



Jahresbericht 2022

Ergebnisse der Emissionsringversuche
der Stoffbereiche P, G und O an der
Emissionssimulationsanlage im Jahr 2022

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 | 8 |
| 4.1 | Beschreibung der Prüfgegenstände | 8 |
| 4.2 | Herstellung der Prüfgegenstände | 9 |
| 4.3 | Metrologische Rückführung | 9 |
| 4.4 | Messverfahren | 9 |
| 4.5 | Auswertung der Ringversuche | 10 |
| 4.5.1 | Berechnung von z-Scores | 10 |
| 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 | 38 |
| 6.3 | Abgasrandbedingungen | 38 |
| 7. | Freiwillige Angaben der Teilnehmer | 39 |
| 7.1 | Messunsicherheiten | 39 |
| 7.2 | Sonde und Spülen bei Staubmessungen | 41 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7.3 | Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen..... | 44 |
| 7.4 | Analysegeräte für Schwermetalle | 45 |
| 7.5 | Lösungsmittel zur Desorption von ETX..... | 46 |
| 7.6 | Gaschromatographie Detektoren | 47 |
| 7.7 | Schwefeldioxid..... | 48 |
| 7.8 | Formaldehyd | 49 |
| 7.9 | Feedback der Teilnehmer | 50 |
| 8. | Schlussbemerkung | 51 |
| 9. | Literaturverzeichnis | 52 |

1. Zusammenfassung

An den Staub-Emissionsringversuchen (Stoffbereich P) des HLNUG nahmen im Jahr 2022 insgesamt 33 Messinstitute teil, davon waren 27 Teilnehmer §29b-Messstellen und 6 Freiwillige. 26 dieser Teilnahmen entfielen auf die Pandemieversion des Ringversuchs und wurden nicht bewertet, 7 Messinstitute nahmen an der regulären Version des Ringversuchs teil und wurden bewertet. Die Erfolgsquote lag bei den 4 bewerteten §29b-Messstellen bei 75%, von den 3 bewerteten freiwilligen Teilnehmern hat keiner den Ringversuch bestanden.

An den Gas-Emissionsringversuchen (Stoffbereich G) nahmen 2022 insgesamt 34 Messinstitute teil, davon waren 28 Teilnehmer §29b-Messstellen und 6 Freiwillige. 25 dieser Teilnahmen entfielen auf die Pandemieversion des Ringversuchs und wurden nicht bewertet, 9 Messinstitute nahmen an der regulären Version des Ringversuchs teil und wurden bewertet. Die Erfolgsquote lag bei den 5 bewerteten §29b-Messstellen bei 40%, von den 4 bewerteten freiwilligen Teilnehmern haben 25% den Ringversuch bestanden.

An den Geruchs-Emissionsringversuchen (Stoffbereich O) nahmen 2022 insgesamt 19 Messstellen teil, von denen 13 aufgrund einer Bekanntgabe nach §29b BImSchG und 6 freiwillig teilnahmen. Hier waren 77% der bekanntgegebenen und 33% der freiwilligen Teilnehmer erfolgreich.

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 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.

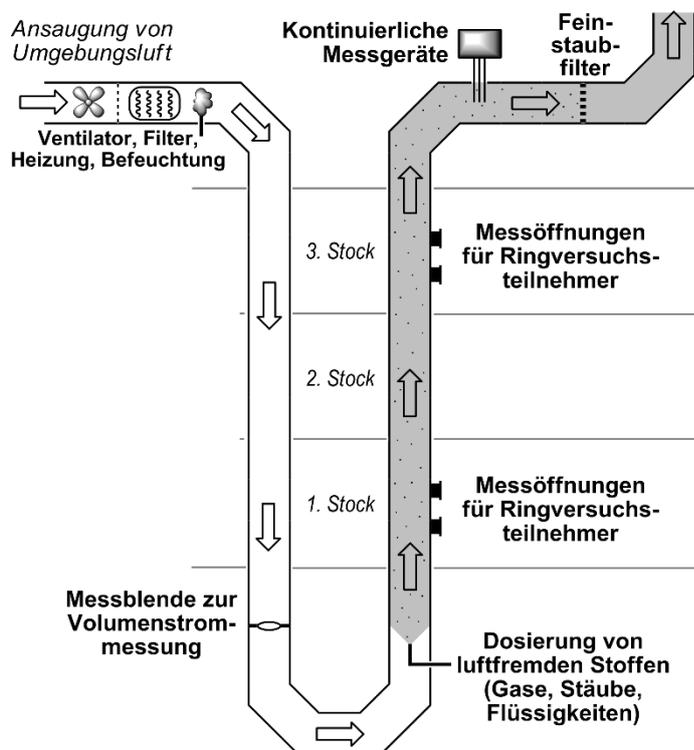


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ESA des HLNUG in Kassel

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. 5 – 11 m/s durch die ESA, dadurch wird ein Volumen von ca. 2200 – 5000 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 Kalibriergasgenerator für die Dosierung von 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 2022 wurden folgende Ringversuche der Stoffbereiche P, G und O durchgeführt:

Tabelle 1: Emissionsringversuche des HLNUG

| Ringversuch | Art | Start | Ende | Teilnehmer |
|-------------|--|------------|------------|------------|
| 22G11 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 01.02.2022 | 01.02.2022 | 1 |
| 22P11 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 01.02.2022 | 01.02.2022 | 1 |
| 22G12 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 02.02.2022 | 02.02.2022 | 2 |
| 22P12 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 02.02.2022 | 02.02.2022 | 2 |
| 22G13 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 03.02.2022 | 03.02.2022 | 2 |
| 22P13 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 03.02.2022 | 03.02.2022 | 2 |
| 22G14 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 04.02.2022 | 04.02.2022 | 1 |
| 22P14 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 04.02.2022 | 04.02.2022 | 1 |
| 22G21 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 22.02.2022 | 22.02.2022 | 2 |
| 22P21 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 22.02.2022 | 22.02.2022 | 2 |
| 22G22 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 23.02.2022 | 23.02.2022 | 1 |
| 22P22 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 23.02.2022 | 23.02.2022 | 1 |
| 22G23 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 24.02.2022 | 24.02.2022 | 2 |
| 22P23 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 24.02.2022 | 24.02.2022 | 2 |
| 22G24 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 25.02.2022 | 25.02.2022 | 2 |
| 22P24 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 25.02.2022 | 25.02.2022 | 2 |
| 22G31 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 15.03.2022 | 15.03.2022 | 2 |
| 22P31 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 15.03.2022 | 15.03.2022 | 2 |
| 22G32 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 16.03.2022 | 16.03.2022 | 2 |
| 22P32 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 16.03.2022 | 16.03.2022 | 2 |
| 22G33 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 17.03.2022 | 17.03.2022 | 1 |
| 22P33 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 17.03.2022 | 17.03.2022 | 1 |
| 22G41 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 05.04.2022 | 05.04.2022 | 2 |
| 22P41 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 05.04.2022 | 05.04.2022 | 2 |
| 22G42 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 06.04.2022 | 06.04.2022 | 2 |
| 22P42 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 06.04.2022 | 06.04.2022 | 2 |
| 22G43 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 07.04.2022 | 07.04.2022 | 2 |
| 22P43 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 07.04.2022 | 07.04.2022 | 2 |
| 22G44 | Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion | 08.04.2022 | 08.04.2022 | 1 |
| 22P44 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 08.04.2022 | 08.04.2022 | 1 |
| 22O1 | Geruch (Stoffbereich O) | 27.09.2022 | 27.09.2022 | 8 |
| 22O2 | Geruch (Stoffbereich O) | 29.09.2022 | 29.09.2022 | 6 |
| 22O3 | Geruch (Stoffbereich O) | 06.10.2022 | 06.10.2022 | 5 |
| 22P45 | Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion | 07.10.2022 | 07.10.2022 | 1 |
| 22P5 | Staub (Stoffbereich P) | 07.11.2022 | 08.11.2022 | 5 |
| 22G5 | Gas (Stoffbereich G) | 08.11.2022 | 10.11.2022 | 6 |
| 22P6 | Staub (Stoffbereich P) | 21.11.2022 | 22.11.2022 | 2 |
| 22G6 | Gas (Stoffbereich G) | 22.11.2022 | 24.11.2022 | 3 |

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 (3 in der Pandemieversion) | |
| 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 (nicht Teil der Pandemieversion) |
| 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 Wochens (sechs Wochen in der Pandemieversion) 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, Dr. Egill Antonsson 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 folgende 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 Tabelle 5 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) (nicht Teil der Pandemieverson) |
| 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 2022 wurden neben *n*-Butanol die Komponenten Lösungsmittelgemisch (ETX), Tetrahydrothiophen (THT) und künstlicher Schweinestall (PIG) eingesetzt. Der Geruchsschwellenwert $c_{0,k}$ konnte für die Komponente ETX nach Schema a) ermittelt werden. Hier ergab sich aus 207 Einzelmessungen aus den Jahren 2017 bis 2021 ein Konsenswert von $c_0 = 211 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für die Komponenten THT und PIG mussten Konsenswerte nach Schema b) ermittelt werden. Hier ergab sich ein Wert von $c_0 = 0,445 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für THT und $c_0 = 242 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PIG, jeweils auf der Grundlage von 39 Einzelmessungen aus dem Jahr 2022.

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 2022, wie schon im Jahr zuvor, nur für die Komponente PIG erforderlich, für die σ_k auf einen Wert von 0,24 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

| Nr. | Komponente | Art der Bestimmung | Kurzbezeichnung | Präzisionsvorgabe σ_k in % vom Sollwert | Max. Standardunsicherheit der Sollwerte [%] |
|-----------------------|---|--------------------|-----------------|--|---|
| Stoffbereich P | | | | | |
| P1 | Staubkonzentration | diskontinuierlich | St | 7,0 | 1,59 |
| P2 | Cadmium | diskontinuierlich | Cd | 10,0 | 1,86 |
| P3 | Cobalt | diskontinuierlich | Co | 10,0 | 1,91 |
| P4 | Chrom | diskontinuierlich | Cr | 10,0 | 1,89 |
| P5 | Kupfer | diskontinuierlich | Cu | 10,0 | 2,21 |
| P6 | Mangan | diskontinuierlich | Mn | 10,0 | 2,02 |
| P7 | Nickel | diskontinuierlich | Ni | 10,0 | 1,96 |
| P8 | Blei | diskontinuierlich | Pb | 10,0 | 1,88 |
| P9 | Vanadium | diskontinuierlich | V | 10,0 | 2,16 |
| Stoffbereich G | | | | | |
| G1 | NO _x als NO ₂ | kontinuierlich | Nk | 3,1 | 1,03 |
| G2 | CO | kontinuierlich | Kk | 3,6 | 1,08 |
| G3 | Gesamt-C | kontinuierlich | Ck | 3,3 | 1,08 |
| G4 | Ethylbenzol | diskontinuierlich | Ed | 4,1 | 1,01 |
| G5 | Toluol | diskontinuierlich | Td | 4,1 | 1,01 |
| G6 | Summe <i>o</i> -, <i>m</i> -, <i>p</i> -Xylol | diskontinuierlich | Xd | 4,1 | 1,01 |
| G7 | SO ₂ | diskontinuierlich | Sd | 3,4 | 1,11 |
| G8 | Formaldehyd | diskontinuierlich | Fd | 3,6 | 1,17 |
| Stoffbereich O | | | | | |
| O1 | <i>n</i> -Butanol | diskontinuierlich | NBU | 0,10 † | 1,01 |
| O2 | Lösungsmittelgemisch | diskontinuierlich | ETX | 0,10 † | 5,86 |
| O3 | Tetrahydrothiophen | diskontinuierlich | THT | 0,10 † | 6,70 |
| O4 | Künstlicher Schweinestallgeruch | diskontinuierlich | PIG | 0,24 † | 17,5 |

† Beim Ringversuch O ist die Präzisionsvorgabe nicht in % des Sollwerts definiert (s. Abschnitt 4.5.1)

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:

| | |
|------------------|---------------------|
| $z_{jk} \leq 2$ | ergibt $K_{jk} = 1$ |
| $2 < z_{jk} < 3$ | ergibt $K_{jk} = 2$ |
| $z_{jk} \geq 3$ | ergibt $K_{jk} = 3$ |

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.

Für die Ringversuche in der Pandemieverversion wurde keine Gesamtbewertung vorgenommen.

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)

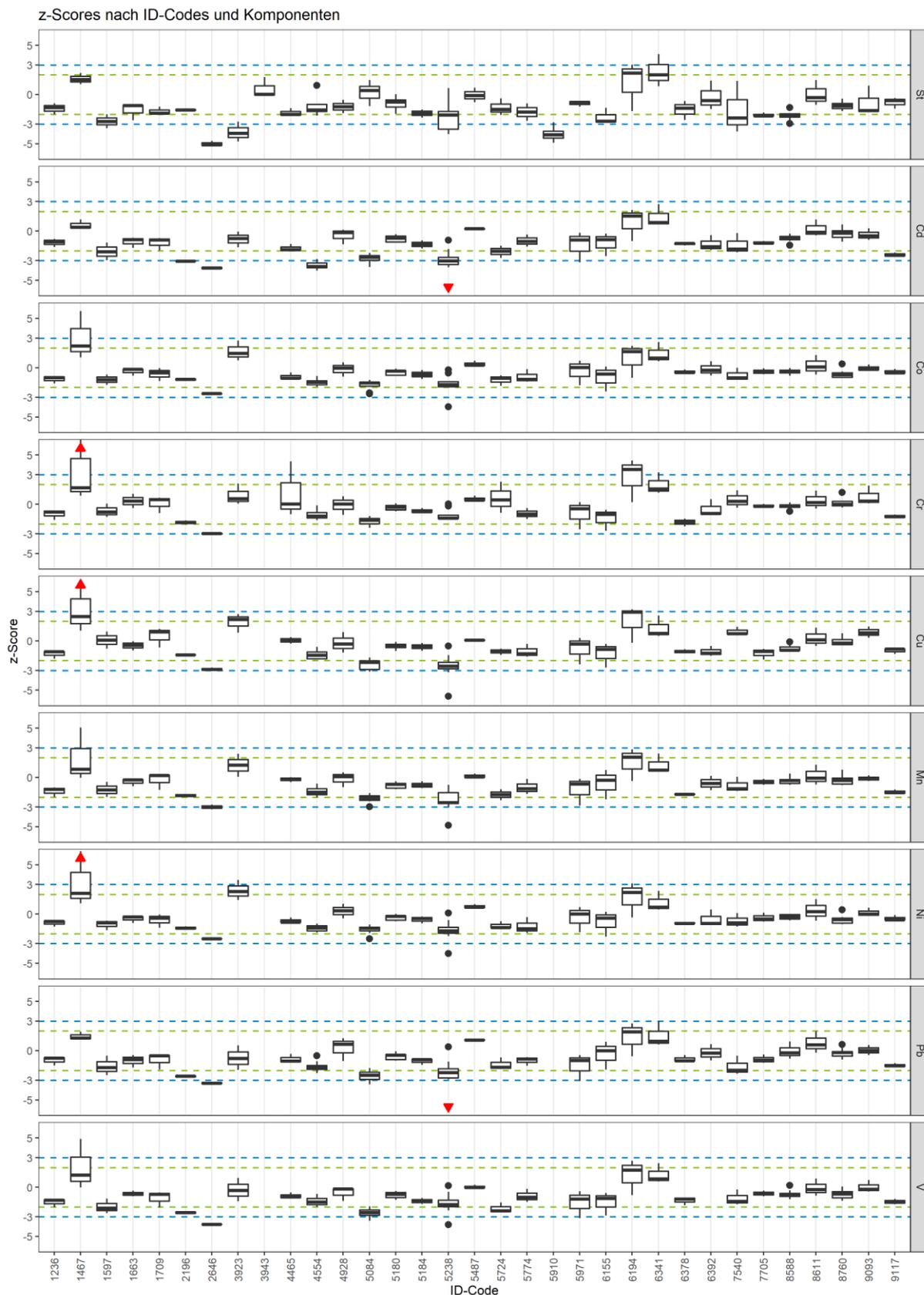
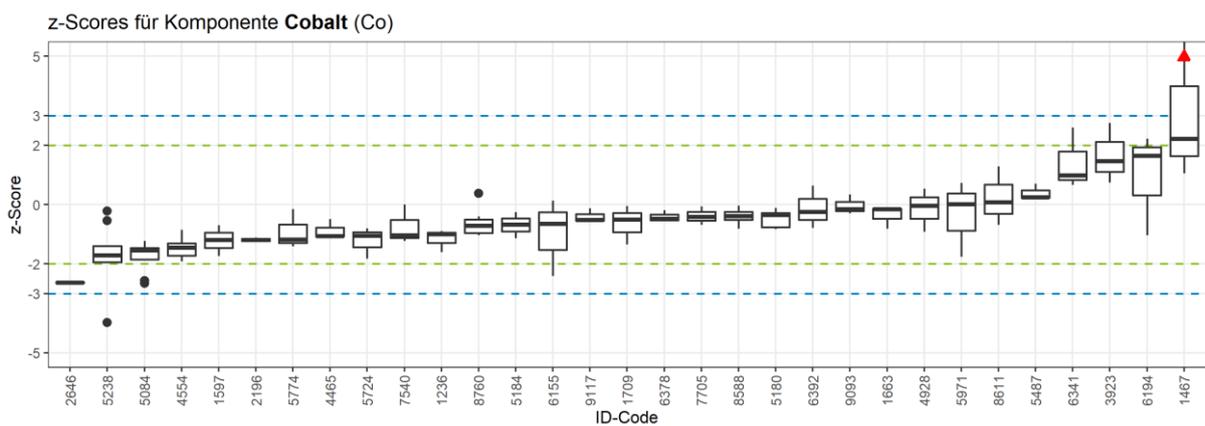
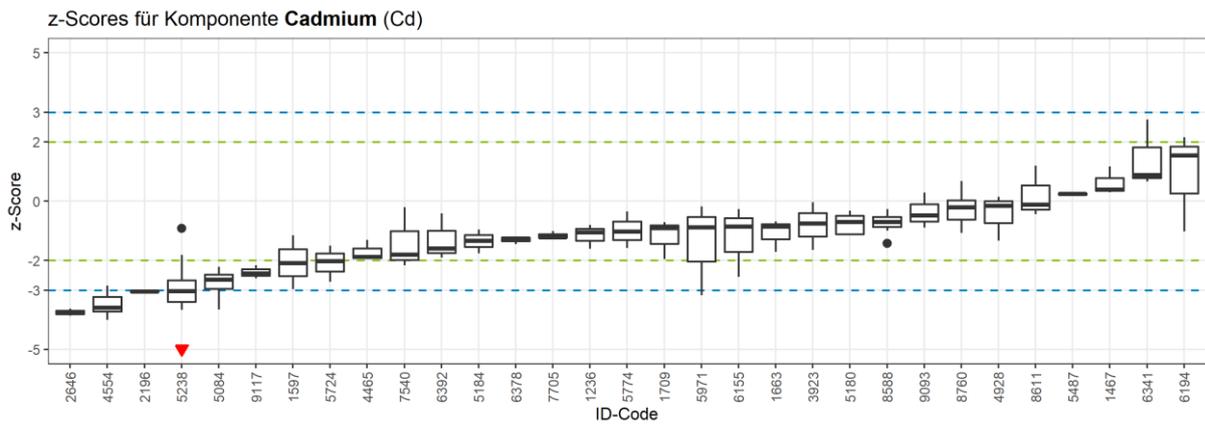
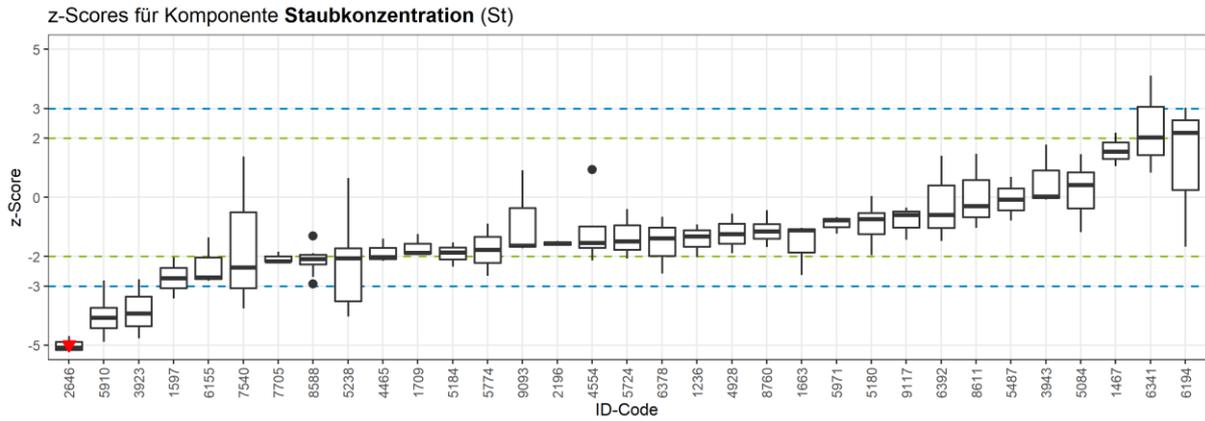
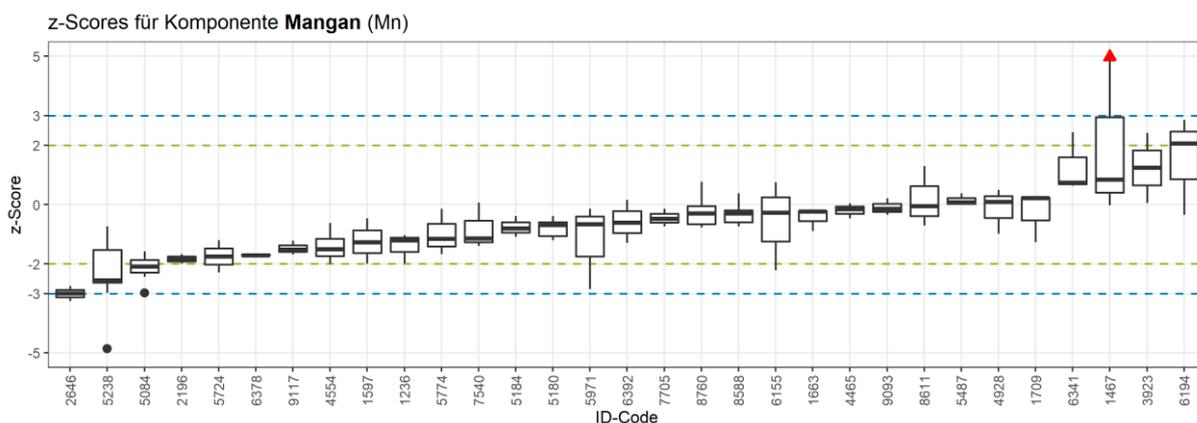
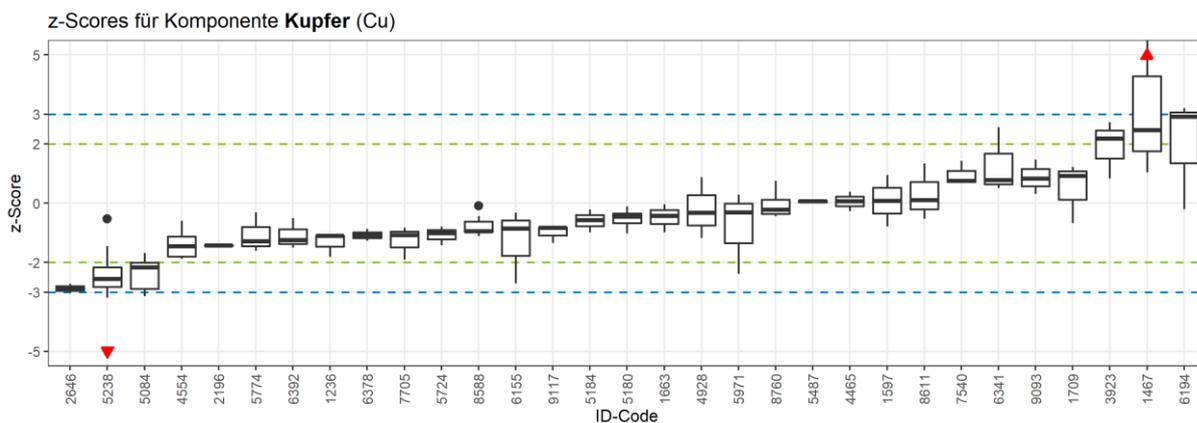
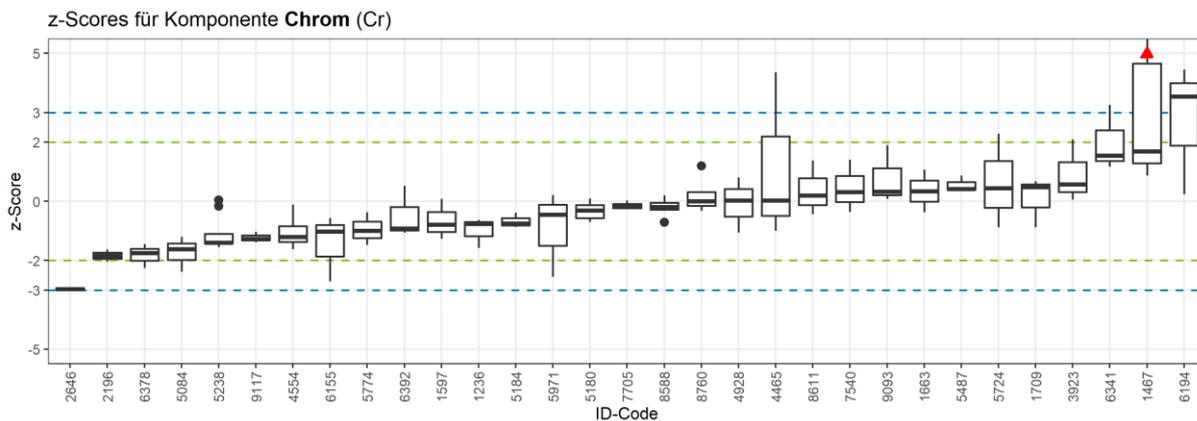
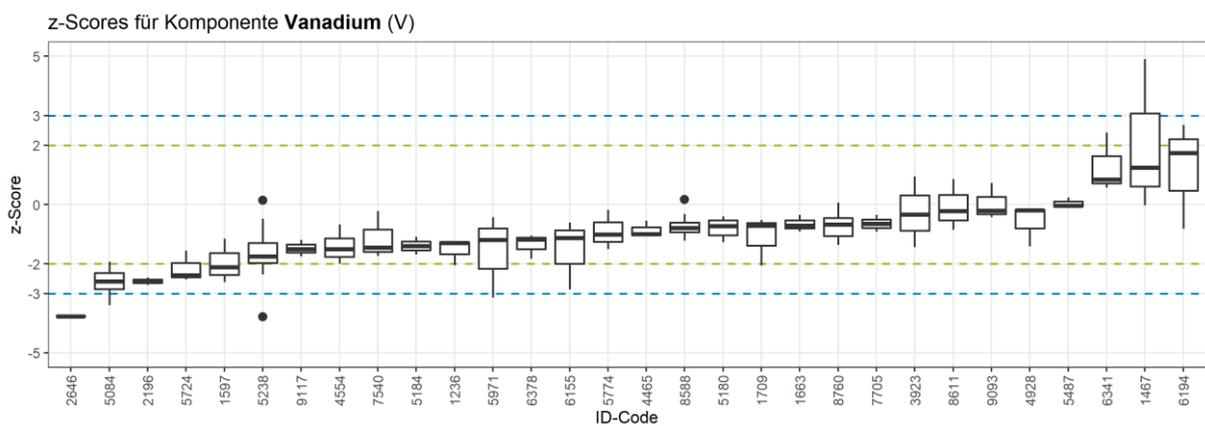
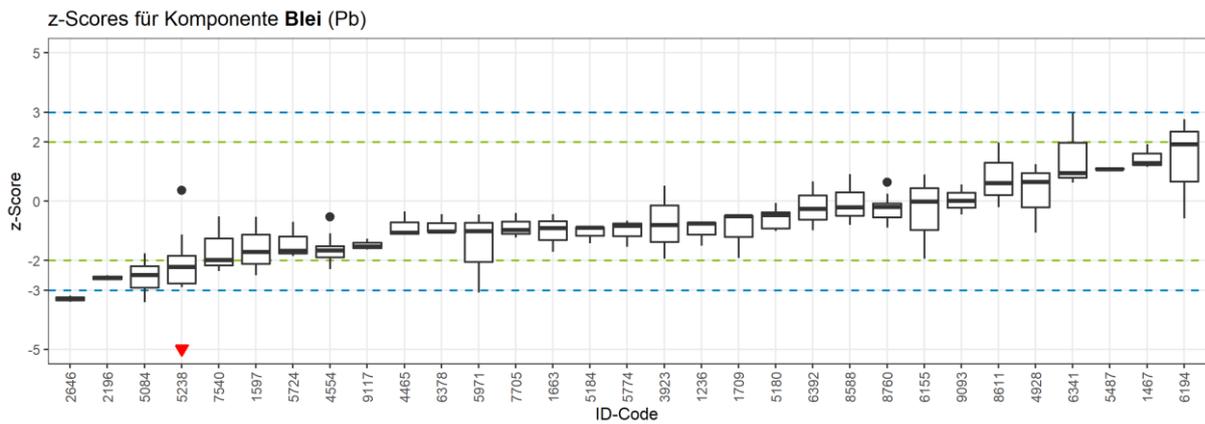
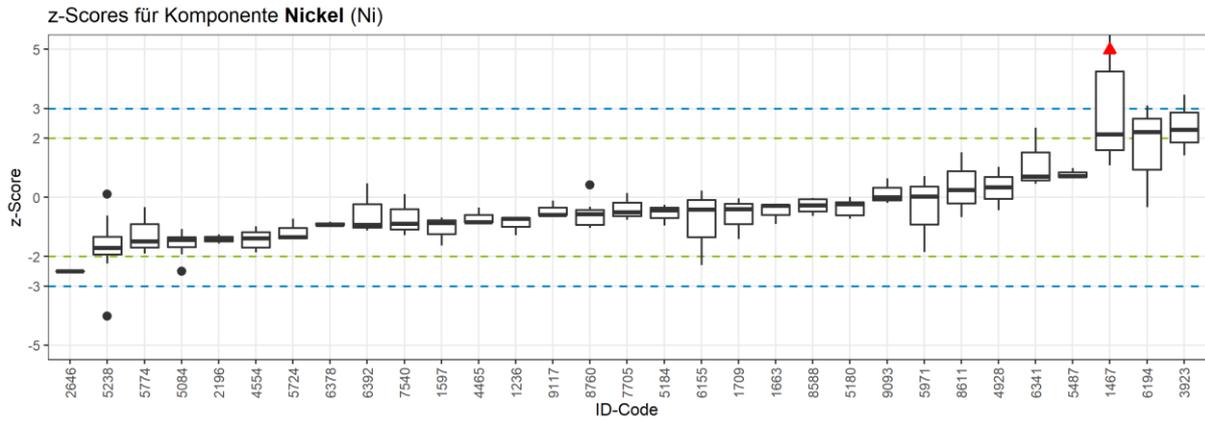


Abbildung 2: z-Scores für den Stoffbereich P







5.1.2 Gasringversuch (Stoffbereich G)

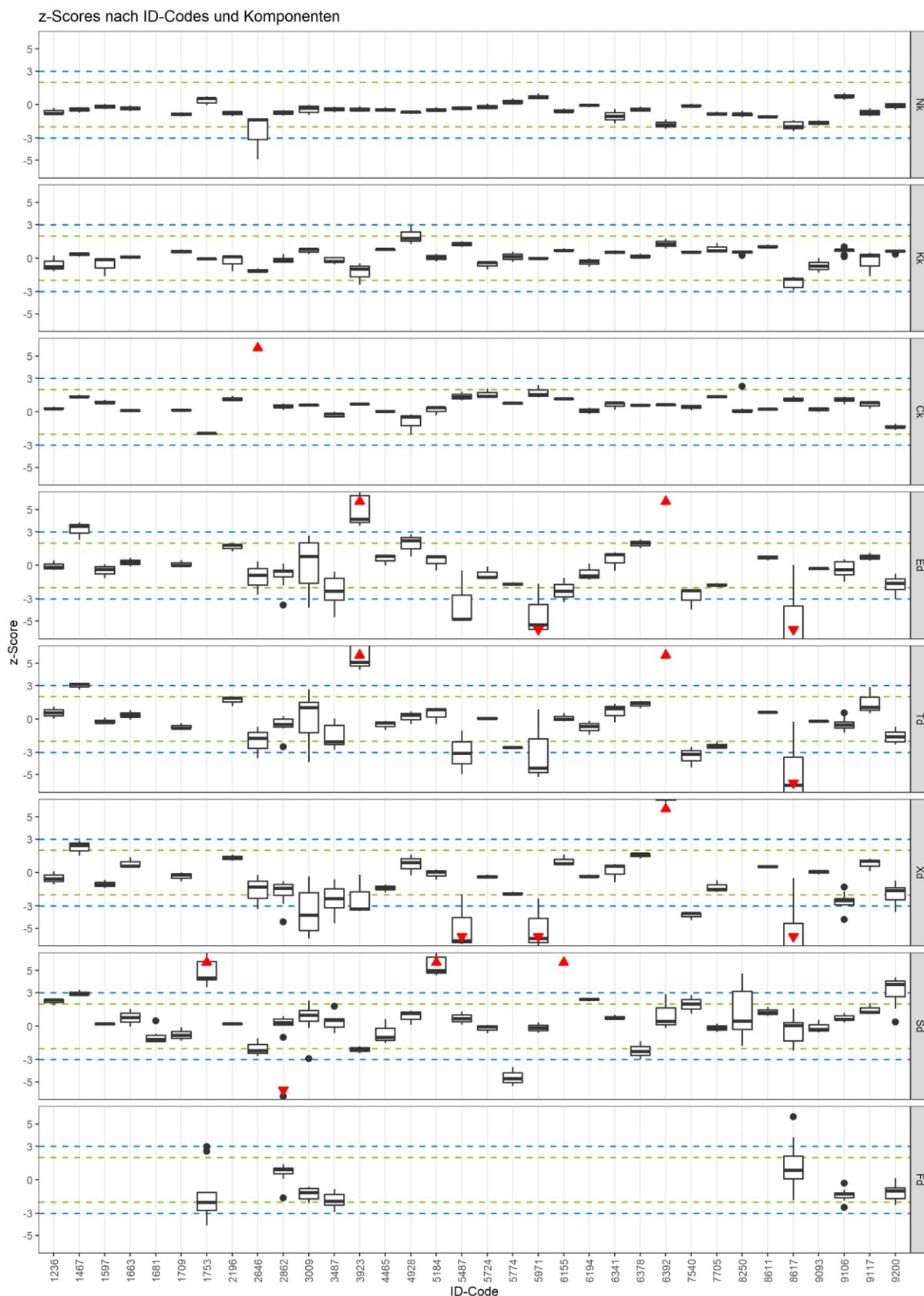
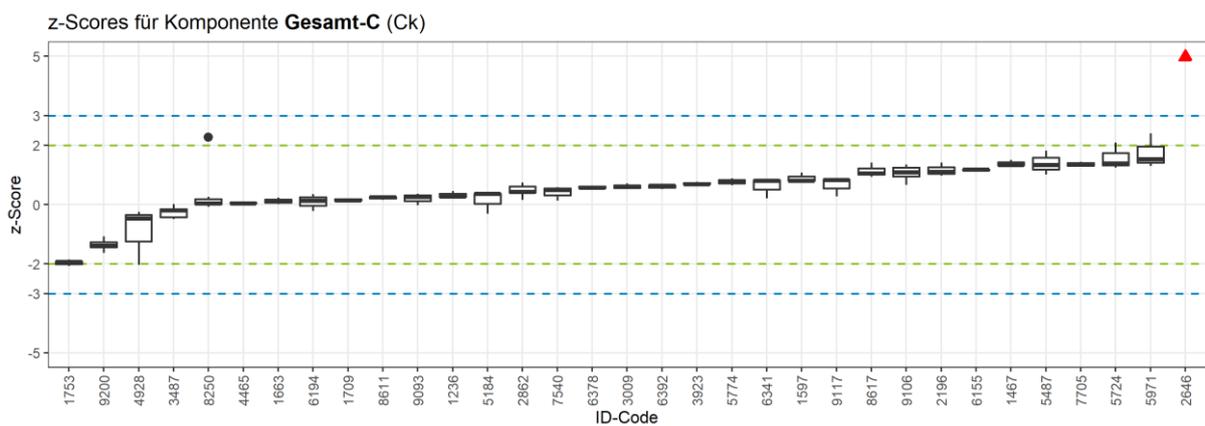
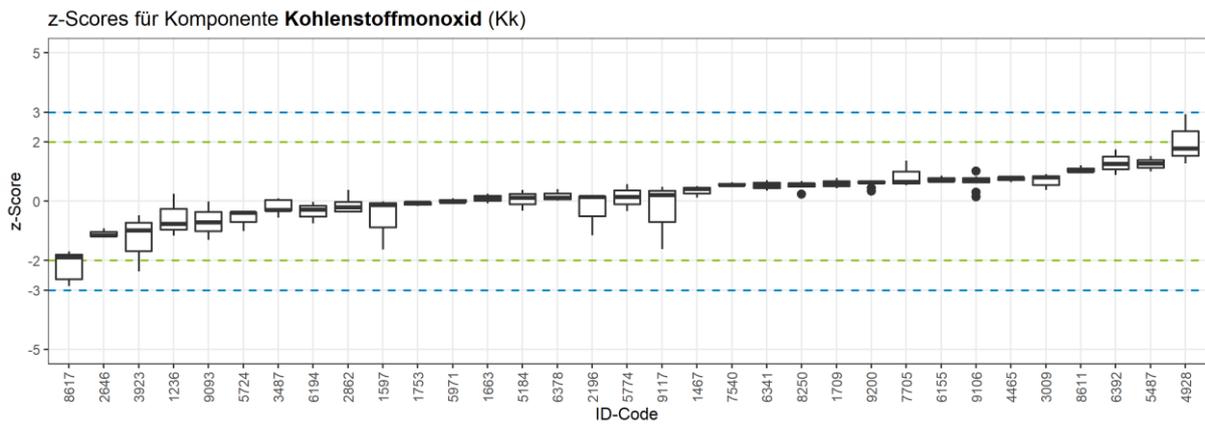
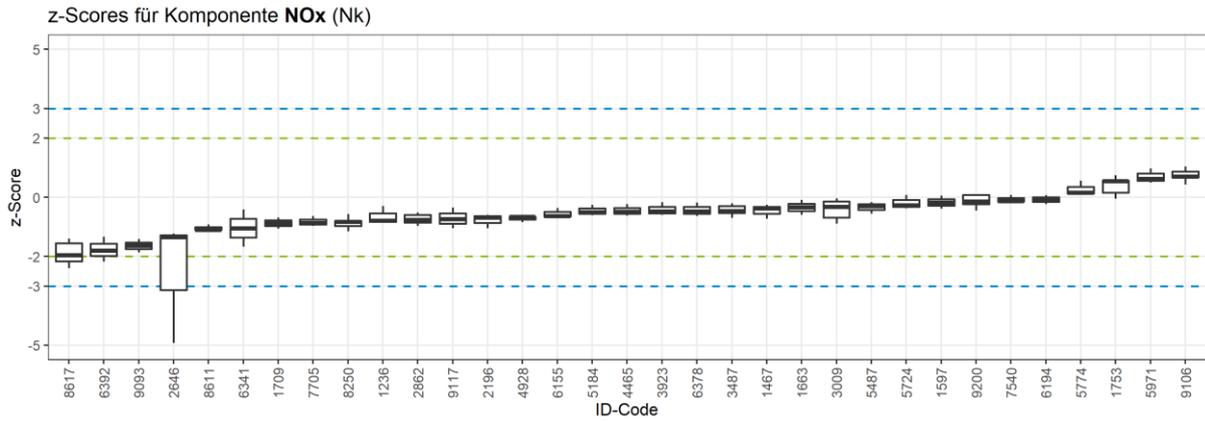
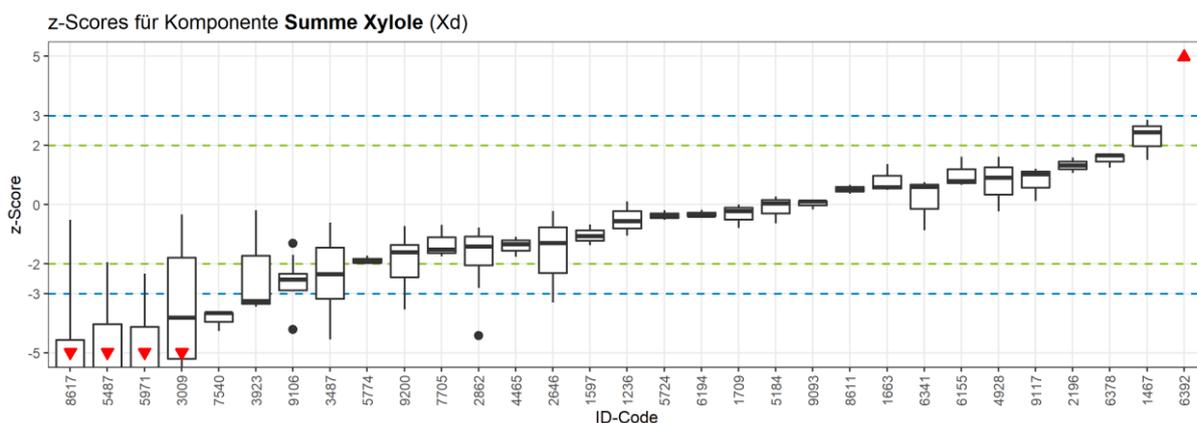
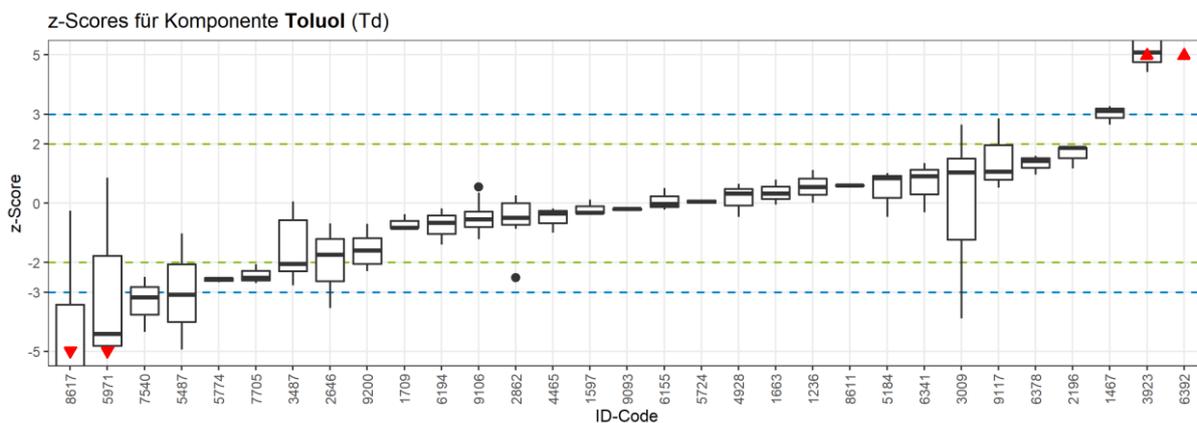
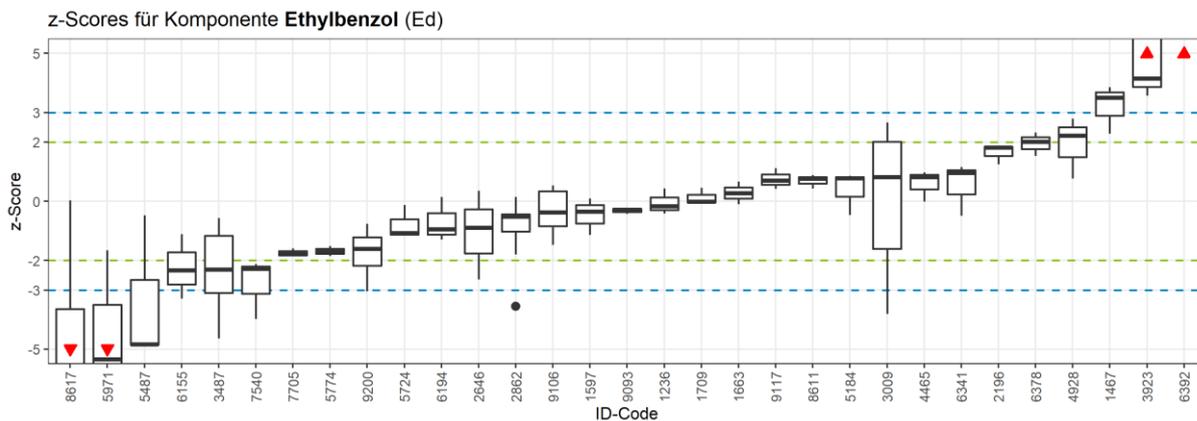
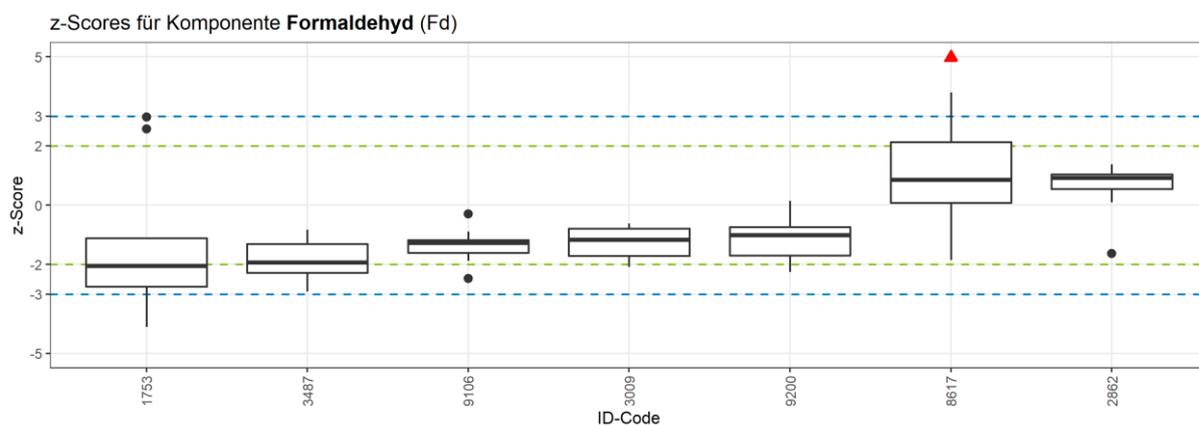
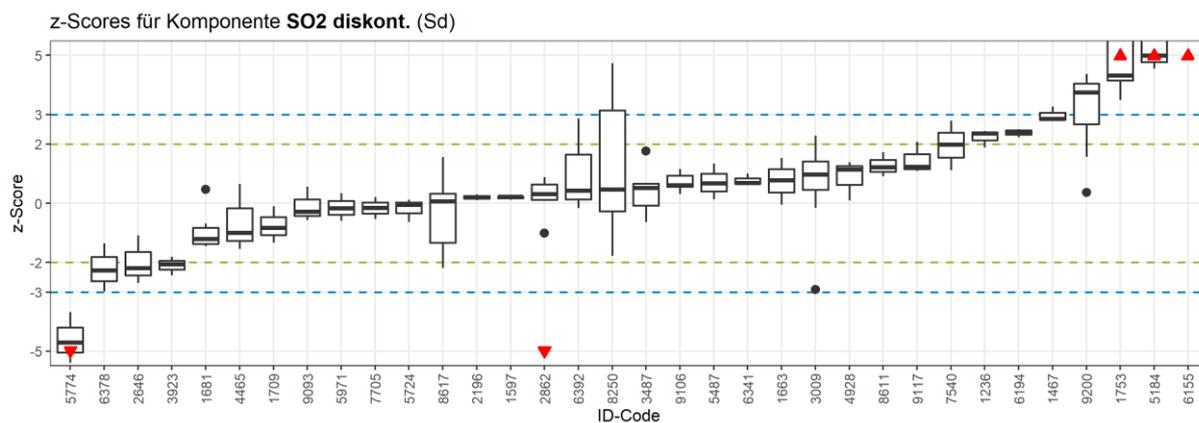


Abbildung 3: z-Scores für den Stoffbereich G







5.1.3 Geruchsringversuch (Stoffbereich 0)

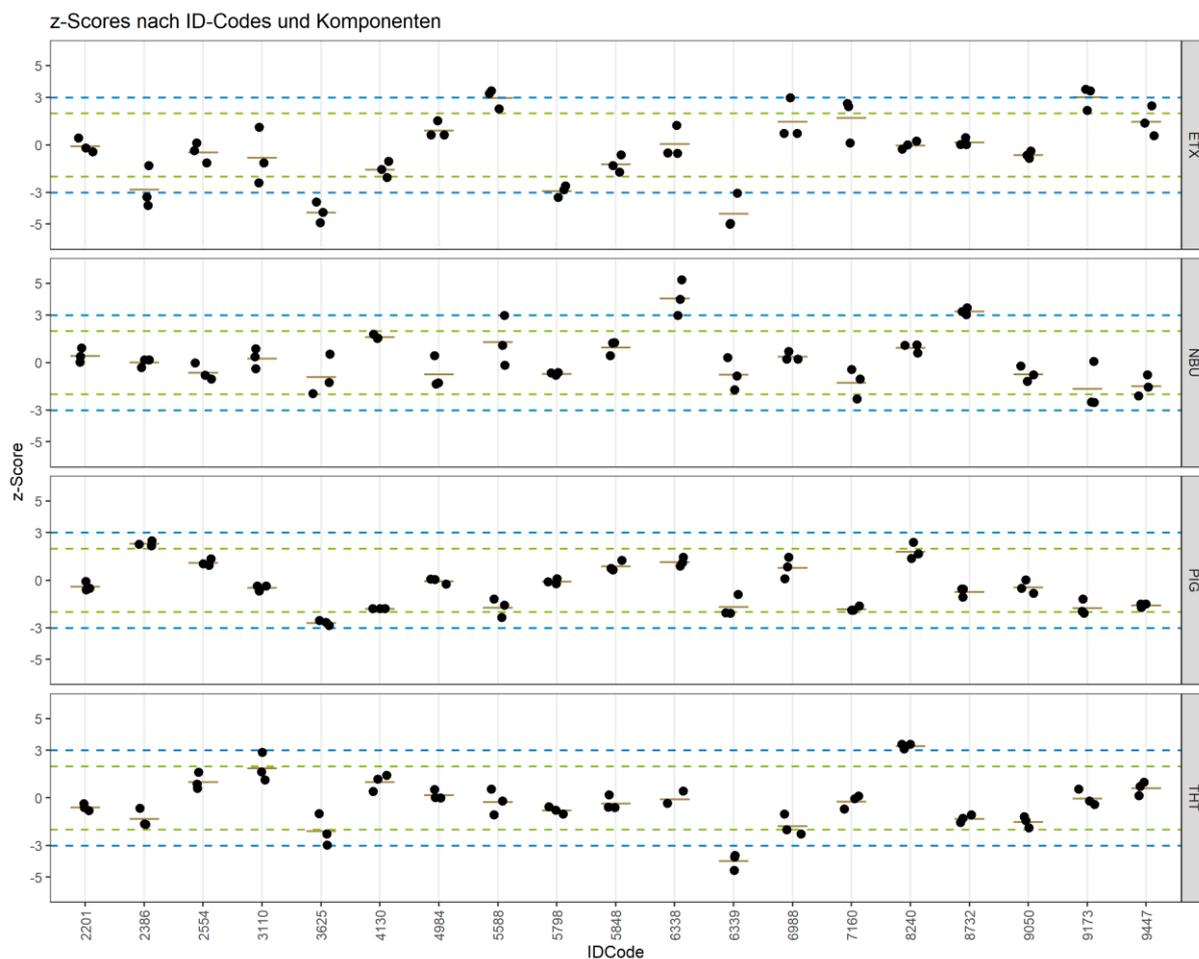
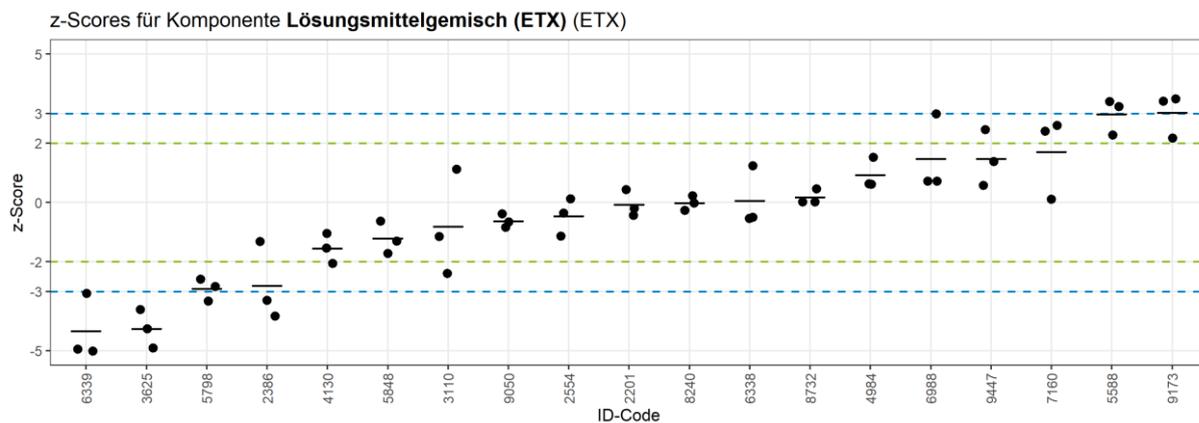
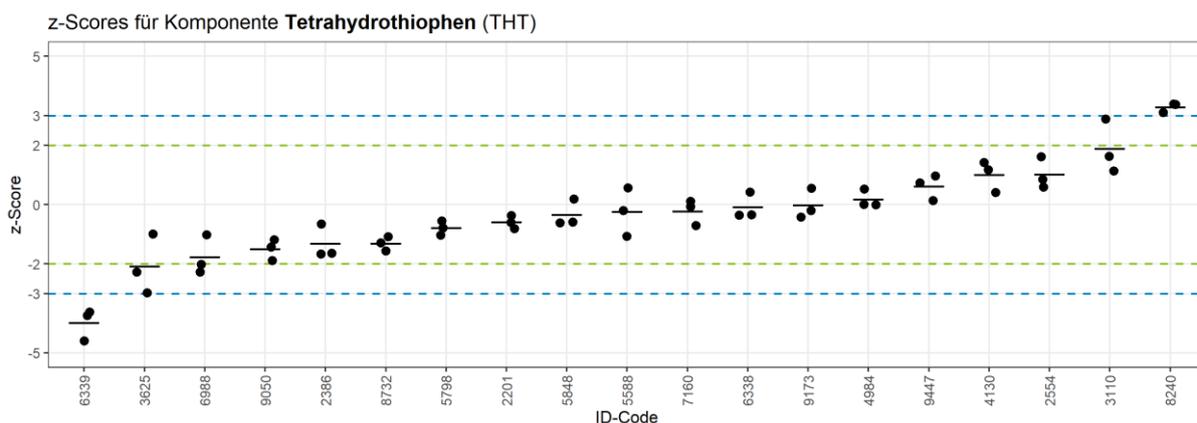
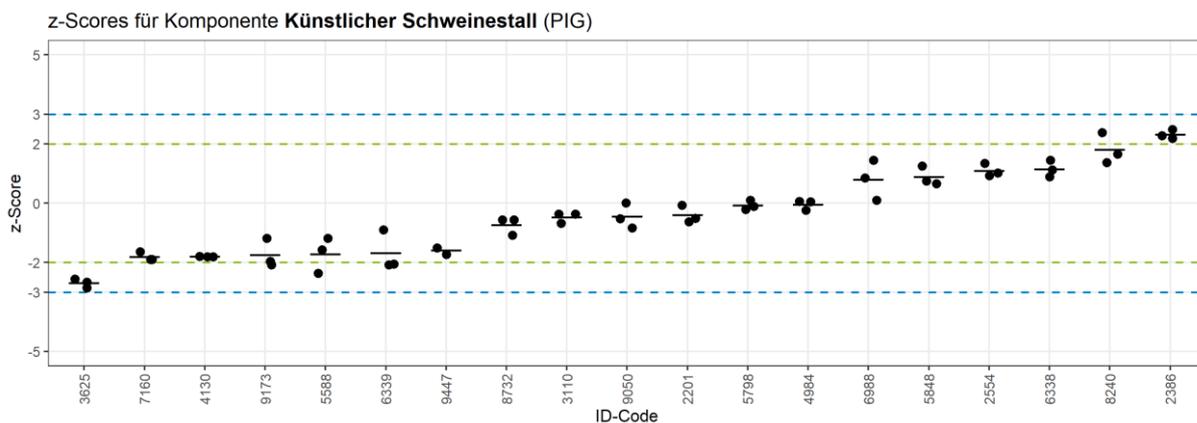
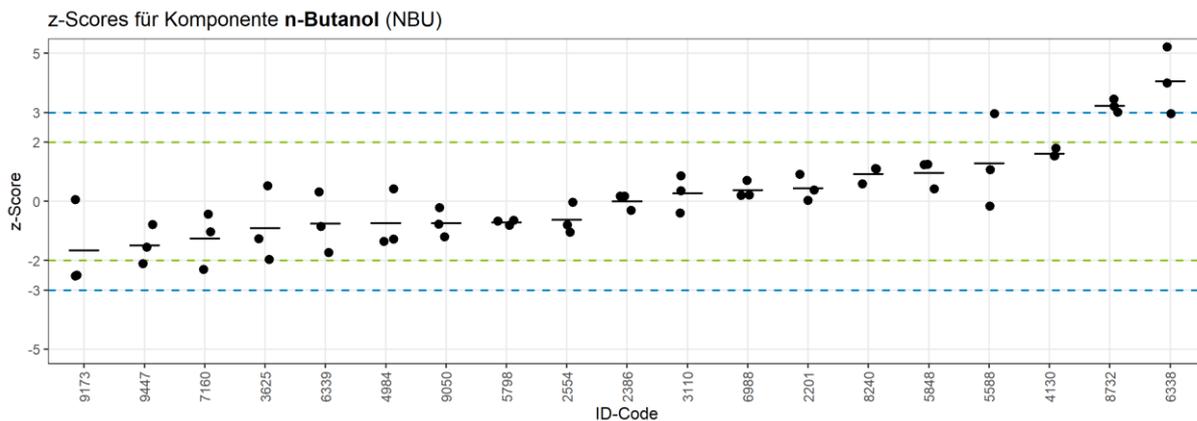


Abbildung 4: z-Scores für den Stoffbereich 0 (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)





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 die Ringversuchsarten Gas (Pandemieversion) und Geruch wurden entweder keine Messungen durchgeführt, oder es wurden keine Bewertungskriterien festgelegt. Für jede Komponente liegen pro Teilnehmer nur ein Wert (Staub Pandemieversion) oder zwei Werte (reguläre Staub- und Gasringversuche) vor, diese Werte werden jeweils als Punkt dargestellt. Sofern zwei Werte vorliegen, wird der Mittelwert durch einen Strich markiert.

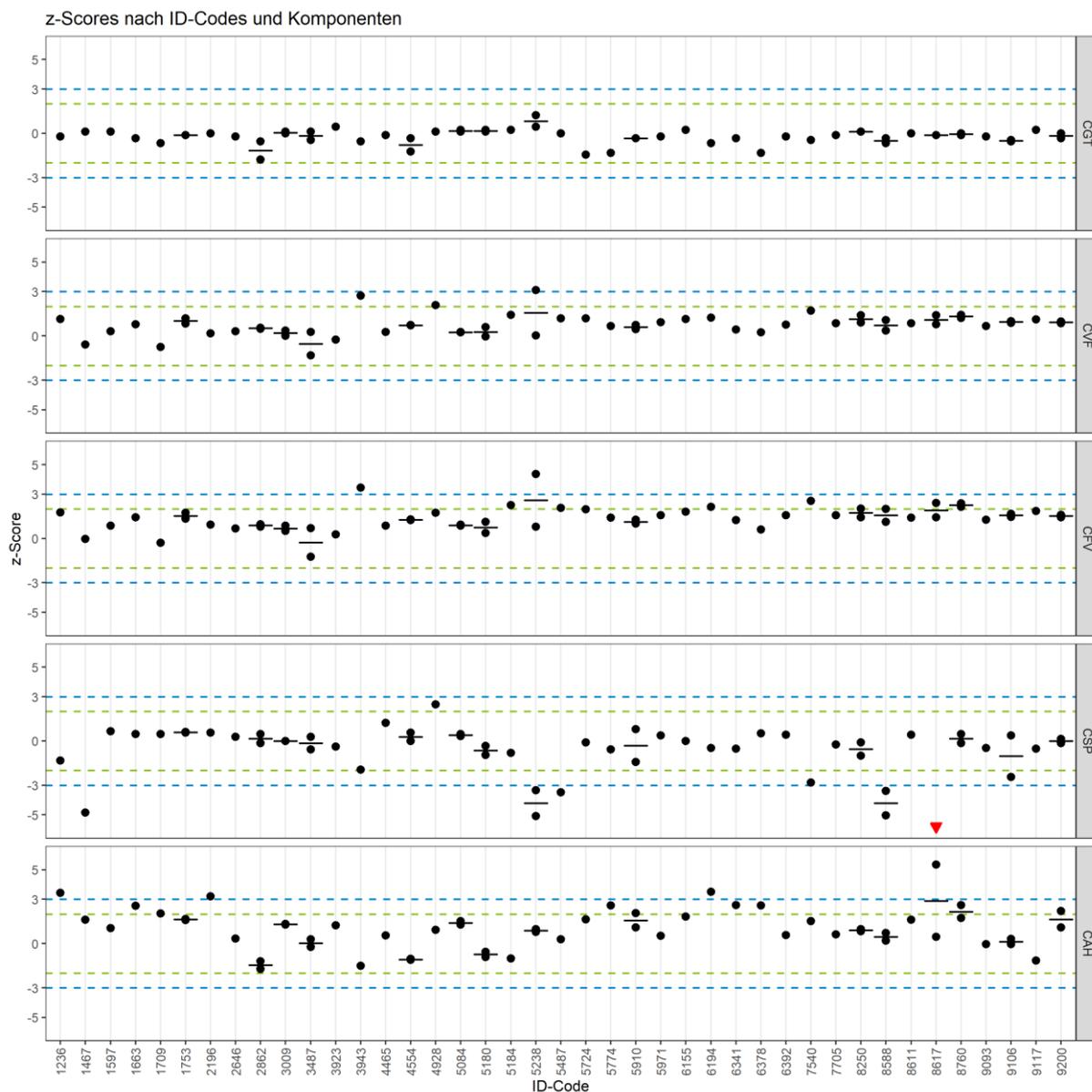
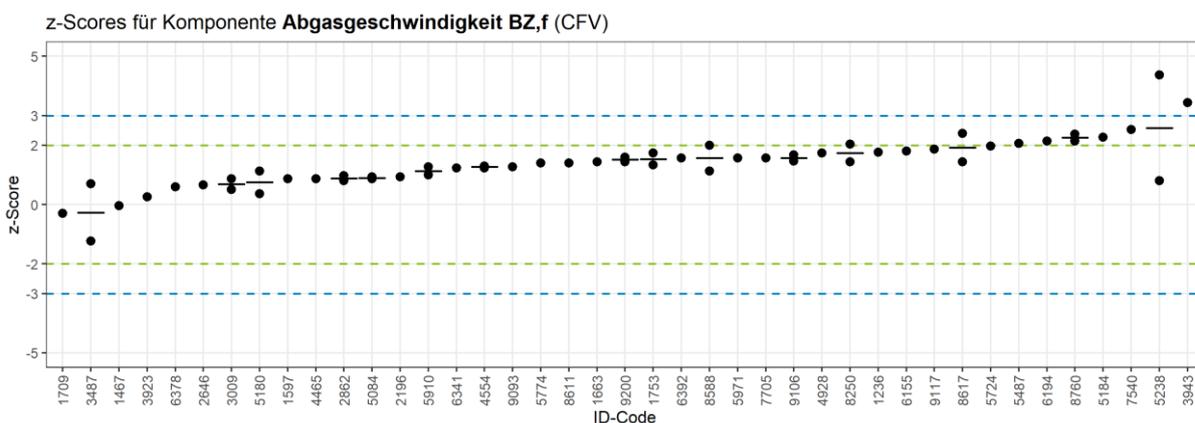
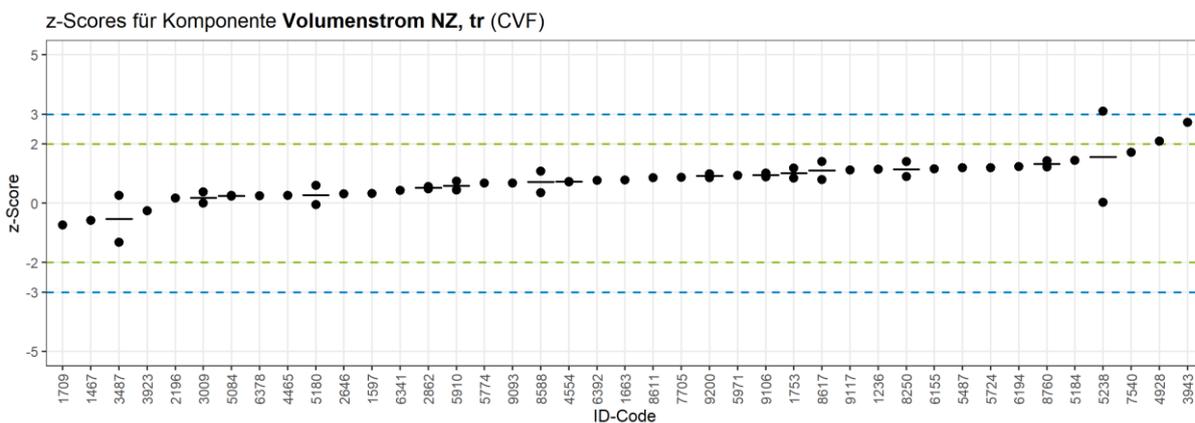
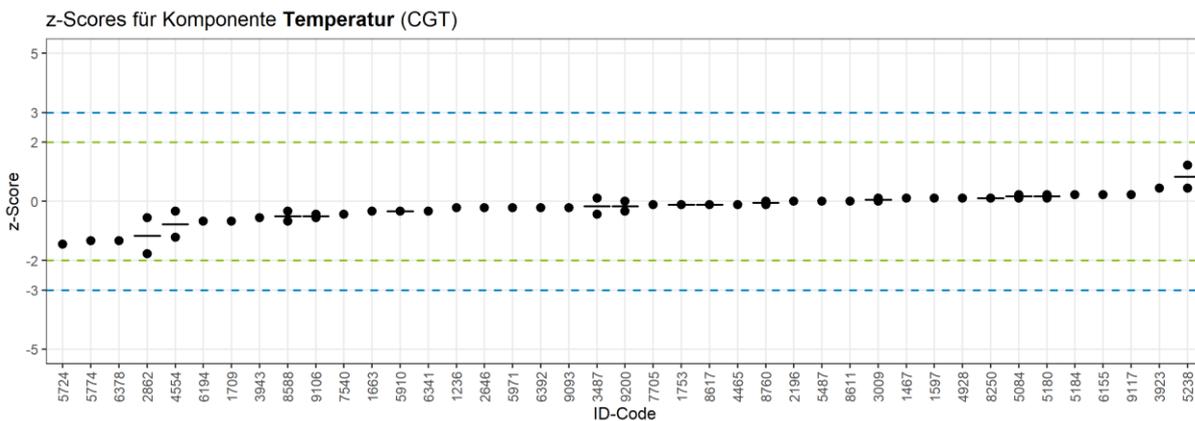
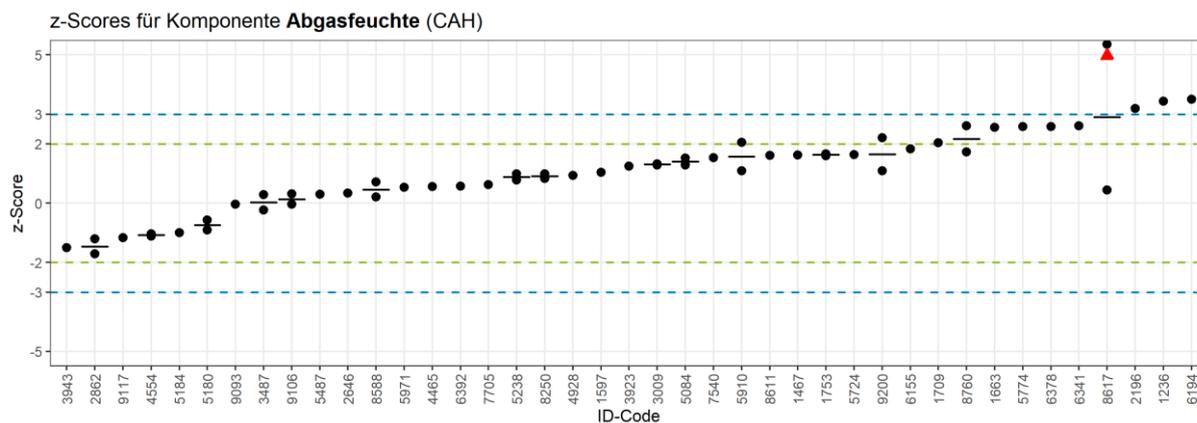
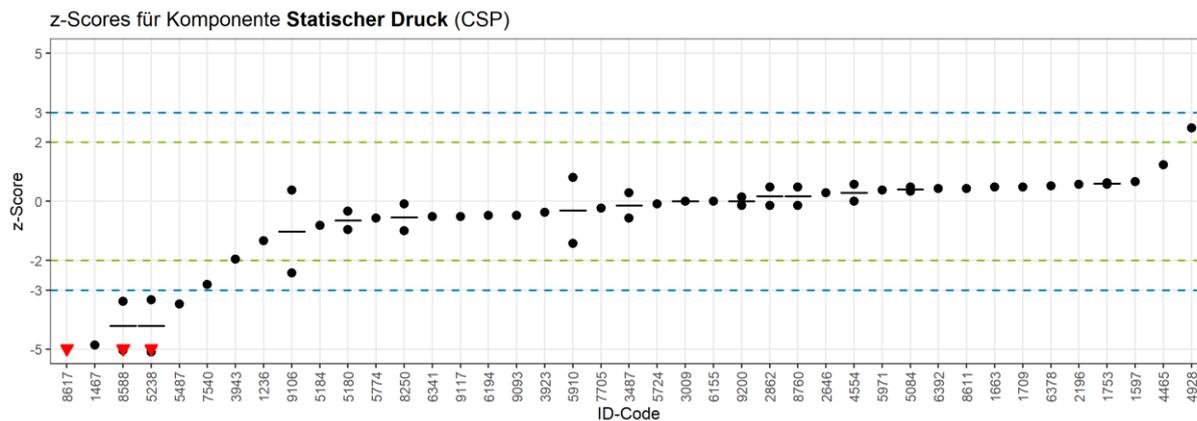


Abbildung 5: z-Scores (bzw. Quotienten aus Teilnehmer-Abweichung und typischer Abweichung) für Abgasrandbedingungen



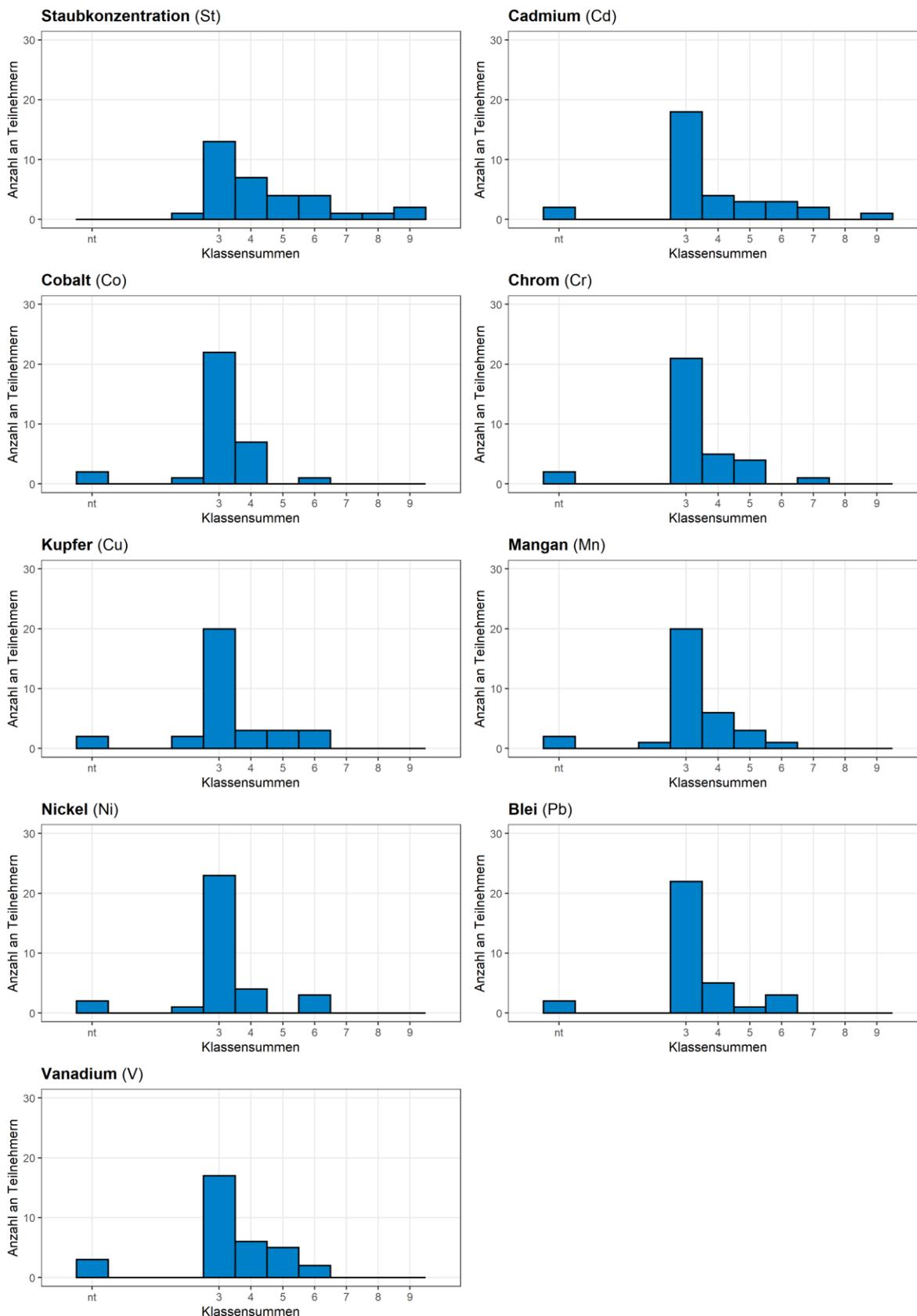


5.2 Klassensummen

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.

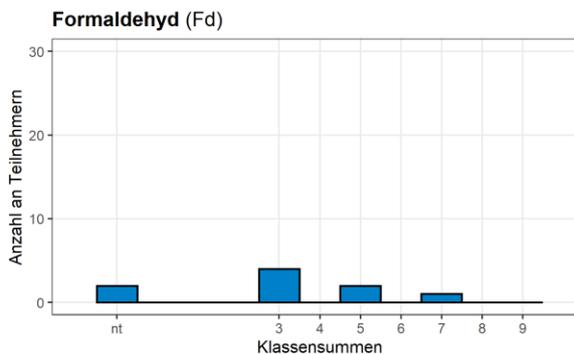
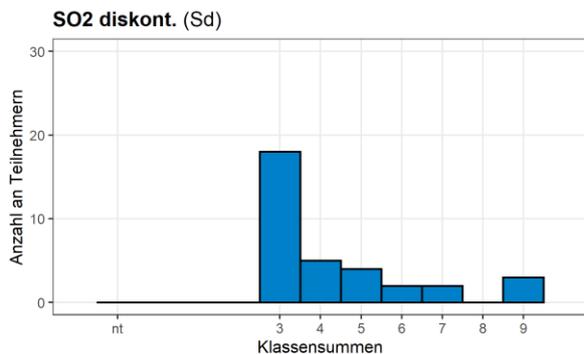
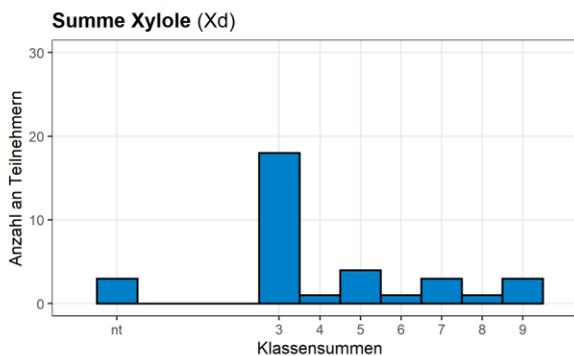
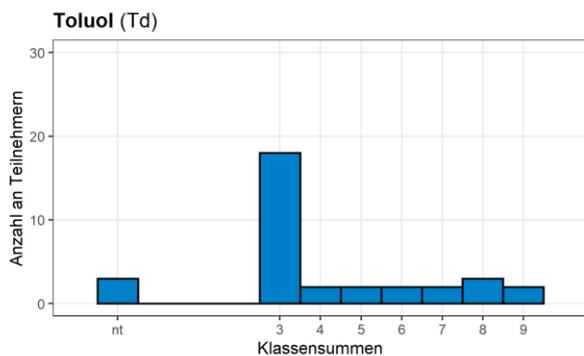
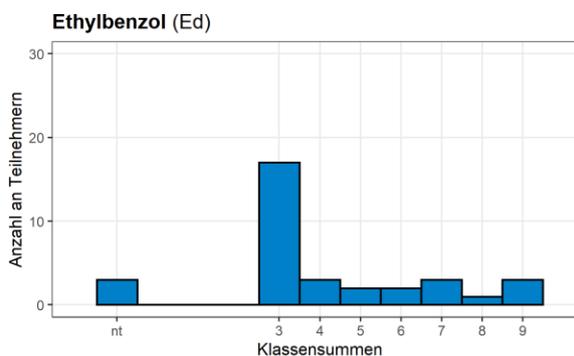
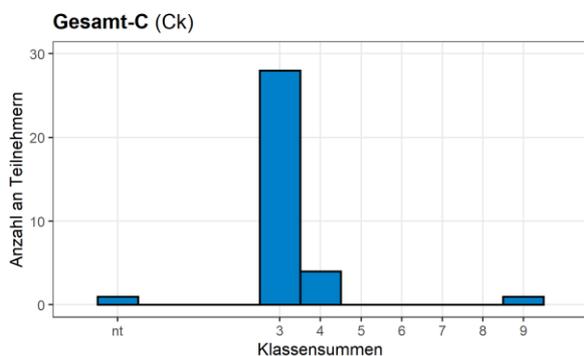
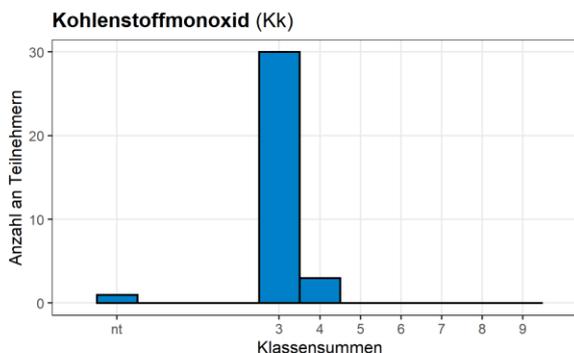
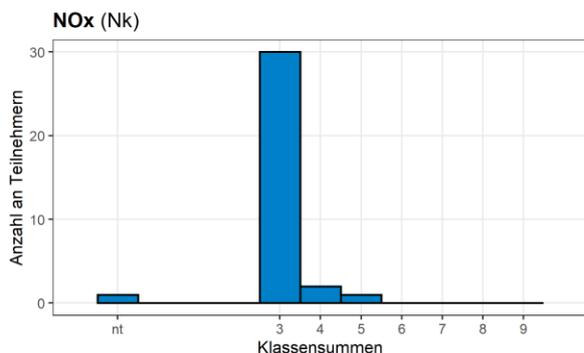
5.2.1 Staubringversuch (Stoffbereich P)

Klassensummen



5.2.2 Gasringversuch (Stoffbereich G)

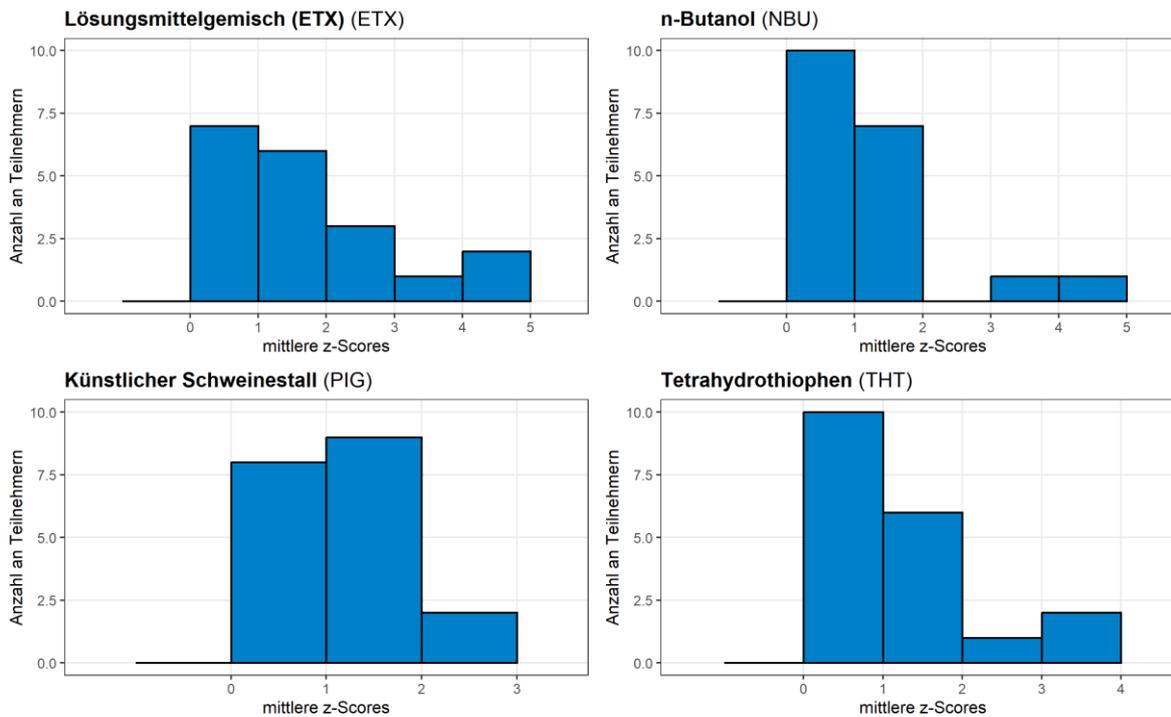
Klassensummen



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

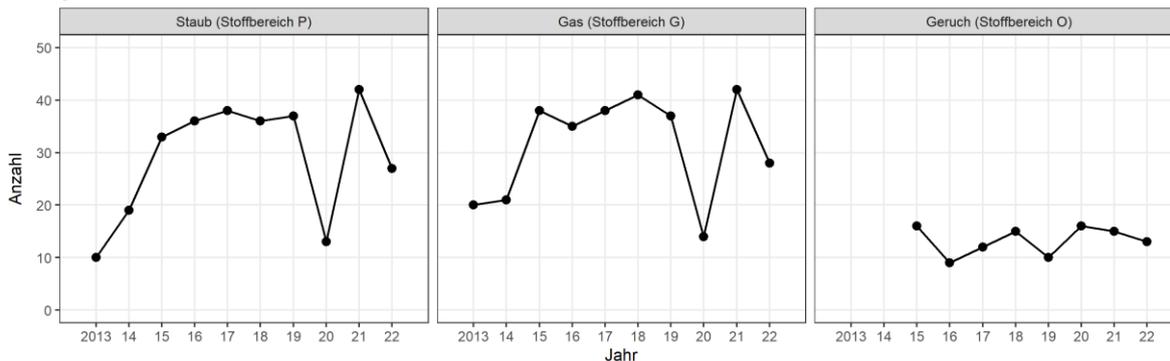
Die neuen Durchführungsbestimmungen von 2019 sehen für den Staub- und den Gasringversuch die Durchführung eines Theorietests vor, der im Rahmen der Ringversuche im November 2022 in Form eines 30-minütigen schriftlichen Tests stattfand. An diesem Theorietest konnte pro Ringversuchsteilnehmer eine Person 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 2022 alle Teilnehmenden bestanden, der Medianwert betrug 25 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte 22 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei mehr als 28 Punkten.

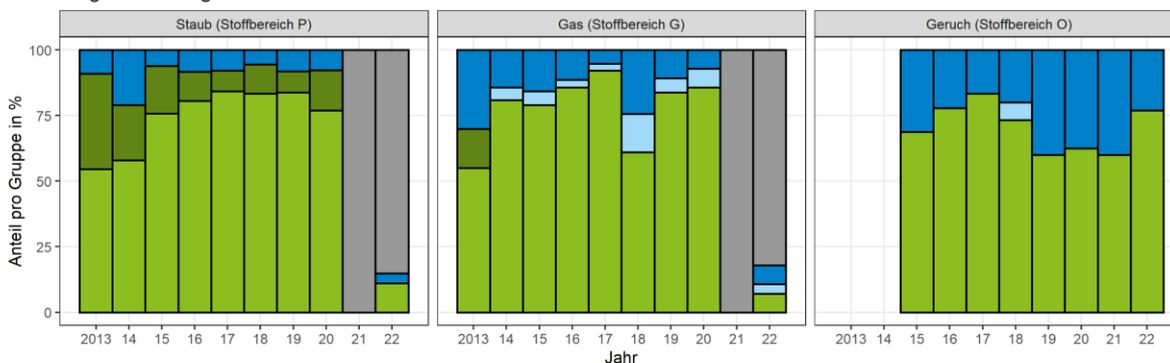
Den Theorietest zum Gasringversuch haben im Jahr 2022 insgesamt 89% aller Teilnehmenden bestanden, der Medianwert betrug hier 21 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte im Theorietest zum Gasringversuch 19 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei 25 Punkten oder mehr.

6. Interpretation der Ergebnisse

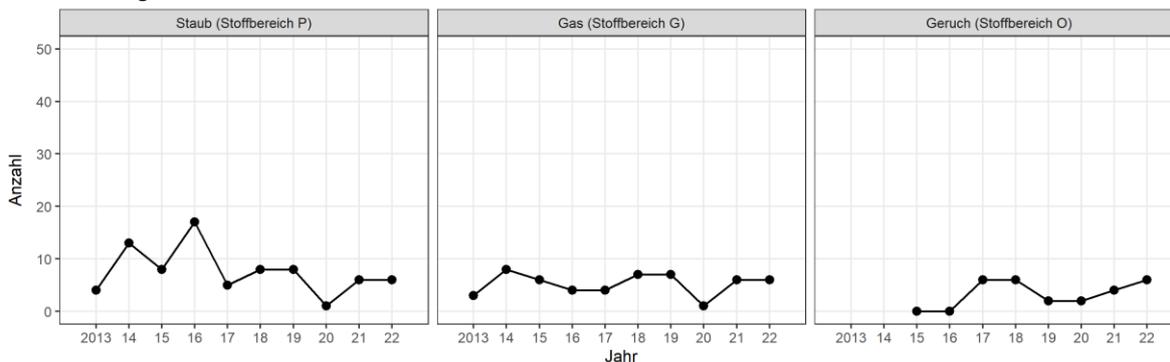
§29b-Messstellen Anzahl Teilnehmer



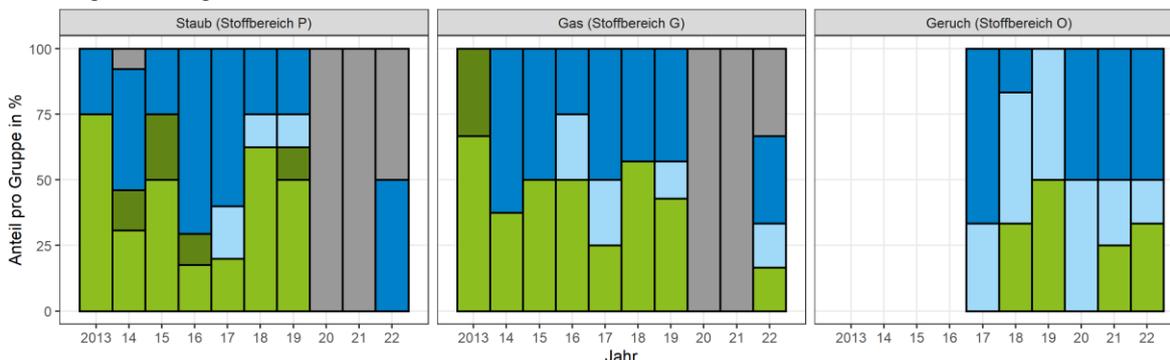
Ringversuchsergebnisse



Freiwillig Anzahl Teilnehmer



Ringversuchsergebnisse



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

Tabelle 6: Tabellarische Übersicht seit 2018 (§29b-Messstellen)

| Jahr | Ringversuch | bestanden | bestanden (durch Nachanalyse) | nicht bestanden | nicht bestanden (unvollständige Teilnahme) |
|------|------------------|-----------|-------------------------------|-----------------|--|
| 2018 | Staub | 30 | 4 | 2 | - |
| | Gas | 25 | - | 10 | 6 |
| | Geruch | 11 | - | 3 | 1 |
| 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 (nicht bewertet) | | |
| | Gas (Pandemie) | | 42 (nicht bewertet) | | |
| | Geruch | 9 | - | 6 | - |
| 2022 | Staub | 3 | - | 1 | - |
| | Staub (Pandemie) | | 23 (nicht bewertet) | | |
| | Gas | 2 | - | 2 | 1 |
| | Gas (Pandemie) | | 23 (nicht bewertet) | | |
| | Geruch | 10 | - | 3 | - |

Tabelle 7: Tabellarische Übersicht seit 2018 (freiwillige Teilnehmer)

| Jahr | Ringversuch | bestanden | bestanden (durch Nachanalyse) | nicht bestanden | nicht bestanden (unvollständige Teilnahme) |
|------|------------------|-----------|-------------------------------|-----------------|--|
| 2018 | Staub | 5 | - | 2 | 1 |
| | Gas | 4 | - | 3 | - |
| | Geruch | 2 | - | 1 | 3 |
| 2019 | Staub | 4 | 1 | 2 | 1 |
| | Gas | 3 | - | 3 | 1 |
| | Geruch | 1 | - | - | 1 |
| 2020 | Staub | - | - | - | - |
| | Gas | - | - | - | - |
| | Geruch | - | - | 1 | 1 |
| 2021 | Staub (Pandemie) | | 6 (nicht bewertet) | | |
| | Gas (Pandemie) | | 6 (nicht bewertet) | | |
| | Geruch | 1 | - | 2 | 1 |
| 2022 | Staub | - | - | 3 | - |
| | Staub (Pandemie) | | 3 (nicht bewertet) | | |
| | Gas | 1 | - | 2 | 1 |
| | Gas (Pandemie) | | 2 (nicht bewertet) | | |
| | Geruch | 2 | - | 3 | 1 |

6.1 §29b-Messstellen

Das Jahr 2022 war erneut geprägt von den Auswirkungen der SARS-CoV-2-Pandemie. Während die Geruchsringversuche weiterhin im Wesentlichen unverändert durchgeführt werden konnten, fanden die Staub- und Gasringversuche auch im Jahr 2022 zunächst wieder in der 2021 geschaffenen „Pandemieversion“ statt. Dabei wurde abweichend von den Festlegungen der LAI-Durchführungsbestimmungen die Anzahl der durchgeführten und bewerteten Messungen von 9 auf 3 reduziert und die Komponente Formaldehyd nicht angeboten. Zugleich wurden in beiden Ringversuchen diverse Bewertungskriterien angepasst. Die von den Teilnehmern erzielten z-Scores sind dadurch nur eingeschränkt mit den Jahren zuvor vergleichbar. Aufgrund der Abweichungen von den Durchführungsbestimmungen wurden für die Staub- und Gasringversuche in der Pandemieversion keine Gesamtbewertungen vorgenommen. Wäre diese durchgeführt worden, hätten insgesamt 18 von 23 (78%) der bekanntgegebenen Messstellen den Pandemie-Staubringversuch und 14 von 23 (61%) den Pandemie-Gasringversuch bestanden. Werden die Ergebnisse der Ringversuche im November 2022, die wieder vollständig gemäß LAI-Durchführungsbestimmungen durchgeführt werden konnten, hinzugerechnet, ergibt sich eine Bestehensquote von insgesamt 78% (21 von 27 Teilnahmen) für den Staubringversuch und 57% (16 von 28 Teilnahmen) für den Gasringversuch. Die Bestehensquoten fallen damit erneut etwas (Staub) bzw. deutlich (Gas) geringer aus als in den Jahren vor der Pandemie, sind aber zumindest höher als im Jahr 2021.

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 2022 im Schnitt größer ausfielen, als in den Jahren vor der Pandemie. In der 2021 und 2022 angebotenen Pandemieversion gab es gegenüber den Ringversuchen bis 2020 zwei entscheidende Änderungen: Die Anzahl der Messungen wurde von 9 auf 3 reduziert, was keinen Einfluss auf die mittlere Abweichung der eingereichten Messwerte von den Sollwerten haben sollte. Außerdem hatten die Teilnehmer aufgrund des Hygienekonzepts keine Möglichkeit zu einem Austausch mit anderen Teilnehmern. Ob dies einen Einfluss auf die eingereichten Messwerte hatte, lässt sich nicht überprüfen. Auffällig sind aber die Veränderungen in der Abweichung der Messergebnisse von den jeweiligen Sollwerten.

Die gemessenen Gesamtstaubkonzentrationen lagen in den Jahren 2015 bis 2020 im Mittel (über alle Teilnehmer, sowohl §29b-Messstellen, als auch Freiwillige) zu 79% bei einer Abweichung von $\leq 14\%$ vom Sollwert (was einem z-Score von ≤ 2 entspricht), 13% der Messwerte lagen bei einer Abweichung von 14-21% (z-Score 2-3), und 8% aller Messwerte hatten eine Abweichung von mehr als 21% vom Sollwert (z-Score > 3). Im Jahr 2021 hatten allerdings nur 52% aller Messwerte eine Abweichung von maximal 14% vom Sollwert, 27% lagen bei 14-21% Abweichung, und 21% aller Messwerte bei einer Abweichung von mehr als 21%. Im Jahr 2022 waren die Ergebnisse wieder etwas besser, aber noch immer nicht wieder auf dem Niveau der Jahre 2015-2020. Im vergangenen Jahr lagen 65% aller Messwerte bei maximal 14% Abweichung vom Sollwert, 21% bei 14-21% Abweichung und 14% aller Messwerte bei einer höheren Abweichung.

Eine graphische Darstellung der Verteilung der Messwerte in den Staubringversuchen der vergangenen Jahre ist in der folgenden Abbildung 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.

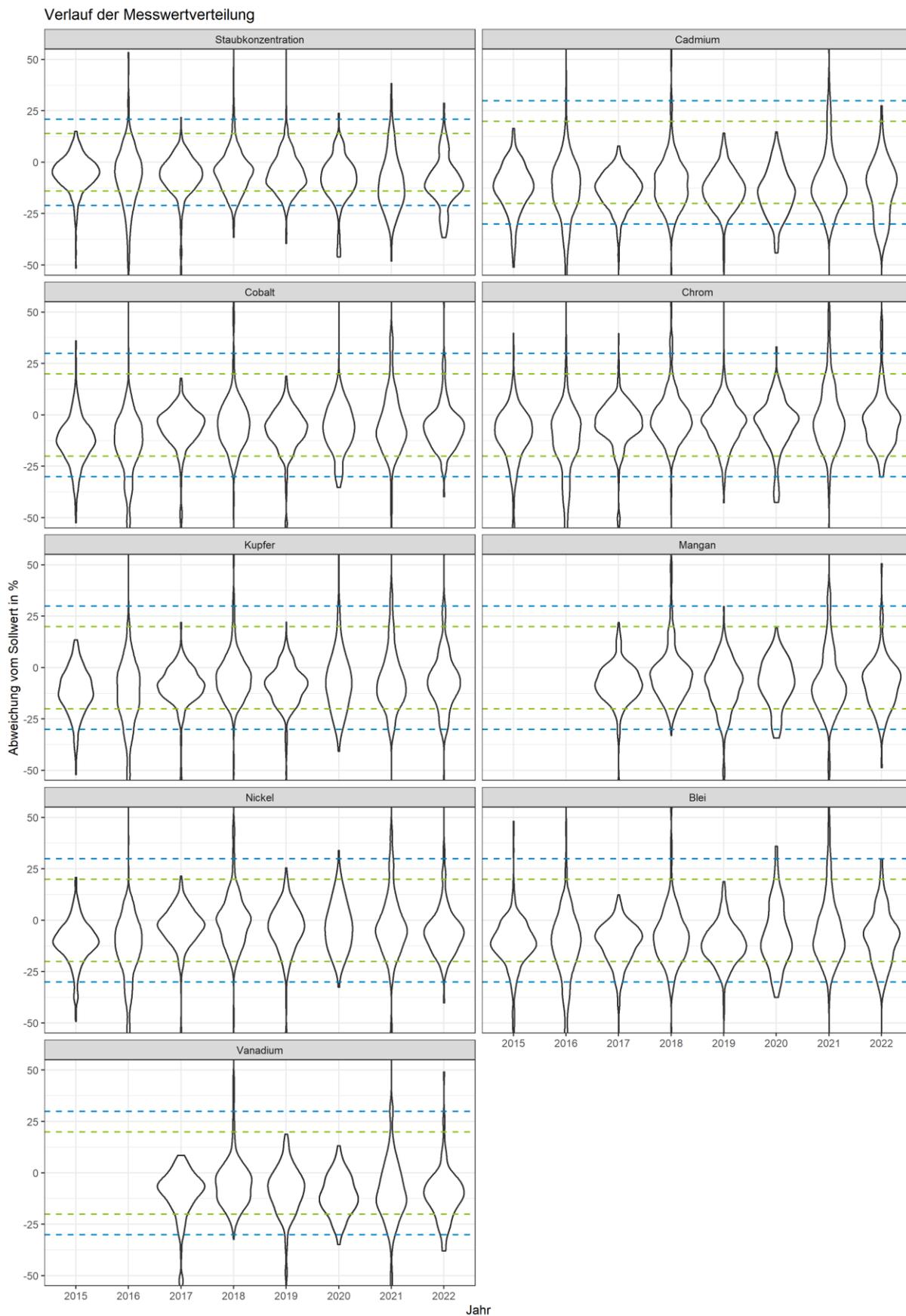


Abbildung 6: Verlauf der Messwertverteilung in den Staubringversuchen 2015-2022 (alle Teilnehmer)

Der in den Ringversuchen eingesetzte Staub scheidet als Ursache für die Verschlechterung der Messergebnisse aus. In den Jahren 2020, 2021 und 2022 wurden für den Großteil der Ringversuche die gleichen zwei Stäube eingesetzt. Für Staub A lagen 2020 insgesamt 75% aller Messwerte für diesen Staub (88 von 117) bei weniger als 14% Abweichung vom Sollwert, 16% lagen bei 14-21% Abweichung und 9% bei höheren Abweichungen. Für den gleichen Staub lagen im Jahr 2021 nur noch 51% aller Messwerte (40 von 78) bei Abweichungen von weniger als 14%, 26% lagen bei 14-21% Abweichung und ganze 23% bei noch höheren Abweichungen. Im Jahr 2022 wiederum lagen für den gleichen Staub 67% aller Messwerte (42 von 63) bei Abweichungen von weniger als 14%, 16% lagen bei Abweichungen zwischen 14 und 21% und 17% aller Messwerte bei noch höheren Abweichungen. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Staub B, für den im Jahr 2021 nur 54% aller Messwerte (35 von 65) bei Abweichungen von weniger als 14% vom Sollwert lagen, 28% lagen bei Abweichungen von 14-21% und 18% lagen bei noch höheren Abweichungen. Im Jahr 2022 lagen für den gleichen Staub aber wieder 77% aller Messwerte (30 von 39) bei weniger als 14% Abweichung vom Sollwert, 21% im Bereich 14-21% und nur 3% aller Messwerte hatten eine Abweichung von mehr als 21% vom Sollwert.

Beim Gasringversuch ließ sich in den letzten Jahren eine ähnliche Entwicklung beobachten, hier allerdings beschränkt auf die diskontinuierlichen Komponenten und unter diesen insbesondere bei den organischen Stoffen Ethylbenzol, Toluol und Xylol. Während es bei den kontinuierlichen Komponenten NO_x , Kohlenstoffmonoxid und Gesamt-C gleichbleibend sehr gute Ergebnisse gab (hier lagen seit 2015 in der Regel 90-100% aller Messwerte in einem Bereich, der nach aktuellen Bewertungskriterien einem z-Score < 2 entspricht), wichen die Messergebnisse bei den organischen Einzelstoffen, ähnlich wie beim Staub, in den Jahren 2021 und 2022 deutlich von den Werten der Vorjahre ab. Die Messergebnisse für die Komponenten Ethylbenzol, Toluol und Xylol lagen in den Jahren 2015 bis 2020 im Mittel zu 82% bei einer Abweichung von weniger als 8,2% vom Sollwert (was gemäß den aktuellen Durchführungsbestimmungen einem z Score von ≤ 2 entspricht), 11% der Messwerte lagen bei einer Abweichung von 8,2-12,3% (z-Score 2-3), und 7% aller Messwerte hatten eine Abweichung von mehr als 12,3% vom Sollwert (z-Score > 3). Im Jahr 2021 lagen allerdings nur 62% aller Messwerte für diese drei Komponenten bei einer Abweichung von weniger als 8,2%, 16% hatten eine Abweichung von 8,2-12,3% und ganze 22% der Messwerte wichen um mehr als 12,3% vom Sollwert ab. Die Messwerte des Jahres 2022 waren nur marginal besser, hier wichen 68% aller Messwerte um bis zu 8,2% vom Sollwert ab, 16% zeigten Abweichungen von 8,2-12,3% und weitere 16% mehr als 12,3%. Zwischen den drei Einzelstoffen gibt es dabei nur geringfügige Unterschiede, insgesamt zeigen die Messergebnisse für die Komponente Xylol, welche als Summe der Isomere *o*-Xylol, *m*-Xylol und *p*-Xylol ermittelt werden muss, aber im Mittel etwas größere Abweichungen vom Sollwert als die Messergebnisse für die Komponenten Ethylbenzol und Toluol.

In der folgenden Abbildung ist eine graphische Darstellung der Verteilung der Messwerte in den Gasringversuchen der vergangenen Jahre in Form eines „Violin plots“ zu sehen. Je breiter die dargestellte Form ist, desto mehr Messergebnisse liegen im betreffenden Bereich.

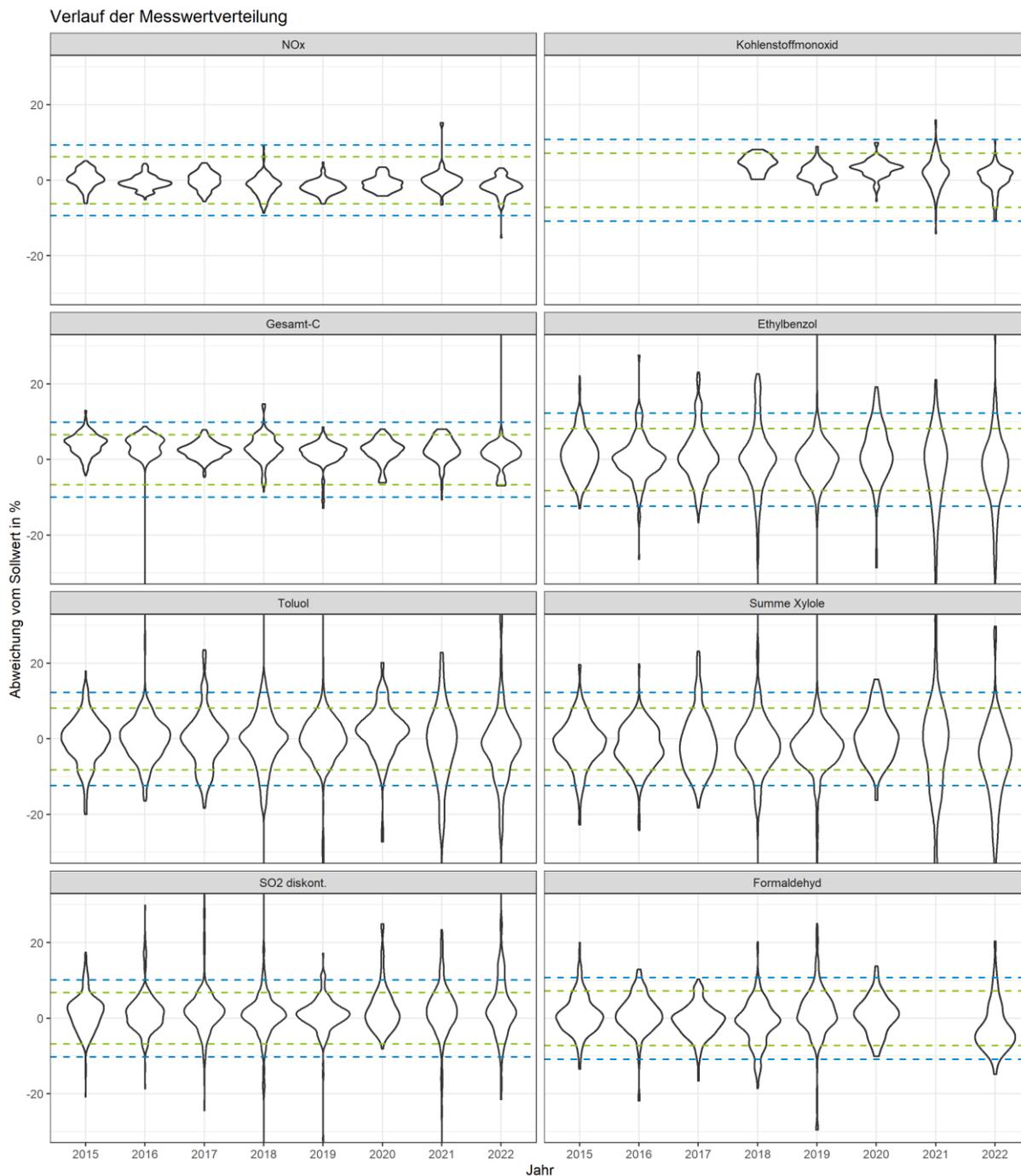


Abbildung 7: Verlauf der Messwertverteilung in den Gasringversuchen 2015-2022 (alle Teilnehmer)

Den Geruchsringversuch haben 2022 insgesamt 10 von 13 bekanntgegebenen Messstellen (77%) bestanden. Die Ergebnisse des Geruchsringversuchs waren damit besser als in den Jahren 2019 bis 2021. 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.

6.2 Freiwillige Teilnehmer

Die Anzahl der freiwilligen Ringversuchsteilnahmen schwankt von Jahr zu Jahr, in der Regel gibt es ca. 8 Teilnahmen am Staubringversuch, 6 Teilnahmen am Gasringversuch und ca. 4 Teilnahmen am Geruchsringversuch. Im Jahr 2022 gab es beim Staubringversuch, beim Gasringversuch und beim Geruchsringversuch jeweils 6 freiwillige Teilnahmen. 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. Dabei ist außerdem zu beachten, dass eine Teilnahme einer bekanntgegebenen §29b-Messstelle als „freiwillig“ gezählt wird, wenn diese Teilnahme keine „Pflichtteilnahme“ ist, sondern auf eigenen Wunsch der Messstelle über das gemäß 41. BImSchV geforderte Mindestmaß hinausgeht. Freiwillige Teilnahmen von §29b-Messstellen führen in der Regel zu überdurchschnittlich guten Ergebnissen verglichen mit anderen freiwilligen Teilnehmern.

Beim Staubringversuch war 2022 keine der 3 bewerteten freiwilligen Teilnahmen erfolgreich, beim Gasringversuch war dies bei einer von 4 (25%) freiwilligen Teilnahmen der Fall. Außerdem gab es 3 freiwillige Teilnahmen am Pandemie-Staubringversuch und 4 freiwillige Teilnahmen am Pandemie-Gasringversuch. Wären diese Teilnahmen ebenfalls bewertet worden, hätte insgesamt einer von 6 (17%) freiwilligen Teilnehmern den Staubringversuch bestanden. Zwei weitere Teilnehmer (33%) hätten die Bewertung „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ erhalten, weil sie nicht zu allen Komponenten Messergebnisse ermittelt haben. Den Gasringversuch hätten bei einer vollständigen Bewertung der Pandemieringversuche insgesamt 2 der 6 (33%) freiwilligen Teilnehmer bestanden.

Bei den Geruchsringversuchen haben 2 von 6 freiwilligen Teilnehmern (33%) bestanden. Ein Teilnehmer (17%) hat zwar korrekte Messwerte abgeliefert, diese wurden aber nicht gemäß VDI 3880 innerhalb von 6 h ermittelt. Die Ergebnisse wurden daher als „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ eingestuft.

6.3 Abgasrandbedingungen

Bei jedem Ringversuch sind von den Teilnehmern auch die strömungstechnischen Randbedingungen zu ermitteln und anzugeben. Mit den neuen LAI-Durchführungsbestimmungen sollten eigentlich seit Mitte 2020 die Messungen des Volumenstroms als bewerteter Bestandteil der Staub- und Gasringversuche durchgeführt werden. Durch die SARS-CoV-2-Pandemie und die dadurch erzwungene Änderung des Ringversuchsprogramms konnte dies allerdings zunächst nicht umgesetzt werden. Die Randbedingungen wurden in der Pandemieversion der Staub- und Gasringversuche lediglich vor Beginn der Staubmessungen gemessen und ausgewertet. Für die jeweils am Nachmittag an den Staubringversuch anschließenden Gasringversuche wurden die Randbedingungen konstant gehalten und keine erneute Messung durch die Teilnehmer durchgeführt. Anstelle der geplanten 2 Messwerte wurde jeweils immer nur ein Messwert pro Teilnehmer ermittelt. Die Randbedingungen wurden in der Pandemieversion der Ringversuche aufgrund der Abweichungen von den LAI-Durchführungsbestimmungen nicht bewertet. Nach den dort festgelegten Bewertungskriterien hätten allerdings im Falle einer Bewertung alle Ringversuchsteilnehmer (sowohl §29b-Messstellen, als auch freiwillige Teilnehmer) diesen Ringversuchsteil bestanden.

Seit der Wiederaufnahme der regulären Ringversuche im November 2022 werden die Abgasrandbedingungen wie in den Durchführungsbestimmungen von 2019 vorgesehen gemessen und bewertet. Im Jahr 2022 liegen dadurch Werte im vorgesehenen Umfang (zwei Messungen an zwei verschiedenen Tagen bei unterschiedlichen Bedingungen) für insgesamt 15 Teilnahmen vor.

Die im Jahr 2022 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 Sollwerten. Bei der Abgasfeuchte (CAH) und vor allem beim Statischen Druck (CSP) gibt es insgesamt größere Abweichungen von den Sollwerten 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. Auf eine Auflistung der Angaben wird an dieser Stelle 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 2022.

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 immer 9 Messungen (bzw. 3 Messungen in der Pandemieversion) 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 sind kaum Veränderungen zu den Werten im letzten Jahresbericht zu beobachten. Dies ist letztlich darauf zurückzuführen, dass sich die Datengrundlage für den Jahresbericht 2022 nur um ca. 10-15% 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.

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.

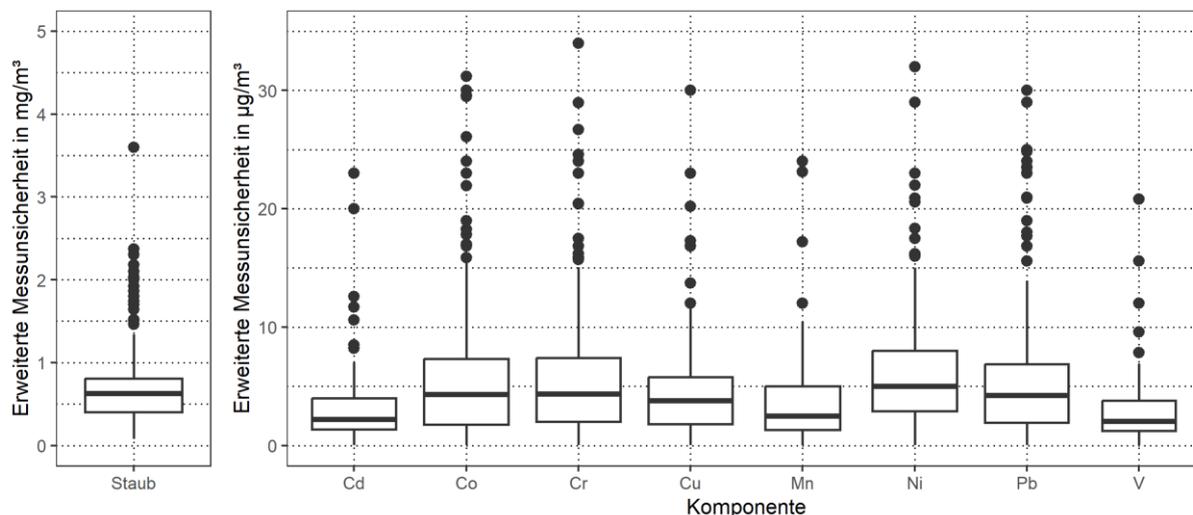


Tabelle 8: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Staubringversuch

| | 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 | 0,85 | 4,00 | 7,45 | 7,59 | 5,79 | 5,00 | 8,00 | 6,90 | 3,80 |
| Median | 0,64 | 2,21 | 4,34 | 4,43 | 3,79 | 2,48 | 5,00 | 4,23 | 2,04 |
| 25. Perzentil | 0,40 | 1,36 | 1,75 | 2,00 | 1,80 | 1,32 | 2,91 | 1,92 | 1,24 |
| Anzahl der Werte | 203 | 183 | 184 | 184 | 184 | 146 | 184 | 183 | 142 |

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 beteiligten 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.

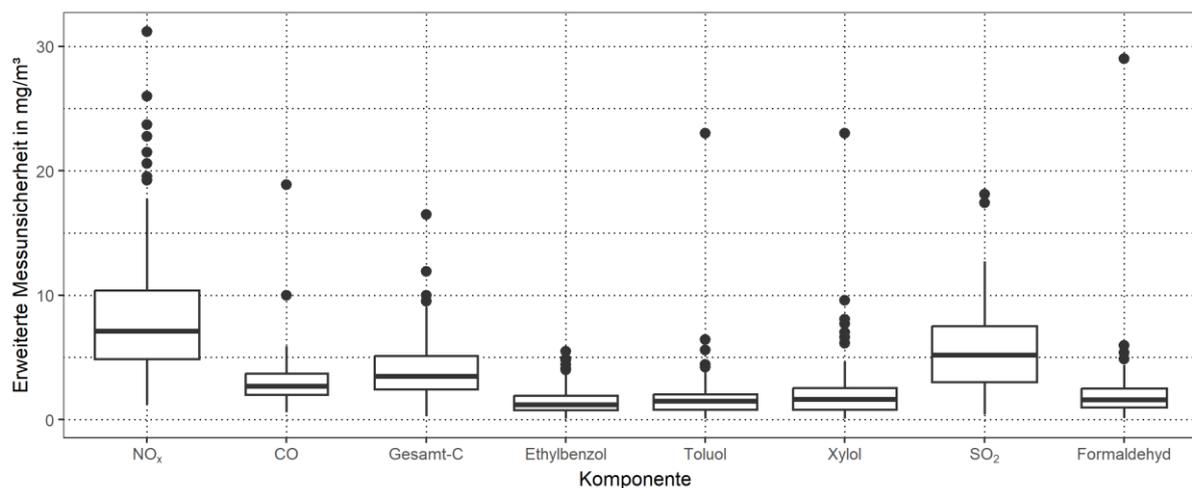


Tabelle 9: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Gasringversuch

| | 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 | 3,72 | 5,11 | 1,93 | 2,05 | 2,56 | 7,51 | 2,50 |
| Median | 7,10 | 2,69 | 3,50 | 1,20 | 1,50 | 1,64 | 5,20 | 1,60 |
| 25. Perzentil | 4,87 | 2,00 | 2,43 | 0,75 | 0,80 | 0,80 | 3,00 | 0,99 |
| Anzahl der Werte | 197 | 121 | 192 | 192 | 193 | 193 | 197 | 131 |

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 (bzw. einmal am Ende des Ringversuchs), oder nie.

Die Datenbasis erstreckt sich in diesem Bericht über die Ergebnisse zwischen Herbst 2018 und Ende 2022. Im Sommer 2018 wurde die Abfrage nach der Spülprozedur bezüglich der Frequenz konkretisiert, insgesamt 119 Teilnehmer haben seit dieser Änderung 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.

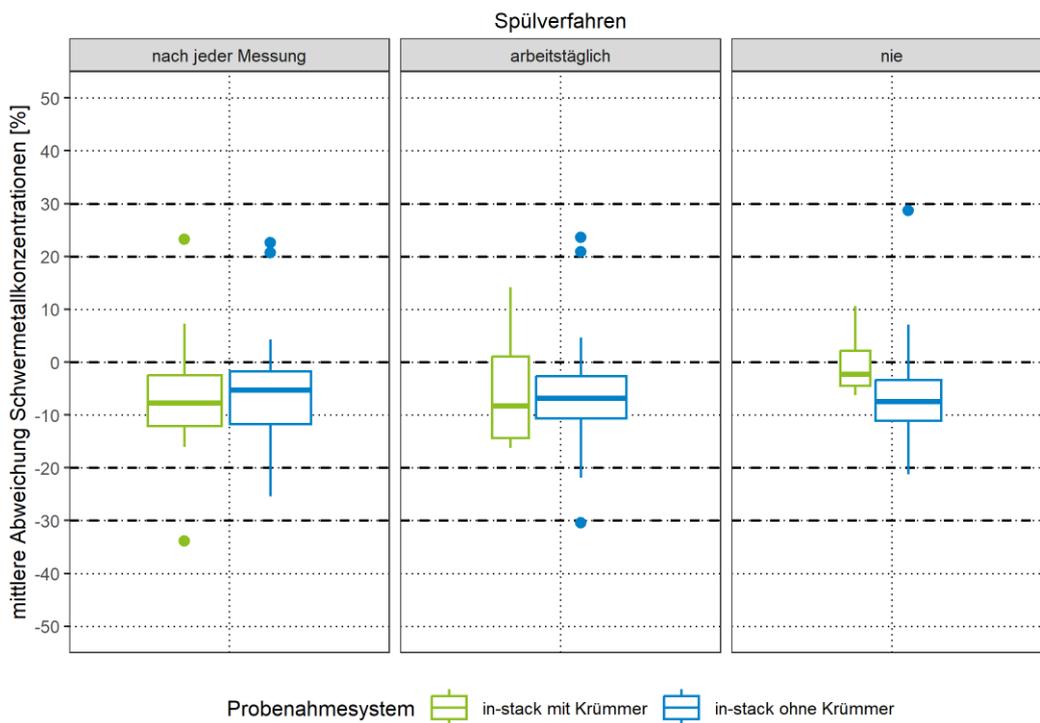
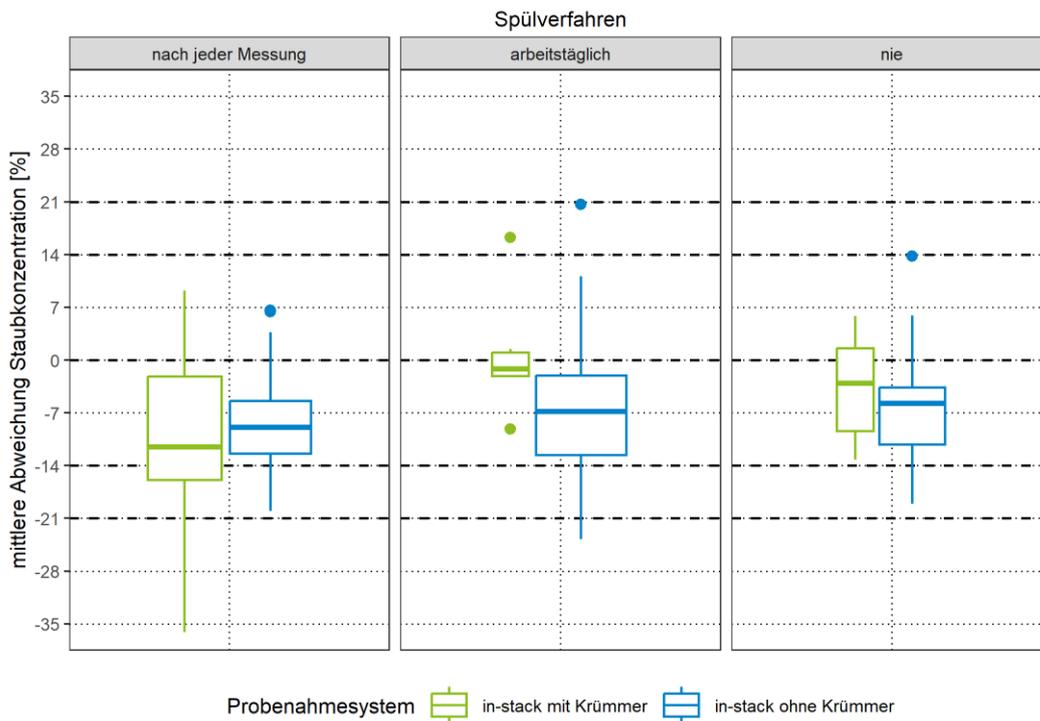


Tabelle 10: Korrelation von Messergebnissen mit Sondensystemen und Spülprozedur (2018-2022)

| Kombi- nation Nr. | Sondensystem | Spülprozedur | 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 | -11,5% | 24 | -7,7% | 24 |
| 2 (mitte) | | arbeitstäglich | -1,1%* | 6* | -8,3% | 6* |
| 3 (rechts) | | kein Spülen | -3,1%* | 6* | -2,3% | 4* |
| 4 (links) | in-stack ohne Krümmer | nach jeder Messung | -8,9% | 29 | -5,3% | 29 |
| 5 (mitte) | | arbeitstäglich | -6,9% | 35 | -7,0% | 35 |
| 6 (rechts) | | kein Spülen | -5,7% | 19 | -7,4% | 19 |

*Diese Kombination wurde nur von ca. 3-5% der Teilnehmer angegeben. Der Median ist hier deutlich weniger aussagekräftig als bei den anderen Kombinationen.

Aufgrund der relativ geringen Fallzahlen sind die dargestellten Ergebnisse von verschiedenen Einflüssen der jeweiligen Laboratorien signifikant beeinflusst. Die überdurchschnittlich guten Ergebnisse für Kombination 3 (Sonde mit Krümmer, die nicht gespült wird: Rechte Abbildungen, grün) dürften z.B. kaum repräsentativ sein 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). Gleichzeitig sind die Messergebnisse für Schwermetalle bei diesem Sondentyp allerdings bei Spülung nach jeder Messung (Kombination Nr. 4) etwas besser als bei täglicher Spülung (Kombination Nr. 5) oder Verzicht auf Spülungen (Kombination Nr. 6).

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

Im Mittel zeigen auch die Ergebnisse der Staubmessungen in den Ringversuchen des Jahres 2022 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 aber die Größe der Sondenöffnung nicht bestimmend für die Messergebnisse zu sein. Sondendurchmesser, die von weniger als 13 Teilnehmern (bzw. 5% aller Teilnehmer) genannt wurden, sind hier nicht aufgeführt.

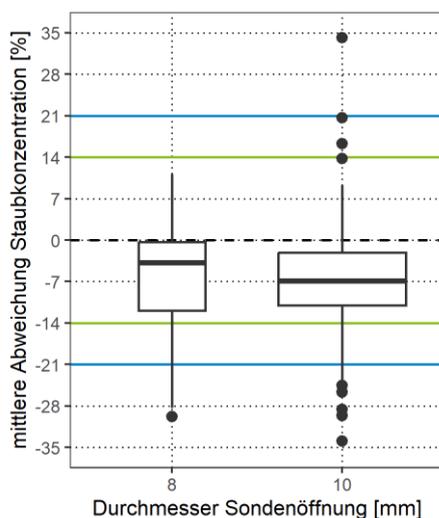


Tabelle 11: Korrelation der mittleren Abweichung der Staubkonzentration vom Sollwert mit dem Sondendurchmesser (2016-2022)

| Durchmesser der Sondenöffnung | 8 mm | 10 mm |
|-------------------------------|--------|--------|
| 75. Perzentil | -0,4% | -2,1% |
| Median | -3,8% | -6,9% |
| 25. Perzentil | -11,9% | -11,0% |
| Anzahl der Werte | 48 | 174 |

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 32 Teilnehmer gaben an, die Schwermetallanalytik mittels AAS-Geräten durchzuführen, während 206 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.

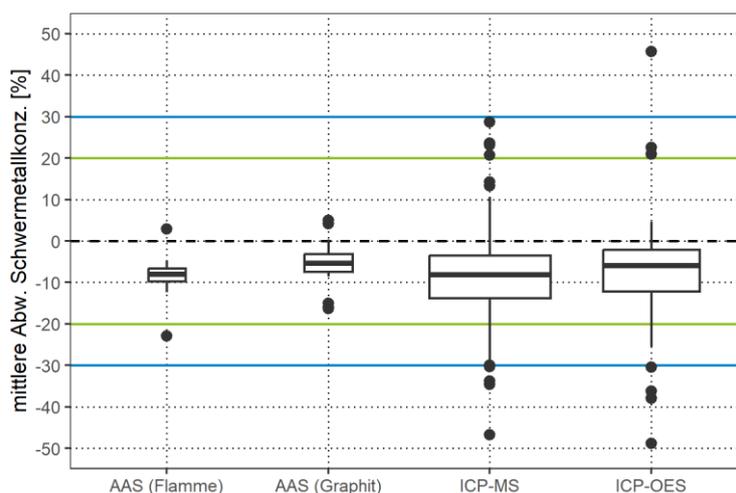


Tabelle 12: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Analysegeräten (2016-2022)

| Messgerät | Flammen-AAS | Graphitrohr-AAS | ICP-MS | ICP-OES |
|------------------|-------------|-----------------|--------|---------|
| 75. Perzentil | -6,6% | -3,1% | -3,5% | -2,1% |
| Median | -8,0% | -5,3% | -8,1% | -5,9% |
| 25. Perzentil | -9,7% | -7,4% | -13,8% | -12,1% |
| Anzahl der Werte | 12 | 20 | 126 | 80 |

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 gab an, mit CS₂ gearbeitet zu haben. Die Ergebnisse aller Teilnehmer liegen im Mittel nahe beim Sollwert.

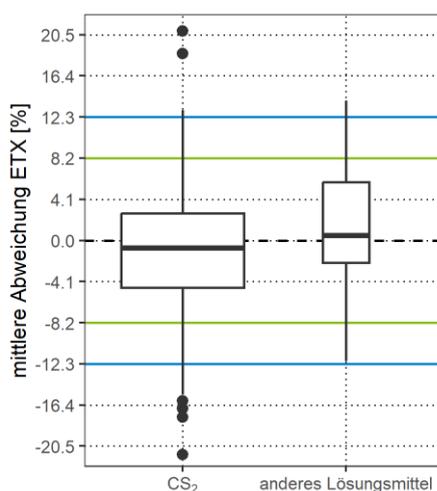


Tabelle 13: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit dem Desorptions-Lösungsmittel (2016-2022)

| Desorptionsmittel | CS ₂ | Anderes Lösungsmittel |
|-------------------|-----------------|-----------------------|
| 75. Perzentil | 2,7% | 5,8% |
| Median | -0,7% | 0,5% |
| 25. Perzentil | -4,7% | -2,2% |
| Anzahl der Werte | 203 | 29 |

7.6 Gaschromatographie Detektoren

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

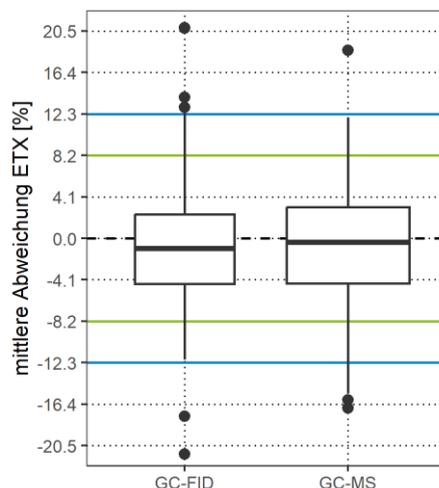


Tabelle 14: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit Analysengeräten (2016-2022)

| Messgerät | GC-FID | GC-MS |
|------------------|--------|-------|
| 75. Perzentil | 2,4% | 3,1% |
| Median | -1,0% | -0,4% |
| 25. Perzentil | -4,5% | -4,5% |
| Anzahl der Werte | 92 | 140 |

Für das Gesamtverfahren von Probenahme und Analytik erzielten die Teilnehmer mit beiden Detektor-Varianten 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:

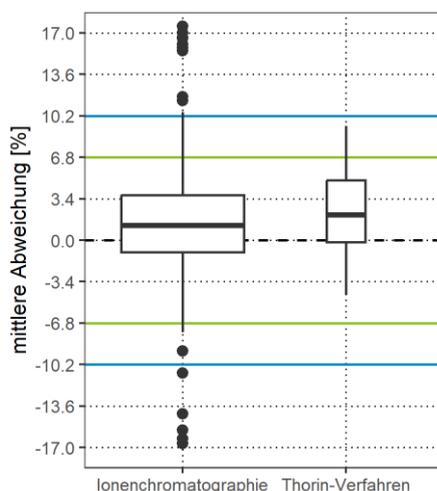


Tabelle 15: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwefeldioxid-Messergebnisse vom Sollwert mit dem verwendeten Analyseverfahren (2016-2022)

| Bestimmungsmethode | Ionenchromatographie | Thorin-Verfahren |
|--------------------|----------------------|------------------|
| 75. Perzentil | 3,7% | 4,9% |
| Median | 1,2% | 2,1% |
| 25. Perzentil | -1,0% | -0,2% |
| Anzahl der Werte | 223 | 22 |

In den vorliegenden Ergebnissen zeigt sich eine im Mittel etwas geringere Abweichung für das Ionenchromatographie-Verfahren, allerdings ist die Anzahl der Teilnehmer, die das Thorin-Verfahren anwenden, vergleichsweise klein. Die höhere Streuung des IC-Verfahrens mit diversen „Ausreißern“ ist möglicherweise allein auf die rund 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 und sind deshalb im folgenden Diagramm dargestellt. Aus den Angaben der Teilnehmer ergibt sich somit folgendes Bild:

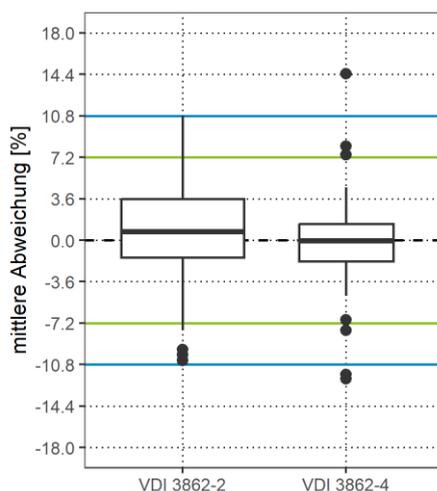


Tabelle 16: Korrelation der mittleren Abweichung der Formaldehyd-Messergebnisse vom Sollwert mit den verwendeten Richtlinien (2016-2022)

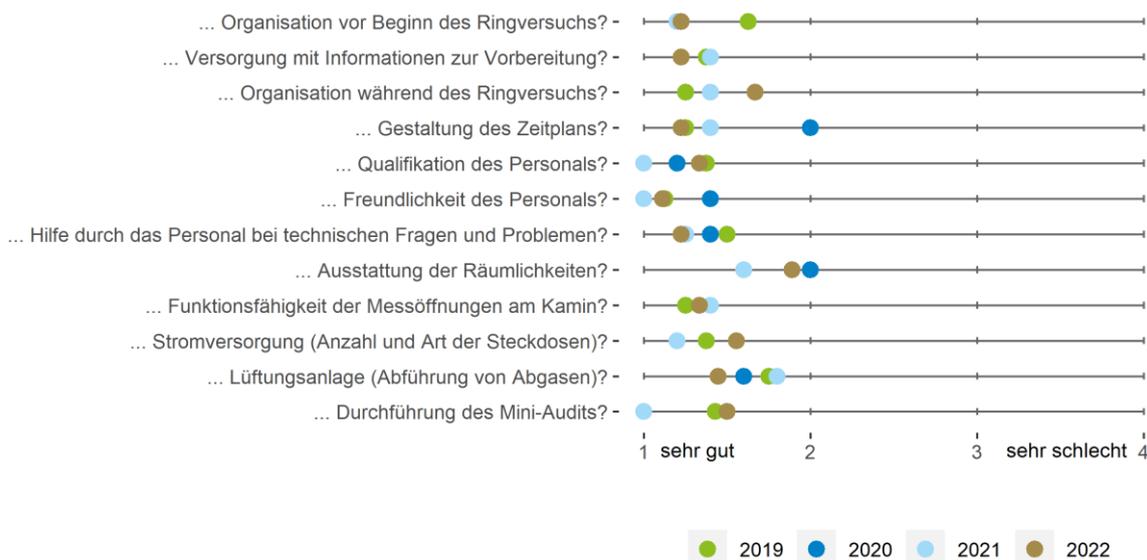
| Richtlinie (Bestimmungsmethode) | VDI 3862 Blatt 2 (DNPH Waschflaschen) | VDI 3862 Blatt 4 (AHMT-Verfahren) |
|------------------------------------|--|--------------------------------------|
| 75. Perzentil | 3,6% | 1,4% |
| Median | 0,7% | 0,0% |
| 25. Perzentil | -1,5% | -1,8% |
| Anzahl der Werte | 97 | 57 |

Das DNPH-Waschflaschen-Verfahren liefert offenbar im Mittel vergleichbar gute Werte wie das AHMT-Verfahren, streut aber über einen etwas größeren Bereich als das AHMT-Verfahren.

7.9 Feedback der Teilnehmer

Seit Anfang 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 9 Rückmeldungen von 6 verschiedenen Messstellen. In diesen wenigen eingegangenen Feedbacks zeigte sich aber auch 2022 insgesamt eine hohe Zufriedenheit der Teilnehmer mit der Ringversuchsdurchführung. Besonders zufrieden waren die Teilnehmer mit der Freundlichkeit des Personals (mittlere Note: 1,1). Die im Vergleich schlechtesten Bewertungen gab es zur Ausstattung der Räumlichkeiten (mittlere Note: 1,9). Ein Teilnehmer bewertete die Stromversorgung, die Ausstattung der Räumlichkeiten und die Organisation während des Ringversuchs mit der schlechtesten möglichen Note 4 (sehr schlecht), allerdings ohne diese Bewertung näher zu erläutern. Ein anderer Teilnehmer kritisierte den Zustand des für die Olfaktometrie zur Verfügung gestellten Riechraums hinsichtlich der Temperatur und fand ihn unaufgeräumt. Ein dritter Teilnehmer äußerte sich hingegen sehr positiv über den im Rahmen der „Pandemieversion“ verfügbaren Platz im Messraum.

Als zusätzliche Komponenten wurden Fluorwasserstoff (HF) und Chlorwasserstoff (HCl) für den Gasringversuch, sowie die Elemente Antimon, Arsen und Zinn für den Staubringversuch vorgeschlagen. Sofern dieser Wunsch in Zukunft häufiger aufkommen sollte, kann eine Umsetzung an der ESA geprüft werden.

8. Schlussbemerkung

Aufgrund der andauernden SARS-CoV-2-Pandemie konnten die Staub- und Gasringversuche im Frühjahr 2022 erneut nur in der gekürzten „Pandemieverson“ angeboten werden. Die Geruchsringversuche im Herbst, sowie weitere Staubringversuche im November konnten allerdings unter Umsetzung geeigneter Infektionsschutzmaßnahmen in vollem Umfang durchgeführt werden. Mit einer Verspätung von zwei Jahren konnten damit endlich die Änderungen an den LAI-Durchführungsbestimmungen von Mai 2019 in vollem Umfang umgesetzt werden. Dazu gehören kleinere Änderungen an den Bewertungskriterien, am Komponentenspektrum und dem Zeitplan, aber auch die Einführung eines Theorietests.

Die Messergebnisse in den Staub- und Gasringversuchen haben sich 2022 im Vergleich zum Jahr 2021 teilweise deutlich verbessert, sind aber für viele Komponenten noch immer signifikant schlechter als in den Jahren vor der Pandemie. Im Jahr 2021 fanden diese Ringversuche ausschließlich in der Pandemieverson statt, im Jahr 2022 war dies noch für ungefähr Dreiviertel aller Teilnahmen der Fall. Die Reduzierung der Anzahl der Messungen für die Pandemieverson der Ringversuche von 9 auf 3 sollte keinen Einfluss auf die mittlere Abweichung der eingereichten Messwerte von den Sollwerten haben. Ob die höhere Streuung der Messwerte damit zusammenhängt, dass die Teilnehmer in der Pandemieverson grundsätzlich keinen Kontakt zu anderen Teilnehmern hatten, lässt sich nicht überprüfen. Die inzwischen erkennbare Verbesserung der Messergebnisse zeigt außerdem, dass die beobachteten Abweichungen nicht grundsätzlich mit der Art der Ringversuchsdurchführung zusammenhängen.

Im Geruchsringversuch erzielten die Teilnehmer im Jahr 2022 insgesamt deutlich bessere Ergebnisse als in den Jahren 2019 bis 2021, die Bestehensquote lag hier 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.

Sofern nichts unerwartetes passiert, werden die Staub- und Gasringversuche im Jahr 2023 wieder vollständig in der „Standard“-Version gemäß den LAI-Durchführungsbestimmungen von 2019 stattfinden, die Pandemieverson wird das HLNUG dann nicht mehr anbieten. Allerdings werden die in der Pandemieverson gewonnenen Erkenntnisse sicherlich in die nächste Überarbeitung der Durchführungsbestimmungen einfließen, z.B. bei der Diskussion, ob die Anzahl der Messungen unbedingt 9 betragen muss oder auch bei 6 liegen könnte.

Kassel, 1. Februar 2023

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 13528:2009-01 - Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO 13528:2005); Text Deutsch und Englisch. (*Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons (ISO 13528:2005); 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 13284-1:2002-04: Emissionen aus stationären Quellen - Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen - Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren; Deutsche Fassung EN 13284-1:2001. (*Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust. Manual gravimetric method; German version EN 13284-1:2001*). 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 13725:2003-07 Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003. (*Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry; German version EN 13725:2003*). 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