

03.15

# Immissionsschutz

20. Jahrgang  
September 2015

[www.IMMISSIONSSCHUTZdigital.de](http://www.IMMISSIONSSCHUTZdigital.de)

Zeitschrift für Luftreinhaltung,  
Lärmschutz, Anlagensicherheit, Abfall-  
verwertung und Energienutzung

## Immissionsschutz

Der Beitrag der Holzverbrennung zur Feinstaubkonzentration in Berlin und Brandenburg

Erwiderung der Kritik von Schenk an AUSTAL2000 in Immissionsschutz 01/2015 – AUSTAL2000 ist verifiziert und validiert

Anwendungsbereich, Anforderungen und Einzelfragen der Lösemittelverordnung (31. BImSchV)

Kalibriergase als elementarer Bestandteil der Luftgütemessung

Umsetzung der IED in der Zementindustrie:  
Die rohstoffbedingte Ausnahme für Ammoniak im Spannungsfeld der aktuellen Technikediskussion zur NO<sub>x</sub>-Minderung

# Kalibriergase als elementarer Bestandteil der Luftgütemessung

Dr. Sabrina Böhler, Peter Adam



**Dr. Sabrina Böhler** ist innerhalb der Marktentwicklung Spezialgase der Linde AG in Deutschland für den Bereich Umwelt tätig.



**Peter Adam** ist für Produkt- und Anwendungsentwicklung im Bereich der Spezialgase der Linde AG verantwortlich.

**Rund um den Globus werden verschiedenste Messnetze zur Messung von Luftschadstoffen betrieben. Ob es sich um ein globales Programm zur Langzeitbeobachtung der Erdatmosphäre handelt oder um ein nationales Messnetz zur Überwachung festgelegter Grenzwerte – allen Messungen ist eines gemeinsam: Die Messergebnisse müssen vergleichbar sein. Die Qualität einer guten Messung beginnt mit der Kalibrierung der Messeinrichtungen, d. h. der Analysengeräte. Diese erfolgt in der Regel mit Gasgemischen definierter Zusammensetzung, sogenannten Kalibriergasen, sowie mit Reingasen, die als Nullgase verwendet werden. Angesichts der steigenden Ansprüche an die Nachweisbarkeit immer geringerer Schadstoffkonzentrationen erfordert die Herstellung der Gasgemische sowie der Reingase höchste Präzision – und stellt die Laboratorien der Industriegasehersteller vor immer neue Herausforderungen.**

Ein weltumspannendes Messnetz zur Überwachung der Atmosphäre und zur Erforschung des globalen Klimasystems betreibt das Global Atmosphere Watch (GAW)-Programm. Es wurde 1989 von der Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization/WMO) ins Leben gerufen. Die gewonnenen Daten sind für die Wissenschaft frei zugänglich und werden beispielsweise im jährlichen Greenhouse Gas Bulletin (Treibhausgas-Bericht) veröffentlicht. Die Daten des GAW-Programms werden unter anderem zur Beratung klimapolitischer Maßnahmen und deren Bewertung herangezogen.

Das GAW-Messnetz setzt sich aus 30 Globalstationen, mehr als 400 Regionalstationen sowie etwa 100 weiteren Stationen zusammen, die zu den GAW-Messungen beitragen. Alle Globalstationen wurden in Gebieten mit geringer Hintergrundbelastung durch Luftverunreinigungen, sogenannte Hintergrundgebiete, errichtet. Ihre Standorte erlauben die Beobachtung langfristiger Veränderungen der Luftqualität. Die älteste aktive Station des GAW-Messnetzes am Mauna Loa auf Hawaii zeichnet seit 1958 kontinuierlich die Kohlenstoffdioxidkonzentrationen auf.[1] Einen Überblick über das gesamte Messnetz der GAW-Stationen bietet das Informationssystem GAWSIS.[2]

## Messnetze in Deutschland

Auch Deutschland beteiligt sich am GAW-Programm im Rahmen einer Kooperation des Deutschen Wetterdienstes, des Umweltbundesamtes und weiterer For-

schungsinstitute. Eine globale GAW-Messstation, die repräsentative Daten für Mitteleuropa liefert, betreibt das Umweltbundesamt mit der Station Zugspitze. Hier werden Luftschadstoffe wie Treibhausgase, z. B. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O), reaktive Spurengase, z. B. Ozon und Stickoxide (NO<sub>x</sub>), sowie Aerosole erfasst.

Darüber hinaus sind zwei deutsche Regionalstationen Teil des GAW-Messnetzes:

Schauinsland auf dem gleichnamigen Berg im südlichen Schwarzwald. Schwerpunkt dieser Station ist die Messung klimarelevanter Gase wie Kohlenstoffmonoxid (CO), CO<sub>2</sub>, Methan (CH<sub>4</sub>), N<sub>2</sub>O, Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>), chemisch reaktiver Gase wie Ozon, NO<sub>x</sub>, Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>), Peroxyacetylnitrat (PAN), Volatile Organic Compounds (VOC) und Aerosole.

Die Station Neuglobsow am südöstlichen Rand der Brandenburg-Mecklenburger Seenplatte misst klimarelevante Gase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) und reaktive Gase (Ozon, NO, NO<sub>2</sub>).[3]

Neben diesen beiden deutschen Stationen betreibt das Umweltbundesamt fünf weitere Messstellen in sogenannten Reinluftgebieten. Diese Reinluftgebiete oder auch Hintergrundgebiete liegen fernab von Verunreinigungsquellen. Diese Messstationen ermitteln weiträumig herantransportierte Luftmassen und ermöglichen es, Vergleiche zu Gebieten mit erhöhter Luftverunreinigung zu ziehen.

Im Unterschied zum Messnetz des Umweltbundesamtes betreiben die Bundesländer flächendeckend Luftmessstationen. Mehr als 640 Messcontainer überwachen deutschlandweit die Luftqualität in Städten, Ballungsräumen, Gebieten mit hoher Verkehrsdichte und ländlichen Regionen. Davon handelt es sich bei rund 480 Anlagen um stationäre Messeinrichtungen, bei den restlichen um mobile Messfahrzeuge. Die Ergebnisse der Messungen erlauben Aussagen zu den Belastungen an den einzelnen Stationen sowie zum zeitlichen Verlauf der Immissionskonzentrationen. Detaillierte Angaben zu allen Stationen finden sich in der Stationsdatenbank, die das Umweltbundesamt online zur Verfügung stellt.[4] Hier sind Standort, Angaben zur Stationsumgebung wie beispielsweise „städtisches Gebiet“ oder „ländlich abgelegen“, zur Art der Station (Verkehr, Industrie oder Hintergrund-/Reinluftgebiet) sowie zur Aktivitätsperiode der Station angegeben. Die ältesten Stationen sind seit 1975 in Betrieb.

## Angespannte Luftschadstoffsituation in Deutschland

Messverfahren, Zielwerte, Immissionsgrenzwerte und Alarmschwellen sowie Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe legt die 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) fest. Mit der Verordnung zu Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen werden die Richtlinien 2001/81/EG, 2004/107/EG, 2008/50/EG, 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates in nationales Recht umgesetzt. In der 39. BImSchV ist beispielsweise ein 8-Stunden-Wert für Ozon von 120 µg/m<sup>3</sup> festgelegt, was etwa 60 ppb (parts per billion)

entspricht. Auf eine Milliarde Teile Luft dürfen damit etwa 60 Teile Ozon entfallen. Eine Überschreitung dieses Grenzwerts ist 25-mal im Jahr, gemittelt über drei Jahre, zulässig. Die Schwelle für die Information der Bevölkerung liegt bei einem 1-Stunden-Wert von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , die Alarmschwelle bei  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Der 8-Stunden-Grenzwert für CO liegt bei  $10 \text{mg}/\text{m}^3$  und entspricht etwa 8 ppm (parts per million).

Vielerorts gibt es in Deutschland Probleme bei der Einhaltung der Grenzwerte. Besonders in Ballungsräumen, wo Industrie und Verkehr für einen erhöhten Schadstoffausstoß sorgen, werden sie häufig überschritten. Das zeigt die vorläufige Auswertung zur Luftqualität 2014 des Umweltbundesamts.[5] Eine leicht positive Tendenz zeichnet sich hinsichtlich der Ozonbelastung ab. Laut der vorläufigen Auswertung zur Luftqualität 2014 traten Überschreitungen der Informationsschwelle von  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an insgesamt 10 Tagen auf. Die Alarmschwelle von  $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wurde im vergangenen Jahr 2014 nicht überschritten. Im Vergleich zu 1990 sind die Emissionen der Ozonvorläuferstoffe (Stickstoffoxide und flüchtige organische Verbindungen ohne Methan) zurückgegangen. Doch der von der WHO vorgeschlagene Schwellenwert von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , im Mittel über acht Stunden, wird flächendeckend in Deutschland überschritten.

Im Fokus stehen in Sachen Luftverschmutzung neben Feinstaub besonders die Stickoxide. An 51 Prozent der städtisch verkehrsnah gelegenen Stationen wurden im vergangenen Jahr im Mittel Werte oberhalb des in der 39. BImSchV festgelegten Grenzwerts von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen. Eine Maßnahme, die zur Senkung dieser hohen Werte beitragen soll, ist die Euro-6-Norm, der ab 1. September 2015 alle in Europa verkauften Pkw bei der Erstzulassung genügen müssen. Sie legt deutlich verschärfte Grenzwerte für Stickoxide fest. Bei Pkw mit Dieselmotoren liegt der neue zulässige Höchstwert bei 80 ppm. Zum Vergleich: Bei der Euro-5-Norm lag er bei 180 ppm und bei der Euro-3-Norm sogar noch bei 500 ppm.

### Qualitätssicherung der Messungen

Voraussetzung für qualitativ gute Messergebnisse sind einheitliche Bezugsgrößen zur Kalibrierung der Messgeräte. Im Rahmen des GAW-Programms sind beispielsweise die sogenannten Weltkalibrierzentren für die Qualitätssicherung der Messungen verantwortlich. In Deutschland werden unter der Verantwortung des Umweltbundesamtes drei Weltkalibrierzentren betrieben: für Aerosol, Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und flüchtige organische Verbindungen (VOC).[6] Die Weltkalibrierzentren führen weltweit Kontrollbeobachtungen an ausgewählten globalen Messstationen als auch Ringversuche in eigenen Laborräumen durch. Bei Ringversuchen wird eine identische Probe von unterschiedlichen Messeinrichtungen analysiert. So lassen sich die Messgenauigkeit und die Messfähigkeit der an den Ringversuchen beteiligten Einrichtungen ermitteln.

Ringversuche werden auch von den Landesumweltämtern als bewährtes Instrument der Qualitätskontrolle eingesetzt. So zum Beispiel vom Landesamt für

Natur, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (LANUV).[7] Neben dem Umweltbundesamt ist es das zweite nationale Referenzlabor in Deutschland und gehört dem Netzwerk europäischer Referenzlaboratorien „Network of Air Quality Reference Laboratories (AQUILA)“[8] an. In der Funktion als nationales Referenzlabor stellt das LANUV nicht nur Kalibrierstandards für das Luftqualitätsmessnetz des Landes Nordrhein-Westfalen bereit. Es organisiert auch Ringversuche auf nationaler und internationaler Ebene. An Ringversuchen der Landesumweltämter nehmen auch private Umweltfirmen teil, die nach § 26 Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) für die Luftgütemessung zugelassen sind.

Auch die Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen im Sinne des BImSchG und der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) müssen ihre Analysengeräte zur Emissionsmessung regelmäßig kalibrieren, um die Messgenauigkeit der Geräte sicherzustellen. Detaillierte Anforderungen an die Kalibrierung der Messeinrichtungen sind in der Norm DIN EN 14181 festgelegt.

### Kalibrierung von Messgeräten

Beim Kalibrieren eines Messgerätes wird unter vorgegebenen Bedingungen (z. B. Konzentrationsbereich, Druck und Temperatur) der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße ermittelt und dokumentiert. Die Eingangsgröße ist die zu messende physikalische Größe – zum Beispiel die NO-Konzentration. Ausgangsgröße ist oft das elektrische Ausgangssignal des Messgeräts (z. B. in Milliampere), es kann aber auch ein Ablesewert sein.

Zur Kalibrierung von Gasanalysatoren verwendet man Gasgemische mit einer definierten Zusammensetzung (Kalibriergase) und Reingase (Betriebs- oder Nullgase). Die Zusammensetzung von Kalibriergasen wird üblicherweise in Stoffmengenanteilen ausgedrückt (z. B. ppm,  $10^6$  oder ppb,  $10^9$ ). Bei der Luftgütemessung wird jedoch häufig auch die Massenkonzentration verwendet (z. B.  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). Der internationale Standard ISO 14912 liefert Formeln zur Umrechnung der Zusammensetzungsangaben.

Zu einer Kalibrierung gehören die Erstellung eines mathematischen Modells zur Auswertung der Kalibrierung unter Berücksichtigung aller bekannten systematischen Einflüsse und eine Analyse der Messunsicherheit mit Hilfe des mathematischen Modells. Das mathematische Modell wird oft in Form einer Kalibrierkurve dargestellt. Abbildung 1 zeigt eine lineare Mehrpunkt-Kalibrierung.

Liegt ein streng linearer Zusammenhang zwischen Stoffmengenanteil und Response (Messsignal) vor, so nimmt die Messunsicherheit mit der Anzahl der verwendeten Kalibrierpunkte in der Regel ab. Auch die analytische Berechnung der Messergebnisse und der Messunsicherheit unterscheiden sich stark voneinander, je nachdem ob eine Einpunkt-, Zweipunkt- oder eine lineare Mehrpunkt-Kalibrierung vorliegt.

**Ringversuche sind ein bewährtes Instrument zur Qualitätssicherung von Messungen.**

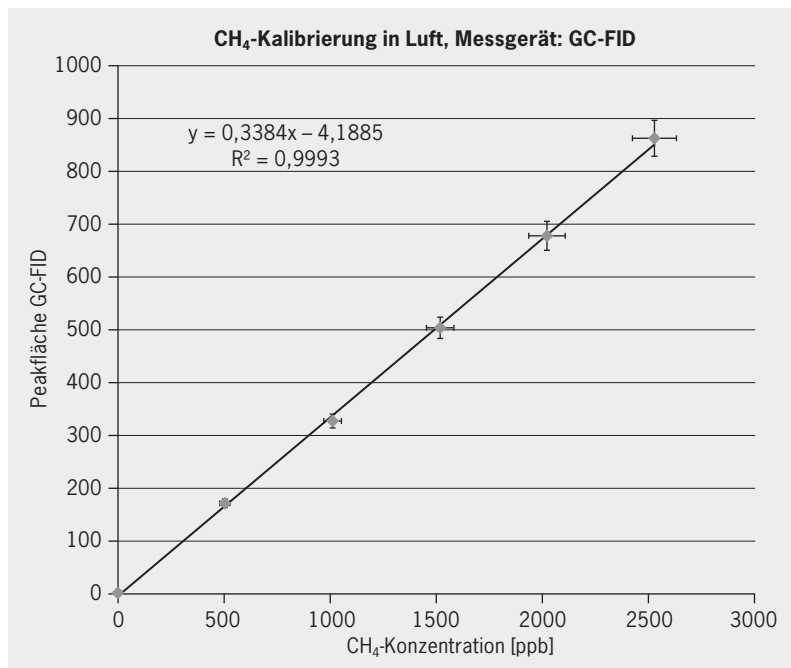


Abbildung 1:  
**Lineare Mehrpunkt-Kalibrierung, (Quelle: Linde)**

Dabei ist Kalibrierung nicht gleich Kalibrierung. So werden bei einer internen Kalibrierung beispielsweise alle Messgeräte auf einen firmeninternen oder organisationsinternen Standard genormt. Ist jedoch eine darüber hinausgehende Vergleichbarkeit der analytischen Messergebnisse gefordert, müssen sie metrologisch rückführbar sein. Rückführbarkeit bedeutet dabei die nachvollziehbare Kontrolle von Messergebnissen durch Kalibrierung mit Messmitteln bekannter Genauigkeit, die an anerkannte Messnormale angeschlossen sind. In der physikalischen Messtechnik sind diese Normale die international anerkannten Verkörperungen der entsprechenden SI-Einheiten.<sup>1</sup> Auf diesen Grundsätzen basieren die analytischen Ergebnisse von Prüf- und Kalibrierlaboratorien.

Eine rückführbare Kalibrierung ist damit eine Kalibrierung, deren Referenz oder Normal ein nationaler Standard ist. Referenzmaterialien sind gemäß ISO Guide 34<sup>2</sup> Stoffgemische mit exakt definierter Zusammensetzung, die durch lückenlose messtechnische Rückführung und durch definierte Messunsicherheiten an das internationale Einheitensystem SI angeschlossen sind. Referenzmaterialien sind für die Kalibrierung von Messgeräten ein unverzichtbarer Bestandteil der chemischen Analytik.

Die hohen Anforderungen an Kalibrierungen für Messgeräte aus dem Bereich der Luftbeschaffenheit zeigt folgendes Beispiel anschaulich: Um die jährliche Zunahme des N<sub>2</sub>O-Anteils in der Luft von ca. 0,75 ppb/Jahr effektiv messen zu können, sind Kalibriergase erforderlich, die bei einem Anteil von 325 ppb N<sub>2</sub>O eine maximale Messunsicherheit von nur 0,1 ppb aufwei-

sen.<sup>[9]</sup> Bei dieser relativen Messunsicherheit von gerade einmal 0,03 Prozent sind Fehler im Herstellungsprozess des Kalibriergases unbedingt zu vermeiden.

Für die Erzielung einer solch hohen Genauigkeit wird bei der Herstellung der Gemische der Anteil einer jeden Komponente gravimetrisch bestimmt. Die dabei verwendeten Präzisionsgewichtssätze werden zyklisch von zugelassenen Kalibrierlaboratorien kalibriert.

### Herstellung von Kalibriergasen

Die meisten Messgeräte zur quantitativen Analyse von Luftschadstoffen beruhen auf Vergleichsverfahren. Vergleichsverfahren benötigen eine Kalibrierung, bei der der Zusammenhang zwischen dem Messsignal und der Konzentration ermittelt wird. Zu diesem Zweck wird an Kalibriergasgemischen der Response für bekannte Konzentrationswerte gemessen. Zur Kalibrierung von Analysegeräten werden daher Gasgemische mit ganz unterschiedlichen Komponenten und Konzentrationen benötigt.

Die Genauigkeit der Konzentrationsangaben ist eines der herausragenden Qualitätsmerkmale eines Kalibriergases, denn die Messgenauigkeit der Analysegeräte steht in direkter Abhängigkeit zur Qualität der Gasgemische, die zu ihrer Kalibrierung eingesetzt werden. Daher müssen alle Kalibriergase höchsten Anforderungen hinsichtlich der Reinheit ihrer Ausgangsprodukte, an ihre Herstelltoleranz und ihre Analysertoleranz genügen. In der Regel werden Kalibriergase in Druckgasbehälter gefüllt, die zuvor in speziellen Verfahren für das jeweilige Gemisch vorbehandelt werden.

Neben der Herstell- und Analysengenauigkeit ist die (zeitliche) Stabilität der angegebenen Konzentration eine der wichtigen Eigenschaften für Kalibriergase. Sie wird auf dem Zertifikat in Form eines Stabilitätszeitraumes angegeben. Um stabile Kalibriergase herzustellen, ist u. a. eine konsequente Behältervorbehandlung notwendig. Hierzu werden die Druckgasbehälter ausgeheizt und gleichzeitig in mehreren Zyklen evakuiert sowie mit trockenem Inertgas gespült. So werden einerseits Gasreste und andererseits ein eventuell vorhandener Feuchtigkeitsfilm von der Behälterinnenoberfläche möglichst weitgehend entfernt. Für einige Gemische (z. B. bei korrosiven Komponenten) ist eine zusätzliche, vorherige Konditionierung der gasberührten Oberfläche notwendig (Beizen, Passivieren).

Die Herstellung von Kalibriergasen erfolgt meist gravimetrisch und ist in der Norm DIN EN ISO 6142-1 detailliert beschrieben. Das heißt, die einzelnen Komponenten der Gasgemische werden auf einer Präzisionswaage abgewogen. Bevor die Gase allerdings zusammengesetzt werden, muss geklärt sein, ob das gewünschte Gemisch überhaupt machbar ist. Vor Ferti-gungsbeginn sind physikalische, chemische und sicherheitstechnische Einschränkungen zu prüfen.

Beim gravimetrischen Herstellungsverfahren wird die Massenzunahme durch Wägung bestimmt. Damit ist die direkte Rückführbarkeit zur SI-Basiseinheit kg gegeben. Es sind keine auf Zustandsgleichungen beruhenden Umrechnungen notwendig. Zur Herstellung

1 SI: Système international d'unités (Internationales Einheitensystem)  
2 ISO Guide 34: General requirements for the competence of reference material producers (Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Referenzmaterial-Herstellern)

besonders genauer Gasgemische werden Substitutionsbalkenwaagen mit höchster Wiegegenauigkeit eingesetzt (Abbildung 2). So erlaubt eine Waage mit einer Wiegegenauigkeit  $\pm 3$  mg bei einer Belastbarkeit von 30 kg eine Auflösung von 1:10.000.000 und ermöglicht so Gemische mit sehr geringer Messunsicherheit ( $\leq 0,1$  % rel.).

Aufgrund der sukzessiven Füllung ist das Gemisch direkt nach der Herstellung nicht homogen. Gase mischen sich durch Diffusion von selbst, je nach Fülldruck kann dieser Vorgang allerdings längere Zeit dauern. Der letzte Schritt der Füllung ist daher das Rollen des Behälters auf einer speziellen Vorrichtung. Eine homogene Durchmischung wird durch das Rollen der Flaschen in annähernd waagerechter Position sichergestellt.

Jedes Kalibriergas wird vor dem Versand vom Hersteller analysiert. Dabei wird der Ist-Gehalt bestimmt oder das gravimetrische Ergebnis verifiziert. Darüber hinaus wird bei korrosiven, reaktiven Beimengungen die Stabilität des Gemisches durch Analyse geprüft. Im Anschluss an die Analyse werden die Gasgemische mit einem Analysenzertifikat versehen, welches alle in der ISO 6141 vorgeschriebenen Daten sowie einige zusätzliche Informationen wie Kundenname, Behältervolumen, nominale Zusammensetzung, Herstellungsdatum und Füllmenge enthält.

#### **Fazit**

Die auf globaler als auch auf nationaler Ebene durchgeführten Messungen der Luftgüte dienen als Grundlage für die Ergreifung von Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität. Voraussetzung hierfür ist, dass die erhobenen Messwerte vergleichbar sind. Die Messgenauigkeit der Analysengeräte steht dabei in direkter Abhängigkeit zur Qualität der Gasgemische, die zu ihrer Kalibrierung eingesetzt werden. Daher müssen alle Kalibriergase höchsten Anforderungen hinsichtlich



Abbildung 2:  
**Hochauflösende Substitutionsbalkenwaage (Quelle: Linde)**

der Reinheit ihrer Ausgangsprodukte, an ihre Herstelltoleranz und ihre Analysentoleranz genügen. In den Laboratorien der Gasehersteller hat Präzision angesichts der steigenden Ansprüche an die Nachweisbarkeit immer geringerer Schadstoffkonzentrationen daher oberste Priorität.

**Glossar:**

**Was heißt Kalibrieren?**

Kalibrieren ist die Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den angegebenen Werten eines Messgerätes (Messeinrichtung/Maßverkörperung/Wert eines Referenzmaterials) und den durch genaue Normale festgelegten Werten.

**Was ist ein Normal?**

Ein Normal ist die Maßverkörperung, ein Messgerät, Referenzmaterial oder eine Messeinrichtung zum Zweck, eine Einheit oder einen oder mehrere Größenwerte festzulegen, zu verkörpern, zu bewahren oder zu reproduzieren.

**Was bedeutet Rückführung?**

Dies ist der Vorgang, Messergebnisse durch eine ununterbrochene Kette von Kalibrierungen auf nationale Normale und damit auf die jeweilige SI-Einheit zu beziehen.

**Was bedeutet Herstelltoleranz?**

Diese Angabe gibt Auskunft über die maximale Abweichung zwischen den Beimengungsanteilen im Gasgemisch und den tatsächlichen Anteilen im ausgelieferten Gasgemisch. Die Herstelltoleranz variiert abhängig von der eingesetzten Herstellmethode und wird in Prozentwerten relativ zur ausgewiesenen Konzentration angegeben. Eine relative Herstelltoleranz von 5 Prozent für ein Gemisch mit 200 ppm bedeutet, dass das ausgelieferte Gemisch 200 ppm ± 5 Prozent dieser Komponente enthält. Damit ist ein Konzentrationsbereich von 190–210 ppm dieser Beimengung im Gasgemisch möglich. (Abb.3)

**Was bedeutet relative Messunsicherheit (Analysengenauigkeit)?**

Die relative Messunsicherheit stellt die maximale Abweichung zwischen dem Analyseergebnis, das auf

dem Analysenzertifikat des Gasgemischs ausgewiesen wird, und der tatsächlichen Konzentration im ausgelieferten Gasgemisch dar. Die relative Messunsicherheit wird in Prozentwerten relativ zur analysierten Konzentration angegeben. Ein Analyseergebnis von 205 ppm ± 2 Prozent bedeutet eine relative Messunsicherheit von 2 Prozent. Die tatsächliche Konzentration im Gasgemisch liegt im Bereich 201–209 ppm. (Abb. 3)

**Literatur**

- [1] Nisbet, Euan; Manning, Martin: WMO Bulletin, Ausgabe 58(1), Januar 2009, unter: [http://www.wmo.int/pages/publications/bulletinarchive/archive/58\\_1\\_en/58\\_1\\_nisbet\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/publications/bulletinarchive/archive/58_1_en/58_1_nisbet_en.html) (abgerufen am 10.06.2015)
- [2] Eine Übersicht über die Messstationen des Global Atmosphere Watch-Programms bietet die World Meteorological Organization unter: <http://gaw.empa.ch/gawsis/> (abgerufen am 10.06.2015)
- [3] Umweltbundesamt: GAW-Aktivitäten in Deutschland, 04.09.2013, unter: <http://www.umweltbundesamt.de/gaw> (abgerufen am 10.06.2015)
- [4] Eine Übersicht der Luftmessstationen der Bundesländer bietet das Umweltbundesamt in einer Stationsdatenbank unter: <http://www.env-it.de/umweltbundesamt/luftdaten/networks.fwd> (abgerufen 10.06.2015)
- [5] Dauer, Ute; Feigenspan, Stefan; Minkos, Andrea; Langner, Marcel: Luftqualität 2014, vorläufige Auswertung, hg. vom Umweltbundesamt, Januar, unter: [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hintergrund\\_luftqualitaet\\_2014.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/hintergrund_luftqualitaet_2014.pdf), (abgerufen am 10.06.2015)
- [6] Eine Übersicht über die Weltkalibrierzentren (GAW World Central Facilities) bietet die World Meteorological Organization unter: [http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw\\_cent\\_facil.html](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_cent_facil.html)
- [7] <http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen.htm>
- [8] <https://ec.europa.eu/jrc/en/aquila/members>
- [9] GAW Report No. 206, World Meteorological Organization, Research Department Atmospheric Research and EnvironmentCH 1211 Geneva 2 – Switzerland

**Anschrift der Verfasser**

**Dr. Sabrina Böhler**  
Linde AG  
Linde Gases Division,  
Carl-von-Linde-Str. 25,  
D-85716 Unterschleißheim  
E-Mail: [sabrina.boehler@de.linde-gas.com](mailto:sabrina.boehler@de.linde-gas.com)

**Peter Adam**  
Linde AG  
Linde Gases Division,  
Seitnerstr. 70,  
D-82049 Pullach  
E-Mail: [Peter.Adam@Linde-Gas.com](mailto:Peter.Adam@Linde-Gas.com)

Abbildung 3:  
**Herstelltoleranz und Messunsicherheit**  
(Quelle: Linde)

