Freie und Hansestadt Hamburg
Institut für Hygiene und Umwelt

Beschreibung des orientierenden Stickstoffdioxid-Messverfahrens in der Außenluft mit Passivsammlern

Inhaltsverzeichnis:

1 Einleitung 1
2 Messverfahren 2
3 Auswertung 3
4 Qualitätssichernde Maßnahmen 3
4.1 Kenndaten nach Herstellerangaben 3
4.2 Messunsicherheit 4
5 Fazit und Ausblick 5
6 Anhänge 6
6.1 Anhang 1: Ermittlung der Aufnahmerate für die Messungen in Hamburg 6
6.2 Anhang 2: Ermittlung der Messunsicherheiten auf Basis des Äquivalenztests für die Messungen in Hamburg 7

1 Einleitung

Die Bewertungsmaßstäbe für Luftverunreinigungen durch Stickstoffdioxid (NO_2) werden in der Neununddreißigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) angegeben. Sie stellt u.a. eine Umsetzung der Grenzwerte der europäischen Luftqualitätsrichtlinie 2008/50/EG dar.
Maßgeblich für die hier präsentierten Untersuchungen ist der Grenzwert von Stickstoffdioxid zum Schutz der menschlichen Gesundheit mit dem ab 2010 gültigen Jahresmittelwert von 40 Mikrogramm NO_2 pro Kubikmeter Außenluft (µg/m³ NO_2). Ab 2030 beträgt dieser Grenzwert nach EU-Richtlinie 2024/2881 20 µg/m³ NO_2.
Die Überwachung des NO_2-Grenzwertes erfolgt in Hamburg durch die kontinuierlichen Messungen des Hamburger Luftmessnetzes (HaLm), die die entsprechenden Qualitätsanforderungen der Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa bzw. der 39. BImSchV erfüllen (durch Anwendung des Referenzmessverfahrens nach DIN EN 14211: *Außenluft - Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz; Deutsche Fassung EN 14211:2025*). In Ergänzung dazu erfol-

Institut für Hygiene und Umwelt
Hamburger Landesinstitut für Lebensmittelsicherheit, Gesundheitsschutz und Umweltuntersuchungen
Marckmannstraße 129a, 20539 Hamburg
Internet: www.hamburg.de/hu
Geschäftsführer: Dr. Ansgar Ferner
HRA 119459, Amtsgericht Hamburg

gen Passivsammlermessungen als orientierende Zusatzuntersuchungen (DIN EN 16339; *Außenluft – Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammler; Deutsche Fassung EN 16339:2025*). Mit diesem Messverfahren wird integral jeweils über längere Expositionszeiträume gemessen (im vorliegenden Fall jeweils über einen Monat) und es können dann orientierende Aussagen in Bezug auf Konzentrationswerte als Jahresmittelwerte getroffen werden.

Die Probenahme von Luftschadstoffen mit Passivsammlern stellt ein einfaches und kostengünstiges Verfahren dar. Da die Sammler keinen Stromanschluss o. ä. benötigen, können diese in einem Schutzgehäuse einfach an z. B. Straßenlaternen ausgehängt werden (Abb. 1). Dies erleichtert die Auswahl der Messpunkte erheblich.

Abb. 1: NO_2-Passivsammler mit Schutzgehäuse an Straßenlaterne exponiert.

2 Messverfahren

Die passive Probenahme von Stickstoffdioxid erfolgt über Diffusion. Unter Diffusion versteht man den Teilchentransport aufgrund eines Konzentrationsgradienten. Eingesetzt werden Sammler der Fa. Passam AG, Schweiz. Sie bestehen aus einem inerten Kunststoffröhrchen, das mit dem Absorptionsmittel Triethanolamin beschichtete Siebe enthält (Abb. 2).

Die Außenluft gelangt nur durch Diffusion bis zu dem Sieb, an dem das in der Luft enthaltene NO_2 durch Adsorption chemisch als Nitrit-Ion (NO_2^-) gebunden wird. Zum Schutz vor Beeinflussung durch Turbulenzen (Wind, Wirbel durch vorbeifahrende LKW) kommen im Regelfall die von der Fa. Passam gelieferten Glasfritten zum Einsatz.

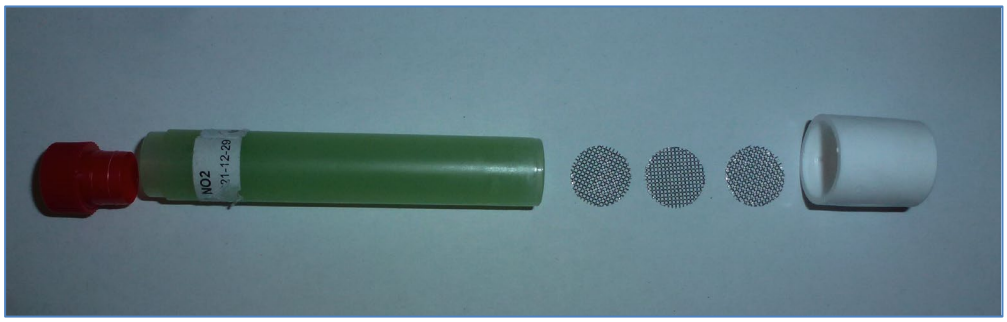

Abb. 2: Aufbau des Passivsammlers

Nach der ca. einmonatigen Exposition werden die Sammler im Labor auf ihren Gehalt an Nitrit (NO_2^-) untersucht: Die adsorbierte Menge NO_2^- wird mit einem Reagenz extrahiert und zu einem rosafarbenen Diazofarbstoff umgesetzt (Saltzman-Reaktion), der mit einem Photometer vermessen wird. Je intensiver die Lösung gefärbt ist, desto mehr Stickstoffdioxid wurde gesammelt. Das Verfahren ist in der DIN EN 16339 beschrieben und das Institut für Hygiene und Umwelt (HU) ist für dieses Verfahren nach DIN EN 17025 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) akkreditiert.

3 Auswertung

Die Berechnung der NO_2-Konzentration erfolgt mittels Aufnahmerate, die aus dem Vergleich der Passivsammlerergebnisse (Nitritmenge/Probenahmezeitraum) mit den kontinuierlichen Messungen nach DIN EN 14211 ermittelt wird. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung 1, die aus dem ersten Fick'schen Diffusionsgesetz abgeleitet wird:

$$c = \frac{m * l * 10^6}{D * A * t}$$ Gleichung 1

c	= Konzentration NO_2 [µg/m^3]
m	= Masse NO_2 pro Probe [µg]
D	= Diffusionskoeffizient [cm²/min]
A	= Querschnittsfläche des Passivsammlers [cm^2]
l	= Länge des Passivsammlers [cm]
t	= Expositionsdauer [min]

Die Konstanten D, A und l werden als sogenannte Aufnahmerate zusammengefasst:

$$UR = \frac{D * A}{l}$$ Gleichung 2

UR	= Aufnahmerate des Sammlers [cm^3/min]

Da die Konzentrationen c durch die Daten des Referenzmessverfahrens bekannt sind, kann durch Auflösen von Gleichung 2 nach der Aufnahmerate UR diese experimentell bestimmt werden:

$$UR = \frac{c * t * 10^6}{m}$$ Gleichung 3

Alle seit 2019 in Hamburg mittels Passivsammlern durchgeführten NO_2-Messprogramme wurden mittels dieser Auswertemethode berechnet. Dabei wurde bis Ende 2025 eine Aufnahmerate von 0,72 verwendet. Ab 2026 wird eine Aufnahmerate von 0,70 angewandt. (Details zur Ermittlung der Aufnahmerate sind in Anhang 1 dargestellt). Diese Aufnahmerate wird am Ende jedes Kalenderjahres neu ermittelt und mit den Ergebnissen aus den letzten drei Jahren verglichen. Falls die dabei ermittelte Aufnahmerate mehr als 5% vom vorherigen Wert abweicht oder nach mehreren Jahren ein eindeutiger Trend gesehen wird, wird die Aufnahmerate ab dem Folgejahr angepasst. Die aktuelle Datengrundlage für die Berechnung der Aufnahmerate ist separat als Download erhältlich.

4 Qualitätssichernde Maßnahmen

4.1 Kenndaten nach Herstellerangaben

Die Herstellerfirma Passam AG gibt folgende Verfahrenskenngrößen für die NO_2-Messungen mit ihren Passivsammlern an:

Sammelrate nach LANUK Modifikation:	0,734 ml/min bei 20°C mit LANUK Diffusionssperre
Messbereich:	1 – 200 µg/m³
Expositionszeit	1 – 4 Wochen
Nachweisgrenze:	0,3 µg/m³ (bei einer Probenahmedauer von 1 Monat)
Erweiterte Messunsicherheit:	23,4%
(mit Diffusionssperren)	(bei einem Konzentrationsniveau von 40 µg/m³)

(Passam-Spezifikationen, Stand 10.02.2022, [1])

Die v. g. Sammelrate hat das LANUK (vormals LANUV) unter Verwendung von 286 Datensätzen mit Monatsmittelwerten, welche an neun verschiedenen Messstationen in NRW zwischen Januar 2007 und Dezember 2009 aufgenommen wurden, mittels linearer Regression ermittelt [2,3]. Neben diesem experimentellen Ansatz gibt die DIN EN 16339 Norm auch theoretische Berechnungen für die Aufnahmerate nach dem o.g. Fick'schen Gesetz vor. Der damit vom LANUK berechnete theoretische Wert von 0,727 cm^3/min (bei Standardbedingungen und den hier verwendeten Passivsammlern) weicht nur geringfügig von dem experimentellen Wert ab [2].

4.2 Messunsicherheit

Die 39. BImSchV fordert für NO_2-Einzelmessungen eine erweiterte relative Messunsicherheit von max. 15% (95% Vertrauensbereich) für ortsfeste Messungen und max. 25% für orientierende Messungen, bezogen auf den derzeitigen Grenzwert von 40 µg/m³ als Jahresmittelwert.
Die Bestimmung der relativen Messunsicherheit kann nach DIN EN 16339 auf 2 Arten geschehen: Bei der indirekten Methode werden die Unsicherheiten sämtlicher Schritte zur Bestimmung der NO_2 Konzentration in der Außenluft (z. B. Bestimmung der Aufnahmerate, Berücksichtigung von Durchschnittstemperatur und –druck, analytische Schritte etc.) bestimmt und, unter der Annahme, dass alle Parameter unabhängig voneinander sind, unter Verwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes rechnerisch kombiniert.
Der direkte Ansatz beruht auf dem in [4] beschriebenen Äquivalenztestverfahren, in der die „Kandidatenmethode", hier die NO_2 Messung mittels Passivsammler, mit einer parallel messenden Referenzmethode verglichen wird, wie die des oben erwähnten und in DIN EN 14211 beschriebenen Verfahrens des HaLm. Daraufhin wird die Unsicherheit der Kandidatenmethode auf Basis der Abweichungen der Messwerte von denen des Referenzverfahrens bestimmt. Dadurch werden auch alle meteorologischen Einflüsse wie z.B. Temperatur, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchte sowie Einflüsse durch die reale Zusammensetzung der Außenluft (Matrix) bei der Unsicherheitsberechnung berücksichtigt.
Die erweiterte relative Messunsicherheit ergibt sich nach DIN EN 16339 in allen Fällen aus der Multiplikation der relativen Messunsicherheit mit einem Erweiterungsfaktor für ein Vertrauensniveau von 95%, der durch das Vorhandensein einer auseichenden Anzahl von Messwerten auch in den vorliegenden Fällen auf einen Wert von 2 gesetzt wird. In Anhang 2 wird die Ermittlung der Messunsicherheiten dargestellt.
Auf der Basis der Monatsmittelwerte ergibt sich für die Messungen in Hamburg aus diesen Berechnungen eine Messunsicherheit von 12,6% (Errechnet über Fehlerfortpflanzung aus der Messunsicherheit für die Doppelbestimmung (ca. 4,4%) und der Messunsicherheit für die aus der Doppelbestimmung gemittelten Monatsmittelwerte im Vergleich mit der Kontinuierlichen Messung (11,8%)).
Auf der Basis der Jahresmittelwerte ergibt sich hingegen eine Messunsicherheit von 8,5% (Errechnet über Fehlerfortpflanzung aus der Messunsicherheit für die Doppelbestimmung (ca. 1,8%) und der Messunsicherheit für die aus der Doppelbestimmung gemittelten Jahresmittelwerte im Vergleich mit der kontinuierlichen Messung (8,4%). Tabelle 1 gibt eine Übersicht der Messunsicherheiten wieder.
Da diese Messungenauigkeit nur die Abweichung zum kontinuierlichen Messverfahren angibt, ist es zusätzlich nötig, diese und die Messunsicherheit dieses Referenzverfahrens selbst mittels Fehlerfortpflanzungsgesetz zu kombinieren, wobei beide Verfahren naturgemäß als unabhängig voneinander betrachtet werden. Die Referenzmethode wird hierbei mit einer erweiterten relativen Messunsicherheit von 10% angegeben, bezogen auf den derzeitig gültigen Jahresimmissionsgrenzwert. Somit ergibt sich **für die Jahresmittelwerte** durch Kombination der Messunsicherheiten der Passivsammler (8,5%) und der Referenzmethode (10%) eine erweiterte relative Messunsicherheit für die Passivsammler von **<u>13,2%</u>**, was unter der Anforderung der 39. BImSchV von 15% für ortsfeste Messungen liegt. Trotz des signifikant hohen Korrelationskoeffizienten von $R^2 = 0,987$ in Abb. 6 sollte beachtet werden, dass diese Unsicherheit mit einer relativ geringen Anzahl an Wertepaaren (60) ermittelt wurde, wobei die DIN EN 16339

eine Mindestanzahl von 12 Wertepaaren je Messort fordert. Zudem wurden die Vergleichsdatensätze im Jahr 2020 nur von 3 unterschiedlichen Messstellen erhalten, und nicht wie in der DIN EN 16339 vorgegeben, von mindestens 4 Stationen. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die erweiterte Messunsicherheit der in Hamburg durchgeführten NO_2 Passivsammlermessungen zumindest deutlich unter dem für orientierende Messungen geforderten Wert von 25% liegt. Aus diesem Grund werden die erhaltenen Ergebnisse als orientierend bewertet. Die aktuelle Datengrundlage für die Berechnung der Messunsicherheiten ist separat als Download erhältlich.

Tabelle 1: Zusammenfassung Messunsicherheiten (Stand Mai 2026)

	Monatsmittelwerte	**Jahresmittelwerte**
Unsicherheit aus der Doppelbestimmung	4,4%	1,8%
Unsicherheit aus dem Vergleich der Mittelwerte zum Referenzverfahren	11,8%	8,4%
Kombinierte Unsicherheit der oberen beiden Unsicherheiten	12,6%	8,5%
Gesamtmessunsicherheit (erweitert) nach Berücksichtigung der Unsicherheit des Referenzmessverfahrens (10%)	**16,1%**	**13,2%**

5 Fazit und Ausblick

Mit einer signifikanten Übereinstimmung zu den vom Hamburger Luftmessnetz verwendeten kontinuierlichen Messgeräten gemäß DIN EN 14211 und einer erweiterten relativen Messunsicherheit von 13,2% bezüglich der Jahresmittelwerte erfüllt das hier beschriebene und eingesetzte Passivsammlerverfahren für NO_2 Messungen in der Außenluft die von der Richtlinie 2008/50/EG bzw. der 39. BImSchV geforderten Datenqualitätsziele. Es zeigt, dass die Berechnung mittels der eigens ermittelten Aufnahmerate zu zuverlässigen Messergebnissen führt, und dass die vom Institut für Hygiene und Umwelt ermittelten NO_2 Konzentrationen in Hamburg mit hoher Sicherheit als orientierend bewertet werden können.

Literatur:

[1]: https://www.passam.ch/wp-content/uploads/2022/02/SP01_NO2_Product-Sheet_2022_EN.pdf Nitrogen dioxide / specifications.

[2]: Pfeffer, U. et al.: Calibration of diffuse samplers for nitrogen dioxide using the reference Method – Evaluation of measurement uncertainty. Gefahrstoffe, Reinh. Luft 70 (2010), Nr. 11/12, S. 500-506.

[3]: LANUV-Fachbericht 59, Messung von Stickstoffdioxid in der Außenluft mit Passivsammlern in NRW, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2015

[4]: EQUIVALENCE TOOL V3.1 020720.XLSX: Excel-Datei zum Nachweis der Äquivalenz eines Kanditatenverfahrens mit einem Referenzverfahren gemäß 39.BImSchV. Erstellt von David HARRISON Version 1.0 https://circabc.europa.eu/ui/group/cd69a4b9-1a68-4d6c-9c48-77c0399f225d/library/ece2498e-2ca5-4817-8bfa-30521190f166 (Letzter Aufruf 27.05.2026)

6 Anhänge

Anhang 1: Ermittlung der Aufnahmerate für die Messungen in Hamburg
Anhang 2: Ermittlung der Messunsicherheiten auf Basis des Äquivalenztests für die Messungen in Hamburg

6.1 Anhang 1: Ermittlung der Aufnahmerate für die Messungen in Hamburg

Zur Qualitätssicherung werden Parallelmessungen zu den automatischen NO_2-Messgeräten im Hamburger Luftmessnetz (HaLm) an fünf Stationen durchgeführt. Die Abb. 3 zeigt eine Karte mit diesen Stationen. Für die Ermittlung der Aufnahmerate werden die über einen Monat in den Passivsammlern gesammelten Mengen an NO_2 in pg gegen die jeweilige Dosis der NO_2-Online-Messgeräte des HaLm Netzwerkes aufgetragen. Die Dosis berechnet sich aus dem Produkt des Konzentrationswertes des Referenzverfahrens und der Expositionszeit des Passivsammlers und wird in (µg/m³)*min angegeben. Die Steigung der linearen Regressionsgerade entspricht definitionsgemäß (s.o.) der jeweiligen Aufnahmerate in cm^3/min. Dabei wurde der Achsenabschnitt der Geraden null gesetzt. Durch die Wahl der charakteristisch unterschiedlichen Standorte wird dabei ein weiter Konzentrationsbereich abgedeckt. Die Aufnahmerate wird seit 2019 als 3-Jahresmittelwert aus den Daten aller in Tabelle 2 genannten Messstationen und Zeiträumen berechnet und jährlich erneut mit Einbeziehung neuester Vergleichsdaten überprüft. Für den Zeitraum von 2023-2025 wurde eine Aufnahmerate von 0,70 cm^3/min ermittelt. Diese Rate wird seit 2026 angewandt, zuvor betrug die Rate 0,72.

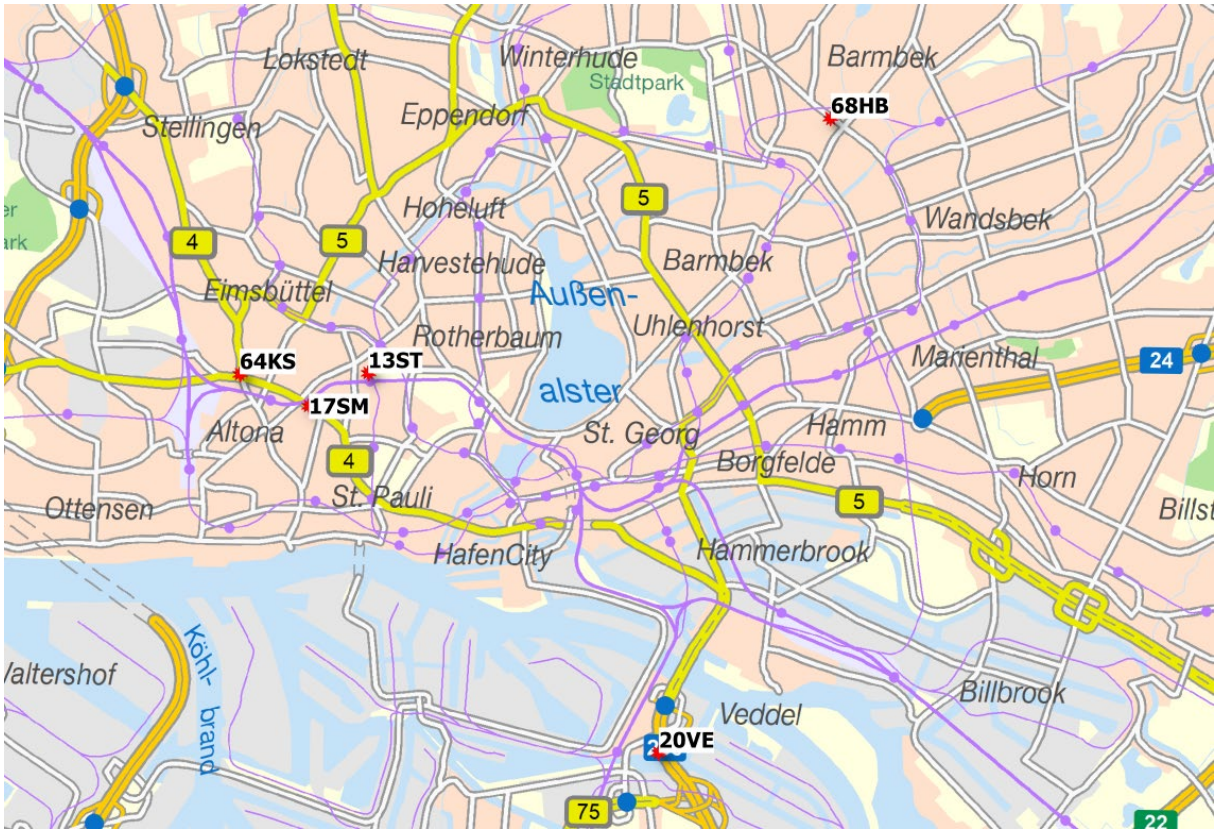

Abb. 3: Standorte der Messstationen für NO_2-Parallelmessungen

Tabelle 2: Datengrundlage an Parallelmessungen für die Ermittlung der Aufnahmerate seit 2019

Stationseinstufung	**Messstationen**	**Zeitraum**
Städtischer Hintergrund	Sternschanze („13ST“; Messhöhe: 3,5 m)	2019 bis 2025
	Altona-Elbhang („80KT“; 3,5 m)	Nur 2019
Industrienah	Veddel („20VE“; 3,5 m)	2019 bis 2025
Verkehrsnah	Habichtstraße („68HB“; 1,5 m)	2019 bis 2025
	Habichtstraße („68HB“; 4 m)	Nur 2021-2023
	Kieler Straße („64KS“; 4 m)	Nur 2021-2023
	Kieler Straße („64KS“; 1,5 m)	2024-2025
	Stresemannstraße („17SM“, 1,5 m)	2024-2025

6.2 Anhang 2: Ermittlung der Messunsicherheiten auf Basis des Äquivalenztests für die Messungen in Hamburg

Wie im Falle von NRW wurden auch die eigenen Bestimmungen der Kenndaten aus den Messungen in Hamburg mit Hilfe des MS-Excel© sheets „Orthogonal regression and equivalence test utility“ des niederländischen Instituts für öffentliche Gesundheit und Umwelt (RIVM) in der Version 3.10 durchgeführt, und dies sowohl für Monats- als auch für Jahresmittelwerte mit folgender Datengrundlage:

Tabelle 3: Datengrundlage an Parallelmessungen für die Bestimmung der Messunsicherheit seit 2019

Stationseinstufung	Messstationen	Zeitraum
Städtischer Hintergrund	Sternschanze („13ST“; Messhöhe: 3,5 m)	2012 bis 2025
	Altona-Elbhang („80KT“; 3,5 m;)	2012 bis 2019
Industrienah	Veddel („20VE“; 3,5 m)	2012 bis 2025
Verkehrsnah	Habichtstraße („68HB“; 1,5 m)	2012 bis 2025
	Habichtstraße („68HB“; 4 m)	Nur 2021-2023
	Kieler Straße („64KS“; 4 m)	Nur 2021-2023
	Kieler Straße („64KS“; 1,5 m)	2024-2025
	Stresemannstraße („17SM“, 1,5 m))	2024-2025

Es ist anzumerken, dass dieses MS-Excel© sheet vorbehaltlich für die entsprechende Analyse von Staubmessgeräten konzipiert wurde. Jedoch sind die grundlegenden Formeln prinzipiell für fast alle Messverfahren, auch die in DIN EN 16339 beschriebenen, geeignet.
Abb. *4* zeigt die Analyse-Parameter, die für den Äquivalenztest der Monatswerte eingesetzt wurden. In Version 3.10 ist es möglich, beide Werte von Doppelbestimmungen anzugeben, was auch hier für die NO_2 Passivsammler-Daten vorgenommen wurde.

Im Folgenden werden die wichtigsten Parameter zusammengefasst:
In **Feld B9** ist es möglich, den jeweiligen Grenzwert anzugeben, was allerdings für die Berechnung an sich irrelevant ist. Wie in den **Reihen 16-20** zu sehen ist, werden hier keine Korrekturen auf Basis der einzelnen Unsicherheiten durchgeführt, was in diesem Fall auch nicht verhältnismäßig und notwendig ist. Das **Feld E22** gibt an, dass hier nur eine Messreihe der Referenzmethode (RM) vorhanden und benutzt wird, wohingegen **Feld E28** so eingestellt ist, dass der Datensatz der Kandidatenmethode (CM) in Form von Doppelbestimmungen vorliegt, von denen in einem ersten Schritt automatisch die Mittelwerte und die Standardabweichung (definiert durch **Feld E45**) berechnet werden. Diese Mittelwerte werden wiederum im nächsten Schritt für den Äquivalenztest mit dem RM-Datensatz verwendet. In **Feld E34** lässt sich die

Methode zur Berücksichtigung der Messunsicherheit der RM auswählen. Hierbei wurde diese in **Feld E41** auf 0 mg/m^3 festgelegt. Dies stellt den konservativsten Ansatz dar, das heißt, dass das Resultat dieser Testrechnung die höchstanzunehmende Messunsicherheit der Kandidatenmethode aufweist. Zusätzlich bestimmt die Angabe in **Feld J32**, ob der Achsenabschnitt der resultierenden Regressionsgeraden auf 0 gesetzt wird (Eingabe „Y“) oder frei berechnet wird (Eingabe „N“). Aufgrund von Restriktionen des Programms in der vorliegenden Version wurde „N“ eingetragen. Allerdings zeigte ein Test mit einer älteren Version (2.10), dass das Forcieren des Achsenabschnitts durch den Nullpunkt die prozentualen Messunsicherheiten nur ab der dritten Nachkommastelle verändert. Somit kann dieser Parameter als vernachlässigbar erachtet werden.

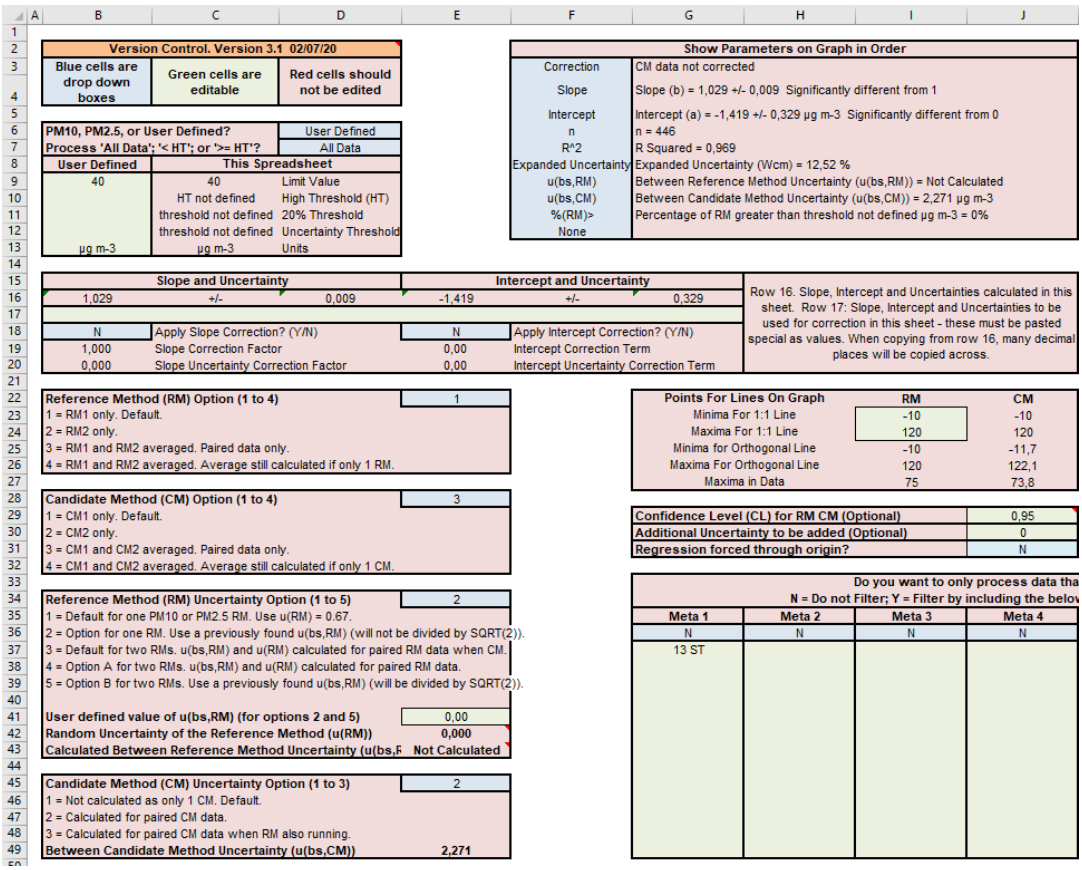

Abb. 4: Parameter für den Äquivalenztest auf Basis der Monatsmittelwerte

Messunsicherheit für Monatsmittelwerte – Ergebnisse für Messungen in Hamburg

Das Ergebnis des Äquivalenztests der Monatsmittelwertepaare mit o.g. Parametern ist in Abb. *5* dargestellt. Ausreißer wurden nicht eliminiert.

Hieraus wird zunächst ersichtlich, dass die Standardabweichung der Doppelproben des Passivsammlerdatensatzes 1,45 µg/m^3 beträgt, woraus sich - bezogen auf den Mittelwert aller Konzentrationen (ca. 33,2 µg/m^3) - eine relative Standardabweichung von 4,4% ergibt. Darüber hinaus wird für die Mittelwerte der Doppelproben eine erweiterte Messunsicherheit von 11,8% erreicht, wobei die Datensätze der Passivsammler und des HaLm-Netzwerkes wiederum eine hohe Korrelation aufweisen und einen weiten Konzentrationsbereich abdecken. Diese Unsicherheit von 11,8% wird mit der Standardabweichung von 4,4% und der Unsicherheit des Standardreferenzverfahrens (SRM, 10%) mittels Fehlerfortpflanzungsgesetz kombiniert, was eine resultierende erweiterte Messunsicherheit von **16,1%** ergibt.

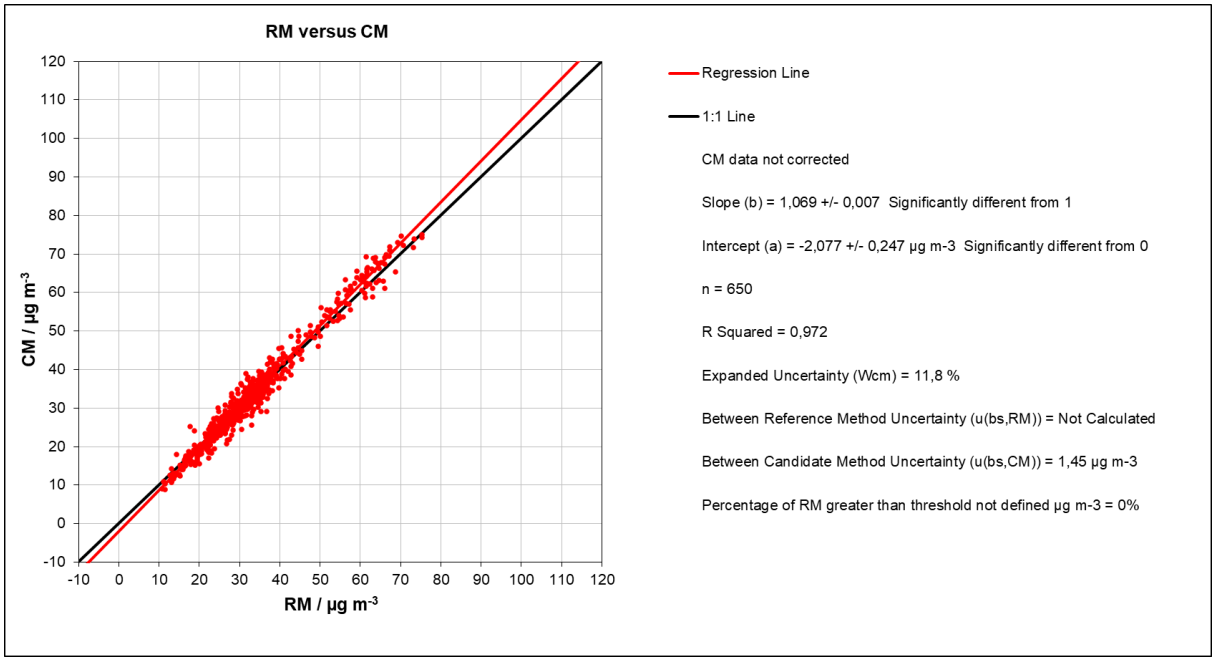

Abb. 5: Regressionsgerade und Ergebnisse des Äquivalenztests auf Basis der Monatsmittelwerte 2012-2025 (CM: Passivsammler; RM: Referenzmethode des HaLm)

Messunsicherheit für Jahresmittelwerte – Ergebnisse für Messungen in Hamburg

Die analoge Analyse auf Basis der Jahresmittelwerte der NO_2 Probenahmen des Zeitraums Januar 2012 bis Dezember 2025 ergibt die in Abb. *6* zusammengefassten Ergebnisse.
Die erweiterte Unsicherheit beträgt ca. 8,4%. Kombiniert mit der entsprechenden Standardabweichung der Doppelbestimmung (1,8%) und der Unsicherheit des SRMs ergibt sich eine resultierende erweiterte Messunsicherheit von **13,2%**, bezogen auf den derzeitig gültigen Jahresmittelgrenzwert von 40 µg/m^3.

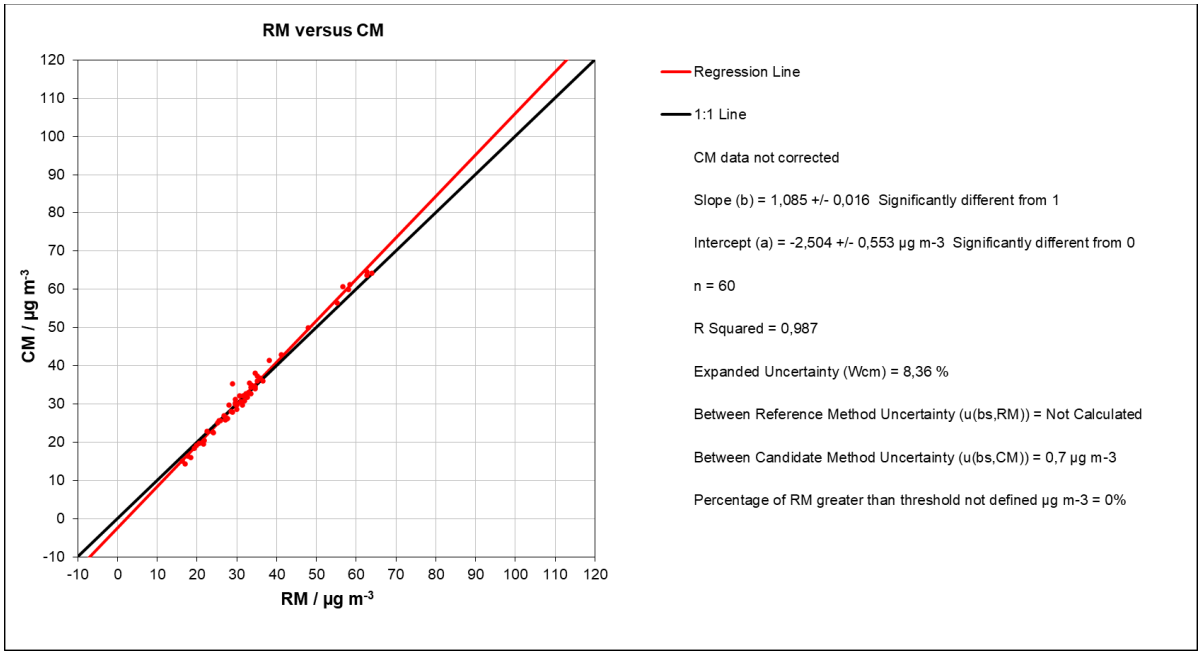

Abb. 6: Regressionsgerade und Ergebnisse des Äquivalenztests auf Basis der Jahresmittelwerte 2012-2025 (CM: Passivsammler; RM: Referenzmethode des HaLm)