

Messunsicherheit, Probeninhomogenität und rechtliche Bewertung

PD Dr. habil. Steffen Uhlig



www.quodata.de

Dr. Hartmut Jäger




Umwelt Deutschland

Silvia Strecker

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



1. Die Messunsicherheit bei der rechtlichen Auslegung von Gesetzen
2. Der Umgang mit Messunsicherheiten im Gesetz
3. Beweislast
4. Messunsicherheit, Ergebnisunsicherheit und Präzision
5. Fallbeispiel: Mechanische Probenvorbereitung als qualitätsbestimmender Schritt einer PAK-Untersuchung
6. Fundamentalvariabilität
7. Webtool zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheit nach BBodSchV

Umweltrechtliche Normen knüpfen häufig Rechtsfolgen an die Einhaltung oder Überschreitung von normierten Werten im jeweiligen Tatbestand, (Tatbestandsvoraussetzung, hier: Wert (+)  Rechtsfolge)

- Bei Einhaltung von Schutz- und Vorsorgewerten ist eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung zu erteilen.
- Bei Überschreitung von Prüf-/Maßnahmenwerte nach der BBodSchV sind einzelfallbezogene Prüfungen/Maßnahmen nach dem BBodSchG erforderlich.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



In der Praxis ist es nicht möglich, beliebig hohe Anforderungen an die Genauigkeit von Messwerten zu erfüllen. Jedes Messergebnis ist nur eine **Annäherung** an den wahren Wert und mit einer **Unsicherheit** behaftet.

Ursachen für Unsicherheiten:

- Unvollkommenheit der Messeinrichtung
- Unvollkommenheit des analytischen Verfahrens (Spezifität/Empfindlichkeit)
- Unvollkommenheit der Probenahme (z.B. Heterogenität des Bodens)

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Unsichere Tatbestandserfüllung bei Messunsicherheiten:

- Einschränkung der Belastbarkeit einer Aussage zur Einhaltung/Unterschreitung/Überschreitung von Werten durch Messunsicherheit, soweit sie im rechtlich relevanten Bereich um den normierten Wert liegt.
- Je größer die Messunsicherheit, desto größer der Bereich rechtlicher Unsicherheit bei der Tatbestandsbewertung.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Der Rechtsgrundsatz **ultra posse nemo obligatur** (lateinisch: Über das Können hinaus wird niemand verpflichtet) besagt, dass eine moralische oder rechtliche Verpflichtung zu einer Leistung, die unmöglich ist, nicht bestehen kann, z.B.

§ 275 BGB Ausschluss der Leistungspflicht

(2) Der Schuldner kann die Leistung verweigern, soweit diese einen Aufwand erfordert, der unter Beachtung des Inhalts des Schuldverhältnisses und der Gebote von Treu und Glauben in einem groben Missverhältnis zu dem Leistungsinteresse des Gläubigers steht. Bei der Bestimmung der dem Schuldner zuzumutenden Anstrengungen ist auch zu berücksichtigen, ob der Schuldner das Leistungshindernis zu vertreten hat.

Messunsicherheit ist nicht nur tatsächlich, sondern auch rechtlich hinzunehmen.

Aber:

Zur **Beurteilung** eines Messwertes im Hinblick auf die Erfüllung eines rechtlichen Tatbestandes ist die Angabe der Messunsicherheit erforderlich (Identifikation und Dokumentation im Prüfbericht).

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Vorschriften zur Reduzierung von Messunsicherheiten

- Vorgaben zum Verfahren, definierte Untersuchungsbedingungen
- Anforderungen an Probennehmer
- Vorgegebene Anzahl an Messungen

Vorschriften zum Umgang mit Messunsicherheiten

- „Einpreisung“ in die festgelegten Werte
- Auf- oder Abschläge für Messunsicherheiten
- Rundungsregelungen
- Pflicht zur Angabe von Messunsicherheiten

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Beweislast folgt im Zivilrecht und im öffentlichen Recht dem

„Günstigkeitsprinzip“

Danach trägt jeder den Rechtsnachteil für die Nichterweislichkeit der ihm günstigen Tatbestandsmerkmale einer Norm.

kurz:

Wer ein Recht für sich in Anspruch nimmt, muss es auch darlegen und beweisen können.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen



Zivilrechtliche Toleranzregelungen

- „Toleranz bezieht sich auf die zulässige Gesamtabweichung eines Objekts von einer festgelegten Eigenschaft (vorgegebener Sollwert).
- Bei der Untersuchung auf Abnahmefähigkeit des Objekts kann Messunsicherheiten durch die Festlegung von **Toleranzgrenzen** Rechnung getragen werden.
- Die Konformitätswahrscheinlichkeit hat Auswirkungen auf die Verteilung von Produzenten- und Konsumentenrisiko.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen

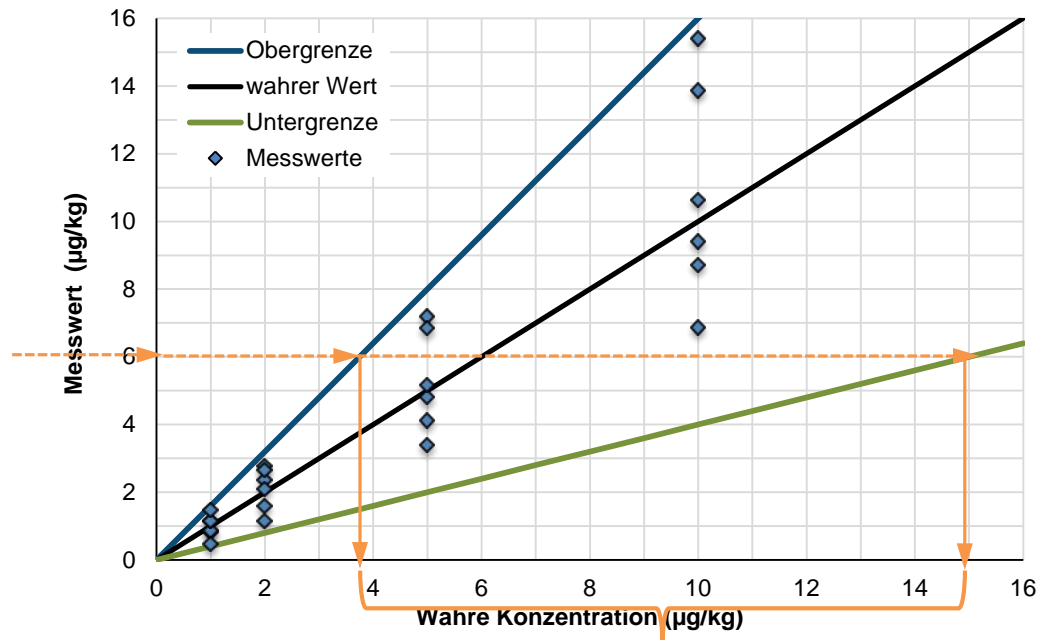


- Unter dem Begriff der Messunsicherheit versteht man oft nur die aus den Arbeitsschritten der chemischen Analyse resultierende Unsicherheit der Messwerte
- Der Begriff der Ergebnisunsicherheit berücksichtigt die Unsicherheiten des Messvorgangs beginnend bei der Probennahme bis hin zur analytischen Messung.
- Forschungsprojekte zur Ermittlung der Ergebnisunsicherheit:
 - Handlungsanleitung zum Umgang mit der Ergebnisunsicherheit bei der Über- und Unterschreitung von Prüf- und Maßnahmewerten für den Vollzug der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, Januar 2019, UFOPLAN 3715 74 299 0, UBA-FB-00
 - Prüfung der Arbeitsabläufe Probenahme (PN), Probenvorbereitung (PV), Analytik und QS-Maßnahmen (LAGA-LFP)

- Präzision (Schwankungsbereich)
= Streuung (Standardabweichung) der Ergebnisse, wenn Probenahme und Analyse mehrfach wiederholt werden (bei gleicher Grundmenge).
- Ergebnisunsicherheit
= Vertrauensbereich um ein bestimmtes Ergebnis.
- Wie hängt die Ergebnisunsicherheit von der Präzision ab?
Naive Annahme: Schwankungsbereich = Ergebnisunsicherheitsbereich, d.h. z.B.
 - Schwankungsbereich +/- 60 % -> Ergebnisunsicherheitsbereich +/- 60%?
 - Schwankungsbereich +/- 120 % -> Ergebnisunsicherheitsbereich +/- 120%?

- Bei einer relativen Standardabweichung von zum Beispiel 30% wird man bei einer tatsächlichen Konzentration
 - von 1 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in 95 von 100 Bestimmungen einen Messwert zwischen 0.4 und 1.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$
 - von 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ in 95 von 100 Bestimmungen einen Messwert zwischen 4 und 16 $\mu\text{g}/\text{kg}$ erhalten.

Messwert: 6 $\mu\text{g}/\text{kg}$



Ergebnisunsicherheit: 3.75 – 15 $\mu\text{g}/\text{kg}$

2015 Beauftragung zur Bestimmung von PAK in einer Bodenprobe, Probenmenge ca. 2kg

Analysenprozess:

Probe wird mechanisch homogenisiert, ein repräsentativer Anteil von ca. 300g wird <5mm gebrochen, die gebrochene Teilprobe wird nochmals homogenisiert, Einwaage von ca. 15g, Bestimmung der PAK nach DIN ISO 18287, 05/2006
Extraktion mit Hexan/Aceton, Bestimmung mittels GC/MS

Ergebnis:

Summe PAK nach EPA 348 mg/kg

Kunde glaubt dem Wert nicht und bestellt 2 Wiederholungsanalysen.
Die Bestimmungen werden aus der gleichen Teilprobe <5mm durchgeführt.

Ergebnisse:

Summe PAK nach EPA 120 mg/kg

Summe PAK nach EPA 271 mg/kg

Nach Rücksprache mit dem Kunden wird eine weitere Dreifachbestimmung durchgeführt.
Dafür wurde von der Rückstellprobe wieder ca. 300g entnommen.
Diese wird behandelt wie die erste Probe mit 3x Einwaage von ca. 15g.

Ergebnisse:

Summe PAK nach EPA 79 mg/kg

Summe PAK nach EPA 109 mg/kg

Summe PAK nach EPA 141 mg/kg

Zusammenfassung

1. Messung	348 mg/kg
2. Messung	120 mg/kg
3. Messung	271 mg/kg
4. Messung	79 mg/kg
5. Messung	109 mg/kg
6. Messung	141 mg/kg

Mittelwert 178 mg/kg, SD 107mg/kg, RSD 60%

Der Kunde war mit den Ergebnissen „verständlicherweise“ nicht zufrieden.

Der Kunde erwartete vom Labor eine Messunsicherheit von 10%

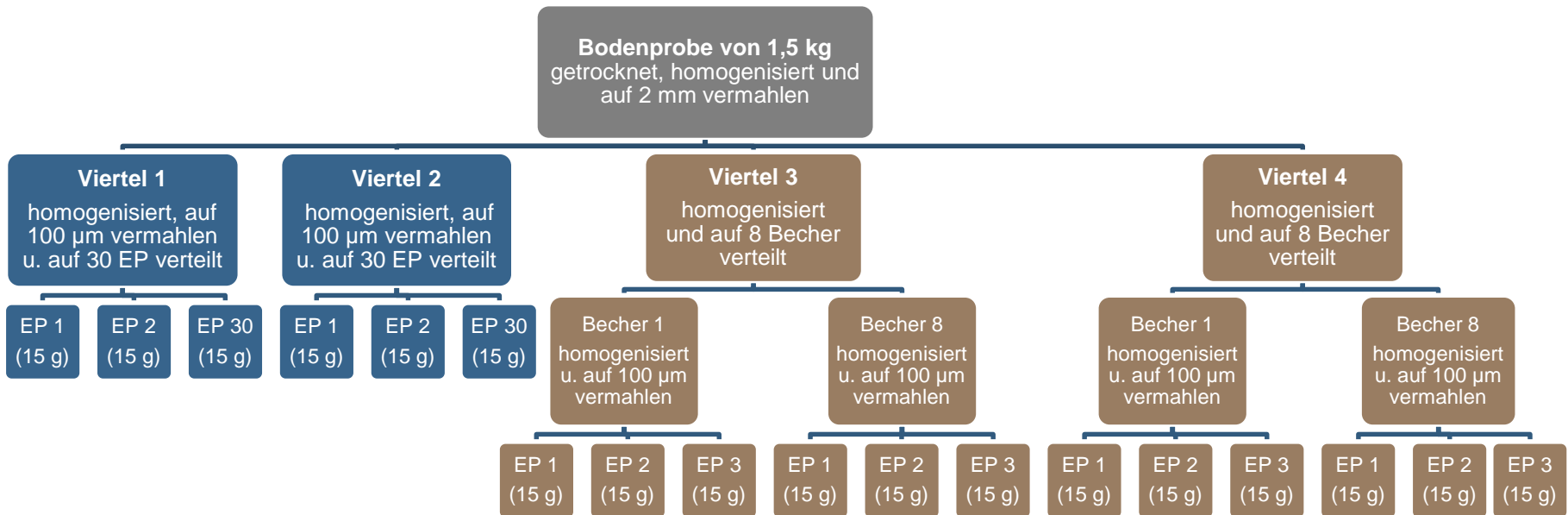
Nach intensiver Diskussion haben wir beschlossen, die gesamte Rückstellprobe nach aus unserer Sicht intensivster Homogenisierung zu analysieren.

Ergebnis dieser Untersuchung sollte sein:

- Hinweise über die notwendige Aufarbeitung zu erhalten.
- was für ein Aufwand muss betrieben werden um die geforderte Messunsicherheit von 10% in einer Probe zu erreichen.

Fallbeispiel: Mechanische Probenvorbereitung bei PAK-Analyse

Untersuchungsschema der Probenaufarbeitung



Ergebnis: Streuung der Einzelproben innerhalb von Viertel 1 und innerhalb von Viertel 2 ist mit 6%-9% deutlich geringer als die Streuung der Bechermittelwerte innerhalb von Viertel 3 und innerhalb von Viertel 4 (15-18%).

Ergebnisse der Bestimmungen

	Mittelwert der 30/ 24 Einzelproben	SD	RSD
Viertel 1	54,2 mg/kg	4,70 mg/kg	8,7%
Viertel 2	52,7 mg/kg	3,35 mg/kg	6,4%
Viertel 3	49,7 mg/kg	9,03 mg/kg	18,2%
Viertel 4	57,7 mg/kg	8,49 mg/kg	14,8%
Viertel 3:	Mittelwert	SD	RSD
	der 3 Messungen je Becher	0,55 mg/kg	1,10%
Viertel 4:	Mittelwert	SD	RSD
	der 3 Messungen je Becher	0,48 mg/kg	0,84%

Das zeigt, dass die Probe je Becher (ca. 45g) eine sehr hohe Homogenität aufweist, jedoch die Streuungen der einzelnen Becher der Probenviertel 3 und 4 einen RSD von 19,0% bzw. 15,5% aufweisen.

Rückschlüsse aus der Auswertung

Es zeigt sich, dass eine Vermahlung von ca. 50g der homogenisierten und <2mm gebrochenen Probe nicht ausreicht (RSD ca. 17%, erweiterte Messunsicherheit von 34%)

Werte der ersten 15 Teilproben des Viertels 1 [mg/kg]

63,9	65,5	62,2	48,9	58,5	53,3	61,3	59,3
52,5	47,3	59,3	53,5	52,1	54	52,1	

Notwendig: Zerkleinerung der Gesamtprobe auf < 2mm, intensive Homogenisierung und dann eine Vermahlung von ca. 400g Probe

Es müssen danach wenigstens drei Teilproben aufgearbeitet und analysiert werden.

Mathematisch-statistische Auswertung

- Ergebnis der varianzanalytischen Auswertung

	Viertel 1+2	Viertel 3+4
Vermahlung von 400g auf 100 μ und nachfolgende Homogenisierung	ja	nein
Wiederhol-Stdabw (1 Gerät für 3 Analysen))	entfällt	0.52 mg/kg
Intermediär-Stdabw. (2 Geräte für 2 x 15 Analysen)	4.08 mg/kg	entfällt
Fundamental-Stdabw.	entfällt	8.76 mg/kg
Standardabweichung der Einzelproben	4.08 mg/kg	8.77 mg/kg
Standardabweichung der Einzelproben in %	8%	16%

- Ursache für die hohe Variabilität der Daten ist die **Fundamentalvariabilität**, die insbesondere dann auftreten kann, wenn das Probenmaterial nicht in ausreichender Menge vermahlen wird.

Fundamentalvariabilität



Die Variabilität von Prüfergebnissen bei der Untersuchung von Feststoffen ist im Wesentlichen bestimmt durch

- Analytische Unsicherheit (systematische und zufällige Abweichungen)
- Räumliche Heterogenität der Grundmenge
- Fundamentalvariabilität

Die Fundamentalvariabilität hängt wesentlich von der Korngröße des Feststoffs und der Korngröße von Störpartikeln (Fremdpartikel) ab.

Die Fundamentalvariabilität berücksichtigt die Unsicherheit, die sich daraus ergibt, dass der Schadstoffgehalt der Feststoffpartikel von Partikel zu Partikel mehr oder weniger stark variiert und somit auch der Schadstoffgehalt der entnommenen Probe selbst bei **perfekter Durchmischung** des Materials zufälligen Schwankungen unterliegt.

- In der Vergangenheit blieb die Fundamentalvariabilität bei der Messunsicherheitsermittlung häufig unberücksichtigt.
- Ein adäquater Umgang mit der Ergebnisunsicherheit ist für die Bewertung der Analyseergebnisse in Hinblick auf eine Über- oder Unterschreitung von Prüf- oder Maßnahmenwerten von großer Bedeutung.
- Im Rahmen eines vom UBA geförderten und vom Fachbeirat für Bodenuntersuchungen (FBU) begleiteten Forschungsvorhabens wurde ein Konzept zur Berücksichtigung der Ergebnisunsicherheit im Rahmen des Vollzugs der BBodSchV erarbeitet.
- Auf der Basis der Ergebnisse dieses Vorhabens wurde für Bodenuntersuchungen ein Webtool zur standardisierten Berechnung der Ergebnisunsicherheit entwickelt:
<https://messunsicherheit-bbodschv.quodata.de/new/index.html>

Ermittlung der Ergebnisunsicherheit im Rahmen der BBodSchV

Angemeldet als: Hettwer | [Abmelden](#) | [Kennwort ändern](#) | [Dateneingabe](#) | [Bewertung](#)

Ermittlung der Messunsicherheit in BBodSchV

Dateneingabe

BaP - Szenario 1

Situation	
Untersuchungsumfang:	<input checked="" type="radio"/> Orientierende Untersuchung <input type="radio"/> Detailuntersuchung
Wirkungspfad:	<input type="text" value="Boden - Mensch"/>
Flächennutzung:	<input type="text" value="Kinderspielflächen"/>
Flächengröße:	<input type="text" value="80"/> m ²
Mächtigkeit des Entnahmebereichs:	<input type="text" value="10"/> cm
Bodencharakteristika	
Bodenart:	<input type="text" value="Grobsand (bis 2 mm)"/>
Kann die Heterogenität der Schadstoffverteilung in der Fläche beurteilt werden?	<input checked="" type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein
Wie heterogen verteilt sich die Schadstoffbelastung bzw. das belastete Porenvolumen in der Fläche? (100 % = homogen)	<input type="text" value="100"/> %
Wie groß sind die belasteten Fremdpartikel bzw. der Durchmesser des belasteten Porenvolumens im Durchschnitt?	<input type="text" value="1"/> mm
Welcher Anteil der Schadstoffbelastung stammt von Fremdpartikeln (also nicht von Bodenpartikeln)?	<input type="text" value="0"/> %
Untersuchung von Einzel- oder Mischproben	
Wurden Einzel- oder Mischproben analytisch untersucht?	<input type="radio"/> Einzelproben <input checked="" type="radio"/> Mischproben

email:
info@quodata.de

Benzo(a)pyren: Schadstoffbelastung durch kontaminierte Bodenpartikel

Bewertungsergebnis

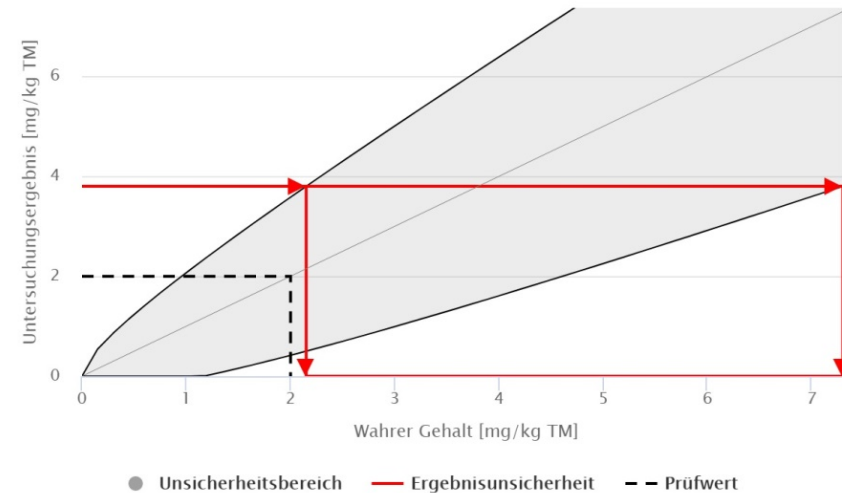
BaP - Szenario 1

Analyt:	Benzo(a)pyren	
Prüfwert:	2.00	mg/kg TM
Maßnahmenwert:	nicht in BBodSchV geregelt	mg/kg TM
Untersuchungsergebnis (Mittelwert aus 1 Mischprobe(n)):	3.80	mg/kg TM
Ergebnisunsicherheit:	2.15 - 7.30	mg/kg TM
Indizienkraft:	96	%
Analytische Messunsicherheit:	2.15 - 7.30	mg/kg TM

Der Prüfwert ist überschritten.

Es sind nach den Umständen des Einzelfalls weitere Untersuchungen durchzuführen, um festzustellen, ob eine schädliche Bodenveränderung / Altlast vorliegt. Dies kann gegebenenfalls im Rahmen der Detailuntersuchung erfolgen. Jedoch kann die Feststellung einer schädlichen Bodenveränderung / Altlast bei Zusammentreffen ungünstiger Umstände auch bereits auf Grundlage der Prüfwertüberschreitung getroffen werden.

Darstellung der Ergebnisunsicherheit für Benzo(a)pyren



Benzo(a)pyren: Schadstoffbelastung durch Fremdpartikel (1 mm Durchmesser)

Bewertungsergebnis

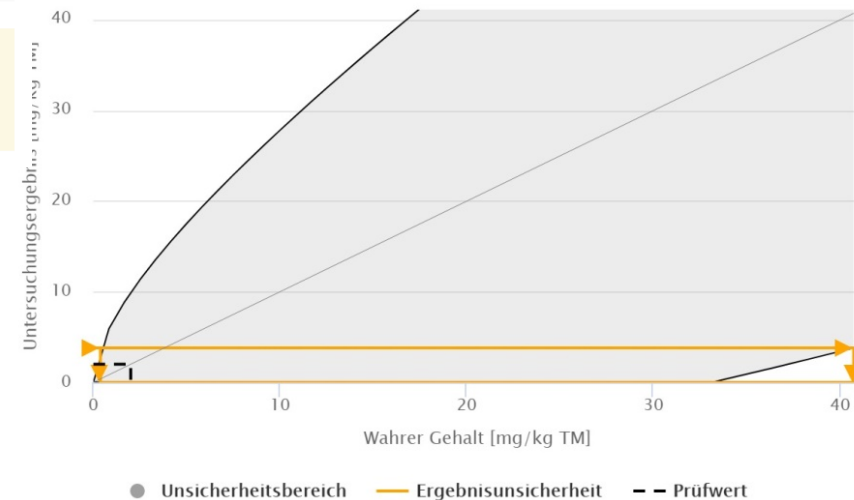
BaP - Szenario 2

Analyt:	Benzo(a)pyren
Prüfwert:	2.00 mg/kg TM
Maßnahmenwert:	nicht in BBodSchV geregelt mg/kg TM
Untersuchungsergebnis (Mittelwert aus 1 Mischprobe(n)):	3.80 mg/kg TM
Ergebnisunsicherheit:	0.38 - 40.72 mg/kg TM
Indizienkraft:	69 %
Analytische Messunsicherheit:	0.38 - 40.72 mg/kg TM

Die Untersuchung liefert keine eindeutige Bewertungsgrundlage.

Weitere Untersuchungen sind notwendig, um beurteilen zu können, ob ein Prüfwert überschritten oder unterschritten ist.

Darstellung der Ergebnisunsicherheit für Benzo(a)pyren



- Werte konkretisieren bei unbestimmten Rechtsbegriffen die Tatbestandsvoraussetzungen, sie sind aber auch selbst Ergebnis eines komplexen Entscheidungsprozesses.
- Messunsicherheiten finden häufig bereits Berücksichtigung in den Rechtsvorschriften.
- Messunsicherheiten sind anzugeben für eine rechtssichere Bewertung des Messergebnisses. Dabei ist die Fundamentalvariabilität oft von erheblicher Bedeutung.
- Für Ergebnisunsicherheiten im Rahmen der BBodSchV liefert das QuoData-Webtool zur Ergebnisunsicherheit die nötigen Berechnungen in standardisierter Form.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

PD Dr. habil. Steffen Uhlig
Fabeckstr.43, 14195 Berlin
uhlig@quodata.de

Dr. Hartmut Jäger
Querweg 8, 53639 Königswinter
hartmutjaeger@eurofins.de

Silvia Strecker
Schwannstraße 3, 40476 Düsseldorf
silvia.strecker@mulnv.nrw.de