

QAL2-Prüfung für CEMS in Emissonshandels-systemen

BUA Workshop Emission

München, 13.03.2024

Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.



QAL2-Prüfung für CEMS in Emissonshandelssystemen

1	Regelbereich BEHG und EU-ETS
2	Nachweisführung zur Messunsicherheit
3	Umsetzung der MVO-Auswertekriterien
4	Nachweisführung zur Qualitätssicherung
5	Problemstellungen zur Ersatzwertbildung
6	Flankierende Berechnung

Emissionshandelssysteme

BEHG: Brennstoffemissionshandelsgesetz

- regelt den nationalen Handel mit Emissionszertifikaten für Brennstoffe (Verkehr und Wärme)
- Inverkehrbringer fossiler Brennstoffe müssen Zertifikate für die bei der Verbrennung entstehenden CO_2-Emissionen erwerben
- **EU ETS: Europäisches Emissionshandelssystem**
- der Europäische Emissionshandel ist seit 2005 das zentrale Klimaschutzinstrument der EU
- Ziel ist die Reduktion der Treibhausgas-Emissionen der teilnehmenden Energiewirtschaft und der energieintensiven Industrie
- im EU-ETS werden die Emissionen von europaweit rund 9.000 Anlagen der Energiewirtschaft und der energieintensiven Industrie erfasst
- Zusammen verursachen diese Anlagen rund 40 % der Treibhausgas-Emissionen in Europa

Neu ab Januar 2024: Verbrennung von Abfällen unterliegt dem nationalen Emissionshandel (BEHG)

BEHG: Ab dem 1. Januar 2024 unterliegen auch CO_2-Emissionen aus der Abfallverbrennung dem Emissionshandel

- Erwerb von Zertifikaten für die bei der Abfallverbrennung entstandenen CO_2-Emissionen
- Bepreisung ist abhängig von der Abfallzusammensetzung,
  - nur der fossile Anteil wird bepreist
  - nicht jedoch der biogene Anteil der Abfälle
- 2024 35 €/t CO_2 ;2025 45 €/t CO2 und ab 2026 existiert ein Preiskorridor zwischen 55 und 65 €/t CO_2

➡ Betreiber fragen Kalibrierung der CO_2 Messkanäle bei Messinstituten an und überlegen wie der biogene CO_2 Anteil bestimmt werden kann (Bilanz, Messung, Emissionsfaktoren)

Genauigkeiten für KEMS sind beschrieben in der **Emissionsberichterstattungsverordnung 2030 – EBeV 2030 §12** (10% MBE für CO2 und 7,84% auf gültigen Kalibrierbericht für die Abgasgeschwindigkeit)

Neu ab Januar 2024: Verbrennung von Abfällen unterliegt der Berichtspflicht des europäischen Emissionshandels (EU-ETS)

EU-ETS: Ab 2024 müssen EU-Mitgliedstaaten berichterstatten über CO_2-Emissionen aus der Abfallverbrennung

- Siedlungsabfallverbrennung unterliegen auch der Berichtspflicht im EU-ETS, sind aber noch nicht im Handel
- geforderte Messunsicherheiten nach MVO (Ebenenkonzept)
- 2026 soll anhand der Angaben entschieden werden, ob Abfallverbrennungsanlagen ab 2028 in EU-ETS einbezogen werden sollen
- ab 2028 entweder EU-ETS oder BEHG
- Verifizierung in beiden Fällen nötig

DV (EU) 2018/2066 vom 19.12.2018 (MVO)

Art. 40 Anwendung

- Messmethodik (KEMS) verpflichtend anzuwenden auf N_2O und CO_2-Weiterleitung
- Gleichstellung von Berechnungs- und Messmethodik (Wahloption)

Voraussetzung: Einhaltung der für die Methode festgelegten Ebenenanforderungen (Messunsicherheiten)

Berechnung CO_2 = Brennstoff/Material (x Heizwert) x Emissionsfaktor

Messung CO_2 = Konzentration x Volumenstrom

DV (EU) 2018/2066 vom 19.12.2018 (MVO)

Art. 41 Ebenenanforderungen für Messunsicherheit

- höchste Ebene
  große Quellen > 5000 t $CO_{2(Äq)}$/a und > 10% der Gesamtemission bei B- und C-Anlagen
- Ebene 2
  große Quellen > 5000 t $CO_{2(Äq)}$/a und > 10% der Gesamtemission bei A-Anlagen
- 1(2) Ebene(n) niedriger,
  wenn technisch nicht machbar oder wirtschaftlich nicht vertretbar: bei C-Anlagen (A-/B-Anlagen)
- Ebene 1 für kleine Quellen

Ebenenanforderung nach MVO	Ebene 1	Ebene 2	Ebene 3	Ebene 4
CO_2-Emissionsquelle	± 10 %	± 7,5 %	± 5 %	± 2,5 %
N_2O-Emissionsquelle	± 10 %	± 7,5 %	± 5 %	entfällt
CO_2-Weiterleitung	± 10 %	± 7,5 %	± 5 %	± 2,5 %

Anlagenkategorien

A: < 50.000 t $CO_{2(Äq)}$/a
B: < 500.000 t $CO_{2(Äq)}$/a
C: > 500.000 t $CO_{2(Äq)}$/a
Gesamtemission

Ausblick 4. Handelsperiode (2021 – 2030)

- Klarstellung, dass Emissionen auf Biomasse mit KEMS erfasst werden können

Einsatzbereiche

Quelle: DEHSt-Auswertung der Emissionsberichte 2017

- Kontinuierliche CO_2-Emissionsmessung: Insgesamt 44 KEMS-Anwendungen
  - Schwerpunkte:
    - Regeneration von Katalysatoren
    - Thermische Nachverbrennung
    - Oxidationsprozesse (haupts. Herstellung org. Grundchemikalien)
    - Verbrennung von heterogenen Brennstoffen (variabler C-Gehalt)
  - Höchste Ebene (MU ≤ 2,5%) von 16 Anwendungen eingehalten
- Kontinuierliche N_2O-Emissionsmessung: 20 Anwendungen
  - Höchste Ebene (MU ≤ 5,0%) von 11 Anwendungen eingehalten

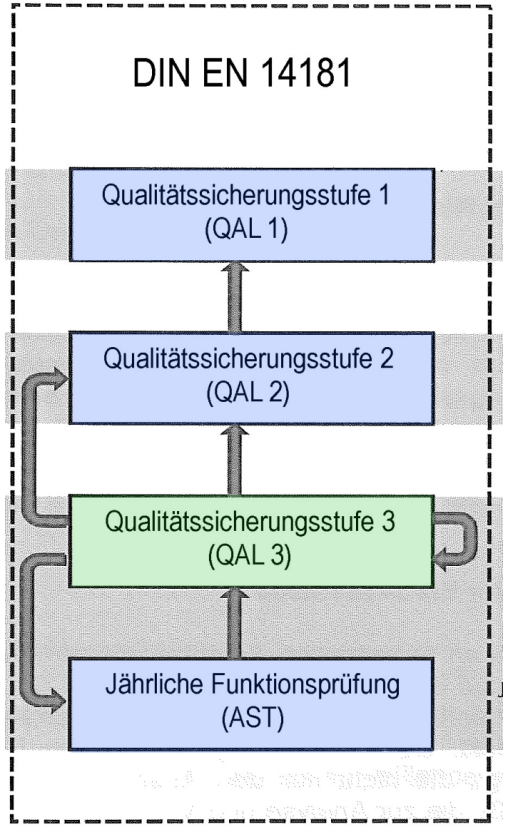
Einsatzbereich in Bezug auf erfasste Treibhausgasemissionen:

- von ca. 12 t CO2-Äq (Regeneration von Katalysatoren)
- bis ca. 8 Mio. t CO2-Äq (große Energieanlage)

Gesamtmenge der damit überwachten Emissionen: ca. 13 Mio. t $CO_{2(Äq)}$/a

DV (EU) 2018/2066 vom 19.12.2018 (MVO)

Art. 42 Messnormen und -laboratorien: Verweis auf EN14181, EN16911 und EN15259



Drei Stufen der Qualitätssicherung
(QAL 1-3, Quality Assurance Level)

- QAL 1: Zertifizierung von Messeinrichtungen durch Prüfinstitut
- QAL 2: **Korrekte Installation, Funktionsprüfung und Kalibrierung durch Messstelle nach § 29b BImSchG**
- QAL 3: Qualitätssicherung im laufenden Betrieb durch Betreiber
- AST: jährliche Funktionsprüfung durch Messstelle nach § 29b BImSchG

Nachweisführung zur Messunsicherheit

Unsicherheitsquellen nach DIN EN 14181 (Volumenstrom EN 16911) sind zu berücksichtigen:

- die spezifizierte Unsicherheit der Geräte für kontinuierliche Messungen
  gemäß QAL1: σ_{QAL1}
- die Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Kalibrierung
  gemäß QAL2: σ_{QAL2}
- weitere Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Art der Anwendung der Überwachungsinstrumente in der Praxis
  entspricht σ_{QAL1} mit spezifischen Anlagenbedingungen
  Unsicherheit aus: Instabilitäten, Umgebungstemperatur, elektr. Spannung, Luftdruck, Aufgabe Referenzmaterial
  das ist in der Praxis das reale Driftverhalten, festgestellt durch QAL3
- zusätzlich:
  Fehler Datenübertragung: Messumformer, Transmitter, Signalweg
  in der Praxis vernachlässigbar, aber Prüfkriterium AST

Nachweisführung zur Messunsicherheit

Der Gesamtfehler einer Messeinrichtung ergibt sich vereinfacht nach Leitfaden DEHSt, Pkt. 9.3 (implementiert in der VDI 3950 Blatt 2 Kapitel 6.2.11.3)

$$\sigma_{QAL2} = \frac{\frac{s_{D}*2}{k_v}}{repräsentativer\ Mittelwert}$$

- Variabilität s_D (Std.-Abweichung) für Konzentration und Abgasvolumenstrom
- 95% Konfidenzintervall (Umrechnung in erweiterte Messunsicherheit)
- k_v Wert (Prüfwert, abhängig von der Anzahl der Vergleichsmessungen)

Der Gesamtfehler ist für jede Messeinrichtung getrennt zu berechnen. Bei zu normierenden Messgrößen (z.B. Volumenstrom) sind die Fehler der Normierung entsprechend zu berücksichtigen.

Der Fehler des Massenstroms ergibt sich dann mit:

$$\sigma_{M_{THG}} = \sqrt{(\sigma_{K_{THG}})^2 + (\sigma_{V_{THG}})^2 + (\sigma_{norm})^2}$$

Nachweisführung zur Messunsicherheit

Vergleich von geforderten Messunsicherheiten mit QAL1 (EN 15267-3)

Tabelle 1 — Mindestanforderungen an AMS zur Messung gasförmiger Komponenten für den Labortest

Verfahrenskenngröße	Mindestanforderungen Gase außer O_2	Mindestanforderungen O_2	Prüfung nach Unterabschnitt
Einstellzeit	≤ 200 s ≤ 400 s für NH_3, HCl und HF	≤ 200 s	10.9
Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt	≤ 2,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	10.10
Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt	≤ 2,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	10.11
Lack-of-fit	≤ 2,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	10.12
Einfluss der Umgebungstemperatur am Nullpunkt bei Änderung der Temperatur vom Sollwert 20 °C in einem festgelegten Bereich	≤ 5,0 % [a]	≤ 0,50 % [b]	10.14
Einfluss der Umgebungstemperatur am Referenzpunkt bei Änderung der Temperatur vom Sollwert 20 °C in einem festgelegten Bereich	≤ 5,0 % [a]	≤ 0,50 % [b]	10.14
Einfluss des Probegasdrucks am Referenzpunkt für eine Druckänderung Δp von 3 kPa	≤ 2,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	10.15
Einfluss des Probegasvolumenstroms auf extraktive AMS bei dem vom Hersteller festgelegten Wert	≤ 2,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	10.16
Einfluss der Netzspannung bei –15 % unterhalb und bei +10 % oberhalb vom Sollwert der Versorgungsspannung	≤ 2,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	10.17
Einfluss von Schwingungen	≤ 2,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	10.18
Querempfindlichkeit	≤ 4,0 % [a]	≤ 0,40 % [b]	10.19
Auswanderung des Messstrahls bei In-situ-AMS	≤ 2,0 % [a]	–	10.20
Konverterwirkungsgrad für AMS zur Messung von NO_x	≥ 95,0 %	–	10.21

[a] Prozentwert bezogen auf die obere Grenze des Zertifizierungsbereiches
[b] Prozentwert als Sauerstoff-Volumenkonzentration (Volumenanteil)

Tabelle 2 — Mindestanforderungen an AMS zur Ermittlung gasförmiger Komponenten für den Feldtest

Verfahrenskenngröße	Mindestanforderungen Gase außer O_2	Mindestanforderungen O_2	Prüfung nach Unterabschnitt
Korrelationskoeffizient der Kalibrierfunktion, R^2	≥ 0,90	≥ 0,90	12.1
Einstellzeit	≤ 200 s ≤ 400 s für NH_3, HCl und HF	≤ 200 s	12.2
Lack of fit	≤ 2,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	12.4
Kürzestes Wartungsintervall	8 Tage	8 Tage	12.4
Nullpunktdrift im Wartungsintervall	≤ 3,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	12.5
Referenzpunktdrift im Wartungsintervall	≤ 3,0 % [a]	≤ 0,20 % [b]	12.5
Verfügbarkeit	≥ 95,0 %	≥ 98,0 %	12.6
Vergleichpräzision, R_{feld}	≤ 3,3 % [a]	≤ 0,20 % [b]	12.7

[a] Prozentwert bezogen auf die obere Grenze des Zertifizierungsbereiches
[b] Prozentwert als Sauerstoff-Volumenkonzentration (Volumenanteil)

Die Anforderungen für Volumenstrom unterscheiden sich nicht wesentlich:
Drift am Nullpunkt 2%, Drift am Referenzpunkt 4%

Anforderungen MVO für Massenstrom

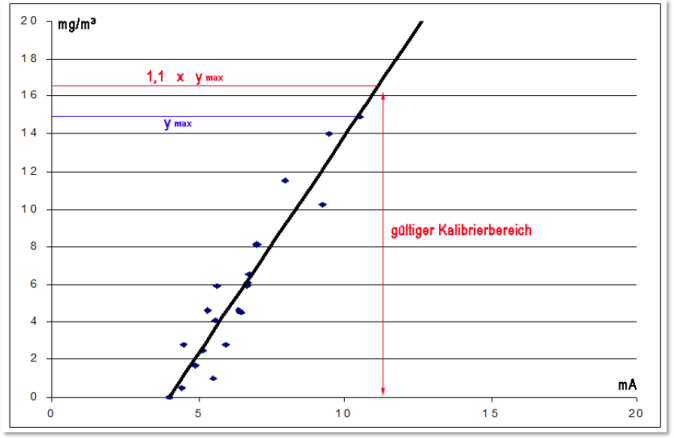
Ebenenanforderung nach MVO	Ebene 4
CO_2-Emissionsquelle	± 2,5 %

Nachweisführung zur Messunsicherheit

Teilweise fehlende Anwendbarkeit von Normen bei QAL2

Kalibrierverfahren nach 14181, bzw. 16911

a)	Streuung ≥ P * ELV	Gerade durch alle Punkte
b)	Streuung < P * ELV und >15%EGW	Nullpunkthypothese
c)	< 15% ELV	Sondermethode
d)	Streuung < 30% SRM_{max} nur für Volumenstrom nach 16911	Gerade durch unteren Referenzpunkt/Nullpunkt



Berechnung der Variabilität

$$s_D = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(D_i - \overline{D})^2}$$

Variabilitätsprüfung 14181

$$s_D \leq \sigma_0 \; k_v$$

mit σ_0 = P * ELV

Variabilitätsprüfung 16911

$$s_D \leq \sigma_0 \; k_v$$

mit σ_0 = 4% * 1,2 SRM_{max}

P: zulässige Messunsicherheit nach 13./17./44. BImSchV
ELV: Emissionsgrenzwert
SRM_{max}: max. Messwert Standardreferenzmessverfahren
s_D: Variabilität (Std.-Abweichung)
k_v: Prüfwert nach Anzahl Vergleichsmessungen
D: Abstand SRM zur Kalibrierfunktion

keine Festlegung für KEMS THG

Nachweisführung zur Messunsicherheit

Teilweise fehlende Anwendbarkeit von Normen bei QAL2

Kalibrierverfahren nach 14181, bzw. 16911

a)	Streuung ≥ 30% SRM_{max}	Gerade durch alle Punkte
b)	Streuung < 30% SRM_{max}	Nullpunkthypothese
~~c)~~	~~< 15% EGW~~	~~Sondermethode~~ irrelevant
d)	Streuung < 30% SRM_{max} nur für Volumenstrom nach 16911	Gerade durch unteren Referenzpunkt/Nullpunkt

Berechnung der Variabilität ~~Variabilitätsprüfung 14181~~ ~~Variabilitätsprüfung 16911~~

$$s_D = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(D_i - \overline{D}\right)^2}$$

Vorschlag Verzicht: Hohe Variabilität bedingt konservative Berichterstattung
niedrige Variabilität ist in Betreiberinteresse

Vorschlag für KEMS THG

Nachweisführung zur Messunsicherheit

In der Praxis erzielte Messunsicherheiten (ohne Anspruch auf Repräsentativität)

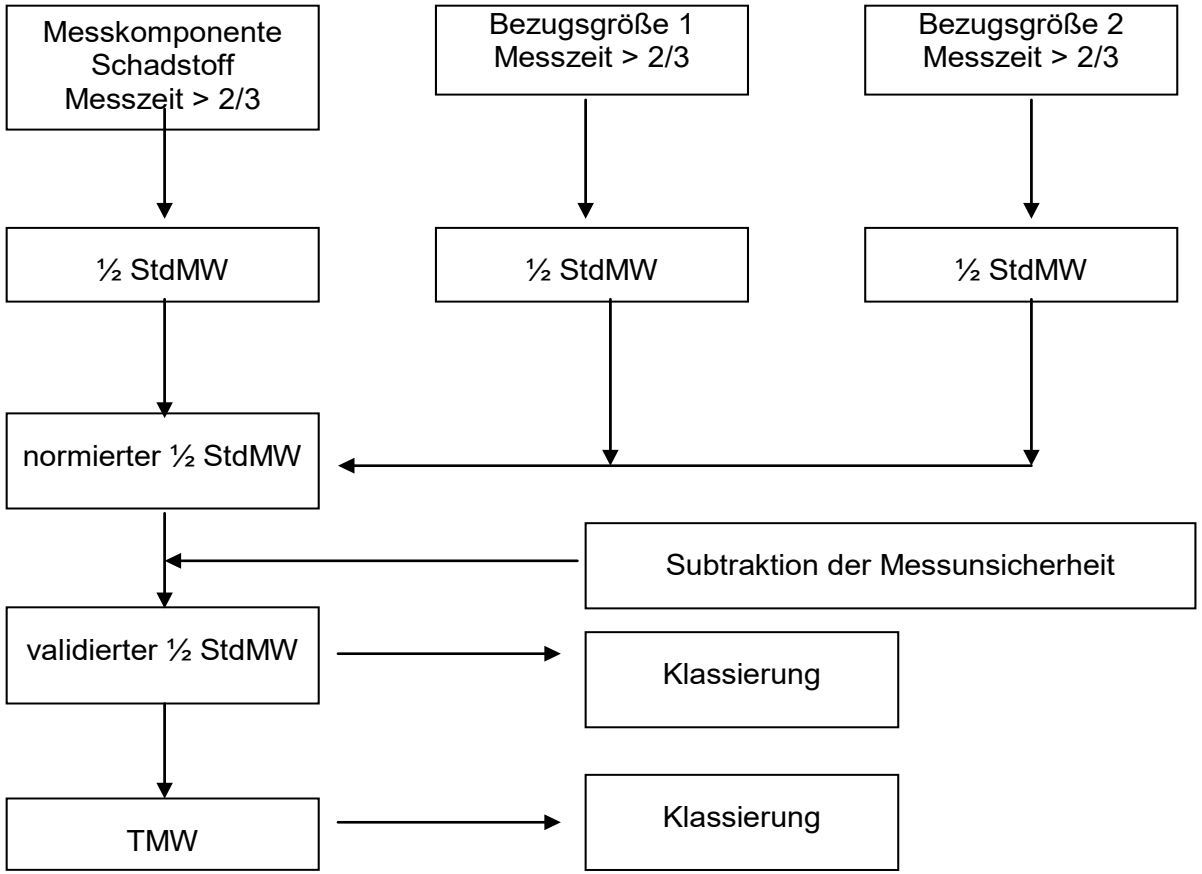
	Konzentrationsmessung CO2 (+CO)				Abgasvolumen				
	S_D	k_v	K_{mittel}	σ	S_D	k_v	σ	V_{mittel}	$σM_{THG}$
	Vol.%		Vol.%	%	m³/h		m³/h	%	%
Anlage 1	0,04	0,9803	15	0,54	Berechnung aus Verbrennungsluft			1,70	1,78
Anlage 2	0,08	0,977	17,3	0,95	Berechnung aus Verbrennungsluft			0,83	1,26
Anlage 3	0,04	0,9161	7,7	1,13	4.801	0,9761	60.000	16,40	16,43
Anlage 4	0,05	0,9824	5,9	1,73	2.270	0,9824	132.000	3,50	3,90
Anlage 5	0,03	0,9803	7,62	0,80	2.846	0,9803	165.710	3,50	3,59
Anlage 6	0,04	0,982	5,9	1,38	1.706	0,982	98.000	3,55	3,80
	ppm		ppm						
N2O	4,4	0,9603	490	1,87	170	0,9761	39.236	0,89	2,07

- Probleme insbesondere mit Abgasvolumen
- Strömungsbedingungen/Einbaubedingungen sind entscheidend
- EN 16911 wurde verzögert von Messinstituten umgesetzt
- Teilweise werden historisch als Betriebsmessung genutzte Einrichtungen verwendet
- in manchen Prozessanlagen werden Mischverfahren verwendet: Abgasvolumen berechnet, gemäß MVO, Art. 43 (5a)

Fazit: Konsequente Einholung von Ausnahmegenehmigungen im Überwachungsplan

Umsetzung der MVO-Auswertekriterien

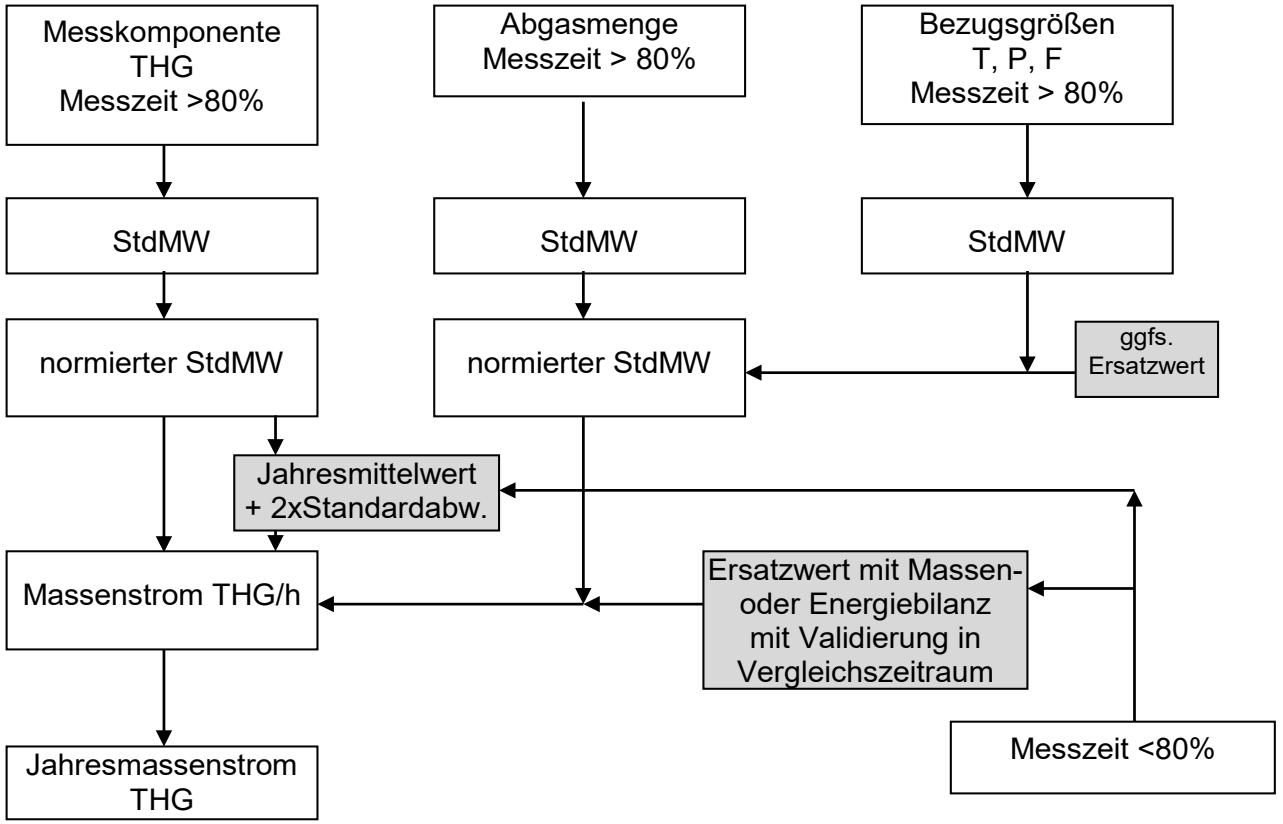
Auswertung KEMS BImSchG nach BeP



Umsetzung der MVO-Auswertekriterien

Art. 43 Bestimmung von Emissionen; Art. 44 Datenaggregierung

Auswertung KEMS TEHG nach MVO



Auswertung und Ersatzwertbildung

Eingesetzte Auswerteverfahren

- Standard-Emissionsauswerterechner sind für die Auswertung nach MVO nicht geeignet
- es sind spezielle Softwaremodule zur MVO-Auswertung am Markt, die auch händische Korrekturen ermöglichen und diese transparent darstellen
- aktuell zertifizierte Auswertesysteme berücksichtigen BeP 2020
- Parametrierung erfordert besondere Aufmerksamkeit
- häufig werden eigene Betreiberlösungen in Excel eingesetzt
- vorhandene Auswerterechner werden auch für Teilauswertungen genutzt
  - Mittelwertbildung der Stundenwerte
  - Kennung von Ausfallwerten
  - Ersatzwertbildung händisch für Konzentration und individuell für Abgasmengen

Umsetzung der MVO-Auswertekriterien

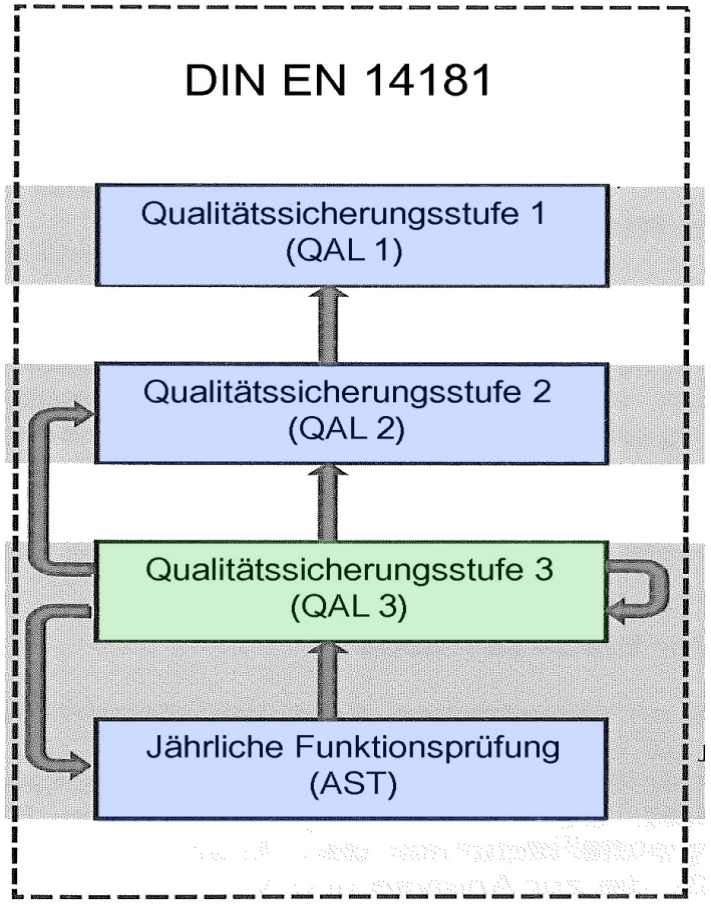
Probleme in der Praxis

- vorherige Betriebsmessungen werden als KEMS genutzt
- Sie sind nicht ausgestattet nach BeP-Kriterien
- Geräte sind nicht eignungsgeprüft (Austausch empfohlen)
- keine Statussignale erfasst
- Datenerfassung nur im Prozessleitsystem
- QS und Driftkontrollen werden unsystematisch durchgeführt *)
- Anwendung der Auswertekriterien für BImSchG-Auswertung *)

*) mittlerweile weitgehend verbessert

- Gichtgas, Hochofengas
- Ebenfalls historisch reine Betriebsmessungen
- Prüfungen und Vergleichsmessungen unter extremen Arbeitsschutzbedingungen
- Ergebnis ist faktisch ohne Auswirkung, da nur Weiterleitung erfasst

Nachweisführung zur Qualitätssicherung



Drei Stufen der Qualitätssicherung
(QAL 1-3, Quality Assurance Level)

- QAL 1: Zertifizierung von Messeinrichtungen
- QAL 2: Korrekte Installation, Funktionsprüfung und Kalibrierung durch Messstelle nach § 29b BImSchG
- QAL 3: **Qualitätssicherung im laufenden Betrieb durch Betreiber**
- AST jährliche Funktionsprüfung durch Messstelle nach § 29b BImSchG

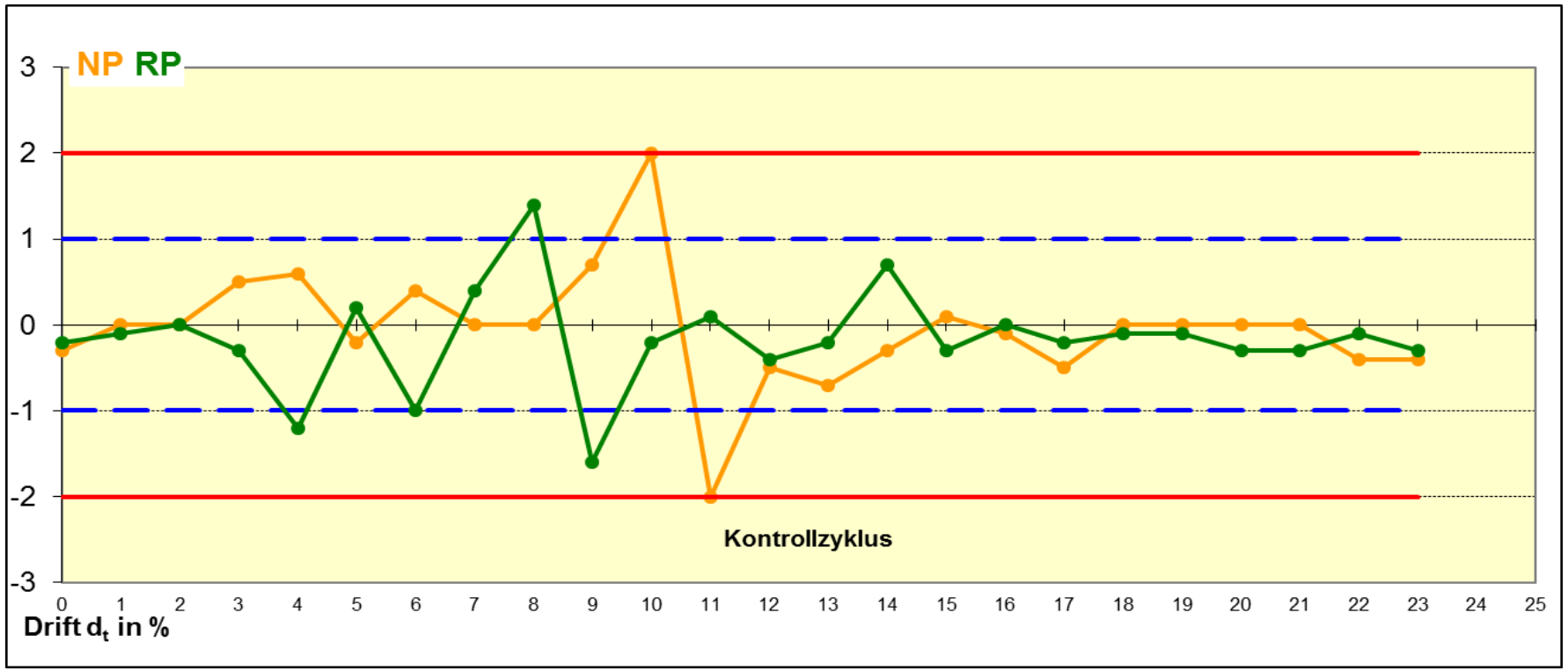
Nachweisführung zur Qualitätssicherung

Driftkontrolle

- die Messunsicherheit nach MVO-Ebene muss in Kombination von Konzentration und Abgasvolumen eingehalten werden
- im Falle von Shewhart-Regelkarten, die die kombinierte Drift und Präzision der AMS ermittelt, ist ±2 s_{AMS} für die Alarmgrenzen zu verwenden
- zusätzlich dürfen Warngrenzen bei ±s_{AMS} verwendet werden, um rechtzeitig Informationen über notwendige Justierungen oder Wartungen der AMS zu erhalten
- bei kleinen Driften sollte besser keine Nachjustierung durchgeführt werden
- die Dokumentation des Driftverhaltens erfolgt in einer Regelkarte

Nachweisführung zur Qualitätssicherung

Driftkontrolle: Einstellung Regelgrenze 2% MBE (entspricht 0,2 Vol.%, ca. 2,5% vom Betriebswert)
s_{AMS} = 0,1 Vol.% (typischer Betriebswert 8 Vol.%, bei Messbereich: 0 – 10 Vol.%)



ab Zyklus 12: Verzicht auf obligatorisches Nachjustieren auf Driftabhängiges Nachjustieren

Nachweisführung zur Qualitätssicherung

Vollständige Anwendung der QS-Stufen nach EN 14181

- Verwendung eignungsgeprüfter/zertifizierter Messeinrichtungen (QAL1)
- regelmäßige Kalibrierung und Funktionsprüfung (QAL2, AST)
- regelmäßige Driftkontrollen durch Betreiber (QAL3)
- Regelmäßige / tägliche Datenkontrolle (Verfügbarkeit, Einhaltung Kalibrierbereich) (QAL3)
- konsequente Dokumentation aller qualitätsrelevanten Ereignisse (QAL3)
- Dokumentation von Personalschulungen (QAL3)

- **Alle erforderlichen Aktivitäten sind in einer Verfahrensanweisung zusammengefasst?**

Flankierende Berechnung

Art. 46: Flankierende Emissionsberechnung

- parallel zur Emissionsmessung muss die Emission dieses Stoffstroms berechnet werden (nicht N_2O)
- es sind keine Genauigkeitsvorgaben für die Berechnung einzuhalten (keine Ebenenmethodik)
- die Berechnung dient zur Plausiblitätsprüfung,
  insbesondere für den Methodenvergleich vormals durch Berechnung ermittelter Emissionen
- Interpretation von Abweichungen im Berichtsjahr und in der Berichtshistorie (systematische und nicht systematische Abweichungen)

Bewertung KEMS für EU-ETS und BEHG

- die Einhaltung der geforderten Messunsicherheit von 2,5% ist in der üblichen Praxis kaum möglich
- insbesondere die Abgasmengenmessung muss optimiert sein:
  - optimaler Einbauort
  - optimale Strömungsbedingungen
  - bei Neueinrichtung werden Voruntersuchungen durch Messstelle dringend empfohlen
  - Voruntersuchung der Strömungsmechanik durch Simulationsmethoden möglich
- bei Einsatz aktueller Messtechnik sind die Konzentrationsmessungen für CO_2 und N_2O weit unterhalb der Messunsicherheit für den Massenstrom
- wie sich die Messunsicherheit verhält, wenn der biogene Anteil mit einbezogen werden muss ist bisher nicht abschließend kalkuliert worden
- für das BEHG sind die geforderten messtechnischen Unsicherheiten vermutlich leicht einzuhalten

Kontakt



Johann Schmidt
+49 (0)941 9910-215
johann.schmidt@tuvsud.com