



Jahresbericht 2023

Ergebnisse der Emissionsringversuche
der Stoffbereiche P, G und O an der
Emissionssimulationsanlage im Jahr 2023

Das Dezernat I3 – Luftreinhaltung: Emissionen
ist akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17043.
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüfverfahren.



Jede Veröffentlichung oder Vervielfältigung (im Ganzen oder in Auszügen)
bedarf der vorherigen schriftlichen Genehmigung durch das
Hessische Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie.

Inhalt

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | Zusammenfassung | 4 |
| 2. | Einleitung | 4 |
| 2.1 | Rechtlicher Hintergrund | 4 |
| 2.2 | Die Emissionssimulationsanlage | 4 |
| 3. | Organisatorische Informationen | 6 |
| 4. | Durchführung der Ringversuche | 7 |
| 4.1 | Beschreibung der Prüfgegenstände | 7 |
| 4.2 | Herstellung der Prüfgegenstände | 8 |
| 4.3 | Metrologische Rückführung | 8 |
| 4.4 | Messverfahren | 9 |
| 4.5 | Auswertung der Ringversuche | 9 |
| 4.5.1 | Berechnung von z-Scores | 9 |
| 4.5.2 | Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer | 11 |
| 4.5.3 | Bewertungsschema | 12 |
| 4.5.4 | Ergebnismitteilung | 14 |
| 5. | Ergebnisse | 14 |
| 5.1 | z-Scores | 14 |
| 5.1.1 | Staubringversuch (Stoffbereich P) | 15 |
| 5.1.2 | Gasringversuch (Stoffbereich G) | 19 |
| 5.1.3 | Geruchsringversuch (Stoffbereich O) | 23 |
| 5.1.4 | Abgasrandbedingungen | 25 |
| 5.2 | Klassensummen | 27 |
| 5.2.1 | Staubringversuch (Stoffbereich P) | 28 |
| 5.2.2 | Gasringversuch (Stoffbereich G) | 29 |
| 5.2.3 | Geruchsringversuch (Stoffbereich O) | 30 |
| 5.3 | Theorietest | 31 |
| 6. | Interpretation der Ergebnisse | 32 |
| 6.1 | §29b-Messstellen | 34 |
| 6.2 | Freiwillige Teilnehmer | 37 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.3 | Randbedingungen | 37 |
| 7. | Freiwillige Angaben der Teilnehmer | 38 |
| 7.1 | Messunsicherheiten..... | 39 |
| 7.2 | Sonde und Spülen bei Staubmessungen | 40 |
| 7.3 | Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen..... | 43 |
| 7.4 | Analysegeräte für Schwermetalle | 44 |
| 7.5 | Lösungsmittel zur Desorption von ETX..... | 45 |
| 7.6 | Gaschromatographie Detektoren | 46 |
| 7.7 | Schwefeldioxid..... | 47 |
| 7.8 | Formaldehyd | 48 |
| 7.9 | Feedback der Teilnehmer | 49 |
| 8. | Schlussbemerkung | 51 |
| 9. | Literaturverzeichnis | 52 |

1. Zusammenfassung

An den Staub-Emissionsringversuchen (Stoffbereich P) des HLNUG nahmen im Jahr 2023 insgesamt 50 Messinstitute teil, davon waren 43 Teilnehmer §29b-Messstellen und 7 Freiwillige. Die Erfolgsquote lag bei den §29b-Messstellen (75%) wie in der Vergangenheit deutlich höher als bei den Freiwilligen (33%).

An den Gas-Emissionsringversuchen (Stoffbereich G) nahmen 2023 insgesamt 51 Messinstitute teil, davon waren 46 Teilnehmer §29b-Messstellen und 5 Freiwillige. Die Erfolgsquote lag auch hier bei den §29b-Messstellen (60%) wie in den Jahren zuvor deutlich höher als bei den Freiwilligen (25%).

An den Geruchs-Emissionsringversuchen (Stoffbereich O) nahmen 2023 insgesamt 13 Messstellen teil, von denen 10 aufgrund einer Bekanntgabe nach §29b BImSchG und 3 freiwillig teilnahmen. Hier waren 70% der bekanntgegebenen und 67% der freiwilligen Teilnehmer erfolgreich.

In der Version 2 dieses Jahresberichts wurden gegenüber Version 1 die zugewiesenen Werte für die strömungstechnischen Randbedingungen an zwei Messtagen, sowie die daraus resultierenden z-Scores geringfügig korrigiert.

2. Einleitung

2.1 Rechtlicher Hintergrund

Die Ringversuche an der Emissionssimulationsanlage (ESA) des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) in Kassel wurden für die Qualitätskontrolle von gemäß §29b BImSchG (Bundes-Immissionsschutzgesetz (1)) bekanntgegebenen Messstellen entwickelt. Die in diesem Jahresbericht vorgestellten Ringversuche sind nach DIN EN ISO/IEC 17043 (2) akkreditiert und werden von allen Bekanntgabebehörden in Deutschland im Sinne des §16 IV 7a der 41. BImSchV (3) anerkannt. Die regelmäßige erfolgreiche Teilnahme an diesen Ringversuchen ist somit Voraussetzung für die Aufrechterhaltung einer Bekanntgabe nach §29b BImSchG.

Neben den bereits bekanntgegebenen Messstellen können aber auch andere Labore an den Emissionsringversuchen des HLNUG teilnehmen, z.B. solche, die eine Bekanntgabe anstreben oder auch Labore, die zwar keine Messungen im gesetzlich geregelten Bereich durchführen, aber dennoch die Qualität ihrer Emissionsmessungen überprüfen möchten.

2.2 Die Emissionssimulationsanlage

Voraussetzung für die Durchführung der Ringversuche ist es, den Teilnehmern zeitgleich ein von der Zusammensetzung her stabiles und klar definiertes simuliertes Abgas zur Verfügung zu stellen. Dazu betreibt das HLNUG die Emissionssimulationsanlage (ESA, siehe Abbildung 1). Sie wurde als Modell für einen industriellen Abgasschornstein konstruiert und dient neben der Durchführung von Emissionsringversuchen auch der Durchführung von modellhaften Untersuchungen im Bereich der Emissionsmesstechnik.

Die ESA hat eine Gesamtlänge von 110 m und erstreckt sich über alle sieben Stockwerke des HLNUG-Gebäudes in Kassel. Das Herzstück dieser Anlage ist ein 23 m hohes Edelstahlrohr mit einem Innendurchmesser von 40 cm. Dieser Teil der ESA ist der eigentliche Schornsteinersatz, an dem sich Messöffnungen für die Entnahme von Proben für Emissionsmessungen befinden.

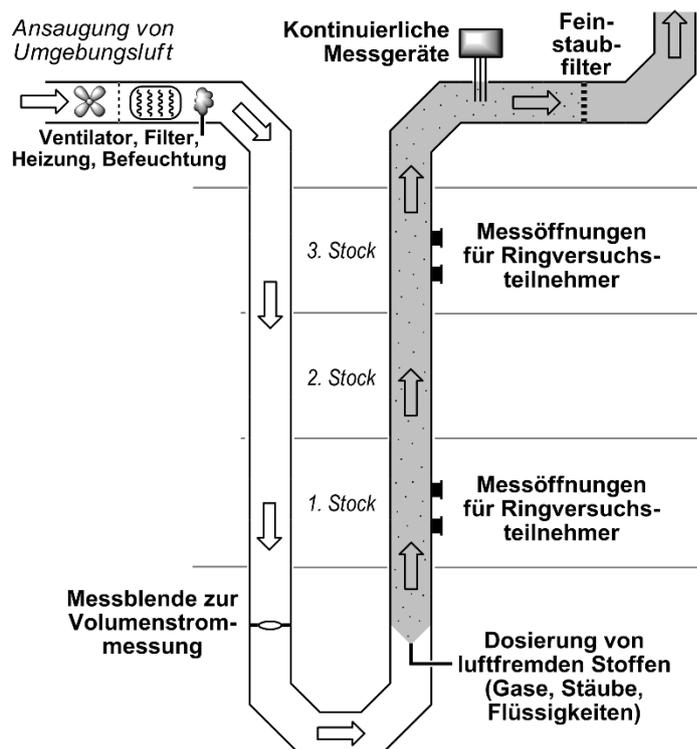


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ESA des HLNUG in Kassel

Die Prüfatmosphäre in Form von simuliertem Abgas wird erzeugt, indem Umgebungsluft angesaugt, durch die Anlage gepumpt, erwärmt und mit genau dosierten Mengen an Fremdstoffen versetzt wird. Das Abgas strömt dabei typischerweise mit ca. 4 – 15 m/s durch die ESA, dadurch wird ein Volumen von ca. 2000 – 6000 m³/h durch die Anlage bewegt.

Die durch die Ringversuchsteilnehmer zu messenden luftfremden Stoffe werden im Dosierlabor im Keller in den Luftstrom dosiert. Dazu ist das Dosierlabor ausgerüstet mit diversen Massenstromreglern und Coriolissensoren für die Dosierung verschiedener Gase, einem Dosiersystem für Flüssigkeiten sowie einem Bürstendosierer für die Dosierung von Stäuben. Die im Dosierlabor erzeugten Konzentrationen luftfremder Stoffe werden durch kontinuierliche Messung durchgehend überwacht.

3. Organisatorische Informationen

Im Jahr 2023 wurden folgende Ringversuche der Stoffbereiche P, G und O durchgeführt:

Tabelle 1: Emissionsringversuche des HLNUG

| Ringversuch | Art | Start | Ende | Teilnehmer |
|-------------|-------------------------|------------|------------|------------|
| 23P1 | Staub (Stoffbereich P) | 13.02.2023 | 14.02.2023 | 7 |
| 23G1 | Gas (Stoffbereich G) | 14.02.2023 | 16.02.2023 | 7 |
| 23P2 | Staub (Stoffbereich P) | 27.02.2023 | 28.02.2023 | 7 |
| 23G2 | Gas (Stoffbereich G) | 28.02.2023 | 02.03.2023 | 7 |
| 23P3 | Staub (Stoffbereich P) | 13.03.2023 | 14.03.2023 | 8 |
| 23G3 | Gas (Stoffbereich G) | 14.03.2023 | 16.03.2023 | 8 |
| 23P4 | Staub (Stoffbereich P) | 27.03.2023 | 28.03.2023 | 8 |
| 23G4 | Gas (Stoffbereich G) | 28.03.2023 | 30.03.2023 | 8 |
| 23P5 | Staub (Stoffbereich P) | 24.04.2023 | 25.04.2023 | 6 |
| 23G5 | Gas (Stoffbereich G) | 25.04.2023 | 27.04.2023 | 7 |
| 23O1 | Geruch (Stoffbereich O) | 19.09.2023 | 19.09.2023 | 4 |
| 23O2 | Geruch (Stoffbereich O) | 21.09.2023 | 21.09.2023 | 4 |
| 23O3 | Geruch (Stoffbereich O) | 26.09.2023 | 26.09.2023 | 5 |
| 23P6 | Staub (Stoffbereich P) | 06.11.2023 | 07.11.2023 | 8 |
| 23G6 | Gas (Stoffbereich G) | 07.11.2023 | 09.11.2023 | 8 |
| 23P7 | Staub (Stoffbereich P) | 20.11.2023 | 21.11.2023 | 6 |
| 23G7 | Gas (Stoffbereich G) | 21.11.2023 | 23.11.2023 | 6 |

Diese Ringversuche wurden unter folgenden Randbedingungen geplant und durchgeführt (siehe dazu auch Durchführungsbestimmungen zu Stoffbereich P und Stoffbereich G von Mai 2019 und zu Stoffbereich O von April 2016):

Tabelle 2: Rahmendaten zu den Emissionsringversuchen des HLNUG

| | Staub (Stoffbereich P) | Gas (Stoffbereich G) |
|-----------------|---|--|
| Probenahmedauer | 30 min je Messung | |
| Anzahl Proben | je Komponente 9 (+ Einführungsmessung) | |
| Probenahme | Für alle Teilnehmer gleichzeitig (1. OG und 3. OG) | |
| Randbedingungen | Volumenstrom: 2000 ... 6000 m ³ /h (Nz, tr) Mittlere Strömungsgeschwindigkeit: 4 ... 15 m/s (Bz, f) Temperatur: 20 ... 50 °C Wasserdampfkonzentration: 0 ... 50 g/m ³ (Nz, tr) Statischer Druck: 0 ... 10 hPa | |
| Konzentrationen | Gesamtstaub: 1 ... 15 mg/m ³ Schwermetalle: 1 ... 200 µg/m ³ | NO _x als NO ₂ : 60 ... 450 mg/m ³ CO: 10 ... 100 mg/m ³ Gesamt-C: 4 ... 100 mg/m ³ Ethylbenzol: 1 ... 40 mg/m ³ Toluol: 1 ... 40 mg/m ³ Xylol (Summe Isomere): 1 ... 40 mg/m ³ SO ₂ : 20 ... 150 mg/m ³ Formaldehyd: 2 ... 20 mg/m ³ |

| Staub (Stoffbereich P) | | Gas (Stoffbereich G) |
|--------------------------------|--|--|
| Abgabe | sechs Wochen nach Abschluss des Ringversuchs, mit zwei Nachkommastellen in mg/m ³ im Normzustand, trocken (Gesamtstaub), bzw. µg/m ³ im Normzustand, trocken (Schwermetallgehalte) | vier Wochen nach Abschluss des Ringversuchs, mit zwei Nachkommastellen, in mg/m ³ im Normzustand, trocken |
| Art der Abgabe | Über eine vom HLNUG zur Verfügung gestellte Excel-Datei, in die die jeweiligen Ergebnisse einzutragen sind | |
| Geruch (Stoffbereich O) | | |
| Probenahmedauer | 10 min | |
| Anzahl Proben | 3 pro Komponente | |
| Randbedingungen | 2000 ... 6000 m ³ /h, Abgasgeschwindigkeit > 4 m/s, Wasserdampfgehalt bis 50 g/m ³ | |
| Konzentrationen | Richtwert: 50 ... 50000 GE _E /m ³ | |
| Abgabe | Am Ringversuchstag bis 19:00 Uhr, auf ganze Zahlen gerundet in GE _E /m ³ | |
| Art der Abgabe | Über eine vom HLNUG zur Verfügung gestellte Excel-Datei, persönlich am Ringversuchstag abgegeben. Messwerte als ganze Zahlen. | |

Die Ringversuche wurden vom Dezernat I3 (Luftreinhaltung: Emissionen) des Hessischen Landesamtes für Naturschutz, Umwelt und Geologie durchgeführt. Ort der Ringversuchsdurchführung ist:

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie
Ludwig-Mond-Str. 33
34121 Kassel
Tel.: 0561 – 2000 137
Fax: 0561 – 2000 225
E-Mail: pt@hlnug.hessen.de

Derzeit fachlich verantwortlich für die Durchführung der Ringversuche sind:

Dr. Jens Cordes, Benno Stoffels und Dr. Dominik Wildanger.

4. Durchführung der Ringversuche

4.1 Beschreibung der Prüfgegenstände

Im Gegensatz zu Ringversuchen anderer Anbieter finden die Emissionsringversuche des HLNUG an einer Emissionssimulationsanlage statt und beinhalten die Probenahme. Der Prüfgegenstand in unseren Ringversuchen ist daher bei jeder Messung der während des Messzeitraums im Kanal befindliche Abgasstrom (siehe Abschnitt 2.2). Die Prüfgegenstände existieren somit nur während der Durchführung der Messung, die üblichen Festlegungen für Homogenität und Stabilität sind für die Emissionsringversuche an der ESA folglich interpretationsbedürftig (4). Umfangreiche Untersuchungen ergaben, dass die Standardabweichungen zwischen den Proben für die den Teilnehmern zugewiesenen Probenahmepunkte bzw. Messquerschnitte maximal die in Tabelle 3 genannten Werte erreichen.

Tabelle 3: Maximalwerte der Standardabweichungen zwischen den Proben

| Messgröße | Messpunkte für die Bestimmung | relative Standardabweichung zwischen den Proben [%] |
|---|--|---|
| Massenkonzentration Gesamtstaub und Schwermetalle | alle verfügbaren Messquerschnitte (Netzmessungen) | 1,58 |
| Massenkonzentration Gase | unterster verfügbarer Messquerschnitt (Punktmessungen) | 0,15 |
| Massenkonzentration verdampfte Flüssigkeiten | unterster verfügbarer Messquerschnitt (Punktmessungen) | 0,16 |

Alle ermittelten Standardabweichungen zwischen den Proben liegen deutlich unter den Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer. Damit ist gewährleistet, dass alle Teilnehmer im Ringversuch vergleichbare Probenahmebedingungen vorfinden. Die Position der Probenahme, also der vom Veranstalter zugewiesene Messquerschnitt, hat keinen signifikanten Einfluss auf die vom Teilnehmer gemessenen Massenkonzentrationen. Ein Äquivalent zum Stabilitätstest in konventionellen Ringversuchen existiert an der ESA nicht, da die Prüfgegenstände nicht nach der Ermittlung der zugewiesenen Werte gelagert werden. Die zugewiesenen Werte werden stattdessen für jeden Prüfgegenstand während dessen Erzeugung, und somit während der zeitgleichen Messung der Teilnehmer, einzeln bestimmt.

4.2 Herstellung der Prüfgegenstände

Der von den Teilnehmern beprobte Abgasstrom in der ESA wird durch die Zugabe der zu messenden Prüfstoffe in den von der Anlage generierten Luftstrom erzeugt. Gase werden als Reinstoffe zugegeben, verdampfte Flüssigkeiten entweder ebenfalls als Reinstoffe oder als Lösungen in anderen verdampfenden Flüssigkeiten. Teilweise erfolgt die Dosierung dieser Flüssigkeiten auch als homogenes Gemisch verschiedener Reinstoffe (5).

Im Gegensatz zu den Reinsubstanzen bei Gas- und Geruchs-Ringversuchen sind für partikelförmige Stoffe keine Referenzmaterialien in ausreichender Menge am Markt verfügbar. Daher werden für Ringversuche des Stoffbereichs P die im HLNUG gemäß DIN EN ISO 17034 (6) hergestellten zertifizierten Referenzmaterialien eingesetzt. Die Matrix ist hier ein industrieller Staub, der durch gezielte Schwermetall-dotierung, Mahl-, Sieb- und Trocknungsschritte optimiert wird. Durch intensives Mischen der Charge wird abschließend eine vollständige Homogenisierung des Staubstandards erreicht.

Die Ermittlung des konventionell richtigen Wertes („zugewiesener Wert“) der Schwermetallkonzentration einer dotierten Staubprobe erfolgt auf Basis der Daten aus Ringanalysen, die von Laboratorien verschiedener Landesanstalten durchgeführt wurden. Der robuste Mittelwert aus den Einzelwerten der Ringanalysen wird als zugewiesener Schwermetallgehaltswert des Staubstandards betrachtet. Der Staub unterliegt einer Homogenitäts- und Stabilitätsprüfung und Verifizierung, die in bestimmten Abständen wiederholt wird. Homogenität und Stabilität der Prüfstäube werden nach DIN ISO 13528 (7) überprüft.

4.3 Metrologische Rückführung

Die gasförmigen Stoffe CO, NO und Propan werden unter Verwendung von Coriolisdurchflusssensoren dosiert. Dabei werden die Massenströme messtechnisch erfasst, diese sind gravimetrisch über geeignete Prüfgewichte und Waagen rückgeführt. Flüssigkeiten werden bei der Dosierung aus einem auf einer Waage befindlichen Behälter entnommen. Über die Erfassung

der Wägewerte wird auch hier der Massenstrom aufgezeichnet, die verwendete Waage ist über geeignete Prüfgewichte messtechnisch rückgeführt. Die Massenströme für SO₂ und Stäube werden durch Differenzwägung der verwendeten Behälter ermittelt, auch hier sind die verwendeten Waagen über geeignete Prüfgewichte messtechnisch rückgeführt. Die zugewiesenen Werte der Schwermetallkonzentrationen im Staub werden im Rahmen von Ringanalysen von kompetenten Laboratorien unter Verwendung verschiedener Analysengeräte ermittelt. Im Rahmen dieser Ringanalysen erfolgt ein Totalaufschluss des Staubes gemäß DIN EN 14385 (8), sowie eine Analyse unter Verwendung kalibrierter Messeinrichtungen. Diese Kalibrierung erfolgt mittels Elementlösungen bekannter rückgeführter Zusammensetzung. Die Schwermetallkonzentrationen in den verwendeten Prüfstäuben sind darüber metrologisch rückgeführt. Der Volumenstrom wird über eine Messblende ermittelt, welche regelmäßig mittels metrologisch rückgeführter Messgeräte überprüft wird. Durch die Berechnung aus metrologisch rückgeführten Massenströmen und metrologisch rückgeführten Volumenströmen sind alle angegebenen Massenkonzentrationen ebenfalls metrologisch rückgeführt. Die Maximalwerte der relativen Standardunsicherheit der zugewiesenen Werte sind in den Tabellen 5 bis 7 zu finden. Genaue Angaben sind in den Ergebnismitteilungen zu den einzelnen Ringversuchsteilnahmen zu finden.

4.4 Messverfahren

Jeder Teilnehmer hat die Massenkonzentration der Emissionskomponenten unter Berücksichtigung von DIN EN 15259 (9) zu bestimmen. Zusätzlich sind vor Beginn der eigentlichen Probenahme die messtechnischen Randbedingungen zu erfassen. Dazu gehören Abgasgeschwindigkeit, Volumenstrom, Abgastemperatur, Wasserdampfkonzentration sowie der statische Druck in der Anlage.

Tabelle 4: Vorgegebene Messverfahren

| Stoffbereich | Komponente | Verfahren |
|--------------|-------------------------------------|---|
| P | Staub | DIN EN 13284-1 (10) |
| | Staubinhaltsstoffe | DIN EN 14385 (8) |
| G | NO _x als NO ₂ | DIN EN 14792 (11) |
| | CO | DIN EN 15058 (12) |
| | Gesamt-C | DIN EN 12619 (13) |
| | ETX | DIN CEN/TS 13649 (14) |
| | SO ₂ | DIN EN 14791 (15) |
| | Formaldehyd | VDI 3862 Blatt 2 (16), Blatt 3 (17) oder Blatt 4 (18) |
| O | Vier Geruchsstoffe | DIN EN 13725 (19) |

4.5 Auswertung der Ringversuche

4.5.1 Berechnung von z-Scores

Stoffbereich P und G

Die Auswertung der Ringversuchsergebnisse erfolgt gemäß den jeweiligen Durchführungsbestimmungen (Stoffbereich P und G) nach dem z-Score-Verfahren. Dazu wird für den *i*-ten

Messwert der j -ten Konzentrationsstufe der k -ten Komponente x_{ijk} ein z-Score-Wert z_{ijk} ermittelt:

$$z_{ijk} = \frac{x_{ijk} - X_{ijk}}{\sigma_k \cdot X_{ijk}}$$

Dabei ist X_{ijk} der zugewiesene Wert (Sollwert) der entsprechenden Dosierung und σ_k das Kriterium zur Leistungsbewertung der Teilnehmer (Präzisionsvorgabe). Der zugewiesene Wert wird aus den Messdaten der Dosieranlage sowie dem Volumenstrom hergeleitet.

Stoffbereich O

Für Geruchsringversuche erfolgt die Berechnung der z-Scores auf Basis der logarithmierten Werte:

$$z_{ik} = \frac{1}{\sigma_k} \cdot \log_{10} \left(\frac{x_{ik}}{X_{ik}} \right)$$

Hierbei ist X_{ik} der zugewiesene Wert der entsprechenden Dosierung und σ_k das Kriterium zur Leistungsbewertung der Teilnehmer. Der zugewiesene Wert wird aus der dosierten Massenkonzentration c_{ik} und dem Geruchsschwellenwert $c_{0,k}$ der Komponente berechnet:

$$X_{ik} = \frac{c_{ik}}{c_{0,k}} \text{ GE}_E/\text{m}^3$$

Die dosierte Massenkonzentration c_{ik} wird für jede Messung aus den Messdaten der Dosieranlage sowie dem Volumenstrom hergeleitet. Der Geruchsschwellenwert $c_{0,k}$ beträgt für die Komponente n -Butanol $c_0 = 123 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für alle anderen Komponenten werden Werte aus den Ergebnissen der Ringversuchsteilnehmer nach folgendem Schema hergeleitet:

- a) Es wird ein Konsenswert aus Messungen von mindestens 20 Teilnehmern aus mindestens zwei verschiedenen vorherigen Ringversuchen des HLNUG ermittelt. Dabei werden nur Ergebnisse von Teilnehmern verwendet, die im selben Ringversuch für die Komponente n -Butanol die Bewertung „bestanden“ erhalten haben. Die Berechnung wird als robuster Mittelwert der logarithmierten Werte gemäß DIN ISO 13528 (7) durchgeführt und regelmäßig durch Einbeziehung neuer Ergebnisse aktualisiert. Die Berechnung ist auf Ergebnisse der letzten 5 Jahre beschränkt, sofern die oben genannten Mindestanforderungen erfüllt sind.
- b) Liegen nicht genügend Messergebnisse aus vorherigen Ringversuchen für eine Ermittlung des Konsenswertes der Teilnehmer gemäß Punkt a) vor, wird der Wert für die Geruchsschwelle einer im Ringversuch angebotenen Komponente nachträglich aus den Messergebnissen der Teilnehmer des Ringversuchs berechnet. Dabei können die Ergebnisse von mehreren Ringversuchen zusammengefasst werden, sofern die Probenahmen innerhalb eines Zeitraums von 14 Tagen stattgefunden haben. Dabei werden nur Ergebnisse von Teilnehmern verwendet, die im selben Ringversuch für die Komponente n -Butanol die Bewertung „bestanden“ erhalten haben. Die Berechnung wird als robuster Mittelwert der logarithmierten Werte gemäß DIN ISO 13528 (7) durchgeführt. Liegen für eine Komponente weniger als neun Messergebnisse vor, die die oben genannten Kriterien erfüllen, kann für diese Komponente weder eine Auswertung in Form von z-Scores, noch eine Leistungsbewertung vorgenommen werden.

In den Ringversuchen im Jahr 2023 wurden neben *n*-Butanol die Komponenten Lösungsmittelgemisch (ETX), Tetrahydrothiophen (THT) und künstlicher Schweinestall (PIG) eingesetzt. Der Geruchsschellenwert $c_{0,k}$ konnte für die Komponenten ETX und PIG nach Schema a) ermittelt werden. Hier ergab sich für ETX aus 210 Einzelmessungen aus den Jahren 2018 bis 2022 ein Konsenswert von $c_0 = 220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und für PIG ein Konsenswert von $c_0 = 194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aus 84 Einzelmessungen aus den Jahren 2021 und 2022. Für die Komponente THT musste ein Konsenswert nach Schema b) ermittelt werden. Hier ergab sich ein Wert von $c_0 = 0,486 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf der Grundlage von 30 Einzelmessungen aus dem Jahr 2023.

Sofern die gemäß DIN ISO 13528 (7) berechnete relative Unsicherheit des wahren Wertes u_k für eine Komponente einen Wert ergibt, mit dem bei $\sigma_k = 0,10$ die Bedingung

$$\sigma_k \geq \frac{1}{0,3} \cdot \log_{10}(1 + u_k)$$

nicht erfüllt ist, so wird die Präzisionsvorgabe für die betroffene Komponente entsprechend DIN ISO 13528 (7) angepasst. Dazu wird σ_k auf den nächsten Wert mit zwei Nachkommastellen angehoben, der die obige Bedingung erfüllt. Dies war im Jahr 2023 für die Komponenten THT und PIG erforderlich, für die σ_k auf einen Wert von 0,11 (THT) bzw. 0,17 (PIG) angehoben wurde. Die Teilnehmer wurden mit der Ergebnismitteilung durch das HLNUG über die Anhebung der Präzisionsvorgabe informiert.

4.5.2 Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer

Die Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer (Präzisionsvorgaben) σ_k wurden als Werte aus Erkenntnissen gemäß Abschnitt 6.3 der DIN ISO 13528 (7) durch die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) festgelegt und im Rahmen der Durchführungsbestimmungen für Emissionsringversuche veröffentlicht. Die Werte betragen für die einzelnen Komponenten:

Tabelle 5: Präzisionsvorgaben Staubringversuch

| Nr. | Komponente | Kurzbezeichnung | Präzisionsvorgabe σ_k in % vom Sollwert | Max. Standardunsicherheit der Sollwerte [%] |
|-----|--------------------|-----------------|--|---|
| P1 | Staubkonzentration | St | 7,0 | 1,57 |
| P2 | Cadmium | Cd | 10,0 | 1,86 |
| P3 | Cobalt | Co | 10,0 | 1,90 |
| P4 | Chrom | Cr | 10,0 | 1,88 |
| P5 | Kupfer | Cu | 10,0 | 2,19 |
| P6 | Mangan | Mn | 10,0 | 2,01 |
| P7 | Nickel | Ni | 10,0 | 1,94 |
| P8 | Blei | Pb | 10,0 | 1,86 |
| P9 | Vanadium | V | 10,0 | 2,14 |

Tabelle 6: Präzisionsvorgaben Gasringversuch

| Nr. | Komponente | Kurzbezeichnung | Präzisionsvorgabe σ_k in % vom Sollwert | Max. Standardunsicherheit der Sollwerte [%] |
|-----|---|-----------------|--|---|
| G1 | NO _x als NO ₂ | Nk | 3,1 | 1,03 |
| G2 | CO | Kk | 3,6 | 1,08 |
| G3 | Gesamt-C | Ck | 3,3 | 1,08 |
| G4 | Ethylbenzol | Ed | 4,1 | 1,01 |
| G5 | Toluol | Td | 4,1 | 1,01 |
| G6 | Summe <i>o</i> -, <i>m</i> -, <i>p</i> -Xylol | Xd | 4,1 | 1,01 |
| G7 | SO ₂ | Sd | 3,4 | 1,11 |
| G8 | Formaldehyd | Fd | 3,6 | 1,17 |

Tabelle 7: Präzisionsvorgaben Geruchsringversuch

| Nr. | Komponente | Kurzbezeichnung | Präzisionsvorgabe σ_k | Max. Standardunsicherheit der Sollwerte [%] |
|-----|---------------------------------|-----------------|------------------------------|---|
| O1 | <i>n</i> -Butanol | NBU | 0,10 | 1,01 |
| O2 | Lösungsmittelgemisch | ETX | 0,10 | 5,25 |
| O3 | Tetrahydrothiophen | THT | 0,11 | 7,19 |
| O4 | Künstlicher Schweinestallgeruch | PIG | 0,17 | 12,1 |

4.5.3 Bewertungsschema

Interpretation der z-Scores

Für die Interpretation der ermittelten z-Score-Werte gilt folgendes Schema:

| | |
|-------------------|----------------------------|
| $z_{ijk} \leq 2$ | Ergebnis zufriedenstellend |
| $2 < z_{ijk} < 3$ | Ergebnis fraglich |
| $z_{ijk} \geq 3$ | Ergebnis unzureichend |

Generell sollte bei jedem Ergebnis, das mit einem z-Score von mehr als zwei bewertet wurde, eine Ursachenforschung betrieben werden.

Die Bewertung der einzelnen Komponenten wird je nach Stoffbereich unterschiedlich durchgeführt.

Stoffbereich P und G

Für die Komponenten im Staub- und Gasringversuch werden die Beträge der n z-Scores der Ergebnisse einer Konzentrationsstufe (in der Regel $n = 3$) einer Komponente k gemittelt:

$$z_{jk} = \sum_{i=1}^n \frac{|z_{ijk}|}{n}$$

und jeder Konzentrationsstufe j in Abhängigkeit von diesem mittleren z-Score eine Klassenzahl nach folgendem Schema zugeordnet:

$$\begin{aligned} z_{jk} \leq 2 & \quad \text{ergibt } K_{jk} = 1 \\ 2 < z_{jk} < 3 & \quad \text{ergibt } K_{jk} = 2 \\ z_{jk} \geq 3 & \quad \text{ergibt } K_{jk} = 3 \end{aligned}$$

Für jede Komponente müssen mindestens sechs Messwerte eingereicht worden sein, andernfalls gilt die Komponente als nicht erfolgreich bestimmt („nicht bestanden“).

Eine Komponente wurde dann erfolgreich bestimmt, wenn die zugehörige Summe der Klassenzahlen ≤ 6 ist. Stehen in begründeten Einzelfällen nur die Ergebnisse für zwei Konzentrationsstufen für eine Auswertung zur Verfügung, so wird die Bestimmung dann als erfolgreich bewertet, wenn die Summe der Klassenzahlen ≤ 4 ist. Der Ringversuch wird insgesamt als „bestanden“ bewertet, wenn alle Komponenten des Ringversuchs (P1 bis P9 für Staub, G1 bis G8 für Gas) mit „bestanden“ bewertet wurden. Wurde eine dieser Komponenten mit „nicht bestanden“ bewertet, ist auch das Gesamtergebnis „nicht bestanden“. Wurde an mindestens einer der Komponenten nicht teilgenommen, wird die gesamte Teilnahme mit „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ bewertet, sofern alle anderen Komponenten mit „bestanden“ bewertet wurden.

Stoffbereich O

Für die Auswertung werden die Beträge der z-Scores der Ergebnisse der n Messungen einer Komponente k gemittelt

$$z_k = \sum_{i=1}^n \frac{|z_{ik}|}{n}$$

Eine Komponente wurde dann erfolgreich bestimmt, wenn das Kriterium

$$z_k < 3$$

erfüllt ist. In diesem Fall wird die Komponente als „bestanden“ bewertet. Ist $z_k \geq 3$, oder wurden die Messergebnisse nicht fristgemäß abgegeben, wird die Komponente als „nicht bestanden“ bewertet. Der Ringversuch wird insgesamt als „bestanden“ gewertet, wenn alle Komponenten erfolgreich bestimmt wurden.

Abgasrandbedingungen

Für die Messung der Abgasrandbedingungen im Staub- und Gasringversuch werden nur zwei Messwerte pro Komponente und Ringversuch eingereicht und bewertet. Es gilt die oben beschriebene Interpretation der z-Score Werte. Hier werden die Beträge der z-Scores der n Ergebnisse (in der Regel ist $n = 2$) einer Komponente gemittelt:

$$z_k = \sum_{i=1}^n \frac{|z_{ik}|}{n}$$

Die Komponente Volumenstrom wird als „bestanden“ bewertet, wenn die Bedingung

$$z_k < 3$$

erfüllt ist, andernfalls wird die Komponente mit „nicht bestanden“ bewertet. Wurden keine Messwerte eingereicht, wird die Komponente mit „nicht teilgenommen“ angegeben.

Der Ringversuchsteil Abgasrandbedingungen wird insgesamt als „bestanden“ bewertet, wenn die Komponente Volumenstrom mit „bestanden“ bewertet wurde. Wurde die Komponente Volumenstrom mit „nicht bestanden“ bewertet, wird dieser Ringversuchsteil als „nicht bestanden“ bewertet. Wurde an der Komponente Volumenstrom nicht teilgenommen, wird der Ringversuchsteil Abgasrandbedingungen als „nicht bewertet“ angegeben.

4.5.4 Ergebnismitteilung

Die Versendung der Ergebnisse als Kurzbericht in tabellarischer und in Diagrammform an die Ringversuchsteilnehmer erfolgte unter Angabe der jeweiligen Teilnehmernummer (ID-Code) spätestens sechs Wochen nach Ablauf der Abgabefrist.

5. Ergebnisse

5.1 z-Scores

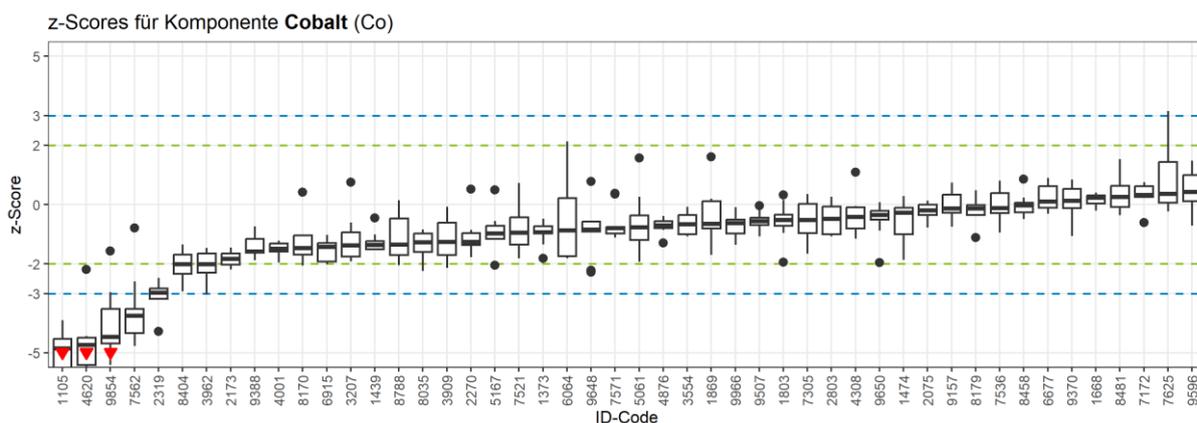
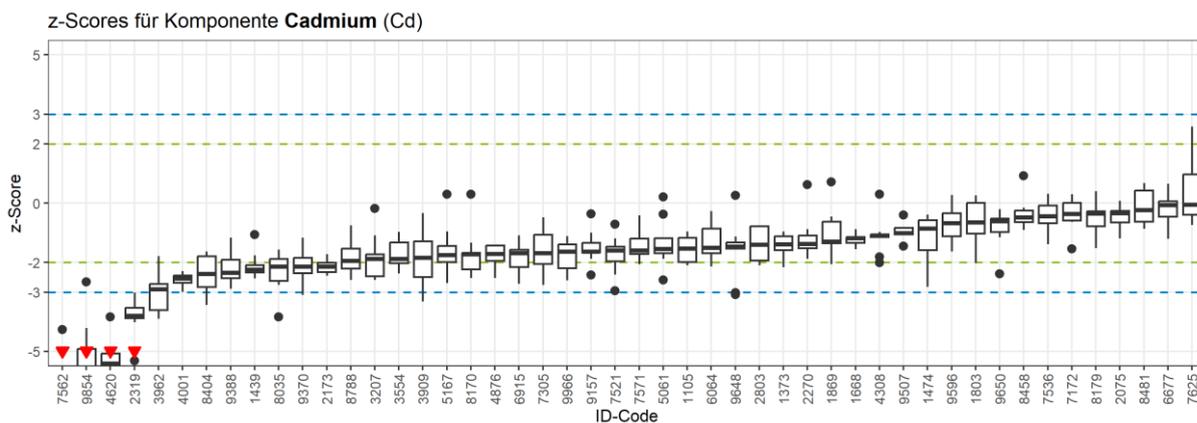
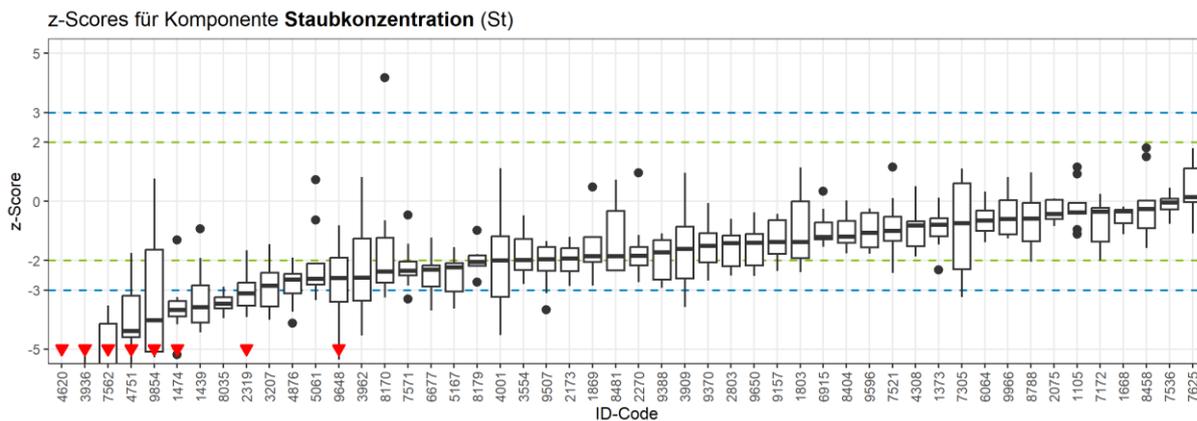
Eine kompakte Übersicht der von den Teilnehmern erreichten z-Scores findet sich in den folgenden Box-Whisker-Plots. Das Rechteck kennzeichnet dabei jeweils Werte zwischen dem 25. und dem 75. Perzentil (Interquartilsabstand), der durchgehende Strich im Rechteck den Median der Werte. Die „Antennen“ reichen vom oberen Rand der Box zum höchsten bzw. vom unteren Rand zum niedrigsten Wert, der noch im 1,5-fachen des Interquartilsabstands liegt. Werte außerhalb dieses Bereichs werden separat im Diagramm eingetragen.

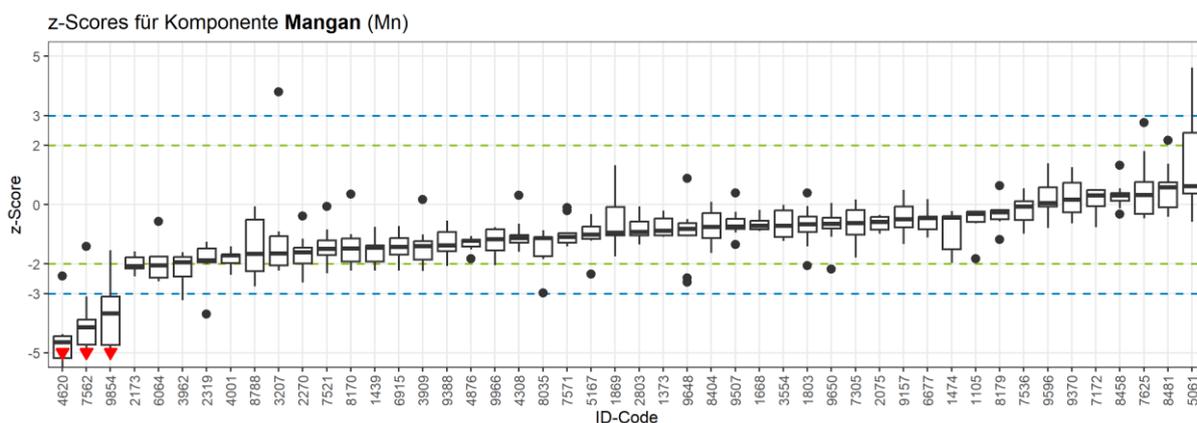
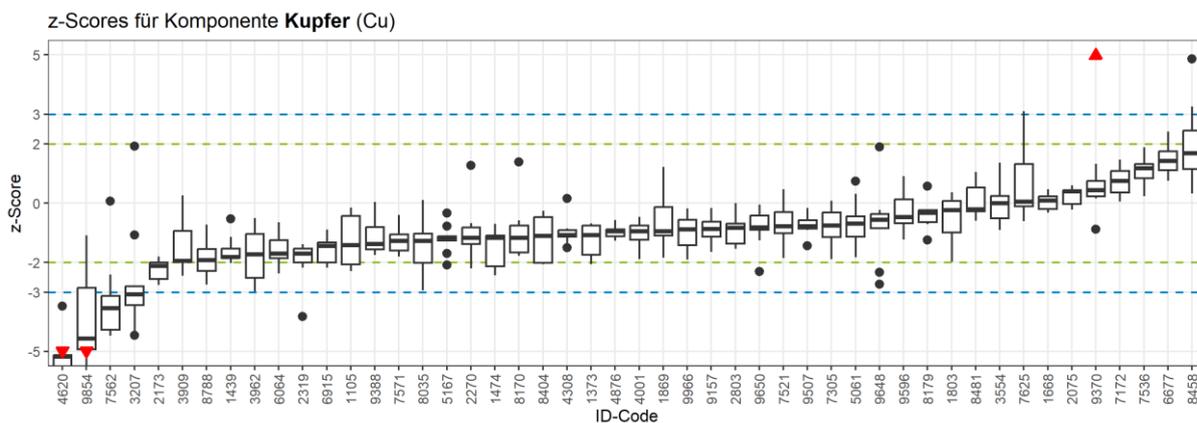
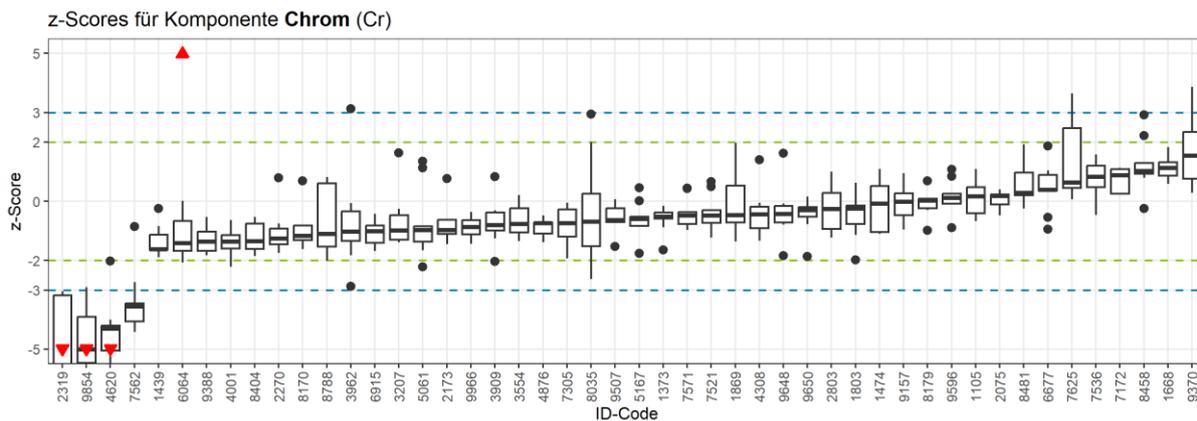
Um einerseits die Leistungsfähigkeit einzelner Teilnehmer über alle Komponenten beurteilen zu können und andererseits einen Eindruck über die Qualität von Messungen für einzelne Komponenten zu erhalten, liegen die Diagramme in zwei verschiedenen Sortierungen vor; zum einen als Übersicht auf einer Seite, zum anderen sortiert nach dem jeweiligen Median der erreichten z-Scores. Eine Auflistung der einzelnen z-Score-Werte ist im Anhang zu diesem Bericht zu finden.

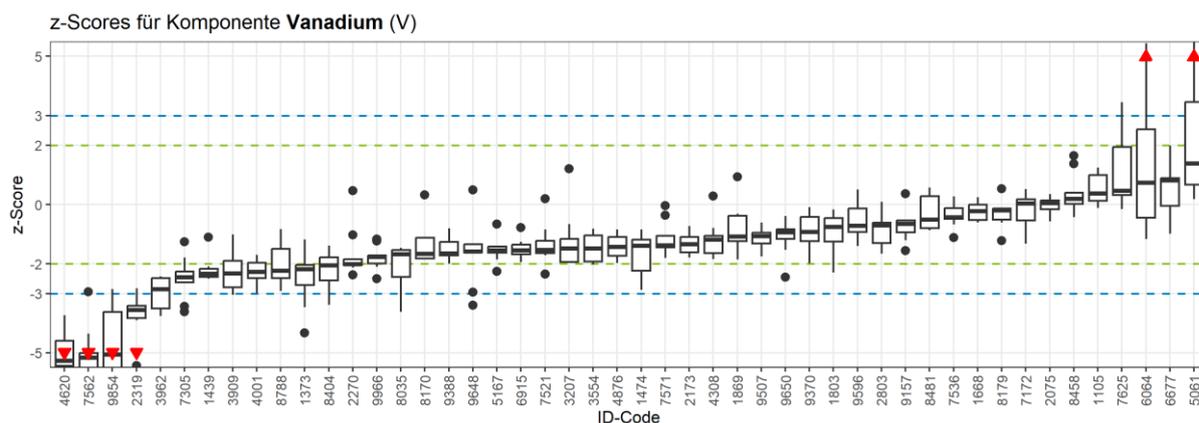
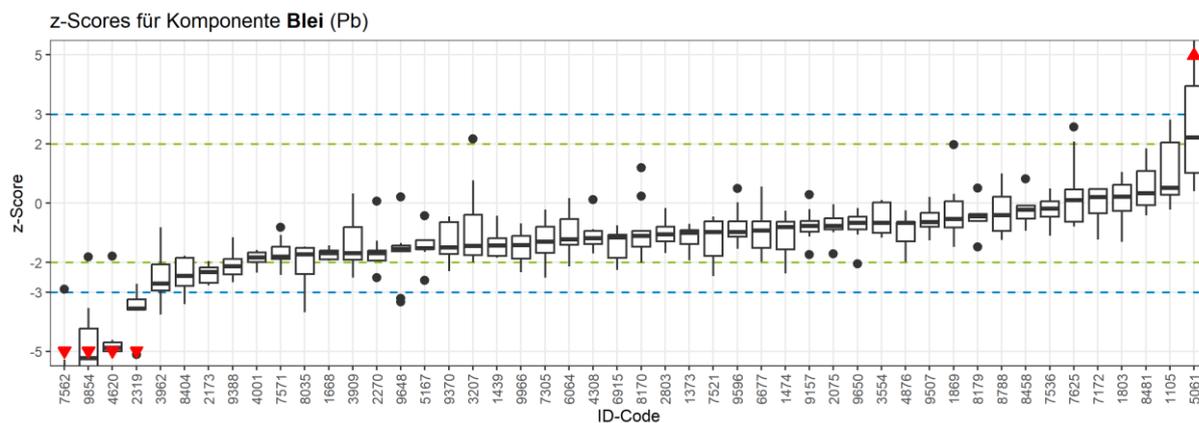
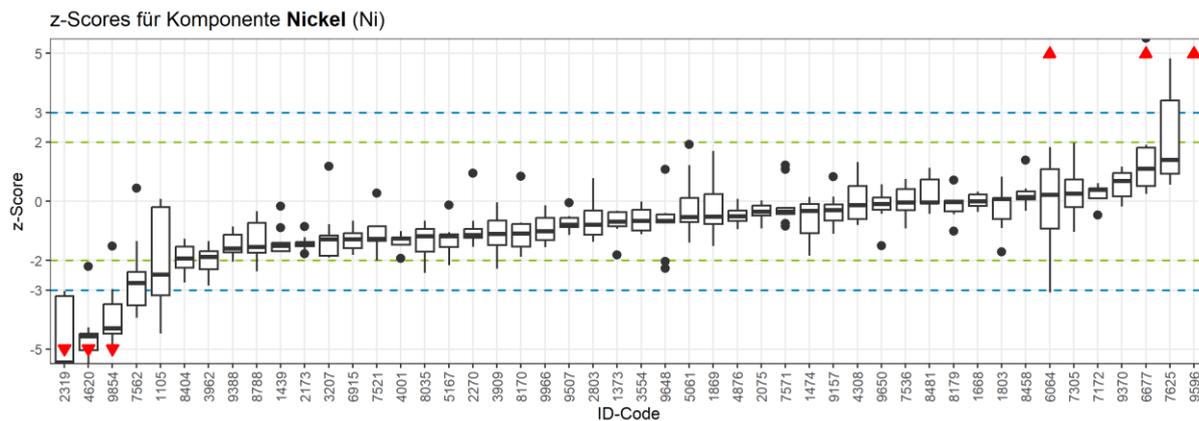
5.1.1 Staubringversuch (Stoffbereich P)



Abbildung 2: z-Scores für den Stoffbereich P







5.1.2 Gasringversuch (Stoffbereich G)

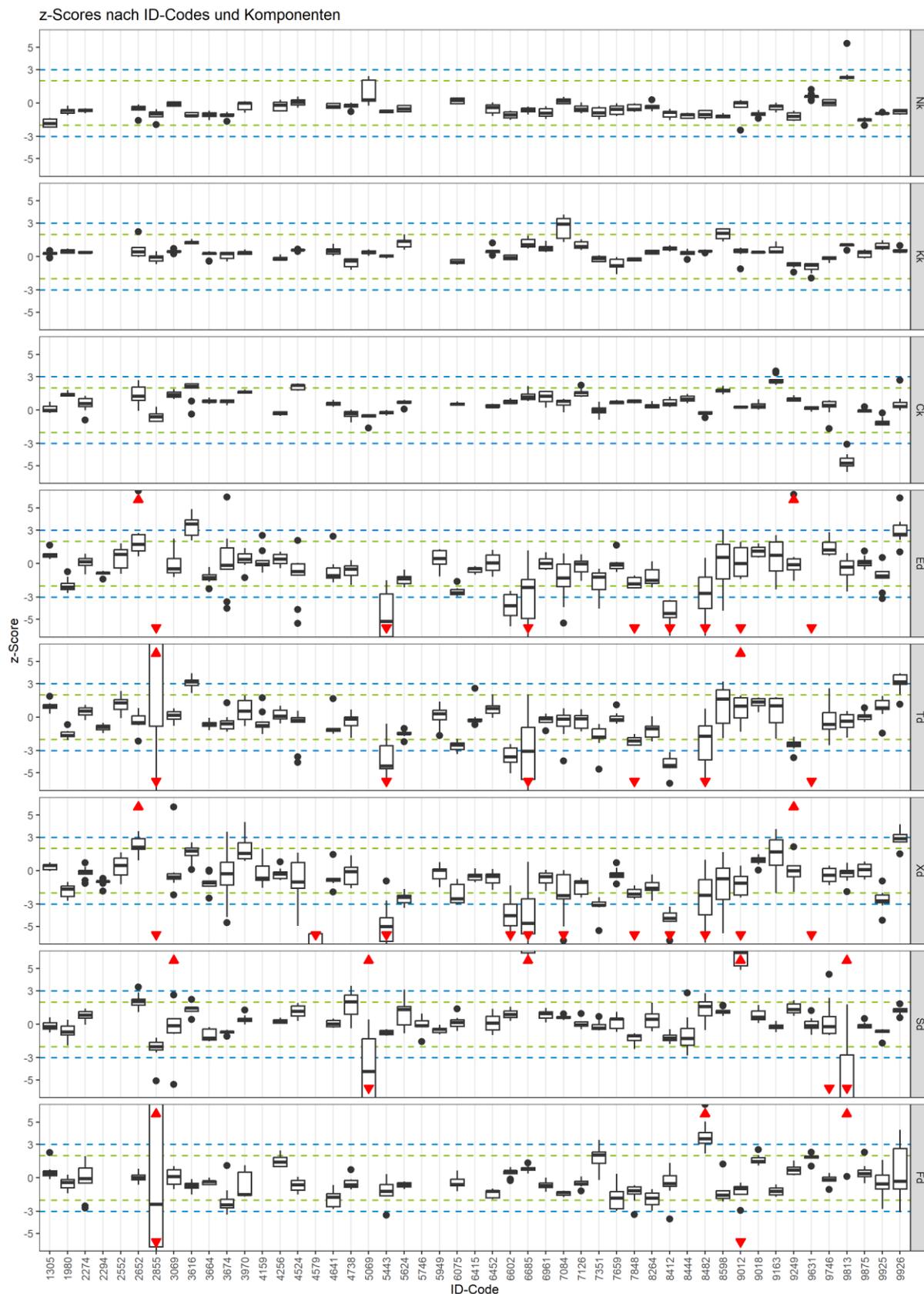
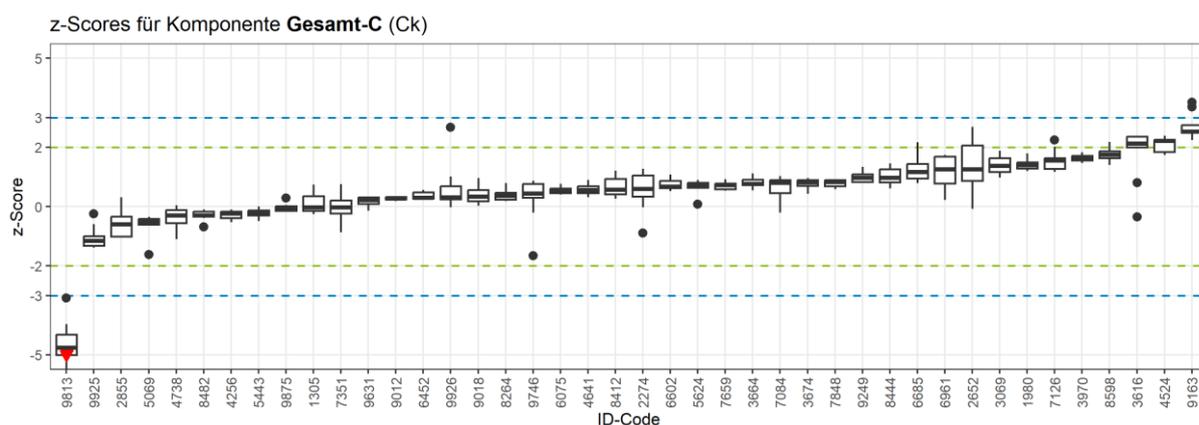
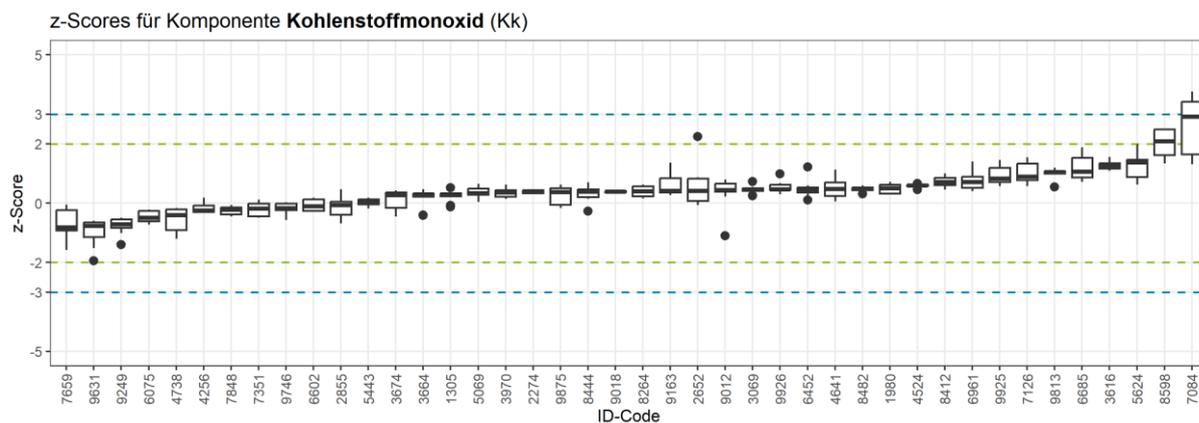
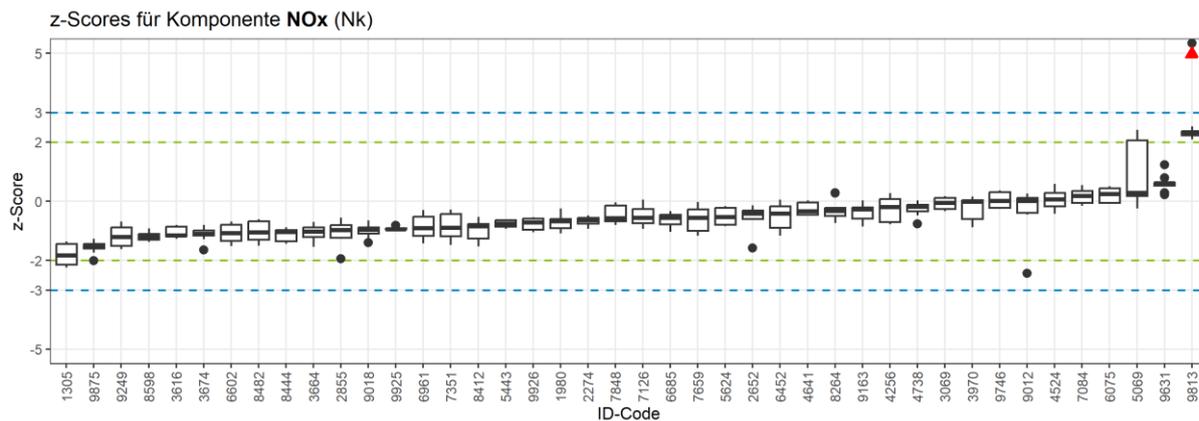
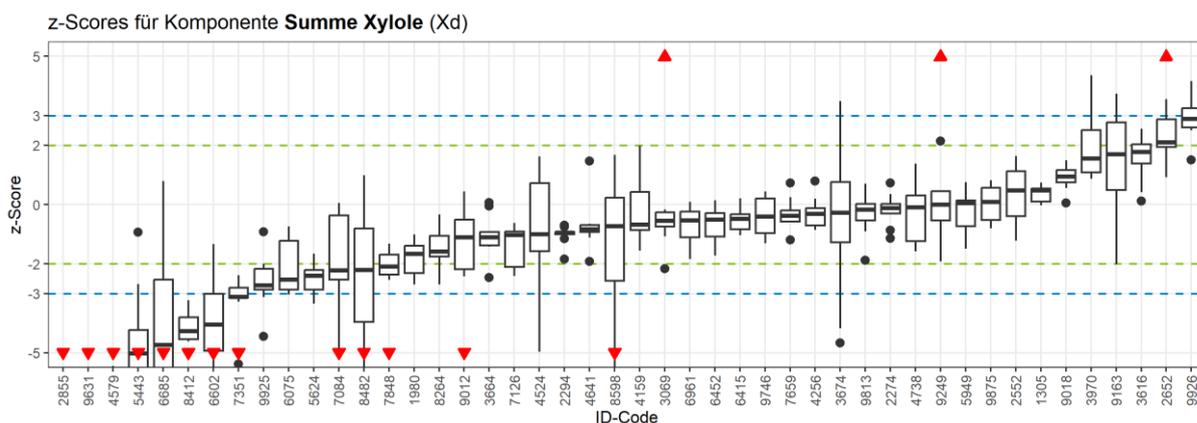
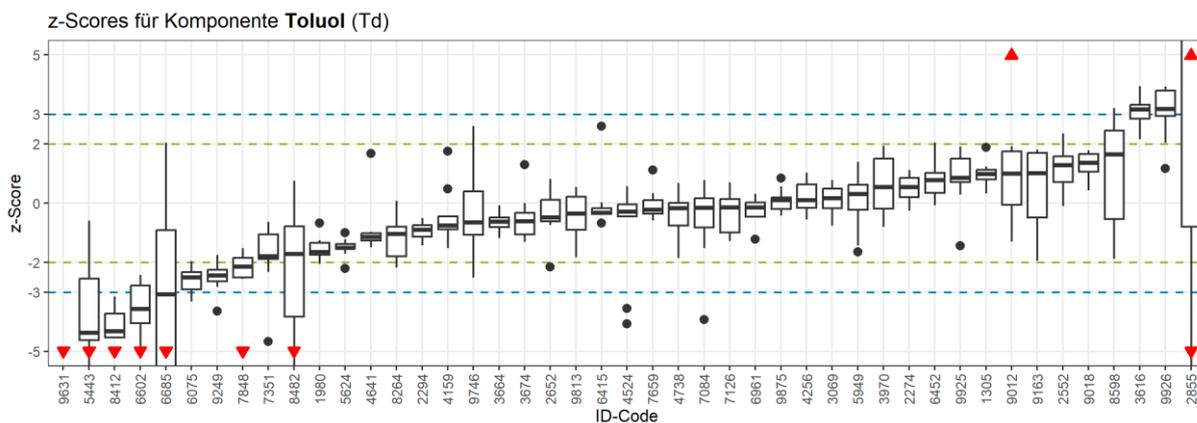
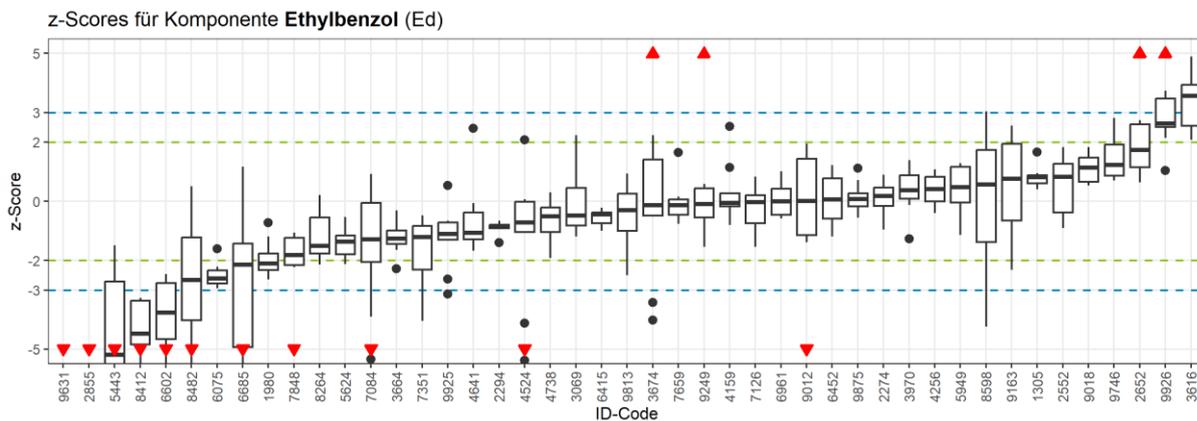
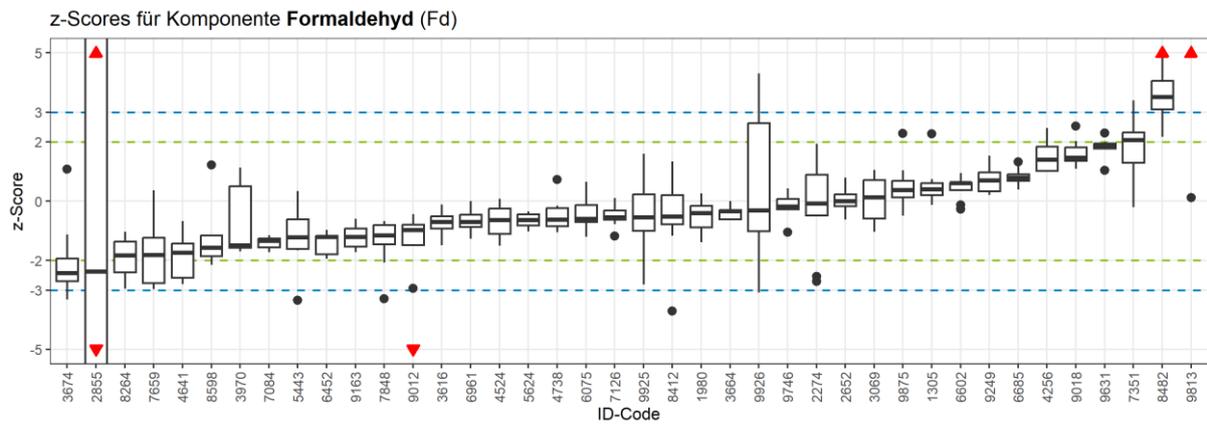
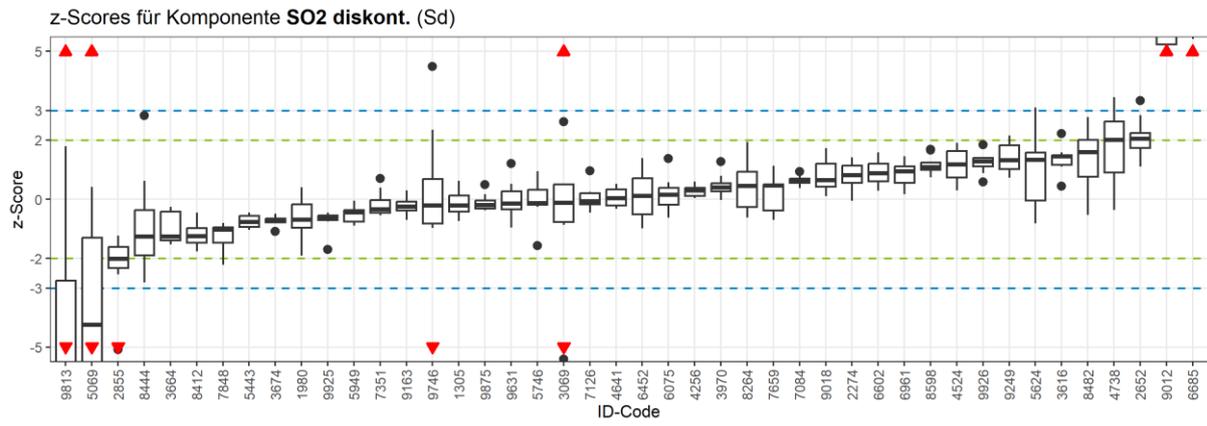


Abbildung 3: z-Scores für den Stoffbereich G







5.1.3 Geruchsringversuch (Stoffbereich 0)

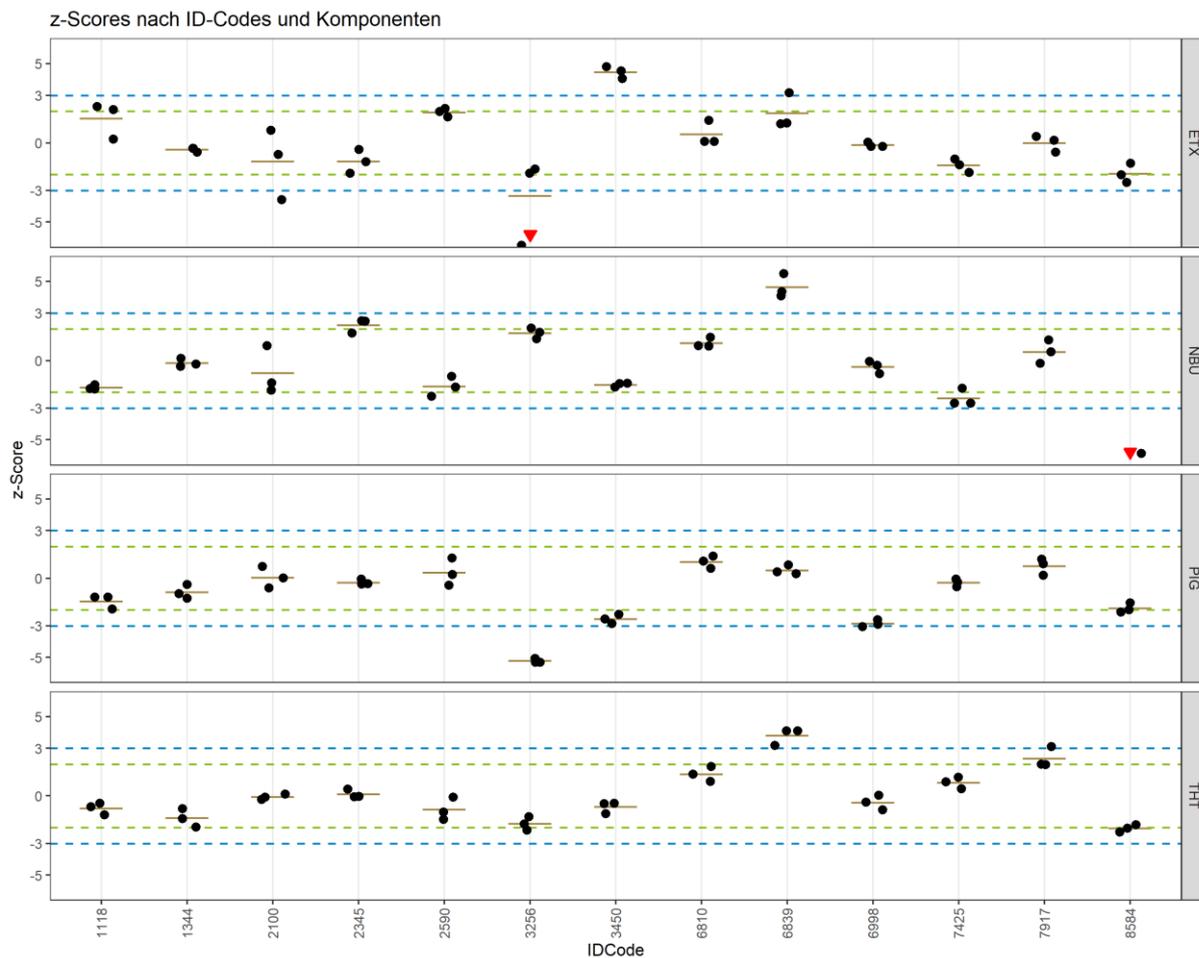
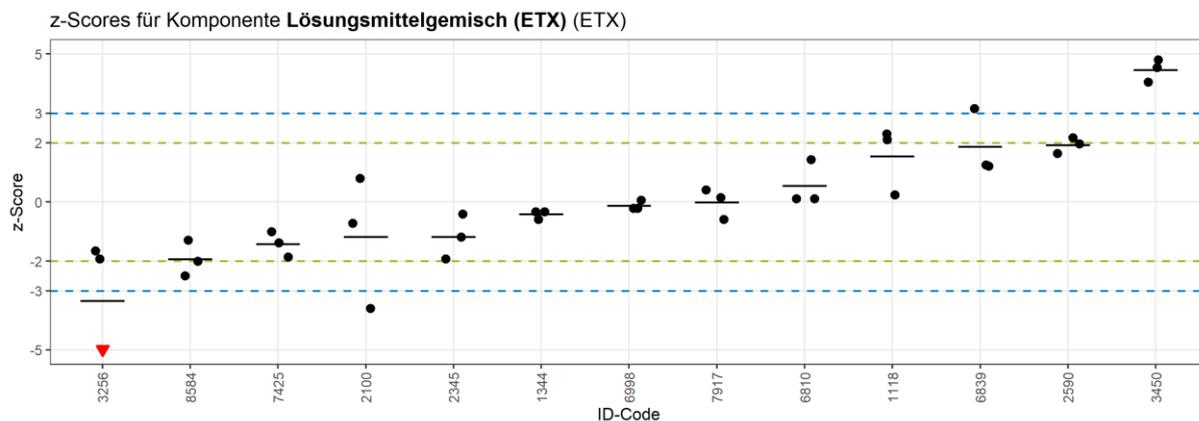
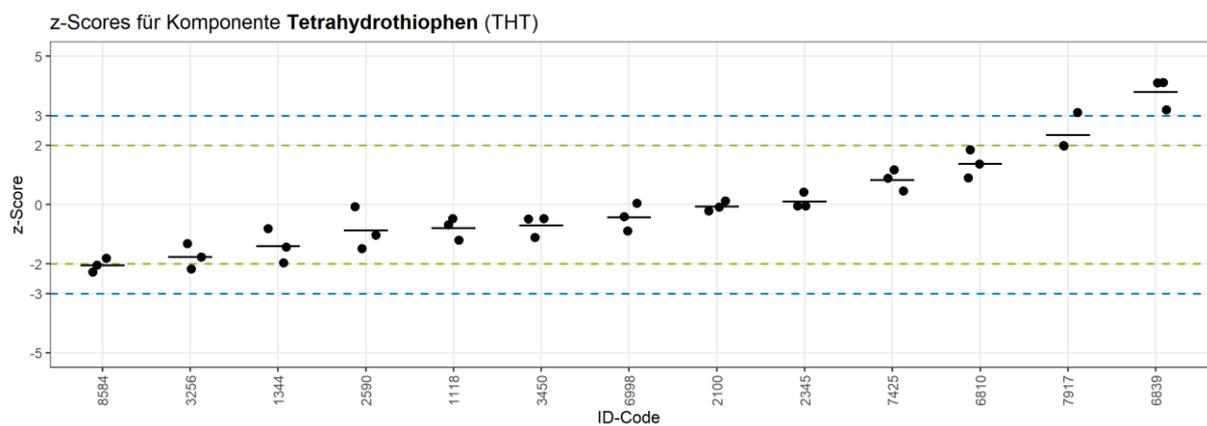
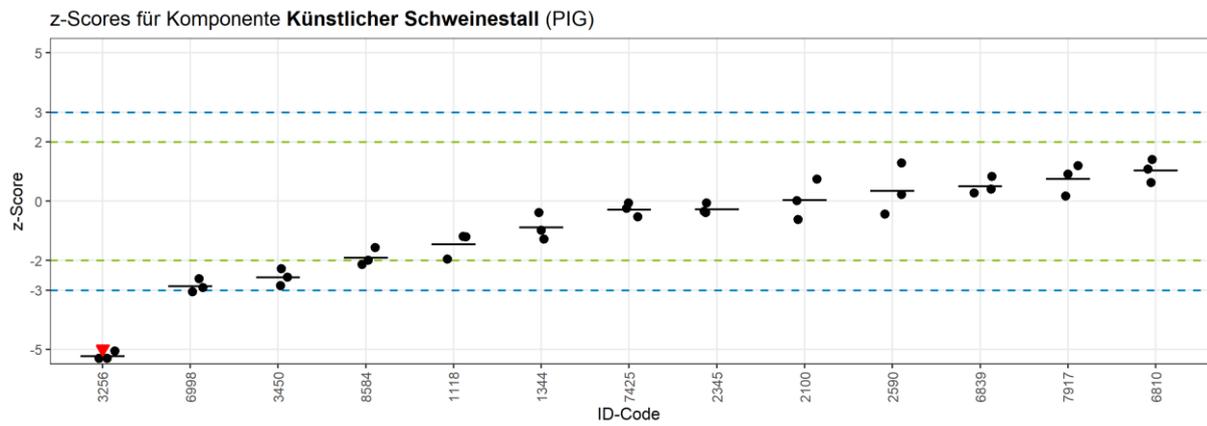
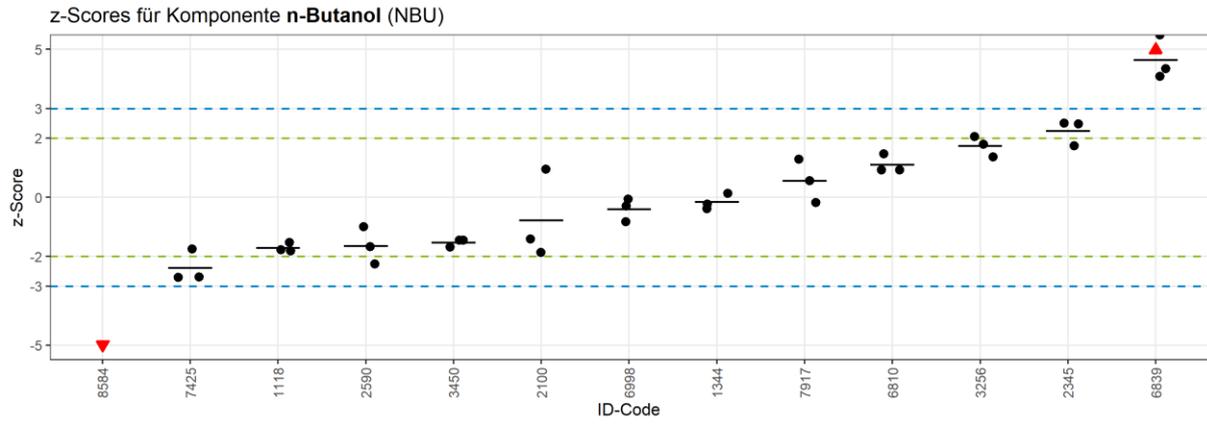


Abbildung 4: z-Scores für den Stoffbereich 0 (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)





5.1.4 Abgasrandbedingungen

Die folgenden Diagramme zeigen die von den Teilnehmern der Staub- und Gasringversuche erzielten Ergebnisse für die Messung der strömungstechnischen Randbedingungen. Für jede Komponente liegen pro Teilnehmer in der Regel zwei Werte vor, diese werden jeweils als Punkt dargestellt. Der Mittelwert der zwei Werte wird durch einen Strich markiert. Der Mittelwert der zwei Werte wird durch einen Strich markiert.

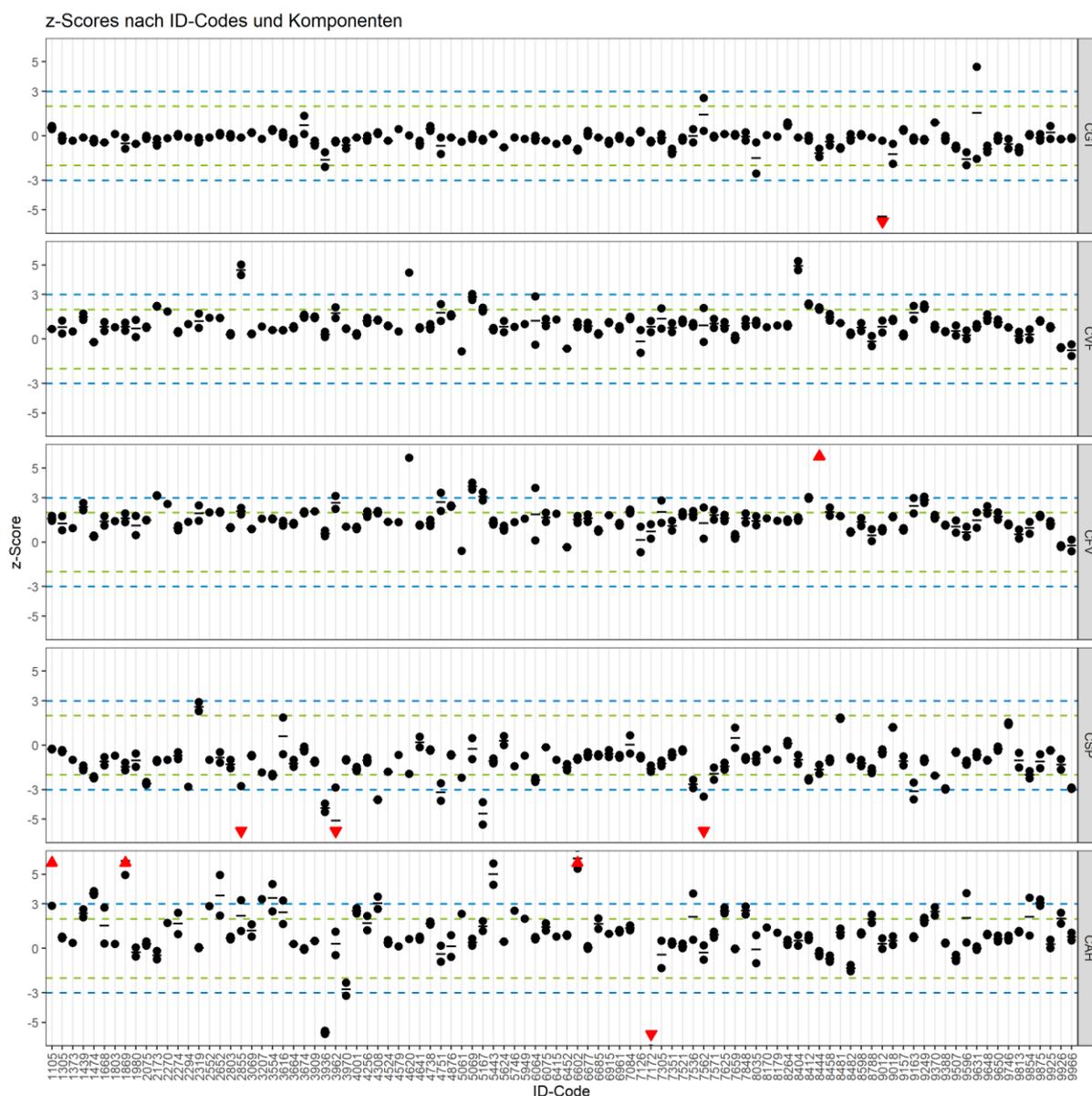
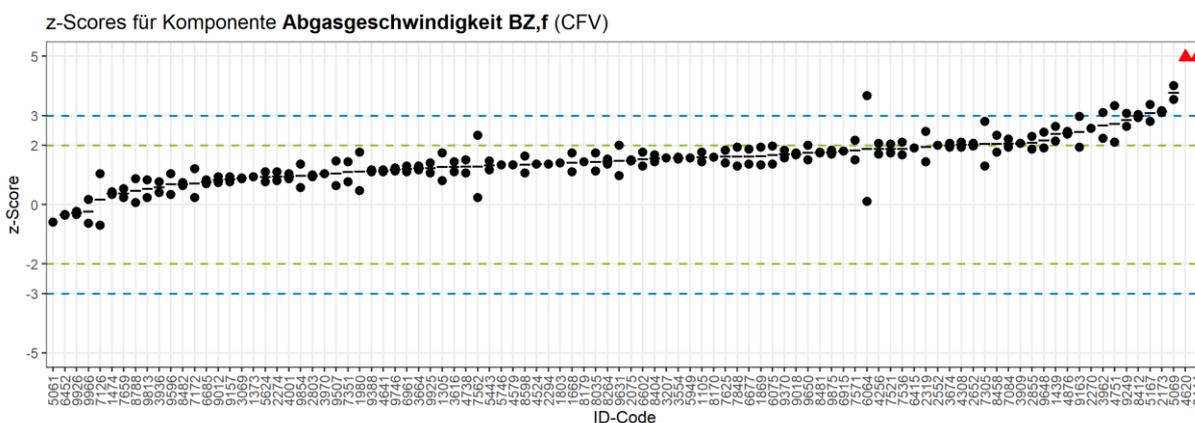
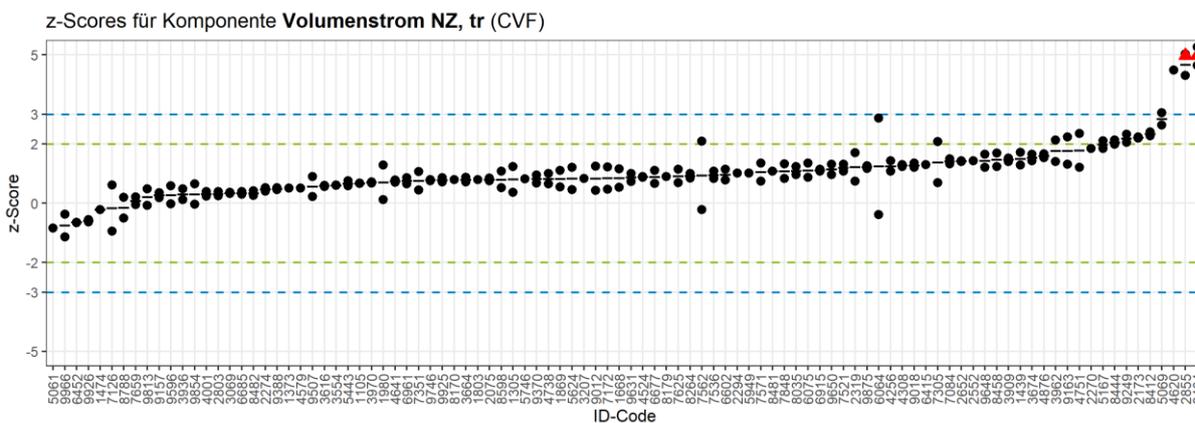
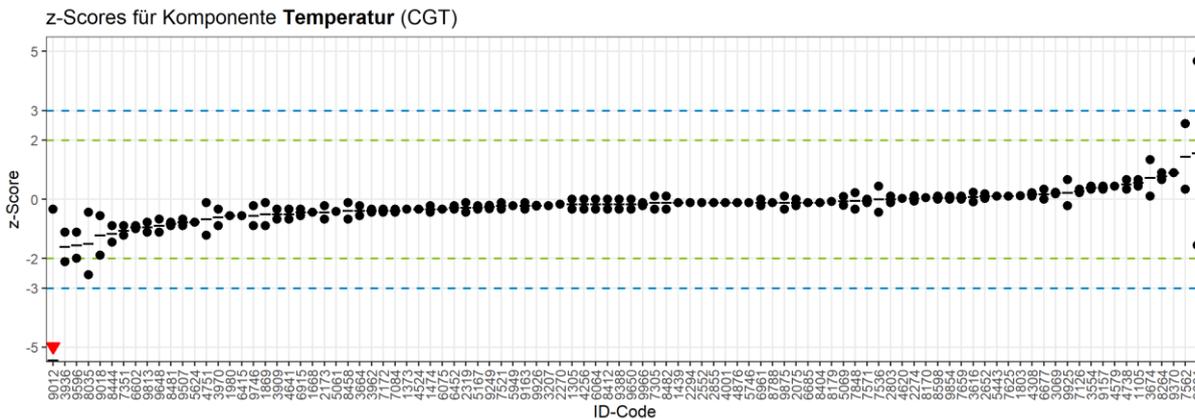
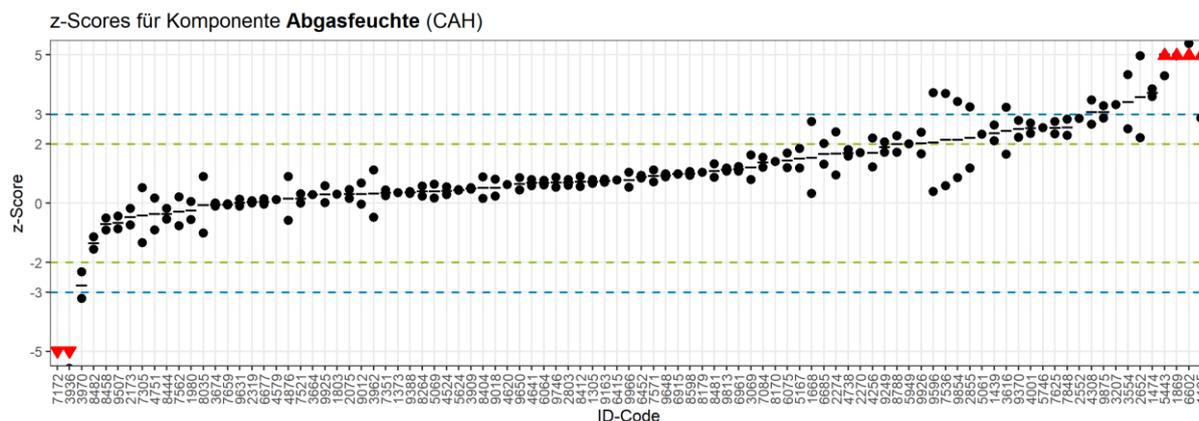
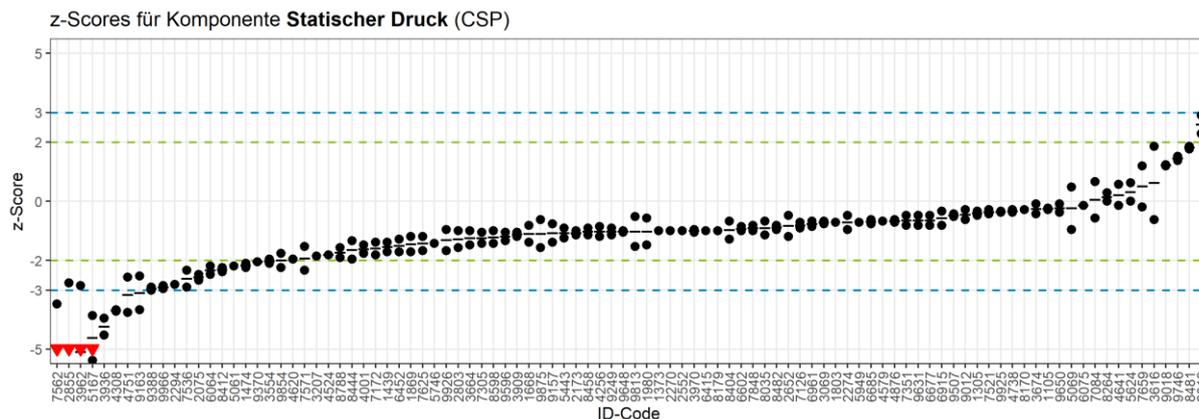


Abbildung 5: z-Scores (bzw. Quotienten aus Teilnehmer-Abweichung und typischer Abweichung) für Abgasrandbedingungen



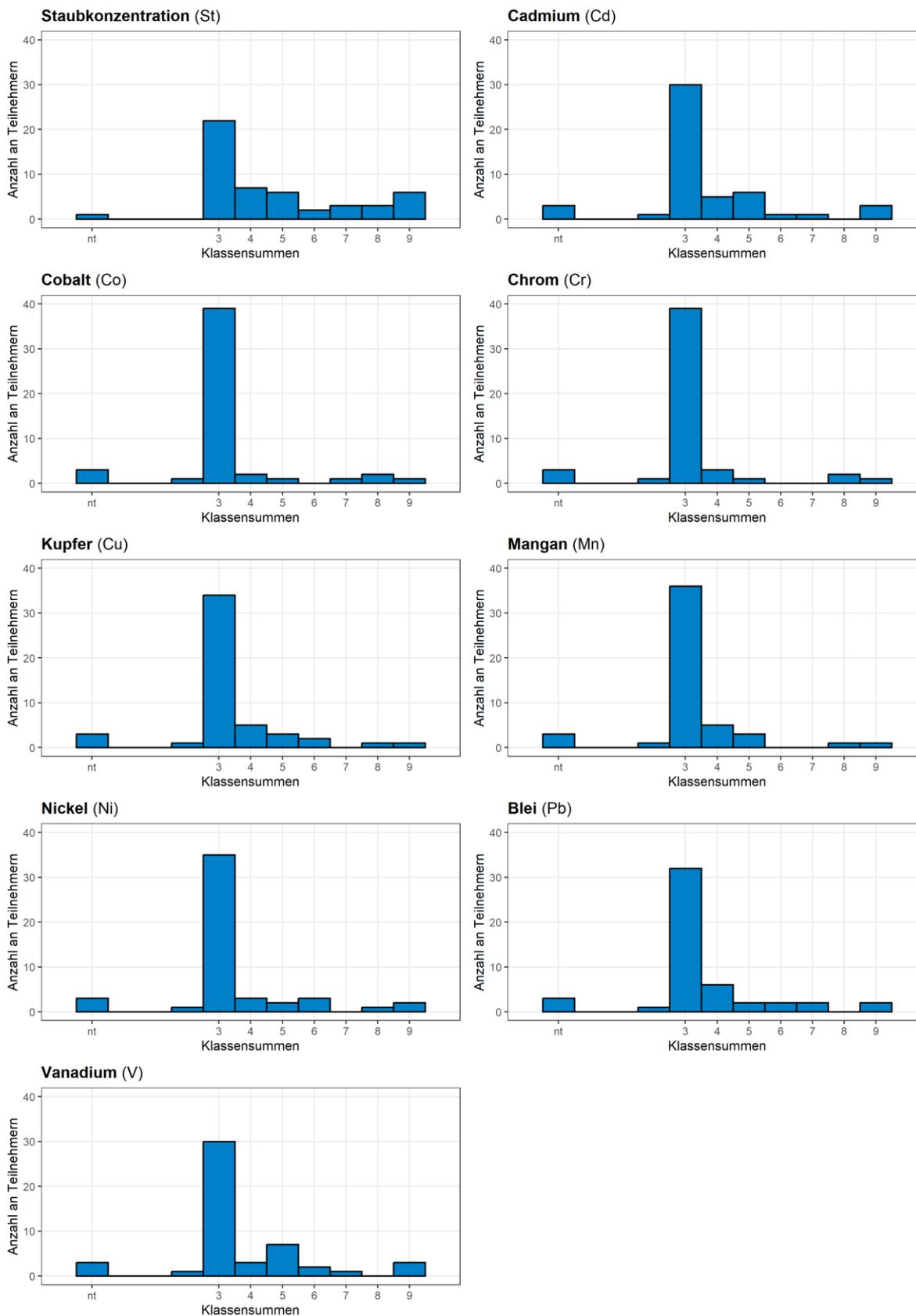


5.2 Klassensummen

Im Folgenden werden die von den Teilnehmern erreichten Klassensummen in Form von Histogrammen dargestellt. Hat ein Teilnehmer bei einer Komponente nicht teilgenommen, so ist dies durch den Eintrag „nt“ gekennzeichnet. Für die Interpretation der Klassensummen sei auf Abschnitt 4.5.3 verwiesen.

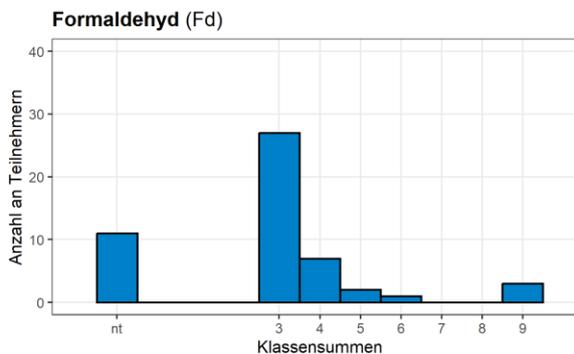
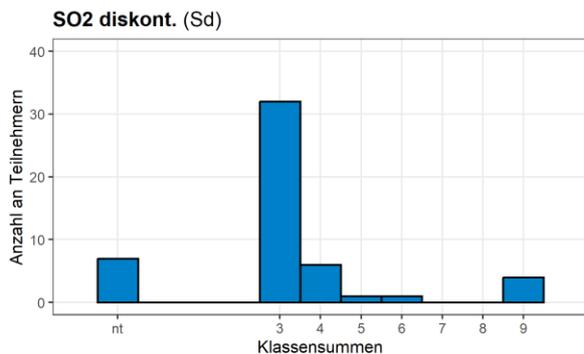
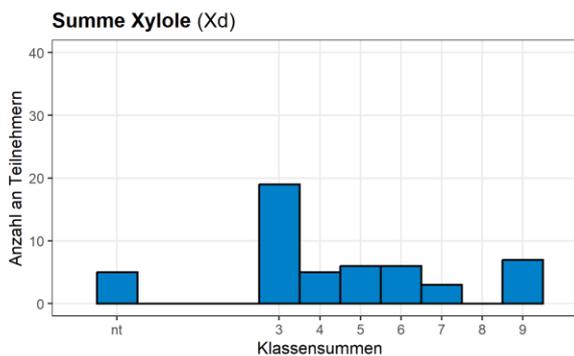
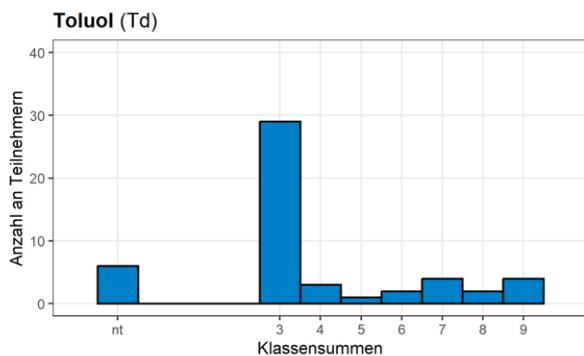
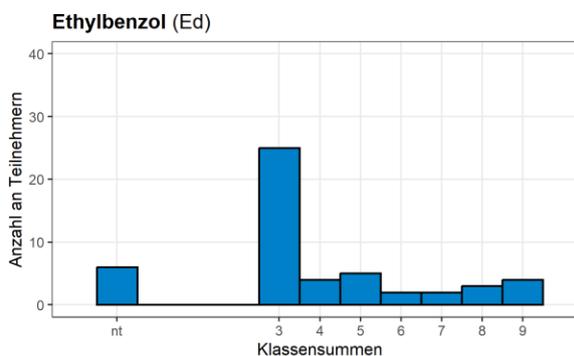
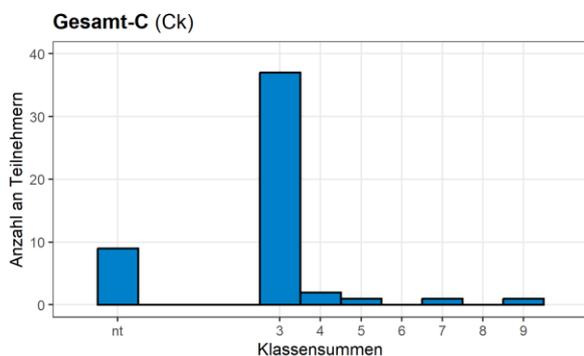
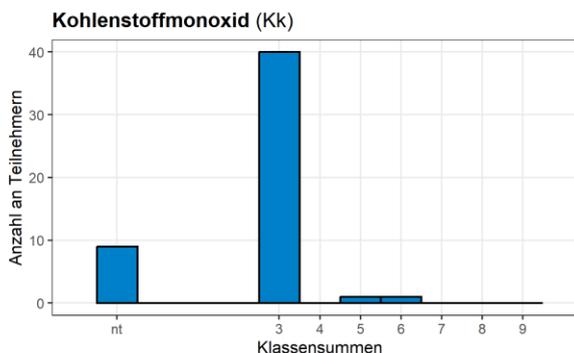
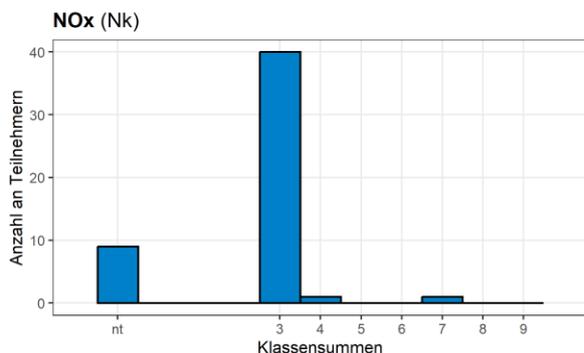
5.2.1 Staubringversuch (Stoffbereich P)

Klassensummen



5.2.2 Gasringversuch (Stoffbereich G)

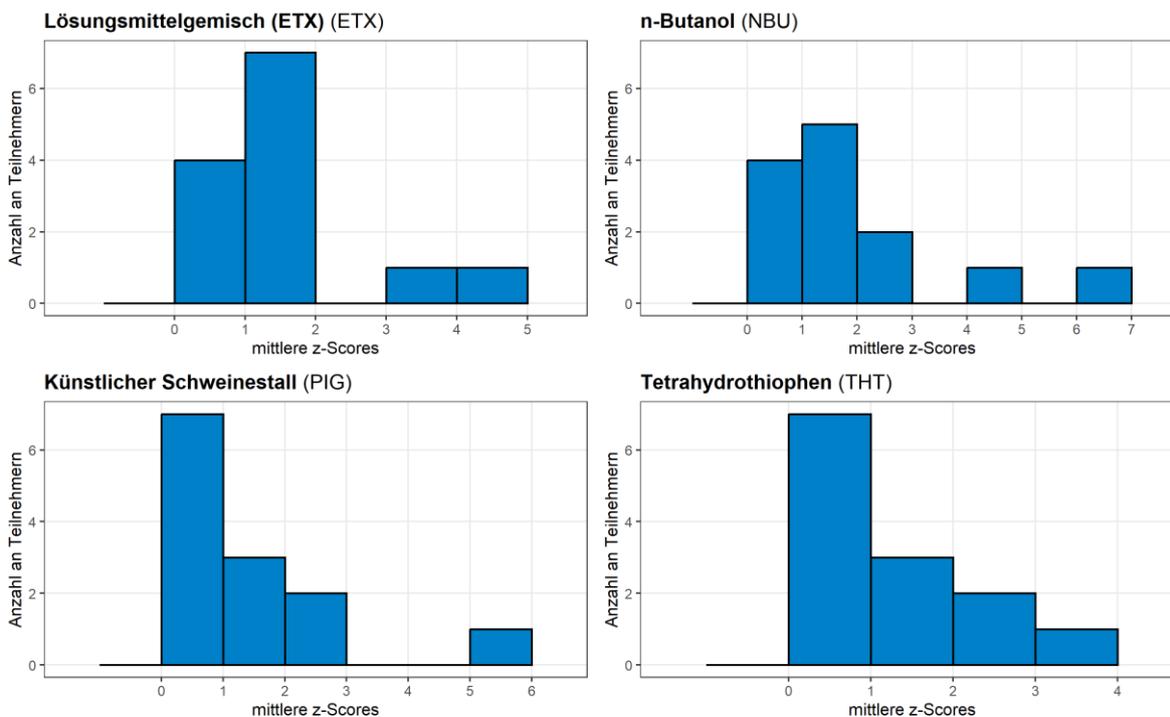
Klassensummen



5.2.3 Geruchsringversuch (Stoffbereich 0)

Bei Olfaktometrie-Ringversuchen wird nicht die Klassensumme berechnet, sondern der Mittelwert der Beträge der z-Scores. In der folgenden Abbildung sind diese gemittelten z-Scores in Form von Histogrammen dargestellt.

Mittlere z-Scores



5.3 Theorietest

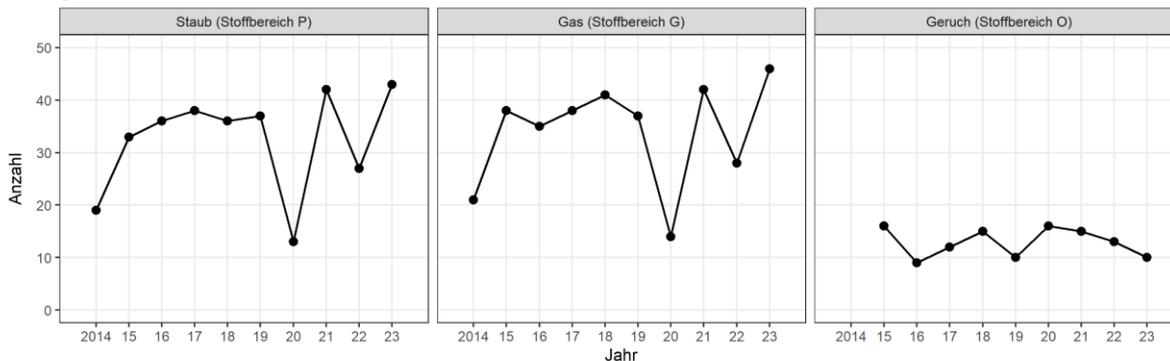
Die neuen Durchführungsbestimmungen von 2019 sehen für den Staub- und den Gasringversuch die Durchführung eines Theorietests vor, der im Rahmen der Ringversuche in Form eines 30-minütigen schriftlichen Tests stattfindet. An diesem Theorietest konnte pro Ringversuchsteilnehmer eine Person teilnehmen. Die Inhalte der Tests waren für alle Teilnehmenden die Anforderungen der im jeweiligen Ringversuch angewandten Normen und Richtlinien. Für die Durchführung des Tests wurde jedem Teilnehmenden ein Ordner mit den Normen als Nachschlagewerk zur Verfügung gestellt. Andere Hilfsmittel, insbesondere technische, waren nicht zulässig. Der Test bestand jeweils aus insgesamt 15 Fragen, die mit 1 bis 3 Punkten gewichtet wurden. Die Anzahl der Punkte richtet sich nach dem Schwierigkeitsgrad der Frage sowie nach der Bedeutung der Fragestellung für die Zuverlässigkeit von Messwerten bei Emissionsmessungen. Insgesamt konnten im Test maximal 33 Punkte erreicht werden. Zu jeder Frage gab es 4 mögliche Antworten, von denen jeweils nur eine korrekt ist. Für richtige Antworten erhielten die Teilnehmenden die volle für die Frage vorgesehene Punktzahl, für falsche Antworten erhielten sie keine Punkte. Der Test wurde insgesamt als „bestanden“ bewertet, wenn mindestens die Hälfte der maximal möglichen Punktzahl erreicht wurde. Wurden weniger als die Hälfte der maximalen Punkte erreicht, wurde der Test mit „nicht bestanden“ bewertet. Der Test wurde in 3 thematische Abschnitte unterteilt, für die jeweils abschnittsbezogene Bewertungen vorgenommen wurden. In jedem Abschnitt waren 5 Fragen zu jeweils einer Norm zu bearbeiten. Die Einzelbewertungen der thematischen Abschnitte des Tests hatten keine Auswirkungen auf das Gesamtergebnis.

Den Theorietest zum Staubringversuch haben im Jahr 2023 insgesamt 87% aller Teilnehmenden bestanden, der Medianwert betrug 23 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte 19 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei 25 Punkten oder mehr.

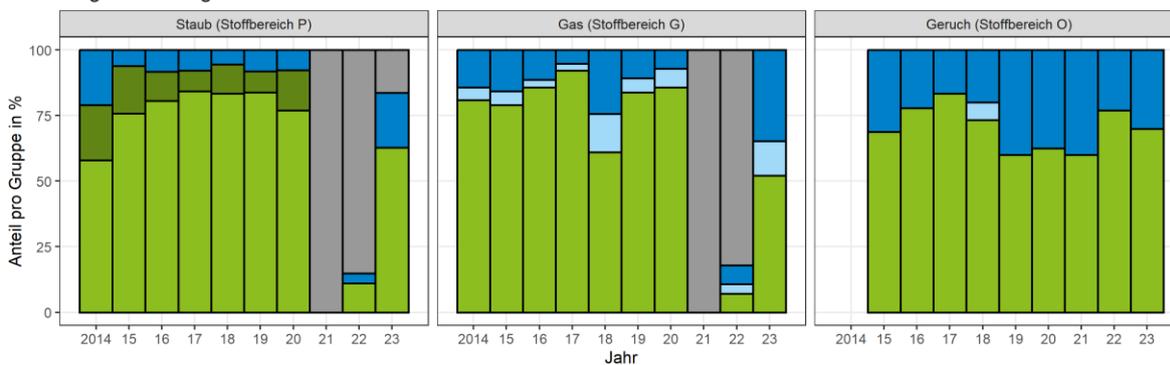
Den Theorietest zum Gasringversuch haben im Jahr 2023 insgesamt 93% aller Teilnehmenden bestanden, der Medianwert betrug hier 24 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte im Theorietest zum Gasringversuch 20 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei 28 Punkten oder mehr.

6. Interpretation der Ergebnisse

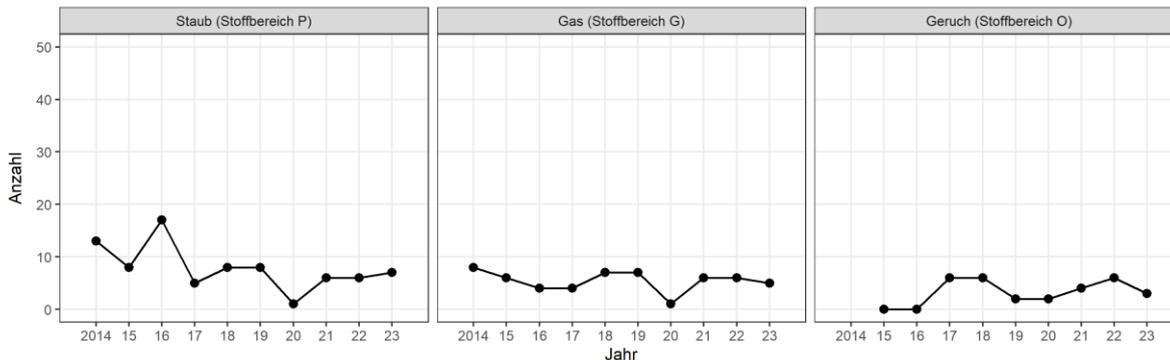
§29b-Messstellen Anzahl Teilnehmer



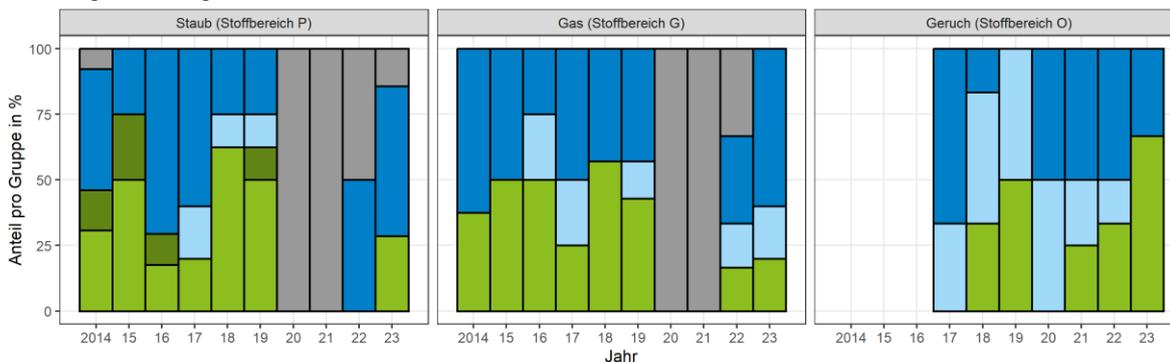
Ringversuchsergebnisse



Freiwillig Anzahl Teilnehmer



Ringversuchsergebnisse



nicht bewertet
 nicht bestanden
 nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)
 nach Nachanalyse bestanden
 bestanden

Tabelle 8: Tabellarische Übersicht seit 2019 (§29b-Messstellen)

| Jahr | Ringversuch | bestanden | bestanden (Nachanalyse) | nicht bestanden | unvollständige Teilnahme | nicht bewertet |
|------|------------------|-----------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------|
| 2019 | Staub | 31 | 3 | 3 | - | - |
| | Gas | 31 | - | 4 | 2 | - |
| | Geruch | 6 | - | 4 | - | - |
| 2020 | Staub | 10 | 2 | 1 | - | - |
| | Gas | 12 | - | 1 | 1 | - |
| | Geruch | 10 | - | 6 | - | - |
| 2021 | Staub (Pandemie) | | | | | 42 |
| | Gas (Pandemie) | | | | | 42 |
| | Geruch | 9 | - | 6 | - | - |
| 2022 | Staub | 3 | - | 1 | - | - |
| | Staub (Pandemie) | | | | | 23 |
| | Gas | 2 | - | 2 | 1 | - |
| | Gas (Pandemie) | | | | | 23 |
| | Geruch | 10 | - | 3 | - | - |
| 2023 | Staub | 27 | - | 9 | - | 7 |
| | Gas | 24 | - | 16 | 6 | - |
| | Geruch | 7 | - | 3 | - | - |

Tabelle 9: Tabellarische Übersicht seit 2019 (freiwillige Teilnehmer)

| Jahr | Ringversuch | bestanden | bestanden (Nachanalyse) | nicht bestanden | unvollständige Teilnahme | nicht bewertet |
|------|------------------|-----------|----------------------------|-----------------|-----------------------------|----------------|
| 2019 | Staub | 4 | 1 | 2 | 1 | - |
| | Gas | 3 | - | 3 | 1 | - |
| | Geruch | 1 | - | - | 1 | - |
| 2020 | Staub | - | - | - | - | - |
| | Gas | - | - | - | - | - |
| | Geruch | - | - | 1 | 1 | - |
| 2021 | Staub (Pandemie) | | | | | 6 |
| | Gas (Pandemie) | | | | | 6 |
| | Geruch | 1 | - | 2 | 1 | - |
| 2022 | Staub | - | - | 3 | - | - |
| | Staub (Pandemie) | | | | | 3 |
| | Gas | 1 | - | 2 | 1 | - |
| | Gas (Pandemie) | | | | | 2 |
| | Geruch | 2 | - | 3 | 1 | - |
| 2023 | Staub | 2 | - | 4 | - | 1 |
| | Gas | 1 | - | 3 | 1 | - |
| | Geruch | 2 | - | 1 | - | - |

6.1 §29b-Messstellen

Verglichen mit den Jahren 2020 bis 2022 sind im Jahr 2023 die Auswirkungen der SARS-CoV-2-Pandemie in den Hintergrund getreten. Alle Ringversuchsarten konnten gemäß den anerkannten LAI-Durchführungsbestimmungen in vollem Umfang durchgeführt werden.

Insgesamt haben 27 von 43 (63%) der bekanntgegebenen Messstellen den Staubringversuch bestanden. Nicht bestanden haben 9 (21%) bekanntgegebene Messstellen. Bei 7 (16%) Teilnehmern konnte aufgrund eines technischen Defekts an der Ringversuchsanlage keine Bewertung erfolgen. Von den tatsächlich bewerteten bekanntgegebenen Messstellen haben somit 75% den Ringversuch bestanden. Die Bestehensquote lag damit erneut etwas unter dem Durchschnittswert aus den Jahren vor der Pandemie.

Den Gasringversuch haben 24 von 46 (52%) der bekanntgegebenen Messstellen bestanden. Nicht bestanden haben 16 (35%) bekanntgegebene Messstellen. Insgesamt 6 (13%) Teilnehmer haben im Rahmen einer Wiederholungsteilnahme nach einem nicht bestandenen Ringversuch nur an ausgewählten Komponenten teilgenommen und diese bestanden. Werden diese Teilnehmer, die aus formalen Gründen zu den „nicht bestandenen“ Ringversuchen zählen, außer Acht gelassen, haben somit 60% der bekanntgegebenen Messstellen den Ringversuch bestanden. Die Bestehensquote lag damit auf dem Niveau des Vorjahres und erneut deutlich unter dem Durchschnittswert aus den Jahren vor der Pandemie.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen aus den Jahren 2015 bis 2020 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Messwerte von den Sollwerten bei vielen Staub- und Gaskomponenten auch im Jahr 2023 im Schnitt größer ausfielen, als in den Jahren vor der Pandemie. Eine graphische Darstellung der Verteilung der Messwerte in den Ringversuchen der vergangenen Jahre ist in den Abbildungen 6 und 7 zu sehen. Hier sind für jede Komponente und für jedes Jahr seit 2015 die Verteilung der Messwerte nach ihrer Abweichung vom jeweiligen Sollwert in Form eines „Violin plots“ dargestellt, einer Kombination aus einem „Box plot“ und einem „Kernel density plot“. Je breiter die dargestellte Form ist, desto mehr Messergebnisse liegen im betreffenden Bereich.

Eine wesentliche Erkenntnis der Untersuchungen des HLNUG zur Staubprobenahme nach DIN EN 13284-1 ist, dass im Wesentlichen zwei Faktoren für die in unseren Ringversuchen beobachteten Minderbefunde verantwortlich sind: Abweichungen von der Isokinetik und die Verwendung von nicht-scharfkantigen Sonden (20). Inzwischen wird der Zustand der im Staubringversuch verwendeten Sondenspitzen fotografisch dokumentiert. Tatsächlich lässt sich anhand dieser Aufnahmen bestätigen, dass der Einsatz von klar nicht-scharfkantigen Sondenspitzen, die z.B. Dellen oder Kerben aufweisen oder generell einen überdurchschnittlich dicken Rand besitzen, zu deutlich unterdurchschnittlichen Messergebnissen führt. Laut Theorie führen dicke Ränder zu Turbulenzen an der Sondenspitze, die sich in verringerten Wiederfindungsraten äußern, ein Effekt, den das HLNUG durch eigene Messungen bestätigen konnte. Unsymmetrische Beschädigungen (Dellen und Kerben) dürften einen ähnlichen, wahrscheinlich sogar noch deutlich ausgeprägteren Effekt hervorrufen. Tatsächlich fanden sich unter den nicht erfolgreichen Ringversuchsteilnehmern auffällig viele, die dickrandige oder gar beschädigte Sonden verwendet haben.

Bei den Ergebnissen des Gasringversuchs ließ sich in den letzten Jahren eine ähnliche Entwicklung wie beim Staubringversuch beobachten, hier allerdings beschränkt auf die diskontinuierlichen Komponenten und unter diesen insbesondere die organischen Stoffe Ethylbenzol, Toluol und Xylol. Während es bei den kontinuierlichen Komponenten NO_x , CO und Gesamt-C gleichbleibend sehr gute Ergebnisse gab, wichen die Messergebnisse bei den organischen Einzelstoffen, ähnlich wie beim Staub, in den Jahren 2021 bis 2023 deutlich von den Werten der Jahre 2015-2020 ab (siehe Abbildung 7).



Abbildung 6: Verlauf der Messwertverteilung in den Staubringversuchen 2015-2023 (alle Teilnehmer)

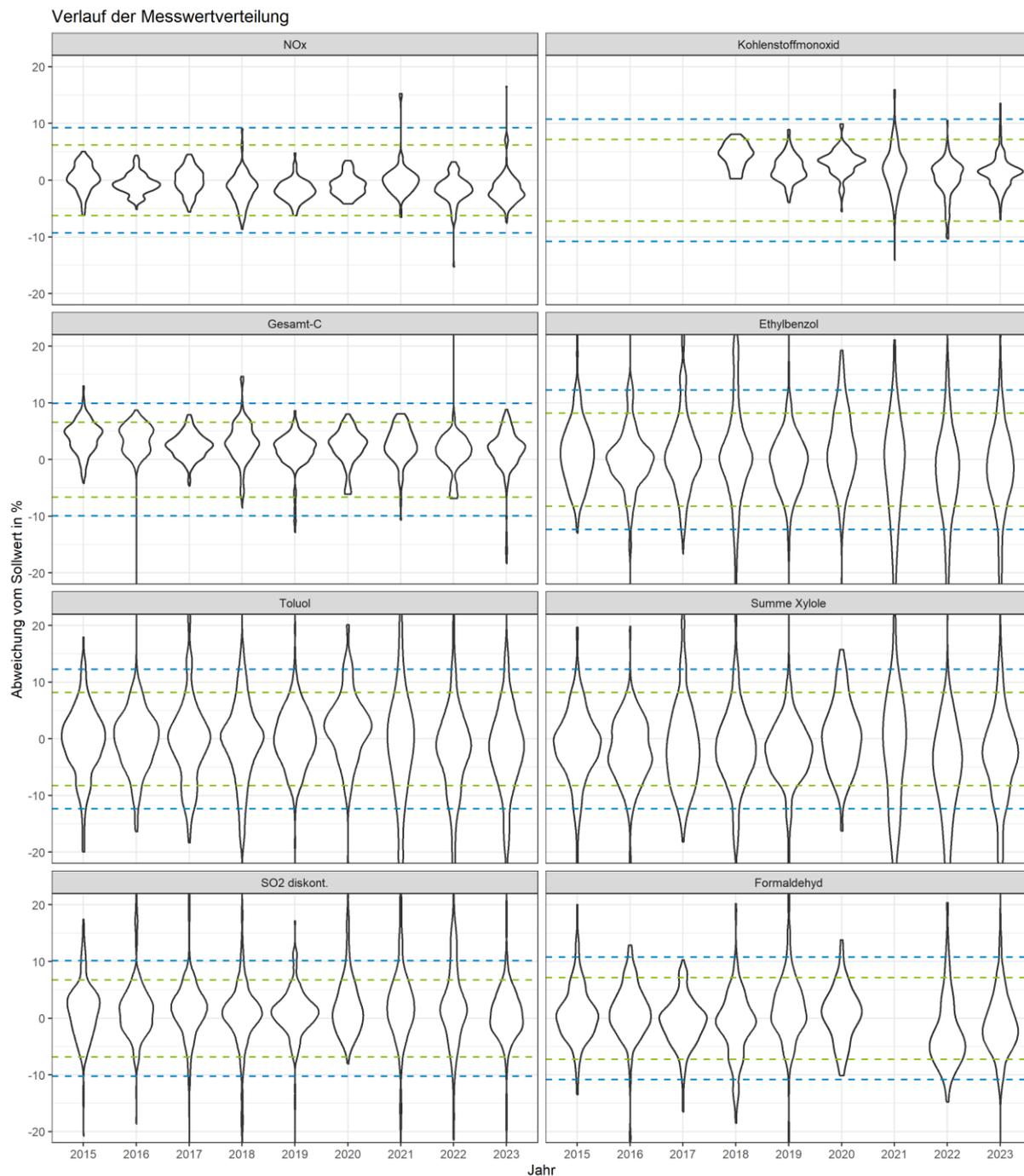


Abbildung 7: Verlauf der Messwertverteilung in den Gasringversuchen 2015-2023 (alle Teilnehmer)

Den Geruchsringversuch haben 2023 insgesamt 7 von 10 bekanntgegebenen Messstellen (70%) bestanden. Die Ergebnisse des Geruchsringversuchs waren damit besser als in den Jahren 2019 bis 2021, aber etwas schlechter als im Jahr 2022. Durch die vergleichsweise geringe Teilnehmerzahl kommt es hier allerdings schon durch die Ergebnisse einzelner Teilnehmer zu starken Schwankungen bei der Bestehensquote.

Die, in Anbetracht der Unsicherheit einzelner Probandenergebnisse, aus statistischer Sicht deutlich zu geringe Anzahl von üblicherweise 4 eingesetzten Probanden dürfte nach wie vor die Hauptursache für unzureichende Ergebnisse im Geruchsringversuch darstellen.

Ein Teilnehmer hat zudem bei der Ermittlung der Geruchskonzentration von *n*-Butanol eine Start-Verdünnungsstufe gewählt, die unterhalb der zu messenden Geruchskonzentration lag (Konzentration in der Probe: ca. 2430 GE_E/m³; Startverdünnung am Olfaktometer: 2263 bei Probe 1, 1115 bei Probe 2 und 3). Somit erhielten die Probanden in allen Durchgängen bereits mit der ersten angebotenen Verdünnung ein Probengas mit einer Geruchskonzentration von ca. 1,1 bis 2,2 GE_E/m³ und hätten somit eigentlich schon bei der ersten Darbietung eine Geruchswahrnehmung melden müssen. Warum die Olfaktometrie hier bei keiner der 3 betroffenen Proben zu einem ungültigen Messergebnis führte ist unklar. Der betreffende Teilnehmer hat als Messergebnisse Konzentrationen zwischen ca. 400 und 800 GE_E/m³ eingereicht. Eine daraufhin durchgeführte Auswertung der uns vorliegenden Daten zur Olfaktometrie in den HLNUG-Ringversuchen führte zu dem Ergebnis, dass dieses Phänomen keineswegs ein Einzelfall ist und die Startstufe am Olfaktometer möglicherweise das Messergebnis der Olfaktometrie in unerwarteter Weise beeinflusst.

6.2 Freiwillige Teilnehmer

Die Anzahl der freiwilligen Ringversuchsteilnahmen schwankt von Jahr zu Jahr, in der Regel gibt es ca. 8 Teilnahmen am Staubringversuch, ca. 6 Teilnahmen am Gasringversuch und ca. 4 Teilnahmen am Geruchsringversuch. Im Jahr 2023 gab es beim Staubringversuch 7 freiwillige Teilnehmer, beim Gasringversuch gab es 5 freiwillige Teilnahmen und beim Geruchsringversuch 4. Die gesammelten Ergebnisse eines Jahres sind aufgrund der meist geringen Anzahl der freiwilligen Teilnahmen in vielen Jahren extrem vom Abschneiden einzelner Labore geprägt, ein langjähriger Vergleich ist nur bedingt aufschlussreich.

Beim Staubringversuch waren 2023 insgesamt 2 von 7 freiwilligen Teilnahmen (29%) erfolgreich, 4 (57%) Teilnehmer haben den Ringversuch nicht bestanden. Bei einem (14%) freiwilligen Teilnehmer konnte aufgrund eines technischen Defekts an der Ringversuchsanlage keine Bewertung erfolgen. Von den tatsächlich bewerteten freiwilligen Teilnehmern haben somit 33% den Ringversuch bestanden.

Beim Gasringversuch hat 1 von 5 (20%) der freiwilligen Teilnehmer den Ringversuch bestanden, 3 (60%) waren nicht erfolgreich. Ein weiterer Teilnehmer hat nur ausgewählte Komponenten bestanden, während er an den übrigen Komponenten nicht teilgenommen hat. Formal wird diese Teilnahme als „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ gezählt. Werden nur die freiwilligen Teilnehmer betrachtet, die am Gasringversuch in vollem Umfang teilgenommen haben, liegt die Bestehensquote bei 25%.

Bei den Geruchsringversuchen haben 2 von 3 freiwilligen Teilnehmern (67%) bestanden, der dritte freiwillige Teilnehmer hat den Ringversuch nicht bestanden.

6.3 Randbedingungen

Bei jedem Ringversuch sind von den Teilnehmern auch die strömungstechnischen Randbedingungen zu ermitteln und anzugeben. Mit den neuen LAI-Durchführungsbestimmungen sollten eigentlich schon seit Mitte 2020 die Messungen des Volumenstroms als bewerteter Bestandteil der Staub- und Gasringversuche durchgeführt werden. Seit der Wiederaufnahme der regulären Ringversuche im November 2022 werden die Abgasrandbedingungen aber mittlerweile wie in den Durchführungsbestimmungen von 2019 vorgesehen gemessen und bewertet. Im Jahr 2023 liegen dadurch Werte im vorgesehenen Umfang (zwei Messungen an zwei verschiedenen Tagen bei unterschiedlichen Bedingungen) für alle Teilnehmer der Staub- und Gasringversuche vor.

Die im Jahr 2023 erfassten Werte (siehe Abschnitt 5.1.4) entsprechen den Beobachtungen der Vorjahre: Die Messwerte für die Temperatur (CGT), den Volumenstrom (CVF) und die Strömungsgeschwindigkeit (CFV) zeigen minimale Abweichungen von den zugewiesenen Werten. Bei der Abgasfeuchte (CAH) und beim Statischen Druck (CSP) gibt es insgesamt größere Abweichungen von den zugewiesenen Werten und einzelne „Ausreißer“.

7. Freiwillige Angaben der Teilnehmer

Alle Teilnehmer wurden aufgefordert, zusammen mit den Messergebnissen zusätzliche Angaben zu ihren Messungen auf freiwilliger Basis zu machen. Auch hier wird auf eine Auflistung der Angaben verzichtet, die erhaltenen Daten werden im Folgenden in Tabellen zusammengefasst und graphisch dargestellt. Datenbasis sind hier die Rückmeldungen von Teilnehmern aus den Jahren 2016 bis 2023.

Für einige Komponenten haben die Teilnehmer am Ringversuch eine gewisse Freiheit bei der Wahl verschiedener Verfahrensparameter. Auf Grundlage der freiwilligen Angaben der Teilnehmer wurde versucht, Korrelationen zwischen den verwendeten Methoden, Geräten etc. und den damit erzielten Ergebnissen zu ermitteln. Da für jede Komponente in den Staub- und Gasringversuchen immer 9 Messungen bei unterschiedlichen Konzentrationen durchgeführt werden, ist eine eindeutige Aussage über die Qualität eines Verfahrens schwierig. Für eine einfache und übersichtliche Darstellung wurden daher Korrelationen zu den mittleren z-Scores der Teilnehmer hergestellt, wobei auch negative Werte in den Mittelwert einfließen. Ferner wurden gegebenenfalls ähnliche Komponenten wie z.B. Schwermetalle oder organische Lösungsmittel zu einem gemeinsamen Mittelwert zusammengefasst. Diese Art der Auswertung stellt sicherlich eine Vereinfachung des Problems dar und kann nicht alle Details abbilden. So bleiben z.B. unterschiedliche Einflüsse bei verschiedenen Konzentrationsbereichen oder hohe Schwankungen zwischen den Einzelergebnissen eines Teilnehmers bei dieser Auswertung vollkommen unbetrachtet. Die Beschränkung auf die Mittelwerte der z-Scores der Teilnehmer erlaubt dafür aber eine einfache Abschätzung der Auswirkungen verschiedener Verfahren auf die mittlere Abweichung der Messwerte vom zugewiesenen Wert.

Für die meisten Auswertungen ist eine gewisse Verstetigung der Werte zu beobachten. Dies ist letztlich darauf zurückzuführen, dass sich die Datengrundlage für den Jahresbericht 2023 gegenüber dem Jahresbericht 2022 nur wenig vergrößert hat, während sich die Werte für die meisten Auswertungen kaum von den Werten der Vorjahre unterscheiden. In der Folge werden die meisten Feststellungen mit der Zeit immer belastbarer und aussagekräftiger.

Bei allen in diesem Bericht dargestellten Korrelationen gilt, dass eine Korrelation lediglich ein Indiz für einen Zusammenhang darstellt, aber keineswegs eine Kausalität nachweist. So wäre es z.B. durchaus denkbar, dass die Teilnehmer, die ein bestimmtes Gerät oder ein bestimmtes Verfahren verwenden, zufällig noch andere Gemeinsamkeiten haben, die sich tatsächlich auf die Messergebnisse auswirken, während die identifizierte Gemeinsamkeit eigentlich gar keine Rolle spielt.

Ein weiterer Aspekt, der bei diesen Daten berücksichtigt werden sollte, ist dass die Zahlen zwar repräsentativ für die Ringversuchsteilnahmen sind, allerdings nicht unbedingt für das jeweilige Messverfahren. Bekanntgegebene Messstellen, die den Ringversuch aufgrund hoher Abweichungen von den zugewiesenen Werten nicht bestehen, werden zeitnah zu einer Wiederholungsteilnahme aufgefordert. Durch diese wiederholten Teilnahmen sind die Messergebnisse der weniger zuverlässig arbeitenden Messstellen in den Daten überproportional enthalten, während die Messergebnisse von sehr zuverlässig arbeitenden Standorten unterrepräsentiert sind.

7.1 Messunsicherheiten

Die Angaben der Teilnehmer zu den absoluten erweiterten Messunsicherheiten ihrer beim Staubringversuch eingesetzten Verfahren sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Der Median der jeweiligen Angaben sowie das 25. und das 75. Perzentil sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Diese Angaben sind wie folgt zu verstehen: Nur ein Viertel der Teilnehmer hat eine Messunsicherheit angegeben, die unter dem 25. Perzentil liegt. Jeweils die Hälfte der Teilnehmer hat eine Messunsicherheit unter bzw. über dem Median angegeben. Ein Viertel der Teilnehmer hat eine Messunsicherheit angegeben, die größer ist als das 75. Perzentil.

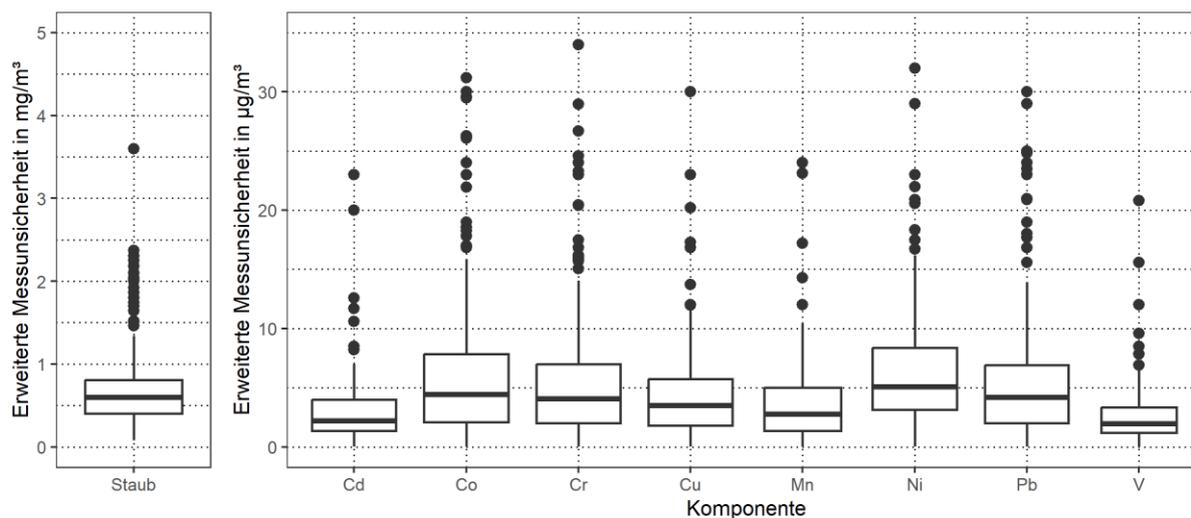


Tabelle 10: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Staubringversuch

| | Staub [mg/m ³] | Cd [µg/m ³] | Co [µg/m ³] | Cr [µg/m ³] | Cu [µg/m ³] | Mn [µg/m ³] | Ni [µg/m ³] | Pb [µg/m ³] | V [µg/m ³] |
|------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 75. Perzentil | 0,84 | 4,00 | 8,17 | 7,00 | 5,75 | 5,00 | 8,50 | 6,99 | 3,39 |
| Median | 0,60 | 2,23 | 4,48 | 4,16 | 3,48 | 2,80 | 5,10 | 4,22 | 1,97 |
| 25. Perzentil | 0,40 | 1,35 | 2,07 | 2,00 | 1,80 | 1,37 | 3,15 | 1,99 | 1,19 |
| Anzahl der Werte | 250 | 226 | 227 | 227 | 227 | 189 | 227 | 226 | 185 |

Bei allen Angaben zu absoluten erweiterten Messunsicherheiten ist zu beachten, dass die Teilnehmer aus Gründen der Vergleichbarkeit aufgefordert wurden, für jedes Verfahren nur einen Wert anzugeben. Die Angabe bezieht sich daher gegebenenfalls auf die höchste im Ringversuch gemessene Konzentration und würde für kleinere Konzentrationen geringer ausfallen. Trotzdem sollten diese Werte allen Teilnehmern eine ungefähre Einschätzung ermöglichen, wie sich die eigene Messunsicherheit relativ zu den Messunsicherheiten anderer Laboratorien verhält.

Für den Gasringversuch wurden die folgend dargestellten Werte angegeben.

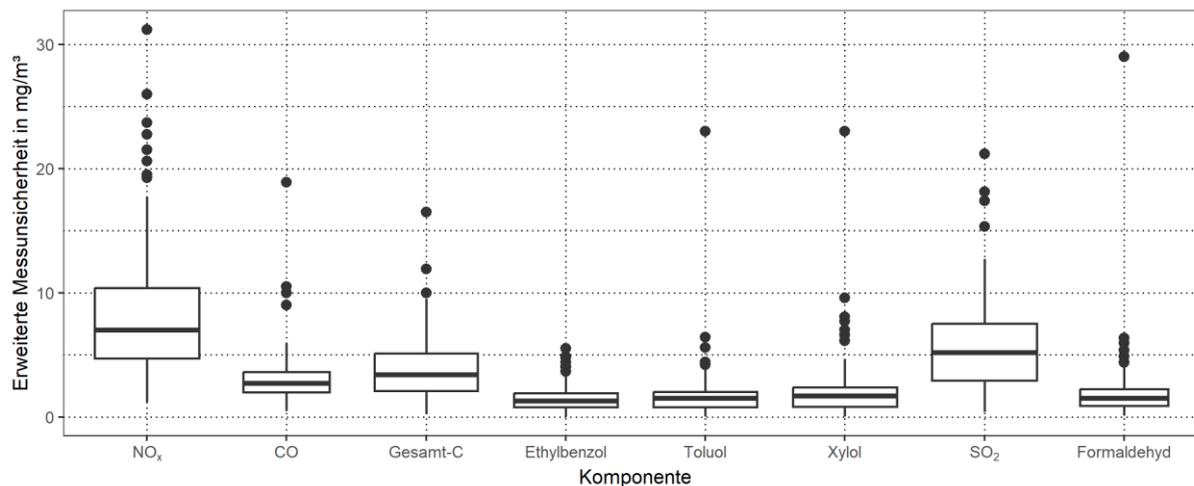


Tabelle 11: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Gasringversuch

| | NO _x ang. als NO ₂ [mg/m ³] | CO [mg/m ³] | Ges.-C [mg/m ³] | Ethyl- benzol [mg/m ³] | Toluol [mg/m ³] | Summe Xylole [mg/m ³] | SO ₂ (disk.) [mg/m ³] | Formal- dehyd [mg/m ³] |
|---------------------|---|----------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|---|--|--|
| 75. Perzentil | 10,40 | 3,63 | 5,10 | 1,91 | 2,04 | 2,41 | 7,53 | 2,24 |
| Median | 7,03 | 2,70 | 3,40 | 1,32 | 1,50 | 1,70 | 5,20 | 1,50 |
| 25. Perzentil | 4,72 | 1,98 | 2,11 | 0,78 | 0,80 | 0,82 | 2,95 | 0,90 |
| Anzahl der Werte | 238 | 163 | 233 | 234 | 235 | 236 | 239 | 169 |

7.2 Sonde und Spülen bei Staubbmessungen

Bei der Korrelation von Sondensystemen und Spülprozeduren teilt sich das Teilnehmerfeld der Staubringversuche in 6 Gruppen auf, je nachdem ob eine in-stack-Sonde mit oder ohne Schwanenhals verwendet wird, und ob diese Sonde nach jeder Probenahme gespült wird, arbeitstäglich, oder nie. Teilnehmer, die angaben, einmal am Ende des Ringversuchs zu spülen, wurden bei der arbeitstäglichen Spülung berücksichtigt.

Die Datenbasis erstreckt sich in diesem Bericht über die Ergebnisse seit Herbst 2018. Im Sommer 2018 wurde die Abfrage nach der Spülprozedur bezüglich der Frequenz konkretisiert, insgesamt 164 Teilnehmer haben seitdem entsprechende Angaben zu ihrem Spülverfahren gemacht. In früheren Jahren wurde nur grundsätzlich die Durchführung einer Spülung (ja/nein) abgefragt, die Daten sind deshalb leider nicht vergleichbar.

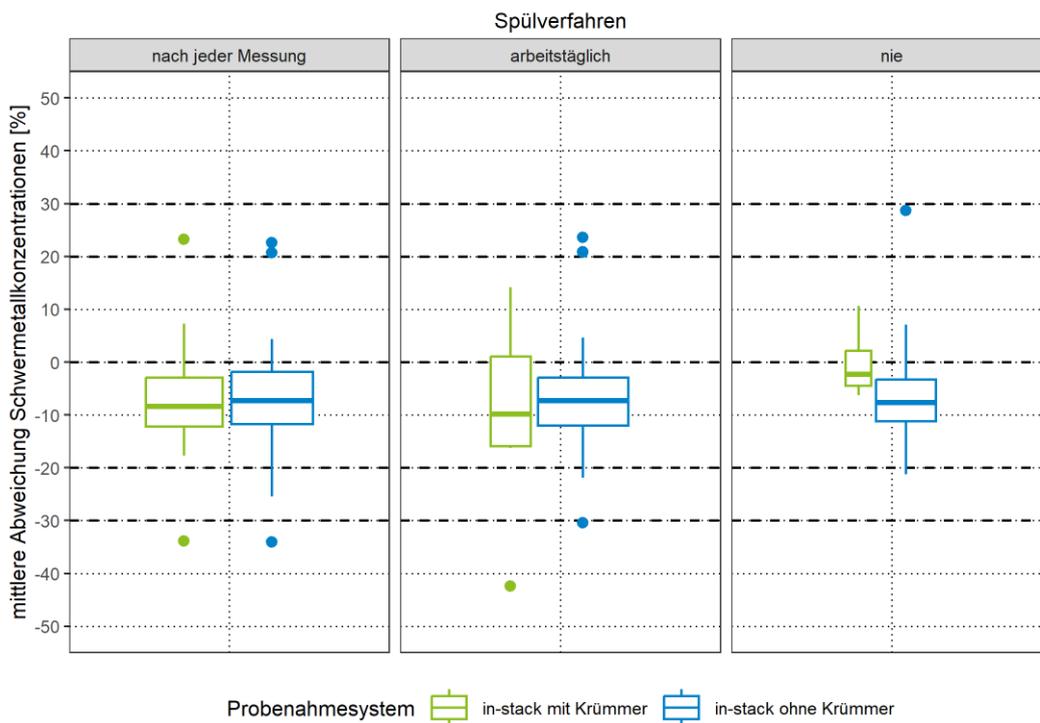
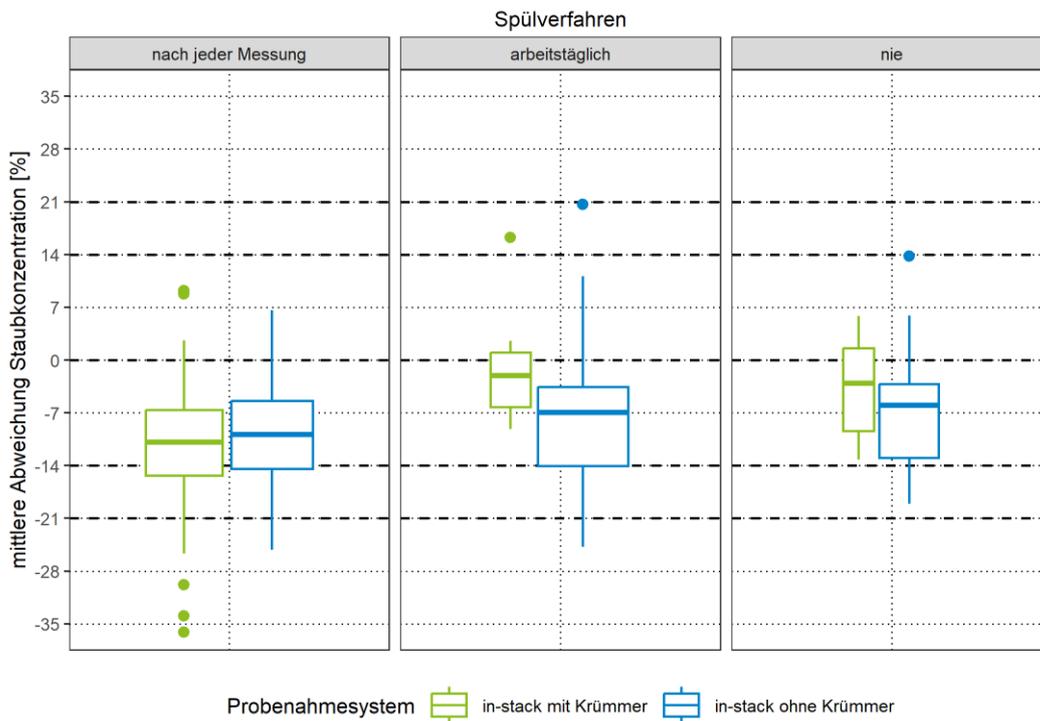


Tabelle 12: Korrelation von Messergebnissen mit Sondensystemen und Spülprozedur (2018-2023)

| Kombi- nation Nr. | Sondensystem | Spül- prozedur | Median mittl. Abweichung Gesamtstaub- Ergebnisse | Anzahl der Teilnehmer | Median mittl. Abweichung Schwermetall- Ergebnisse | Anzahl der Teilnehmer |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------|---|--------------------------|--|--------------------------|
| 1 (links) | in-stack mit Krümmer | nach jeder Messung | -10,8% | 36 | -8,4% | 36 |
| 2 (mitte) | | arbeits- täglich | -2,0%* | 10* | -9,8%* | 10* |
| 3 (rechts) | | kein Spülen | -3,1%* | 6* | -2,3%* | 4* |
| 4 (links) | in-stack ohne Krümmer | nach jeder Messung | -9,9% | 41 | -7,3% | 41 |
| 5 (mitte) | | arbeits- täglich | -7,0% | 49 | -7,4% | 49 |
| 6 (rechts) | | kein Spülen | -6,0% | 22 | -7,6% | 22 |

*Diese Kombination wurde nur von ca. 2-6% der Teilnehmer angegeben. Der Median ist hier deutlich weniger aussagekräftig als bei den anderen Kombinationen.

Aufgrund der relativ geringen Fallzahlen sind manche der dargestellten Ergebnisse signifikant von einzelnen Ergebnissen weniger Laboratorien beeinflusst. Die überdurchschnittlich guten Ergebnisse für Kombination 3 (Sonde mit Krümmer, die nicht gespült wird: Rechte Abbildungen, grün) sind vermutlich nicht repräsentativ für diese Art der Probenahme. Kombination 3 ist explizit nicht normkonform, da bei dieser Sondengeometrie in jedem Fall mit Staubanhaftungen an der Sondeninnenoberfläche zu rechnen ist, welche bei Verzicht auf Spülen zu signifikanten Minderbefunden führen können.

Auffällig ist, dass Teilnehmer mit einer Sonde ohne Krümmer bessere Messergebnisse für die Staubkonzentration erzielen, je seltener eine Spülung durchgeführt wird (Kombination 4, 5 und 6). Auf die Messergebnisse für Schwermetalle scheint sich die Spülfrequenz bei diesem Sondentyp allerdings kaum auszuwirken.

Sonden mit Krümmer schneiden bei Spülung nach jeder Messung (Kombination Nr. 1) sowohl beim Staub, als auch bei den Schwermetallen etwas schlechter ab als Sonden ohne Krümmer (Kombination Nr. 4). Für die übrigen Spülprozeduren liegen für Sonden mit Krümmer nicht genügend Messergebnisse für eine belastbare Aussage vor.

Im Mittel zeigen auch die Ergebnisse der Staubbmessungen in den Ringversuchen des Jahres 2023 signifikante Minderbefunde, wie schon die Ergebnisse der Vorjahre. Eine ausführliche Untersuchung dieses Phänomens sowie seiner wahrscheinlichen Ursache hat das HLNUG im Jahr 2021 in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift publiziert (20).

7.3 Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen

Die Angaben der Teilnehmer zum verwendeten Durchmesser der Sondenöffnung lassen keinen eindeutigen Trend erkennen. Unabhängig vom Durchmesser scheinen die Messwerte stets über einen weiten Bereich zu streuen. Insgesamt scheint die Größe der Sondenöffnung nicht bestimmend für die Messergebnisse zu sein. Sondendurchmesser, die von weniger als 15 Teilnehmern (bzw. 5% aller Teilnehmer) genannt wurden, sind hier nicht aufgeführt.

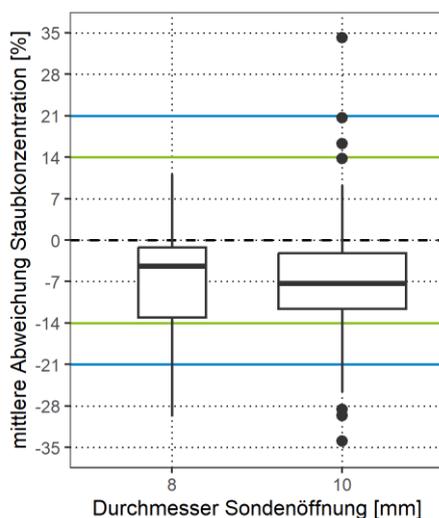


Tabelle 13: Korrelation der mittleren Abweichung der Staubkonzentration vom Sollwert mit dem Sondendurchmesser (2016-2023)

| Durchmesser der Sondenöffnung | 8 mm | 10 mm |
|-------------------------------|--------|--------|
| 75. Perzentil | -1,2% | -2,2% |
| Median | -4,4% | -7,2% |
| 25. Perzentil | -13,0% | -11,6% |
| Anzahl der Werte | 56 | 201 |

7.4 Analysegeräte für Schwermetalle

Die Angaben der Teilnehmer zum verwendeten Analysegerät für die Schwermetallanalytik lassen kaum Unterschiede zwischen AAS- und ICP-Nutzern erkennen. Insgesamt 35 Teilnehmer gaben an, die Schwermetallanalytik mittels AAS-Geräten durchzuführen, während 249 Teilnehmer angaben, ein ICP-Gerät zu verwenden. Alle Teilnehmer erzielten im Mittel für die Schwermetalle vergleichbare z-Scores, unabhängig vom verwendeten Analysegerät. Allerdings streuen die Messwerte der ICP-Nutzer stärker als die der AAS-Nutzer.

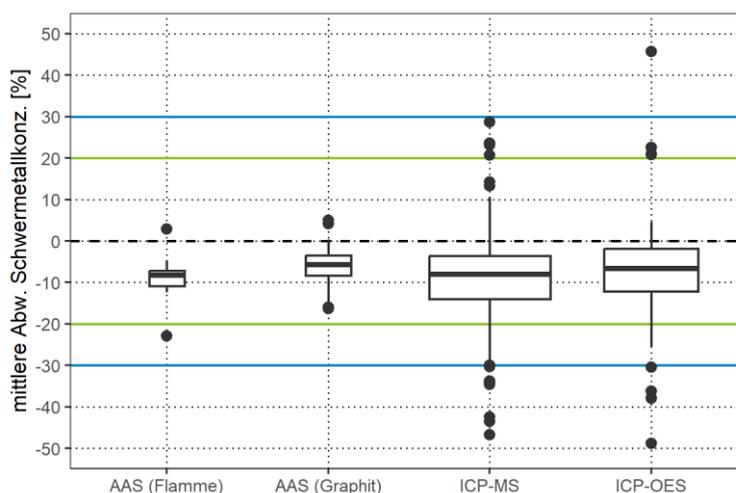


Tabelle 14: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Analysegeräten (2016-2023)

| Messgerät | Flammen-AAS | Graphitrohr-AAS | ICP-MS | ICP-OES |
|------------------|-------------|-----------------|--------|---------|
| 75. Perzentil | -7,2% | -3,4% | -3,6% | -1,9% |
| Median | -8,2% | -5,6% | -8,0% | -6,6% |
| 25. Perzentil | -10,8% | -8,3% | -14,1% | -12,1% |
| Anzahl der Werte | 13 | 22 | 155 | 94 |

7.5 Lösungsmittel zur Desorption von ETX

Für die Desorption der Lösungsmittel Ethylbenzol, Toluol und Xylol (ETX) stehen den Teilnehmern neben dem üblichen Lösungsmittel Schwefelkohlenstoff (CS₂) auch noch andere Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemische zur Auswahl. Die überwiegende Anzahl der Teilnehmer (88%) gab an, mit CS₂ gearbeitet zu haben. Die Ergebnisse aller Teilnehmer liegen im Mittel nahe beim Sollwert.

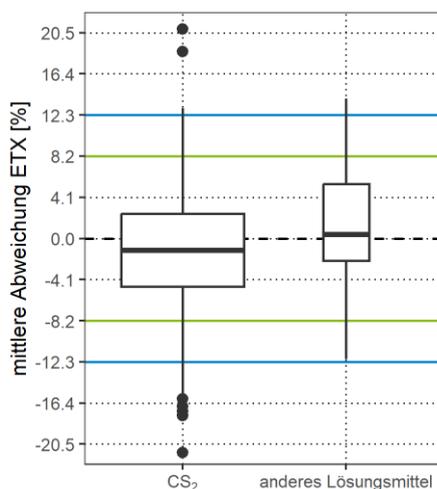


Tabelle 15: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit dem Desorptions-Lösungsmittel (2016-2023)

| Desorptionsmittel | CS ₂ | anderes Lösungsmittel |
|-------------------|-----------------|-----------------------|
| 75. Perzentil | +2,5% | +5,4% |
| Median | -1,2% | +0,4% |
| 25. Perzentil | -4,8% | -2,2% |
| Anzahl der Werte | 242 | 34 |

7.6 Gaschromatographie Detektoren

Für die Analyse der ETX-Proben kommen in der Regel Gaschromatographen mit entweder einem FID-Detektor oder einem Massenspektrometer (MS) zum Einsatz. Die Angaben der Teilnehmer ergeben hier das folgende Bild:

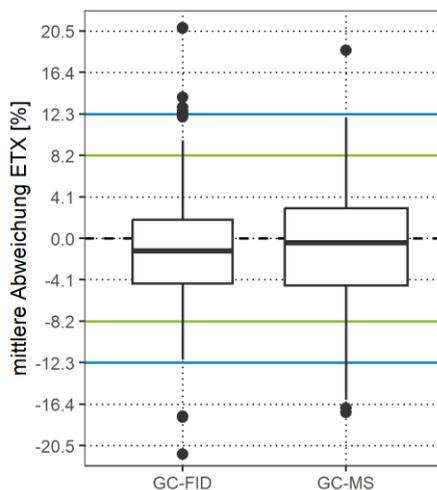


Tabelle 16: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit Analysengeräten (2016-2023)

| Messgerät | GC-FID | GC-MS |
|------------------|--------|-------|
| 75. Perzentil | +1,8% | +3,0% |
| Median | -1,2% | -0,4% |
| 25. Perzentil | -4,4% | -4,6% |
| Anzahl der Werte | 110 | 166 |

Für das Gesamtverfahren von Probenahme und Analytik erzielten die Teilnehmer mit beiden Detektor-Varianten im Mittel vergleichbare Ergebnisse nahe am Sollwert.

7.7 Schwefeldioxid

Für die diskontinuierliche Ermittlung von Schwefeldioxid-Konzentrationen steht den Teilnehmern im Rahmen des Standard-Referenzverfahrens die Analyse der Proben mittels Ionenchromatographie oder per Thorin-Verfahren zur Auswahl. Aus den Angaben der Teilnehmer ergibt sich folgendes Bild:

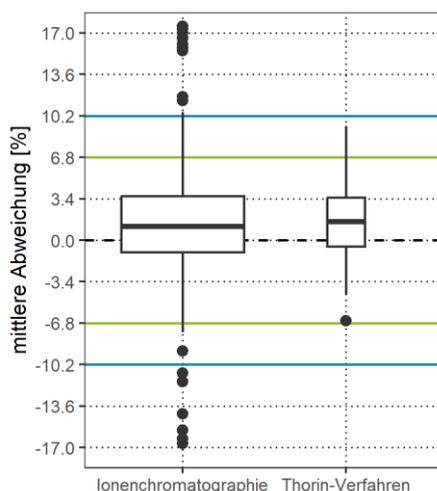


Tabelle 17: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwefeldioxid-Messergebnisse vom Sollwert mit dem verwendeten Analyseverfahren (2016-2023)

| Bestimmungsmethode | Ionenchromatographie | Thorin-Verfahren |
|--------------------|----------------------|------------------|
| 75. Perzentil | +3,6 | +3,5 |
| Median | +1,1 | +1,5 |
| 25. Perzentil | -1,0 | -0,5 |
| Anzahl der Werte | 263 | 25 |

In den vorliegenden Ergebnissen ist kein signifikanter Unterschied zwischen den zwei Verfahren zu erkennen. Allerdings ist die Anzahl der Teilnehmer, die das Thorin-Verfahren anwenden, vergleichsweise klein. Die etwas höhere Streuung des IC-Verfahrens mit diversen „Ausreißern“ ist möglicherweise allein auf die mehr als 10-mal so hohe Anzahl von Teilnehmern zurückzuführen.

7.8 Formaldehyd

Für die Messung von Formaldehyd-Konzentrationen stehen den Teilnehmern die Richtlinien VDI 3862 Blatt 2 (16), 3 (17) und 4 (18) zur Auswahl. Lediglich die Verfahren nach Blatt 2 und Blatt 4 wurden von mehr als 5% der Teilnehmer genannt, diese sind deshalb im folgenden Diagramm dargestellt. Aus den Angaben der Teilnehmer ergibt sich somit folgendes Bild:

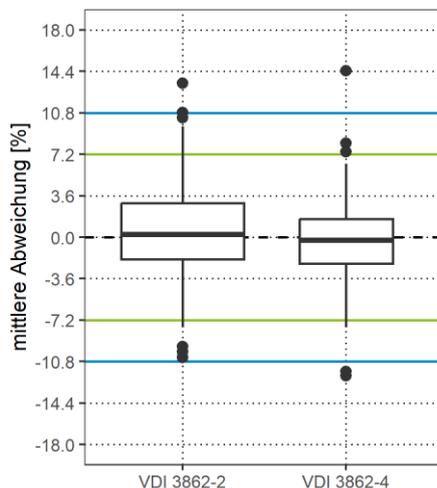


Tabelle 18: Korrelation der mittleren Abweichung der Formaldehyd-Messergebnisse vom Sollwert mit den verwendeten Richtlinien (2016-2023)

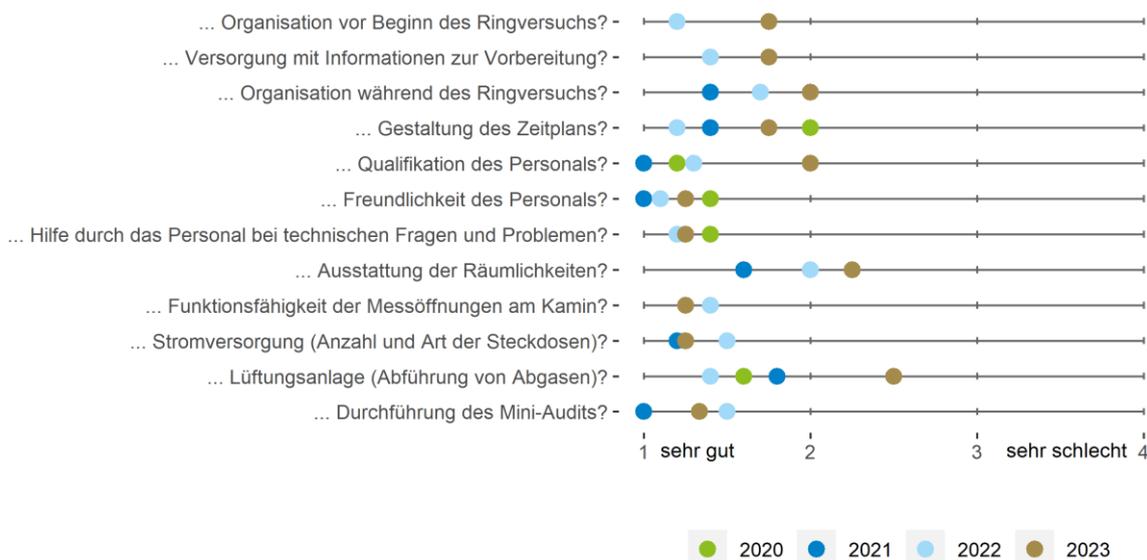
| Richtlinie (Bestimmungsmethode) | VDI 3862 Blatt 2 (DNPH Waschflaschen) | VDI 3862 Blatt 4 (AHMT-Verfahren) |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 75. Perzentil | +3,0 | +1,6 |
| Median | +0,3 | -0,2 |
| 25. Perzentil | -1,9 | -2,3 |
| Anzahl der Werte | 119 | 69 |

Das DNPH-Waschflaschen-Verfahren liefert offenbar im Mittel vergleichbar gute Werte wie das AHMT-Verfahren.

7.9 Feedback der Teilnehmer

Seit 2019 steht den Teilnehmern für die Bewertung der Ringversuche des HLNUG ein Online-Feedback-Fragebogen zur Verfügung. Die Antwortmöglichkeiten zu den einzelnen Fragen reichen von 1 (sehr gut) über 2 (eher gut) und 3 (eher schlecht) bis 4 (sehr schlecht). Der Mittelwert der Antworten zu den jeweiligen Fragen ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

Wie bewerten Sie die ...



Insgesamt gab es letztes Jahr leider nur 4 Rückmeldungen von 3 verschiedenen Messstellen. In diesen wenigen eingegangenen Feedbacks zeigte sich aber auch 2023 eine insgesamt hohe Zufriedenheit der Teilnehmer mit der Ringversuchsdurchführung. Besonders zufrieden waren die Teilnehmer mit der Freundlichkeit sowie Hilfestellungen des Personals, der Funktionsfähigkeit der Messöffnungen und der Stromversorgung (jeweils mittlere Note: 1,3). Die im Vergleich schlechteste Bewertung gab es zur Lüftungsanlage (mittlere Note: 2,5) und zur Ausstattung der Räumlichkeiten (mittlere Note: 2,3).

Ein Teilnehmer kritisierte, dass es im Gasringversuch zwischen verschiedenen Messungen teilweise zu massiv ansteigenden Gesamt-C-Konzentrationen kommt, die nicht angekündigt wurden. Ursache für diesen Anstieg ist der Wechsel des ETX-Gemischs nach jeder dritten Messung, was mit einer kurzzeitig erhöhten Dosierrate zum Spülen der Leitungen verbunden ist und zu entsprechend erhöhten Konzentrationen zwischen den Probenahmezeiträumen für die Organischen Stoffe führt. Die Teilnehmer werden inzwischen in der Vorbesprechung zum Ringversuch auf den Wechsel der Lösungen und den damit verbundenen Konzentrationsanstieg hingewiesen. Außerdem wurde der Vorschlag gemacht, die jeweils folgende Dosierung im Gasringversuch bereits zu starten, sobald alle Teilnehmer die Probenahme beendet haben. Am Donnerstag wird dies bereits so durchgeführt, am Mittwoch kann diese Vorgehensweise aus technischen Gründen nur bedingt umgesetzt werden. Für den Staubringversuch gab es eine Rückmeldung, dass es unklar gewesen sei, ob die Messungen im Ringversuch bei erhöhter Feuchte durchgeführt werden. Diesbezüglich kann auf die LAI-Durchführungsbestimmungen sowie das Merkblatt zum Ringversuch und die Messung der Randbedingungen durch die Teilnehmer verwiesen werden. Signifikante Änderungen bei der Durchführung wurden und werden den Teilnehmern stets vorab mitgeteilt.

Kritisiert wurde außerdem, dass die Teilnehmer im 1. Stock weniger Platz für das Abstellen von Geräten haben als die Teilnehmer im 3. Stock. Bedingt durch die Anzahl der Teilnehmer lässt sich dieses Problem leider nicht ohne Weiteres beheben. Sofern die Teilnehmer hier ein starkes Interesse an einer Änderung haben, könnte aber natürlich geprüft werden, ob die Teilnehmerzahl von 8 auf 6 pro Ringversuch (3 pro Messraum) reduziert werden soll. Dazu müssten im Gegenzug die Teilnahmegebühren um mindestens 33% angehoben werden, auf ca. 3935 € für den Staubringversuch und ca. 4335 € für den Gasringversuch, jeweils zuzüglich der ohnehin zu erwartenden Steigerung zur Kompensation der allgemeinen Kostensteigerungen der letzten Jahre.

Zum Geruchsringversuch gab es eine Rückmeldung, dass der künstliche Schweinestallgeruch das Olfaktometer „verklebt“ und deshalb durch einen anderen Geruch ersetzt werden sollte. Außerdem wurde kritisiert, dass es während des Geruchsringversuchs im Messraum zu teilweise starken Geruchsbelästigungen kommt, sowie dass die Geruchskonzentrationen im Ringversuch über einen zu großen Bereich streuten und grundsätzlich nahe an üblichen Grenzwerten liegen sollten. Zur Geruchsbelästigung in den Messräumen ist anzumerken, dass deren Lüftungsanlagen den Anforderungen an Laborräume mit einem mindestens 8-fachen Luftwechsel entsprechen und während des Ringversuchs auf höchster Leistungsstufe betrieben werden. Eine noch leistungsfähigere Absaugung wäre weder wirtschaftlich noch zweckmäßig, da sie ausschließlich beim Geruchsringversuch zum Einsatz käme und die Ausbreitung von Gerüchen im Messraum nicht verhindern, sondern lediglich schneller verringern würde. Das grundsätzliche Problem der Geruchsbelastung im Messraum wäre dadurch nicht gelöst. Aufgegriffen werden kann aber die Anregung, durch organisatorische Maßnahmen die Freisetzung von Geruchsstoffen im Messraum weiter zu minimieren. Dazu werden in Zukunft die teilnehmenden Personen z.B. im Rahmen der Vorbesprechung zum Ringversuch auf die Notwendigkeit hingewiesen, alle Öffnungen an der ESA grundsätzlich geschlossen zu halten. Zusätzlich wird das Betreuungspersonal des HLNUG für dieses Problem sensibilisiert und wird in Zukunft verstärkt auf die Umsetzung dieses Hinweises achten. Ein Ersatz der Schweinestall-Mischung durch einen anderen Geruchsstoff kommt zumindest derzeit nicht in Frage, da dieser Geruch im Ringversuch in der Geruchsart den größten Praxisbezug hat und dem Wunsch der Mehrzahl der teilnehmenden Messstellen nach vorrangiger Verwendung von Multikomponentengemischen nachkommt. Die im Ringversuch angebotenen Konzentrationen wiederum müssen über einen gewissen Bereich streuen, damit eine wirksame Bewertung von Messergebnissen möglich ist. Wird dieser Bereich zu klein gewählt, könnten Teilnehmer einfach eine Konzentration im üblichen Bereich "raten" und dadurch den Ringversuch automatisch bestehen. Außerdem werden z.B. bei Messungen zur Feststellung der Geruchsminderungswirkung von Anlagen auch deutlich höhere Geruchskonzentrationen gemessen. Messergebnisse von $10.000 \text{ GE}_E/\text{m}^3$ und mehr sind in Messberichten in Hessen keineswegs selten, für andere Bundesländer dürfte dies ebenfalls der Fall sein. Der Wunsch nach Konzentrationen um $500 \text{ GE}_E/\text{m}^3$ kann daher nur bedingt umgesetzt werden.

8. Schlussbemerkung

Anders als in den Jahren 2020 bis 2022 gab es im Jahr 2023 bei der Durchführung der Ringversuche an der ESA des HLNUG keine nennenswerten Einschränkungen durch die SARS-CoV-2-Pandemie. Die Staub- und Gasringversuche konnten somit durchgehend nach den neuen LAI-Durchführungsbestimmungen von Mai 2019 in vollem Umfang umgesetzt werden. Dazu gehören gegenüber den alten Versionen von 2007 (Staub) bzw. 2014 (Gas) kleinere Änderungen an den Bewertungskriterien, am Komponentenspektrum und am Zeitplan, aber auch die Einführung eines Theorietests.

Die Messergebnisse in den Staub- und Gasringversuchen haben sich 2023 im Vergleich zum Jahr 2022 für die verschiedenen Komponenten unterschiedlich entwickelt. Für viele Komponenten sind die Messergebnisse noch immer signifikant schlechter als in den Jahren vor der Pandemie. Dies betrifft vor allem die diskontinuierlichen Komponenten wie Staub und die organischen Einzelstoffe (Ethylbenzol, Toluol und Xylol). Beim Gesamtstaub könnte neben Fehlern bei der Isokinetik die Verwendung von dickrandigen und/oder beschädigten Sondenspitzen eine mögliche Ursache für unzureichende Ergebnisse sein. Bei den organischen Komponenten ist der Fehler in vielen Fällen wahrscheinlich nicht bei der Probenahme, sondern vermutlich eher bei der Probenaufarbeitung und vor allem der Analytik zu suchen.

Im Geruchsringversuch erzielten die Teilnehmer im Jahr 2023 insgesamt erneut deutlich bessere Ergebnisse als in den Jahren 2019 bis 2021, die Bestehensquote lag hier ähnlich wie 2022 wieder auf dem Niveau der Jahre 2016 bis 2018. Nach wie vor dürfte das Hauptproblem der Teilnehmer im Geruchsringversuch die Verwendung von Panels aus nur 4 Probanden sein. Unter diesen Umständen haben die Messergebnisse einzelner Probanden einen massiven Einfluss auf das Probenresultat, wodurch tagesabhängige Wahrnehmungsschwankungen dieser Einzelpersonen leicht zum Nichtbestehen der gesamten Messstelle führen können. Zusätzlich könnte die Wahl der Startverdünnungsstufe am Olfaktometer aber auch eine Ursache für unzureichende Geruchsmessergebnisse sein.

Kassel, 26. Februar 2024

gez. J. Cordes

Dr. Jens Cordes

Fachlich Verantwortlicher
Ringversuche

gez. B. Stoffels

Benno Stoffels

Stellv. Fachlich Verantwortlicher
Ringversuche

gez. D. Wildanger

Dr. Dominik Wildanger

Dezernatsleiter

9. Literaturverzeichnis

1. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl I, 2013, Nr. 25, S. 1274–1311).
2. DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05 - Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen (ISO/IEC 17043:2010); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17043:2010. (*Conformity assessment - General requirements for proficiency testing (ISO/IEC 17043:2010); German and English version EN ISO/IEC 17043:2010*). Berlin : Beuth-Verlag.
3. Einundvierzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Bekanntgabeverordnung – 41. BImSchV) vom 2. Mai 2013 (BGBl I, 2013, Nr. 21, S. 1001–1010).
4. J. Cordes, B. Stoffels, D. Wildanger. *The question of homogeneity inside a chimney: application of ISO 13528 to stack emission proficiency tests*. **Accred Qual Assur.** 20, 2015, S. 287. <https://doi.org/10.1007/s00769-015-1139-y>
5. S. Stöckel, J. Cordes, B. Stoffels, D. Wildanger. *Scents in the stack: olfactometric proficiency testing with an emission simulation apparatus*. **Environ. Sci. Pollut. Res.** 25, 2018, S. 24787. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2515-z>
6. DIN EN ISO 17034:2017-04 - Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Referenzmaterialherstellern (ISO 17034:2016); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 17034:2016. (*General requirements for the competence of reference material producers (ISO 17034:2016); German and English version EN ISO 17034:2016*). Berlin : Beuth-Verlag.
7. DIN ISO 13528:2020-09 - Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO 13528:2015, korrigierte Fassung 2016-10-15); Text Deutsch und Englisch. (*Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons (ISO 13528:2015, Corrected version 2016-10-15); Text in German and English*). Berlin : Beuth-Verlag.
8. DIN EN 14385:2004-05 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Gesamtemission von As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, TI und V; Deutsche Fassung EN 14385:2004. (*Stationary source emissions - Determination of the total emission of As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, TI and V; German version EN 14385:2004*). Berlin : Beuth-Verlag.
9. DIN EN 15259:2008-01: Luftbeschaffenheit - Messung von Emissionen aus stationären Quellen - Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplan und den Messbericht; Deutsche Fassung EN 15259:2007. (*Air quality - Measurement of stationary source emissions - Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report; German version EN 15259:2007*). Berlin : Beuth-Verlag.
10. DIN EN 13284-1:2018-02: Emissionen aus stationären Quellen - Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen - Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren; Deutsche Fassung EN 13284-1:2017. (*Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust. Manual gravimetric method; German version EN 13284-1:2017*). Berlin : Beuth-Verlag.
11. DIN EN 14792:2017-05 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Stickstoffoxiden - Standardreferenzverfahren: Chemilumineszenz; Deutsche Fassung EN 14792:2017. (*Stationary source emissions. Determination of mass concentration of nitrogen oxides. Standard reference method. Chemiluminescence; German version EN 14792:2017*). Berlin : Beuth-Verlag.

12. DIN EN 15058:2017-05 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Kohlenmonoxid - Standardreferenzverfahren: Nicht-dispersive Infrarotspektrometrie; Deutsche Fassung EN 15058:2017. (*Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of carbon monoxide. Standard reference method: non-dispersive infrared spectrometry; German version EN 15058:2017.*). Berlin : Beuth-Verlag.
13. DIN EN 12619:2013-04: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration des gesamten gasförmigen organisch gebundenen Kohlenstoffs – Kontinuierliches Verfahren mit dem Flammenionisationsdetektor; Deutsche Fassung EN 12619:2013. (*Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of total gaseous organic carbon. Continuous flame ionisation detector method; German version EN 12619:2013.*). Berlin : Beuth-Verlag.
14. DIN CEN/TS 13649:2015-03 - DIN SPEC 33969:2015-03 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von gasförmigen organischen Einzelverbindungen - Sorptive Probenahme und Lösemittelextraktion oder thermische Desorption; Deutsche Fassung CEN/TS 13649:2014. (*Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of individual gaseous organic compounds. Sorptive sampling method followed by solvent extraction or thermal desorption; German Version CEN/TS 13649:2014.*). Berlin : Beuth-Verlag.
15. DIN EN 14791:2017-05 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Schwefeloxiden - Standardreferenzverfahren; Deutsche Fassung EN 14791:2017. (*Stationary source emissions. Determination of mass concentration of sulphur oxides. Standard reference method; German version EN 14791:2017.*). Berlin : Beuth-Verlag.
16. VDI 3862 Blatt 2:2000-12 - Messen gasförmiger Emissionen - Messen aliphatischer und aromatischer Aldehyde und Ketone nach dem DNPH-Verfahren - Gaswaschflaschen-Methode. (*Gaseous emission measurement - Measurement of aliphatic and aromatic aldehydes and ketones by DNPH method - Impinger method*). Berlin : Beuth-Verlag.
17. VDI 3862 Blatt 3:2000-12 - Messen gasförmiger Emissionen - Messen aliphatischer und aromatischer Aldehyde und Ketone nach dem DNPH-Verfahren - Kartuschen-Methode. (*Gaseous emission measurement - Measurement of aliphatic and aromatic aldehydes and ketones by DNPH method - Cartridges method*). Berlin : Beuth-Verlag.
18. VDI 3862 Blatt 4:2001-05 - Messen gasförmiger Emissionen - Messen von Formaldehyd nach dem AHMT-Verfahren. (*Gaseous emission measurement - Measurement of formaldehyde by the AHMT method*). Berlin : Beuth-Verlag.
19. DIN EN 13725:2022-06 - Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration durch dynamische Olfaktometrie und die Geruchsstoffemissionsrate; Deutsche Fassung EN 13725:2022. (*Stationary source emissions – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry and odour emission rate; German version EN 13725:2022*). Berlin : Beuth-Verlag.
20. E. Antonsson, J. Cordes, B. Stoffels, D. Wildanger. *The European Standard Reference Method systematically underestimates particulate matter in stack emissions. Atmos. Environ., X, 12, 2021, S. 100133.* <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100133>

HESSEN



Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Dezernat I3 - Luftreinhaltung: Emissionen

Ludwig-Mond-Straße 33
34121 Kassel