



# Jahresbericht 2021

Ergebnisse der Emissionsringversuche der Stoffbereiche P, G  
und O an der Emissionssimulationsanlage im Jahr 2021

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

<b>1.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>4</b>
2.1	Rechtlicher Hintergrund.....	4
2.2	Die Emissionssimulationsanlage.....	4
<b>3.</b>	<b>Organisatorische Informationen</b> .....	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Durchführung der Ringversuche</b> .....	<b>8</b>
4.1	Beschreibung der Prüfgegenstände.....	8
4.2	Herstellung der Prüfgegenstände.....	9
4.3	Metrologische Rückführung.....	9
4.4	Ablauf der Messungen.....	10
4.5	Auswertung der Ringversuche.....	10
4.5.1	Berechnung von z-Scores.....	10
4.5.2	Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer.....	12
4.5.3	Bewertungsschema.....	13
4.5.4	Ergebnismitteilung.....	14
<b>5.</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>14</b>
5.1	z-Scores.....	14
5.1.1	Staub (Stoffbereich P).....	15
5.1.2	Gas (Stoffbereich G).....	19
5.1.3	Geruch (Stoffbereich O).....	23
5.1.4	Randbedingungen.....	25
5.2	Klassensummen.....	27
5.2.1	Staub (Stoffbereich P).....	28
5.2.2	Gas (Stoffbereich G).....	29
5.2.3	Geruch (Stoffbereich O).....	30
<b>6.</b>	<b>Interpretation der Ergebnisse</b> .....	<b>31</b>
6.1	§29b-Messstellen.....	32
6.2	Freiwillige Teilnehmer.....	33
6.3	Randbedingungen.....	34
<b>7.</b>	<b>Freiwillige Angaben der Teilnehmer</b> .....	<b>34</b>
7.1	Messunsicherheiten.....	35
7.2	Sonde und Spülen bei Staubmessungen.....	36
7.3	Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen.....	38

7.4	Analysegeräte für Schwermetalle .....	39
7.5	Formaldehyd .....	40
7.6	Schwefeldioxid.....	40
7.7	Lösungsmittel zur Desorption von ETX.....	41
7.8	Gaschromatographie Detektoren .....	42
7.9	Feedback der Teilnehmer .....	43
<b>8.</b>	<b>Schlussbemerkung .....</b>	<b>44</b>
<b>9.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>46</b>

# 1. Zusammenfassung

Sowohl an den Staub-Emissionsringversuchen (Stoffbereich P), als auch an den Gas-Emissionsringversuchen (Stoffbereich G) des HLNUG nahmen im Jahr 2021 jeweils insgesamt 48 Messinstitute teil, davon waren in beiden Ringversuchsarten 42 Teilnehmer §29b-Messstellen und 6 Freiwillige. Alle Staub- und Gasringversuche im Jahr 2021 wurden in der „Pandemieversion“ durchgeführt, eine Gesamtbewertung der Teilnehmerergebnisse fand dabei nicht statt.

An den Geruchs-Emissionsringversuchen (Stoffbereich O) nahmen 2021 insgesamt 19 Messstellen teil, von denen 15 aufgrund einer Bekanntgabe nach §29b BImSchG und 4 freiwillig teilnahmen. Hier waren 60% der bekanntgegebenen und 50% der freiwilligen Teilnehmer erfolgreich.

## 2. Einleitung

### 2.1 Rechtlicher Hintergrund

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

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

### 2.2 Die Emissionssimulationsanlage

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

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

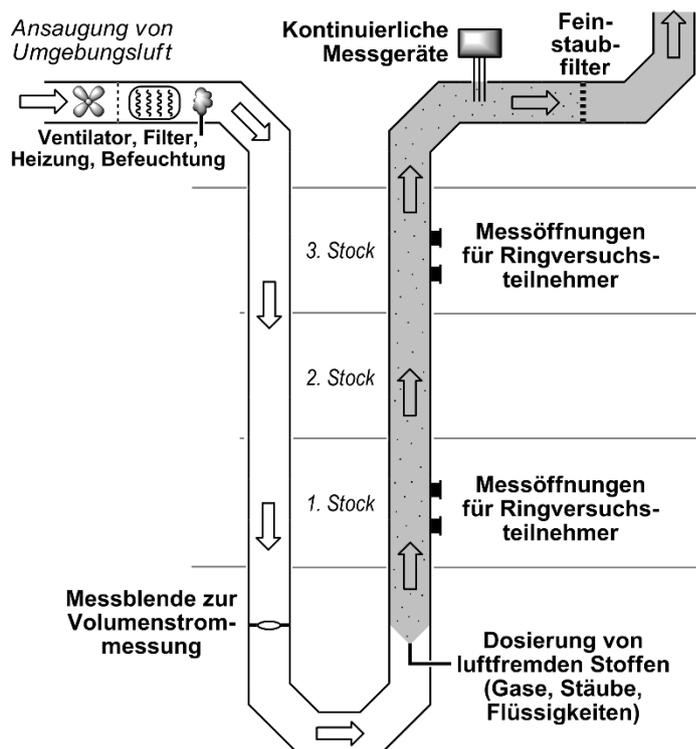


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ESA des HLNUG in Kassel

Die Prüfatmosphäre in Form von simuliertem Abgas wird erzeugt, indem Umgebungsluft angesaugt, durch die Anlage gepumpt, erwärmt und mit genau dosierten Mengen an Fremdstoffen versetzt wird. Das Abgas strömt dabei typischerweise mit ca. 5 – 11 m/s durch die ESA, dadurch wird ein Volumen von ca. 2200 – 5000 m<sup>3</sup>/h durch die Anlage bewegt.

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

### 3. Organisatorische Informationen

Im Jahr 2021 wurden folgende Ringversuche der Stoffbereiche P, G und O durchgeführt:

**Tabelle 1: Emissionsringversuche des HLNUG im Jahr 2021**

Ringversuch	Art	Datum	Teilnehmer
21G11	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	02.02.2021	2
21P11	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	02.02.2021	2
21G12	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	03.02.2021	1
21P12	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	03.02.2021	1
21G13	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	04.02.2021	2
21P13	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	04.02.2021	2
21G14	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	05.02.2021	2
21P14	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	05.02.2021	2
21G21	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	16.02.2021	2
21P21	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	16.02.2021	2
21G22	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	17.02.2021	2
21P22	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	17.02.2021	2
21G23	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	18.02.2021	2
21P23	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	18.02.2021	2
21G24	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	19.02.2021	2
21P24	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	19.02.2021	2
21G31	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	02.03.2021	2
21P31	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	02.03.2021	2
21G32	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	03.03.2021	2
21P32	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	03.03.2021	2
21G33	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	04.03.2021	1
21P33	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	04.03.2021	1
21G34	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	05.03.2021	2
21P34	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	05.03.2021	2
21G41	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	16.03.2021	2
21P41	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	16.03.2021	2
21G42	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	17.03.2021	2
21P42	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	17.03.2021	2
21G43	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	18.03.2021	2
21P43	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	18.03.2021	2
21G44	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	19.03.2021	2
21P44	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	19.03.2021	2
21G51	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	20.04.2021	2
21P51	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	20.04.2021	2
21G52	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	21.04.2021	2
21P52	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	21.04.2021	2
21G53	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	22.04.2021	2
21P53	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	22.04.2021	2
21G54	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	23.04.2021	2
21P54	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	23.04.2021	2

Ringversuch	Art	Datum	Teilnehmer
2101	Geruch (Stoffbereich O)	21.09.2021	5
2102	Geruch (Stoffbereich O)	23.09.2021	4
2103	Geruch (Stoffbereich O)	28.09.2021	5
2104	Geruch (Stoffbereich O)	30.09.2021	5
21G61	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	09.11.2021	2
21P61	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	09.11.2021	2
21P63	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	11.11.2021	1
21G64	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	12.11.2021	2
21P64	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	12.11.2021	2
21G71	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	23.11.2021	2
21P71	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	23.11.2021	2
21G72	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	24.11.2021	2
21P72	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	24.11.2021	1
21G73	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	25.11.2021	1
21P73	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	25.11.2021	1
21G74	Gas (Stoffbereich G) - Pandemieversion	26.11.2021	1
21P74	Staub (Stoffbereich P) - Pandemieversion	26.11.2021	1

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

**Tabelle 2: Rahmendaten zu den Emissionsringversuchen des HLNUG**

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

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

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

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

Derzeit fachlich verantwortlich für die Durchführung der Ringversuche sind:

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

## 4. Durchführung der Ringversuche

### 4.1 Beschreibung der Prüfgegenstände

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

**Tabelle 3: Maximalwerte der Standardabweichungen zwischen den Proben**

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

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

## 4.2 Herstellung der Prüfgegenstände

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

Im Gegensatz zu den Reinsubstanzen bei Gas- und Geruchs-Ringversuchen sind für partikel-förmige Stoffe keine Referenzmaterialien in ausreichender Menge am Markt verfügbar. Daher werden für Ringversuche des Bereichs 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 SO<sub>2</sub> und Stäube werden durch Differenzwägung der verwendeten Behälter ermittelt, auch hier sind die verwendeten Waagen über geeignete Prüfgewichte messtechnisch rückgeführt. Die zugewiesenen Werte der Schwermetallkonzentrationen im Staub werden im Rahmen von Ringanalysen von

kompetenten Laboratorien unter Verwendung verschiedener Analysengeräte ermittelt. Im Rahmen dieser Ringanalysen erfolgt ein Totalaufschluss des Staubes gemäß DIN EN 14385 (8), sowie eine Analyse unter Verwendung kalibrierter Messeinrichtungen. Diese Kalibrierung erfolgt mittels Elementlösungen bekannter rückgeführter Zusammensetzung. Die Schwermetallkonzentrationen in den verwendeten Prüfstäuben sind darüber metrologisch rückgeführt. Der Volumenstrom wird über eine Messblende ermittelt, welche regelmäßig mittels metrologisch rückgeführter Messgeräte überprüft wird. Durch die Berechnung aus metrologisch rückgeführten Massenströmen und metrologisch rückgeführten Volumenströmen sind alle angegebenen Massenkonzentrationen ebenfalls metrologisch rückgeführt. Die Maximalwerte der relativen Standardunsicherheit der zugewiesenen Werte sind in Tabelle 5 zu finden. Genaue Angaben sind in den Ergebnismitteilungen zu den einzelnen Ringversuchsteilnahmen zu finden.

## 4.4 Ablauf der Messungen

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

**Tabelle 4: Ablauf der Emissionsringversuche der Stoffbereiche P, G und O**

Stoffbereich	Komponente(n)	Verfahren
P	Staub	DIN EN 13284-1 (10)
	Staubinhaltsstoffe	DIN EN 14385 (8)
G	SO <sub>2</sub>	DIN EN 14791 (11)
	Gesamt-C	DIN EN 12619 (12)
	ETX	DIN CEN/TS 13649 (13)
	NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub>	DIN EN 14792 (14)
	CO	DIN EN 15058 (15)
O	Vier Geruchsstoffe	DIN EN 13725 (16)

## 4.5 Auswertung der Ringversuche

### 4.5.1 Berechnung von z-Scores

#### Stoffbereich P und G

Die Auswertung der Ringversuchsergebnisse erfolgt gemäß den jeweiligen Durchführungsbestimmungen (Stoffbereich P und G) nach dem z-Score-Verfahren. Dazu wird für den  $i$ -ten Messwert der  $k$ -ten Komponente  $x_{ik}$  ein z-Score-Wert  $z_{ik}$  ermittelt:

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

Dabei ist  $X_{ik}$  der Schätzwert für den wahren Wert der entsprechenden Dosierung (zugewiesener Wert) und  $\sigma_k$  die Präzisionsvorgabe. Der Schätzwert für den wahren Wert wird aus den Messdaten der Dosieranlage sowie dem Volumenstrom hergeleitet.

## Stoffbereich O

Für Geruchsringsversuche 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 Schätzwert für den wahren Wert der entsprechenden Dosierung (zugewiesener Wert) und  $\sigma_k$  die Präzisionsvorgabe. Der Schätzwert für den wahren Wert wird aus der dosierten Massenkonzentration  $c_{ik}$  und dem Geruchsschwellenwert  $c_{0,k}$  der Komponente berechnet:

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

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

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

In den Ringversuchen im Jahr 2021 wurden neben *n*-Butanol die Komponenten Lösungsmittelgemisch (ETX), Tetrahydrothiophen (THT) und künstlicher Schweinestall (PIG) eingesetzt. Der Geruchsschwellenwert  $c_{0,k}$  konnte für die Komponente ETX nach Schema a) ermittelt werden. Hier ergab sich aus 186 Einzelmessungen aus den Jahren 2016 bis 2020 ein Konsenswert von  $c_0 = 224 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Für die Komponenten THT und PIG mussten Konsenswerte nach Schema b) ermittelt werden. Hier ergab sich ein Wert von  $c_0 = 0,503 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für THT und  $c_0 = 160 \mu\text{g}/\text{m}^3$  für PIG, jeweils auf der Grundlage von 45 Einzelmessungen aus dem Jahr 2021.

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

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

nicht erfüllt ist, so wird die Präzisionsvorgabe für die betroffene Komponente entsprechend DIN ISO 13528 (7) angepasst. Dazu wird  $\sigma_k$  auf den nächsten Wert mit zwei Nachkommastellen angehoben, der die obige Bedingung erfüllt. Dies war im Jahr 2021 nur für die Komponente PIG erforderlich, für die  $\sigma_k$  auf einen Wert von 0,22 angehoben wurde. Die Teilnehmer wurden mit der Ergebnismitteilung durch das HLNUG über die Anhebung der Präzisionsvorgabe informiert.

## 4.5.2 Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer

Die Kriterien zur Leistungsbewertung der Teilnehmer (Präzisionsvorgaben)  $\sigma_k$  wurden als Werte aus Erkenntnissen gemäß Abschnitt 6.3 der DIN ISO 13528 (7) durch die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI) festgelegt und im Rahmen der Durchführungsbestimmungen für Emissionsringversuche veröffentlicht. Für Komponenten, die nicht Teil dieser Durchführungsbestimmungen sind, wurden durch das HLNUG Kriterien nach einem vergleichbaren Verfahren festgelegt. Die Werte betragen für die einzelnen Komponenten:

**Tabelle 5: Präzisionsvorgaben**

Nr.	Komponente	Art der Bestimmung	Kurzbezeichnung	Präzisionsvorgabe $\sigma_k$ in % vom Sollwert	Max. Standardunsicherheit der Sollwerte [%]
<b>Stoffbereich P</b>					
P1	Staubkonzentration	diskontinuierlich	St	7,0	1,56
P2	Cadmium	diskontinuierlich	Cd	10,0	1,73
P3	Cobalt	diskontinuierlich	Co	10,0	1,85
P4	Chrom	diskontinuierlich	Cr	10,0	1,83
P5	Kupfer	diskontinuierlich	Cu	10,0	2,16
P6	Mangan	diskontinuierlich	Mn	10,0	1,97
P7	Nickel	diskontinuierlich	Ni	10,0	1,90
P8	Blei	diskontinuierlich	Pb	10,0	1,82
P9	Vanadium	diskontinuierlich	V	10,0	2,12
<b>Stoffbereich G</b>					
G1	SO <sub>2</sub>	diskontinuierlich	Sd	3,4	1,11
G2	NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub>	kontinuierlich	Nk	3,1	1,03
G3	CO	kontinuierlich	Kk	3,6	1,08
G4	<i>(nicht belegt)</i>				
G5	Ethylbenzol	diskontinuierlich	Ed	4,1	1,01
G6	Toluol	diskontinuierlich	Td	4,1	1,01
G7	Summe <i>o</i> -, <i>m</i> -, <i>p</i> -Xylol	diskontinuierlich	Xd	4,1	1,01
G8	Gesamt-C	kontinuierlich	Ck	3,3	1,08
<b>Stoffbereich O</b>					
O1	<i>n</i> -Butanol	diskontinuierlich	NBU	0,10 †	1,01
O2	Lösungsmittelgemisch	diskontinuierlich	ETX	0,10 †	5,82
O3	Tetrahydrothiophen	diskontinuierlich	THT	0,10 †	5,75
O4	Künstlicher Schweinestallgeruch	diskontinuierlich	PIG	0,22 †	16,0

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

### 4.5.3 Bewertungsschema

#### Interpretation der z-Scores

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

$ z_{ik}  \leq 2$	Ergebnis zufriedenstellend
$2 <  z_{ik}  < 3$	Ergebnis fragwürdig
$ z_{ik}  \geq 3$	Ergebnis unzureichend

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

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

#### Stoffbereich P und G (Pandemieversion)

Für die Komponenten im Staub- und Gasringversuch in der Pandemieversion werden den Beträgen der z-Scores der Ergebnisse der Einzelmessungen Klassenzahlen nach folgendem Schema zugeordnet:

$ z_{ik}  \leq 2$	ergibt $K_{ik} = 1$
$2 <  z_{ik}  < 3$	ergibt $K_{ik} = 2$
$ z_{ik}  \geq 3$	ergibt $K_{ik} = 3$

Eine Komponente wurde dann erfolgreich bestimmt, wenn die zugehörige Summe der Klassenzahlen  $\leq 6$  ist. Der Teilnehmer erhält in diesem Fall für die Komponente die Bewertung „bestanden“. Überschreitet die Klassensumme den zulässigen Wert, erhält der Teilnehmer die Bewertung „nicht bestanden“.

Werden lediglich Messwerte für zwei Messungen eingereicht, gilt die Komponente als „bestanden“, wenn die Summe der Klassenzahlen maximal 4 beträgt. Wird lediglich ein Messwert eingereicht, gilt die Komponente als „bestanden“, wenn die damit erzielte Klassenzahl maximal 2 beträgt. Wenn für eine Komponente Probenahmen oder Messungen durchgeführt wurden, aber kein Messwert eingereicht wurde, wird die Komponente mit „nicht bestanden“ bewertet. Hat der Teilnehmer auf die Durchführung von Probenahmen oder Messungen zu einer Komponente im Ringversuch gänzlich verzichtet, wird diese mit der Bemerkung „nicht teilgenommen“ versehen.

#### Olfaktometrieringversuch

Für die Auswertung werden die Beträge der z-Scores der Ergebnisse der  $n$  Messungen einer Komponente 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.

#### **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, Punkte außerhalb des Anzeigebereichs werden durch rote Pfeile angedeutet.

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 Staub (Stoffbereich P)

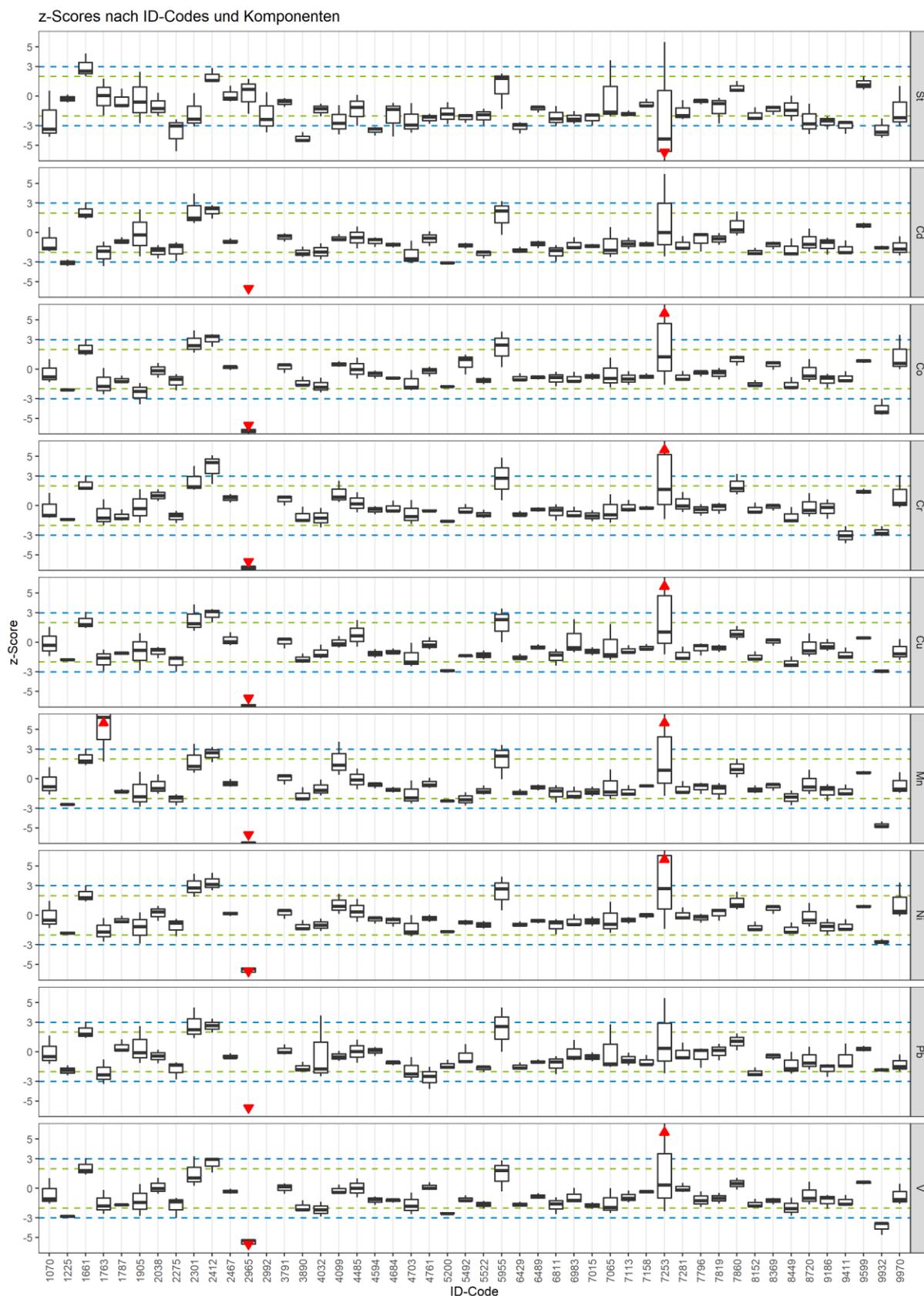
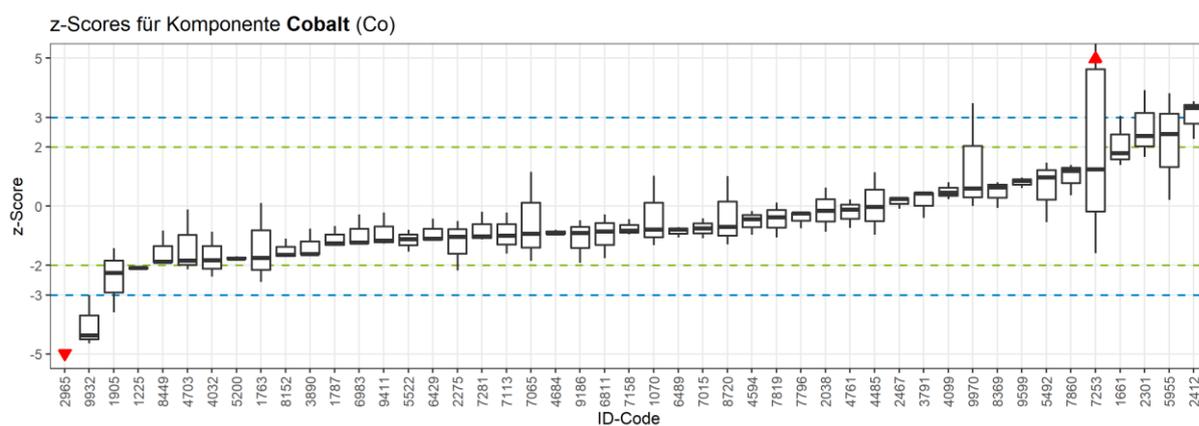
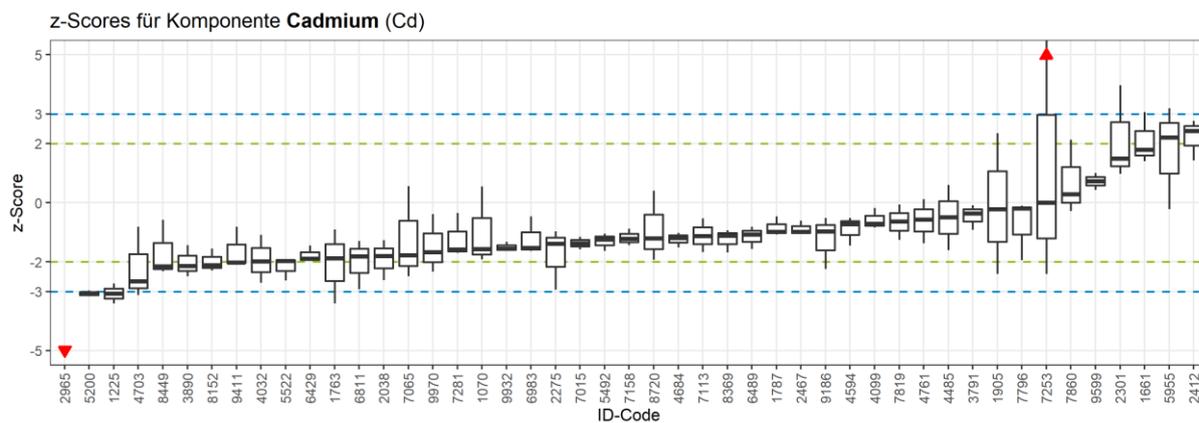
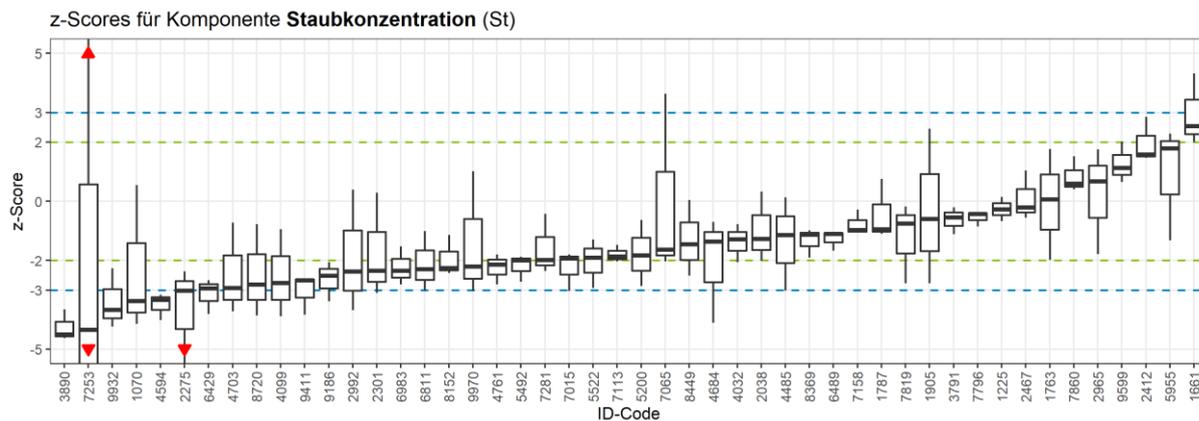
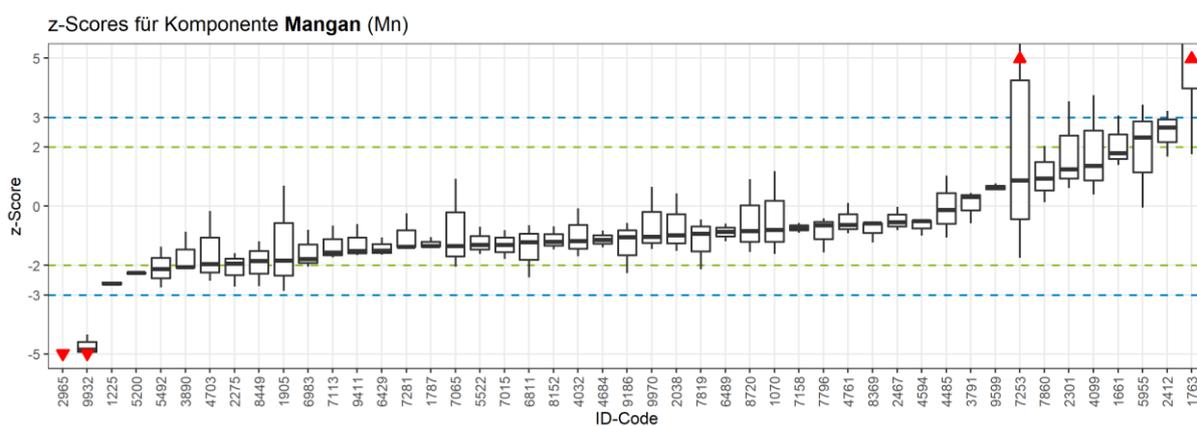
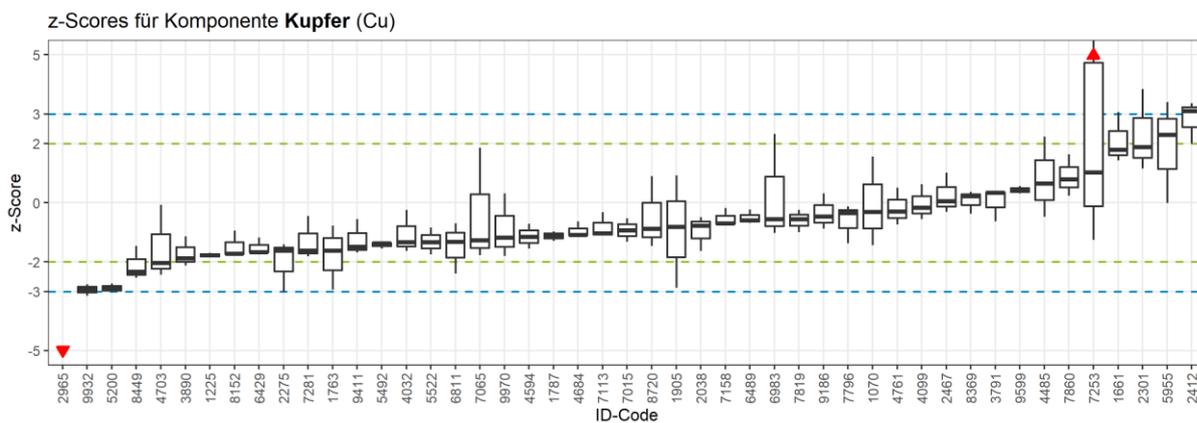
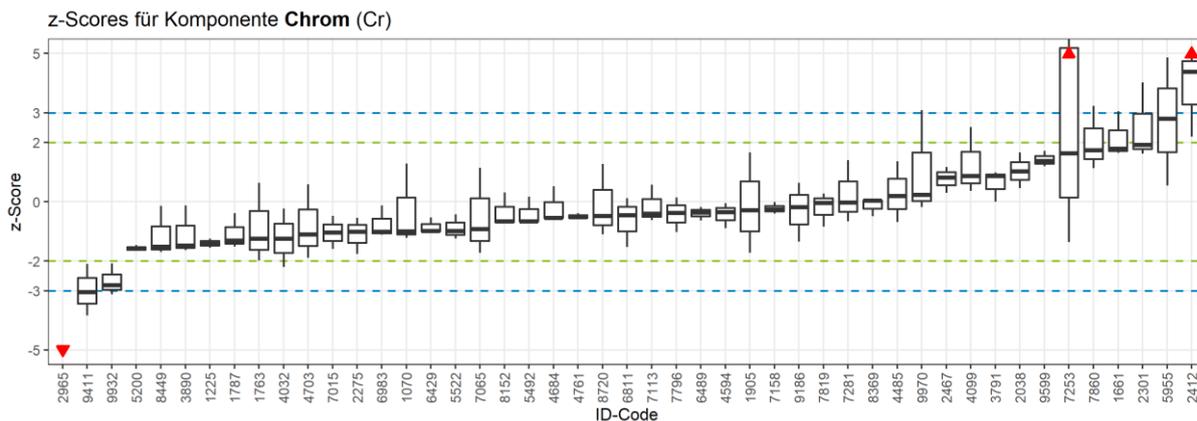
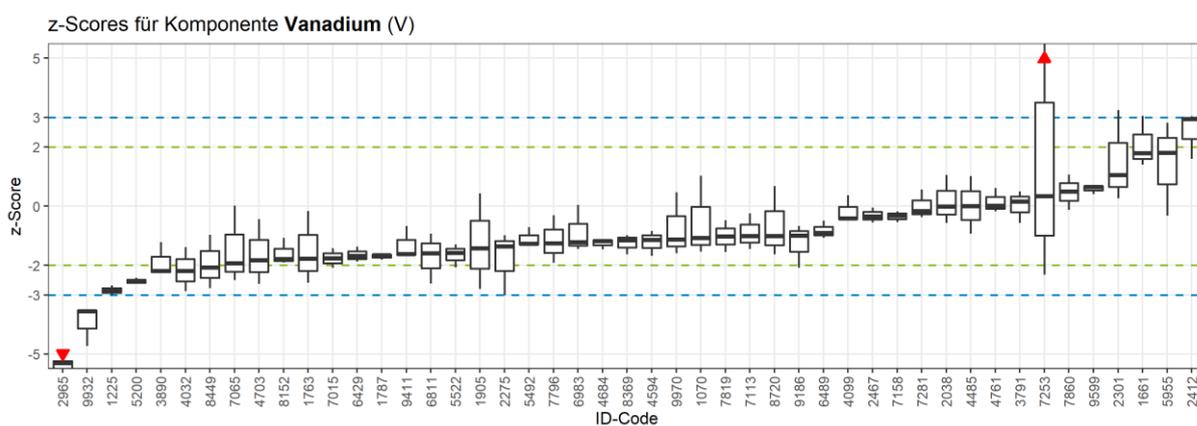
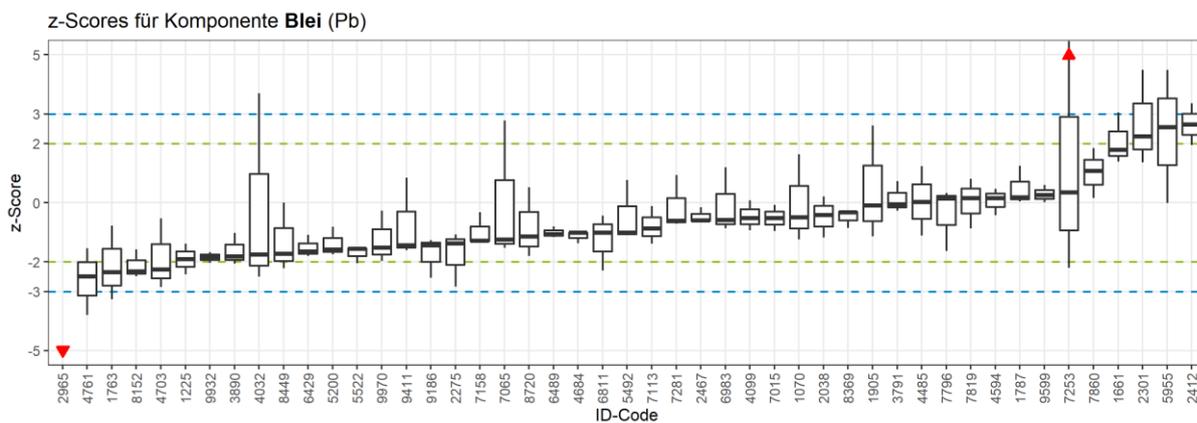
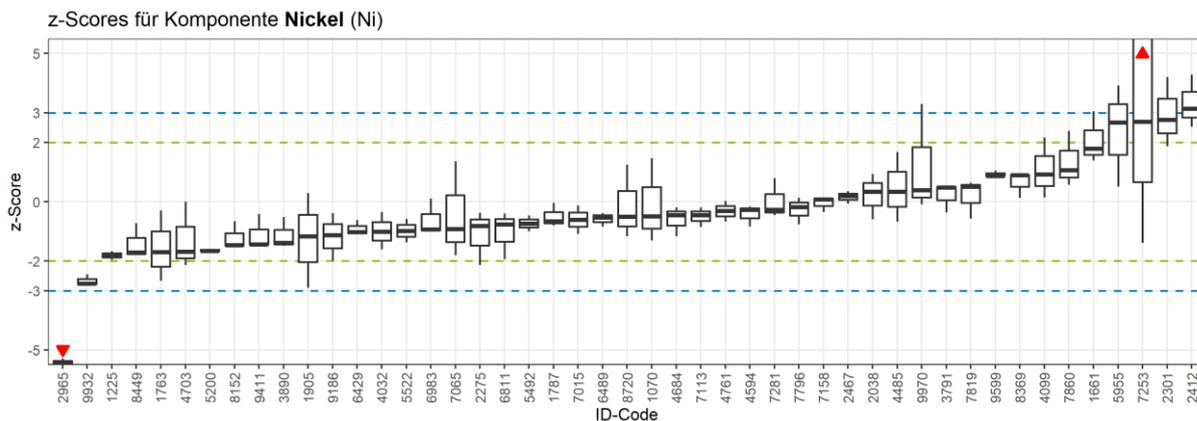


Abbildung 2: z-Scores für den Stoffbereich P







## 5.1.2 Gas (Stoffbereich G)

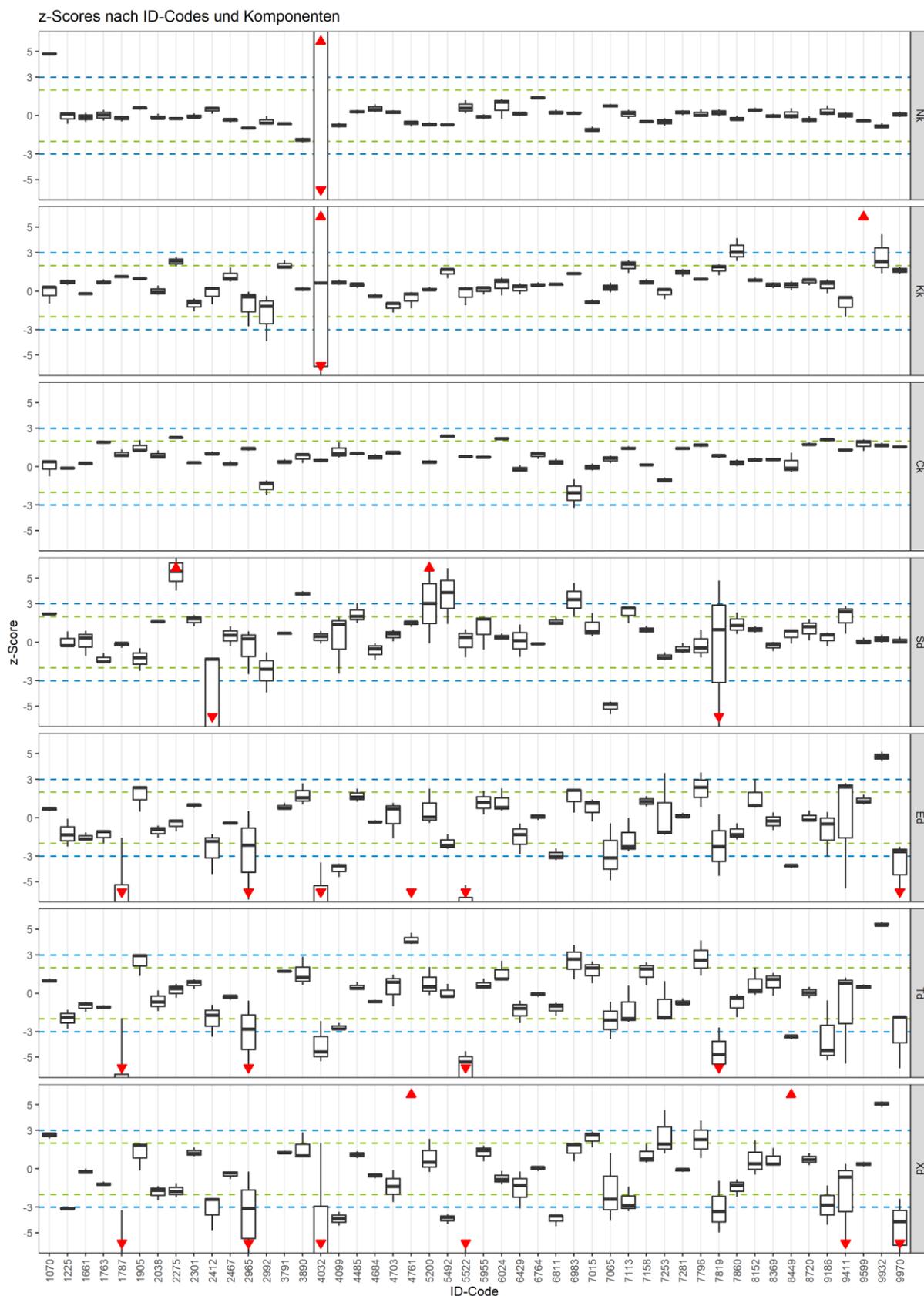
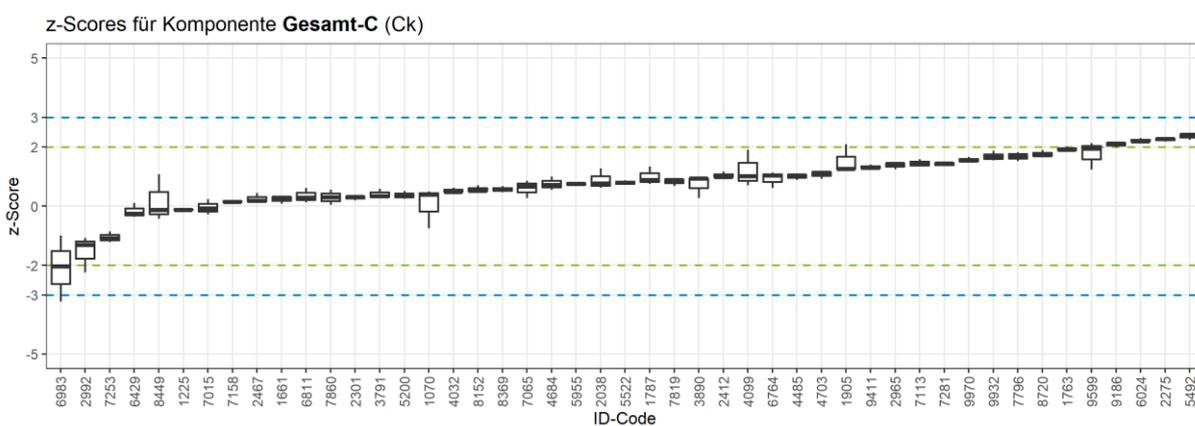
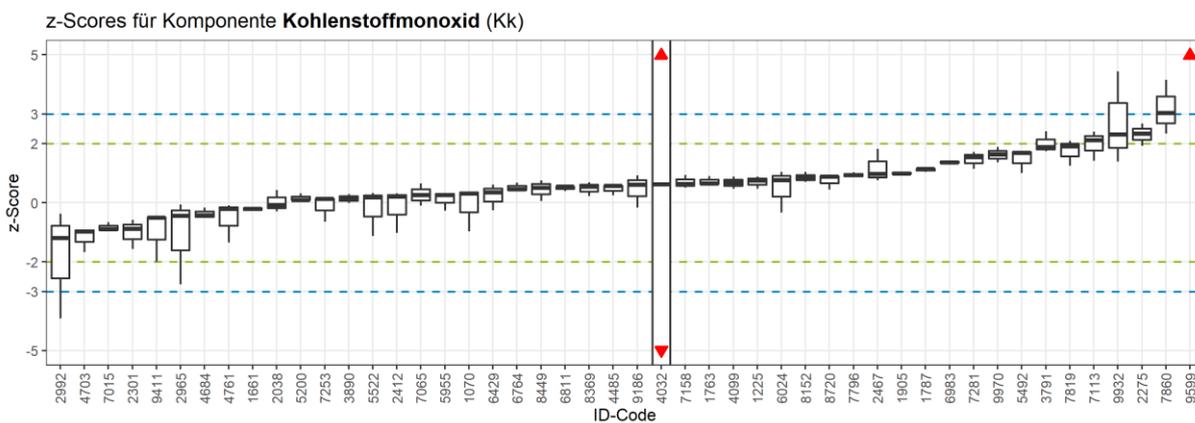
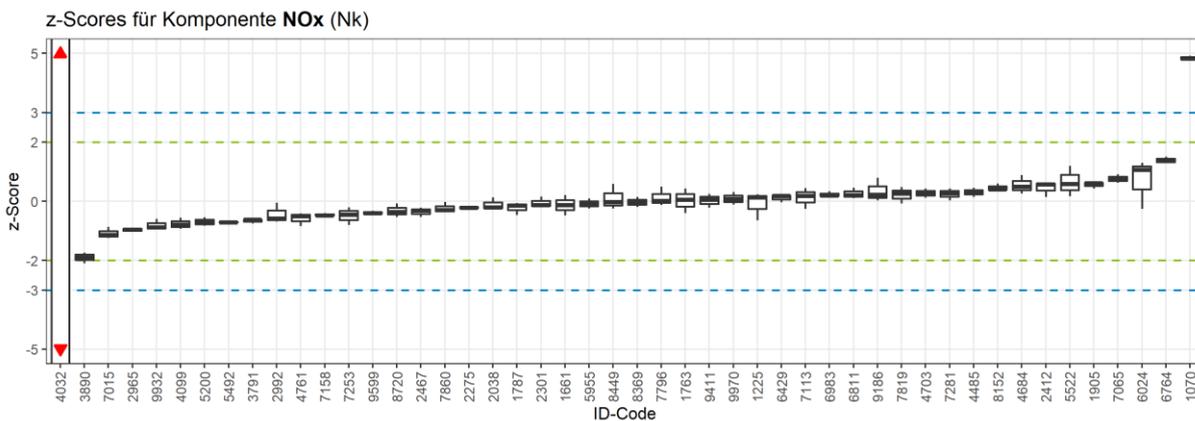
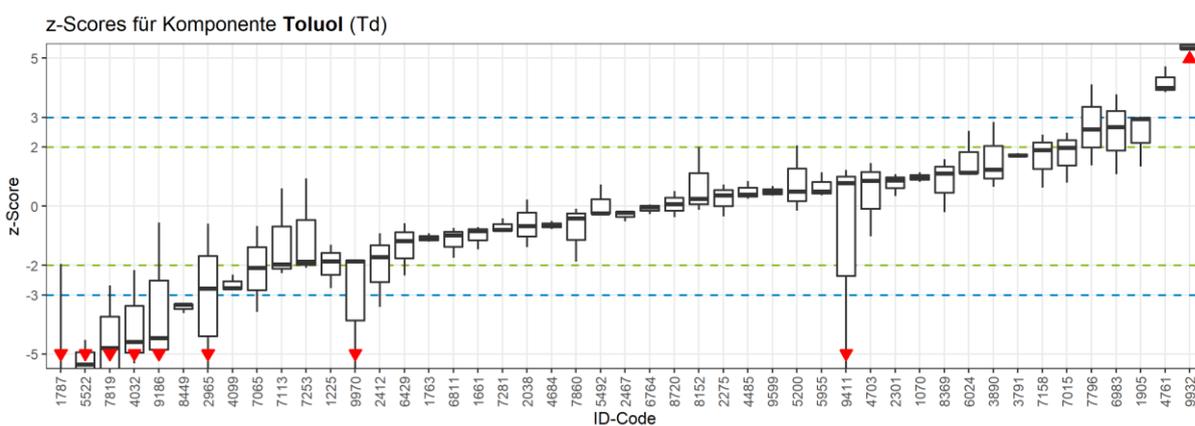
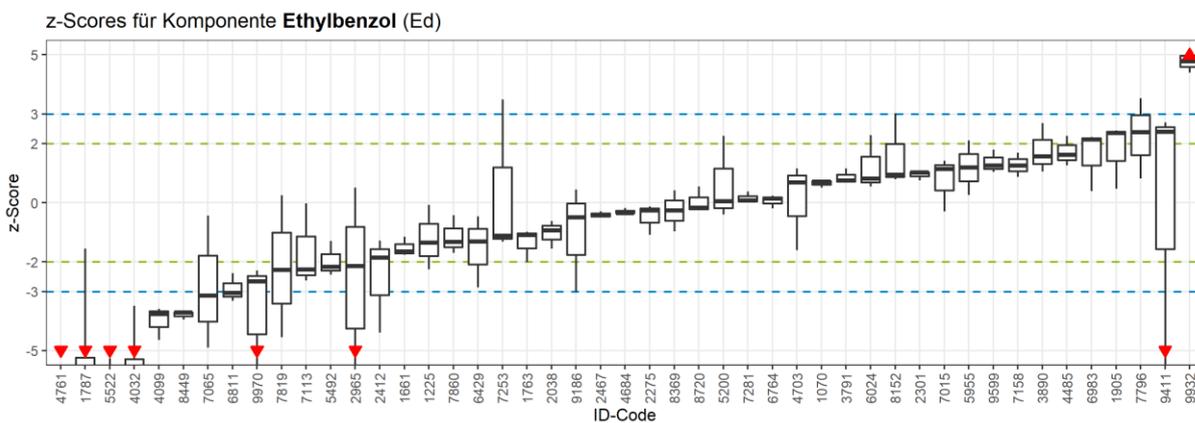
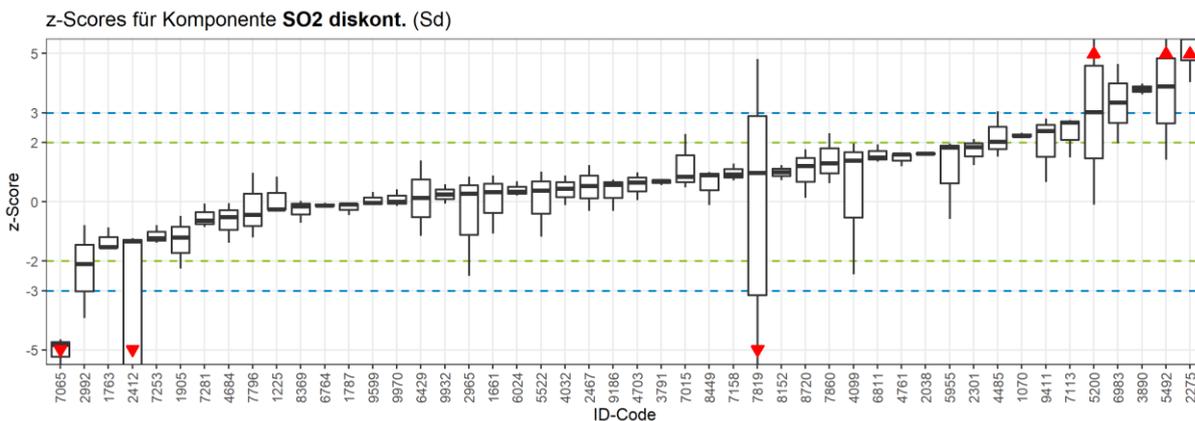
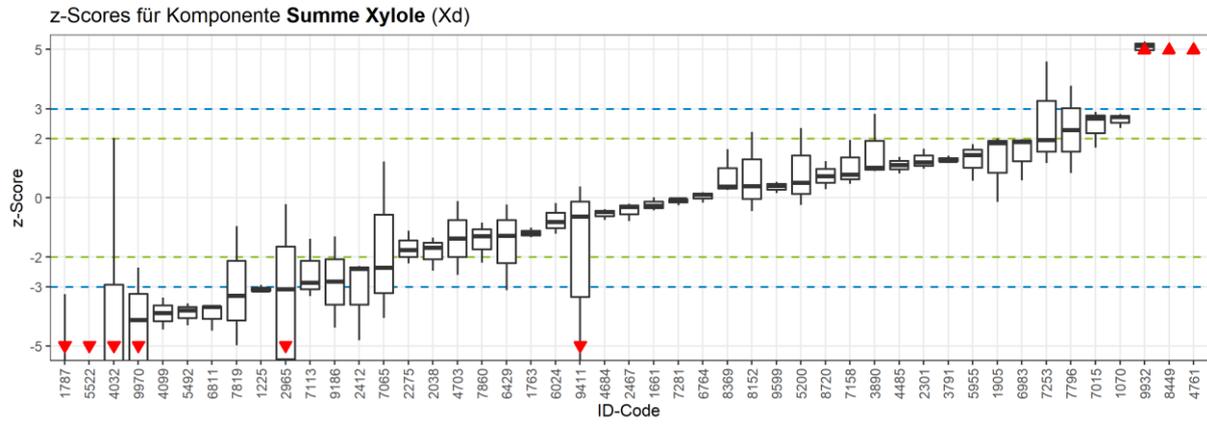


Abbildung 3: z-Scores für den Stoffbereich G







### 5.1.3 Geruch (Stoffbereich 0)

Für den Stoffbereich 0 liegen für jede Komponente nur jeweils 3 Messwerte vor. Die Werte sind in den folgenden Diagrammen nicht in Form von Box-Whisker-Plots dargestellt. Stattdessen werden alle Messwerte als Punkte dargestellt, der Mittelwert dieser Werte wird jeweils durch eine waagerechte Linie markiert.

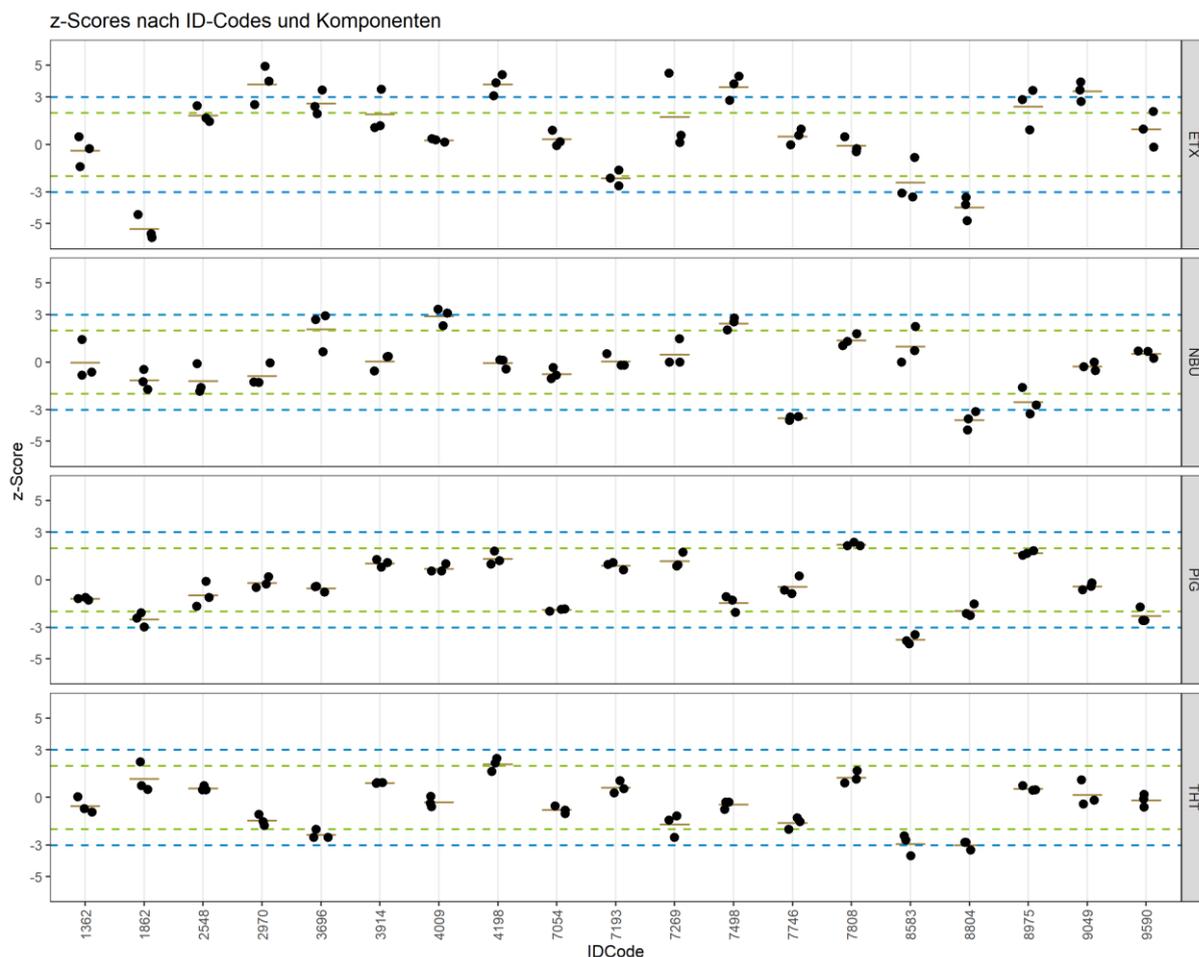
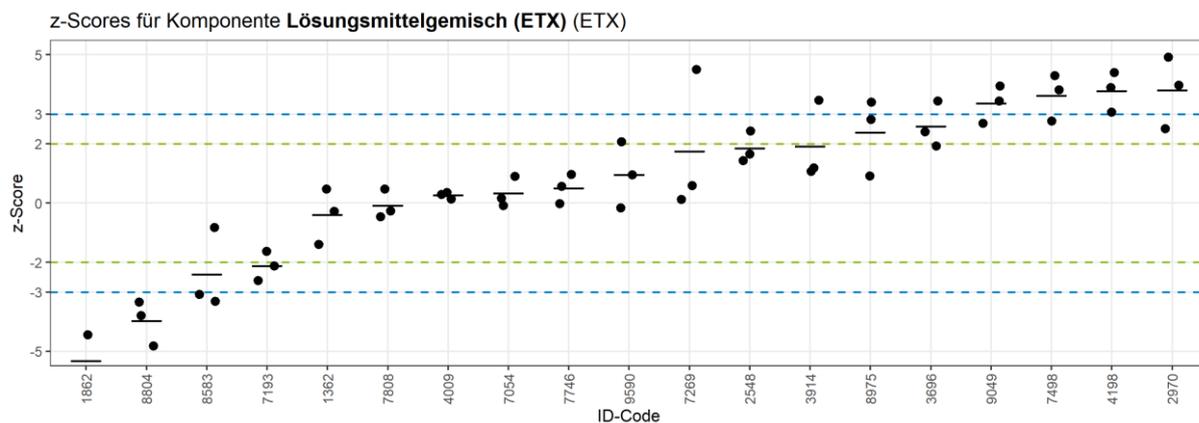
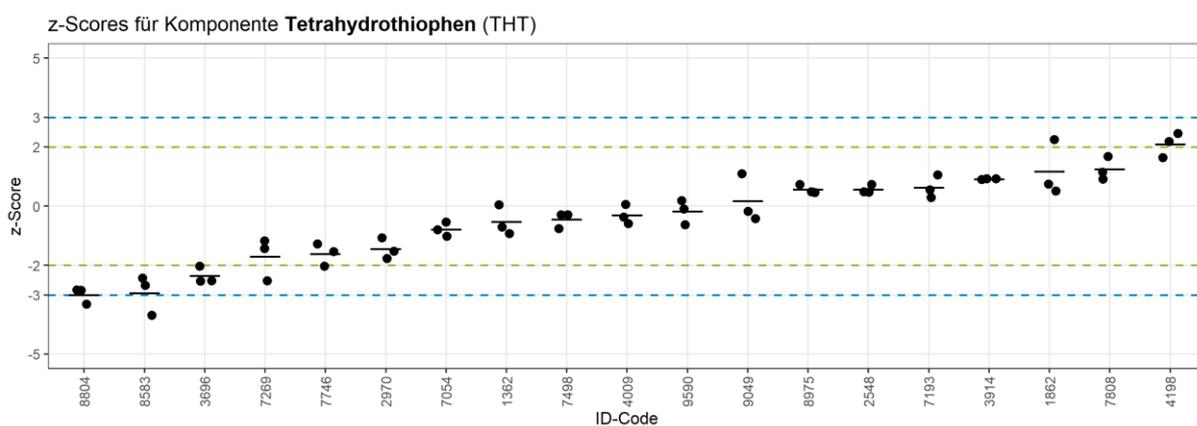
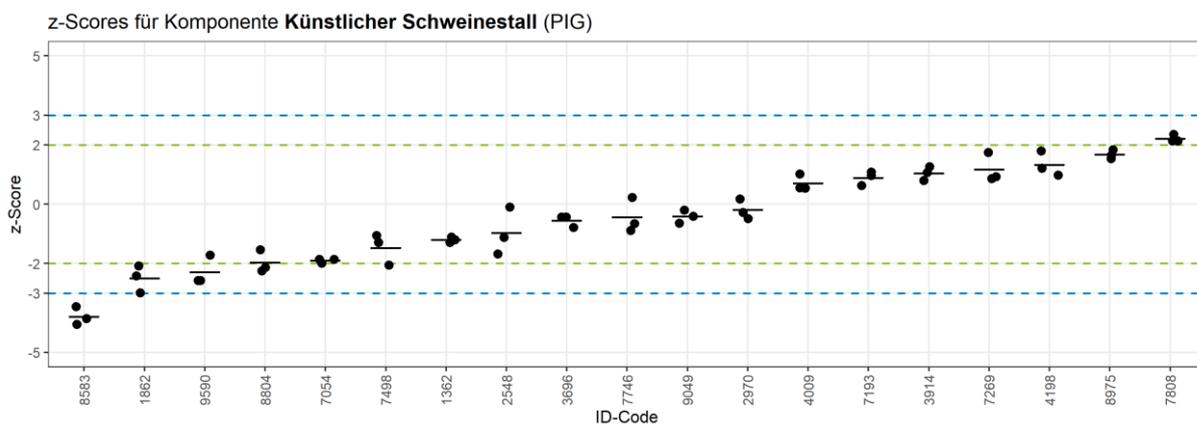
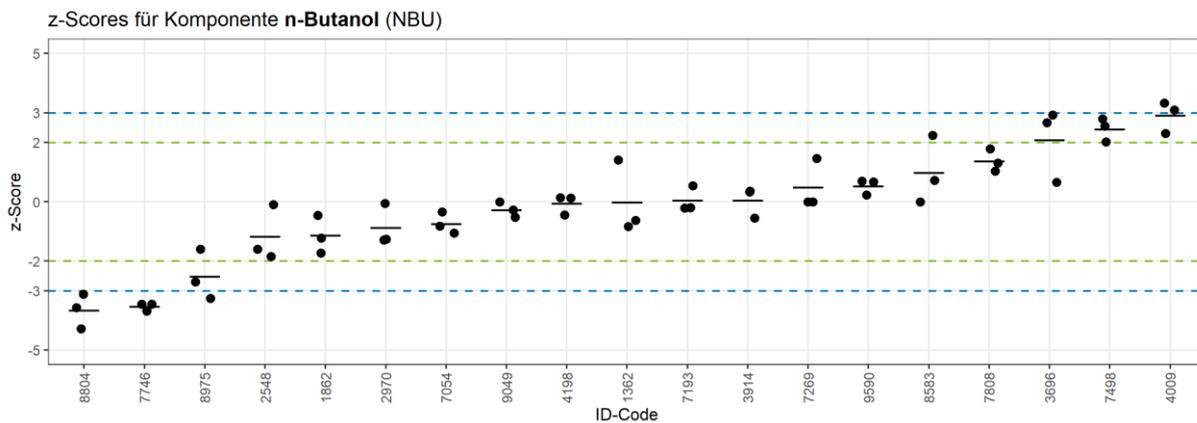


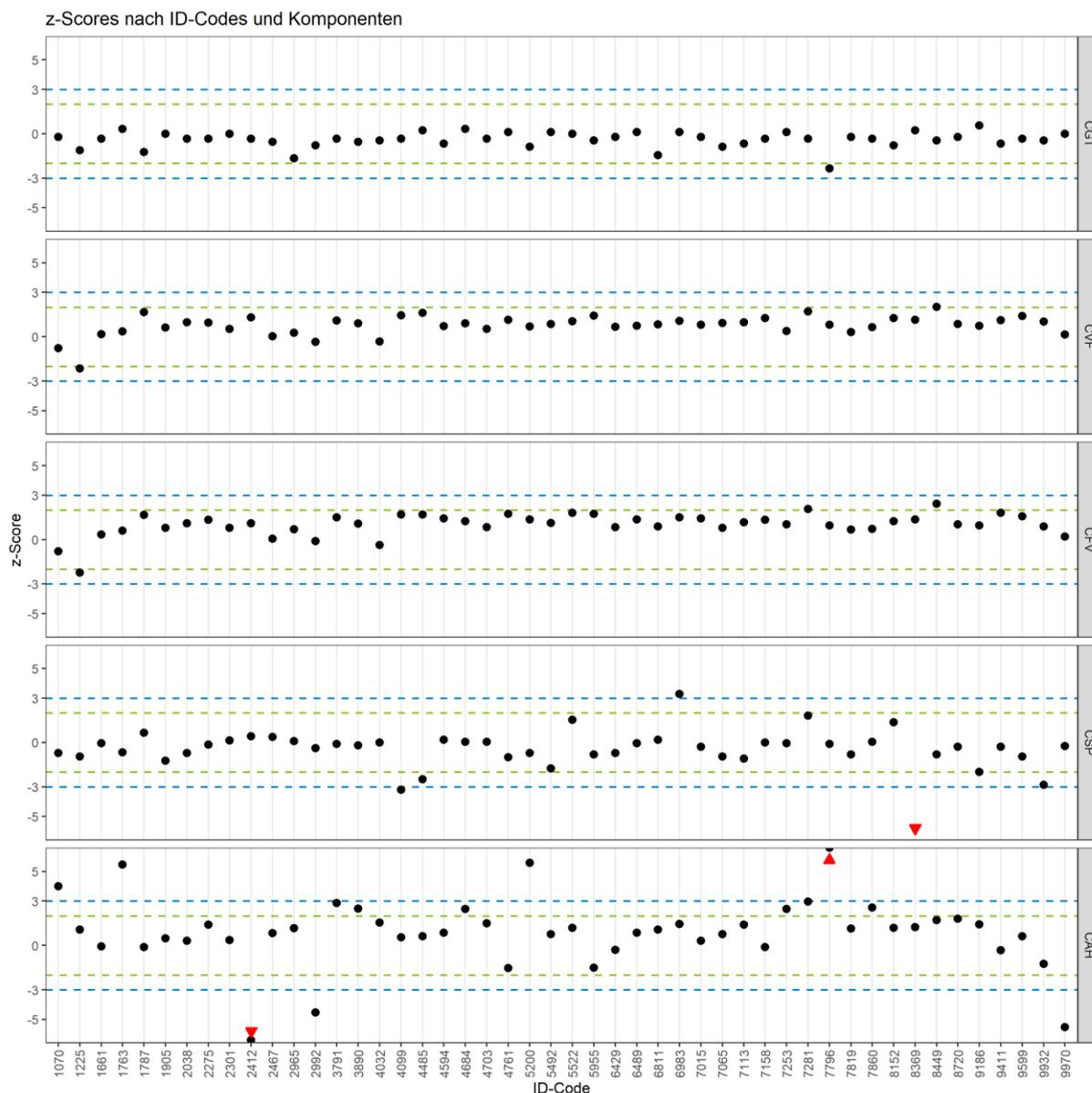
Abbildung 4: z-Scores für den Stoffbereich 0 (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)



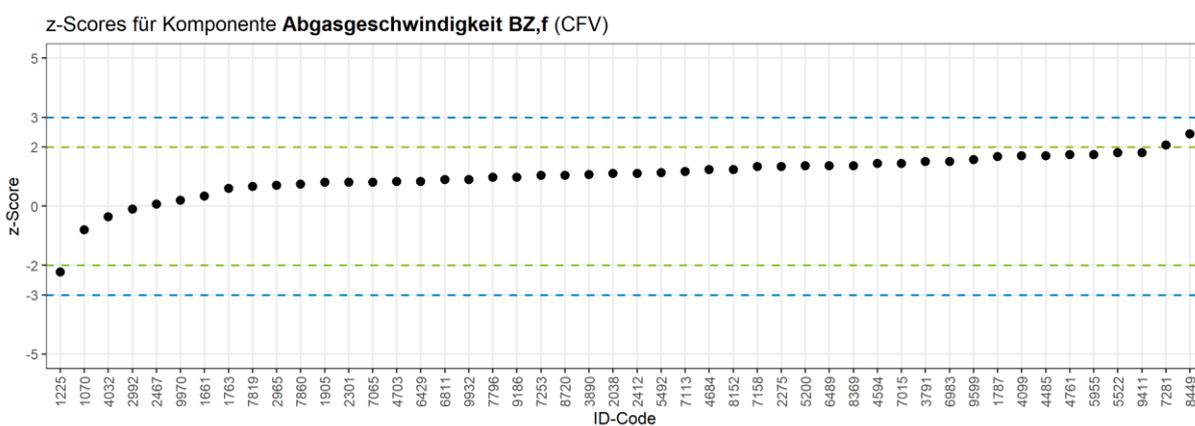
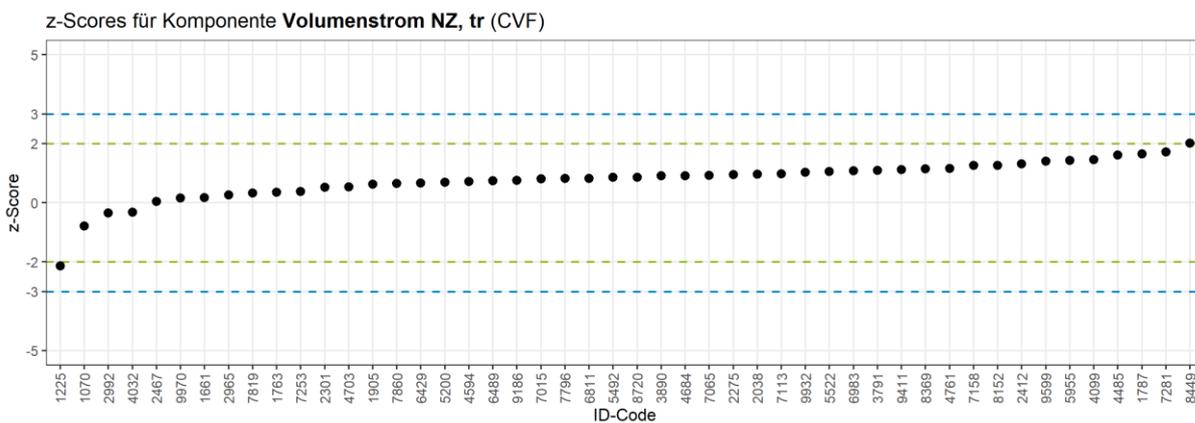
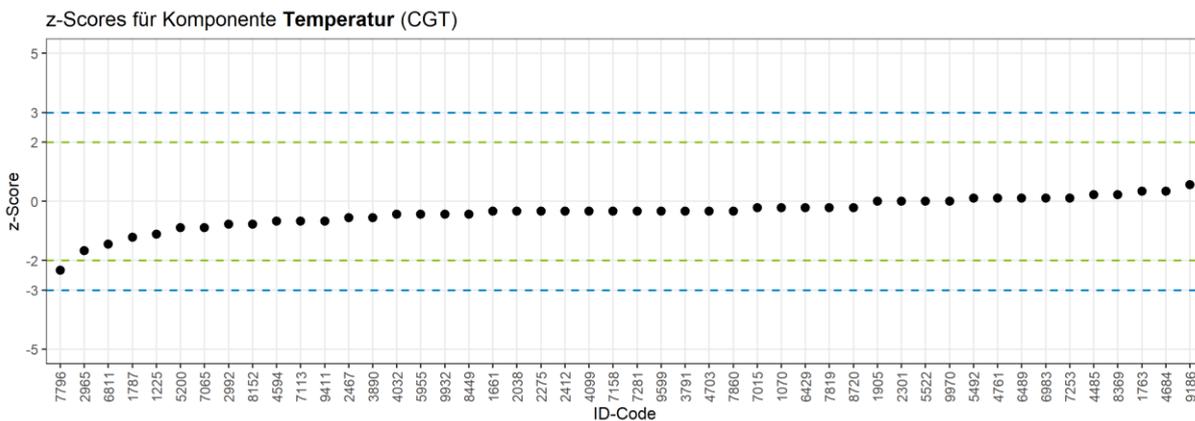


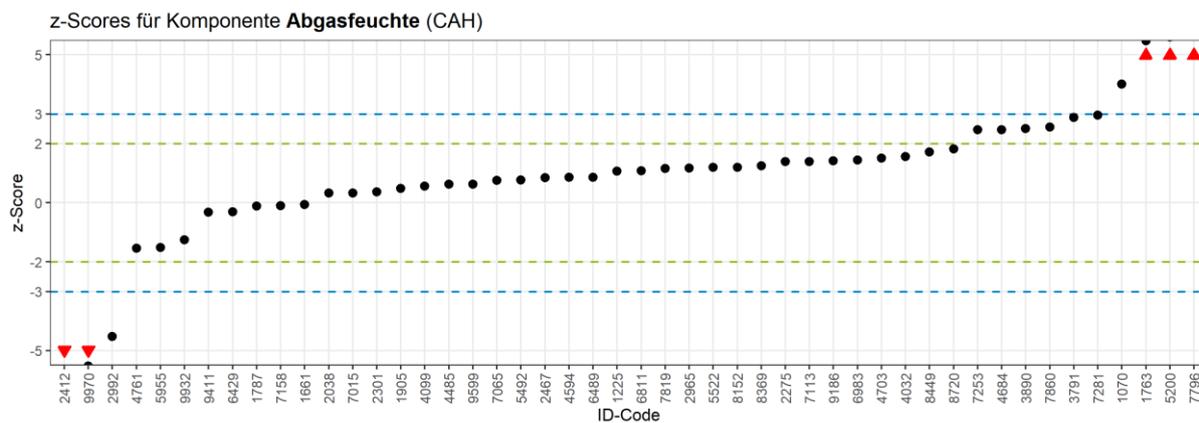
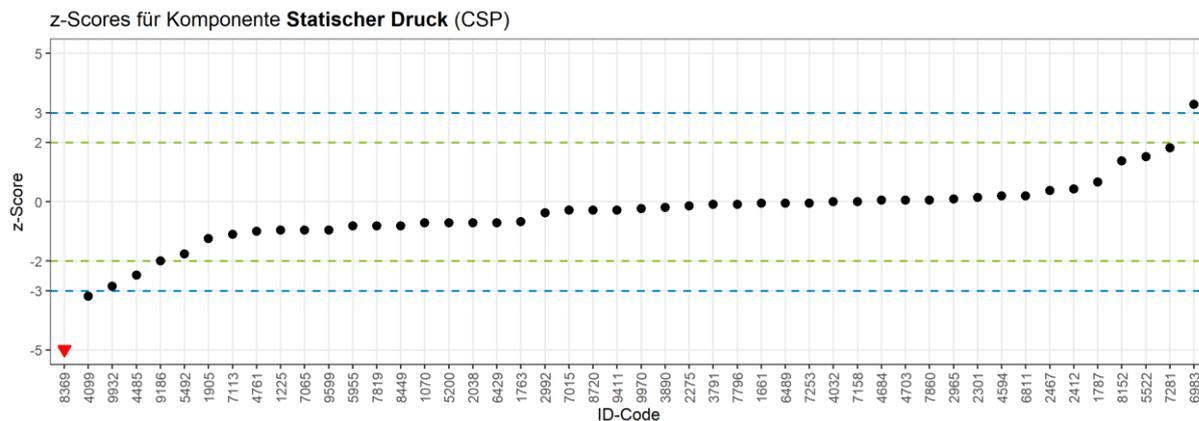
## 5.1.4 Randbedingungen

Die folgenden Diagramme zeigen die von den Teilnehmern der Staubringversuche erzielten Ergebnisse für die Messung der strömungstechnischen Randbedingungen. Für die anderen Ringversuchsarten wurden entweder keine Messungen durchgeführt, oder es wurden keine Bewertungskriterien festgelegt. Für jede Komponente liegt pro Teilnehmer nur ein Wert vor, dieser wird jeweils als Punkt dargestellt.



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



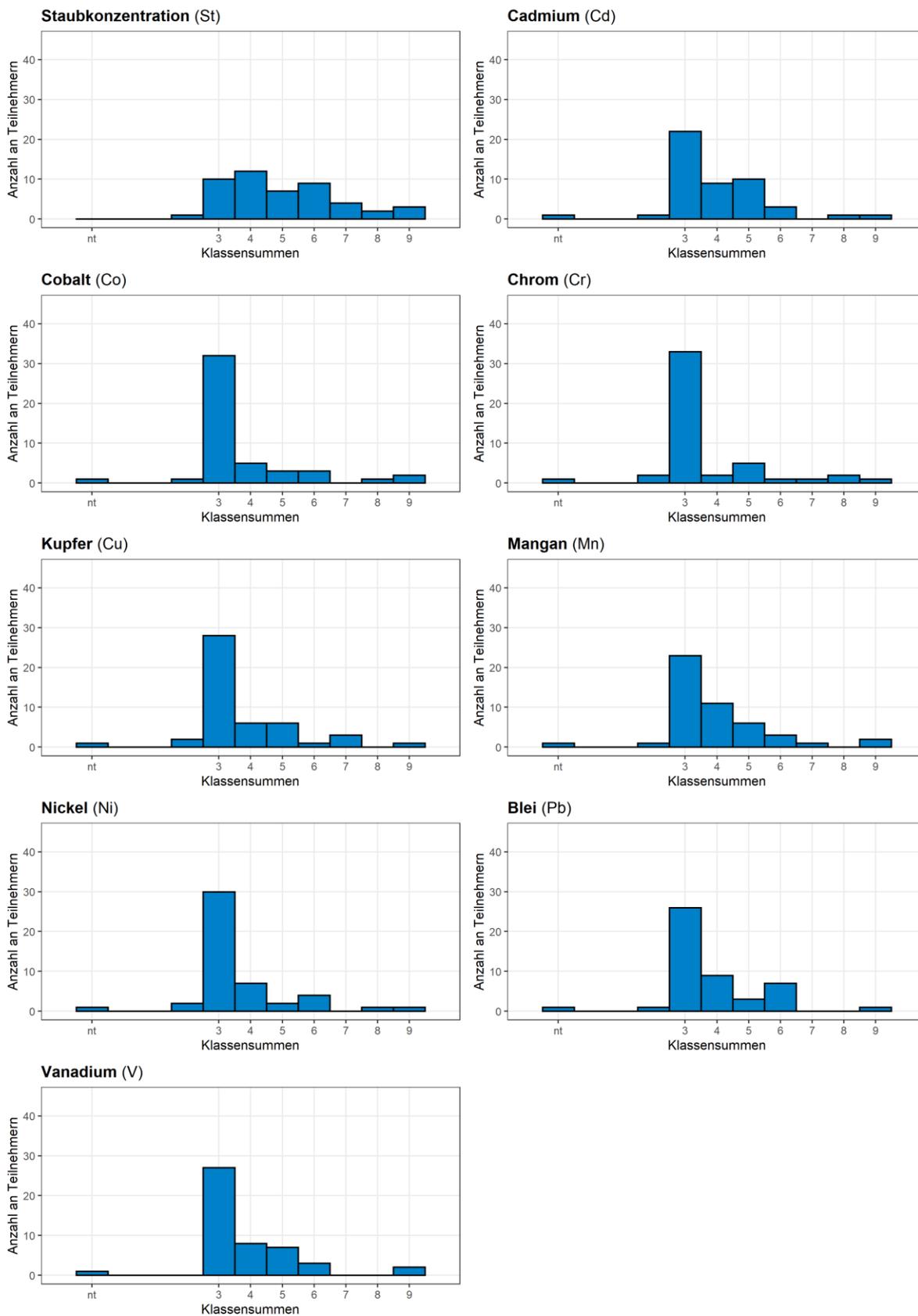


## 5.2 Klassensummen

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.

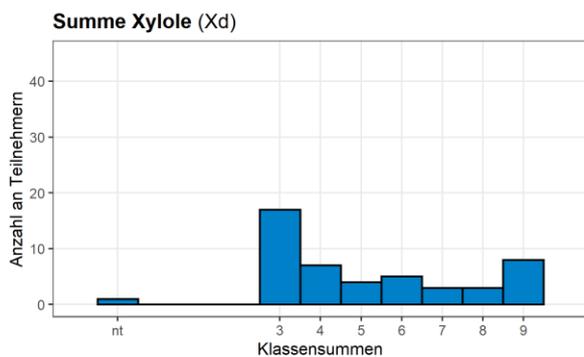
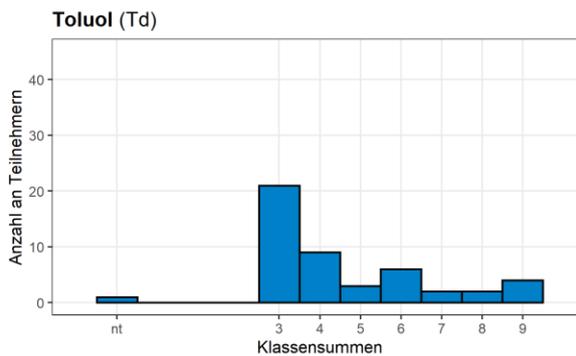
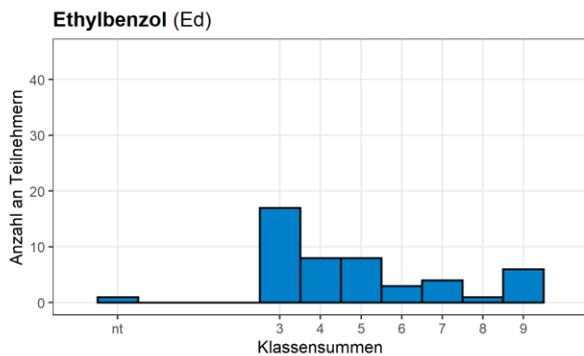
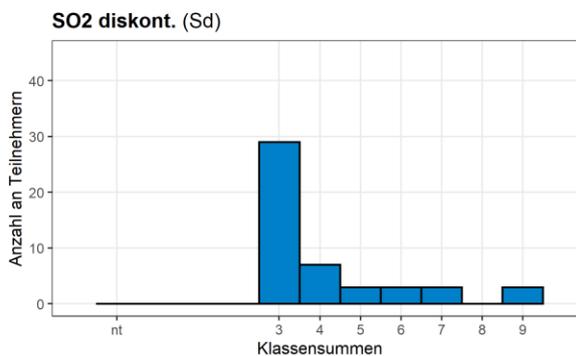
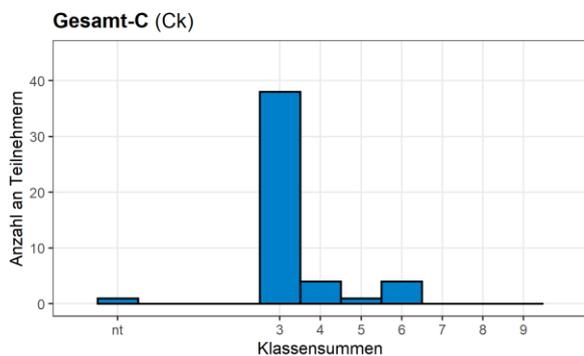
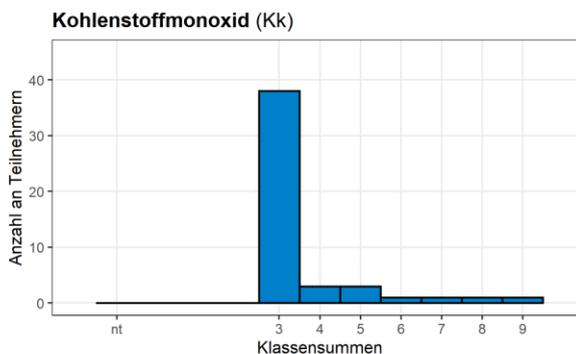
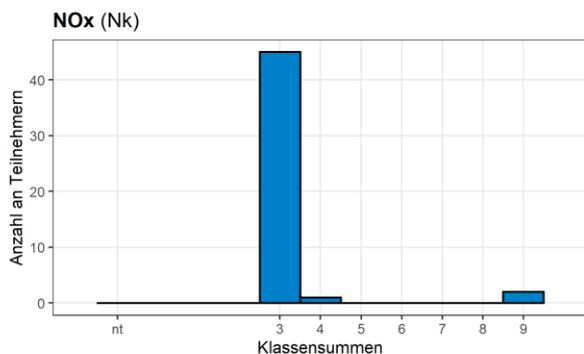
## 5.2.1 Staub (Stoffbereich P)

### Klassensummen



## 5.2.2 Gas (Stoffbereich G)

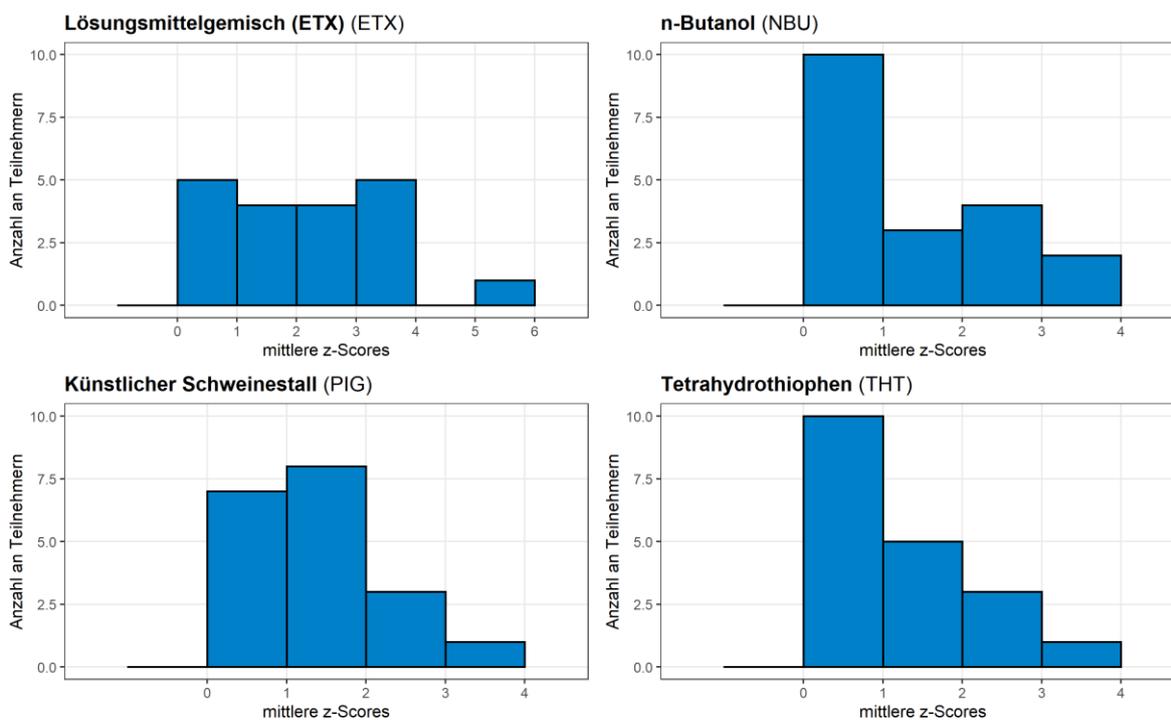
### Klassensummen



## 5.2.3 Geruch (Stoffbereich 0)

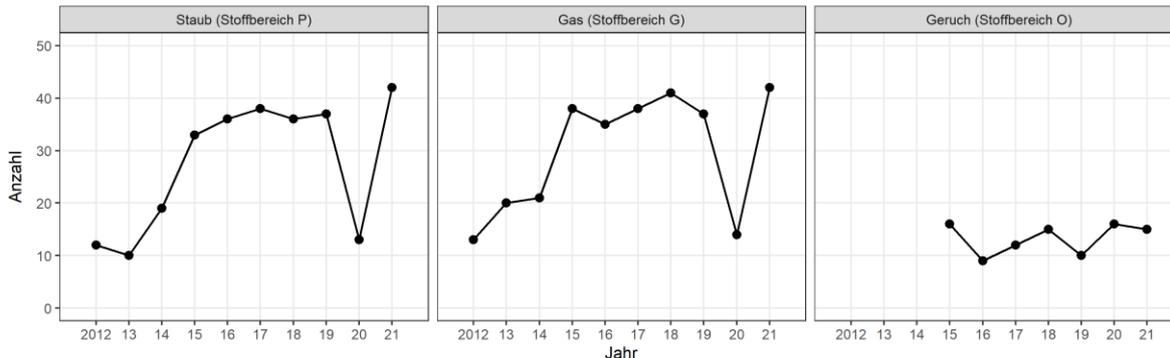
Bei Olfaktometrie-Ringversuchen wird nicht die Klassensumme berechnet, sondern der Mittelwert der Beträge der z-Scores. In den folgenden Histogrammen sind die Verteilungen der gemittelten z-Scores der Teilnehmer dargestellt.

### Mittlere z-Scores

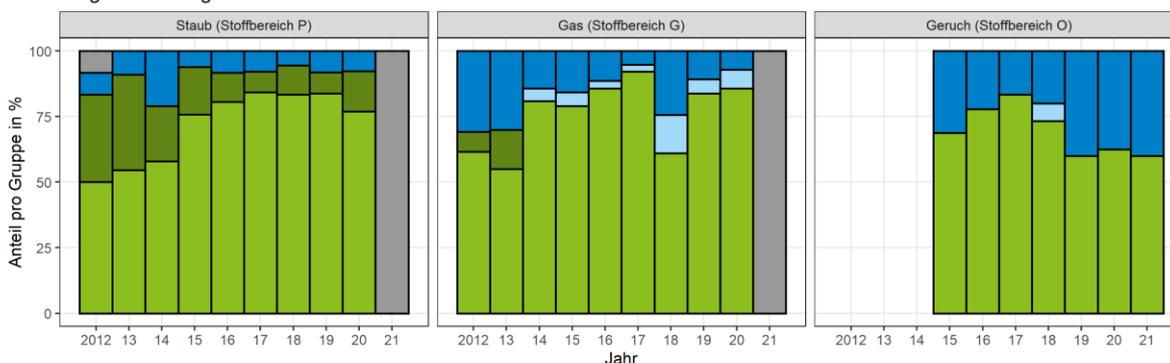


## 6. Interpretation der Ergebnisse

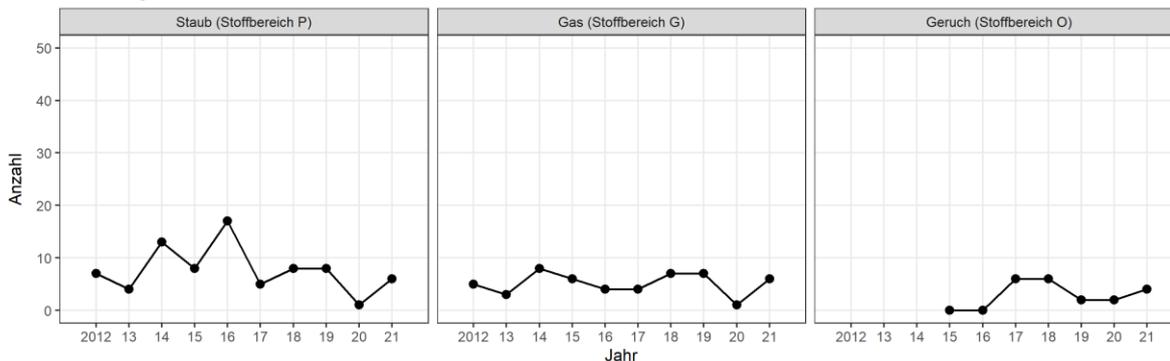
§29b-Messstellen Anzahl Teilnehmer



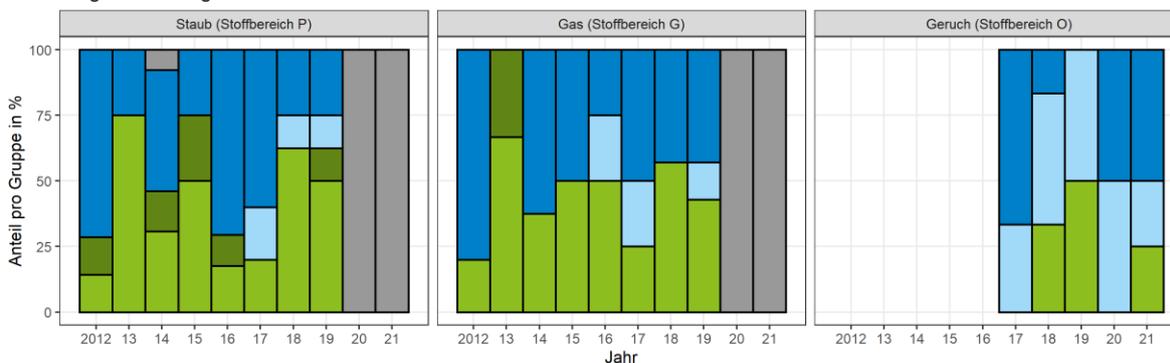
Ringversuchsergebnisse



Freiwillig Anzahl Teilnehmer



Ringversuchsergebnisse



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

**Tabelle 6: Tabellarische Übersicht seit 2017 (§29b-Messstellen)**

Jahr	Ringversuch	bestanden	bestanden (durch Nachanalyse)	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollständ. TN)
2017	Gas	35	-	2	1
	Geruch	10	-	2	-
	Staub	32	3	3	-
2018	Gas	25	-	10	6
	Geruch	11	-	3	1
	Staub	30	4	2	-
2019	Gas	31	-	4	2
	Geruch	6	-	4	-
	Staub	31	3	3	-
2020	Gas	12	-	1	1
	Geruch	10	-	6	-
	Staub	10	2	1	-
2021	Gas		42 (nicht bewertet)		
	Geruch	9	-	6	-
	Staub		42 (nicht bewertet)		

**Tabelle 7: Tabellarische Übersicht seit 2017 (freiwillige Teilnehmer)**

Jahr	Ringversuch	bestanden	bestanden (durch Nachanalyse)	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollständ. TN)
2017	Gas	1	-	2	1
	Geruch	-	-	4	2
	Staub	1	-	3	1
2018	Gas	4	-	3	-
	Geruch	2	-	1	3
	Staub	5	-	2	1
2019	Gas	3	-	3	1
	Geruch	1	-	-	1
	Staub	4	1	2	1
2020	Gas	-	-	-	-
	Geruch	-	-	1	1
	Staub	-	-	-	-
2021	Gas		6 (nicht bewertet)		
	Geruch	1	-	2	1
	Staub		6 (nicht bewertet)		

## 6.1 §29b-Messstellen

Nachdem im Jahr 2020 aufgrund der SARS-CoV-2-Pandemie der Großteil der Ringversuche ausfallen musste und die Teilnehmerzahl der Staub- und Gasringversuche dadurch deutlich eingebrochen ist, kehrte die Anzahl der Ringversuchsteilnahmen von §29b-Messstellen im Jahr 2021 wieder auf das Niveau vor der Pandemie zurück. Während die Geruchsringversuche weiterhin im Wesentlichen unverändert durchgeführt werden konnten, fanden die Staub- und Gasringversuche im Jahr 2021 ausschließlich in der neuen „Pandemieversion“ statt. Dabei wurde

abweichend von den Festlegungen der LAI-Durchführungsbestimmungen die Anzahl der durchgeführten und bewerteten Messungen von 9 auf 3 reduziert und die Komponente Formaldehyd nicht angeboten. Zugleich wurden in beiden Ringversuchen diverse Bewertungskriterien angepasst. Die von den Teilnehmern erzielten z-Scores sind dadurch nur eingeschränkt mit den Jahren zuvor vergleichbar.

Aufgrund der Abweichungen von den Durchführungsbestimmungen wurden für die Staub- und Gasringversuche keine Gesamtbewertungen vorgenommen. Wäre diese durchgeführt worden, hätten 31 von 42 (74%) der bekanntgegebenen Messstellen den Staubringversuch und 22 von 42 (52%) den Gasringversuch bestanden. Die Bestehensquoten fallen damit etwas (Staub) bzw. deutlich (Gas) geringer aus als in den Vorjahren. Ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen aus dem Jahr 2019 (dem letzten Jahr mit einer vergleichbar großen Anzahl an Teilnehmern) zeigt, dass die relativen Abweichungen der Messwerte von den Sollwerten bei praktisch allen Staub- und Gaskomponenten 2021 im Schnitt größer ausfielen, außerdem gab es eine viel größere Anzahl von extremen „Ausreißern“. In der Pandemieversion gab es gegenüber 2019 zwei entscheidende Änderungen: Die Anzahl der Messungen wurde von 9 auf 3 reduziert, was keinen Einfluss auf die mittlere Abweichung der eingereichten Messwerte von den Sollwerten haben sollte. Außerdem hatten die Teilnehmer aufgrund des Hygienekonzepts keine Möglichkeit zu einem Austausch mit anderen Teilnehmern. Ob dies einen Einfluss auf die eingereichten Messwerte hatte, lässt sich nicht überprüfen.

Eine Auswertung der Ergebnisse mit den Bewertungskriterien der vorherigen Durchführungsbestimmungen hätte bei den Staubringversuchen ebenfalls für 31 der 42 (74%) bekanntgegebenen Messstellen zum Gesamtergebnis „bestanden“ geführt, beim Gasringversuch wäre das für 26 von 42 (62%) der §29b-Messstellen der Fall gewesen, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass die Komponente Formaldehyd hier komplett fehlt. Das schlechte Gesamtbild ist damit nachweislich kein Effekt der veränderten Bewertungskriterien, sondern ein Resultat der objektiv schlechteren Performance der Teilnehmer im Jahr 2021.

Den Geruchsringversuch haben 2021 insgesamt 9 von 15 bekanntgegebenen Messstellen (60%) bestanden. Die Ergebnisse des Geruchsringversuchs waren damit mit den Ergebnissen der Jahre 2020 und 2019 vergleichbar. Hier scheint den Teilnehmern erneut die Ermittlung von Geruchskonzentrationen für das Gemisch aus organischen Lösungsmitteln (ETX) die größten Schwierigkeiten zu bereiten. Da sowohl deutliche Mehrbefunde, als auch deutliche Minderbefunde ermittelt wurden, liegt der Schluss nahe, dass die in Anbetracht der Unsicherheit einzelner Probandenergebnisse aus statistischer Sicht deutlich zu geringe Anzahl von üblicherweise 4 eingesetzten Probanden hier eine entscheidende Rolle spielt.

## 6.2 Freiwillige Teilnehmer

Im Jahr 2020 war aufgrund der SARS-CoV-2-Pandemie kein einziger freiwilliger Teilnehmer zu einem Staub- oder Gasringversuch nach Kassel gekommen, entweder weil der gebuchte Ringversuch ausfallen musste, oder weil die wechselnden Reisebeschränkungen und Quarantänebestimmungen eine Anreise praktisch unmöglich gemacht hatten. Erfreulicherweise kehrte die Anzahl der freiwilligen Ringversuchsteilnahmen im Jahr 2021 aber schon fast wieder auf das Niveau vor der Pandemie zurück. Insgesamt gab es jeweils 6 freiwillige Teilnehmer bei den Staub- und Gasringversuchen, außerdem 4 freiwillige Teilnehmer beim Geruchsringversuch.

Aufgrund der Abweichungen von den Durchführungsbestimmungen wurden für die Staub- und Gasringversuche auch bei den freiwilligen Teilnehmern keine Gesamtbewertungen vorgenommen. Wären diese durchgeführt worden, hätten jeweils 2 von 5 (40%) der freiwilligen Teilnehmer den Staub- und den Gasringversuch bestanden, während der sechste freiwillige Teilnehmer in beiden Ringversuchen nur einen Teil der Komponenten gemessen hat (diese aber erfolgreich). Diese Bestehensquoten entsprechen ungefähr dem, was in den Vorjahren beobachtet wurde. Ein direkter Vergleich ist hier allerdings schwierig, da die gesammelten Ergebnisse eines Jahres aufgrund der meist geringen Anzahl der freiwilligen Teilnahmen in vielen Jahren extrem vom

Abschneiden einzelner Labore geprägt sind. Ein langjähriger Vergleich ist deshalb nur bedingt aufschlussreich.

Bei den Geruchsringversuchen haben 2 der 4 freiwilligen Teilnehmer (50%) bestanden. Ein weiterer Teilnehmer (25%) hat zwar korrekte Messwerte abgeliefert, diese wurden aber nicht gemäß VDI 3880 innerhalb von 6 h ermittelt. Die Ergebnisse wurden daher als „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ eingestuft.

### **6.3 Randbedingungen**

Bei jedem Ringversuch sind von den Teilnehmern auch die strömungstechnischen Randbedingungen zu ermitteln und anzugeben. Mit den neuen LAI-Durchführungsbestimmungen sollten eigentlich seit Mitte 2020 die Messungen des Volumenstroms als bewerteter Bestandteil der Staub- und Gasringversuche durchgeführt werden. Durch die SARS-CoV-2-Pandemie und die dadurch erzwungene Änderung des Ringversuchsprogramms konnte dies allerdings so nicht umgesetzt werden. Die Randbedingungen wurden in der Pandemieversion der Staub- und Gasringversuche lediglich vor Beginn der Staubmessungen gemessen und ausgewertet. Für die jeweils am Nachmittag an den Staubringversuch anschließenden Gasringversuche wurden die Randbedingungen konstant gehalten und keine erneute Messung durch die Teilnehmer durchgeführt. Anstelle der geplanten 2 Messwerte wurde jeweils immer nur ein Messwert pro Teilnehmer ermittelt. Die in den Staubringversuchen erfassten Werte (siehe Abschnitt 5.1.4) entsprechen den Beobachtungen der Vorjahre: Die Messwerte für die Temperatur (CGT), den Volumenstrom (CVF) und die Strömungsgeschwindigkeit (CFV) zeigen minimale Abweichungen von den Sollwerten. Beim Statischen Druck (CSP) gibt es einzelne „Ausreißer“, bei der Abgasfeuchte (CAH) davon gleich mehrere und auch insgesamt größere Abweichungen von den Sollwerten.

Die Randbedingungen wurden aufgrund der Abweichungen von den LAI-Durchführungsbestimmungen nicht bewertet. Nach den dort festgelegten Bewertungskriterien hätten allerdings im Falle einer Bewertung alle Ringversuchsteilnehmer (sowohl §29b-Messstellen, als auch freiwillige Teilnehmer) diesen Ringversuchsteil bestanden.

## **7. Freiwillige Angaben der Teilnehmer**

Alle Teilnehmer wurden aufgefordert, zusammen mit den Messergebnissen zusätzliche Angaben zu ihren Messungen auf freiwilliger Basis zu machen. Auf eine Auflistung der Einzelwerte der Teilnehmer wird an dieser Stelle verzichtet, im Folgenden sind lediglich die erhaltenen Daten aller Teilnehmer in Tabellen zusammengefasst und graphisch dargestellt. Datenbasis sind hier die Rückmeldungen von Teilnehmern aus den Jahren 2016 bis 2021.

Für einige Komponenten haben die Teilnehmer des Ringversuchs eine gewisse Freiheit bei der Wahl verschiedener Verfahrensparameter. Auf Grundlage der freiwilligen Angaben der Teilnehmer wurde versucht, Korrelationen zwischen den verwendeten Methoden, Geräten etc. und den damit erzielten Ergebnissen zu ermitteln. Da für jede Komponente immer 9 Messungen (bzw. 3 Messungen in der Pandemieversion) bei unterschiedlichen Konzentrationen durchgeführt werden, ist eine eindeutige Aussage über die Qualität eines Verfahrens schwierig. Für eine einfache und übersichtliche Darstellung wurden daher Korrelationen zu den mittleren z-Scores der Teilnehmer hergestellt, wobei auch negative Werte in den Mittelwert einfließen. Ferner wurden gegebenenfalls ähnliche Komponenten wie z.B. Schwermetalle oder organische Lösungsmittel zu einem gemeinsamen Mittelwert zusammengefasst. Diese Art der Auswertung stellt sicherlich eine Vereinfachung des Problems dar und kann nicht alle Details abbilden. So bleiben z.B. unterschiedliche Einflüsse bei verschiedenen Konzentrationsbereichen oder hohe Schwankungen zwischen den Einzelergebnissen eines Teilnehmers bei dieser Auswertung

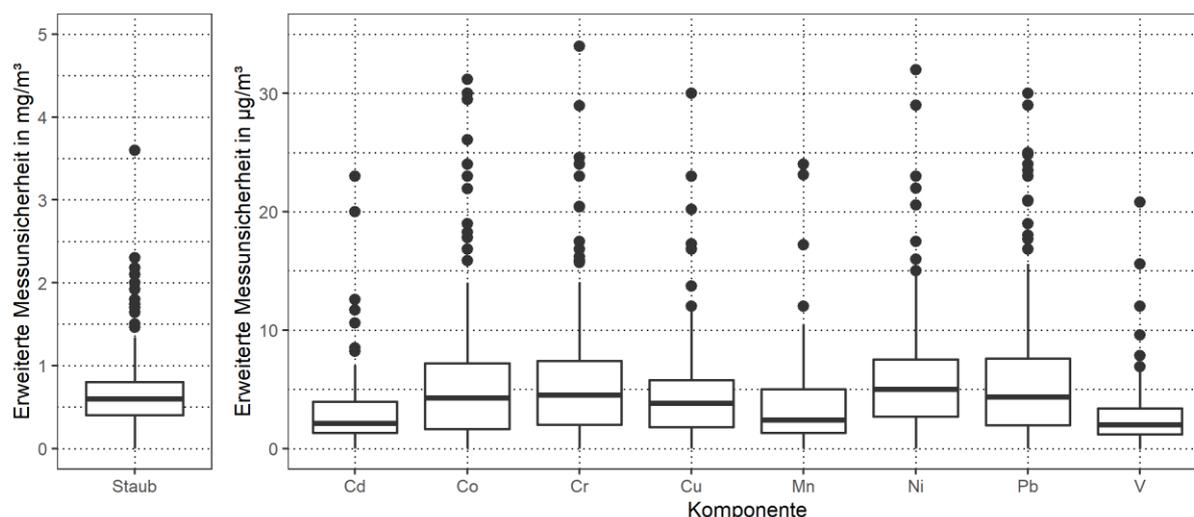
vollkommen unbetrachtet. Die Beschränkung auf die Mittelwerte der z-Scores der Teilnehmer erlaubt dafür aber eine einfache Abschätzung der Auswirkungen verschiedener Verfahren auf die mittlere Abweichung der Messwerte vom zugewiesenen Wert.

Für die meisten Auswertungen gibt es im Vergleich mit den Vorjahren kaum Veränderungen. Dies ist letztlich darauf zurückzuführen, dass sich die Datengrundlage seit dem Jahresbericht 2019 nur etwa um ein Viertel vergrößert hat, während sich die Werte für die meisten Auswertungen kaum von den Werten der Vorjahre unterscheiden. In der Folge werden die meisten Feststellungen mit der Zeit immer belastbarer und aussagekräftiger.

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

## 7.1 Messunsicherheiten

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

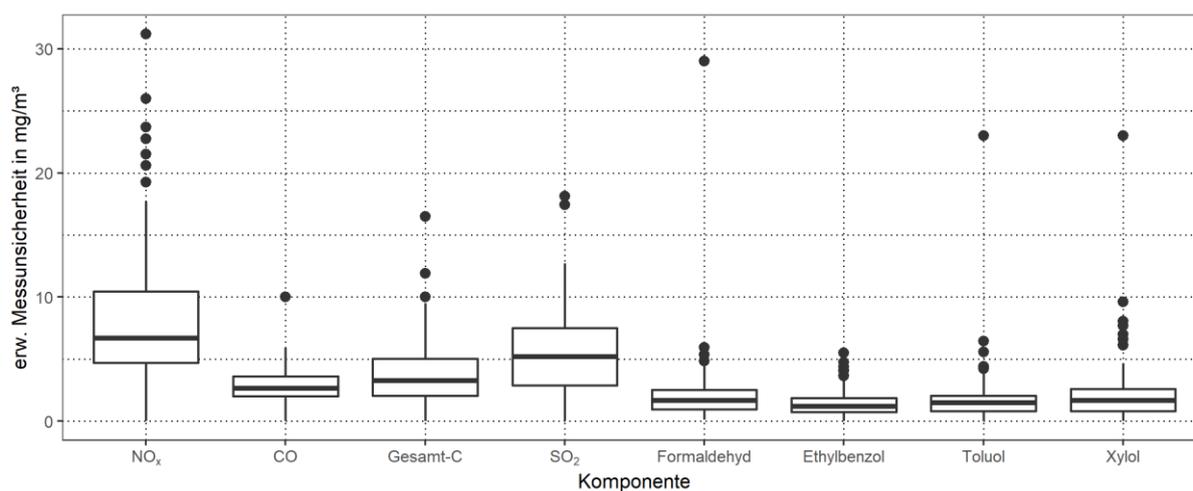


**Tabelle 8: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Staubringversuch**

	Staub [mg/m <sup>3</sup> ]	Cd [µg/m <sup>3</sup> ]	Co [µg/m <sup>3</sup> ]	Cr [µg/m <sup>3</sup> ]	Cu [µg/m <sup>3</sup> ]	Mn [µg/m <sup>3</sup> ]	Ni [µg/m <sup>3</sup> ]	Pb [µg/m <sup>3</sup> ]	V [µg/m <sup>3</sup> ]
75. Perzentil	0,81	4,00	7,50	7,98	5,88	5,00	7,78	8,06	3,80
Median	0,62	2,22	4,40	4,71	3,93	2,52	5,00	4,83	2,04
25. Perzentil	0,41	1,37	1,80	2,02	1,97	1,36	2,80	2,00	1,30
Anzahl der Werte	173	154	155	155	155	117	155	154	114

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

Für den Gasringversuch wurden die folgend dargestellten Werte angegeben.



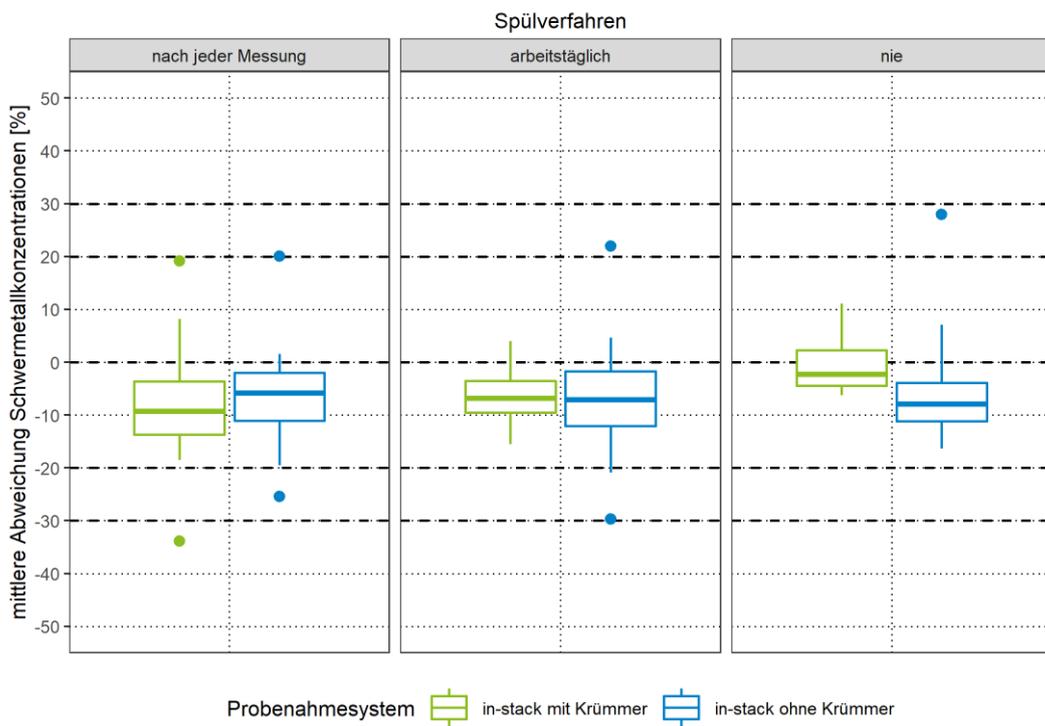
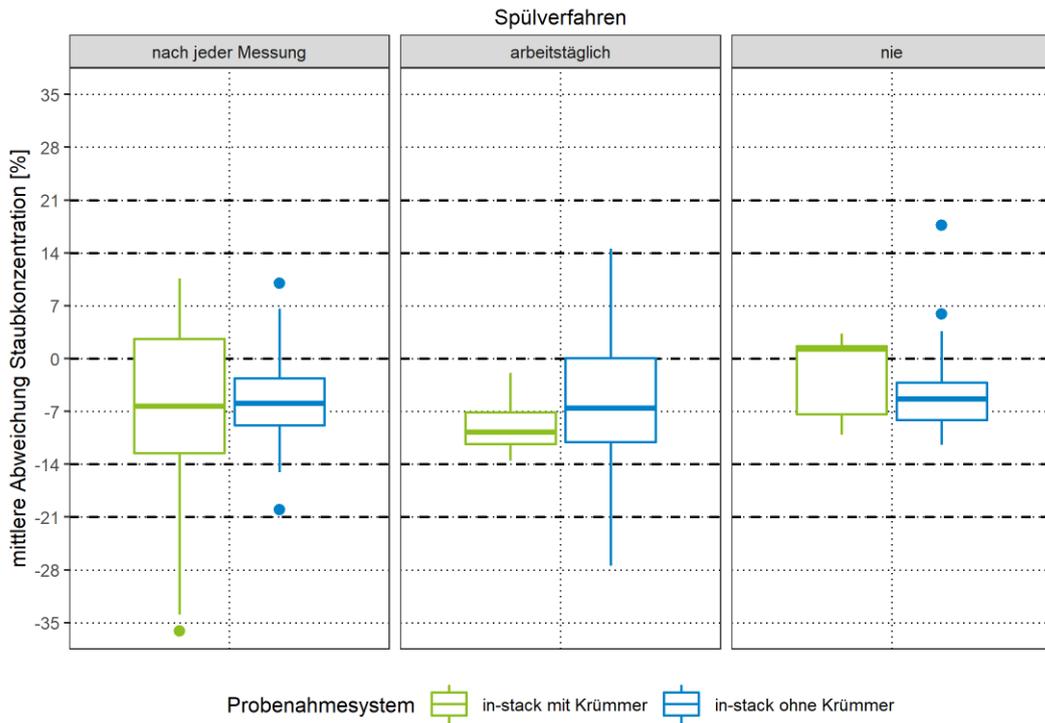
**Tabelle 9: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Gasringversuch**

	NO <sub>x</sub> ang. als NO <sub>2</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	CO [mg/m <sup>3</sup> ]	Ges.-C [mg/m <sup>3</sup> ]	SO <sub>2</sub> (disk.) [mg/m <sup>3</sup> ]	Formal- dehyd [mg/m <sup>3</sup> ]	Ethyl- benzol [mg/m <sup>3</sup> ]	Toluol [mg/m <sup>3</sup> ]	Summe Xylole [mg/m <sup>3</sup> ]
75. Perzentil	10,55	3,60	5,10	7,51	2,52	1,89	2,04	2,60
Median	6,73	2,69	3,37	5,20	1,69	1,20	1,50	1,70
25. Perzentil	4,87	2,00	2,25	2,90	0,97	0,75	0,80	0,80
Anzahl der Werte	169	93	164	169	125	166	167	167

## 7.2 Sonde und Spülen bei Staubbmessungen

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

Die Datenbasis erstreckt sich in diesem Bericht über die Ergebnisse seit Herbst 2018. Im Sommer 2018 wurde die Abfrage nach der Spülprozedur bezüglich der Frequenz konkretisiert, insgesamt 89 Teilnehmer haben seitdem entsprechende Angaben zu ihrem Spülverfahren gemacht. In früheren Jahren wurde nur grundsätzlich die Durchführung einer Spülung (ja/nein) abgefragt, die Daten sind deshalb leider nicht vergleichbar.



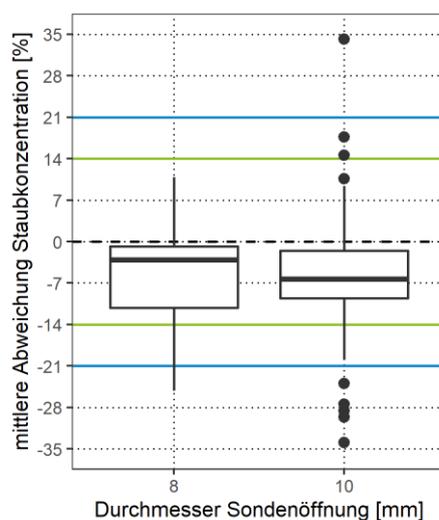
**Tabelle 10: Korrelation von Messergebnissen mit Sondensystemen und Spülprozedur (2018-2021)**

Kombi- nation Nr.	Sondensystem	Spülprozedur	Median mittl. Abweichung Gesamtstaub- Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer	Median mittl. Abweichung Schwermetall- Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer
1 (links)	in-stack mit Krümmer	nach jeder Messung	-6,3%	17	-8,1%	17
2 (mitte)		arbeitstäglich oder Ende RV	-9,7%	4	-6,9%	4
3 (rechts)		kein Spülen	1,3%	5	-2,3%	4
4 (links)	in-stack ohne Krümmer	nach jeder Messung	-5,9%	22	-5,2%	22
5 (mitte)		arbeitstäglich oder Ende RV	-6,7%	27	-7,0%	27
6 (rechts)		kein Spülen	-5,3%	14	-7,5%	14

Aufgrund der geringen Fallzahlen sind die dargestellten Ergebnisse teilweise stark von verschiedenen Einflüssen der jeweiligen Laboratorien beeinflusst. Die überdurchschnittlich guten Ergebnisse für Kombination 3 (Sonde mit Krümmer, die nicht gespült wird: Rechte Abbildungen, grün) dürften z.B. kaum repräsentativ sein für diese Art der Probenahme. Kombination 3 ist explizit nicht normkonform, da bei dieser Sondengeometrie in jedem Fall mit Staubanhaftungen an der Sondeninnenoberfläche zu rechnen ist, welche bei Verzicht auf Spülen zu signifikanten Minderbefunden führen können.

Im Mittel zeigen auch die Ergebnisse der Staubmessungen in den Ringversuchen des Jahres 2021 signifikante Minderbefunde, wie schon die Ergebnisse der Vorjahre. Eine ausführliche Untersuchung dieses Phänomens sowie seiner wahrscheinlichen Ursache hat das HLNUG im letzten Jahr in einer wissenschaftlichen Fachzeitschrift publiziert (17).

### 7.3 Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen

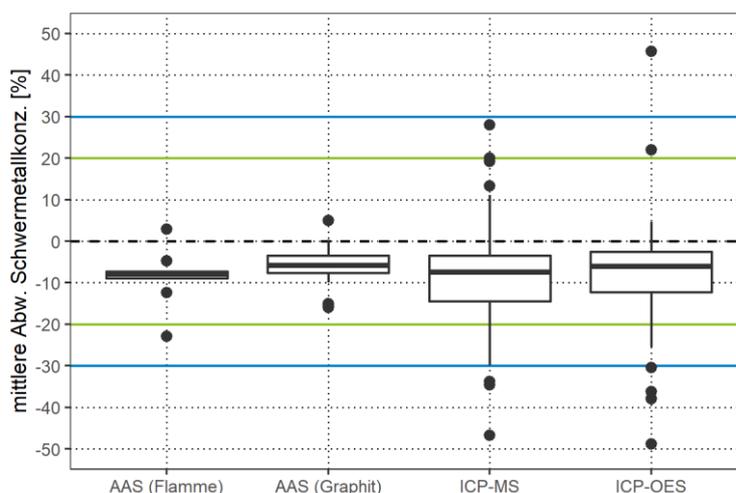


Die Angaben der Teilnehmer zum verwendeten Durchmesser der Sondenöffnung lassen keinen eindeutigen Trend erkennen. Unabhängig vom Durchmesser scheinen die Messwerte stets über einen weiten Bereich zu streuen. Insgesamt scheint aber die Größe der Sondenöffnung nicht bestimmend für die Messergebnisse zu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

**Tabelle 11: Korrelation der mittleren Abweichung der Staubkonzentration vom Sollwert mit dem Sonden-  
 durchmesser (2016-2021)**

Durchmesser der Sondenöffnung	8 mm	10 mm
75. Perzentil	-0,78%	-1,52%
Median	-3,07%	-6,31%
25. Perzentil	-11,20%	-9,56%
Anzahl der Werte	42	152

## 7.4 Analysegeräte für Schwermetalle



Die Angaben der Teilnehmer zum verwendeten Analysegerät für die Schwermetallanalytik lassen kaum Unterschiede zwischen AAS- und ICP-Nutzern erkennen. Insgesamt 27 Teilnehmer gaben an, die Schwermetallanalytik mittels AAS-Geräten durchzuführen, während 181 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 deutlich stärker als die der AAS-Nutzer.

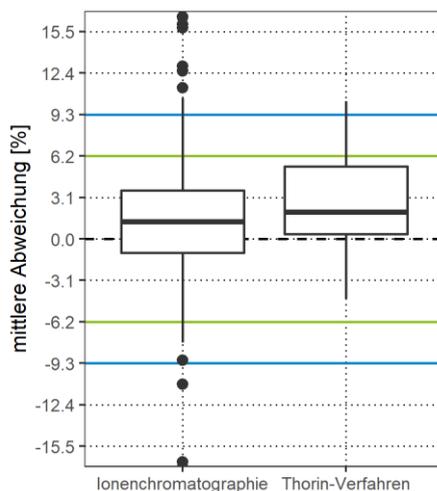
**Tabelle 12: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwermetallkonzentrationen vom Sollwert mit den verwendeten Analysegeräten (2016-2021)**

Messgerät	Flammen-AAS	Graphitrohr-AAS	ICP-MS	ICP-OES
75. Perzentil	-7,21%	-3,49%	-3,47%	-2,34%
Median	-7,85%	-5,81%	-7,44%	-6,00%
25. Perzentil	-8,85%	-7,69%	-13,91%	-11,77%
Anzahl der Werte	10	17	107	74

## 7.5 Formaldehyd

Im Jahr 2021 konnten im Rahmen der Gasringversuche leider keine Messungen von Formaldehyd-Konzentrationen durchgeführt werden. Auf eine Wiedergabe der in der Vergangenheit gesammelten Daten zu dieser Komponente wird an dieser Stelle verzichtet. Der Letzte Stand dazu ist im Jahresbericht 2020 zu finden.

## 7.6 Schwefeldioxid



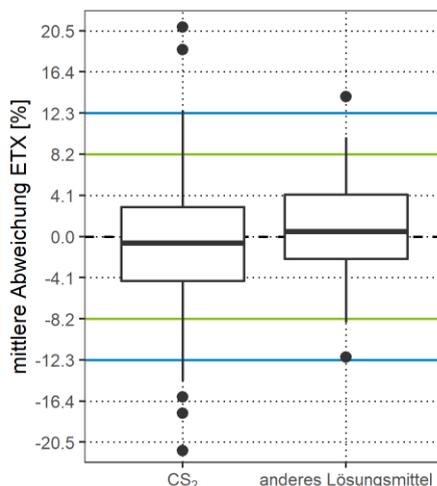
Für die diskontinuierliche Ermittlung von Schwefeldioxid-Konzentrationen steht den Teilnehmern im Rahmen des Standard-Referenzverfahrens die Analyse der Proben mittels Ionenchromatographie oder per Thorin-Verfahren zur Auswahl.

**Tabelle 13: Korrelation der mittleren Abweichung der Schwefeldioxid-Messergebnisse vom Sollwert mit dem verwendeten Analyseverfahren**

Bestimmungsmethode	Ionenchromatographie	Thorin-Verfahren
75. Perzentil	3,59%	5,41%
Median	1,23%	2,01%
25. Perzentil	-1,01%	0,36%
Anzahl der Werte	194	17

In den vorliegenden Ergebnissen zeigt sich eine im Mittel etwas geringere Abweichung für das Ionenchromatographie-Verfahren, allerdings ist die Anzahl der Teilnehmer, die das Thorin-Verfahren anwenden, vergleichsweise klein. Die höhere Streuung des IC-Verfahrens mit diversen „Ausreißern“ ist möglicherweise allein auf die mehr als 10-mal höhere Anzahl von Teilnehmern zurückzuführen.

## 7.7 Lösungsmittel zur Desorption von ETX



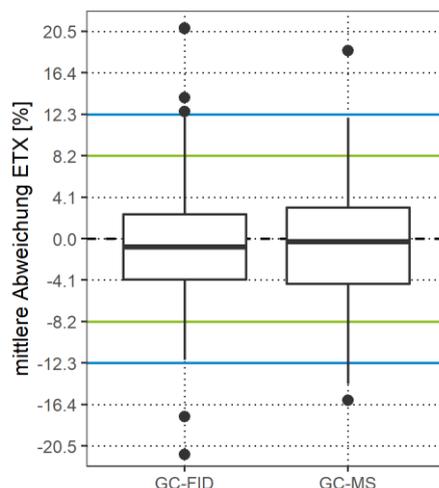
Für die Desorption der Lösungsmittel Ethylbenzol, Toluol und Xylol (ETX) stehen den Teilnehmern neben dem üblichen Lösungsmittel Schwefelkohlenstoff (CS<sub>2</sub>) auch noch andere Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemische zur Auswahl. Die überwiegende Anzahl der Teilnehmer gab an, mit CS<sub>2</sub> gearbeitet zu haben. Die Ergebnisse aller Teilnehmer liegen im Mittel nahe beim Sollwert.

Sowohl in der Abbildung als auch in der Tabelle wurden jeweils die Abweichungen der Teilnehmersmesswerte vom zugewiesenen Wert für alle drei Komponenten (Ethylbenzol, Toluol, Xylol) zusammengefasst.

**Tabelle 14: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit dem Desorptions-Lösungsmittel (2016-2021)**

Desorptionsmittel	CS <sub>2</sub>	Andere(s) Lösungsmittel
75. Perzentil	2,99%	4,16%
Median	-0,62%	0,52%
25. Perzentil	-4,46%	-2,20%
Anzahl der Werte	177	25

## 7.8 Gaschromatographie Detektoren



Für die Analyse der ETX-Proben kommen in der Regel Gaschromatographen mit entweder einem FID-Detektor oder einem Massenspektrometer zum Einsatz.

**Tabelle 15: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit Analysengeräten (2016-2021)**

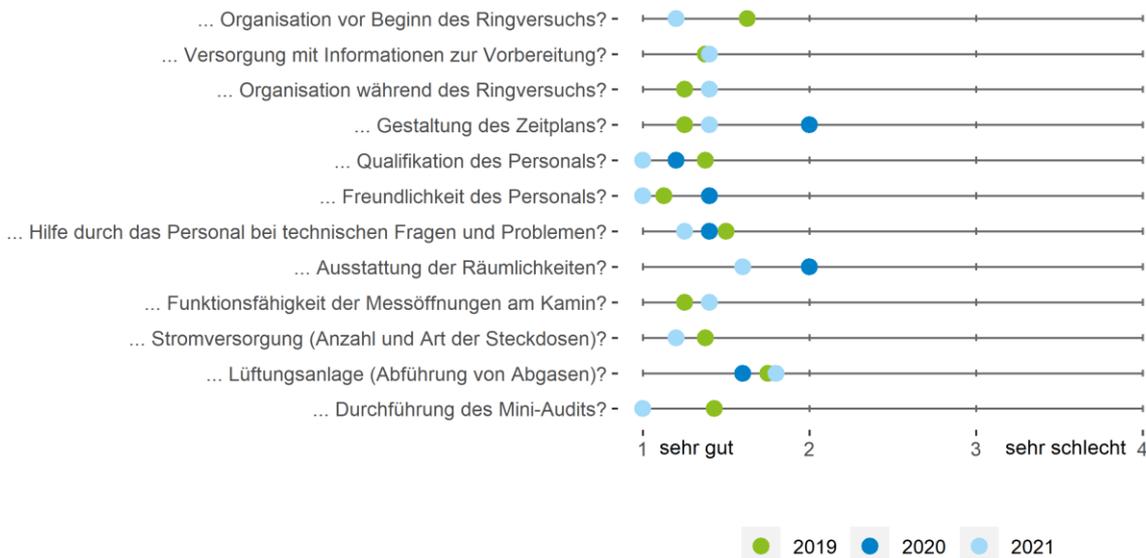
Messgerät	GC-FID	GC-MS
75. Perzentil	2,43%	3,09%
Median	-0,80%	-0,29%
25. Perzentil	-4,01%	-4,45%
Anzahl der Werte	81	121

Für das Gesamtverfahren von Probenahme und Analytik erzielten die Teilnehmer mit beiden Detektor-Varianten vergleichbare Ergebnisse nahe am Sollwert. Auch hier wurden in der Abbildung und in der Tabelle jeweils die Abweichungen der Teilnehmermesswerte vom zugewiesenen Wert für alle drei Komponenten (Ethylbenzol, Toluol, Xylol) zusammengefasst.

## 7.9 Feedback der Teilnehmer

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

Wie bewerten Sie die ...



Insgesamt gab es letztes Jahr leider nur 5 Rückmeldungen von 3 verschiedenen Messstellen. In diesen wenigen eingegangenen Feedbacks zeigte sich aber auch 2021 eine hohe Zufriedenheit der Teilnehmer mit der Ringversuchsdurchführung. Besonders zufrieden waren die Teilnehmer mit der Qualifikation und der Freundlichkeit des Personals (mittlere Note: 1,0). Die einzige Rückmeldung zur Durchführung des Mini-Audits war ebenfalls eine 1,0, allerdings fand im betreffenden Pandemie-Ringversuch kein Mini-Audit statt, weshalb diese Bewertung schwierig zu interpretieren ist. Die im Vergleich schlechtesten Bewertungen gab es zur Lüftungsanlage (mittlere Note: 1,8) und zur Ausstattung der Räumlichkeiten (mittlere Note: 1,6). Ein Teilnehmer kritisierte eine mangelnde Sauberkeit im Aufenthaltsraum sowie fehlendes WLAN. Dass der Aufenthaltsraum in schlechtem Zustand hinterlassen wurde, war anscheinend ein Einzelfall, außerdem wird sich dieses Problem wahrscheinlich mit der Rückkehr zu den regulären Ringversuchen von allein lösen. Ein WLAN-Zugang für Ringversuchsteilnehmer konnte Ende 2021 endlich installiert werden und steht jetzt allen Teilnehmern kostenfrei zur Verfügung. Der gleiche Teilnehmer äußerte sich sehr positiv über das Konzept der „Pandemieverson“ und wünscht sich diese Version als zukünftige „Normalversion“ für Staub- und Gasringversuche. Mit Blick auf das Prozedere für die Festlegung der Durchführungsbestimmungen wird sich dieser Wunsch nicht zeitnah umsetzen lassen. Bei der letzten Überarbeitung der Durchführungsbestimmungen im Jahr 2019 scheiterte zudem bereits die Verringerung der Anzahl an Messungen pro Komponente von 9 auf 6 am Widerstand der Interessenvertreter der Messstellen. Mit den Erfahrungen aus den 3 Messungen in der Pandemieverson wäre hier aber bei der nächsten Überarbeitung vielleicht ein Kompromiss möglich.

## 8. Schlussbemerkung

Bedingt durch die weiter andauernde SARS-CoV-2-Pandemie konnten die Emissionsringversuche des HLNUG auch im Jahr 2021 nur eingeschränkt angeboten werden. Eine Durchführung der Geruchsringversuche im Herbst war mit angemessenen Hygienemaßnahmen im gewohnten Umfang möglich, für die Staub- und Gasringversuche musste das Programm allerdings auf eine „Pandemieversion“ umgestellt werden. Dafür wurde die Anzahl der Messungen je Komponente auf 3 reduziert und die Komponente Formaldehyd vorübergehend aus dem Programm genommen. Die Messungen beider Ringversuche konnten so innerhalb eines Tages durchgeführt werden, mit einem Staubringversuch am Vormittag und einem Gasringversuch nachmittags, wobei jeweils alle Komponenten des Ringversuchs gleichzeitig gemessen wurden. Diese radikale Verkürzung des Programms ermöglichte es, jedem Teilnehmer einen der zwei Messräume zur alleinigen Nutzung zur Verfügung zu stellen.

Ein direkter Vergleich der von den Teilnehmern 2021 erzielten Ergebnisse mit den Ergebnissen aus dem Jahr 2019 (dem letzten Jahr mit einer vergleichbar großen Anzahl an Teilnehmern) zeigt, dass die relativen Abweichungen der Messwerte von den Sollwerten bei praktisch allen Staub- und Gaskomponenten im Schnitt größer ausfielen, außerdem gab es eine viel größere Anzahl von extremen „Ausreißern“. Die Reduzierung der Anzahl der Messungen von 9 auf 3 sollte keinen Einfluss auf die mittlere Abweichung der eingereichten Messwerte von den Sollwerten haben. Ob die höhere Streuung der Messwerte damit zusammenhängt, dass die Teilnehmer in der Pandemieversion grundsätzlich keinen Kontakt zu anderen Teilnehmern hatten, lässt sich nicht überprüfen. Eine Auswertung der Ergebnisse anhand der vorherigen Bewertungskriterien zeigt jedenfalls, dass das schlechte Gesamtbild kein Effekt der neuen Kriterien, sondern viel mehr eine Folge der objektiv schlechteren Messwerte im Jahr 2021 ist.

Die Ringversuche werden zumindest in der ersten Jahreshälfte 2022 weiterhin in der Pandemieversion durchgeführt, mit den dabei gewonnenen zusätzlichen Daten sollte im nächsten Jahresbericht eine Aussage möglich sein, ob die 2021 beobachtete Verschlechterung der Messergebnisse tatsächlich eine signifikante Veränderung darstellt, oder nur ein vorübergehendes Phänomen war.

Kassel, 12. Mai 2022

*gez. J. Cordes*

Dr. Jens Cordes

Fachlich Verantwortlicher  
Ringversuche

*gez. E. Antonsson*

Dr. Egill Antonsson

Stellv. Fachlich Verantwortlicher  
Ringversuche

*gez. D. Wildanger*

Dr. Dominik Wildanger

Dezernatsleiter



## 9. Literaturverzeichnis

1. Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl I, 2013, Nr. 25., S. 1274–1311.
2. DIN EN ISO/IEC 17043:2010-05 - Konformitätsbewertung - Allgemeine Anforderungen an Eignungsprüfungen (ISO/IEC 17043:2010); Deutsche und Englische Fassung EN ISO/IEC 17043:2010. (*Conformity assessment - General requirements for proficiency testing (ISO/IEC 17043:2010); German and English version EN ISO/IEC 17043:2010*). Berlin : Beuth-Verlag.
3. Einundvierzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Bekanntgabeverordnung – 41. BImSchV) vom 2. Mai 2013 (BGBl I, 2013, Nr. 21, S. 1001–1010).
4. J. Cordes, B. Stoffels, D. Wildanger. *The question of homogeneity inside a chimney: application of ISO 13528 to stack emission proficiency tests*. **Accred Qual Assur.** 20, 2015, S. 287. <https://doi.org/10.1007/s00769-015-1139-y>
5. S. Stöckel, J. Cordes, B. Stoffels, D. Wildanger. *Scents in the stack: olfactometric proficiency testing with an emission simulation apparatus*. **Environ. Sci. Pollut. Res.** 25, 2018, S. 24787. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2515-z>
6. DIN EN ISO 17034:2017-04 - Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Referenzmaterialherstellern (ISO 17034:2016); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 17034:2016. (*General requirements for the competence of reference material producers (ISO 17034:2016); German and English version EN ISO 17034:2016*). Berlin : Beuth-Verlag.
7. DIN ISO 13528:2009-01 - Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO 13528:2005); Text Deutsch und Englisch. (*Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons (ISO 13528:2005); Text in German and English*). Berlin : Beuth-Verlag.
8. DIN EN 14385:2004-05 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Gesamtemission von As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, TI und V; Deutsche Fassung EN 14385:2004. (*Stationary source emissions - Determination of the total emission of As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, TI and V; German version EN 14385:2004*). Berlin : Beuth-Verlag.
9. DIN EN 15259:2008-01: Luftbeschaffenheit - Messung von Emissionen aus stationären Quellen - Anforderungen an Messstrecken und Messplätze und an die Messaufgabe, den Messplan und den Messbericht; Deutsche Fassung EN 15259:2007. (*Air quality - Measurement of stationary source emissions - Requirements for measurement sections and sites and for the measurement objective, plan and report; German version EN 15259:2007*). Berlin : Beuth-Verlag.
10. DIN EN 13284-1:2002-04: Emissionen aus stationären Quellen - Ermittlung der Staubmasenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen - Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren; Deutsche Fassung EN 13284-1:2001. (*Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust. Manual gravimetric method; German version EN 13284-1:2001*). Berlin : Beuth-Verlag.
11. DIN EN 14791:2017-05 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Schwefeloxiden - Standardreferenzverfahren; Deutsche Fassung EN 14791:2017. (*Stationary source emissions. Determination of mass concentration of sulphur oxides. Standard reference method; German version EN 14791:2017*). Berlin : Beuth-Verlag.
12. 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. (*Sta-*

- tionary source emissions. Determination of the mass concentration of total gaseous organic carbon. Continuous flame ionisation detector method; German version EN 12619:2013.*) Berlin : Beuth-Verlag.
13. DIN CEN/TS 13649:2015-03 - DIN SPEC 33969:2015-03 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von gasförmigen organischen Einzelverbindungen - Sorptive Probenahme und Lösemittelextraktion oder thermische Desorption; Deutsche Fassung CEN/TS 13649:2014. (*Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of individual gaseous organic compounds. Sorptive sampling method followed by solvent extraction or thermal desorption; German Version CEN/TS 13649:2014.*) Berlin : Beuth-Verlag.
  14. DIN EN 14792:2017-05 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Stickstoffoxiden - Standardreferenzverfahren: Chemilumineszenz; Deutsche Fassung EN 14792:2017. (*Stationary source emissions. Determination of mass concentration of nitrogen oxides. Standard reference method. Chemiluminescence; German version EN 14792:2017.*) Berlin : Beuth-Verlag.
  15. DIN EN 15058:2017-05 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Kohlenmonoxid - Standardreferenzverfahren: Nicht-dispersive Infrarotspektrometrie; Deutsche Fassung EN 15058:2017. (*Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of carbon monoxide. Standard reference method: non-dispersive infrared spectrometry; German version EN 15058:2017.*) Berlin : Beuth-Verlag.
  16. DIN EN 13725:2003-07 Luftbeschaffenheit - Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit dynamischer Olfaktometrie; Deutsche Fassung EN 13725:2003. (Air quality - Determination of odour concentration by dynamic olfactometry; German version EN 13725:2003). Berlin : Beuth-Verlag.
  17. E. Antonsson, J. Cordes, B. Stoffels, D. Wildanger. *The European Standard Reference Method systematically underestimates particulate matter in stack emissions. Atmos. Environ., X, 12, 2021, S. 100133.* <https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2021.100133>
  18. VDI 2066 Blatt 1:2006-11 - Messen von Partikeln - Staubmessungen in strömenden Gasen - Gravimetrische Bestimmung der Staubbelastung. (*Particulate matter measurement - Dust measurement in flowing gases - Gravimetric determination of dust load*). Berlin : Beuth-Verlag.
  19. VDI 3862 Blatt 2:2000-12 - Messen gasförmiger Emissionen - Messen aliphatischer und aromatischer Aldehyde und Ketone nach dem DNPH-Verfahren - Gaswaschflaschen-Methode. (*Gaseous emission measurement - Measurement of aliphatic and aromatic aldehydes and ketones by DNPH method - Impinger method*). Berlin : Beuth-Verlag.
  20. VDI 3862 Blatt 3:2000-12 - Messen gasförmiger Emissionen - Messen aliphatischer und aromatischer Aldehyde und Ketone nach dem DNPH-Verfahren - Kartuschen-Methode. (*Gaseous emission measurement - Measurement of aliphatic and aromatic aldehydes and ketones by DNPH method - Cartridges method*). Berlin : Beuth-Verlag.
  21. VDI 3862 Blatt 4:2001-05 - Messen gasförmiger Emissionen - Messen von Formaldehyd nach dem AHMT-Verfahren. (*Gaseous emission measurement - Measurement of formaldehyde by the AHMT method*). Berlin : Beuth-Verlag.
  22. VDI 4220 Blatt 1:2018-11 - Qualitätssicherung - Anforderungen an Stellen für die Ermittlung luftverunreinigender Stoffe an stationären Quellen und in der Außenluft - Allgemeine Anforderungen. (*Quality assurance - Requirements on bodies for the determination of air pollutants at stationary sources and in ambient air - General requirements*). Berlin : Beuth-Verlag.

HESSEN



Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Dezernat I3 – Luftreinhaltung: Emissionen

Ludwig-Mond-Straße 33  
34121 Kassel