

Jahresbericht 2018

Ergebnisse der Ringversuche der Stoffbereiche P, G und O an
der Emissionssimulationsanlage zur Qualitätssicherung von
Emissionsmessungen im Jahr 2018

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	Partikelförmige Standards	8
4.2	Ablauf der Messungen	8
4.3	Auswertung der Ringversuche	9
4.3.1	Berechnung von z-Scores.....	9
4.3.2	Bewertungsschema.....	11
4.3.3	Ergebnismitteilung	13
5.	Ergebnisse	13
5.1	Auflistung der erreichten z-Scores.....	13
5.1.1	Stoffbereich P.....	14
5.1.2	Stoffbereich G	18
5.1.3	Stoffbereich O	24
5.2	Erreichte Klassensummen.....	25
5.2.1	Stoffbereich P.....	25
5.2.2	Stoffbereich G	28
5.2.3	Stoffbereich O	31
6.	Interpretation	33
6.1	Beurteilung der Messergebnisse	36
6.2	Randbedingungen	38
6.3	Freiwillige Angaben der Teilnehmer	39
6.3.1	Messunsicherheiten.....	40
6.3.2	Sonde und Spülen bei Staubmessungen.....	41
6.3.3	Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubmessungen	44

6.3.4	Analysegeräte für Schwermetalle	45
6.3.5	Formaldehyd	45
6.3.6	Schwefeldioxid	46
6.3.7	Lösungsmittel zur Desorption von ETX	47
6.3.8	Gaschromatographie Detektoren	48
7.	Schlussbemerkung	50
8.	Literaturverzeichnis	51

1. Zusammenfassung

An den Staub-Emissionsringversuchen (Stoffbereich P) des HLNUG nahmen im Jahr 2018 insgesamt 44 Messinstitute teil, davon waren 36 Teilnehmer §29b-Messstellen und 8 Freiwillige. Die Erfolgsquote lag bei den §29b-Messstellen (94%) wie in der Vergangenheit deutlich höher als bei den Freiwilligen (75%).

An den Gas-Emissionsringversuchen (Stoffbereich G) nahmen 2018 insgesamt 47 Messinstitute teil, davon waren 40 Teilnehmer §29b-Messstellen und 7 Freiwillige. Die Erfolgsquote lag auch hier bei den §29b-Messstellen (63%) wie in den Jahren zuvor deutlich höher als bei den Freiwilligen (43%).

An den Geruchs-Emissionsringversuchen (Stoffbereich O) nahmen 2018 insgesamt 21 Messstellen teil, von denen 15 aufgrund einer Bekanntgabe nach §29b BImSchG und 6 freiwillig teilnahmen. Hier waren 73% der bekanntgegebenen und 33% der freiwilligen Teilnehmer erfolgreich.

2. Einleitung

2.1 Rechtlicher Hintergrund

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

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

2.2 Die Emissionssimulationsanlage

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

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

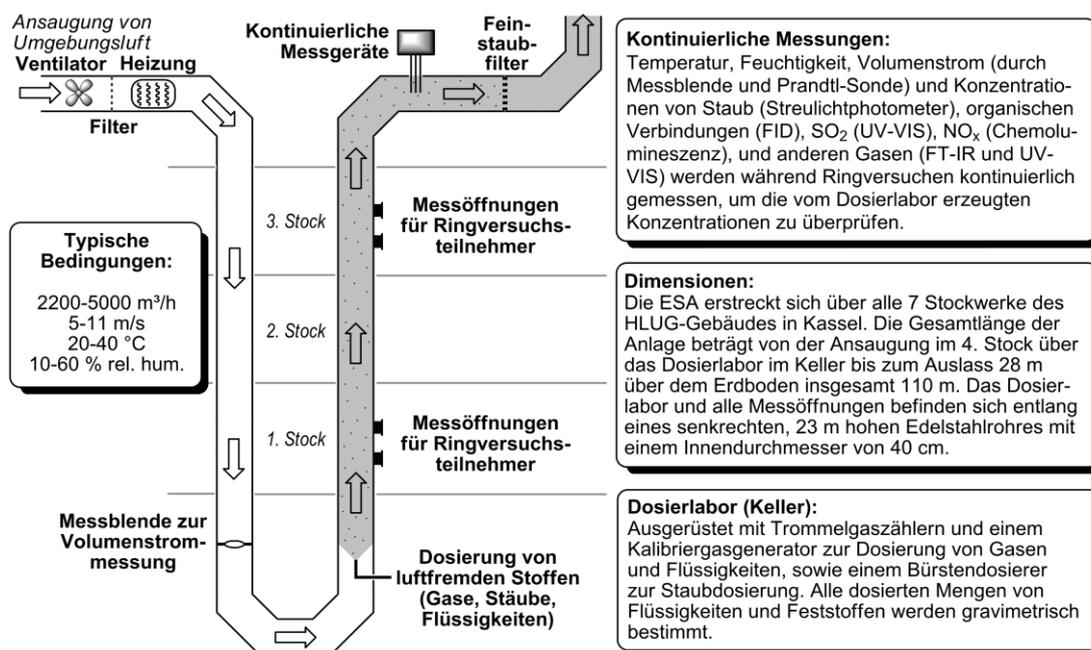


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ESA des HLNUG in Kassel

Die Prüfatmosphäre in Form von simuliertem Abgas wird erzeugt, indem Umgebungsluft angesaugt, durch die Anlage gepumpt, erwärmt und mit genau dosierten Mengen an Fremdstoffen versetzt wird. Das Abgas strömt dabei typischerweise mit ca. 5 – 11 m/s durch die ESA, dadurch wird ein Volumen von ca. 2200 – 5000 m³/h durch die Anlage bewegt.

Die durch die Ringversuchsteilnehmer zu messenden luftfremden Stoffe werden im Dosierlabor im Keller in den Luftstrom dosiert. Dazu ist das Dosierlabor ausgerüstet mit diversen Trommelgaszählern und Coriolissensoren für die Dosierung verschiedener Gase, einem Kalibriergasgenerator für die Dosierung von Flüssigkeiten sowie einem Bürstendosierer für die Dosierung von Stäuben. Verschiedene Messgeräte messen kontinuierlich Volumenstrom, Druck, Temperatur und Luftfeuchtigkeit sowie die Konzentrationen von organischen Verbindungen (als Gesamt-C) und verschiedenen anderen Komponenten, um die vom Dosierlabor erzeugten Konzentrationen permanent zu überprüfen.

3. Organisatorische Informationen

Im Jahr 2018 wurden folgende Ringversuche der Stoffbereiche P, G und O durchgeführt:

Tabelle 1: Emissionsringversuche des HLNUG im Jahr 2018

Ringversuch	Art	Start	Ende	Teilnehmer
RV 501S	Staub (Stoffbereich P)	29.01.2018	30.01.2018	8
RV 502G	Gas (Stoffbereich G)	31.01.2018	02.02.2018	8
RV 503S	Staub (Stoffbereich P)	19.02.2018	20.02.2018	7
RV 504G	Gas (Stoffbereich G)	21.02.2018	23.02.2018	7
RV 505S	Staub (Stoffbereich P)	05.03.2018	06.03.2018	8
RV 506G	Gas (Stoffbereich G)	07.03.2018	09.03.2018	8
RV 507S	Staub (Stoffbereich P)	19.03.2018	20.03.2018	5
RV 508G	Gas (Stoffbereich G)	21.03.2018	23.03.2018	7
RV 509S	Staub (Stoffbereich P)	16.04.2018	17.04.2018	8
RV 510G	Gas (Stoffbereich G)	18.04.2018	20.04.2018	8
RV 511O	Geruch (Stoffbereich O)	16.10.2018	16.10.2018	7
RV 512O	Geruch (Stoffbereich O)	18.10.2018	18.10.2018	8
RV 513O	Geruch (Stoffbereich O)	24.10.2018	24.10.2018	6
RV 515S	Staub (Stoffbereich P)	05.11.2018	06.11.2018	5
RV 516G	Gas (Stoffbereich G)	07.11.2018	09.11.2018	6
RV 519S	Staub (Stoffbereich P)	19.11.2018	20.11.2018	3
RV 520G	Gas (Stoffbereich G)	21.11.2018	23.11.2018	4

Diese Ringversuche wurden unter folgenden Randbedingungen geplant und durchgeführt (siehe dazu auch Durchführungsbestimmungen zu Stoffbereich P von Juni 2007, zu Stoffbereich G von Oktober 2014 und zu Stoffbereich O von April 2016):

Tabelle 2: Rahmendaten zu den Emissionsringversuchen des HLNUG

	Stoffbereich P	Stoffbereich G
Probenahmedauer	30 min	30 min (disk. Komponenten und Gesamt-C), 15 min (Propan, NO _x , SO ₂ kont.)
Anzahl Proben	10 inkl. Einführungsmessung	
Probenahme	Für alle Teilnehmer gleichzeitig (1. OG und 3. OG)	
Randbedingungen	keine Festlegung in Durchführungsbestimmungen	2000 ... 3500 m ³ /h 20 ... 40 °C
Konzentrationen	1 ... 12 mg/m ³ in folgenden Stufen: 1: 1 ... 4 mg/m ³ 2: 4 ... 7 mg/m ³ 3: 7 ... 12 mg/m ³	SO ₂ : 20 ... 150 mg/m ³ NO _x als NO ₂ : 60 ... 450 mg/m ³ CO: 10 ... 100 mg/m ³ Summe ETX: 4 ... 100 mg/m ³ Formaldehyd: 4 ... 40 mg/m ³ Gesamt-C: 4 ... 100 mg/m ³ (ETX/Propan) Gesamt-C: 5 ... 100 mg/m ³ (Propan)

Stoffbereich P		Stoffbereich G
Abgabe	sechs Wochen nach Abschluss des Ringversuchs mit einer Nachkommastelle in mg/m ³ Normzustand, trocken (Gesamtstaub), bzw. µg/m ³ Normzustand, trocken (Schwermetallgehalte)	vier Wochen nach Abschluss des Ringversuchs mit einer Nachkommastelle (Komponenten G1, G2, G3, G8 und G9, s. Tabelle 6), bzw. zwei Nachkommastellen (G4 bis G7 und G10, s. Tabelle 6), in mg/m ³ im Normzustand, trocken
Art der Abgabe	Über eine vom HLNUG zur Verfügung gestellte Excel-Datei, in die die jeweiligen Ergebnisse einzutragen sind	

Stoffbereich O	
Probenahmedauer	10 min
Anzahl Proben	10 inkl. Einführungsmessung
Randbedingungen	2000 ... 6000 m ³ /h, Abgasgeschwindigkeit > 4 m/s, Wasserdampfgehalt bis 50 g/m ³
Konzentrationen	Richtwert: 50 ... 50000 GE _E /m ³
Abgabe	Am Ringversuchstag, 19:00 Uhr
Art der Abgabe	Über eine vom HLNUG zur Verfügung gestellte Excel-Datei, persönlich am Ringversuchstag abgegeben

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, Dr. Dominik Wildanger und Benno Stoffels.

4. Durchführung der Ringversuche

4.1 Partikelförmige Standards

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 Bereichs P die im HLNUG gemäß DIN EN ISO 17034 (4) hergestellten zertifizierten Referenzmaterialien eingesetzt.

Die Matrix ist ein industrieller Staub, der durch gezielte Schwermetalldotierung, 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 (5) überprüft.

4.2 Ablauf der Messungen

Jeder Teilnehmer hat die Massenkonzentration der Emissionskomponenten unter Berücksichtigung von DIN EN 15259 (6) zu bestimmen. Zusätzlich sind vor Beginn der eigentlichen Probenahme die messtechnischen Randbedingungen zu erfassen. Dazu gehören Abgasgeschwindigkeit/Volumenstrom, Abgastemperatur und –feuchte sowie der Luftdruck in der Anlage.

Tabelle 3: Ablauf eines Emissionsringversuchs des Stoffbereichs P

	Komponente	Verfahren
Tag 1 und 2	Staub	DIN EN 13284-1 (7) / VDI 2066 Blatt 1 (8)
	Staubinhaltsstoffe	keine Festlegung in Durchführungsbestimmungen

Tabelle 4: Ablauf eines Emissionsringversuchs des Stoffbereichs G

	Komponente	Verfahren
Tag 1	Formaldehyd	VDI 3862 Blatt 2 (9), Blatt 3 (10) oder Blatt 4 (11)
Tag 2	SO ₂	DIN EN 14791 (12)
	Gesamt-C	DIN EN 12619 (13)
	ETX	DIN EN 13649 (14)
Tag 3	SO ₂	Mit einem eignungsgeprüften Messgerät
	Gesamt-C	DIN EN 12619 (13)
	NO _x als NO ₂	DIN EN 14792 (15)
	CO	DIN EN 15058 (16)

Tabelle 5: Ablauf eines Emissionsringversuchs des Stoffbereichs O

	Komponente	Verfahren
Tag 1	Vier Geruchsstoffe	DIN EN 13725 (17)

4.3 Auswertung der Ringversuche

4.3.1 Berechnung von z-Scores

Stoffbereich P und G

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

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

Dabei ist X_{ijk} der Schätzwert für den wahren Wert der entsprechenden Dosierung und σ_k die Präzisionsvorgabe. Der Schätzwert für den wahren Wert wird aus den Messdaten der Dosieranlage sowie dem Volumenstrom hergeleitet.

Stoffbereich O

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

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

Hierbei ist X_{ik} der Schätzwert für den wahren Wert der entsprechenden Dosierung und σ_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:

- 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 Median der logarithmierten Werte gemäß DIN ISO 13528 (5) 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 Median der logarithmierten Werte gemäß DIN ISO 13528 (5) 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.

Sofern die gemäß DIN ISO 13528 (5) 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 (5) angepasst. Dazu wird σ_k auf den nächsten Wert mit zwei Nachkommastellen angehoben, der die obige Bedingung erfüllt. Die Teilnehmer werden spätestens mit der Ergebnismitteilung durch das HLNUG über die Anhebung der Präzisionsvorgabe informiert.

Die Präzisionsvorgaben σ betragen für die einzelnen Komponenten:

Tabelle 6: Präzisionsvorgaben

Nr.	Komponente	Art der Bestimmung	Kurzbezeichnung	Präzisionsvorgabe σ_k in % vom Sollwert
Stoffbereich P				
P1	Staubkonzentration	diskontinuierlich	St	7,0
P2	Cadmium	diskontinuierlich	Cd	8,0
P3	Cobalt	diskontinuierlich	Co	8,0
P4	Chrom	diskontinuierlich	Cr	12,0
P5	Kupfer	diskontinuierlich	Cu	8,0
P6	Mangan	diskontinuierlich	Mn	10,0
P7	Nickel	diskontinuierlich	Ni	8,0
P8	Blei	diskontinuierlich	Pb	8,0
P9	Vanadium	diskontinuierlich	V	10,0
Stoffbereich G				
G1	SO ₂	diskontinuierlich	Sd	3,1
G2	SO ₂	kontinuierlich	Sk	3,9
G3	NO _x als NO ₂	kontinuierlich	Nk	3,1
G4	Toluol	diskontinuierlich	Td	5,6
G5	Ethylbenzol	diskontinuierlich	Ed	5,8
G6	o-, m-, p-Xylol	diskontinuierlich	Xd	5,3
G7	Formaldehyd	diskontinuierlich	Fd	3,5
G8	Gesamt-C (Propan, ETX)	kontinuierlich	Ck	3,3

Nr.	Komponente	Art der Bestimmung	Kurzbezeichnung	Präzisionsvorgabe σ_k in % vom Sollwert
Stoffbereich G – nicht bestehensrelevanter Teil				
G9	Gesamt-C (Propan)	kontinuierlich	Pk	3,3
G10	Kohlenstoffmonoxid	kontinuierlich	Kk	3,6
G11	Toluol (Standard)	Laboranalyse	STDT	4,5
G12	Ethylbenzol (Standard)	Laboranalyse	STDE	4,5
G13	o-, m-, p-Xylol (Standard)	Laboranalyse	STDX	4,5
Stoffbereich O				
-	Alle Geruchsstoffe	diskontinuierlich	z.B. NBU, AAC, ...	0,1 [†]

[†] Beim Ringversuch O ist die Präzisionsvorgabe nicht in % des Sollwerts definiert (s. Abschnitt 4.3.1)

4.3.2 Bewertungsschema

Staub- und Gasringversuch

Die Auswertung des Ringversuchs erfolgt in Anlehnung an das z-Score Verfahren. Dazu werden bei allen Komponenten mit Probenahme für den i -ten Messwert der j -ten Konzentrationsstufe der k -ten Komponente ein z-Score-Wert ermittelt:

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

Hierbei ist X_{ijk} der Schätzwert für den wahren Wert (Sollwert) der entsprechenden Dosierung und die zugehörige Präzisionsvorgabe. Der Schätzwert für den wahren Wert wird aus den Messdaten der Dosieranlage sowie dem Volumenstrom hergeleitet.

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.

Im nächsten Schritt werden die Beträge der n z-Scores der Ergebnisse einer Konzentrationsstufe (in der Regel $n = 3$) einer Komponente gemittelt:

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

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

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

Für jede Komponente müssen mindestens sechs Messwerte eingereicht worden sein, andernfalls gilt die Komponente als nicht erfolgreich bestimmt.

Die Ermittlung des Gesamtergebnisses sowohl der einzelnen Komponenten, als auch der Ringversuchsteilnahme insgesamt ist für den Staub- und den Gasringversuch unterschiedlich.

Staubringversuch

Eine Komponente wurde dann erfolgreich bestimmt, wenn die zugehörige Summe der Klassenzahlen ≤ 5 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 und die Summe der z-Scores maximal 5,2 beträgt.

Der Ringversuch gilt im Gesamtergebnis als erfolgreich bestanden, wenn die Komponente Gesamtstaub (Nr. P1) und zusätzlich mindestens 5 der 6 Schwermetall-Pflichtkomponenten (Nr. P2 bis P5 sowie P7 und P8) erfolgreich bestimmt wurden.

Gasringversuch

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 gilt im Gesamtergebnis als erfolgreich bestanden, wenn alle ergebnis-relevanten Komponenten (Nr. G1 bis G8) erfolgreich bestimmt wurden. Mit Erscheinen der neuen Version der Richtlinie VDI 4220 (18) wurde die Komponente G2 (SO₂ kontinuierlich) im November 2018 zu einer freiwilligen Komponente. Ab diesem Zeitpunkt wurde der Ringversuch erfolgreich bestanden, wenn die Komponenten Nr. G1 sowie G3 bis G8 erfolgreich bestimmt wurden.

Für den analytischen Teil des Ringversuchs (bei dem keine Probenahme stattfindet) werden z-Scores nach dem oben beschriebenen Verfahren berechnet. Eine der Komponenten des ETX-Standards wurde erfolgreich bestimmt, wenn

$$|z_k| < 3$$

gilt. Für ein erfolgreiches Abschneiden im analytischen Teil müssen alle 3 Komponenten erfolgreich bestimmt werden.

Olfaktometrieringversuch

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

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

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.

4.3.3 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 Auflistung der erreichten z-Scores

In den folgenden Tabellen sind die von den Teilnehmern erreichten z-Scores dargestellt. Die Werte sind nach Ringversuch, ID-Code und der jeweiligen Konzentrationsstufe sortiert. Die Messungs-ID (Spalte 1) ist eine eindeutig zu jeder Messung zuzuordnende alphanumerische Kennzeichnung und setzt sich aus Ringversuchsnummer, Komponentenbezeichnung, Messungsnummer und dem Teilnehmer-ID-Code zusammen. Sollte ein Teilnehmer für einen oder mehrere Messungen keinen Wert abgegeben haben, so wird dies durch ein „-/-“ gekennzeichnet.

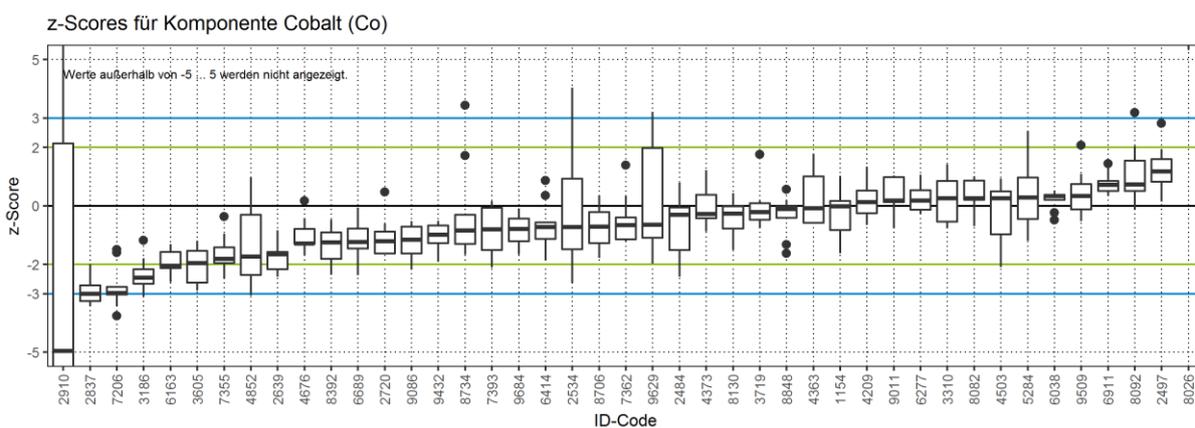
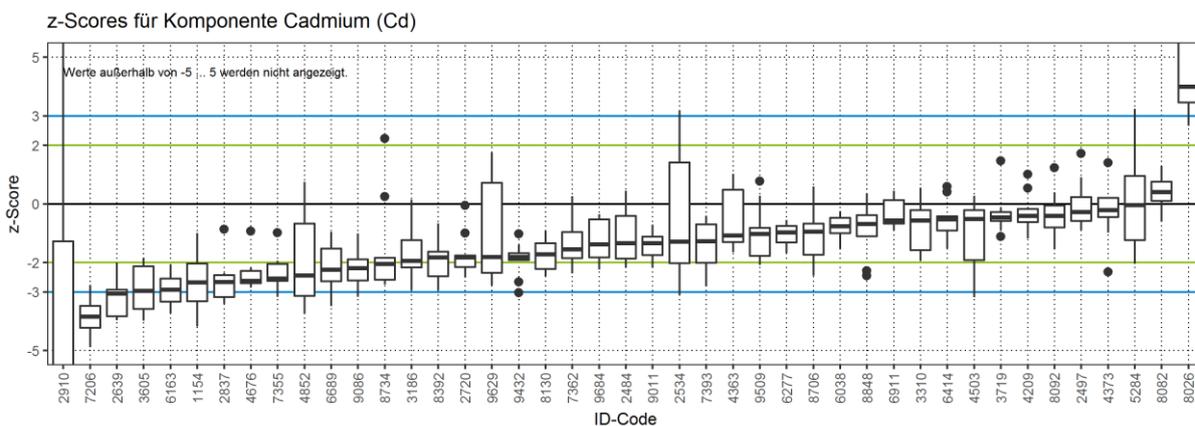
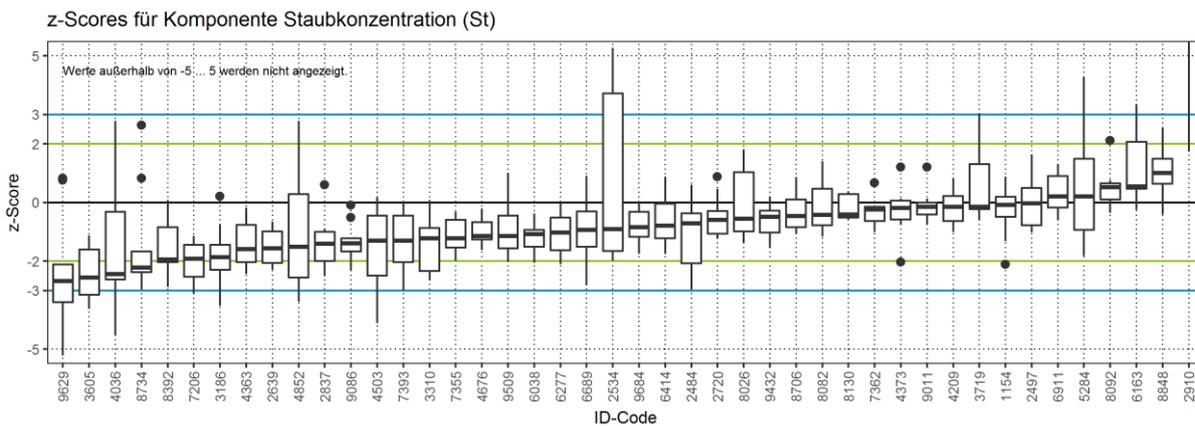
Eine kompakte Übersicht der von den Teilnehmern erreichten z-Scores findet sich in den folgenden Box-Whisker-Plots. Das Rechteck kennzeichnet dabei jeweils Werte zwischen dem 25. und dem 75. Perzentil (Interquartilsabstand), der durchgehende Strich im Rechteck den Median der Werte. Die „Antennen“ reichen 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.

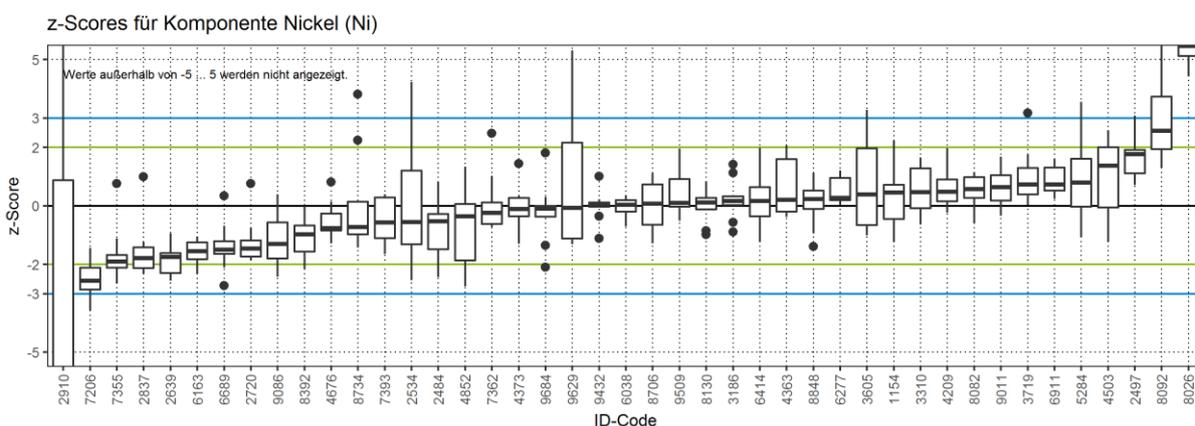
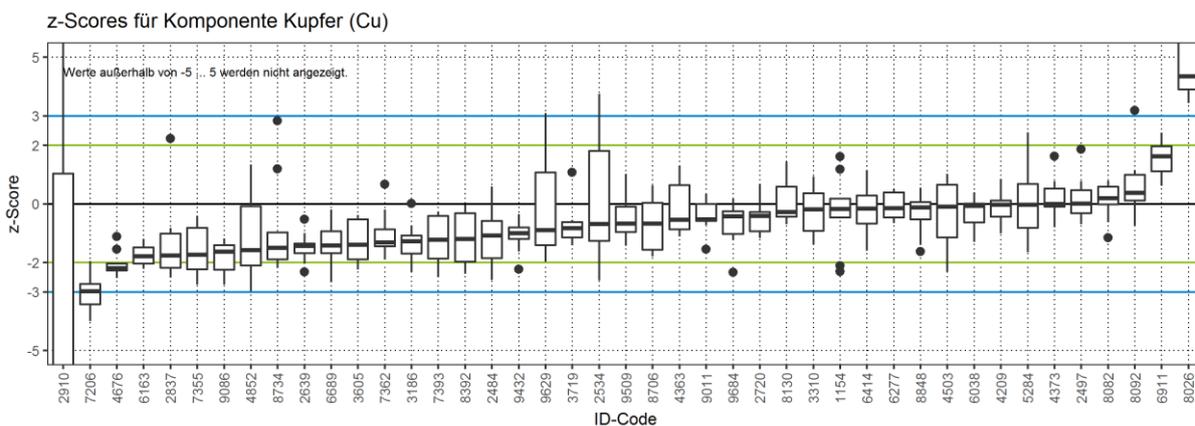
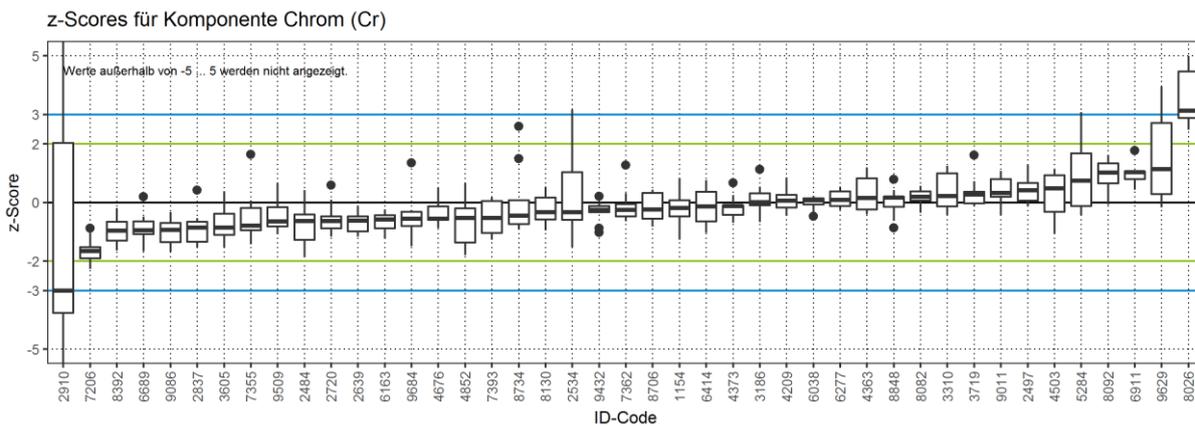
Um einerseits die Leistungsfähigkeit einzelner Teilnehmer über alle Komponenten beurteilen zu können und andererseits einen Eindruck über die Qualität von Messungen für einzelne Komponenten zu erhalten, liegen die Diagramme in zwei verschiedenen Sortierungen vor; zum einen als Übersicht auf einer Seite,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

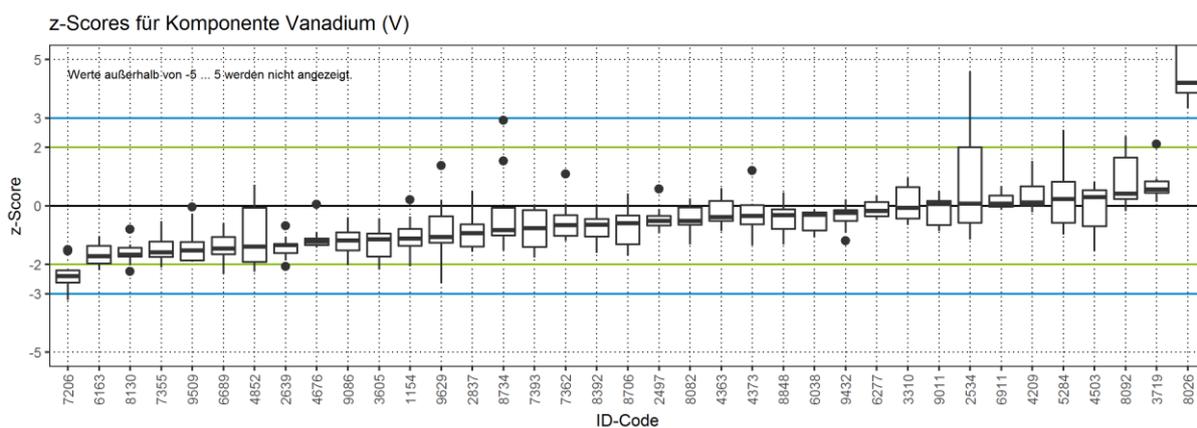
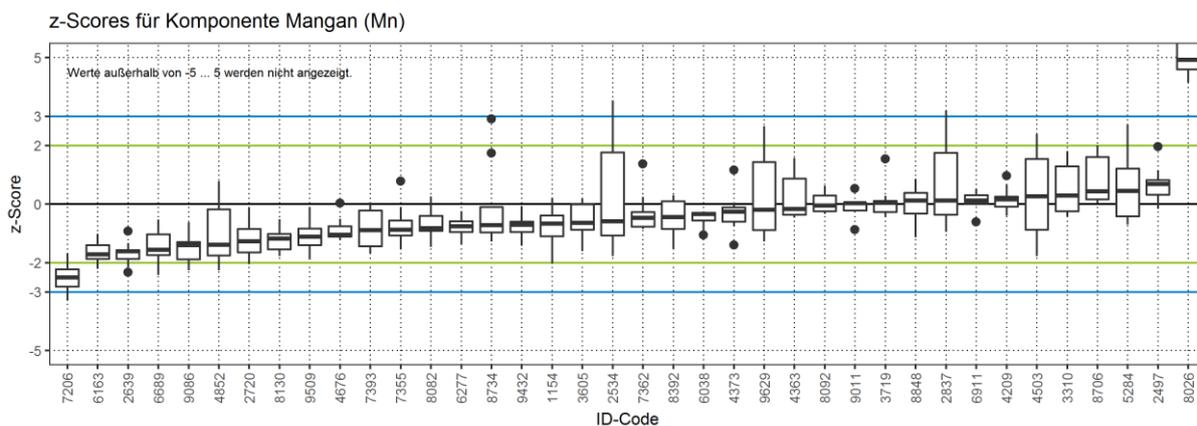
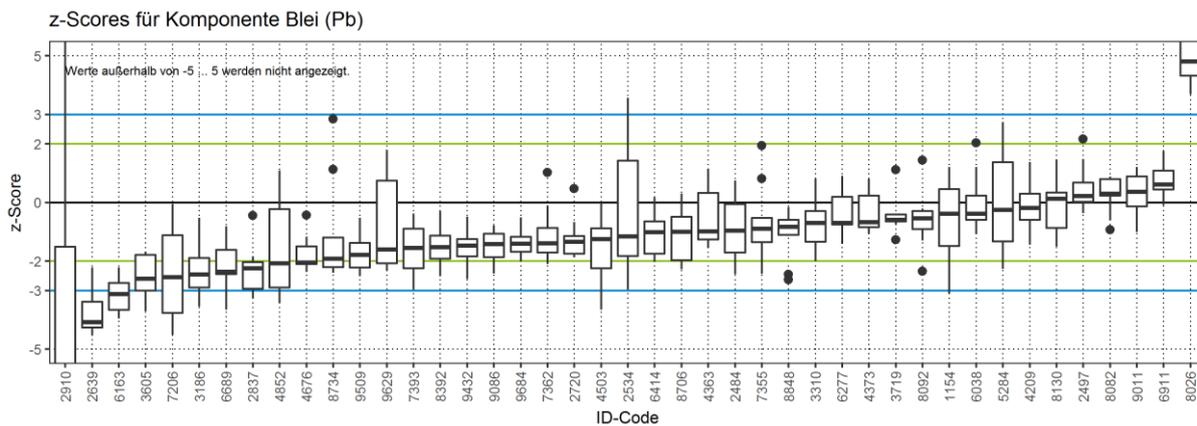
5.1.1 Stoffbereich P



Abbildung 2: z-Scores für den Stoffbereich P (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)







5.1.2 Stoffbereich G



Abbildung 3: z-Scores für den Stoffbereich G (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)

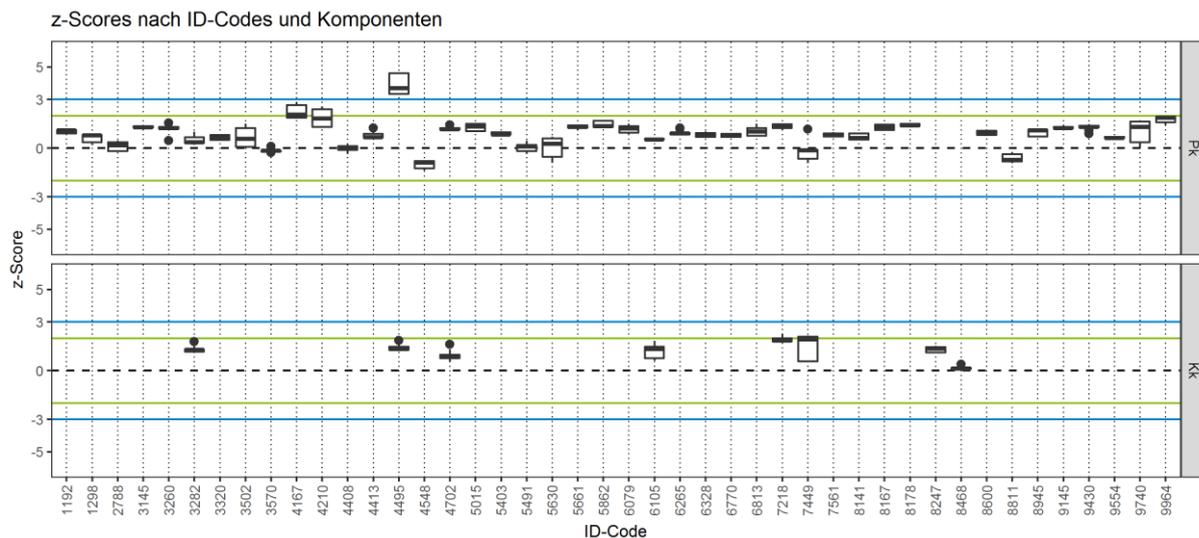


Abbildung 4: z-Scores für den Stoffbereich G, nicht bestehensrelevante Ergebnisse (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)

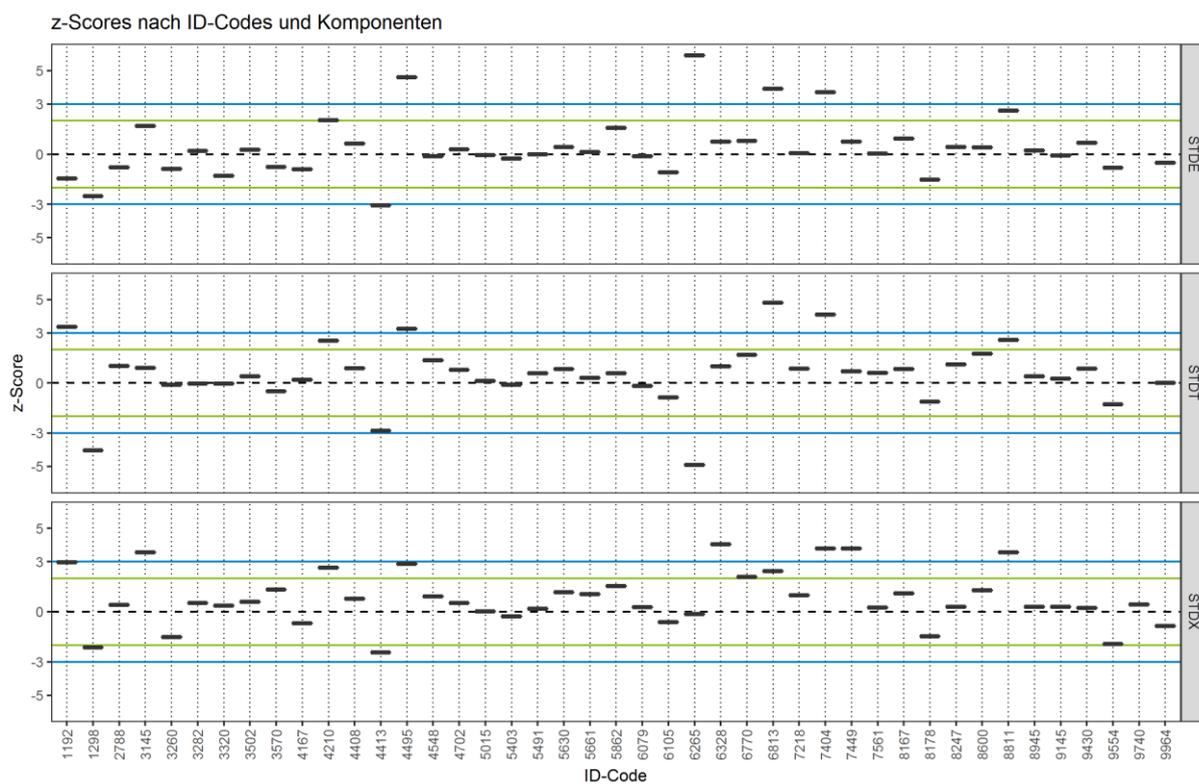
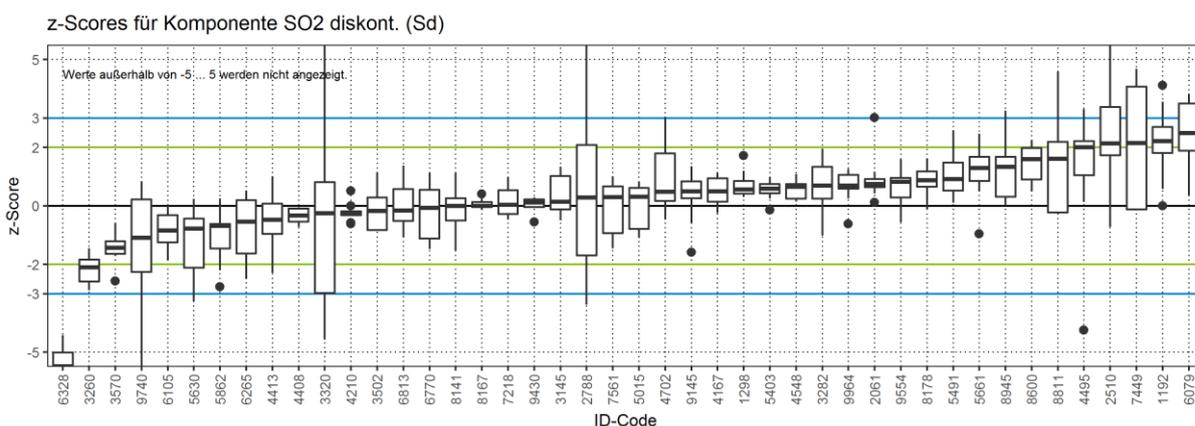
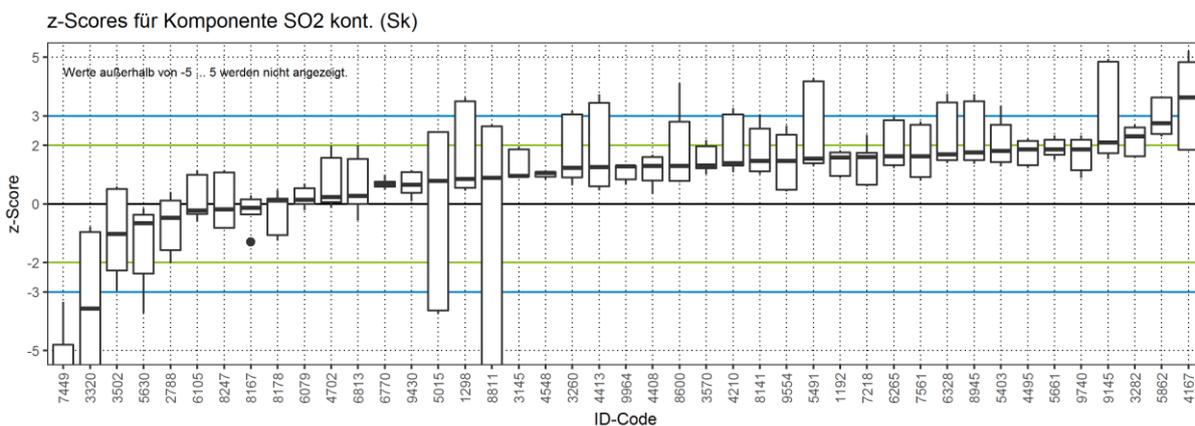
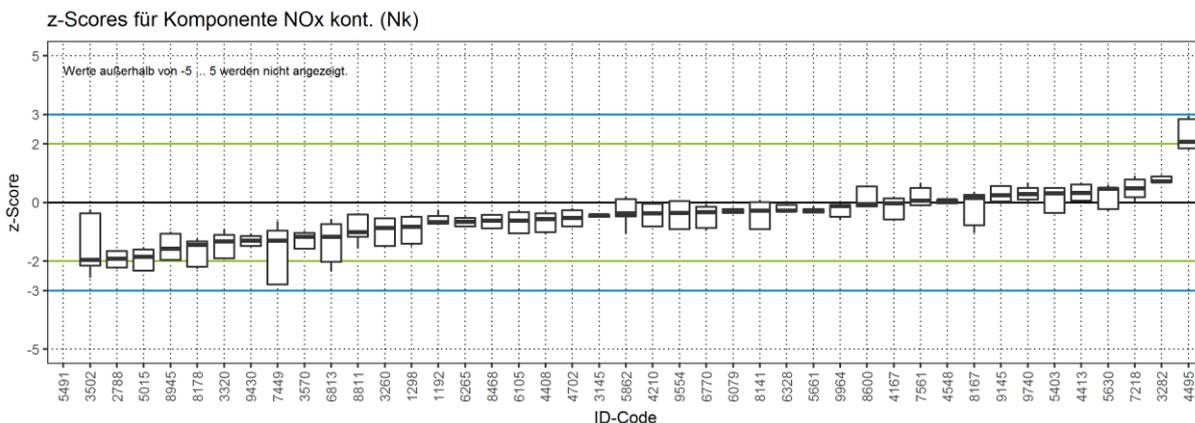
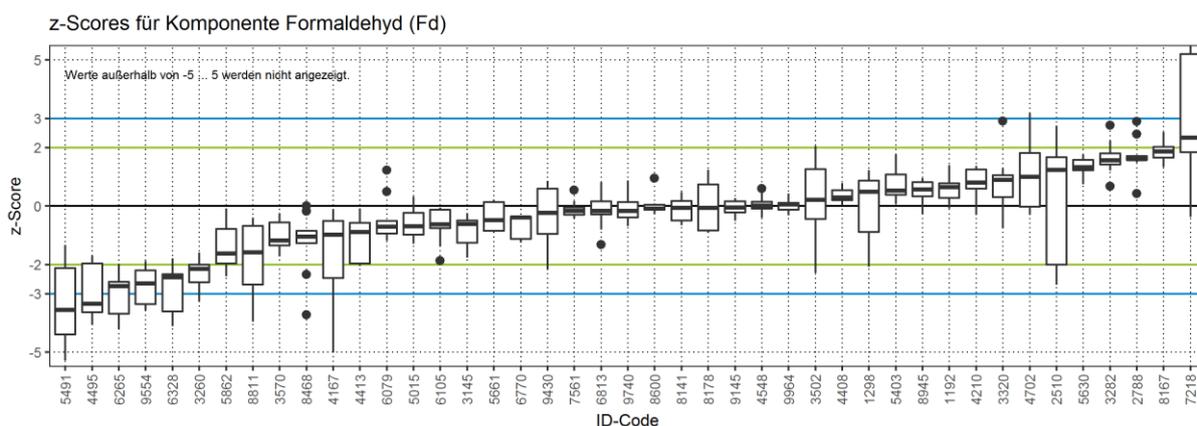
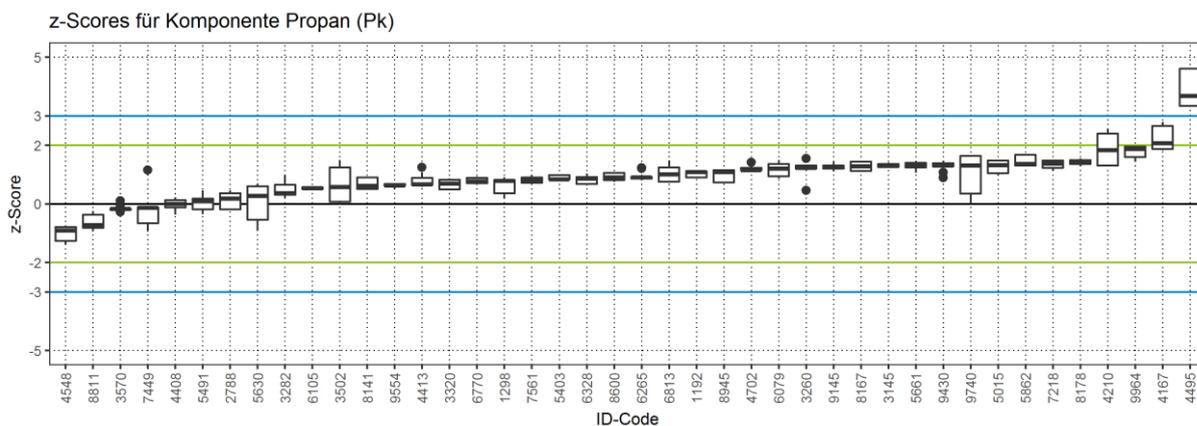
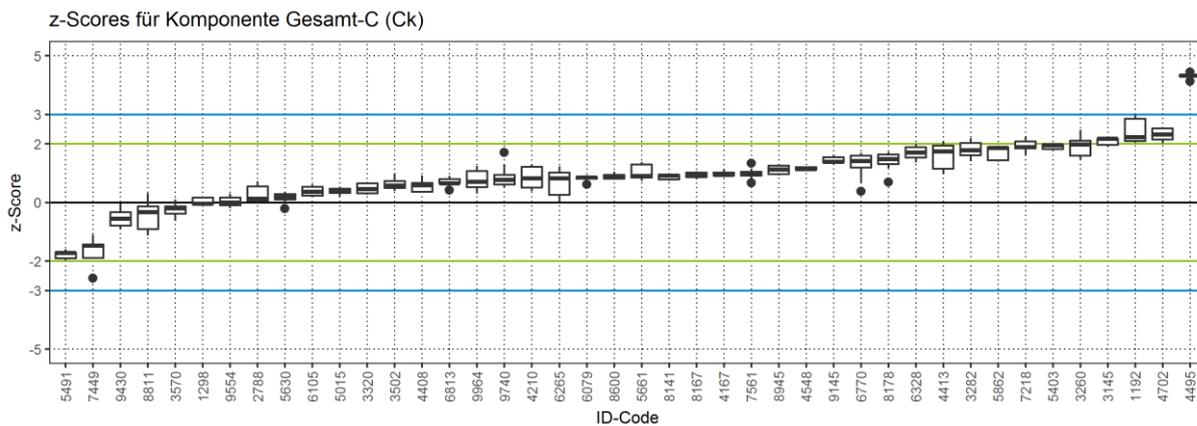
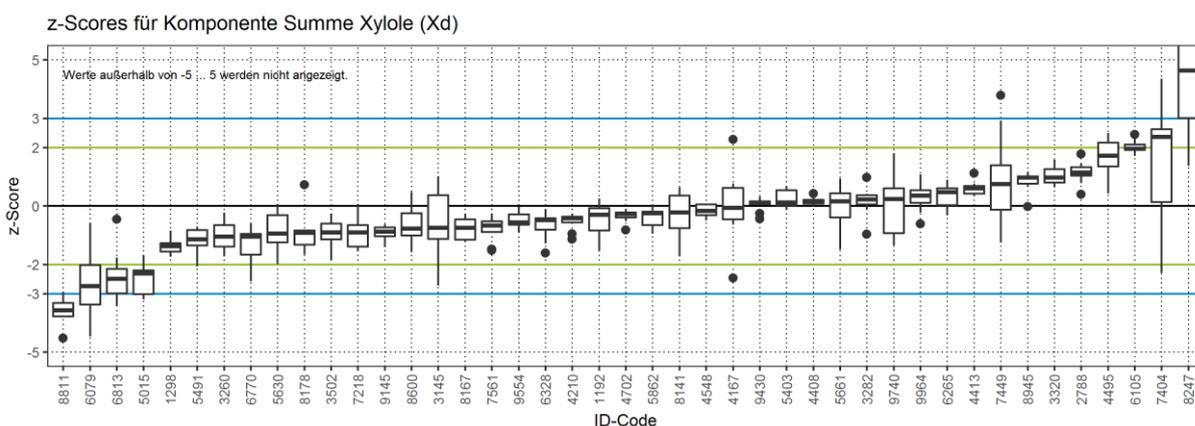
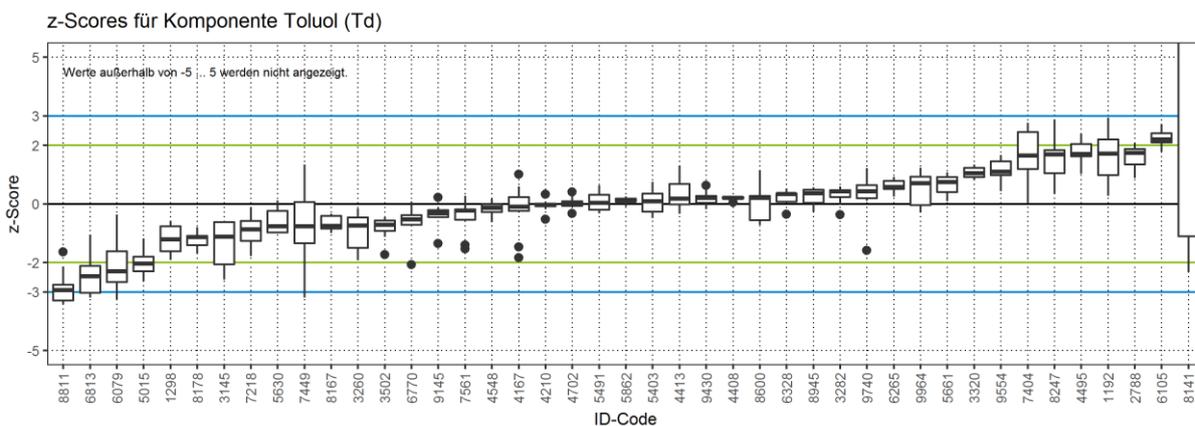
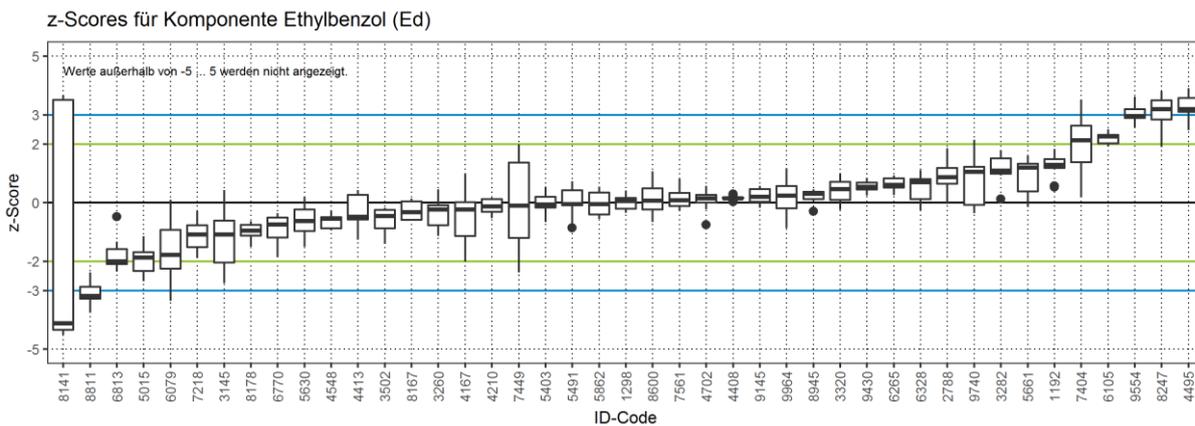


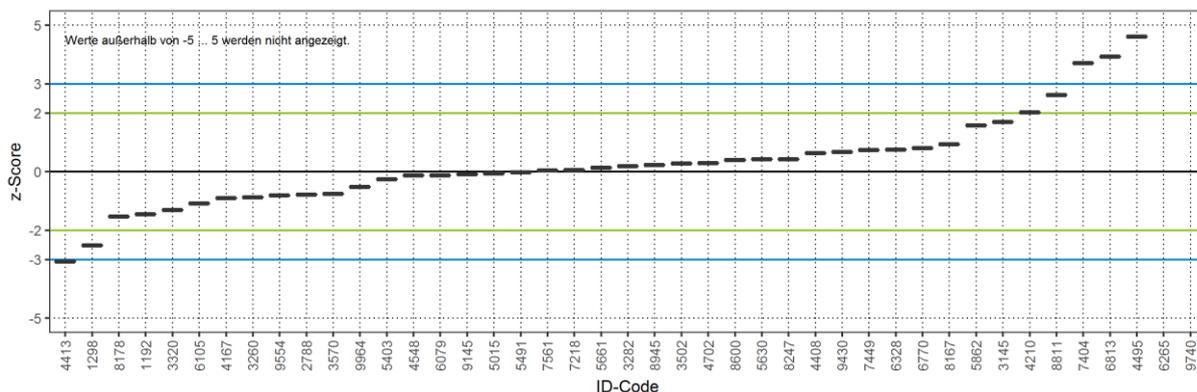
Abbildung 5: z-Scores für den Stoffbereich G, ETX-Standard (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)



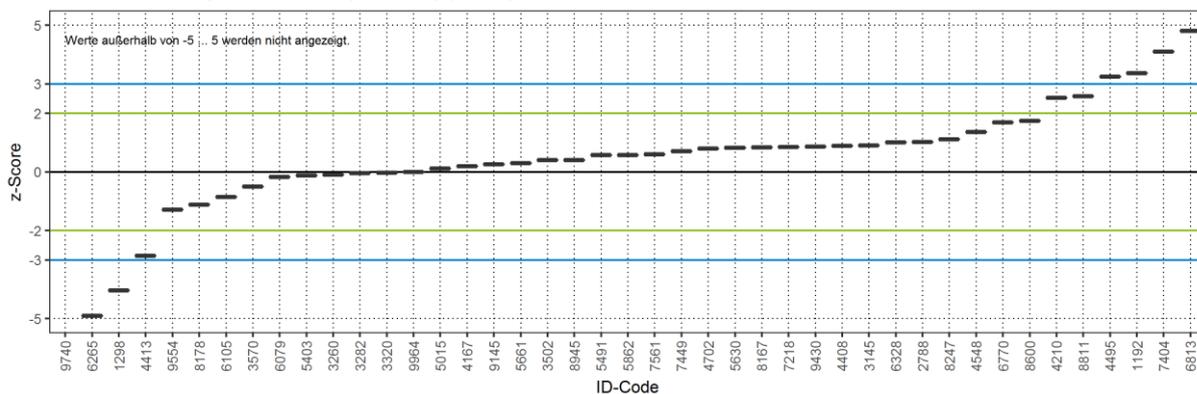




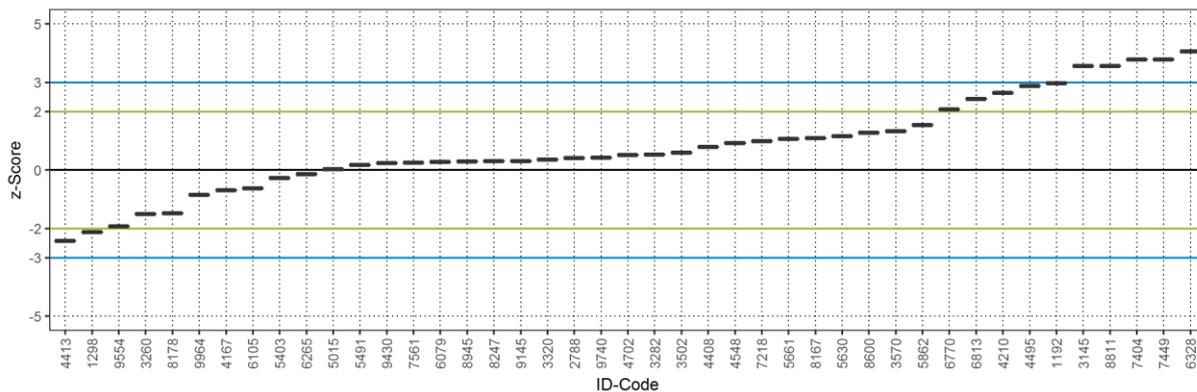
z-Scores für Komponente Ethylbenzol (Standard) (STDE)



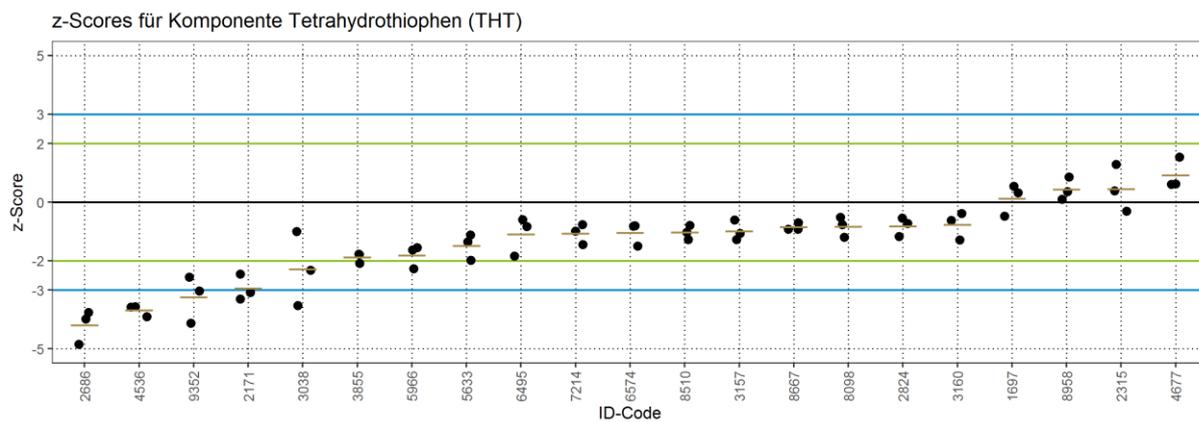
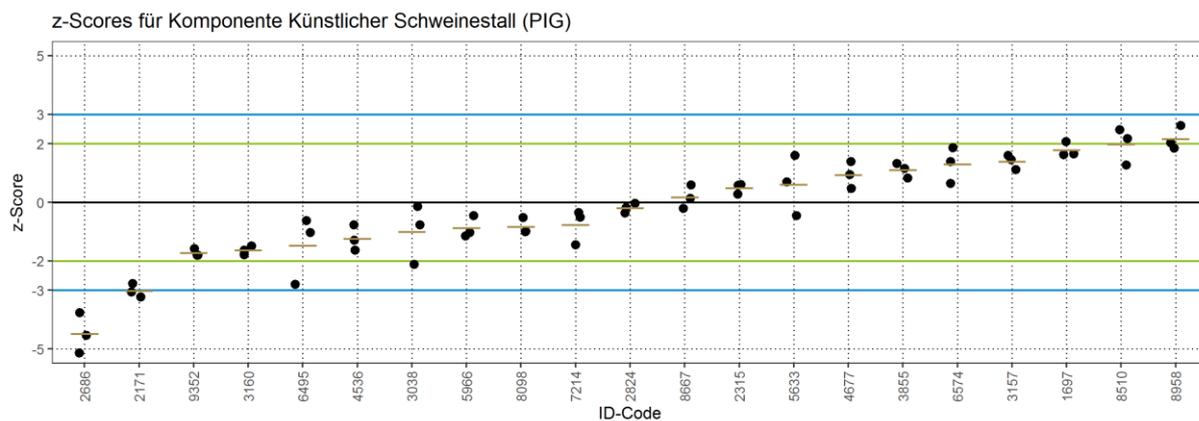
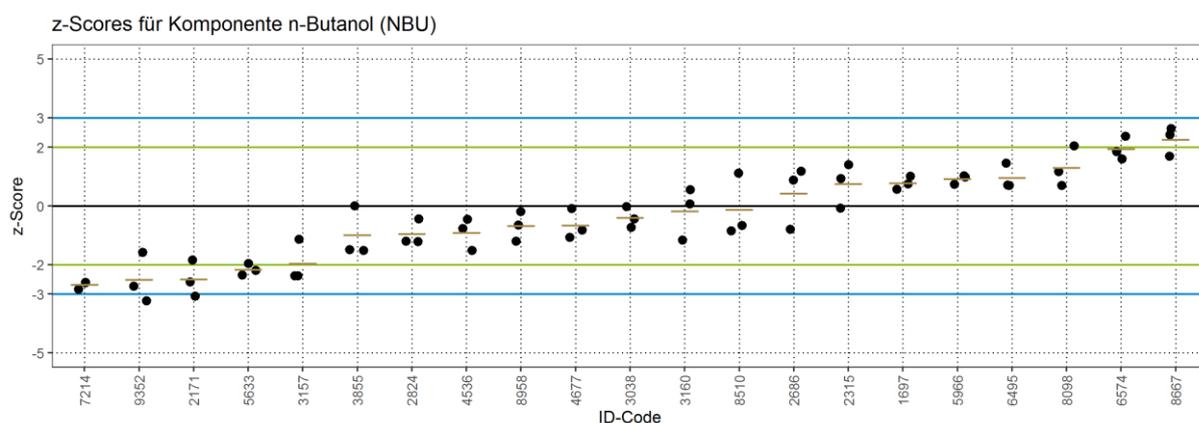
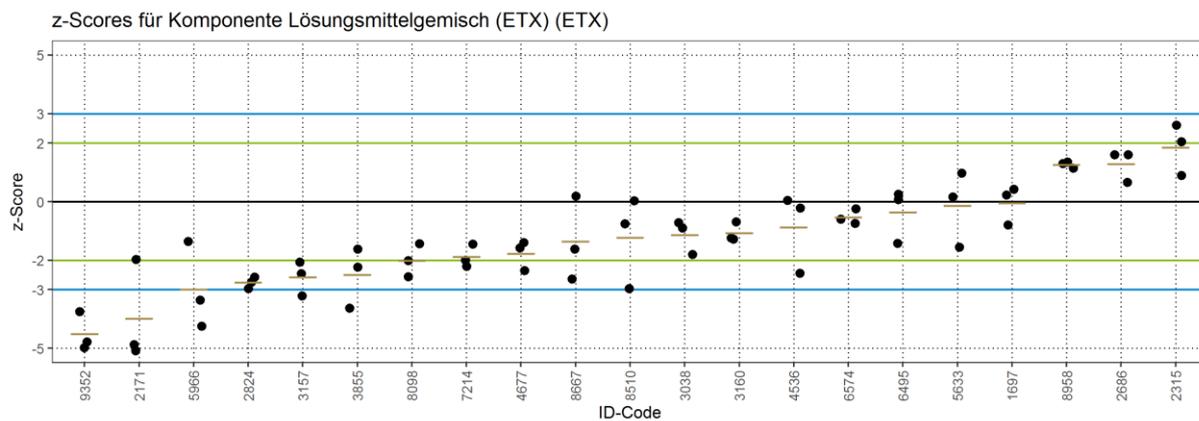
z-Scores für Komponente Toluol (Standard) (STDT)



z-Scores für Komponente Xylole (Standard) (STDY)



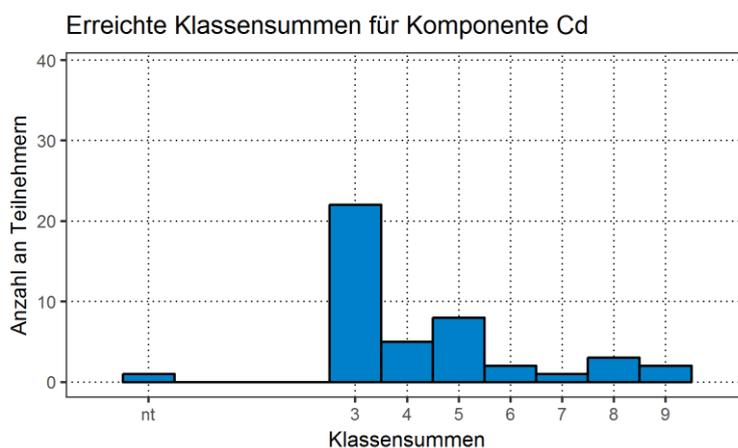
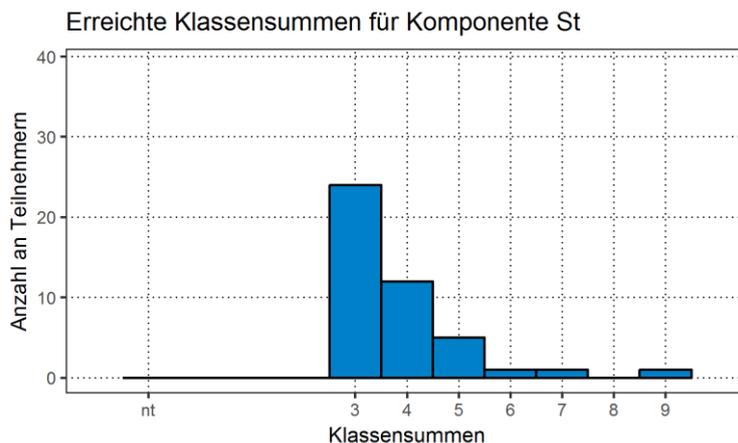
5.1.3 Stoffbereich O

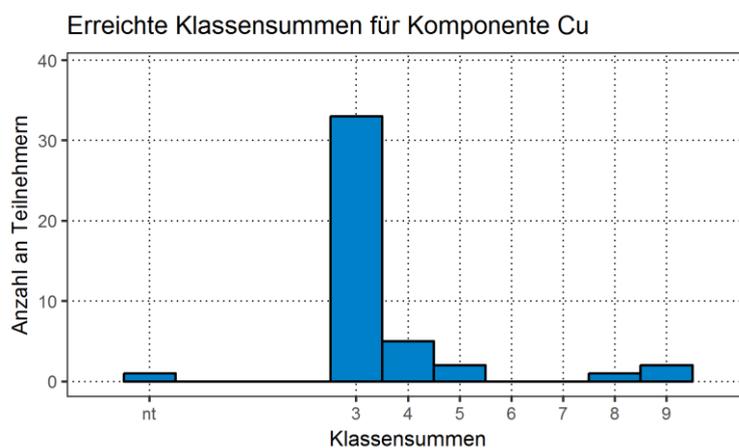
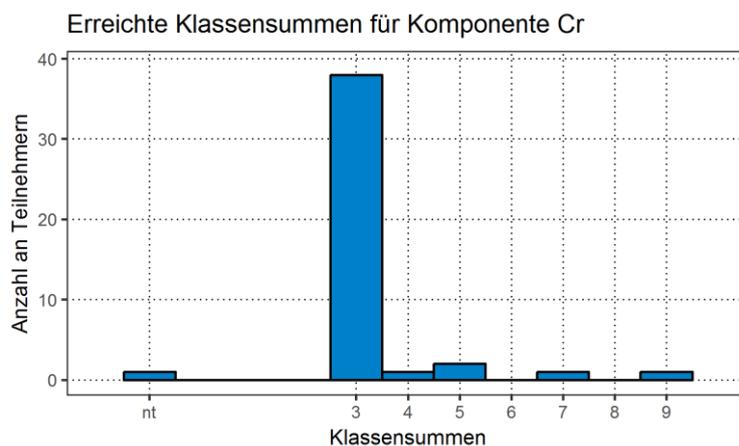
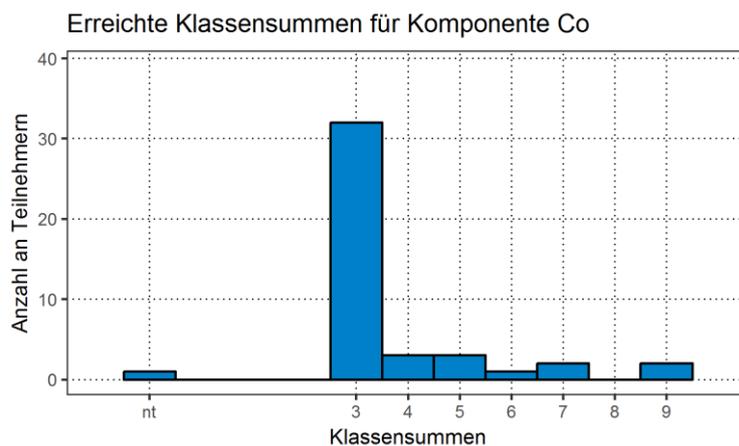


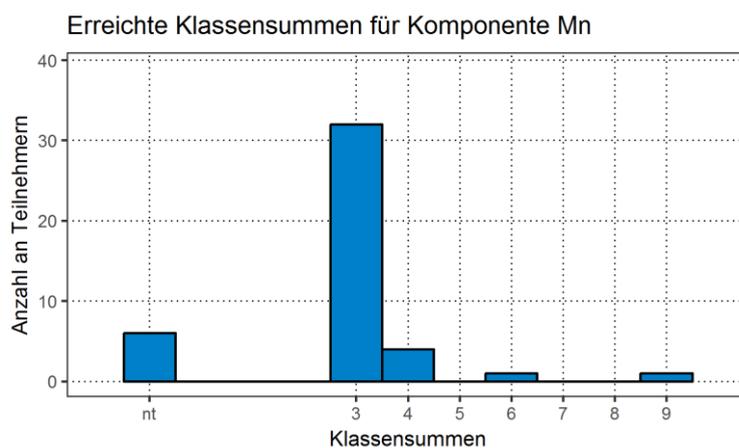
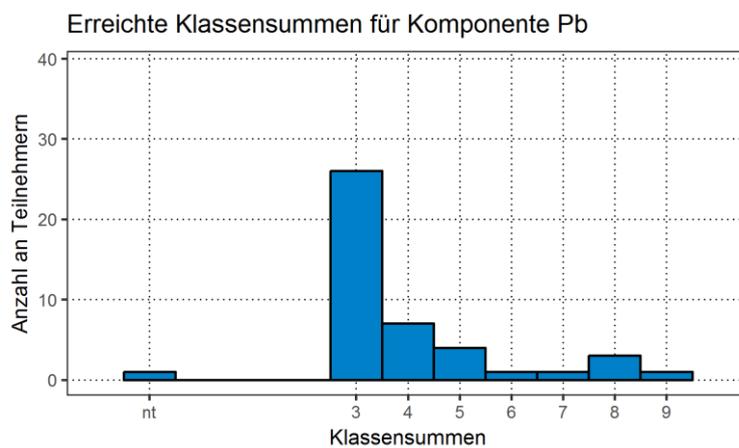
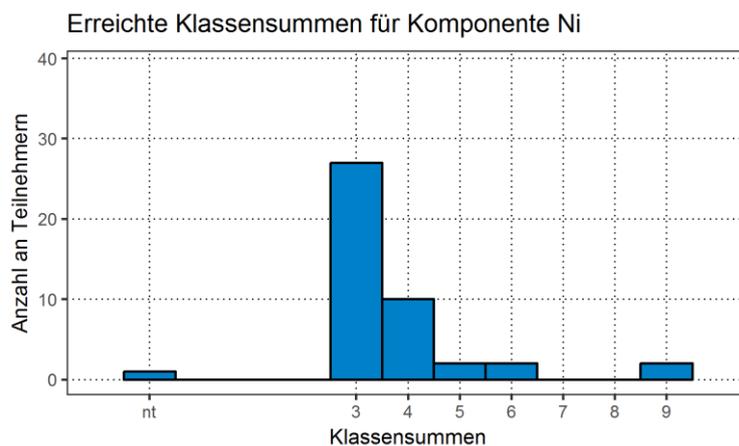
5.2 Erreichte Klassensummen

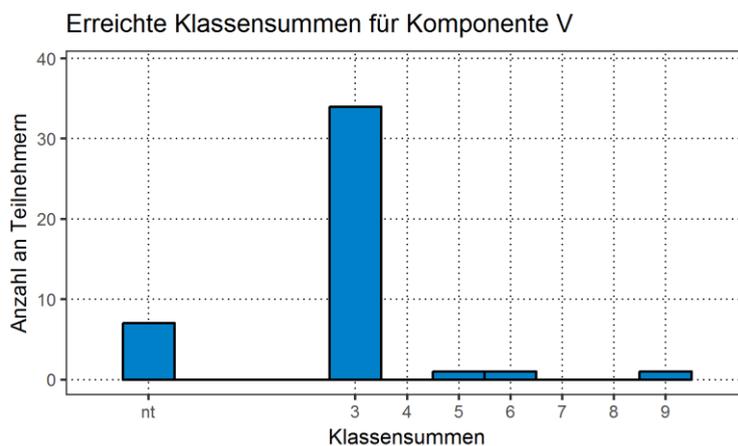
Im Folgenden werden die von den Teilnehmern erreichten Klassensummen in Form von Histogrammen dargestellt. Für die Interpretation der Klassensummen sei auf Abschnitt 4.3.2 verwiesen.

5.2.1 Stoffbereich P

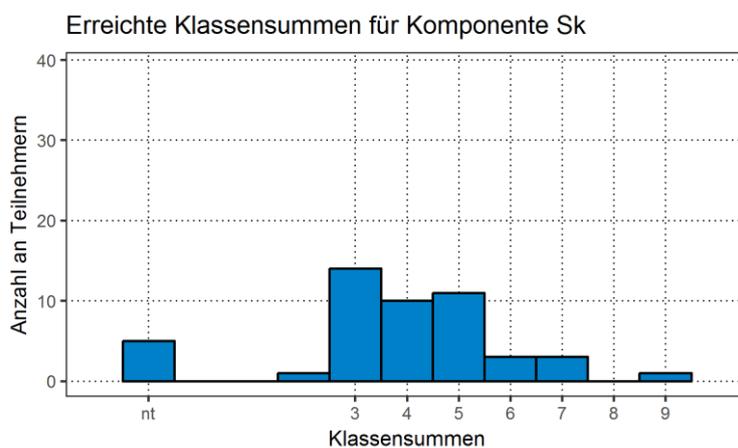
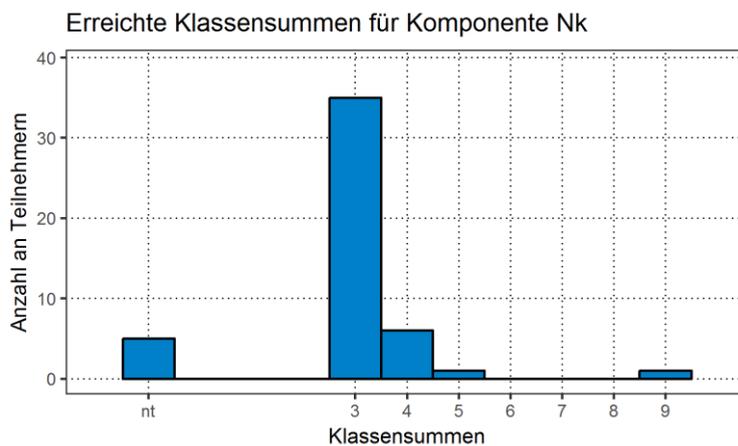


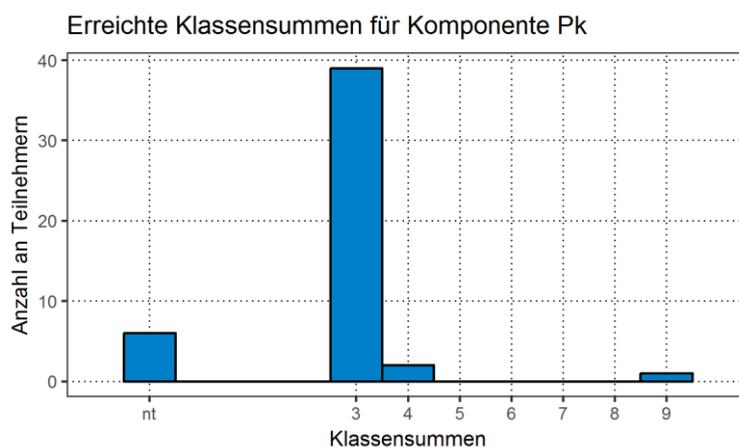
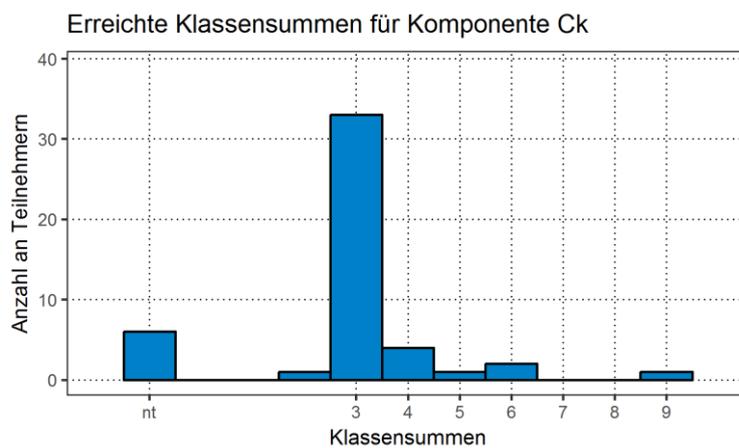
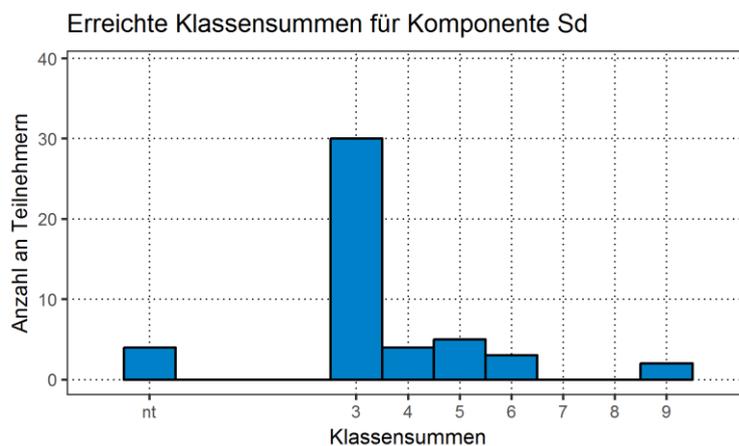


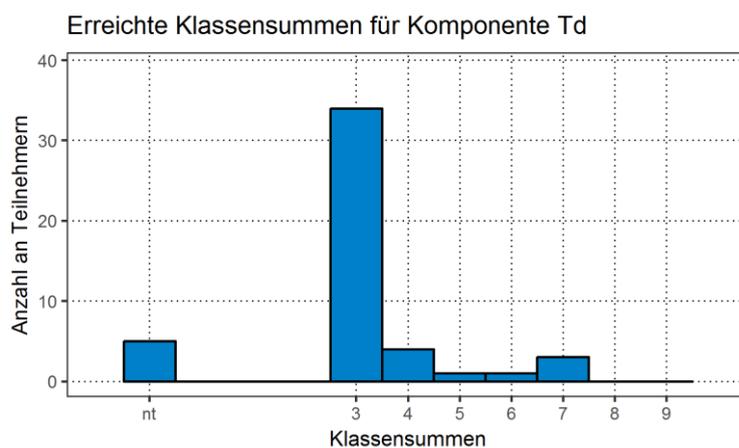
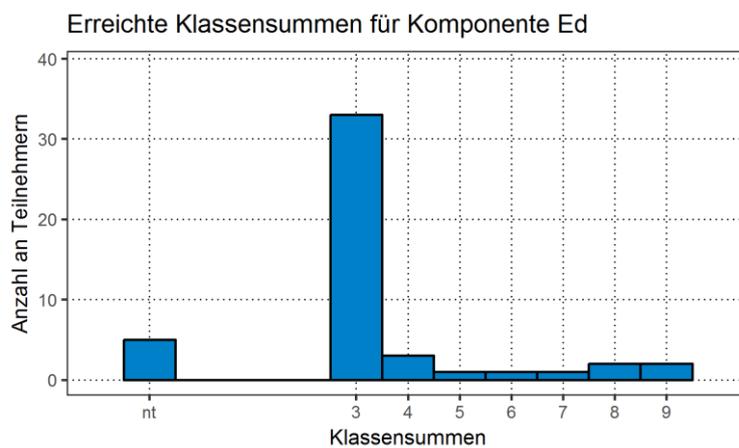
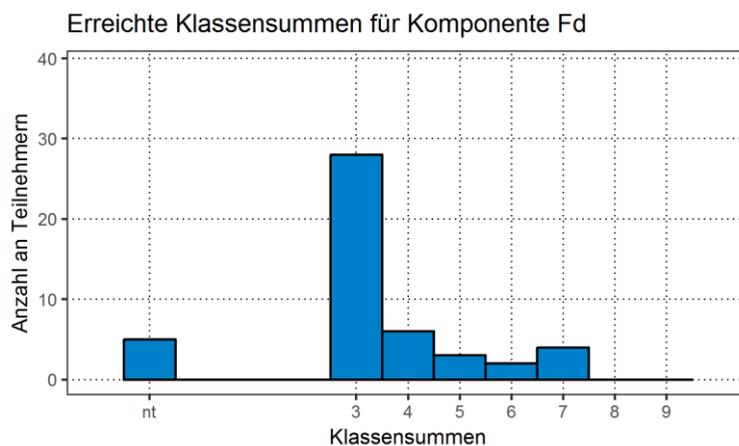


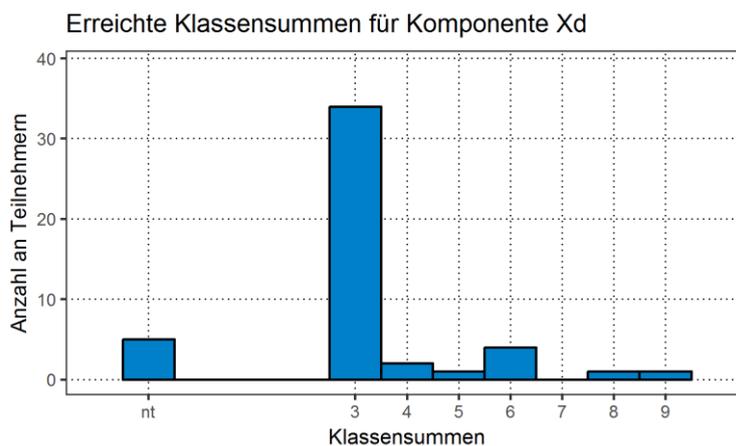


5.2.2 Stoffbereich G



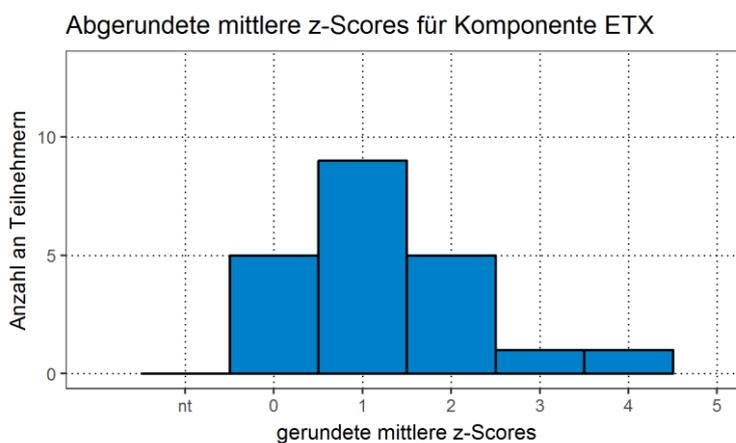


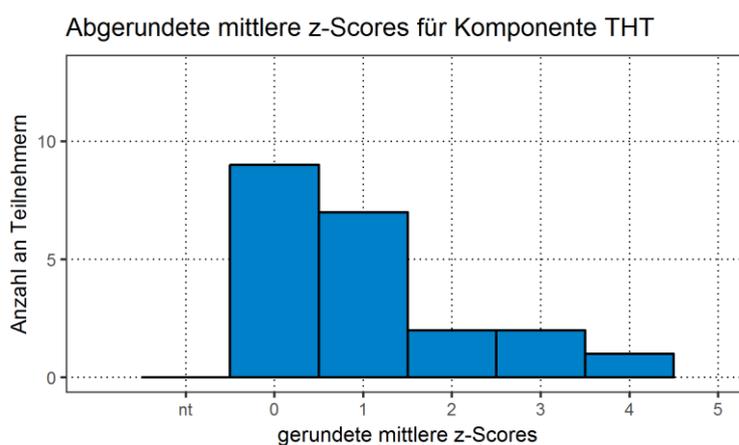
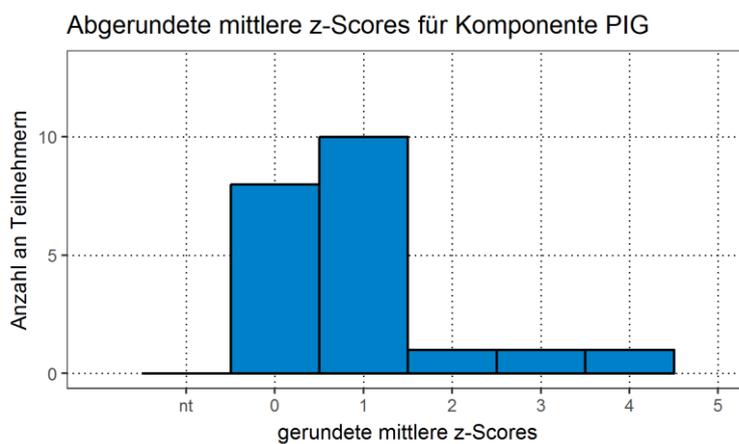
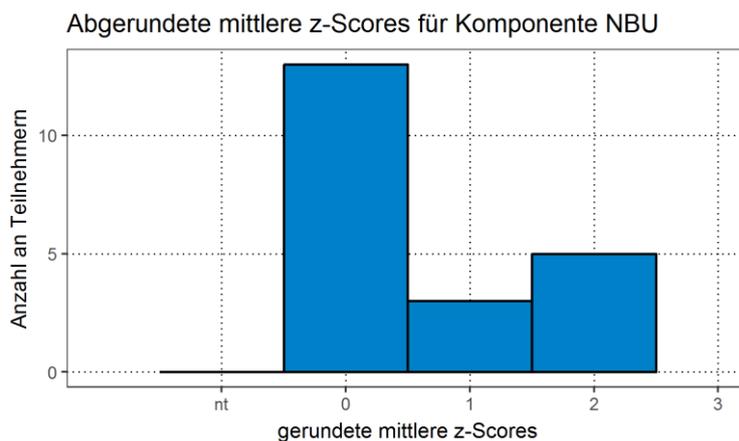




5.2.3 Stoffbereich O

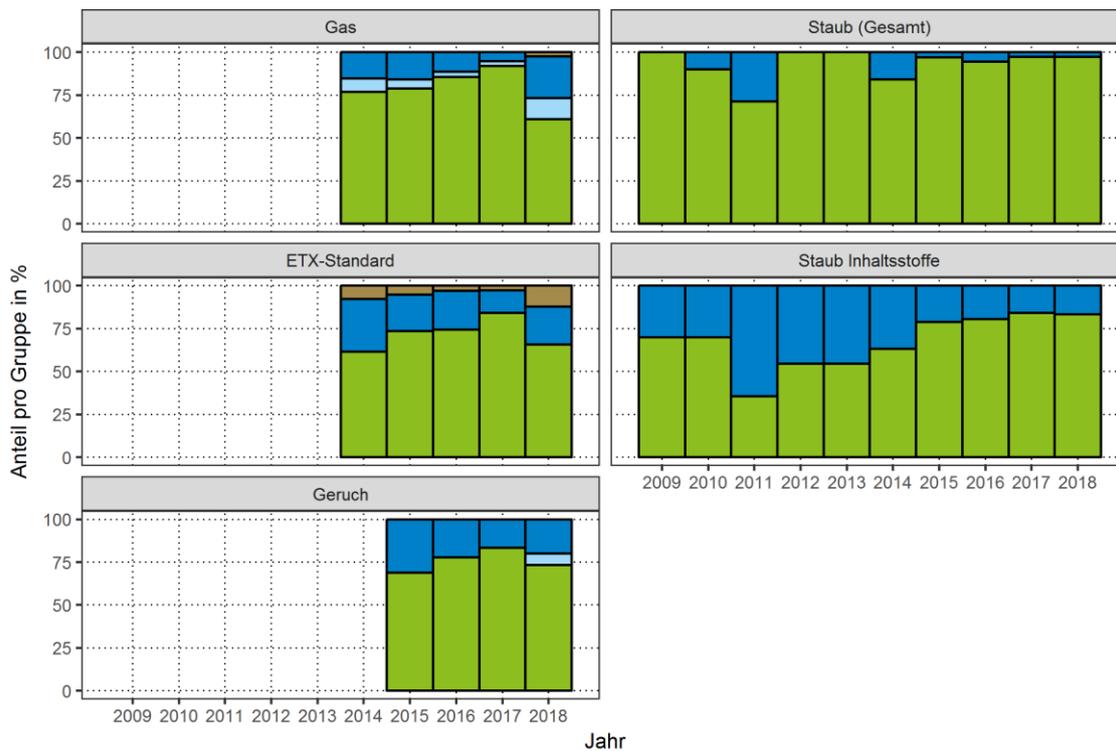
Bei Olfaktometrie-Ringversuchen wird nicht die Klassensumme berechnet, sondern der Mittelwert der Beträge der z-Scores. In den folgenden Histogrammen sind die gemittelten z-Scores auf die nächstkleinere ganze Zahl abgerundet.





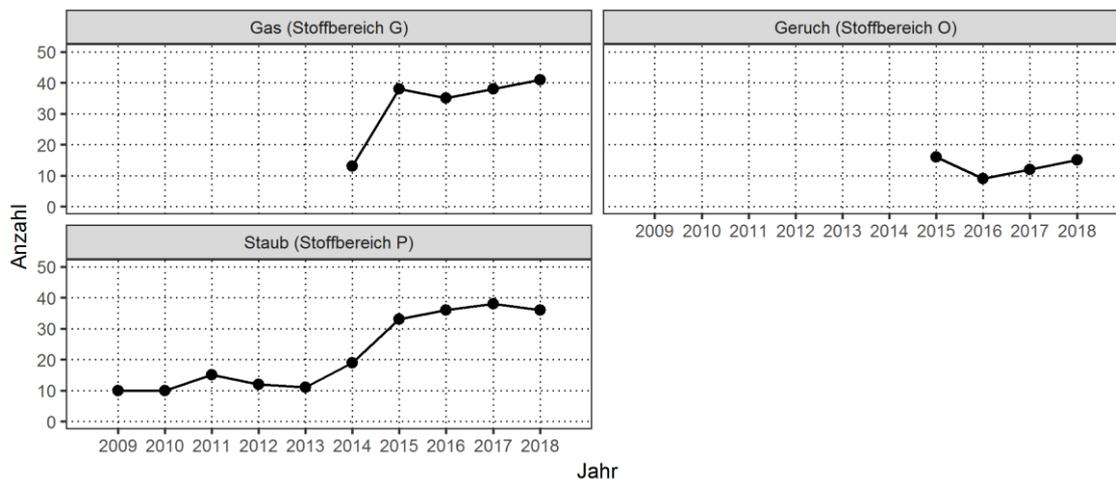
6. Interpretation

Ringversuchsergebnisse nach Jahren (§29b-Messstellen)

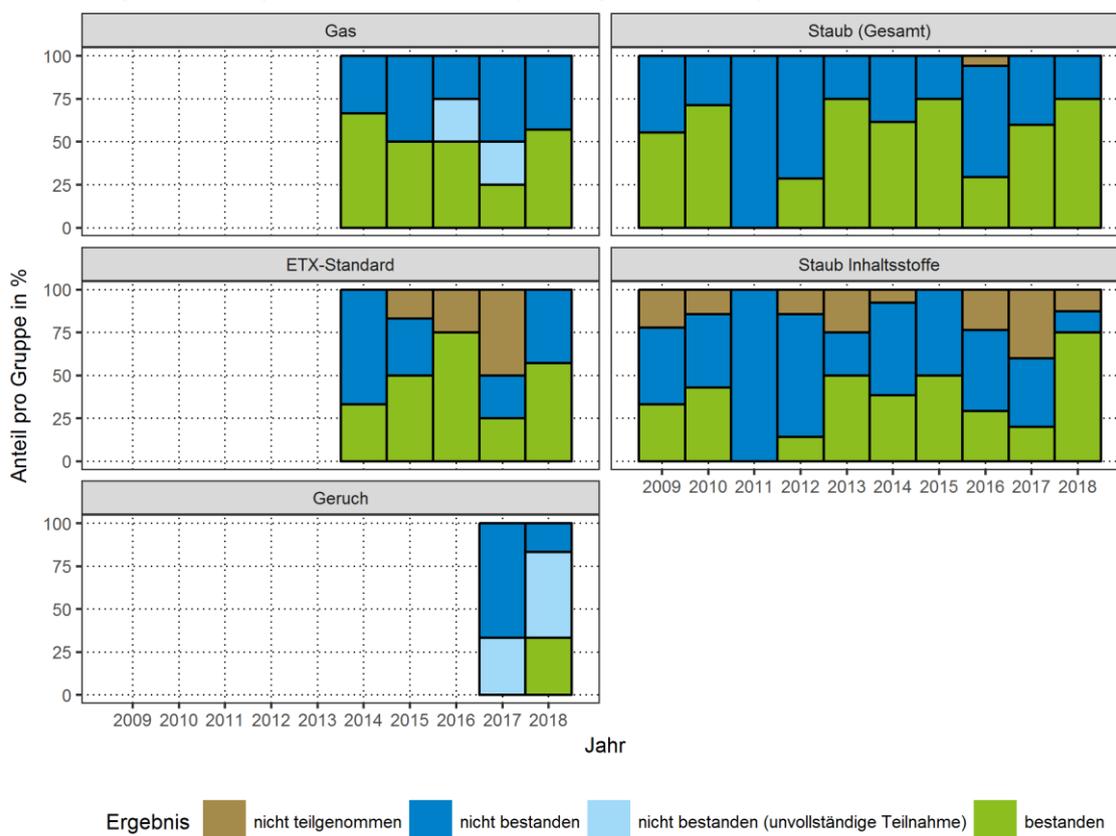


Ergebnis ■ nicht teilgenommen ■ nicht bestanden ■ nicht bestanden (unvollständige Teilnahme) ■ bestanden

Anzahl Teilnehmer nach Jahren (§29b-Messstellen)



Ringversuchsergebnisse nach Jahren (freiwillige Teilnehmer)



Anzahl Teilnehmer nach Jahren (freiwillige Teilnehmer)

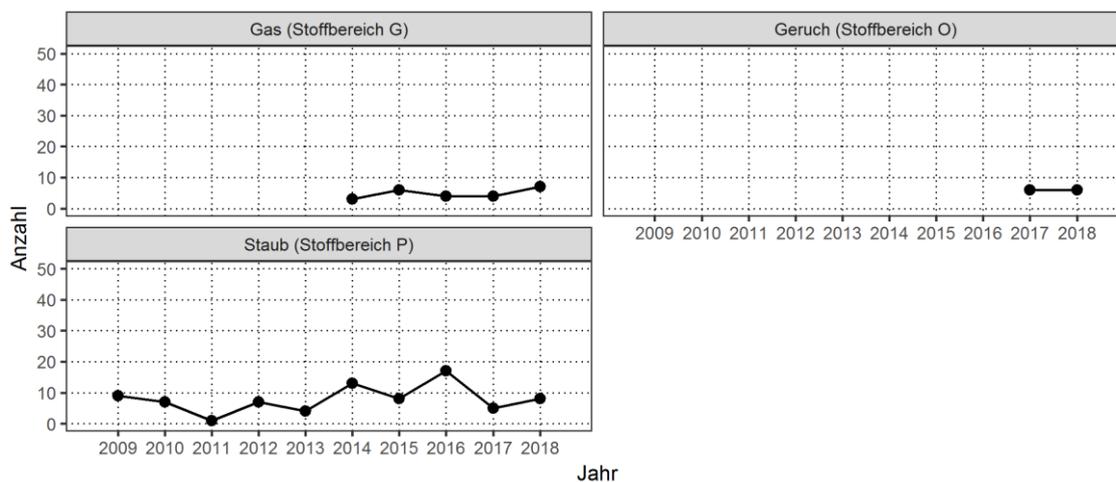


Tabelle 7: Tabellarische Übersicht seit 2015 (§29b-Messstellen)

Jahr	Gruppe	bestanden	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollst. TN)	nicht teilgenommen
2015	ETX-Standard	28	8	-	2
	Gas	30	6	2	-
	Geruch	11	5	-	-
	Staub (Gesamt)	32	1	-	-
	Staub Inhaltsstoffe	26	7	-	-
	Staub Inhaltsstoffe Nachanalyse	6	-	-	-

Jahr	Gruppe	bestanden	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollst. TN)	nicht teilgenommen
2016	ETX-Standard	26	8	-	1
	Gas	30	4	1	-
	Geruch	7	2	-	-
	Staub (Gesamt)	34	2	-	-
	Staub Inhaltsstoffe	29	7	-	-
	Staub Inhaltsstoffe Nachanalyse	4	1	-	-
2017	ETX-Standard	32	5	-	1
	Gas	35	2	1	-
	Geruch	10	2	-	-
	Staub (Gesamt)	37	1	-	-
	Staub Inhaltsstoffe	32	6	-	-
	Staub Inhaltsstoffe Nachanalyse	3	2	-	-
2018	ETX-Standard	27	9	-	5
	Gas	25	10	5	1*
	Geruch	11	3	1	-
	Staub (Gesamt)	35	1	-	-
	Staub Inhaltsstoffe	30	6	-	-
	Staub Inhaltsstoffe Nachanalyse	4	1	-	-

* Ein Teilnehmer ist zu seinem Ringversuchstermin unentschuldigt nicht erschienen.

Tabelle 8: Tabellarische Übersicht seit 2015 (freiwillige Teilnehmer)

Jahr	Gruppe	bestanden	nicht bestanden	nicht bestanden (unvollst. TN)	nicht teilgenommen
2015	ETX-Standard	3	2	-	1
	Gas	3	3	-	-
	Staub (Gesamt)	6	2	-	-
	Staub Inhaltsstoffe	4	4	-	-
	Staub Inhaltsstoffe Nachanalyse	2	-	-	-
2016	ETX-Standard	3	-	-	1
	Gas	2	1	1	-
	Staub (Gesamt)	5	11	-	1
	Staub Inhaltsstoffe	5	8	-	4
	Staub Inhaltsstoffe Nachanalyse	2	-	-	-
2017	ETX-Standard	1	1	-	2
	Gas	1	2	1	-
	Geruch	-	4	2	-
	Staub (Gesamt)	3	2	-	-
	Staub Inhaltsstoffe	1	2	-	2
	Staub Inhaltsstoffe Nachanalyse	-	1	-	-
2018	ETX-Standard	4	3	-	-
	Gas	4	3	-	-
	Geruch	2	1	3	-
	Staub (Gesamt)	6	2	-	-
	Staub Inhaltsstoffe	6	1	-	1

6.1 Beurteilung der Messergebnisse

§29b-Messstellen

Die Anzahl der Ringversuchsteilnahmen von §29b-Messstellen hat sich von 2013 bis 2015 ungefähr verdoppelt und liegt nun bei ca. 30-40 Teilnahmen für Gas und Staub pro Jahr. Die Summe aller Ergebnisse eines Jahres steht daher seit 2015 auf einer viel breiteren statistischen Basis als in den Jahren vor 2014. Misserfolge einzelner Teilnehmer verzerren dadurch das Gesamtbild eines Jahres nicht mehr so stark wie in der Vergangenheit.

Beim Staubringversuch befinden sich die Ergebnisse der 29b-Messstellen weiterhin auf einem hohen Niveau, 35 von 36 Teilnahmen (97%) waren beim Ringversuchsteil Staub (Gesamt) erfolgreich. Bei den Staubinhaltsstoffen hält der positive Trend der letzten Jahre an, diesen Ringversuchsteil haben 30 von 36 Teilnehmern (83%) regulär bestanden, weitere 4 Teilnehmer (11%) haben diesen Ringversuchsteil nur über die Nachanalyse bestanden. Insgesamt waren damit 94% der Teilnahmen am Staubringversuch erfolgreich.

Im Gasringversuch haben 25 von 40 (63%) der §29b-Messstellen bestanden. Die Bestehensquote ist damit 2018 niedriger ausgefallen als in den Jahren zuvor, was verschiedene Gründe hatte:

- 5 Teilnehmer (13%) haben lediglich deshalb nicht bestanden, weil sie (z. B. im Rahmen einer Wiederholungsteilnahme nach einem zuvor nicht bestandenen Ringversuch) nicht alle Pflichtkomponenten gemessen haben (unvollständige Teilnahme). Formal sind diese Teilnahmen als „nicht bestanden“ zu bewerten, allerdings haben diese 5 Teilnehmer bei ihren Teilnahmen alle von ihnen gemessenen Komponenten bestanden.
- 9 Teilnehmer (23%) waren im Rahmen einer vollständigen Teilnahme nicht erfolgreich, davon 3 (8%) allein wegen unzureichender Ergebnisse bei der kontinuierlichen SO₂-Messung, welche seit Herbst 2018 keine Pflichtkomponente mehr ist. Die übrigen nicht erfolgreichen Teilnehmer hatten vor allem Probleme mit der korrekten Ermittlung von Formaldehyd (4 Teilnehmer, 10%) und organischen Einzelstoffen (3 Teilnehmer, 8%), außerdem mit SO₂ diskontinuierlich nach SRM und NO_x (jeweils ein Teilnehmer, 3%). Von diesen 6 Teilnehmern haben 4 bei 2 Komponenten nicht bestanden, die übrigen 2 bei jeweils einer Komponente.
- Ein Teilnehmer (3%) hat im Rahmen einer (unvollständigen) Wiederholungsteilnahme eine Pflichtkomponente nicht bestanden. Da hier eine nicht erfolgreiche Teilnahme zu Beginn des Jahres wiederholt wurde, ist damit dieser Teilnehmer allein schon für 20% (2 von 10) aller nicht erfolgreichen Teilnahmen im Jahr 2018 verantwortlich.

Auffällig ist, dass fast alle Teilnehmer, die 2018 beim Gasringversuch nicht erfolgreich waren, bereits in der Vergangenheit Probleme mit der Qualität ihrer Messungen hatten. Die mittlere Bestehensquote der 9 bekanntgegebenen Standorte, die 2018 bei vollständiger Teilnahme nicht bestanden haben, lag in den letzten 10 Jahren bei lediglich 58%. Diese 9 Teilnehmer haben von insgesamt 36 Gasringversuchen nur 21 bestanden.

Die Analyse des ETX-Standards haben 27 von 36 (75%) der §29b-Messstellen erfolgreich absolviert, 5 Messstellen haben auf eine Teilnahme an dieser Analyse verzichtet.

Die Ergebnisse der §29b-Messstellen an den Geruchsringsversuchen sind mit den Ergebnissen des Vorjahres vergleichbar. Den Geruchsringsversuch haben 11 von 15 Teilnehmern (73%) bestanden. Die Ergebnisse eines Teilnehmers wurden aufgrund von Abweichungen vom in den Durchführungsbestimmungen vorgegebenen Verfahren als „nicht bestanden (unvollständige Teilnahme)“ eingestuft.

Freiwillige Teilnehmer

Die Anzahl der freiwilligen Ringversuchsteilnahmen schwankt von Jahr zu Jahr, in der Regel gibt es ca. 4 Teilnahmen am Gasringversuch und ca. 8 Teilnahmen am Staubringversuch. Im Jahr 2018 gab es beim Gasringversuch 7 Teilnehmer, beim Staubringversuch gab es 8 freiwillige Teilnahmen. Die gesammelten Ergebnisse eines Jahres sind aufgrund der meist geringen Anzahl der freiwilligen Teilnahmen in vielen Jahren extrem vom Abschneiden einzelner Labore geprägt, ein langjähriger Vergleich ist nur bedingt aufschlussreich.

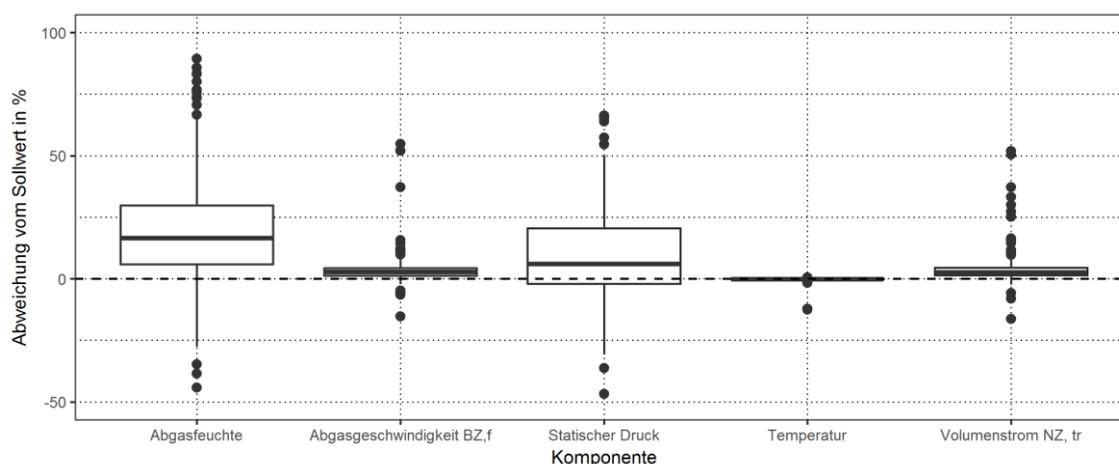
Beim Ringversuchsteil Staub (Gesamt) waren 2018 insgesamt 6 von 8 Teilnahmen (75%) erfolgreich. Bei den Staubinhaltsstoffen haben ebenfalls 6 der 8 Teilnehmer (75%) bestanden. Insgesamt waren 6 (75%) der 8 freiwilligen Teilnahmen am Staubringversuch erfolgreich. Bei diesen Zahlen ist zu beachten, dass ein Teilnehmer nur Staub-Massenkonzentrationen bestimmt und auf eine Ermittlung von Schwermetallkonzentrationen verzichtet hat.

Beim Gasringversuch haben 4 von 7 (57%) der freiwilligen Teilnehmer den Ringversuch bestanden. Die Analyse des ETX-Standards haben 4 von 7 (57%) der freiwilligen Teilnehmer erfolgreich absolviert.

Bei den Geruchsringversuchen haben 2 von 6 freiwilligen Teilnehmern (33%) bestanden. 3 Teilnehmer (50%) haben 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.

6.2 Randbedingungen

Bei jedem Ringversuch sind von den Teilnehmern auch die strömungstechnischen Randbedingungen zu ermitteln und anzugeben. Die Messwerte der Teilnehmer werden in den Ergebnismitteilungen mit den vom HLNUG ermittelten Sollwerten verglichen. Datenbasis für die Auswertung in diesem Bericht sind die eingegangenen Messwerte von Ringversuchsteilnehmern aus dem Jahr 2018. Auf eine Auflistung der Einzelwerte wird an dieser Stelle verzichtet, im Folgenden sind lediglich die Ergebnisse aller Teilnehmer gesammelt dargestellt. Die Darstellung beschränkt sich auf relative Abweichungen der Teilnehmermesswerte vom jeweiligen Sollwert, um verschiedene Ringversuche mit unterschiedlichen Strömungsbedingungen vergleichen zu können. Offensichtlich falsche Messwerte, die um Größenordnungen vom Sollwert abweichen, wurden aus dem Wertekollektiv entfernt. Davon betroffen sind vor allem die Angaben zum statischen Druck. Hier wurden oft Zahlenwerte angegeben, die z. B. in der Einheit Pa oder als Gesamtdruck einigermaßen korrekt wären, nicht jedoch als statischer Druck in der Einheit hPa.



Wie zu erkennen ist, liegen die Messwerte für die Abgastemperatur stets sehr nahe am Sollwert. Die Messwerte für die Strömungsgeschwindigkeit und den Volumenstrom zeigen im Vergleich dazu eine deutlich höhere Streuung und viele Einzelwerte, die weit vom Sollwert entfernt liegen. Noch extremer streuen die Messwerte der Teilnehmer zum Statischen Druck und der Wasserdampfkonzentration.

Eine Auswertung der Absolutwerte der relativen Abweichungen (positive und negative Abweichungen heben sich hier nicht gegenseitig auf) ist in der folgenden Tabelle zu finden. Dort sind der Median der Absolutwerte der jeweiligen Abweichungen sowie das 25. und das 75. Perzentil aufgelistet. Diese Angaben sind wie folgt zu verstehen: Nur ein Viertel der Messwerte zeigte eine Abweichung, die unter dem 25. Perzentil liegt. Jeweils die Hälfte der Messwerte zeigte eine Abweichung unter bzw. über dem Median. Ein Viertel der Messwerte hatte eine Abweichung vom Sollwert (positiv oder negativ), die größer ist als das 75. Perzentil.

Tabelle 9: Absolutwerte der relativen Abweichungen vom Sollwert für Randbedingungen

	Absolute Temperatur [%]	Wasserdampf [%]	Statischer Druck [%]	Strömungsgeschw. [%]	Volumenstrom [%]
75. Perzentil	0,22	33,50	23,08	4,62	4,78
Median	0,13	18,57	11,11	2,91	2,71
25. Perzentil	0,07	10,97	4,17	1,44	1,42
Anzahl der Werte	241	219	219	236	235

Die Abweichungen von den zugewiesenen Werten lagen damit für die meisten Komponenten relativ nahe an den Ergebnissen aus den Jahren 2016 und 2017. Lediglich bei der Wasserdampfkonzentration waren die Abweichungen 2018 signifikant höher als in den Jahren zuvor, hier lagen die Mediane 2016 und 2017 bei rund 9% und 12% relativer Abweichung.

6.3 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 2018.

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

Für die meisten Auswertungen ist eine gewisse Verstetigung der Werte zu beobachten. Dies ist letztlich darauf zurückzuführen, dass sich die Datengrundlage für den Jahresbericht 2018 nur etwa um ein Drittel 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.

6.3.1 Messunsicherheiten

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

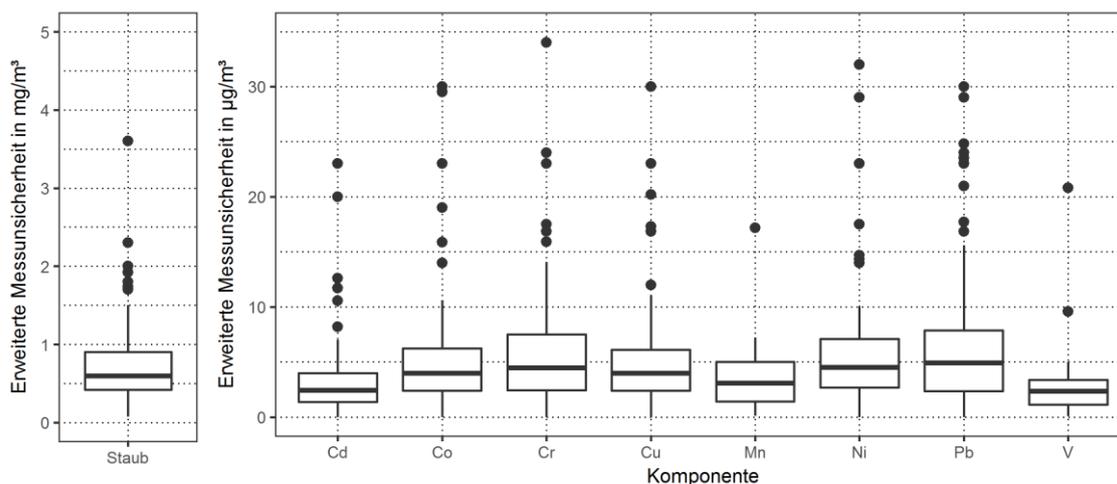


Tabelle 10: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Staubringversuch

	Staub [mg/m ³]	Cd [µg/m ³]	Co [µg/m ³]	Cr [µg/m ³]	Cu [µg/m ³]	Mn [µg/m ³]	Ni [µg/m ³]	Pb [µg/m ³]	V [µg/m ³]
75. Perzentil	0,90	4,00	6,24	7,50	6,11	5,00	7,09	7,86	3,39
Median	0,60	2,46	4,00	4,50	4,00	3,10	4,53	4,95	2,35
25. Perzentil	0,42	1,37	2,40	2,47	2,40	1,42	2,68	2,35	1,15
Anzahl der Werte	89	74	75	75	75	39	75	74	36

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.

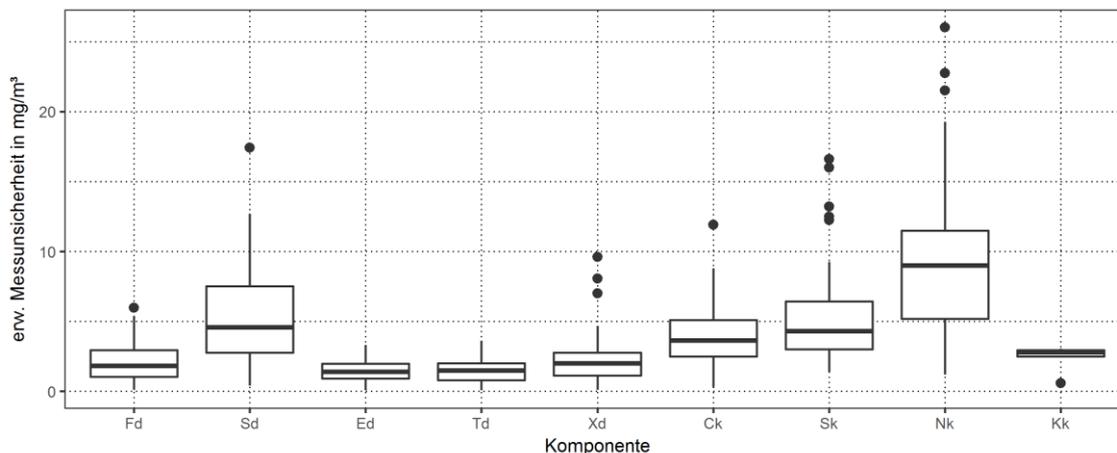


Tabelle 11: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Gasringversuch

	Formaldehyd [mg/m ³]	SO ₂ (disk.) [mg/m ³]	Ethylbenzol [mg/m ³]	Toluol [mg/m ³]	Summe Xylole [mg/m ³]	Gesamt-C [mg/m ³]	SO ₂ (kont.) [mg/m ³]	NO _x ang. als NO ₂ [mg/m ³]	CO [mg/m ³]
75. Perzentil	2,95	7,51	1,98	2,00	2,75	5,10	6,42	11,48	2,95
Median	1,83	4,58	1,40	1,48	2,00	3,65	4,31	9,00	2,80
25. Perzentil	1,04	2,75	0,91	0,80	1,13	2,50	3,00	5,20	2,48
Anzahl der Werte	76	81	77	77	77	77	72	81	7

6.3.2 Sonde und Spülen bei Staubmessungen

Bei der Korrelation von Sondensystemen und Spülprozeduren teilt sich das Teilnehmerfeld der Staubringversuche im Wesentlichen in 7 Gruppen auf, je nachdem ob eine in-stack-Sonde mit oder ohne Schwanenhals verwendet wird, ob diese Sonde nach jeder Probenahme gespült wird oder nicht und ob die Spülrückstände im Messergebnis berücksichtigt werden oder nicht. Die Darstellung wurde hier beschränkt auf die Kombinationen, die von mindestens vier Teilnehmern angegeben wurden.

Die Datenbasis erstreckt sich in diesem Bericht über die Ergebnisse aus den Jahren 2016 bis 2018 und ist damit erneut größer als im Jahr zuvor. Die Auswertungen zu 4 der 7 Kombinationen aus Sondensystem und Spülprozedur basieren auf einer relativ soliden Datenmenge (13 bis 35 Ergebnisse), die Aussagen zu den übrigen 3 Kombinationen sind noch immer vergleichsweise unsicher (Datenbasis: 4 bis 10 Ergebnisse).

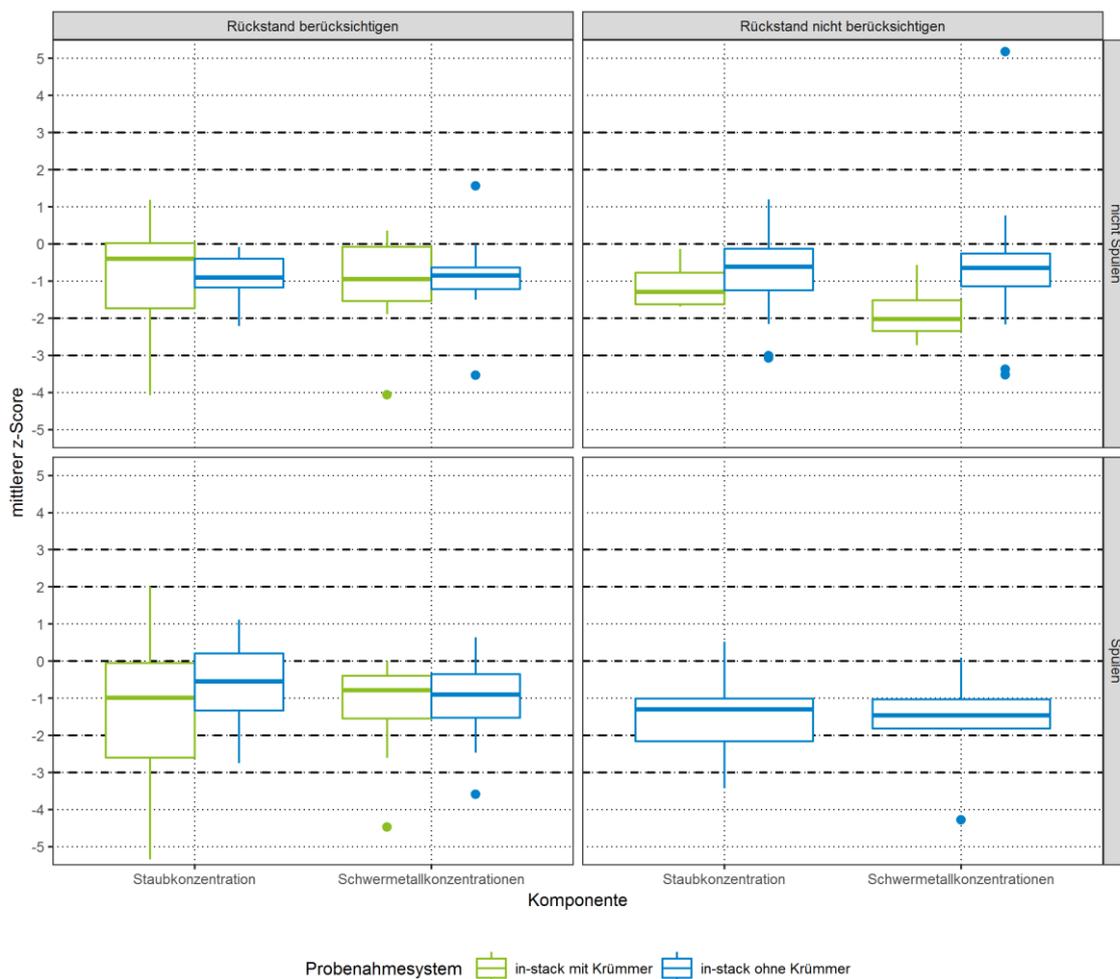


Tabelle 12: Korrelation von Staub-Messergebnissen mit Sondensystemen und Spülprozedur

Kombi- nation	Sondensystem und Spülprozedur	Median mittl. z-Scores Gesamtstaub- Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer	Median mittl. z-Scores Schwermetall- Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer
1	In-stack-Sonde ohne Krümmer, Spülen nach jeder Probenahme, Spülrückstände berücksichtigt	-0,55	26	-0,90	24
2	In-stack-Sonde ohne Krümmer, Spülen nach jeder Probenahme, Spülrückstände nicht berücksichtigt	-1,30	6	-1,46	6
3	In-stack-Sonde ohne Krümmer, kein Spülen nach jeder Probenahme, Spülrückstände berücksichtigt	-0,91	13	-0,85	14
4	In-stack-Sonde ohne Krümmer, kein Spülen nach jeder Probenahme, Spülrückstände nicht berücksichtigt	-0,61	35	-0,65	34
5	In-stack-Sonde mit Schwanenhals, Spülen nach jeder Probenahme, Spülrückstände berücksichtigt	-0,99	21	-0,78	17

Kombi- nation	Sondensystem und Spülprozedur	Median mittl. z-Scores Gesamtstaub- Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer	Median mittl. z-Scores Schwermetall- Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer
6	In-stack-Sonde mit Schwanenhals, kein Spülen nach jeder Probenahme, Spülrückstände berücksichtigt	-0,40	10	-0,95	10
7	In-stack-Sonde mit Schwanenhals, kein Spülen nach jeder Probenahme, Spülrückstände nicht berücksichtigt	-1,30	4	-2,02	4

Die Angaben der Teilnehmer deuten darauf hin, dass die besten Ergebnisse Staubringversuch bei Verwendung einer der zwei von den Teilnehmern am häufigsten eingesetzten Kombinationen erhalten werden. Die von den meisten Teilnehmern verwendete Kombination von System und Spülprozedur, die Verwendung einer in-stack-Sonde ohne Krümmer und Verzicht auf Spülen (Kombination 4, in der Abbildung oben rechts, blau), führt offenbar insgesamt zu sehr guten Ergebnissen (mittlere Abweichung Gesamtstaub: -4,3%) bei vergleichsweise geringer Streuung. Diese Methode zeigt die geringste mittlere Abweichung bei den Schwermetallmessungen.

Vergleichbare Ergebnisse bei etwas höherer Streuung werden offenbar erzielt bei Verwendung einer in-stack-Sonde ohne Krümmer, wenn die Sonde nach jeder Probenahme gespült wird und die so gewonnenen Spülrückstände im Messergebnis berücksichtigt werden (Kombination 1, in der Abbildung unten links, blau). Auch diese Prozedur liefert für Gesamtstaub im Mittel Ergebnisse, die relativ nahe am Sollwert liegen (mittlere Abweichung Gesamtstaub: -3,9%). Die Abweichungen bei den Schwermetallen fallen hier etwas größer aus.

Deutlich schlechtere Ergebnisse werden erzielt, wenn eine Sonde mit Schwanenhals eingesetzt wird, diese nach jeder Probenahme gespült wird und die Spülrückstände im Messergebnis berücksichtigt werden (Kombination 5, in der Abbildung unten links, grün). Die Messwerte für die Gesamtstaubkonzentrationen zeigen hier allerdings eine sehr hohe Streuung (mittlere Abweichung Gesamtstaub: -6,9%).

Damit vergleichbare Ergebnisse (mittlere Abweichung Gesamtstaub: -6,4%) erzielten Teilnehmer mit in-stack-Sonden ohne Krümmer, die zwar angaben, nicht nach jeder Messung zu spülen, aber dennoch Spülrückstände im Ergebnis berücksichtigt haben (Kombination 3, in der Abbildung oben links, blau). Damit dürfte gemeint sein, dass z. B. nur arbeitstäglich gespült wurde und die Rückstände anteilig auf die bis dahin durchgeführten Probenahmen verteilt wurden.

Die bereits beschriebenen vier Kombinationen wurden alle von jeweils 13 bis 35 Teilnehmern angegeben. Die folgenden drei Kombinationen wurden nur von jeweils 4 bis 10 Teilnehmern genannt, die Aussagen dazu sind entsprechend weniger belastbar.

Wenig überraschend ist, dass deutliche Minderbefunde (mittlere Abweichung Gesamtstaub: -9,1%) erzielt werden, wenn mit einer in-stack-Sonde ohne Krümmer gearbeitet wird und zwar nach jeder Messung gespült wird, die Rückstände aber nicht im Ergebnis berücksichtigt werden (Kombination 2, in der Abbildung unten rechts, blau).

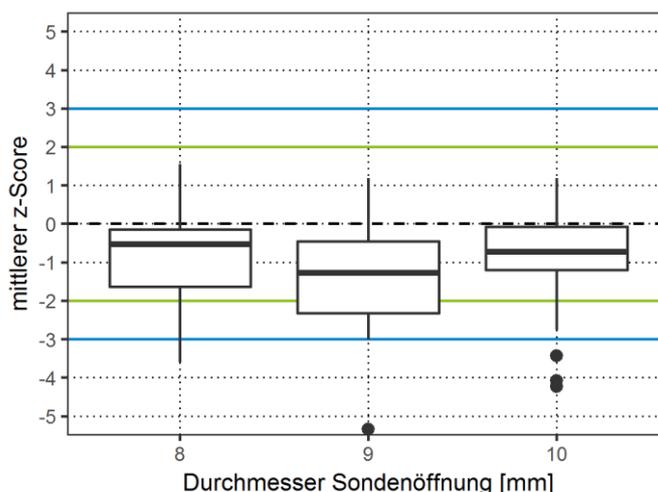
Vergleichbar schlechte Resultate (mittlere Abweichung Gesamtstaub: -9,1%) erzielten Teilnehmer, die eine in-stack-Schwanenhals-Sonde verwenden, und auf das Spülen verzichten (Kombination 7, in der Abbildung oben rechts, grün). Dabei ist anzumerken, dass die Kombinationen 2 und 7 keine normkonformen Verfahren gemäß EN 13284-1 darstellen.

Ein gemischtes Bild ergibt sich bei der Verwendung einer Schwanenhals-Sonde und einer (mutmaßlich) arbeitstäglichen Spülung mit Berücksichtigung der Rückstände (Kombination 6, in der Abbildung oben links, grün). Hier werden offenbar im Mittel die besten Ergebnisse für Gesamtstaub (mittlere Abweichung Gesamtstaub: $-2,8\%$) erzielt. Allerdings streuen hier auch die Werte mit am stärksten, und die Ergebnisse für die Schwermetalle fallen auch eher unterdurchschnittlich aus.

Um ein klareres Bild zum Einfluss der Spülroutine auf die Messergebnisse zu erhalten, werden die Ringversuchsteilnehmer seit Sommer 2018 gebeten, für ihre Spülungen anstatt der Angabe ja / nein eine Auswahl zwischen folgenden Optionen zu treffen: nie / einmal am Ende des Ringversuchs / arbeitstäglich / nach jeder Messung. Die bislang vorliegenden Angaben erlauben noch keine statistische Auswertung und wurden für diesen Jahresbericht dem ja / nein –Schema zugeordnet. Die genauere Betrachtung der tatsächlichen Spülvorgänge ist für den Jahresbericht 2019 geplant.

6.3.3 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.



Sondendurchmesser, die von weniger als 6 Teilnehmern genannt wurden, sind hier nicht aufgeführt. In der folgenden Tabelle wurden die Werte basierend auf den Absolutwerten der z-Scores ausgewertet.

Tabelle 13: Korrelation der Absolutwerte der mittleren z-Scores mit dem Sondendurchmesser

Durchmesser der Sondenöffnung	8 mm	9 mm	10 mm
75. Perzentil	1,63	2,32	1,20
Median	0,61	1,26	0,86
25. Perzentil	0,26	1,21	0,35
Anzahl der Werte	25	7	82

Ein klarer Zusammenhang ist auch hier nicht zu erkennen. Lediglich die Streuung der Ergebnisse scheint bei Anwendern von 10 mm Sondenöffnungen etwas geringer zu sein als bei anderen Teilnehmern. Insgesamt scheint aber die Größe der Sondenöffnung nicht bestimmend für die Messergebnisse zu sein.

6.3.4 Analysegeräte für Schwermetalle

Die Angaben der Teilnehmer zum verwendeten Analysegerät für die Schwermetallanalytik lassen einen gewissen Unterschied zwischen AAS- und ICP-Nutzern erkennen. Insgesamt 18 Teilnehmer gaben an, die Schwermetallanalytik mittels AAS-Geräten durchzuführen, während 95 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. Außerdem scheinen die ICP-Nutzer eher zu massiven Minderbefunden zu neigen als die Nutzer von AAS-Geräten.

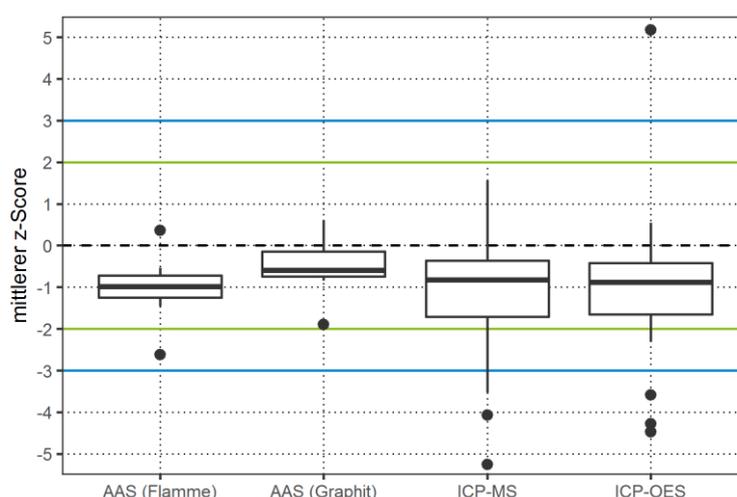


Tabelle 14: Korrelation von Schwermetall-Messergebnissen mit den verwendeten Analysegeräten

Messgerät	Flammen-AAS	Graphitrohr-AAS	ICP-MS	ICP-OES
75. Perzentil	-0,72	-0,14	-0,36	-0,42
Median	-0,98	-0,59	-0,82	-0,89
25. Perzentil	-1,25	-0,75	-1,71	-1,66
Anzahl der Werte	7	11	56	39

Im Vergleich zum Vorjahr zeigt sich bei den Schwermetallen eine generelle Verringerung der Minderbefunde. Nur bei den Flammen-AAS-Nutzern sind die Abweichungen im Jahr 2018 gegen den Trend gestiegen.

6.3.5 Formaldehyd

Für die Messung von Formaldehyd-Konzentrationen stehen den Teilnehmern die Richtlinien VDI 3862 Blatt 2 (9), 3 (10) und 4 (11) zur Auswahl. Aus den Angaben der Teilnehmer ergibt sich folgendes Bild:

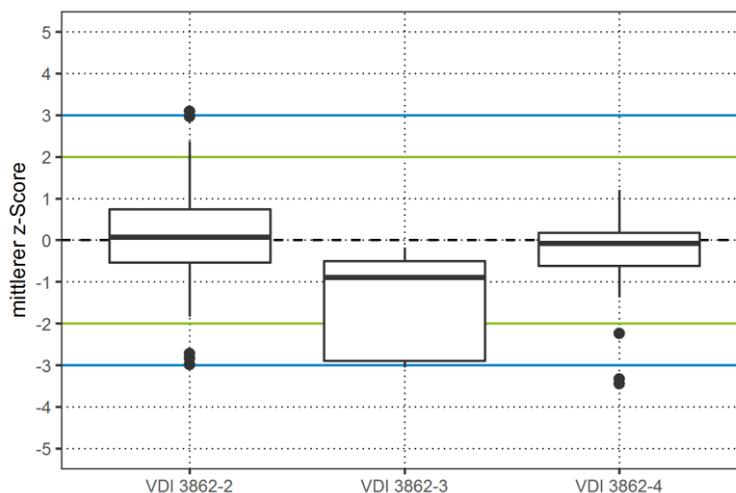


Tabelle 15: Korrelation von Formaldehyd-Messergebnissen mit den verwendeten Richtlinien

Verwendete Richtlinie	Median mittlere z-Scores Formaldehyd-Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer
VDI 3862 Blatt 2 (DNPH Waschflaschen)	0,07	66
VDI 3862 Blatt 3 (DNPH Kartuschen)	-0,89	5
VDI 3862 Blatt 4 (AHMT-Verfahren)	-0,08	36

Das DNPH-Waschflaschen-Verfahren liefert offenbar im Mittel vergleichbar gute Werte wie das AHMT-Verfahren, streut dafür aber über einen größeren Bereich. Die DNPH-Kartuschen-Methode wurde nur von 5 Teilnehmern angegeben, alle hatten eher ernüchternde Ergebnisse.

6.3.6 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. Aus den Angaben der Teilnehmer ergibt sich folgendes Bild:

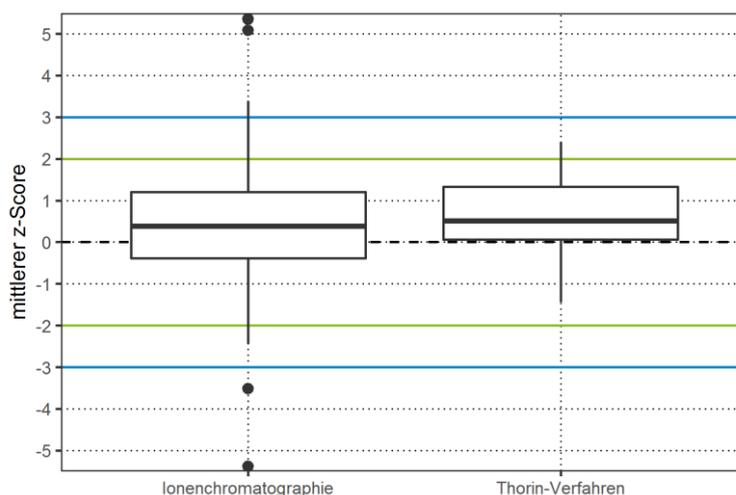


Tabelle 16: Korrelation von Schwefeldioxid-Messergebnissen mit dem verwendeten Analyseverfahren

Verwendetes Verfahren	Median mittlere z-Scores disk. SO ₂ -Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer
Ionenchromatographie	0,38	102
Thorin	0,51	8

Die vorliegenden Ergebnisse lassen keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Verfahren vermuten, 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 fast 12-mal höhere Anzahl von Teilnehmern zurückzuführen.

6.3.7 Lösungsmittel zur Desorption von ETX

Für die Desorption der Lösungsmittel Ethylbenzol, Toluol und Xylol (ETX) stehen den Teilnehmern neben dem üblichen Lösungsmittel Schwefelkohlenstoff (CS₂) auch noch andere Lösungsmittel oder Lösungsmittelgemische zur Auswahl. Die überwiegende Anzahl der Teilnehmer gab an, mit CS₂ gearbeitet zu haben. Die Ergebnisse aller Teilnehmer liegen im Mittel nahe beim Sollwert. Die Messergebnisse der Teilnehmer, die CS₂ verwenden, streuten tendenziell etwas stärker als die mit anderen Desorptionsmitteln erzielten Messwerte.

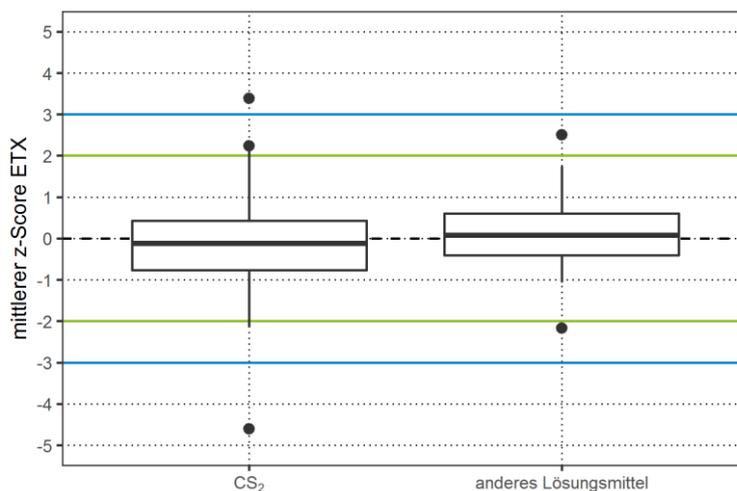


Tabelle 17: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit dem Desorptions-Lösungsmittel

Bei Desorption verwendetes Lösungsmittel	Median mittlere z-Scores ETX-Ergebnisse	Anzahl der Teilnehmer
CS ₂	-0,12	90
Anderes Lösungsmittel	0,07	13

6.3.8 Gaschromatographie Detektoren

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

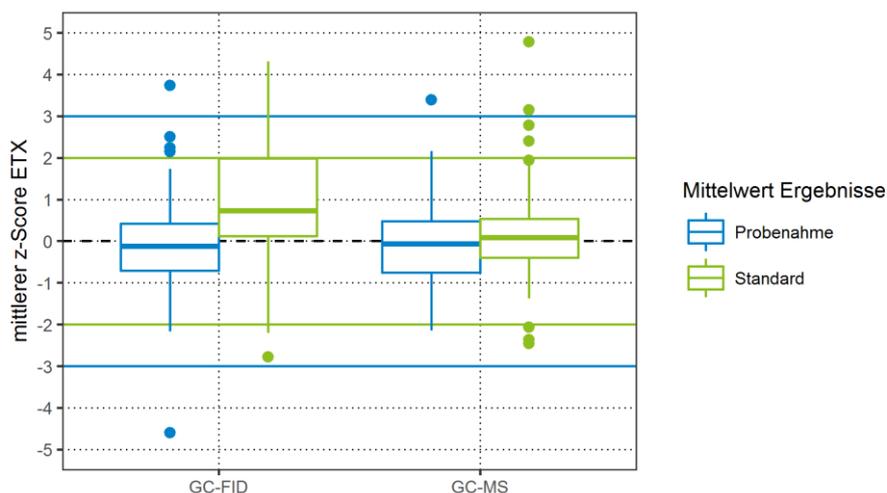
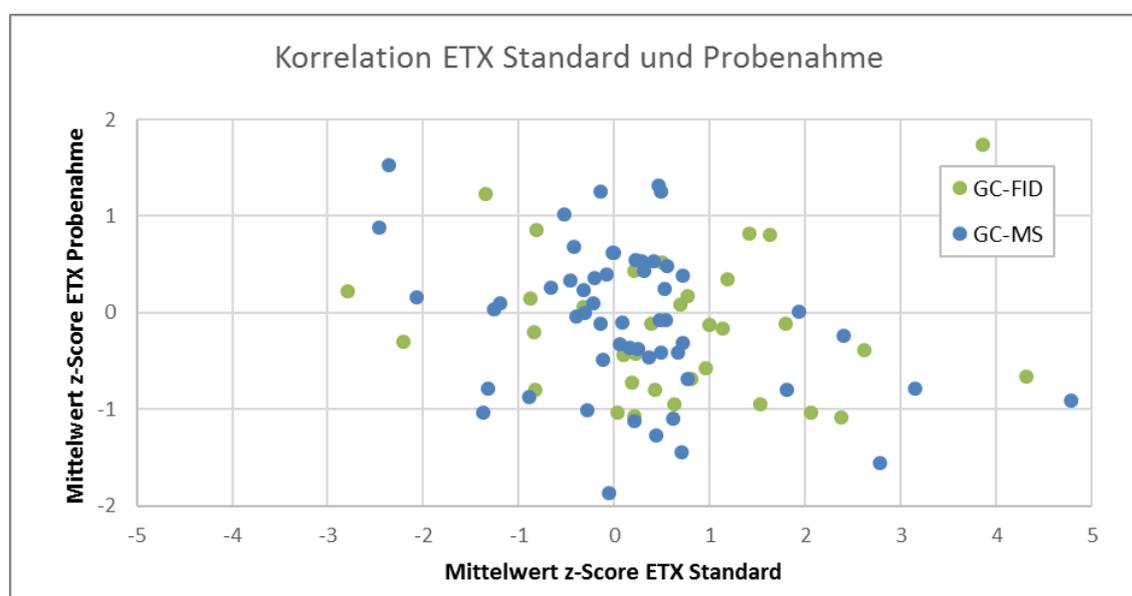


Tabelle 18: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit Analysengeräten

Analysegerät	Median mittlere z-Scores ETX mit Probenahme	Median mittlere z-Scores ETX Standard-Lösung	Anzahl der Teilnehmer
GC-FID	-0,12	0,73	42
GC-MS	-0,06	-0,09	61

Hier sind die Ergebnisse erstaunlich uneinheitlich. Für das Gesamtverfahren von Probenahme und Analytik erzielten die Teilnehmer mit beiden Detektor-Varianten vergleichbare Ergebnisse sehr nahe am Sollwert mit vergleichbarer Streuung. Bei der Analyse des ETX-Standards erzielen die GC-MS-Nutzer im Mittel Ergebnisse, die mit denen der Probenahme gleichwertig sind. Die GC-FID-Nutzer neigen hier aber offenbar zu teilweise starken Mehrbefunden. Ebenfalls erstaunlich ist, dass es anscheinend keinen Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Messungen mit Probenahme und denen des reinen Analytik-Standards gibt, wie die folgende Abbildung zeigt.



Ein hoher Fehler bei den Ergebnissen mit Probenahme bei gleichzeitig geringem Fehler beim Standard (Punkte entlang der y-Achse) lässt sich durch eine Kombination von Fehlern bei der Probenahme und einwandfreier Analytik erklären. Die Ergebnisse mit geringem Fehler bei der Probenahme aber hohem Fehler beim Standard (Punkte entlang der x-Achse) sind aber nur erklärbar durch eine fehlerfreie Ausführung des Gesamt-verfahrens (Probenahme + Analytik) bei gleichzeitiger fehlerhafter Durchführung der reinen Analytik des Standards. Vorstellbar wäre hier z. B. eine falsche Einberechnung von Desorptionsraten. Insgesamt lassen sich in den Daten aber alle denkbaren Kombinationen von Mehr- und Minderbefunden beobachten, relativ unabhängig vom genutzten Detektor.

7. Schlussbemerkung

Seit dem Jahr 2015 ist die Teilnahmefrequenz der nach §29b BImSchG bekanntgegebenen Messstellen durch die systematische und regelmäßige Teilnahme aller Standorte im Vergleich zu den Vorjahren merklich angestiegen. In den seitdem registrierten Ergebnissen ist ein klarer positiver Effekt auf die Qualität der Messergebnisse zu erkennen. Vor allem bei den Messergebnissen zu Gesamtstaubmassenkonzentrationen und zu Schwermetallmassenkonzentrationen ist eine stetige Verbesserung der Messergebnisse zu beobachten. Andererseits zeigen die Ringversuchsergebnisse des vergangenen Jahres für die Messung von verschiedenen gasförmigen Komponenten einen deutlichen Verbesserungsbedarf bei einigen bekanntgegebenen Messstellen. Die 2018 deutlich höhere Zahl an nicht erfolgreichen Teilnahmen im Gasringversuch kann letztlich auf Standorte zurückgeführt werden, die schon in der Vergangenheit Qualitätsdefizite bei der Messung gasförmiger Luftschadstoffe aufwiesen. Bei der noch vor einigen Jahren für Messstellen mit vielen Außenstellen üblichen Teilnahmefrequenz von einer Teilnahme alle 5 bis 10 Jahre für die jeweiligen Standorte wären die dort bestehenden Defizite wahrscheinlich noch lange unentdeckt geblieben. Hier zeigt sich, dass die regelmäßige Teilnahme aller Standorte an Emissionsringversuchen nach wie vor wichtig ist, um fehlerhafte Tendenzen frühzeitig zu entdecken und die Qualität der Messergebnisse im geregelten Bereich auf einem anhaltend hohen Niveau zu halten.

Kassel, 20. Februar 2019

gez. B. Stoffels

Benno Stoffels

Stellv. FV Ringversuche

gez. E. Antonsson

Dr. Egill Antonsson

Wissenschaftl. Mitarbeiter

gez. J. Cordes

Dr. Jens Cordes

Stellv. Dezernatsleiter

8. Literaturverzeichnis

1. 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.
2. Einundvierzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Bekanntgabeverordnung – 41. BImSchV) vom 2. Mai 2013 (BGBl I, 2013, Nr. 21, S. 1001–1010).
3. 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. 1274–1).
4. 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.
5. 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.
6. 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*). Berlin : Beuth-Verlag.
7. DIN EN 13284-1:2002-04: Emissionen aus stationären Quellen - Ermittlung der Staubmassenkonzentration bei geringen Staubkonzentrationen - Teil 1: Manuelles gravimetrisches Verfahren; Deutsche Fassung EN 13284-1:2001. (*Stationary source emissions. Determination of low range mass concentration of dust. Manual gravimetric method*). Berlin : Beuth-Verlag.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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*). Berlin : Beuth-Verlag.
13. DIN EN 12619:2013-04: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration des gesamten gasförmigen organisch gebundenen Kohlenstoffs – Kontinuierliches Verfahren mit dem

- Flammenionisationsdetektor; Deutsche Fassung EN 12619:2013. (*Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of total gaseous organic carbon. Continuous flame ionisation detector method*). Berlin : Beuth-Verlag.
14. DIN CEN/TS 13649:2015-03 - DIN SPEC 33969:2015-03 - Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von gasförmigen organischen Einzelverbindungen - Sorptive Probenahme und Lösemittlextraktion oder thermische Desorption; Deutsche . (*Stationary source emissions. Determination of the mass concentration of individual gaseous organic compounds. Sorptive sampling method followed by solvent extraction or thermal desorption*). Berlin : Beuth-Verlag.
 15. 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*). Berlin : Beuth-Verlag.
 16. 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*). Berlin : Beuth-Verlag.
 17. 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.
 18. 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