

## Fahrverbote sind wegen zu hoher Messunsicherheit gesetzeswidrig

Die genaue Bestimmung der NO<sub>x</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre ist eine schwierige Messaufgabe, bei der die mit dem Verfahren verbundene Messunsicherheit genau zu beachten ist. Das Verfahren ist in der DIN 14211 beschrieben. Diese stützt sich auf andere, grundsätzlich geltende Normen.

Dazu hier ein vereinfachtes Beispiel<sup>1)</sup>, an dem ich die Bedeutung der Messunsicherheit und die nach DIN 1319-4<sup>1)</sup> verbindlichen Begriffe erläutere. Gesucht ist der *wahre Wert* des Gewichtes, z.B. eines Briefes von etwa 20g. Zur Verfügung steht nur eine Waage mit einem *Messbereich* von 0 bis 5 kg, die aber auf 0.1 g anzeigt. Auf der Digitalanzeige lese ich im Beispiel<sup>2)</sup> den *Messwert* von 19,7 g ab. Ich klebe die erforderliche Briefmarke darauf. Der Brief kommt zurück, weil die Post beim Nachwiegen ein Gewicht von 20,8 g festgestellt hat. Ich wiege noch einmal und finde einen anderen *Messwert* 19,8 g. Habe ich einen Grund, mich bei der Post zu beschweren? Ich vermute zunächst nein. Meine Waage scheint nicht genau genug zu sein, die *Messunsicherheit* ist zu groß. Da ich weiß, dass durch wiederholte Messung die *Messunsicherheit* vermindert werden kann, lege ich den Brief 10 mal auf die Waage (die einzelnen Werte sind in der ersten Fußnote aufgeschrieben), addiere die *Messwerte*, teile durch 10 und erhalte den Mittelwert 19,71 g. Mein berechneter Wert wird genauer und liegt vermutlich näher an dem gesuchten *wahren Wert*. Nun leihe ich mir ein zur *Kalibrierung* geeignetes Gewicht von 20 g, gehe zurück zur Post und bitte, dieses auf die Waage zu legen. Es wird ein Wert von 20,8 g abgelesen. Die Ursache: Die Waage der Post ist zwar sehr genau, aber durch eine nicht bemerkte Verschmutzung von 1g liegt eine *systematische Abweichung* vor. Diese hätte ich auch mit einer 100 mal wiederholten Messung auf der Waage nicht entdeckt.

Die *Messunsicherheit* des aus den *Messwerten* gebildeten *Mittelwertes* setzt sich aus zwei Teilen zusammen, einer (festen) systematischen Abweichung (z.B. durch eine Verschmutzung) und einer zufälligen Streuung wie an meiner Digitalanzeige. Die *zufällige Streuung der Messwerte* kann ich durch wiederholte Messung und Mittelwertbildung (nach der Methode der kleinsten Quadrate, dem sogenannten Gauß-Verfahren) beseitigen. In meinem Beispiel konnte ich aus den quadratischen Abweichungen der Einzelmessungen vom Mittelwert die *erweiterte Unsicherheit* 0.2 g berechnen. Dies bedeutet, mit einer 95-prozentigen Wahrscheinlichkeit liegt bei dem berechneten *Messwert* von 19,71g der *wahre Wert* unter 19,91 g. Deshalb musste ein systematischer Fehler vorliegen. Dieser Messfehler wird durch Mittelwertbildung nicht entdeckt und auch nicht verringert. Weil die von der Post zugebilligte Toleranz kleiner als die tatsächliche Messunsicherheit war, hätte die Post in meinem Beispielfall zu viel Porto verlangt. In meinem vereinfachten Beispiel hatte ich zwei *Messunsicherheiten*, die *zufällige Streuungen* an meiner ungenauen Waage und die *systematische Abweichung* an der sehr genauen Waage der Post.

Die Probleme bei den Messungen der Schadstoffkonzentrationen in der Luft sind im Prinzip gleich, aber um Vieles komplizierter. Die veröffentlichten Daten zeigen, dass die Messwerte extrem stark schwanken. Dies deutet auf zufällige Messunsicherheiten und systematische Abweichungen hin, die es schwierig machen, den *wahren Wert* genau genug zu bestimmen.

Um in einem Kubikmeter Luft mit einem Gewicht von rund 1,3 kg 46 Mikrogramm NO<sub>2</sub> nachzuweisen, kann man das NO<sub>2</sub> nicht direkt wiegen. Das anzuwendende Verfahren<sup>3)</sup> zur Bestimmung aus der Chemolumineszenz ist in den Anmerkungen kurz beschrieben. Es gibt mehr als ein Dutzend Einflussgrößen<sup>4)</sup>, die den angezeigten Wert beeinflussen können. Messen muss man in einem *Messbereich*<sup>5)</sup> von 0 bis 400 µg/m<sup>3</sup>.

Der Jahresmittelwert soll laut Verordnung mit einer *Messunsicherheit* kleiner als 15% oder 6 µg/m<sup>3</sup> bestimmt werden. Wie im Beispiel gezeigt, kann hierzu unter bestimmten Voraussetzungen nach DIN 1319-4 der arithmetische Mittelwert (Gauß-Verfahren) gebildet werden. Dies geht jedoch nur, wenn keine (systematischen Fehler) *Messunsicherheiten* vorliegen und die Abhängigkeit der *Messgröße* von den Störgrößen oder Querempfindlichkeiten linear ist. Die Jahresmittelwerte (JMW) werden aus 8760 1-Stunden-Einzelwerten berechnet. (Einzelheiten und Beispielrechnungen sind in der Norm angegeben). Nur für einen der Gerätetypen, das Modell 42i der US-Firma, wurde

eine solche Berechnung im Rahmen der Zertifizierung durchgeführt. Jedoch **mit negativem Ergebnis** (S. 91 des Prüfberichtes; zwei gleiche Geräte wurden geprüft)<sup>7)</sup> Zitat: „Die geforderte Messunsicherheit der Mittelwerte ( $U(c)$ ) von maximal 15 % **wurde von beiden //geprüften//Geräten nicht erfüllt**. Unter den gegebenen Bedingungen (Bezugswert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ist die //geforderte//**Messunsicherheit der Mittelwerte**<sup>8)</sup> **nicht einzuhalten**.“

Folglich ist das erteilte Zertifikat für Modell 42i nicht für die Bewertung des Jahresmittelwertes von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gültig. **Für keines der übrigen zertifizierten Geräte wurde von der zertifizierenden Stelle gezeigt, dass diese geeignet sind, um Jahresmittelwerte mit der erforderlichen Messunsicherheit von kleiner  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu ermitteln.**

Die Angabe der *Messunsicherheit* gehört nach DIN 1319-4<sup>1)</sup> immer zu einem vollständigen **Messergebnis**. Insbesondere bei so schwierigen und unsicheren Messungen wie der Ermittlung und Beurteilung sehr geringer Schadstoffkonzentrationen ist dies **für eine Beurteilung der Messergebnisse unverzichtbar**. Wenn die Messunsicherheit nicht allgemein nachgewiesen wurde, muss der Anwender (am Neckartor die LUBW) die Messunsicherheit bestimmen und veröffentlichen. Die LUBW konnte oder wollte jedoch auch auf mehrfache Nachfrage die **Messunsicherheit nicht bekannt** geben.

Da muss man schon zweimal hingucken, bis man diesen Trick erkennt: **Durch die Bekanntgabe der Zertifizierung im Bundesgesetzblatt wird der Eindruck erweckt, die Geräte seien für alle geforderten Messungen geeignet. Ganz versteckt im Prüfbericht steht aber, dass die Geräte nicht für alle Messungen geeignet sind. Die daher zusätzlichen, nach DIN 1319-4 notwendigen Nachweise zur Bestimmung der Messunsicherheit des JMW wurden von der zertifizierenden Stelle zum Anwender (das sind die Landesanstalten für Umwelt) verlagert. Die Anwender geben die Messunsicherheit auch nicht bekannt, obwohl sie nach Gesetz und Normen zu diesen Angaben verpflichtet sind.**

#### Folgerung:

**Die von der Verordnung geforderte Messunsicherheit von  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird nicht eingehalten. Der für das Neckartor veröffentlichte Jahresmittelwert von  $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ist keinesfalls der wahre Wert. Die Zahl ohne Angabe der Messunsicherheit beweist nicht, dass der in der Verordnung genannte Grenzwert von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  überschritten wird. Man kann damit logischerweise auch keine Fahrverbote begründen. Die Fahrverbote sind gesetzeswidrig.**

#### Quellen/Anmerkungen:

##### 1. Auszug aus DIN 1319-4

- „Ziel jeder Messung\* einer Messgröße\* (siehe 3.1) oder gemeinsamen Messung mehrerer Messgrößen ist es, die wahren Werte\* der Messgrößen zu ermitteln“ ..... „Die Messung umfasst auch die Auswertung der gewonnenen Messwerte\* und anderer zu berücksichtigender Daten.“
- „Wegen der bei der Messung wirkenden Einflüsse treten unvermeidlich Messabweichungen\* auf. Diese sind der Grund, warum es nicht möglich ist, den wahren Wert einer Messgröße genau zu finden. Lediglich das Messergebnis\* als ein Schätzwert\* einer Messgröße sowie die Messunsicherheit\* lassen sich aus den Messwerten und anderen Daten gewinnen und angeben.“
- „In der Regel können also die interessierenden physikalischen Größen einer Messaufgabe im Experiment nicht direkt gemessen werden, sondern müssen aus anderen Größen, die der Messung besser zugänglich sind oder über Informationen, die z.B. aus der Literatur herangezogen werden können, nach mathematischen Beziehungen errechnet werden, z.B.

durch eine Ausgleichsrechnung.“

- „Im Hinblick auf die Verwertung der Messergebnisse ist es wünschenswert, die Unsicherheiten in einheitlicher Weise zu behandeln. Ein Verfahren für diesen Zweck ist Gegenstand dieser Norm. Es wird Gauß-Verfahren genannt.“
  - Anzugeben ist immer das **vollständige Messergebnis** der Auswertung, d.h. für jede einzelne Ergebnisgröße das **Messergebnis** und die **Standardmessunsicherheit** oder die relative Messunsicherheit.
2. Meine Messreihe im Beispiel aus 10 Werten: 19.8 g, 19.7 g, 19.7 g, 19.6 g, 19.7 g, 19.9 g, 19.6 g, 19.8 g, 19.7 g, 19.6 g;  
der Mittelwert: 19.71 die Messunsicherheit 0.2 g.
  3. Das Probegas passiert einen Partikelfilter sowie einen Permeationstrockner und gelangt dann über einen Flussregler über einen Konverter in die Reaktionskammer. Der Konverter wandelt das in dem Probegas enthaltene Stickstoffdioxid bei 325 °C in Stickstoffmonoxid um. Dazu wird Ozon benötigt, welches in einem Ozongenerator aus trockener Luft hergestellt wird. Dies geschieht durch UV-Bestrahlung. In der Reaktionskammer wird nun ein der Ozon- Konzentration äquivalenter Anteil des NO zu NO<sub>2</sub> oxidiert, die so genannte Gasphasentitration. Ein Detektor (PMT), der in einem thermoelektrischen Kühler sitzt, misst die Lumineszenz. Anschließend errechnet das Model 42i die NO-, NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Konzentration.
  4. Einflussfaktoren auf die NO<sub>x</sub>-Messungen (cause and effects diagram)

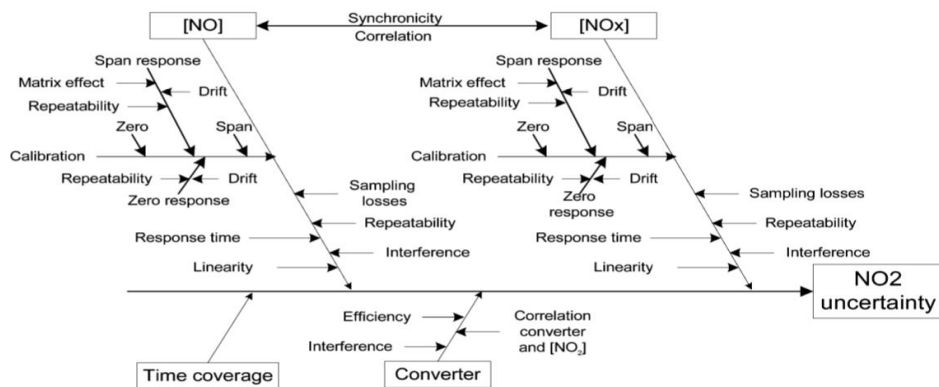


Fig. 1 Cause and effect diagram for the nitrogen dioxide uncertainty.

5. Die von der LUBW veröffentlichten 1-Stunden Werte überdecken den gesamten Bereich von 0 bis 400 µg/m<sup>3</sup>. In diesem Messbereich liegen die von den Landesanstalten veröffentlichten 1-Stunden Werte. Der Messbereich kann nicht eingeschränkt werden, um die Genauigkeit zu erhöhen. Ein aus eingeschränkten Werten gebildeter Mittelwert wäre falsch.
6. Im Rahmen der Zertifizierung werden nach DIN 4211 jeweils zwei Geräte des gleichen Typs im Labor und unter „idealisierten“ Feldbedingungen geprüft.
7. Auszug aus Prüfbericht des TÜV für das Modell 42i der Firma Thermo Electron Corporation (heute Thermo Fischer Scientific): Tabelle 46 & 47 und anschließende Erläuterung (**TÜV-Bericht: 936/21203248/C1**).