



# Jahresbericht 2017

Ergebnisse der Ringversuche der Stoffbereiche P, G und O an  
der Emissionssimulationsanlage zur Qualitätssicherung von  
Emissionsmessungen im Jahr 2017

Das Dezernat I3 – Luftreinhaltung/Emissionen  
ist akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025 und 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>5</b>  |
| <b>4.</b> | <b>Durchführung der Ringversuche</b> .....            | <b>8</b>  |
| 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        |
| <b>5.</b> | <b>Ergebnisse</b> .....                               | <b>13</b> |
| 5.1       | Übersicht 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.....                                   | 26        |
| 5.2.2     | Stoffbereich G.....                                   | 29        |
| 5.2.3     | Stoffbereich O.....                                   | 32        |
| 5.3       | Auflistung der Ergebnisse.....                        | 33        |
| <b>6.</b> | <b>Interpretation</b> .....                           | <b>34</b> |
| 6.1       | Beurteilung der Messergebnisse.....                   | 36        |
| 6.2       | Randbedingungen.....                                  | 38        |
| 6.3       | Freiwillige Angaben der Teilnehmer.....               | 39        |
| 6.3.1     | Messunsicherheiten.....                               | 39        |
| 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.....                                      | 46        |
| 6.3.6     | Schwefeldioxid.....                                   | 47        |
| 6.3.7     | Lösungsmittel zur Desorption von ETX.....             | 47        |

---

|       |                                     |           |
|-------|-------------------------------------|-----------|
| 6.3.8 | Gaschromatographie Detektoren ..... | 48        |
| 7.    | <b>Schlussbemerkung</b> .....       | <b>50</b> |
| 8.    | <b>Literaturverzeichnis</b> .....   | <b>51</b> |

## 1. Zusammenfassung

An den Staub-Emissionsringversuchen (Stoffbereich P) des HLNUG nahmen im Jahr 2017 insgesamt 43 Messinstitute teil, davon waren 38 Teilnehmer §29b-Messstellen und 5 Freiwillige. Die Erfolgsquote lag bei den §29b-Messstellen (92%) wie in der Vergangenheit deutlich höher als bei den Freiwilligen (20%).

An den Gas-Emissionsringversuchen (Stoffbereich G) nahmen 2017 insgesamt 42 Messinstitute teil, davon waren 38 Teilnehmer §29b-Messstellen und 4 Freiwillige. Die Erfolgsquote lag auch hier bei den §29b-Messstellen (92%) wie in den Jahren zuvor deutlich höher als bei den Freiwilligen (25%).

An den Geruchs-Emissionsringversuchen (Stoffbereich O) nahmen 2017 insgesamt 18 Messstellen teil, davon 12 aufgrund einer Bekanntgabe nach §29b BImSchG und 6 freiwillig. Hier waren 83% der bekanntgegebenen Teilnehmer erfolgreich und 0% der freiwilligen.

## 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 Emissionsringversuche sind nach DIN EN ISO/IEC 17043 akkreditiert und werden von allen Bekanntgabebehörden in Deutschland im Sinne des §16 Abs. 4 Nr. 7a der 41. BImSchV 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.

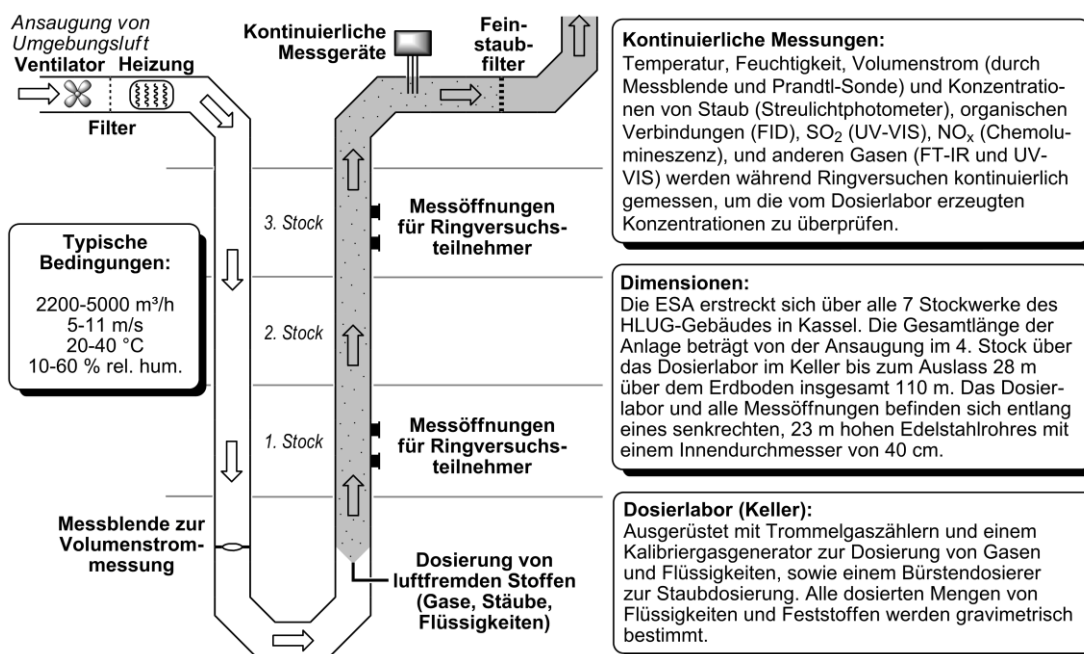


Abbildung 1: Schematische Darstellung der ESA des HLNUG in Kassel

Die Prüfatmosfera 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 Trommelgaszählern 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 2017 wurden folgende Ringversuche der Stoffbereiche P, G und O durchgeführt:

Tabelle 1: Ringversuche des HLNUG

| Ringversuch | Art                                     | Start      | Ende       | Teilnehmer |
|-------------|---|------------|------------|------------|
| RV 471S     | partikelförmige Stoffe (Stoffbereich P) | 30.01.2017 | 31.01.2017 | 7          |
| RV 472G     | gasförmige Stoffe (Stoffbereich G)      | 01.02.2017 | 03.02.2017 | 7          |
| RV 473S     | partikelförmige Stoffe (Stoffbereich P) | 13.02.2017 | 14.02.2017 | 7          |
| RV 474G     | gasförmige Stoffe (Stoffbereich G)      | 15.02.2017 | 17.02.2017 | 8          |
| RV 475S     | partikelförmige Stoffe (Stoffbereich P) | 06.03.2017 | 07.03.2017 | 8          |
| RV 476G     | gasförmige Stoffe (Stoffbereich G)      | 08.03.2017 | 10.03.2017 | 8          |

| Ringversuch | Art                                     | Start      | Ende       | Teilnehmer |
|-------------|---|------------|------------|------------|
| RV 477S     | partikelförmige Stoffe (Stoffbereich P) | 27.03.2017 | 28.03.2017 | 8          |
| RV 478G     | gasförmige Stoffe (Stoffbereich G)      | 29.03.2017 | 31.03.2017 | 8          |
| RV 479O     | Geruchsemissionen (Stoffbereich O)      | 28.09.2017 | 28.09.2017 | 6          |
| RV 485O     | Geruchsemissionen (Stoffbereich O)      | 04.10.2017 | 04.10.2017 | 5          |
| RV 480O     | Geruchsemissionen (Stoffbereich O)      | 05.10.2017 | 05.10.2017 | 7          |
| RV 481S     | partikelförmige Stoffe (Stoffbereich P) | 06.11.2017 | 07.11.2017 | 7          |
| RV 482G     | gasförmige Stoffe (Stoffbereich G)      | 08.11.2017 | 10.11.2017 | 6          |
| RV 483S     | partikelförmige Stoffe (Stoffbereich P) | 27.11.2017 | 28.11.2017 | 6          |
| RV 484G     | gasförmige Stoffe (Stoffbereich G)      | 29.11.2017 | 01.12.2017 | 5          |

Diese Ringversuche wurden unter folgenden Randbedingungen geplant und durchgeführt (siehe dazu auch Durchführungsbestimmungen Stoffbereiche P, G und O):

|                 | Stoffbereich P  | Stoffbereich G  |
|-----------------|---|---|
| Probenahmedauer | 30 min  | 30 min (disk. Komponenten und Gesamt-C), 15 min (Propan, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> kont.)   |
| Anzahl Proben   | Je Komponente 10 inkl. Einführungsmessung   |   |
| Probenahme      | Für alle Teilnehmer gleichzeitig (1. OG und 3. OG)  |   |
| Randbedingungen | keine Festlegung in Durchführungsbestimmungen   | 2000 ... 3500 m <sup>3</sup> /h<br>20 ... 40 °C   |
| Konzentrationen | 1 ... 12 mg/m <sup>3</sup> in folgenden Stufen:<br>1: 1 ... 4 mg/m <sup>3</sup><br>2: 4 ... 7 mg/m <sup>3</sup><br>3: 7 ... 12 mg/m <sup>3</sup>  | SO <sub>2</sub> : 20 ... 150 mg/m <sup>3</sup><br>NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> : 60 ... 450 mg/m <sup>3</sup><br>Summe ETX: 4 ... 100 mg/m <sup>3</sup><br>Formaldehyd: 4 ... 40 mg/m <sup>3</sup><br>Gesamt-C: 4 ... 100 mg/m <sup>3</sup> (ETX/Propan)<br>Gesamt-C: 5 ... 100 mg/m <sup>3</sup> (Propan) |
| Abgabe          | sechs Wochen nach Abschluss des Ringversuchs mit einer Nachkommastelle in mg/m <sup>3</sup> Normzustand, trocken (Gesamtstaub), bzw. µg/m <sup>3</sup> Normzustand, trocken (Schwermetallgehalte) | vier Wochen nach Abschluss des Ringversuchs mit einer Nachkommastelle (Komponenten G1, G2, G3, G8, G9, s. Tabelle 2), bzw. zwei Nachkommastellen (4 ... 7, s. Tabelle 2), 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  |   |

|                 | Stoffbereich O   |
|-----------------|--|
| Probenahmedauer | 10 min   |
| Anzahl Proben   | Je Komponente 3  |
| Probenahme      | Für alle Teilnehmer gleichzeitig (1. OG und 3. OG)   |
| 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, 19:00 Uhr  |
| Art der Abgabe  | Über eine vom HLNUG zur Verfügung gestellte Excel-Datei, persönlich am Ringversuchstag abgeben           |

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: [emission@hlnug.hessen.de](mailto:emission@hlnug.hessen.de)

Derzeit fachlich verantwortlich für die Durchführung der Ringversuche sind:  
Dr. Dominik Wildanger, Dr. Jens Cordes 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 Referenzstäube im HLNUG hergestellt.

Die Matrix ist 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 („wahrer 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 wahrer 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 (1) überprüft.

### 4.2 Ablauf der Messungen

Jeder Teilnehmer hat die Massenkonzentration der Emissionskomponenten (Stoffbereich G und P) bzw. die Geruchsemissionen (Stoffbereich O) unter Berücksichtigung von DIN EN 15259:2008-01 (2) 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.

#### Ermittlung von Staub und Staubinhaltsstoffen (Stoffbereich P)

Der Ablauf eines Ringversuchs des Bereichs P ist wie folgt:

|             | Komponente         | Verfahren                                     |
|-------------|--------------------|---|
| Tag 1 und 2 | Staub              | DIN EN 13284-1 / VDI 2066 Blatt 1 (3) (4)     |
|             | Staubinhaltsstoffe | keine Festlegung in Durchführungsbestimmungen |

#### Ermittlung gasförmiger Emissionskomponenten (Stoffbereich G)

Der Ablauf eines Ringversuchs des Bereichs G ist wie folgt:

|       | Komponente                          | Verfahren                              |
|-------|-------------------------------------|--|
| Tag 1 | Formaldehyd                         | VDI 3862 Blatt 2, 3 oder 4 (5) (6) (7) |
| Tag 2 | SO <sub>2</sub>                     | DIN EN 14791 (8)                       |
|       | Gesamt-C                            | DIN EN 12619 (9)                       |
|       | ETX                                 | DIN EN 13649 (10)                      |
| Tag 3 | SO <sub>2</sub>                     | Mit einem eignungsgeprüften Messgerät  |
|       | Gesamt-C                            | DIN EN 12619 (9)                       |
|       | NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> | DIN EN 14792 (11)                      |



## Ermittlung von Geruchsemissionen (Stoffbereich O)

Der Ablauf eines Ringversuchs des Bereichs O ist wie folgt:

|       | Komponente         | Verfahren    |
|-------|--------------------|--------------|
| Tag 1 | Vier Geruchsstoffe | DIN EN 13725 |

## 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:

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

Dabei ist  $X_{ijk}$  der Schätzwert für den wahren Wert der entsprechenden Dosierung und  $\sigma_k$  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  $\sigma_k$  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 Teilnehmer 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 Mittelwert der logarithmierten Werte gemäß DIN ISO 13528 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 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 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 angepasst. Dazu wird  $\sigma_k$  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  $\sigma$  betragen für die einzelnen Komponenten:

**Tabelle 2: Präzisionsvorgaben**

| Nr.            | Komponente                          | Art der Bestimmung | Kurzbezeichnung | Präzisionsvorgabe $\sigma_k$<br>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             | Nickel                              | diskontinuierlich  | Ni              | 8,0   |
| P7             | Blei                                | diskontinuierlich  | Pb              | 8,0   |
| Stoffbereich G |                                     |                    |                 |   |
| G1             | SO <sub>2</sub>                     | diskontinuierlich  | Sd              | 3,1   |
| G2             | SO <sub>2</sub>                     | kontinuierlich     | Sk              | 3,9   |
| G3             | NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub> | 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 $\sigma_k$<br>in % vom Sollwert |
|---|----------------------------|--------------------|---------------------|---|
| Stoffbereich G – nicht bestehensrelevanter Teil |                            |                    |                     |   |
| G9  | Gesamt-C (Propan)          | kontinuierlich     | Pk                  | 3,3   |
| G10   | Toluol (Standard)          | Laboranalyse       | STDT                | 4,5   |
| G11   | Ethylbenzol (Standard)     | Laboranalyse       | STDE                | 4,5   |
| G12   | o-, m-, p-Xylol (Standard) | Laboranalyse       | STDX                | 4,5   |
| Stoffbereich O                                  |                            |                    |                     |   |
| -   | Alle Geruchsstoffe         | diskontinuierlich  | z. B. NBU, AAC, ... | 0,1 <sup>†</sup>                                  |

<sup>†</sup> Beim Ringversuch O ist die Präzisionsvorgabe nicht in % des Sollwerts definiert (s. Abschnitt 4.3.1)

### 4.3.2 Bewertungsschema

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

$$\begin{aligned}
 |z_{ijk}| \leq 2 & \quad \text{Ergebnis zufriedenstellend} \\
 2 < |z_{ijk}| < 3 & \quad \text{Ergebnis fraglich} \\
 |z_{ijk}| \geq 3 & \quad \text{Ergebnis unzureichend}
 \end{aligned}$$

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

Beim Stoffbereich P und G werden im nächsten Schritt die Beträge der  $n$  z-Scores der Ergebnisse einer Konzentrationsstufe (in der Regel  $n = 3$ ) einer Komponente gemittelt:

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

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

Im nächsten Schritt wird für jede Komponente  $k$  die Summe der Klassenzahlen über die drei Konzentrationsstufen gebildet:

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

Für jede Komponente im Staub- und Gasringversuch 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-, Gas- und Geruchsringversuch unterschiedlich.

#### Staubringversuch

Eine Komponente wurde dann erfolgreich bestimmt, wenn die zugehörige Summe der Klassenzahlen  $\leq 5$  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  $\leq 4$  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-Komponenten (Nr. P2 bis P7) erfolgreich bestimmt wurden.

Teilnehmern, die zwar die Komponente Gesamtstaub (Nr. P1) erfolgreich bestimmt haben, aber nicht mindestens 5 der 6 Schwermetall-Komponenten (Nr. P2 bis P7), werden Proben zur erneuten Analyse zugesandt. Die Bewertung dieser Nachanalyse erfolgt nach dem vorgenannten Schema und ersetzt im endgültigen Gesamtergebnis die Bewertungsergebnisse für die Komponenten Nr. P2 bis P7.

### **Gasringversuch**

Eine Komponente wurde dann erfolgreich bestimmt, wenn die zugehörige Summe der Klassenzahlen  $\leq 6$  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  $\leq 4$  ist.

Der Ringversuch gilt im Gesamtergebnis als erfolgreich bestanden, wenn alle ergebnisrelevanten Komponenten (Nr. G1 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.

### **Geruchsringversuch**

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 Übersicht der erreichten 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 als Punkte im Diagramm eingetragen.

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

Eine Auflistung der Einzelmesswerte aller Teilnehmer ist in einem separaten Dokument (Anhang zum Jahresbericht) zu finden.

## 5.1.1 Stoffbereich P

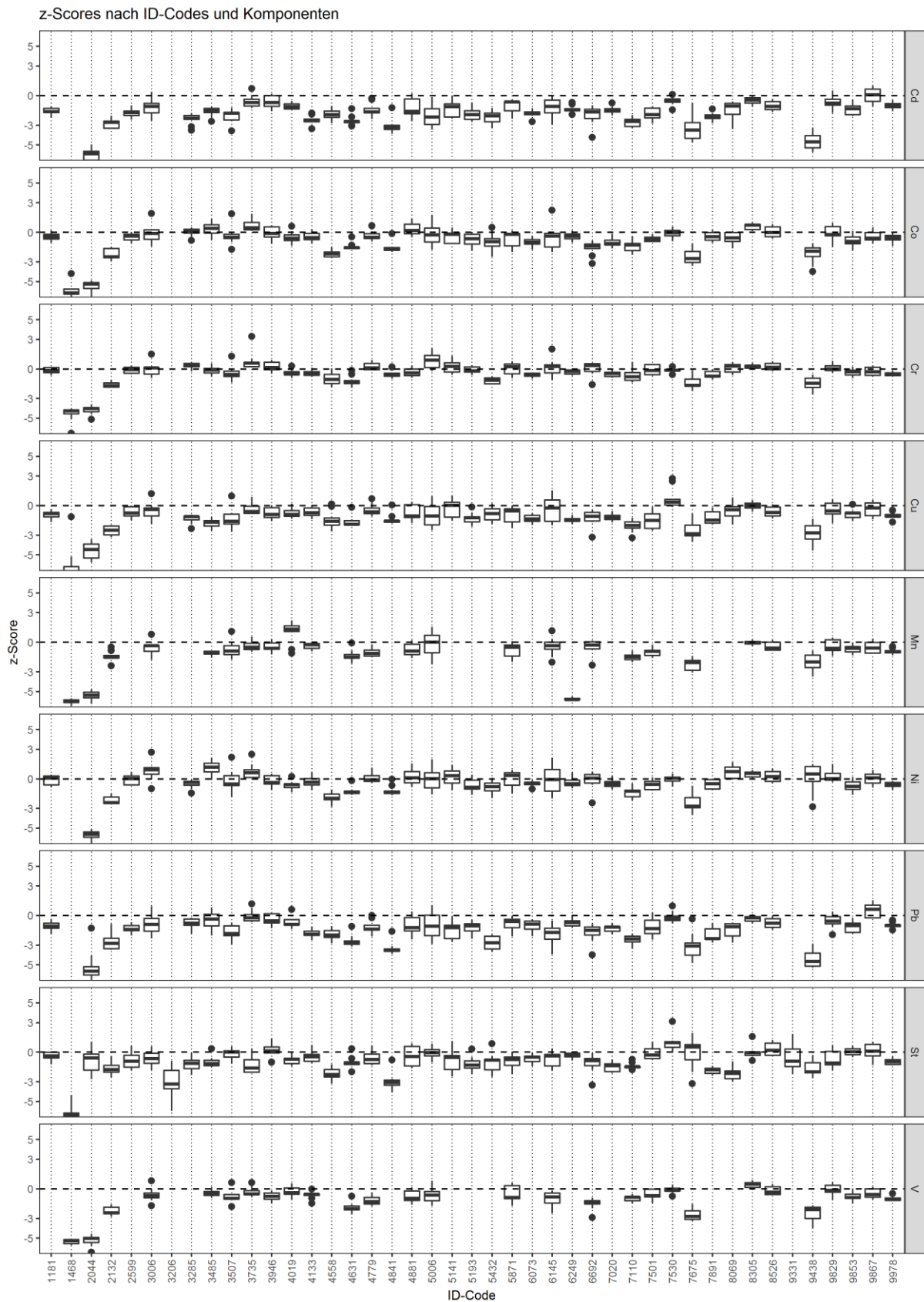
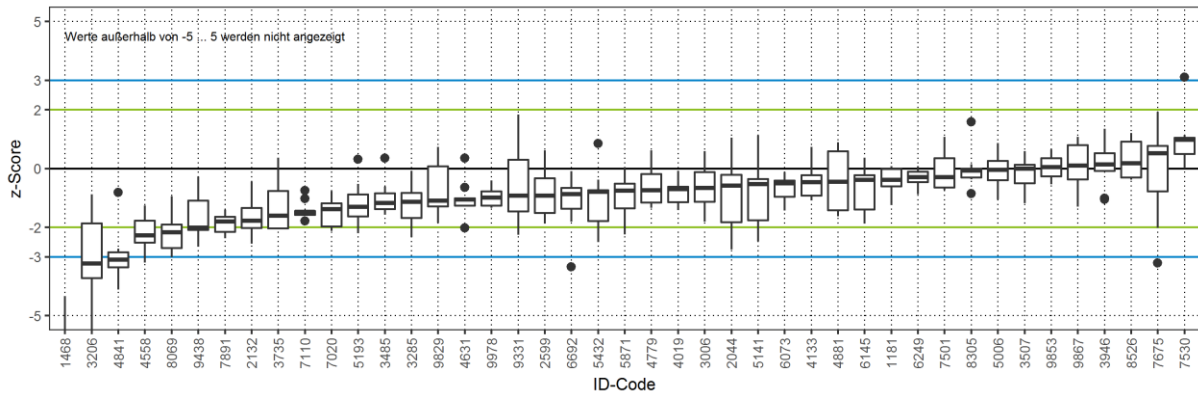
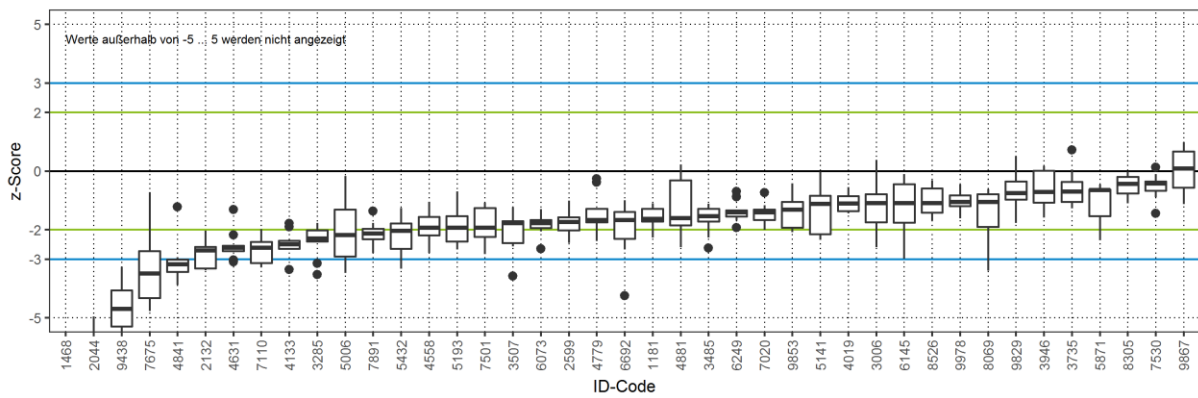


Abbildung 2: z-Scores für den Stoffbereich P (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)

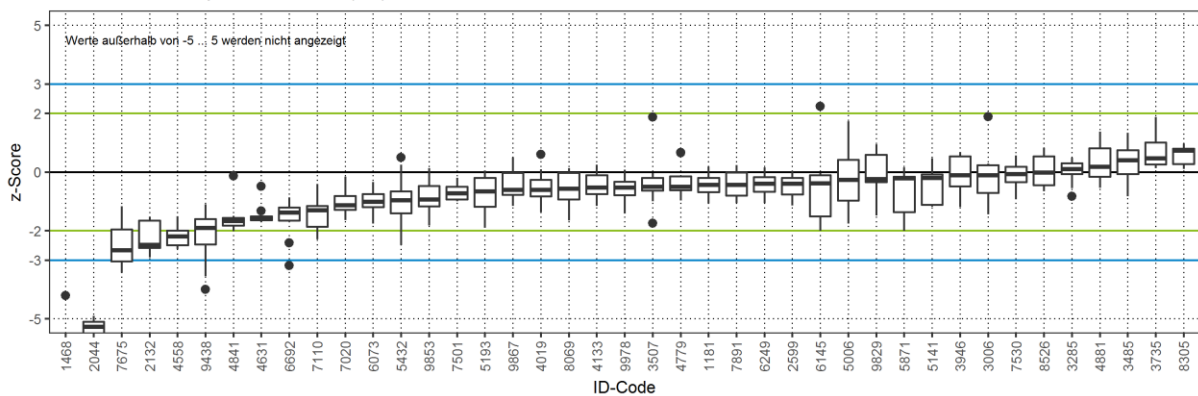
z-Scores für Komponente Staubkonzentration (St)

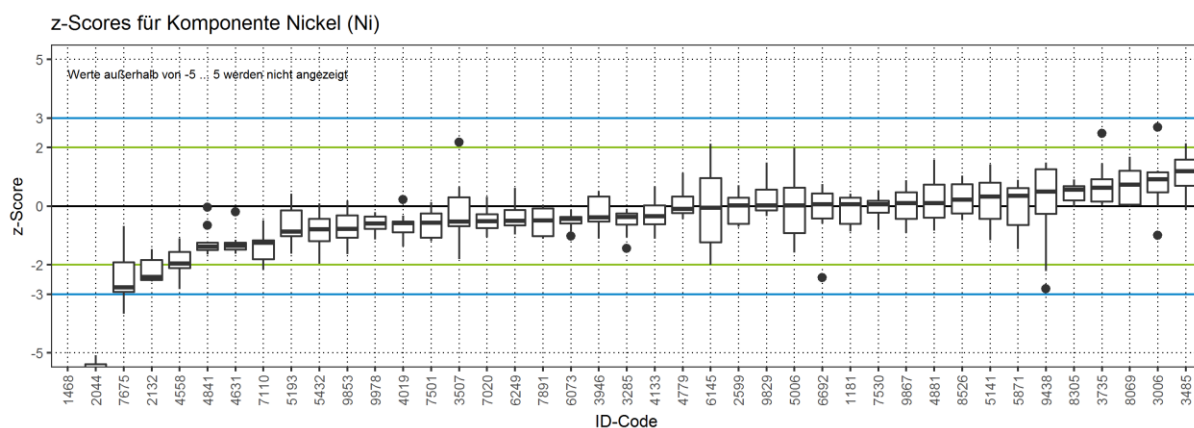
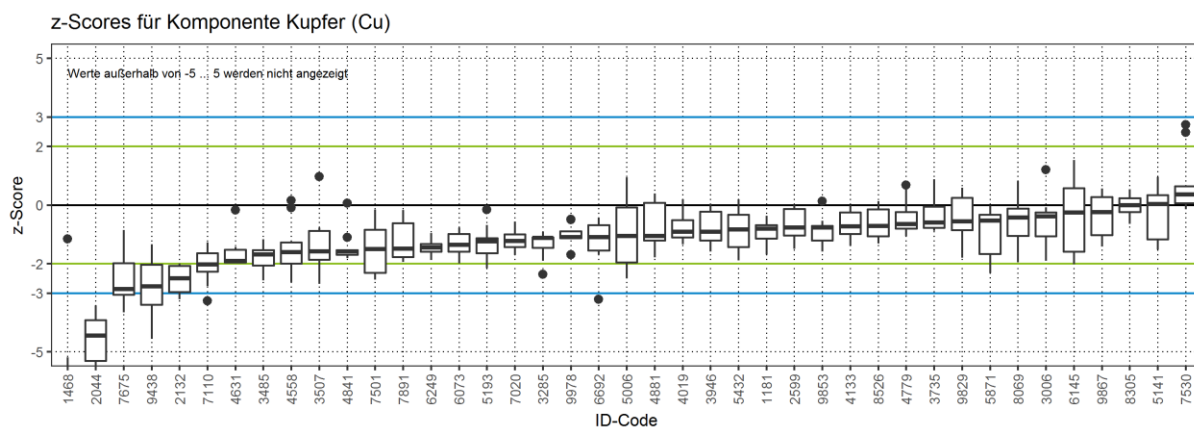
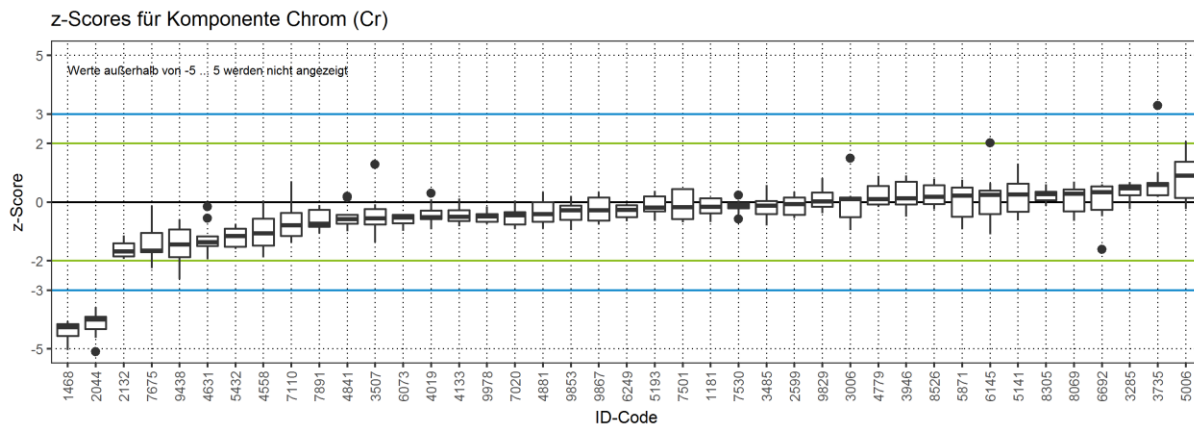


z-Scores für Komponente Cadmium (Cd)

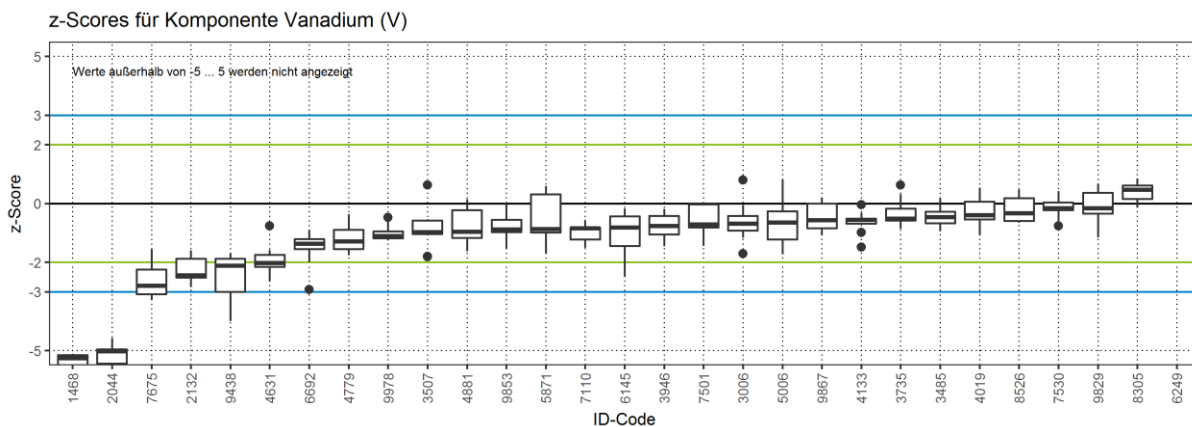
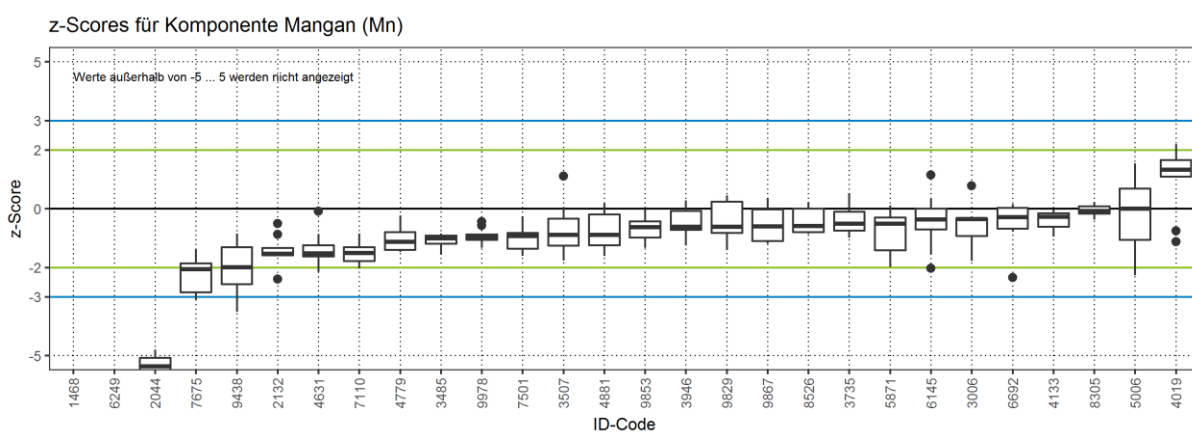
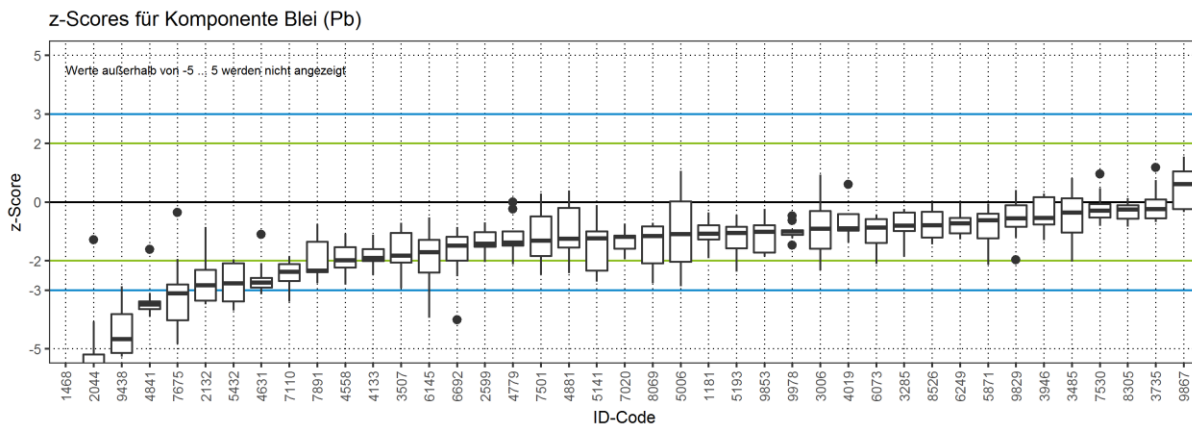


z-Scores für Komponente Cobalt (Co)









## 5.1.2 Stoffbereich G

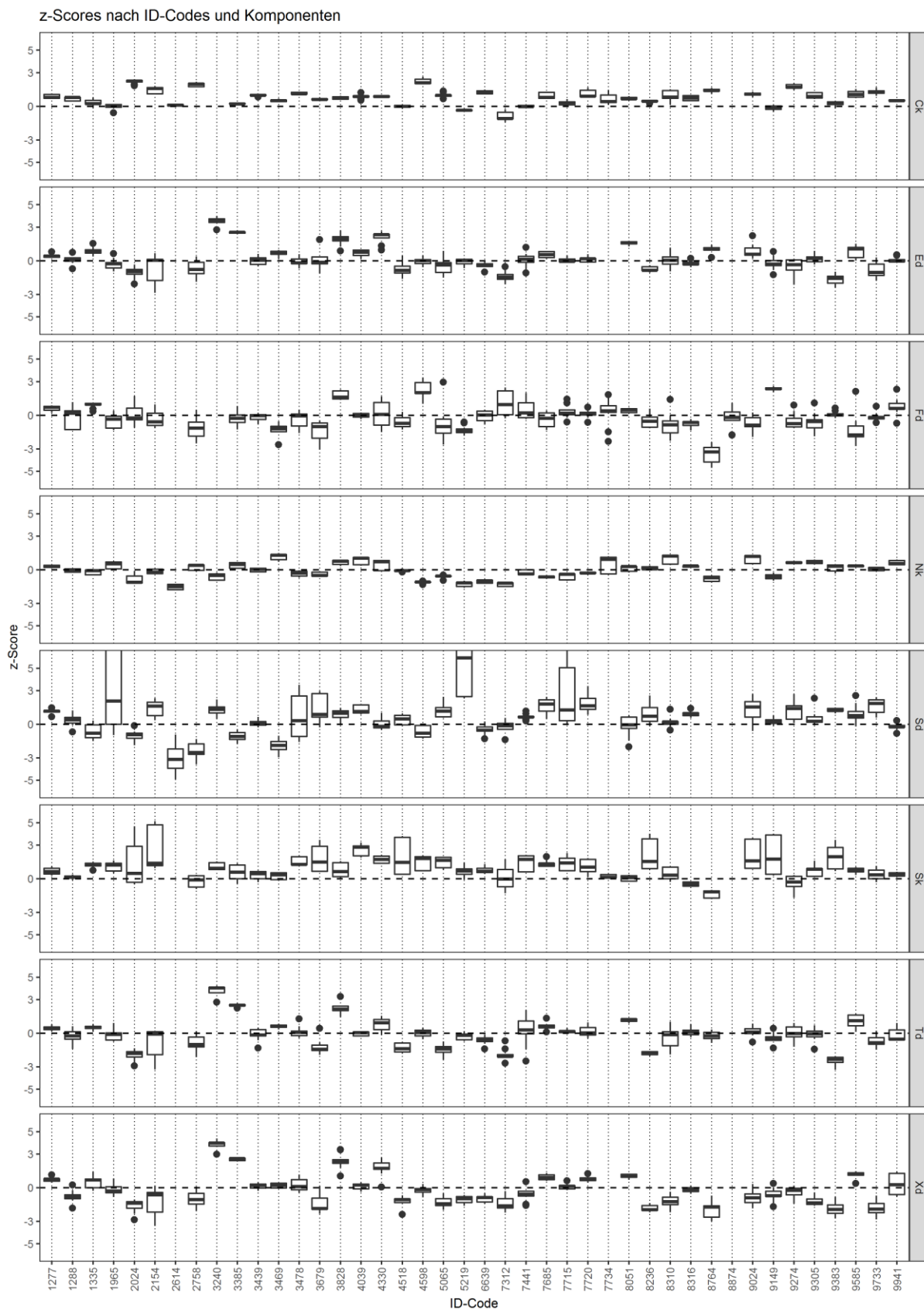
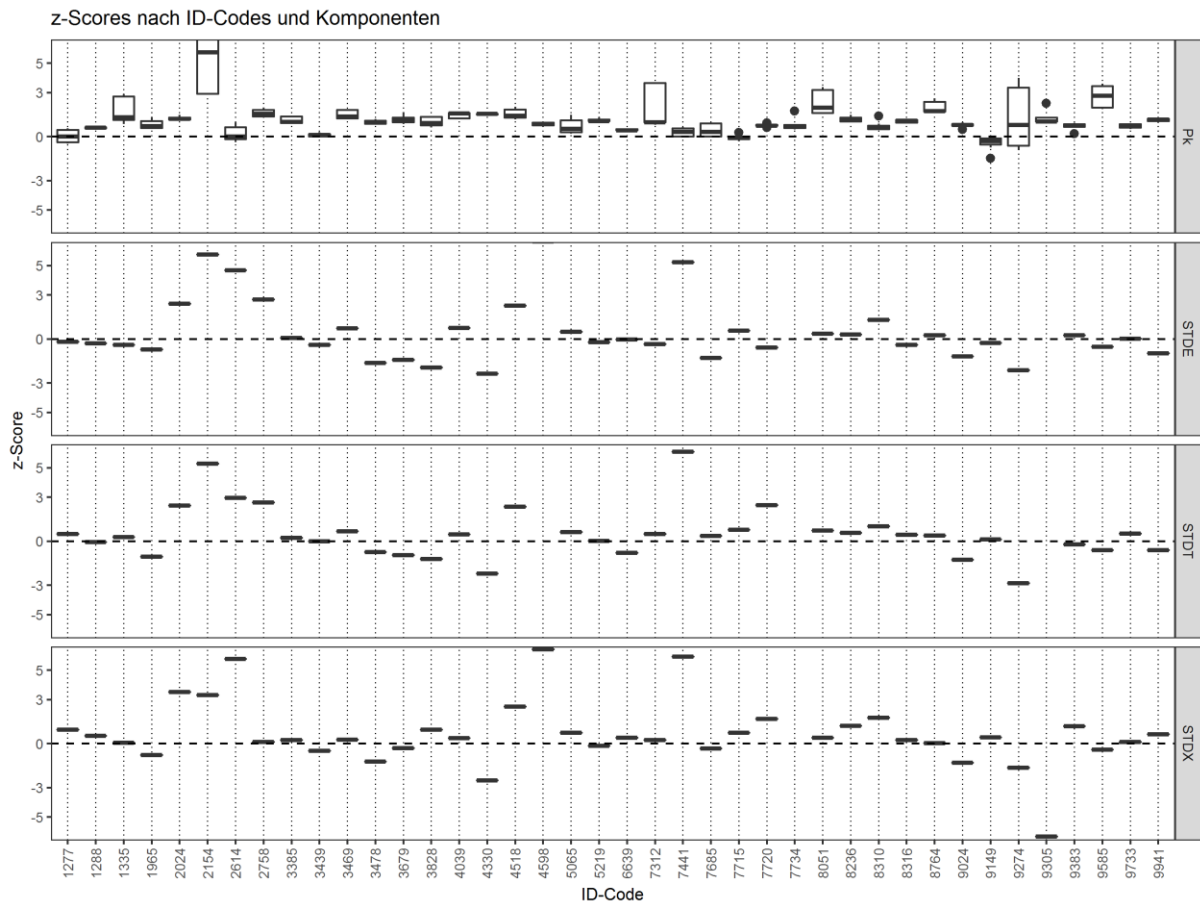
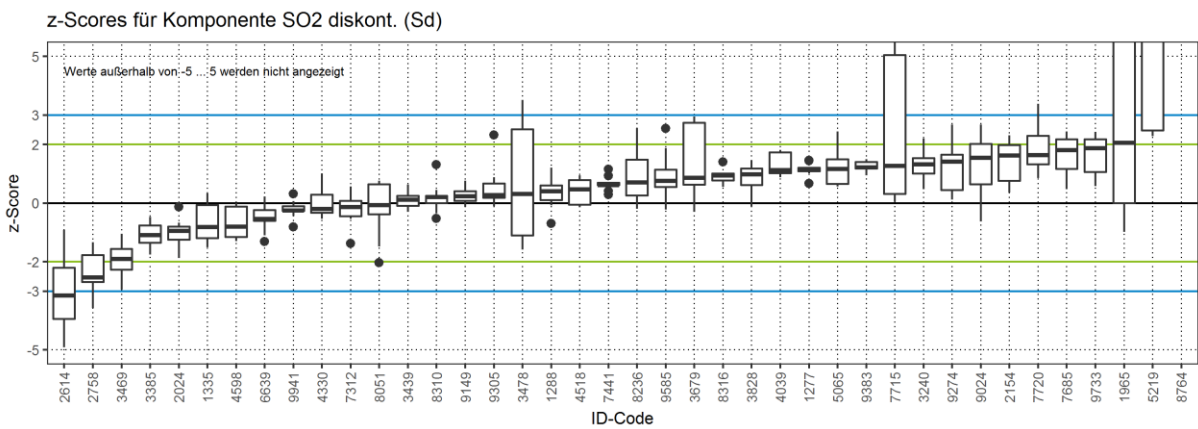
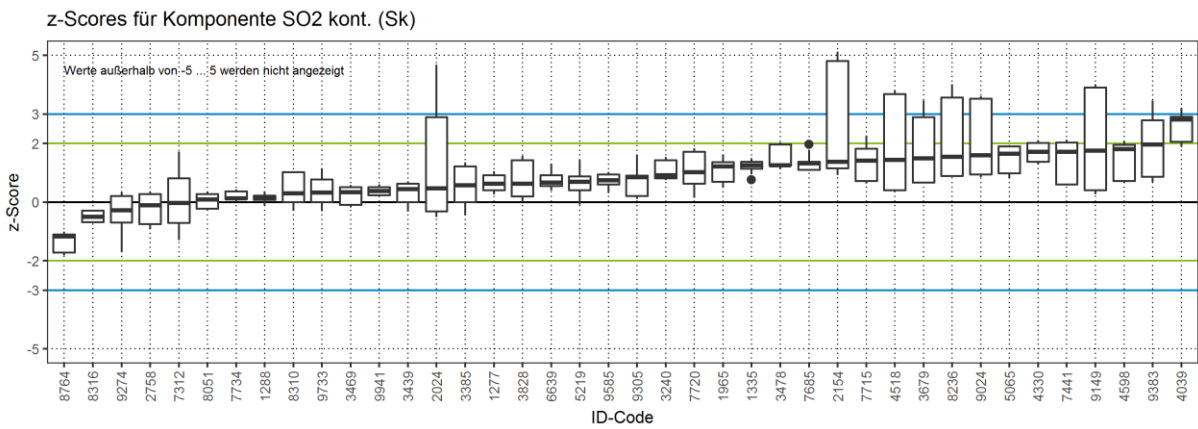
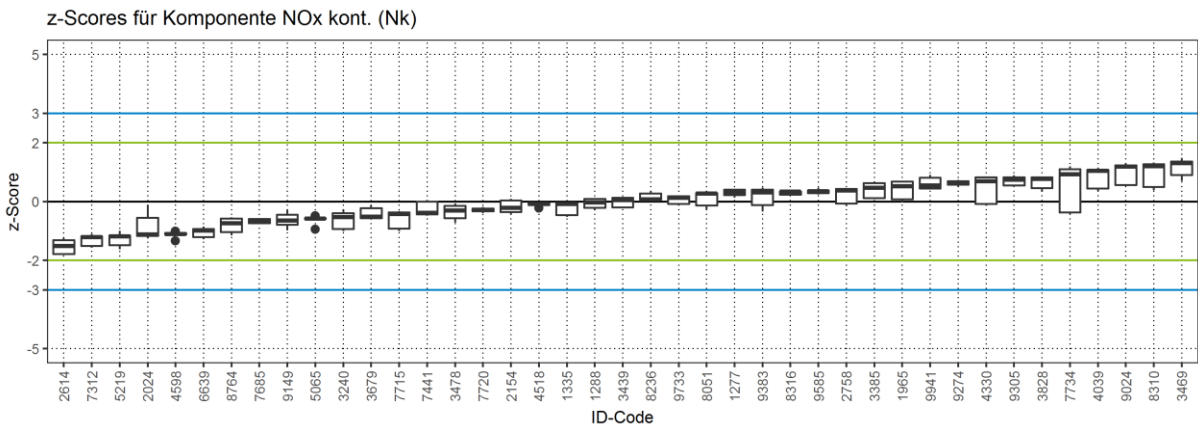
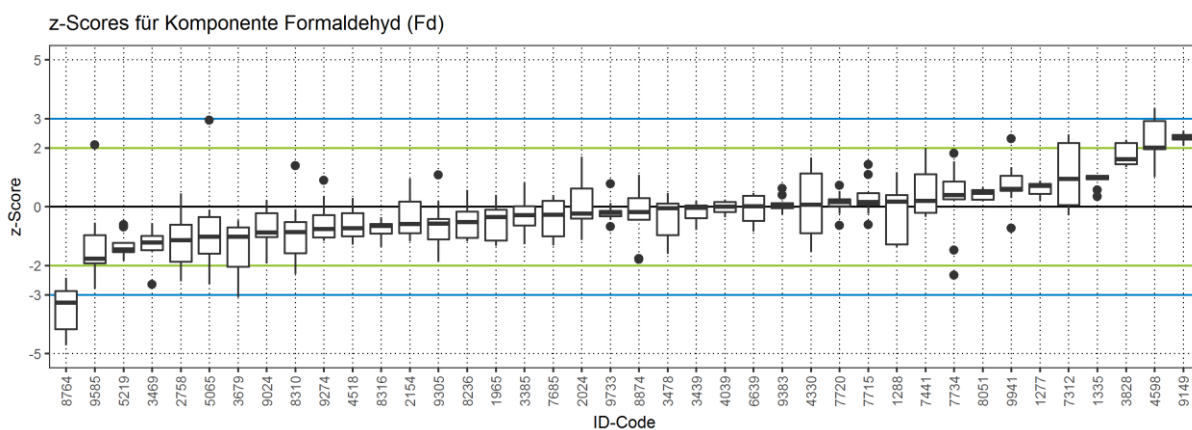
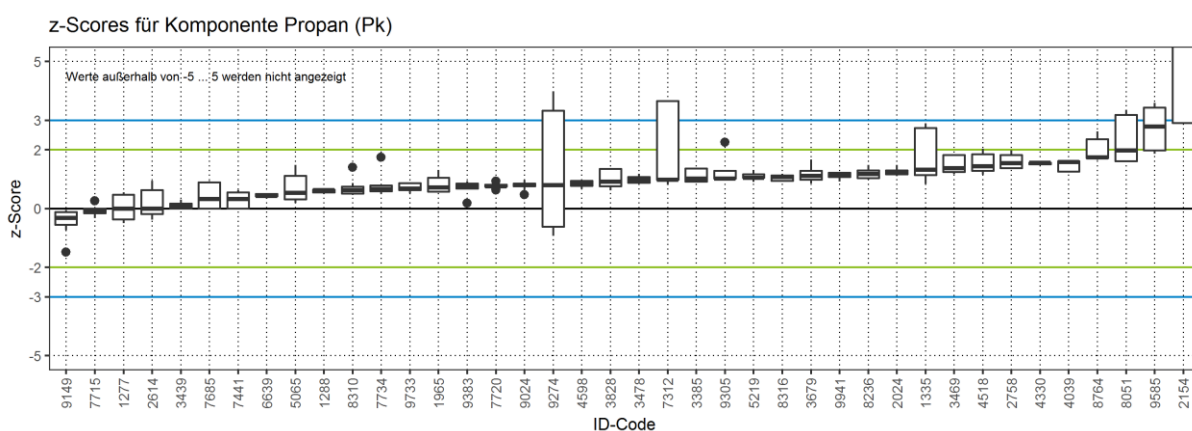
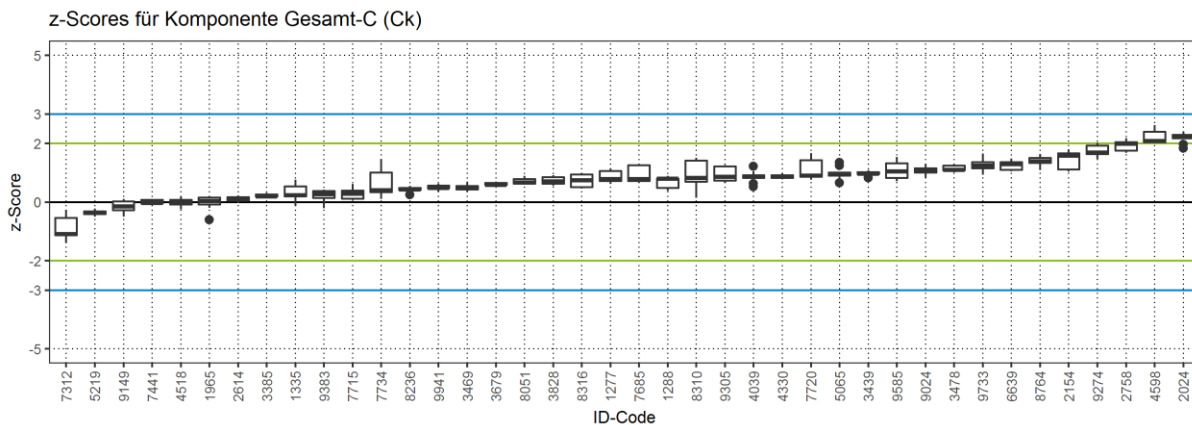


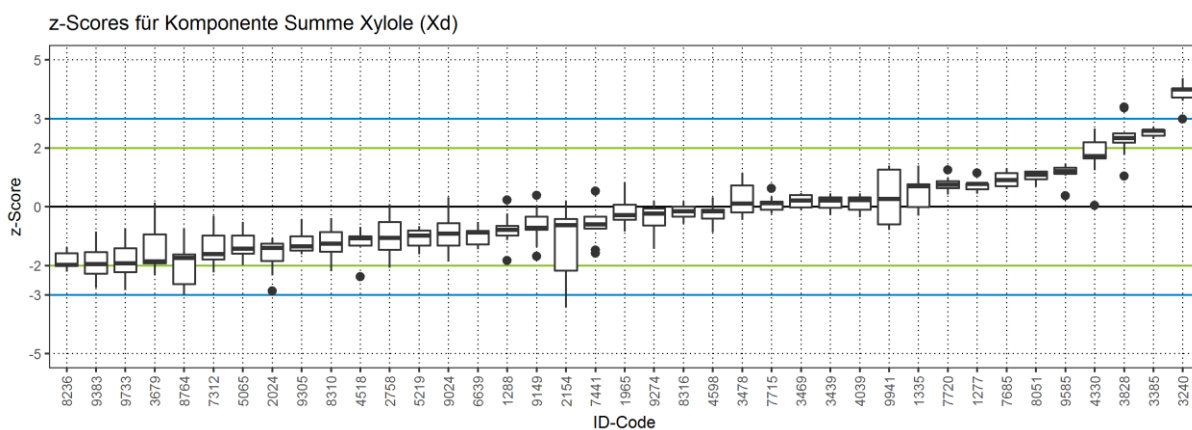
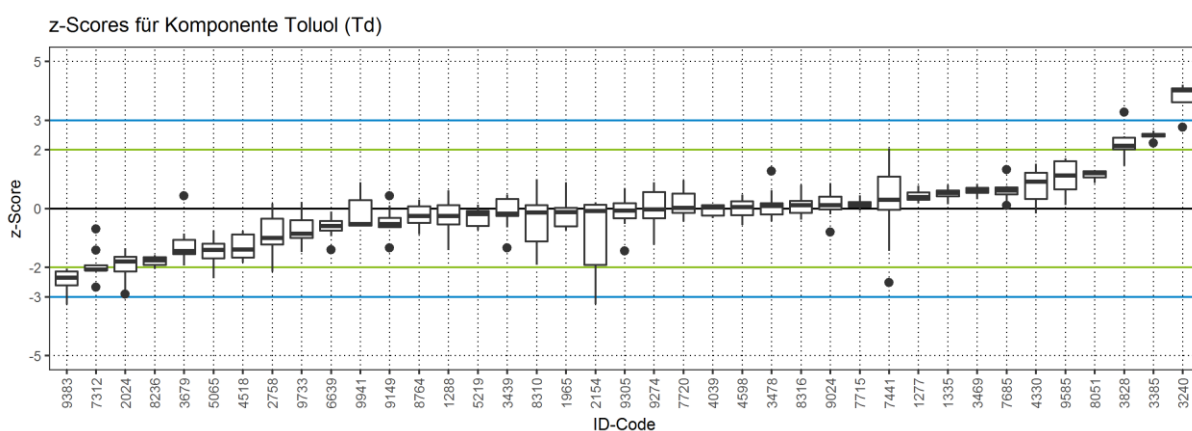
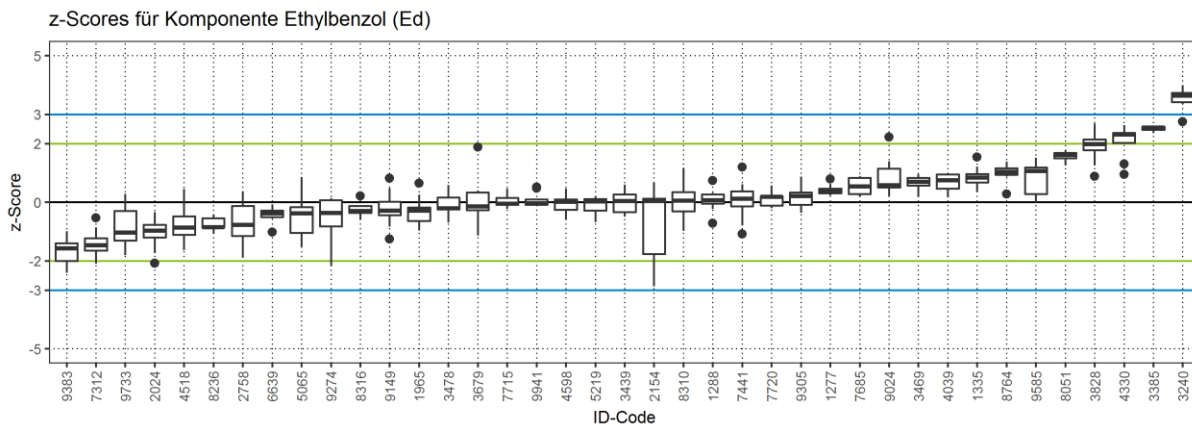
Abbildung 3: z-Scores für den Stoffbereich G (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)

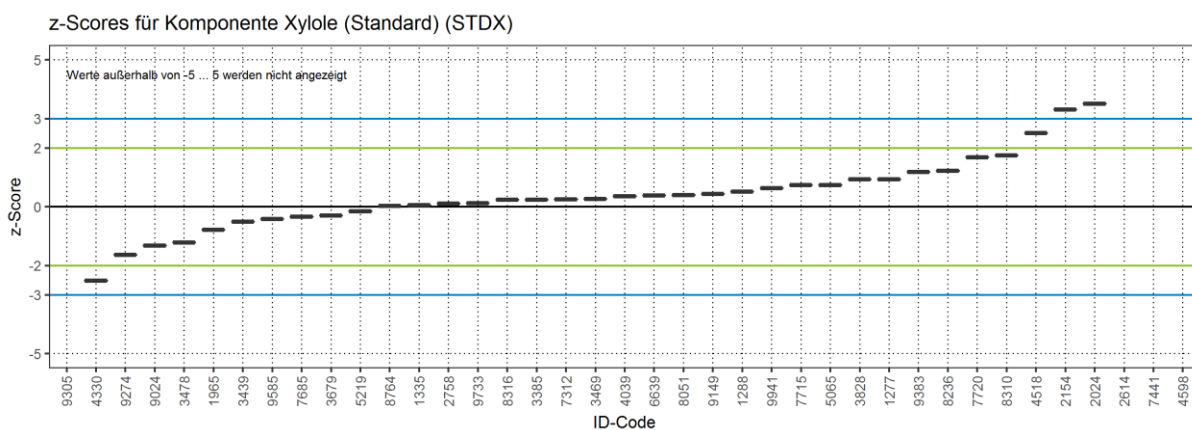
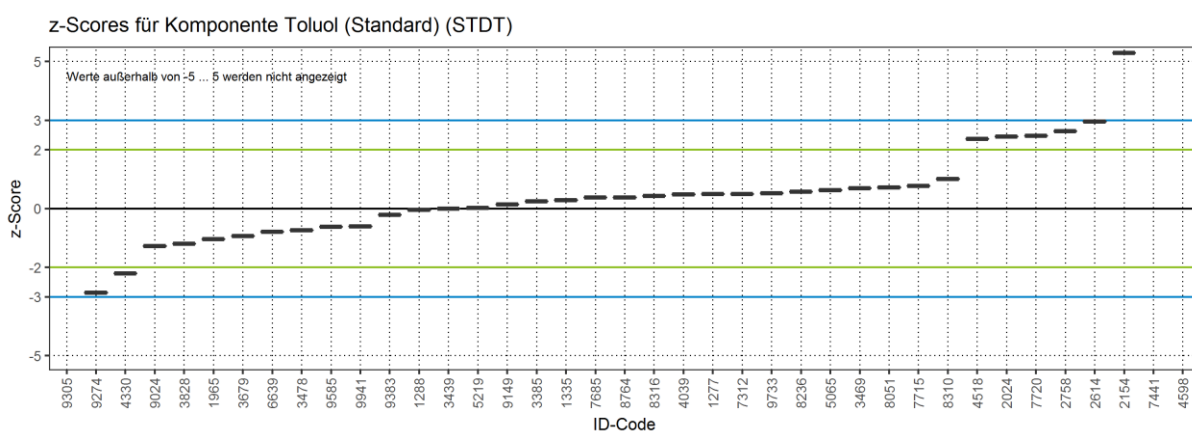
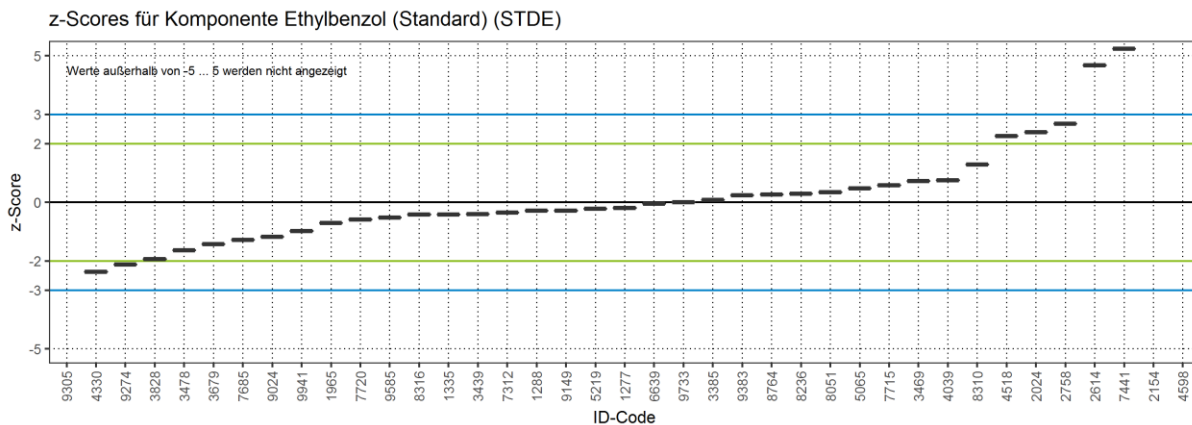


**Abbildung 4: z-Scores für den Stoffbereich G, nicht bestehensrelevante Ergebnisse (Es werden nur z-Scores im Bereich -5 ... 5 dargestellt)**



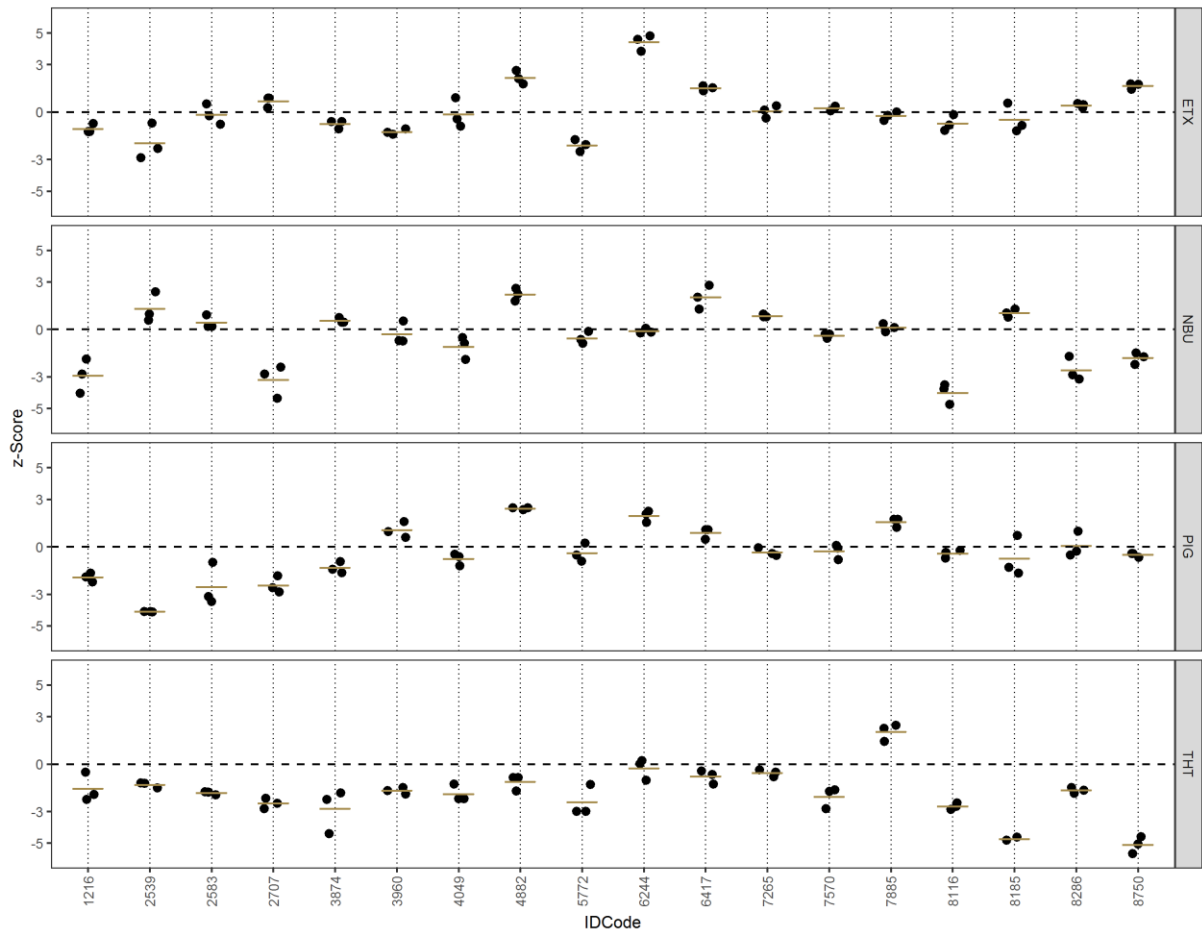




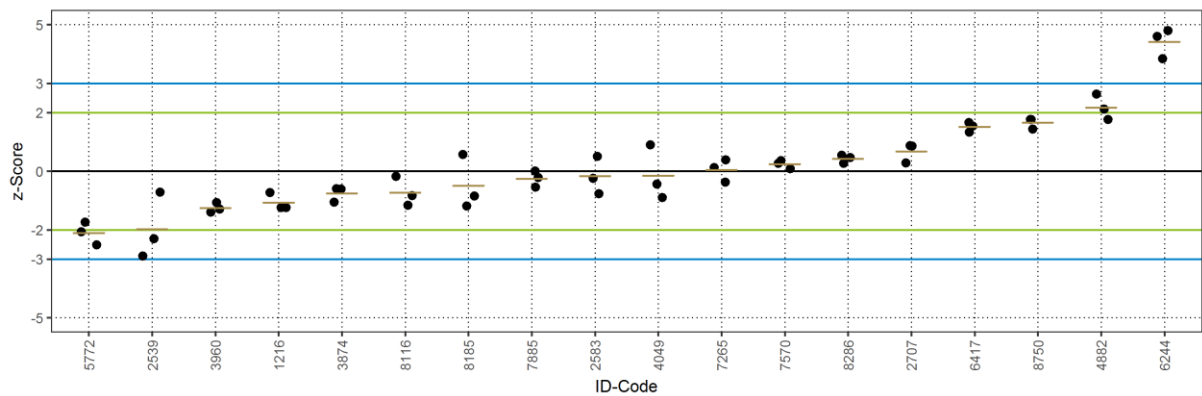


### 5.1.3 Stoffbereich 0

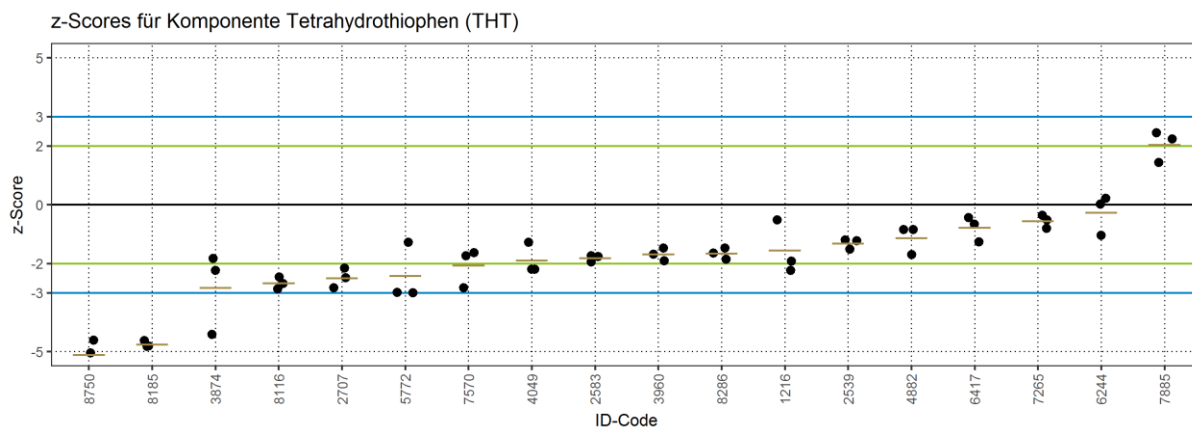
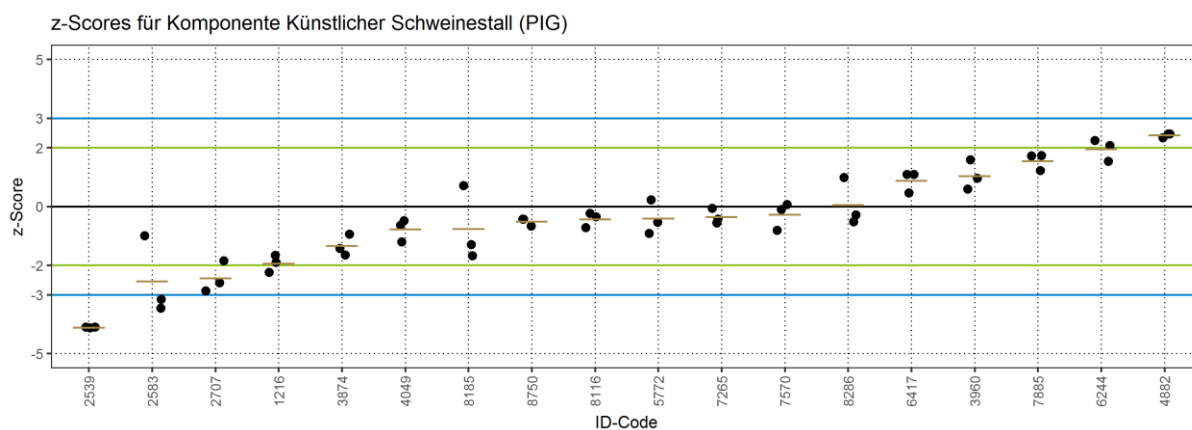
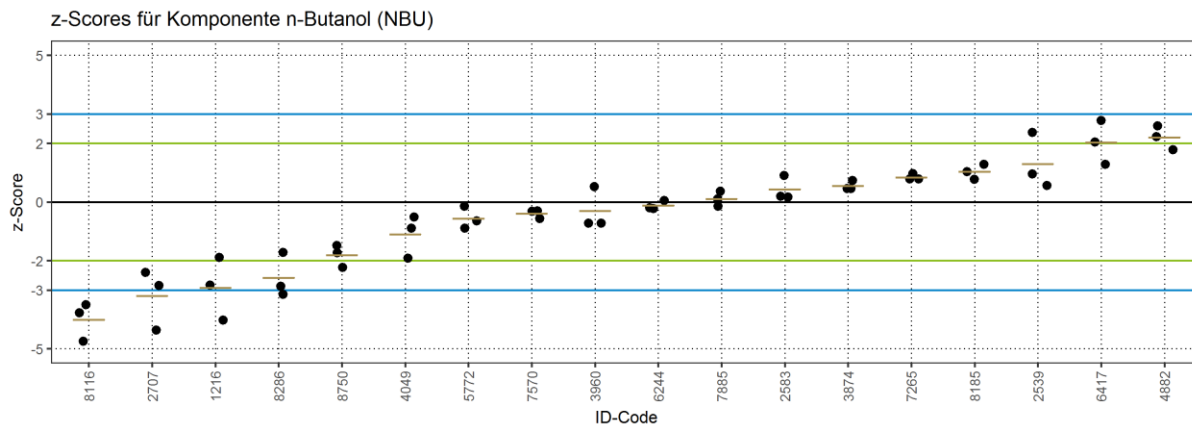
z-Scores nach ID-Codes und Komponenten



z-Scores für Komponente Lösungsmittelgemisch (ETX) (ETX)



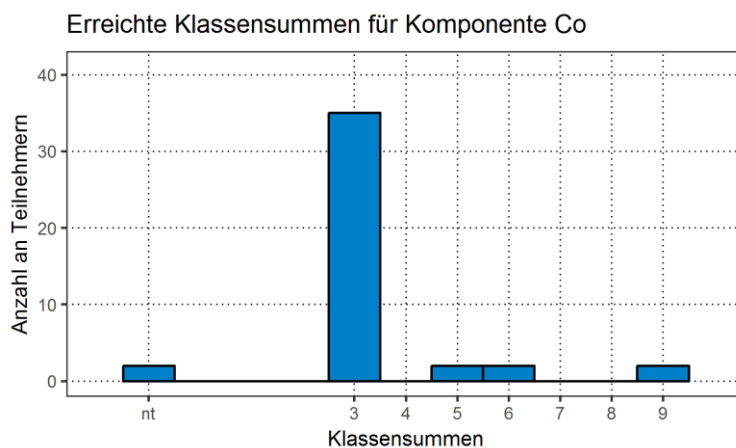
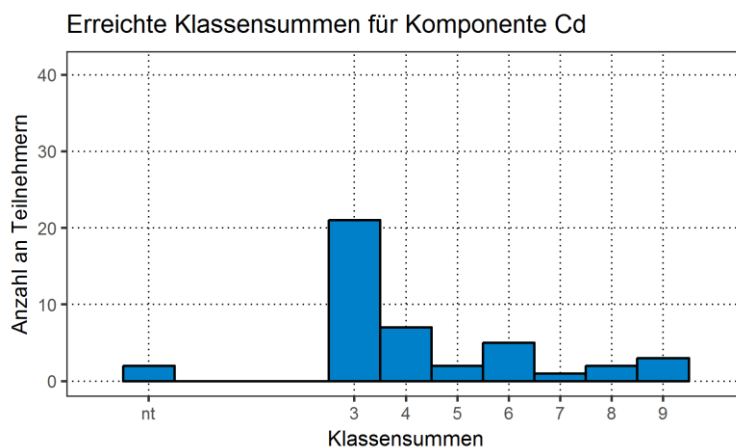
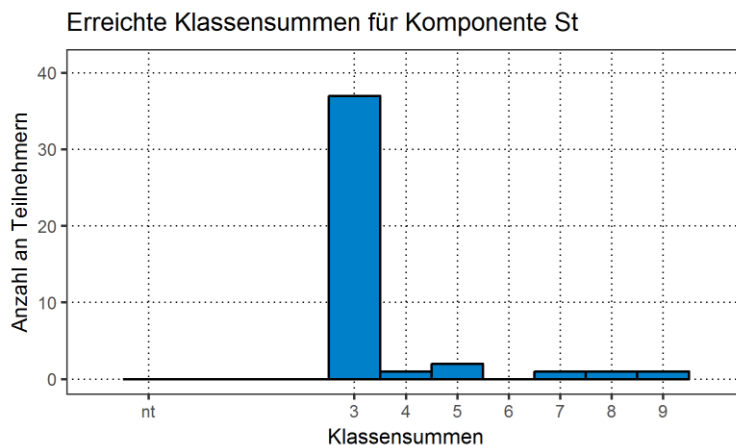


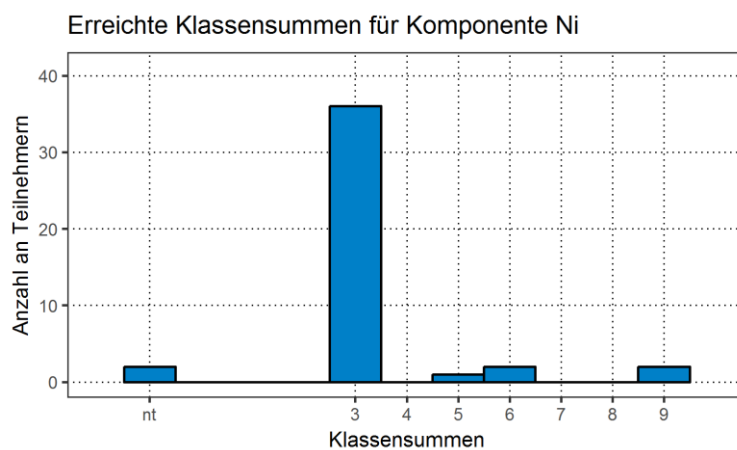
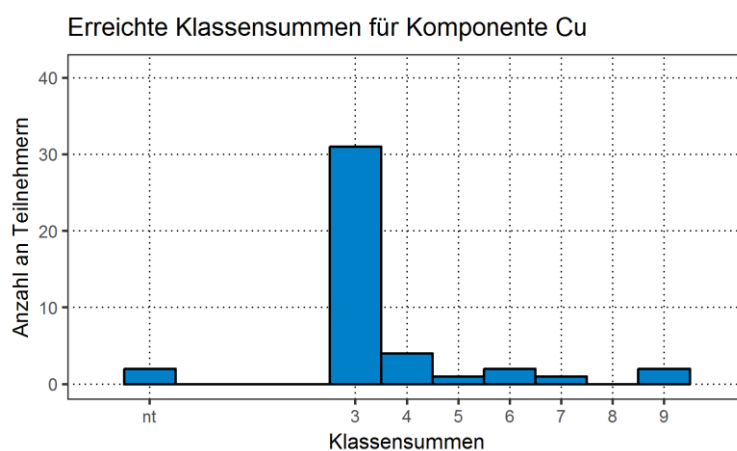
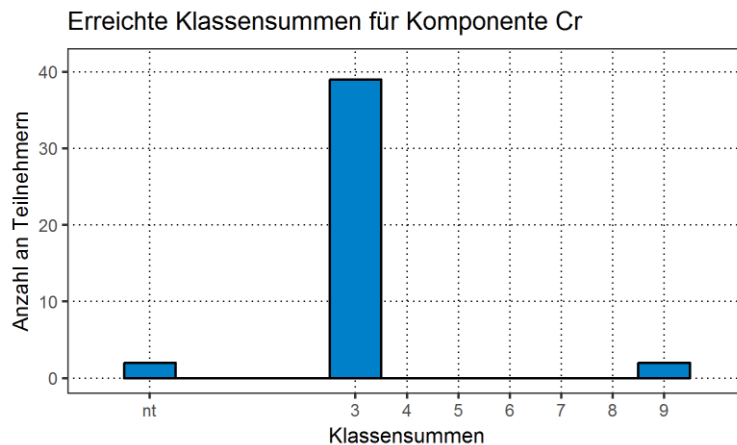


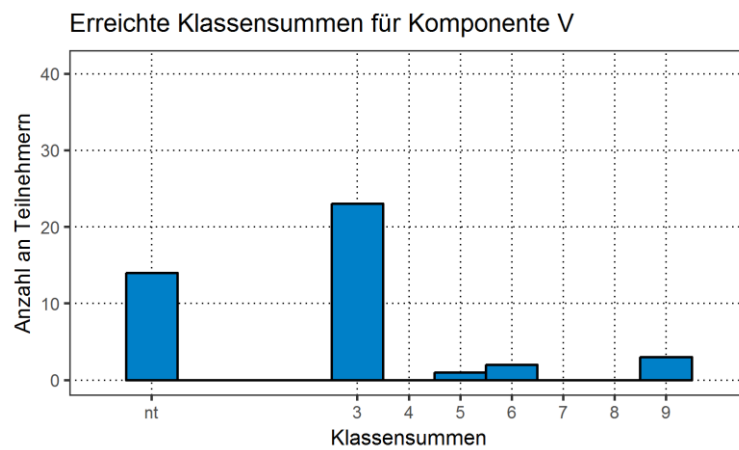
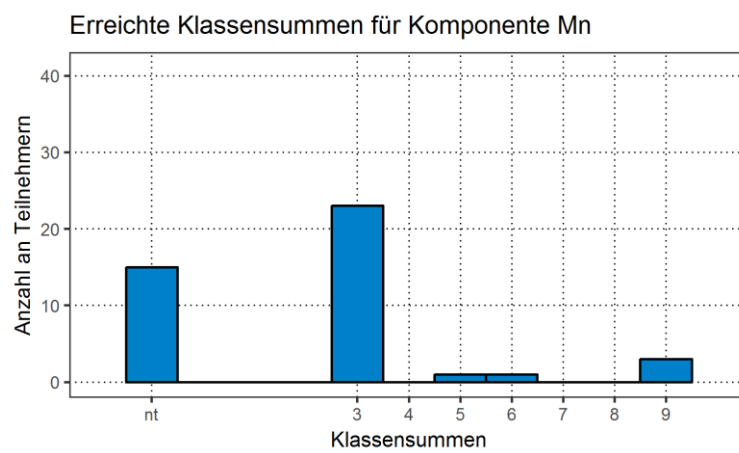
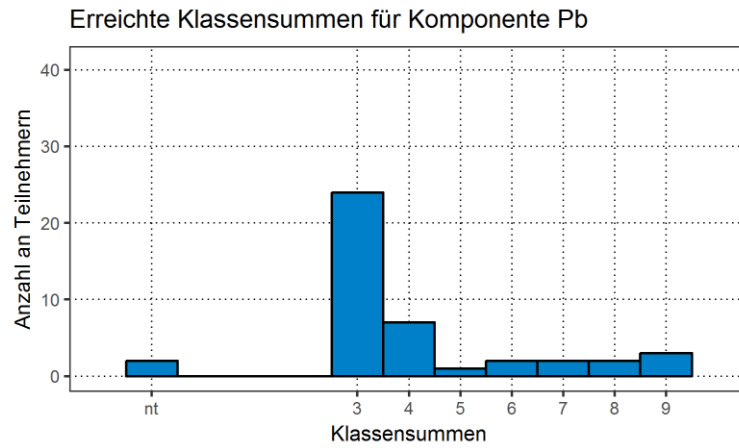
## 5.2 Erreichte Klassensummen

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.

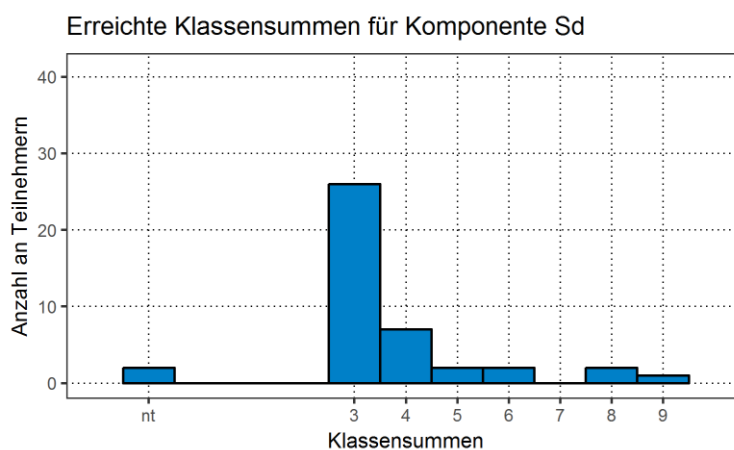
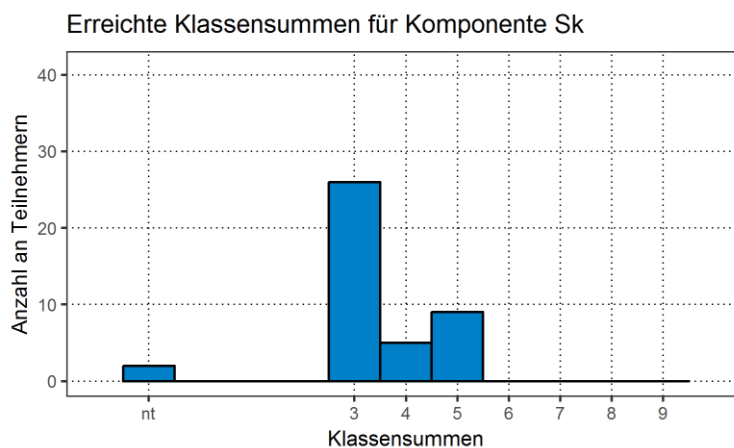
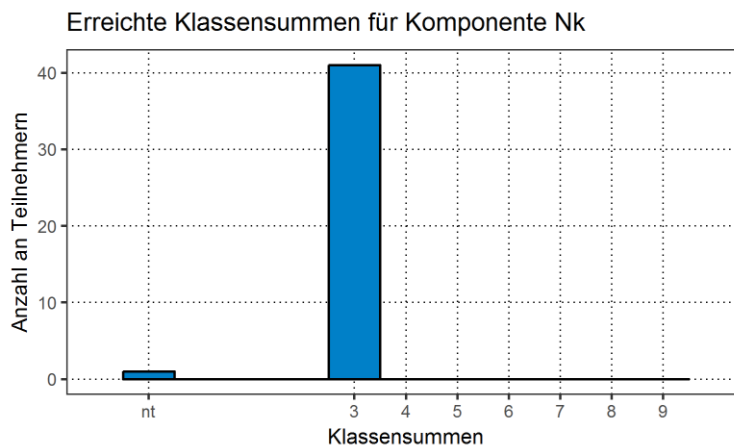
## 5.2.1 Stoffbereich P

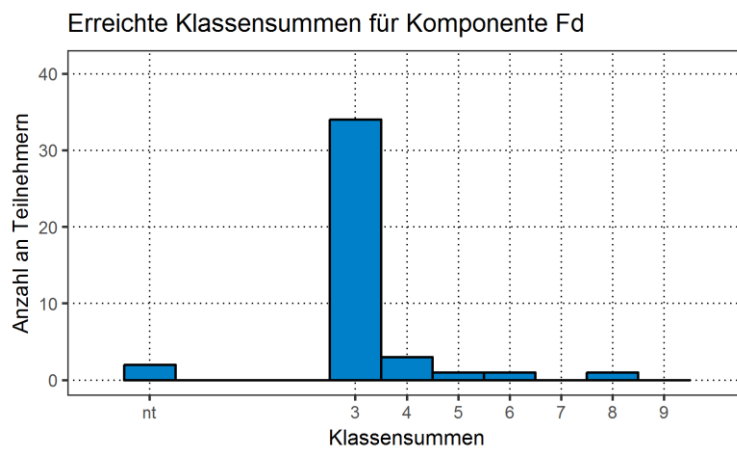
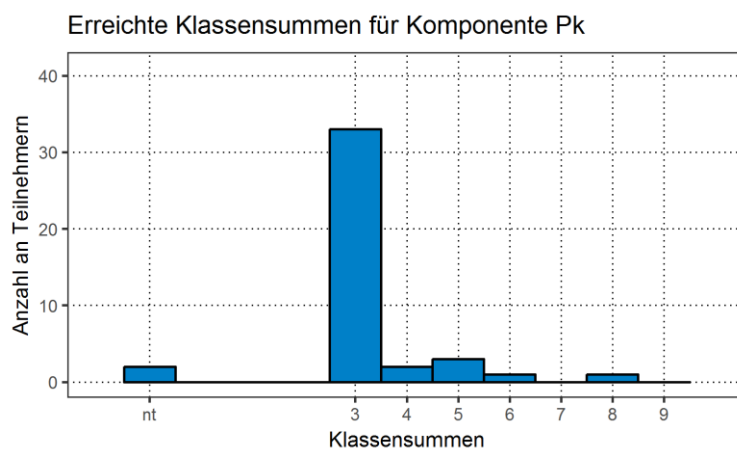
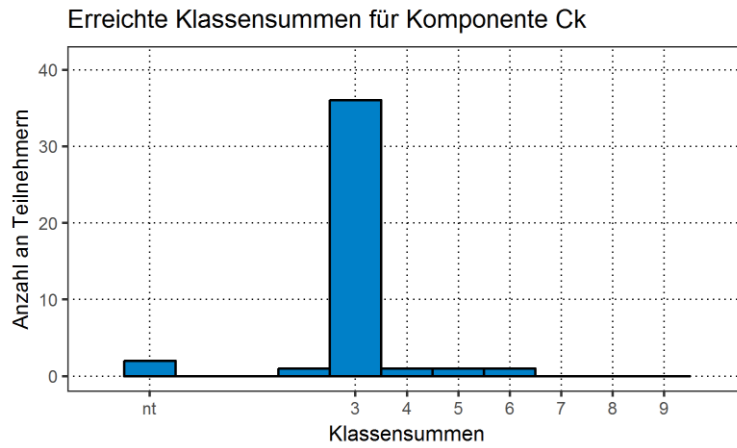


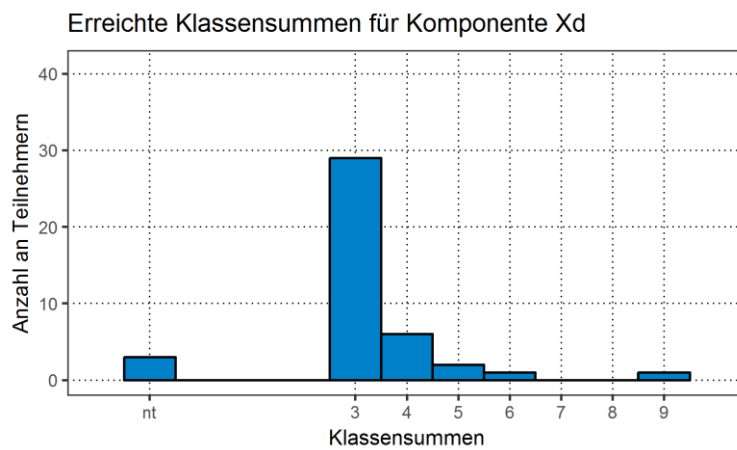
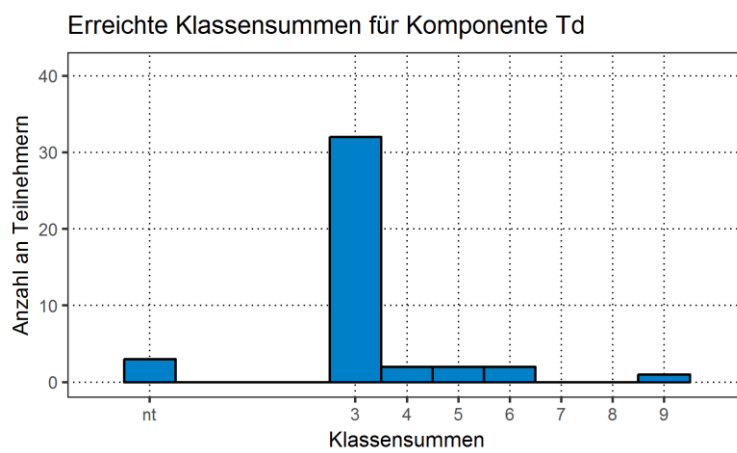
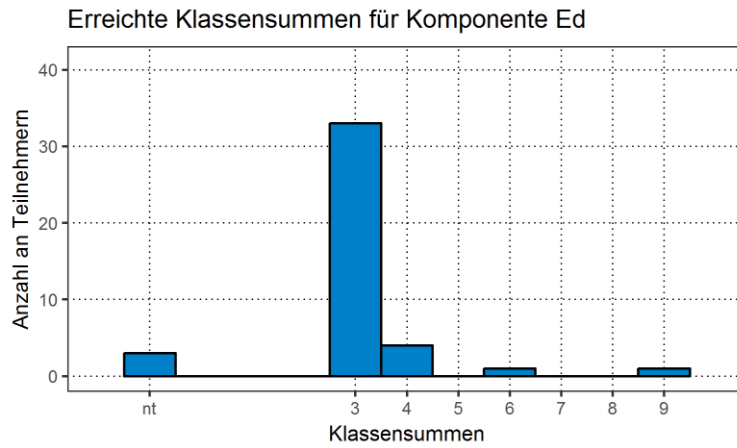




## 5.2.2 Stoffbereich G

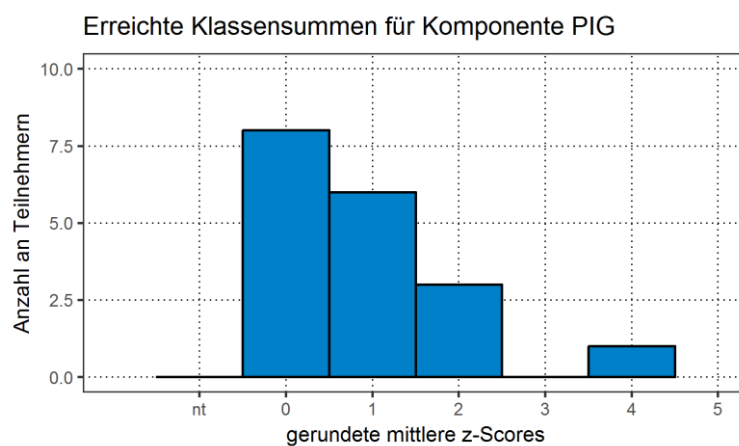
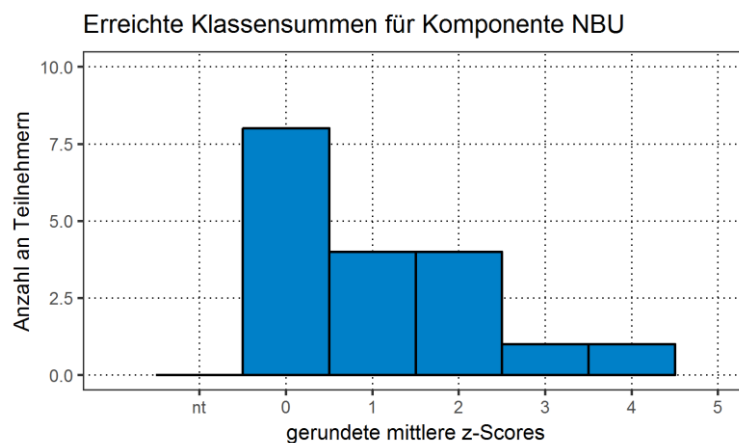
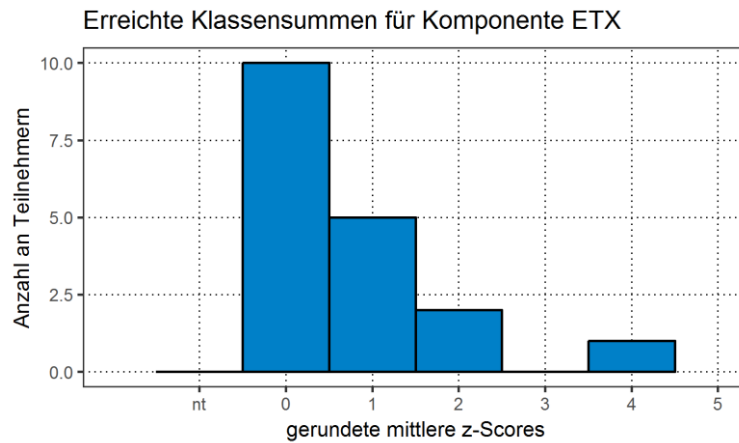




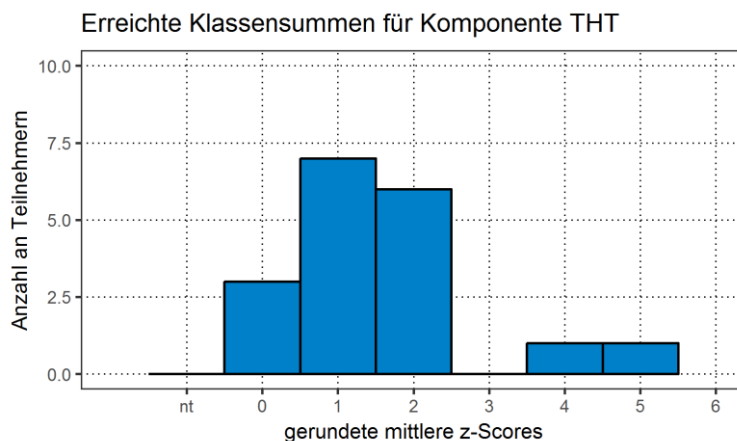


### 5.2.3 Stoffbereich O

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 gerundet.





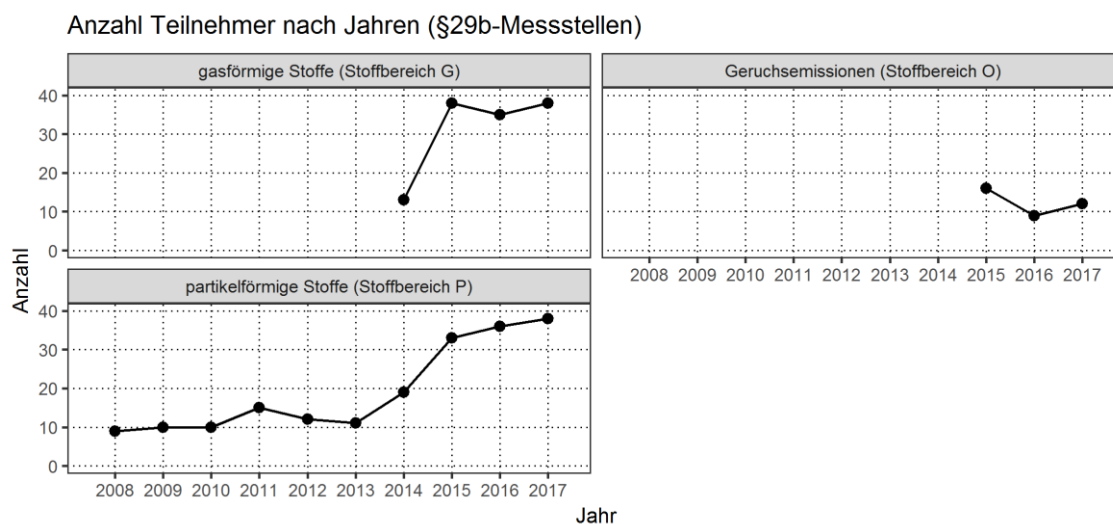
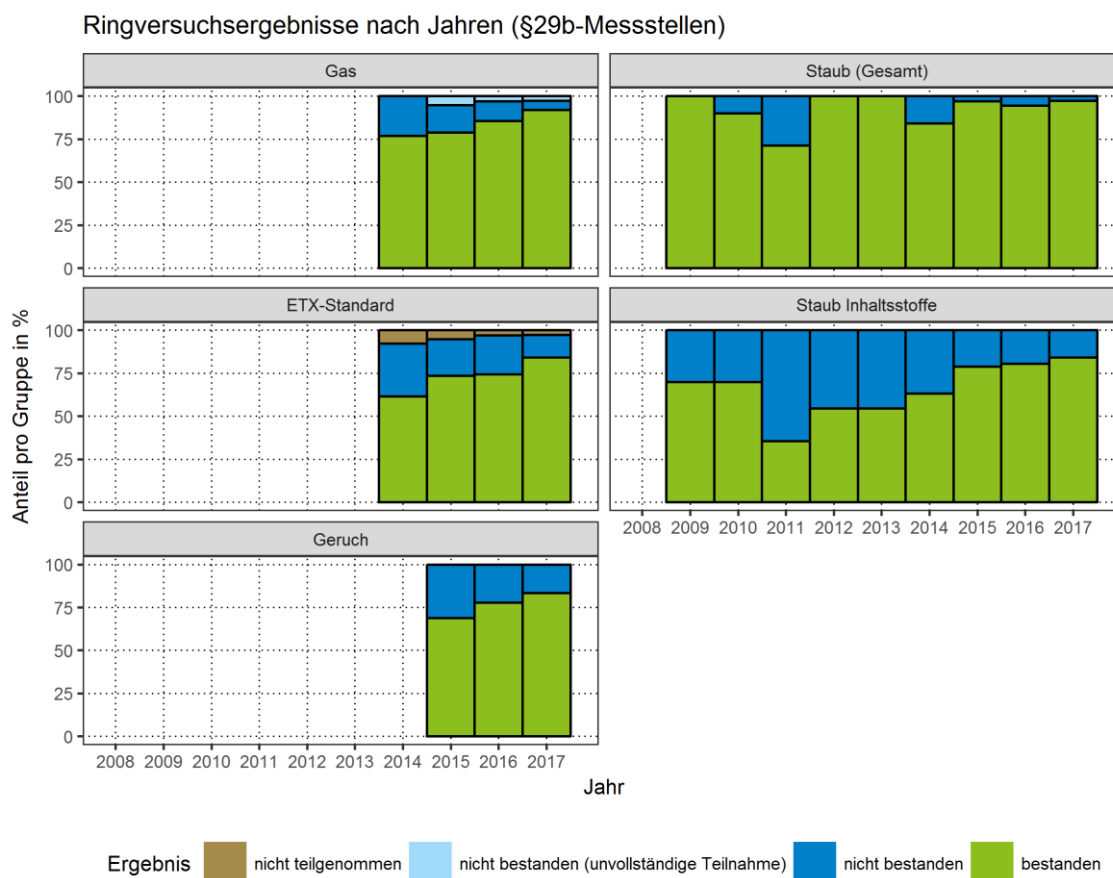


### 5.3 Auflistung der Ergebnisse

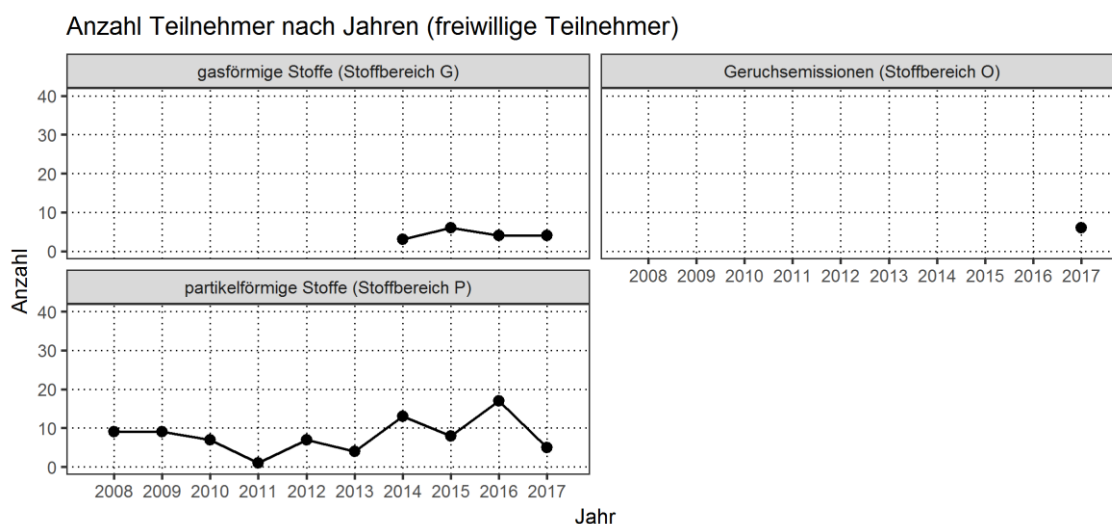
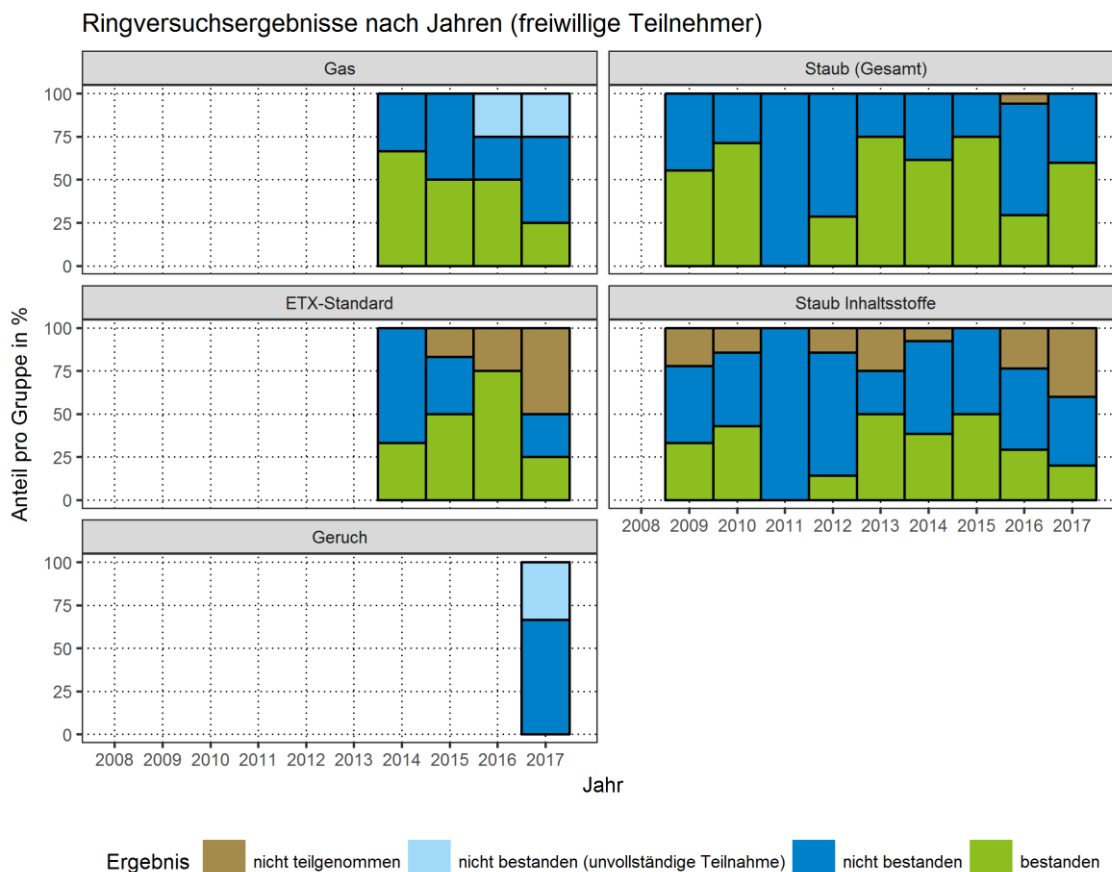
An der Komponentengruppe Staub Inhaltsstoffe nahmen 43 Institute teil. 33 davon bestanden diesen Ringversuchsteil. An der Komponentengruppe Staub (Gesamt) nahmen 43 Institute teil. 40 davon bestanden diesen Ringversuchsteil. An der Komponentengruppe Staub Inhaltsstoffe Nachanalyse nahmen 6 Institute teil. 3 davon bestanden diesen Ringversuchsteil. An der Komponentengruppe Gas nahmen 42 Institute teil. 36 davon bestanden diesen Ringversuchsteil.

Auf eine Aufschlüsselung der Ergebnisse nach Ringversuchen muss an dieser Stelle leider verzichtet werden. Da den Teilnehmern eines Ringversuchs die Identität der übrigen Teilnehmer bekannt ist, könnten Teilnehmer bei einer Aufschlüsselung der Ergebnisse nach Ringversuchen mit einem gewissen Aufwand den ID-Code eines anderen Teilnehmers ohne dessen Wissen oder Einwilligung in Erfahrung bringen. Um dies auszuschließen, wurde das HLNUG seitens der DAkkS aufgefordert, in öffentlichen Berichten keine Verbindung zwischen Ergebnissen, ID-Codes und Ringversuchen herzustellen.

## 6. Interpretation



Beim Gasringversuch ist zu beachten dass sich das Bewertungsschema im Jahr 2014 grundlegend geändert hat. In den Diagrammen in diesem Bericht sind nur die Teilnahmen nach dem neuen Regelwerk dargestellt, ältere Teilnahmen werden nicht berücksichtigt.



**Tabelle 3: 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<br>bestanden | nicht bestanden<br>(unvollst. TN) | nicht<br>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                  | -                                 | -                     |

**Tabelle 4: Tabellarische Übersicht seit 2015 (freiwillige Teilnehmer)**

| Jahr | Gruppe                          | bestanden | nicht<br>bestanden | nicht bestanden<br>(unvollst. TN) | nicht<br>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                  | -                                 | -                     |

## 6.1 Beurteilung der Messergebnisse

### §29b-Messstellen

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

Beim Staubringversuch befinden sich die Ergebnisse der 29b-Messstellen 2017 auf einem anhaltend hohen Niveau, 37 von 38 Teilnahmen (97%) waren beim Ringversuchsteil

Staub (Gesamt) erfolgreich. Bei den Staubinhaltsstoffen hält der positive Trend der letzten Jahre weiter an, diesen Ringversuchsteil haben 32 von 38 Teilnehmern (84%) auf Anhieb bestanden, weitere 3 Teilnehmer (8%) haben diesen Ringversuchsteil über die Nachanalyse bestanden. Insgesamt waren damit 92% der Teilnahmen am Staubringversuch erfolgreich.

Den Gas-Emissionsringversuch haben 35 von 38 (92%) der §29b-Messtellen bestanden. Ein Teilnehmer (3%) hat lediglich deshalb nicht bestanden, weil er nicht alle Pflichtkomponenten gemessen hat (unvollständige Teilnahme). Die Analyse des ETX-Standards haben 32 von 37 (86%) der §29b-Messtellen erfolgreich absolviert, eine Messstelle hat auf eine Teilnahme an dieser Analyse verzichtet.

Die Ergebnisse der §29b-Messtellen an den Geruchsringversuchen sind mit den Ergebnissen des Vorjahres vergleichbar. Den Geruchsringversuch haben 10 von 12 Teilnehmern (83%) bestanden.

### **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. 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. Im Jahr 2017 gab es beim Gasringversuch 4 Teilnehmer, beim Staubringversuch 5. Beim Geruchsringversuch gab es erstmals überhaupt freiwillige Teilnehmer.

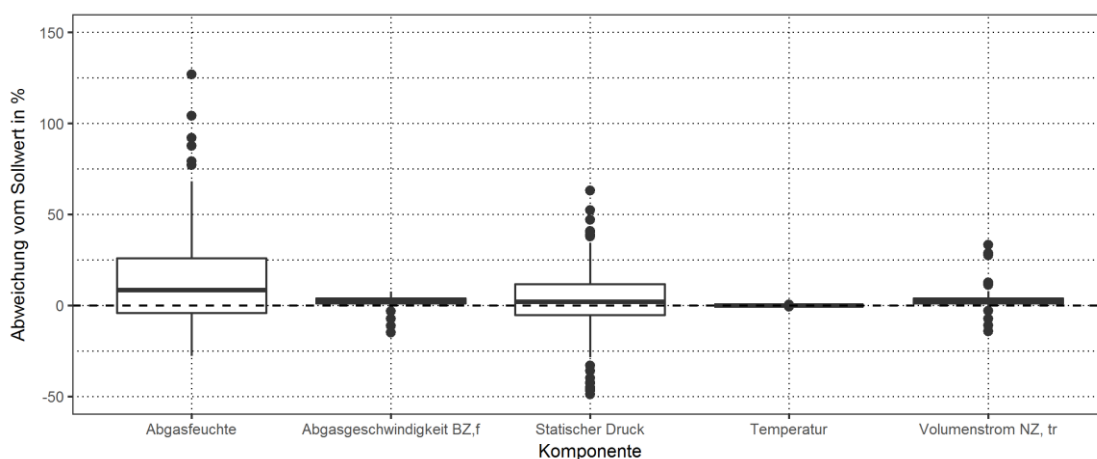
Beim Ringversuchsteil Staub (Gesamt) waren 2017 insgesamt 3 von 5 Teilnahmen (60%) erfolgreich. Bei den Staubinhaltsstoffen hat einer von 3 Teilnehmern (33%) bestanden, während 2 Teilnehmer an diesem Ringversuchsteil nicht teilnahmen. Ein freiwilliger Teilnehmer hat erfolglos an der Nachanalyse teilgenommen. Insgesamt war eine (20%) der 5 freiwilligen Teilnahmen am Staubringversuch erfolgreich.

Beim Gasringversuch hat einer von 4 (25%) der freiwilligen Teilnehmer den Ringversuch bestanden, wobei ein Teilnehmer lediglich deshalb nicht bestanden hat, weil er nicht alle Pflichtkomponenten gemessen hat (unvollständige Teilnahme). Die Analyse des ETX-Standards hat einer von 2 (50%) der freiwilligen Teilnehmer erfolgreich absolviert, 2 Labore haben auf eine Teilnahme an dieser Analyse verzichtet.

Bei den Geruchsringversuchen gab es insgesamt 6 freiwillige Teilnehmer, von denen keiner als „erfolgreich“ bewertet wurde. Dabei muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass 2 (33%) dieser freiwilligen Teilnehmer zwar akzeptable Messergebnisse erzielt haben, aber die Anforderungen an Ringversuche gemäß 41. BImSchV nicht erfüllt haben, da die Olfaktometrie nicht gemäß VDI 3880 erfolgte. Die Ergebnisse dieser freiwilligen Teilnehmer sind somit nicht mit den übrigen Teilnehmern vergleichbar, die Teilnahmen wurden als „unvollständige Teilnahme“ eingestuft und waren nicht „erfolgreich“ im Sinne der 41. BImSchV.

## 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 2017. 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, welche für die Ergebnisabgabe verbindlich vorgegeben ist.



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 5: Absolutwerte der relativen Abweichungen vom Sollwert für Randbedingungen**

|                  | Absolute Temperatur [%] | Wasserdampf [%] | Statischer Druck [%] | Strömungsgeschw. [%] | Volumenstrom [%] |
|------------------|-------------------------|-----------------|----------------------|----------------------|------------------|
| 75. Perzentil    | 0,18                    | 26,72           | 20,25                | 3,87                 | 4,08             |
| Median           | 0,10                    | 11,98           | 7,14                 | 2,55                 | 2,53             |
| 25. Perzentil    | 0,03                    | 5,62            | 4,16                 | 1,41                 | 1,48             |
| Anzahl der Werte | 207                     | 203             | 196                  | 200                  | 210              |

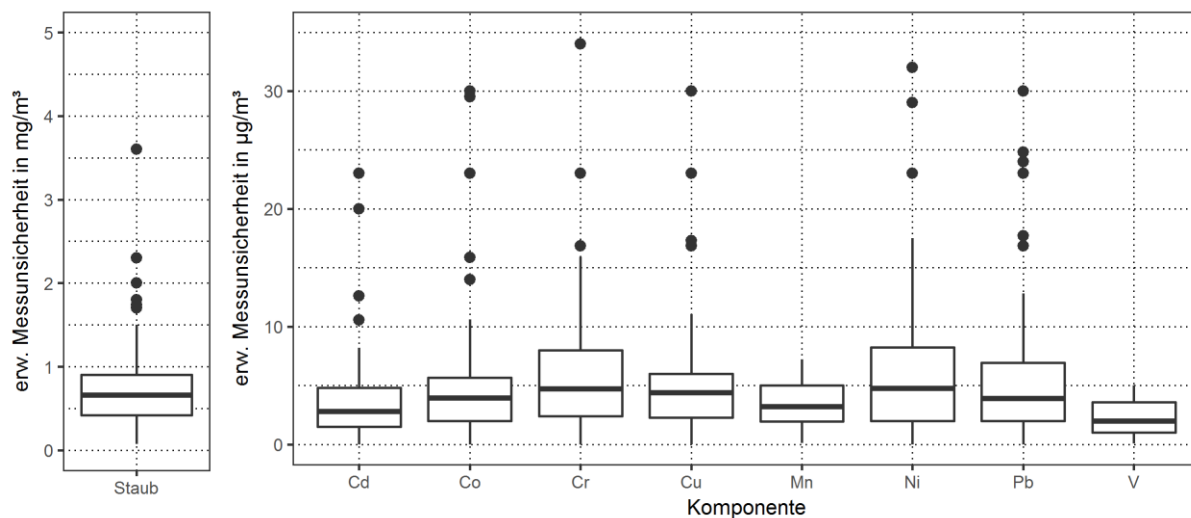
### 6.3 Freiwillige Angaben der Teilnehmer

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 und 2017.

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 Sollwert.

#### 6.3.1 Messunsicherheiten

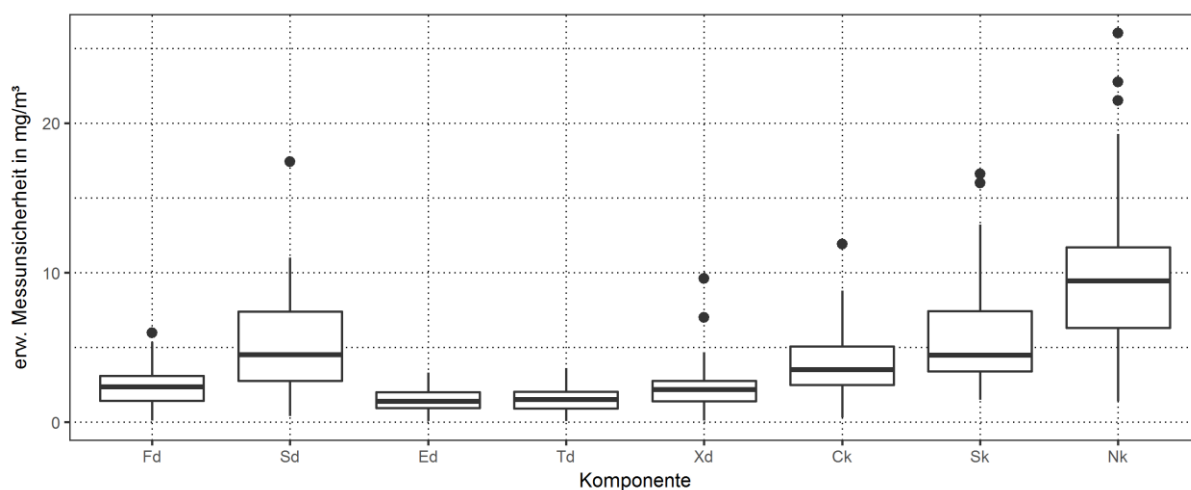
Die Angaben der Teilnehmer zu den absoluten erweiterten Messunsicherheiten ihrer beim Staubringversuch eingesetzten Verfahren sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Der Median der jeweiligen Angaben sowie das 25. und das 75. Perzentil sind in der folgenden Tabelle aufgelistet. Diese Angaben sind 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 6: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Staubringversuch**

|                  | Staub<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Cd<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | Co<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | Cr<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | Cu<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | Mn<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | Ni<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | Pb<br>[µg/m <sup>3</sup> ] | V<br>[µg/m <sup>3</sup> ] |
|------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 75. Perzentil    | 0,91                          | 4,83                       | 5,66                       | 8,00                       | 6,00                       | 5,00                       | 8,24                       | 6,92                       | 3,59                      |
| Median           | 0,66                          | 2,81                       | 3,96                       | 4,72                       | 4,40                       | 3,23                       | 4,79                       | 3,94                       | 2,00                      |
| 25. Perzentil    | 0,42                          | 1,50                       | 2,00                       | 2,40                       | 2,27                       | 1,95                       | 2,00                       | 2,00                       | 1,00                      |
| Anzahl der Werte | 61                            | 49                         | 49                         | 49                         | 49                         | 17                         | 49                         | 48                         | 15                        |

Für den Gasringversuch wurden die folgend dargestellten Werte angegeben.





**Tabelle 7: Angaben der Teilnehmer zu ihren erweiterten Messunsicherheiten im Gasringversuch**

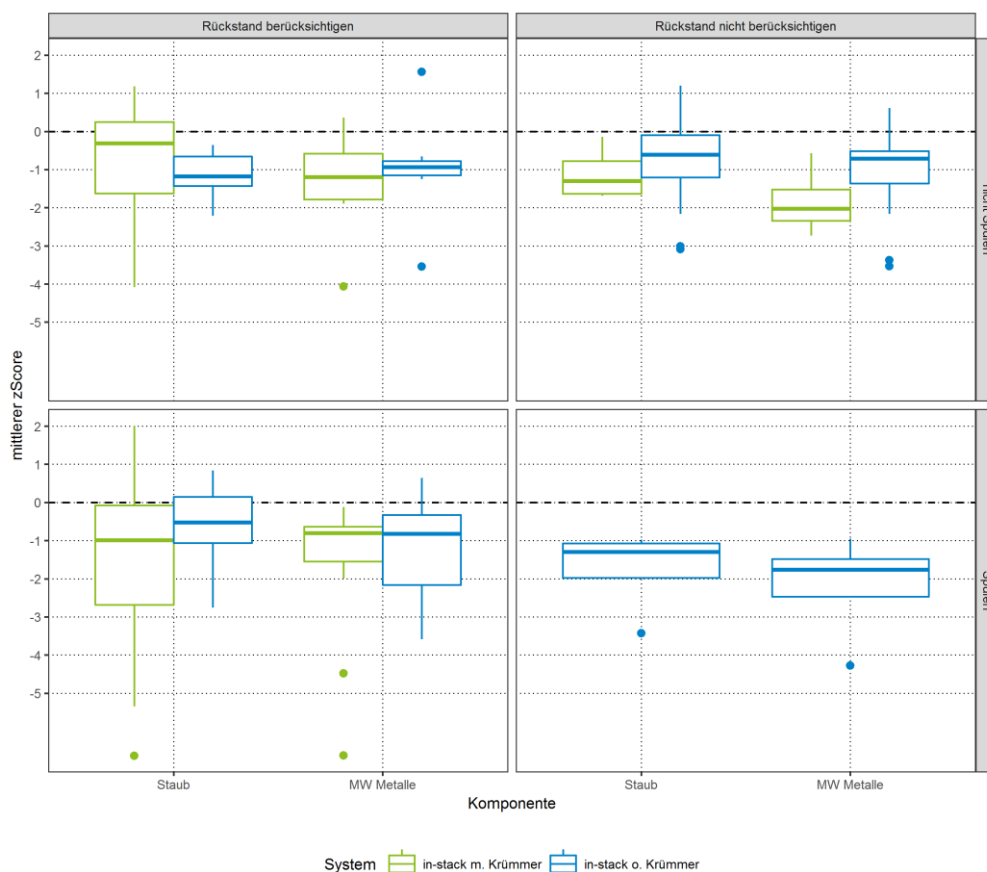
|                     | Formal-<br>dehyd<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub><br>(disk.)<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Ethyl-<br>benzol<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Toluol<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Summe<br>Xylole<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | Gesamt-<br>C<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | SO <sub>2</sub><br>(kont.)<br>[mg/m <sup>3</sup> ] | NO <sub>x</sub> ang.<br>als NO <sub>2</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] |
|---------------------|--|--|--|--------------------------------|---|--------------------------------------|--|---|
| 75. Perzentil       | 3,10                                     | 7,40   | 2,00                                     | 2,04                           | 2,78                                    | 5,08                                 | 7,43   | 11,71   |
| Median              | 2,36                                     | 4,53   | 1,40                                     | 1,53                           | 2,20                                    | 3,53                                 | 4,50   | 9,45  |
| 25. Perzentil       | 1,44                                     | 2,75   | 0,96                                     | 0,92                           | 1,40                                    | 2,50                                 | 3,40   | 6,30  |
| Anzahl der<br>Werte | 48                                       | 51   | 49                                       | 49                             | 49                                      | 50                                   | 46   | 52  |

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.

### 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 und 2017 und ist damit deutlich größer als im Bericht zum Vorjahr. Die Auswertungen zu 3 der 7 Kombinationen aus Sondensystem und Spülprozedur basieren inzwischen auf einer relativ soliden Datenmenge, die Aussagen zu den übrigen 4 Kombinationen sind vergleichsweise unsicher.



**Tabelle 8: Korrelation von Staub-Messergebnissen mit Sondensystemen und Spülprozedur**

| Kombi-<br>nation | Sondensystem und Spülprozedur   | Median mittl.<br>z-Scores<br>Gesamtstaub-<br>Ergebnisse | Anzahl der<br>Teilnehmer | Median mittl.<br>z-Scores<br>Schwermetall-<br>Ergebnisse | Anzahl der<br>Teilnehmer |
|------------------|---|---|--------------------------|--|--------------------------|
| 1                | In-stack-Sonde ohne Krümmer,<br>Spülen nach jeder Probenahme,<br>Spülrückstände berücksichtigt                              | -0,52   | 15                       | -0,82  | 14                       |
| 2                | In-stack-Sonde ohne Krümmer,<br>Spülen nach jeder Probenahme,<br>Spülrückstände <b>nicht</b> berücksichtigt                 | -1,30   | 4                        | -1,76  | 4                        |
| 3                | In-stack-Sonde ohne Krümmer,<br><b>kein</b> Spülen nach jeder Probenahme,<br>Spülrückstände berücksichtigt                  | -1,18   | 7                        | -0,94  | 8                        |
| 4                | In-stack-Sonde ohne Krümmer,<br><b>kein</b> Spülen nach jeder Probenahme,<br>Spülrückstände <b>nicht</b> berücksichtigt     | -0,61   | 25                       | -0,71  | 24                       |
| 5                | In-stack-Sonde mit Schwanenhals,<br>Spülen nach jeder Probenahme,<br>Spülrückstände berücksichtigt                          | -0,99   | 17                       | -0,80  | 13                       |
| 6                | In-stack-Sonde mit Schwanenhals,<br><b>kein</b> Spülen nach jeder Probenahme,<br>Spülrückstände berücksichtigt              | -0,31   | 7                        | -1,20  | 7                        |
| 7                | In-stack-Sonde mit Schwanenhals,<br><b>kein</b> Spülen nach jeder Probenahme,<br>Spülrückstände <b>nicht</b> berücksichtigt | -1,30   | 4                        | -2,02  | 4                        |

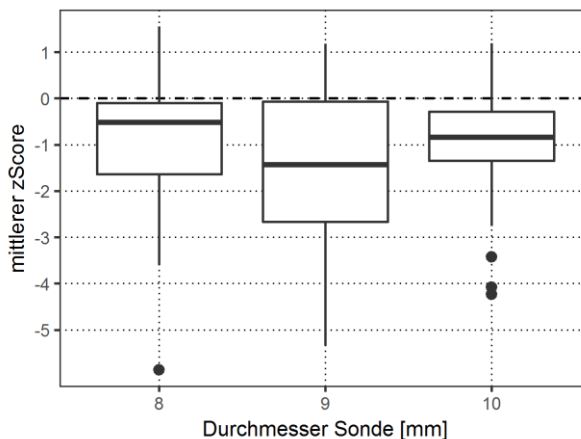
Die Angaben der Teilnehmer deuten darauf hin, dass die besten Ergebnisse für Gesamtstaub im Ringversuch bei Verwendung einer der drei folgenden Kombinationen erhalten werden. Die insgesamt besten Ergebnisse werden offenbar erzielt bei Verwendung einer in-stack-Sonde ohne Krümmer, wenn die Sonde nach jeder Probenahme gespült wird und die so gewonnenen Spülrückstände im Messergebnis berücksichtigt werden (Kombination 1). Diese Prozedur liefert für Gesamtstaub im Mittel Ergebnisse, die relativ nahe am Sollwert liegen und vergleichsweise wenig streuen. Die Abweichungen bei den Schwermetallen streuen hier etwas stärker, zeigen aber im Mittel ebenfalls sehr geringe Abweichungen. 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), führt zu vergleichbaren Ergebnissen bei etwas höherer Streuung. Damit vergleichbare Abweichungen mit ähnlicher Streuung werden bei der Bestimmung von Schwermetallkonzentrationen erzielt, wenn eine Sonde mit Schwanenhals eingesetzt wird, diese nach jeder Probenahme gespült wird und die Spülrückstände im Messergebnis berücksichtigt werden (Kombination 5). Die Messwerte für die Gesamtstaubkonzentrationen zeigen hier allerdings eine deutliche Tendenz zu Minderbefunden bei einer sehr hohen Streuung der Messwerte.

Die bereits beschriebenen drei Kombinationen wurden alle von jeweils 13 bis 25 Teilnehmern angegeben. Die folgenden vier Kombinationen wurden nur von jeweils 4 bis 8 Teilnehmern genannt, die Aussagen dazu sind entsprechend weniger belastbar.

Deutlich schlechtere Ergebnisse als bei den bislang betrachteten Kombinationen 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). Damit dürfte gemeint sein, dass z. B. nur arbeitstäglich gespült wurde und die Rückstände anteilig auf die bis dahin durchgeführten Probenahmen verteilt wurden. Wenig überraschend ist, dass deutliche Minderbefunde 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). Vergleichbar schlechte Resultate erzielten Teilnehmer, die eine in-stack-Schwanenhals-Sonde verwenden, und auf das Spülen verzichten (Kombination 7). 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). Hier werden offenbar im Mittel die besten Ergebnisse für Gesamtstaub erzielt. Allerdings streuen hier auch die Werte mit am stärksten, und die Ergebnisse für die Schwermetalle fallen auch eher unterdurchschnittlich aus.

### 6.3.3 Durchmesser der Sondenöffnung bei Staubbmessungen

Die Angaben der Teilnehmer zum verwendeten Durchmesser der Sondenöffnung lassen keinen eindeutigen Trend erkennen. Unabhängig vom Durchmesser scheinen die Messwerte für die Gesamtstaub-Konzentration stets über einen weiten Bereich zu streuen.



Sondendurchmesser, die lediglich von 3 oder weniger Teilnehmern genannt wurden, sind hier nicht aufgeführt. In der folgenden Tabelle wurden die Werte basierend auf den Absolutwerten der z-Scores ausgewertet.

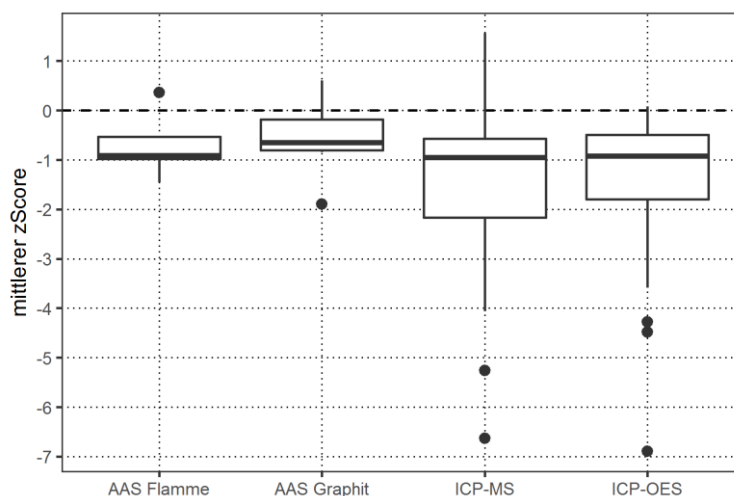
**Tabelle 9: Korrelation der Absolutwerte der mittleren z-Scores mit dem Sondendurchmesser**

| Durchmesser der Sondenöffnung | 8 mm | 9 mm | 10 mm |
|-------------------------------|------|------|-------|
| 75. Perzentil                 | 1,63 | 2,66 | 1,35  |
| Median                        | 0,83 | 1,43 | 0,91  |
| 25. Perzentil                 | 0,26 | 1,19 | 0,37  |
| Anzahl der Werte              | 21   | 6    | 52    |

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.

### 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 11 Teilnehmer gaben an, die Schwermetallanalytik mittels AAS-Geräten durchzuführen (davon 5 Flamme und 6 Graphitrohren). 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.



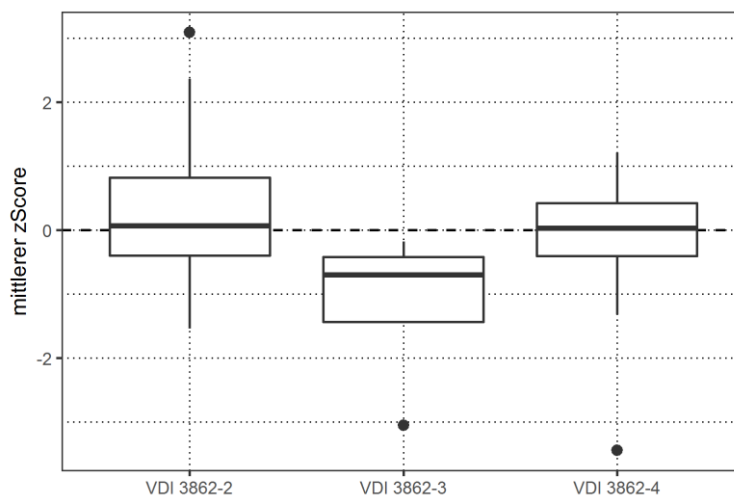
**Tabelle 10: Korrelation von Schwermetall-Messergebnissen mit den verwendeten Analysegeräten**

| Messgerät        | Flammen-AAS | Graphitrohr-AAS | ICP-MS | ICP-OES |
|------------------|-------------|-----------------|--------|---------|
| 75. Perzentil    | -0,53       | -0,19           | -0,57  | -0,49   |
| Median           | -0,91       | -0,65           | -0,95  | -0,92   |
| 25. Perzentil    | -0,98       | -0,81           | -2,17  | -1,80   |
| Anzahl der Werte | 5           | 6               | 41     | 26      |

Bei dieser Korrelation gilt selbstverständlich – wie übrigens auch bei allen anderen in diesem Bericht dargestellten Korrelationen – 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 AAS-Gerät verwenden, zufällig noch andere Gemeinsamkeiten haben, die sich tatsächlich auf die Messergebnisse auswirken, während das Analysengerät eigentlich gar keine Rolle spielt.

### 6.3.5 Formaldehyd

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



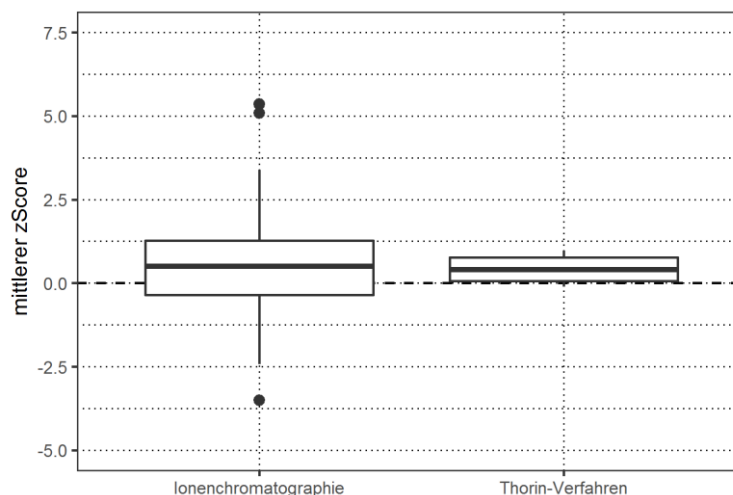
**Tabelle 11: Korrelation von Formaldehyd-Messergebnissen mit den verwendeten Richtlinien**

| Verwendete Richtlinie                    | Median mittlere z-Scores Formaldehyd-Ergebnisse | Anzahl der Teilnehmer |
|--|---|-----------------------|
| VDI 3862 Blatt 2<br>(DNPH Waschflaschen) | 0,07  | 43                    |
| VDI 3862 Blatt 3<br>(DNPH Kartuschen)    | -0,70   | 4                     |
| VDI 3862 Blatt 4<br>(AHMT-Verfahren)     | 0,03  | 24                    |

Das DNPH-Waschflaschen-Verfahren liefert offenbar im Mittel vergleichbar gute Werte wie das AHMT-Verfahren, streut dafür aber über einen deutlich größeren Bereich. Die DNPH-Kartuschen-Methode wurde nur von 4 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:



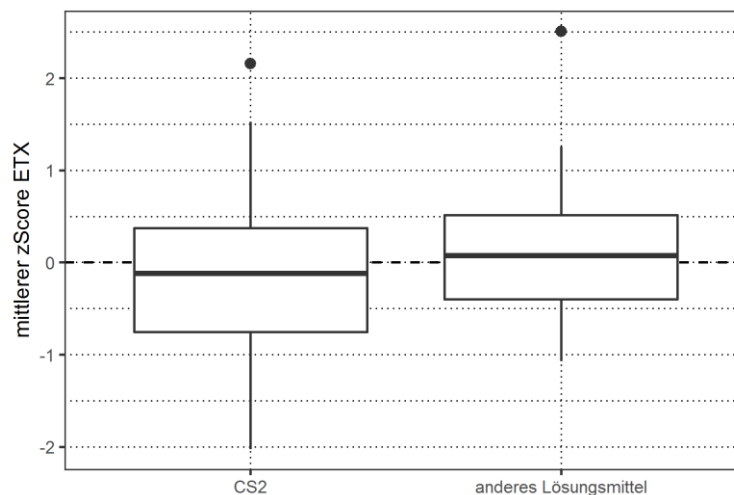
**Tabelle 12: Korrelation von Schwefeldioxid-Messergebnissen mit dem verwendeten Analyseverfahren**

| Verwendetes Verfahren | Median mittlere z-Scores disk. SO <sub>2</sub> -Ergebnisse | Anzahl der Teilnehmer |
|-----------------------|--|-----------------------|
| Ionenchromatographie  | 0,51   | 68                    |
| Thorin                | 0,70   | 5                     |

Die vorliegenden Ergebnisse lassen keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Verfahren vermuten, allerdings ist die Anzahl der Teilnehmer, die das Thorin-Verfahren anwenden, vergleichsweise klein.

### 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 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 dieser Teilnehmer liegen im Mittel nahe beim Sollwert, streuen aber auch relativ stark. Teilnehmer mit anderen Desorptionsmitteln erzielten etwas bessere Ergebnisse bei etwas geringerer Streuung.

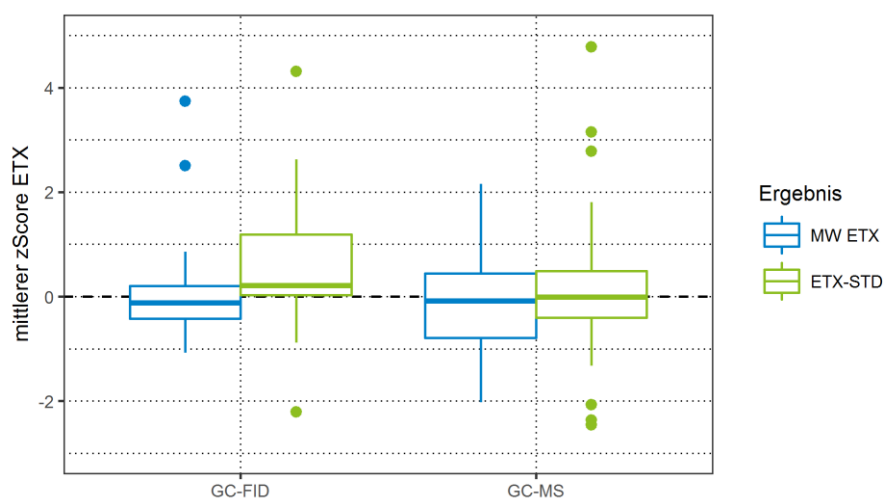


**Tabelle 13: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit dem Desorptions-Lösungsmittel**

| Bei Desorption verwendetes Lösungsmittel | Median mittlere z-Scores ETX-Ergebnisse | Anzahl der Teilnehmer |
|--|---|-----------------------|
| CS <sub>2</sub>                          | -0,12                                   | 59                    |
| Anderes Lösungsmittel                    | 0,03                                    | 10                    |

### 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:

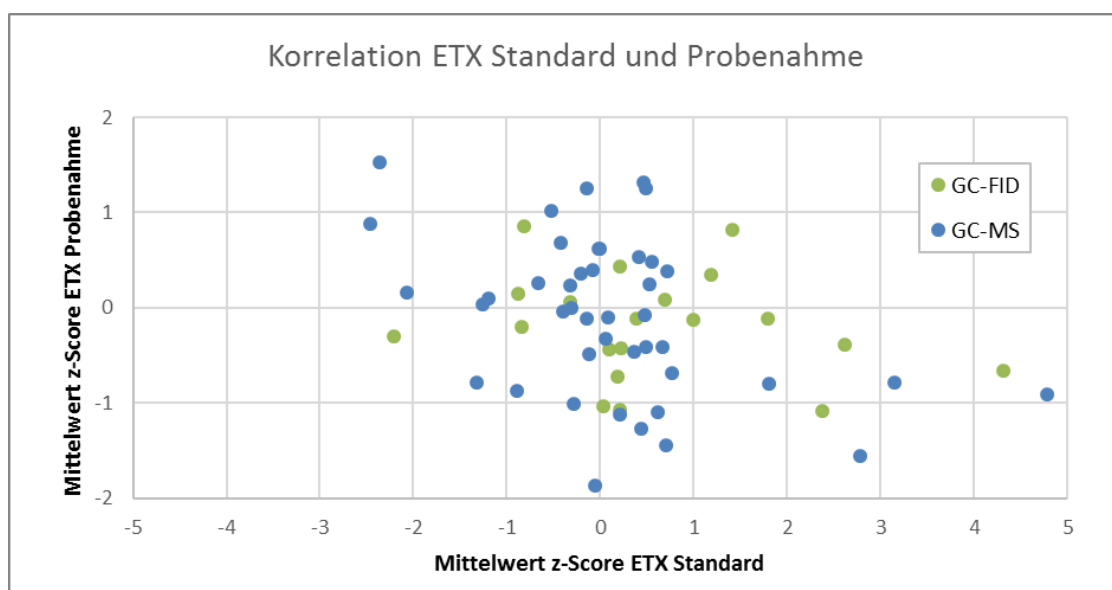




**Tabelle 14: Korrelation von ETX-Messergebnissen mit Analysengeräten**

| Analysegerät | Median mittlere z-Scores ETX mit Probenahme | Median mittlere z-Scores ETX Standard-Lösung | Anzahl der Teilnehmer |
|--------------|---|--|-----------------------|
| GC-FID       | -0,12                                       | 0,22   | 23                    |
| GC-MS        | -0,08                                       | -0,02  | 47                    |

Hier sind die Ergebnisse erstaunlich uneinheitlich. Für das Gesamtverfahren von Probenahme und Analytik erzielten die Teilnehmer mit beiden Detektor-Varianten vergleichbare Ergebnisse nahe am Sollwert, die Messwerte der GC-MS-Nutzer streuen hier allerdings etwas stärker als die der GC-FID-Nutzer. 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 eindeutigen 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 Gesamtverfahrens (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 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. Trotzdem liegen noch immer viele Messergebnisse weit außerhalb des akzeptablen Bereichs. Hier zeigt sich, dass die regelmäßige Teilnahme 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, 4. Mai 2018

*gez. J. Cordes*

---

Dr. Jens Cordes  
Fachlich Verantwortlicher  
Ringversuche

*gez. B. Stoffels*

---

Benno Stoffels  
Stellv. FV Ringversuche

*gez. D. Wildanger*

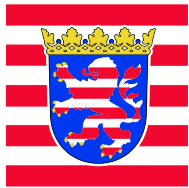
---

Dr. Dominik Wildanger  
Dezernatsleiter,  
Stellv. FV Ringversuche

## 8. Literaturverzeichnis

1. DIN ISO 13528:2009-01: Statistische Verfahren für Eignungsprüfungen durch Ringversuche (ISO 13528:2005); Text Deutsch und Englisch.
2. 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.
3. 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.
4. VDI 2066 Blatt 1 (2006-11): Messen von Partikeln - Staubmessungen in strömenden Gasen - Gravimetrische Bestimmung der Staubbeladung.
5. VDI 3862 Blatt 1 (1990-12): Messen gasförmiger Emissionen; Messen aliphatischer Aldehyde C1 bis C3 nach dem MBTH-Verfahren.
6. VDI 3862 Blatt 2 (2000-12): Messen gasförmiger Emissionen - Messen aliphatischer und aromatischer Aldehyde und Ketone nach dem DNPH-Verfahren - Gaswaschflaschen-Methode.
7. VDI 3862 Blatt 3 (2000-12): Messen gasförmiger Emissionen - Messen aliphatischer und aromatischer Aldehyde und Ketone nach dem DNPH-Verfahren - Kartuschen-Methode.
8. DIN EN 14791:2006-04: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Schwefeldioxid - Referenzverfahren; Deutsche Fassung EN 14791:2005.
9. 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.
10. DIN EN 13649:2002-05: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von einzelnen gasförmigen organischen Verbindungen - Aktivkohleadsorptions- und Lösemitteldesorptionsverfahren; Deutsche Fassung EN 13649:2001.
11. DIN EN 14792:2006-04: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration von Stickstoffoxiden NO<sub>x</sub> - Referenzverfahren: Chemilumineszenz; Deutsche Fassung EN 14792:2005.

HESSEN



Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Dezernat I3 – Luftreinhalteung, Emissionen

Ludwig-Mond-Straße 33  
34121 Kassel