



# Deponieworkshop Zittau-Liberec 2017

Deponiebau – EU-Wasserrahmenrichtlinie – Stoffströme und Deponierückbau

09.-10. November 2017



# Skládkový workshop Žitava-Liberec 2017

Výstavba skládek - Směrnice EU, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky látkové proudy a odtěžování skládek

#### Messunsicherheit und Grenzwert

# Nejistota měření a Limitní hodnota

Michael Winterstein<sup>1</sup>

# Kurzfassung

In vielen Bereichen sind anhand vorliegender Analysenresultate Entscheidungen zu treffen, ob eine vorgegebene Qualität bzw. Grenz- oder Richtwerte eingehalten sind. Da Analysenergebnisse mit einer Messunsicherheit behaftet sind, die in der Nähe von Grenzwerten auch als Zusatzinformation anzugeben ist, stellt sich die Frage, wie die Messunsicherheit beim Vergleich mit Grenzwerten zu berücksichtigen ist. In Ermangelung einheitlicher Regelungen wurde sie bislang wahlweise abgezogen oder addiert, mit einem hohen Risiko für Fehlentscheidungen.

Um diesen Nachteil zu vermeiden und zu einer einheitlichen Regelung zu gelangen, wurde durch das Deutsche Institut für Normung (DIN) ein statistisches Konzept zur Grenzwertüberprüfung erarbeitet, welches einfach anzuwenden ist und hier erläutert wird. Diese statistisch basierte und einheitliche Regelung als Entscheidungshilfe erhöht das Verständnis im Umgang mit der Messunsicherheit, die rechtliche Sicherheit und die Akzeptanz bei Überwachten und Überwachenden.

#### **Abstrakt**

V mnoha oborech je nutno na základě dostupných výsledků analýz přijímat rozhodnutí, zda je dodržena předepsaná kvalita, případně limitní nebo směrné hodnoty. Jelikož jsou výsledky analýz zatíženy nejistotou měření, kterou je v případě přiblížení se k limitním hodnotám nutno uvádět jako dodatečnou informaci, naskýtá se otázka, jak je nutno nejistotu měření zohlednit při porovnávání s limitními hodnotami. V důsledku chybějící jednotné úpravy byla tato nejistota dosud volitelně odečítána nebo přičítána, což bylo spojeno s vysokým rizikem chybného rozhodnutí.

Aby bylo možno tomuto problému zamezit a dospět k jednotné úpravě, byla Německým ústavem pro normování (Deutsche Institut für Normung (DIN)) vypracována koncepce prověřování limitních hodnot, kterou lze jednoduše aplikovat a která bude v rámci této přednášky představena. Tato jednotná úprava, spočívající na statistice, zvyšuje chápání při řešení nejistoty měření, zvyšuje právní jistotu a akceptaci mezi sledovanými a sledujícími.

#### 1 Einleitung

Zum Schutze von Gesundheit und Umwelt sind zahlreiche Grenz- und Richtwerte für Substanzen festgelegt, deren analytische Überwachung regelmäßig erfolgt. Die dabei ermittelten Messergebnisse werden mit diesen Grenz- oder Richtwerten verglichen und anschließend beurteilt, ob diese eingehalten sind oder nicht. Die Beurteilung fällt anscheinend jedem leicht, da die Anwendung der einfachen "kleiner-größer" Relation genügt. Weil aber jedes Analysenergebnis stets mit einer Messunsicherheit behaftet ist, kann eine auf obige Art und Weise gefällte Entscheidung falsch sein und dadurch zu ungerechtfertigten wirtschaftlichen Nachteilen oder

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>WESSLING GmbH, D-06188 Landsberg OT Oppin, Hallesches Dreieck 4/5; E-mail: michael.winterstein@wessling.de

ungewollten Umweltbeeinträchtigungen führen. Was aber tun, wenn die Messunsicherheit des Analysenergebnisses angegeben ist? Ist sie vom Analysenergebnis zu subtrahieren oder zu addieren? Da in vielen Verordnungen der Umgang mit der Messunsicherheit beim Vergleich mit Grenzwerten nicht geregelt ist, findet man in der Praxis beide Varianten vor, oft willkürlich und falsch angewendet.

Vorliegender Beitrag zeigt auf, wie durch die Anwendung eines naturwissenschaftlich begründeten und statistisch abgeleiteten Konzepts dieses Risiko von Fehlentscheidungen minimiert werden kann. Durch eine sehr anwenderfreundliche Umsetzung des statistischen Konzepts in ein frei verfügbares Hilfsprogramm können nun Entscheidungen zu Grenzwertüberschreitungen oder – einhaltungen begründet und nachvollziehbar getroffen werden.

#### 2 Das Grenzwertkonzept

Der Überwachungswert (Grenzwert, Richtwert, Höchstgehalt, Sollwert, Zielwert, Qualitätsziel usw.) sei definiert als die höchste (seltener: niedrigste) zulässige Konzentration/ Gehalt eines Stoffes in einem Medium, die nicht überschritten (unterschritten) werden darf. In vorliegender Arbeit wird dafür durchgängig der Begriff Grenzwert verwendet. Der Grenzwert trennt den Bereich zulässiger vom Bereich unzulässiger Konzentration (Gehalt) und stellt damit ein Kriterium für ordnungsrechtliche Eingriffe dar. Er besitzt eine wichtige Funktion für die Umsetzung umweltpolitischer Entscheidungen. Ein Grenzwert ist ein fester Wert, er besitzt selbst keine Unschärfe.

Das Grenzwertkonzept beinhaltet einen juristischen und einen analytischen Aspekt. Die Grenzwertfestlegung und Androhung von Sanktionen im Falle der Überschreitung setzen voraus, dass auch die Überwachung der Grenzwerteinhaltung möglich ist und auch vollzogen werden kann (juristischer Aspekt). Es wird ein Messwert vorausgesetzt, der der wahren Konzentration (Gehalt) entspricht und der reproduzierbar ist, wobei die Art und Weise seiner Ermittlung im juristischen Sinne eigentlich nicht von Relevanz ist.

Die Ermittlung des Messwertes sowie die Überwachung des Grenzwertes sind ein analytisches Problem: Die analytischen Gegebenheiten sind zu berücksichtigen.

Die DIN EN ISO/IEC 17025 [2] und die DIN 38402-1 [3] fordern die Angabe der Messunsicherheit im Analysenergebnis, wenn die Unsicherheit die Einhaltung von vorgegebenen Grenzen (Grenzwerte, Richtwerte und dergl.) in Frage stellt. Für eine rechtsverbindliche Beurteilung sind also die Angabe und die Berücksichtigung der Messunsicherheit erforderlich.

### 3 Was ist Messunsicherheit und weshalb wird sie benötig?

#### 3.1 Die Bedeutung der Messunsicherheit

Erst seit dem Jahr 2000 spielt die Messunsicherheit und ihre Berechnung eine stärkere Rolle in Deutschland. Es begannen die Laboratorien intensiv die Messunsicherheit ihrer Analysenverfahren zu ermitteln. Die Bedeutung der Messunsicherheit und ihre Anwendung außerhalb der Laboratorien stoßen aber selbst heute noch auf viel Unverständnis im Umfeld außerhalb der Untersuchungseinrichtungen.

Die offizielle Definition der Messunsicherheit in [4] ist zwar korrekt, trägt aber m. E. nicht viel zum Verständnis ihrer bei: "Die Messunsicherheit ist ein Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die der Messgröße aufgrund der verwendeten Information vernünftigerweise zugeordnet werden können." Das Konzept der Messunsicherheit wird leider viel zu wenig in verständlicher Form gerade dem Nichtanalytiker, welche ja viele Entscheidungsträger sind, vermittelt. Dabei ist es gar nicht so kompliziert.

Um zu beurteilen, ob ein Grenzwert eingehalten ist oder nicht, ist der entsprechende Untersuchungsgegenstand zu charakterisieren. Dieser Untersuchungsgegenstand ist im statistischen Sinne die sogenannte Grundgesamtheit (von Nichtstatistikern auch mal als Grundmenge

bezeichnet). Dies kann ein Haufwerk zur Deponierung sein, eine Bodenfläche oder ein Wasserkörper. Da die gesamte Grundgesamtheit nicht untersucht werden kann, werden daraus, quasi als Stellvertreter dafür, Stichproben entnommen und untersucht. Eine Stichprobe muss keine Einzelprobe sein, es kann eine sehr aufwendig erstellte Mischprobe oder Sammelprobe sein – trotzdem bleibt es im Vergleich zur Grundgesamtheit immer eine Stichprobe. Die Grundgesamtheit kann auch durch mehrere Stichproben charakterisiert werden.

Nun kann man sich gut vorstellen, dass sich bei der Untersuchung verschiedener Stichproben aufgrund der einzelnen Schritte Probennahme, Probenvorbereitung (Zerkleinern, Homogenisieren) und der Analytik keine identischen Ergebnisse ergeben werden. Auch mehrmalige Messungen an ein- und derselben Stichprobe führen zu verschiedenen Messergebnissen. Selbst ohne systematischen Fehler streut das Messergebnis um seinen Mittelwert aufgrund unvermeidbarer zufälliger Einflüsse. Es handelt sich bei den zufälligen Schwankungen auch nicht um Messfehler, wie manchmal irrtümlich angenommen wird.

Jede Mehrfachmessung an einer Stichprobe liefert einen Mittelwert. Viele Stichproben, viele verschiedene Mittelwerte. Nun entstammen alle Stichproben ein und derselben Grundgesamtheit. Das bedeutet, der arithmetische Mittelwert dieser Stichproben wird die Grundgesamtheit am besten charakterisieren. Den eigentlich interessierenden wahren Wert dieser Grundgesamtheit wird man niemals kennen. Man kann sich ihm nur beliebig nähern. Die Messunsicherheit gibt nun den Bereich an, in dem sich der wahre Wert mit einer statistischen Sicherheit um den angegebenen Mittelwert befinden wird. Abbildung 1 verdeutlicht dies.

Das ist die eigentliche Bedeutung der Messunsicherheit und deshalb ist es so wichtig, die Größe dieser Messunsicherheit auch zu kennen.

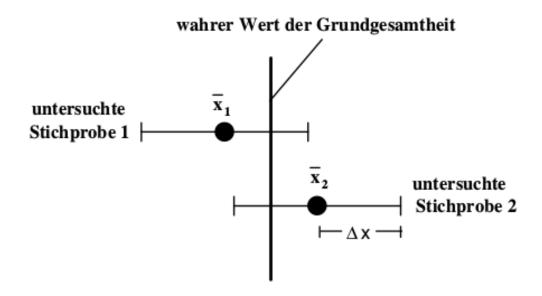


Abbildung 1: Darstellung des Zusammenhanges von wahrem Wert der Grundgesamtheit und Mittelwerten von Stichproben.

Die Abbildung 1 zeigt schematisch den Zusammenhang zwischen dem wahren Wert der Grundgesamtheit und den Mittelwert einer Stichprobe. Bei einer gewählten statistischen Sicherheit von 95 % werden 95 % aller Stichproben mit ihrer Messunsicherheit den wahren Wert der Grundgesamtheit umschließen. In der Abbildung 1 sind zwei Stichprobenmittelwerte (durch den dicken Punkt gekennzeichnet) mit ihren Messunsicherheiten ( $\pm\Delta x$  als der Bereich um den Mittelwert) dargestellt. Beide Stichproben umschließen den als Linie dargestellten wahren Wert  $\mu$  der Grundgesamtheit.

Bei einem Analysenergebnis und seiner Messunsicherheit weiß man nicht genau, wo sich

der wahre Wert der Grundgesamtheit befindet, man weiß nur, dass er sich mit 95 %-iger Sicherheit in diesem Bereich um den angegebenen Stichprobenmittelwert befindet. Er kann quasi an jeder Stelle dieses Bereiches liegen, am unteren oder auch am oberen Ende – völlig gleichberechtigt.

Beim Vergleich mit einem Grenzwert interessiert eigentlich nicht, wo sich der Stichprobenmittelwert befindet - eine andere Stichprobe liefert ja wieder einen anderen Wert- die Entscheidung muss durch den Vergleich von wahrem Wert mit dem Grenzwert gefällt werden.

Stellen Sie sich einen Grenzwert vor, der sich in der Abbildung 1 rechts vom wahren Wert der Grundgesamtheit befindet, aber noch links vom Stichprobenmittelwert der Stichprobe 2. Obwohl der Stichprobenmittelwert größer als der Grenzwert ist, ist unterschreitet der wahre Wert der Grundgesamtheit den Grenzwert. Damit läge keine Grenzwertüberschreitung durch die zu charakterisierende Grundgesamtheit vor.

Diese Denkweise ist vielen fremd. Sie vergleichen ausschließlich den Stichprobenmittelwert mit dem Grenzwert und wundern sich, dass es dabei Fehlbeurteilungen und somit Fehlentscheidungen geben kann. Wie haben Sie bisher gedacht?

Solange eine Messunsicherheit bei der Entscheidungsfindung nicht bekannt ist, kann man nur den Stichprobenmittelwert mit dem Grenzwert vergleichen. Das Dilemma beginnt, wenn eine Messunsicherheit bekannt ist, weil sie z. B. im Prüfbericht angegeben ist und zu berücksichtigen ist. Die Akkreditierungsrichtlinie für Prüflaboratorien [2] fordert explizit die Angabe einer solchen Messunsicherheit in der Nähe von Grenzwerten. Im Prinzip wird der ganze Aufwand zur Ermittlung der Messunsicherheit nur betrieben, um Entscheidungen sicherer zu machen und das Risiko von Fehlentscheidungen zu minimieren.

#### 3.2 Die Ermittlung der Messunsicherheit

Es existieren zahlreiche Vorschriften/Normen für die Ermittlung der Messunsicherheit,

z. B. [5]. Die Messunsicherheit soll sowohl die zufälligen, nicht beeinflussbare Streuungsanteile als auch systematische Abweichungen (hier kann man von vermeidbaren systematischen Fehlern sprechen) im Messvorgang berücksichtigen. Alle Schritte bis zum Analysenergebnis sind dabei zu berücksichtigen, also nicht nur die eigentliche Messung im Analysengerät. Um systematische Abweichungen berücksichtigen zu können werden beispielsweise Ringversuchsergebnisse oder Messungen an zertifizierten Referenzmaterialen durchgeführt.

Streuungen von Messungen werden durch ihre Standardabweichung bzw. ihre relative Standardabweichung charakterisiert. In den meisten Fällen ist auch die dafür notwendige Voraussetzung - die Gültigkeit der Normalverteilung der Messwerte - gerechtfertigt.

Die Messunsicherheit ist nun die Kombination der Streuungen aller möglichen Einflusskomponenten. Sie kann als Standardunsicherheit u angegeben werden, oder als erweiterte Messunsicherheit U. Die Standardunsicherheit u ist identisch mit der Standardabweichung. Sie umschließt ca. 68 % der Messwerte, besitzt also nur eine 68 %-ige Sicherheit. Für belastbare Aussagen wird jedoch eine deutlich höhere Sicherheit erwartet, so dass diese Standardunsicherheit u mit einem entsprechenden Erweiterungsfaktor k zu multiplizieren ist.

$$U = \frac{k \cdot u}{\sqrt{n}} \tag{1}$$

- u Standardunsicherheit
- k Erweiterungsfaktor (k=2 entspricht ca. 95 % Sicherheit; k=3 ca. 99 %)
- n Anzahl der Messungen für den angegebenen Mittelwert
- U erweiterte Messunsicherheit

Ein Analysenergebnis mit seiner Messunsicherheit wird wie folgt angegeben [3]:

$$Eisen\_gesamt = 13,7 \text{mg/I} \pm 1,2 \text{mg/I}(k=2)$$
 (2)

Es werden also der mittlere Gehalt, die Größe der Messunsicherheit und ihr Erweiterungsfaktor inkl. der Einheit angegeben. Die Angabe des Erweiterungsfaktors k (oder die statistische Sicherheit) ist wichtig, da ansonsten ihre Interpretation nicht eindeutig ist. Schließlich kann k auch 3 sein.

Die Gleichung (2) sagt folgendes aus: Der wahre Wert des Untersuchungsgegenstandes für den Gesamtgehalt an Eisen befindet sich mit 95 %iger Sicherheit in einem Bereich von  $\pm$  1,2 mg/l um den angegeben Mittelwert von 13,7. Damit wird der Bereich des unbekannten wahren Wertes von 12,5 bis 14,9 mg/l aufgespannt.

Wenn im Prüfbericht die Analysenergebnisse mit ihrer Messunsicherheit angegeben sind, kann das nun nachfolgend beschriebene Konzept der Grenzwertüberprüfung eingesetzt werden.

Sollten die Messunsicherheitsangeben fehlen, sie aber benötigt werden, kann man sich an die Untersuchungseinrichtung wenden und um diese Präzisierung im Prüfbericht bitten. Untersuchungseinrichtungen geben in der Regel diese Messunsicherheiten nicht automatisch an.

## 4 Statistisches Konzept zur Grenzwertüberprüfung

Das statistische Konzept zur Grenzwertprüfung beruht darauf, die Messunsicherheit in diese Prüfung einzubeziehen. Basierend auf einem einseitigen Hypothesentest wurde es in [1] sehr ausführlich dargelegt, Handlungsempfehlungen gegeben und diese an einigen praktischen Beispielen erörtert. Es wird in Kurzform hier vorgestellt.

Prinzipiell sind bei jedem Grenzwert zwei Methoden zur Überprüfung auf Konformität möglich. Ein Beispiel wird für einen oberen Grenzwert gegeben, analog sind die Betrachtungen für einen unteren Grenzwert:

- Überprüfung auf keine signifikante (sichere) Grenzwertüberschreitung (= Konformitätskriterium A),
- Überprüfung auf signifikante Grenzwertunterschreitung (= Konformitätskriterium B).

Die Methoden sind in den Abbildungen 2 bis 4 dargestellt.

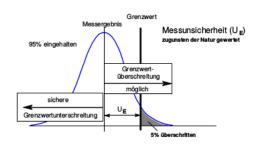


Abbildung 2: Konformitätskriterium B – Prüfung auf signifikante Grenzwertunterschreitung.

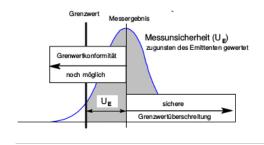


Abbildung 3: Konformitätskriterium A – Prüfung auf nicht signifikante Grenzwertüberschreitung.

In [1] wurde mit der erweiterten Messunsicherheit U ein kritischen Gehalt  $x_{krit}$  um den Grenzwert  $\mu_0$  eingeführt und für die Beurteilung benutzt.

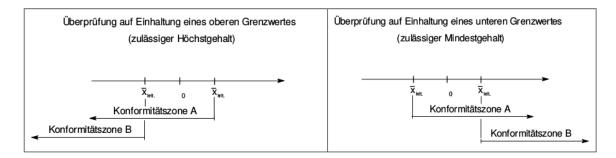


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Konformitätszonen möglicher Ergebnisse bei der Überprüfung eines Grenzwertes [1].

Für den Fall der Überprüfung eines oberen Grenzwertes auf nicht signifikante Überschreitung wird zur Entscheidung nachfolgende Gleichung (3) benutzt:

$$\overline{x} \le \mu_0 + U$$
 (3)

Ist die Gleichung (3) erfüllt, gilt der obere Grenzwert als nicht überschritten (Konformitätskriterium A).

Für den zweiten möglichen Fall der Überprüfung eines oberen Grenzwertes auf signifikante Unterschreitung wird Gleichung (4) verwendet:

$$\overline{x} < \mu_0 + U$$
 (4)

Ist Gleichung (4) erfüllt, gilt der Grenzwert als signifikant unterschritten. Dieses Konzept findet sich oftmals auch bei Richtwerten [6] völlig überstrapaziert angewendet, was bei größeren Streuungen dazu führt, dass ein sehr viel kleinerer Mittelwert im Vergleich zum Grenzwert notwendig ist. Dadurch werden Grenzwerte quasi erniedrigt. In derartigen Fällen sollten Sanktionen jedoch erst bei signifikanter Überschreitung verhängt werden, also das Konformitätskriterium A angewendet werden, welches offensichtlich weniger bekannt ist.

Für die Überprüfung auf Grenzwertkonformität werden demnach folgende Angaben benötigt:

- 1. Art des Grenzwertes (oberer oder unterer),
- 2. Vorgabe des Konformitätskriteriums zur Überprüfung (A oder B; nicht signifikante Überschreitung, signifikante Unterschreitung),
- 3. Grenzwert,
- 4. Mittelwert der Analyse,
- erweiterte Messunsicherheit.

Um dem Anwender des statistischen Konzepts die einzelnen Berechnungen zu ersparen, wird zur DIN 38402-100 [1] durch die Wasserchemische Gesellschaft auf deren Internetseite ein mit der DIN entwickeltes Berechnungsprogramm zur Verfügung gestellt, welches kostenlos genutzt werden kann. Bei der Frage, welches Konformitätskriterium zu wählen ist, muss man sich in der Regel abstimmen. Als Faustregel kann gelten:

- Konformitätskriterium B: festgelegte Grenzwerte, die keinesfalls überschritten werden dürfen, weil z.B. die Gesundheit gefährdet ist,
- Konformitätskriterium A: bei Richt- oder Orientierungswerten sollten Sanktionen erst dann wirksam werden, wenn ein vorgegebener Wert signifikant überschritten ist.

Die Funktionsweise und einfache Nutzung des Programms wird anhand eines Beispiels vorgestellt.

Nach Eingabe aller notwendigen Informationen wie in Abbildung 5 dargestellt, erfolgt die Beurteilung exakt nach DIN 38402-100 [1], wie in Abbildung 6 zu erkennen.

Sinnvoll ist es, diese Beurteilung sich von der Untersuchungseinrichtung zusätzlich als Anlage zum Prüfbericht übergeben zu lassen. Unabhängig davon, sollten auch Entscheidern diese Möglichkeit der Grenzwertbeurteilung vertraut sein.

Prüfung auf Grenzwertverletzung unter Berücksichtigung der Messunsicherheit mittels statistischer Methoden (nach DIN 38402-100:2016)

## Ausgangsdaten für die Grenzwertprüfung

Auftraggeber:	Bautest GmbH			
Untersuchungseinrichtung:	Labor GmbH			
Probenbezeichnung/Projekt:	Hallmarkt Halle			
Auftrags-/Probennummer:	16-077899-01			
Datum der Auswertung:	11.11.2016			
Analysenmethode:	ICP-OES			
Analyt:	Chrom			
Einheit:	mg/kg			
Standardunsicherheit u (für Einzelmessung):	22,5			
Anzahl der Bestimmungen n=	1			
Prüfung auf Einhaltung:	eines oberen Grenzwertes	•		
Kriterium für Konformität:	keine signifikante Überschreitung des Grenzwerte	•		
Bitte Anzahl Nachkommastellen eingeben:	0			
Vorgegebener Grenzwert:	1000			
Signifikanzniveau $\alpha$ (Standard = 0,05):	0,05			
Fehler 2. Art $\beta$ (Standard = 0,05):	0,05			

Abbildung 5: Eingabemaske des Berechnungsprogramms.

1030

Zu prüfendes Analysenergebnis x:

#### Prüfung auf Einhaltung eines Grenzwertes nach DIN SPEC 38402-100

Auftraggeber: Bautest GmbH
Untersuchungseinrichtung: Labor GmbH
Probenbezeichnung/Projekt: Hallmarkt Halle
Auftrags-/Probennummer: 16-077899-01
Datum der Auswertung: 11.11.2016

Analysenmethode ICP-OES
Analyt Chrom

Standardunsicherheit u (für Einzelmessun 22,5 mg/kg

Anzahl der Bestimmungen 1

Prüfung auf Einhaltung eines oberen Grenzwertes

Kriterium für Konformität keine signifikante Überschreitung des Grenzwertes

Vorgegebener Grenzwert	1000	mg/kg
Kritische Grenzwertüberschreitung g $(\alpha = 0.05)$	37	mg/kg
Erfassbare Grenzwertüberschreitung $\delta$ ( $\alpha = 0.05$ ; $\beta = 0.05$ )	74	mg/kg
Kritischer Gehaltswert x <sub>krit</sub>	1037	mg/kg
Konformitätszone	X < 1037 mg/kg	
Zu prüfendes Analysenergebnis x:	1030	mg/kg
Innerhalb der Konformitätszone:	ja	
Gemessene Grenzwertüberschreitung $\Delta X^4$	30	mg/kg
Gemessene Grenzwertunterschreitung ΔX	keine	mg/kg

Beurteilung:	ΔX*< g	
	nicht signifikante Grenzwertüberschreitung	
	Die Probe ist konform.	

Abbildung 6: Ergebnis der Überprüfung auf Grenzwertkonformität.

#### 5 Zusammenfassung

Mit der DIN SPEC 38402-100 [1] liegt endlich eine eindeutige und für jedermann nachvollziehbare Vorschrift für die Überprüfung auf Konformität vor. Das Verfahren ist dann anzuwenden, wenn in den Vorschriften keine speziellen Angaben zum Umgang mit der Messunsicherheit bei der Grenzwertüberprüfung gemacht werden.

Das Risiko für Fehlentscheidungen wird auf diese Art und Weise deutlich reduziert und damit endlich dem Konzept der Messunsicherheit Rechnung getragen.

# Literaturverzeichnis

- [1] DIN 38402-100:08-2017, Prüfung auf Grenzwertverletzung unter Berücksichtigung der Messunsicherheit sowie zeitlicher und räumlicher Variabilität
- [2] EN ISO/IEC 17025:2005-08, Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien
- [3] DIN 38402-1:2011-09 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung Allgemeine Angaben (Gruppe A) Teil 1: Angabe von Analysenergebnissen (A 1)
- [4] GUM:JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement, Punkt 2.2.3
- [5] DIN ISO 11352:2013-03, Wasserbeschaffenheit Abschätzung der Messunsicherheit beruhend auf Validierungs- und Kontrolldaten
- [6] LAGA-Methodensammlung Abfalluntersuchungen, LAGA-Forum Abfalluntersuchung, Abschnitt II.12; 14.10.2016