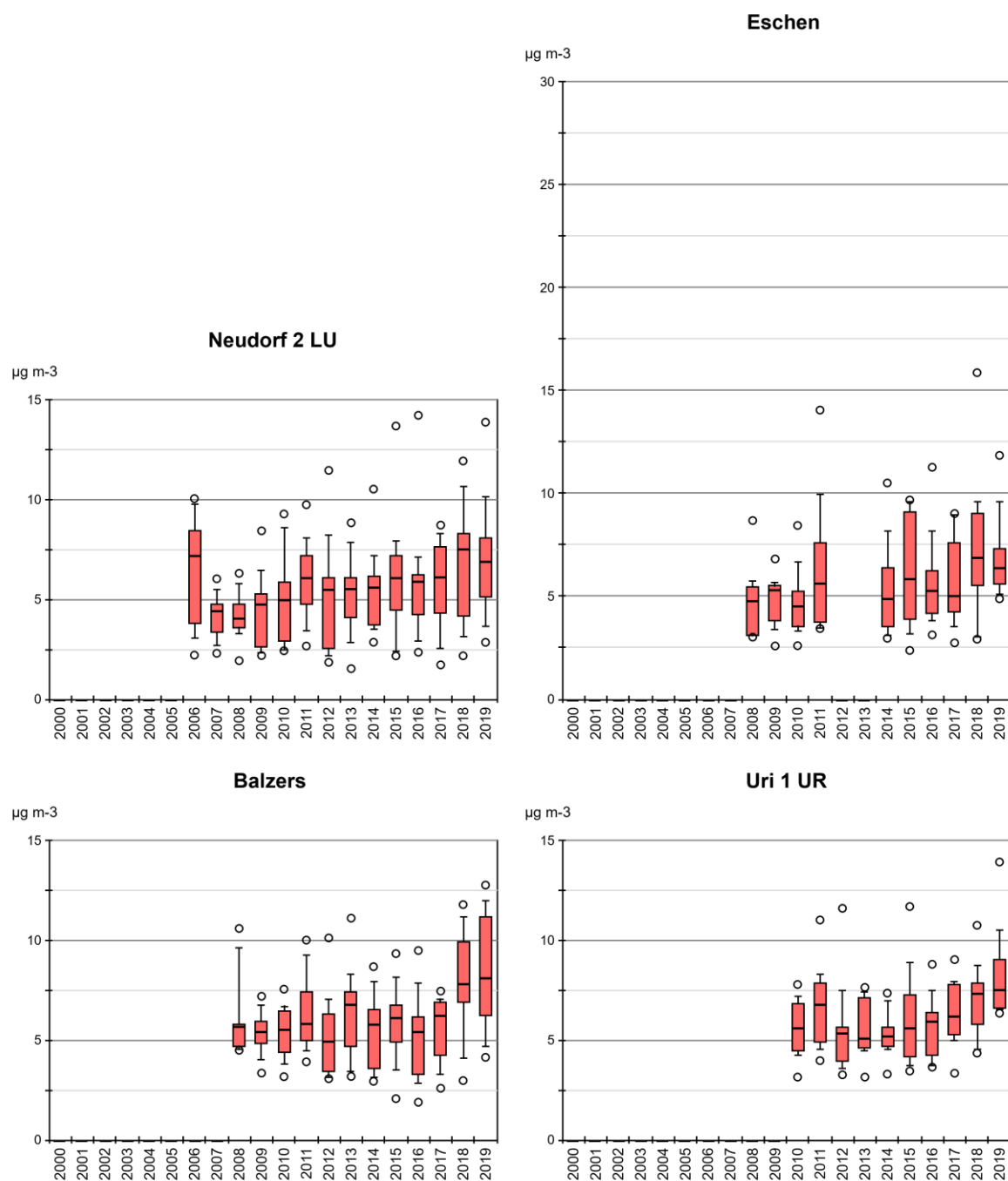


Abb. 23 Ammoniakkonzentration von NEU 02, EST, BAV und URI 01
Monatsmittelwerte von Neudorf 2 (LU), Eschen (FL), Balzers (FL) und Uri 1 (UR) als Boxplots dargestellt.

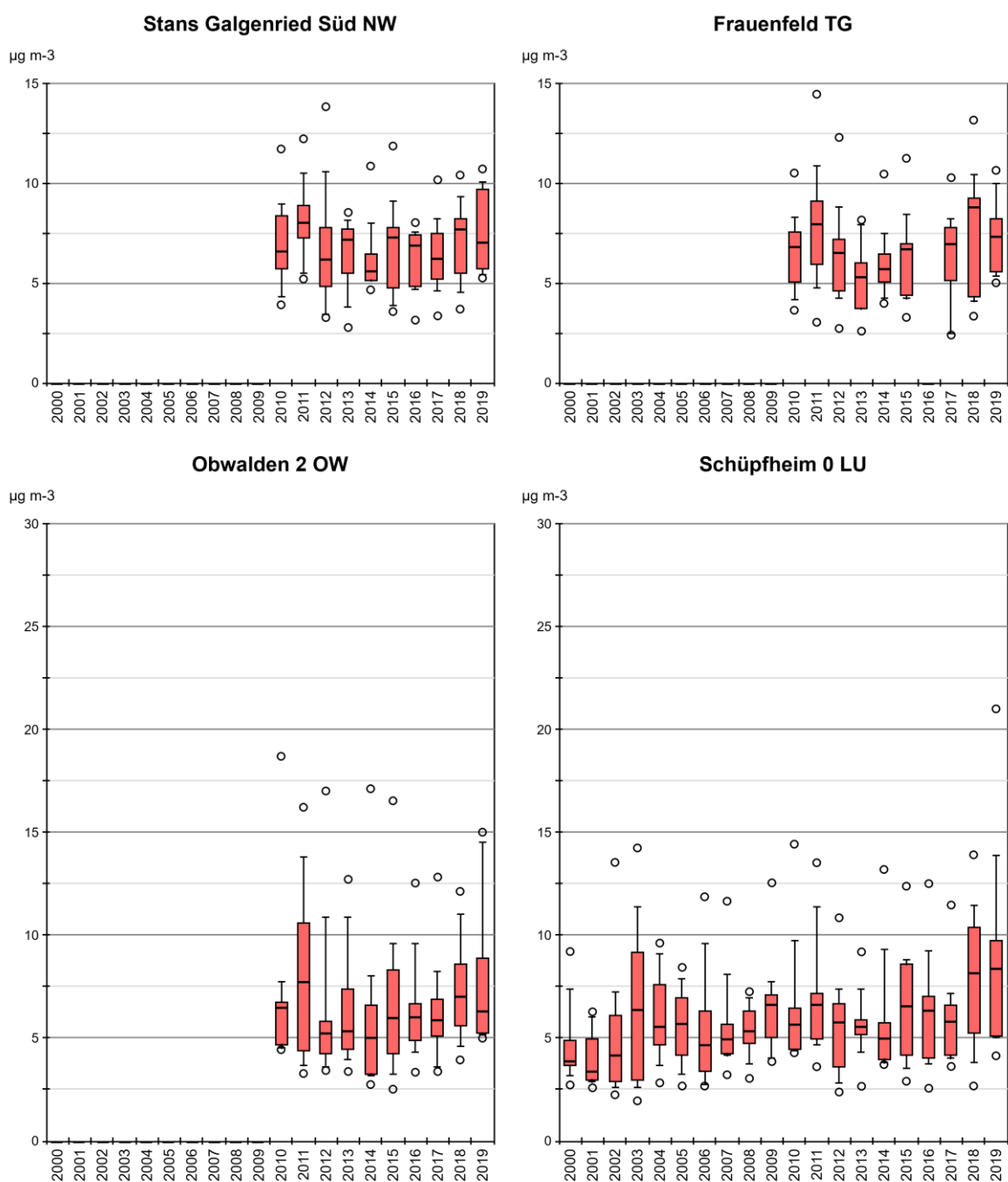


Abb. 24 Ammoniakkonzentration von NW-02, OW-02, FRFE und SCHÜ 00
Monatsmittelwerte von Stans Galgenried Süd (NW), Obwalden 2 (OW), Frauenfeld (TG) und Schüpheim 0 (LU) als Boxplots dargestellt.

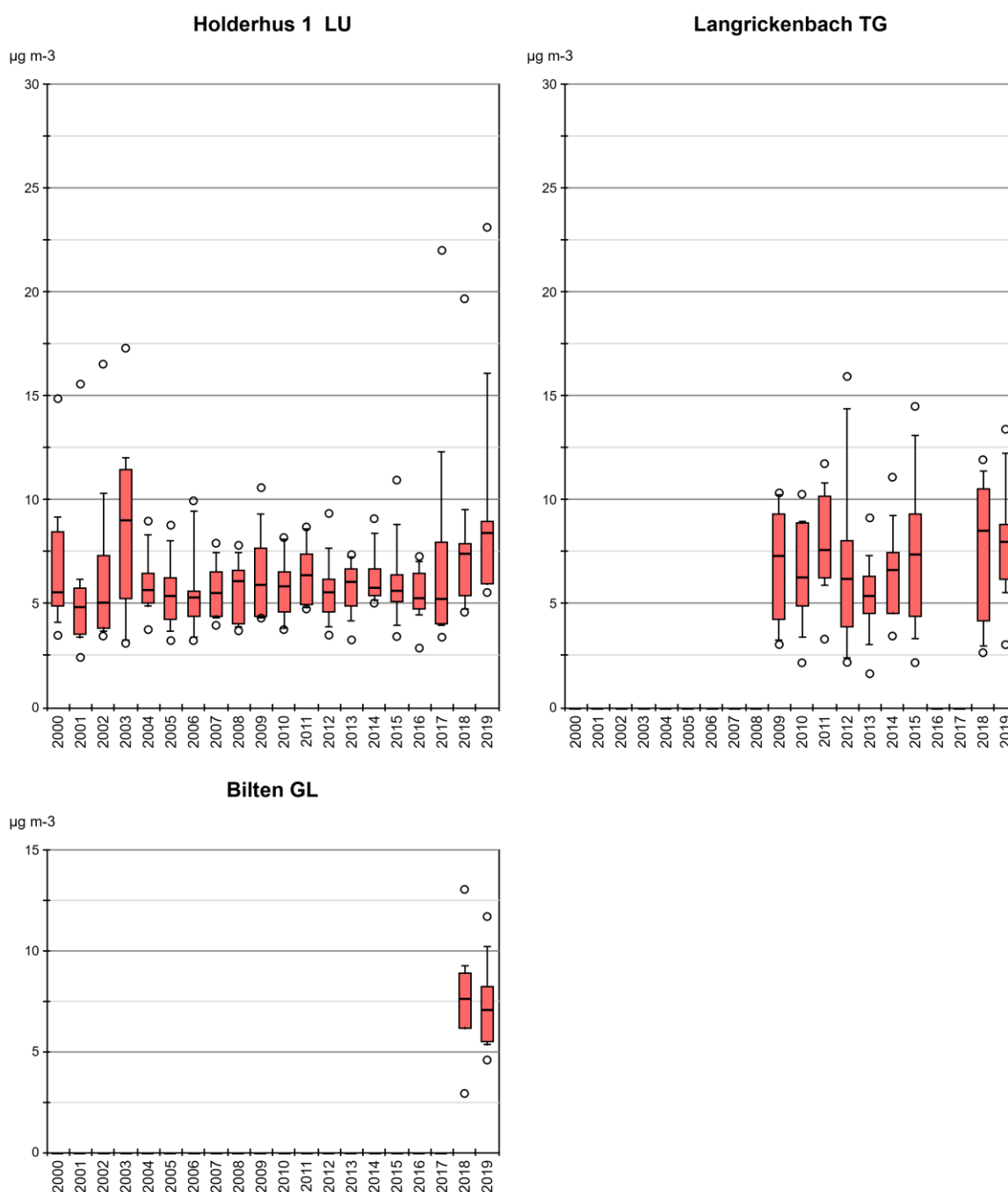


Abb. 25 Ammoniakkonzentration von HOL 01, LANG und NRB
Monatsmittelwerte von Holderhus 1 (LU), Langrickenbach (TG) und Bilten (GL) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, unterhalb 900 m ü. M.; **Immissionstyp:** NH₃-Konzentration > 8 µg m⁻³

Abbildungen 26 bis 28 zeigen die neun ländlich gelegenen stark landwirtschaftlich beeinflussten Standorte unterhalb 900 m ü. M. mit hohen Immissionen – Jahresmittel höher als 8 µg m⁻³.

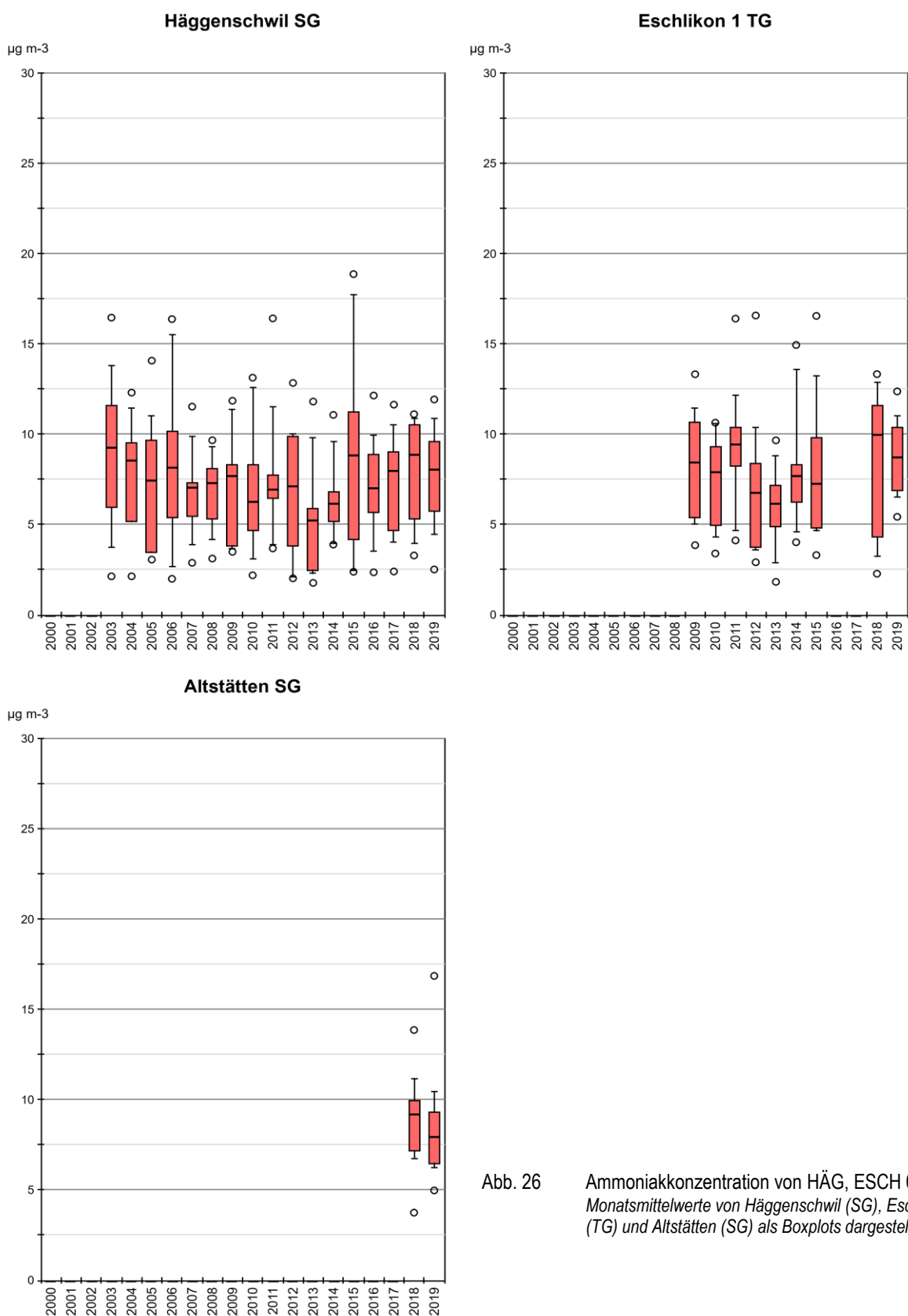


Abb. 26

Ammoniakkonzentration von HÄG, ESCH 01, ALB
Monatsmittelwerte von Haggenschwil (SG), Eschlikon 1
(TG) und Altstätten (SG) als Boxplots dargestellt.

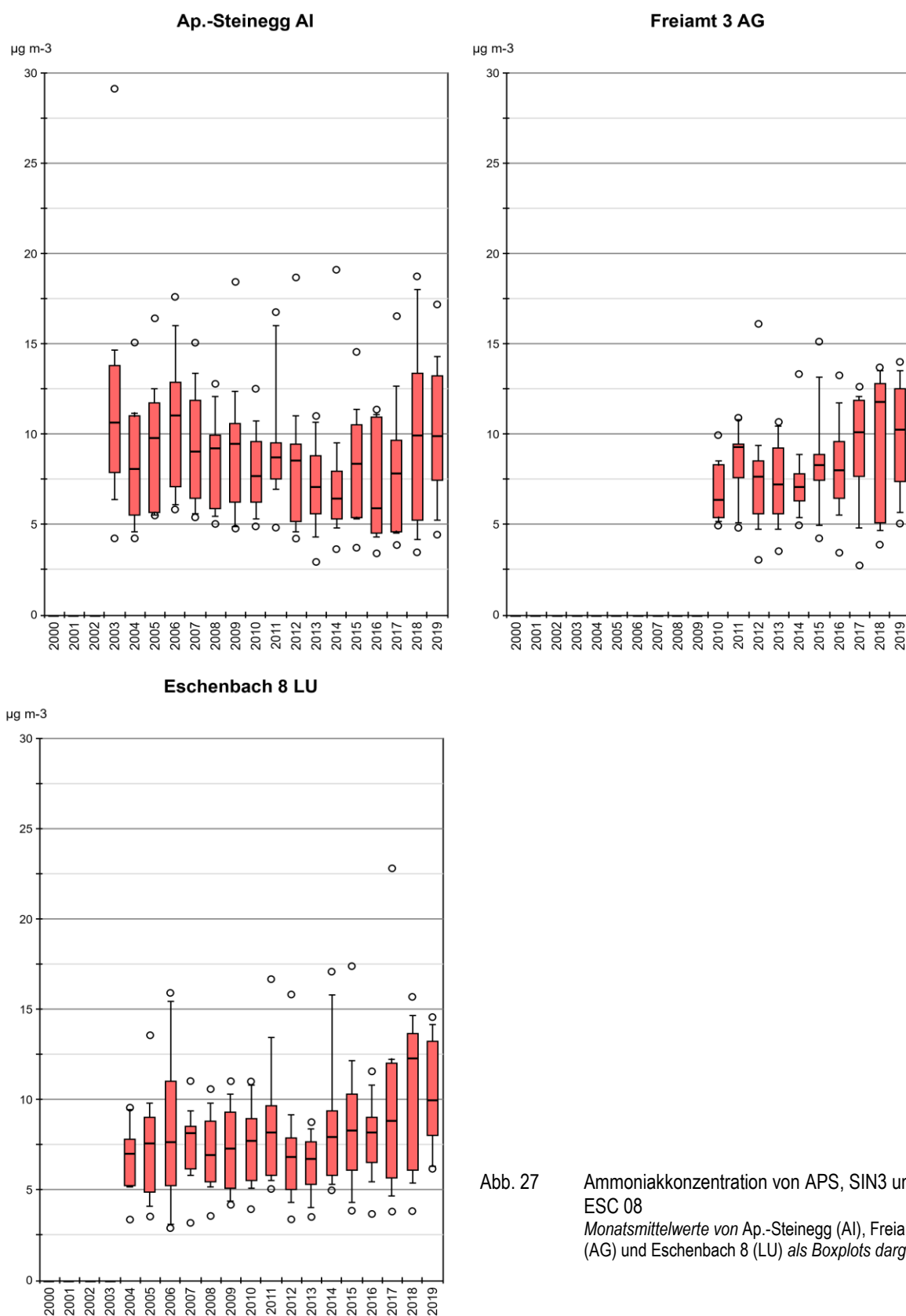


Abb. 27

Ammoniakkonzentration von APS, SIN3 und ESC 08
 Monatsmittelwerte von Ap.-Steinegg (AI), Freiamt 3 (AG) und Eschenbach 8 (LU) als Boxplots dargestellt.

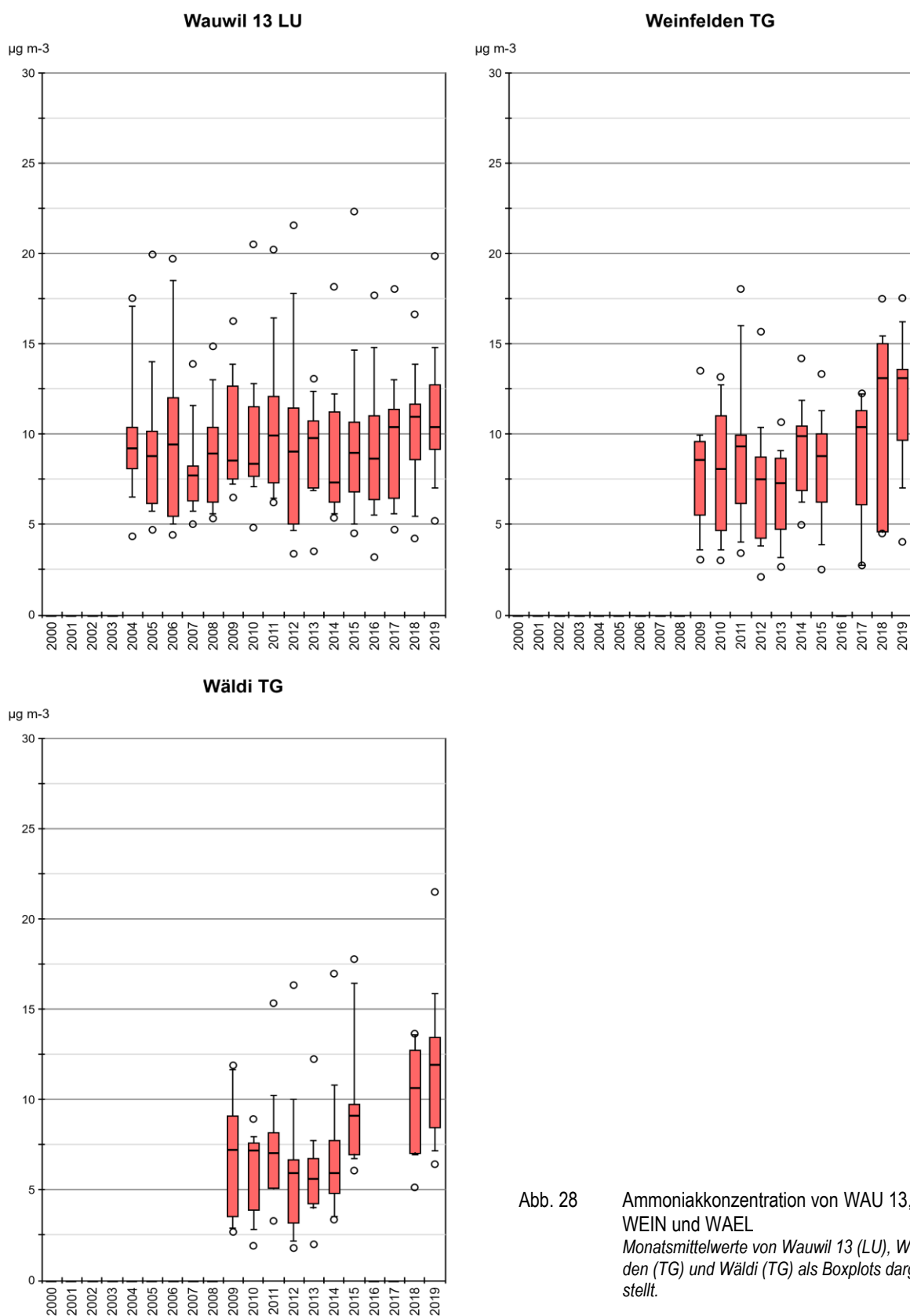


Abb. 28 Ammoniakkonzentration von WAU 13, WEIN und WAEL
Monatsmittelwerte von Wauwil 13 (LU), Weinfelden (TG) und Wäldi (TG) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, verkehrsbelastet; Immissionstyp: NH₃-Konzentration 3 - 5 µg m⁻³

Abbildung 29 zeigt die Werte des Standorts Netstal, die direkt an einer stark befahrenen Durchgangsstrasse in der Siedlung liegt, aber auch von Landwirtschaft beeinflusst ist

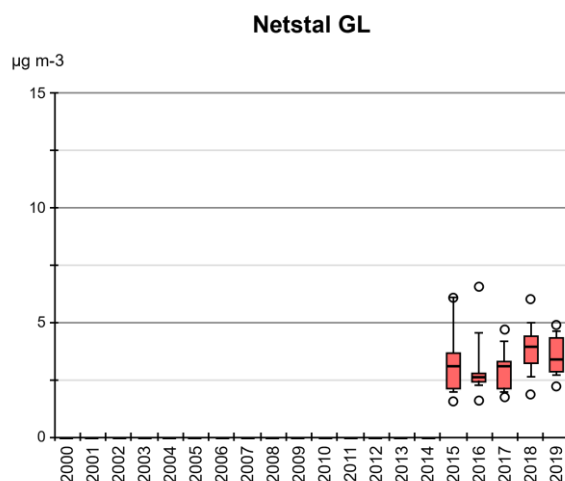


Abb. 29 Ammoniakkonzentration von WIG
Monatsmittelwerte von Netstal (GL) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, verkehrsbelastet; Immissionstyp: NH₃-Konzentration 5 - 8 µg m⁻³

Abbildung 30 zeigt die Werte des Standorts Schaan 1, der direkt an einer stark befahrenen Strassenkreuzung in der Siedlung liegt, aber auch von Landwirtschaft beeinflusst ist.

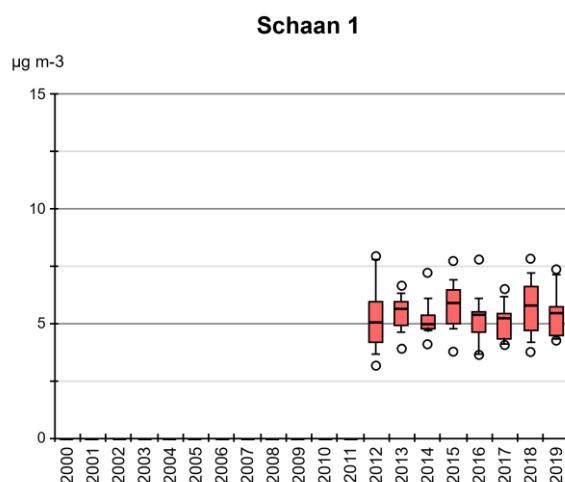


Abb. 30 Ammoniakkonzentration von SLI 01
Monatsmittelwerte von Schaan (FL) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, an Autobahn; Immissionstyp: NH_3 -Konzentration 3 - 5 $\mu\text{g m}^{-3}$

Die Standorte San Vittore und Sion-Aeroport sind sowohl an der Autobahn gelegen, wie auch von landwirtschaftlicher Fläche umgeben. (Abb. 31).

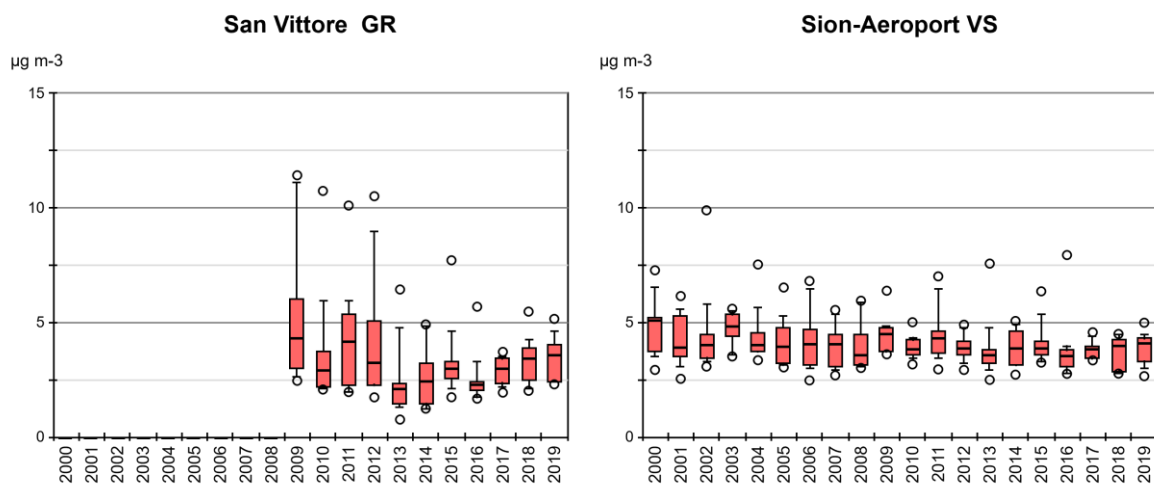


Abb. 31 Ammoniakkonzentration von NV4 und SIO
Monatsmittelwerte von San Vittore (GR) und Sion Aeroport (VS) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, an Autobahn; Immissionstyp: NH_3 -Konzentration 5 - 8 $\mu\text{g m}^{-3}$

Auch der Standort Härkingen ist sowohl an der Autobahn gelegen, wie auch von landwirtschaftlicher Fläche umgeben. (Abb. 32).

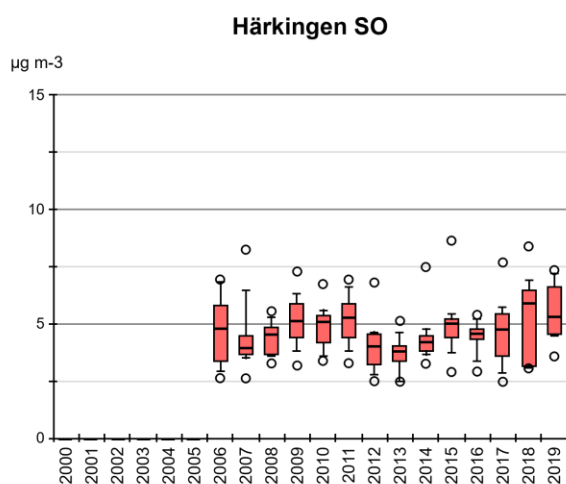


Abb. 32 Ammoniakkonzentration von HAE
Monatsmittelwerte von Härkingen (SO) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Vorstädtisch; Immissionstyp: NH_3 -Konzentration 1 - 3 $\mu\text{g m}^{-3}$

Abbildung 33 zeigt den Standort Basel-Binningen, der siedlungsnah aber nicht verkehrsexponiert liegt.

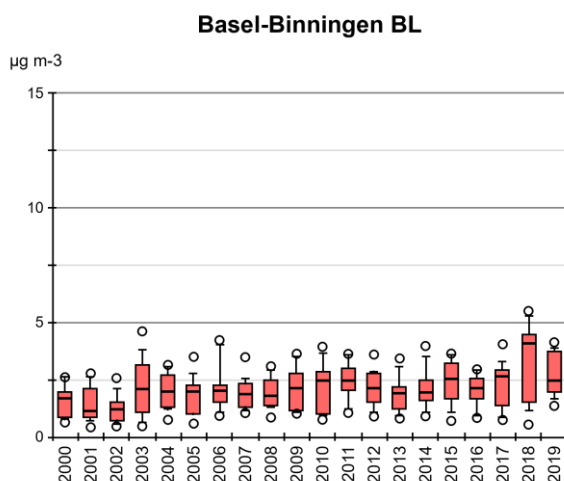


Abb. 33 Ammoniakkonzentration von BAS
Monatsmittelwerte von Basel-Binningen (BL) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Städtisch; Immissionstyp: NH_3 -Konzentration 1 - 3 $\mu\text{g m}^{-3}$

Der Standort Lugano (Abb. 34) ist durch Gebäude von den umliegenden Strassen abgeschirmt.

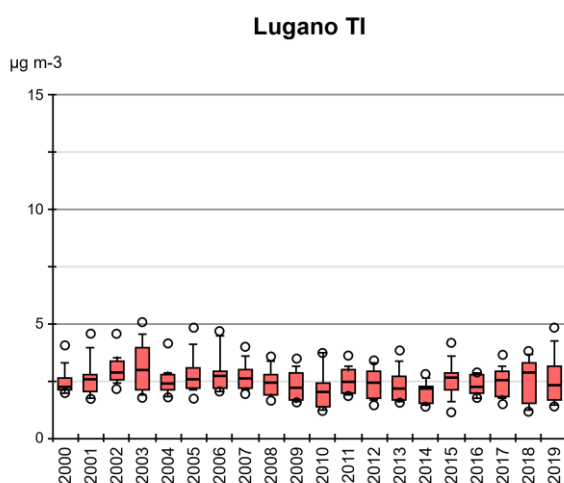


Abb. 34 Ammoniakkonzentration von LUG
Monatsmittelwerte von Lugano (TI) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Städtisch, verkehrsbelastet; Immissionstyp: NH_3 -Konzentration 1 - 3 $\mu\text{g m}^{-3}$

Der Standort Solothurn Altwyberhüsli ist auf zwei Seiten von Ackerbau, auf zwei Seiten von einer Strasse mit daran angrenzenden Wohngebieten umgeben (Abb. 35)

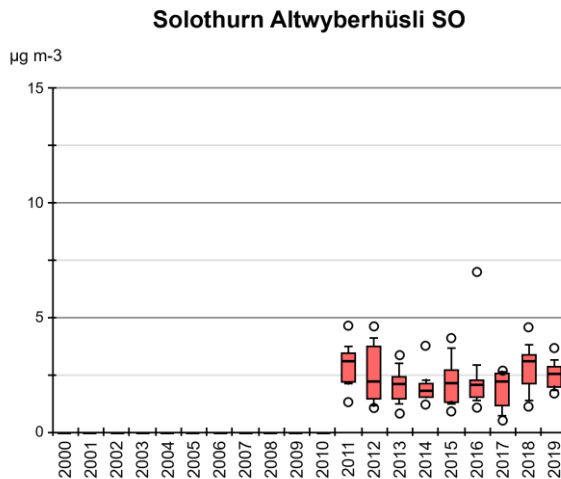


Abb. 35 Ammoniakkonzentration von SOAL
Monatsmittelwerte von Solothurn Altwyberhüsli (SO) als Boxplots dargestellt.

Belastungstyp: Ländlich, an Autobahn; Immissionstyp: NH_3 -Konzentration 3 - 5 $\mu\text{g m}^{-3}$

Der Standort Rapperswil in kleinstädtischer Umgebung sowie die städtische Station Schimmelstrasse liegen an stark befahrenen Durchgangsstrassen (Abb. 36).

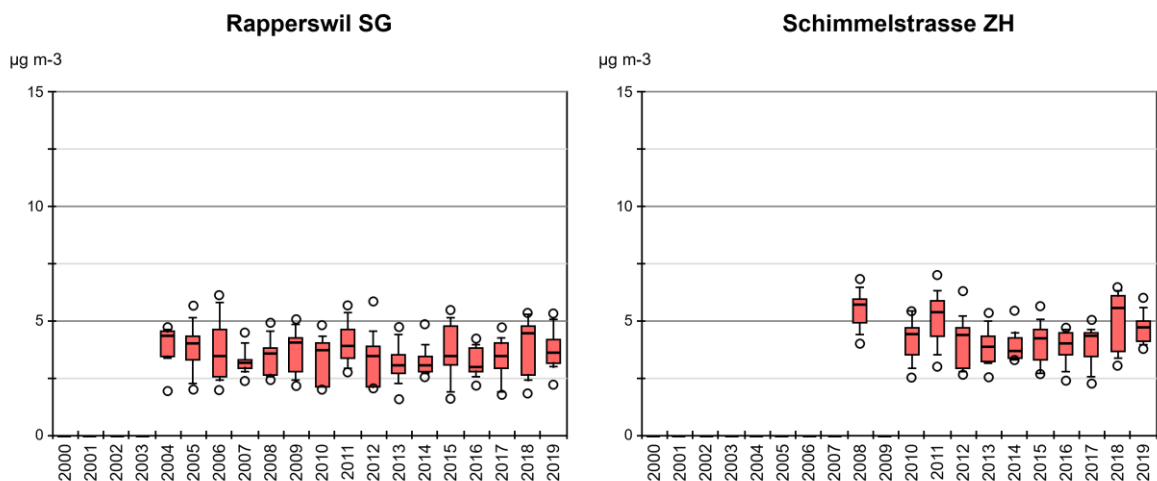


Abb. 36 Ammoniakkonzentration von RAP und WIE
Monatsmittelwerte von Rapperswil (SG) und Schimmelstrasse (ZH) als Boxplots dargestellt.

4.6 Jahresverläufe der Konzentrationen

Die folgenden Graphiken zeigen Jahresverläufe der Ammoniak Konzentrationen an charakteristischen Standorten. Um die gemittelten Jahresverläufe darzustellen, wurden die Mediane der Monatsmittelwerte der letzten 16 Jahren berechnet.

Ackerbau und Tierproduktion

In ländlichen Gebieten sind Jahresgänge mit tiefen Winterwerten und höheren Sommerwerten zu beobachten. In Ackerbaugebieten, wie z.B. Payerne (PAY), sind die Schwankungen geringer, und die Werte insgesamt tiefer als in Gebieten mit intensiver Tierproduktion, wie z.B. Wauwil 13 (WAU 13) und Ap.-Steinegg (APS). Auffallend sind die Spitzenwerte im März und November sowie etwas weniger im Sommer, welche mit Gülleausbringung erklärt werden können (Abb. 37).

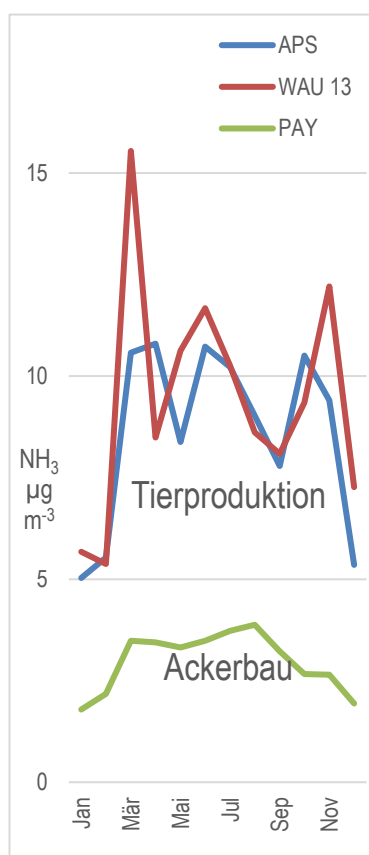


Abb. 37 Jahresverläufe der NH₃-Konzentration an landwirtschaftlich bewirtschafteten Standorten
Mediane der Monatsmittel 2004-2019
Ackerbau: Beispiel Payerne (PAY), typischer Jahresgang mit wenig hohen Spitzenwerten
Tierproduktion: Beispiel Wauwil 13 (WAU 13) und Ap.-Steinegg (APS), typischer Jahresgang überlagert mit Konzentrationsspitzen bei landwirtschaftlicher Tätigkeit wie Gülleausbringung

Naturschutzgebiete

Der Ammoniak eintrag in Naturschutzgebiete ist stark beeinflusst von der direkten Umgebung. Am höher gelegenen Zugerberg (ZB 01) mit nur wenig umliegender Tierproduktion und am Hochmoorrand gelegen, sind die Werte tiefer als im Flachmoor Wauwilermoos (WAU 16.4), welches von intensiver Landwirtschaft umgeben ist (Bsp. WAU 13). Bei Standort ZB 01 zeigen sich kaum Monate mit Spitzenwerten, hingegen bildet sich im Moor (WAU 16.4) der in der Umgebung herrschende Jahresgang (WAU 13) auf tieferem Niveau ab (Abb. 38).

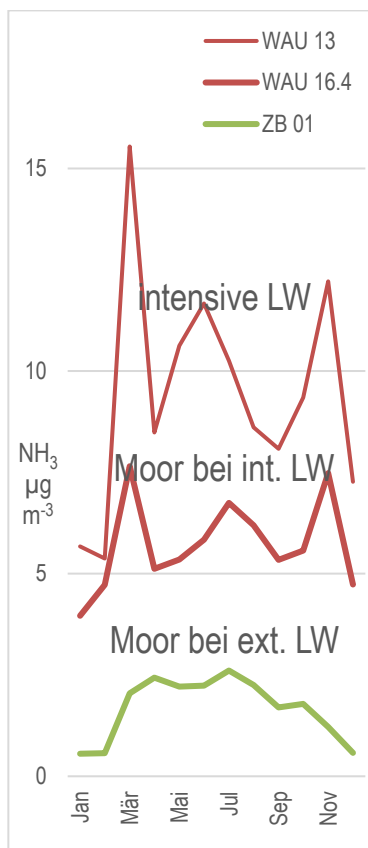


Abb. 38

Jahresgänge der NH₃-Konzentration bei Mooren
Mediane der Monatsmittel 2004-2019 (ZB 01, WAU 13), 2006-2019 (WAU 16.4).
ZB 1 bei extensiver LW, WAU 16.4 bei intensiver LW. Zum Vergleich WAU 13 inmitten intensiver LW in der Nähe des Moores (LW = Landwirtschaft)

Städtische Gebiete

Städtische und verkehrsreiche Standorte zeigen vergleichbare NH₃-Konzentrationen und saisonale Variationen (Abb. 39) wie die Ackerbauregionen (Abb. 37). Massgebliche Ammoniakemittenten in Städten sind Fahrzeuge, Kanalisation und Kehrrikt. Auch die landwirtschaftliche Tätigkeit in der Umgebung der Stadt bildet sich im jährlichen Verlauf ab (RAP).

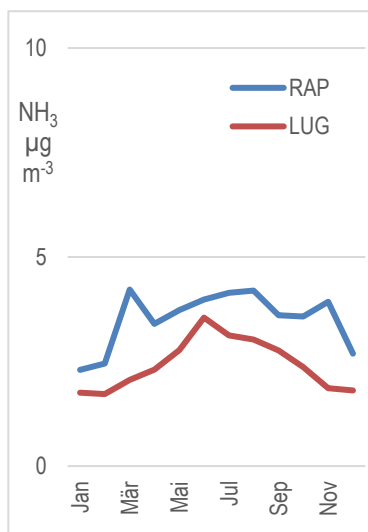


Abb. 39

Jahresverläufe der NH₃-Konzentration an städtischen Standorten
Mediane der Monatsmittel 2004-2019
Rapperswil: Messung auf ca. 12 m oberhalb Strassenkreuzung (DTV = 24'000)
Lugano: Messung ca. 50 m entfernt von Strassen (Innenhofsituation)

„Untypische“ Verläufe

Die Werte an den Stationen Sion Aeroport (SIO) und Magadino (MAG) und – noch ausgeprägter – San Vittore (NV4) laufen dem allgemeinen Jahreszeitmuster entgegen: Im Winter wurden regelmässig höhere Werte gemessen als im Sommer (Abb. 40). Bei San Vittore ist eine mögliche Erklärung, dass sich im unteren Misox in der kalten Jahreszeit regelmässig ein Kaltluftsee ausbildet. Zwischen Mitte Dezember und Ende Januar kommt keine Sonne zur Messstelle. Bekannt ist die Messstelle auch wegen hoher PM10-Belastung im Winter.

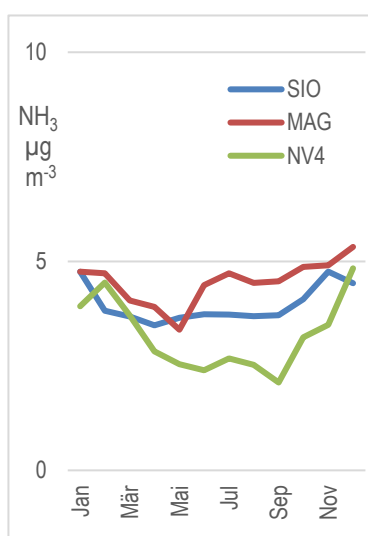


Abb. 40 Jahresgänge der NH₃-Konzentration an Standorten mit „untypischem“ Verlauf
 Mediane der Monatsmittel 2004-2019 (SIO, MAG), 2009 - 2019 (NV4)
 Atypischer Jahresgang mit höheren Werten im Winter als im Sommer

4.7 Beispiele Regionaler Messnetze

Die Standorte der regionalen Messnetze in Kapitel 7.4, Tabelle 15 beschrieben.

4.7.1 Kanton Bern

Der Standort WTG1 befindet sich auf 30 m Höhe ob Boden auf dem Wasserturm von Gimmiz im Berner Seeland. Die Messungen in Gimmiz wurden durch drei Standorte nördlich, südlich und westlich (2011-2018) des Turms (WTGN, WTGS, WTGW) erweitert (Abb. 41 links), je mit auf 3.3 m Höhe installierten Aufhängvorrichtungen. 250 m nordnordöstlich des Turms liegt ein grösserer Landwirtschaftsbetrieb, ansonsten ist der Wasserturm von intensiv bewirtschafteten Acker- Gemüse- und Futterbauflächen sowie einer Obstanlage umgeben.

Die Jahresmittelwerte der vier Standorte verhalten sich parallel. Der Unterschied zwischen den niedrigsten Werten der Station auf dem Wasserturm (WTG1) und den höchsten Werten des in der Nähe des erwähnten Landwirtschaftsbetriebs gelegenen, nördlichen Standorts (WTGN) beträgt ca. $2.3 \mu\text{g m}^{-3}$ (Abb. 41 rechts). Seit 2011 sind die Werte tendenziell gesunken. 2010 startete ein Projekt zur Reduktion der Nitratbelastungen aus der Landwirtschaft, das sich inzwischen positiv auf die Nitratwerte im Trinkwasser auswirkt hat und unterdessen um sechs weitere Jahre verlängert wurde. Im Rahmen dieses Projekt wurde im Zuflussbereich des Wasserturms auf einer Fläche von ca. 160 ha die Bewirtschaftung mehrheitlich extensiviert (bodenschonende Anbausysteme, Ackerland zu Wiesland u.a.). Zusätzlich sind im Zusammenhang mit dem kantonalen Ressourcenprogramm, das von 2009 bis 2015 dauerte, verschiedene ammoniakreduzierende Massnahmen umgesetzt worden. Unter anderem wird nun ein grosser Teil der Gülle mit Schleppschlauchverteiler ausgebracht.

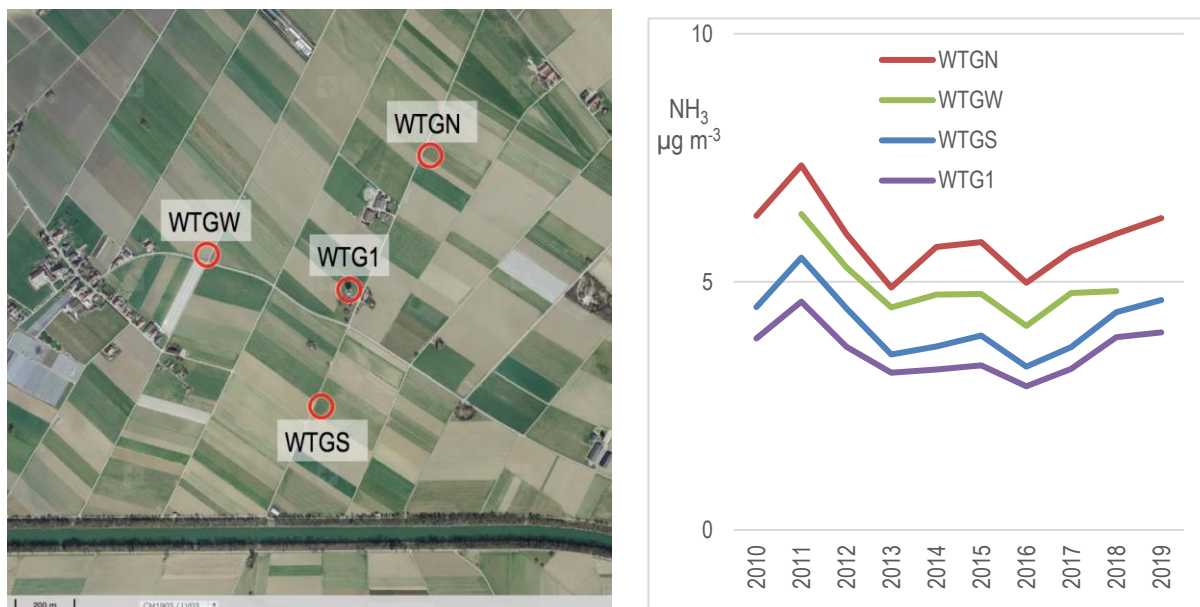


Abb. 41 Luftbild (links) und NH_3 -Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Gimmiz (BE)

Verlauf der Jahresmittelwerte

Der Standort WTG 1 befindet sich auf dem Wasserturm in 30 m Höhe, bei den anderen Standorten sind die Aufhängevorrichtungen auf 3.3 m Höhe montiert. Luftbild: geodata © swisstopo

4.7.2 Kanton Solothurn

In drei Geländekammern im Kanton Solothurn wurden je drei bis vier Messpunkte platziert.

In der Gegend von Hessikofen im Solothurner Mittelland (Abb. 42) verlaufen die Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen mehrheitlich parallel, mit einem Unterschied von ca. $1.2 \mu\text{g m}^{-3}$ NH_3 vom höchsten zum tiefsten Wert. 2011 und 2018/2019 zeigten sich (wohl witterungsbedingt) bei allen Standorten höhere Werte.

In der Region Matzendorf im Solothurner Jura unterscheiden sich die Jahresmittelwerte um ca. $1.3 \mu\text{g m}^{-3}$ (Abb. 43). Die Konzentration haben sich über die acht Jahre nicht stark verändert, nur MAEM zeigt 2018 einen deutlich höheren Jahresmittelwert.

Ebenfalls ähnliche Verläufe aber grössere Unterschiede in den Ammoniakkonzentrationen finden sich in der Region Egerkingen (Abb. 44). Der Unterschied zwischen der niedrigsten Konzentration am Standort HAGN am Jurahang und den Standorten EGWA im Industriegebiet von Egerkingen und NEHU im Landwirtschaftsgebiet beträgt ca. $3.6 \mu\text{g m}^{-3}$. Der Standort GUWI, ebenfalls im Landwirtschaftsgebiet gelegen, zeigt eine mittlere Konzentration. Es ist kein Trend zu Zu- oder Abnahme zu sehen.

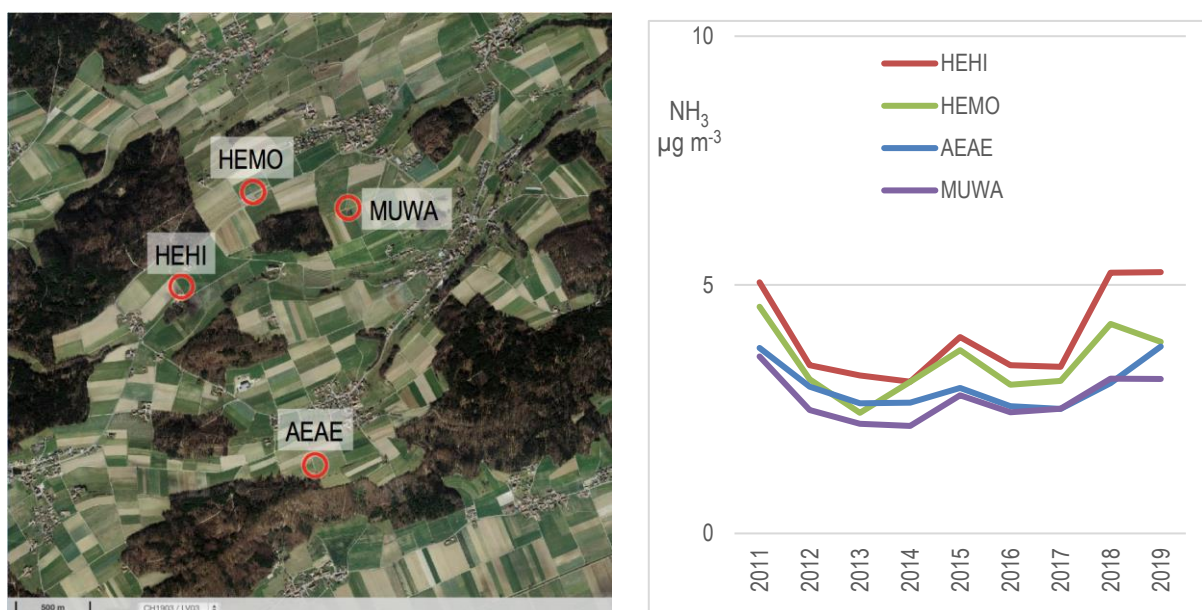


Abb. 42 Luftbild (links) und NH_3 -Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Hessikofen (SO)

Verlauf der Jahresmittelwerte

Alle 4 Standorte befinden sich in Gebieten mit Feld und Ackerwirtschaft.

Luftbild: geodata © swisstopo

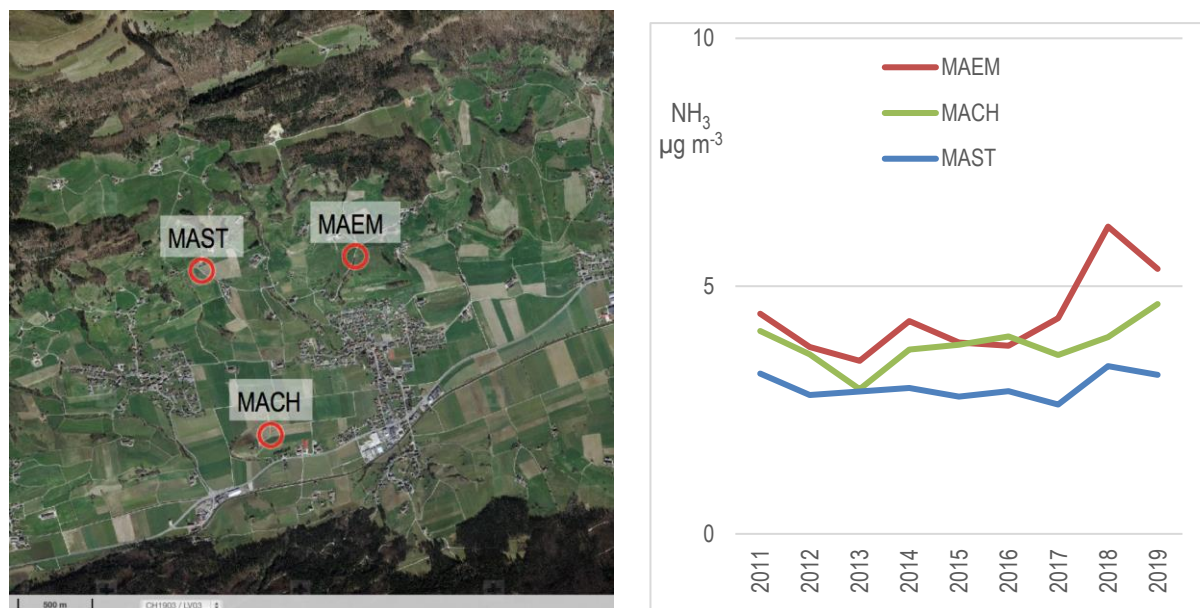


Abb. 43 Luftbild (links) und NH_3 -Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Matzendorf (SO)
 Verlauf der Jahresmittelwerte
 Alle 3 Standorte befinden sich in Gebieten mit Feld und Ackerwirtschaft.
 Luftbild: geodata © swisstopo

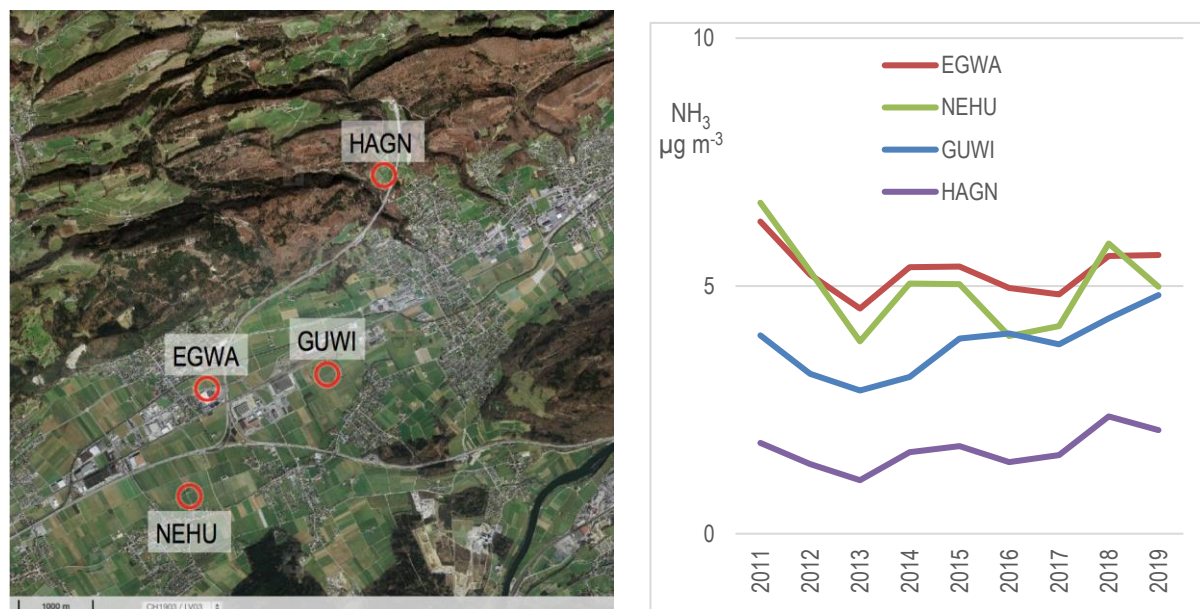


Abb. 44 Luftbild (links) und NH_3 -Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Egerkingen (SO)
 Verlauf der Jahresmittelwerte
 EGWA liegt direkt zwischen Strasse und Einkaufszentrum; GUWI und NEHU inmitten von Feldern, HAGN am Jurahang in der Nähe des Waldes. Luftbild: geodata © swisstopo

4.7.3 Kanton Graubünden

Südöstlich vom Dorf Grüşch in der Region Prättigau/Davos sind zwei Standorte im Abstand von 470 Metern platziert. Nahe von Grüşch Dorf befinden sich mehrere Landwirtschaftsbetriebe. In diesem Gebiet kommen im Winter häufig Kaltluftseen vor.

Die Jahreswerte unterscheiden sich um ca. $3 \mu\text{g m}^{-3}$ (Abb. 43).

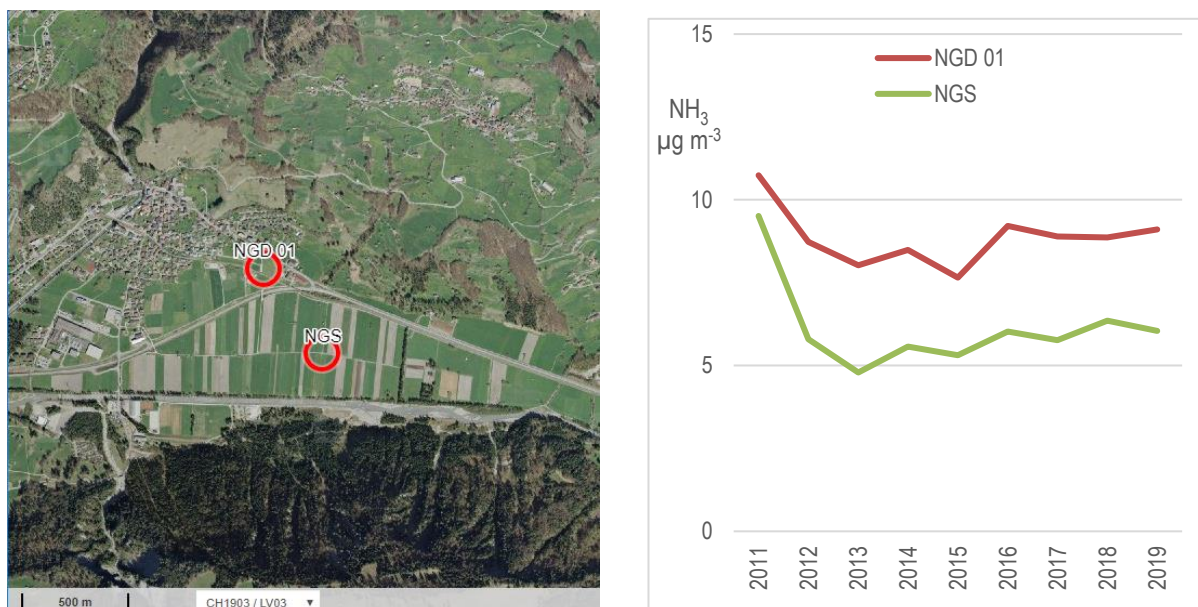


Abb. 45 Luftbild (links) und NH_3 -Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Grüşch (GR)

Verlauf der Jahresmittelwerte

Die zwei Standorte befinden sich in einem Ackerbaugelände, nahe bei Grüşch Dorf befinden sich mehrere Landwirtschaftsbetriebe. Luftbild: geodata © swisstopo

In Grüşch verlaufen die Werte der zwei Standorte mehrheitlich parallel mit Unterschied von ca. $3 \mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$. Die Konzentrationen haben sich seit 2012 nur wenig verändert.

4.7.4 Zentralschweizer Kantone und Ostluft

Regionale Messnetze in den Zentralschweizer Kantonen LU, NW, OW, SZ, UR und ZG sind in Wey et al. (2019) beschrieben. Jene der Kantone Appenzell-Innerrhoden, Appenzell-Ausserrhoden, Glarus, Graubünden, St. Gallen, Schaffhausen, Thurgau und Zürich und des Fürstentums Liechtenstein im Ostluft-Jahresbericht (Ostluft, 2019)

5 Qualitätssicherung

Die FUB nimmt seit 2015 am EMEP-Ringversuch der analytischen Methoden⁶ teil. Ammoniak auf Filtern sowie Ammonium im synthetischen Regen erfüllten die EMEP-Qualitätsnorm (Abbildung 46).

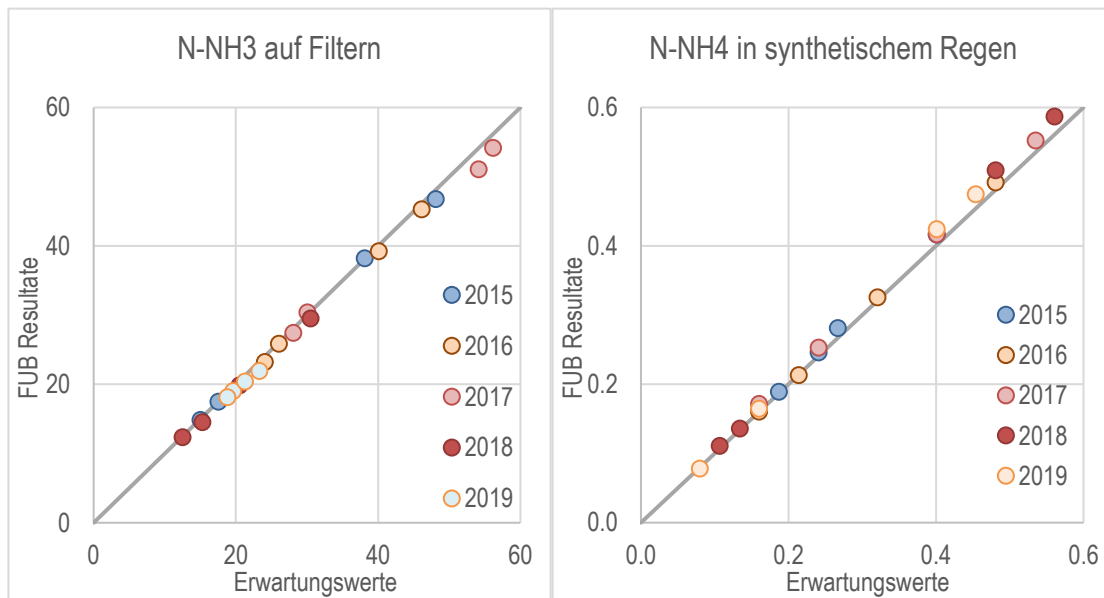


Abb. 46 Ringversuchsergebnisse der FUB, verglichen mit den erwarteten Konzentrationen.
 Links: Ammoniak auf imprägnierten Filtern, Einheit: $\mu\text{g N pro Filter}$
 Rechts: Ammonium in Niederschlag, Einheit: $\mu\text{g N l}^{-1}$

Radiello Passivsammler werden laufend mit einem Referenzverfahren (Denuder, VDI 3869 Blatt 3 2010, BAFU & Empa 2017) überprüft. Abbildung 47 links zeigt den Vergleich zwischen Minidenudern der Empa (Quelle: NABEL, BAFU und Empa) und Radiello Passivsammlern. In Abbildung 47 rechts sind die Ferm Passivsammlerwerte mit Empa-Minidenudern des NABEL-Messnetzes verglichen. Vergleiche mit Radiello Passivsammlern erfolgten von 2011 bis 2017, mit Ferm Passivsammlern von 2018 bis 2019. Die Übereinstimmung ist gut.

Ferm-Passivsammler werden ebenfalls laufend mit Radiello-Sammlern verglichen, (Abbildung 48, links, 2009 bis 2017). Die Probenahme von der 2- & 4-Wochen-Werte erfolgte an 12 Standorten (extensive und intensive Landwirtschaft, Stadt, Verkehr, Hintergrund). Abbildung 48 rechts, zeigt die Vergleichswerte von 11 Standorten im Jahr 2018, sowie Rapperswil und Bachtel 2019. Die Übereinstimmung ist sehr gut.

Die Messwerte des Jahres 2018 waren an vielen Orten höher als in früheren Jahren. Dies ist jedoch nicht auf die Umstellung von Radiello auf Ferm im Jahr 2018 zurückzuführen wie der Vergleich in Abbildung 48 rechts zeigt.

⁶ EMEP – 33rd – 37rd intercomparison of analytical methods, organisiert und durchgeführt von NILU – Norwegian Institute for Air Research

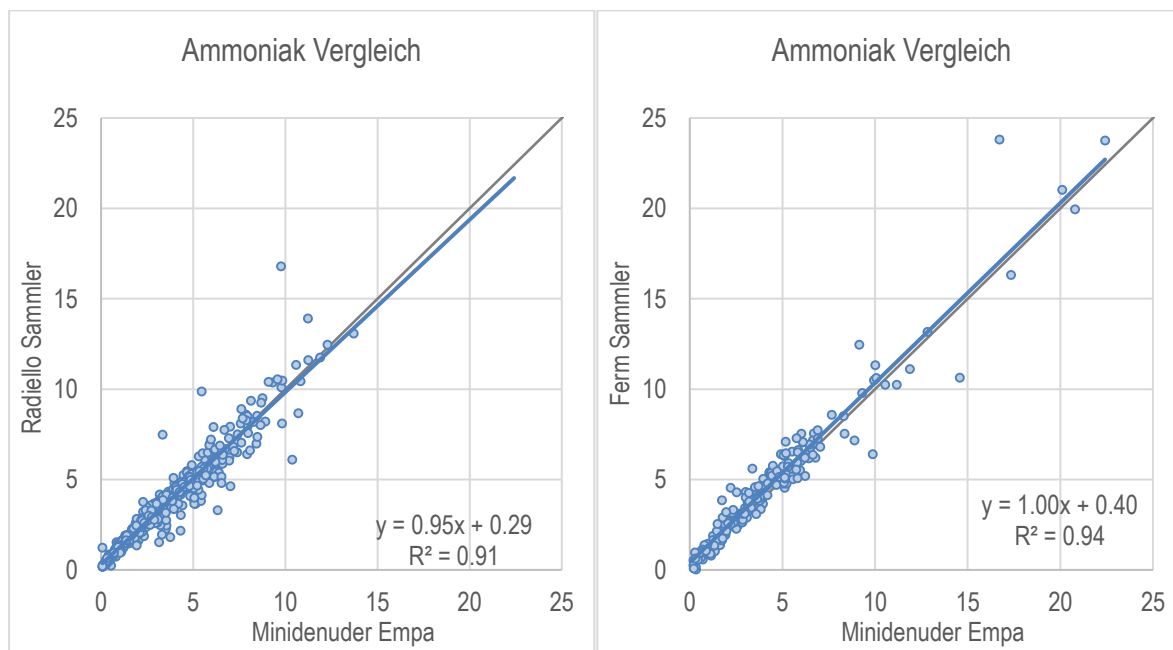


Abb. 47 NH_3 -Konzentration von Passivsammlern im Vergleich mit Minidenern
 Oben links: Radiello Sammler und Minidener (Referenzverfahren, Quelle: NABEL, 526 Datenpaare)
 Oben rechts: Ferm Sammler und Minidener (Quelle: NABEL, 196 Datenpaare), Einheit: $\mu\text{g m}^{-3}$

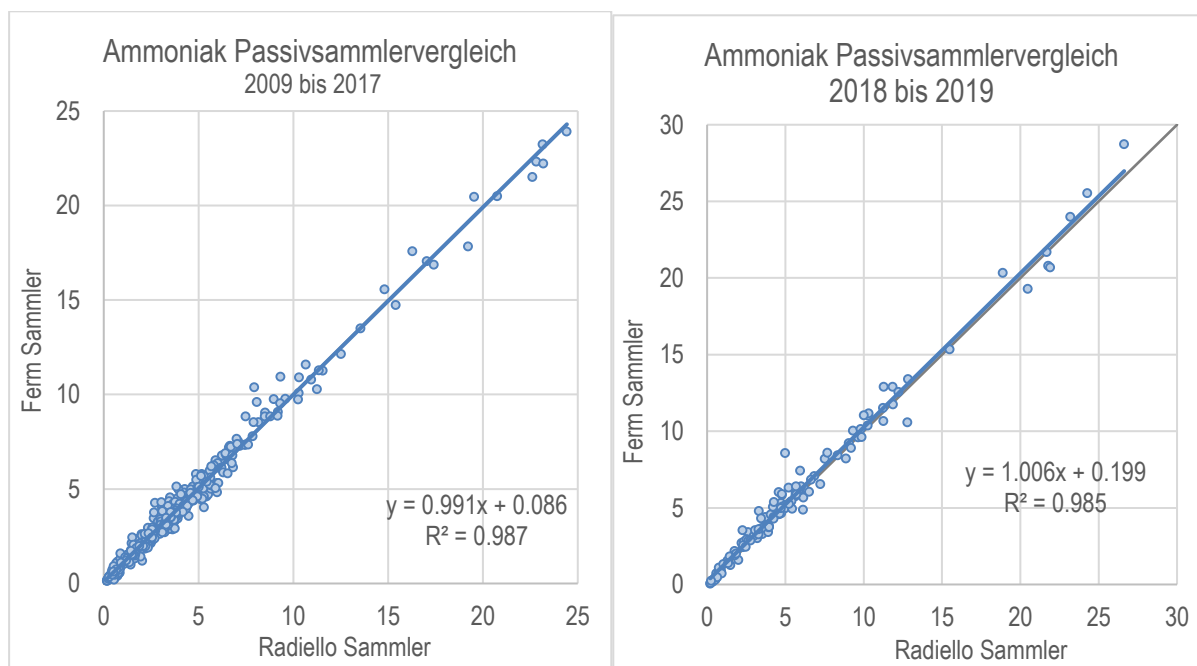


Abb. 48 Radiello- und Ferm-Passivsammler für Ammoniak im Vergleich
 2 Passivsammlertypen der FUB: links 2009 bis 2017 (427 Datenpaare), rechts 2018 bis 2019 (131 Datenpaare)
 Einheit: $\mu\text{g m}^{-3}$

6 Literatur

- Agridea, Landwirtschaftsamt Thurgau 2006: Projektskizze N-Effizienz der Hofdünger steigern durch Reduktion der Ammoniakverluste
- BAFU 2011: BDM-Facts Nr.3: Stickstoffeintrag aus der Luft verändert Vielfalt
<http://www.biodiversitymonitoring.ch/de/daten/berichte-und-publikationen.html> (Stand 16.04.2020)
- BAFU 2013: Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1309, 107 S
- BAFU 2018: Umwelt Schweiz 2018 – Bericht des Bundesrates
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/umweltbericht/umweltbericht-2018.html> (Stand 07.05.2020)
- BAFU 2020a: Auszug aus dem Emissionsinventar EMIS der Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien.
- BAFU 2020b: Übermässigkeit von Stickstoff-Einträgen und Ammoniak-Immissionen. Bewertung anhand von Critical Loads und Critical Levels insbesondere im Hinblick auf einen kantonalen Massnahmenplan Luftreinhaltung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 2003: 23 S.
- BAFU & BLW 2011: Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1101, 122 S.
- BAFU & BLW 2012: Nährstoffe und Verwendung von Düngern in der Landwirtschaft. Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Vollzug Nr. 1225, 63 S.
- BAFU & BLW 2016: Umweltziele Landwirtschaft. Statusbericht 2016. Bundesamt für Umwelt. Umwelt-Wissen Nr. 1633., Bern, 114 S.
- BAFU & Empa 2018: Technischer Bericht zum Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) 2018.
<https://www.empa.ch/web/s503//nabel-messprogramm> (Stand 21.04.2020)
- BBI 2009: Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes. Bericht des Bundesrats 11.9.2009, Bundesblatt Nr. 40 6.10.2009,
<https://www.admin.ch/opc/de/federal-gazette/2009/6585.pdf> (Stand 21.04.2020)
- Bobbink R., Hettelingh JP (eds.), 2011: Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout, 23-25 June 2010. Coordination Centre for Effects, National Institute for Public Health and the Environment, https://wge-cce.org/Publications/Other_CCE_Reports (Stand 21.04.2020)
- Cape J. N., van der Eerden L. J., Sheppard L. J., Leith I. D., Sutton M. A. 2009: Reassessment of Critical Levels for Ammonia. Chapter 2 In: Sutton M. A., Reis S., Baker S. M. H. (Eds) 2009: Atmospheric Ammonia, Springer Science +Business Media B. V. ISBN 978-1-4020-9120-9

- Cercl'Air 2002: Minderung der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft – Grundlagen der Luftreinhaltung. Positionspapier des Cercl'Air – Bericht der Arbeitsgruppe Ammoniak-Emissionen
- CLRTAP 2017: Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution; - accessed at www.icpmapping.org (Stand 06.06.2019)
- Dämmgen U., Thöni L., Lumpp R., Gilke K., Seidler E., Bullinger M. 2010: Feldexperiment zum Methodenvergleich von Ammoniak- und Ammonium-Konzentrationsmessungen in der Umgebungsluft, 2005 – 2008 in Braunschweig. vTI Johann Heinrich von Thünen-Institut Braunschweig, Sonderheft 337 <https://portal.dnb.de/opac.htm?method=simpleSearch&cql-Mode=true&query=idn%3D1003809227> (Stand 16.04.2020)
- EMEP: EMEP manual for sampling and chemical analysis.
<http://www.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html> (Stand 16.04.2020)
- EKL 2005: Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL), Bern, <http://www.ekl.admin.ch/de/dokumentation/publikationen.html> (Stand 16.04.2020)
- EKL 2013: Feinstaub in der Schweiz 2013 – Statusbericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene, <http://www.ekl.admin.ch/de/dokumentation/publikationen.html> (Stand 16.04.2020)
- EKL 2014: Ammoniak-Immissionen und Stickstoffeinträge. Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL), Bern, <http://www.ekl.admin.ch/de/dokumentation/publikationen.html> (Stand 16.04.2020)
- Empa 2006: Chemische Zusammensetzung des Feinstaubes während der Smoglagen im Januar/Februar 2006. Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik Empa Nr. 203'056/4
- FOEN 2020: Switzerland's Informative, Inventory Report 2020, Submission of March 2020 to the United Nations ECE Secretariat. Federal Office for the Environment FOEN, Air Pollution Control and Chemicals Division, Bern.
http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/status_reporting/2020_submissions/ (Stand 16.04.2020)
- Kanton Appenzell Ausserrhoden 2008: Massnahmenplan Luftreinhaltung, Aktualisierung 2008
- Kanton Luzern, Umwelt und Energie (uwe) 2007: Massnahmenplan Luftreinhaltung, Teilplan Ammoniak
- KOLAS 2006: Empfehlungen zur Reduktion der Ammoniakverluste aus der Landwirtschaft. Herausgeber: Konferenz der Landwirtschaftsämtler Schweiz (KOLAS)
- Kupper T., Bonjour C., Menzi H., Bretscher D. und Zaucker F. 2018: Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990 – 2015,
https://agrammon.ch/assets/Downloads/Bericht_Agrammon_1990-2015_20181010.pdf (Stand 16.4.2020)

- KVU 2006: Positionspapier über Ökologie und Landwirtschaft: Zustand wichtiger Umweltbereiche und Weiterentwicklung der agrarpolitischen Massnahmen vom 24. November 2006. Herausgeber: Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz, (KVU)
- MeteoSchweiz 2020: Klimabulletin Jahr 2019. Zürich
<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz/monats-und-jahres-rueckblick.html> (Stand 16.04.2020)
- Mills G., Pleijel H., Büker P., Braun S., Emberson L., Harmens H., Hayes F., Simpson D., Grünhage L., Karlsson P.-E., Danielsson H., Bermejo V., Gonzalez Fernandez I. (2010 Revision): Chapter 3: Mapping Critical Levels for Vegetation. In: Manual on Methodologies and Criteria for Modelling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends, Modelling and Mapping Manual of the LRTAP Convention.
https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2017/AIR/EMEP/Final__new_Chapter_3_v2__August_2017_.pdf (Stand 16.04.2020)
- Ostluft 2019: <https://jahresbericht.ostluft.ch/2019/#c392>
- Philipp M., Locher R. 2010: Trendanalyse NH₃-Immissionsmessungen in der Schweiz, Schlussbericht https://home.zhaw.ch/~lore/docs/NH3_Trendanalyse_2010.pdf (Stand 16.04.2020)
- PSI/uwe 2007: Verursacher von Feinstaub, Teilbericht 1 PSI: Januar Februar 2006, Teilbericht 2 uwe: Datenanalyse Reiden 2005/06, Paul Scherrer Institut / Umwelt und Energie Kanton Luzern
- Rihm B., Achermann B. 2016: Critical Loads of Nitrogen and their Exceedances. Swiss contribution to the effects-oriented work under the Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (UNECE). Federal Office for the Environment, Bern. Environmental studies no.1642: 78 p.
- Rihm B., Künzle T., 2019: Mapping Nitrogen Deposition 2015 for Switzerland. Technical Report on the Update of Critical Loads and Exceedance, including the years 1990, 2000, 2005 and 2010. Meteotest, Bern, commissioned by the Federal Office for the Environment (FOEN). <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/en/dokumente/luft/externe-studien-berichte/mapping-nitrogen-deposition-2015-for-switzerland.pdf.download.pdf/Mapping%20Nitrogen%20Deposition%202015%20for%20Switzerland.pdf>. (Stand 16.04.2020)
- Roth T., Kohli L., Rihm B., Achermann B., 2013: Nitrogen deposition is negatively related to species richness and species composition of vascular plants and bryophytes in Swiss mountain grassland. Agriculture, Ecosystems and Environment 178: 121-126
- Roth T., Kohli L., Rihm B., Amrhein V., Achermann B. 2015: Nitrogen deposition and multi-dimensional plant diversity at the landscape scale. R. Soc. open sci. 2: 150017.
<http://rsos.royalsocietypublishing.org/content/2/4/150017> (Stand 16.04.2020)
- Seitler E. 2015: Einfluss der Expositionsdauer bei NH₃-Passivsammern von Radiello. Bezugsquelle: FUB, 8640 Rapperswil
- Seitler E., Thöni L. 2009: Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz Sammel- und Messmethoden. Bezugsquelle: FUB, 8640 Rapperswil

- Seitler E., Thöni L., Meier M. 2016: Atmosphärische Stickstoff-Deposition in der Schweiz 2000 bis 2014. FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung 8640, Rapperswil
https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/luft/externe-studien-berichte/atmosphaerische_stickstoff-depositioninderschweiz2000bis2014.pdf (Stand 16.04.2020)
- Seitler E., Schnyder R., Rihm B. 2020: Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz, Beschreibung der Standorte und Daten. Bezugsquelle: FUB, 8640 Rapperswil
- Thimonier A., Schmitt M., Waldner P., Rihm B. 2005: Atmospheric deposition on Swiss Long-term Forest Ecosystem Research (LWF) plots. *Environmental Monitoring and Assessment* 104: 81-118
- Thöni L., Brang P., Braun S., Seitler E., Rihm B. 2004: Ammonia monitoring in Switzerland with passive samplers: patterns, determinants and comparison with modelled concentrations. *Environmental Monitoring & Assessment*.
- UNECE 2007: Report on the Workshop on Atmospheric Ammonia: Detecting Emission Changes and Environmental Impacts. ECE/EB.AIR/WG.5/2007/3
- UNECE 2014: Leitfaden zur Vermeidung und Verringerung von Ammoniakemissionen aus landwirtschaftlichen Quellen, ECE/EB.AIR/120
- VDI 3869 Blatt 3 2010: Messen von Ammoniak in der Aussenluft; Probenahme mit beschichteten Diffusionsabscheidern (Denudern); Fotometrische oder ionenchromatografische Analyse. Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin
- VDI 3869 Blatt 4 2012: Messen von Ammoniak in der Aussenluft; Probenahme mit Passivsammlern; Fotometrische oder ionenchromatografische Analyse. Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin
- Waldner P., Schaub M., Graf Pannatier E., Schmitt M., Thimonier A., Walthert L. 2007. Atmospheric deposition and ozone levels in Swiss forests: are critical values exceeded? In: Paoletti E., Schaub M., Bytnerowicz A. (eds.). *Air Pollution and Global Change: Key Studies of the Effects on Forest Vegetation*. *Environmental Monitoring and Assessment* (Special Issue) 128:5-17.
- Wey H., Bieri, S., Ruckstuhl, C. 2019: Ammoniak-Messbericht, Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz von 2000 bis 2018, inNET Monitoring AG, Altdorf
<https://in-luft.ch/publikationen/weitereberichte/ammoniak-messbericht2000bis2018>
- WMO 2017: WMO Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8 2014 edition, Part I, Chap. 16.
<http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-Guide.html> (Stand 16.04.2020)

7 Anhang

7.1 Standort-Umplatzierungen

In den ersten Jahren wurden die Sammler nicht nach einheitlichen Kriterien platziert. 2008 wurden Kriterien definiert und Empfehlungen für Messstandorte formuliert (Kapitel 3.2). An manchen Standorten wurden daraufhin die Passivsammler höher gehängt, um den Messempfehlungen zu entsprechen. Wenn möglich wurde jeweils über ein Jahr an der alten und der neuen Position gemessen, die alten Werte wurden, wenn nötig, mit den durch die Vergleichsmessungen ermittelten Faktoren umgerechnet, um die langjährigen Messreihen zu erhalten. Andere Standorte mussten im Lauf der Jahre, meist wegen Bauarbeiten, verschoben werden. In Tabelle 12 sind die Standorte mit Änderungen aufgeführt.

Tab. 12 bedeutender Wechsel am Standort
Standorte die umplatziert werden (mussten) aber weitergeführt wurden.

Nr. (Karte Abb.1)	Code	Standort Name	Kt. / Land	Stao der langj. Entw. (Kap. 4.1)	bedeutender Wechsel	Vergleichsmessungen, Umrechnung der alten Werte
71	APS	Ap.-Steinegg	AI	seit 2004	2008 ca. 10 m verschoben	nein
73	ESC 08	Eschenbach 8	LU	seit 2004	2006 4 Monate lang versetzt	nein
69	ESCH 01	Eschlikon 1	TG	–	2012 verschoben	nein
58	EST	Eschen	FL	seit 2008	2013 um 570 m verschoben	nein
63	FRFE	Frauenfeld	TG	–	2017 40 m verschoben	nein
68	HÄG	Häggenschwil	SG	seit 2004	2018 120 m verschoben, von 1.7 auf 3.5 m höher gehängt	nein
65	HOL 01	Holderhus 1	LU	seit 2000	2007 von 1.2 auf 4 m höher gehängt	ja, $HOL\ 01 = HOL\ 00 * 0.98 + 0.90$ ($R^2 = 0.95$)
83	LUG	Lugano	TI	seit 2000	1999 - 2005 grosse Umbauten, mehrmals verschoben	nein
55	MAU 01	Mauren 1	TG	seit 2000	2009 von 1.7 auf 3 m höher gehängt	ja, $MAU\ 01 = MAU\ 00$ ($R^2 = 0.92$)
28	N14	Ems Plarena	GR	seit 2013	2012 von 2 auf 3 m höher gehängt	nein
51	NZI 01	Zizers Neulöser 1	GR	seit 2013	2012 von 2 auf 3 m höher gehängt	ja, $NZI\ 01 = NZI\ 00 * 0.96$ ($R^2 = 0.98$)
64	SCHÜ 00	Schüpfheim 0	LU	seit 2000	2007 10 m verschoben, von 1 auf 3 m höher gehängt	nein
74	WAU 13	Wauwil 13	LU	seit 2004	2006 höher gehängt	nein
86	WIE	Schimmelstrasse	ZH	seit 2013	um 2010 Messwagen wenig verschoben	nein
4	ZB 01	Zugerberg 1	ZG	seit 2000	2007 von 1.3 auf 2.2 m höher gehängt	ja, $ZB\ 01 = ZB\ 00 * 1.05$ ($R^2 = 0.97$)

7.2 Beschreibung der Standorte

Tab. 13 Standortbeschreibung tabellarisch
Beschreibung der Standorte, sortiert nach Belastungs- und Immissionstypen.

Nächste Seiten

Code	Belastungstyp	Immis- sionstyp µg m ⁻³	landwirtschaftliche Nutzung	Strassen- abstand	Verkehr DTV (% LKW)	Siedlungs- grösse	Abstand LW-Betrieb
CHA	Ländlich,	1 – 3	Wiesen, Weiden, Graswirtschaft	—	—	Einzelhöfe	
RIG	oberhalb 900 m ü. M.	—	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhöfe	
FRUE		—	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhöfe	
ZB 01		—	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhof	
BA		—	Wiesen, Weiden, Graswirtschaft	—	—	Einzelhöfe	140
ZIGE		—	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhöfe	
AIO		—	Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	90
SARE	Ländlich,	1 – 3	—	—	—	Weiler	
RAF	unterhalb 900 m ü. M.	—	Obstgarten, Ackerbau	—	—	kleines Dorf, Einzelhof	35 (Pferde)
SCH		—	Weide, Schafe, seit 2013 Rinder	—	—	Einzelgebäude	
WBM		—	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhöfe	
BAI		—	Ackerbau, Wiesen?	—	—	—	
BRIS		—	Wiese, Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	
VTG		—	extensive Bewirtschaftung	—	—	Kleinstadt	
HUD 3		—	Landwirtschaft, Naturschutzgebiet	—	—	—	
KNB		—	Ackerbau, Wiesen	—	—	Einzelhof, Weiler??	100
PAY	Ländlich,	3 – 5	Grasland, Ackerbau	—	—	grosses Dorf	
IEB	unterhalb 900 m ü. M.	—	Wiesen, Weiden, wenig Ackerbau	—	—	kleines Dorf	
OBS		—	Weinbau, Graswirtschaft	100	?	kleines Dorf	
RO		—	Obst-, Graswirtschaft	—	—	Weiler	150
WTG1		—	Acker-, Gemüse-, Futter- und Obstbau	—	—	Einzelhof	
HEMO		—	Ackerbau, Tierwirtschaft, Wald	—	—	Weiler, Einzelhof	
VU01		—	Gras-/Weidewirtschaft, Ackerbau	—	—	Einzelhöfe, Industrie	
BIR1		—	Wiesen, Weiden	—	—	Industrie, Einzelhof	
ILN 01		—	Ackerbau, Graswirtschaft	—	—	kleines Dorf	
SNB		—	Graswirtschaft	30 (Nebenstrasse)	?	Einzelhöfe	
BENN		—	Wiese, Landwirtschaft	—	—	Weiler, Einzelhöfe	
N14		—	Wiese, Landwirtschaft	150	27'500 (6%)	kleines Dorf	
STAD		—	Ackerbau	—	—	kleines Dorf, Einzelhof	
DEB		—	—	10	?	Industrie, grosses Dorf	
MI01		—	Ackerbau, Gras-, Weidewirtschaft	—	—	Weiler	
FRAU		—	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler	
HBL		—	intensive Landwirtschaft	—	—	—	
INWI		—	Wiesen, Weiden	—	—	Kleinstadt	
WAEN		—	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler, Einzelhöfe	60
MAEM		—	Ackerbau, Tierwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	145
TAE		—	intensive Landwirtschaft	—	—	grosses Dorf, Einzelhöfe	125
NEHU		—	Ackerbau, Tierwirtschaft	2	200	kleines Dorf, Einzelhof	70
AIG		—	Landwirtschaft, Naturschutzgebiet	—	—	Einzelhöfe	100
AIHA		—	—	—	—	Weiler, Einzelhof	
MÖN		—	Wiesen, Weiden, Obstbäume	—	—	Einzelhöfe	150
SZ-03		—	Wiesen, Weiden	180	?	grosses Dorf, Einzelhöfe	90
NMS		—	Wiese, Landwirtschaft	—	—	kleines Dorf	
BSZ	Ländlich,	5 – 8	Landwirtschaft	—	—	Kleines Dorf, Einzelhöfe	
SHK	unterhalb 900 m ü. M.	—	Ackerbau, Obstbäume	—	—	—	
KAP		—	Ackerbau, Wiesen, Weiden	—	—	Weiler	150
BRM		—	Wiesen, Ackerbau	—	—	Einzelhöfe	
SAM2		—	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler	
NE 03		—	Ackerbau	—	—	grosses Dorf	
GEF		—	Wiesen, Weiden	—	—	kleines Dorf	
NZI 01		—	Wiese, Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	
NGS		—	Wiese, Landwirtschaft	280	10'980 (6%)	kleines Dorf	
MAG		—	Obst- u. Gemüseanbau	—	—	Einzelgebäude (Hof)?	80
WAU 16.4		—	Naturschutzgebiet, Wiesen	—	—	—	
MAU 01		—	int. Landwirtschaft, Acker, Obstbau	150	6'700 (<5%)	Weiler	
ZG-02		—	Wiesen, Weiden, Ackerbau	—	—	kleines Dorf, Einzelhöfe	
NEU 02		—	Weide, Acker	—	—	Einzelhöfe	
EST		—	Wiesen, Ried	—	—	Einzelhof (ab 2013)	40
BAV		—	Wiesen, Kuhweide	ca. 60 zur Hauptstrasse	ca. 7'100	grosses Dorf, Einzelhöfe	
URI 01		—	offenes Wiesland, Futterbau, Weide	—	—	Einzelhöfe	120
NW-02		—	Wiesen, Weiden	—	—	Industrie, grosses Dorf	
OW-02		—	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler, Industrie	
FRFE		—	Ackerbau, Tierwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	140
SCHÜ 00		—	Wiesen, Weiden	—	—	grosses Dorf	
HOL 01		—	Obstbau, Wiese	—	—	grosses Dorf, Einzelhof	85
NRB		—	Wiesen, Weiden	300	?	Kläranlage 300 m	
LANG		—	Wiesen, Ackerbau	100	?	kleines Dorf	
HÄG	Ländlich,	> 8	intensive Tierwirtschaft	—	—	Weiler, Einzelhof	100
ESCH 01	unterhalb 900 m ü. M.	—	intensive Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	135
ALB		—	Wiesen, Ackerbau	—	—	Einzelhof	500
APS		—	intensive Tierwirtschaft	—	—	Weiler, Einzelhöfe	190
SIN3		—	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler, Einzelhöfe	120
ESC 08		—	intensive Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	150
WAU 13		—	sehr intensive Landwirtschaft	—	—	—	
WEIN		—	Wiesen, Ackerbau	—	—	Einzelhof	
WÄL		—	Grasland, Ackerbau	—	—	Weiler, Einzelhöfe	90
WIG	Ländlich, verkehrsbelastet	3 – 5	—	65	18'500	grosses Dorf, bei Industrie	
SLI 01		5 – 8	keine	ca. 4	?	grosses Dorf	
NV4	Ländlich, an Autobahn	3 – 5	Wiese, Landwirtschaft	200	11'500, 6%	Industrie	
SIO		3 – 5	Obstbau	30	30'000 (5%)	Industrie	
HAE	Ländlich, an Autobahn	5 – 8	intensive Landwirtschaft	20	75'000 (13.5%)	kleines Dorf	
BAS	Vorstädtisch	1 – 3	Parkanlage, Schrebergärten	200	Stadtverkehr	Stadt	
LUG	Städtisch	1 – 3	—	50	Stadtverkehr	Stadt	
SOAL	Städtisch, verkehrsbelastet	1 – 3	Ackerbau, Graswirtschaft	25	10'000	Kleinstadt	
RAP	Städtisch, verkehrsbelastet	3 – 5	—	15	24'000 (6%)	Kleinstadt	
WIE		3 – 5	—	5	27'000 (5.5%) (Stand 2012)	Stadt	

Strassenabstand: — = > 200 m
Verkehr DTV: — = < 2000 Fahrzeuge

7.4 Standorte der regionalen Messnetze

Beschreibung der in Kapitel 4.7 gezeigten Standorte der regionalen Messnetze.

Tab. 15 Standortbeschreibung und Jahreswerte tabellarisch
Beschreibung der Standorte aus Kapitel 4.7 Regionale Messnetze, sortiert nach Region.

Nr.	Code	Standort Name	Kt. / Stationsbetreiber	Land	Koordinaten		Höhe	Relief	Exposition	Höhe Samm- ler ü. Boden	Belastungstyp	Immis- sionstyp
					E	N						
					m	m						
Abb.1)												
	HEHI	Hessigkofen Hinterfeld	SO	Kt. SO	600'992	220'114	601	E	—	4	Land, <900 m	3 – 5
22	HEMO	Hessigkofen Moosgasse	SO	Kt. SO	601'471	220'742	605	E	—	4	Land, <900 m	3 – 5
	AEAE	Aetigkofen Aenerfeld	SO	Kt. SO	601'879	218'936	625	H	N	4	Land, <900 m	1 – 3
	MUWA	Mühledorf Wasserreservoir	SO	Kt. SO	602'101	220'637	619	K	—	4	Land, <900 m	1 – 3
36	MAEM	Matzendorf Emet	SO	Kt. SO	614'279	240'205	594	K	—	4	Land, <900 m	3 – 5
	MACH	Matzendorf Chuehölzli	SO	Kt. SO	613'721	239'016	521	T	—	4	Land, <900 m	3 – 5
	MAST	Matzendorf Strickler	SO	Kt. SO	613'268	240'102	602	H	SE	4	Land, <900 m	1 – 3
	EGWA	Egerkingen Waro	SO	Kt. SO	627'482	240'932	434	E	—	4	Land, Verkehr	5 – 8
38	NEHU	Neuendorf Hurtmatten	SO	Kt. SO	627'257	239'509	435	E	—	4	Land, <900 m	3 – 5
	GUWI	Gunzgen Winkel	SO	Kt. SO	629'072	241'113	429	E	—	4	Land, <900 m	3 – 5
	HAGN	Hägendorf Gnöd	SO	Kt. SO	629'822	243'741	590	T	—	4	Land, Autobahn	1 – 3
	WTGN	Gimmiz Nord	BE	Kt. BE	585'777	211'848	444	E	—	3.3	Land, <900 m	5 – 8
	WTGW	Gimmiz West	BE	Kt. BE	585'039	211'522	444	E	—	3.3	Land, <900 m	3 – 5
	WTGS	Gimmiz Süd	BE	Kt. BE	585'417	211'024	444	E	—	3.3	Land, <900 m	3 – 5
21	WTG1	Gimmiz Dach	BE	Kt. BE	585'511	211'410	444	E	—	30	Land, <900 m	3 – 5
	NGD 01	Grüsch Dorf 1	GR	Kt. GR	768'490	205'450	615	E	—	3	Land, <900 m	> 8
52	NGS	Grüsch Schwellenen	GR	Kt. GR	768'760	205'060	607	E	—	2	Land, <900 m	5 – 8

E = Ebene
H = Hang
K = Kuppe
T = Terrasse

Code	landwirtschaftliche Nutzung	Strassen- abstand	Verkehr DTV (% LKW)	Siedlungs- grösse	Abstand LW- Betrieb	Ammoniakkonzentration in Luft Jahresmittelwerte µg m ⁻³												
						2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019			
HEHI	Ackerbau, Tierwirtschaft, Wald	—	—	Einzelhöfe	130	5.0	3.4	3.2	3.1	4.0	3.4	3.4	5.2	5.3				
HEMO	Ackerbau, Tierwirtschaft, Wald	—	—	Weiler, Einzelhof		4.6	3.1	2.4	3.0	3.7	3.0	3.1	4.2	3.9				
AEAE	Ackerbau, Tierwirtschaft, Wald	—	—	Weiler		3.7	3.0	2.6	2.6	2.9	2.6	2.5	3.0	3.8				
MUWA	Ackerbau, Tierwirtschaft, Wald	—	—	Einzelhöfe		3.6	2.5	2.2	2.2	2.8	2.4	2.5	3.1	3.1				
MAEM	Ackerbau, Tierwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	145	4.4	3.8	3.5	4.3	3.9	3.8	4.4	6.2	5.3				
MACH	Ackerbau, Tierwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	140	4.1	3.6	2.9	3.7	3.8	4.0	3.6	4.0	4.6				
MAST	Ackerbau, Tierwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	50	3.2	2.8	2.9	2.9	2.8	2.9	2.6	3.4	3.2				
EGWA	Ackerbau, Tierwirtschaft	2	14000	grosses Dorf		6.3	5.2	4.5	5.4	5.4	5.0	4.8	5.6	5.6				
NEHU	Ackerbau, Tierwirtschaft	2	200	kleines Dorf, Einzelhof	70	6.7	5.3	3.9	5.0	5.0	4.0	4.2	5.9	5.0				
GUWI	Ackerbau, Tierwirtschaft	—	—	kleines Dorf		4.0	3.2	2.9	3.2	3.9	4.0	3.8	4.3	4.8				
HAGN	Ackerbau, Tierwirtschaft, Wald	130	45000	Weiler		1.8	1.4	1.1	1.6	1.8	1.4	1.6	2.4	2.1				
WTGN	Acker-, Gemüse-, Futter- und Obstbau	—	—	Einzelhöfe		6.3	7.3	6.0	4.9	5.7	5.8	5.0	5.6	6.0	6.3			
WTGW	Acker-, Gemüse-, Futter- und Obstbau	—	—	Weiler		6.4	5.3	4.5	4.7	4.8	4.1	4.8	4.8					
WTGS	Acker-, Gemüse-, Futter- und Obstbau	—	—	Weiler, Einzelhof		4.5	5.5	4.5	3.5	3.7	3.9	3.3	3.7	4.4	4.6			
WTG1	Acker-, Gemüse-, Futter- und Obstbau	—	—	Einzelhof		3.9	4.6	3.7	3.2	3.2	3.3	2.9	3.2	3.9	4.0			
NGD 01	Wiese, Landwirtschaft	100	10'980 (6%)	kleines Dorf, Einzelhof	90	10.7	8.7	8.0	8.5	7.7	9.2	8.9	8.9	9.1				
NGS	Wiese, Landwirtschaft	280	10'980 (6%)	kleines Dorf		9.5	5.8	4.8	5.6	5.3	6.0	5.8	6.4	6.0				

Strassenabstand: — = > 200 m

Verkehr DTV: — = < 2000 Fahrzeuge

Das Schweizer Messnetz umfasst weitere, in diesem Bericht nicht aufgeführte Standorte, die im Bericht der Zentralschweizer Ammoniakmessungen beschrieben werden (Wey et al. 2019), oder zu Projekten mit anderer Fragestellung / Ausrichtung gehören. Diese Standorte sind in der separaten "Beschreibung der Standorte und Daten" (Seitler et al. 2020) mit aufgeführt.

8 Glossar

Aerosole	Gemische aus festen und/oder flüssigen Schwebeteilchen in der Luft
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BFS	Bundesamt für Statistik
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft
Boxplot	Diagramm zur grafischen Darstellung der Verteilung von Resultaten, zur Vermittlung in welchem Bereich die Daten liegen und wie sie sich über diesen Bereich verteilen.
CLRTAP	Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
Critical Levels	Konzentration bzw. Dosis eines Schadstoffes in der Atmosphäre, bei deren Überschreitung nachteilige Effekte bei Pflanzen, Tieren oder Menschen auftreten können.
Critical Loads	Kritische Eintragungsgrenzen, bei deren Überschreitung negative Veränderungen an verschiedenen Ökosystemen (z.B. Wälder, Moore) auftreten.
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme; Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe
FOEN	Federal Office for the Environment (Englisch für BAFU)
GAW	Global Atmosphere Watch, Programm der WMO
LwG	Landwirtschaftsgesetz
NILU	Norwegian Institute for Air Research
Oligotroph	nährstoffarm (für Gewässer und Moore)
OSTLUFT	Die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone Appenzell-Innerrhoden, Appenzell-Ausserrhoden, Glarus, Graubünden (Teil), St. Gallen, Schaffhausen, Thurgau und Zürich und des Fürstentums Liechtenstein
PM1	Particulate Matter mit einem aerodynamischen Durchmesser von $<1\ \mu\text{m}$, lungengängiger Feinstaub
PM10	Particulate Matter mit einem aerodynamischen Durchmesser von $<10\ \mu\text{m}$, einatembarer Feinstaub
Quelle	Emissionsverursacher
Ressourcenprogramm	Förderung der nachhaltigen Stickstoff-Ressourcennutzung durch das BLW
Senke	Oberfläche an denen Stoffe abgelagert und so der Atmosphäre entzogen werden
swisstopo	Bundesamt für Landestopographie
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WMO	World Meteorological Organisation
ZUDK	Zentralschweizer Umweltdirektionen (Kantone Uri, Schwyz, Nidwalden, Obwalden, Luzern, Zug)