

Jahresbericht 2025

Ergebnisse der Emissionsringversuche
der Stoffbereiche P, G und O an der
Emissionssimulationsanlage im Jahr 2025

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	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	39

6.3	Randbedingungen	40
7.	Freiwillige Angaben der Teilnehmer	40
7.1	Sonde und Spülen bei Staubmessungen	41
7.2	Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen.....	43
7.3	Analysegeräte für Schwermetalle	44
7.4	Chemikalien in der Aufschlusslösung.....	48
7.5	Lösungsmittel zur Desorption von ETX.....	50
7.6	Gaschromatographie Detektoren	51
7.7	Schwefeldioxid.....	52
7.8	Formaldehyd	53
7.9	Feedback der Teilnehmer	54
8.	Schlussbemerkung	56
9.	Literaturverzeichnis	57

1. Zusammenfassung

An den Staub-Emissionsringversuchen (Stoffbereich P) des HLNUG nahmen im Jahr 2025 insgesamt 54 Messinstitute teil, davon waren 41 Teilnehmer §29b-Messstellen und 13 Freiwillige, davon wiederum 9 im Standard-Staubringversuch und 4 in der Kurzversion. Die Erfolgsquote im Standard-Staubringversuch lag bei den §29b-Messstellen (89%) wie in der Vergangenheit deutlich höher als bei den freiwilligen Teilnahmen (56%).

An den Gas-Emissionsringversuchen (Stoffbereich G) nahmen 2025 insgesamt 53 Messinstitute teil, davon waren 46 Teilnehmer §29b-Messstellen und 7 Freiwillige, davon wiederum 4 im Standard-Gasringversuch und 3 in der Kurzversion. Die Erfolgsquote war hier bei den §29b-Messstellen (64%) anders als in den Jahren zuvor deutlich niedriger als bei den Freiwilligen (100%) im Standard-Gasringversuch.

An den Geruchs-Emissionsringversuchen (Stoffbereich O) nahmen 2025 insgesamt 15 Messstellen teil, von denen 9 aufgrund einer Bekanntgabe nach §29b BImSchG und 6 freiwillig teilnahmen. In beiden Gruppen waren 67% der Teilnahmen 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.

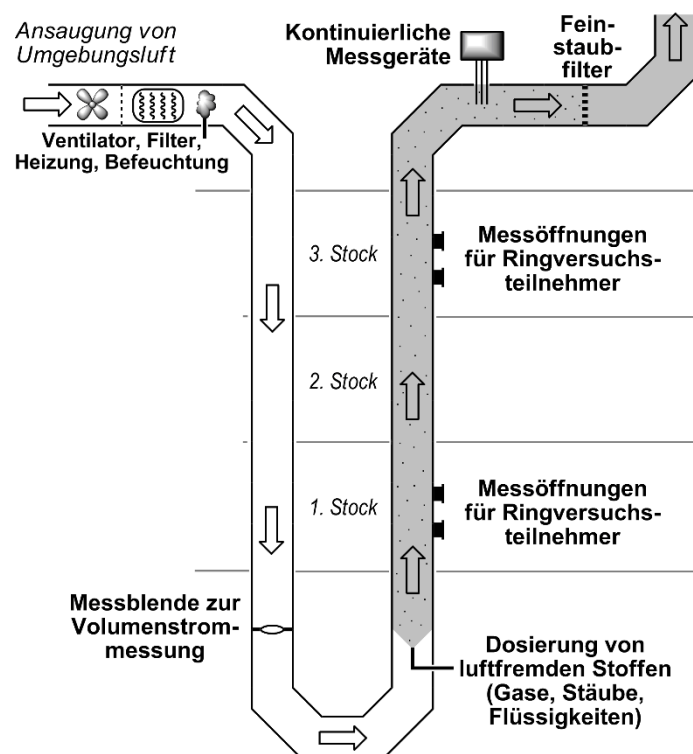


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ESA des HLNUG in Kassel

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 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 kontinuierlich messende Gasanalysatoren durchgehend überwacht.

3. Organisatorische Informationen

Im Jahr 2025 wurden folgende Ringversuche der Stoffbereiche P, G und O durchgeführt:

Tabelle 1: Emissionsringversuche des HLNUG

Ringversuch	Art	Start	Ende	Teilnehmer
25P1	Staub	10.02.2025	11.02.2025	7
25G1	Gas	11.02.2025	13.02.2025	7
25P2	Staub	24.02.2025	25.02.2025	7
25G2	Gas	25.02.2025	27.02.2025	8
25P3	Staub	10.03.2025	11.03.2025	8
25G3	Gas	11.03.2025	13.03.2025	8
25P4	Staub	24.03.2025	25.03.2025	8
25G4	Gas	25.03.2025	27.03.2025	8
25P5	Staub	05.05.2025	06.05.2025	8
25G5	Gas	06.05.2025	08.05.2025	6
25O1	Geruch	15.09.2025	16.09.2025	3
25O2	Geruch	17.09.2025	18.09.2025	6
25O3	Geruch	22.09.2025	23.09.2025	5
25O4	Geruch	24.09.2025	24.09.2025	1
25P11	Staub Kurzversion	28.10.2025	28.10.2025	4
25G11	Gas Kurzversion	29.10.2025	30.10.2025	3
25P6	Staub	03.11.2025	04.11.2025	7
25G6	Gas	04.11.2025	06.11.2025	7
25P7	Staub	17.11.2025	18.11.2025	5
25G7	Gas	18.11.2025	20.11.2025	6

Diese Ringversuche wurden unter folgenden Randbedingungen geplant und durchgeführt (siehe dazu auch Durchführungsbestimmungen zu Stoffbereich P und Stoffbereich G von Mai 2019 und zu Stoffbereich O von Juni 2024):

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	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	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 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 Abschnitt 4.5.2 in den Tabellen 5 bis 7 zu finden. Genaue Angaben sind in den Ergebnismitteilungen zu den einzelnen Ringversuchsteilnahmen enthalten.

4.4 Messverfahren

In allen Ringversuchen müssen die Teilnehmer ihre Messungen unter Berücksichtigung von DIN EN 15259 (9) durchführen. Dabei sind auch die strömungstechnischen 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

Staub- und Gasringversuch

Die Auswertung der Ring Versuchsergebnisse 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.

Geruchsringversuch

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.

Neben *n*-Butanol wurden in den Ringversuchen im Jahr 2025 die Komponenten Lösungsmittelgemisch (ETX), Tetrahydrothiophen (THT) und künstlicher Schweinestall (PIG) eingesetzt. Der Geruchsschellenwert $c_{0,k}$ konnte für diese Komponenten nach Schema a) ermittelt werden. Für ETX ergab sich dabei aus 192 Einzelmessungen aus den Jahren 2020 bis 2024 ein Konsenswert von $c_0 = 196 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Für die Komponente THT wurde aus 192 Einzelmessungen aus den Jahren 2020 bis 2024 ein Konsenswert von $c_0 = 0,517 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. Für die Komponente PIG ergab sich aus 150 Einzelmessungen aus den Jahren 2021 bis 2024 ein Konsenswert von $c_0 = 214 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sofern die gemäß DIN ISO 13528 (7) berechnete relative Unsicherheit des wahren Wertes u_k für eine Komponente (außer *n*-Butanol) einen Wert ergibt, mit dem bei $\sigma_k = 0,16$ 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 2025 für keine der Komponenten erforderlich.

4.5.2 Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer

Die Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer (Präzisionsvorgaben) σ_k wurden als Werte aus Erkenntnissen gemäß Abschnitt 8.2 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	1,85
P3	Cobalt	Co	10,0	1,81
P4	Chrom	Cr	10,0	1,85
P5	Kupfer	Cu	10,0	1,98
P6	Mangan	Mn	10,0	1,96
P7	Nickel	Ni	10,0	1,85
P8	Blei	Pb	10,0	1,75
P9	Vanadium	V	10,0	1,96

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	0,16	4,64
O3	Tetrahydrothiophen	THT	0,16	3,71
O4	Künstlicher Schweinestallgeruch	PIG	0,16	8,01

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.

Staub- und Gasringversuch

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:

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

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.

Geruchsringversuch

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 Staubringversuch (Stoffbereich P)

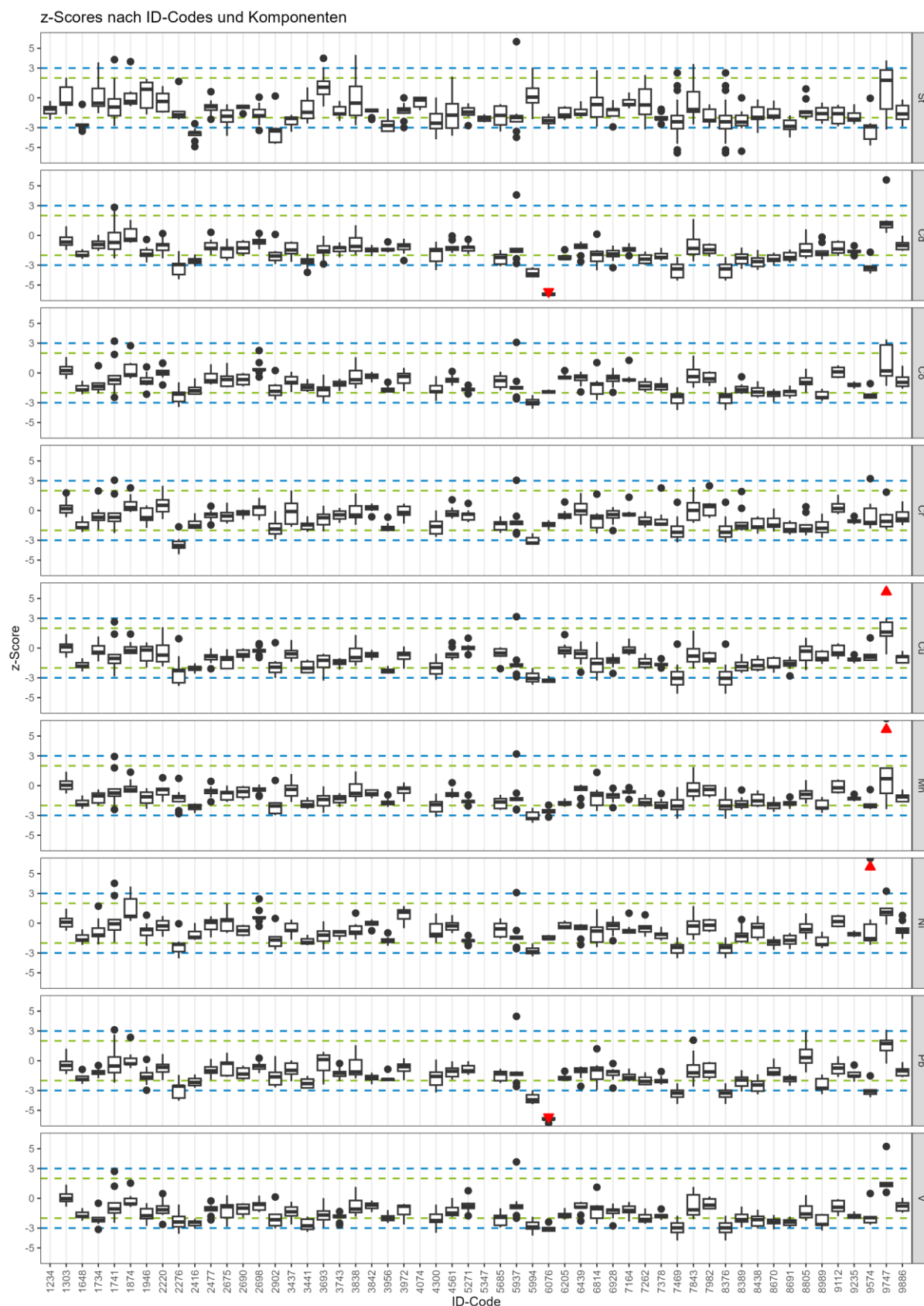
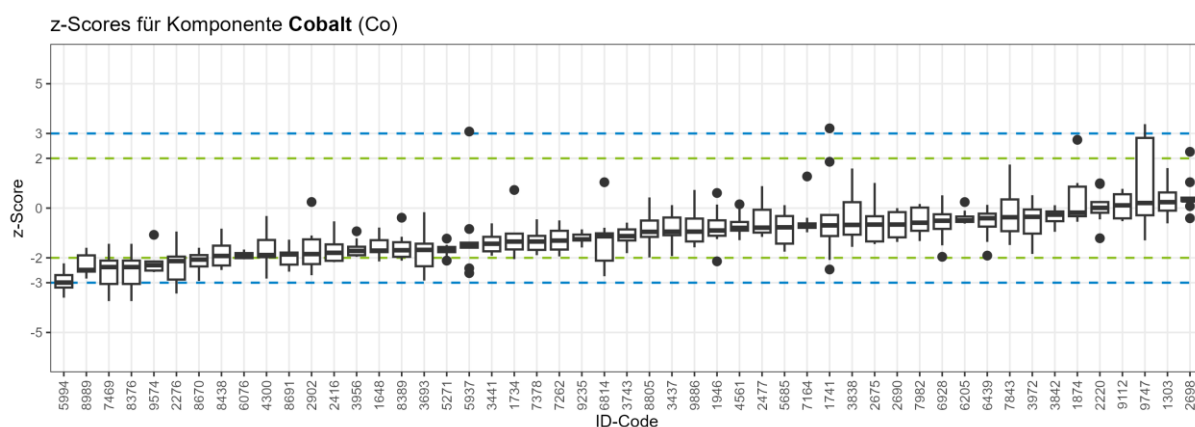
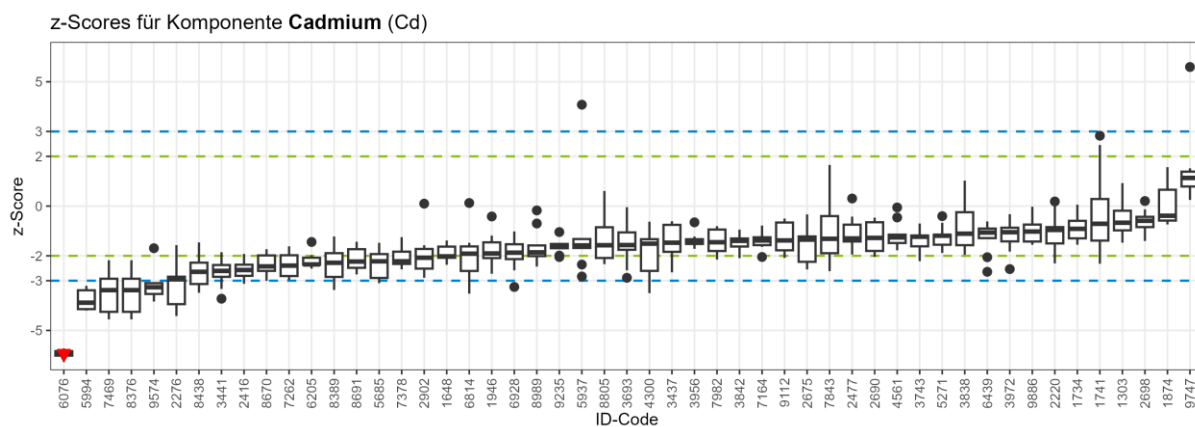
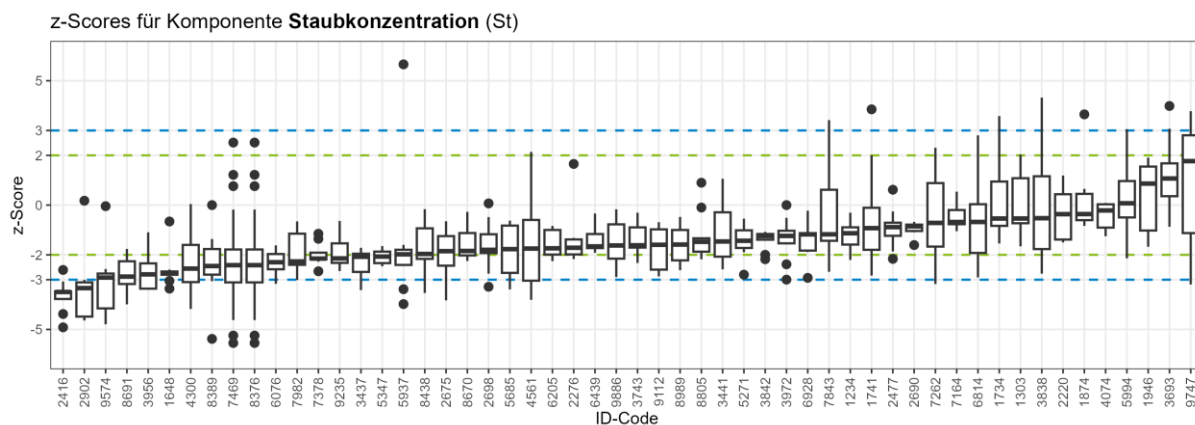
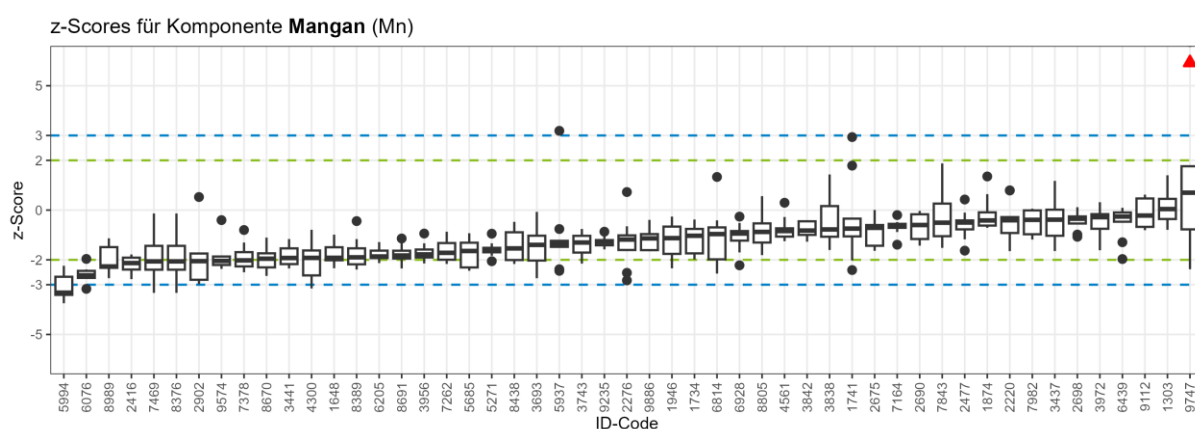
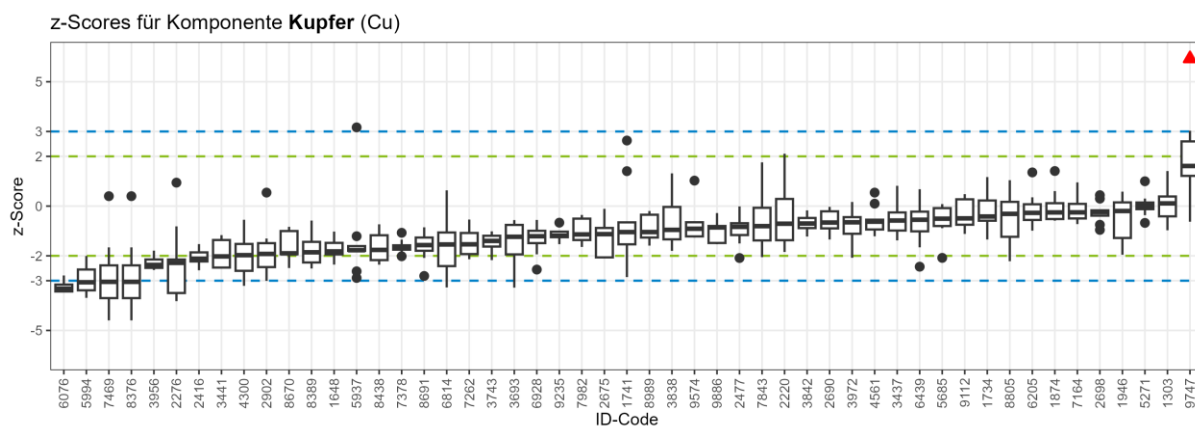
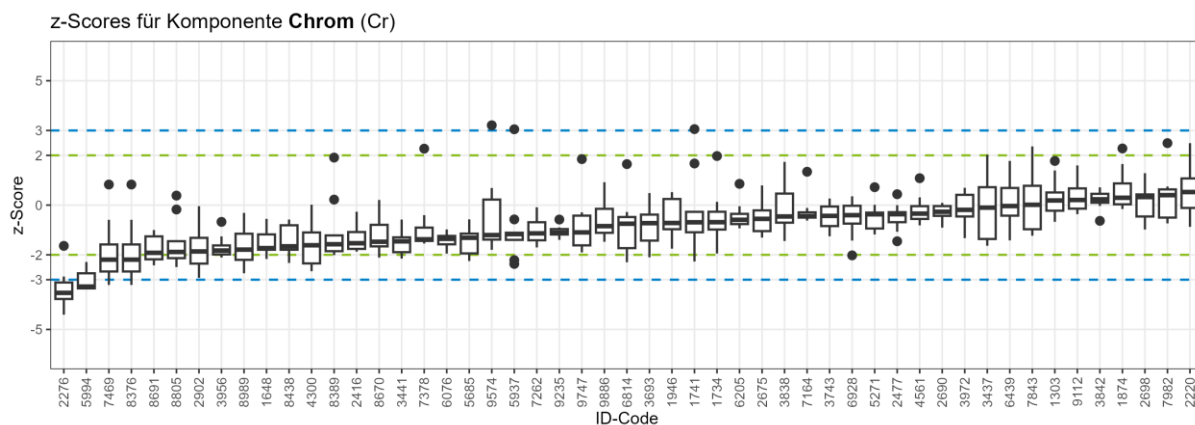
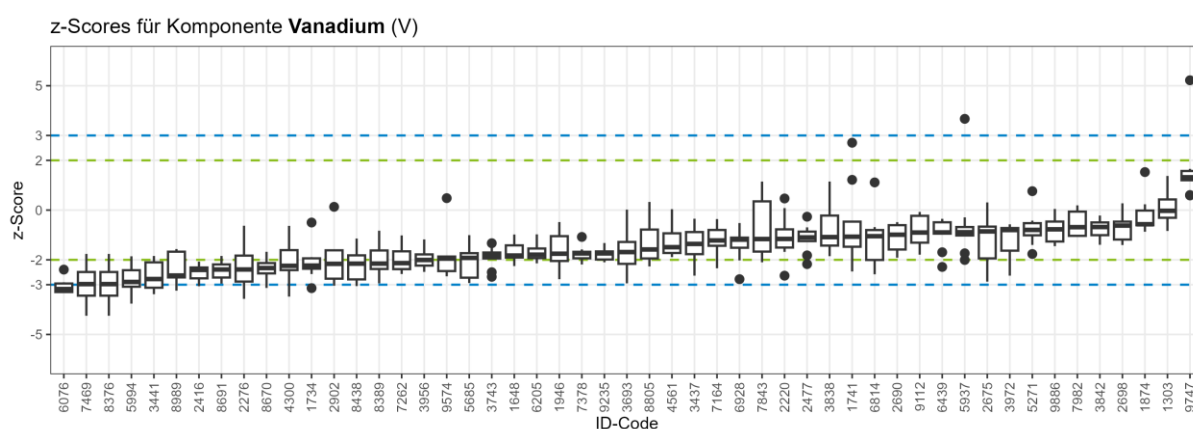
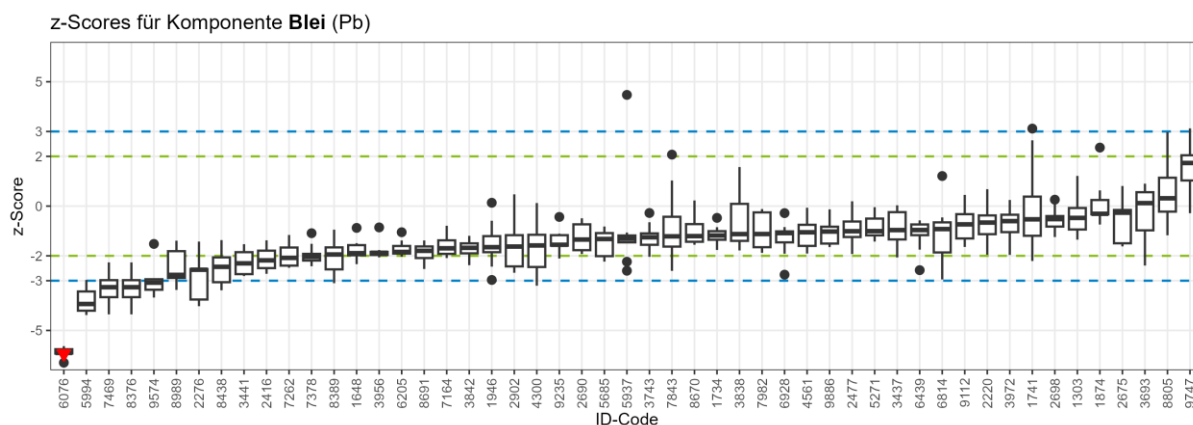
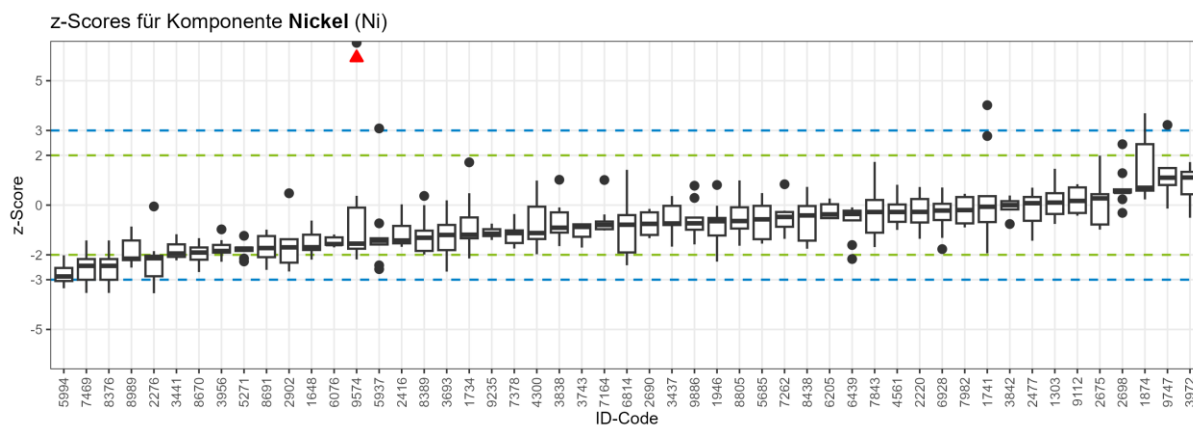


Abbildung 2: z-Scores für den Stoffbereich P







5.1.2 Gasringversuch (Stoffbereich G)

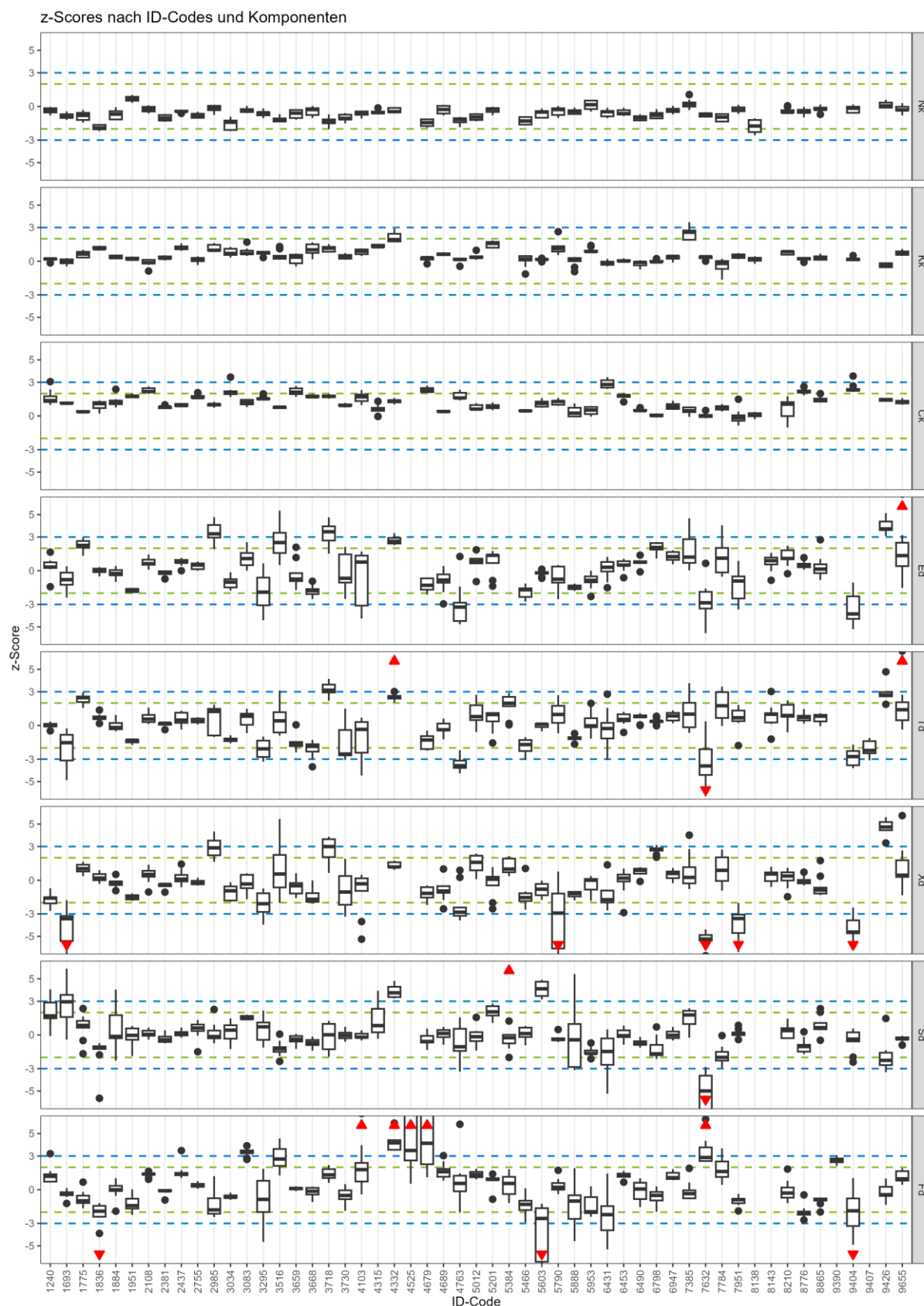
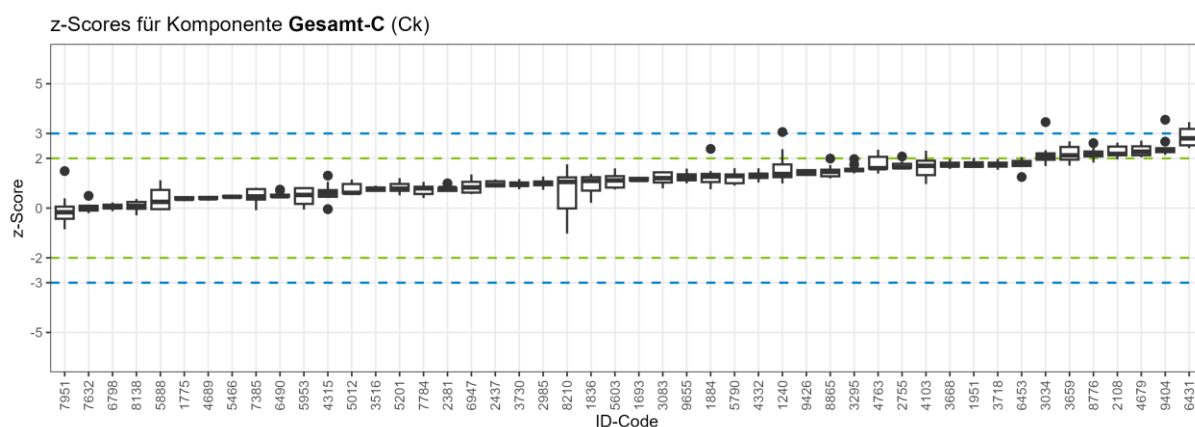
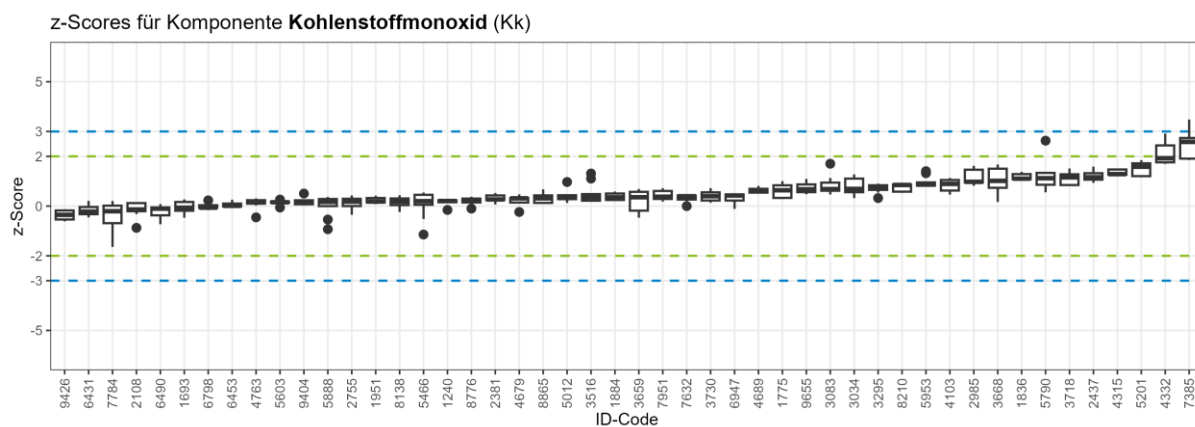
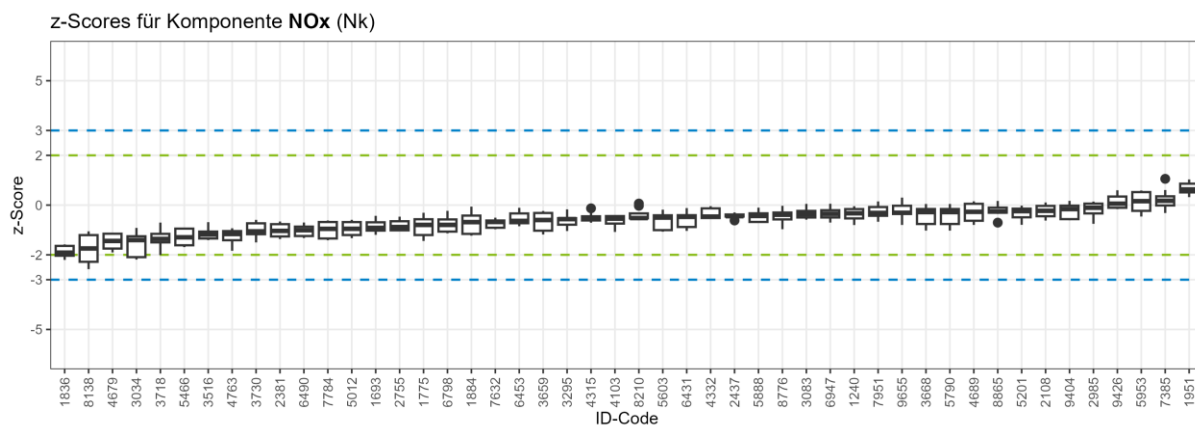
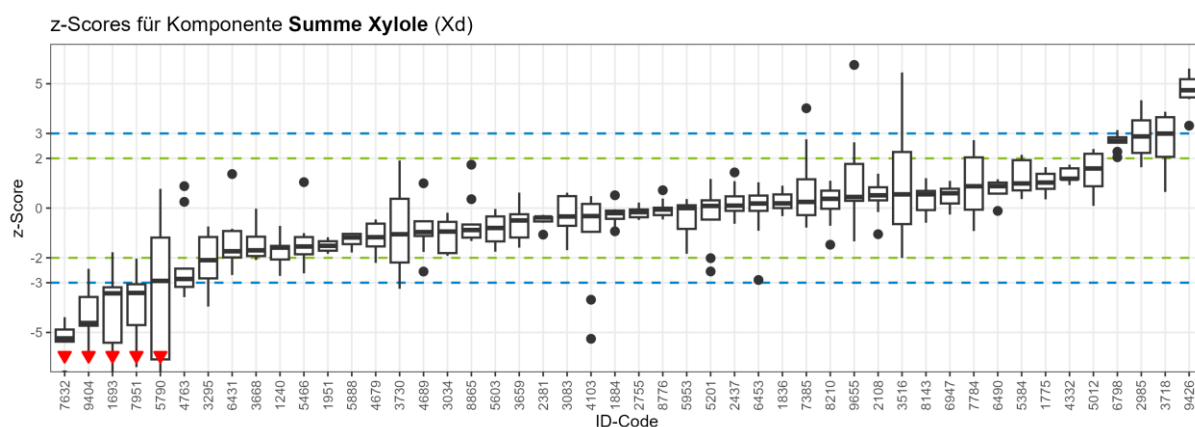
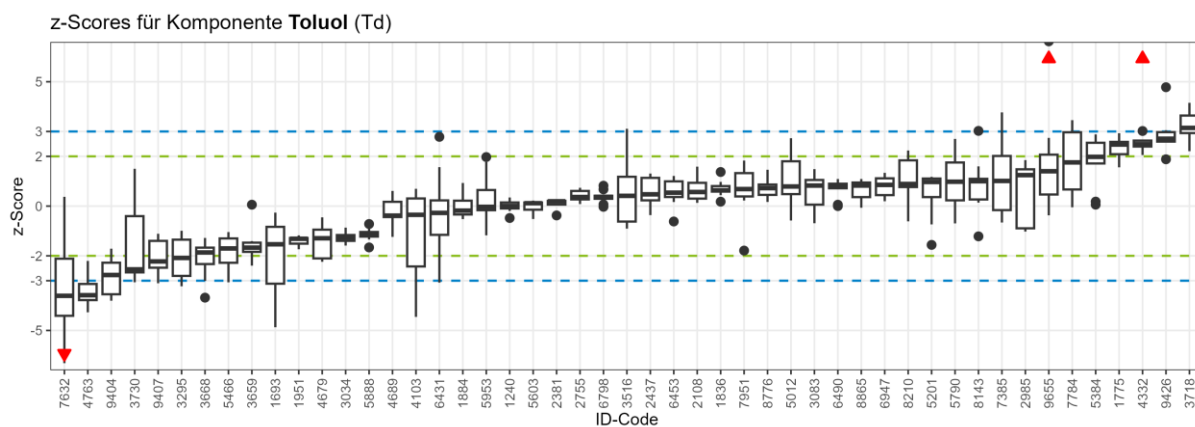
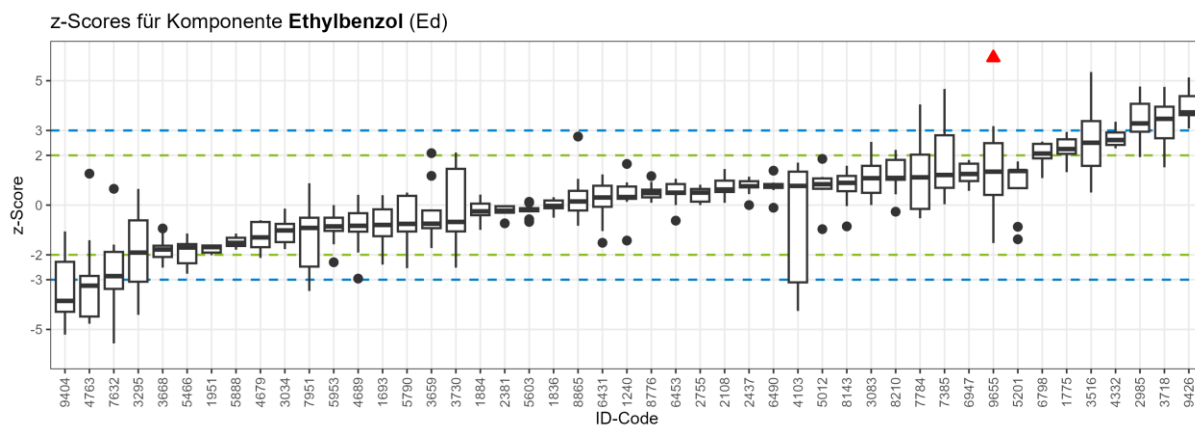
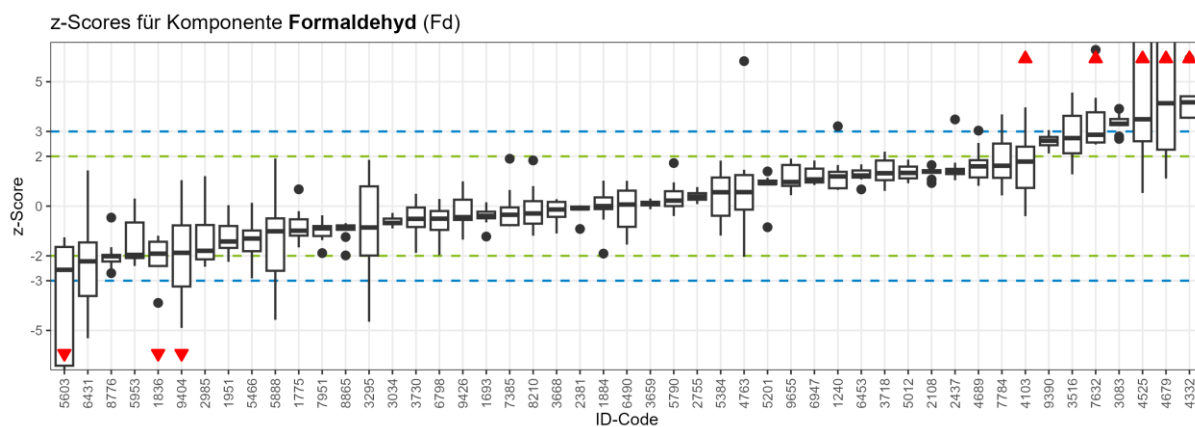
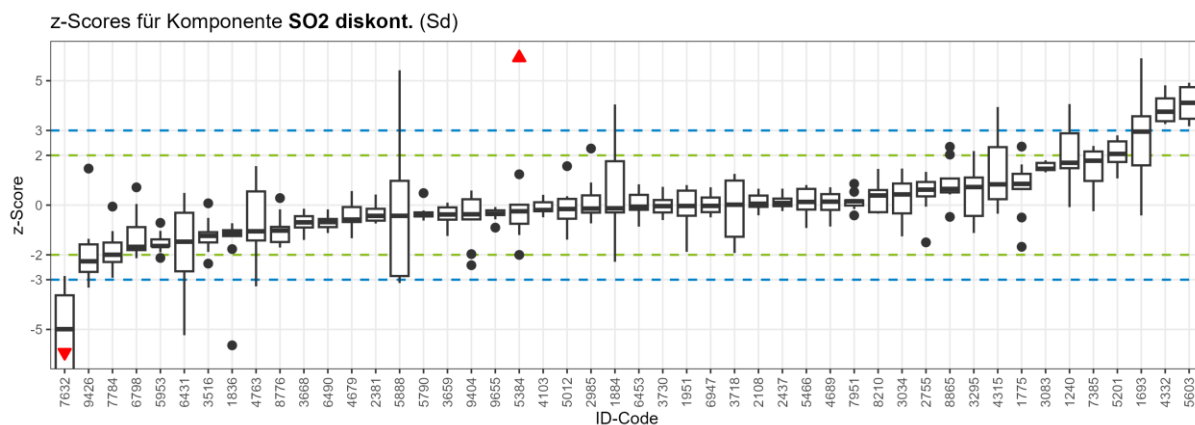


Abbildung 3: z-Scores für den Stoffbereich G







5.1.3 Geruchsringversuch (Stoffbereich 0)

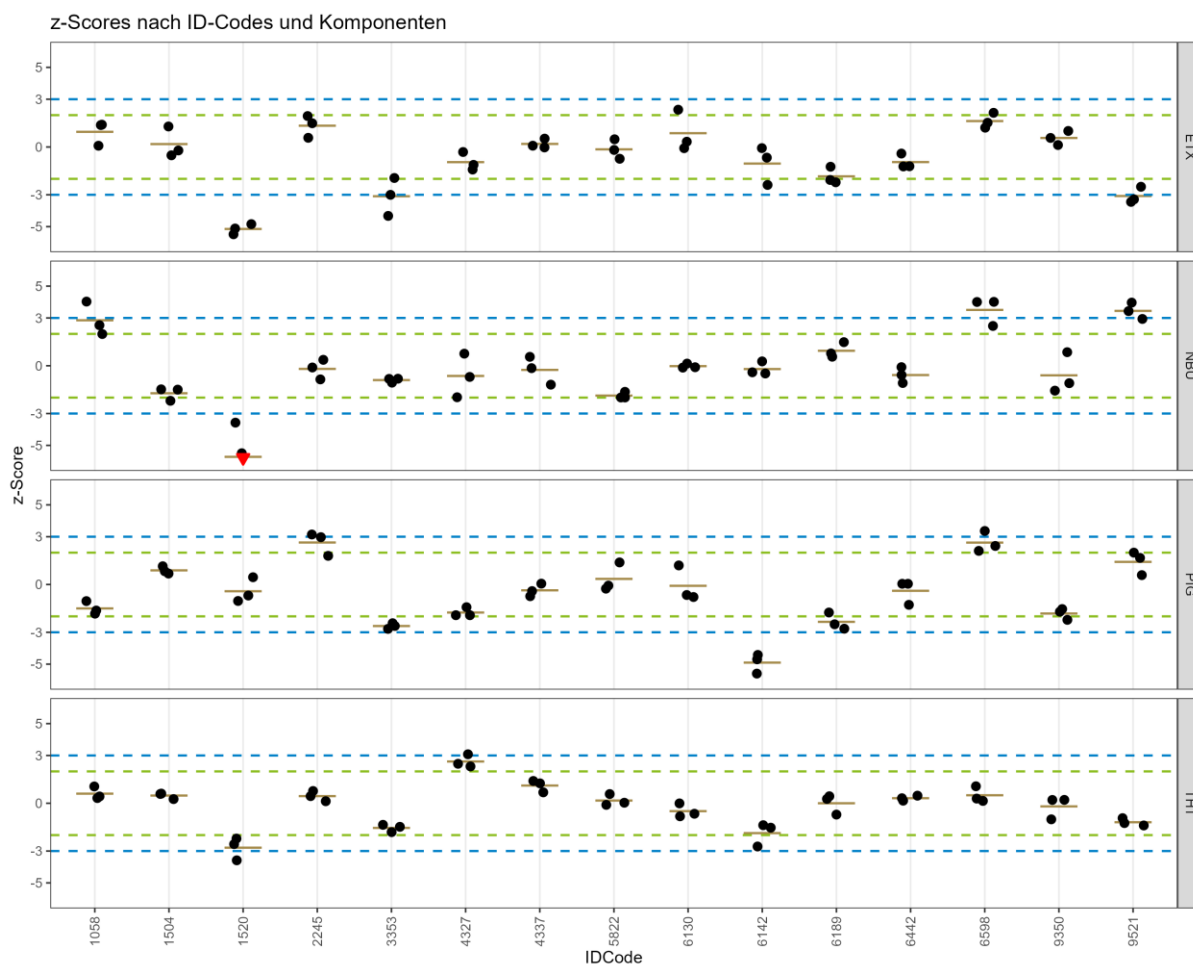
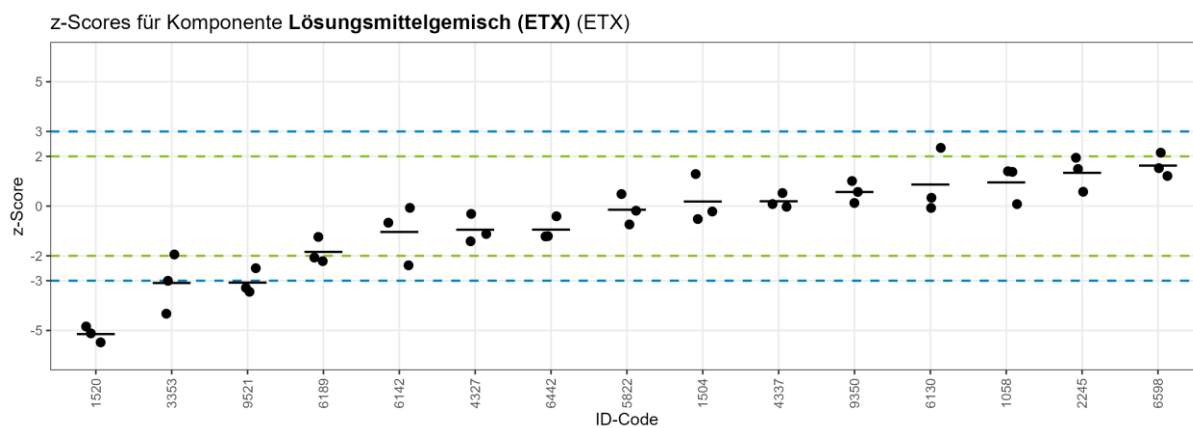
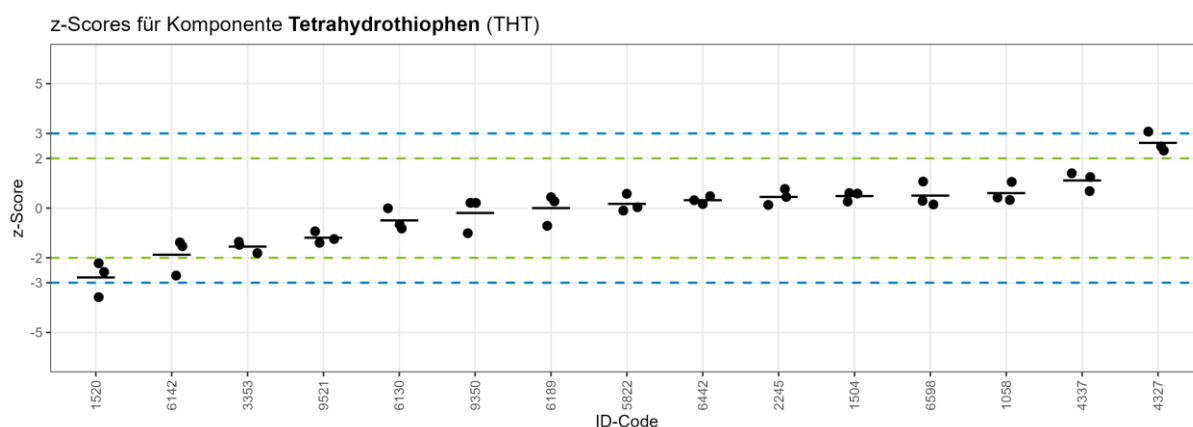
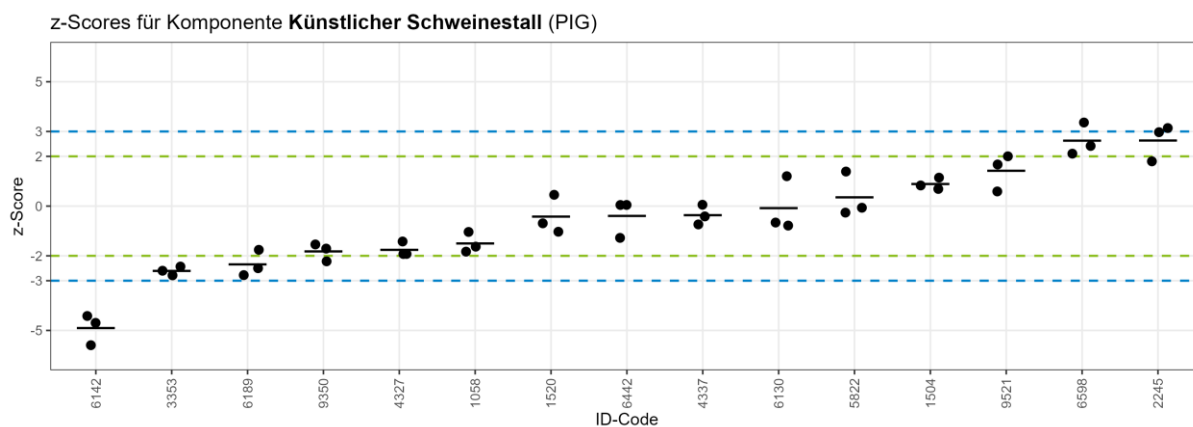
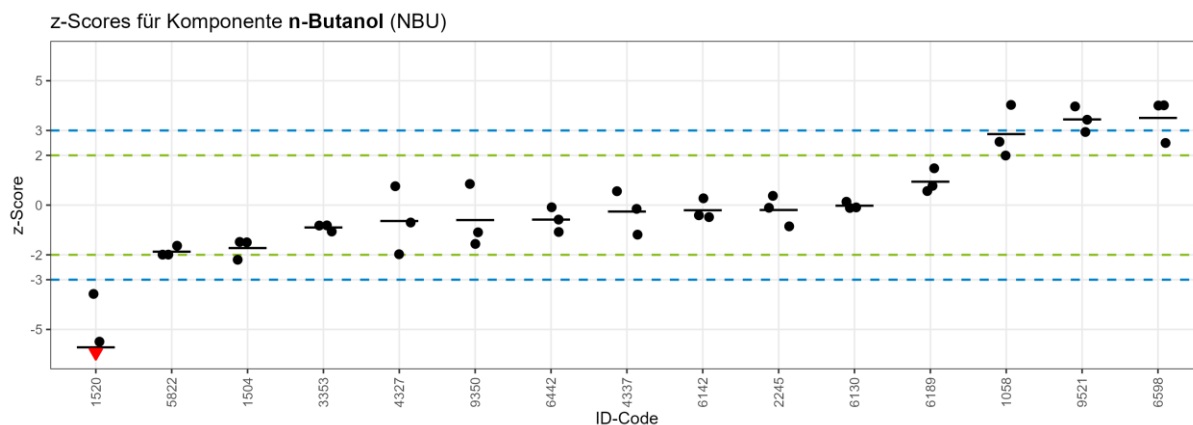


Abbildung 4: z-Scores für den Stoffbereich 0





5.1.4 Abgasrandbedingungen

Die folgenden Diagramme zeigen die von den Teilnehmern erzielten Ergebnisse für die Messung der strömungstechnischen Randbedingungen. Für jede Komponente liegen pro Teilnehmer nur ein oder zwei Werte vor, diese werden jeweils als Punkt dargestellt. Der Mittelwert von zwei Werten wird durch einen Strich markiert. Der Mittelwert von zwei Werten wird durch einen Strich markiert.

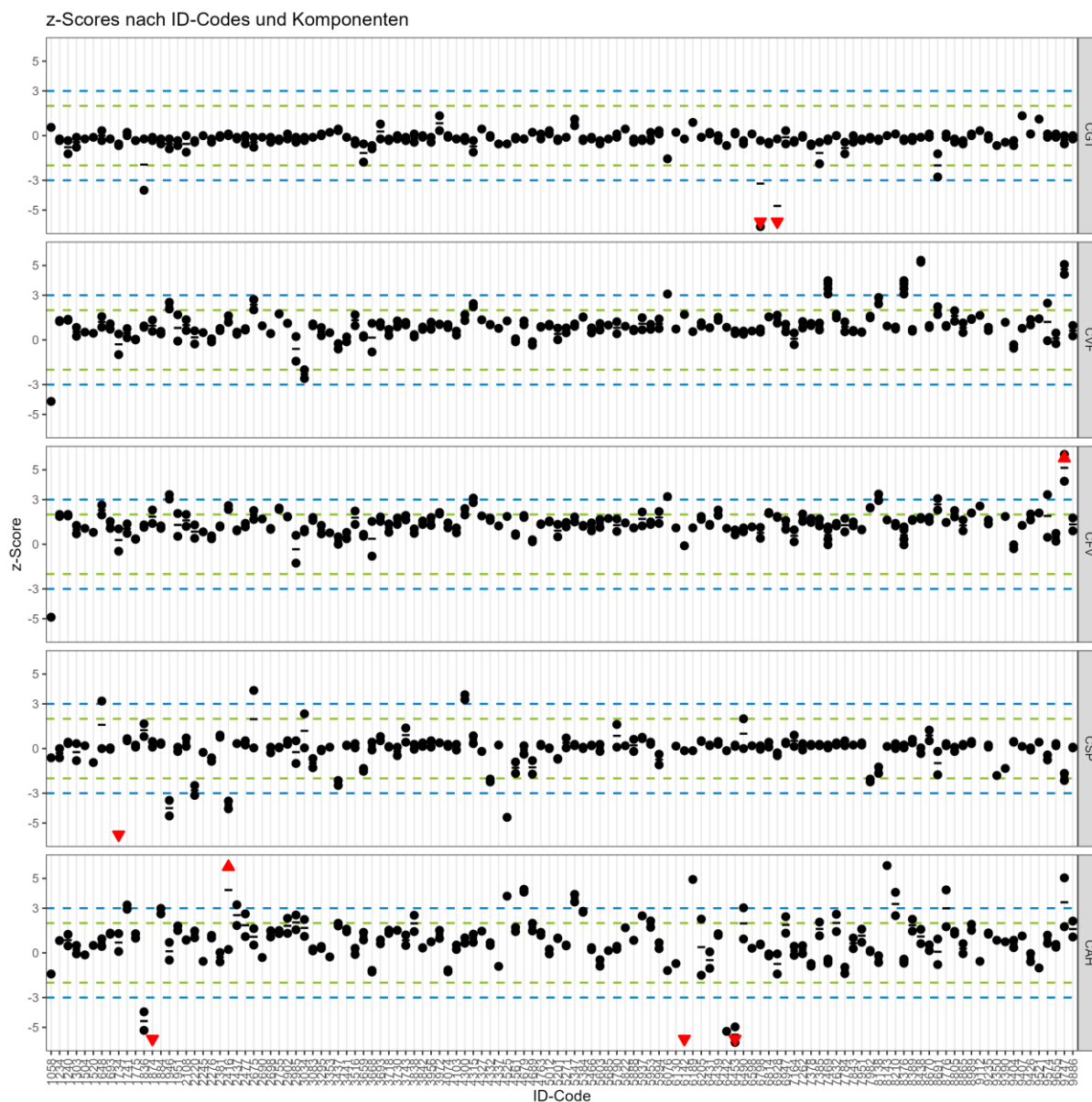
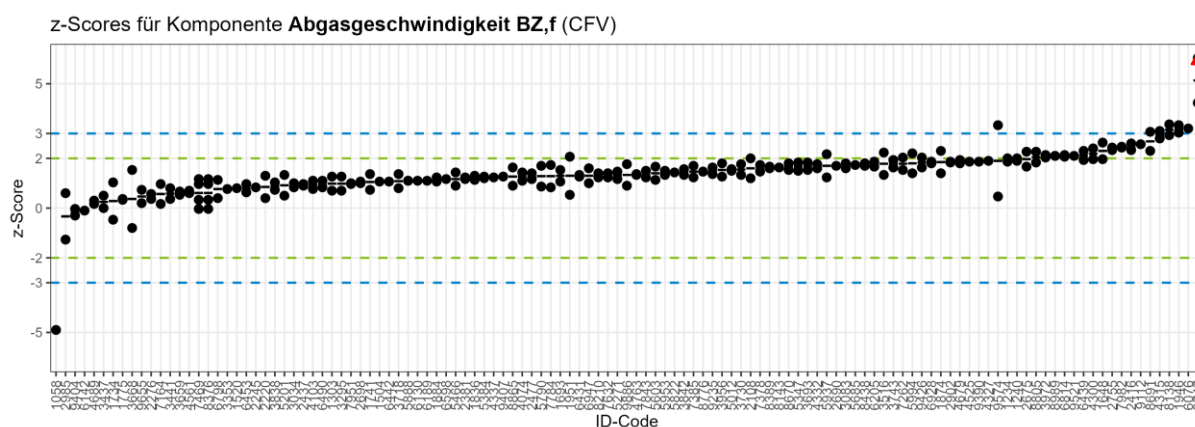
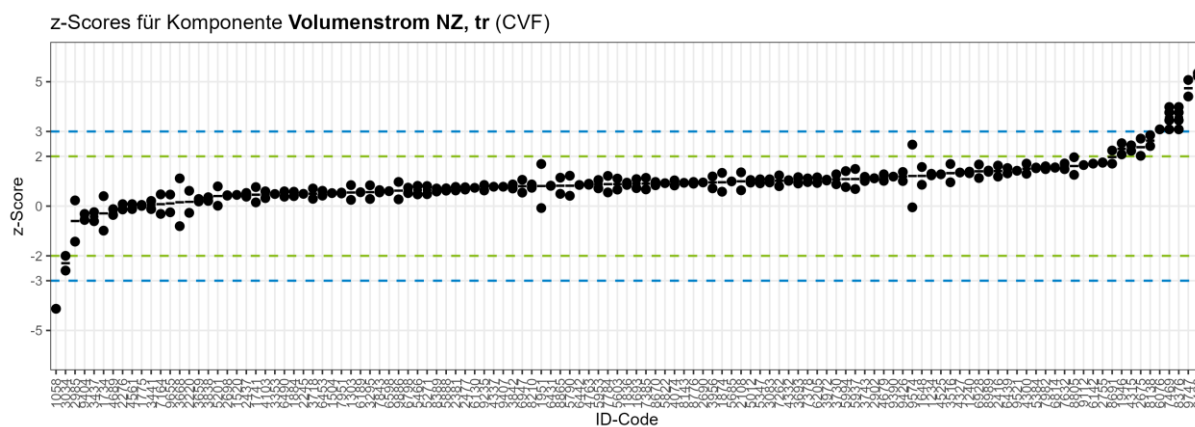
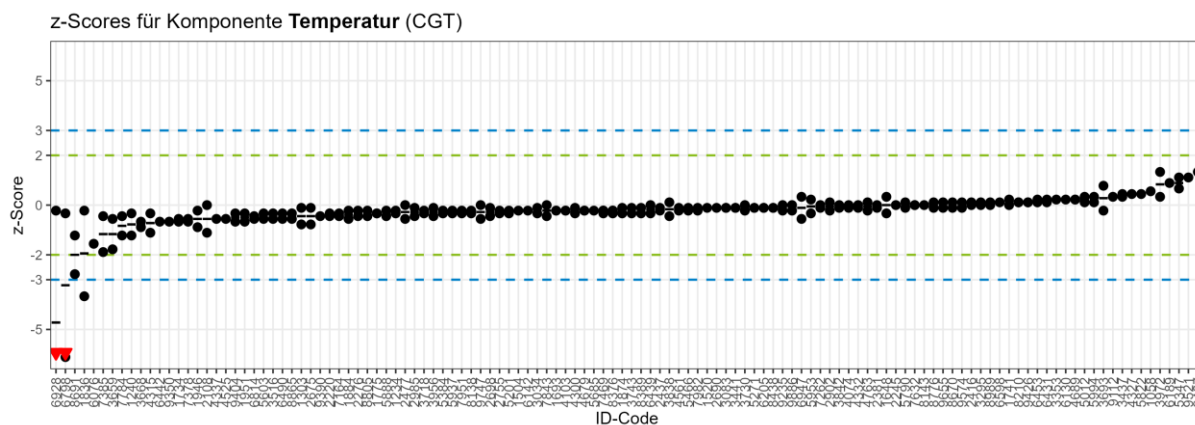
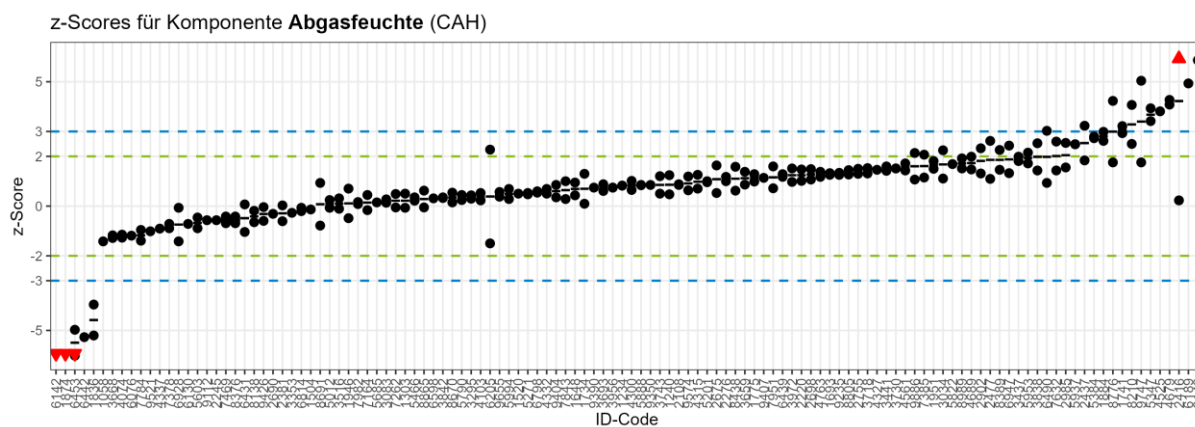
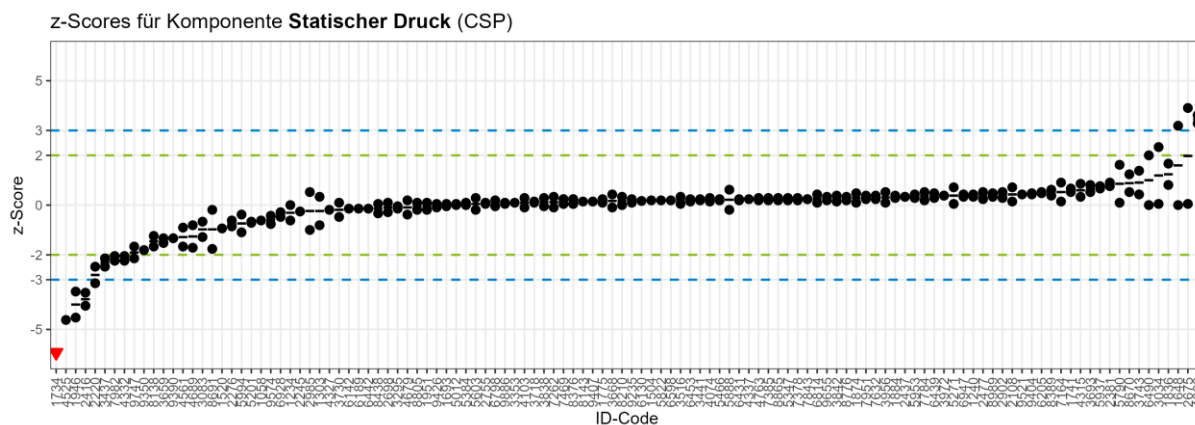


Abbildung 5: z-Scores (bzw. Quotienten aus Teilnehmer-Abweichung und typischer Abweichung) für Abgasrandbedingungen



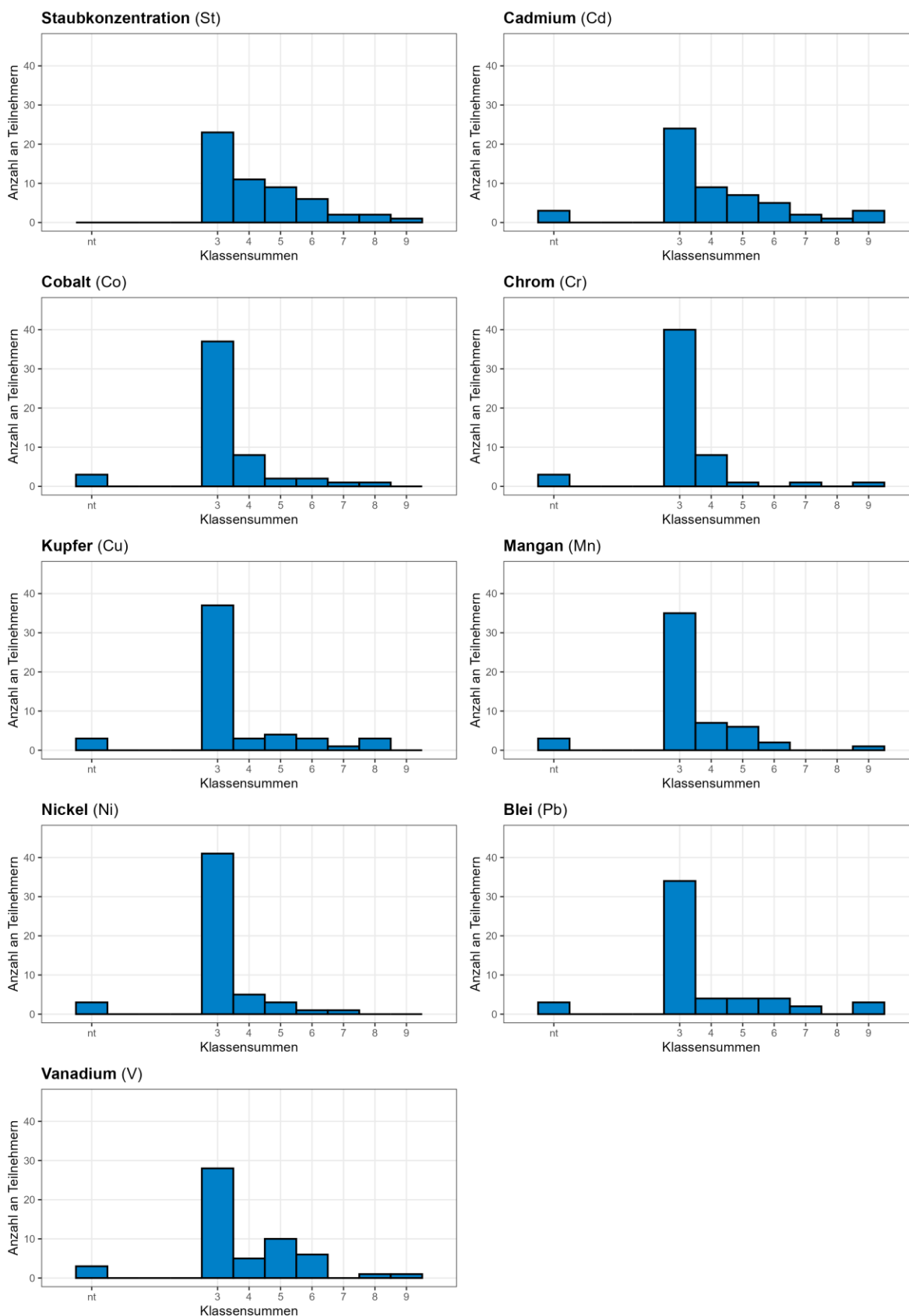


5.2 Klassensummen

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.

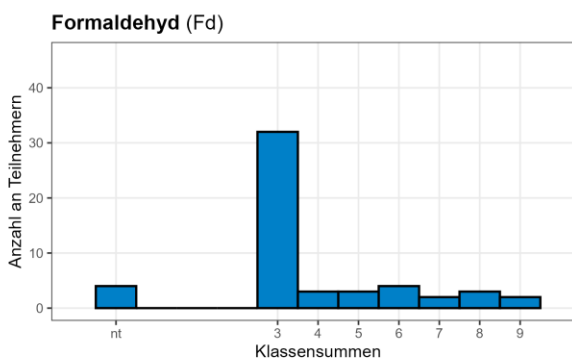
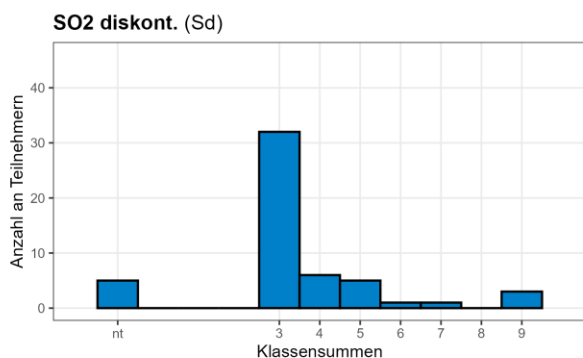
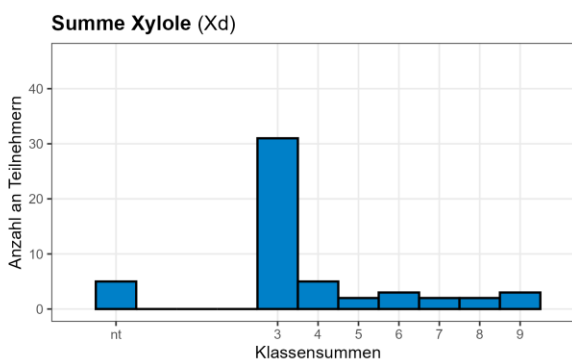
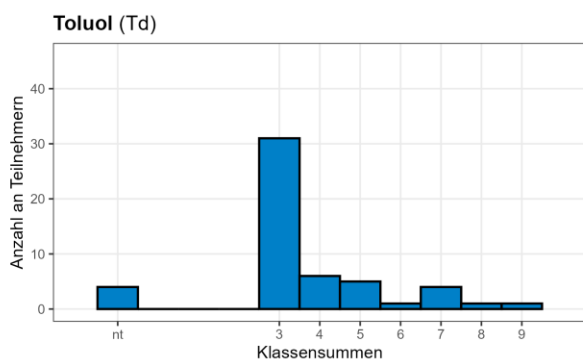
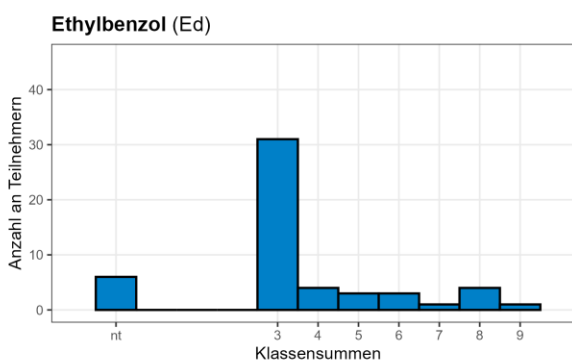
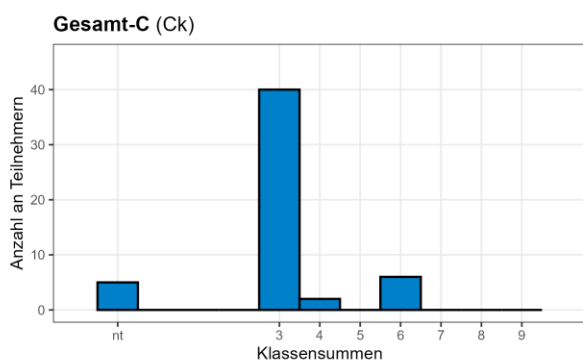
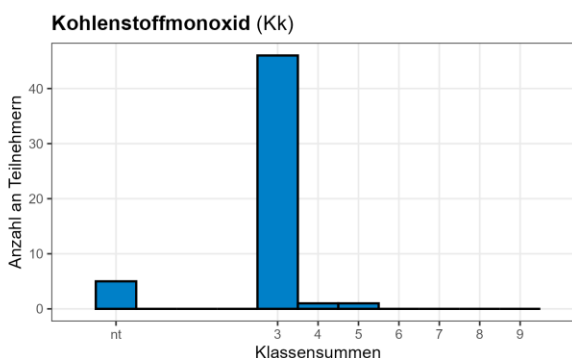
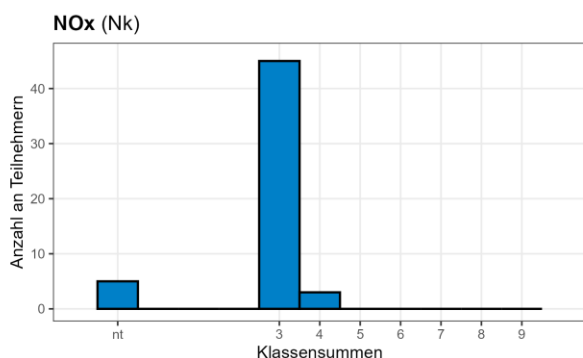
5.2.1 Staubringversuch (Stoffbereich P)

Klassensummen



5.2.2 Gasringversuch (Stoffbereich G)

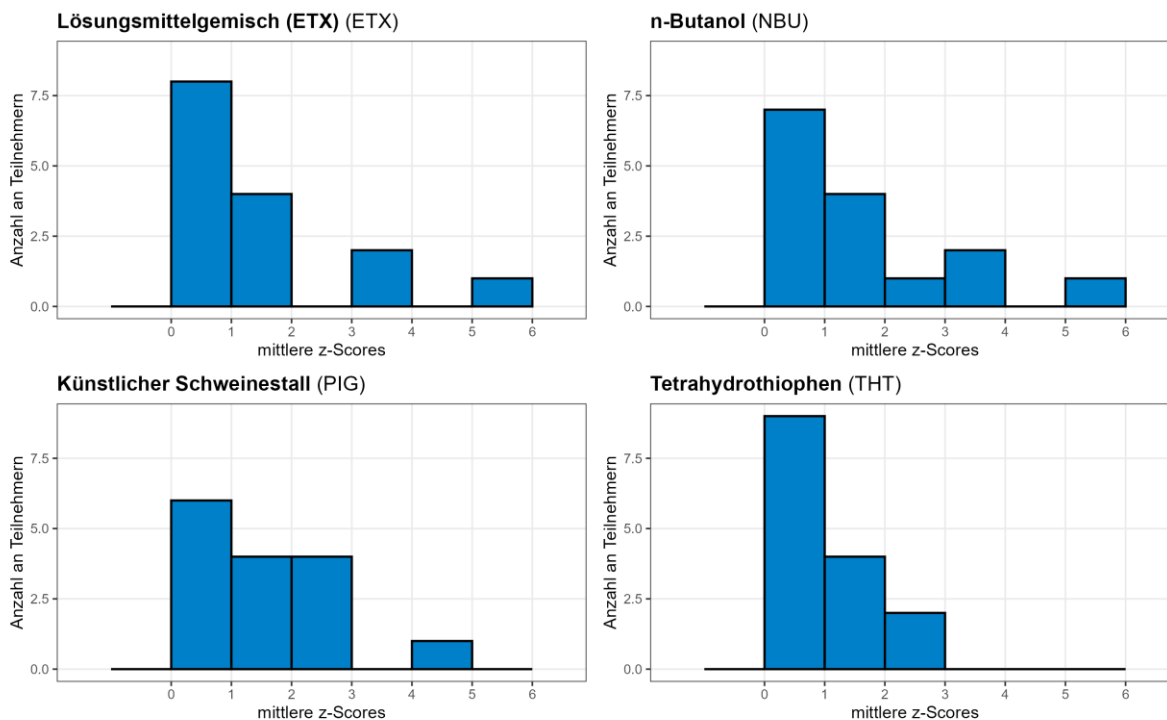
Klassensummen



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 gibt 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 2025 insgesamt 78% aller Teilnehmenden bestanden, der Medianwert betrug 20,5 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte 17 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei 24 Punkten oder mehr.

Den Theorietest zum Gasringversuch haben im Jahr 2025 insgesamt 96% aller Teilnehmenden bestanden, der Medianwert betrug hier 28 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte im Theorietest zum Gasringversuch 23 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei 31 Punkten oder mehr.

Die neuen Durchführungsbestimmungen für den Geruchsringversuch von 2024 sehen ebenfalls einen Theorietest vor, der analog zu den bereits etablierten Tests für Staub und Gas organisiert wurde. Diesen neuen Geruchs-Theorietest haben 78% aller Teilnehmenden bestanden. Der Medianwert betrug hier 27 von 33 Punkten. Das untere Viertel des Teilnehmerfeldes erreichte 19 oder weniger Punkte, das obere Viertel lag bei 28 Punkten oder mehr.

6. Interpretation der Ergebnisse

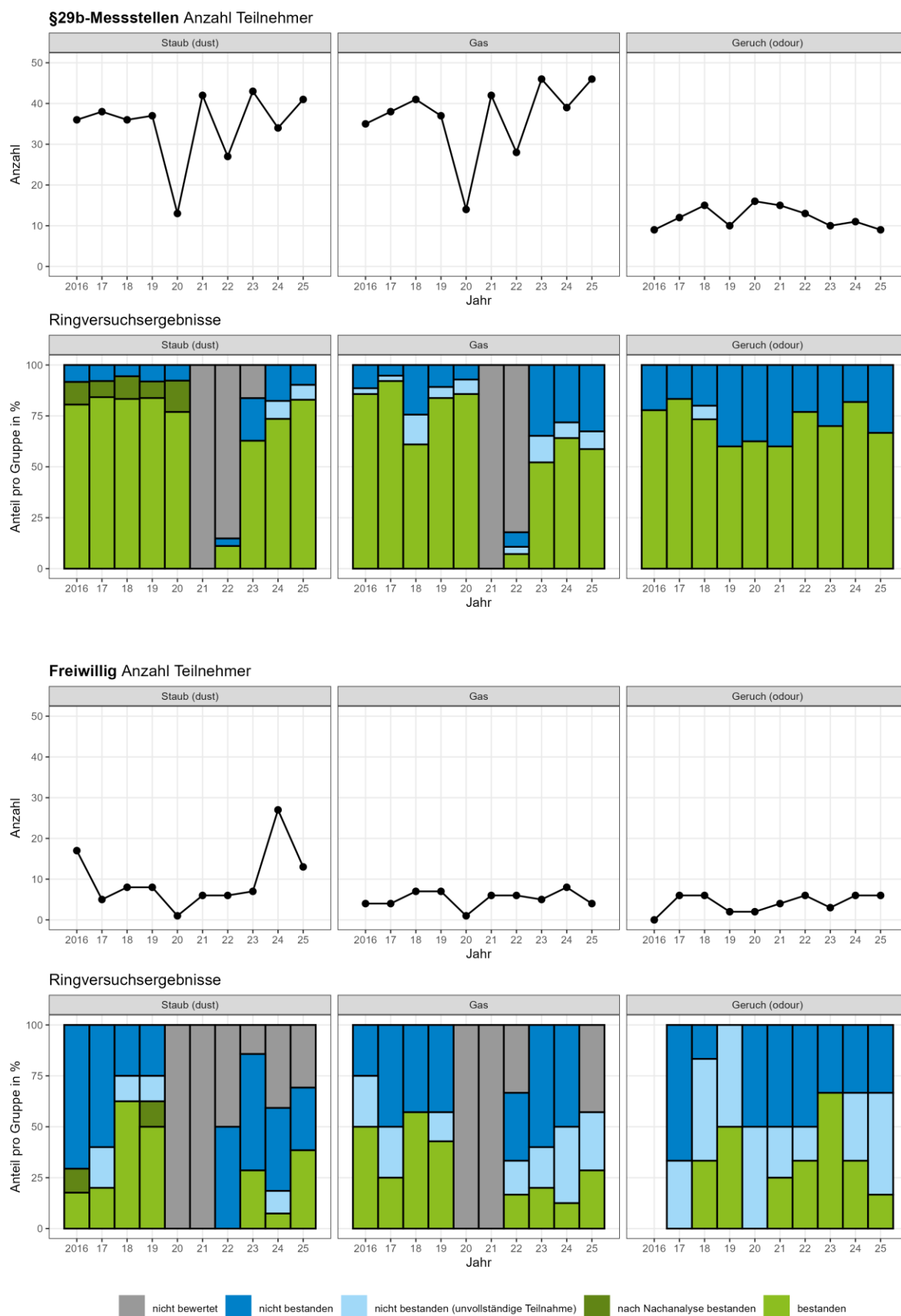


Abbildung 6: Teilnehmerzahlen und Ergebnisverteilung, aufgetrennt nach Teilnehmerart.

Tabelle 8: Tabellarische Übersicht seit 2021 (§29b-Messstellen)

Jahr	Ringversuch	bestanden	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)	nicht bewertet
2021	Staub (Pandemieversion)	-	-	-	42
	Gas (Pandemieversion)	-	-	-	42
	Geruch	9	6	-	-
2022	Staub	3	1	-	-
	Staub (Pandemieversion)	-	-	-	23
	Gas	2	2	1	-
	Gas (Pandemieversion)	-	-	-	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	-	-
2025	Staub	34	4	3	-
	Gas	27	15	4	-
	Geruch	6	3	-	-

Tabelle 9: Tabellarische Übersicht seit 2021 (freiwillige Teilnehmer)

Jahr	Ringversuch	bestanden	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)	nicht bewertet
2021	Staub (Pandemieversion)	-	-	-	6
	Gas (Pandemieversion)	-	-	-	6
	Geruch	1	2	1	-
2022	Staub	-	3	-	-
	Staub (Pandemieversion)	-	-	-	3
	Gas	1	2	1	-
	Gas (Pandemieversion)	-	-	-	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	-
2025	Staub	5	4	-	-
	Staub (Kurzversion)	-	-	-	4
	Gas	2	-	2	-
	Gas (Kurzversion)	-	-	-	3
	Geruch	1	2	3	-

6.1 §29b-Messstellen

Insgesamt haben 34 von 41 (83%) der bekanntgegebenen Messstellen den Staubringversuch bestanden. Nicht bestanden haben 4 (10%) bekanntgegebene Messstellen. Drei weitere (7%) 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 89% der bekanntgegebenen Messstellen den Ringversuch bestanden. Die Bestehensquote lag damit über dem Wert von 2024 (81%), und übertraf den Durchschnittswert von ca. 82% aus den Jahren 2016 bis 2020 (vor der SARS-CoV2-Pandemie) deutlich.

Den Gasringversuch haben 27 von 46 (59%) der bekanntgegebenen Messstellen bestanden. Nicht bestanden haben 15 (33%) bekanntgegebene Messstellen. Vier 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 64% der bekanntgegebenen Messstellen den Ringversuch bestanden. Die Bestehensquote lag damit unter dem Wert des Vorjahres (69%) und 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 2016 bis 2020 zeigt, dass die relativen Abweichungen der Messwerte von den Sollwerten bei vielen Staub- und Gaskomponenten auch im Jahr 2025 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 7 und 8 zu sehen. Hier sind für jede Komponente und für jedes Jahr seit 2016 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.

Aus Untersuchungen des HLNUG zur Staubprobenahme nach DIN EN 13284-1 ergab sich, 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. 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 verwendeten.

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 2025 deutlich von den Werten der Jahre 2016-2020 ab (siehe Abbildung 8).

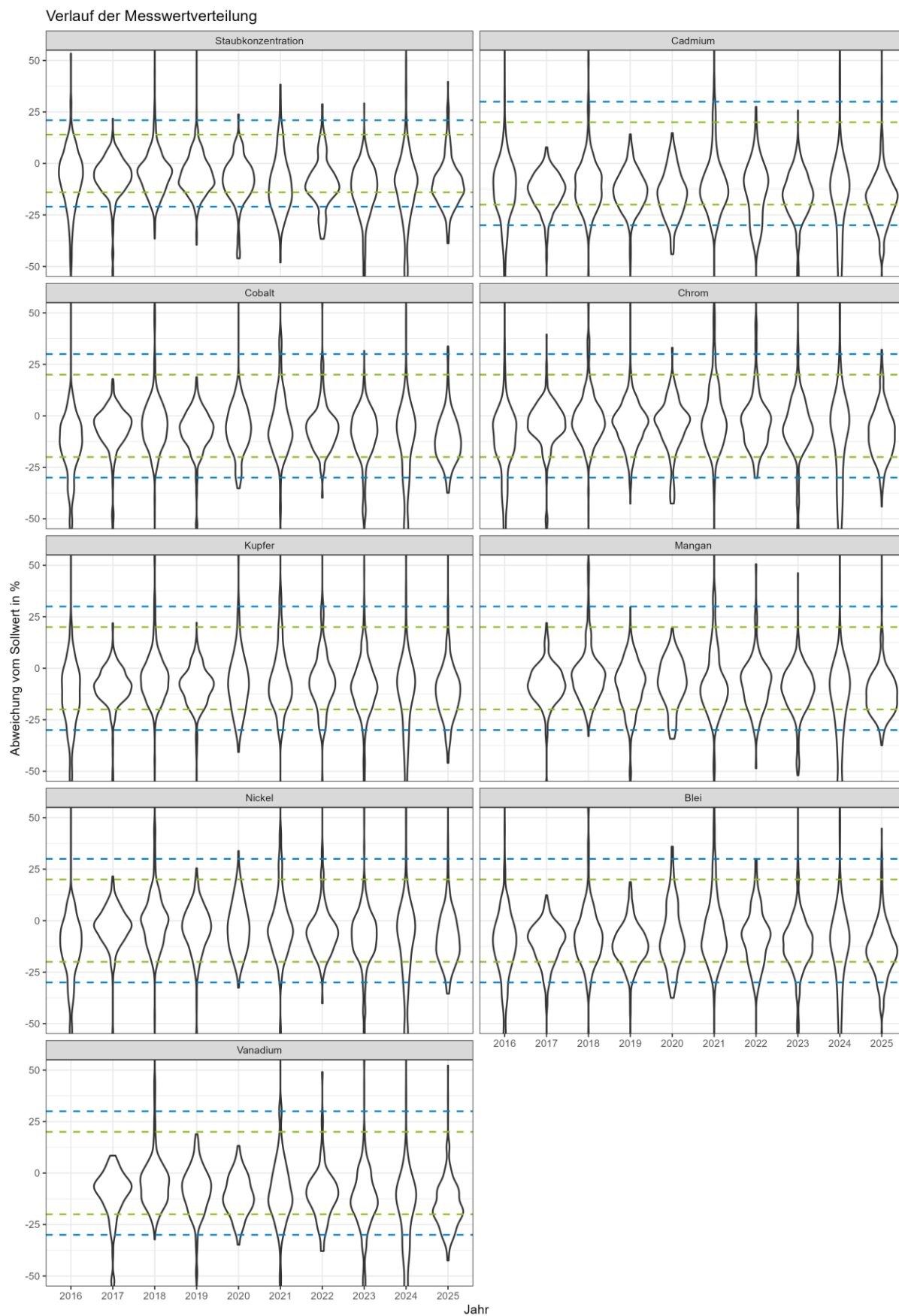


Abbildung 7: Verlauf der Messwertverteilung in den Staubringversuchen 2016-2025 (alle Teilnehmer)

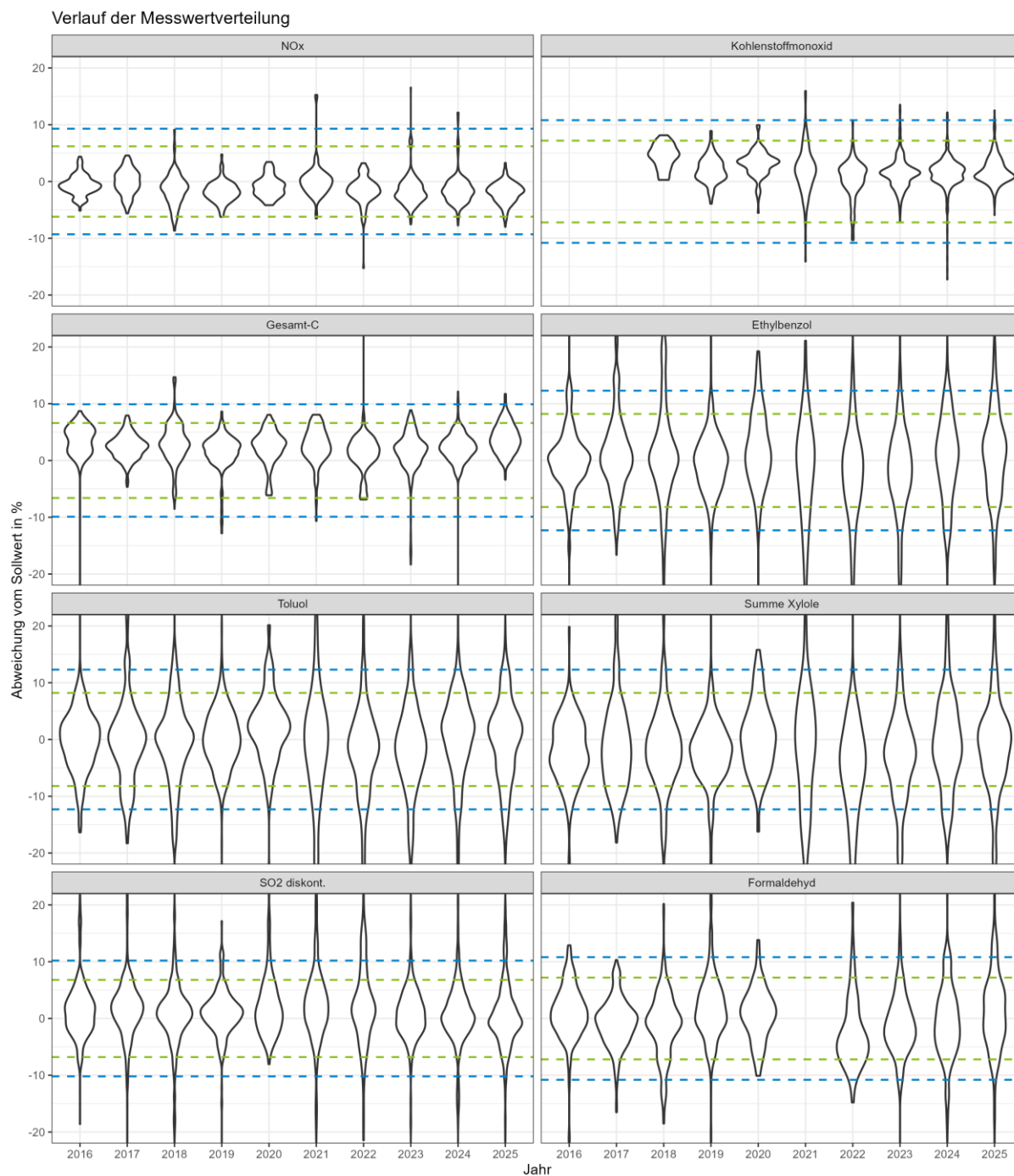


Abbildung 8: Verlauf der Messwertverteilung in den Gasringversuchen 2016-2025 (alle Teilnehmer)

Aufgeschlüsselt nach Jahren ergeben insbesondere die Daten für die Bestimmung organischer Einzelstoffe (Ethylbenzol, Toluol und Xylol) ein überraschend uneinheitliches Bild. Während von 2016 bis 2019 die meisten Messwerte im Mittel nahe beim Sollwert lagen, gibt es ab dem Jahr 2021 eine deutlich höhere Streuung bei den Ergebnissen mit einer Tendenz zu Minderbefunden (Siehe Abbildung 9). Zu beachten ist bei dieser Abbildung, dass im Jahr 2020 nur 14 Teilnahmen ausgewertet wurden, während es in den übrigen Jahren 31 bis 47 waren (im Mittel ca. 42 Teilnahmen).

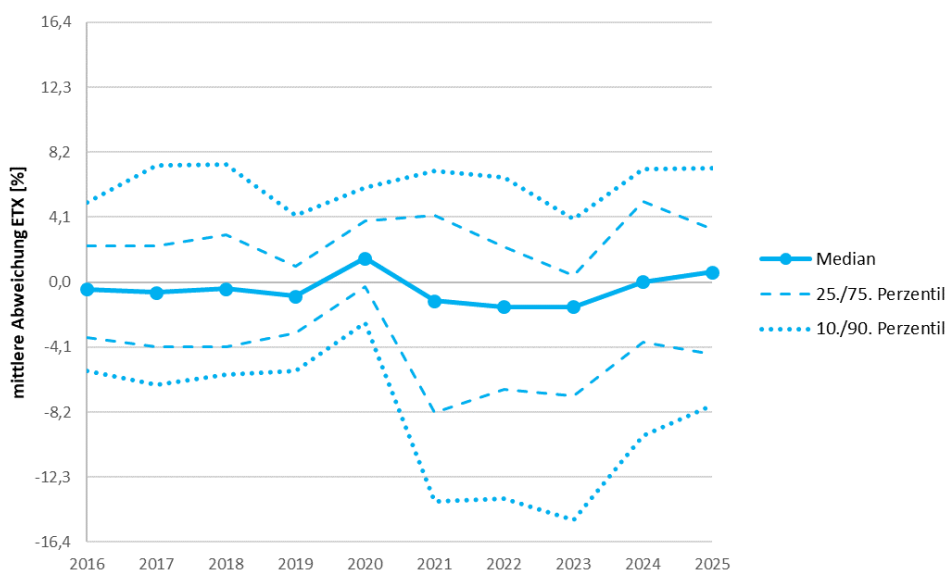


Abbildung 9: Mittlere Abweichung der Messergebnisse vom Sollwert für die Komponenten Ethylbenzol, Toluol und Xylol in den Jahren 2016-2025 (alle Teilnehmer)

Eine konkrete Ursache für die deutlich erhöhte Streuung der Teilnehmerergebnisse nach 2020 ist nicht bekannt. Das Dosierverfahren ist seit vielen Jahren unverändert. Geändert hat sich lediglich die Verteilung der Konzentrationen. Bis zum Jahr 2020 bestanden die 9 Messungen im Gasringversuch nur aus jeweils 3 verschiedenen Konzentrationen, die je dreimal hintereinander gemessen wurden. Von 2021 bis Mitte 2022 wurden die Ringversuche ausschließlich in der Pandemieversion durchgeführt, bei der es nur 3 Messungen mit jeweils unterschiedlichen Konzentrationen gab. Seit Ende 2022 werden im Standard-Gasringversuch wieder 9 Messungen durchgeführt, nun aber mit 9 verschiedenen Konzentrationen in zufälliger Reihenfolge. Auf die mittlere Abweichung der Messergebnisse vom Sollwert dürften diese unterschiedlichen Konzentrationsverteilungen eigentlich keinen Einfluss haben, da die Proben sich bei der Analyse zumindest bei normkonformer Durchführung der Probenahme nicht gegenseitig beeinflussen. Eine Verschleppung von Analyten zwischen den Proben ist zumindest bei den organischen Komponenten in der Regel nicht zu beobachten. Die überwiegende Mehrheit der Teilnehmer hatte auch nach 2020 kein Problem mit der Durchführung der Messungen zu organischen Einzelstoffen. Seit 2024 scheinen zudem auch diejenigen Messstellen, die ab 2021 Schwierigkeiten mit diesen Messungen hatten, ihre Defizite nach und nach abzubauen.

Den Geruchsringversuch haben 2025 insgesamt 6 von 9 bekanntgegebenen Messstellen (67%) bestanden. Die Ergebnisse des Geruchsringversuchs waren damit etwas schlechter als im Mittel über die Jahre 2016-2024 (ca. 72% bestandene Teilnahmen), und das obwohl die Bewertungskriterien für alle Komponenten außer *n*-Butanol mit den neuen Durchführungsbestimmungen von 2024 deutlich großzügiger geworden sind. Für diese Komponenten darf die mittlere Abweichung vom Sollwert inzwischen bei einem Faktor von bis zu 3 liegen (statt zuvor 2). Durch die vergleichsweise geringe Teilnehmerzahl kommt es beim Geruchsringversuch allerdings schon durch die Ergebnisse einzelner Teilnehmer zu starken Schwankungen bei der Bestehensquote. Eine der drei nicht erfolgreichen bekanntgegebenen Messstellen hat die Komponente *n*-Butanol nicht bestanden, eine andere Messstelle hat die Komponente Lösungsmittelgemisch (ETX) nicht bestanden, der dritte nicht erfolgreiche Teilnehmer hat sowohl *n*-Butanol als auch ETX nicht bestanden. Bei diesen drei Teilnehmern lassen sich anhand der Olfaktometrieprotokolle klassische Fehler bei der Durchführung von Geruchsmessungen nachvollziehen.

Bei einem Teilnehmer, der deutlich zu niedrige Messergebnisse für die Komponente Lösungsmittelgemisch (ETX) erzielt hat, war auffällig, dass die Messwerte für die drei aufeinander folgenden

Proben ETX kontinuierlich fielen, sodass der Messwert für die dritte Probe nur noch bei 42% des Messwertes der ersten Probe lag. Obwohl solche Schwankungen bei Geruchsmessungen an Anlagen keineswegs ungewöhnlich sind, wäre bei diesen Messwerten in einem Ringversuch, bei dem alle drei Proben identische Konzentrationen enthalten, vermutlich eine Nachuntersuchung nach einer längeren Pause für die Prüfer angebracht gewesen, um eine Ermüdung der Prüfer auszuschließen. Der Einsatz von mehr als 4 Prüfern hätte vermutlich ebenfalls zu geringeren Abweichungen geführt, da mit steigender Prüferzahl die Wahrscheinlichkeit von zufällig gleichen Trends im Prüferverhalten schnell abfällt.

Ein anderer Teilnehmer hatte deutlich zu hohe Geruchskonzentrationen für *n*-Butanol gemessen. Auffällig war hier, dass 3 der 4 eingesetzte Prüfer mehrfach Nullprobenfehler machten oder Stufen ausgelassen haben, teilweise auch beides im gleichen Durchgang. Hier ist offensichtlich, dass die Prüfer wiederholt einen Geruch meldeten, bevor diese Wahrnehmung wirklich eindeutig war, es wurde also eher geraten als gemessen. Auch wenn die aufgetretenen Fehlerraten die Toleranzgrenzen der Norm nicht überschreiten, die Messung also trotz Nullluft- und Referenzluftfehlern normkonform durchgeführt wurde, sollten solche Auffälligkeiten eine kritische Überprüfung der Messung auslösen.

Die dritte nicht erfolgreiche §29b-Messstelle hat sowohl bei *n*-Butanol zu hohe Konzentrationen ermittelt, als auch beim Lösungsmittelgemisch (ETX) zu geringe Konzentrationen. Auch bei diesem Teilnehmer machten 3 von 4 Prüfern bei den *n*-Butanol-Proben Referenzluft- und/oder Nullluftfehler. Einer dieser Prüfer machte diese Fehler zusätzlich auch schon bei der *n*-Butanol-Prüfgasprobe zur Eignungsprüfung der Prüfer vor Beginn der Messungen an den eigentlichen Ringversuchsproben. Beim Lösungsmittelgemisch (ETX) wurden zu geringe Konzentrationen ermittelt. Hier ist auffällig, dass die Olfaktometrie in sämtlichen Durchgängen mit einer Verdünnungsstufe von ca. 2000 gestartet wurde, während die Proben eine Sollkonzentration von ca. 1400 GE_E/m³ hatten. Die erste Verdünnungsstufe lag damit nur um den Faktor 1,4 über dem erwarteten Messergebnis und somit in einem Bereich, in dem viele Prüfer bereits den Geruch wahrnehmen können. Es hatte sich schon in der Vergangenheit gezeigt, dass eine zu niedrig gewählte Startstufe in der Regel zu Minderbefunden bei der Olfaktometrie führt. Die Messergebnisse lagen bei diesem Teilnehmer im Mittel bei ca. 470 GE_E/m³, was ziemlich genau dem Erfahrungswert bei zu niedriger Startstufe entspricht: Das Messergebnis beträgt dann meist ca. ¼ der Startstufe. Zur Festlegung der Startstufe machte dieser Teilnehmer die Angabe: „Der Laborleiter hat zu Beginn den jeweiligen Stoff direkt aus der Probe gerochen.“ Diese Art der Festlegung ist offensichtlich höchst fehleranfällig. Wenn die Geruchskonzentration wirklich durch das Riechen an der unverdünnten Probe zuverlässig ermittelt werden könnte, wäre das Olfaktometer eigentlich überflüssig. Von dieser Art der Startstufenfestlegung kann daher nur abgeraten werden.

Zusammenfassend lassen sich bei den nicht erfolgreichen Teilnehmern einige typische Fehler feststellen, die bei Geruchsmessungen möglichst vermieden werden sollten:

- Nullprobenfehler, Referenzluftfehler und übersprungene Stufen sind Hinweise, dass Prüfer Gerüche melden, bevor diese Wahrnehmung wirklich eindeutig ist. Diese Fehler sollten nicht ignoriert werden, da sie zu fehlerhaften Mehrbefunden führen.
- Kontinuierlich deutlich sinkende Messergebnisse können auf Ermüdung der Prüfer hinweisen, wodurch die Geruchswahrnehmung für die gleiche Konzentration immer später gemeldet wird. Dies kann zu fehlerhaften Minderbefunden führen.
- Eine zu niedrig gewählte Startstufe führt erfahrungsgemäß zu Minderbefunden. Die Startstufe sollte nicht durch simples Riechen an der unverdünnten Probe festgelegt werden.

Da bei allen nicht erfolgreichen Teilnehmern klare Fehler in der Durchführung der Olfaktometrie erkennbar sind, können die neuen Bewertungskriterien als angemessen angesehen werden.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang der Hinweis, dass nur der erste Punkt, nämlich das Auftreten von Nullprobenfehlern, Referenzluftfehlern und übersprungene Stufen, bei Messungen im Routinebetrieb auffallen würden. Bei Messungen an realen Emissionsquellen wäre nicht zu erwarten, dass alle Proben die gleiche Konzentration haben, und eine zu niedrig gewählte Startstufe könnte mangels eines verlässlichen Sollwertes ebenfalls nicht bemerkt werden.

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. 5 Teilnahmen am Geruchsringversuch. Im Jahr 2025 gab es beim Staubringversuch mit 13 freiwilligen Teilnehmern eine überdurchschnittliche Anzahl, davon 4 in der neuen Kurzversion des Staubringversuchs. Beim Gasringversuch gab es 7 freiwillige Teilnahmen, davon 3 in der neuen Kurzversion des Gasringversuchs, und beim Geruchsringversuch 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 deshalb nur bedingt aufschlussreich.

Beim Staubringversuch waren 2025 insgesamt 5 der 9 freiwilligen Teilnahmen (56%) am Standard-Staubringversuch erfolgreich, 4 (44%) freiwillige Teilnehmer haben diesen Ringversuch nicht bestanden. Die 4 Teilnehmer der Kurzversion wurden nicht im Sinne von bestanden/nicht bestanden bewertet.

Beim Gasringversuch haben 2 von 4 (50%) der freiwilligen Teilnehmer den Standard-Ringversuch bestanden. Die anderen 2 Teilnehmer (50%) 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 Standard-Gasringversuch in vollem Umfang teilgenommen haben, lag die Bestehensquote bei 100%. Die 3 Teilnehmer der Kurzversion des Gasringversuchs wurden nicht im Sinne von bestanden/nicht bestanden bewertet.

Bei den Geruchsringversuchen hat einer von 6 freiwilligen Teilnehmern (17%) bestanden, 2 freiwillige Teilnehmer (33%) haben den Ringversuch nicht bestanden. Die übrigen 3 Teilnehmer (50%) 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 33%, werden sie als „bestanden“ betrachtet, liegt die Bestehensquote bei 67%.

Einer der freiwilligen Teilnehmer hat die Komponente künstlicher Schweinestall (PIG) nicht bestanden. In diesem Fall wurde die Olfaktometrie erst 26-28 Stunden nach der Probenahme begonnen, die erhaltenen Minderbefunde (ca. 1/6 des Sollwerts) sprechen für eine Degenerierung der Proben während der langen Lagerzeit. Ein anderer freiwilliger Teilnehmer hat die Komponenten *n*-Butanol und Lösungsmittelgemisch (ETX) nicht bestanden. Beim *n*-Butanol betrug die Konzentration der Proben jeweils ca. 500 GE_E/m³, die Olfaktometrie wurde für die drei Proben mit einer Startverdünnung von ca. 450, 120 und 230 durchgeführt, also in allen drei Fällen unterhalb der Probenkonzentration. Die Messergebnisse waren hier ca. 220, 80 und 140 GE_E/m³, folgten also eindeutig den Startstufen. Konkrete Details zum Verlauf der Olfaktometrie liegen für diesen Teilnehmer leider nicht vor, die Auswahl der Startstufen ist hier auch nicht nachvollziehbar. Beim Lösungsmittelgemisch (ETX) ist die Fehlerursache weniger eindeutig. Hier betrug die Konzentration der Proben ca. 260 GE_E/m³, die Olfaktometrie wurde für die drei Proben mit Verdünnungsstufen von ca. 1000, 450 und 120 gestartet. Unabhängig von der Startstufe betrug das Messergebnis stets ca. 40 GE_E/m³, und damit ca. 15% des Sollwerts. Möglicherweise wurde hier anstelle der

Wahrnehmungsschwelle die Geruchserkennungsschwelle bestimmt, bei der nicht nur ein unspezifischer Geruch wahrgenommen wird, sondern der Geruch auch eindeutig erkannt und zugeordnet werden kann. Zu den Geruchserkennungsschwellen der verwendeten Lösungsmittel in der ETX-Mischung liegen keine konkreten Daten vor. Die Werte liegen aber vermutlich signifikant über der Wahrnehmungsschwelle, was folglich auch für das Gemisch gelten dürfte.

6.3 Randbedingungen

Bei jedem Ringversuch sind von den Teilnehmern auch die strömungstechnischen Randbedingungen zu ermitteln und anzugeben. Die im Jahr 2025 erfassten Werte (siehe Abschnitt 5.1.4) entsprechen im Wesentlichen den Beobachtungen der Vorjahre: Die Messwerte für die Temperatur (CGT), den statischen Druck (CSP), den Volumenstrom (CVF) und die Strömungsgeschwindigkeit (CFV) zeigen bei den meisten Teilnehmern 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) 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 2025, sofern nicht anders angegeben.

Für einige Komponenten haben die Teilnehmer 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 Abweichungen der Teilnehmerergebnisse vom Sollwert 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 unbeachtet. Die Beschränkung auf die Mittelwerte

der z-Scores der Teilnehmer erlaubt dafür aber eine einfache Abschätzung der Auswirkungen verschiedener Verfahren auf die mittlere Abweichung der Messwerte vom zugewiesenen Wert.

Für die meisten Auswertungen ist eine gewisse Verstetigung der Werte zu beobachten. Dies ist letztlich darauf zurückzuführen, dass sich die Datengrundlage für den Jahresbericht 2025 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 beweist. 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 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, arbeitstäglich, oder nie gespült wird. Insgesamt 8 Teilnehmer, die angaben, einmal am Ende des Ringversuchs zu spülen, wurden bei der arbeitstäglichen Spülung berücksichtigt.

Die Datenbasis erstreckt sich in diesem Bericht über die Ergebnisse zwischen Herbst 2018 und Ende 2025. Im Sommer 2018 wurde die Abfrage nach der Spülprozedur bezüglich der Frequenz konkretisiert, insgesamt 270 Teilnehmer haben seitdem entsprechende Angaben zu ihrem Spülverfahren gemacht. In früheren Jahren wurde nur grundsätzlich die Durchführung einer Spülung (ja/nein) abgefragt, die älteren Daten sind deshalb leider nicht vergleichbar.

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 Sondenometrie in jedem Fall mit Staubanhaftungen an der Sondeninnenoberfläche zu rechnen ist, welche bei vollständigem Verzicht auf Spülen zu signifikanten Minderbefunden führen können.

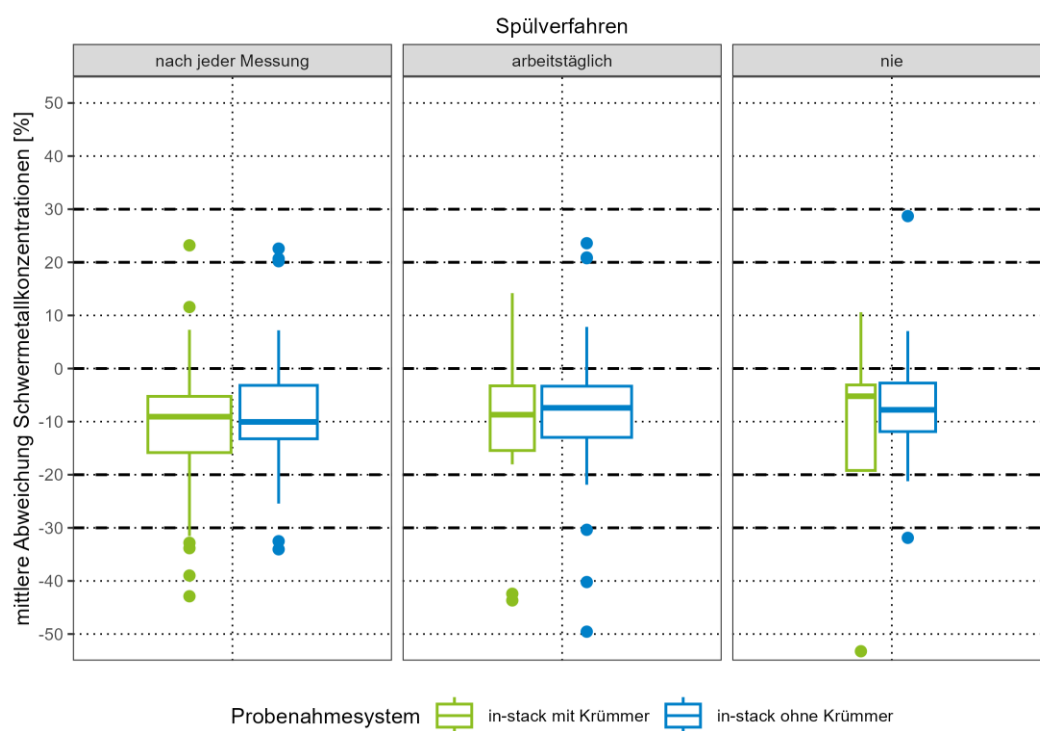
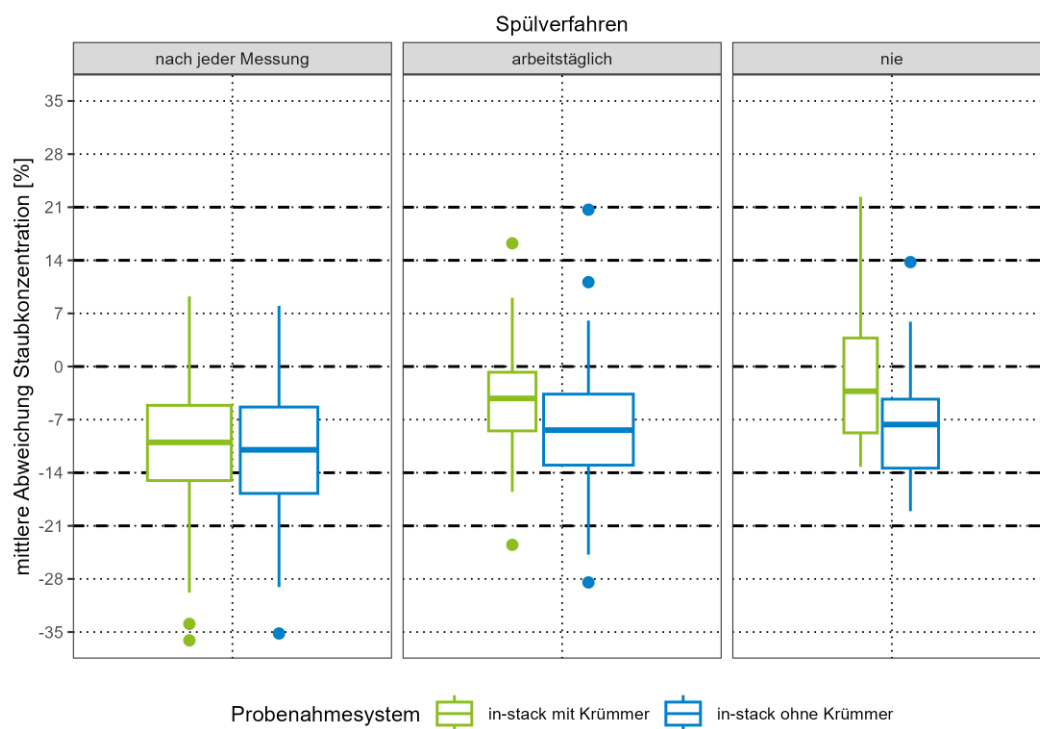


Abbildung 10: Abweichungen für Staub und Schwermetalle, aufgeteilt nach Sondenart und Spülverfahren.

Tabelle 10: Korrelation von Messergebnissen mit Sondensystemen und Spülprozedur (2018-2025)

Kombi- nation Nr.	Sondensystem	Spülprozedur	Median mittlere Abweichung Gesamtstaub- Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer	Median mittlere Abweichung Schwermetall- Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer
1 (links)	in-stack mit Krümmer	nach jeder Messung	-10,0%	69	-9,1%	67
2 (Mitte)		arbeits- täglich	-4,2%	22	-8,7%	19
3 (rechts)		kein Spülen	-3,3%*	11*	-5,2%*	8*
4 (links)	in-stack ohne Krümmer	nach jeder Messung	-11,0%	59	-10,1%	58
5 (Mitte)		arbeits- täglich	-8,4%	78	-7,4%	77
6 (rechts)		kein Spülen	-7,6%	31	-7,8%	30

*Diese Kombination wurde nur von ca. 3-4% der Teilnehmer angegeben. Der Median ist hier deutlich weniger aussagekräftig als bei den anderen Kombinationen.

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). Die Messergebnisse für Schwermetalle liegen bei diesem Sondentyp in allen Fällen sehr nahe bei dem mittleren Ergebnis für Gesamtstaub.

Sonden mit Krümmer erzielen bei Spülung nach jeder Messung (Kombination 1) sowohl beim Staub, als auch bei den Schwermetallen im Mittel ähnliche Ergebnisse wie Sonden ohne Krümmer (Kombination 4). Die im Vergleich besten Ergebnisse wurden mit einer in-stack-Sonde mit Krümmer und arbeitstäglichem Spülen erzielt (Kombination 2), die mittlere Wiederfindung von 95,8% der Staubmassenkonzentration stützt sich hier allerdings auf vergleichsweise wenige Teilnahmen (22, ca. 8% aller Messergebnisse). Zugleich ist dies die einzige Kombination, bei der die Abweichung bei den Schwermetallen im Mittel mehr als Doppelt so hoch ausfällt wie die Abweichung bei Gesamtstaub.

Im Mittel zeigen auch die Ergebnisse der Staubbmessungen in den Ringversuchen des Jahres 2025 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 Staubbmessungen

Auf der Grundlage der seit 2016 gesammelten Daten zu den eingereichten Messergebnissen und den Durchmessern der dabei verwendeten Sondenöffnungen (ca. 410 Teilnahmen) lässt sich in- zwischen 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 drei Gruppen einteilen: Ungefähr ein Viertel der Teilnehmer verwendet Sonden mit einem Durchmesser zwischen 8,0 und 9,9 mm. Einige Teilnehmer (weniger als 5%) verwenden Sonden mit Durchmessern zwischen 10,1 und 12,0 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 etwas

niedrigere Wiederfindungen erzielt. Die Ergebnisse unter Verwendung von Sondendurchmessern von weniger als 8 mm liegen deutlich darunter und weisen eine höhere Streuung auf.

Sondendurchmesser < 6 mm oder > 10 mm wurden von jeweils weniger als 21 Teilnehmern (bzw. 5% aller Teilnehmer) genannt und sind hier nicht explizit aufgeführt.

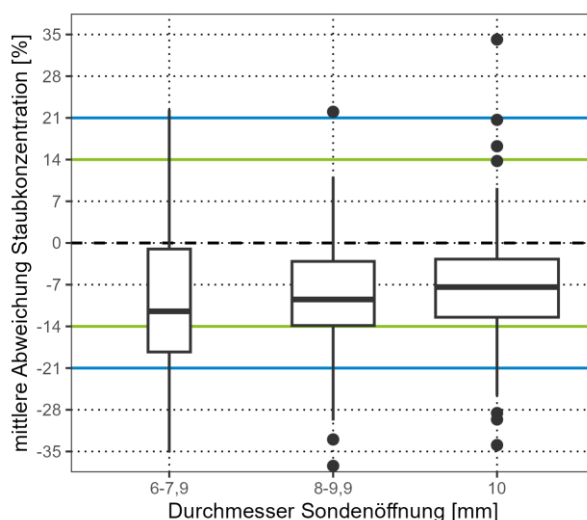


Abbildung 11: Mittlere Abweichung der Staubkonzentration vom Sollwert, aufgeteilt nach dem Durchmesser der Sondenöffnung (2016-2025).

**Tabelle 11: Korrelation der mittleren Abweichung der Staubkonzentration vom Sollwert mit dem Sonden-
durchmesser (2016-2025)**

Durchmesser der Sondenöffnung	6 bis 7,9 mm	8 bis 9,9 mm	10 mm
75. Perzentil	-1,0%	-3,1%	-2,7%
Median	-11,5%	-9,5%	-7,4%
25. Perzentil	-18,3%	-13,9%	-12,5%
Anzahl der Werte	30	113	252

Die Beobachtung, dass größere Durchmesser der Sondenöffnung zu besseren Messergebnissen führen, ist aus physikalischer Sicht eigentlich nicht überraschend. Mit steigendem Durchmesser der Sondenöffnung ändern sich mehrere Parameter, die für die Qualität der Messwerte relevant sind. Turbulenzen am Rand der Sondenöffnung werden mit zunehmendem Durchmesser weniger relevant für die Abgasströmung in die Sonde. Der Fehler bei der Ermittlung der Öffnungsfläche wird geringer, was zu einem geringeren Fehler bei der Isokinetik führt, da der Probenvolumenstrom auf der Grundlage dieser Fläche berechnet wird. Das abgesaugte Volumen pro Probe und die auf dem Filter gesammelte Staubmasse steigen. Die höhere Staubmasse verringert den relativen Einfluss von Wägefehlern, zugleich spielen Wandeffekte und Verluste eine zunehmend geringe Rolle. Anhand der folgenden Zahlenbeispiele lässt sich dies leicht nachvollziehen.

Tabelle 12: Beispielhafte Auswirkungen unterschiedlicher Durchmesser der Sondenöffnung auf verschiedene Parameter einer Staubbemessung

Parameter	Durchmesser der Sondenöffnung		
	6 mm	8 mm	10 mm
Probenvolumen bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 11 m/s, 30 °C, 1013 mbar und 2 Vol.-% Wasserdampf	0,49 m ³ (Nz, tr)	0,88 m ³ (Nz, tr)	1,37 m ³ (Nz, tr)
Relativer Fehler, wenn das Probenvolumen um 0,03 m ³ (Nz, tr) zu groß berechnet wurde	-5,7%	-3,3%	-2,1%
Staubmasse in der Probe bei einer Abgaskonzentration von 5 mg/m ³ (Nz, tr)	2,5 mg	4,4 mg	6,9 mg
Relativer Fehler bei dieser Konzentration und einem Staubverlust von 0,3 mg aus der Probe	-12,1%	-6,8%	-4,4%
Fehler bei der Isokinetik, wenn der Durchmesser der Sondenöffnung um 0,2 mm kleiner ist als angenommen	+7,0%	+5,2%	+4,1%
Maximaler Minderbefund aufgrund dieses Isokinetikfehlers bei grobkörnigem Staub	-6,6%	-4,9%	-4,0%
Verhältnis Sondenöffnungsfläche (in mm ²) zu Umfang der Sondenöffnung (in mm)	1,5	2,0	2,5

Beachtet werden sollte in diesem Zusammenhang auch, dass der Zustand der Sondenöffnung einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Messergebnisse hat. Für zuverlässige Messergebnisse ist es unverzichtbar, eine scharfkantige und unbeschädigte Sonde zu verwenden. Seit Anfang 2023 wird der Zustand der Sondenöffnungen der Teilnehmer im Staubringversuch photographisch dokumentiert. In diesem Zeitraum haben bisher 15 Teilnehmer Sonden verwendet, die einen Durchmesser von 10 mm oder mehr hatten und als „scharfkantig“ und unbeschädigt gelten können. Der Median der mittleren Abweichung dieser Teilnehmer vom Sollwert lag bei -2,8%, das 75. und 25. Perzentil lagen bei +0,5% und -8,9%. Im gleichen Zeitraum haben 55 Teilnehmer Sonden mit einem Öffnungsdurchmesser von 10 mm oder mehr verwendet, die nicht als „dünnwandig“ angesehen werden können und/oder klar erkennbare Beschädigungen wie Dellen oder Kerben aufwiesen. Bei diesen Teilnehmern lag der Median der mittleren Abweichung vom Sollwert bei -11,5%, das 75. und 25. Perzentil lagen bei -7,1% und -15,6%. Diese Zahlen sind mit Vorsicht zu verwenden, da es keine klare Definition von „scharfkantig“ und entsprechend auch keine klare Grenze zwischen geeigneten und nicht geeigneten Sonden gibt. Die Einteilung der Messergebnisse in die genannten Gruppen ist in diesem besonderen Fall daher nicht ganz eindeutig. Der generelle Trend deckt sich aber mit unseren eigenen Untersuchungen (20).

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 43 Teilnehmer gaben an, die Schwermetallanalytik mittels AAS-Geräten durchzuführen, während 338 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.

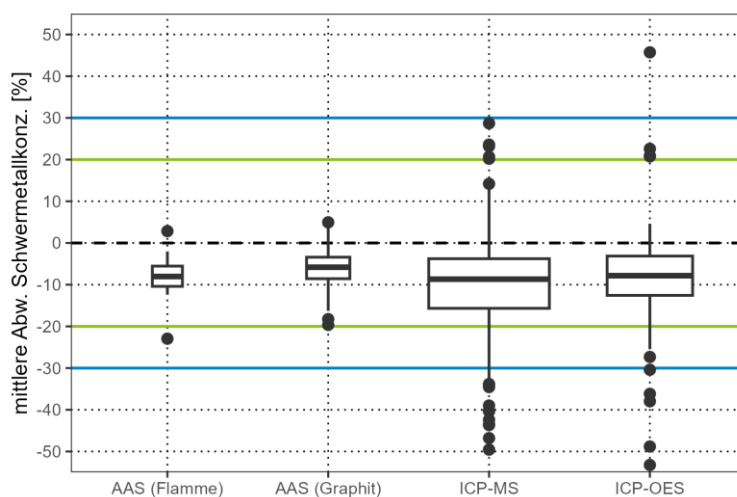


Abbildung 12: Mittlere Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert, aufgeteilt nach den verwendeten Analysegeräten (2016-2025).

Tabelle 13: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Analysegeräten (2016-2025)

Messgerät	Flammen-AAS	Graphitrohr-AAS	ICP-MS	ICP-OES
75. Perzentil	-5,5%	-3,4%	-3,8%	-3,1%
Median	-8,0%	-5,8%	-8,7%	-7,8%
25. Perzentil	-10,4%	-8,6%	-15,7%	-12,6%
Anzahl der Werte	14	29	225	113

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.

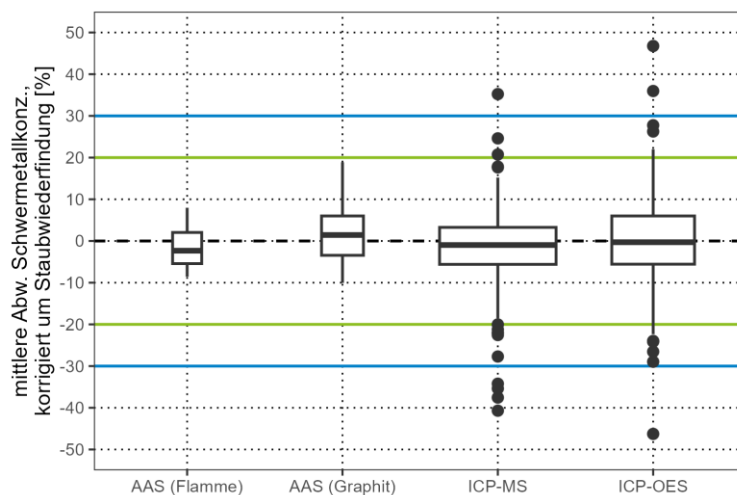


Abbildung 13: Mittlere Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert, aufgeteilt nach den verwendeten Analysegeräten, jeweils korrigiert um die mittlere Abweichung der Gesamtstaubkonzentration (2016-2025).

Tabelle 14: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Analysegeräten, jeweils korrigiert um die mittlere Abweichung der Gesamtstaubkonzentration (2016-2025)

Messgerät	Flammen-AAS	Graphitrohr-AAS	ICP-MS	ICP-OES
75. Perzentil	+2,0%	+6,0%	+3,3%	+6,0%
Median	-2,3%	+1,4%	-1,0%	-0,3%
25. Perzentil	-5,4%	-3,4%	-5,6%	-5,6%
Anzahl der Werte	14	29	224	113

7.4 Chemikalien in der Aufschlusslösung

Das Normverfahren stellt Mindestanforderungen zur Zusammensetzung der Aufschlusslösung 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 Flusssäure (HF) und Salpetersäure (HNO₃), ungefähr die Hälfte davon gibt zusätzlich noch Wasserstoffperoxid (H₂O₂) hinzu, während einzelne Labore stattdessen Salzsäure (HCl) hinzufügen. Die Messergebnisse dieser Teilnehmer fallen grundsätzlich ähnlich aus, allerdings scheint die Zugabe von Wasserstoffperoxid und Salzsäure zu einer größeren Streuung der Ergebnisse zu führen.

Insgesamt 8 Teilnehmer haben bislang angegeben, anstelle von Flusssäure eine Kombination aus Tetrafluorboronsäure (HBF₄) und Salpetersäure (HNO₃) zu verwenden, die Hälfte davon hat zusätzlich und Salzsäure (HCl) zum Aufschluss gegeben. Die Messergebnisse dieser Gruppe zeigen vergleichsweise große Abweichungen, allerdings liegen hier nur wenige Daten vor, sodass die Befunde hier noch nicht eine generelle Aussage über das Verfahren zulassen.

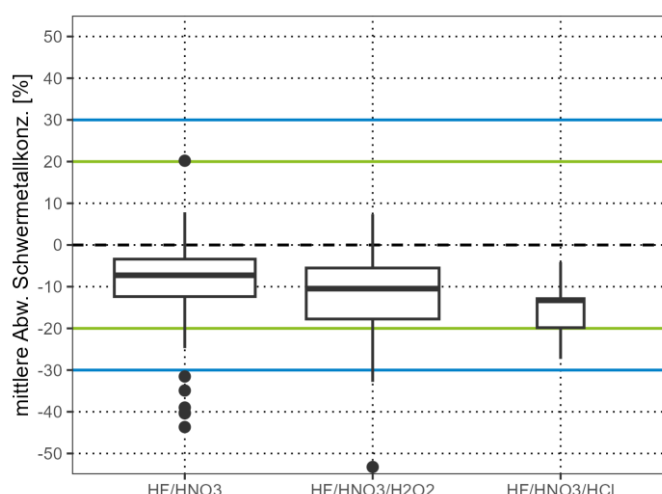


Abbildung 14: Mittlere Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert, aufgeteilt nach den verwendeten Chemikalien in der Aufschlusslösung (2024-2025).

Tabelle 15: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Chemikalien in der Aufschlusslösung (2024-2025)

Chemikalien	HF und HNO ₃	HF, HNO ₃ und H ₂ O ₂	HF, HNO ₃ und HCl
75. Perzentil	-3,4%	-5,5%	-12,9%
Median	-7,3%	-10,5	-13,3%
25. Perzentil	-12,4%	-17,8%	-19,8%
Anzahl der Werte	45	40	5

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. Eine Ausnahme bilden hier die Teilnehmer, die Salzsäure zu ihrem Aufschluss geben. Bei diesen Teilnehmern lassen sich die Minderbefunde bei den Schwermetallen offensichtlich nicht allein durch zu geringe Staubmengen in der Probe erklären.

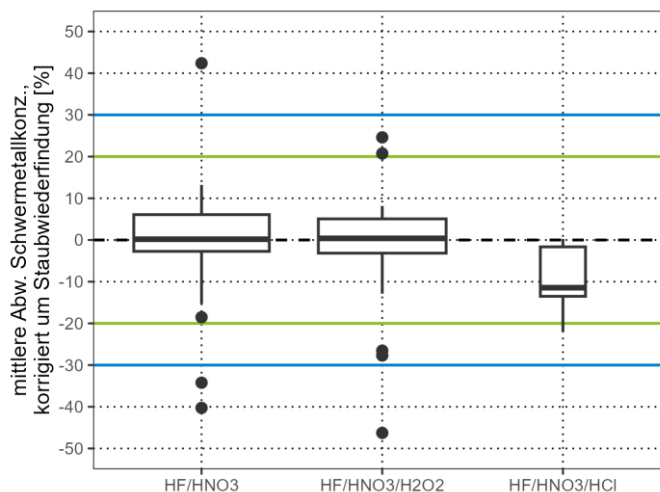


Abbildung 15: Mittlere Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert, aufgeteilt nach den verwendeten Chemikalien in der Aufschlusslösung, jeweils korrigiert um die mittlere Abweichung der Gesamtstaubkonzentration (2024-2025).

Tabelle 16: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Chemikalien in der Aufschlusslösung, jeweils korrigiert um die mittlere Abweichung der Gesamtstaubkonzentration (2024-2025)

Chemikalien	HF und HNO ₃	HF, HNO ₃ und H ₂ O ₂	HF, HNO ₃ und HCl
75. Perzentil	+6,1%	+5,1%	-1,6%
Median	+0,2%	+0,4%	-11,4%
25. Perzentil	-2,7%	-3,2%	-13,5%
Anzahl der Werte	45	40	5

Bei den 4 Teilnehmern, die den Aufschluss mit HBF₄/HNO₃ durchführen, liegt der mittlere Minderbefund nur noch bei ca. -2%, wenn die Minderbefunde bei der Gesamtstaubmasse rechnerisch berücksichtigt werden. Für die 4 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 -14%.

7.5 Lösungsmittel zur Desorption von ETX

Für die Desorption der Lösungsmittel Ethylbenzol, Toluol und Xylol (ETX) aus der Aktivkohle der Probenahmeröhrchen stehen den Teilnehmern neben dem üblichen Lösungsmittel Schwefelkohlenstoff (CS_2) auch noch andere Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemische zur Auswahl. Die überwiegende Anzahl der Teilnehmer gab an, mit CS_2 gearbeitet zu haben. Die Ergebnisse aller Teilnehmer liegen im Mittel nahe beim Sollwert.

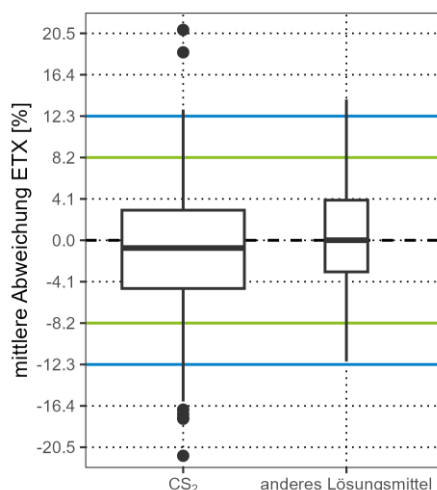


Abbildung 16: Mittlere Abweichung der ETX-Messergebnisse vom Sollwert, aufgeteilt nach dem verwendeten Desorptions-Lösungsmittel (2016-2025).

Tabelle 17: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit dem Desorptions-Lösungsmittel (2016-2025)

Desorptionsmittel	CS_2	Anderes Lösungsmittel
75. Perzentil	+3,0%	+4,0%
Median	-0,7%	+0,0%
25. Perzentil	-4,7%	-3,1%
Anzahl der Werte	323	39

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:

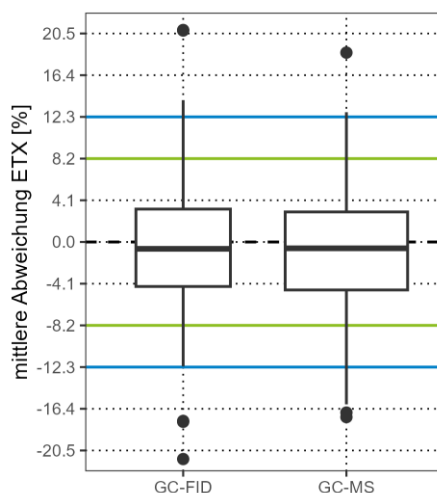


Abbildung 17: Mittlere Abweichung der ETX-Messergebnisse vom Sollwert, aufgeteilt nach dem verwendeten Analysengeräten (2016-2025).

Tabelle 18: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit Analysengeräten (2016-2025)

Messgerät	GC-FID	GC-MS
75. Perzentil	+3,2%	+3,0%
Median	-0,7%	-0,6%
25. Perzentil	-4,4%	-4,7%
Anzahl der Werte	135	227

Für das Gesamtverfahren von Probenahme und Analytik erzielten die Teilnehmer im Mittel 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:

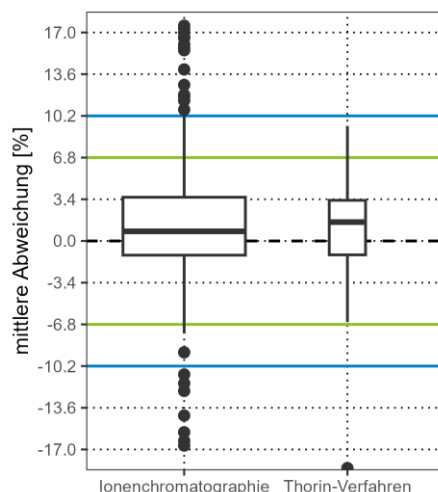


Abbildung 18: Mittlere Abweichung der Schwefeldioxid-Messergebnisse vom Sollwert, aufgeteilt nach dem verwendeten Analyseverfahren (2016-2025).

Tabelle 19: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwefeldioxid-Messergebnisse vom Sollwert mit dem verwendeten Analyseverfahren (2016-2025)

Bestimmungsmethode	Ionenchromatographie	Thorin-Verfahren
75. Perzentil	+3,6%	+3,3%
Median	+0,7%	+1,5%
25. Perzentil	-1,2%	-1,6%
Anzahl der Werte	343	31

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.

7.8 Formaldehyd

Für die Messung von Formaldehyd-Konzentrationen stehen den Teilnehmern die Richtlinien VDI 3862 Blatt 2 (16), Blatt 3 (17) und Blatt 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:

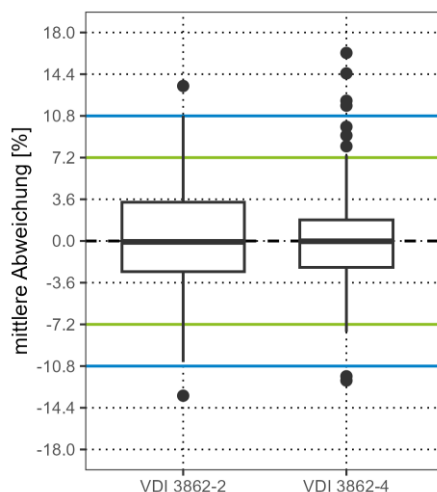


Abbildung 19: Mittlere Abweichung der Formaldehyd-Messergebnisse vom Sollwert, aufgeteilt nach der verwendeten Richtlinie (2016-2025).

Tabelle 20: Korrelation der mittleren Abweichung der Formaldehyd-Messergebnisse vom Sollwert mit den verwendeten Richtlinien (2016-2025)

Richtlinie (Bestimmungsmethode)	VDI 3862 Blatt 2 (DNPH Waschflaschen)	VDI 3862 Blatt 4 (AHMT-Verfahren)
75. Perzentil	+3,3%	+1,8%
Median	-0,1%	-0,0%
25. Perzentil	-2,6%	-2,3%
Anzahl der Werte	163	95

Das DNPH-Waschflaschen-Verfahren liefert offenbar im Mittel vergleichbar gute Werte wie das AHMT-Verfahren. Die Streuung der Ergebnisse scheint jedoch beim AHMT-Verfahren etwas geringer zu sein.

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 ...

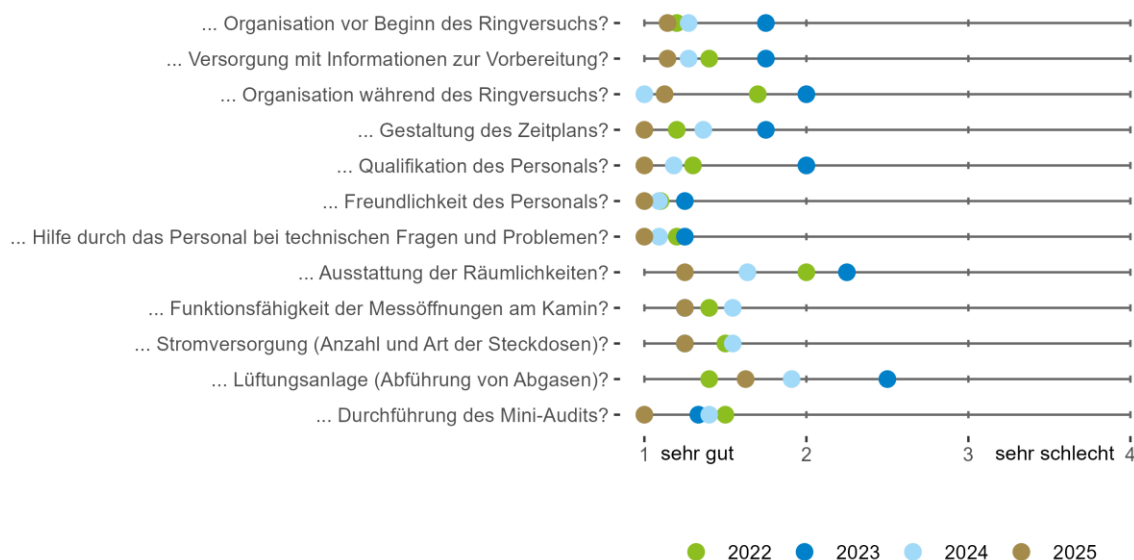


Abbildung 20: Feedback der Teilnehmer zu den Ringversuchen (2022-2025).

Insgesamt gab es letztes Jahr 8 Rückmeldungen (ca. 7% aller Teilnahmen). In den eingegangenen Feedbacks zeigte sich auch 2025 eine insgesamt hohe Zufriedenheit der Teilnehmer mit der Ringversuchsdurchführung. Besonders zufrieden waren die Teilnehmer mit der Gestaltung des Zeitplans, mit der Qualifikation und Freundlichkeit des Personals sowie mit den Hilfestellungen durch das Personal bei technischen Fragen und Problemen (mittlere Note: jeweils 1,0). Die im Vergleich schlechtesten Bewertungen gab es, wie schon im letzten Jahr, zur Lüftungsanlage (mittlere Note: 1,6). Vor allem wurden hier fehlende Möglichkeiten zum Ableiten der Abluft aus den Probenahmesystemen kritisiert.

Ein Teilnehmer bemängelte die aus seiner Sicht vor allem im Gasringversuch zu geringe Anzahl an 3“-Messöffnungen. Die Installation von zusätzlichen Messöffnungen an der Ringversuchsanlage ist allerdings nicht ohne weiteres möglich. Der einzige realistische Weg zur Erhöhung der Anzahl an verfügbaren Messöffnungen pro Teilnehmer wäre daher die Reduzierung der Teilnehmerzahl. Um die Anzahl der Messöffnungen pro Teilnehmer um ein Drittel zu erhöhen, könnte z.B. die Anzahl der Teilnehmer auf maximal 6 pro Ringversuch reduziert werden. Dies entspricht auch dem Vorschlag eines weiteren Teilnehmers, der die Anzahl der Messinstitute pro Ringversuch gerne generell senken würde. Dazu müssten dann allerdings auch die Teilnahmegebühren um ca. 1000 € pro Teilnehmer und Ringversuch angehoben werden. Es ist fraglich, ob diese Maßnahme wirklich im Sinne der Teilnehmer wäre.

Kritisiert wurde außerdem, dass es zu wenig Zeit für den Umbau der Messgeräte gäbe. Aus Sicht des HLNUG ist dies allerdings ein Problem, das nur wenige Teilnehmer betrifft. Die meisten Messinstitute nutzen Leerlaufzeiten während der Messungen sowie vor Beginn der Probenahmen am Morgen zum Umbau ihrer Messaufbauten, so dass nach Ende der Probenahmen am Nachmittag

nur noch wenige Restarbeiten zu erledigen sind. In Zeitnot geraten eigentlich nur Institute, die erst nach Ende der Messungen überhaupt beginnen, die Probenahmesysteme für den Folgetag vorzubereiten. Eine Änderung des Zeitplans ist daher aktuell nicht angezeigt.

Angeregt wurde außerdem, dass die Einladungen zum Ringversuch deutlich früher verschickt werden sollten. Dieser Kritikpunkt ist nicht ganz nachvollziehbar, da die Einladungen für die meisten Ringversuche im Jahr 2025 bereits Ende Juli 2024 verschickt wurden, und somit für die meisten Teilnehmer mehr als 6 Monate im Voraus. Grundsätzlich kann die Planung der Ringversuchstermine aber auch noch weiter vorgezogen werden, sodass die Einladungen ca. ein Jahr vor dem Teilnahmetermin versandt werden. Unabhängig davon können die Messstellen selbstverständlich auch selbst aktiv werden und bei absehbaren Termschwierigkeiten selbst mögliche Zeiträume für Ringversuchsteilnahmen vorschlagen bzw. vereinbaren. Durch eine regelmäßig aktualisierte Langzeitplanung seitens des HLNUG ist den bekanntgegebenen Messstellen mindestens 3 Jahre im Voraus bekannt, welche Standorte in welchem Jahr zu einer Teilnahme am Ringversuch aufgefördert werden.

Ein anderer Teilnehmer kritisierte, dass der Theorietest zu wenig mit der praktischen Tätigkeit der Messstellen zu tun habe. Offene Fragen zum Technischen Regelwerk würden in der Praxis durch computergestützte Suchen in elektronischen Dokumenten geklärt, und nicht durch Blättern in Papierordnern. Einige Fragen des Tests würden außerdem eher als Schikane wirken, als das Fachwissen der Institute zu überprüfen. Dazu ist zu sagen, dass der Theorietest nicht das Ziel hat, die praktischen Tätigkeiten in der Messstelle nachzubilden. Ziel ist hier vielmehr, durch einen einheitlichen, unabhängigen, und nicht manipulierbaren Test ein Bild von dem Fachwissen der Teilnehmer bezüglich der Inhalte des Technischen Regelwerks zu erhalten. Voraussetzung dafür ist unter anderem, dass die Fragen sich allein auf die Inhalte der Normen und Richtlinien beziehen, da „gute Praxis“ letztlich oft Ansichtssache ist und in der Regel keine eindeutig richtigen und falschen Antworten zulässt. Die Beschränkung auf Fragen, die eindeutig anhand der Norm zu beantworten sind, führt in Verbindung mit dem Testdesign (immer exakt 4 Antwortmöglichkeiten, von denen nur eine korrekt ist) in einigen Fällen zu relativ herausfordernden Aufgaben, manche anderen Fragen beziehen sich auf Aspekte, die für die Richtigkeit der Messergebnisse eher wenig relevant sind. Beide Fälle werden allerdings durch die Zuordnung unterschiedlicher Punktzahlen (von 1 bis 3) zu den Aufgaben kompensiert. Das Bewertungsschema zielt zudem darauf ab, dass nicht jede einzelne Frage korrekt beantwortet sein muss. Zielmarke ist lediglich, mehr als die Hälfte der Maximalpunktzahl zu erreichen. Dafür müssen im Zweifel nur 6 von 15 Fragen richtig beantwortet sein. Die Verwendung von Papierordnern ist aus unserer Sicht die einzige Möglichkeit, den Test ohne die Notwendigkeit, alle Normen auswendig lernen zu müssen, aber zugleich ohne Manipulationsmöglichkeiten durchzuführen. Eine Alternative wäre höchstens die Bereitstellung von Computern oder Tablets ohne Internetzugriff. Allerdings würde dieser Aufwand in keinem sinnvollen Verhältnis zur Zielsetzung des Theorietests stehen. Dieser wurde bewusst niedrigschwellig angelegt, ohne konkrete Verpflichtungen oder Konsequenzen für die Teilnehmenden. Unsere Beobachtung in den verschiedenen Ringversuchen ist bisher, dass die Testergebnisse durchaus mit dem Fachwissen der Teilnehmenden korrelieren. Personen, die sich sicher im Technischen Regelwerk bewegen, haben in der Regel kein Problem, den Test zu bestehen. Nicht erfolgreich waren bisher vor allem Personen, die sich in ihrem Berufsalltag darauf beschränken, die wichtigsten Punkte der Arbeitsanweisungen ihrer Messstelle umzusetzen, ohne sich aktiv mit dem dahinterstehenden Regelwerk auseinanderzusetzen.

Als zusätzliche Komponente wurden von einem Teilnehmer Ammoniak (NH_3) und Lachgas (N_2O) vorgeschlagen. Sofern dieser Wunsch in Zukunft häufiger aufkommen sollte, kann eine Umsetzung an der ESA geprüft werden.

8. Schlussbemerkung

Die Messergebnisse in den Emissionsringversuchen haben sich 2025 im Vergleich zum Jahr 2024 nur wenig verändert. Für viele Komponenten sind die Messergebnisse im Staub- und im Gasringversuch noch immer schlechter als in den Jahren vor der SARS-CoV-2-Pandemie. Dies betrifft vor allem die diskontinuierlichen Komponenten wie Gesamtstaub und die organischen Einzelstoffe (Ethylbenzol, Toluol und Xylol). Beim Gesamtstaub ist ein Zusammenhang zwischen den Messergebnissen und den verwendeten Sonden erkennbar. Teilnehmer, die scharfkantige Sonden mit mindestens 10 mm Durchmesser verwendeten, erzielten im Mittel deutlich bessere Messergebnisse als Teilnehmer, die dickrandige und/oder beschädigten Sondenspitzen mit kleineren Durchmessern einsetzten. Minderbefunde bei den Schwermetallen sind für die meisten Teilnehmer eine direkte Folge der Minderbefunde beim Gesamtstaub. Die Zugabe von Salzsäure (HCl) zur Aufschlusslösung wirkt sich möglicherweise negativ auf die Wiederfindung der Schwermetalle aus, diese Beobachtung stützt sich aber bislang nur auf wenige Messergebnisse und könnte daher auch ein Trugschluss sein. Bei den organischen Komponenten Ethylbenzol, Toluol und Xylol sind die Ursachen für die in den letzten Jahren vermehrt aufgetretenen Minderbefunde unklar, die Teilnehmer scheinen hier aber nach und nach Fehlerquellen zu identifizieren und zu beseitigen. Die dort zuletzt beobachteten Minderbefunde gehen jedenfalls zurück.

Im Geruchsringversuch erzielten die Teilnehmer im Jahr 2025 insgesamt leicht unterdurchschnittliche Ergebnisse, die geringe Teilnehmerzahl (meist 15-20) führt bei diesem Ringversuch allerdings leicht zu enormen Schwankungen in der Statistik. Auch in diesem Jahr waren einige Teilnehmer aufgrund typischer Fehler bei der Olfaktometrie nicht erfolgreich. Dazu zählten Nullprobenfehler und Stufenauslassungen der Prüfer, aus denen nicht die richtigen Schlüsse gezogen wurden, sowie Fehler bei der Festlegung der Startverdünnung.

Seit dem Jahr 2024 bieten wir den Staub- und Gasringversuch auch in einer Kurzversion an. Diese auf 6 bewertete Messungen gekürzte Version des Ringversuchs richtet sich speziell an diejenigen Teilnehmer, die keine Bekanntgabe nach der 41. BImSchV anstreben. Die 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. Inzwischen kommen allerdings ungefähr 15-20% unserer Teilnehmer aus dem Ausland. Diese Messinstitute streben in der Regel keine Bekanntgabe in Deutschland an und zeigen zunehmendes Interesse an der Kurzversion unseres Staub- und Gasringversuchs.

Kassel, 16. Februar 2026

gez. J. Cordes

Dr. Jens Cordes

Fachlich Verantwortlicher
Ringversuche

gez. B. Stoffels

Benno Stoffels

Stellvertretender Fachlich
Verantwortlicher Ringversuche

gez. D. Wildanger

Prof. Dr. Dominik Wildanger

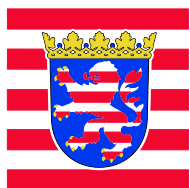
Dezernatsleiter

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**, p. 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*).
7. DIN ISO 13528:2025-07 - Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Vergleiche zwischen Laboratorien (ISO 13528:2022); Text Deutsch und Englisch. *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison (ISO 13528:2022); Text in German and English*).
8. DIN EN 14385:2025-03 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Gesamtemission von As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, TI und V; Deutsche Fassung EN 14385:2024. (*Stationary source emissions - Determination of the total emission of As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, TI and V; German version EN 14385:2024*).
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*).
10. DIN EN 13284-1:2018-02: Emissionen aus stationären Quellen - Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen - Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren; Deutsche Fassung EN 13284-1:2017. (*Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust. Manual gravimetric method; German version EN 13284-1:2017*).
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*).

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.*).
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.*).
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 Lösemittlextraktion 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.*).
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.*).
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*).
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*).
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*).
19. DIN EN 13725:2022-06 - Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration durch dynamische Olfaktometrie und die Geruchsstoffemissionsrate; Deutsche Fassung EN 13725:2022. (*Stationary source emissions – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry and odour emission rate; German version EN 13725:2022*).
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, pp. 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