

# Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz 2000 bis 2020 Messbericht

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



Autoren:  
Eva Seitler, Mario Meier  
Juni 2021

---

## Impressum

### Auftraggeber

BAFU	Bundesamt für Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien; Sektion Luftqualität Rudolf Weber, Reto Meier
inNET	inNET Monitoring AG Im Auftrag von in-LUFT vertreten durch: Christian Ruckstuhl, Hannah Wey, Susanne Bieri
Kt. LU	uwe Umwelt und Energie, Abteilung Energie, Luft und Strahlen Erkan Ibraim, Delia Wolf
Kt. NW	Amt für Umwelt Angela Zumbühl
Kt. OW	Amt für Landwirtschaft und Umwelt Marco Dusi
Kt. SZ	Amt für Umwelt und Energie Christian Kiebele
Kt. UR	Amt für Umweltschutz, Abt. Immissionsschutz Niklas Joos
Kt. ZG	Amt für Umwelt, Abt. Luft und Energie Raphael Felber, Nathanael Lottenbach
OSTLUFT	Zusammenschluss der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein zur gemeinsamen Überwachung der Luftqualität, Projektgruppe N-Deposition Jörg Sintermann (ZH) Hanna Herich (SG) Franz Ludwig (TG)
FL	Fürstentum Liechtenstein, AU Amt für Umwelt Veronika Wolff, AU
Kt. AG	Departement Bau, Verkehr und Umwelt, Abteilung für Umwelt Franziska Holzer Küng
Kt. AI	AfU AI Amt für Umwelt Manuela Schwizer
Kt. BE	AUE BE Amt für Umwelt und Energie Stefan Schär
Kt. BL/BS	Lufthygieneamt beider Basel 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. NE	Service de l'énergie et de l'environnement Denis Jeanrenaud
Kt. SG	Amt für Umwelt und Energie Susanne Schlatter, Hanna Herich
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. 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 Hügli, 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](mailto:fub@fub-ag.ch), [www.fub-ag.ch](http://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 KIT Kirchberg Turpenriet, Kanton St. Gallen (Foto: Susanne Schlatter)

### **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

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung, Résumé, Summary</b>	<b>1</b>
1.1	Zusammenfassung	1
1.2	Résumé	4
1.3	Summary	7
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>10</b>
2.1	Ausgangslage	10
2.2	Zielsetzung	11
2.3	Projektrahmen	12
<b>3</b>	<b>Methodisches</b>	<b>13</b>
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
<b>4</b>	<b>Resultate</b>	<b>18</b>
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 63 Standorten seit 2013	25
4.2	Vergleich mit Critical Levels	27
4.3	Vergleich mit Emissionsentwicklung	29
4.4	Berechnung von Konzentrationskarten	30
4.5	Zeitreihen der einzelnen Standorte	32
4.6	Jahresverläufe der Konzentrationen	55
4.7	Beispiele Regionaler Messnetze	58
4.7.1	Kanton Bern	58
4.7.2	Kanton Solothurn	59
4.7.3	Kanton Graubünden	61
4.7.4	Kanton Basel-Landschaft	61
4.7.5	Zentralschweizer Kantone und Ostluft	62
<b>5</b>	<b>Qualitätssicherung</b>	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>65</b>
<b>7</b>	<b>Anhang</b>	<b>69</b>
7.1	Standort-Umplatzierungen	69
7.2	Beschreibung der Standorte	69
7.3	Jahres- und saisonale Mittelwerte der Standorte	69
7.4	Standorte der regionalen Messnetze	74
<b>8</b>	<b>Glossar</b>	<b>76</b>

# 1 Zusammenfassung, Résumé, Summary

## 1.1 Zusammenfassung

### **Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz von 2000 bis 2020**

Ammoniak (NH<sub>3</sub>) 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 sekundären 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 inNET/in-LUFT und verschiedener Kantone sowie des Fürstentums Liechtenstein durchgeführt werden. Das Ziel der Messungen ist die Beurteilung der Immissionssituation, 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.

Das Passivsammler-Messnetz zur Erfassung der Ammoniakbelastung umfasst in der vorliegenden Berichtsperiode 2000–2020 insgesamt 89 Standorte in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein. An 13 dieser Standorte wird die NH<sub>3</sub>-Konzentration seit 2000 durchgehend gemessen, an acht weiteren Standorten seit 2004, an elf zusätzlichen Standorten seit 2008 und an 31 weiteren seit 2013. An 26 der 89 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 AG" 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 sehr 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 µg m<sup>-3</sup> erreichten. In Regionen mit Ackerbau lagen die Jahresmittelwerte bei 2–5 µg m<sup>-3</sup>. Die fünf ländlichen Standorte an Autobahnen oder verkehrsreichen Durchgangsstrassen, die Konzentrationen von 3–6 µg m<sup>-3</sup> aufwiesen, sind durch den Verkehr und die Landwirtschaft beeinflusst. In Städten wurden Konzentrationen von 2–4 µg m<sup>-3</sup> mit geringem Jahresgang beobachtet. Im Jahr 2020 lag der Median der Jahresmittelwerte aller 89 Standorte bei 4.9 µg m<sup>-3</sup>. An vielen Standorten gehörten die Jahresmittelwerte 2020 nach 2018 und 2019 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 11 % (FOEN 2021) 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 2020 wurden, wie schon 2018 und 2019, durch die spezielle Witterung begünstigt. 2020 war zusammen mit 2018 das wärmste Jahr seit Beginn der meteorologischen Messungen 1864, mit vielerorts unterdurchschnittlichen Niederschlagssummen.
- Die Ammoniakbelastung ist am höchsten in Gebieten mit intensiver Tierproduktion ( $6\text{--}12\ \mu\text{g m}^{-3}$ ).
- In Gebieten, in denen mehrheitlich Ackerbau betrieben wird, sind die Ammoniak-Konzentrationen ( $2\text{--}5\ \mu\text{g m}^{-3}$ ) 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 werden dazu verwendet, ein auf Emissionserhebungen basierendes Ausbreitungsmodell zu kalibrieren, welches eine flächendeckende Darstellung der Ammoniakkonzentrationen erlaubt.

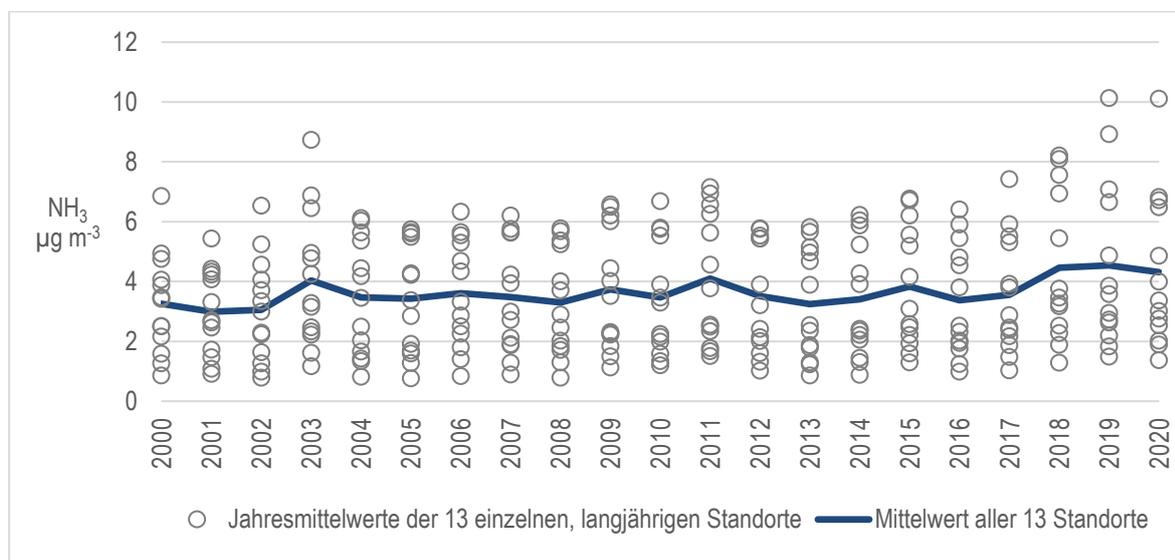


Abb. Z 1 Mittelwert der Ammoniakkonzentrationen  
 Mittelwert (durchgezogene Linie) und Einzelwerte (Kreise) der Ammoniak-Jahresmittelkonzentrationen aller 13 Standorte, an denen seit 2000 durchgehend gemessen wird.

## Ausblick

Im Jahr 2021 werden die Messungen an den meisten Standorten weitergeführt.

OSTLUFT hat Anfang 2021 ein koordiniertes, zukunftsorientiertes NH<sub>3</sub>-Passivsammler-Messnetz gestartet. Dabei liegt der Schwerpunkt auf Messungen in sensiblen Ökosystemen. An 7 Standorten werden zudem weitere Stickstoffkomponenten zur Bestimmung des Stickstoffeintrages erhoben. Die Ammoniak-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<sub>3</sub>-Messnetz ab 2021 soll weitere Informationen und Argumente liefern, um die Dringlichkeit weitergehender Massnahmen zu unterstreichen. Die neuen Messstandorte liegen daher mehrheitlich in empfindlichen Ökosystemen und Naturschutzgebieten, weil gerade diese Lebensräume durch die atmosphärischen Stickstoffeinträge besonders gefährdet sind.

Eine langfristige Messung der Ammoniakkonzentration ist notwendig, um die Wirksamkeit von Massnahmen zur Minderung der Ammoniakemissionen immissionsseitig zu überprüfen.

## 1.2 Résumé

### Mesures des immissions d'ammoniac en Suisse entre 2000 et 2020

De tous les composés azotés réactifs l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) 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, inNET/in-Luft, 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.

Au cours de la période 2000-2020, le réseau de mesure de capteurs passifs pour l'enregistrement de la pollution par l'ammoniac comprend au total 89 sites en Suisse et dans la Principauté de Liechtenstein. Treize de ces stations sont entrées en fonction en 2000, huit ont été ajoutées en 2004, onze en 2008 et 31 en 2013. À 26 des 89 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 AG 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 très 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 3 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 4  $\mu\text{g m}^{-3}$  avec de faibles variations saisonnières. La médiane des concentrations annuelles pour les 89 stations s'est élevée à 4.9  $\mu\text{g m}^{-3}$  en 2020. En de nombreux endroits, les concentrations moyennes en 2020 étaient, comme en 2018 et 2019, 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 11% depuis 2000 (FOEN 2021) 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 et 2019, les concentrations élevées mesurées en 2020 ont été influencées par des conditions météorologiques particulières. 2020 a été avec 2018 l'année la plus chaude depuis le début des mesures météo en 1864, avec des précipitations inférieures à la moyenne.
- 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 sont 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.

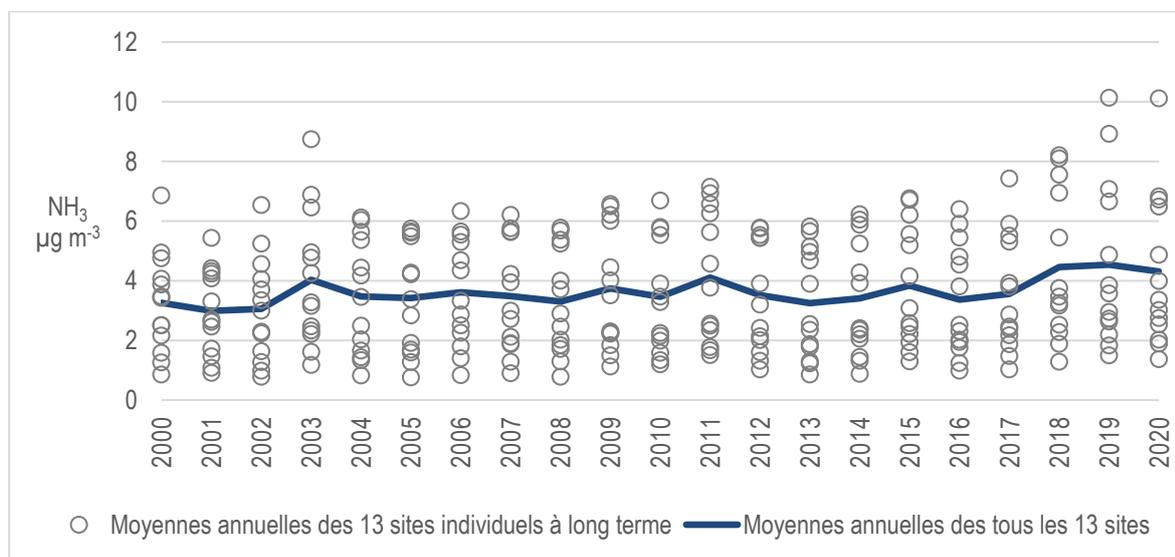


Fig. R 1 Concentrations d'ammoniac en moyenne annuelle  
Moyennes annuelles (ligne continue) et valeurs individuelles (cercles) des 13 stations qui mesurent l'ammoniac depuis 2000.

## Perspectives

Les mesures se poursuivent en 2021 dans la plupart des stations.

OSTLUFT a démarré début 2021 un réseau de mesure de capteurs passifs NH<sub>3</sub> coordonné et orienté vers l'avenir. L'accent est mis sur les mesures dans les écosystèmes sensibles. De plus, d'autres composants azotés sont collectés à 7 sites pour déterminer l'apport d'azote. 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 fournir des informations et des arguments supplémentaires pour souligner la nécessité de nouvelles mesures. La majorité des nouveaux 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.

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.

## 1.3 Summary

### Monitoring ambient ammonia concentrations in Switzerland between 2000 and 2020

Of all reactive nitrogen compounds ammonia ( $\text{NH}_3$ ) 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 inNET/in-LUFT (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.

The passive sampler measuring network for recording ammonia pollution comprises a total of 89 locations in Switzerland and the Principality of Liechtenstein in the 2000–2020 reporting period. A total of 13 sites have been operational since 2000, 8 were added in 2004, 11 in 2008 and 31 in 2013. At the remaining 26 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 – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung AG. 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 very 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 3 to 6  $\mu\text{g m}^{-3}$  are influenced by both traffic and agriculture. At urban sites concentrations of 2 to 4  $\mu\text{g m}^{-3}$  with small annual cycle were measured. In 2020, the median of all 89 sites amounted to 4.9  $\mu\text{g m}^{-3}$ . For many sites the annual averages in 2020 were as 2018 and 2019 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 11 % compared to 2000 (FOEN 2021) 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 and 2019, the high concentrations measured in 2020 were influenced by the particular meteorological conditions. 2020 was together with 2018 the warmest year since meteorological recordings started in 1864, with low precipitation sums in spring.
- Values were generally highest in areas with intensive animal production ( $6\text{--}10\ \mu\text{g m}^{-3}$ ).
- In areas with predominant crop farming, both concentrations ( $2\text{--}5\ \mu\text{g m}^{-3}$ ) 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 are used for calibrating a dispersion model based on emission inventories, providing a nationwide presentation of the ammonia concentrations.

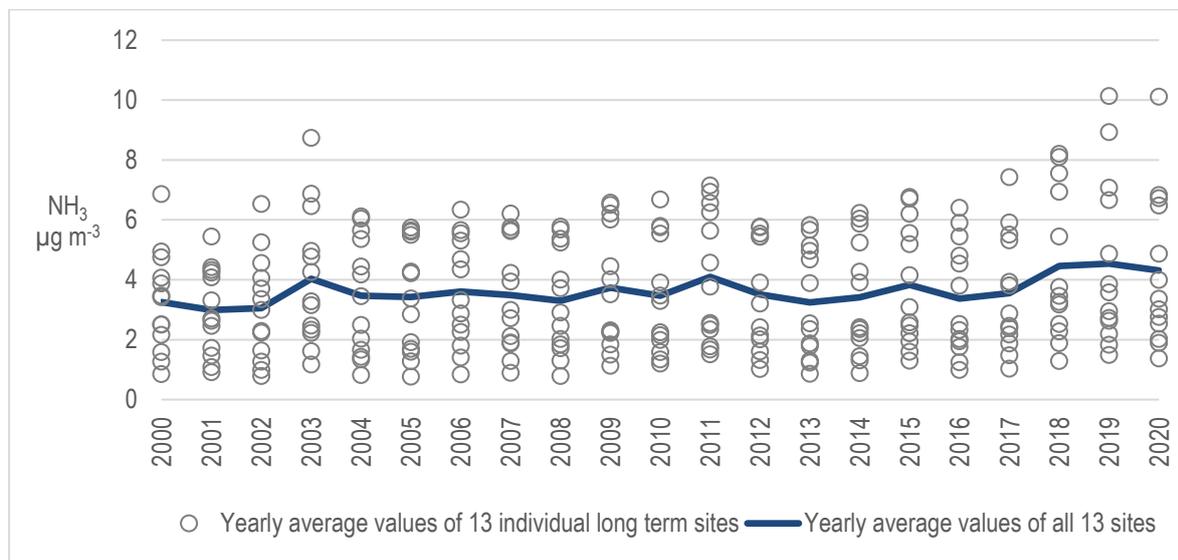


Fig. S 1 Annual mean of ammonia concentrations  
Average (solid line) and single values (circles) of the annual mean ammonia concentrations from all 13 sites with continuous measurements since 2000.

## Outlook

In 2021 measurements are continued at most of the sites.

At the beginning of 2021, OSTLUFT started a coordinated, future-oriented passive sampler measuring network for  $\text{NH}_3$ . The focus is on measurements in sensitive ecosystems. In addition, further nitrogen components are collected at 7 locations to determine the deposition of nitrogen. 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 provide further information and arguments to underline the necessity of further measures. Therefore, the majority of the new monitoring sites are located at sensitive ecosystems and nature reserves because these habitats are particularly threatened by atmospheric nitrogen inputs.

Monitoring the long-term development of ambient ammonia concentrations is essential to document the efficiency of measures aimed at reducing ammonia emissions.

## 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 Salpeter- und Schwefelsäure 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. An NABEL-Standorten wurden im Jahresdurchschnitt 4 bis 9 % Ammonium-Anteil in PM10 gemessen (Empa 2021). 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 betragen die Ammoniakemissionen im Jahr 2019 rund 54'000 Tonnen NH<sub>3</sub> (FOEN 2021). Die Landwirtschaft verursachte davon 94 % (50'000 Tonnen NH<sub>3</sub>) 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 2021). Die NH<sub>3</sub>-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, stagnierten nach dem Jahr 2000 auf diesem Niveau und nahmen zuletzt leicht auf 50'000 Tonnen NH<sub>3</sub> pro Jahr ab (FOEN 2021). 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 NH<sub>3</sub> 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, jedoch 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<sub>x</sub>) 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 festgelegt<sup>1</sup>:

- NH<sub>3</sub>-Konzentration von 1 µg m<sup>-3</sup> für empfindliche Moose und Flechten und Ökosysteme, wo diese niederen Pflanzen für das Ökosystem von Bedeutung sind

---

<sup>1</sup> Gemäss Cape et al. (2009) gibt es für die NH<sub>3</sub>-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.

- $\text{NH}_3$ -Konzentration von  $3 \mu\text{g m}^{-3}$  für höhere Pflanzen. Auf Grund der Schätz-Unsicherheit wird jedoch ein Bereich von  $2\text{--}4 \mu\text{g m}^{-3}$  angegeben.

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 (Genfer Luftreinhaltekonvention, 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 50-90 % des gesamten Stickstoffeintrags aus (Seitler et al. 2021 A).

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 2020)<sup>2</sup>. 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 2020). 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, KVU 2006, Agridea 2006, 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 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 Am-

---

<sup>2</sup> 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.

moniakemissionen ist nötig zum Schutz der Ökosysteme vor Eutrophierung und Versauerung sowie zur Minderung der Feinstaubbelastung (BAFU 2020, Cercl’Air 2002, EKL 2005, KOLAS 2006, BB1 2009, EKL 2013, EKL 2014).

## 2.3 Projektrahmen

In diesem Bericht werden die Resultate der Ammoniakmessungen in der Aussenluft im Zeitraum von 2000 bis 2020 präsentiert, wobei nur die Standorte berücksichtigt wurden, an denen 2020 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) 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, Ob- und Nidwalden, Schwyz, St. Gallen und Uri (seit 2010), Solothurn (seit 2011), Neuenburg (seit 2012), Zürich, Schaffhausen und Basel-Land (seit Frühling 2012), Glarus (seit 2015) Appenzell Ausserrhoden (seit 2019) und werden durch die FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung AG 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.<sup>3</sup>

Die Beschreibungen der Standorte, die gemessenen NH<sub>3</sub>-Konzentrationen sowie die modellierten Emissionen und Konzentrationen werden in den Standortdatenblättern 2020 dargestellt (Seitler et al. 2021 B).

---

<sup>3</sup> 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 sehr gut (Abb. 54).

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. 53) 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 Anströmbarkeit.
- 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  $\text{NH}_3$  sollen ebenfalls rapportiert und 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:

<b>Alp</b> , oberhalb 1800 m ü. M.	<b>Ländlich</b> , verkehrsbelastet
<b>Ländlich</b> , oberhalb 900 m ü. M.	<b>Vorstädtisch</b>
<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	<b>Städtisch</b>
<b>Ländlich</b> , Autobahn	<b>Städtisch</b> , 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  $\text{NH}_3$ -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 63 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 – z.B. jeweils ein Standort aus einem regional verdichteten Messnetz – wurde in diese Auswertung miteinbezogen. Anfang 2019 wurden (vor allem im OSTLUFT-Gebiet) neue Standorte in empfindlichen Ökosystemen aufgestellt. Bei mehreren Standorten in einem kleinräumigen Gebiet wurde für die Auswertung in diesem Bericht jeweils ein möglichst abseits von starken Quellen liegender Standort ausgewählt. Insgesamt werden 89 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 dargestellt und in Tabelle 1 kurz beschrieben (ausführlicher in Kapitel 7.2, Tabelle 13 sowie in den Standortdatenblättern: Seitler et al. 2021 B).

Tab. 1 Standorte der Messungen 2020  
Einteilung der Standorte nach Belastungs- und Immissionstypen. Das mehrjährige Jahresmittel ist (wo vorhanden) aus den Jahren 2016–2020 berechnet worden. Die schwarzen Linien trennen Belastungstypen, die grauen Immissionstypen innerhalb eines Belastungstyps.

Nr. Code (Karte Abb. 1)	Standort Name	Kt. / Höhe Land m ü. M.	Belastungstyp	Immis- sionstyp $\mu\text{g m}^{-3}$	Mehrjähriges Jahresmittel $\mu\text{g m}^{-3}$	Anzahl vollst. Jahre	Messreihe	Boxplots (Kap. 4.5) Abb. Nr.
1 CHA	Chaumont	NE 1137	Ländlich,	1–3	1.2	21	2000–2020	
2 RAN	Merisshausen	SH 900	oberhalb 900 m ü. M.		1.5	2	2019–2020	11
3 RIG	Rigi-Seebodenalp	SZ 1031			1.7	21	2000–2020	
4 ZB 01	Zugerberg 1	ZG 990			2.0	21	2000–2020	
5 FRÜE	Früebüel	ZG 980			2.1	14	2007–2020	
6 BA	Bachtel	ZH 930			2.6	21	2000–2020	12
7 ZIGE	Zigerhütli	ZG 989			2.7	14	2007–2020	
8 AIO	Oberegg	AI 1071	Ländl., oberhalb 900 m ü. M.	3–5	3.1	11	2010–2020	13
9 SARE	Sagno Reservoir	TI 820	Ländlich,	1–3	1.6	7	2014–2020	
10 TAB	Turbenthal	ZH 641	unterhalb 900 m ü. M.		2.0	2	2019–2020	14
11 RAF	Hüntwangen	ZH 399			2.1	8	2013–2020	
12 ROB	Wetzikon Robenuserriet	ZH 539			2.1	2	2019–2020	
13 SCH	Schänis	SG 630			2.2	20	2000, 2002–2020	
14 WBM	Mollis	GL 831			2.3	3	2018–2020	
15 AEG	Knonau	ZH 449			2.3	2	2019–2020	15
16 LEN 1	Lengwiler Weiher 1	TG 502			2.3	3	2014, 2019–2020	
17 BRIS	Brislach	BL 450			3.0	8	2013–2020	
18 HUD 3	Hudelmoos 3	TG 521			3.0	20	2001–2020	
19 VTG	Gwatt	BE 558			3.0	12	2009–2020	16
20 GMO	Gänsemoos	BE 797	Ländlich,	3–5	3.0	2	2019–2020	17
21 PAY	Payerne	VD 489	unterhalb 900 m ü. M.		3.1	21	2000–2020	
22 IEB	Bärau	BE 725			3.2	12	2009–2020	
23 OBI	Ottenbach	ZH 386			3.4	2	2019–2020	
24 RO	Root Michaelskreuz	LU 791			3.5	20	2001–2020	18
25 WTG1	Gimmiz Dach	BE 444			3.5	12	2009–2020	
26 HEMO	Hessigkofen Moosgasse	SO 605			3.7	10	2011–2020	
27 ILN 01	Illnau-Effretikon 1	ZH 540			4.0	6	2015–2020	
28 VU01	Vuistemens-en-Ogoz	FR 850			4.1	15	2006–2020	
29 DEB	Näfels	GL 436			4.1	6	2015–2020	
30 BENN	Bennwil	BL 540			4.2	8	2013–2020	19
31 BIR1	Birrfeld 1	AG 393			4.2	10	2011–2020	
32 MI01	Misery	FR 607			4.2	13	2008–2020	
33 N14	Domat/Ems	GR 570			4.2	12	2009–2020	
34 FRAU	Kloster Frauental	ZG 395			4.3	14	2007–2020	
35 HBL	Lotzwil	BE 509			4.5	12	2009–2020	
36 INWI	Inwil	ZG 437			4.6	14	2007–2020	20
37 TAE	Tänikon	TG 539			4.7	21	2000–2020	
38 WAEN	Wängi	TG 641			4.8	10	2009–2015, 2018–2020	
39 NEHU	Neuendorf Hurtmatten	SO 435			4.8	10	2011–2020	
40 MAEM	Matzendorf Emet	SO 594			4.9	10	2011–2020	21
41 AIHA	Schlatt-Haslen	AI 768	Ländlich,	5–8	5.0	11	2010–2020	22
42 AIG	Gonten	AI 896	unterhalb 900 m ü. M.		5.0	11	2010–2020	
43 NMS	Malans	GR 529			5.2	12	2009–2020	
44 BSZ	Ziegelbrücke	GL 424			5.2	6	2015–2020	23
45 SSH	Stein	AR 722			5.2	2	2019–2020	
46 KAP	Kappel am Albis	ZH 527			5.3	8	2013–2020	
47 KIT	Kirchberg	SG 740			5.4	2	2019–2020	
48 BRM	Beromünster NABEL	LU 796			5.5	4	2017–2020	24
49 RRI	Rugell	431			5.5	2	2019–2020	
50 SHKI	Neunkirch	SH 420			5.5	8	2013–2020	
51 GEF	Gelfingen	LU 572			5.6	5	2016–2020	
52 SAM2	Suhretal 2	AG 493			5.7	11	2010–2020	25
53 NZI 01	Zzers 1	GR 527			5.7	12	2009–2020	
54 NE 03	Le Landeron	NE 431			5.9	9	2012–2020	
55 NGS	Grüsch Schwellenen	GR 607			6.1	10	2011–2020	
56 WAU 16.4	Wauwil 16	LU 499			6.1	15	2006–2020	26
57 MAU 01	Mauren 1	TG 439			6.3	21	2000–2020	
58 MAG	Magadino-Cadenazzo	TI 204			6.4	21	2000–2020	
59 ZG-02	Niederwil 2	ZG 420			6.5	11	2010–2020	
60 NEU 02	Neudorf 2	LU 735			6.6	15	2006–2020	27
61 EST	Eschen	441			6.7	13	2008–2020	
62 BAV	Balzers	473			6.9	13	2008–2020	
63 NW-02	Stans Galgenried Süd	NW 440			7.0	11	2010–2020	
64 OW-02	Obwalden 2	OW 560			7.0	11	2010–2020	28
65 URI 01	Uri 1	UR 455			7.1	11	2010–2020	
66 FRFE	Frauenfeld	TG 384			7.1	10	2009–2015, 2017–2020	29
67 SCHÜ 00	Schüpfheim 0	LU 735			7.2	21	2000–2020	28
68 NRB	Bitlen	GL 411			7.6	2	2019–2020	
69 HÄG	Hägenschwil	SG 555			7.6	18	2003–2020	29
70 LANG	Langrickenbach	TG 515			7.8	10	2009–2015, 2018–2020	
71 HOL 01	Holderhus 1	LU 590	Ländlich,	> 8	8.2	21	2000–2020	
72 ALB	Altstätten	SG 420	unterhalb 900 m ü. M.		8.7	3	2018–2020	30
73 ESCH 01	Eschikon 1	TG 583			8.8	10	2009–2015, 2018–2020	
74 SIN3	Freiamt 3	AG 519			9.5	11	2010–2020	
75 APS	Steinegg	AI 820			9.6	18	2003–2020	31
76 ESC 08	Eschenbach 8	LU 495			9.9	17	2004–2020	
77 WAU 13	Wauwil 13	LU 501			10.7	17	2004–2020	
78 WEIN	Weinfelden	TG 422			10.8	11	2009–2015, 2017–2020	32
79 WAEL	Wäldi	TG 572			11.5	10	2009–2015, 2018–2020	
80 WIG	Netstal	GL 455	Ländlich, verkehrsbelastet	3–5	3.4	6	2015–2020	33
81 SLI 01	Schaan 1	450		5–8	5.4	9	2012–2020	34
82 NV4	San Vittore	GR 270	Ländlich, an Autobahn	3–5	3.2	12	2009–2020	35
83 SIO	Sion-Aeroport	VS 483			3.9	21	2000–2020	
84 HAE	Härkingen	SO 431	Ländlich, an Autobahn	5–8	5.0	16	2005–2020	36
85 BAS	Basel-Binningen	BL 317	Vorstädtisch	1–3	2.7	21	2000–2020	37
86 LUG	Lugano	TI 281	Städtisch	1–3	2.5	21	2000–2020	38
87 SOAL	Solothurn Altwyberhüsi	SO 453	Städtisch, verkehrsbelastet	1–3	2.4	10	2011–2020	39
88 RAP	Rapperswil	SG 430	Städtisch, verkehrsbelastet	3–5	3.6	17	2004–2020	40
89 WIE	Schimmelstrasse	ZH 415			4.4	12	2008, 2010–2020	

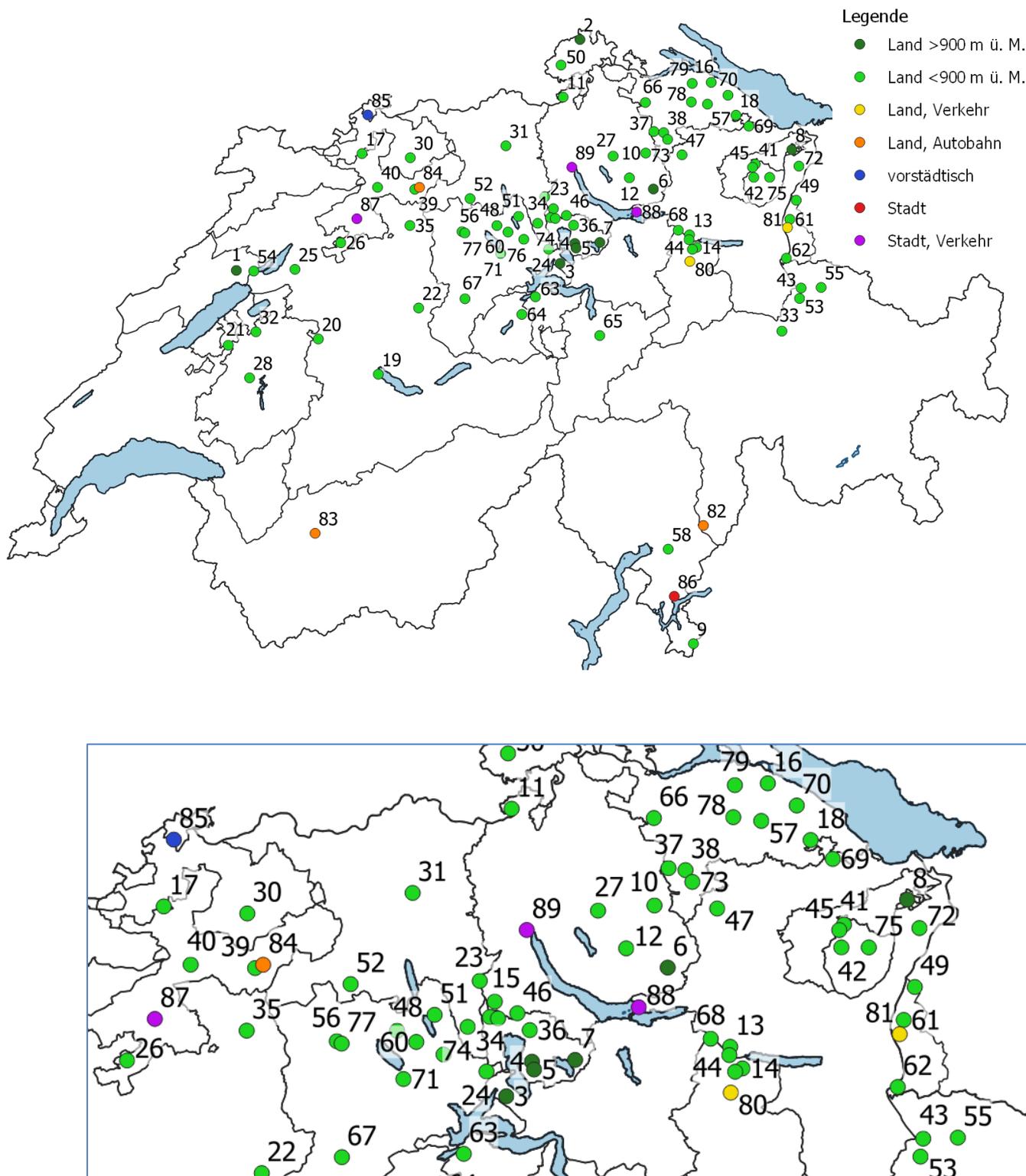


Abb. 1 Messnetz 2020, ganze Schweiz und vergrößerter Ausschnitt des dicht beprobten Mittellandes  
 Die Nummerierung entspricht den Standortnummern in Tabelle 1.  
 Programm: QGIS; Quelle Hintergrundkarte: Bundesamt für Landestopografie swisstopo

## 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:

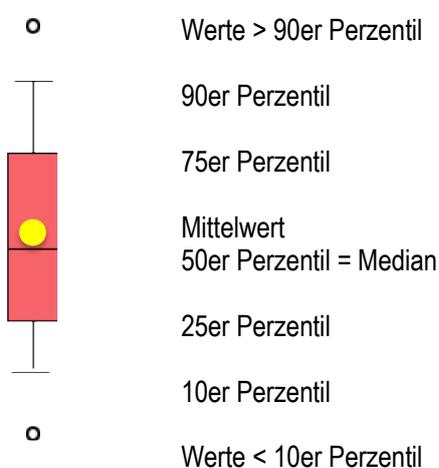
<b>Winter</b>	Dezember des Vorjahrs, Januar, Februar
<b>Frühling</b>	März, April, Mai
<b>Sommer</b>	Juni, Juli, August
<b>Herbst</b>	September, Oktober, November

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, 2008 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. 2021 B) 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	<b>Ländlich</b> , oberhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp <b>1–3</b>	CHA, RIG, ZB 01, BA
2 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp <b>3–5</b>	PAY, TAE
4 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp <b>5–8</b>	MAG, MAU 01, HOL 01, SCHÜ 00
1 Standort	<b>Ländlich</b> , Autobahn	Immissionstyp <b>3–5</b>	SIO
1 Standort	<b>Vorstädtisch</b>	Immissionstyp <b>1–3</b>	BAS
1 Standort	<b>Städtisch</b>	Immissionstyp <b>1–3</b>	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	2020
Anzahl Monatsmittelwerte	156	154	156	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	0.3
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	1.3
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	2.3
<b>Median</b>	<b>3.0</b>	<b>2.8</b>	<b>2.7</b>	<b>3.6</b>	<b>3.2</b>	<b>3.2</b>	<b>3.2</b>	<b>3.0</b>	<b>3.0</b>	<b>3.5</b>	<b>3.3</b>	<b>3.5</b>	<b>3.1</b>	<b>2.9</b>	<b>3.1</b>	<b>3.3</b>	<b>2.8</b>	<b>3.2</b>	<b>3.8</b>	<b>3.8</b>	<b>3.6</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>3.3</b>	<b>3.0</b>	<b>3.1</b>	<b>4.0</b>	<b>3.5</b>	<b>3.4</b>	<b>3.6</b>	<b>3.5</b>	<b>3.3</b>	<b>3.7</b>	<b>3.5</b>	<b>4.1</b>	<b>3.5</b>	<b>3.2</b>	<b>3.4</b>	<b>3.8</b>	<b>3.4</b>	<b>3.6</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>	<b>4.3</b>
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	5.5
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	7.8
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	17.8

In Tabelle 3 und Abbildung 2 sind die Perzentile und Mittelwerte der Monatsmittelwerte zusammengefasst. In den Jahren 2018, 2020 (wärmste Jahre seit Messbeginn) und 2019 (sechstwärmstes Jahr, drittwärmster Sommer) wurden die höchsten Werte gemessen. Ebenfalls hoch sind die Perzentile in den Jahren 2011 (viertwärmstes Jahr seit Messbeginn) und 2003 (wärmster Sommer). Die Messwerte der Jahre 2000 bis 2002 sowie 2013 sind eher tief (MeteoSchweiz 2021).

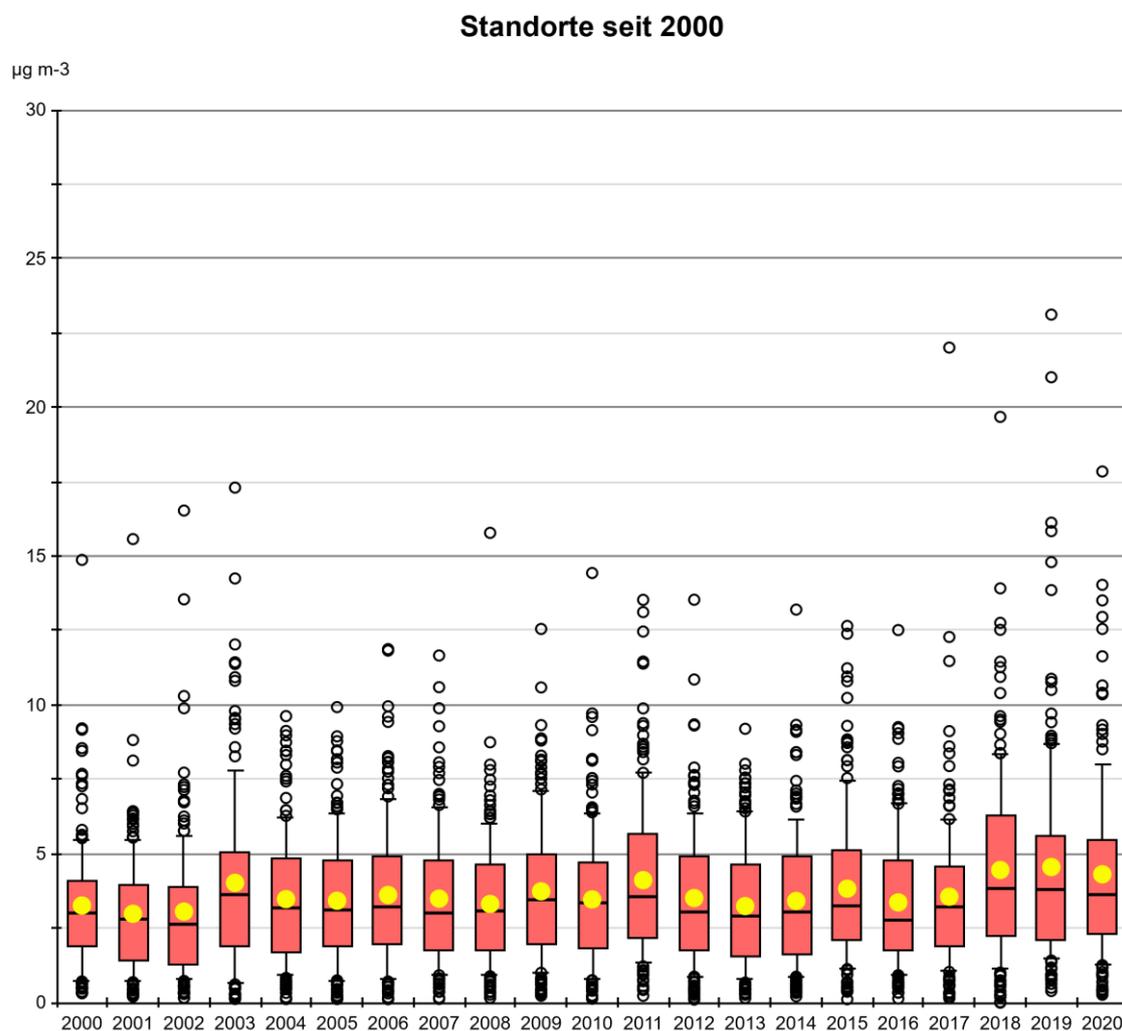


Abb. 2      **Monatliche Konzentrationen der Standorte seit 2000, Boxplots**  
*Die Ammoniak-Konzentrationen der 13 Standorte, an denen seit Messbeginn während 21 Jahren durchgehend gemessen wurde. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.*

Abbildung 3 zeigt die Jahresmittelwerte der einzelnen Standorte, an denen seit 2000 jedes Jahr gemessen wurde. Bei vielen Verläufen fallen 2003, 2011 und 2018 bis 2020 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.

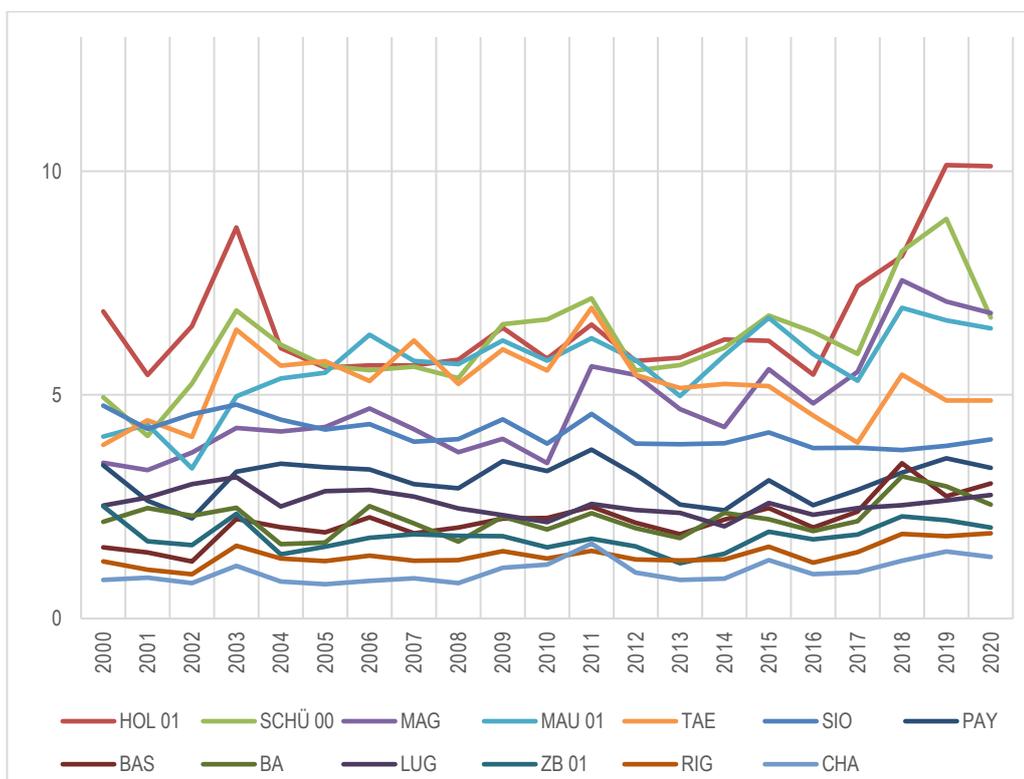


Abb. 3 Standorte seit 2000, Jahresmittelwerte im Verlauf  
 Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen aller 13 Standorte an denen seit 2000 gemessen wird. Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$

#### 4.1.2 Messungen an 21 Standorten seit 2004

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

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

4 Standorte	<b>Ländlich</b> , oberhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1–3	CHA, RIG, ZB 01, BA
2 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1–3	SCH, HUD 03
3 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 3–5	PAY, RO, TAE
4 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 5–8	MAU 01, MAG, SCHÜ 00, HÄG
4 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp > 8	HOL 01, APS, ESC 08, WAU 13
1 Standort	<b>Ländlich</b> , Autobahn	Immissionstyp 3–5	SIO
1 Standort	<b>Vorstädtisch</b>	Immissionstyp 1–3	BAS
1 Standort	<b>Städtisch</b>	Immissionstyp 1–3	LUG
1 Standort	<b>Städtisch</b> , 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 17 Jahren gemessen wurde, sind als Boxplots dargestellt (Abb. 4). Die Jahresmittel der Jahre 2011 und 2018 bis 2020 zeigen die höchsten Werte.

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

Jahr	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Anzahl Monatsmittelwerte	252	252	252	252	252	252	251	252	252	252	252	252	252	251	252	252	251
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	0.3
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	1.6
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	2.5
<b>Median</b>	<b>3.8</b>	<b>3.6</b>	<b>3.5</b>	<b>3.3</b>	<b>3.3</b>	<b>3.9</b>	<b>3.7</b>	<b>3.9</b>	<b>3.5</b>	<b>3.2</b>	<b>3.4</b>	<b>3.6</b>	<b>3.1</b>	<b>3.6</b>	<b>4.4</b>	<b>4.1</b>	<b>4.0</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>4.3</b>	<b>4.3</b>	<b>4.7</b>	<b>4.2</b>	<b>4.1</b>	<b>4.5</b>	<b>4.2</b>	<b>4.9</b>	<b>4.2</b>	<b>3.8</b>	<b>4.1</b>	<b>4.6</b>	<b>4.1</b>	<b>4.4</b>	<b>5.4</b>	<b>5.3</b>	<b>5.2</b>
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	6.7
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	10.4
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	27.4

Standorte seit 2004

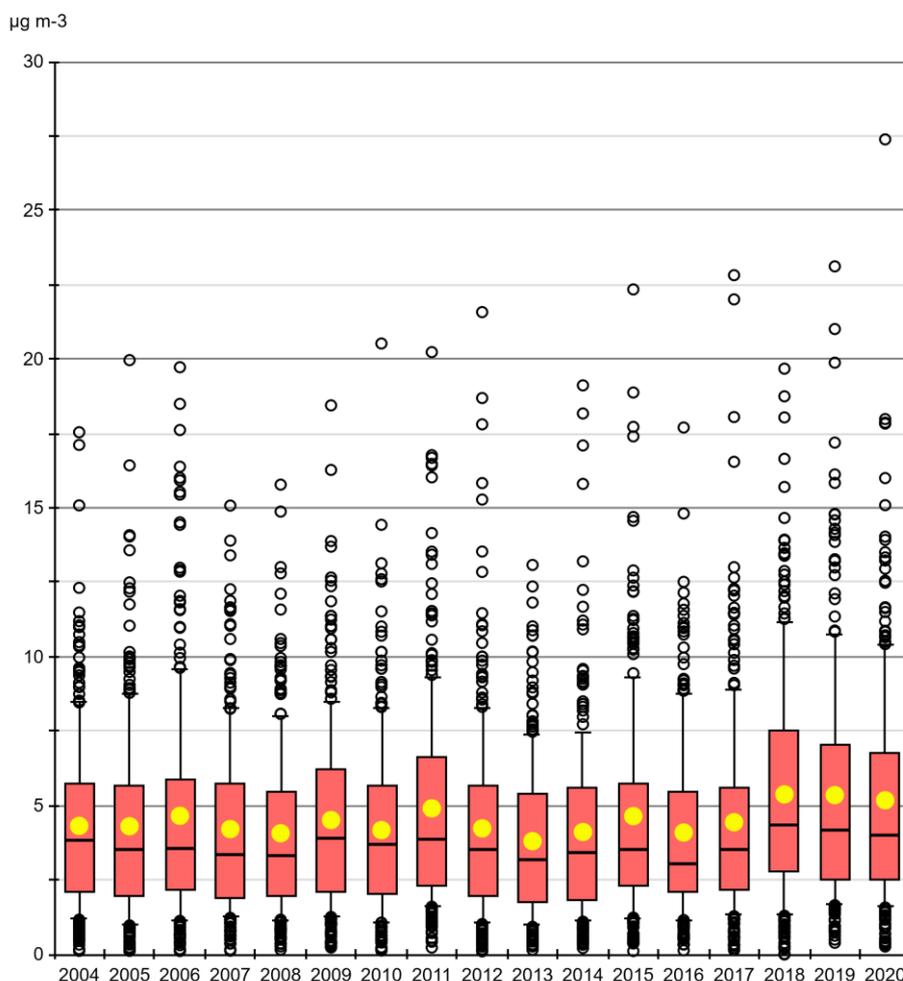


Abb. 4 Monatliche Konzentrationen der Standorte mindestens seit 2004, Boxplots  
 Die Ammoniak-Konzentrationen der 21 Standorte, an denen während 17 Jahren gemessen wurde. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

Abbildung 5 zeigt die Jahresmittelwerte der einzelnen Standorte, an denen mindestens 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.

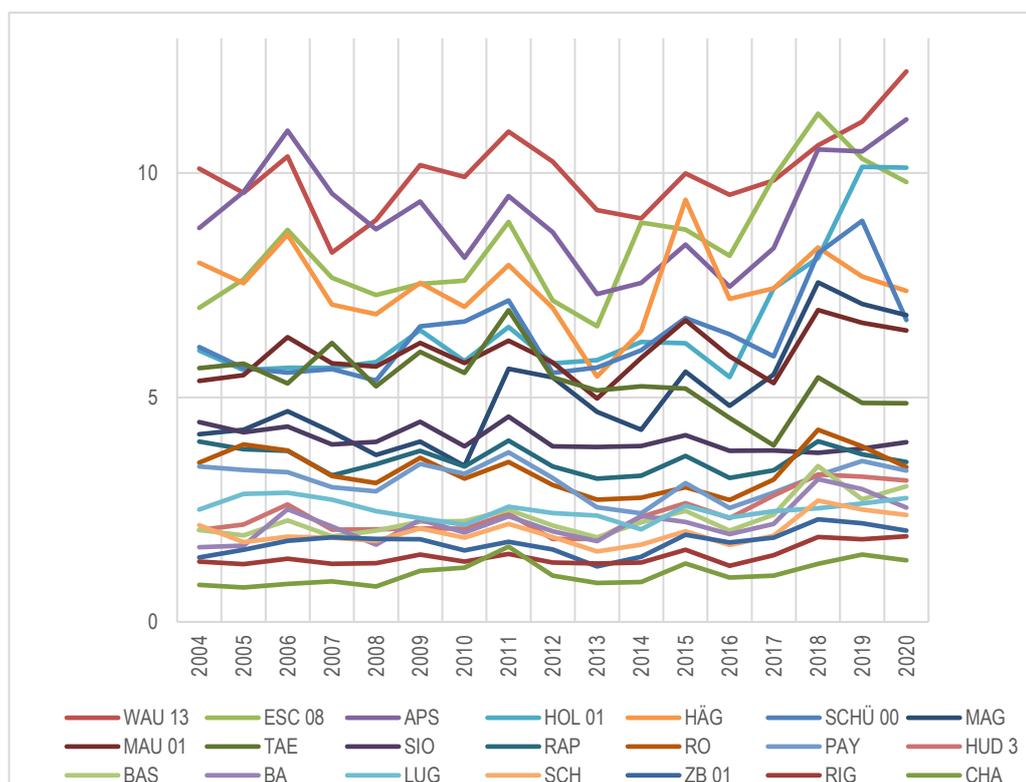


Abb. 5 Standorte mindestens seit 2004, Jahresmittelwerte im Verlauf  
 Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen aller 21 Standorte an denen seit 2004 gemessen wird. Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$

### 4.1.3 Messungen an 32 Standorten seit 2008

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

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

6 Standorte	<b>Ländlich</b> , oberhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 – 3	CHA, RIG, ZB 01, FRÜE, BA, ZIGE
2 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 1 – 3	SCH, HUD 03
7 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 3 – 5	PAY, RO, VU01, MI01, FRAU, INWI, TAE
8 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp 5 – 8	WAU16.4, MAU 01, MAG, NEU02, EST, BAV, SCHÜ 00, HÄG,
4 Standorte	<b>Ländlich</b> , unterhalb 900 m ü. M.	Immissionstyp > 8	HOL 01, APS, ESC 08, WAU 13
1 Standort	<b>Ländlich</b> , Autobahn	Immissionstyp 3 – 5	SIO
1 Standort	<b>Ländlich</b> , Autobahn	Immissionstyp 5 – 8	HAE
1 Standort	<b>Vorstädtisch</b>	Immissionstyp 1 – 3	BAS
1 Standort	<b>Städtisch</b>	Immissionstyp 1 – 3	LUG
1 Standort	<b>Städtisch</b> , 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 mindestens 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	2020
Anzahl Monatsmittelwerte	384	384	383	384	381	382	383	384	384	383	384	384	382
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	0.3
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	1.8
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	2.8
<b>Median</b>	<b>3.5</b>	<b>4.1</b>	<b>3.8</b>	<b>4.2</b>	<b>3.6</b>	<b>3.4</b>	<b>3.6</b>	<b>3.9</b>	<b>3.5</b>	<b>3.8</b>	<b>4.5</b>	<b>4.5</b>	<b>4.4</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>4.0</b>	<b>4.4</b>	<b>4.2</b>	<b>4.9</b>	<b>4.2</b>	<b>3.9</b>	<b>4.1</b>	<b>4.6</b>	<b>4.1</b>	<b>4.4</b>	<b>5.4</b>	<b>5.4</b>	<b>5.1</b>
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	6.5
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	9.5
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	27.4

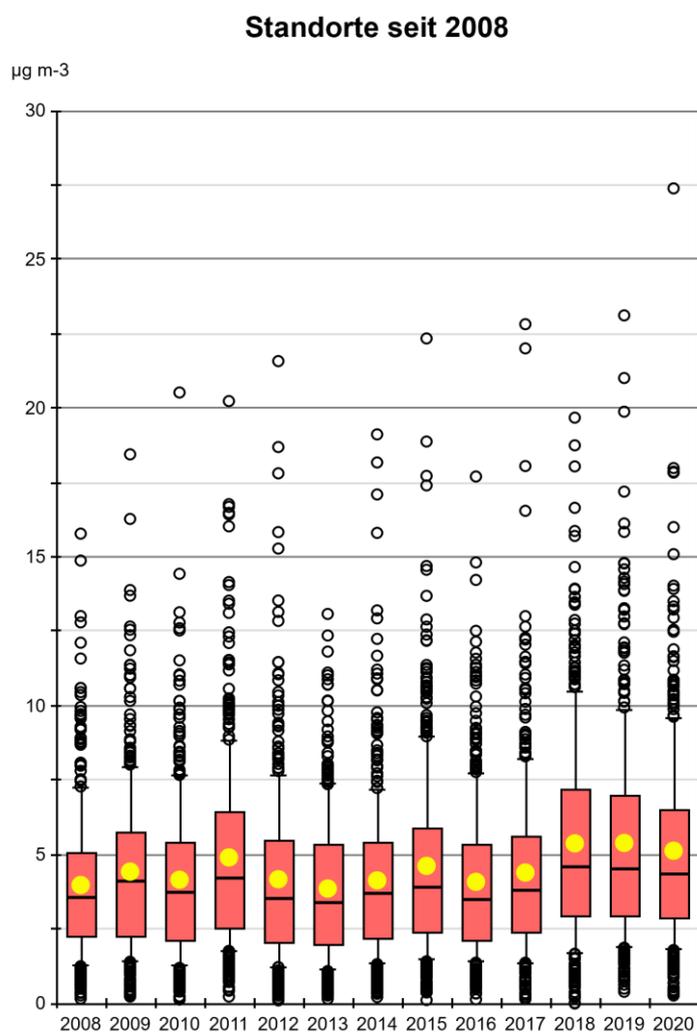


Abb. 6 Monatliche Konzentrationen der Standorte mindestens seit 2008, Boxplots  
 Die Ammoniak-Konzentrationen der 32 Standorte, an denen seit Messbeginn während 13 Jahren durchgehend gemessen wurde. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

In Tabelle 7 sind die Perzentile und Mittelwerte der Monatsmittelwerte zusammengefasst.

Die Monatsmittelwerte der 32 Standorte, an denen mindestens seit 2008 gemessen wurde, sind als Boxplots dargestellt (Abb.6). Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Jahresmittelwerte dieser Standorte. Wiederum fallen die Jahre 2011 und 2018 bis 2020 auf.

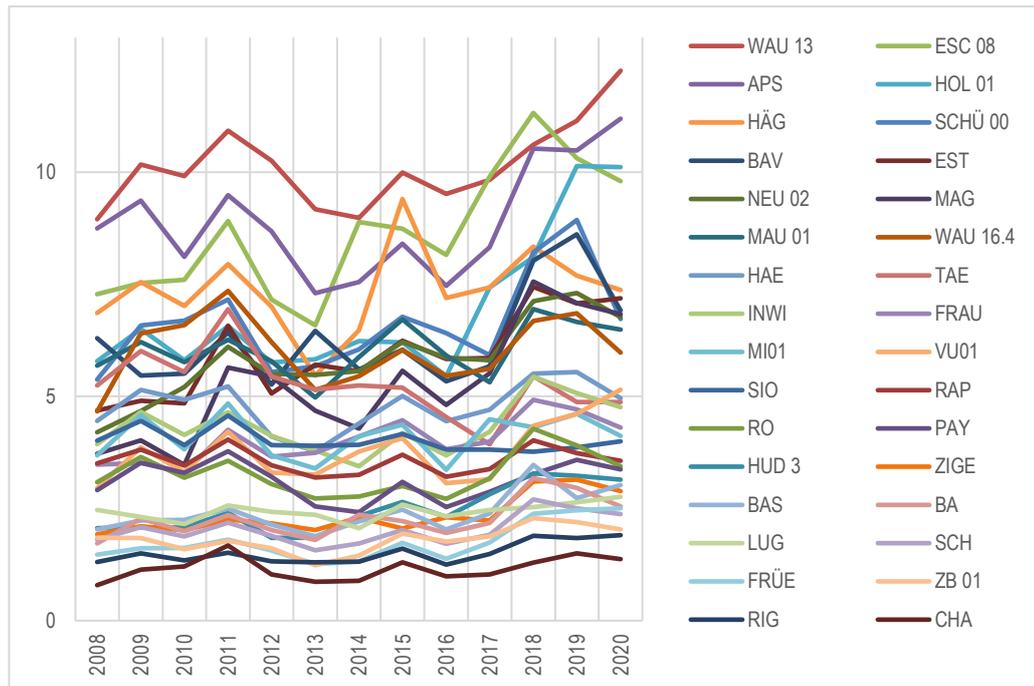


Abb. 7 Standorte seit 2008, Jahresmittelwerte im Verlauf  
 Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen aller 32 Standorte an denen seit 2008 gemessen wird. Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$

#### 4.1.4 Messungen an 63 Standorten seit 2013

An 63 Standorten wird mindestens seit 2013 durchgehend gemessen (Tabelle 8).

Tab. 8 Standorte mindestens seit 2013, Standortcharakteristik  
Die Perzentile und Mittelwerte der Ammoniak-Konzentrationen (in  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) aller 63 Standorte an denen mindestens seit 2013 gemessen wird. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

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

In Tabelle 9 und Abbildung 9 sind die Perzentile und Mittelwerte der Monatsmittelwerte zusammengefasst. Abbildung 8 zeigt den Verlauf der Jahresmittelwerte dieser 63 Standorte, sie sind nach Landesteilen geordnet.

Tab. 9 Standorte mindestens seit 2013, Perzentile und Mittelwerte  
Die Perzentile und Mittelwerte der Ammoniak-Konzentrationen (in  $\mu\text{g m}^{-3}$ ) aller 63 Standorte an denen mindestens seit 2013 gemessen wird. Datengrundlage sind Monatsmittelwerte.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Anzahl Monatsmittelwerte	753	755	753	756	754	755	752	751
kleinster Monatsmittelwert	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.4	0.3
10er Perzentil	1.4	1.5	1.6	1.6	1.6	2.0	2.1	2.1
25er Perzentil	2.3	2.4	2.6	2.4	2.6	3.1	3.2	3.0
<b>Median</b>	<b>3.5</b>	<b>3.6</b>	<b>3.9</b>	<b>3.7</b>	<b>4.0</b>	<b>4.9</b>	<b>4.7</b>	<b>4.4</b>
<b>Mittelwert</b>	<b>3.9</b>	<b>4.2</b>	<b>4.6</b>	<b>4.1</b>	<b>4.4</b>	<b>5.4</b>	<b>5.3</b>	<b>5.1</b>
75er Perzentil	5.1	5.4	5.8	5.3	5.6	7.0	6.4	6.3
90er Perzentil	7.2	7.0	8.4	7.2	7.6	9.3	9.1	9.1
grösster Monatsmittelwert	13.1	31.4	22.3	17.7	22.8	19.7	27.4	18.0

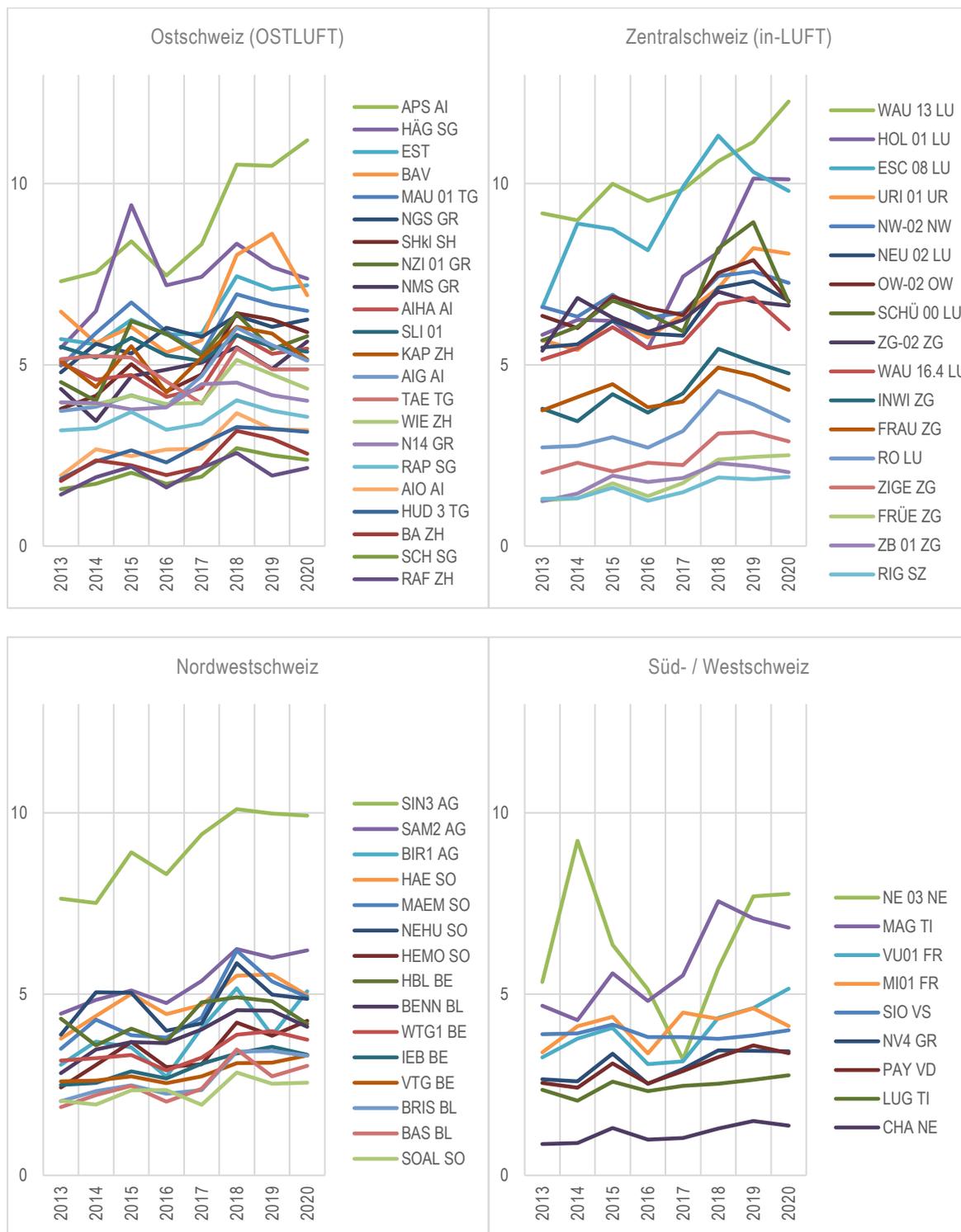


Abb. 8 Standorte seit 2013, Jahresmittelwerte im Verlauf  
 Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen aller 63 Standorte an denen seit 2013 gemessen wird, aufgeteilt nach geografischen Regionen. Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$

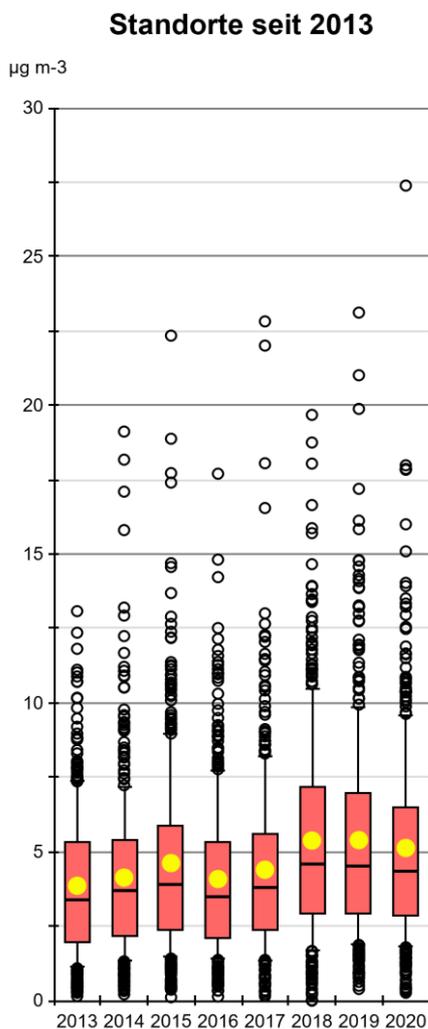


Abb. 9 Standorte mindestens seit 2013, monatliche Konzentrationen als Boxplots  
Die Ammoniak-Konzentrationen der 63 Standorte, bei denen während 8 Jahren gemessen wurde. Die jährlichen Boxplots fassen die Monatsmittelwerte zusammen.<sup>3</sup>

## 4.2 Vergleich mit Critical Levels

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

- $\text{NH}_3$ -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
- $\text{NH}_3$ -Konzentration von  $3 \mu\text{g m}^{-3}$  für höhere Pflanzen. Auf Grund der Schätz-Unsicherheit wird jedoch ein Bereich von  $2\text{--}4 \mu\text{g m}^{-3}$  angegeben.

Sechs Standorte des Messnetzes befinden sich nahe bei Hochmooren (Tabelle 10). Mit Mehrjahresmittelwerten von  $2.1$  bis  $5.0 \mu\text{g m}^{-3}$  wird an allen Standorten der Critical Level für Ammoniak für dieses empfindliche Ökosystem deutlich überschritten. An Flachmooren liegt

die gemessene Ammoniakkonzentration bei vier Standorten im Unsicherheitsbereich des Critical Levels für höhere Pflanzen, bei den anderen fünf Standorten deutlich über diesem Bereich. Von acht walddahen Standorten (innerhalb 40 m vom Waldrand) bleiben zwei Standorte unter dem Critical Level für höhere Pflanzen, vier Standorte erreichen den Unsicherheitsbereich des Critical Levels für höhere Pflanzen von 2–4 µg m<sup>-3</sup>, an zwei Standorten wird der Critical Level deutlich überschritten. Grosse Teile der landwirtschaftlichen Flächen in der Schweiz grenzen an empfindliche Ökosysteme, vor allem an Wald.

Tab. 10 Ammoniak-Konzentrationen bei empfindlichen Ökosystemen  
 Mehrjahresmittelwerte 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. Abstände der Messstellen zu den Ökosystemen und Landwirtschaftsbetrieben sind angegeben.

Nr. (Karte Abb.1)	Code	Standort Name	Kt/ Land	NH <sub>3</sub> -Konzentration		Abstand zu			LW- direkte Umgebung betrieb m
				Mittelwert 2016* - 2020 µg m <sup>-3</sup>	Critical Level µg m <sup>-3</sup>	Hochmoor m	Flachmoor m	Wald m	
<b>Hochmoor HM</b>									
15	AEG	Knonau	ZH	2.3		0	0	50	180 Hochmoor
20	GMO	Gänsemoos	BE	3.0		0		0	214 Hochmoor
5	FRÜE	Früebüel	ZG	2.1	1	50		80	Wiesen, Hoch- & Flachmoorrand
4	ZB 01	Zugerberg 1	ZG	2.0		80		50	Weide, Hochmoorrand
42	AIG	Gonten	AI	5.0		90	0		100 Hoch- und Flachmoor, Golfplatz
12	ROB	Wetzikon Robenuserriet	ZH	2.1		100	0		Flachmoor, Hochmoor, Siedlung
<b>Flachmoor FM</b>									
16	LEN 1	Lengwiler Weiher 1	TG	2.3			0	20	ländlich, Naturschutzgebiet
19	VTG	Gwatt	BE	3.0			0		Flachmoor, auf Turm im Schilf, Seeufer
23	OBI	Ottenbach	ZH	3.4	2 - 4		0		Flachmoor, Fluss
47	KIT	Kirchberg	SG	5.4			0	330	Flachmoor
49	RRI	Rugell	FL	5.5			0		Flachmoor
7	ZIGE	Zigerhütli	ZG	2.7			5	190	Flachmoor, Naturschutzgebiet
56	WAU 16	Wauwil 16	LU	6.1			10		Flachmoor, extensives Wiesland
68	NRB	Bitten	GL	7.6			20		Wiesen, Flachmoor, ARA
72	ALB	Altstätten	SG	8.7			60		Flachmoor, Wiesen, Äcker
<b>Waldrand</b>									
18	HUD 3	Hudelmoos 3	TG	3.0				0	Wald, Wiesen, Acker
9	SARE	Sagno Reservoir	TI	1.6				7	Trinkwasserfassung, Waldlichtung
2	RAN	Merishausen	SH	1.5				10	Waldlichtung, Magerwiesen, Hagenturm
10	TAB	Turbenthal	ZH	2.0	2 - 4			15	Mischwald, Trockenwiese
51	GEF	Gelfingen	LU	5.6				18	Wiesen, Wald
13	SCH	Schänis	SG	2.2				25	Waldlichtung, Weide
71	HOL 01	Holderhus 1	LU	8.2				30	85 Obstkultur, Wiese, Wald, Graswirtschaft
14	WBM	Mollis	GL	2.3				35	Weiden, Wald

\* wo vorhanden

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.

### 4.3 Vergleich mit Emissionsentwicklung

Die Schweiz rapportiert jährliche Emissionszahlen von u.a. PM2.5, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC und NH<sub>3</sub> im Rahmen der Genfer Luftreinhaltekonvention und als Mitglied der Europäischen Umweltagentur (EUA). Die Luftverunreinigungen werden gemäss dem Guidebook zur Emissionsberichterstattung von EMEP und EUA rapportiert (FOEN 2021)<sup>4</sup>. 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).

Tab. 11 NH<sub>3</sub>-Emissionen der Schweiz zwischen 2000 und 2019  
Für die Quellengruppe Landwirtschaft und die Summe aller Quellengruppen (FOEN 2021)  
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	2019
Landwirtschaft	kt NH <sub>3</sub>	53.4	53.4	52.4	51.7	51.7	52.8	53.5	54.4	54.6	53.6	54.0	53.1	52.6	52.0	52.5	51.8	51.7	51.6	51.1	50.3
total	kt NH <sub>3</sub>	60.5	60.4	59.2	58.2	58.0	58.8	59.2	60.0	59.9	58.7	58.8	57.7	57.0	56.1	56.4	55.5	55.3	55.2	54.6	53.7
Anteil Landwirtschaft	%	88.3	88.4	88.5	88.8	89.1	89.8	90.4	90.7	91.2	91.3	91.8	92.0	92.3	92.7	93.1	93.3	93.5	93.5	93.6	93.7

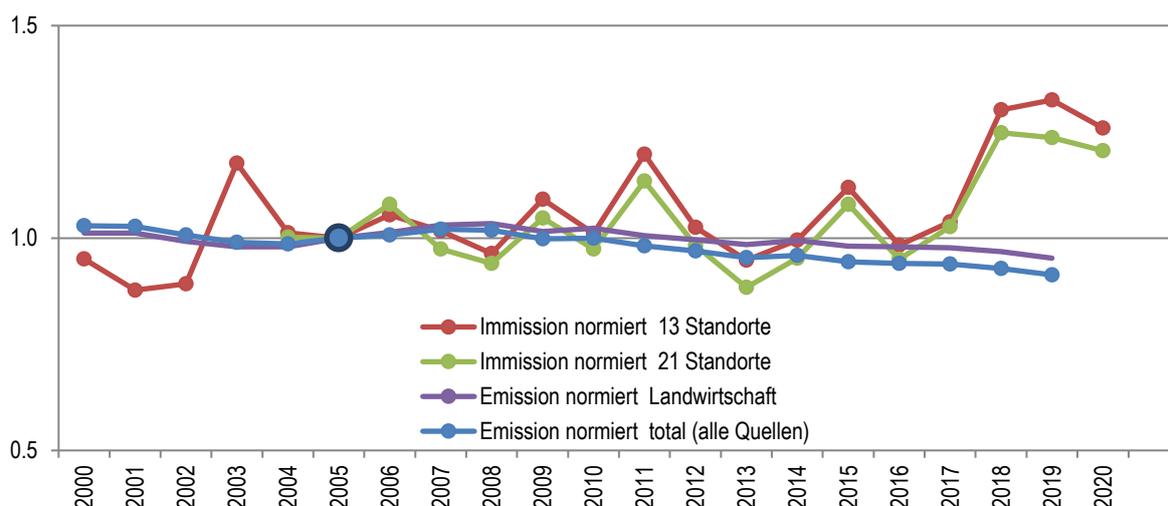


Abb. 10 Vergleich der Entwicklung von Emissionen und Immissionen, alle normiert auf das Jahr 2005.  
Die Emissionen (Summe aller Quellengruppen sowie Quelle Landwirtschaft) und die Mittelwerte der Immissionen der 13 bzw. 21 Standorte wurden auf das Bezugsjahr 2005 normiert.

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. 10).

<sup>4</sup> "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>

Die landwirtschaftlichen Ammoniakemissionen haben zwischen 2000 und 2019 um 6 %, die gesamten schweizerischen NH<sub>3</sub>-Emissionen 11 % abgenommen. Bei den Immissionen ist ein steigender 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 (viertwärmstes Jahr), 2015 (drittwärmstes Jahr), 2018 (wärmstes Jahr) und 2019 (sechswärmstes Jahr, drittwärmster Sommer) und 2020 (zweitwärmstes Jahr) (MeteoSchweiz 2021) erhöht. Bei den Emissionsberechnungen wird die Witterung eines spezifischen Jahres nicht berücksichtigt.

#### 4.4 Berechnung von Konzentrationskarten

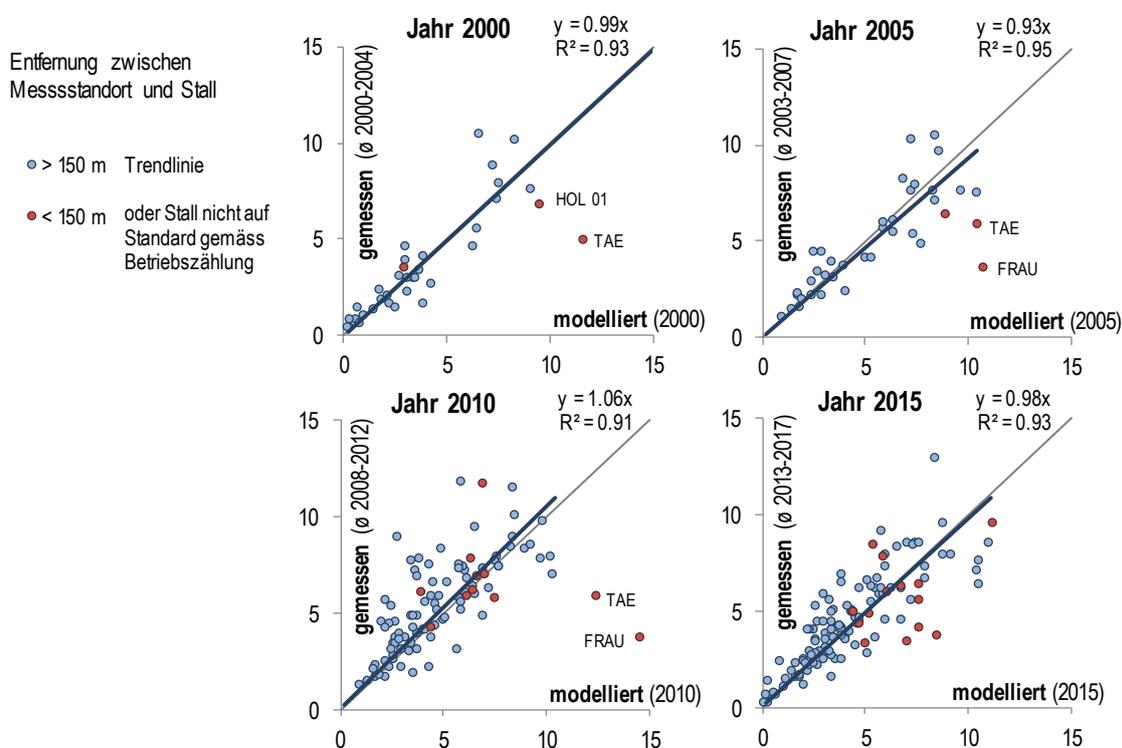


Abb. 11 Vergleich modellierter mit gemessenen NH<sub>3</sub>-Konzentrationen, Jahre 2000 resp. 2000–2004, 2005 resp. 2003–2007, 2010 resp. 2008–2012 und 2015 resp. 2013–2017  
Die Trendlinien beziehen sich nur auf Standorte > 150 m entfernt von landwirtschaftlichen Betrieben (blaue Punkte).  
Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$

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 Ausbreitungsmodelles 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 11 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. 11, 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.

## 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 2020 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<sub>3</sub>-Konzentration 1–3 µg m<sup>-3</sup>**

Abbildungen 12 und 13 zeigen die 7 höher gelegenen Standorte in Wiesen- und Weidegebieten mit Jahresmittelwerten zwischen 1 und 3 µg m<sup>-3</sup>.

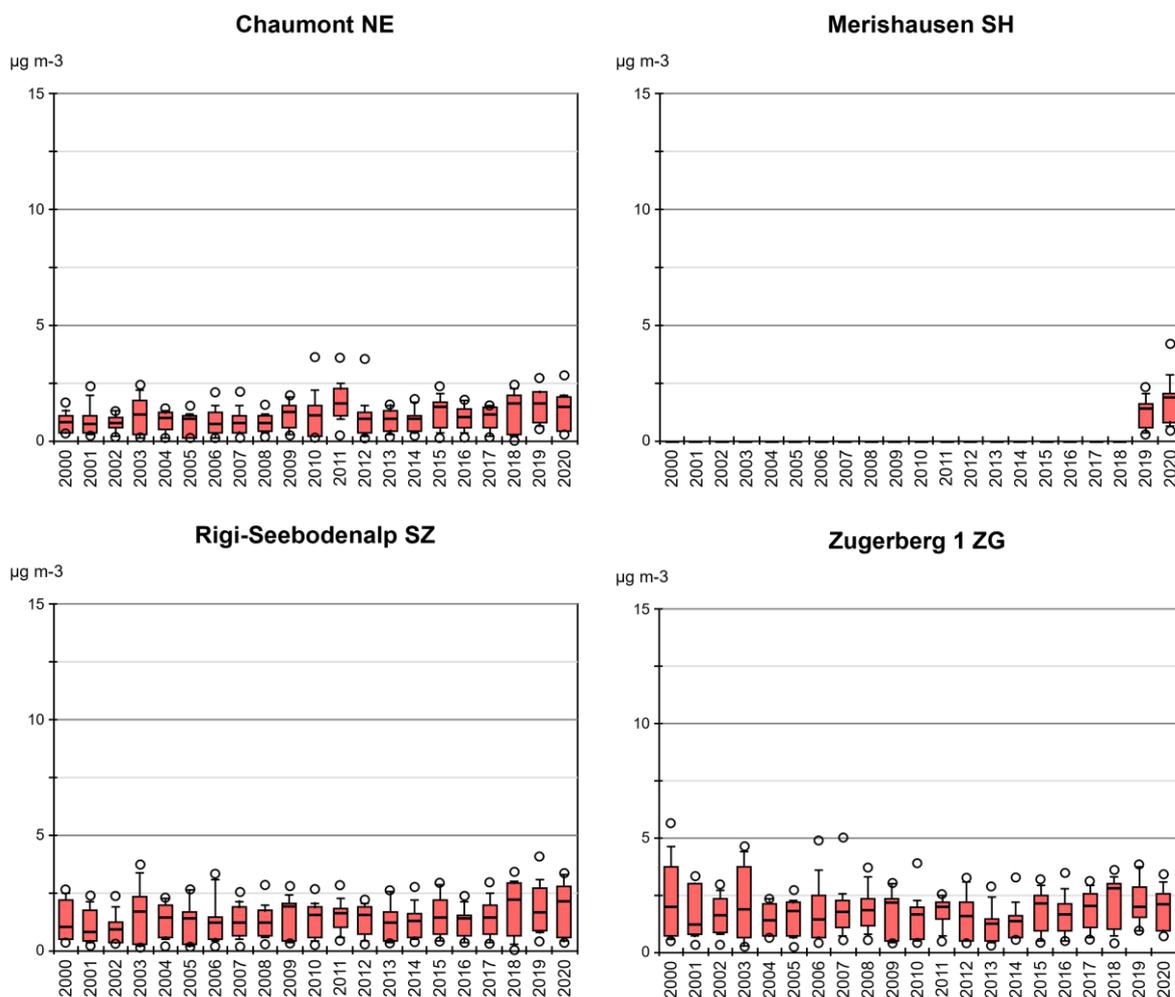


Abb. 12 Ammoniakkonzentration von CHA, RAN, RIG, ZB 01 Monatsmittelwerte von Chaumont (NE), Merishausen (SH), Rigi-Seebodenalp (SZ), Zugerberg 1 (ZG) als Boxplots dargestellt.

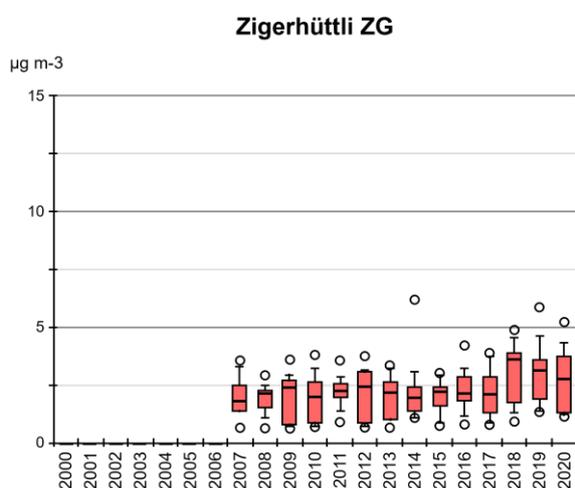
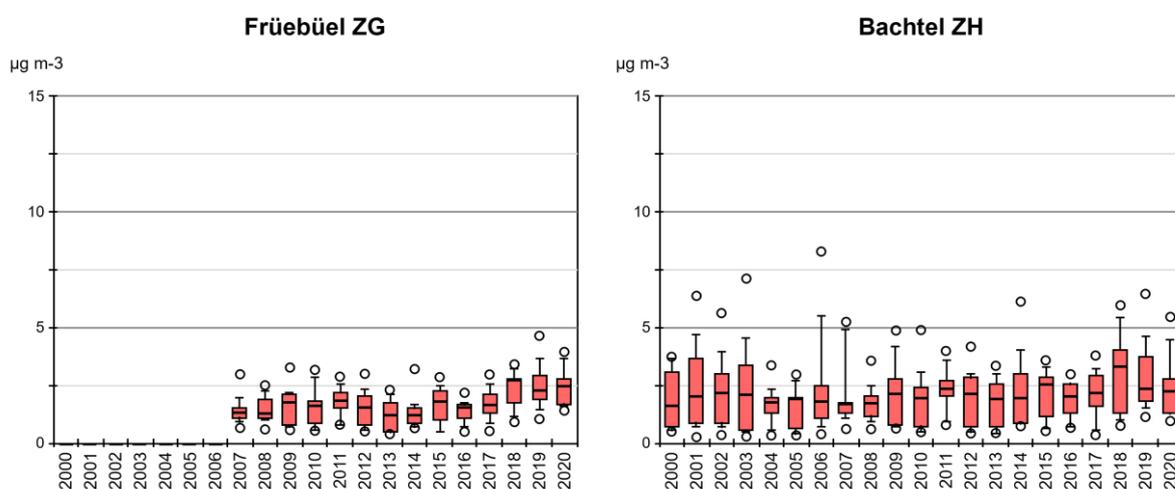


Abb. 13 Ammoniakkonzentration von FRÜE, BA, ZIGE, AIO Monatsmittelwerte von Frübüel (ZG), Bachtel (ZH), Zigerhüttli (ZG), Oberegg (AI) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, oberhalb 900 m ü. M.; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 3–5 µg m<sup>-3</sup>**

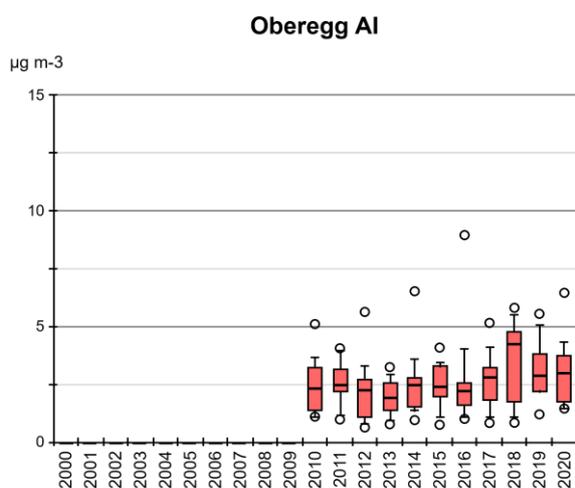


Abbildung 14 zeigt einen höher gelegenen Standort mit Jahresmittelwerten zwischen 3 und 5 µg m<sup>-3</sup>.

Abb. 14 Ammoniakkonzentration von AIO Monatsmittelwerte von Oberegg (AI) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, unterhalb 900 m ü. M.; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 1–3 µg m<sup>-3</sup>**

Abbildungen 15 bis 17 zeigen die 11 ländlich gelegenen Standorte unterhalb 900 m ü. M. mit niedrigen Immissionen.

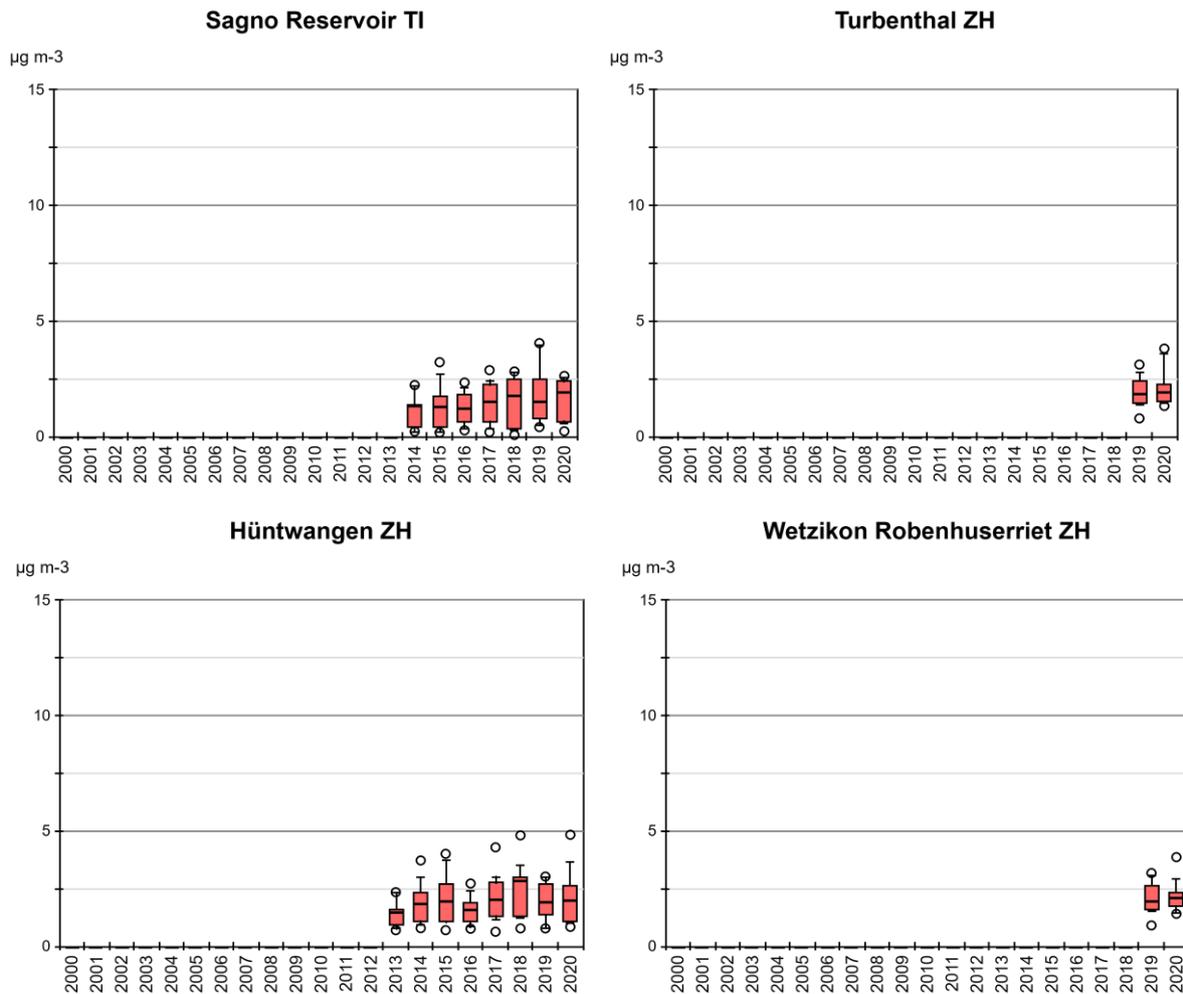


Abb. 15 Ammoniakkonzentration von SARE, TAB, RAF, ROB Monatsmittelwerte von Sagno Reservoir (TI), Turbenthal (ZH), Hüntwangen (ZH), Wetzikon Robenuserriet (ZH) als Boxplots dargestellt.

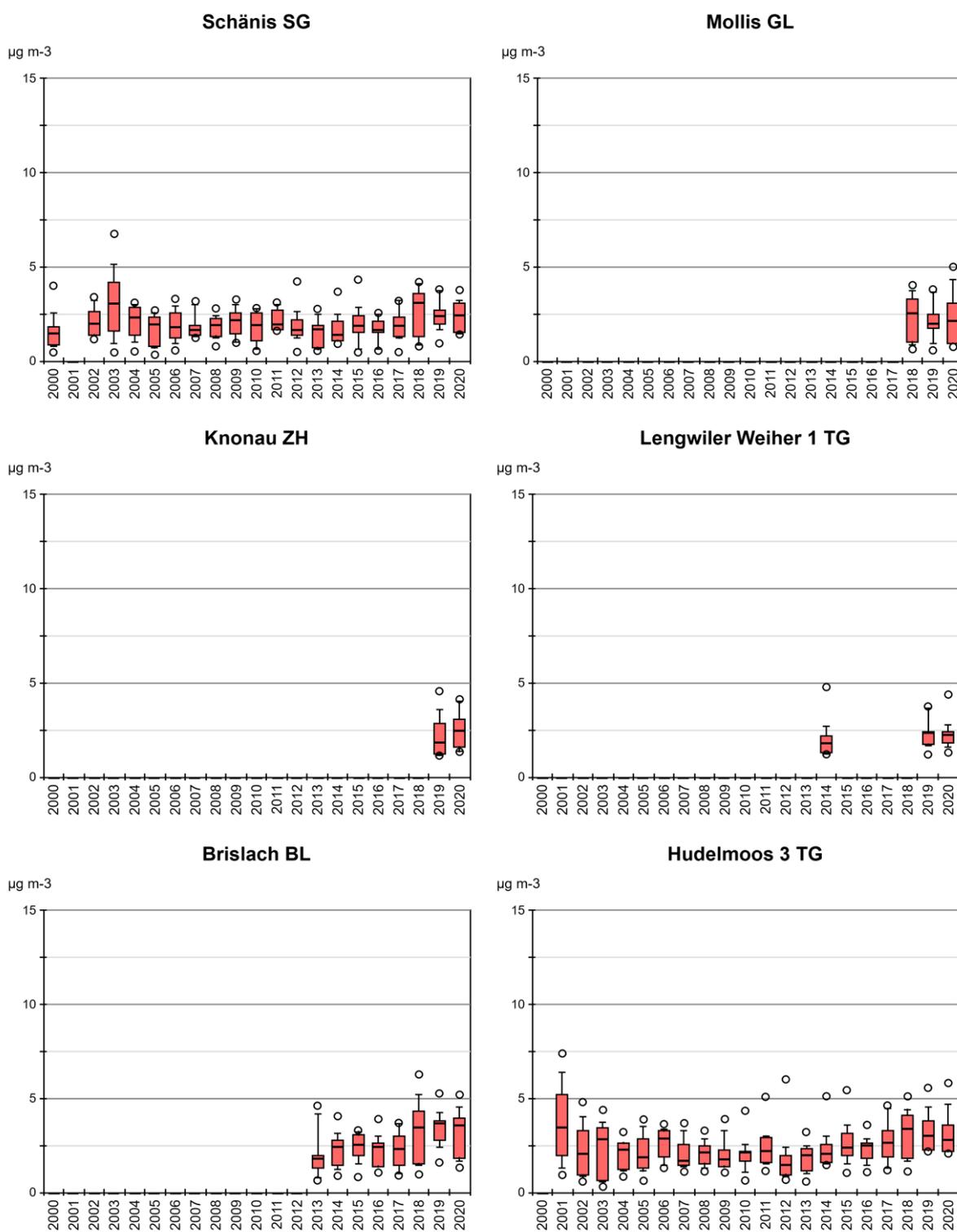


Abb. 16 Ammoniakkonzentration von SCH, WBM, AEG, LEN 1, BRIS, HUD 3  
 Monatsmittelwerte von Schänis (SG), Mollis (GL), Knonau (ZH), Lengwiler Weiher 1 (TG), Brislach (BL), Hudelmoos 3 (TG)  
 als Boxplots dargestellt.

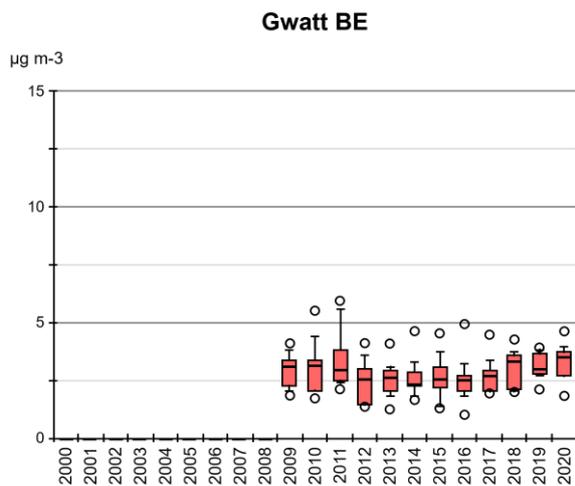


Abb.17 Ammoniakkonzentration von VTG  
Monatsmittelwerte von Gwatt (BE) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, unterhalb 900 m ü. M.; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 3–5 µg m<sup>-3</sup>**

Abbildungen 18 bis 22 zeigen die 21 unter 900 m gelegenen ländlichen Standorte mit einem Jahresmittelwert im Bereich von 3 bis 5 µg m<sup>-3</sup>.

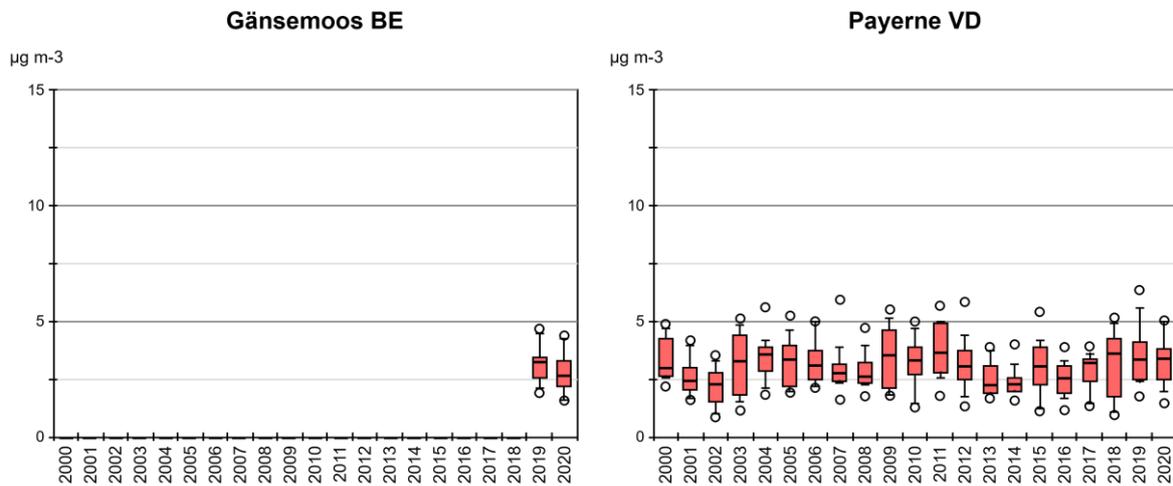


Abb.18 Ammoniakkonzentration von GMO und PAY  
Monatsmittelwerte von Gänsemoos (BE), Payerne (VD) als Boxplots dargestellt.

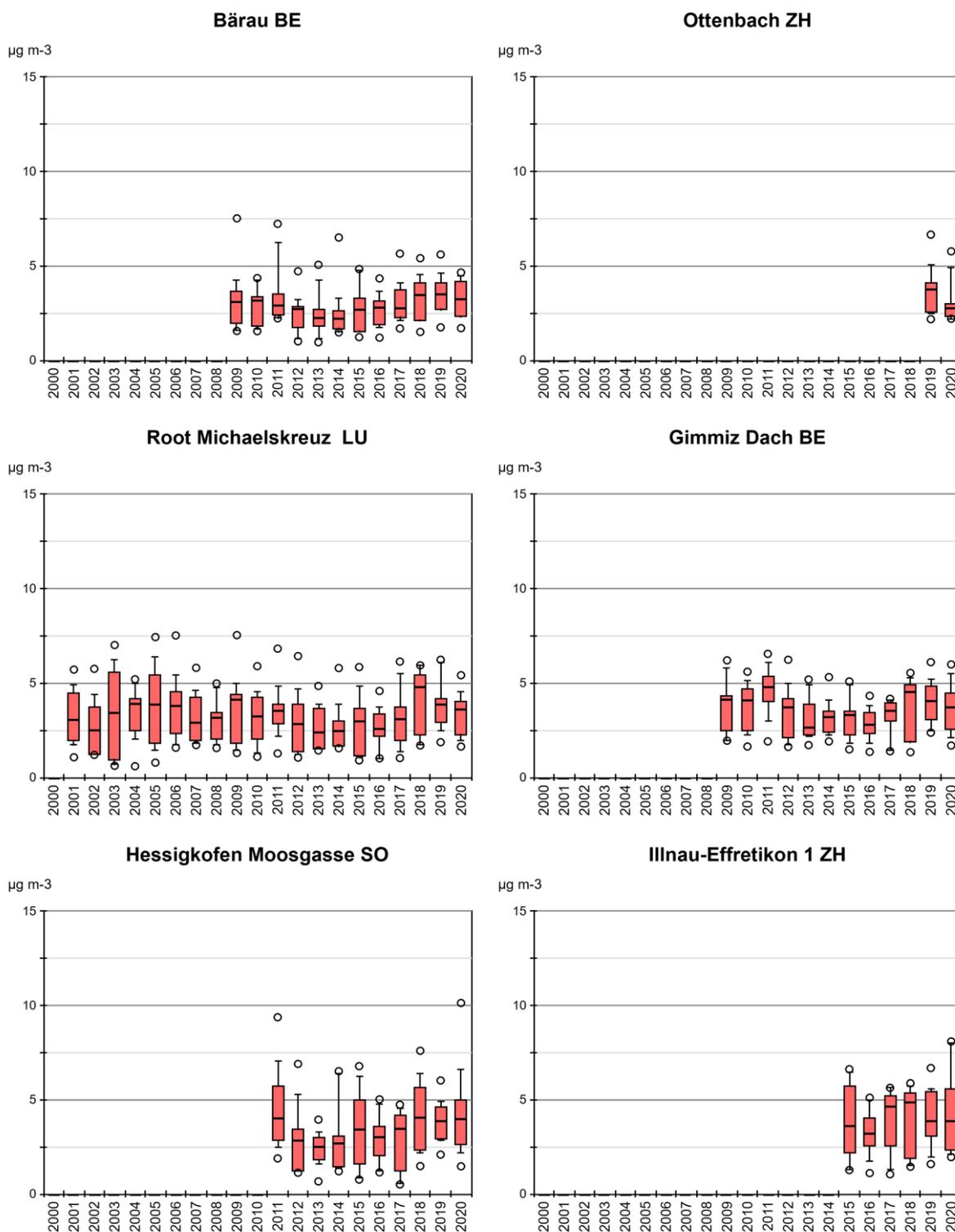


Abb. 19 Ammoniakkonzentration von IEB, OBI, RO, WTG1, HEMO, ILN 01 Monatsmittelwerte von Bärau (BE), Ottenbach (ZH), Root Michaelskreuz (LU), Gimmiz Dach (BE), Hessigkofen Moosgasse (SO), Illnau-Effretikon 1 (ZH) als Boxplots dargestellt.

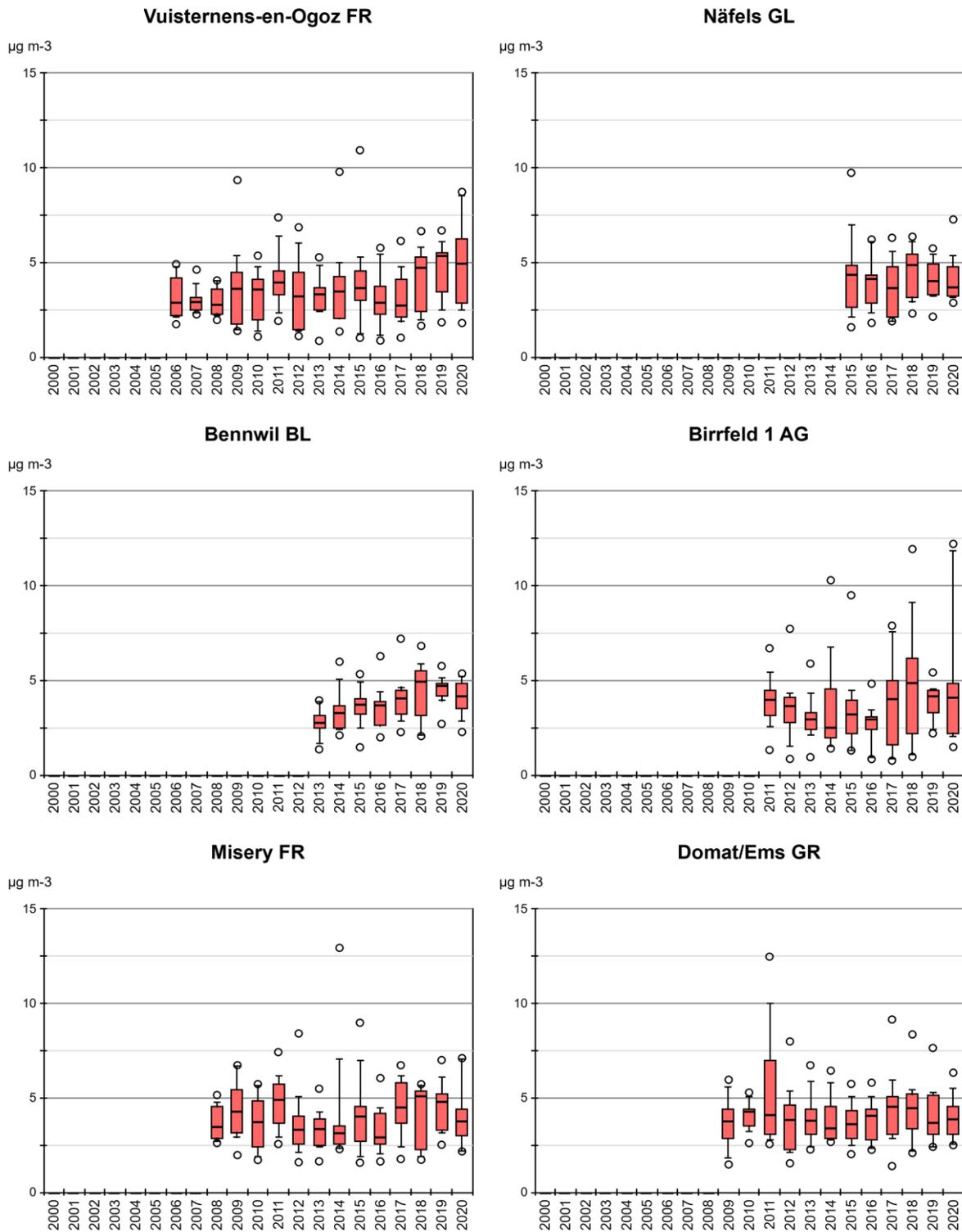


Abb. 20 Ammoniakkonzentration von VU01, DEB, BENN, BIR1, MI01, N14  
 Monatsmittelwerte von Vuisternens-en-Ogoz (FR), Näfels (GL), Bennwil (BL), Birrfeld 1 (AG), Misery (FR), Domat/Ems (GR) als Boxplots dargestellt.

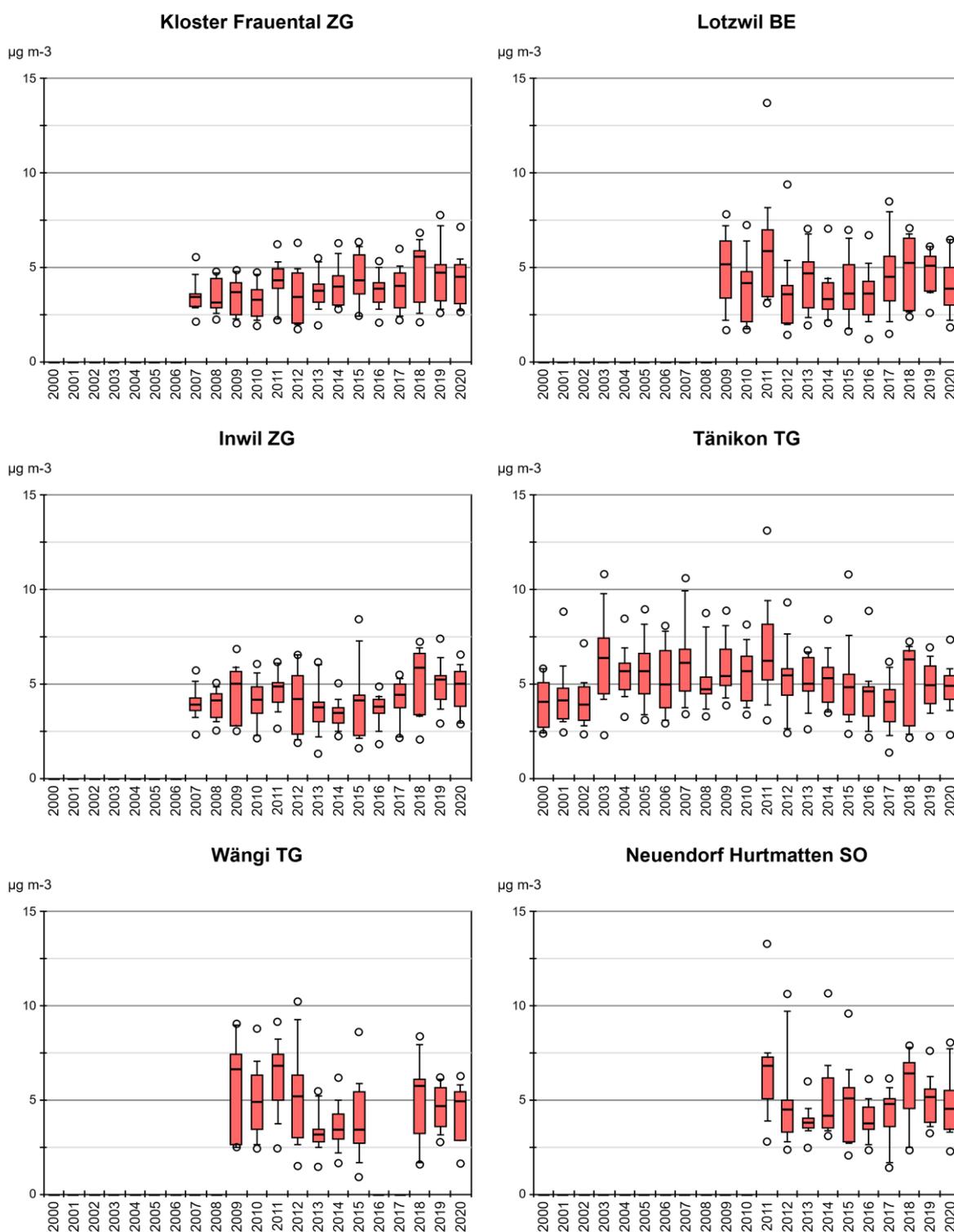


Abb. 21 Ammoniakkonzentration von FRAU, HBL, INWI, TAE, WAEN, NEHU  
 Monatsmittelwerte von Kloster Frauental (ZG), Lotzwil (BE), Inwil (ZG), Tänikon (TG), Wängi (TG), Neuendorf Hurtmatten (SO) als Boxplots dargestellt.

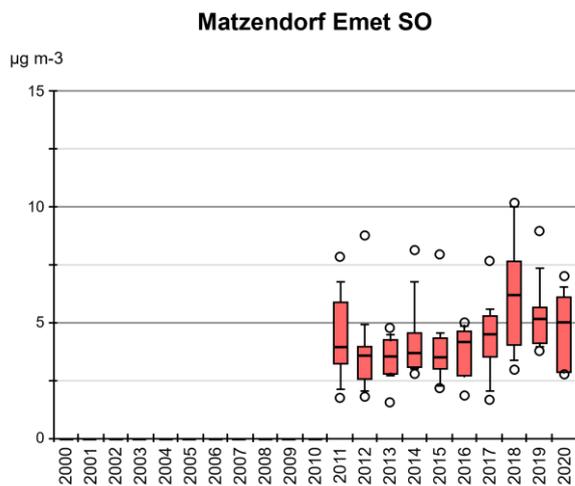


Abb. 22 Ammoniakkonzentration von AIO  
Monatsmittelwerte von Oberegg (AI) als  
Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, unterhalb 900 m ü. M.; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 5–8 µg m<sup>-3</sup>**

Abbildungen 23 bis 30 zeigen die 30 landwirtschaftlich geprägten Standorte mit höheren Immissionen von 5 – 8 µg m<sup>-3</sup>.

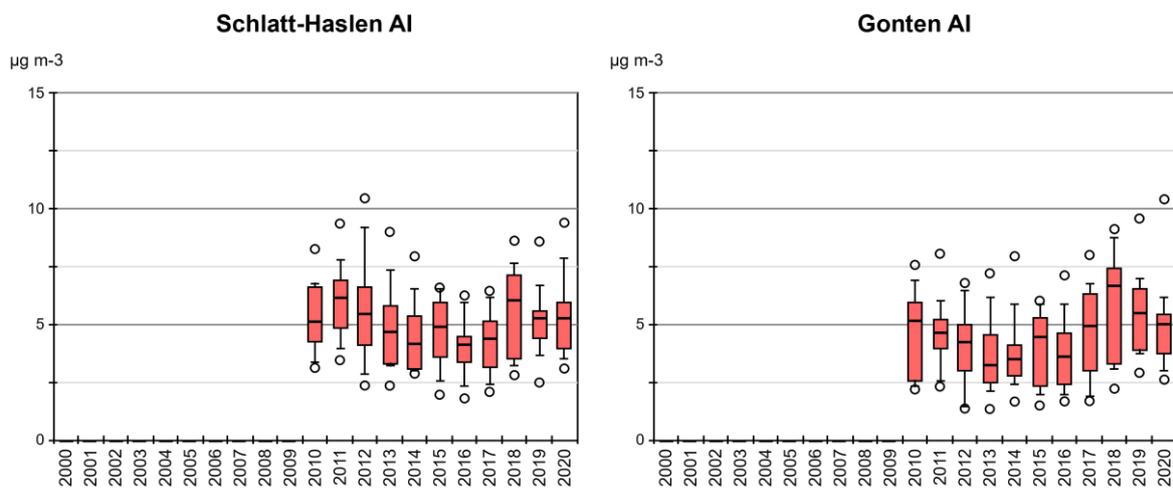


Abb. 23 Ammoniakkonzentration von AIHA, AIG  
Monatsmittelwerte von Schlatt-Haslen und Gonten (AI), als Boxplots dargestellt.

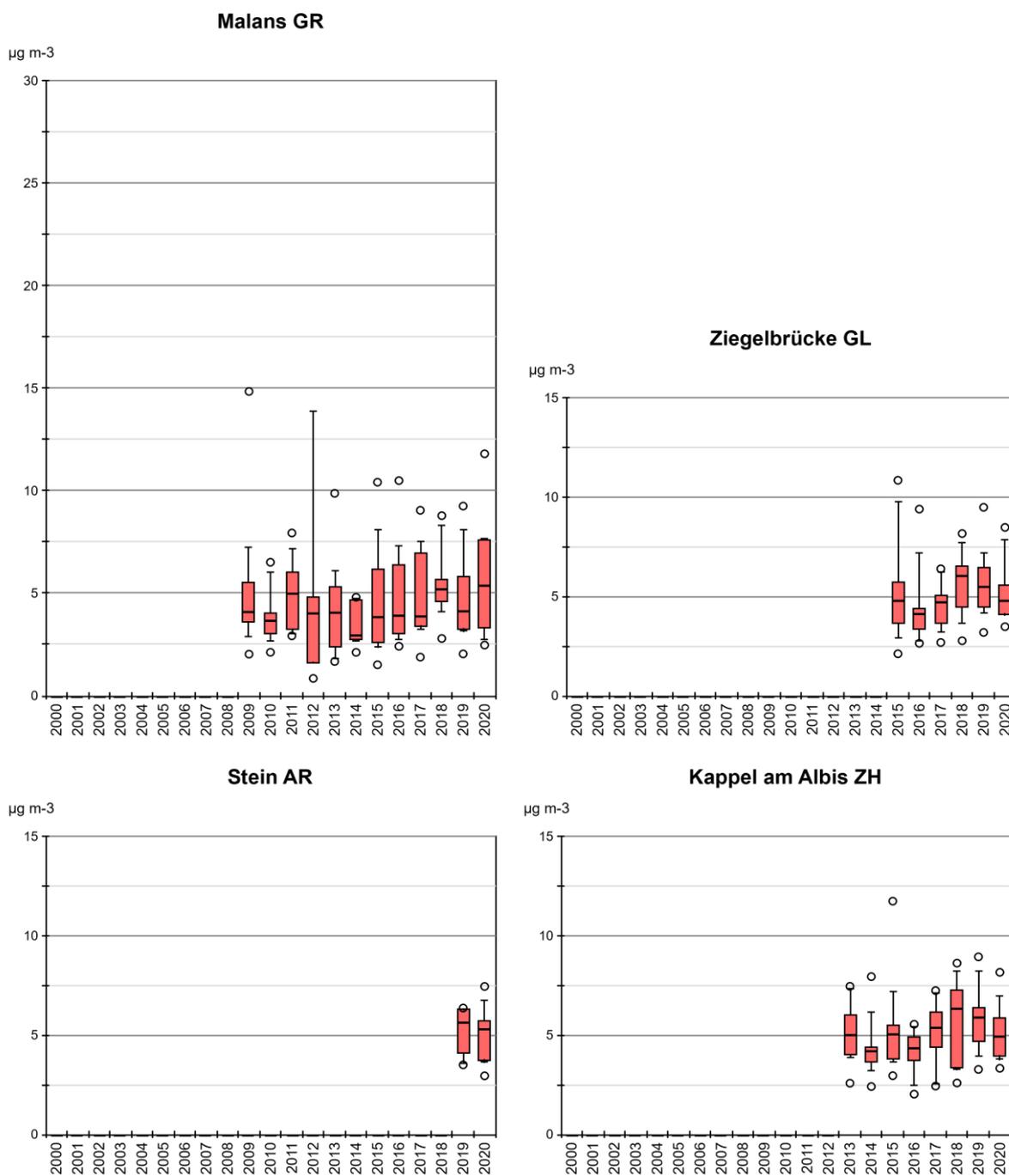


Abb. 24 Ammoniakkonzentration von NMS, BSZ, SSH, KAP  
 Monatsmittelwerte von Malans (GR), Ziegelbrücke (GL), Stein (AR), Kappel am Albis (ZH) als Boxplots dargestellt.

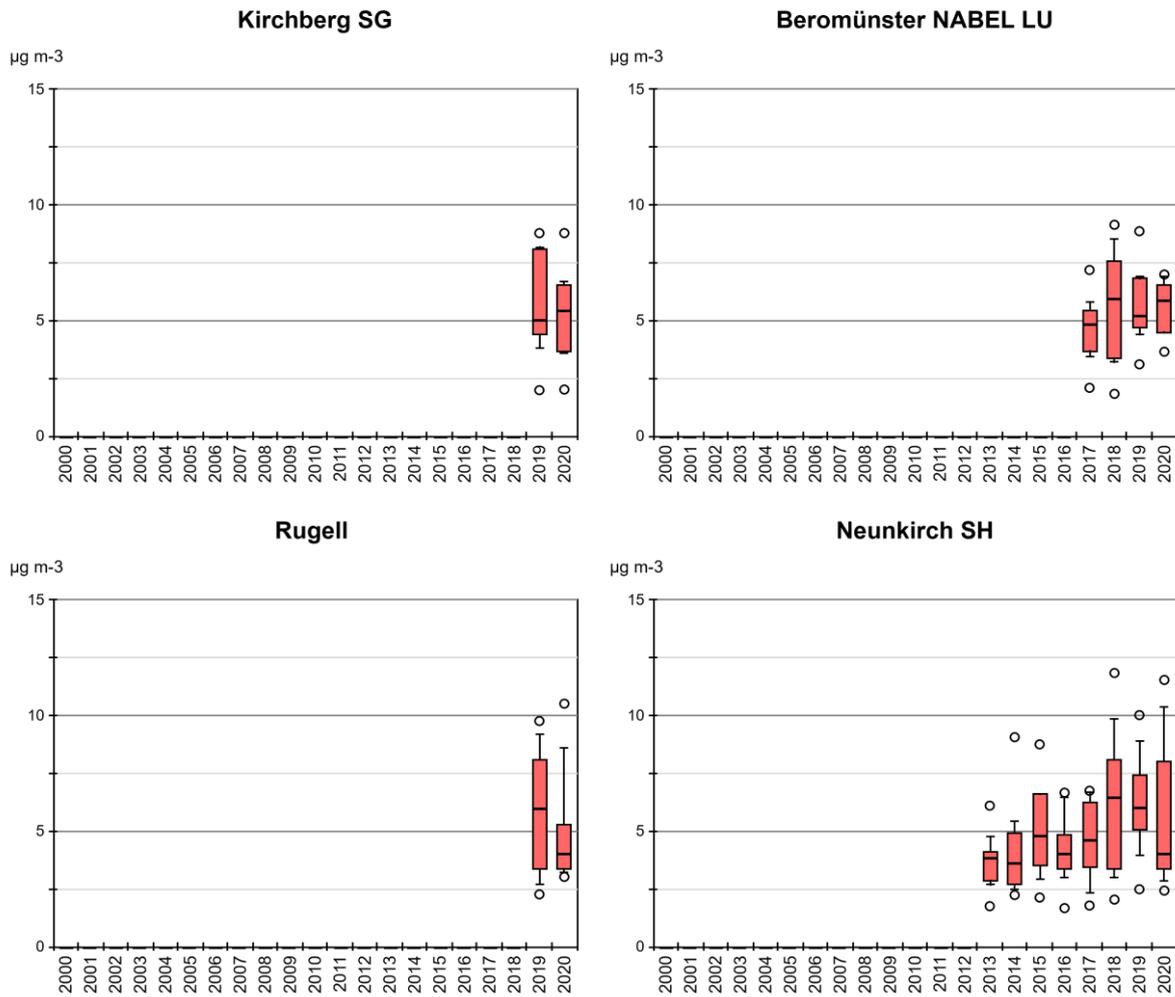


Abb. 25 Ammoniakkonzentration von KIT, BRM, RRI, SHkl  
 Monatsmittelwerte von Kirchberg (SG), Beromünster NABEL (LU), Rugell (FL), Neunkirch (SH) als Boxplots dargestellt.

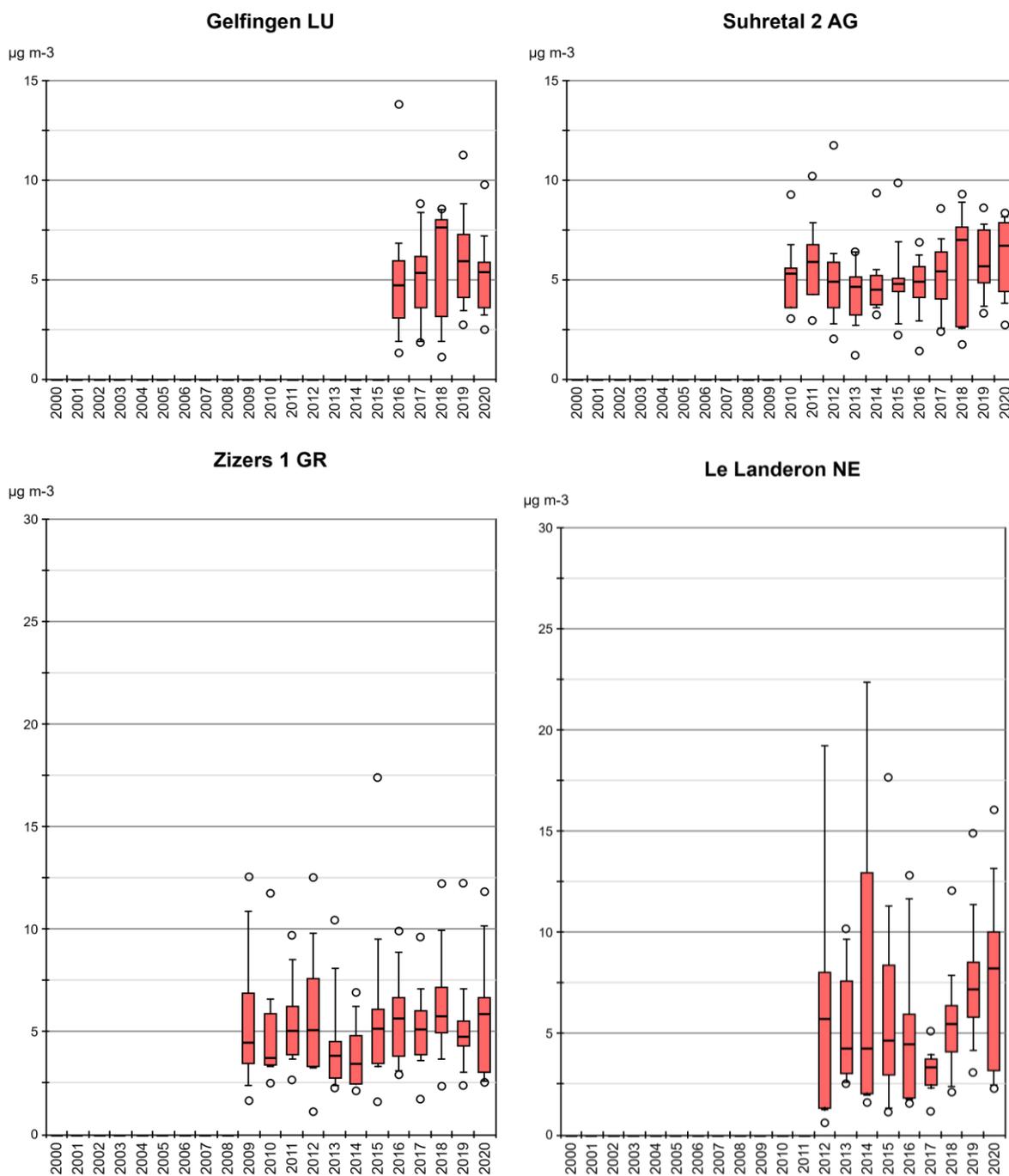


Abb. 26 Ammoniakkonzentration von GEF, SAM2, NZI 01, NE 03  
 Monatsmittelwerte von Gelfingen (LU), Suhretal 2 (AG), Zizers 1 (GR), Le Landeron (NE) als Boxplots dargestellt.

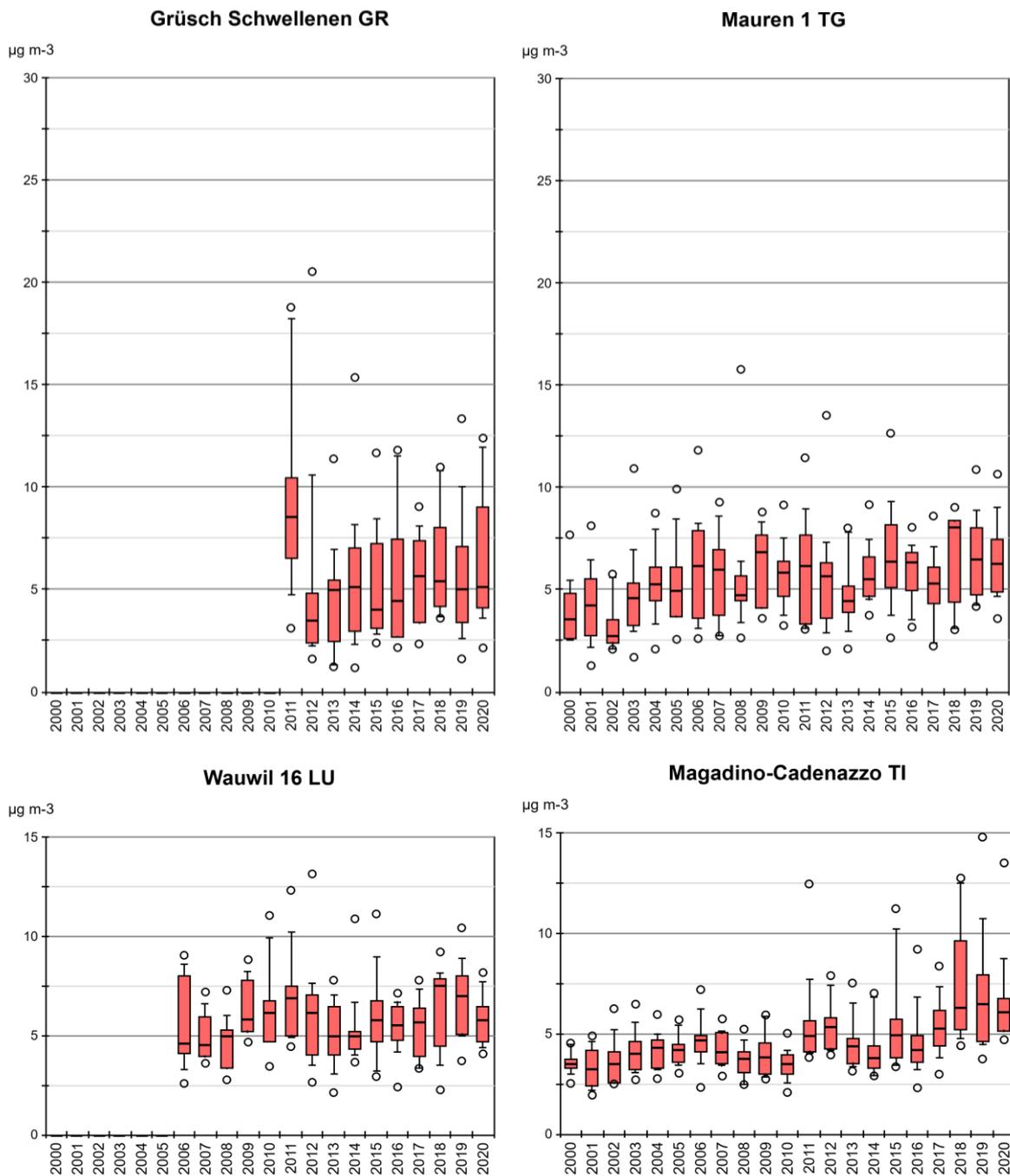


Abb. 27 Ammoniakkonzentration von NGS, WAU 16.4, MAU 01, MAG Monatsmittelwerte von Le Landeron (NE), Grüşch Schwellenen (GR), Wauwil 16 (LU), Mauren 1 (TG), Magadino-Cadenazzo (TI) als Boxplots dargestellt.

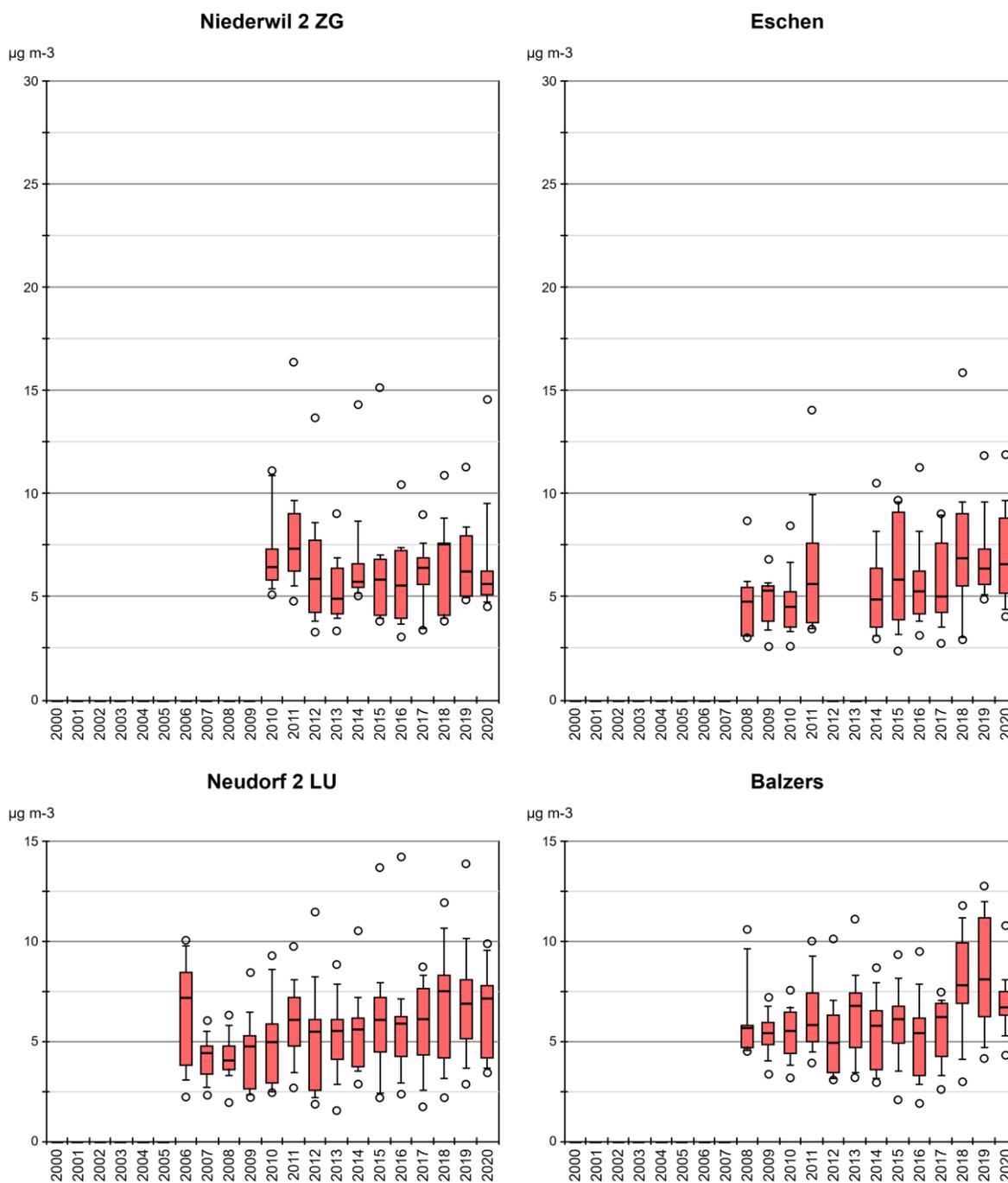


Abb. 28 Ammoniakkonzentration von ZG-02, NEU 02, EST, BAV  
 Monatsmittelwerte von Niederwil 2 (ZG), Neudorf 2 (LU), Eschen und Balzers (FL) als Boxplots dargestellt.

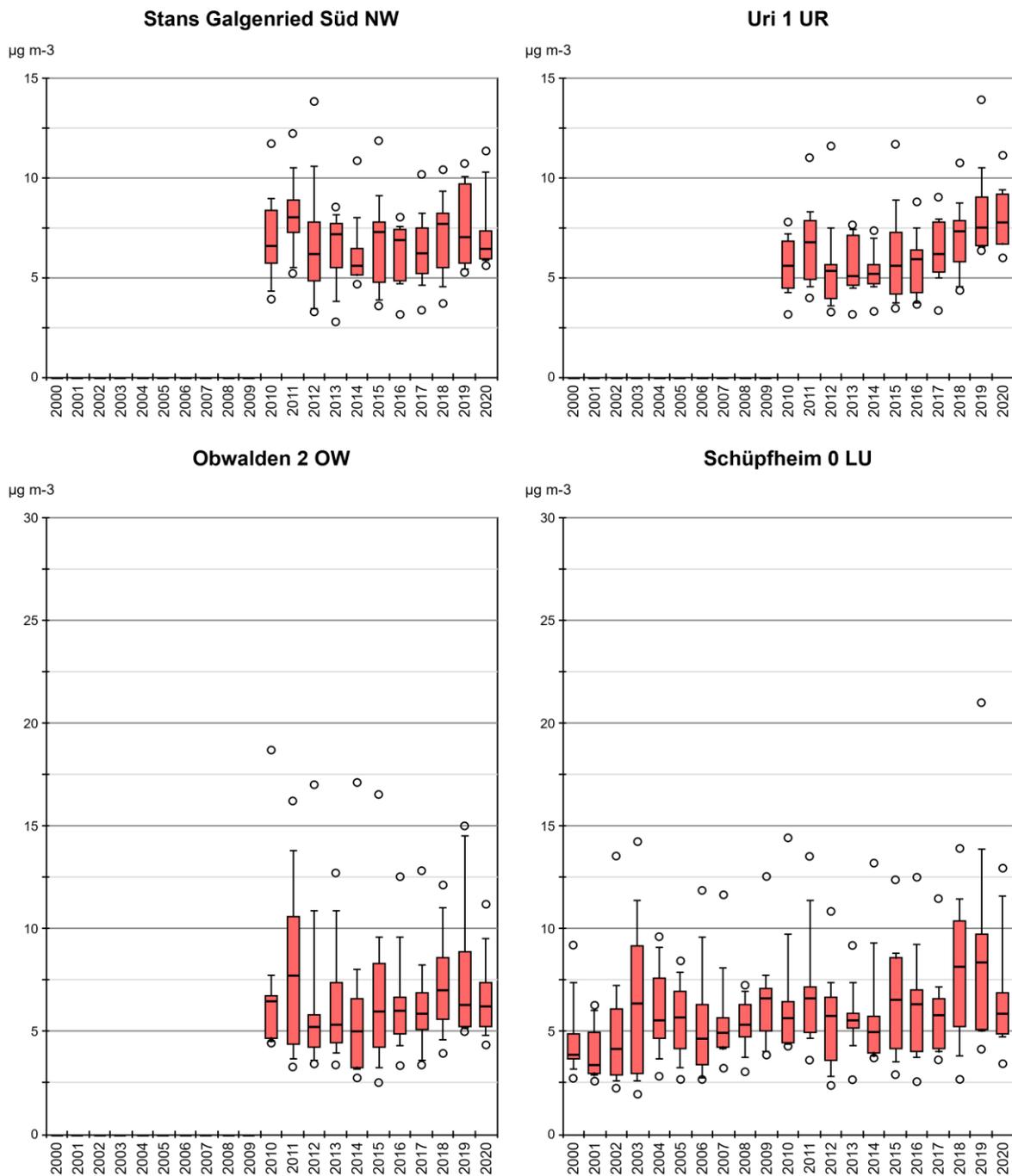


Abb. 29 Ammoniakkonzentration von NW-02, OW-02, URI 01, SCHÜ 00  
 Monatsmittelwerte von Stans Galgenried Süd (NW), Obwalden 2 (OW), Uri 1 (UR), Schüpfheim 0 (LU) als Boxplots dargestellt.

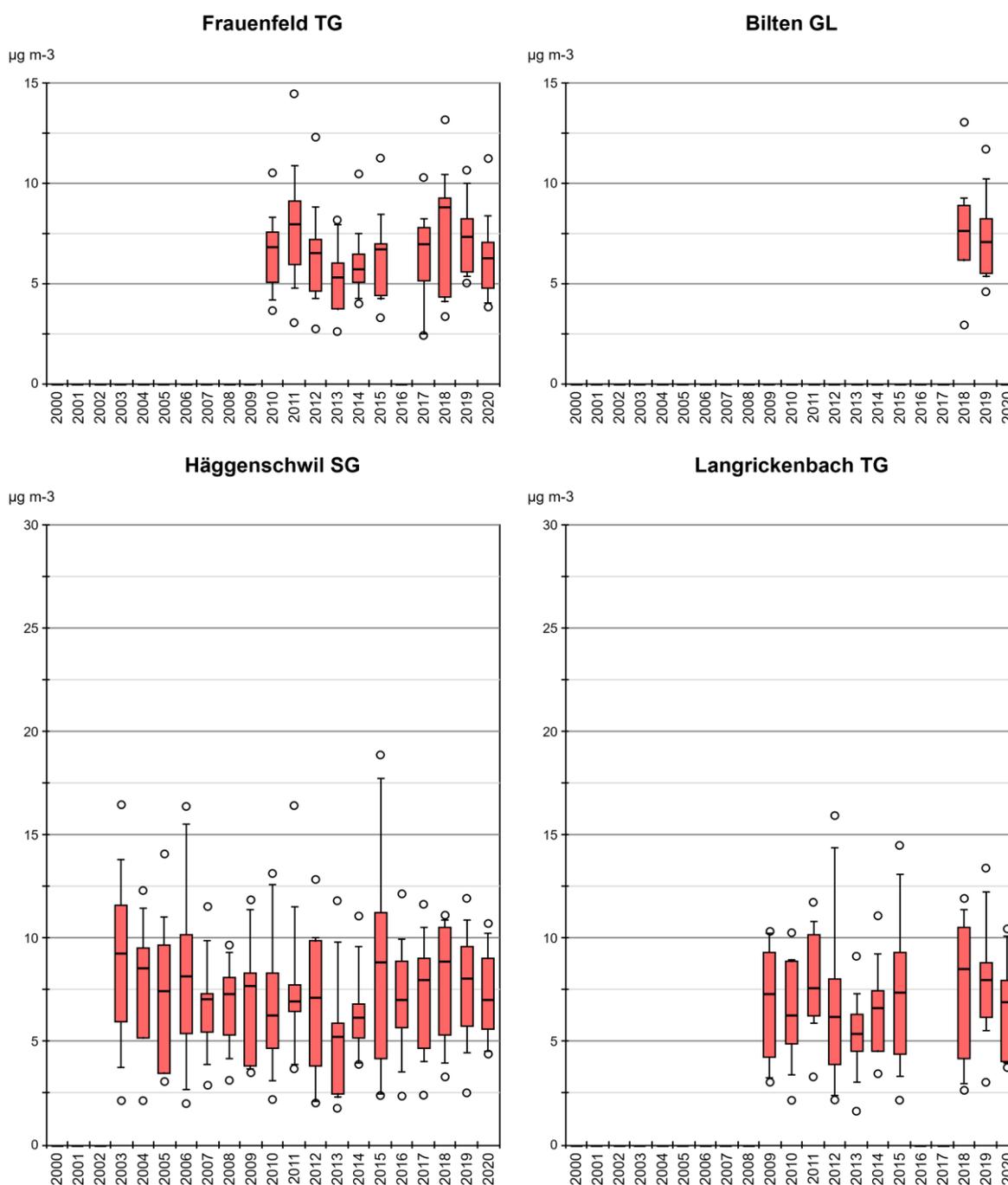


Abb. 30 Ammoniakkonzentration von FRFE, NRB, HÄG, LANG  
 Monatsmittelwerte von Frauenfeld (TG), Bilten (GL), Häggenschwil (SG), Langrickenbach (TG) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, unterhalb 900 m ü. M.; Immissionstyp:  $\text{NH}_3$ -Konzentration  $> 8 \mu\text{g m}^{-3}$**

Abbildungen 31 bis 33 zeigen die neun ländlich gelegenen stark landwirtschaftlich beeinflussten Standorte unterhalb 900 m ü. M. mit hohen Immissionen – Jahresmittel höher als  $8 \mu\text{g m}^{-3}$ .

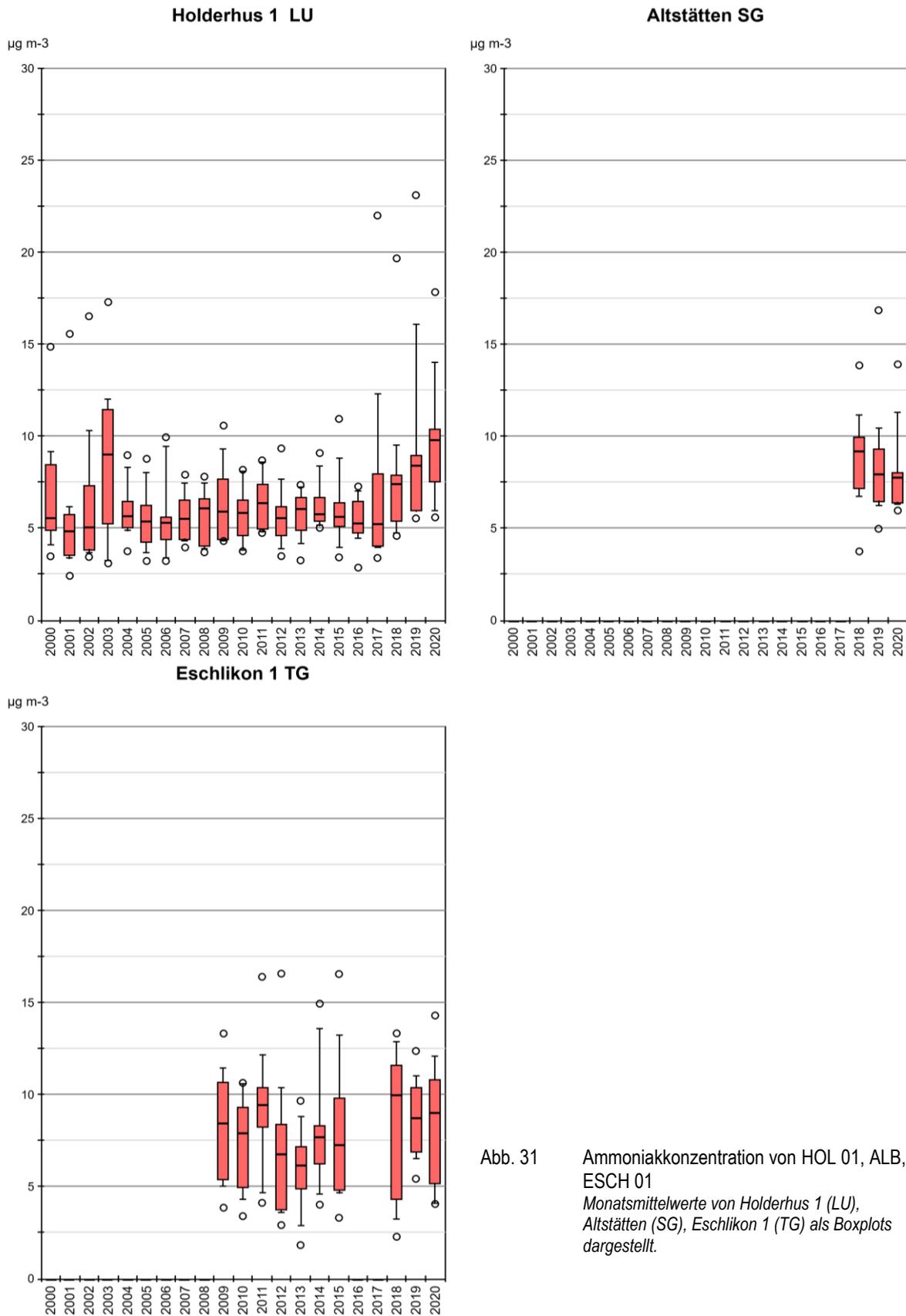


Abb. 31 Ammoniakkonzentration von HOL 01, ALB, ESCH 01  
 Monatsmittelwerte von Holderhus 1 (LU),  
 Altstätten (SG), Eschlikon 1 (TG) als Boxplots  
 dargestellt.

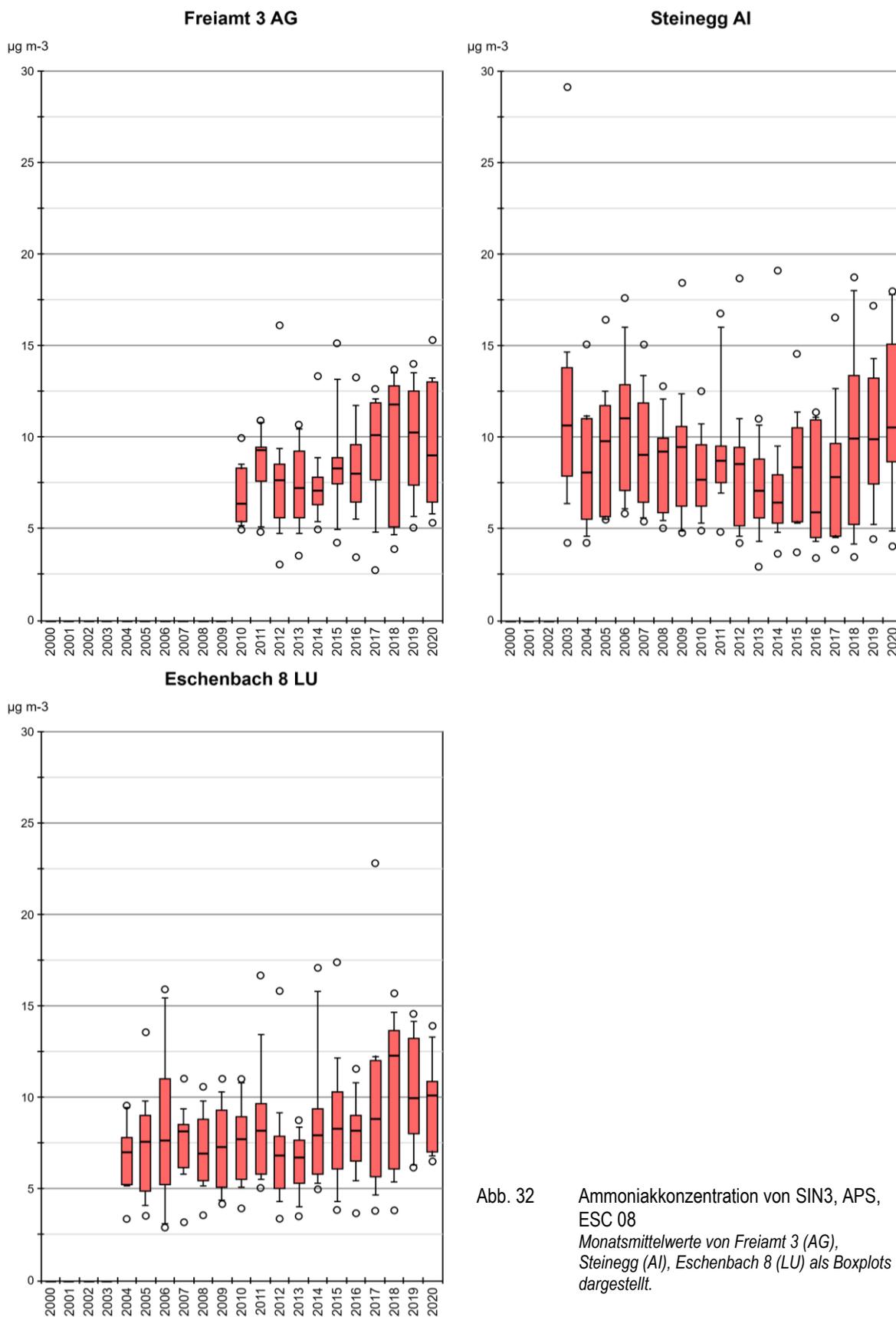


Abb. 32 Ammoniakkonzentration von SIN3, APS, ESC 08  
 Monatsmittelwerte von Freiamt 3 (AG),  
 Steinegg (AI), Eschenbach 8 (LU) als Boxplots  
 dargestellt.

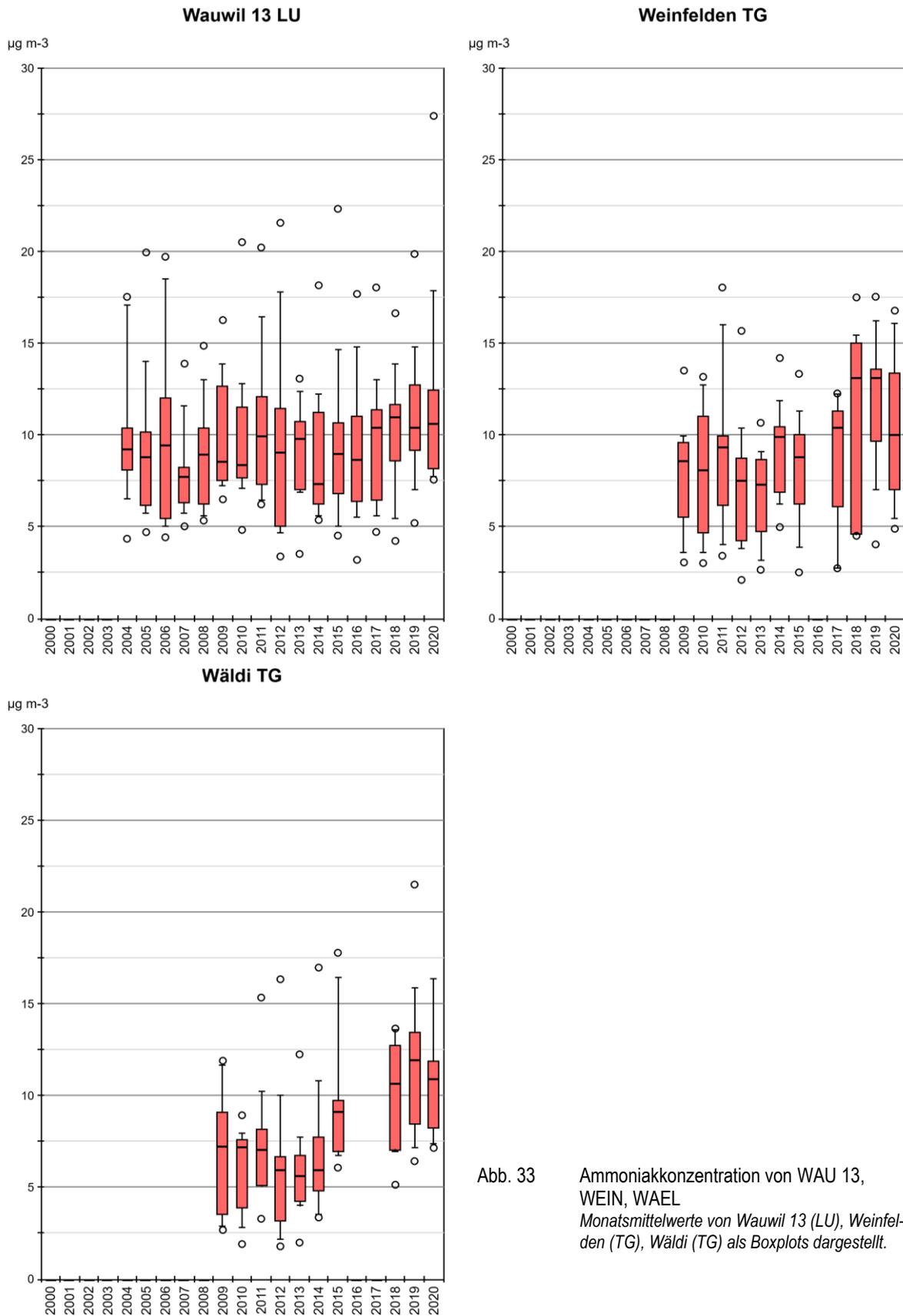


Abb. 33 Ammoniakkonzentration von WAU 13, WEIN, WAEL Monatsmittelwerte von Wauwil 13 (LU), Weinfeldten (TG), Wäldi (TG) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, verkehrsbelastet; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 3–5 µg m<sup>-3</sup>**

Abbildung 34 zeigt die Werte des Standorts Netstal, die direkt an einer stark befahrenen Durchgangsstrasse in der Siedlung liegt, aber auch von Landwirtschaft beeinflusst ist

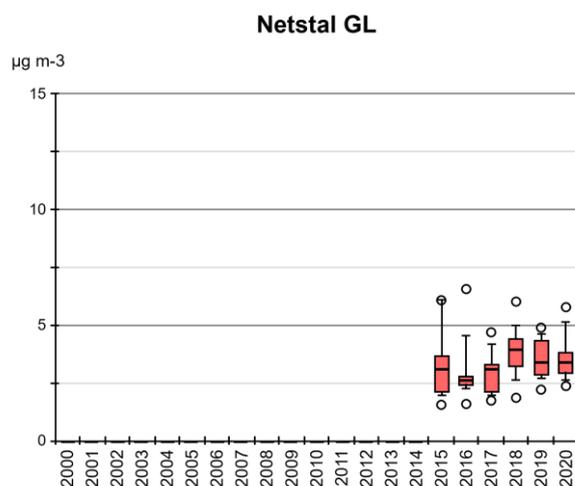


Abb. 34 Ammoniakkonzentration von WIG  
Monatsmittelwerte von Netstal (GL) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, verkehrsbelastet; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 5–8 µg m<sup>-3</sup>**

Abbildung 35 zeigt die Werte des Standorts Schaan 1, der direkt an einer stark befahrenen Strassenkreuzung in der Siedlung liegt, aber auch von Landwirtschaft beeinflusst ist.

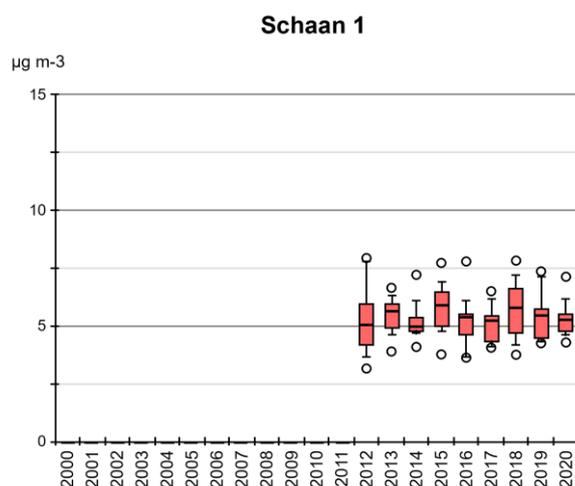


Abb. 35 Ammoniakkonzentration von SLI 01  
Monatsmittelwerte von Schaan 1 (FL) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, an Autobahn; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 3–5 µg m<sup>-3</sup>**

Die Standorte San Vittore und Sion-Aeroport sind sowohl an der Autobahn gelegen, wie auch von landwirtschaftlicher Fläche umgeben (Abb. 36).

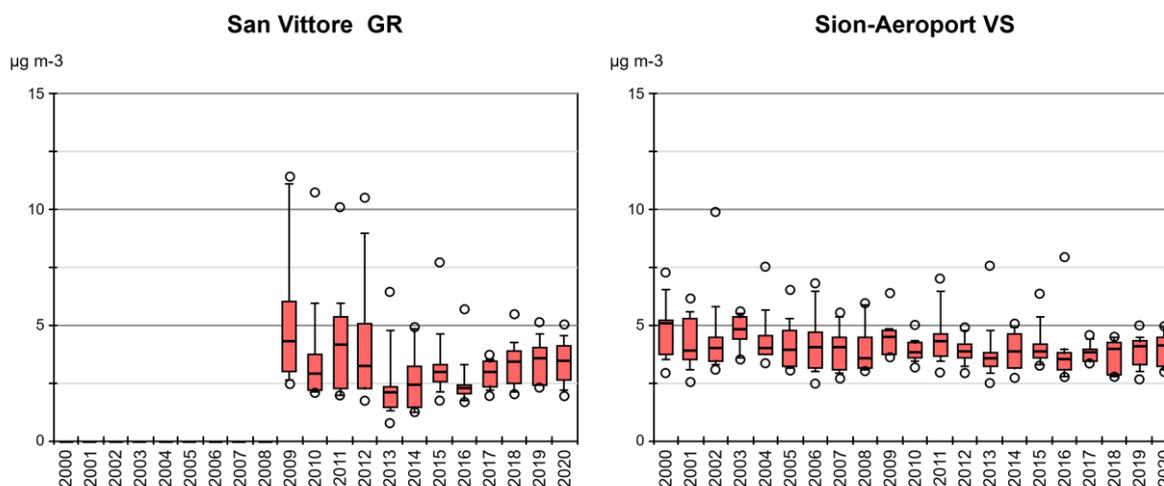


Abb. 36 Ammoniakkonzentration von NV4 und SIO  
Monatsmittelwerte von San Vittore (GR) und Sion-Aeroport (VS) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, an Autobahn; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 5–8 µg m<sup>-3</sup>**

Auch der Standort Härkingen ist sowohl an der Autobahn gelegen, wie auch von landwirtschaftlicher Fläche umgeben (Abb. 37).

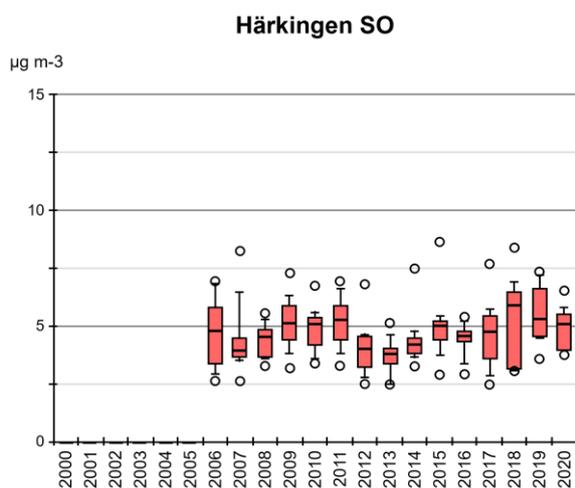


Abb. 37 Ammoniakkonzentration von HAE  
Monatsmittelwerte von Härkingen (SO) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Vorstädtisch; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 1–3 µg m<sup>-3</sup>**

Abbildung 38 zeigt den Standort Basel-Binningen, der siedlungsnah aber nicht verkehrsexponiert liegt.

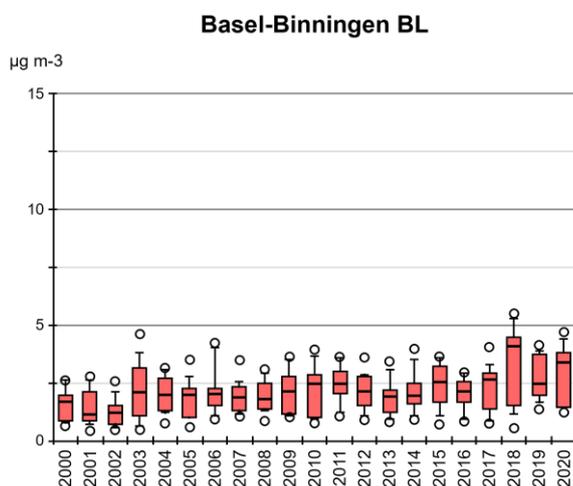


Abb. 38 Ammoniakkonzentration von BAS  
Monatsmittelwerte von Basel-Binningen (BL) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Städtisch; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 1–3 µg m<sup>-3</sup>**

Der Standort Lugano (Abb. 39) ist durch Gebäude von den umliegenden Strassen abgeschirmt.

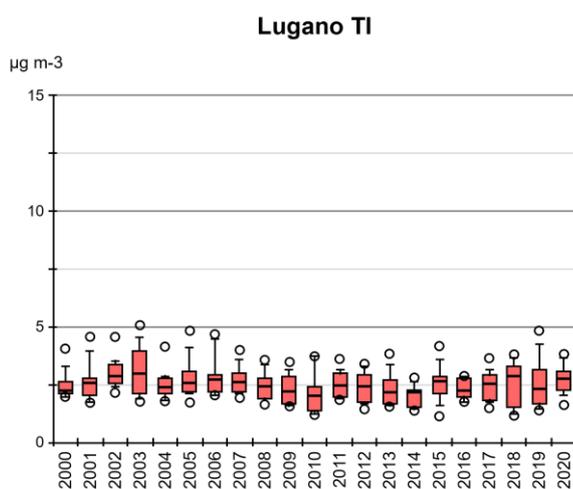


Abb. 39 Ammoniakkonzentration von LUG  
Monatsmittelwerte von Lugano (TI) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Städtisch, verkehrsbelastet; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 1–3 µg m<sup>-3</sup>**

Der Standort Solothurn Altwyberhüsli ist auf zwei Seiten von Ackerbau, auf zwei Seiten von einer Strasse mit daran angrenzenden Wohngebieten umgeben (Abb. 40).

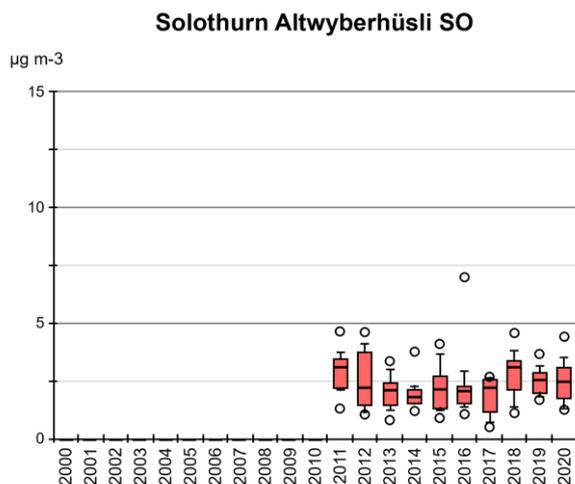


Abb. 40 Ammoniakkonzentration von SOAL  
Monatsmittelwerte von Solothurn Altwyberhüsli (SO) als Boxplots dargestellt.

**Belastungstyp: Ländlich, an Autobahn; Immissionstyp: NH<sub>3</sub>-Konzentration 3–5 µg m<sup>-3</sup>**

Der Standort Rapperswil in kleinstädtischer Umgebung sowie die städtische Station Schimmelstrasse liegen an stark befahrenen Durchgangsstrassen (Abb. 41).

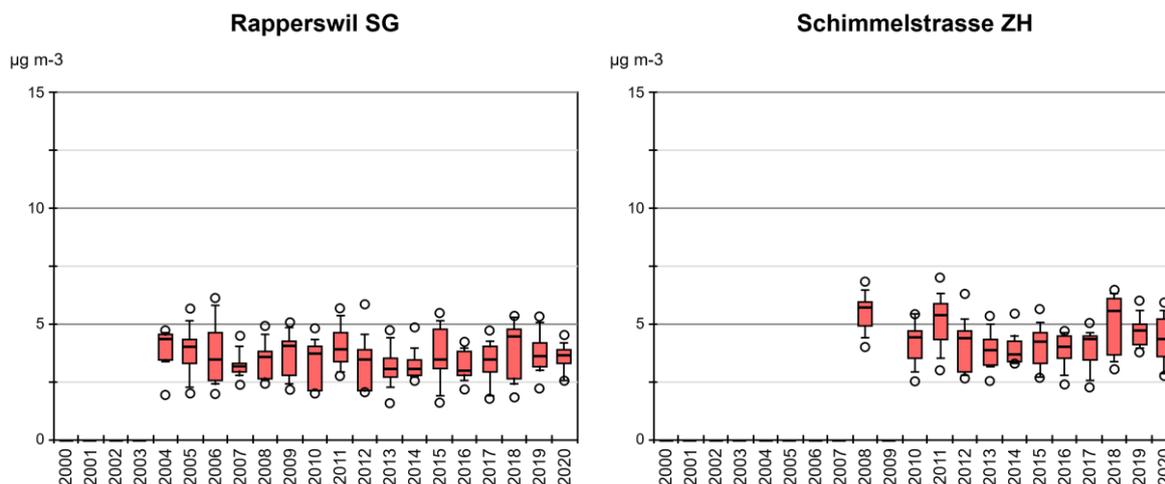


Abb. 41 Ammoniakkonzentration von RAP und WIE  
Monatsmittelwerte von Rapperswil (SG) und Schimmelstrasse (ZH) als Boxplots dargestellt.

## 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 17 Jahren berechnet.

### Ackerbau und Tierproduktion

In ländlichen Gebieten sind Jahrgänge 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. 42).

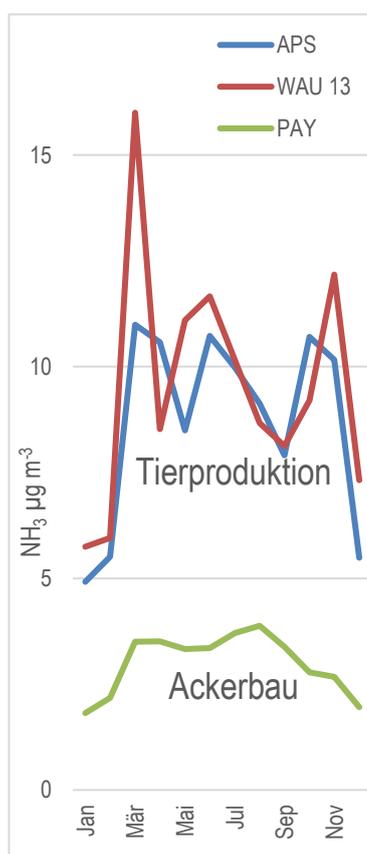


Abb. 42 Jahresverläufe der NH<sub>3</sub>-Konzentration an landwirtschaftlich bewirtschafteten Standorten  
Mediane der Monatsmittel 2004–2020  
Ackerbau: Beispiel Payerne (PAY), typischer Jahresgang mit wenig hohen Spitzenwerten  
Tierproduktion: Beispiel Wauwil 13 (WAU 13) und Ap.-Steinegg (APS), typischer 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. 43).

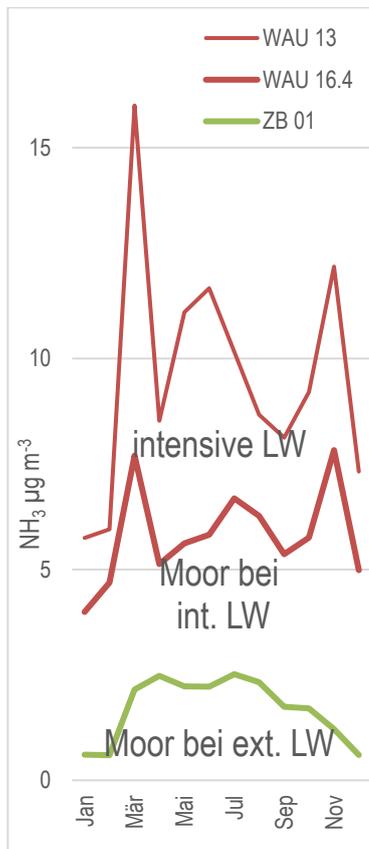


Abb. 43 Jahresgänge der NH<sub>3</sub>-Konzentration bei Mooren  
Mediane der Monatsmittel 2004–2020 (ZB 01, WAU 13), 2006–2020 (WAU 16.4).  
ZB 1 bei extensiver LW, WAU 16.4 bei intensiver LW. Zum Vergleich WAU 13 inmitten intensiver LW in der Nähe des Moores (LW = Landwirtschaft)

### Städtische Gebiete

Städtische und verkehrsreiche Standorte zeigen vergleichbare NH<sub>3</sub>-Konzentrationen und saisonale Variationen (Abb. 44) wie die Ackerbauregionen (Abb. 42). Massgebliche Ammoniakemittenten in Städten sind Fahrzeuge, Kanalisation und Kehricht. Auch die landwirtschaftliche Tätigkeit in der Umgebung der Stadt bildet sich im jährlichen Verlauf ab (RAP).

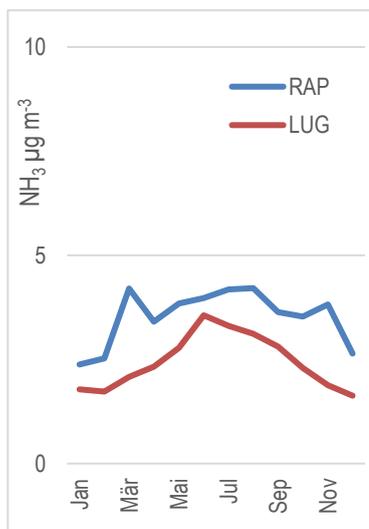


Abb. 44 Jahresverläufe der NH<sub>3</sub>-Konzentration an städtischen Standorten  
Mediane der Monatsmittel 2004–2020  
Rapperswil: Messung auf ca. 12 m oberhalb Strassenkreuzung (DTV = 24'000)  
Lugano: Messung ca. 50 m entfernt von Strassen (Innenhofsituation)

### „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. 45). Bei San Vittore ist eine mögliche Erklärung, dass sich im unteren Misoix 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.

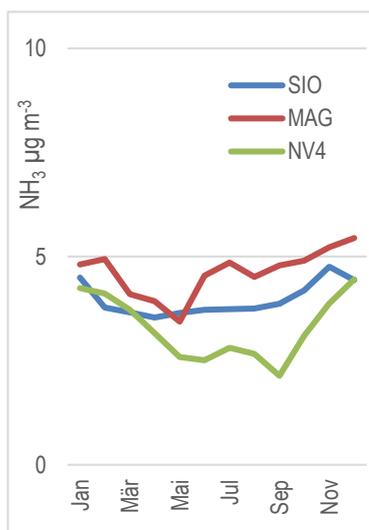


Abb. 45 Jahresgänge der  $\text{NH}_3$ -Konzentration an Standorten mit „untypischem“ Verlauf  
Mediane der Monatsmittel 2004–2020 (SIO, MAG), 2009–2020 (NV4)  
Atypischer Jahresgang mit höheren Werten im Winter als im Sommer

## 4.7 Beispiele Regionaler Messnetze

Die Standorte der regionalen Messnetze sind in Kapitel 7.4, Tabellen 15 & 16 beschrieben.

### 4.7.1 Kanton Bern

Der Standort WTG1 befindet sich auf 30 m Höhe über Boden auf dem Wasserturm von Gimmiz im Berner Seeland. Die Messungen in Gimmiz wurden durch drei Standorte nördlich, südlich und westlich des Turms (WTGN, WTGS, WTGW) erweitert (Abb. 46 links, westlicher Standort nur 2011–2018 betrieben), 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.

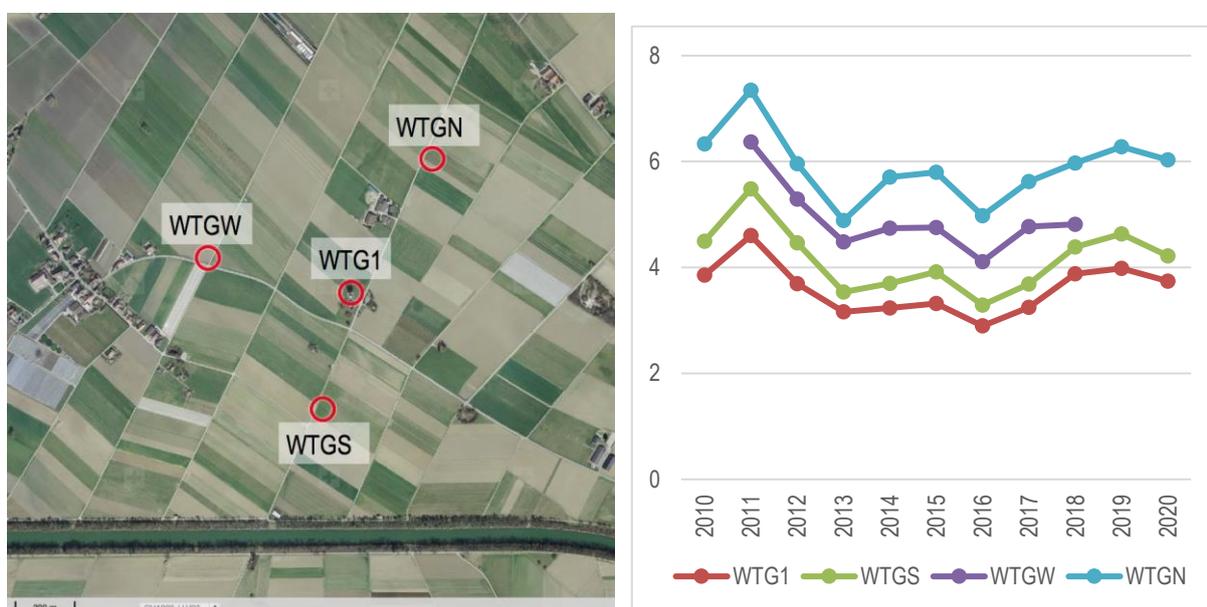


Abb. 46 Luftbild (links) und NH<sub>3</sub>-Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Gimmiz (BE)  
 Verlauf der Jahresmittelwerte, Einheit: µg m<sup>-3</sup>  
 Der Standort WTG 1 befindet sich auf dem Wasserturm in 30 m Höhe, bei den anderen Standorten sind die Aufhängevorrichtungen auf 3.3 m Höhe montiert. Luftbild: geodata © swisstopo

Die Jahresmittelwerte der vier Standorte verlaufen 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. 2.2 µg m<sup>-3</sup> (Abb. 46 rechts). 2011 bis 2016 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 ausgewirkt hat und unterdessen um sechs weitere Jahre verlängert wurde. Im Rahmen dieses Projekt wurde im Zuströmbereich 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. Die erneute Erhöhung der Werte 2018 bis 2020 wurde in der ganzen Schweiz beobachtet.

## 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. 47) verlaufen die Jahresmittelwerte der Ammoniakkonzentrationen mehrheitlich parallel, mit einem Unterschied von ca.  $1.2 \mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$  vom höchsten zum tiefsten Wert. 2011 und 2018/2019 zeigten sich (wohl witterungsbedingt) bei allen Standorten höhere Werte.

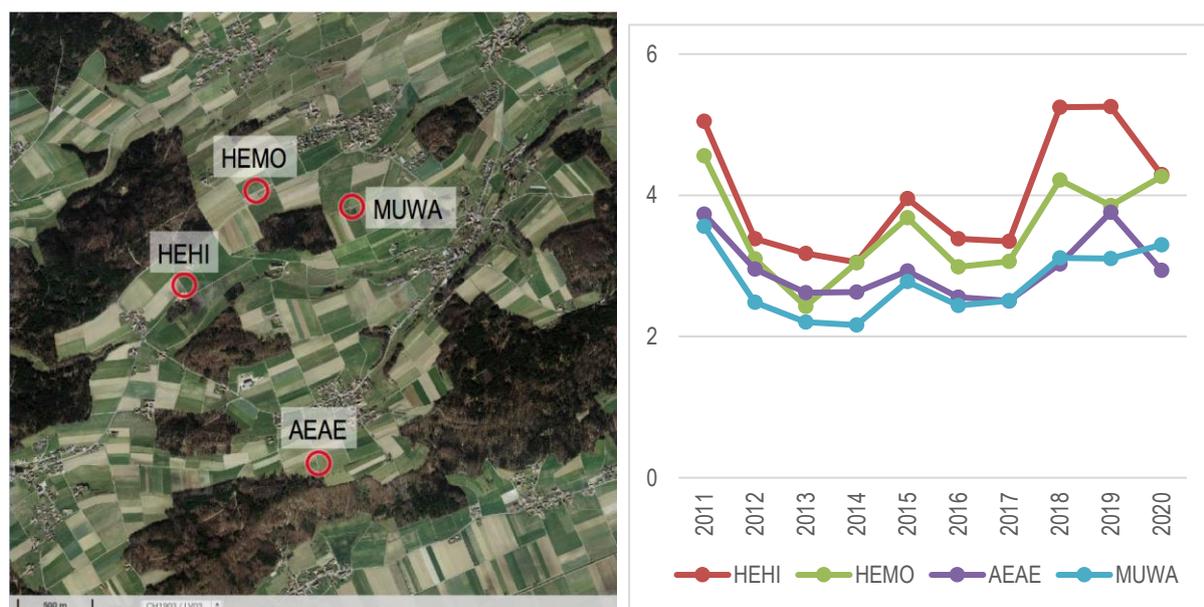


Abb. 47 Luftbild (links) und  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Hessikofen (SO)  
Verlauf der Jahresmittelwerte, Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$   
Alle 4 Standorte befinden sich in Gebieten mit Feld und Ackerwirtschaft. Luftbild: geodata © swisstopo

In der Region Matzendorf im Solothurner Jura unterscheiden sich die Jahresmittelwerte um ca.  $1.3 \mu\text{g m}^{-3}$  (Abb. 48). 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. 49). 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.

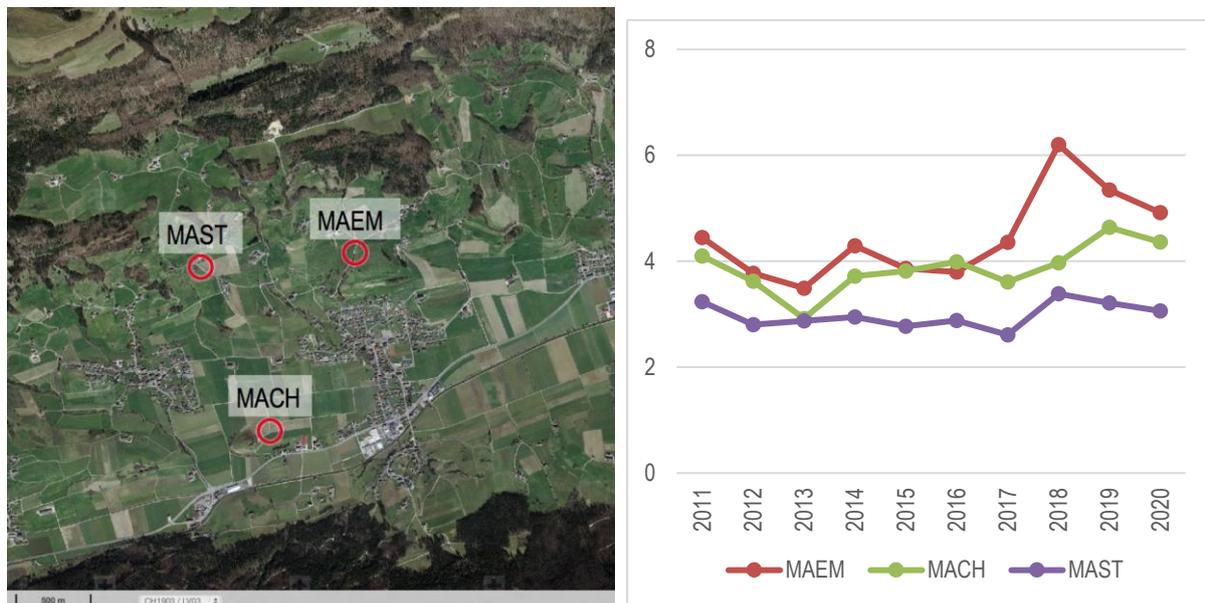


Abb. 48 Luftbild (links) und NH<sub>3</sub>-Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Matzendorf (SO)  
 Verlauf der Jahresmittelwerte, Einheit: µg m<sup>-3</sup>  
 Alle 3 Standorte befinden sich in Gebieten mit Feld und Ackerwirtschaft. Luftbild: geodata © swisstopo

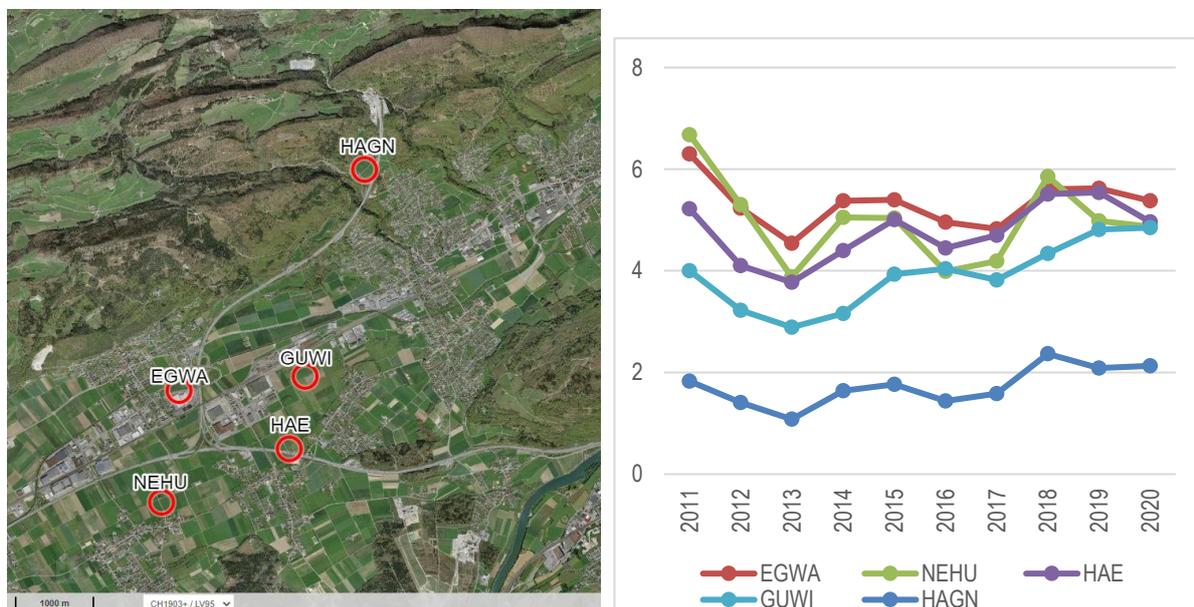


Abb. 49 Luftbild (links) und NH<sub>3</sub>-Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Egerkingen (SO)  
 Verlauf der Jahresmittelwerte, Einheit: µg m<sup>-3</sup>  
 EGWA liegt direkt zwischen Strasse und Einkaufszentrum; GUWI und NEHU inmitten von Feldern, HAGN am Jurahang in der Nähe des Waldes. Luftbild: 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. 50).

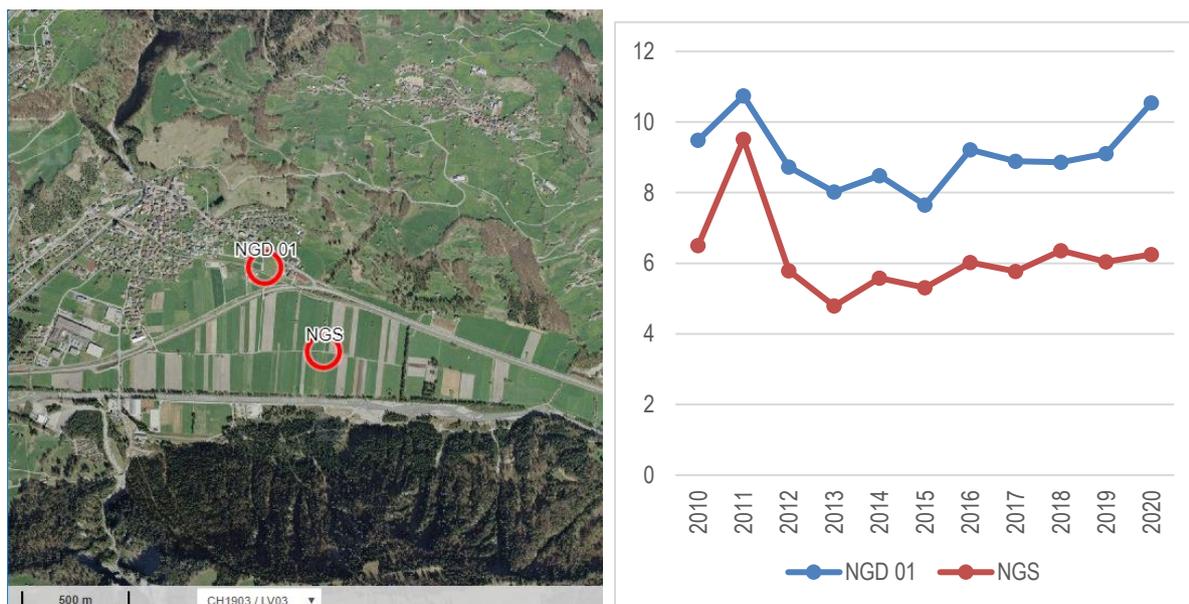


Abb. 50 Luftbild (links) und  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen (rechts) der Standorte bei Grüşch (GR)

Verlauf der Jahresmittelwerte, Einheit:  $\mu\text{g m}^{-3}$

Die zwei Standorte befinden sich in einem Ackerbaugebiet, 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 Kanton Basel-Landschaft

Im Kanton Basel-Landschaft werden drei Standorte durchgehend, sechs weitere alle drei Jahre beprobt.

An acht von neun Standorten waren die die Jahresmittelwerte (Frühling bis Frühling) der Ammoniakkonzentrationen 2012/13 am tiefsten, an allen Standorten waren sie 2019/20 am höchsten (Abb. 51 & 52). Sie verlaufen mehrheitlich parallel und über die Jahre steigend, im Osten mit einem Unterschied von ca.  $2 \mu\text{g m}^{-3} \text{NH}_3$  vom höchsten zum tiefsten Standort, an den drei westlichen Standorten fast auf gleicher Höhe.

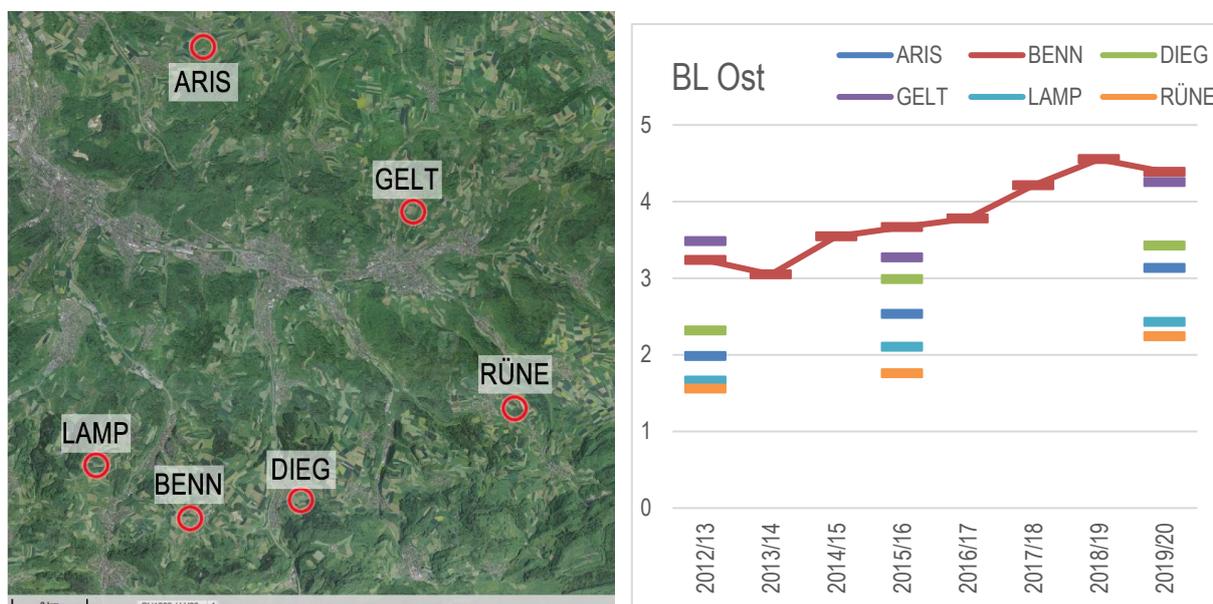


Abb. 51 Luftbild (links) und NH<sub>3</sub>-Konzentrationen (rechts) der Standorte in Basel Land Ost  
Verlauf der Jahresmittelwerte, Einheit: µg m<sup>-3</sup>. Luftbild: geodata © swisstopo

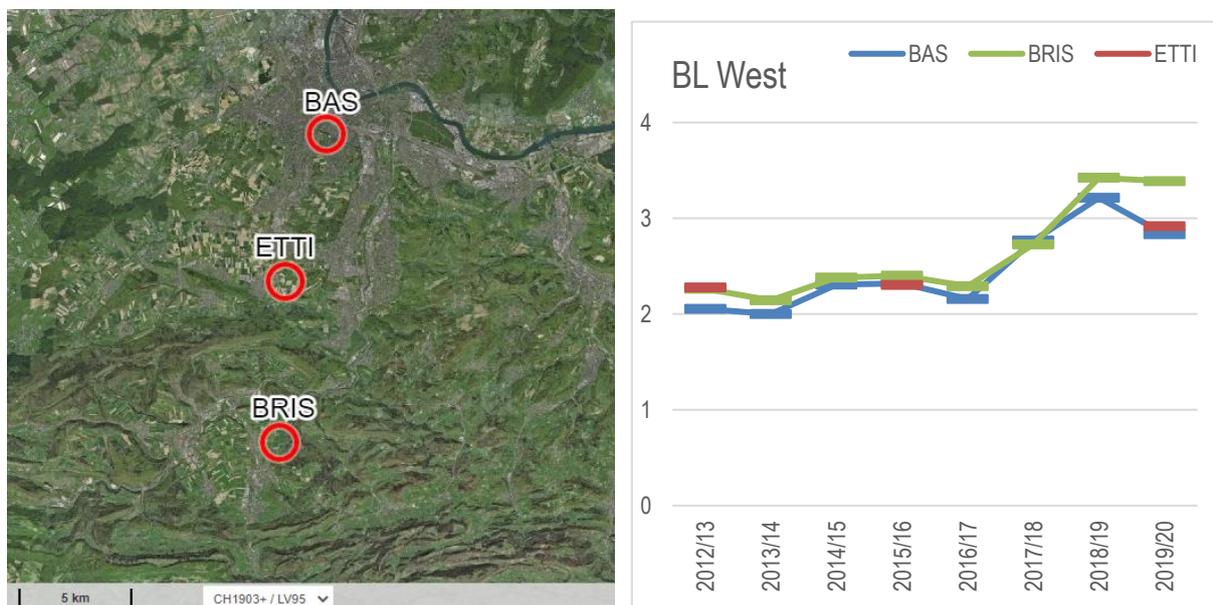


Abb. 52 Luftbild (links) und NH<sub>3</sub>-Konzentrationen (rechts) der Standorte in Basel Land West  
Verlauf der Jahresmittelwerte, Einheit: µg m<sup>-3</sup>. Luftbild: geodata © swisstopo

#### 4.7.5 Zentralschweizer Kantone und Ostluft

Regionale Messnetze in den Zentralschweizer Kantonen LU, NW, OW, SZ, UR und ZG sind in Wey et al. (2021) 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 Methoden<sup>5</sup> teil. Ammoniak auf Filtern sowie Ammonium im synthetischen Regen erfüllten die EMEP-Qualitätsnorm (Abb. 53).

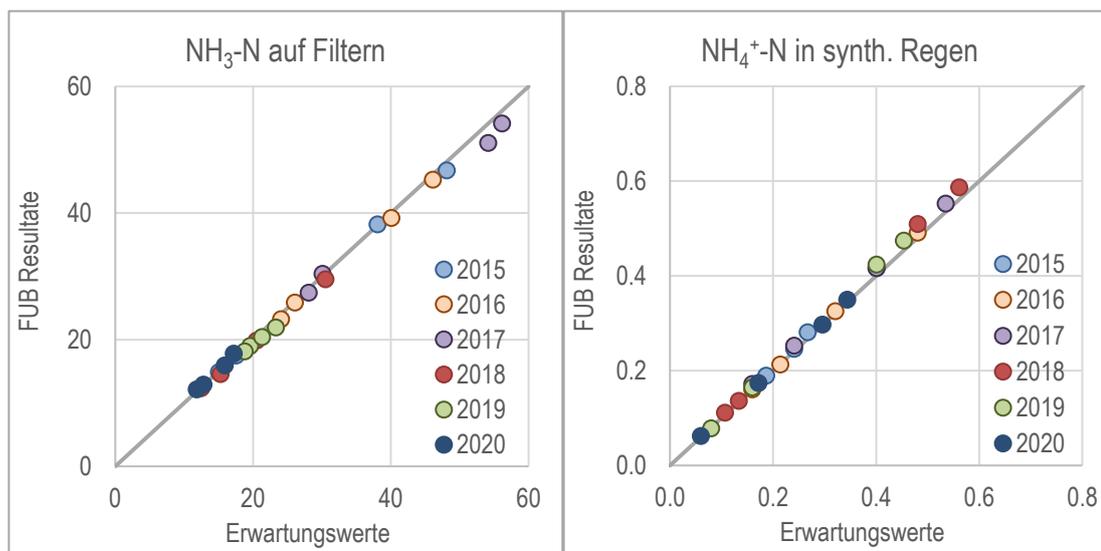


Abb.53 Ringversuchsergebnisse der FUB, verglichen mit den erwarteten Konzentrationen.  
 Links: Ammoniak auf imprägnierten Filtern, Einheit:  $\mu\text{g N pro Filter}$   
 Rechts: Ammonium in Niederschlag, Einheit:  $\mu\text{g N l}^{-1}$

Passivsammler werden laufend mit einem Referenzverfahren (Denuder, VDI 3869 Blatt 3 2010, BAFU & Empa 2018) überprüft. Abbildung 54 links zeigt den Vergleich zwischen Minidenern der Empa (Quelle: NABEL, BAFU und Empa) und Radiello Passivsammlern. In Abbildung 54 rechts sind die Ferm Passivsammlerwerte mit Empa-Minidenern des NABEL-Messnetzes verglichen. Vergleiche mit Radiello Passivsammlern erfolgten von 2011 bis 2017, mit Ferm Passivsammlern von 2018 bis 2020. Die Übereinstimmung ist gut.

Ferm-Passivsammler werden ebenfalls laufend mit Radiello-Sammlern verglichen, (Abb. 55, links, 2009 bis 2017). Die Probenahme von der 2- & 4-Wochen-Werte erfolgte an 12 Standorten (extensive und intensive Landwirtschaft, Stadt, Verkehr, Hintergrund). Abbildung 55 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 55 rechts zeigt.

<sup>5</sup> EMEP – 33rd – 38rd intercomparison of analytical methods, organisiert und durchgeführt von NILU – Norwegian Institute for Air Research

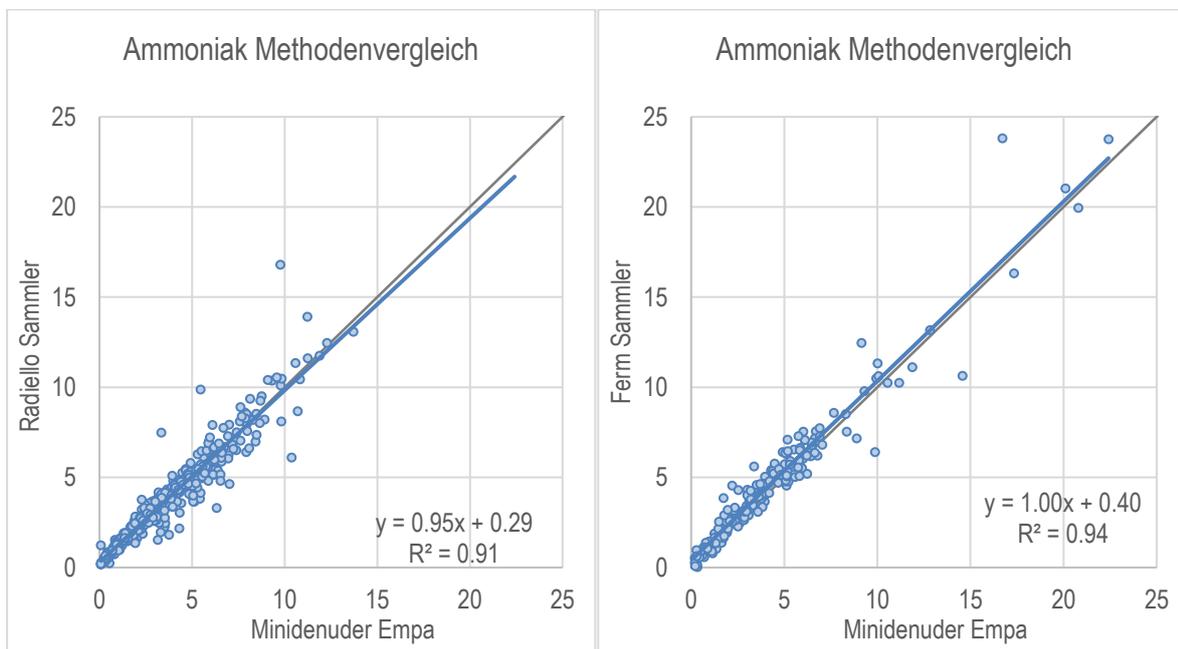


Abb. 54 NH<sub>3</sub>-Konzentration von Passivsammlern im Vergleich mit Minidenudern  
 Oben links: Radiello Sammler und Minidenuder (Referenzverfahren, Quelle: NABEL), 526 Datenpaare  
 Oben rechts: Ferm Sammler und Minidenuder (Quelle: NABEL), 309 Datenpaare, Einheit: µg m<sup>-3</sup>

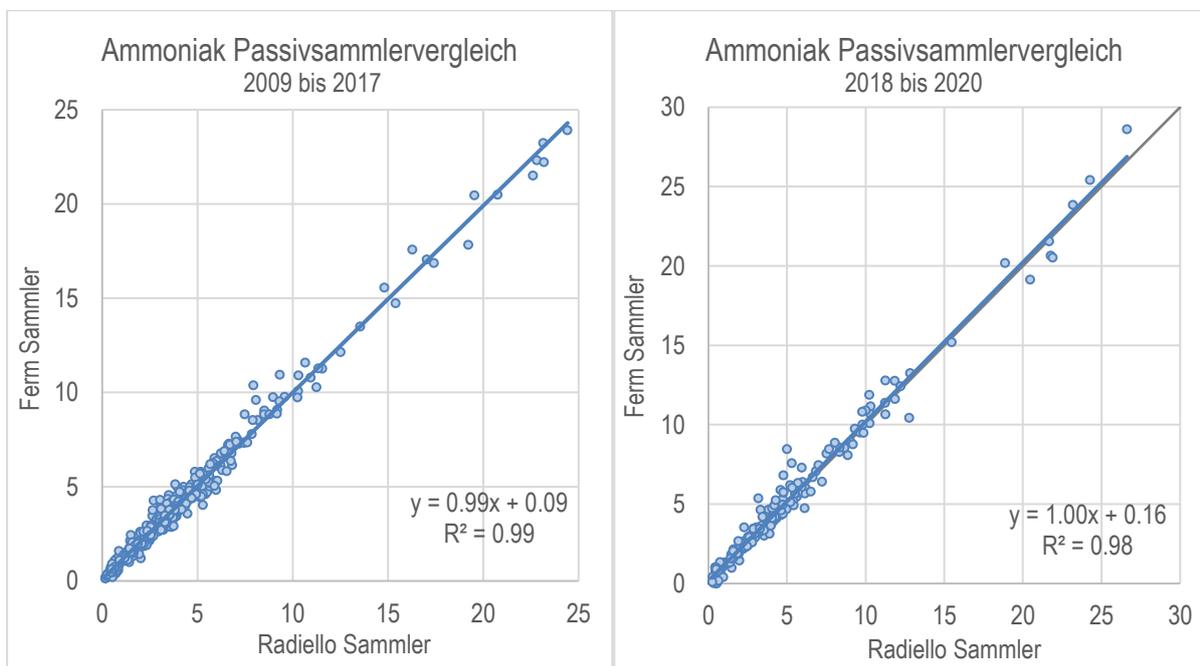


Abb. 55 Radiello- und Ferm-Passivsammler für Ammoniak im Vergleich  
 2 Passivsammlertypen der FUB: links 2009 bis 2017 (427 Datenpaare), rechts 2018 bis 2020 (205 Datenpaare)  
 Einheit: µg m<sup>-3</sup>

## 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
- BAFU 2013: Stickstoffflüsse in der Schweiz 2020, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1309, 107 S
- BAFU 2018: Umwelt Schweiz 2018 – Bericht des Bundesrates
- BAFU 2020: 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 2021: Auszug aus dem Emissionsinventar EMIS der Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien.
- 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 20.04.2021)
- BBI 2009: Konzept betreffend lufthygienische Massnahmen des Bundes. Bericht des Bundesrats 11.9.2009, Bundesblatt Nr. 40 6.10.2009,
- 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
- 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
- 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
- EKL 2005: Stickstoffhaltige Luftschadstoffe in der Schweiz. Status-Bericht der Eidg. Kommission für Lufthygiene (EKL), Bern
- EKL 2013: Feinstaub in der Schweiz 2013 – Statusbericht der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene
- EKL 2014: Ammoniak-Immissionen und Stickstoffeinträge. Eidgenössische Kommission für Lufthygiene (EKL), Bern,
- EMEP: EMEP manual for sampling and chemical analysis.  
<http://www.nilu.no/projects/ccc/manual/index.html> (Stand 16.04.2021)
- Empa 2006: Chemische Zusammensetzung des Feinstaubes während der Smoglagen im Januar/Februar 2006. Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik Empa Nr. 203'056/4
- Empa 2021: Chemische Zusammensetzung und Quellen von Feinstaub, Untersuchungen an ausgewählten NABEL-Standorten. Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik Empa
- FOEN 2021: Switzerland's Informative, Inventory Report 2021, Submission of March 2021 to the United Nations ECE Secretariat. Federal Office for the Environment FOEN, Air Pollution Control and Chemicals Division, Bern.  
<https://www.ceip.at/status-of-reporting-and-review-results/2021-submission> (Stand 20.04.2021)
- 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
- 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 2021: Klimabulletin Jahr 2020. Zürich  
<https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz/monats-und-jahres-rueckblick.html> (Stand 09.04.2021)

- 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.
- Ostluft 2019: Jahresbericht 2019 <https://jahresbericht.ostluft.ch/2019/#c392> (Stand 16.04.2021)
- 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).
- 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 NH<sub>3</sub>-Passivsammlern 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., Meier M., Ehrenmann Z. 2021 A: Atmosphärische Stickstoff-Deposition in der Schweiz 2000 bis 2019. FUB – Forschungsstelle für Umweltbeobachtung 8640, Rapperswil <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/studien.html> (Stand 16.04.2021)
- Seitler E., Schnyder R., Rihm B. 2021 B: 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. 2020: Messbericht Ammoniak, Ammoniakmessungen in der Zentralschweiz von 2000 bis 2019, inNET Monitoring AG, Altdorf
- WMO 2017: WMO Guide to meteorological instruments and methods of observation. WMO-No. 8 2014 edition, Part I, Chap. 16.

## 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.	Code	Standort Name	Kt. / Land	Stao der langj. Entw.	bedeutender Wechsel	Vergleichsmessungen, Umrechnung der alten Werte
75	APS	Steinegg	AI	seit 2004	2008 ca. 10 m verschoben	nein
76	ESC 08	Eschenbach 8	LU	seit 2004	2006 4 Monate lang versetzt	nein
	ESC 14	Eschenbach 14	LU	–	2014 verschoben	nein
73	ESCH 01	Eschlikon 1	TG	–	2012 verschoben	nein
61	EST	Eschen	FL	seit 2008	2013 um 570 m verschoben	nein
66	FRFE	Frauenfeld	TG	–	2017 40 m verschoben	nein
69	HÄG	Hägenschwil	SG	seit 2004	2018 120 m verschoben, von 1.7 auf 3.5 m höher gehängt	nein
71	HOL 01	Holderhus 1	LU	seit 2000	2007 von 1.2 auf 4 m höher gehängt	ja, $HOL\ 01 = HOL\ 00 * 0.98 + 0.90$ ( $R^2 = 0.95$ )
86	LUG	Lugano	TI	seit 2000	1999 - 2005 grosse Umbauten, mehrmals verschoben	nein
57	MAU 01	Mauren 1	TG	seit 2000	2009 von 1.7 auf 3 m höher gehängt	ja, $MAU\ 01 = MAU\ 00$ ( $R^2 = 0.92$ )
33	N14	Domat/Ems	GR	seit 2013	2012 von 2 auf 3 m höher gehängt	nein
	NGD 01	Grüsch Dorf 1	GR	–	2012 von 2 auf 3 m höher gehängt	ja, $NGD\ 01 = NGD\ 00 * 1.02$ ( $R^2 = 1.00$ )
53	NZI 01	Zizers 1	GR	seit 2013	2012 von 2 auf 3 m höher gehängt	ja, $NZI\ 01 = NZI\ 00 * 0.96$ ( $R^2 = 0.98$ )
67	SCHÜ 00	Schüpfheim 0	LU	seit 2000	2007 10 m verschoben, von 1 auf 3 m höher gehängt	nein
77	WAU 13	Wauwil 13	LU	seit 2004	2006 höher gehängt	nein
89	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.

Seiten 70 & 71

### 7.3 Jahres- und saisonale Mittelwerte der Standorte

Tab. 14 Ammoniakkonzentrationen  
Die Werte sind aufgeführt, wenn mindestens über 85 % (Jahr) oder 80 % (Saison) der Zeitspanne exponiert wurde.

Seiten 72 bis 74

# Ammoniak-Immissionsmessungen in der Schweiz – 2000 bis 2020

Nr. (Karte Abb.1)	Code	Standort Name	Standort Gebiet	Kt. / Land	Stationsbetreiber	Koordinaten		Höhe m ü.M.	Relief	Exposition	Neigung > 5 %	Höhe Sammler ü. Boden m
						E	N					
1	CHA	Chaumont	Neuenburg	NE	NABEL	565090	211040	1137	H	SE	7	3.5
2	RAN	Menshausen	Hagenturm	SH	OSTLUFT	684769	292087	900	H	SE	7.3	
3	RIG	Rigi-Seebodenalp		SZ	NABEL	677845	213462	1031	H	NW	30	2.2
4	ZB 01	Zugerberg 1	Zug	ZG	IAP	682992	220489	990	K	—	—	2
5	FRÜE	Früebühl	Zugerberg	ZG	InNET	683416	218902	980	E	—	—	2.4
6	BA	Bachtel	hinterer Sennenberg	ZH	OSTLUFT, FUB	710340	239607	930	H	E	18	1.4
7	ZIGE	Zigerhüttli	Oberägeri	ZG	InNET	691689	220849	989	H	W	14	2.3
8	AIO	Obereg	St. Anton	AI	Kt. AI	758570	253406	1071	H	NW	12	2.5
9	SARE	Sagno Reservoir		TI	IAP	724286	80024	820	T	—	—	1.65
10	TAB	Turbenthal	Tablat Rishölzli	ZH	OSTLUFT	707669	252229	641	H	SW	23	3
11	RAF	Hüntwangen	Rafzerfeld	ZH	Kt. ZH	678908	271880	399	E	—	—	4
12	ROB	Wetzikon Robenuserriet		ZH	OSTLUFT	701987	243514	539	E	—	—	3
13	SCH	Schänis	Wellrüti	SG	OSTLUFT, WSL	722923	223521	630	H	W	59	2
14	WBM	Mollis	Welschenbühl	GL	Kt. GL	725392	219122	831	H	NW	10	
15	AEG	Knonau	Agelsee	ZH	OSTLUFT	675521	232695	449	E	—	—	3
16	LEN 1	Lengwiler Weiher 1		TG	OSTLUFT	730492	277044	502	E	—	—	3
17	BRIS	Brislach	Feberech	BL	Kt. BL	608865	252037	450	E	—	—	4
18	HUD 3	Hudelmoos 3	Amriswil im Wald	TG	OSTLUFT	739124	265522	521	E	—	—	1.5
19	VTG	Gwatt	Thun	BE	Kt. BE	614540	174585	558	E	—	—	7
20	GMO	Gänsemoos		BE	Kt. BE	593658	186957	797	E	—	—	
21	PAY	Payame		VD	NABEL	562285	184775	489	E	—	—	3.5
22	IEB	Bärau		BE	Kt. BE	628595	197847	725	T	NW	9	7
23	OBI	Ottensbach	Bibelas	ZH	Kt. ZH	672489	236903	386	E	—	—	3
24	RO	Root Michaelskreuz		LU	InNET	673847	218489	791	H	NW	17	1.7
25	WTG1	Girmiz Dach	Walperswil	BE	Kt. BE	585511	211410	444	E	—	—	30
26	HEMO	Hessigkofen Moosgasse		SO	Kt. SO	601471	220742	605	E	—	—	4
27	ILN 01	Illnau-Effretikon 1	Chrützegg	ZH	Kt. ZH	696314	251183	540	E	—	—	4
28	VU01	Vuisternens-en-Ogoz	Au Lieu dit Le Chapy	FR	Kt. FR	569708	173324	850	K	—	—	3
29	DEB	Näfels	Schwärzstrasse	GL	Kt. GL	723928	218452	436	E	—	—	9.5
30	BENN	Bennwil	Sonnenblick	BL	Kt. BL	625684	250596	540	K	—	—	4
31	BIR1	Birrfeld 1	Lupfig	AG	Kt. AG	658980	254775	393	E	—	—	3
32	MIO1	Misery	Le Haut du Mont	FR	Kt. FR	571915	189478	607	K	—	—	2.6
33	N14	Domat/Ems	Plarenga	GR	Kt. GR	755100	189730	570	E	—	—	2
34	FRAU	Kloster Frauental	Cham	ZG	InNET	674546	229562	395	E	—	—	2.3
35	HBL	Lotzwil		BE	Kt. BE	625558	226796	509	E	—	—	3
36	INWI	Inwil	Baar	ZG	InNET	682567	226900	437	E	—	—	2.3
37	TAE	Tänikon	Aadorf	TG	NABEL	710500	259810	539	E	—	—	3.5
38	WAEN	Wängi	Weiertal	TG	Kt. TG	713920	259410	641	H	NE	7	3
39	NEHU	Neuendorf Hurtmatten		SO	Kt. SO	627257	239509	435	E	—	—	4
40	MAEM	Matzendorf Emet		SO	Kt. SO	614279	240205	594	K	—	—	4
41	AIHA	Schlatt-Haslen	Ebnet	AI	Kt. AI	745830	248340	768	H	W	15	2.5
42	AIG	Gonten	Gontenbad	AI	Kt. AI	745314	243700	896	E	—	—	2.5
43	NMS	Malans	Rütene	GR	Kt. GR	761785	204850	529	E	—	—	2
44	BSZ	Ziegelrücke	Berufsschule	GL	Kt. GL	722744	221825	424	E	—	—	5
45	SSH	Stein	Sägehüsi	AR	OSTLUFT	744888	247230	722	H	E	7.7	
46	KAP	Kappel am Albis	Uerzikon	ZH	Kt. ZH	680066	230326	527	E	—	—	4
47	KIT	Kirchberg	Turpeniet	SG	OSTLUFT	720314	251605	740	E	—	—	3
48	BRM	Beromünster NABEL		LU	NABEL	655840	226780	796	K	—	—	
49	RRI	Rugell	Riet	FL	FL	760091	235669	431	E	—	—	
50	SHKI	Neunkirch	Erspeil	SH	Kt. SH	678190	283124	420	E	—	—	4
51	GEF	Gelfingen		LU	IAP	663397	230005	572	H	SW		3.5
52	SAM2	Suhretal 2	Staffelbach	AG	Kt. AG	646488	236250	493	H	SW	7	3
53	NZI 01	Zzers 1	Neuöser	GR	Kt. GR	761250	201200	527	E	—	—	3
54	NE 03	Le Landeron	Station MétéoSuisse, Entre-deux	NE	Kt. NE	571165	210798	431	E	—	—	
55	NGS	Grüsch Schwellingen	Grüsch	GR	Kt. GR	768760	205060	607	E	—	—	2
56	WAU 16.4	Wauwil 16		LU	InNET	643707	224651	499	E	—	—	4
57	MAU 01	Mauren 1	Pünt	TG	OSTLUFT	729182	269404	439	E	—	—	3
58	MAG	Magadino-Cadenazzo		TI	NABEL	715500	113200	204	E	—	—	3.5
59	ZG-02	Niederwil 2		ZG	InNET	676164	229277	420	E	—	—	3
60	NEU 02	Neudorf 2		LU	InNET	659706	224499	735	H	NE	6	3
61	EST	Eschen	Schwarze Strasse	FL	FL	757866	228970	441	E	—	—	2
62	BAV	Balzers	Aviols	FL	FL	756662	215349	473	E	—	—	1.8
63	NW-02	Stans Galgenried Süd		NW	InNET	669272	201761	440	E	—	—	3.6
64	OW-02	Obwalden 2	Kerns	OW	InNET	664518	195592	560	E	—	—	4
65	URI 01	Uri 1	Eretfeld	UR	InNET	691855	188171	455	E	—	—	3
66	FRFE	Frauental	Sand	TG	Kt. TG	707555	269988	384	E	—	—	3
67	SCHU 00	Schüpheim 0		LU	InNET	644727	201091	735	H	SE	9	3
68	NRB	Bitlen	Niedermiet	GL	Kt. GL	719002	225156	411	E	—	—	
69	HÄG	Häggenenschwil	Buo	SG	OSTLUFT	743590	261675	555	E	—	—	3
70	LANG	Langrickenbach	Grabewis	TG	Kt. TG	736328	272535	515	E	—	—	3
71	HOL 01	Holderhus 1	Neuenkirch	LU	InNET	657129	216962	590	H	N	7	4
72	ALB	Altsätten	Bannriet	SG	OSTLUFT	761030	247635	420	E	—	—	3.5
73	ESCH 01	Eschikon 1	Riethof	TG	Kt. TG	715299	257014	583	E	—	—	3
74	SIN3	Freiamt 3	Sins	AG	Kt. AG	670061	227561	519	E	—	—	3
75	APS	Steinegg	Rödelbach	AI	OSTLUFT	750830	243700	820	E	—	—	1.7
76	ESC 08	Eschenbach 8		LU	InNET	665208	221946	495	E	—	—	3
77	WAU 13	Wauwil 13		LU	InNET	644669	224165	501	E	—	—	3
78	WEIN	Weinfelden	Weid	TG	OSTLUFT	723547	270162	422	E	—	—	3
79	WAEL	Wäldi	Waldhof	TG	Kt. TG	723863	276672	572	E	—	—	3
80	WIG	Netstal	Wiggisparkzentrum	GL	Kt. GL	723045	214203	455	E	—	—	12.5
81	SLJ 01	Schaan 1	Lindenkreuzung	FL	FL	757046	226080	450	E	—	—	2.2
82	NV4	San Vittore	San Vittore	GR	Kt. GR	727760	121500	270	E	—	—	2
83	SIO	Sion-Aéroport		VS	NABEL	592540	118755	483	E	—	—	3.5
84	HAE	Härkingen		SO	NABEL	628875	240185	431	E	—	—	3.5
85	BAS	Basel-Binningen		BL	NABEL	610890	265805	317	E	—	—	3.5
86	LUG	Lugano		TI	NABEL	717615	96645	281	E	—	—	2
87	SOAL	Solothurn Altwyberhüsi		SO	Kt. SO	607067	229174	453	E	—	—	3
88	RAP	Rapperswil	unt. Bahnhofstrasse 30	SG	FUB	704520	231541	430	E	—	—	12
89	WIE	Schimmelstrasse	Zürich, Wiedikon	ZH	OSTLUFT	681950	247250	415	E	—	—	2.9

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

Nr. Code (Karte Abb.1)	Belastungstyp	Immis- sionsstyp $\mu\text{g m}^{-3}$	landwirtschaftliche Nutzung	Strassen- abstand	Verkehr DTV (% LKW)	Siedlungs- grösse	Abstand LW-Betrieb
1 CHA	Ländlich, oberhalb 900 m ü. l.	1-3	Wiesen, Weiden, Graswirtschaft	—	—	Einzelhöfe	
2 RAN	Ländlich, oberhalb 900 m ü. l.	1-3	?	—	—	—	1350
3 RIG	Ländlich, oberhalb 900 m ü. l.	1-3	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhöfe	
4 ZB 01	Ländlich, oberhalb 900 m ü. l.	1-3	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhof	
5 FRÜE	Ländlich, oberhalb 900 m ü. l.	1-3	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhöfe	
6 BA	Ländlich, oberhalb 900 m ü. l.	1-3	Wiesen, Weiden, Graswirtschaft	—	—	Einzelhöfe	140
7 ZIGE	Ländlich, oberhalb 900 m ü. l.	1-3	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhöfe	
8 AIO	Ländlich, oberhalb 900 m ü. l.	1-3	Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	90
9 SARE	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	—	—	—	Weiler	
10 TAB	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	Wiesen, Weiden	—	—	—	430
11 RAF	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	Obstgarten, Ackerbau	—	—	kleines Dorf, Einzelhof	35
12 ROB	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	—	—	—	Kleinstadt	1060
13 SCH	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	Weide, Schafe, seit 2013 Rinder	—	—	Einzelgebäude	
14 WBM	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	Wiesen, Weiden	—	—	Einzelhöfe	
15 AEG	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	Schweinezuchtbetrieb	—	—	Einzelhöfe	180
16 LEN 1	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	50 m w Ackerbau	—	—	Einzelhof	
17 BRIS	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	Wiese, Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	
18 HUD 3	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	Landwirtschaft, Naturschutzgebiet	—	—	—	
19 VTG	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	1-3	extensive Bewirtschaftung	—	—	Kleinstadt	
20 GMO	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiesen, Ackerbau, Reitstall 180 m NE	—	—	Weiler	214
21 PAY	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Grasland, Ackerbau	—	—	grosses Dorf	
22 IEB	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiesen, Weiden, wenig Ackerbau	—	—	kleines Dorf	
23 OBI	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Ackerbau, Graswirtschaft	—	—	kleines Dorf	740
24 RO	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Obst-, Graswirtschaft	—	—	Weiler	150
25 WTG1	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Acker-, Gemüse-, Futter- und Obstbau	—	—	Einzelhof	
26 HEMO	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Ackerbau, Tierwirtschaft, Wald	—	—	Weiler, Einzelhof	
27 ILN 01	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Ackerbau, Graswirtschaft	—	—	kleines Dorf	
28 VU01	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Gras-/Weidewirtschaft, Ackerbau	—	—	Einzelhöfe, Industrie	
29 DEB	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	—	10	?	Industrie, grosses Dorf	
30 BENN	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiese, Landwirtschaft	—	—	Weiler, Einzelhöfe	
31 BIR1	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiesen, Weiden	—	—	Industrie, Einzelhof	
32 MI01	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Ackerbau, Gras-, Weidewirtschaft	—	—	Weiler	
33 N14	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiese, Landwirtschaft	150	27500 (6%)	kleines Dorf	
34 FRAU	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler	
35 HBL	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	intensive Landwirtschaft	—	—	—	
36 INWI	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiesen, Weiden	—	—	Kleinstadt	
37 TAE	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	intensive Landwirtschaft	—	—	grosses Dorf, Einzelhöfe	125
38 WAEN	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler, Einzelhöfe	60
39 NEHU	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Ackerbau, Tierwirtschaft	2	200	kleines Dorf, Einzelhof	70
40 MAEM	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Ackerbau, Tierwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	145
41 AIHA	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	—	—	—	Weiler, Einzelhof	
42 AIG	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Landwirtschaft, Naturschutzgebiet	—	—	Einzelhöfe	100
43 NMS	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	3-5	Wiese, Landwirtschaft	—	—	kleines Dorf	
44 BSZ	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Landwirtschaft	—	—	Kleines Dorf, Einzelhöfe	
45 SSH	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Graswirtschaft	—	—	Einzelhöfe	260
46 KAP	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Ackerbau, Wiesen, Weiden	—	—	Weiler	150
47 KIT	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Ackerbau, Wiesen, Weiden	50	?	grosses Dorf	
48 BRM	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Ackerbau	—	—	Einzelhöfe	
49 RRI	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Weiden	—	—	—	
50 SHKl	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Ackerbau, Obstbäume	—	—	—	
51 GEF	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Weiden	—	—	kleines Dorf	
52 SAM2	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler	
53 NZI 01	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiese, Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	
54 NE 03	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Ackerbau	—	—	grosses Dorf	
55 NGS	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiese, Landwirtschaft	280	10980 (6%)	kleines Dorf	
56 WAU 16.4	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Naturschutzgebiet, Wiesen	—	—	—	
57 MAU 01	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	int. Landwirtschaft, Acker, Obstbau	150	6700 (<5%)	Weiler	
58 MAG	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Obst- u. Gemüseanbau	—	—	Einzelgebäude (Hof)?	80
59 ZG-02	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Weiden, Ackerbau	—	—	kleines Dorf, Einzelhöfe	
60 NEU 02	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Weide, Acker	—	—	Einzelhöfe	
61 EST	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Ried	—	—	Einzelhof (ab 2013)	40
62 BAV	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Kuhweide	ca. 60 zur Hauptstrasse	ca. 7'100	grosses Dorf, Einzelhöfe	
63 NW-02	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Weiden	—	—	Industrie, grosses Dorf	
64 OW-02	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler, Industrie	
65 URI 01	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	offenes Wiesland, Futterbau, Weide	—	—	Einzelhöfe	120
66 FRFE	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Ackerbau, Tierwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	140
67 SCHU 00	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Weiden	—	—	grosses Dorf	
68 NRB	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Weiden	300	?	Kläranlage 300 m	
69 HÄG	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	intensive Tierwirtschaft	—	—	Weiler, Einzelhof	100
70 LANG	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Wiesen, Ackerbau	100	?	kleines Dorf	
71 HOL 01	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	5-8	Obstbau, Wiese	—	—	grosses Dorf, Einzelhof	85
72 ALB	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	Wiesen, Ackerbau	—	—	Einzelhof	500
73 ESCH 01	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	intensive Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	135
74 SIN3	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	Wiesen, Weiden	—	—	Weiler, Einzelhöfe	120
75 APS	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	intensive Tierwirtschaft	—	—	Weiler, Einzelhöfe	190
76 ESC 08	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	intensive Landwirtschaft	—	—	Einzelhöfe	150
77 WAU 13	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	sehr intensive Landwirtschaft	—	—	—	
78 WEIN	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	Wiesen, Ackerbau	—	—	Einzelhof	
79 WAEL	Ländlich, unterhalb 900 m ü.	> 8	Grasland, Ackerbau	—	—	Weiler, Einzelhöfe	90
80 WIG	Ländlich, verkehrsbelastet	3-5	—	65	18500	grosses Dorf, bei Industrie	
81 SLJ 01	Ländlich, verkehrsbelastet	5-8	keine	ca. 4	?	grosses Dorf	
82 NV4	Ländlich, an Autobahn	3-5	Wiese, Landwirtschaft	200	11'500, 6%	Industrie	
83 SIO	Ländlich, an Autobahn	3-5	Obstbau	30	30'000 (5%)	Industrie	
84 HAE	Ländlich, an Autobahn	5-8	intensive Landwirtschaft	20	75'000 (13.5%)	kleines Dorf	
85 BAS	Vorstädtisch	1-3	Parkanlage, Schrebergärten	200	—	Stadtverkehr	Stadt
86 LUG	Städtisch	1-3	—	50	—	Stadtverkehr	Stadt
87 SOAL	Städtisch, verkehrsbelastet	1-3	Ackerbau, Graswirtschaft	25	10'000	Kleinstadt	
88 RAP	Städtisch, verkehrsbelastet	3-5	—	15	24'000 (6%)	Kleinstadt	
89 WIE	Städtisch, verkehrsbelastet	3-5	—	5	27'000 (5.5%) (Stand 2012)	Stadt	

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







Tab. 16 Standortbeschreibung und Jahreswerte tabellarisch  
Beschreibung der Standorte aus Kapitel 4.7 Regionale Messnetze, sortiert nach Region.

Code	direkte Umgebung	Siedlungsgrösse	Betriebs- abstand m	NH <sub>3</sub> Jahresmittelwert													
				µg m <sup>-3</sup>													
				2012 /2013	2013 /2014	2014 /2015	2015 /2016	2016 /2017	2017 /2018	2018 /2019	2019 /2020						
ARIS	Wiesen, Weiden	kleines Dorf, Einzelhof		2.0				2.5									3.1
BAS	Parkanlage, Schrebergärten	Stadt		2.1	2.0	2.3	2.3	2.2	2.8	3.2	2.8						
BENN	Wiesen, Weiden	Weiler, Einzelhöfe		3.2	3.0	3.5	3.7	3.8	4.2	4.6	4.4						
BRIS	Wiesen, Weiden	Einzelhöfe		2.3	2.1	2.4	2.4	2.3	2.7	3.4	3.4						
DIEG	Wiesen, Weiden	kleines Dorf, Einzelhöfe		2.3				3.0									3.4
ETTI	Wiesen, Weiden	grosses Dorf		2.3				2.3									2.9
GELT	Wiesen, Weiden	Einzelhöfe		3.5				3.3									4.3
LAMP	Wiesen, Weiden	Einzelhöfe		1.7				2.1									2.4
RÜNE	Wiesen, Weiden	Weiler		1.6				1.8									2.2

Code	direkte Umgebung	Siedlungsgrösse	Betriebs- abstand m	NH <sub>3</sub> Jahresmittelwert											
				µg m <sup>-3</sup>											
				2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
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	3.7	
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	6.0	
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	4.2	
WTGW	Acker-, Gemüse-, Futter- und Obstbau	Weiler			6.4	5.3	4.5	4.7	4.8	4.1	4.8	4.8			
NGD 01	Wiese, Landwirtschaft	kleines Dorf, Einzelhof	90	9.5	10.7	8.7	8.0	8.5	7.7	9.2	8.9	8.9	9.1	10.5	
NGS	Wiese, Landwirtschaft	kleines Dorf		6.5	9.5	5.8	4.8	5.6	5.3	6.0	5.8	6.4	6.0	6.2	
AEAE	Grasland, Ackerbau, Wald	Weiler			3.7	3.0	2.6	2.6	2.9	2.6	2.5	3.0	3.8	2.9	
EGWA	Einkaufszentrum, Parkplätze, Ackerbau	grosses Dorf			6.3	5.2	4.5	5.4	5.4	5.0	4.8	5.6	5.6	5.4	
GUWI	Grasland, Ackerbau	kleines Dorf			4.0	3.2	2.9	3.2	3.9	4.0	3.8	4.3	4.8	4.8	
HAE	Felder, Wiesen, Autobahn A1	kleines Dorf		4.9	5.2	4.1	3.8	4.4	5.0	4.4	4.7	5.5	5.5	5.0	
HAGN	Grasland, Ackerbau, Wald	Weiler			1.8	1.4	1.1	1.6	1.8	1.4	1.6	2.4	2.1	2.1	
HEHI	Grasland, Ackerbau, Wald	Einzelhöfe	130		5.0	3.4	3.2	3.1	4.0	3.4	3.4	5.2	5.3	4.3	
HEMO	Grasland, Ackerbau, Wald	Weiler, Einzelhof			4.6	3.1	2.4	3.0	3.7	3.0	3.1	4.2	3.9	4.3	
MACH	Grasland, Ackerbau	Einzelhöfe	140		4.1	3.6	2.9	3.7	3.8	4.0	3.6	4.0	4.6	4.4	
MAEM	Grasland, Ackerbau	Einzelhöfe	145		4.4	3.8	3.5	4.3	3.9	3.8	4.4	6.2	5.3	4.9	
MAST	Grasland, Wald, wenig Ackerbau	Einzelhöfe	50		3.2	2.8	2.9	2.9	2.8	2.9	2.6	3.4	3.2	3.1	
MUWA	Grasland, Ackerbau, Wald	Einzelhöfe			3.6	2.5	2.2	2.2	2.8	2.4	2.5	3.1	3.1	3.3	
NEHU	Grasland, Ackerbau	kleines Dorf, Einzelhof	70		6.7	5.3	3.9	5.0	5.0	4.0	4.2	5.9	5.0	4.9	
SOAL	Ackerbau, Wohngebiete	Kleinstadt			2.9	2.5	2.1	2.0	2.3	2.4	1.9	2.8	2.5	2.6	

## 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 bzw. Genfer Luftreinhaltekonvention
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 transmissions of air pollutants in Europe
FOEN	Federal Office for the Environment (Englisch für BAFU)
GAW	Global Atmosphere Watch, Programm der WMO
in-LUFT	Messnetz zur Luftqualitätsüberwachung auf dem Gebiet der Zentralschweiz der Kantone Uri, Schwyz, Nidwalden, Obwalden, Luzern und Zug
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 µm, lungengängiger Feinstaub
PM10	Particulate Matter mit einem aerodynamischen Durchmesser von <10 µm, 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