



Jahresbericht 2024

Ergebnisse der Emissionsringversuche
der Stoffbereiche P, G und O an der
Emissionssimulationsanlage im Jahr 2024

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	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	37

6.3	Randbedingungen	37
7.	Freiwillige Angaben der Teilnehmer	38
7.1	Sonde und Spülen bei Staubmessungen	39
7.2	Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen.....	42
7.3	Analysegeräte für Schwermetalle	43
7.4	Chemikalien in der Aufschlusslösung.....	45
7.5	Lösungsmittel zur Desorption von ETX.....	47
7.6	Gaschromatographie Detektoren	48
7.7	Schwefeldioxid.....	49
7.8	Formaldehyd	50
7.9	Feedback der Teilnehmer	51
8.	Schlussbemerkung	53
9.	Literaturverzeichnis	54

1. Zusammenfassung

An den Staub-Emissionsringversuchen (Stoffbereich P) des HLNUG nahmen im Jahr 2024 insgesamt 61 Messinstitute teil, davon waren 34 Teilnehmer §29b-Messstellen und 27 Freiwillige. Die Erfolgsquote lag bei den §29b-Messstellen (81%) wie in der Vergangenheit deutlich höher als bei den Freiwilligen (15%).

An den Gas-Emissionsringversuchen (Stoffbereich G) nahmen 2024 insgesamt 47 Messinstitute teil, davon waren 39 Teilnehmer §29b-Messstellen und 8 Freiwillige. Die Erfolgsquote lag auch hier bei den §29b-Messstellen (69%) wie in den Jahren zuvor deutlich höher als bei den Freiwilligen (20%).

An den Geruchs-Emissionsringversuchen (Stoffbereich O) nahmen 2024 insgesamt 17 Messstellen teil, von denen 11 aufgrund einer Bekanntgabe nach §29b BImSchG und 6 freiwillig teilnahmen. Hier waren 82% der bekanntgegebenen und 50% 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.

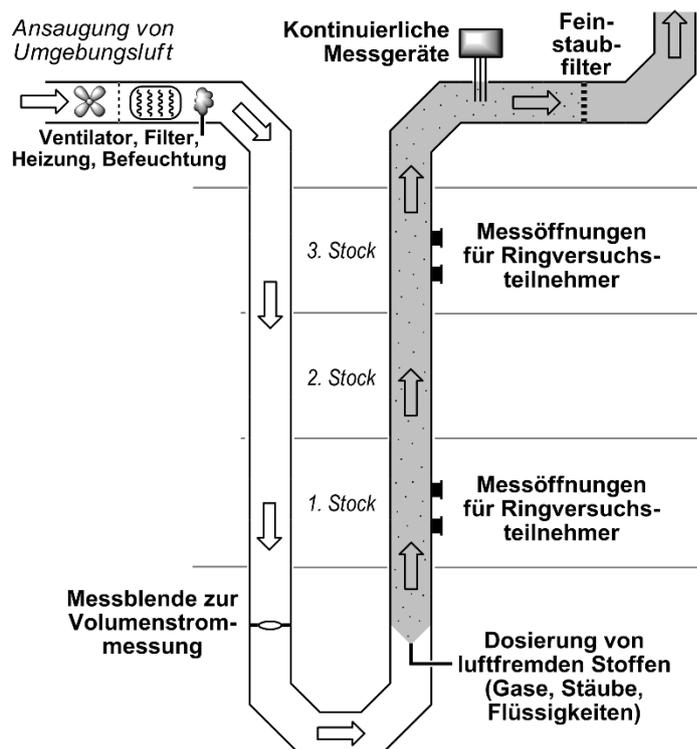


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ESA des HLNUG in Kassel

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. 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 2024 wurden folgende Ringversuche der Stoffbereiche P (Staub), G (Gas) und O (Geruch) durchgeführt:

Tabelle 1: Emissionsringversuche des HLNUG

Ringversuch	Art	Start	Ende	Teilnehmer
24P1	Staub	05.02.2024	06.02.2024	7
24G1	Gas	06.02.2024	08.02.2024	8
24P2	Staub	19.02.2024	20.02.2024	7
24G2	Gas	20.02.2024	22.02.2024	7
24P3	Staub	04.03.2024	05.03.2024	7
24G3	Gas	05.03.2024	07.03.2024	7
24P4	Staub	18.03.2024	19.03.2024	8
24G4	Gas	19.03.2024	21.03.2024	8
24P7	Staub	22.04.2024	23.04.2024	6
24G7	Gas	23.04.2024	25.04.2024	6
24P81	Staub Kurzversion	11.06.2024	11.06.2024	4
24P82	Staub Kurzversion	12.06.2024	12.06.2024	4
24P83	Staub Kurzversion	13.06.2024	13.06.2024	3
24O3	Geruch	19.09.2024	19.09.2024	1
24O1	Geruch	24.09.2024	24.09.2024	7
24O2	Geruch	26.09.2024	26.09.2024	9
24P5	Staub	04.11.2024	05.11.2024	7
24G5	Gas	05.11.2024	07.11.2024	7
24P6	Staub	18.11.2024	19.11.2024	8
24G6	Gas	19.11.2024	21.11.2024	4

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		Standard-Version: je Komponente 9 (+ Einführungsmessung) Kurzversion: je Komponente 6 (+ 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	

Staub (Stoffbereich P)		Gas (Stoffbereich G)	
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	
Abgabe	Innerhalb von 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)	Innerhalb von vier Wochen nach Abschluss des Ringversuchs mit zwei Nachkommastellen, in mg/m ³ im Normzustand, trocken	
Art der Abgabe	Per E-mail 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	Innerhalb von einer Woche nach dem Ringversuch, auf ganze Zahlen gerundet in GE _E /m ³		
Art der Abgabe	Per E-mail über eine vom HLNUG zur Verfügung gestellte Excel-Datei, in die die jeweiligen Ergebnisse einzutragen sind.		

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 Prof. 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 2024 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 198 Einzelmessungen aus den Jahren 2019 bis 2023 ein Konsenswert von $c_0 = 198 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für die Komponente PIG ergab sich aus 114 Einzelmessungen aus den Jahren 2021 bis 2023 ein Konsenswert von $c_0 = 208 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für die Komponente THT musste ein Konsenswert nach Schema b) ermittelt werden. Hier ergab sich ein Wert von $c_0 = 0,509 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf der Grundlage von 36 Einzelmessungen aus dem Jahr 2024.

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 2024 für die Komponenten THT und PIG erforderlich, für die σ_k auf einen Wert von 0,14 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. Für Komponenten, die nicht Teil dieser Durchführungsbestimmungen sind, wurden durch das HLNUG Kriterien nach einem vergleichbaren Verfahren festgelegt. 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	1,55
P2	Cadmium	Cd	10,0	1,86
P3	Cobalt	Co	10,0	1,88
P4	Chrom	Cr	10,0	1,86
P5	Kupfer	Cu	10,0	2,18
P6	Mangan	Mn	10,0	1,99
P7	Nickel	Ni	10,0	1,92
P8	Blei	Pb	10,0	1,84
P9	Vanadium	V	10,0	2,13

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	5,09
O3	Tetrahydrothiophen	THT	0,14	9,96
O4	Künstlicher Schweinestallgeruch	PIG	0,14	9,55

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 $n = 3$ für die Standardversion und $n = 2$ für die Kurzversion) 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 dem folgenden Schema zugeordnet:

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

In der Standardversion der Ringversuche müssen für jede Komponente mindestens sechs Messwerte eingereicht worden sein, andernfalls gilt die Komponente als nicht erfolgreich bestimmt („nicht bestanden“). Für die Kurzversion gibt es keine Mindestanzahl von Messergebnissen.

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 in der Standardversion 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 Kurzversion wird 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 in der Standardversion des Staub- und Gasringversuchs 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 Staubringsversuch (Stoffbereich P)

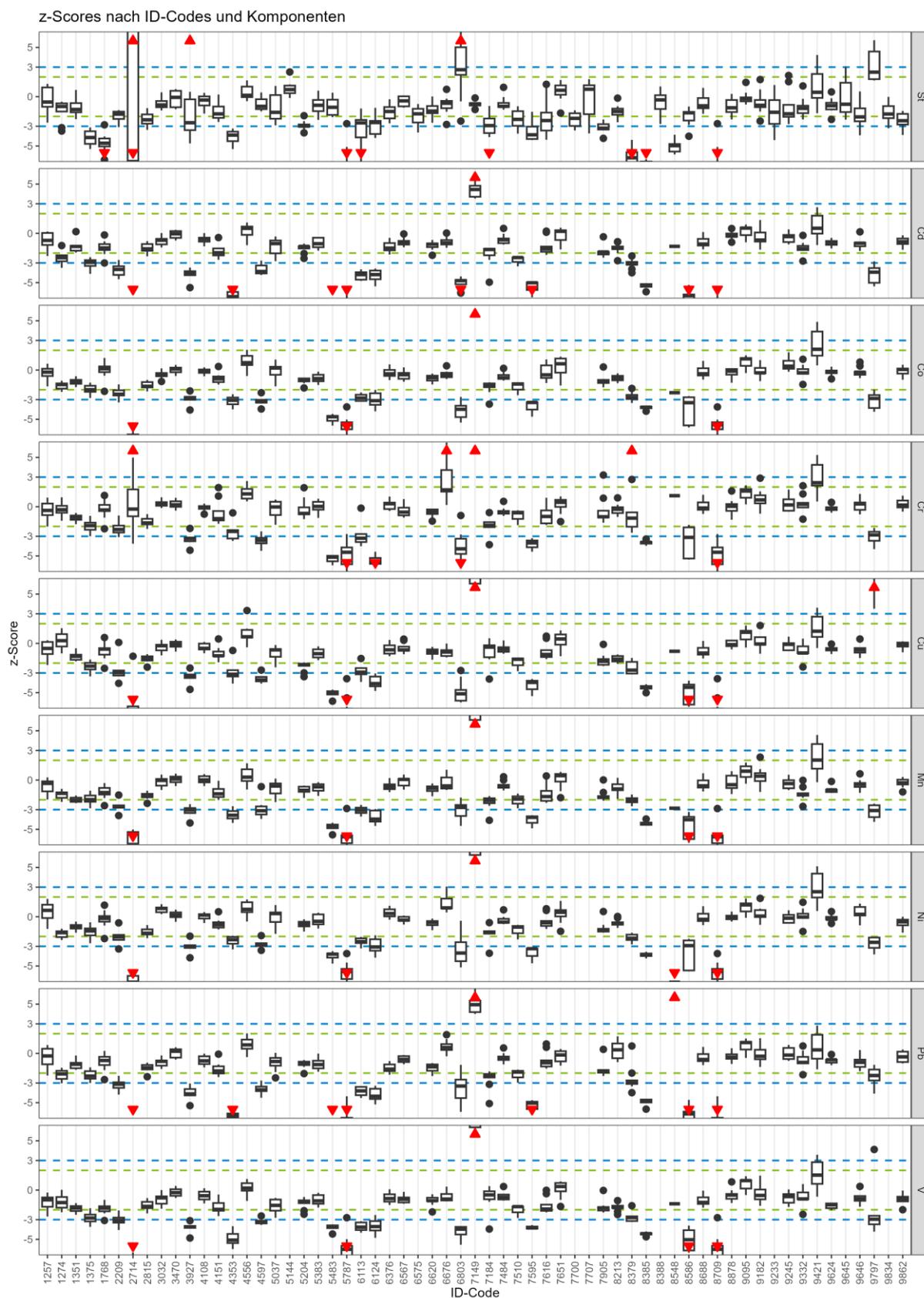
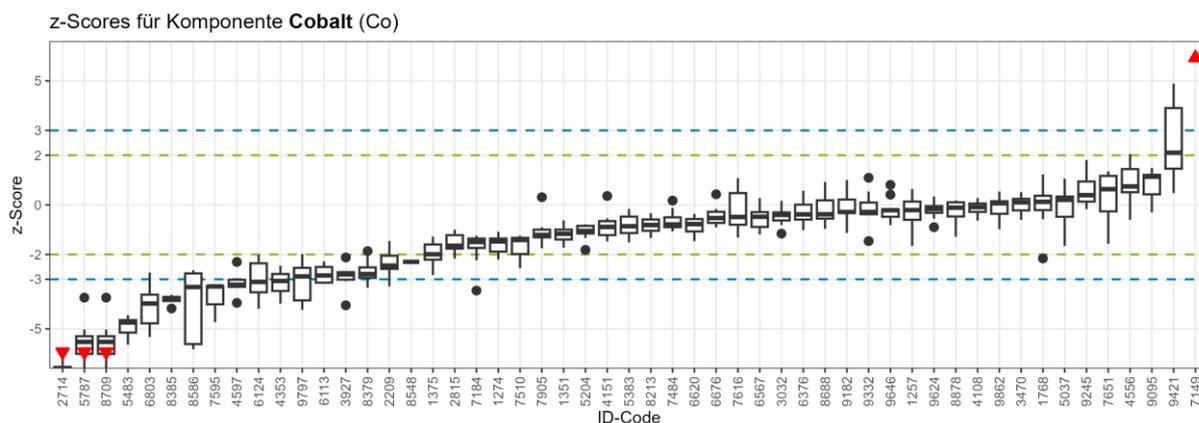
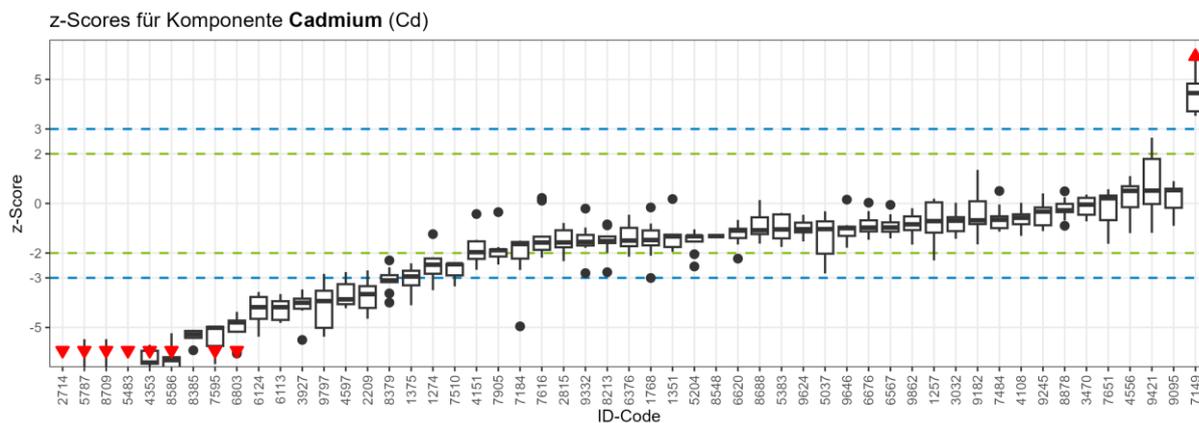
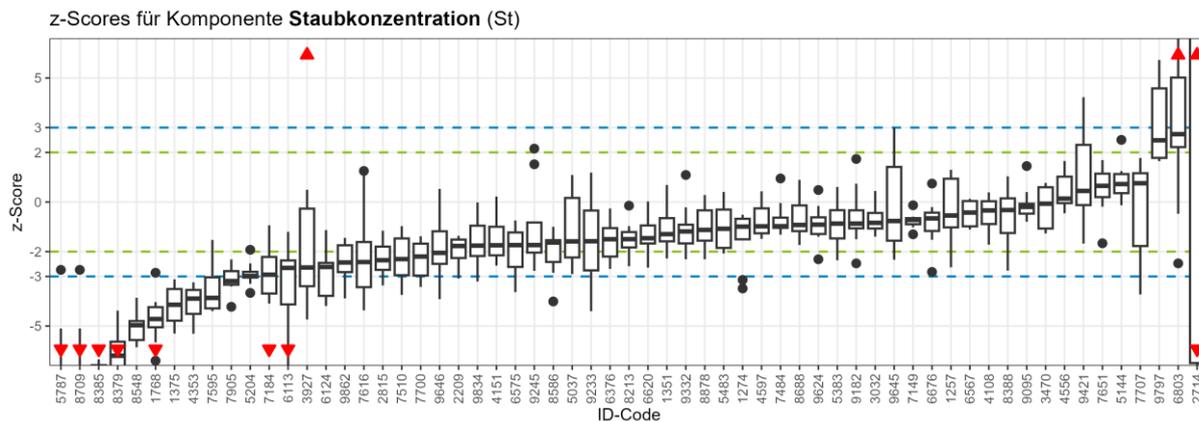
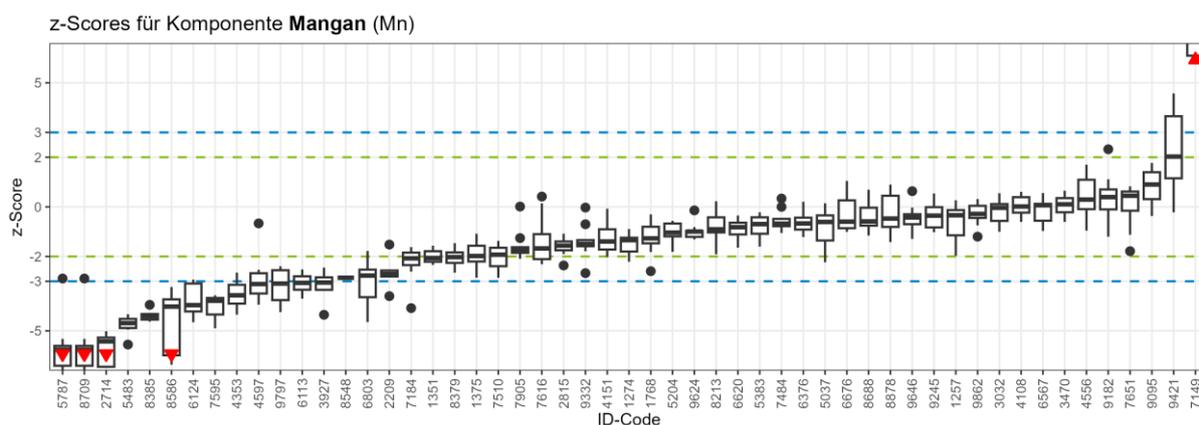
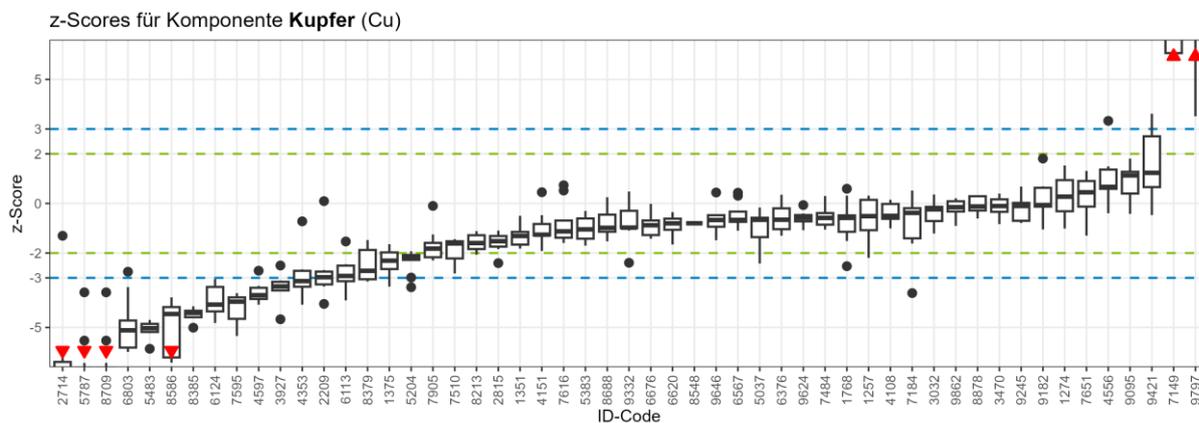
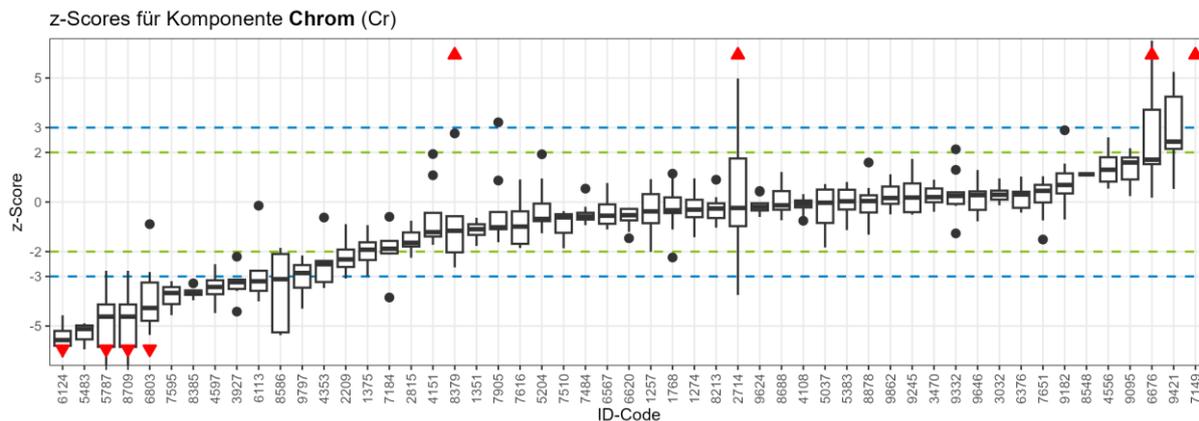
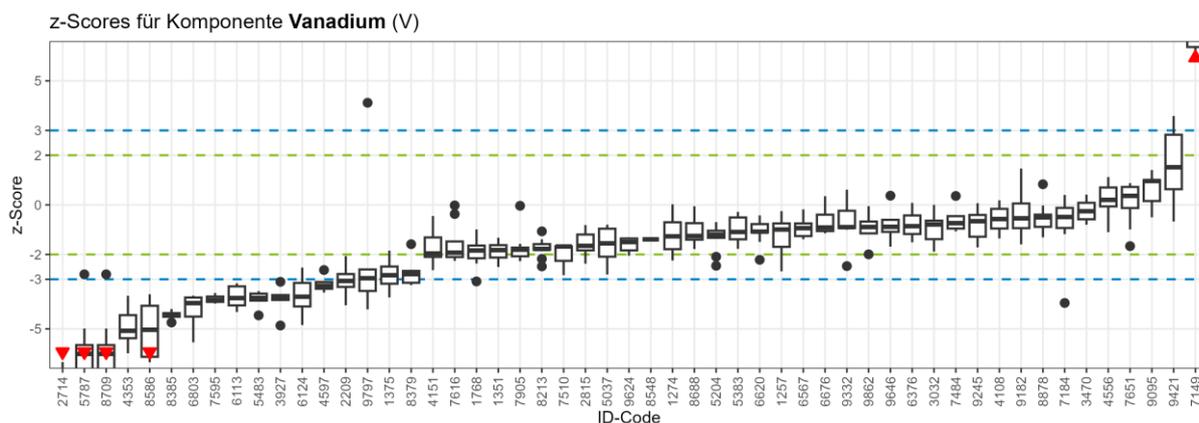
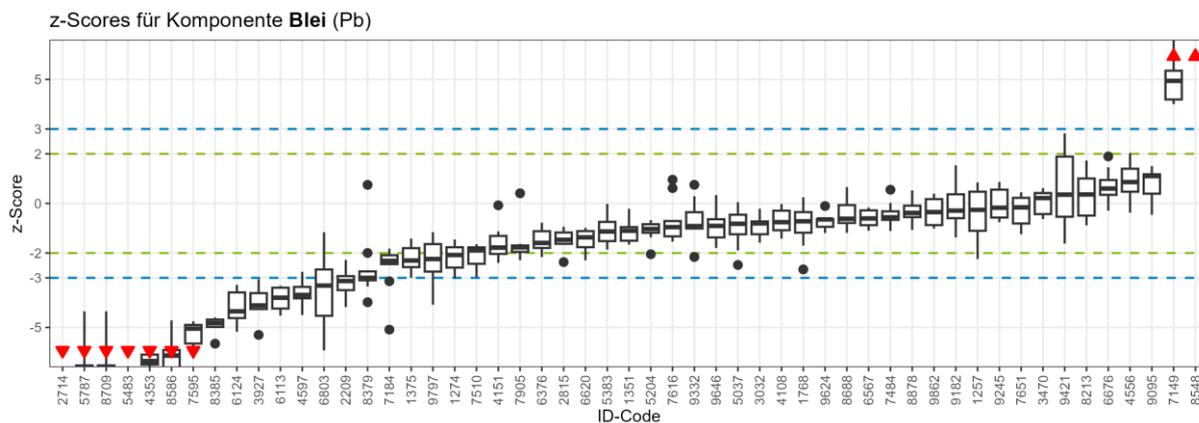
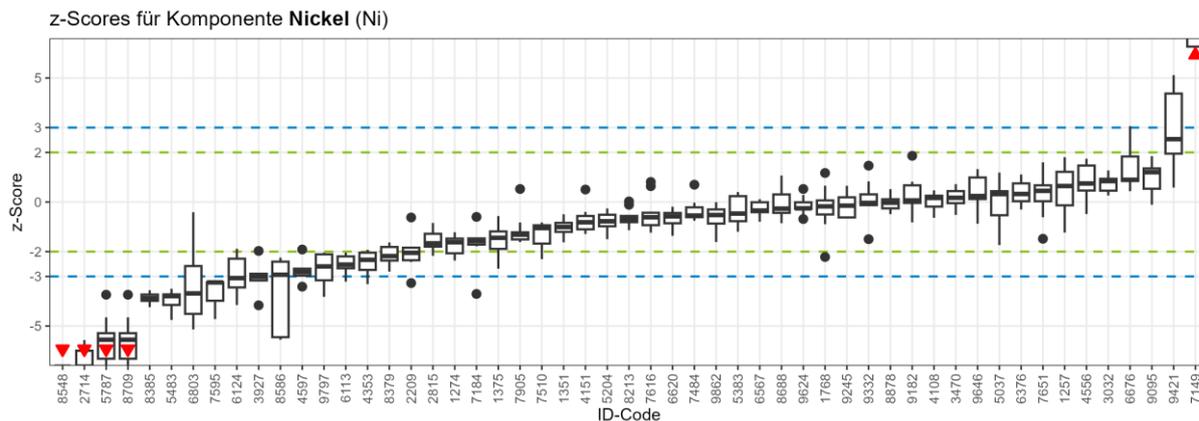


Abbildung 2: z-Scores für den Stoffbereich P







5.1.2 Gasringversuch (Stoffbereich G)

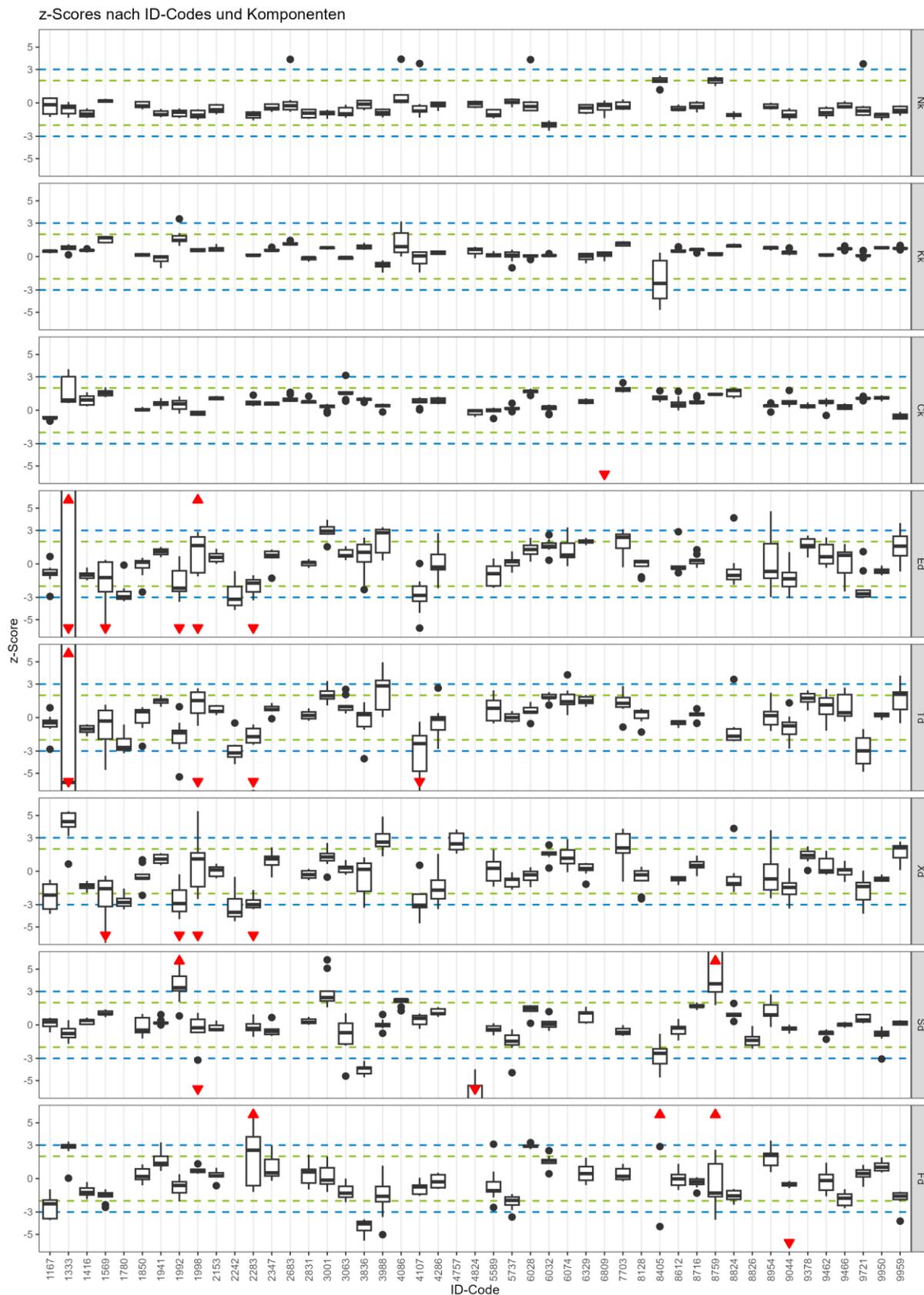
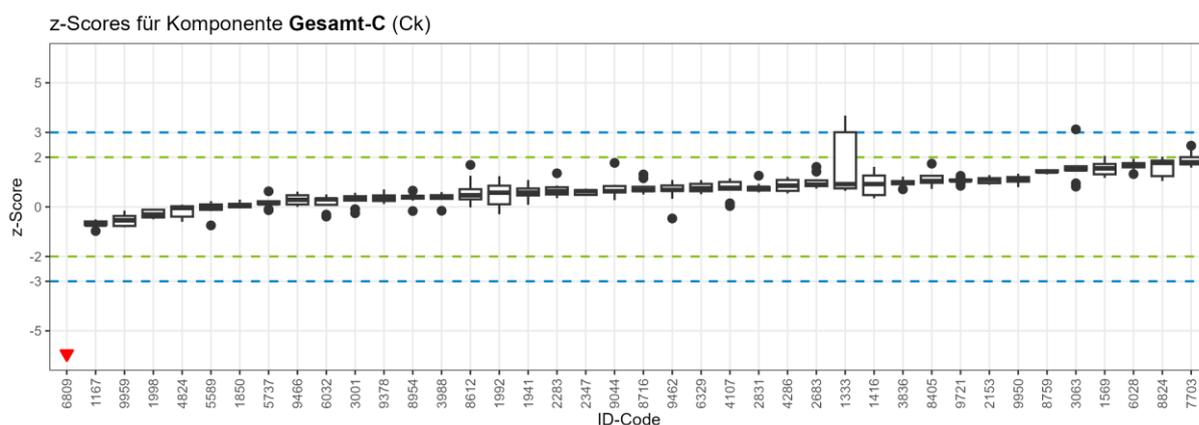
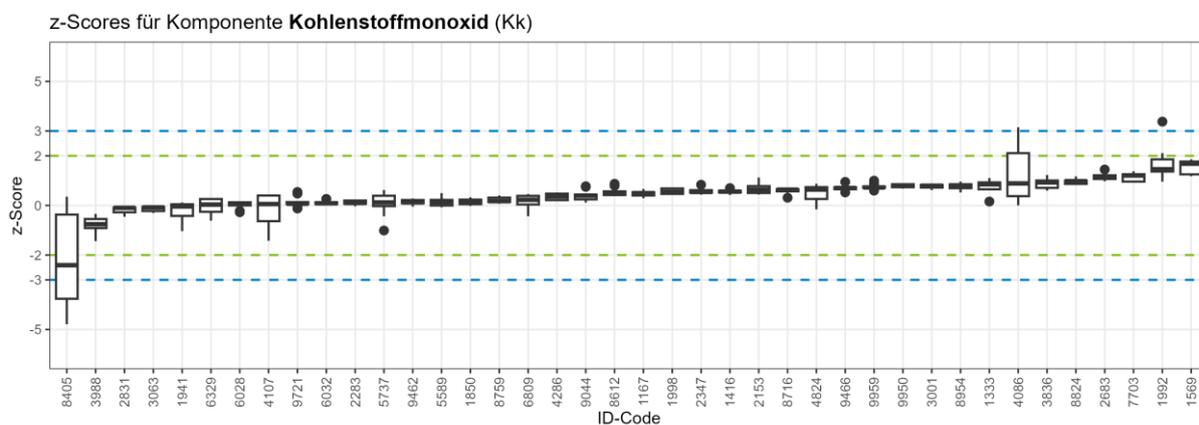
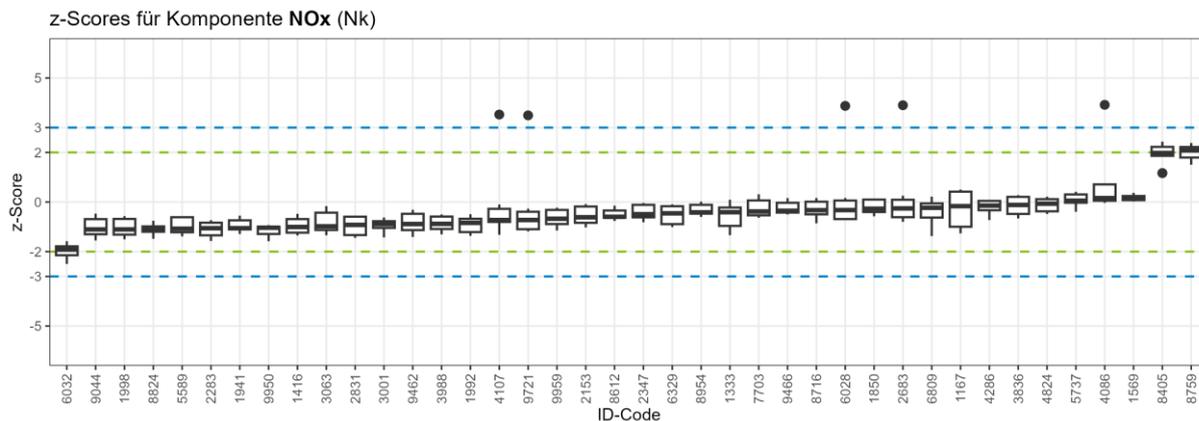
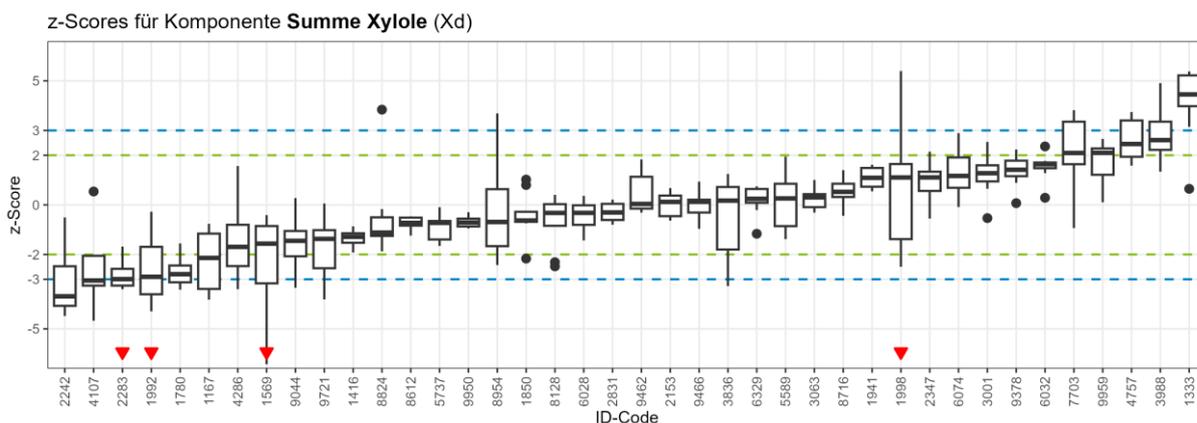
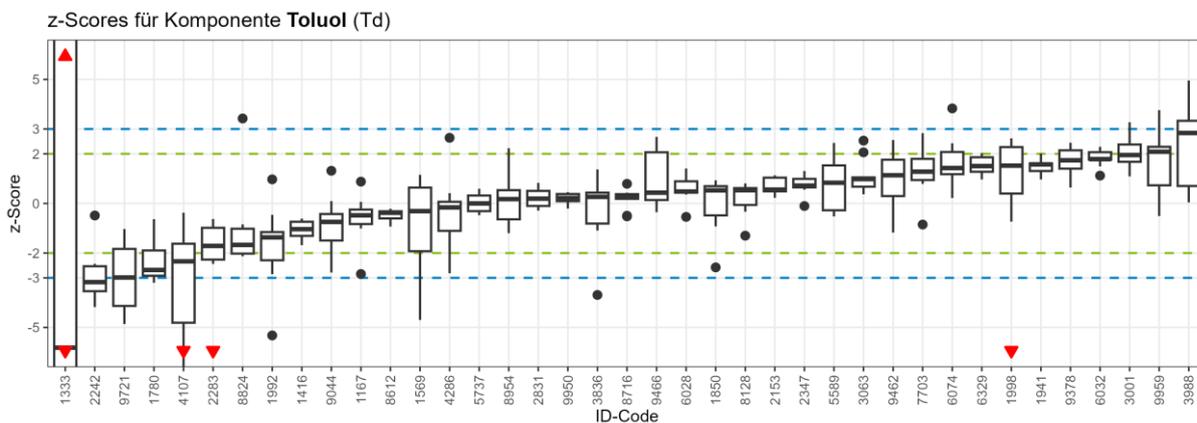
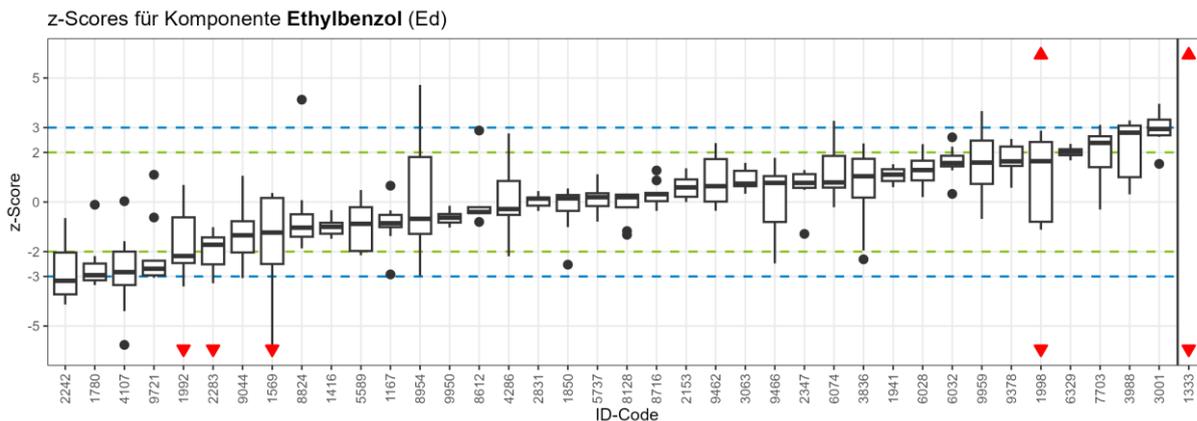
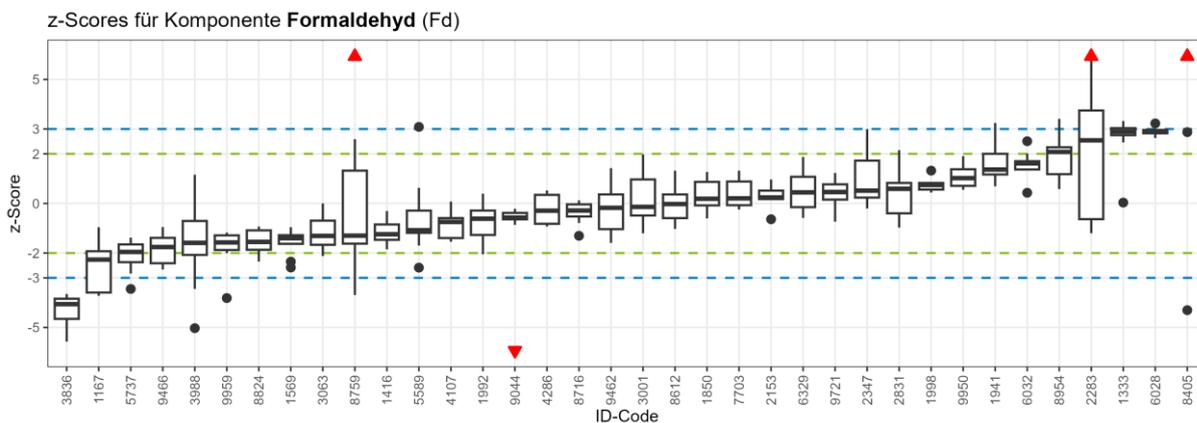
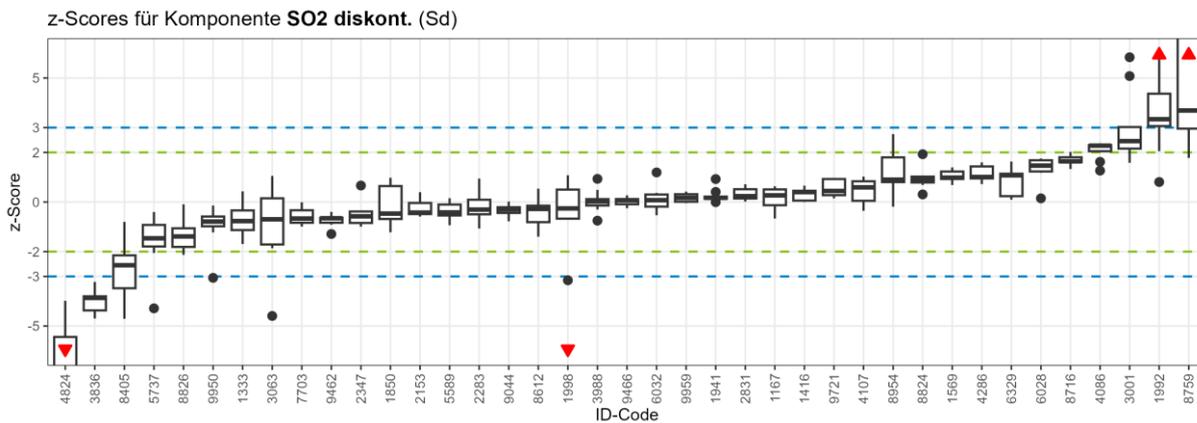


Abbildung 3: z-Scores für den Stoffbereich G







5.1.3 Geruchsringversuch (Stoffbereich 0)

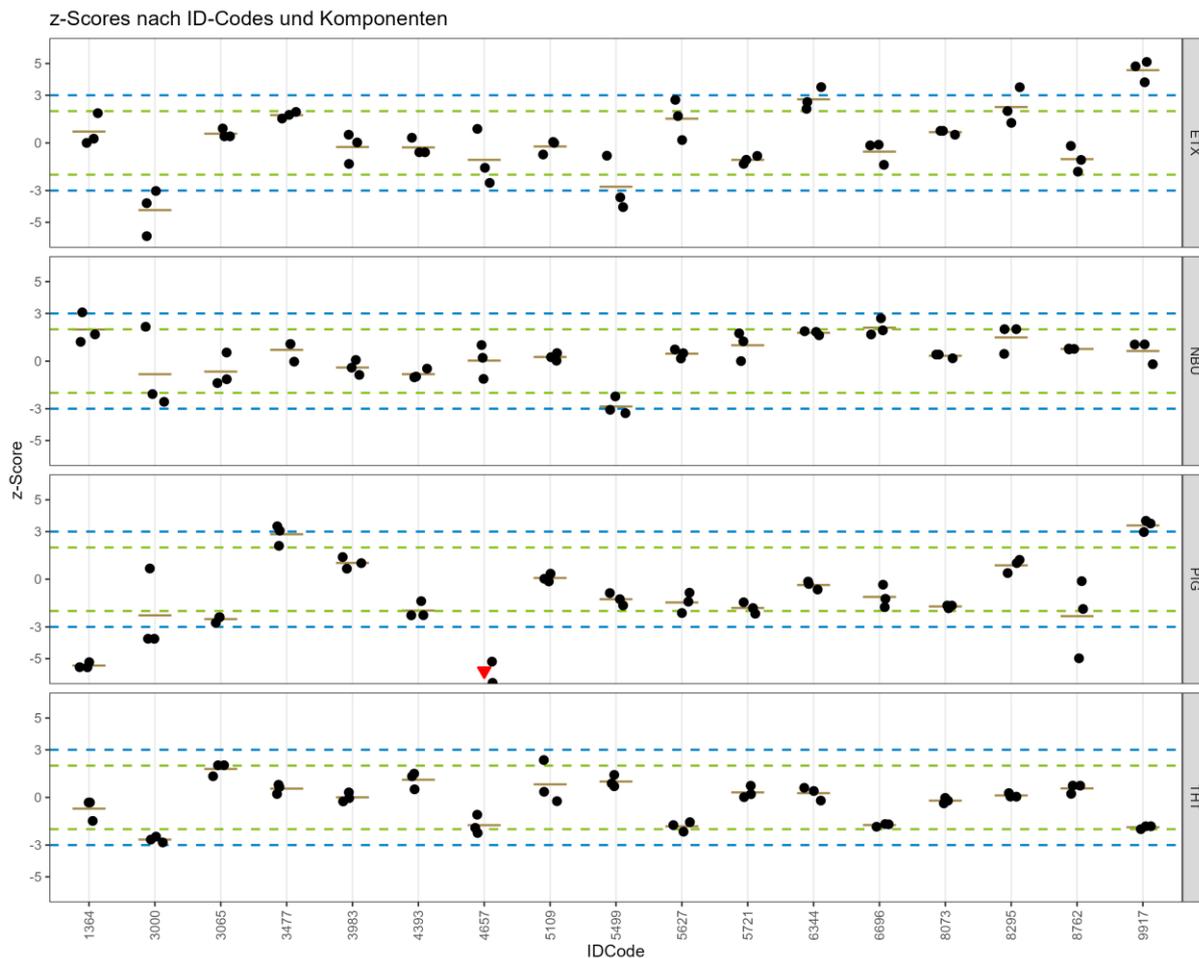
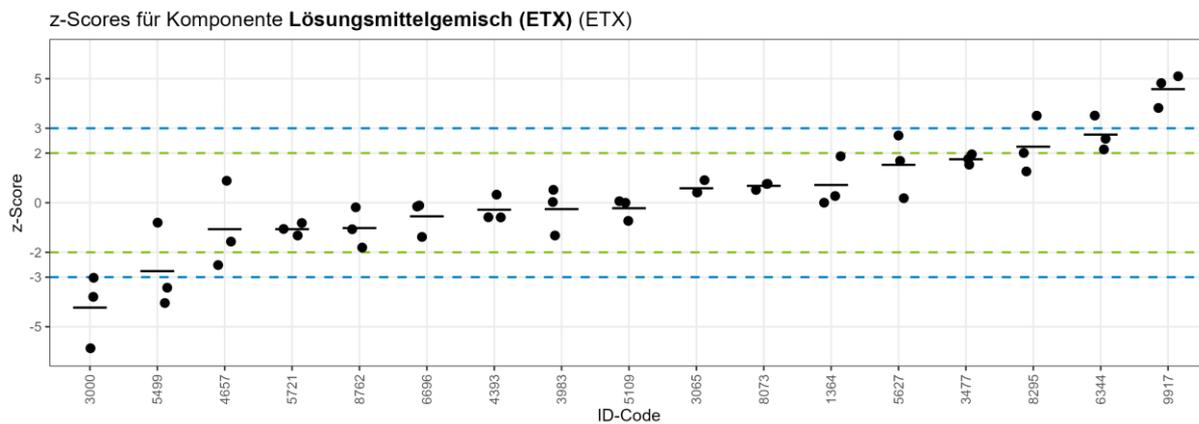
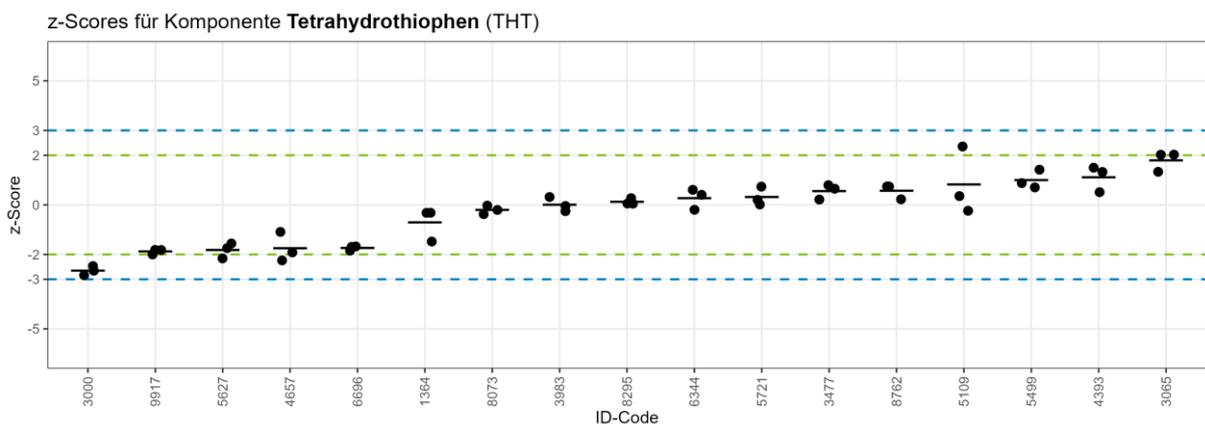
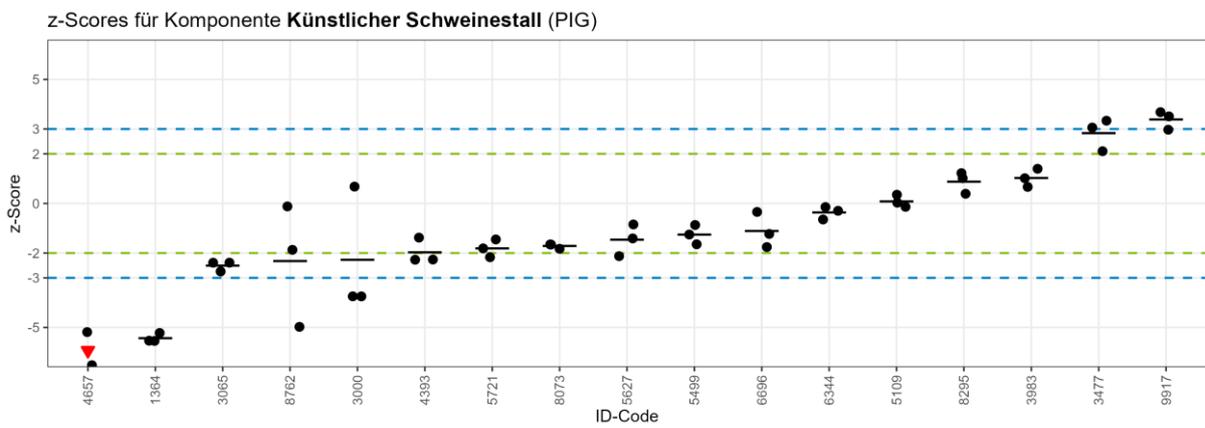
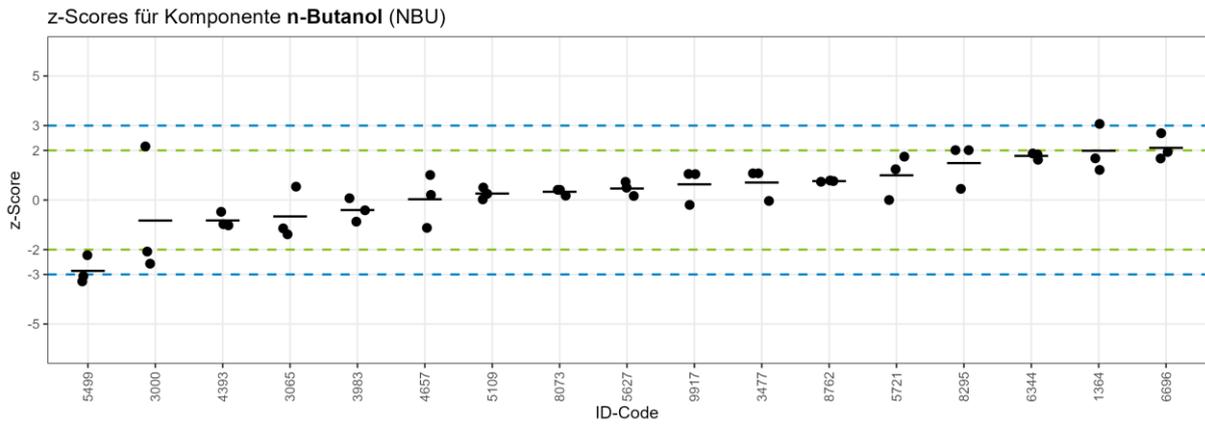


Abbildung 4: z-Scores für den Stoffbereich 0 (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)





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.

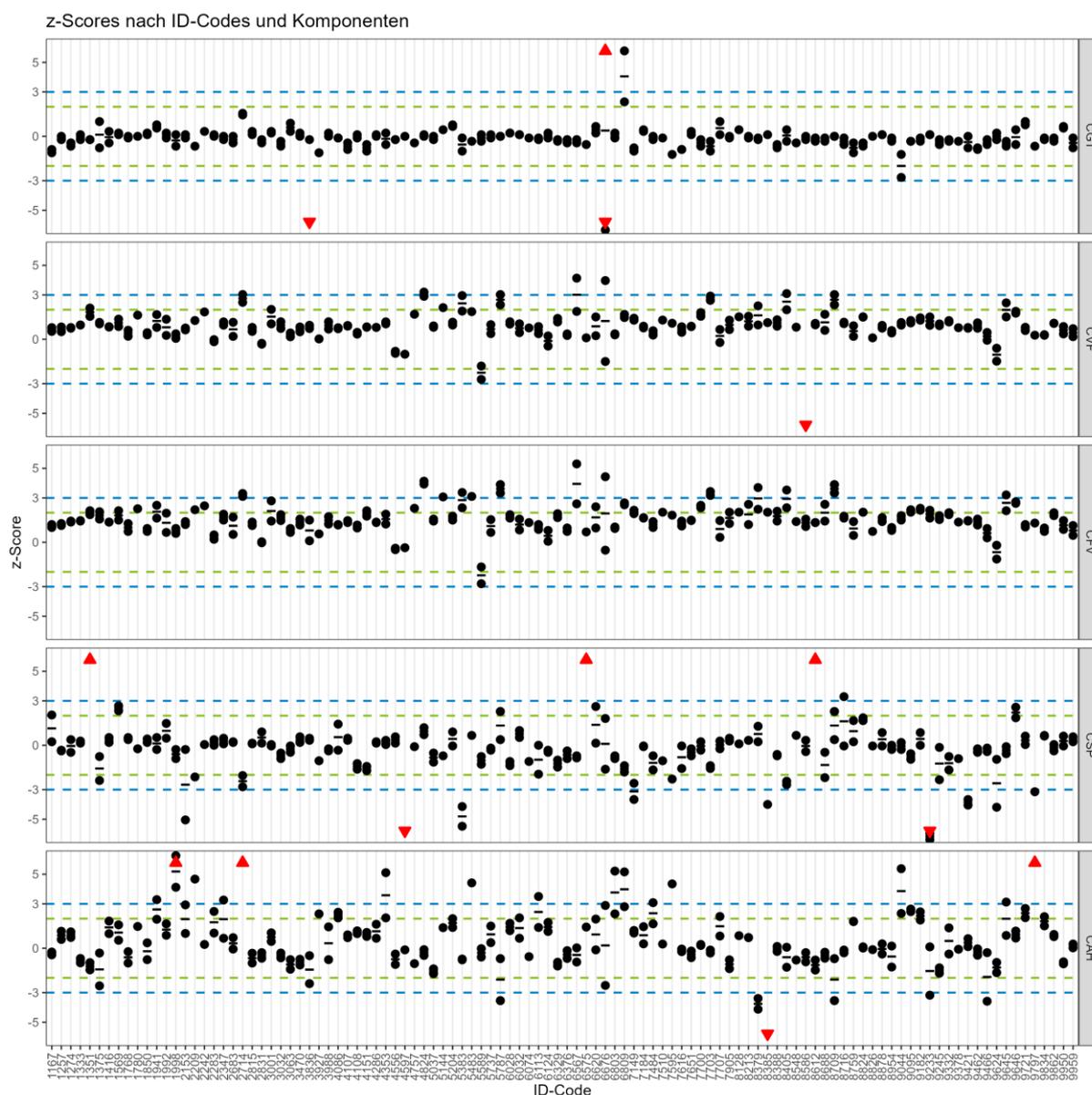
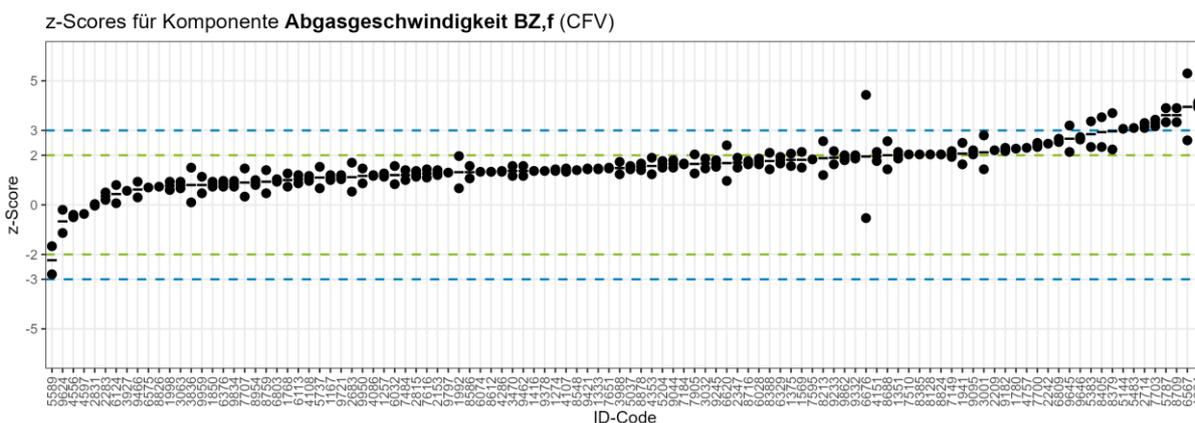
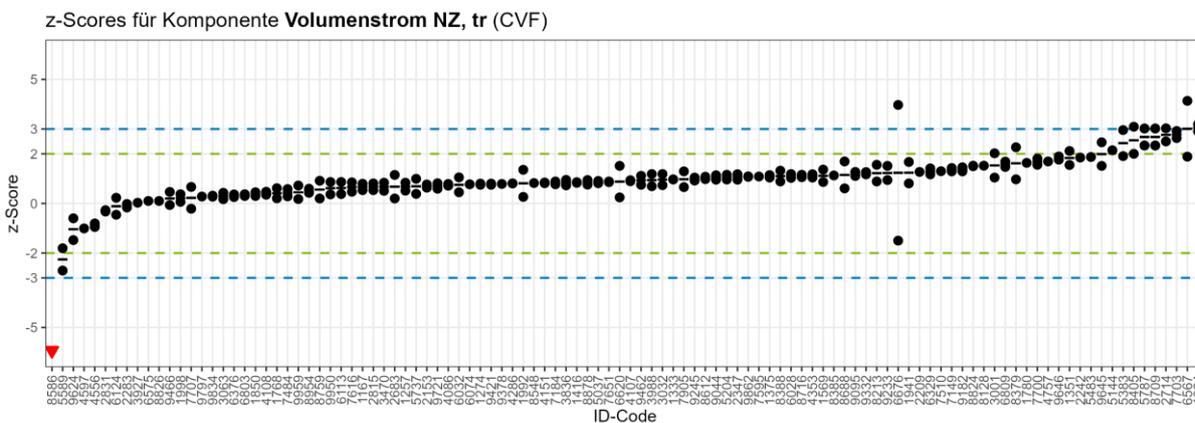
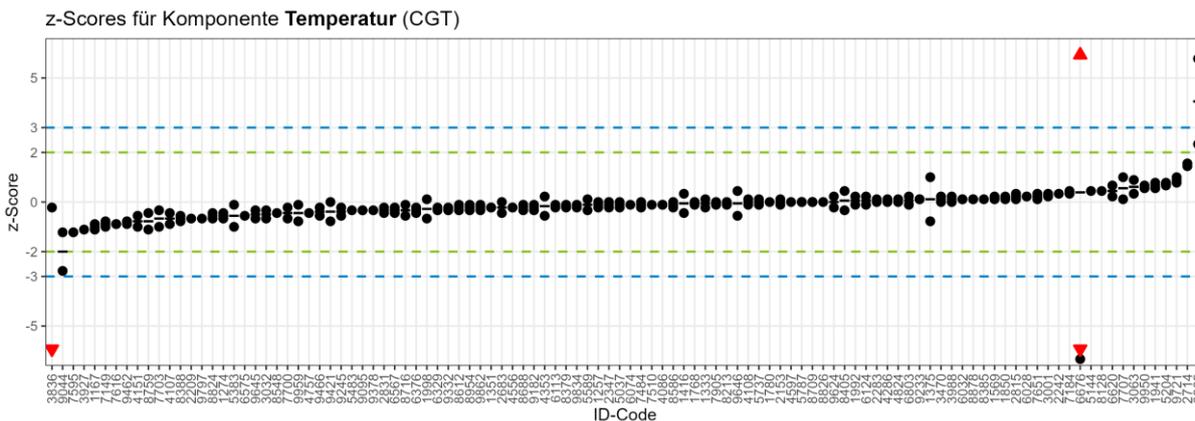
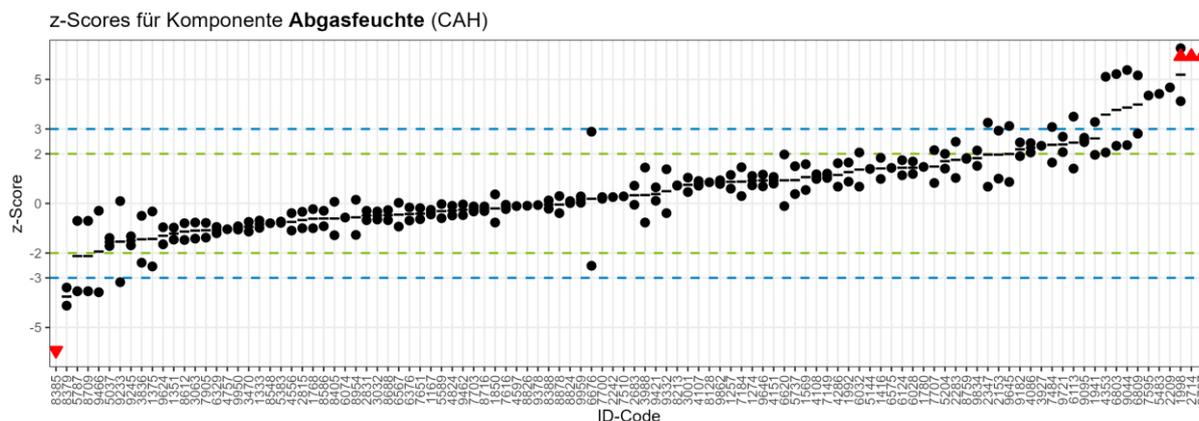
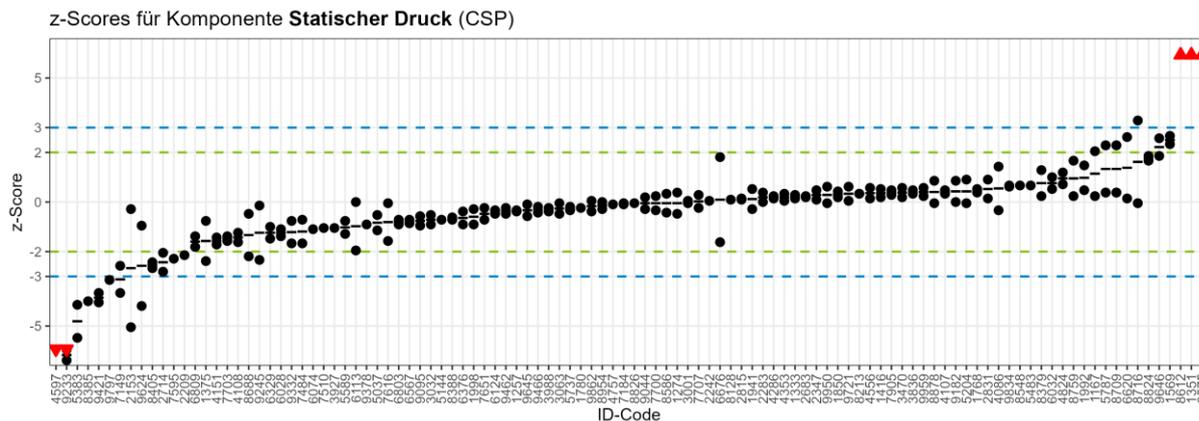


Abbildung 5: z-Scores (bzw. Quotienten aus Teilnehmer-Abweichung und typischer Abweichung) für Abgasrandbedingungen



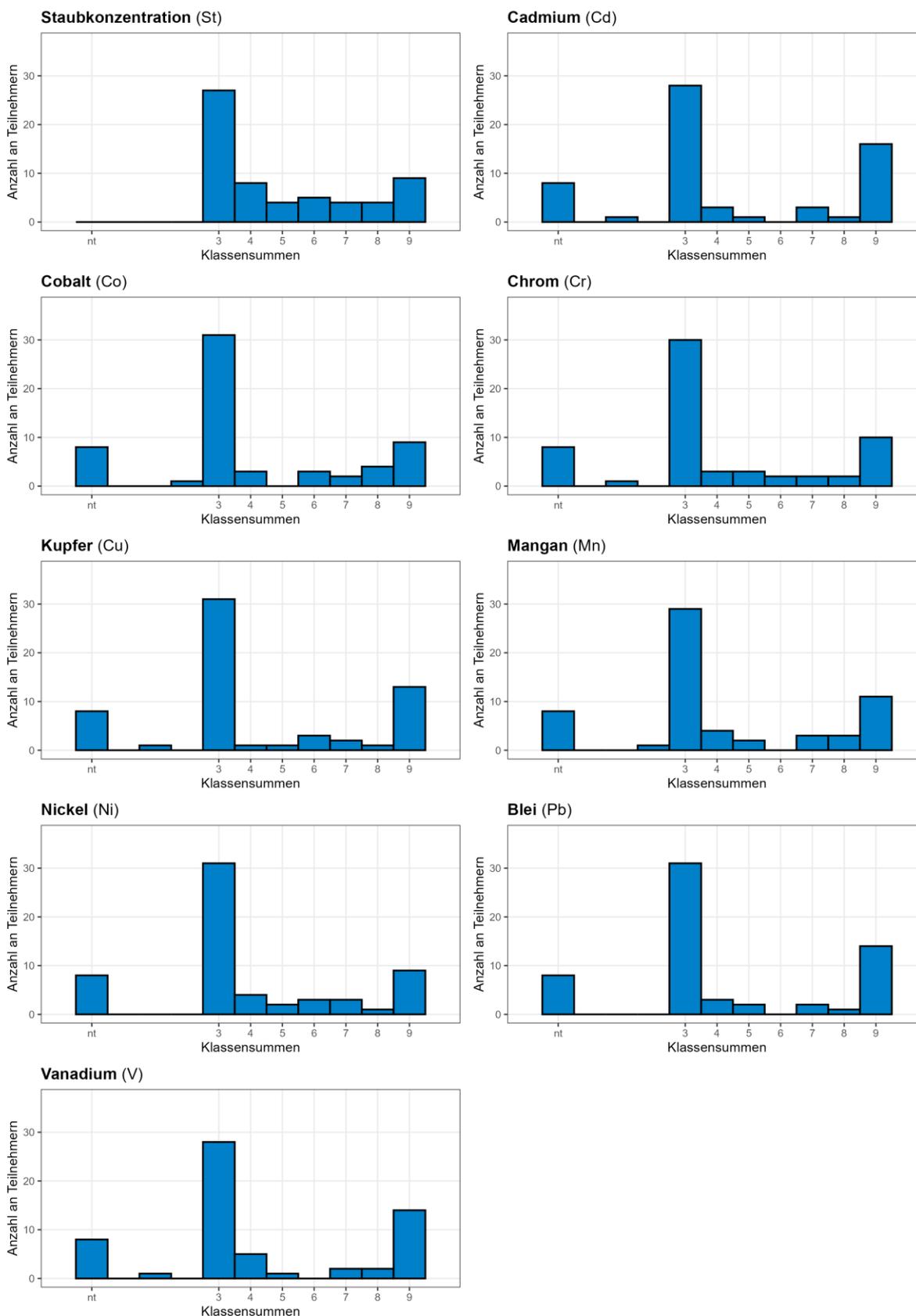


5.2 Klassensummen

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.

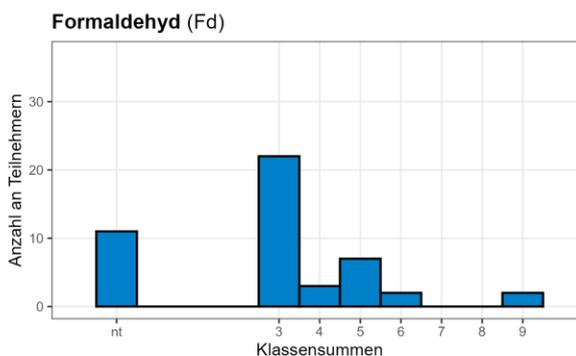
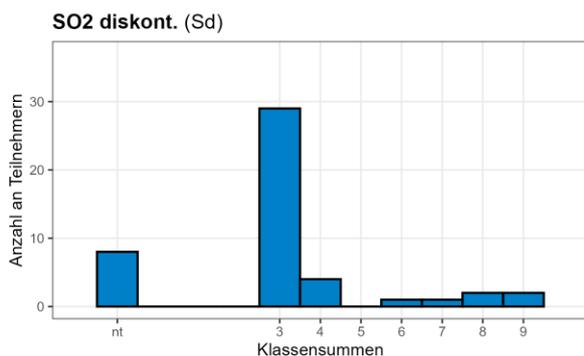
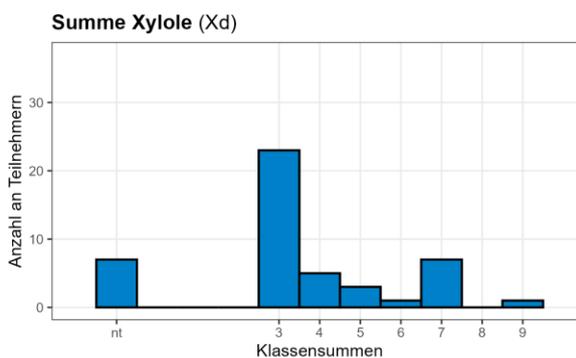
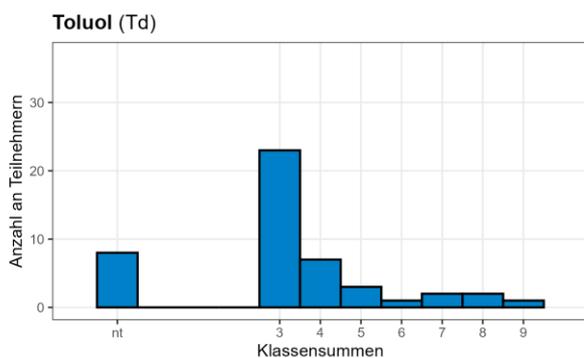
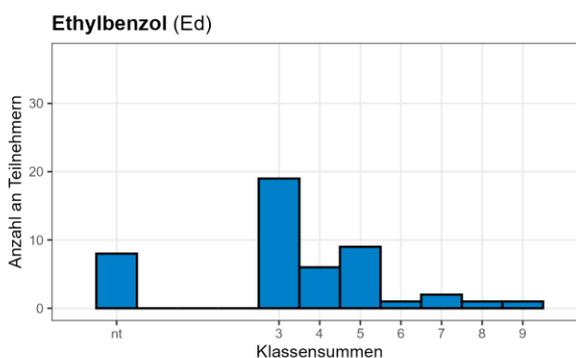
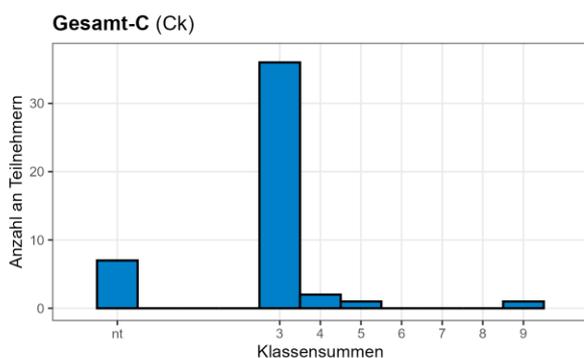
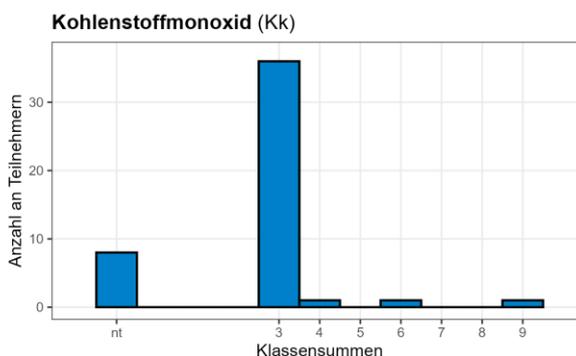
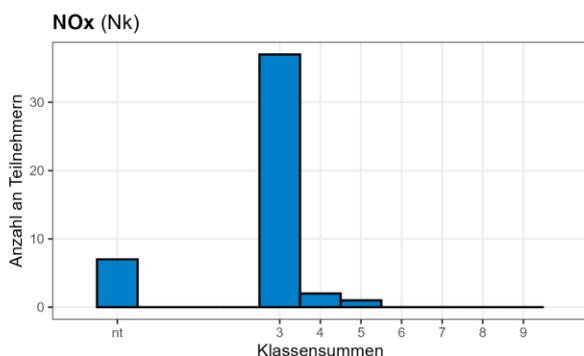
5.2.1 Staubringversuch (Stoffbereich P)

Klassensummen



5.2.2 Gasringversuch (Stoffbereich G)

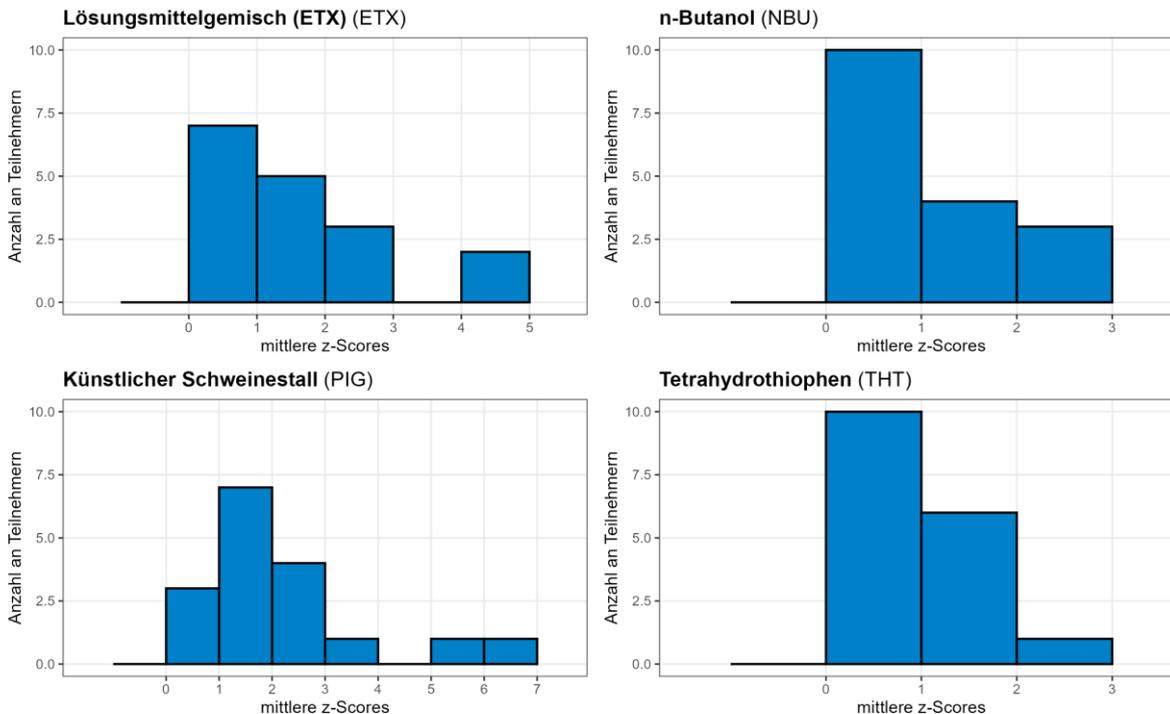
Klassensummen



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

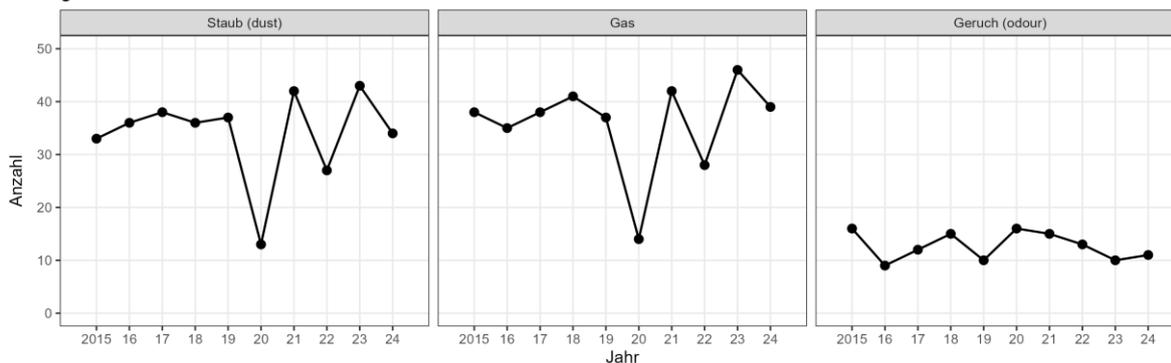
Die Durchführungsbestimmungen von 2019 sehen für den Staub- und den Gasringversuch die Durchführung eines Theorietests vor, der im Rahmen der Ringversuche in Form eines 30-minütigen schriftlichen Tests stattfand. An diesem Theorietest konnte pro Ringversuchsteilnehmer eine Person teilnehmen. Die Inhalte 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 2024 insgesamt 81% aller Teilnehmenden bestanden, der Medianwert betrug wie im Jahr zuvor 23 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte 17 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei 27 Punkten oder mehr.

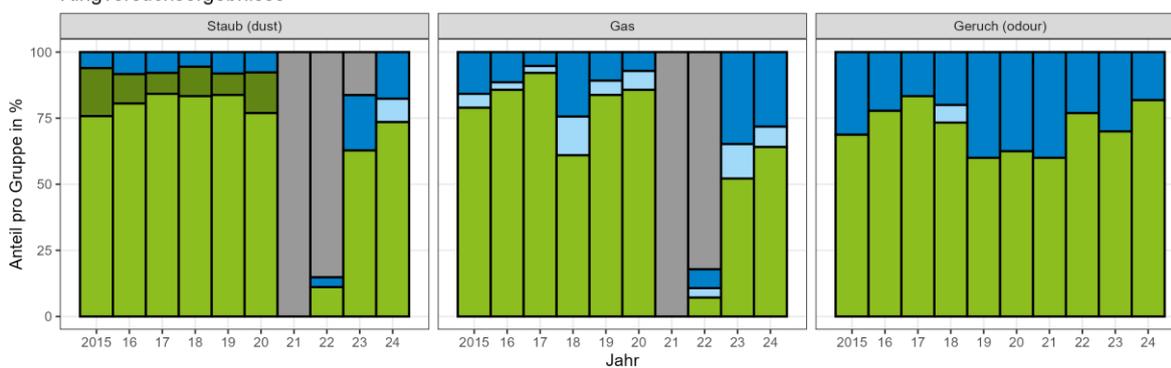
Den Theorietest zum Gasringversuch haben im Jahr 2024 insgesamt 98% aller Teilnehmenden bestanden, der Medianwert betrug hier 25 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte im Theorietest zum Gasringversuch 22 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei 27 Punkten oder mehr.

6. Interpretation der Ergebnisse

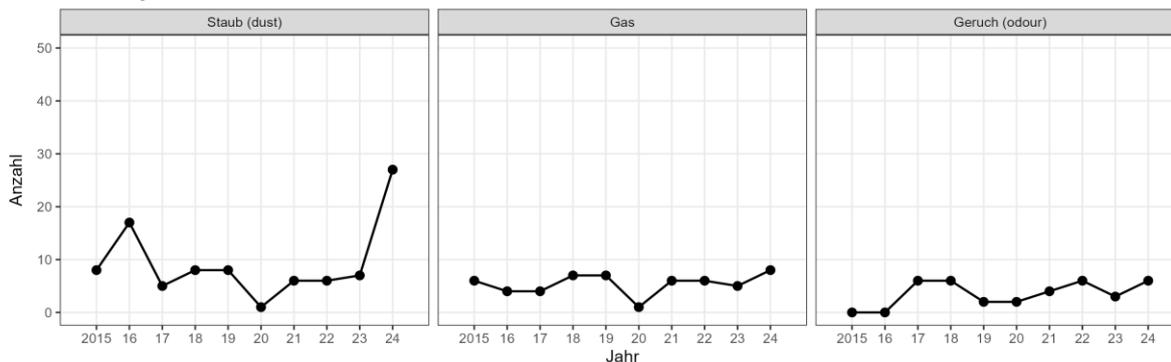
§29b-Messstellen Anzahl Teilnehmer



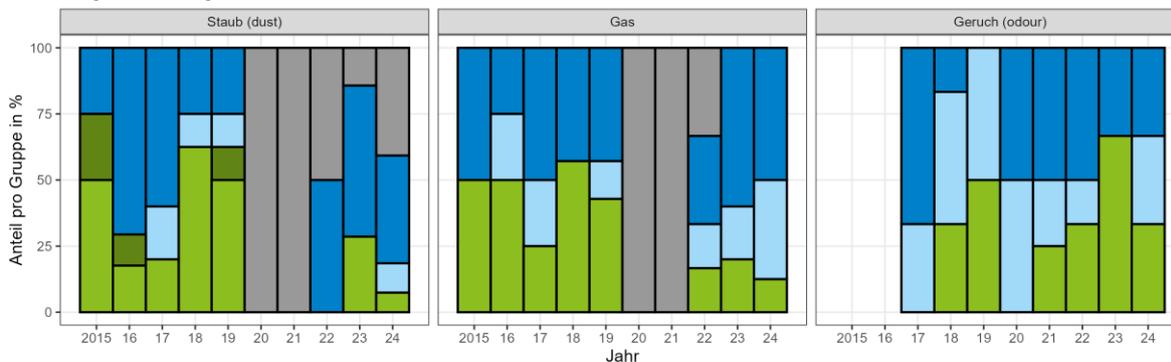
Ringversuchsergebnisse



Freiwillig Anzahl Teilnehmer



Ringversuchsergebnisse



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

Tabelle 8: Tabellarische Übersicht seit 2020 (§29b-Messstellen)

Jahr	Ringversuch	bestanden	bestanden (durch Nachanalyse)	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)	nicht bewertet
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	-	-
2024	Staub	25	-	6	3	-
	Gas	25	-	11	3	-
	Geruch	9	-	2	-	-

Tabelle 9: Tabellarische Übersicht seit 2020 (freiwillige Teilnehmer)

Jahr	Ringversuch	bestanden	bestanden (durch Nachanalyse)	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)	nicht bewertet
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	-	-
2024	Staub	2	-	11	3	-
	Staub (Kurzversion)					11
	Gas	1	-	4	3	-
	Geruch	2	-	2	2	-

6.1 §29b-Messstellen

Insgesamt haben 25 von 34 (74%) der bekanntgegebenen Messstellen den Staubringversuch bestanden. Nicht bestanden haben 6 (18%) bekanntgegebene Messstellen. 3 weitere (8%) haben im Rahmen einer Wiederholungsteilnahme nach einem nicht bestandenen Ringversuch nur einen Teil der Messergebnisse eingereicht, diese aber sämtlich bestanden. Werden diese Teilnehmer, die aus formalen Gründen zu den „nicht bestandenen“ Ringversuchen zählen, außer Acht gelassen, haben somit 81% der bekanntgegebenen Messstellen den Ringversuch bestanden. Die Bestehensquote lag damit über dem Wert von 2023 (75%), und erreichte wieder den Durchschnittswert von ca. 82% aus den Jahren 2016 bis 2020 (vor der SARS-CoV-2-Pandemie).

Den Gasringversuch haben 25 von 39 (64%) der bekanntgegebenen Messstellen bestanden. Nicht bestanden haben 11 (28%) bekanntgegebene Messstellen. 3 weitere (9%) 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 69% der bekanntgegebenen Messstellen den Ringversuch bestanden. Die Bestehensquote lag damit über dem Wert des Vorjahres (60%), aber erneut deutlich unter dem Durchschnittswert aus den Jahren 2016 bis 2020 vor der SARS-CoV-2-Pandemie (ca. 87%).

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 2024 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 2024 deutlich von den Werten der Jahre 2015-2020 ab (siehe Abbildung 7).

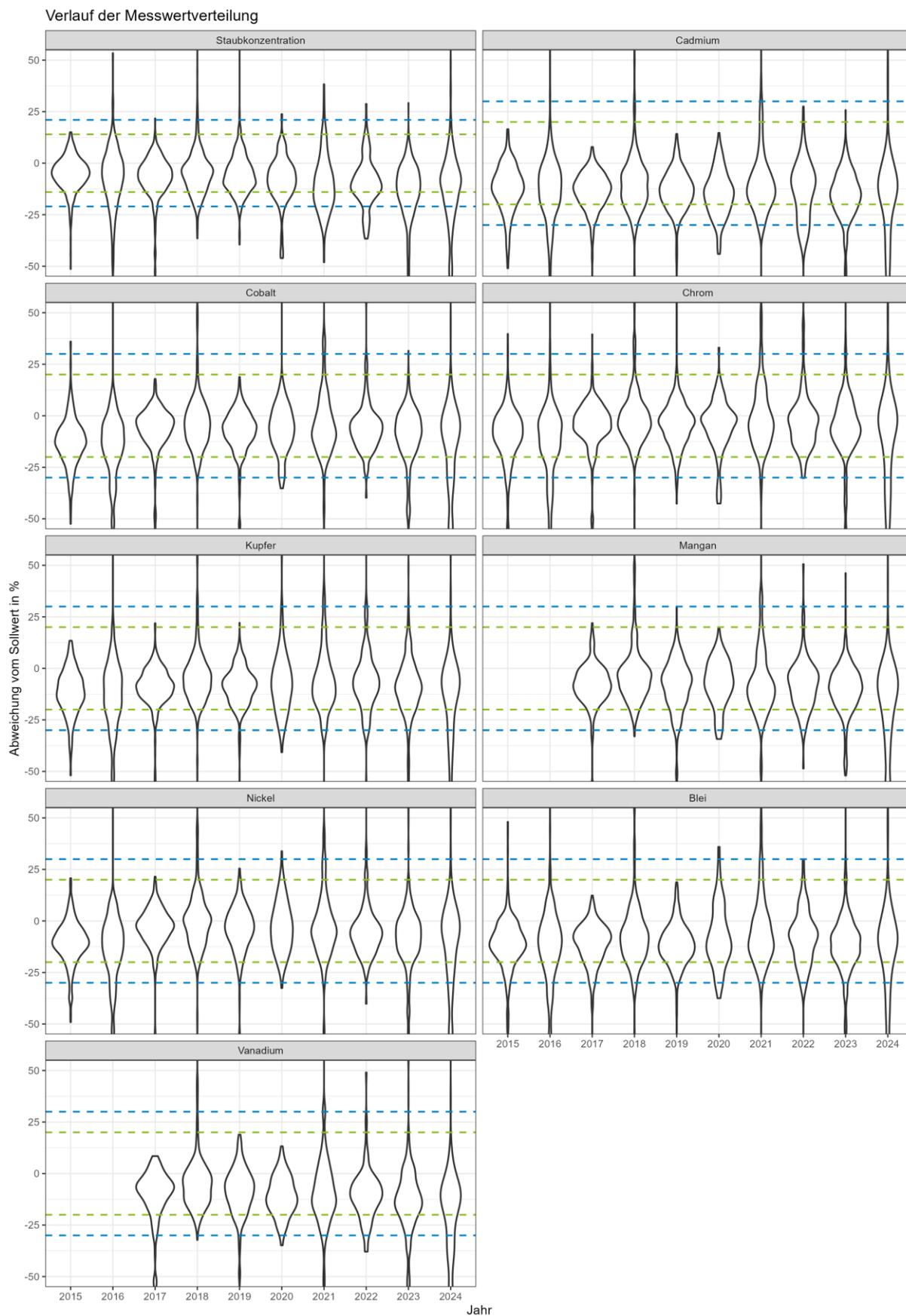


Abbildung 6: Verlauf der Messwertverteilung in den Staubringversuchen 2015-2024 (alle Teilnehmer)

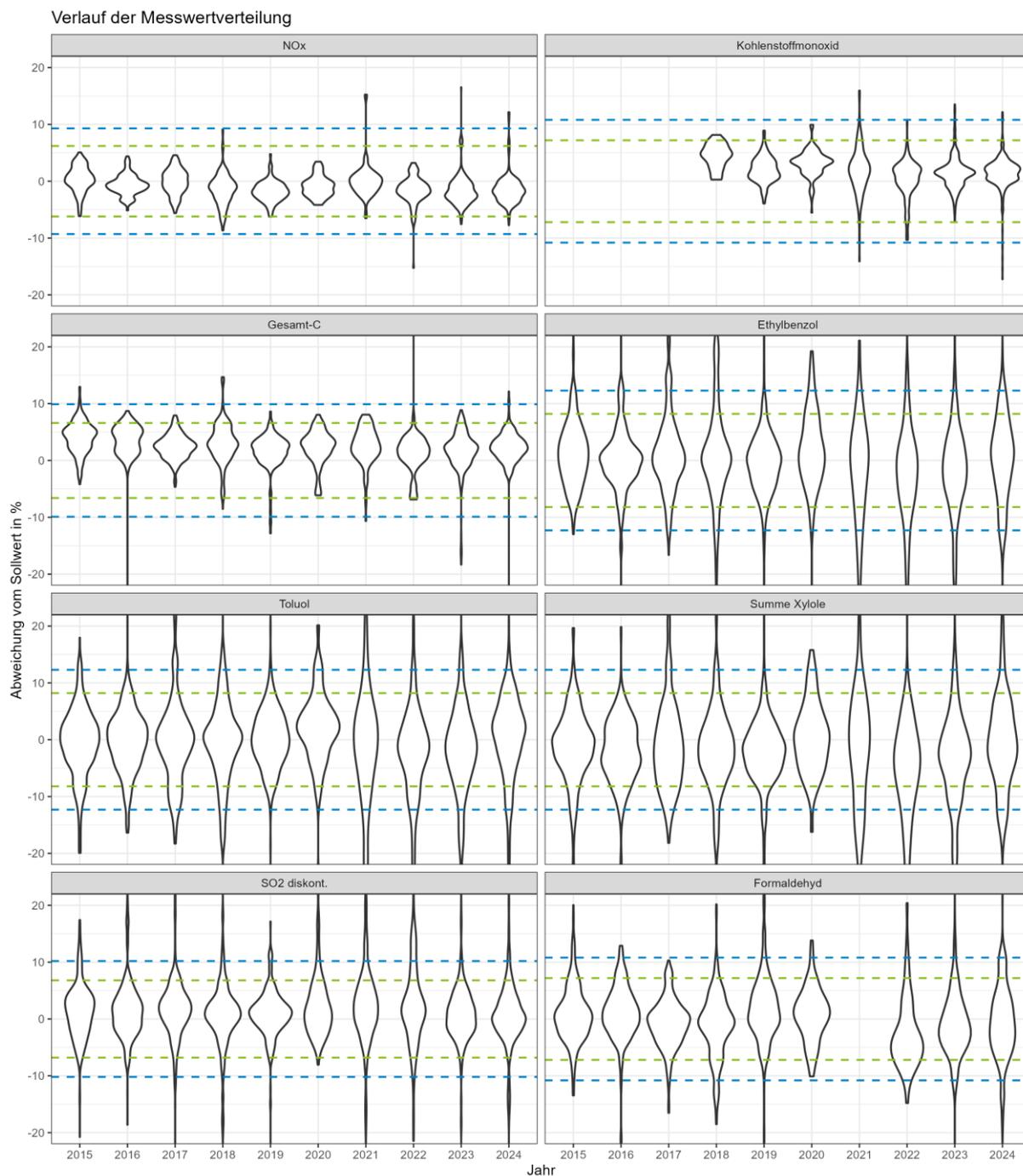


Abbildung 7: Verlauf der Messwertverteilung in den Gasringversuchen 2015-2024 (alle Teilnehmer)

Den Geruchsringversuch haben 2024 insgesamt 9 von 11 bekanntgegebenen Messstellen (82%) bestanden. Die Ergebnisse des Geruchsringversuchs waren damit so gut wie zuletzt im Jahr 2017. 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.

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 2024 gab es beim Staubringversuch jedoch die ungewöhnlich hohe Anzahl von 27 freiwilligen Teilnehmern, davon 11 in der neuen Kurzversion des Staubringversuchs. Beim Gasringversuch gab es 8 freiwillige Teilnahmen und beim Geruchsringversuch 6. 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 2024 insgesamt 2 der 16 freiwilligen Teilnahmen (13%) erfolgreich, 11 (69%) freiwillige Teilnehmer haben den Ringversuch nicht bestanden. Insgesamt 3 (19%) freiwillige Teilnehmer haben die Staubmassen korrekt ermittelt, aber keine Analyse der Schwermetallkonzentrationen durchgeführt. Diese Teilnahmen wurden formal als „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ gewertet. Werden diese außer Acht gelassen, lag die Bestehensquote der freiwilligen Teilnehmer im Staubringversuch dieses Jahr bei 15%. Die 11 Teilnehmer der Kurzversion wurden nicht im Sinne von bestanden/nicht bestanden bewertet.

Beim Gasringversuch hat 1 von 8 (13%) der freiwilligen Teilnehmer den Ringversuch bestanden, 4 (50%) waren nicht erfolgreich. Drei weitere freiwillige Teilnehmer (38%) haben nur ausgewählte Komponenten bestanden, während sie an den übrigen Komponenten nicht teilgenommen haben. Formal werden diese Teilnahmen als „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ gezählt. Werden nur die freiwilligen Teilnehmer betrachtet, die am Gasringversuch in vollem Umfang teilgenommen haben, lag die Bestehensquote bei 20%.

Bei den Geruchsringversuchen haben 2 von 6 freiwilligen Teilnehmern (33%) bestanden, ebenfalls 2 freiwillige Teilnehmer (33%) haben den Ringversuch nicht bestanden. Die übrigen 2 Teilnehmer (33%) haben zwar hinreichend gute Messergebnisse erzielt, haben aber ihre Olfaktometrie nicht innerhalb von 6 Stunden nach der Probenahme abgeschlossen und wurden deshalb als „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ gezählt. Ohne diese zwei Teilnahmen lag die Bestehensquote bei 50%.

6.3 Randbedingungen

Bei jedem Ringversuch sind von den Teilnehmern auch die strömungstechnischen Randbedingungen zu ermitteln und anzugeben. Die im Jahr 2024 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. Die Teilnehmer neigen bei der mittleren Strömungsgeschwindigkeit generell zu erhöhten Messergebnissen (ca. +0,5 m/s). Eine mögliche Erklärung dafür ist zum einen eine unzureichende Abdichtung der Messöffnung während der Messwertaufnahme, was zu einem erhöhten Volumenstrom im Vergleich zum Gesamtzeitraum führt. Es dürfte aber auch eine Rolle spielen, dass die Messung des Volumenstroms in der Regel nur an 4 Punkten bei identischem Radius im Kanalquerschnitt durchgeführt wird. Diese Methode ist zwar normkonform, führt aber nicht zwangsweise zu korrekten Werten, wenn die Strömungsgeschwindigkeit am gewählten Radius nicht exakt dem Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeit im gesamten Kanalquerschnitt entspricht. Die Tendenz zu erhöhten Messergebnissen für den Volumenstrom ist eine direkte Folge der Abweichungen bei der Strömungsgeschwindigkeit, da die letztere Größe aus der ersten berechnet wird. In beiden Fällen sind die beobachteten Abweichungen allerdings meist überschaubar. Bei der Abgasfeuchte (CAH) und beim Statischen Druck (CSP) streuen die Messergebnisse im Vergleich dazu deutlich stärker,

hier 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 2024, sofern nicht anders angegeben.

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 der Regel 6-9 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 relativen Abweichungen 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 Abweichungen 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 2024 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 Sonde und Spülen bei Staubmessungen

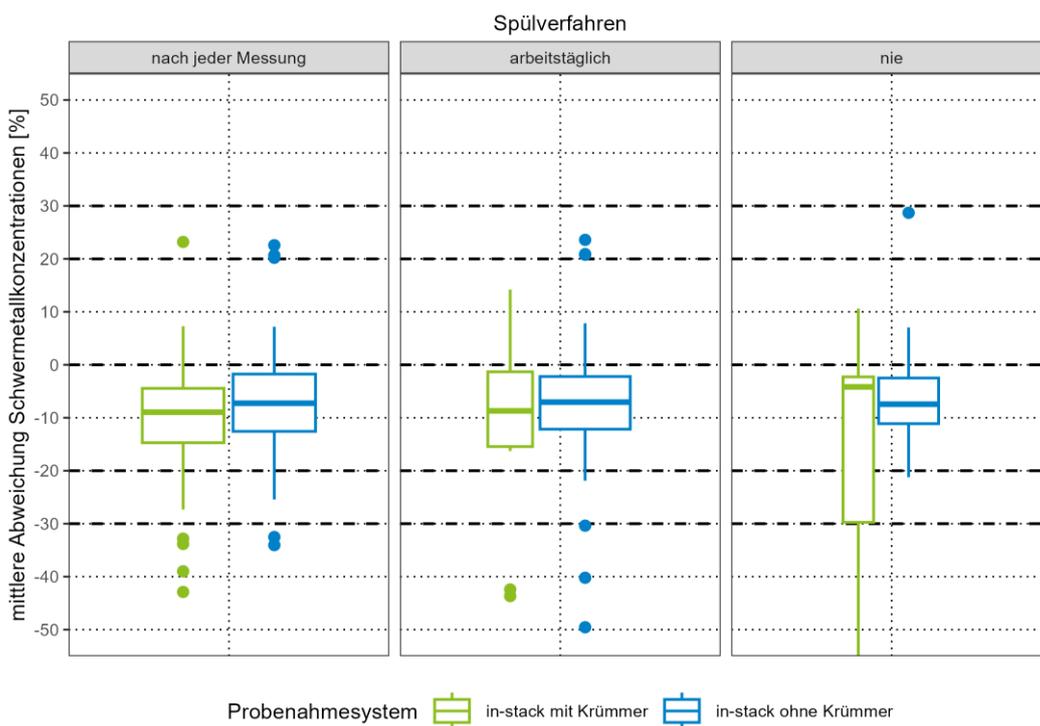
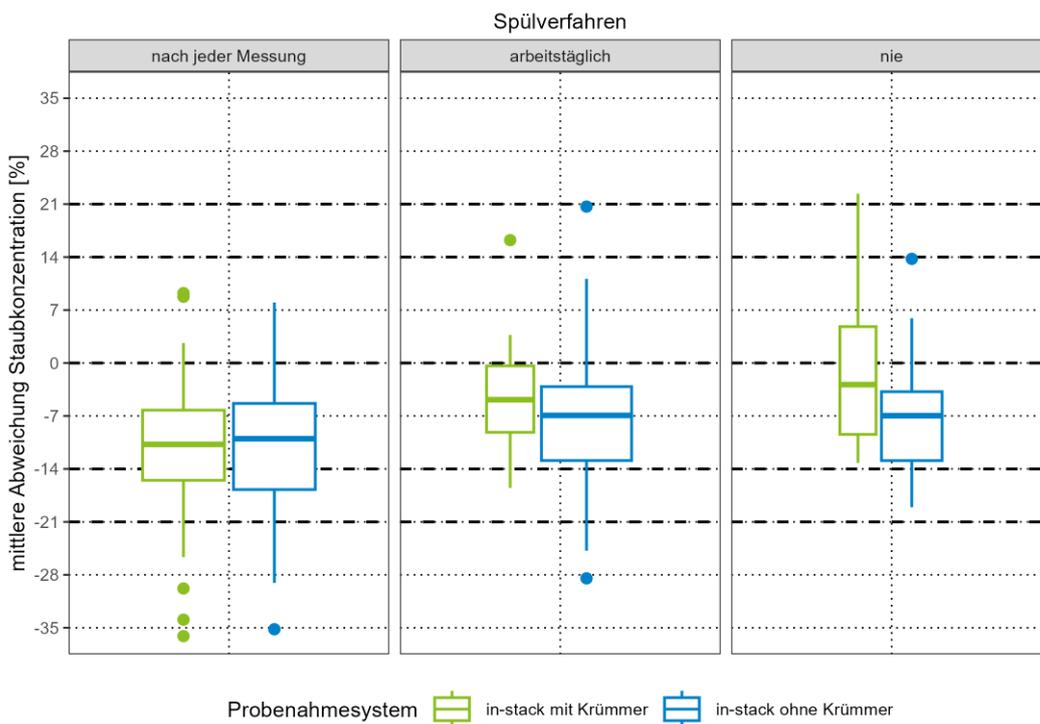
Bei der Korrelation von Sondensystemen und Spülprozeduren teilt sich das Teilnehmerfeld der Staubringversuche in 6 Gruppen auf, je nachdem ob eine in-stack-Sonde mit oder ohne Schwanenhals verwendet wird, und ob diese Sonde nach jeder Probenahme gespült wird, arbeitstäglich, oder nie. Teilnehmer, die angaben, einmal am Ende des Ringversuchs zu spülen, wurden für diese Auswertung 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 218 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 10: Korrelation von Messergebnissen mit Sondensystemen und Spülprozedur (2018-2024)

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	-10,8%	51	-8,9%	50
2 (mitte)		arbeitstäglich	-4,9%*	17*	-8,7%*	15*
3 (rechts)		kein Spülen	-2,9%*	10*	-4,2%*	7*
4 (links)	in-stack ohne Krümmer	nach jeder Messung	-10,0%	51	-7,3%	51
5 (mitte)		arbeitstäglich	-7,0%	61	-7,1%	60
6 (rechts)		kein Spülen	-7,0%	28	-7,4%	27

*Diese Kombination wurde nur von ca. 3-8% 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, wenn nicht nach jeder Messung 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.

Wenn die Daten zusätzlich zur Spülprozedur auch nach dem verwendeten Sondendurchmesser (siehe auch Abschnitt 7.2) eingegrenzt werden, wird der Trend bei den Messergebnissen zum Gesamtstaub zwischen den verschiedenen Sondentypen noch eindeutiger. So selektiert beträgt der mittlere Minderbefund der Staubmessungen für Teilnehmer, die mit einer 10 mm-Düse gearbeitet haben, -9,1% für Kombination 1 (32 Teilnehmer, Sonde mit Krümmer vor dem Filter, die nach jeder Probenahme gespült wird), -9,9% für Kombination 4 (32 Teilnehmer, Sonde ohne Krümmer, die nach jeder Probenahme gespült wird), -8,0% für Kombination 5 (25 Teilnehmer, Sonde ohne Krümmer, die arbeitstäglich gespült wird) und -6,0% für Kombination 6 (20 Teilnehmer, Sonde ohne Krümmer, die nicht gespült wird).

Im Mittel zeigen auch die Ergebnisse der Staubmessungen in den Ringversuchen des Jahres 2024 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).

7.2 Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen

Auf der Grundlage der seit 2016 gesammelten Daten zu den eingereichten Messergebnissen und den Durchmessern der dabei verwendeten Sondenöffnungen (ca. 360 Teilnahmen) lässt sich inzwischen ein Trend ablesen. Der Überwiegende Teil der Teilnehmer (ca. zwei Drittel) verwendet Sondenöffnungen mit 10,0 mm Durchmesser. Die meisten übrigen Teilnehmer lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Ungefähr ein Viertel der Teilnehmer verwendet Sonden mit einem Durchmesser zwischen 8,0 und 9,9 mm. Die meisten übrigen Teilnehmer (weniger als 10%) verwenden trotz der anders lautenden Normvorgabe einen Sondendurchmesser von weniger als 8,0 mm. Im direkten Vergleich zeigt sich, dass die Teilnehmer mit 10 mm-Sonden im Mittel die besten Ergebnisse erzielt haben. Mit Sondendurchmessern zwischen 8 und 10 mm wurden ähnliche Ergebnisse erzielt. Die Ergebnisse unter Verwendung von Sondendurchmessern von weniger als 8 mm liegen allerdings signifikant darunter und weisen eine höhere Streuung auf.

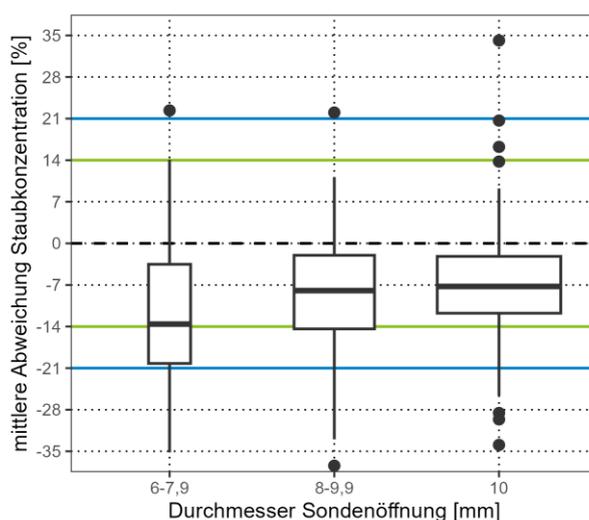


Tabelle 11: Korrelation der mittleren Abweichung der Staubkonzentration vom Sollwert mit dem Sonden-durchmesser (2016-2024)

Durchmesser der Sondenöffnung	6 bis 7,9 mm	8 bis 9,9 mm	10 mm
75. Perzentil	-3,5%	-2,0%	-2,2%
Median	-13,6%	-8,0%	-7,3%
25. Perzentil	-20,2%	-14,4%	-11,8%
Anzahl der Werte	26	95	224

Sondendurchmesser < 6 mm oder > 10 mm wurden von weniger als 18 Teilnehmern (bzw. 5% aller Teilnehmer) genannt und sind hier nicht aufgeführt.

7.3 Analysegeräte für Schwermetalle

Die Angaben der Teilnehmer zum verwendeten Analysegerät für die Schwermetallanalytik lassen kaum Unterschiede zwischen AAS- und ICP-Nutzern erkennen. Insgesamt 37 Teilnehmer gaben an, die Schwermetallanalytik mittels AAS-Geräten durchzuführen, während 294 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 Messergebnisse der ICP-Nutzer stärker als die der AAS-Nutzer.

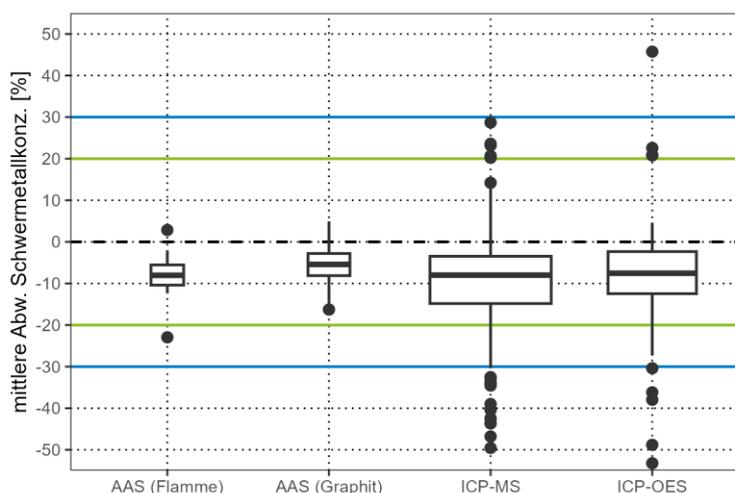


Tabelle 12: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Analysegeräten (2016-2024)

Messgerät	Flammen-AAS	Graphitrohr-AAS	ICP-MS	ICP-OES
75. Perzentil	-5,5%	-2,8%	-3,5%	-2,3%
Median	-8,0%	-5,4%	-8,0%	-7,5%
25. Perzentil	-10,4%	-8,1%	-14,8%	-12,5%
Anzahl der Werte	14	23	192	102

Wird die mittlere Wiederfindung der Schwermetallmesswerte um die mittlere Wiederfindung der Gesamtstaubmesswerte korrigiert, ergibt sich grundsätzlich ein ähnliches Bild. Die Medianwerte der Abweichungen liegen bei dieser Berechnung aber um den Nullwert, was darauf hindeutet, dass die Minderbefunde beim Gesamtstaub der bestimmende Fehler bei den Schwermetallkonzentrationen sind. Diese Beobachtung ist im Grunde keine Überraschung, da die in den Proben fehlende Staubmasse selbstverständlich zu proportionalen Minderbefunden bei den Schwermetallen führen muss. Die wesentliche Erkenntnis ist hier, dass andere Fehlerquellen vermutlich keine große Rolle spielen.

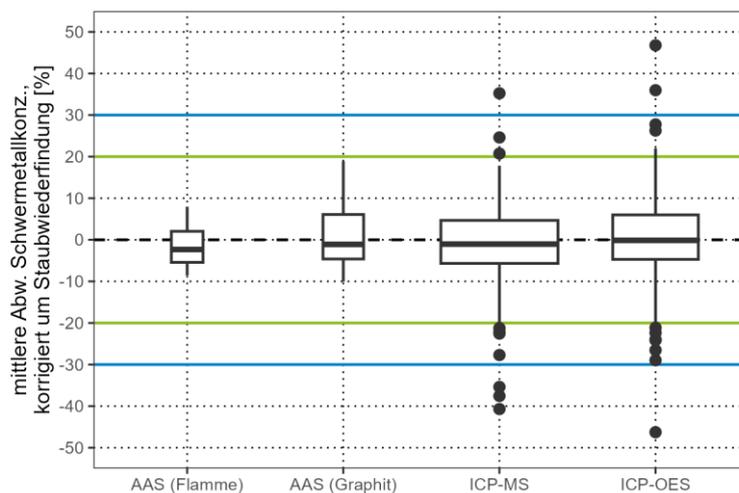


Tabelle 13: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Analysegeräten, jeweils korrigiert um die mittlere Abweichung der Gesamtstaubkonzentration (2016-2024)

Messgerät	Flammen-AAS	Graphitrohr-AAS	ICP-MS	ICP-OES
75. Perzentil	+2,0%	+6,1%	+4,7%	+6,0%
Median	-2,3%	-1,1%	-1,0%	-0,1%
25. Perzentil	-5,4%	-4,6%	-5,7%	-4,7%
Anzahl der Werte	14	23	191	102

7.4 Chemikalien in der Aufschlusslösung

Das Normverfahren stellt Mindestanforderungen zum Aufschluss für die Schwermetallanalytik, allerdings bestehen relativ große Freiräume bei der Zusammensetzung der Aufschlusslösung. Die Teilnehmer werden deshalb seit 2024 gebeten, eine Angabe zu der von ihnen verwendeten Kombination von Chemikalien zu machen. Die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer verwendet die im Normverfahren als Mindestanforderung vorgegebene Kombination aus Fluorwasserstoffsäure (HF) und Salpetersäure (HNO₃), ungefähr die Hälfte davon gibt zusätzlich noch Wasserstoffperoxid (H₂O₂) hinzu. Die Messergebnisse dieser Teilnehmer fallen grundsätzlich ähnlich aus, allerdings scheint die Zugabe von Wasserstoffperoxid zu einer größeren Streuung der Ergebnisse zu führen.

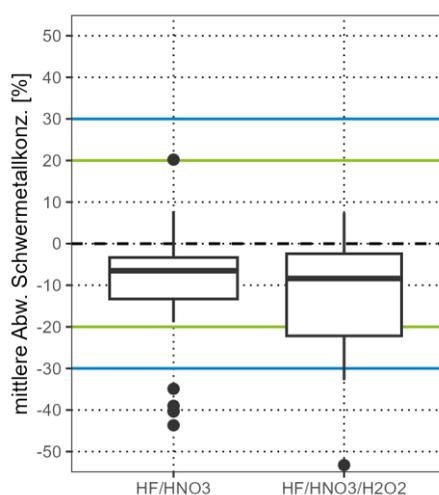


Tabelle 14: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Chemikalien in der Aufschlusslösung (2024)

Chemikalien	HF und HNO ₃	HF, HNO ₃ und H ₂ O ₂
75. Perzentil	-3,3%	-2,4%
Median	-6,5%	-8,4%
25. Perzentil	-13,3%	-22,2%
Anzahl der Werte	26	21

Nur eine kleine Minderheit (3 Teilnehmer, im Diagramm nicht dargestellt) hat bislang angegeben, eine Kombination aus Tetrafluorboronsäure (HBF₄), Salpetersäure (HNO₃) und Salzsäure (HCl) zu verwenden. Die Messergebnisse dieser Gruppe zeigen ungewöhnlich große Abweichungen (im Mittel -43%), allerdings liegen hier nur sehr wenige Daten vor, die zudem nicht von bekannt-gegebenen Messstellen, sondern von freiwilligen Teilnehmern stammen.

Auch für die Aufschlusszusammensetzung wurden die Messergebnisse zusätzlich unter Korrektur um die Abweichungen bei der jeweiligen Gesamtstaubkonzentration ausgewertet. Dabei zeigt sich, ähnlich wie bei der Betrachtung der Analysengeräte, dass die beobachteten Minderbefunde bei den Schwermetallen im Wesentlichen auf die Fehler bei der Staubwiederfindung zurückgeführt werden können.

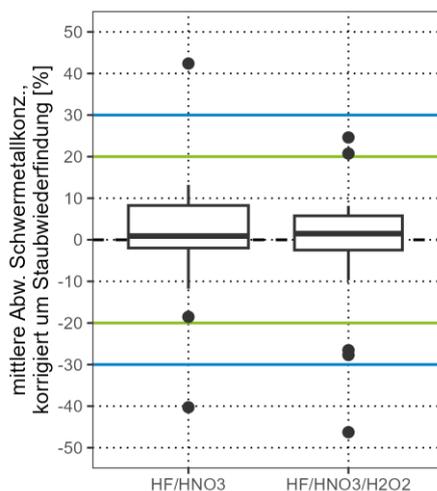


Tabelle 15: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Chemikalien in der Aufschlusslösung, jeweils korrigiert um die mittlere Abweichung der Gesamtstaubkonzentration (2024)

Chemikalien	HF und HNO ₃	HF, HNO ₃ und H ₂ O ₂
75. Perzentil	+8,3%	+5,8%
Median	+0,9%	+1,5%
25. Perzentil	-2,0%	-2,5%
Anzahl der Werte	26	21

Für die drei Teilnehmer, die für den Aufschluss eine Kombination aus Tetrafluorboronsäure (HBF₄), Salpetersäure (HNO₃) und Salzsäure (HCl) verwendet haben, ergibt sich allerdings auch bei einer Korrektur um die Wiederfindung der Gesamtstaubkonzentrationen noch immer ein mittlerer Minderbefund von -19%.

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.

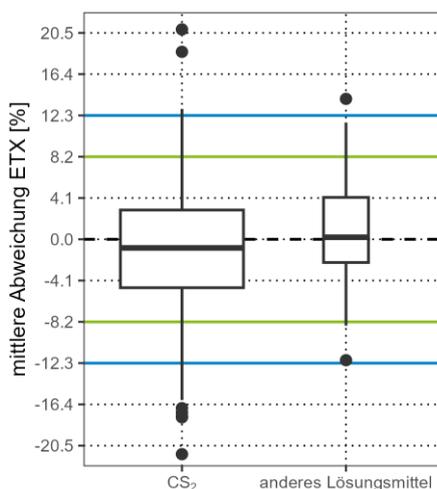


Tabelle 16: Korrelation der mittleren Abweichung der ETX-Messergebnisse mit dem Desorptions-Lösungsmittel (2016-2024)

Desorptionsmittel	CS ₂	Anderes Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemisch
75. Perzentil	+2,9%	+4,2%
Median	-0,9%	+0,2%
25. Perzentil	-4,8%	-2,3%
Anzahl der Werte	278	37

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:

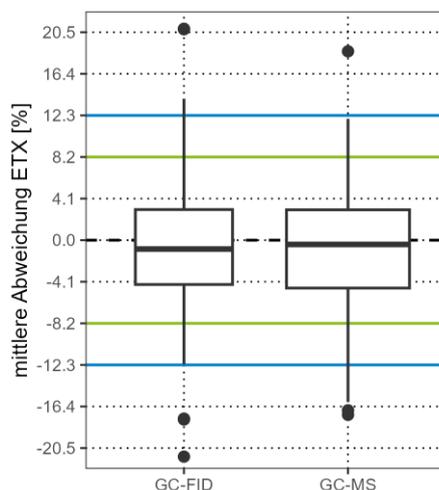


Tabelle 17: Korrelation der mittleren Abweichung der ETX-Messergebnisse mit Analysengeräten (2016-2024)

Messgerät	GC-FID	GC-MS
75. Perzentil	+3,0%	+3,0%
Median	-0,9%	-0,4%
25. Perzentil	-4,4%	-4,7%
Anzahl der Werte	121	166

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

Insgesamt scheint es einen Tend hin zur Analytik mit GC-MS-Geräten zu geben. Im Zeitraum 2016-2019 haben noch 41% der Teilnehmer angegeben, mit einem GC-FID zu arbeiten. Im Zeitraum 2020-2024 war dies nur noch bei 36% der Teilnehmer der Fall.

Auffällig ist hier, dass es bei den Teilnehmern, die GC-MS-Detektoren verwenden, in letzter Zeit offenbar zu einer Verschlechterung der Messergebnisse gekommen ist. Das 25. Perzentil (also das untere Viertel der Ergebnisse) für GC-MS-Anwender liegt bei -7,2%, wenn nur die Ergebnisse seit 2020 ausgewertet werden, die übrigen Mediane und Perzentile ändern sich hingegen kaum. Für die Messergebnisse im Zeitraum 2016-2019 lag das 25. Perzentil noch bei -3,2%. Ursache für diese Differenz sind eine Reihe von ungewöhnlich großen Minderbefunden, die in den letzten Jahren in die Ergebnisstatistik eingegangen sind. Nicht untersucht wurde, ob es sich dabei um eine Verschlechterung bei Teilnehmern handelt, die schon lange mit GC-MS-Geräten arbeiten, oder um Teilnehmer, die erst kürzlich von GC-FID auf GC-MS umgestiegen sind.

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:

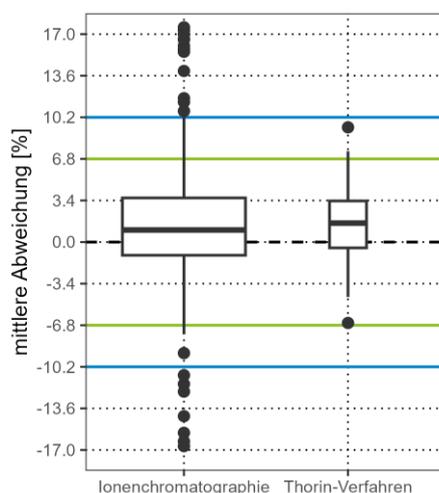


Tabelle 18: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwefeldioxid-Messergebnisse vom Sollwert mit dem verwendeten Analyseverfahren (2016-2024)

Bestimmungsmethode	Ionenchromatographie	Thorin-Verfahren
75. Perzentil	+3,6%	+3,4%
Median	+1,0%	+1,5%
25. Perzentil	-1,1%	-0,5%
Anzahl der Werte	299	27

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 und sind deshalb im folgenden Diagramm dargestellt. Aus den Angaben der Teilnehmer ergibt sich somit folgendes Bild:

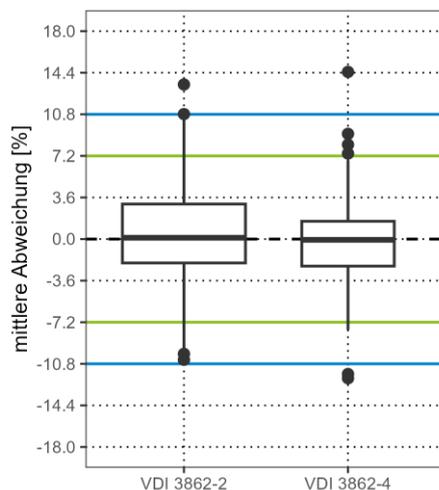


Tabelle 19: Korrelation der mittleren Abweichung der Formaldehyd-Messergebnisse vom Sollwert mit den verwendeten Richtlinien (2016-2024)

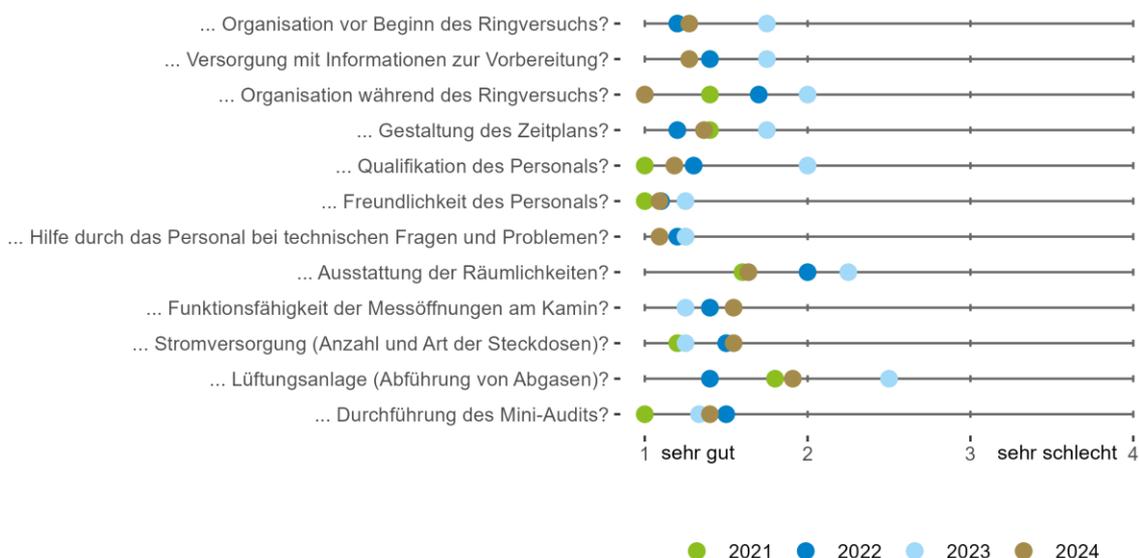
Richtlinie (Bestimmungsmethode)	VDI 3862 Blatt 2 (DNPH Waschflaschen)	VDI 3862 Blatt 4 (AHMT-Verfahren)
75. Perzentil	+3,0%	+1,5%
Median	+0,1%	-0,1%
25. Perzentil	-2,1%	-2,3%
Anzahl der Werte	138	78

Das DNPH-Waschflaschen-Verfahren liefert offenbar im Mittel vergleichbar gute Werte wie 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 11 Rückmeldungen. In den eingegangenen Feedbacks zeigte sich auch 2024 eine insgesamt hohe Zufriedenheit der Teilnehmer mit der Ringversuchsdurchführung. Besonders zufrieden waren die Teilnehmer mit der Organisation während des Ringversuchs (mittlere Note: 1,0), mit der Freundlichkeit des Personals sowie mit den Hilfestellungen durch das Personal bei technischen Fragen und Problemen (mittlere Note: jeweils 1,1). Die im Vergleich schlechtesten Bewertungen gab es, wie schon im letzten Jahr, zur Lüftungsanlage (mittlere Note: 1,9) und zur Ausstattung der Räumlichkeiten (mittlere Note: 1,6).

Ein Teilnehmer beschwerte sich darüber, dass der Türcode die meiste Zeit über nicht funktioniert habe. Hier gab es offenbar ein technisches Problem mit einer klemmenden Zifferntaste, die zu wiederholten Fehleingaben führte.

Ein anderer Teilnehmer merkte an, dass die Durchführung der Formaldehydmessungen am Donnerstag für Teilnehmer mit weiten Fahrwegen problematisch sei, wenn nach dem AHMT-Verfahren die Analyse innerhalb von 48 h erfolgen muss. Diese Messungen wurden allerdings gerade aus diesem Grund auf den Donnerstag gelegt, da die wenigsten Teilnehmer Kapazitäten haben, um die Proben während des laufenden Ringversuchs ins Labor bringen zu lassen. Die Proben können nach den Messungen am Donnerstag entweder Donnerstagabends oder Freitagmorgens von den Probenehmern persönlich im Labor abgeliefert werden. Mit einem Messbeginn am Donnerstag um ca. 9:30 Uhr muss die Analyse für das AHMT-Verfahren für die ersten Proben am Samstag um 10:00 Uhr abgeschlossen sein. Bei den üblichen Fahrwegen unserer Teilnehmer gehen wir davon aus, dass die Proben realistischerweise am Freitag bis 12:00 Uhr das Labor erreichen und im Laufe des Freitagnachmittags aufgearbeitet und ausgewertet werden können. Wenn die Formaldehydmessungen im Ringversuch auf den Mittwoch vorverlegt würden, hätten einige wenige Messstellen einen Vorteil, wenn die Proben per Kurier ins Labor

transportiert werden. Die Proben müssten in diesem Fall bis Freitagmorgens ausgewertet werden. Die Arbeitszeiten im Labor würden sich daher im Wesentlichen von Freitag auf Donnerstag verschieben. Alle übrigen Teilnehmer hätten plötzlich das Problem, dass ein Transport durch die Probenehmer nicht mehr praktikabel ist. Höchstens bei einer Rückfahrt am Donnerstagabend könnten die Proben am Freitagmorgen unter Zeitdruck bearbeitet werden. Eine Rückfahrt am Freitag käme hier auf keinen Fall mehr in Frage. Für die meisten Teilnehmer wäre somit eine Verlegung der Formaldehydmessungen von Donnerstag auf Mittwoch die schlechtere Alternative.

Ein Teilnehmer im Geruchsringversuch forderte, dass das HLNUG eine Pumpe für die Entleerung der Probenahmebeutel bei der Konditionierung bereitstellen solle. Wir stellen im Ringversuch allerdings nur die Emissionsquelle bereit, sämtliche Aspekte der Probenahme liegen in der Verantwortung der Teilnehmer. Dies schließt auch alle Geräte mit ein, die am Ort der Probenahme durch den Betreiber der Anlage üblicherweise nicht bereitgestellt werden.

Kritik gab es außerdem daran, dass trotz der relativ hohen Teilnahmegebühren für die Teilnehmer kein kostenloser Kaffee angeboten wird. Aus rein finanzieller Sicht stimmen wir da vollkommen zu, allerdings ergibt sich hier leider eine Schwierigkeit aus der Tatsache, dass das HLNUG kein privatwirtschaftliches Unternehmen, sondern eine Behörde ist. Nach der Rechtsauslegung unserer Verwaltung sind die bekanntgegebenen Messstellen durch gesetzliche Regelungen dazu verpflichtet, an unserem Ringversuch teilzunehmen. Da die Teilnahme somit zumindest für diese Firmen keine freie Entscheidung ist, dürfen die Gebühren dafür keine Dienstleistungen beinhalten, die für die Zweckerfüllung nicht zwingend erforderlich sind. Wir können deshalb nach dieser Auslegung nicht einmal einen kleinen Teil der Gebühren verwenden, um den Teilnehmern vor Ort Kaffee oder andere Getränke zu spendieren. Sofern die Bereitstellung von Getränken für die Teilnehmer gewünscht ist, muss deshalb ein anderer Weg der Finanzierung gefunden werden.

Ein anderer Teilnehmer wies darauf hin, dass die Bewertungskriterien im Gasringversuch teilweise deutlich anspruchsvoller seien als die Mindestanforderungen an die Messunsicherheit gemäß 17. BImSchV. Dazu ist zu sagen, dass die verschiedenen Standardreferenzverfahren bezüglich der Messunsicherheit lediglich Mindestanforderungen formulieren. Die Bewertungskriterien in unserem Ringversuch orientieren sich allerdings an den Erwartungen der bekanntgebenden Behörden sowie der zuständigen übergeordneten Umweltbehörden. Für die Überwachung der Emissionen in Deutschland wird erwartet, dass die dafür erforderlichen Messungen nach dem aktuellen Stand der Technik durchgeführt werden. Bei fachkundiger Durchführung und Verwendung von sachgerechter Ausrüstung werden für die meisten Verfahren Messunsicherheiten erreicht, die deutlich besser sind als die Mindestanforderungen der Norm. Dies spiegelt sich dementsprechend auch in den Bewertungskriterien unserer Ringversuche wieder.

Als zusätzliche Komponenten wurden HCl, HF, Quecksilber und deutlich höhere Wasserdampfkonzentrationen vorgeschlagen. An erhöhten Feuchtekonzentrationen arbeiten wir bereits. HCl, HF und Quecksilber lassen sich allerdings nicht so leicht in unser Ringversuchsprogramm integrieren. Sofern der Wunsch, diese Komponenten ins Programm aufzunehmen in Zukunft aber häufiger aufkommen sollte, kann eine Umsetzung an der ESA geprüft werden.

8. Schlussbemerkung

Die Messergebnisse in den Staub- und Gasringversuchen haben sich 2024 im Vergleich zum Jahr 2023 generell verbessert. Für viele Komponenten sind die Messergebnisse aber noch immer schlechter als in den Jahren vor der SARS-CoV-2-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 2024 insgesamt erneut deutlich bessere Ergebnisse als in den Jahren 2019 bis 2021, die Bestehensquote lag hier ähnlich wie 2022 und 2023 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.

Bei der letzten Überarbeitung der Durchführungsbestimmungen für unsere Staub- und Gasringversuche im Jahr 2019 hatten wir angestrebt, die Anzahl der bewerteten Messungen von 9 auf 6 zu reduzieren. Unserer Erfahrung nach wird das Gesamtergebnis durch die Streichung von 3 Messungen nicht beeinflusst. Die nicht erfolgreichen Teilnahmen zeichnen sich fast immer durch systematische Fehler aus, die unabhängig von der Anzahl der Messungen auftreten. Für das Messpersonal hätte diese Verkürzung den Vorteil einer deutlichen Entspannung des Zeitplans mit sich gebracht, der z.B. eine Anreise am Sonntag überflüssig gemacht hätte. Leider scheiterte dieses Anliegen am entschiedenen Widerstand durch Interessenvertreter der Messstellen. Um zumindest für die freiwilligen Teilnehmer ein besseres Ringversuchsangebot möglich zu machen, haben wir das ursprünglich für alle Messstellen geplante Programm inzwischen als „Kurzversion“ des Staub- und Gasringversuchs weiterentwickelt. Diese auf 6 bewertete Messungen gekürzte Version des Ringversuchs wird inzwischen für diejenigen Teilnehmer angeboten, die keine Bekanntgabe nach der 41. BImSchV anstreben. Diese Kurzversion wird mit Messungen nur von Dienstag bis Donnerstag geplant, der Montag und Freitag stehen damit vollständig für die An- und Abreise zur Verfügung. Da die Kurzversion nicht die Anforderungen der LAI-Durchführungsbestimmungen erfüllt und damit nicht für eine Bekanntgabe nach 41. BImSchV verwendbar ist, hat dieses neue Programm leider keinen Nutzen für den Großteil unserer Teilnehmer, die bekanntgegebenen Messstellen. Wir beobachten allerdings in letzter Zeit ohnehin ein verstärktes Interesse an unseren Ringversuchen aus Ländern wie Österreich, Italien und Griechenland. Diese Messinstitute streben in der Regel keine Bekanntgabe in Deutschland an und dürften durchaus an einem gekürzten Ringversuchsprogramm interessiert sein.

Kassel, 27. März 2025

gez. J. Cordes

Dr. Jens Cordes

Fachlich Verantwortlicher
Ringversuche

gez. B. Stoffels

Benno Stoffels

Stellv. Fachlich Verantwortlicher
Ringversuche

gez. D. Wildanger

Prof. 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