

**TÜV RHEINLAND ENERGY &
ENVIRONMENT GMBH**



Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung APNA-380 der Firma Horiba Europe GmbH für die Komponenten NO, NO₂ und NO_x

TÜV-Bericht: EuL/21262682/B
Köln, 07. Februar 2025

www.umwelt-tuv.de



tre-service@de.tuv.com

Die TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH ist mit der Abteilung Immissionsschutz für die Arbeitsgebiete:

- Bestimmung der Emissionen und Immissionen von Luftverunreinigungen und Geruchsstoffen;
- Überprüfung des ordnungsgemäßen Einbaus und der Funktion sowie Kalibrierung kontinuierlich arbeitender Emissionsmessgeräte einschließlich Systemen zur Datenauswertung und Emissionsfernüberwachung;
- Feuerraummessungen;
- Eignungsprüfung von Messeinrichtungen zur kontinuierlichen Überwachung der Emissionen und Immissionen sowie von elektronischen Systemen zur Datenauswertung und Emissionsfernüberwachung
- Bestimmung der Schornsteinhöhen und Immissionsprognosen für Schadstoffe und Geruchsstoffe;
- Bestimmung der Emissionen und Immissionen von Geräuschen und Vibrationen, Bestimmung von Schalleistungspegeln und Durchführung von Schallmessungen an Windenergieanlagen

nach DIN EN ISO/IEC 17025 akkreditiert.

Die Akkreditierung hat die DAkKS-Registriernummer: D-PL-11120-02-00
und gilt für den in der Urkundenanlage festgelegten Umfang.

Die auszugsweise Vervielfältigung des Berichtes bedarf der schriftlichen Genehmigung.

**TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH
D - 51105 Köln, Am Grauen Stein,
Tel: 0221 806-5200, Fax: 0221 806-1349**

Leerseite



**Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung
APNA-380 der Firma Horiba Europe GmbH für die Komponenten NO,
NO₂ und NO_x**

Geprüftes Gerät:	APNA-380
Hersteller:	Horiba Europe GmbH Hans-Mess-Strasse 6 61440 Oberursel Deutschland
Prüfzeitraum:	März 2024 bis August 2024
Berichtsdatum:	07. Februar 2025
Berichtsnummer:	EuL/21262682/B
Bearbeiter:	Dipl.-Ing. Martin Schneider Tel.: +49 221 806-1614 martin.schneider@de.tuv.com
Berichtsumfang:	Bericht: 132 Seiten Handbuch ab Seite 145 Handbuch mit 179 Seiten Gesamt 344 Seiten

Leerseite

Inhaltsverzeichnis

1.	KURZFASSUNG UND BEKANNTGABEVORSCHLAG	13
1.1	Kurzfassung	13
1.2	Bekanntgabevorschlag	15
1.3	Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse.....	16
2.	AUFGABENSTELLUNG.....	22
2.1	Art der Prüfung	22
2.2	Zielsetzung	22
3.	BESCHREIBUNG DER GEPRÜFTEN MESSEINRICHTUNG	23
3.2	Umfang und Aufbau der Messeinrichtung	24
3.3	Einstellungen des Messgerätes	25
3.4	Softwareversionen.....	26
4.	PRÜFPROGRAMM.....	27
4.1	Allgemeines.....	27
4.2	Laborprüfung	28
4.3	Feldprüfung	28
5.	REFERENZMESSVERFAHREN	31
5.1	Messverfahren.....	31
6.	PRÜFERGEBNISSE NACH VDI 4202 BLATT 1 (2018)	32
6.1	7.3 Allgemeine Anforderungen.....	32
6.1	7.3.1 Messwertanzeige	32
6.1	7.3.2 Kalibriereingang.....	33
6.1	7.3.3 Wartungsfreundlichkeit.....	34
6.1	7.3.4 Funktionskontrolle	35
6.1	7.3.5 Rüst- und Einlaufzeiten	36



6.1	7.3.6 Bauart	37
6.1	7.3.7 Unbefugtes Verstellen	38
6.1	7.3.8 Messsignalausgang	39
6.1	7.3.9 Digitale Schnittstelle	40
6.1	7.3.10 Datenübertragungsprotokoll	41
6.1	7.3.11 Messbereich	42
6.1	7.3.12 Negative Messsignale	43
6.1	7.3.13 Stromausfall	44
6.1	7.3.14 Gerätefunktionen	45
6.1	7.3.15 Umschaltung	46
6.1	7.3.16 Gerätesoftware	47
6.1	7.4 Anforderungen an Leistungskenngrößen für die Laborprüfung	48
6.1	7.4.1 Allgemeines	48
6.1	7.4.2 Prüfbedingungen	49
6.1	7.4.3 Einstellzeit und Memory-Effekt	51
6.1	7.4.4 Kurzzeitdrift	52
6.1	7.4.5 Wiederholstandardabweichung	53
6.1	7.4.6 Linearität	54
6.1	7.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks	55
6.1	7.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur	56
6.1	7.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur	57
6.1	7.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung	58
6.1	7.4.11 Querempfindlichkeit	59
6.1	7.4.12 Mittelungseinfluss	60
6.1	7.4.13 Differenz zwischen Proben- und Kalibriereingang	64
6.1	7.4.14 Konverterwirkungsgrad	65

6.1	7.4.15 Verweilzeit im Messgerät	66
6.1	7.5 Anforderungen an Leistungskenngrößen für die Feldprüfung	67
6.1	7.5.1 Allgemeines	67
6.1	7.5.2 Standort für die Feldprüfungen.....	68
6.1	7.5.3 Betriebsanforderungen.....	69
6.1	7.5.4 Langzeitdrift	70
6.1	7.5.5 Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen	71
6.1	7.5.6 Kontrollintervall	72
6.1	7.5.7 Verfügbarkeit	73
6.1	7.5.8 Konverterwirkungsgrad	74
6.1	7.6 Eignungsanerkennung und Berechnung der Messunsicherheit.....	76
7.	PRÜFERGEBNISSE NACH DIN EN 14211 (2012)	77
7.1	8.4.3 Einstellzeit.....	77
7.1	8.4.4 Kurzzeitdrift.....	82
7.1	8.4.5 Wiederholstandardabweichung	86
7.1	8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion	89
7.1	8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks	94
7.1	8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur.....	96
7.1	8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur.....	98
7.1	8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung	101
7.1	8.4.11 Störkomponenten.....	103
7.1	8.4.12 Mittelungsprüfung	106
7.1	8.4.13 Differenz Proben-/Kalibriereingang	109
7.1	8.4.14 Konverterwirkungsgrad	111
7.1	8.4.15 Verweilzeit im Messgerät	114
7.1	8.5.4 Langzeitdrift	115



7.1	8.5.5 Vergleichstandardabweichung für NO ₂ unter Feldbedingungen	118
7.1	8.5.6 Kontrollintervall	121
7.1	8.5.7 Verfügbarkeit des Messgerätes.....	122
7.1	8.6 Gesamtmessunsicherheit nach Anhang E der DIN EN 14211 (2012).....	124
8.	EMPFEHLUNGEN ZUM PRAXISEINSATZ.....	130
9.	LITERATURVERZEICHNIS	131
10.	ANLAGEN.....	132
10	8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion (EN 14211:2024)	134
10	8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks (EN 14211:2024)	139
10	8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur (EN 14211:2024)	142
10	8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur (EN 14211:2024)	144
10	8.5.5 Vergleichstandardabweichung für NO ₂ unter Feldbedingungen (EN 14211:2024)	147
10	Gesamtmessunsicherheit nach Anhang E der EN 14211 (2024)	150

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Geprüfter Messbereich.....	13
Tabelle 2:	Gerätetechnische Daten APNA-380 (Herstellerangaben).....	25
Tabelle 3:	Zertifizierungsbereiche VDI 4202-1 und DIN EN 14211.....	42
Tabelle 4:	Ergebnisse der Mittelungsprüfung für NO.....	61
Tabelle 5:	Ergebnisse der Mittelungsprüfung für NO ₂	61
Tabelle 6:	Einzelwerte der Untersuchung zum Mittelungseinfluss für NO.....	62
Tabelle 7:	Einzelwerte der Untersuchung zum Mittelungseinfluss für NO ₂	63
Tabelle 8:	Einzelwerte der Überprüfung des Konverterwirkungsgrades am Ende des Feldtests.....	75
Tabelle 9:	Einstellzeiten der beiden Messeinrichtungen APNA-380 für NO.....	79
Tabelle 10:	Einstellzeiten der beiden Messeinrichtungen APNA-380 für NO ₂	79
Tabelle 11:	Einzelwerte der Einstellzeit für die Komponente NO.....	80
Tabelle 12:	Einzelwerte der Einstellzeit für die Komponente NO ₂	81
Tabelle 13:	Ergebnisse der Kurzzeitdrift.....	83
Tabelle 14:	Einzelwerte der Prüfung zur Kurzzeitdrift 1. Prüfgasaufgabe.....	84
Tabelle 15:	Einzelwerte der Prüfung zur Kurzzeitdrift 2. Prüfgasaufgabe.....	85
Tabelle 16:	Wiederholstandardabweichung für NO am Null- und Referenzpunkt.....	87
Tabelle 17:	Einzelergebnisse zur Wiederholstandardabweichung.....	88
Tabelle 18:	Abweichungen der Analysenfunktion.....	90
Tabelle 19:	Einzelwerte „lack of fit“ Prüfung.....	93
Tabelle 20:	Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks.....	95
Tabelle 21:	Einzelwerte der Empfindlichkeit des Probengasdrucks für NO.....	95
Tabelle 22:	Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur.....	97
Tabelle 23:	Einzelwerte des Einflusses des Probengastemperatur.....	97
Tabelle 24:	Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur.....	99
Tabelle 25:	Einzelwerte des Empfindlichkeitskoeffizienten der Umgebungstemperatur.....	100
Tabelle 26:	Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung.....	102
Tabelle 27:	Einzelwerte des Empfindlichkeitskoeffizienten der elektrischen Spannung für NO.....	102
Tabelle 28:	Störkomponenten nach DIN EN 14211.....	104
Tabelle 29:	Einfluss der geprüften Störkomponenten für NO ($c_t = 500 \pm 50$ nmol/mol).....	104
Tabelle 30:	Einzelwerte der Untersuchung gegenüber Störkomponenten.....	105
Tabelle 31:	Ergebnisse der Mittelungsprüfung.....	107
Tabelle 32:	Einzelwerte der Untersuchung zum Mittelungseinfluss.....	108
Tabelle 33:	Ergebnisse der Differenz zwischen Proben-/Kalibriereingang.....	109
Tabelle 34:	Einzelwerte der Prüfung der Differenz zwischen Proben und Kalibriergaseingang.....	110
Tabelle 35:	Einzelwerte der Überprüfung des Konverterwirkungsgrades.....	113
Tabelle 36:	Ergebnisse der Langzeitdrift am Nullpunkt für NO.....	116
Tabelle 37:	Ergebnisse der Langzeitdrift am Referenzpunkt für NO.....	116
Tabelle 38:	Einzelwerte der Driftuntersuchungen für NO.....	117
Tabelle 39:	Bestimmung der Vergleichsstandardabweichung für NO ₂ auf Basis aller Daten aus dem Feldtest.....	119
Tabelle 40:	Bestimmung der Vergleichsstandardabweichung für NO auf Basis aller Daten aus dem Feldtest.....	120
Tabelle 41:	Verfügbarkeit des Messgerätes APNA-380.....	123
Tabelle 42:	Leistungsanforderungen nach DIN EN 14211.....	125
Tabelle 43:	Erweiterte Unsicherheit aus der Laborprüfung für NO, Gerät 1.....	128
Tabelle 44:	Erweiterte Unsicherheit aus der Labor- und Feldprüfung für NO, Gerät 1.....	128
Tabelle 45:	Erweiterte Unsicherheit aus der Laborprüfung für NO, Gerät 2.....	129



Tabelle 46:	Erweiterte Unsicherheit aus der Labor- und Feldprüfung für NO Gerät 2 ...	129
Tabelle 47:	Abweichungen der Analysenfunktion nach EN 14211:2024	135
Tabelle 48:	Einzelwerte „lack of fit“ Prüfung nach EN 14211:2024	138
Tabelle 49:	Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks nach EN 14211:2024....	141
Tabelle 50:	Einzelwerte der Empfindlichkeit des Probengasdrucks für NO nach EN 14211:2024.....	141
Tabelle 51:	Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur nach EN 14211:2024... ..	143
Tabelle 52:	Einzelwerte des Einflusses des Probengastemperatur nach EN 14211:2024 . ..	143
Tabelle 53:	Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur nach EN 14211:2024.	145
Tabelle 54:	Einzelwerte des Empfindlichkeitskoeffizienten der Umgebungstemperatur nach EN 14211:2024	146
Tabelle 55:	Bestimmung der Vergleichsstandardabweichung für NO ₂ auf Basis aller Daten aus dem Feldtest.....	148
Tabelle 56:	Erweiterte Unsicherheit aus der Laborprüfung für NO, Gerät 1 nach EN 14211:2024.....	150
Tabelle 57:	Erweiterte Unsicherheit aus der Labor- und Feldprüfung für NO, Gerät 1 nach EN 14211:2024	150
Tabelle 58:	Erweiterte Unsicherheit aus der Laborprüfung für NO, Gerät 2 nach EN 14211:2024.....	151
Tabelle 59:	Erweiterte Unsicherheit aus der Labor- und Feldprüfung für NO Gerät 2 nach EN 14211:2024.....	151
Tabelle 60:	Wetterdaten (Tagesmittelwerte), Monat April/Mai 2024.....	154
Tabelle 61:	Wetterdaten (Tagesmittelwerte), Monat Juni 2024.....	155
Tabelle 62:	Wetterdaten (Tagesmittelwerte), Monat Juli / August 2024	156

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Darstellung des APNA-380	23
Abbildung 2:	Softwareübersicht	26
Abbildung 3:	Softwareversion der APNA-380 Testgeräte	27
Abbildung 4:	Messstation zur Durchführung des Feldtests	29
Abbildung 5:	APNA-380 in der Messstation während des Feldtests	30
Abbildung 6:	APNA-380 Testgerät mit Messwertanzeige.....	32
Abbildung 7:	Veranschaulichung der Einstellzeit	78
Abbildung 8:	Analysenfunktion aus den Gruppenmittelwerten für Gerät 1	91
Abbildung 9:	Analysenfunktion aus den Gruppenmittelwerten für Gerät 2	91
Abbildung 10:	Prüfung des Mittelungseinflusses ($t_{NO} = t_{zero} = 45 \text{ s.}$)	107
Abbildung 11:	Grafische Darstellung der Vergleichsstandardabweichung für NO ₂ im Feld	119
Abbildung 12:	Grafische Darstellung der Vergleichsstandardabweichung für NO im Feld	120
Abbildung 13:	Analysenfunktion aus den Gruppenmittelwerten für Gerät 1 (EN 14211:2024)	136
Abbildung 14:	Analysenfunktion aus den Gruppenmittelwerten für Gerät 2 (EN 14211:2024)	136
Abbildung 15:	Grafische Darstellung der Vergleichsstandardabweichung für NO ₂ im Feld	148
Abbildung 16:	Akkreditierungs-Urkunde nach DIN EN ISO/IEC 17025 - Seite 1	152



TÜVRheinland®
Genau. Richtig.

Seite 12 von 344

TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH
Luftreinhaltung

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung APNA-380 der Firma Horiba Europe GmbH für die Komponenten NO, NO₂ und NO_x,
Berichts-Nr.: EuL/21262682/B

Leerseite

1. Kurzfassung und Bekanntgabevorschlag

1.1 Kurzfassung

Im Auftrag der Firma Horiba Europe GmbH führte die TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung APNA-380 für die Komponenten NO, NO₂ und NO_x durch. Die Prüfung erfolgte unter Beachtung der folgenden Normen und Anforderungen:

- VDI 4202 Blatt 1: Eignungsprüfung, Eignungsbekanntgabe und Zertifizierung von Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gasförmigen Immissionen vom April 2018
- DIN EN 14211: Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz, vom November 2012
- EN 14211: Ambient air - Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence, Dezember 2024

Die Messeinrichtung APNA-380 bestimmt die Komponenten NO, NO₂ und NO_x mittels der Chemilumineszenzmethode. Das Messprinzip entspricht somit dem EU-Referenzverfahren. Die Untersuchungen erfolgten im Labor der TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH und während eines dreimonatigen Feldtests in Köln. Die geprüften Messbereiche betragen:

Tabelle 1: Geprüfter Messbereich

Messkomponente	Messbereich in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] ¹⁾	Messbereich in [ppb] bzw. [nmol/mol]
NO	0–1.200	0–962
NO ₂	0–500	0–261

¹⁾ Die Angaben beziehen sich auf 20 °C und 101,3 kPa

Bei der Eignungsprüfung wurden die Bedingungen der Mindestanforderungen der DIN EN 14211 (2012) und der VDI 4202-1 (2018) erfüllt.

Im Dezember 2024 wurde die Revision der Richtlinie EN 14211 in englischer Sprache veröffentlicht (Datum der Veröffentlichung 18. Dezember 2024). Die Veröffentlichung der Richtlinie in deutscher Sprache wird im Frühjahr 2024 erwartet. Während der Eignungsprüfung der Messeinrichtung Horiba APNA-380 wurden auch die zukünftig geltenden Anforderungen der EN 14211:2024 berücksichtigt.



Prüfpunkte mit überarbeiteten Anforderungen wurden zusätzlich auch auf Basis der Anforderungen der EN 14211:2024 durchgeführt und ausgewertet.

Im Einzelnen sind dies die Punkte:

- 8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion
- 8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks
- 8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur
- 8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur
- 8.5.5 Vergleichstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen (nur Berechnung)

Die Auswertungen auf Basis der Anforderungen der EN 14211:2024 sind im Anhang 1 dieses Berichtes dargestellt. Desweiteren wurde dort auch die Gesamtunsicherheit mit den Prüfergebnissen nach EN 14211:2024 aufgeführt.

Seitens der TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH wird daher eine Veröffentlichung als eignungsgeprüfte Messeinrichtung zur laufenden Aufzeichnung der Immissionskonzentrationen von Stickstoffoxiden vorgeschlagen.

1.2 Bekanntgabevorschlag

Aufgrund der erzielten positiven Ergebnisse wird folgende Empfehlung für die Bekanntgabe als eignungsgeprüfte Messeinrichtung ausgesprochen:

Messeinrichtung:

APNA-380 für NO, NO₂ und NO_x

Hersteller:

Horiba Europe GmbH, Oberursel, Deutschland

Eignung:

Zur kontinuierlichen Bestimmung der Immissionskonzentrationen von Stickstoffoxiden in der Außenluft im stationären Einsatz

Messbereiche in der Eignungsprüfung:

Komponente	Zertifizierungsbereich	Einheit
Stickstoffmonoxid	0 - 1.200	µg/m ³
Stickstoffdioxid	0 - 500	µg/m ³

Softwareversionen:

A7: P2002638C 1.01
M4: P2002642B 1.00
Analyzer: P2002584C 1.02
FPGA: P2002759A 1.01

Einschränkung:

keine

Hinweise:

1. Die Messeinrichtung erfüllt auch die Anforderungen der EN 14211:2024
2. Der Prüfbericht über die Eignungsprüfung ist im Internet unter www.qal1.de einsehbar.

Prüfbericht:

TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH, Köln
Bericht-Nr.: EuL/21262682/B vom 07. Februar 2025



1.3 Zusammenfassende Darstellung der Prüfergebnisse

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
7 Leistungskriterien				
7.3 Allgemeine Anforderungen				
7.3.1 Messwertanzeige	Die Messeinrichtung muss eine funktionsfähige Messwertanzeige am Gerät besitzen.	Die Messeinrichtung verfügt über eine funktionsfähige Messwertanzeige an der Frontseite des Gerätes.	ja	32
7.3.2 Kalibrieringang	Das Messgerät darf über einen vom Probengaseingang getrennten Prüfgaseingang verfügen.	Die Messeinrichtung verfügt über einen vom Probengaseingang getrennten Prüfgaseingang an der Rückseite des Gerätes.	ja	33
7.3.3 Wartungsfreundlichkeit	Wartungsarbeiten sollten ohne größeren Aufwand möglichst von außen durchführbar sein.	Wartungsarbeiten sind mit üblichen Werkzeugen und vertretbarem Aufwand von außen durchführbar.	ja	34
7.3.4 Funktionskontrolle	Spezielle Einrichtungen hierzu sind als zum Gerät gehörig zu betrachten, bei den entsprechenden Teilprüfungen einzusetzen und zu bewerten.	Das geprüfte Gerät besitzt keine interne Einrichtung zur Funktionskontrolle.	nicht zutreffend	35
7.3.5 Rüst- und Einlaufzeiten	Die Betriebsanleitung muss hierzu Angaben enthalten.	Die Rüst- und Einlaufzeiten sind in der Betriebsanleitung angegeben. Die Herstellerangaben sind korrekt.	ja	36
7.3.6 Bauart	Die Betriebsanleitung muss Angaben hierzu enthalten	Die in der Betriebsanleitung aufgeführten Angaben zur Bauart sind vollständig und korrekt.	ja	37
7.3.7 Unbefugtes Verstellen	Die Justierung der Messeinrichtung muss gegen unbeabsichtigtes und unbefugtes Verstellen gesichert werden können. Alternativ muss die Bedienungsanleitung einen deutlichen Hinweis erhalten, dass das Messgerät nur in einem gesicherten Bereich aufgestellt werden darf.	Die Messeinrichtung ist gegen unbeabsichtigtes und unbefugtes Verstellen von Geräteparametern durch einen Passwortschutz gesichert.	ja	38
7.3.8 Messsignalausgang	Muss digital und/oder analog angeboten werden.	Die Messsignale werden analog (4-20 mA bzw. 0-1/5/10 Volt) und digital (über Modbus, TCP/IP, RS 232, USB) angeboten.	ja	39
7.3.9 Digitale Schnittstelle	Die digitale Schnittstelle muss die Übertragung der Messsignale, Statussignale usw. erlauben. Der Zugriff auf das Messgerät muss gegen unbefugten Zugriff gesichert sein.	Die digitale Messwertübertragung funktioniert korrekt und ist durch einen Passwortschutz vor unbefugtem Zugriff gesichert.	ja	40

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
7.3.10 Datenübertragungsprotokoll	Zur digitalen Übertragung der Messsignale muss das Messgerät über mindestens ein Datenübertragungsprotokoll verfügen.	Die Messeinrichtung verfügt standardmäßig über ein installiertes Bayern-Hessen-Übertragungsprotokoll. Die Übertragung von Mess- und Statussignalen erfolgt korrekt. Die Konfiguration ist im Handbuch (siehe Bedienungsanleitung Ergänzungen AP-380 Serie EU Version) im Kapitel 5 ab Seite 7 aufgeführt.	ja	41
7.3.11 Messbereich	Messbereichsendwert größer oder gleich der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs.	Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0 – 500 µg/m ³ für NO ₂ und 1200 µg/m ³ für NO eingestellt. Andere Messbereiche bis zu maximal 20 ppm sind möglich. Der Messbereichsendwert der Messeinrichtung ist größer als die jeweilige obere Grenze des Zertifizierungsbereichs.	ja	42
7.3.12 Negative Messsignale	Dürfen nicht unterdrückt werden (lebender Nullpunkt).	Die Messeinrichtung kann negative Messsignale ausgeben.	ja	43
7.3.13 Stromausfall	Unkontrolliertes Ausströmen von Betriebs- und Kalibriergas muss unterbunden sein; Geräteparameter müssen gegen Verlust durch Pufferung geschützt sein; messbereiter Zustand bei Spannungswiederkehr muss gesichert sein und Messung muss fortgesetzt werden.	Die Messeinrichtung befindet sich bei Spannungswiederkehr in störungsfreier Betriebsbereitschaft und führt nach einer Aufwärmphase selbstständig den Messbetrieb wieder fort.	ja	44
7.3.14 Gerätefunktionen	Müssen durch telemetrisch übermittelbare Statussignale überwachbar sein.	Die Messeinrichtung kann mittels verschiedener Anschlussmöglichkeiten von einem externen Rechner aus umfassend überwacht und gesteuert werden.	ja	45
7.3.15 Umschaltung	Messen/Funktionskontrolle und/oder Kalibrierung muss telemetrisch und manuell auslösbar sein.	Grundsätzlich können alle notwendigen Arbeiten zur Funktionskontrolle direkt am Gerät oder aber per telemetrischer Fernbedienung überwacht und gesteuert werden.	ja	46
7.3.16 Gerätesoftware	Muss beim Einschalten angezeigt werden. Funktionsbeeinflussende Änderungen sind dem Prüfinstitut mitzuteilen.	Die Version der Gerätesoftware wird im Display angezeigt. Änderungen der Gerätesoftware werden dem Prüfinstitut mitgeteilt.	ja	47



Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
7.4 Anforderungen an die Leistungskenngrößen für die Laborprüfung				
7.4.1 Allgemeines	Herstellerangaben der Betriebsanleitung dürfen den Ergebnissen der Eignungsprüfung nicht widersprechen.	Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie der DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.	ja	48
7.4.2 Prüfbedingungen	Muss den Kriterien der VDI 4202-1:2018 entsprechen.	Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie der DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.	ja	49
Die Zusammenfassung der Auswertung der Leistungskenngrößen im Labor erfolgt unter 8.4				
7.5 Anforderungen an die Leistungskenngrößen für die Feldprüfung				
7.5.1 Allgemeines	Muss den Kriterien der VDI 4202-1:2018 entsprechen.	Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie der DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.	ja	67
7.5.2 Standort für die Feldprüfungen	Die Messstation für die Feldprüfung ist unter Berücksichtigung der Anforderungen der 39. BImSchV so auszuwählen, dass die zu erwartenden Konzentrationen der Messkomponente der vorgesehenen Aufgabenstellung entsprechen. Die Einrichtung der Messstation muss die Durchführung der Feldprüfung erlauben und im Rahmen der Messplanung als notwendig erachtete Kriterien erfüllen.	Bei der Wahl des Standortes für die Messstation zur Durchführung der Feldprüfung wurden die Anforderungen der 39. BImSchV berücksichtigt. Details zum Standort der Messstation sind in Kapitel 4.3 aufgeführt.	ja	68
7.5.3 Betriebsanforderungen	Die Messgeräte sind in der Messstation einzubauen und nach Anschluss an die dort vorhandene oder eine separate Probenahmeeinrichtung ordnungsgemäß in Betrieb zu nehmen. Die Einstellungen des Messgerätes müssen den Herstellerangaben entsprechen. Alle Einstellungen sind im Prüfbericht festzuhalten.	Während des Feldtests wurde die Messeinrichtung nach den Angaben des Herstellers betrieben und gewartet.	ja	69
Die Zusammenfassung der Auswertung der Leistungskenngrößen im Feld erfolgt unter 8.5				

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
8.4 Bestimmung der Leistungskenngrößen im Labor nach DIN EN 14211				
8.4.3 Einstellzeit	Einstellzeit (Anstieg) und Einstellzeit (Abfall) jeweils ≤ 180 s. Differenz zwischen Anstiegs- und Abfallzeit 10 s.	Die maximal zulässige Einstellzeit von 180 s wird in allen Fällen deutlich unterschritten. Die maximal ermittelte Einstellzeit beträgt für Gerät 1 bei NO 19,5 s und bei NO ₂ 27,5 s, für Gerät 2 bei NO 19,5 s und bei NO ₂ 28,25 s.	ja	77
8.4.4 Kurzzeitdrift	Die Kurzzeitdrift bei Null darf $\leq 2,0$ nmol/mol/12 h betragen Die Kurzzeitdrift beim Span-Niveau darf $\leq 6,0$ nmol/mol/12 h betragen.	Für die Komponente NO ergibt sich ein Wert für die Kurzzeitdrift am Nullpunkt von 0,09 nmol/mol für Gerät 1 sowie 0,42 nmol/mol für Gerät 2. Für die Komponente NO ergibt sich ein Wert für die Kurzzeitdrift am Referenzpunkt von -0,21 nmol/mol für Gerät 1 sowie -0,12 nmol/mol für Gerät 2.	ja	82
8.4.5 Wiederholstandardabweichung	Die Wiederholstandardabweichung muss sowohl das Leistungskriterium bei Null $\leq 1,0$ nmol/mol als auch bei der Prüfgaskonzentration am Referenzpunkt $\leq 3,0$ nmol/mol erfüllen.	Für NO ergibt sich ein Wert für die Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt von 0,00 nmol/mol für Gerät 1 sowie 0,13 nmol/mol für Gerät 2. Für die Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt ergibt sich ein Wert von 0,31 nmol/mol für Gerät 1 sowie 0,13 nmol/mol für Gerät 2.	ja	86
8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion	Die Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion darf maximal 5,0 nmol/mol am Nullpunkt sowie maximal 4 % des Messwertes bei Konzentrationen größer Null betragen.	Für Gerät 1 ergibt sich eine Abweichung von der linearen Regressionsgerade von 1,20 nmol/mol am Nullpunkt und maximal 0,73 % vom Sollwert bei Konzentrationen größer Null. Für Gerät 2 ergibt sich eine Abweichung von der linearen Regressionsgerade von 0,60 nmol/mol am Nullpunkt und maximal 0,79 % vom Sollwert bei Konzentrationen größer Null.	ja	89
8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks	Der Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks muss $\leq 8,0$ nmol/mol/kPa betragen.	Für NO ergibt sich ein Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks von 0,10 nmol/mol/kPa für Gerät 1 sowie 0,19 nmol/mol/kPa für Gerät 2.	ja	94



Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur	Der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur muss $\leq 3,0$ nmol/mol/K betragen.	Es ergibt sich ein Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur von 0,03 nmol/mol/K für Gerät 1 sowie 0,05 nmol/mol/K für Gerät 2.	ja	96
8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur	Der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur muss $\leq 3,0$ nmol/mol/K betragen.	Der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur überschreitet nicht die Anforderungen von maximal 3,0 nmol/mol/K. In der Unsicherheitsberechnung wird für beide Geräte der größte Empfindlichkeitskoeffizient gewählt. Für die Komponente NO sind dies für Gerät 1 = 0,220 nmol/mol/K und für Gerät 2 = 0,200 nmol/mol/K.	ja	98
8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung	Der Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung muss $\leq 0,30$ nmol/mol/V betragen.	Der Empfindlichkeitskoeffizient der Spannung b_v überschreitet bei keinem Prüfpunkt die Anforderungen der DIN EN 14211 von maximal 0,30 nmol/mol/V. In der Unsicherheitsberechnung wird für beide Geräte der größte b_v gewählt. Bei der Komponente NO sind dies für Gerät 1 0,03 nmol/mol/V und für Gerät 2 0,01 nmol/mol/V.	ja	101
8.4.11 Störkomponenten	Störkomponenten bei Null und bei der NO-Konzentration c_t (500 \pm 50 nmol/mol). Die maximal erlaubten Abweichungen für die Störkomponenten H ₂ O, CO ₂ und NH ₃ , betragen je $\leq 5,0$ nmol/mol.	Es ergibt sich ein Wert für die Querempfindlichkeit am Nullpunkt von 0,60 nmol/mol für Gerät 1 sowie -0,20 nmol/mol für Gerät 2 bei H ₂ O, 0,00 nmol/mol für Gerät 1 und 0,0 nmol/mol für Gerät 2 bei CO ₂ sowie 0,00 nmol/mol für Gerät 1 und 0,00 nmol/mol für Gerät 2 bei NH ₃ . Für die Querempfindlichkeit am Grenzwert c_t ergibt sich ein Wert von 0,60 nmol/mol für Gerät 1 sowie 0,00 nmol/mol für Gerät 2 bei H ₂ O, 1,20 nmol/mol für Gerät 1 und 0,60 nmol/mol für Gerät 2 bei CO ₂ sowie 0,80 nmol/mol für Gerät 1 und 1,40 nmol/mol bei NH ₃ .	ja	103
8.4.12 Mittelungsprüfung	Der Mittelungseinfluss muss bei ≤ 7 % des Messwertes liegen.	Das Leistungskriterium der DIN EN 14211 an die Mittelungsprüfung wird mit maximal -1,3 % bzw. -0,7 % in vollem Umfang eingehalten.	ja	106

Mindestanforderung	Anforderung	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
8.4.13 Differenz Proben-/Kalibriereingang	Die Differenz zwischen Proben- und Kalibriergaseingang muss $\leq 1\%$ sein.	Das Leistungskriterium der DIN EN 14211 wird mit einer maximalen Abweichung von $-0,22\%$ bzw. $-0,11\%$ in vollem Umfang eingehalten.	ja	109
8.4.14 Konverterwirkungsgrad	Der Konverterwirkungsgrad muss mindestens $\geq 98\%$ betragen.	Das Leistungskriterium der DIN EN 14211 wird mit einem Konverterwirkungsgrad von mindestens $99,2\%$ in vollem Umfang eingehalten.	ja	111
8.4.15 Verweilzeit im Messgerät	Die Verweilzeit im Messgerät muss $\leq 3,0$ s sein.	Es ergibt sich eine Verweilzeit im Messgerät von ca. $1,1$ s.	ja	111
8.5 Bestimmung der Leistungskenngrößen im Feld nach DIN EN 14211				
8.5.4 Langzeitdrift	Die Langzeitdrift bei Null darf maximal $\leq 5,0$ nmol/mol betragen. Die Langzeitdrift beim Spannniveau darf maximal $\leq 5\%$ des Zertifizierungsbereiches betragen.	Für NO liegt die maximale Langzeitdrift am Nullpunkt DL,z bei $0,48$ nmol/mol für Gerät 1 und $-0,24$ nmol/mol für Gerät 2. Die maximale Langzeitdrift für NO am Referenzpunkt DL,s liegt bei $1,02\%$ für Gerät 1 und $-0,66\%$ für Gerät 2.	ja	115
8.5.6 Kontrollintervall	Das Wartungsintervall muss mindestens 2 Wochen betragen.	Das Kontrollintervall wird durch die notwendigen Wartungsarbeiten bestimmt. Diese beschränken sich im Wesentlichen auf die Kontrolle von Verschmutzungen, Plausibilitätschecks und etwaigen Status-/Fehlermeldungen. Der externe Partikelfilter muss je nach Staubbelastung am Messort gewechselt werden. Eine Überprüfung des Null- und Referenzpunktes muss nach DIN EN 14211 mindestens alle 14 Tage erfolgen.	ja	121
8.5.5 Vergleichsstandardabweichung für NO ₂ unter Feldbedingungen	Die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen darf maximal $\leq 5\%$ des Mittels über eine Zeitspanne von 3 Monaten betragen.	Die Vergleichsstandardabweichung für NO ₂ unter Feldbedingungen betrug $1,21\%$ bezogen auf den Mittelwert über die Dauer des Feldtests von 3 Monaten. Damit sind die Anforderungen der DIN EN 14211 eingehalten.	ja	118
8.5.7 Verfügbarkeit des Messgerätes	Die Verfügbarkeit des Messgerätes muss $\geq 90\%$ betragen	Die Verfügbarkeit beträgt 100% . Somit ist die Anforderung der DIN EN 14211 erfüllt.	ja	122



2. Aufgabenstellung

2.1 Art der Prüfung

Im Auftrag der Firma Horiba Europe GmbH wurde von der TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH eine Eignungsprüfung für die Immissionsmesseinrichtung APNA-380 vorgenommen. Die Prüfung erfolgte als vollständige Eignungsprüfung.

2.2 Zielsetzung

Die Messeinrichtung soll den Gehalt an Stickstoffoxiden in der Umgebungsluft in folgenden Konzentrationsbereichen bestimmen:

Komponente	Zertifizierungsbereich	Einheit
Stickstoffmonoxid	0 – 1.200	µg/m ³
Stickstoffdioxid	0 - 500	µg/m ³

Die Messeinrichtung APNA-380 misst die Komponenten NO, NO₂ und NO_x mittels der Chemilumineszenzmethode.

Die Eignungsprüfung war anhand der aktuellen Normen zur Eignungsprüfung unter Berücksichtigung der neuesten Entwicklungen durchzuführen.

Die Prüfung erfolgte unter Beachtung der folgenden Normen:

- VDI 4202 Blatt 1: Automatische Messeinrichtungen zur Überwachung der Luftqualität; Eignungsprüfung, Eignungsbekanntgabe und Zertifizierung von Messeinrichtungen zur punktförmigen Messung von gasförmigen Immissionen, vom April 2018
- DIN EN 14211: Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemilumineszenz, vom November 2012
- EN 14211: Ambient air - Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence, Dezember 2024

3. Beschreibung der geprüften Messeinrichtung

3.1 Messprinzip

Der Stickoxid Analysator APNA-380 bestimmt die Konzentration von Stickoxid (NO), Gesamt-Stickoxid (NO_x, die Summe aus NO und NO₂) und Stickstoffdioxid (NO₂) einer in das Instrument angesaugten Probe.



Abbildung 1: Darstellung des APNA-380

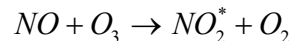
Das Messprinzip basiert auf der Erfassung der bei der Reaktion von Stickstoffoxid (NO) mit Ozon (O₃) auftretenden Chemilumineszenz.

NO_x-Chemilumineszenz bezeichnet die spezifische Chemilumineszenzreaktion, die auftritt, wenn Stickoxide (NO_x) in einem Proben gas vorhanden sind und eine Reaktion mit Ozon (O₃) eingehen. Diese Reaktion führt zur Emission von Licht, das gemessen und für quantitative Analysen in verschiedenen Anwendungen verwendet werden kann.



Die Chemilumineszenzreaktion mit NO_x und Ozon kann wie folgt zusammengefasst werden:

Oxidation von NO zu NO₂: NO reagiert in Gegenwart von überschüssigem Sauerstoff mit Ozon zu Stickstoffdioxid (NO₂) und Sauerstoffgas.



Energieübertragung: Die elektronisch angeregten NO₂-Moleküle durchlaufen dann eine Energieübertragung mit anderen Gasmolekülen oder Kollisionspartnern wie Helium, was zur Übertragung überschüssiger Energie auf diese Partner führt.

Lichtemission: Bei der De-Anregung des angeregten NO₂-Moleküls gibt es überschüssige Energie in Form von Licht ab. Das emittierte Licht fällt typischerweise in den sichtbaren oder nahinfraroten Teil des elektromagnetischen Spektrums.

Durch Erkennen und Messen der Intensität dieses Chemilumineszenzlichts ist es möglich, die Konzentration von NO_x im Proben gas zu quantifizieren.

3.2 Umfang und Aufbau der Messeinrichtung

Der APNA-380 Analysator teilt das entnommene Proben gas in zwei Gaswege auf. Eines wird direkt zur Bestimmung von NO verwendet. Das andere wird zur Messung der NO_x-Konzentrationen (NO + NO₂) verwendet, indem NO₂ über den NO_x-Konverter zu NO reduziert wird. Diese Proben gase werden vom Magnetventil in der Reihenfolge NO_x-Linie, NO-Linie und Referenzlinie umgeschaltet und wiederholt in die Reaktionskammer eingeführt.

Außenluft wird durch einen separaten Luftfilter angesaugt, durch einen sich selbst regenerierenden Silicagel- Entfeuchter getrocknet und durch den Ozonierer geleitet, indem das benötigte Ozon generiert wird. Das Ozon wird anschließend in die Reaktionskammer geleitet. Hier reagieren das Messgas mit dem Ozon und das emittierte Licht wird mit Hilfe einer Photodiode detektiert.

Das Gerät berechnet die Konzentrationen von NO, NO₂ und NO_x aus dem Signal der Photodiode, welches proportional zur Konzentration der Gase NO_x und NO ist, und gibt die Ergebnisse als kontinuierliches Signal aus.

Die Tabelle 2 enthält eine Auflistung wichtiger gerätetechnischer Kenndaten des APNA-380.

Tabelle 2: Gerätetechnische Daten APNA-380 (Herstellerangaben)

Messbereich:	Maximal 0–20 ppm (auswählbar)
Einheiten:	ppb / ppm / µg/m ³ / mg/m ³
Gemessene Verbindungen:	Stickstoffoxide
Probenfluss:	ca. 0,7 Liter/min (während der Prüfung)
Ausgänge:	<ul style="list-style-type: none">• Ethernet TCP/IP• Modbus• Serielle Schnittstelle, RS232• 0 – 1/5/10 Volt analog• 4 – 20 mA analog• USB
Eingangsspannung:	100 V bis 240 V, 50 Hz oder 60 Hz
Leistung:	140 W; maximal 190 W
Abmessungen (L x B x H) / Gewicht:	568 x 430 x 221 mm / ca. 18 kg

3.3 Einstellungen des Messgerätes

Die Inbetriebnahme der Messeinrichtung erfolgte nach den Anweisungen des Herstellers. Während der Eignungsprüfung waren keine internen Nullpunkt -Abgleichzyklen aktiviert.

Die Firmware des APNA-380 Analysators verarbeitet Probenkonzentrationsdaten über einen programmierten adaptiven Filter. Während des Betriebs kann die Firmware je nach den jeweiligen Bedingungen automatisch zwischen zwei verschiedenen zeitlichen Filterlängen wechseln. Bei der Messung stabiler Konzentrationen berechnet die Firmware standardmäßig einen Durchschnitt über die letzten Messungen. Dies sorgt für stabile Messergebnisse. Erkennt der Filter schnelle Konzentrationsänderungen, reduziert er die Mittelungszeit um dem Analysator eine schnellere Reaktion zu ermöglichen. Der adaptive Filter ist immer aktiv und kann vom Anwender weder angepasst, noch deaktiviert werden.

3.4 Softwareversionen

Der APNA-380 Analysator arbeitet mit verschiedenen Boards and Prozessoren. Im Display des Systems werden 5 unterschiedliche Softwareversionen angezeigt.

„FPGA“ and „Analyzer“: Diese beiden Versionen sind auf dem Geräte-spezifischen Messmodul installiert.

„A7“ und „M7“: Diese beiden Versionen sind auf dem Analysator CPU Board installiert. Das Analysator CPU Board ist bei allen Geräten der Baureihe APxx-380 identisch.

„I/O#1“: diese Software ist nur für das optional erhältliche Analogsignal Board relevant. Die analoge Datenausgabe ist für Immissionsmessgeräte auf Basis der hier genannten Richtlinien nicht zwingend vorgegeben. Die „I/O#1“ Software wird im Bekanntgabertext nicht aufgeführt.

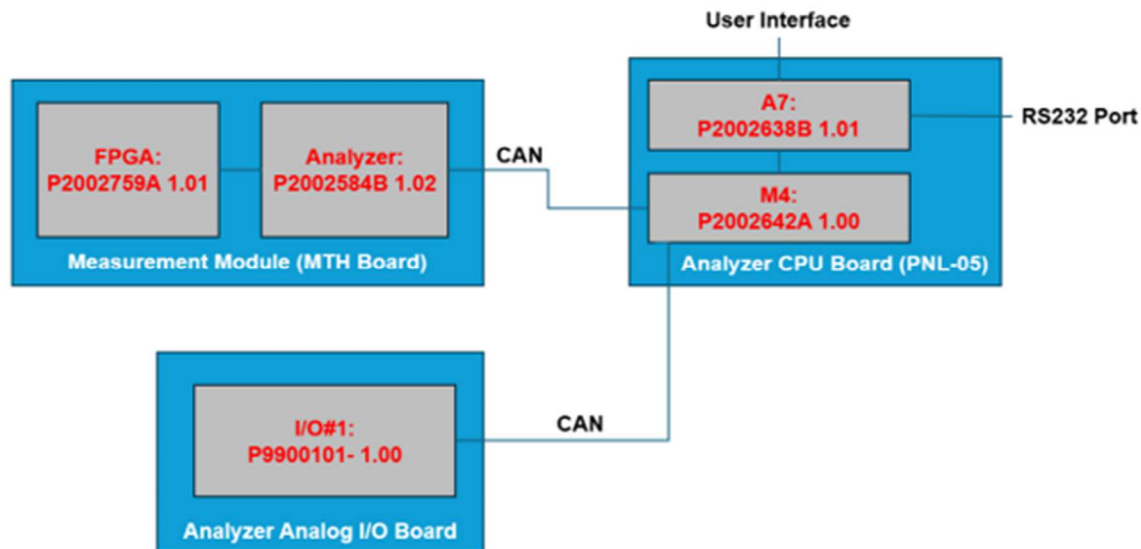


Abbildung 2: Softwareübersicht

Nach Abschluss der Prüfarbeiten wurden folgende Softwareupdates eingeführt.

A7:	P2002638B	1.01	→	A7:	P2002638 C	1.01
M4:	P2002642A	1.00	→	M4:	P2002642 B	1.00
Analyzer:	P2002584B	1.02	→	Analyzer:	P2002584 C	1.02
FPGA:	P2002759A	1.01	→	unverändert		

Bei den Softwareupdates handelt es sich um eine Reihe kleinerer Fehlerbehebungen sowie kosmetische Verbesserungen. Die Softwareänderungen wurden dem Prüfinstitut übermittelt und als Änderungen vom Typ 0 auf Basis der DIN EN 15267 eingestuft. Im Bekanntgabertext dieses Berichts wird direkt auf die nun aktuellen Softwareversionen verwiesen.

4. Prüfprogramm

4.1 Allgemeines

Die Eignungsprüfung erfolgte an zwei identischen Geräten APNA-380 mit den Seriennummern

Gerät 1: SN FGF7XTX9 und

Gerät 2: SN WNL01SY4.

Die Prüfung wurde mit folgenden Softwareversionen durchgeführt:

A7: P2002638B 1.01

M4: P2002642A 1.00

Analyzer: P2002584B 1.02

FPGA: P2002759A 1.01

Die Prüfung umfasste einen Labortest zur Feststellung der Verfahrenskenngrößen sowie einen mehrmonatigen Feldtest.

Im folgenden Bericht wird in der Überschrift zu jedem Prüfpunkt die Mindestanforderung gemäß den berücksichtigten Normen [1, 2, 3] mit Nummer und Wortlaut angeführt.

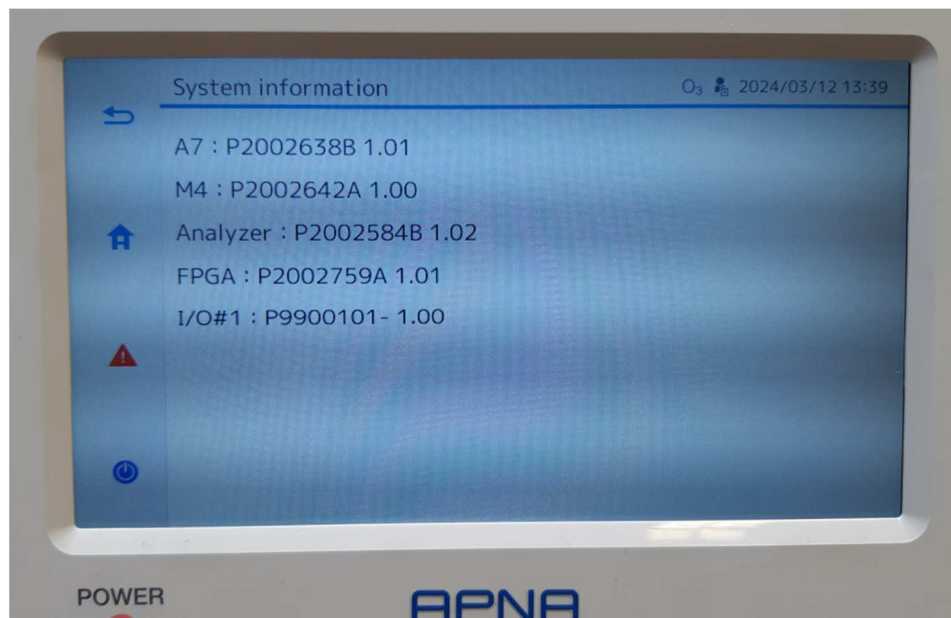


Abbildung 3: Softwareversion der APNA-380 Testgeräte

Nach Abschluss der Prüfarbeiten wurde ein Softwareupdate eingeführt. Details zum Softwareupdate sind in Kapitel 3.4 dargestellt.



4.2 Laborprüfung

Die Laborprüfung wurde mit zwei identischen Geräten des Typs APNA-380 mit den Seriennummern SN: FGF7XTX9 und SN: WNL01SY4 durchgeführt. Nach den Normen [1, 2] ergab sich folgendes Versuchsprogramm im Labor:

- Beschreibung der Gerätefunktionen
- Allgemeine Anforderungen
- Anpassung der Kalibriergeraden
- Kurzzeitdrift
- Wiederholstandardabweichung
- Abhängigkeit vom Probengasdruck
- Abhängigkeit von der Probengastemperatur
- Abhängigkeit von der Temperatur der Umgebungsluft
- Abhängigkeit von der Spannung
- Querempfindlichkeiten
- Mittelungseinfluss
- Einstellzeit
- Differenz Proben-/Kalibriergaseingang
- Konverterwirkungsgrad

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte mit einem externen Datenlogger.

Die Ergebnisse der Laborprüfungen sind unter Punkt 6 und Punkt 7 zusammengestellt.

4.3 Feldprüfung

Der Feldtest nach DIN EN 14211 und VDI 4202-1 wurde mit zwei baugleichen Messeinrichtungen des Typs APNA-380 vom 29.04.2024 bis zum 02.08.2024 durchgeführt. Die eingesetzten Messgeräte waren identisch mit den während des Labortests geprüften Geräten. Die Seriennummern waren wie folgt:

Gerät 1: SN FGF7XTX9

Gerät 2: SN WNL01SY4

Es ergab sich folgendes Prüfprogramm im Feldtest:

- Langzeitdrift
- Wartungsintervall
- Verfügbarkeit
- Vergleichstandardabweichung unter Feldbedingungen
- Konverterwirkungsgrad (VDI 4202-1:2018)

Die Aufzeichnung der Messwerte erfolgte mit einem externen Datenlogger.

Die Ergebnisse der Feldprüfungen sind unter Punkt 6 und Punkt 7 zusammengestellt.

Zur Durchführung des Feldtests wurden die Messgeräte in eine Messstation in der Nähe von Köln eingebaut. Die Messstation befindet sich im unmittelbaren Einflussbereich einer stark befahrenen, sechsspurigen Bundesautobahn. Der Abstand von der Messstation zur nächstliegenden Fahrbahn beträgt ca. 5,0 m.



Abbildung 4: Messstation zur Durchführung des Feldtests

Die Messgeräte wurden in der auf 20 °C klimatisierten Station in einem 19“-Rack installiert und an ein Probennahmesystem angeschlossen. Beide Systeme wurden mit einer Proben-gasleitung von 2,5 m durch ein T-Stück am gleichen Anschluss des Probennahmesystems installiert. Dadurch war gewährleistet, dass beide Geräte eine repräsentative Messung des gleichen Probenluftvolumens durchführten. Der Probenentnahmekopf befindet sich an der Stirnseite der Messstation in einer Gesamthöhe von ca. 3,00 m.



Abbildung 5: APNA-380 in der Messstation während des Feldtests

5. Referenzmessverfahren

5.1 Messverfahren

Während der Prüfung zur Justierung der Geräte benutzte Prüfgase

Zur Prüfung der Leistungsparameter wurden zertifizierte Stickstoffmonoxid- und Stickstoffdioxid-Prüfgase eingesetzt. Die bezeichneten Prüfgase wurden während der gesamten Prüfung eingesetzt und gegebenenfalls mittels einer Massenstromregler-Station (Typ- HovaGas) verdünnt.

Die Prüfgasflasche SN: 2732496 wurde durch das Nationale EU-Referenzlabor für Luftqualität (Umwelbundesamt in Langen) rückgeführt. Die Qualitätssicherung der weiter verwendeten Prüfgase erfolgte auf Basis des rückgeführten Prüfgases im Labor der TRE überprüft.

Nullgas:

Synthetische Luft

Prüfgas NO:

204,9 ppb in N₂

Flaschennummer:

17334 (Flaschen-SN: 27631122744400)

Hersteller / Herstelldatum:

Linde / 29.07.2023

Stabilitätsgarantie / zertifiziert:

12 Monate

Überprüfung des Zertifikates am / durch:

31.08.2023 / UBA Langen
Kalibrierschein Nr. 061-2023

Messunsicherheit gemäß Kalibrierschein:

+/- 4,1 nmol/mol

Prüfgas NO:

2,08 ppm in N₂

Flaschennummer:

17281

Hersteller / Herstelldatum:

Nippon Gases / 30.03.2023

Stabilitätsgarantie / zertifiziert:

24 Monate

Überprüfung des Zertifikates durch:

Eigenlabor

Rel. Unsicherheit gemäß Zertifikat:

5 %

Prüfgas NO₂:

5,05 ppm in SL

Flaschennummer:

17488

Hersteller / Herstelldatum:

Nippon Gases / 30.11.2023

Stabilitätsgarantie / zertifiziert:

12 Monate

Überprüfung des Zertifikates durch:

Eigenlabor

Rel. Unsicherheit gemäß Zertifikat:

2 %

6. Prüfergebnisse nach VDI 4202 Blatt 1 (2018)

6.1 7.3 Allgemeine Anforderungen

6.1 7.3.1 Messwertanzeige

Die Messeinrichtung muss eine funktionsfähige Messwertanzeige am Gerät besitzen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zusätzliche Geräte werden nicht benötigt.

6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde überprüft, ob die Messeinrichtung eine Messwertanzeige besitzt.

6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung verfügt über eine funktionsfähige Messwertanzeige an der Frontseite des Gerätes.

6.5 Bewertung

Die Messeinrichtung verfügt über eine funktionsfähige Messwertanzeige an der Frontseite des Gerätes.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Abbildung 6 zeigt einen Prüfling mit integrierter Messwertanzeige.



Abbildung 6: APNA-380 Messwertanzeige

6.1 7.3.2 Kalibriereingang

Das Messgerät darf über einen vom Probengaseingang getrennten Prüfgaseingang verfügen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zusätzliche Geräte werden nicht benötigt.

6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde überprüft, ob die Messeinrichtung über einen vom Probengaseingang getrennten Prüfgaseingang verfügt.

6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung verfügt über einen vom Probengaseingang getrennten Prüfgaseingang an der Rückseite des Gerätes.

6.5 Bewertung

Die Messeinrichtung verfügt über einen vom Probengaseingang getrennten Prüfgaseingang an der Rückseite des Gerätes.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Darstellung der Funktionalität des getrennten Prüfgaseingangs ist unter Punkt:

7.1 8.4.13 Differenz Proben-/Kalibriereingang aufgeführt.



6.1 7.3.3 Wartungsfreundlichkeit

Die notwendigen Wartungsarbeiten an der Messeinrichtung sollten ohne größeren Aufwand möglichst von außen durchführbar sein.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zusätzliche Geräte werden nicht benötigt.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die notwendigen regelmäßigen Wartungsarbeiten wurden nach den Anweisungen der Betriebsanleitung ausgeführt.

6.4 Auswertung

Folgende Wartungsarbeiten sind vom Benutzer durchzuführen:

1. Überprüfung des Gerätestatus
Der Gerätestatus kann durch visuelle Kontrolle am Display der Messeinrichtung bzw. über einen verbundenen externen PC überwacht und kontrolliert werden.
2. Kontrolle des Partikelfilters am Probengaseingang. Das Austauschintervall des Partikelfilters hängt vom Staubgehalt der Umgebungsluft ab.

6.5 Bewertung

Wartungsarbeiten sind mit üblichen Werkzeugen und vertretbarem Aufwand von außen durchführbar.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Arbeiten an den Geräten wurden während der Prüfung auf Basis der im Handbuch in Kapitel 7 beschriebenen Arbeiten und Arbeitsabläufe durchgeführt. Bei Einhaltung der dort beschriebenen Vorgehensweise konnten keine Schwierigkeiten beobachtet werden. Alle Wartungsarbeiten ließen sich problemlos mit herkömmlichen Werkzeugen durchführen.

6.1 7.3.4 Funktionskontrolle

Soweit zum Betrieb oder zur Funktionskontrolle der Messeinrichtung spezielle Einrichtungen erforderlich sind, sind diese als zum Gerät gehörig zu betrachten und bei den entsprechenden Teilprüfungen einzusetzen.

Zur Messeinrichtung gehörende Prüfgaserzeugungssysteme sind hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit durch Vergleich mit den Anforderungen an die Prüfgase für die laufende Qualitätskontrolle abzusichern. Sie müssen dem ihre Betriebsbereitschaft über ein Statussignal anzeigen und über das Messgerät direkt sowie auch telemetrisch angesteuert werden können.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bedienungshandbuch

6.3 Durchführung der Prüfung

Das geprüfte Gerät besitzt keine interne Einrichtung zur Funktionskontrolle. Der Gerätestatus der Messeinrichtung wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Warnungsmeldungen angezeigt.

Die Funktionskontrolle der Geräte wurde mit Hilfe von externen Prüfgasen durchgeführt.

6.4 Auswertung

Das geprüfte Gerät besitzt keine interne Einrichtung zur Funktionskontrolle. Der aktuelle Gerätestatus wird kontinuierlich überwacht und Probleme über eine Reihe von verschiedenen Warn- und Statusmeldungen angezeigt.

Eine externe Überprüfung des Null- und Referenzpunktes ist mit Hilfe von Prüfgasen möglich.

6.5 Bewertung

Das geprüfte Gerät besitzt keine interne Einrichtung zur Funktionskontrolle.

Mindestanforderung erfüllt? nicht zutreffend

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



6.1 7.3.5 Rüst- und Einlaufzeiten

Die Rüst- und Einlaufzeiten der Messeinrichtung sind in der Betriebsanleitung anzugeben.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bedienungshandbuch sowie zusätzlich eine Uhr.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messinstrumente wurden nach den Anweisungen des Geräteherstellers in Betrieb genommen. Die erforderlichen Zeiten für Rüst- und Einlaufzeit wurden getrennt erfasst.

Erforderliche bauliche Maßnahmen im Vorfeld der Installation, wie z. B. die Einrichtung eines Probenahmesystems im Analysenraum, wurden hier nicht bewertet.

6.4 Auswertung

Die Rüstzeit ist selbstverständlich abhängig von den Gegebenheiten am Einbauort sowie der Verfügbarkeit der Spannungsversorgung am Einbauort. Da es sich beim APNA-380 um einen kompakten Analysator handelt besteht die Rüstzeit hauptsächlich aus:

- Herstellen der Spannungsversorgung
- Anschließen der Verschlauchung (Probenahme, Abluft)

Bei der Erstinstallation sowie verschiedenen Positionsveränderungen im Labor (Ein/Ausbau in der Klimakammer) sowie Einbau am Feldteststandort wurde eine Rüstzeit von ca. 0,5 h ermittelt. Der Hersteller gibt die Rüstzeit im Handbuch (siehe Bedienungsanleitung Ergänzungen AP-380 Serie EU Version) in Kapitel 2. auf Seite 4 mit einer Stunde an.

Beim Einschalten aus völlig kaltem Zustand benötigte das Gerät ca. 180 Minuten, bis das System die Aufwärmphase beendet hat und in den Messbetrieb übergeht. Die ermittelte Aufwärmzeit stimmt mit den Angaben im Handbuch überein. Im Handbuch ist die Aufwärmphase mit ca. 3 Stunden angegeben (siehe Bedienungsanleitung Ergänzungen AP-380 Serie EU Version, Kapitel 2. auf Seite 4).

Das Messsystem muss witterungsunabhängig installiert werden, z. B. in einem klimatisierten Messcontainer.

6.5 Bewertung

Die Rüst- und Einlaufzeiten sind in der Betriebsanleitung angegeben. Die Herstellerangaben sind korrekt.

Die Messeinrichtung kann, bei überschaubarem Aufwand an unterschiedlichen Messstellen betrieben werden. Die Rüstzeit beträgt ca. eine Stunde und die Einlaufzeit je nach notwendiger Stabilisierungszeit bis zu 3 Stunden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.

6.1 7.3.6 Bauart

Die Betriebsanleitung muss Angaben des Herstellers zur Bauart der Messeinrichtung enthalten. Im Wesentlichen sind dies:

Bauform (z. B. Tischgerät, Einbaugerät, freie Aufstellung)

Einbaulage (z. B. horizontaler oder vertikaler Einbau)

Sicherheitsanforderungen

Abmessungen

Gewicht

Energiebedarf

Vermeidung von Kondensation im Analysator.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bedienungsanleitung sowie ein Messgerät zur Erfassung des Energieverbrauchs (Gossen Metrawatt) und eine Waage.

6.3 Durchführung der Prüfung

Der Aufbau der übergebenen Geräte wurde mit der Beschreibung in den Handbüchern verglichen. Der angegebene Energieverbrauch wird über 24 h im Normalbetrieb während des Feldtests bestimmt.

6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung muss in horizontaler Einbaulage (z.B. auf einem Tisch oder in einem Rack) witterungsunabhängig installiert werden. Die Temperatur am Aufstellungsort muss im Bereich zwischen 0 °C bis 40 °C liegen.

Die Abmessungen und Gewichte der Messeinrichtung stimmen mit den Angaben aus dem Bedienungshandbuch überein.

Der Energiebedarf der Messeinrichtung wird vom Hersteller mit 140 W angegeben. Im Anfahrbetrieb (Aufheizen) wurden kurzzeitig Verbrauchswerte von 190 Watt gemessen. Im Normalbetrieb liegt der Verbrauch wie angegeben bei ca. 140 Watt.

6.5 Bewertung

Die in der Betriebsanleitung aufgeführten Angaben zur Bauart sind vollständig und korrekt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.



6.1 7.3.7 Unbefugtes Verstellen

Die Justierung der Messeinrichtung muss gegen unbeabsichtigtes und unbefugtes Verstellen gesichert werden können. Alternativ muss die Bedienungsanleitung einen deutlichen Hinweis erhalten, dass das Messgerät nur in einem gesicherten Bereich aufgestellt werden darf.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Bedienung des Messgerätes erfolgt über ein frontseitiges Display mit Touch-Bedienfeld oder über einem direkt oder via Netzwerk angeschlossenen externen Rechner aus.

Das Gerät besitzt eine interne Funktion (Passwortschutz) gegen unbeabsichtigtes oder unbefugtes Verstellen. Eine Veränderung von Parametern oder die Justierung der Messeinrichtung ist nur nach Eingabe des Passwortes möglich.

6.4 Auswertung

Geräteparameter, welche Einfluss auf die Messeigenschaften haben, können sowohl bei Bedienung über das Display als auch über den externen PC nur nach Eingabe des richtigen Passwortes verändert werden.

6.5 Bewertung

Die Messeinrichtung ist gegen unbeabsichtigtes und unbefugtes Verstellen von Geräteparametern durch einen Passwortschutz gesichert.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.1 7.3.8 Messsignalausgang

Die Messsignale müssen analog (z. B. 4 mA bis 20 mA) und/oder digital angeboten werden.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Analogdatenlogger Yokogawa, PC

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messeinrichtung verfügt über folgende Übertragungswege: Modbus, RS232, USB, Digitale Ausgänge, TCP/IP-Netzwerk. Die Messeinrichtung verfügt darüber hinaus auch über die Möglichkeit der Ausgabe von Analogsignalen (V oder mA).

6.4 Auswertung

Die Messsignale werden auf der Geräterückseite folgendermaßen angeboten:

Analog: 4 – 20 mA oder 0 – 1/5/10 V, Konzentrationsbereich wählbar

Digital RS232, USB, digitale Ein- und Ausgänge, TCP/IP-Netzwerk

6.5 Bewertung

Die Messsignale werden analog (4-20 mA bzw. 0-1/5/10 Volt) und digital (über Modbus, TCP/IP, RS 232, USB) angeboten.

Der Anschluss von zusätzlichen Mess- und Peripheriegeräten ist über entsprechende Anschlüsse an den Geräten möglich.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.



6.1 7.3.9 Digitale Schnittstelle

Die digitale Schnittstelle muss die Übertragung der Messsignale, Statussignale und Informationen wie Gerätetyp, Messbereich, Messkomponente und Einheit erlauben und vollständig im einschlägigen Normen- und Richtlinienwerk beschrieben sein. Der Zugriff auf das Messgerät über digitale Schnittstellen beispielsweise zur Steuerung und Datenübertragung muss gegen unbefugten Zugriff gesichert sein.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

PC

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messeinrichtung verfügt über verschiedene digitale Übertragungswege. Darüber hinaus besteht auch über die Möglichkeit Daten durch Analogsignale auszugeben.

6.4 Auswertung

Die Messsignale werden in digitaler Form folgendermaßen angeboten:

TCP/IP, Modbus, RS232 oder USB

Die digitalen Ausgangssignale wurden überprüft. Alle relevanten Daten wie Messsignale, Statussignale, Messkomponente, Messbereich, Einheit, Geräteinformationen können digital übertragen werden. Der Zugriff auf Geräteparameter ist passwortgeschützt.

6.5 Bewertung

Die digitale Messwertübertragung funktioniert korrekt und ist durch einen Passwortschutz vor unbefugtem Zugriff gesichert.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.1 7.3.10 Datenübertragungsprotokoll

Zur digitalen Übertragung der Messsignale muss das Messgerät über mindestens ein Datenübertragungsprotokoll verfügen.

Jedes vom Hersteller für das Messgerät angebotene Datenübertragungsprotokoll muss die korrekte Datenübertragung erlauben und Übertragungsfehler erkennen lassen. Das Datenübertragungsprotokoll einschließlich der verwendeten Kommandos muss in der Bedienungsanleitung vollständig dokumentiert sein. Das Datenprotokoll muss mindestens die Übertragung der folgenden Daten erlauben:

Messgeräteerkennung

Komponentenerkennung

Einheit

Messsignal mit Zeitstempel (Datum und Uhrzeit)

Betriebs- und Fehlerstatus

Steuerungsbefehle zur Fernsteuerung des Messgerätes

Alle Daten müssen in Klartext (ASCII-Zeichen) übertragen werden.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

PC

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messeinrichtung verfügt standardmäßig über ein installiertes Bayern-Hessen-Übertragungsprotokoll. Weitere Datenübertragungsprotokolle sind in Absprache mit dem Hersteller verfügbar.

6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung verfügt standardmäßig über ein Bayern-Hessen-Übertragungsprotokoll. Weitere Datenübertragungsprotokolle sind in Absprache mit dem Hersteller verfügbar. Die Übertragung von Mess- und Statussignalen erfolgt korrekt.

6.5 Bewertung

Die Messeinrichtung verfügt standardmäßig über ein installiertes Bayern-Hessen-Übertragungsprotokoll. Die Übertragung von Mess- und Statussignalen erfolgt korrekt. Die Konfiguration ist im Handbuch (siehe Bedienungsanleitung Ergänzungen AP-380 Serie EU Version) im Kapitel 5 ab Seite 7 aufgeführt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.



6.1 7.3.11 Messbereich

Der Messbereichsendwert der Messeinrichtung muss größer oder gleich der oberen Grenze des Zertifizierungsbereichs sein.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde geprüft, ob der Messbereichsendwert der Messeinrichtung größer oder gleich der oberen Grenze des Zertifizierungsbereiches ist.

6.4 Auswertung

An der Messeinrichtung können theoretisch Messbereiche bis maximal 20 ppm eingestellt werden.

Möglicher Messbereich:	20 ppm
Obere Grenze des Zertifizierungsbereichs für NO:	1200 µg/m ³ (962 ppb oder nmol/mol)
Obere Grenze des Zertifizierungsbereichs für NO ₂ :	500 µg/m ³ (261 ppb oder nmol/mol)

6.5 Bewertung

Es ist standardmäßig ein Messbereich von 0 – 500 µg/m³ für NO₂ und 1200 µg/m³ für NO eingestellt. Andere Messbereiche bis zu maximal 20 ppm sind möglich.

Der Messbereichsendwert der Messeinrichtung ist größer als die jeweilige obere Grenze des Zertifizierungsbereichs.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Richtlinien VDI 4202, Blatt 1 sowie die Norm DIN EN 14211 enthalten folgende Mindestanforderungen für die Zertifizierungsbereiche von kontinuierlichen Immissionsmessgeräten für Stickstoffoxide:

Tabelle 3: Zertifizierungsbereiche VDI 4202-1 und DIN EN 14211

Messkomponente	Untere Grenze ZB	Obere Grenze ZB	Grenzwert	Beurteilungszeitraum
	in µg/m ³	in µg/m ³	in µg/m ³	
Stickstoffdioxid	0	500	200	1 h
Stickstoffmonoxid	0	1 200	631,3 *)	1 h

*) Für NO ist kein Grenzwert definiert, gemäß DIN EN 14211 ist an dieser Stelle ersatzweise mit dem Wert 500 ± 50 nmol/mol zu arbeiten.

6.1 7.3.12 Negative Messsignale

Negative Messsignale oder Messwerte dürfen nicht unterdrückt werden (lebender Nullpunkt).

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Zur Prüfung dieser Mindestanforderung sind keine weiteren Hilfsmittel erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde im Labor- wie auch Feldtest geprüft, ob die Messeinrichtung auch negative Messwerte ausgeben kann.

6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung kann negative Messwerte ausgeben.

6.5 Bewertung

Die Messeinrichtung kann negative Messsignale ausgeben.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



6.1 7.3.13 Stromausfall

Bei Gerätestörungen und bei Stromausfall muss ein unkontrolliertes Ausströmen von Betriebs- und Kalibriergas unterbunden sein. Die Geräteparameter sind durch eine Pufferung gegen Verlust durch Netzausfall zu schützen. Bei Spannungswiederkehr muss das Gerät automatisch wieder den messbereiten Zustand erreichen und gemäß der Betriebsvorgabe die Messung beginnen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde ein Stromausfall simuliert und geprüft, ob das Gerät unbeschädigt bleibt und nach Wiedereinschalten der Stromversorgung wieder messbereit ist.

6.4 Auswertung

Da das Messgerät zum Betrieb weder Betriebs- noch Kalibriergase benötigt, ist ein unkontrolliertes Ausströmen von Gasen nicht möglich.

Im Falle eines Netzausfalles befindet sich die Messeinrichtung nach der Spannungswiederkehr bis zum Erreichen eines stabilisierten Zustands bezüglich der Gerätetemperaturen in der Aufwärmphase. Die Dauer der Aufwärmphase ist abhängig von den Umgebungsbedingungen am Aufstellort und vom thermischen Gerätezustand beim Einschalten. Nach der Aufwärmphase schaltet das Gerät automatisch in den Modus der vor Spannungsabfall aktiviert war. Während der Aufwärmphase wird ein Statussignal angezeigt.

6.5 Bewertung

Die Messeinrichtung befindet sich bei Spannungswiederkehr in störungsfreier Betriebsbereitschaft und führt nach einer Aufwärmphase selbstständig den Messbetrieb wieder fort.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.

6.1 7.3.14 Gerätefunktionen

Die wesentlichen Gerätefunktionen müssen durch telemetrisch übermittelbare Statussignale zu überwachen sein.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

PC zur Datenerfassung.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messeinrichtung besitzt verschiedene Schnittstellen wie beispielsweise RS232, LAN/WLAN oder USB und analoge Ein- und Ausgänge. Über die LAN/WLAN Schnittstelle kann beispielsweise eine einfache Verbindung zwischen Analysator und einem externen PC hergestellt werden. Dies ermöglicht die telemetrische Datenübertragung, es können Konfigurationseinstellungen vorgenommen und die Analysatoranzeige auf dem PC dargestellt werden. In diesem Modus können alle Informationen und Funktionen des Analysatordisplays über einen PC abgerufen und bedient werden.

6.4 Auswertung

Die Messeinrichtung ermöglicht eine umfassende telemetrische Kontrolle und Steuerung der Messeinrichtung über verschiedene Anschlussmöglichkeiten.

6.5 Bewertung

Die Messeinrichtung kann mittels verschiedener Anschlussmöglichkeiten von einem externen Rechner aus umfassend überwacht und gesteuert werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



6.1 7.3.15 Umschaltung

Die Umschaltung zwischen Messung und Funktionskontrolle und/oder Kalibrierung muss telemetrisch durch rechnerseitige Steuerung und manuell auslösbar sein.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Messeinrichtung kann durch den Bediener am Gerät oder aber durch die telemetrische Fernbedienung überwacht und gesteuert werden.

6.4 Auswertung

Alle Bedienprozeduren, die keine praktischen Handgriffe vor Ort bedingen, können sowohl vom Bedienpersonal am Gerät als auch durch telemetrische Fernbedienung überwacht werden.

6.5 Bewertung

Grundsätzlich können alle notwendigen Arbeiten zur Funktionskontrolle direkt am Gerät oder aber per telemetrischer Fernbedienung überwacht und gesteuert werden.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.

6.1 7.3.16 Gerätesoftware

Die Version der Gerätesoftware muss vom Messgerät angezeigt werden können.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Es wurde überprüft, ob die Gerätesoftware am Gerät angezeigt werden kann. Der Gerätehersteller wurde darauf hingewiesen, dass jegliche Änderungen der Gerätesoftware dem Prüfinstitut mitgeteilt werden müssen.

6.4 Auswertung

Die aktuelle Software wird beim Einschalten des Gerätes im Display angezeigt. Sie kann zudem jederzeit im Menü „System Setting“ eingesehen werden.

Die während der Prüfung installierten Softwareversionen, sowie die aktuelle gültigen Softwareversionen sind im Kapitel 3.4 aufgeführt.

6.5 Bewertung

Die Version der Gerätesoftware wird im Display angezeigt. Änderungen der Gerätesoftware werden dem Prüfinstitut mitgeteilt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Abbildung 3 zeigt die Gerätesoftwareversion im Display der Messeinrichtung



6.1 7.4 Anforderungen an Leistungskenngrößen für die Laborprüfung

6.1 7.4.1 Allgemeines

Die bei den Prüfungen im Labor zu bestimmenden Leistungskenngrößen sowie die zugehörigen Leistungskriterien sind in Tabelle A1 der VDI 4202-1 für Messkomponenten nach 39. BImSchV angegeben.

Für andere Messkomponenten ist ein Zertifizierungsbereich festzulegen. Die Leistungskriterien sind in Anlehnung an die Tabelle A1 der VDI 4202-1 festzulegen und mit der zuständigen Stelle abzustimmen.

Die Leistungskenngrößen für die Laborprüfung sind nach den in Abschnitt 8.4 der VDI 4202-1 beschriebenen Verfahren zu bestimmen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.

6.4 Auswertung

Hier nicht erforderlich.

6.5 Bewertung

Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie der DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.

6.1 7.4.2 Prüfbedingungen

Vor Inbetriebnahme des Messgerätes ist die Betriebsanleitung des Herstellers insbesondere hinsichtlich der Aufstellung des Gerätes und der Qualität und Menge des erforderlichen Verbrauchsmaterials zu befolgen.

Vor Durchführung der Prüfung ist die vom Hersteller festgelegte Einlaufzeit zu beachten. Falls die Einlaufzeit nicht festgelegt ist, ist eine Mindestzeit von 4 h einzuhalten.

Falls Autoskalierungs- oder Selbstkorrekturfunktionen am Gerät frei wählbar sind, dann sind diese Funktionen bei der Laborprüfung auszuschalten.

Falls Autoskalierungs- oder Selbstkorrekturfunktionen am Gerät nicht frei wählbar sind und als übliche Betriebsbedingungen angesehen werden, dann müssen Zeiten und Größen der Selbstkorrekturen für das Prüfinstitut verfügbar sein. Die Größen der Auto-Drift-Korrekturen unterliegen den gleichen Einschränkungen, wie sie in den Leistungskenngrößen festgelegt sind.

Vor der Aufgabe von Prüfgasen auf das Messgerät muss das Prüfgassystem ausreichend lange betrieben worden sein, um stabile Konzentrationen liefern zu können. Das Messgerät muss mit eingebautem Partikelfilter geprüft werden.

Die meisten Messgeräte können das Messsignal als fließenden Mittelwert einer einstellbaren Zeitspanne ausgeben. Einige Messgeräte passen diese Integrationszeit automatisch als Funktion der Frequenz der Konzentrationsschwankungen der Messkomponente an. Diese Optionen werden typischerweise zur Glättung der Ausgabedaten verwendet. Es muss nicht belegt werden, dass der eingestellte Wert für die Mittelungszeit oder die Verwendung eines aktiven Filters das Ergebnis der Prüfung der Mittelungszeit und der Einstellzeit beeinflussen.

Die Einstellungen des Messgerätes müssen den Herstellerangaben entsprechen. Alle Einstellungen sind im Prüfbericht festzuhalten.

Zur Bestimmung der verschiedenen Leistungskenngrößen sind geeignete Prüfgase zu verwenden.

Parameter: Bei der Prüfung für die einzelnen Leistungskenngrößen müssen die Werte der Parameter innerhalb des in Tabelle 3 der VDI 4202-1 angegebenen Bereichs stabil sein.

Prüfgase: Zur Bestimmung der verschiedenen Leistungskenngrößen sind auf nationale oder internationale Normale rückführbare Prüfgase zu verwenden

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.

6.4 Auswertung

Die im Handbuch beschriebene Einlaufzeit wurde eingehalten.

Während der Laborprüfung waren keine Autoskalierungs oder Selbstkorrekturfunktionen an den Prüflingen aktiviert.

Die Prüfungen erfolgten mit den gerätezugehörigen Partikelfiltern.

Wie in Kapitel 3.3 beschrieben war der genannte adaptive Filter während der gesamten Prüfung standardmäßig aktiv.

Die verwendeten Prüfgase entsprechen den Vorgaben der VDI 4202-1.



6.5 Bewertung

Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie der DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.

6.1 7.4.3 Einstellzeit und Memory-Effekt

Die Einstellzeit (Anstieg) der Messeinrichtung darf höchstens 180 s betragen.

Die Einstellzeit (Abfall) der Messeinrichtung darf höchstens 180 s betragen.

Die Differenz zwischen der Einstellzeit (Anstieg) und der Einstellzeit (Abfall) der Messeinrichtung darf maximal 10 % der Einstellzeit (Anstieg) oder 10 s betragen, je nachdem, welcher Wert größer ist.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Einstellzeit ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung der Einstellzeit nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.3 Einstellzeit verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.3 Einstellzeit.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.3 Einstellzeit.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



6.1 7.4.4 Kurzzeitdrift

Die Kurzzeitdrift bei Null darf maximal 2,0 nmol/mol betragen.

Die Kurzzeitdrift beim Spanwert darf maximal 6,0 nmol/mol betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Kurzzeitdrift ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung der Kurzzeitdrift nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.4 Kurzzeitdrift verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.4 Kurzzeitdrift.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.4 Kurzzeitdrift.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

6.1 7.4.5 Wiederholstandardabweichung

Die Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt darf 1,0 nmol/mol nicht überschreiten.

Die Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt darf 3,0 nmol/mol nicht überschreiten.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt ist identisch zur Ermittlung der Wiederholstandardabweichung nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.5 Wiederholstandardabweichung verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.5 Wiederholstandardabweichung.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.5 Wiederholstandardabweichung.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



6.1 7.4.6 Linearität

Der Zusammenhang zwischen den Messwerten und den Sollwerten muss mithilfe einer linearen Analysenfunktion darstellbar sein.

Die Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion darf maximal 5 nmol/mol am Nullpunkt sowie maximal 4 % des Messwertes bei Konzentrationen größer Null betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Linearität ist identisch zur Ermittlung des Lack of fit nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

6.1 7.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks

Der Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdruckes darf 8,0 (nmol/mol)/kPa nicht überschreiten.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung des Empfindlichkeitskoeffizienten des Probengasdruckes ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung des Empfindlichkeitskoeffizienten des Probengasdruckes nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks.
Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



6.1 7.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur darf 3,0 (nmol/mol)/K nicht überschreiten.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung des Empfindlichkeitskoeffizienten der Probengastemperatur ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung des Empfindlichkeitskoeffizienten der Probengastemperatur nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

6.1 7.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur darf 3,0 (nmol/mol)/K nicht überschreiten.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung des Empfindlichkeitskoeffizienten der Umgebungstemperatur ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung des Empfindlichkeitskoeffizienten der Umgebungstemperatur nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur.
Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



6.1 7.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung

Der Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung darf 0,3 (nmol/mol)/V nicht überschreiten.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung des Empfindlichkeitskoeffizienten der elektrischen Spannung ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung des Empfindlichkeitskoeffizienten der elektrischen Spannung nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung.
Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

6.1 7.4.11 Querempfindlichkeit

Die Änderung des Messwerts aufgrund von Störeinflüssen durch die Querempfindlichkeit gegenüber im Messgut enthaltenen Begleitstoffen darf am Nullpunkt und am Referenzpunkt die Anforderungen der Tabelle A der Richtlinie VDI 4202 Blatt 1 (April 2018) nicht überschreiten.

Bei Messprinzipien, die von den EN-Normen abweichen, dürfen die Absolutwerte der Summen der positiven bzw. negativen Abweichung aufgrund von Störeinflüssen durch die Querempfindlichkeit gegenüber im Messgut enthaltenen Begleitstoffen im Bereich des Nullpunkts und am Referenzpunkt nicht mehr als 3 % der oberen Grenze des Zertifizierungsbereiches betragen. Als Referenzpunkt ist ein Wert c_t bei 70 bis 80 % der oberen Grenze dieses Zertifizierungsbereiches zu verwenden.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Querempfindlichkeiten ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung der Querempfindlichkeiten nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.11 Störkomponenten verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.11 Störkomponenten.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.11 Störkomponenten.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



6.1 7.4.12 Mittelungseinfluss

Das Messgerät muss die Bildung von Stundenmittelwerten ermöglichen.

Der Mittelungseinfluss darf maximal 7 % des Messwertes betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Prüfgase, Mischstation

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Mittelungsprüfung liefert ein Maß für die Unsicherheit der gemittelten Werte, die durch kurzzeitige Konzentrationsänderungen im Probengas, die kürzer als die Messwerterfassung im Messgerät sind, verursacht werden. Im Allgemeinen ist die Ausgabe eines Messgerätes das Ergebnis der Bestimmung einer Bezugskonzentration (üblicherweise Null) und der tatsächlichen Konzentration, die eine gewisse Zeit benötigt.

Zur Bestimmung der auf die Mittelung zurückgehenden Unsicherheit werden die folgenden Konzentrationen auf das Messgerät aufgegeben und die entsprechenden Messwerte registriert:

- eine konstante NO₂ Konzentration c_{t,NO_2} von etwa dem Doppelten des 1-Stunden-Grenzwertes
- eine sprunghafte Änderung der NO-Konzentration zwischen Null und 600 nmol/mol (Konzentration $c_{t,NO}$).

Die Zeitspanne (t_c) der konstanten NO-Konzentrationen muss mindestens gleich der zum Erzielen von vier unabhängigen Anzeigewerten notwendigen Zeitspanne sein (entsprechend mindestens 16 Einstellzeiten). Die Zeitspanne (t_v) der geänderten NO-Konzentration muss mindestens gleich der zum Erzielen von vier unabhängigen Anzeigewerten erforderlichen Zeitspanne (t_{NO}) sein. Die Zeitspanne der NO-Konzentration muss 45 s betragen, gefolgt von der Zeitspanne (t_{zero}) von 45 s für die Konzentration Null. Weiterhin gilt:

c_t ist die Prüfgaskonzentration

t_v ist die Gesamtzahl der t_{NO} - und t_{zero} -Paare (mindestens drei Paare)

Der Wechsel von t_{NO} auf t_{zero} muss innerhalb von 0,5 s erfolgen. Der Wechsel von t_c zu t_v muss innerhalb einer Einstellzeit des zu prüfenden Messgerätes erfolgen.

Der Mittelungseinfluss für NO (X_{av}) ist:

$$E_{av} = \frac{C_{const}^{av} - 2C_{var}^{av}}{C_{const}^{av}} * 100$$

Dabei ist:

E_{av} der Mittelungseinfluss (%)

C_{const}^{av} der Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne der konstanten Konzentration

C_{var}^{av} der Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne der variablen Konzentration

Abweichend gilt für NO_x Messgeräte

Der Mittelungseinfluss ist für die Messkomponenten NO₂ und NO zu ermitteln. Dabei wird der Mittelungseinfluss für NO nach DIN EN 14211 berechnet. Die Bestimmung des Mittelungseinflusses für NO₂ wird nach folgender Formel berechnet:

$$E_{av} \frac{C_{const}^{av} - C_{var}^{av}}{C_{const}^{av}} * 100\%$$

Dabei ist:

- E_{av} der Mittelungseinfluss (%)
- C_{const}^{av} der Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne der konstanten Konzentration
- C_{var}^{av} der Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne der variablen Konzentration

Die Mittelungsprüfung wurde nach den Vorgaben der DIN EN 14211 sowie VDI 4202-1 durchgeführt. Es wurde eine sprunghafte Änderung der NO-Konzentration zwischen Null und 600 nmol/mol als auch gleichzeitig eine konstante NO₂ Konzentration c_{t,NO_2} von etwa dem Doppelten des 1-Stunden-Grenzwertes mittels einer Massflowcontrollerstation aufgegeben. Zuerst wurde bei einer konstanten Prüfgaskonzentration der Mittelwert gebildet. Danach wurde mit Hilfe eines Dreiweeventils im 45 s Takt zwischen Null und Prüfgas hin und her geschaltet. Über die Zeit der wechselnden Prüfgasaufgabe wurde ebenfalls der Mittelwert gebildet.

6.4 Auswertung

In der Prüfung wurden folgende Mittelwerte ermittelt:

Tabelle 4: Ergebnisse der Mittelungsprüfung für NO

	Anforderung	Gerät 1	Gerät 2
Mittelungseinfluss E_{av} [%]	≤ 7%	-1,3	-0,7
		✓	✓

Daraus ergeben sich folgende Mittelungseinflüsse für NO:

Gerät 1: -1,3 %

Gerät 2: -0,7 %

Auswertung für die Komponente NO₂ während der Prüfung mit NO wie oben beschrieben.

Tabelle 5: Ergebnisse der Mittelungsprüfung für NO₂

	Anforderung	Gerät 1	Gerät 2
Mittelungseinfluss E_{av} [%]	≤ 7%	4,0	3,6
		✓	✓

Daraus ergeben sich folgende Mittelungseinflüsse für NO₂:

Gerät 1: 4,0 %

Gerät 2: 3,6 %



6.5 Bewertung

Das Leistungskriterium der VDI 4202-1 sowie der DIN EN 14211 wird in vollem Umfang eingehalten.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

In Tabelle 6 und Tabelle 7 sind die Einzelergebnisse der Untersuchung zum Mittelungseinfluss angegeben.

Tabelle 6: Einzelwerte der Untersuchung zum Mittelungseinfluss für NO

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert	13:35:00	601,5	602,3
Konstanter Wert	bis		
$C_{av,c}$	13:54:00		
Mittelwert	13:55:00	310,9	309,5
Variabler Wert	bis		
$C_{av,v}$	14:14:00		

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert	14:23:00	597,6	598,3
Konstanter Wert	bis		
$C_{av,c}$	14:42:00		
Mittelwert	14:43:00	304,7	305,3
Variabler Wert	bis		
$C_{av,v}$	15:02:00		

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert	15:11:00	597,1	597,2
Konstanter Wert	bis		
$C_{av,c}$	15:30:00		
Mittelwert	15:31:00	294,0	290,3
Variabler Wert	bis		
$C_{av,v}$	15:50:00		

Tabelle 7: Einzelwerte der Untersuchung zum Mittelungseinfluss für NO₂

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert	13:35:00	216,5	216,8
Konstanter Wert	bis		
$C_{av,c}$	13:54:00		
Mittelwert	13:55:00	209,9	209,1
Variabler Wert	bis		
$C_{av,v}$	14:14:00		

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert	14:23:00	216,8	217,0
Konstanter Wert	bis		
$C_{av,c}$	14:42:00		
Mittelwert	14:43:00	207,8	208,0
Variabler Wert	bis		
$C_{av,v}$	15:02:00		

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert	15:11:00	216,1	216,2
Konstanter Wert	bis		
$C_{av,c}$	15:30:00		
Mittelwert	15:31:00	206,0	209,5
Variabler Wert	bis		
$C_{av,v}$	15:50:00		



6.1 7.4.13 Differenz zwischen Proben- und Kalibriereingang

Falls das Messgerät standardmäßig oder optional über einen vom Probengaseingang getrennten Prüfgaseingang verfügt, ist diese Konfiguration in der Eignungsprüfung zu prüfen.

Die Differenz zwischen Probengas und Prüfgaseingang darf maximal 1 % betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Differenz zwischen Proben- und Kalibriergaseingang ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung der Differenz zwischen Proben- und Kalibriergaseingang nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.13 Differenz Proben-/Kalibriereingang

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.13 Differenz Proben-/Kalibriereingang.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

6.1 7.4.14 Konverterwirkungsgrad

Bei Messeinrichtungen mit einem Konverter muss dessen Wirkungsgrad in der Laborprüfung mindestens 98 % betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung des Konverterwirkungsgrades im Labor ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung des Konverterwirkungsgrades nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.14 Konverterwirkungsgrad verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.14 Konverterwirkungsgrad.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.14 Konverterwirkungsgrad.
Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



6.1 7.4.15 Verweilzeit im Messgerät

Falls wie bei NO_x- und Ozon Messeinrichtungen die Verweilzeit im Messgerät einen Einfluss auf das Messsignal haben kann, ist diese aus dem Volumenstrom und dem Volumen der Leitungen und der anderen relevanten Komponenten im Messgerät und im Partikelfiltergehäuse zu berechnen.

Im Fall von NO_x- und Ozon Messungen darf die Verweilzeit nicht größer sein als 3 s.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung des Mittelungseinflusses ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung des Mittelungseinflusses nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.4.14 Verweilzeit im Messgerät verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.14 Verweilzeit im Messgerät.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.4.14 Verweilzeit im Messgerät.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

6.1 7.5 Anforderungen an Leistungskenngrößen für die Feldprüfung

6.1 7.5.1 Allgemeines

Die bei den Prüfungen im Feld zu bestimmenden Leistungskenngrößen sowie die zugehörigen Leistungskriterien sind in Tabelle A1 der VDI 4202-1 (2018) für Messkomponenten nach 39. BImSchV angegeben.

Für andere Messkomponenten ist ein Zertifizierungsbereich festzulegen. Die Leistungskriterien sind in Anlehnung an die Tabelle A1 der VDI 4202-1 (2018) festzulegen und mit der zuständigen Stelle abzustimmen.

Die Leistungskenngrößen für die Laborprüfung sind nach den in Abschnitt 8.5 der VDI 4202-1 (2018) beschriebenen Verfahren zu bestimmen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.

6.4 Auswertung

Hier nicht erforderlich.

6.5 Bewertung

Die Prüfung wurde anhand der Leistungskriterien und Anforderungen der VDI 4202 Blatt 1 (2018) sowie der DIN EN 14211 (2012) und der EN 14211 (2024) durchgeführt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



6.1 7.5.2 Standort für die Feldprüfungen

Die Messstation für die Feldprüfung ist unter Berücksichtigung der Anforderungen der 39. BImSchV so auszuwählen, dass die zu erwartenden Konzentrationen der Messkomponente der vorgesehenen Aufgabenstellung entsprechen. Die Einrichtung der Messstation muss die Durchführung der Feldprüfung erlauben und im Rahmen der Messplanung als notwendig erachtete Kriterien erfüllen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Bei der Wahl des Standortes für die Messstation zur Durchführung der Feldprüfung wurde die Anforderungen der 39. BImSchV berücksichtigt.

6.4 Auswertung

Bei der Wahl des Standortes für die Messstation zur Durchführung der Feldprüfung wurden die Anforderungen der 39. BImSchV berücksichtigt. Details zum Standort der Messstation sind in Kapitel 4.3 aufgeführt.

6.5 Bewertung

Bei der Wahl des Standortes für die Messstation zur Durchführung der Feldprüfung wurden die Anforderungen der 39. BImSchV berücksichtigt. Details zum Standort der Messstation sind in Kapitel 4.3 aufgeführt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.

6.1 7.5.3 Betriebsanforderungen

Die Messgeräte sind in der Messstation einzubauen und nach Anschluss an die dort vorhandene oder eine separate Probenahmeeinrichtung ordnungsgemäß in Betrieb zu nehmen.

Die Einstellungen des Messgerätes müssen den Herstellerangaben entsprechen. Alle Einstellungen sind im Prüfbericht festzuhalten.

Die Messgeräte sind während der Feldprüfung nach den Vorgaben des Geräteherstellers zu warten und mit geeigneten Prüfgasen regelmäßig zu überprüfen.

Falls das Gerät über eine Autoskalierungs- oder Selbstkorrekturfunktion verfügt und dies als „übliche Betriebsbedingung“ angesehen wird, ist sie bei der Feldprüfung in Funktion zu setzen. Die Größe der Selbstkorrektur muss für das Prüflabor verfügbar sein. Die Größen der Autozero- und der Auto-Drift-Korrekturen über das Kontrollintervall (Langzeitdrift) unterliegen den gleichen Einschränkungen, wie sie in den Leistungskenngrößen festgelegt sind.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Für die Feldprüfung wurde die Messeinrichtung in einer Messstation eingebaut und an das vorhandene Probennahmesystem angeschlossen. Anschließend wurde die Messeinrichtung nach den Herstellerangaben im zugehörigen Handbuch in Betrieb genommen.

Während der Feldprüfung waren keine Selbstkorrektur oder AutoZero-Funktionen aktiviert.

6.4 Auswertung

Während des Feldtest wurde die Messeinrichtung nach den Angaben des Herstellers betrieben und gewartet. Es waren keine Selbstkorrektur oder AutoZero-Funktionen aktiviert.

6.5 Bewertung

Während des Feldtests wurde die Messeinrichtung nach den Angaben des Herstellers betrieben und gewartet.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



6.1 7.5.4 Langzeitdrift

Die Langzeitdrift bei Null darf maximal 5,0 nmol/mol betragen.

Die Langzeitdrift beim Spanwert darf maximal 5 % des Maximums des Zertifizierbereiches betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Langzeitdrift ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung der Langzeitdrift nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.5.4 Langzeitdrift verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.5.4 Langzeitdrift

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.5.4 Langzeitdrift.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

6.1 7.5.5 Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen

Die Standardabweichung aus Doppelbestimmungen ist mit zwei baugleichen Mess-einrichtungen in der Feldprüfung zu ermitteln.

Die Standardabweichung unter Feldbedingungen darf maximal 5 % des Mittels über eine Zeitspanne von 3 Monaten betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Standardabweichung aus Doppelbestimmungen ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung der Standardabweichung aus Doppelbestimmungen nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1

8.5.5 Vergleichsstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.5.5 Vergleichsstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.5.5 Vergleichsstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



6.1 7.5.6 Kontrollintervall

Das Kontrollintervall des Messgerätes ist in der Feldprüfung zu ermitteln und anzugeben. Das Wartungsintervall sollte möglichst drei Monate, muss jedoch mindestens zwei Wochen betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung des Kontrollintervalls ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung des Kontrollintervalls nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.5.6 Kontrollintervall verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.5.6 Kontrollintervall.

6.5 Bewertung

Siehe Kapitel 7.1 8.5.6 Kontrollintervall.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

6.1 7.5.7 Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit des Messgerätes ist in der Feldprüfung zu ermitteln und muss mindestens 95 % betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Durchführung und Auswertung zur Ermittlung der Verfügbarkeit ist identisch mit dem Prüfpunkt zur Ermittlung der Verfügbarkeit nach DIN EN 14211 (2012). Daher wird hier auf das Kapitel 7.1 8.5.7 Verfügbarkeit des Messgerätes verwiesen.

6.4 Auswertung

Siehe Kapitel 7.1 8.5.7 Verfügbarkeit des Messgerätes.

6.5 Bewertung

Die Siehe Kapitel 7.1 8.5.7 Verfügbarkeit des Messgerätes.
Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



6.1 7.5.8 Konverterwirkungsgrad

Am Ende der Feldprüfung muss der Konverterwirkungsgrad 95 % betragen.

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Prüflinge, Ozongenerator, NO Prüfgas

6.3 Durchführung der Prüfung

Nach VDI 4202-1 (2018) ist der Konverterwirkungsgrad zusätzlich am Ende der Feldprüfungen zu überprüfen. Die Vorgehensweise erfolgte analog zur Prüfung des Konverterwirkungsgrades im Labor nach DIN EN 14211 (2012).

Der Konverterwirkungsgrad wird über Messungen mit bekannten NO₂-Konzentrationen bestimmt. Dies kann durch Gasphasentitration von NO zu NO₂ mit Ozon erfolgen.

Die Prüfung ist bei zwei Konzentrationsniveaus durchzuführen: bei 50 % und bei 95 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches von NO₂.

Das NO_x-Messgerät ist über den NO- und NO_x Kanal mit einer NO-Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches von NO zu kalibrieren. Beide Kanäle müssen so eingestellt werden, dass sie den gleichen Wert anzeigen. Die Werte sind zu registrieren.

Eine bekannte NO-Konzentration von etwa 50 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches von NO wird auf das Messgerät aufgegeben, bis das Ausgabesignal stabil ist. Diese stabile Zeitspanne muss mindestens vier Einstellzeiten betragen. Vier Einzelmessungen werden am NO- und NO_x Kanal durchgeführt. NO wird dann zur Erzeugung einer NO₂-Konzentration mit O₃ umgesetzt. Dieses Gemisch mit einer konstanten NO_x-Konzentration wird auf das Messgerät aufgegeben, bis das Ausgabesignal stabil ist. Diese stabile Zeitspanne muss mindestens vier Einstellzeiten des Messgerätes betragen, die NO-Konzentration nach der Gasphasentitration muss zwischen 10 % und 20 % der ursprünglichen NO-Konzentration betragen. Anschließend werden vier Einzelmessungen am NO und NO_x-Kanal durchgeführt. Die O₃-Versorgung wird dann abgeschaltet und nur NO auf das Messgerät aufgegeben, bis das Ausgabesignal stabil ist. Diese stabile Zeitspanne muss mindestens vier Einstellzeiten des Messgerätes betragen. Dann wird der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO und NO_x-Kanal geprüft.

Der Konverterwirkungsgrad ist:

$$E_{conv} = \left(1 - \frac{(NO_x)_i - (NO_x)_f}{(NO)_i - (NO)_f} \right) \times 100\%$$

Dabei ist:

E_{con} der Konverterwirkungsgrad in %

$(NO_x)_i$ der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO_x-Kanal bei der anfänglichen NO_x-Konzentration

$(NO_x)_f$ der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO_x-Kanal bei der sich einstellenden NO_x-Konzentration nach Zugabe von O₃

$(NO)_i$ der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO-Kanal bei der anfänglichen NO-Konzentration

(NO)_f Der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO-Kanal bei der sich einstellen-
den NO-Konzentration nach Zugabe von O₃

Der niedrigere der beiden Werte für den Konverterwirkungsgrad ist anzugeben.

Die Prüfung wurde nach den Vorgaben der DIN EN 14211 durchgeführt. Bei der Prüfgasauf-
gabe wurden mittels der Gasphasentitration zwei NO₂-Konzentrationen im Bereich von 50 %
und 95 % des Zertifizierungsbereichs von NO₂ eingestellt.

Der Konverterwirkungsgrad wurde am Ende des Feldtests ermittelt.

6.4 Auswertung

Bei der Prüfung wurden folgende Konverterwirkungsgrade für die beiden Messeinrichtungen
APNA-380 ermittelt. Es wurde jeweils der niedrigste Wert beider NO₂-Konzentrationsstufen
angegeben:

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Konverterwirkungsgrad E _c [%]	≥ 95%	96,8	✓	97,2	✓

6.5 Bewertung

Das Leistungskriterium der VDI 4202-1 (2018) wird in vollem Umfang eingehalten .

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Einzelwerte sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Einzelwerte der Überprüfung des Konverterwirkungsgrades am Ende des Feldtests

02.08.2024	Uhrzeit			Gerät 1		Gerät 2	
		O ₃ [nmol/mol]	NO ₂ [nmol/mol]	NO [nmol/mol]	NO _x [nmol/mol]	NO [nmol/mol]	NO _x [nmol/mol]
	08:34:00	start					
O ₃ =0, NO=50%	08:52:00	0,0	0,7	484,6	485,3	481,6	482,7
	08:53:00	0,0	0,8	484,6	485,4	481,6	482,7
	08:54:00	0,0	0,3	485,2	485,5	481,6	482,7
	08:55:00	0,0	0,5	485,2	485,7	481,6	482,7
Mittelwert		0,0	0,6	484,9	485,5	481,6	482,7
NO ₂ = 50% 130,75	09:09:00	140,0	143,1	337,3	480,4	335,5	478,4
	09:10:00	140,0	143,2	337,3	480,5	335,5	478,6
	09:11:00	140,0	143,6	337,3	480,9	335,5	478,9
	09:12:00	140,0	143,9	337,3	481,2	335,5	479,0
Mittelwert		140,0	143,4	337,3	480,7	335,5	478,7
O ₃ =0, NO=50%	10:02:00	0,0	1,0	484,0	485,0	481,6	482,9
	10:03:00	0,0	0,8	484,0	484,8	481,6	482,9
	10:04:00	0,0	0,7	484,0	484,7	481,6	482,9
	10:05:00	0,0	0,7	484,6	485,3	481,6	482,9
Mittelwert		0,0	0,8	484,2	484,9	481,6	482,9
NO ₂ = 95% 248,43	10:22:00	265,0	265,9	215,8	481,7	215,2	480,2
	10:23:00	265,0	266,2	215,8	482,1	214,6	479,7
	10:24:00	265,0	266,4	215,2	481,6	214,6	479,9
	10:25:00	265,0	266,5	215,2	481,8	214,6	480,1
Mittelwert		265,0	266,3	215,5	481,8	214,8	480,0
O ₃ =0, NO=50%	10:32:00	0,0	0,0	481,6	483,1	479,2	480,8



6.1 7.6 Eignungsanerkennung und Berechnung der Messunsicherheit

Die Eignungsanerkennung des Messgerätes setzt Folgendes voraus:

- 1) Der Wert jeder einzelnen, im Labor geprüften Leistungskenngröße muss das in Tabelle A1 der VDI 4202-1 (2018) angegebene Kriterium erfüllen.*
- 2) Die erweiterte Messunsicherheit, die aus den Standardunsicherheiten der in der Laborprüfung ermittelten spezifischen Leistungskenngrößen berechnet wurde, muss das in Tabelle C1 der VDI 4202-1 (2018) angegebene Kriterium erfüllen. Dieses Kriterium ist die maximal zulässige Unsicherheit von Einzelmessungen für kontinuierliche Messungen beim 1-Stunden-Grenzwert. Die relevanten spezifischen Leistungskenngrößen und das Berechnungsverfahren sind im Anhang F der VDI 4202-1 (2018) angegeben.*
- 3) Der Wert jeder einzelnen, in der Feldprüfung geprüften Leistungskenngröße muss das in Tabelle A1 der VDI 4202-1 (2018) angegebene Kriterium erfüllen.*
- 4) Die erweiterte Messunsicherheit, die aus den Standardunsicherheiten der in der Labor- und Feldprüfung ermittelten spezifischen Leistungskenngrößen berechnet wurde, muss das in Tabelle C1 der VDI 4202-1 (2018) angegebene Kriterium erfüllen. Dieses Kriterium ist die maximal zulässige Unsicherheit von Einzelmessungen für kontinuierliche Messungen beim 1-Stunden-Grenzwert. Die relevanten spezifischen Leistungskenngrößen und das Berechnungsverfahren sind im Anhang F der VDI 4202-1 (2018) angegeben.*

6.2 Gerätetechnische Ausstattung

Hier nicht zutreffend.

6.3 Durchführung der Prüfung

Die Unsicherheitsbetrachtung wurde nach DIN EN 14211 (2012) durchgeführt und ist in Kapitel 7.1 8.6 Gesamtmessunsicherheit nach Anhang E der DIN EN 14211 (2012) angegeben.

6.4 Auswertung

Die Unsicherheitsbetrachtung wurde nach DIN EN 14211 (2012) durchgeführt und ist in Kapitel 7.1 8.6 Gesamtmessunsicherheit nach Anhang E der DIN EN 14211 (2012) angegeben.

6.5 Bewertung

Die Unsicherheitsbetrachtung wurde nach DIN EN 14211 (2012) durchgeführt und ist in Kapitel 7.1 8.6 Gesamtmessunsicherheit nach Anhang E der DIN EN 14211 (2012) angegeben.

Mindestanforderung erfüllt? ja

6.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.

7. Prüfergebnisse nach DIN EN 14211 (2012)

7.1 8.4.3 Einstellzeit

Einstellzeit (Anstieg) und Einstellzeit (Abfall) jeweils ≤ 180 s. Differenz zwischen Anstiegs- und Abfallzeit ≤ 10 s.

7.2 Durchführung der Prüfung

Zur Bestimmung der Einstellzeit wird die auf das Messgerät aufgegebene Konzentration sprunghaft von weniger als 20 % auf ungefähr 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches geändert, und umgekehrt.

Der Wechsel von Null- auf Spangas muss unmittelbar unter Verwendung eines geeigneten Ventils durchgeführt werden. Der Ventilauslass muss direkt am Einlass des Messgerätes montiert sein und sowohl Null- als auch Spangas müssen mit dem gleichen Überschuss angeboten werden, der mit Hilfe eines T-Stücks abgeleitet wird. Die Gasdurchflüsse von Null- und Spangas müssen so gewählt werden, dass die Totzeit im Ventil und im T-Stück im Vergleich zur Totzeit des Messgerätes vernachlässigbar ist. Der sprunghafte Wechsel wird durch Umschalten des Ventils von Null- auf Spangas herbeigeführt. Dieser Vorgang muss zeitlich abgestimmt sein und ist der Startpunkt (t=0) für die Totzeit (Anstieg) nach Abbildung 7. Wenn das Gerät 98 % der aufgegebenen Konzentration anzeigt, kann wieder auf Nullgas umgestellt werden und dieser Vorgang ist der Startpunkt (t=0) für die Totzeit (Abfall). Wenn das Gerät 2 % der aufgegebenen Konzentration anzeigt, ist der in Abbildung 7 gezeigte Zyklus vollständig abgelaufen.

Die zwischen dem Beginn der sprunghaften Änderung und dem Erreichen von 90 % der endgültigen stabilen Anzeige des Messgerätes vergangene Zeit (Einstellzeit) wird gemessen. Der gesamte Zyklus muss viermal wiederholt werden. Der Mittelwert der vier Einstellzeiten (Anstieg) und der Mittelwert der vier Einstellzeiten (Abfall) werden berechnet.

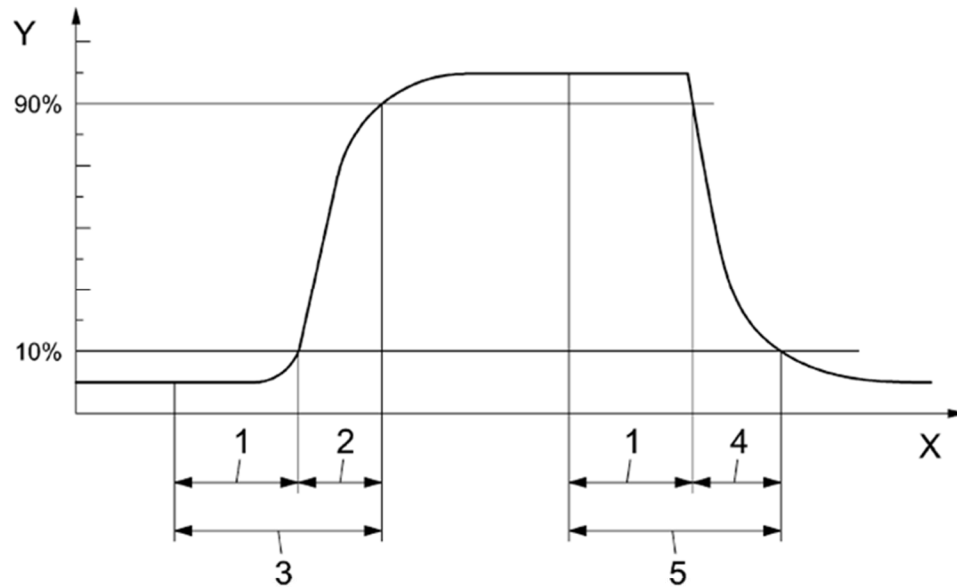
Die Prüfung ist dann für NO₂ zu wiederholen, und zwar mit Konzentrationen kleiner als 20 % und etwa 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereichs von NO₂ und umgekehrt.

Die Differenz zwischen den Einstellzeiten wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$t_d = \bar{t}_r - \bar{t}_f$$

Mit t_d die Differenz zwischen Anstiegszeit und Abfallzeit (s)
 t_r die Einstellzeit (Anstieg) (Mittelwert von 4 Messungen) (s)
 t_f die Einstellzeit (Abfall) (Mittelwert von 4 Messungen) (s)

t_r , t_f und t_d müssen die oben angegebenen Leistungskriterien erfüllen.



Legende

- Y Signal des Messgeräts
- X Zeit
- 1 Totzeit
- 2 Anstiegszeit
- 3 Einstellzeit (Anstieg)
- 4 Abfallzeit
- 5 Einstellzeit (Abfall)

Abbildung 7: Veranschaulichung der Einstellzeit

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt. Die Datenaufzeichnung erfolgte dabei mit einem externen Datenlogger.

7.4 Auswertung

Tabelle 9: Einstellzeiten der beiden Messeinrichtungen APNA-380 für NO

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Mittelwert Anstieg t_r [s]	≤ 180 s	19,5	✓	19,5	✓
Mittelwert Abfall t_f [s]	≤ 180 s	19	✓	19,5	✓
Differenz t_d [s]	≤ 10 s	0,5	✓	0,0	✓

Für Gerät 1 ergibt sich für NO ein mittleres t_r von 19,5 s, ein mittleres t_f von 19 s und ein t_d von 0,5 s.

Für Gerät 2 ergibt sich für NO ein mittleres t_r von 19,5 s, ein mittleres t_f von 19,5 s und ein t_d von 0 s.

Tabelle 10: Einstellzeiten der beiden Messeinrichtungen APNA-380 für NO₂

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Mittelwert Anstieg t_r [s]	≤ 180 s	27,5	✓	27,25	✓
Mittelwert Abfall t_f [s]	≤ 180 s	27	✓	28,25	✓
Differenz t_d [s]	≤ 10 s	0,5	✓	-1,0	✓

Für Gerät 1 ergibt sich für NO₂ ein mittleres t_r von 27,5 s, ein mittleres t_f von 27 s und ein t_d von 0,5 s.

Für Gerät 2 ergibt sich für NO₂ ein mittleres t_r von 27,25 s, ein mittleres t_f von 28,25 s und ein t_d von -1,0 s.

7.5 Bewertung

Die maximal zulässige Einstellzeit von 180 s wird in allen Fällen deutlich unterschritten. Die maximal ermittelte Einstellzeit beträgt für Gerät 1 bei NO 19,5 s und bei NO₂ 27,5 s, für Gerät 2 bei NO 19,5 s und bei NO₂ 28,25 s.

Mindestanforderung erfüllt? ja



7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 11: Einzelwerte der Einstellzeit für die Komponente NO

12.03.2024		Gerät 1					
	80%	Anstieg			Abfall		
Messbereich bis	768,00	0,0 0,00	0,9 691,20	1,0 768,00	1,0 768,00	0,1 76,80	0,0 0,00
1. Durchgang	t = 0	13:02:00	13:02:18	13:02:30	13:08:00	13:08:18	13:08:30
	delta t		00:00:18			00:00:18	
	delta t [s]		18			18	
2. Durchgang	t = 0	13:14:00	13:14:20	13:14:30	13:20:00	13:20:19	13:20:30
	delta t		00:00:20			00:00:19	
	delta t [s]		20			19	
3. Durchgang	t = 0	13:26:00	13:26:20	13:26:30	13:32:00	13:32:20	13:32:30
	delta t		00:00:20			00:00:20	
	delta t [s]		20			20	
4. Durchgang	t = 0	13:38:00	13:38:20	13:38:30	13:44:00	13:44:19	13:44:30
	delta t		00:00:20			00:00:19	
	delta t [s]		20			19	

12.03.2024		Gerät 2					
	80%	Anstieg			Abfall		
Messbereich bis	768,00	0,0 0,00	0,9 691,20	1,0 768,00	1,0 768,00	0,1 76,80	0,0 0,00
1. Durchgang	t = 0	13:02:00	13:02:20	13:02:30	13:08:00	13:08:19	13:08:30
	delta t		00:00:20			00:00:19	
	delta t [s]		20			19	
2. Durchgang	t = 0	13:14:00	13:14:19	13:14:20	13:20:00	13:20:18	13:20:30
	delta t		00:00:19			00:00:18	
	delta t [s]		19			18	
3. Durchgang	t = 0	13:26:00	13:26:19	13:26:30	13:32:00	13:32:21	13:32:30
	delta t		00:00:19			00:00:21	
	delta t [s]		19			21	
4. Durchgang	t = 0	13:38:00	13:38:20	13:38:30	13:44:00	13:44:20	13:44:30
	delta t		00:00:20			00:00:20	
	delta t [s]		20			20	

Tabelle 12: Einzelwerte der Einstellzeit für die Komponente NO₂

12.03.2024		Gerät 1					
	80%	Anstieg			Abfall		
Messbereich bis	209,21	0,0 0,00	0,9 188,28	1,0 209,21	1,0 209,21	0,1 20,92	0,0 0,00
1. Durchgang	t = 0	14:08:00	14:08:28	14:08:45	14:14:00	14:14:28	14:14:45
	delta t		00:00:28			00:00:28	
	delta t [s]		28			28	
2. Durchgang	t = 0	14:20:00	14:20:27	14:20:45	14:26:00	14:26:26	14:26:45
	delta t		00:00:27			00:00:26	
	delta t [s]		27			26	
3. Durchgang	t = 0	14:32:00	14:32:27	14:32:45	14:38:00	14:38:28	14:38:45
	delta t		00:00:27			00:00:28	
	delta t [s]		27			28	
4. Durchgang	t = 0	14:44:00	14:44:28	14:44:45	14:50:00	14:50:26	14:50:45
	delta t		00:00:28			00:00:26	
	delta t [s]		28			26	

12.03.2024		Gerät 2					
	80%	Anstieg			Abfall		
Messbereich bis	209,21	0,0 0,00	0,9 188,28	1,0 209,21	1,0 209,21	0,1 20,92	0,0 0,00
1. Durchgang	t = 0	14:08:00	14:08:28	14:08:45	14:14:00	14:14:28	14:14:45
	delta t		00:00:28			00:00:28	
	delta t [s]		28			28	
2. Durchgang	t = 0	14:20:00	14:20:26	14:20:45	14:26:00	14:26:29	14:26:45
	delta t		00:00:26			00:00:29	
	delta t [s]		26			29	
3. Durchgang	t = 0	14:32:00	14:32:28	14:32:45	14:38:00	14:38:27	14:38:45
	delta t		00:00:28			00:00:27	
	delta t [s]		28			27	
4. Durchgang	t = 0	14:44:00	14:44:27	14:44:45	14:50:00	14:50:29	14:50:45
	delta t		00:00:27			00:00:29	
	delta t [s]		27			29	

**7.1 8.4.4 Kurzzeitdrift**

Die Kurzzeitdrift bei Null darf $\leq 2,0$ nmol/mol/12h betragen

Die Kurzzeitdrift beim Span-Niveau darf $\leq 6,0$ nmol/mol/12h betragen.

7.2 Durchführung der Prüfung

Nach der zur Stabilisierung erforderlichen Zeit wird das Messgerät beim Null- und Span-Niveau (etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches) eingestellt. Nach der Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, werden 20 Einzelmessungen zuerst bei Null und dann bei der Span-Konzentration durchgeführt. Aus diesen 20 Einzelmessungen wird jeweils der Mittelwert für das Null- und Spanniveau berechnet.

Das Messgerät ist unter den Laborbedingungen in Betrieb zu halten. Nach einer Zeitspanne von 12 h werden Null- und Spangas auf das Messgerät aufgegeben. Nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, werden 20 Einzelmessungen zuerst bei Null und dann bei der Span-Konzentration durchgeführt. Die Mittelwerte für Null- und Span-Niveau werden berechnet.

Die Kurzzeitdrift beim Null und Span-Niveau ist:

$$D_{S,Z} = (C_{Z,2} - C_{Z,1})$$

Dabei ist:

$D_{S,Z}$ die 12-Stunden-Drift beim Nullpunkt

$C_{Z,1}$ der Mittelwert der Nullgasmessung zu Beginn der Driftzeitspanne

$C_{Z,2}$ der Mittelwert der Nullgasmessung am Ende der Driftzeitspanne

$D_{S,Z}$ muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

$$D_{S,S} = (C_{S,2} - C_{S,1}) - D_{S,Z}$$

Dabei ist:

$D_{S,S}$ die 12-Stunden-Drift beim Span-Niveau

$C_{S,1}$ der Mittelwert der Spangasmessung zu Beginn der Driftzeitspanne

$C_{S,2}$ der Mittelwert der Spangasmessung am Ende der Driftzeitspanne

$D_{S,S}$ muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt. Die Prüfung muss nach Vorschrift mit der Komponente NO durchgeführt werden. Die Prüfung soll dabei gemäß DIN EN 14211 bei einem Konzentrationslevel von 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereiches für NO durchgeführt werden.

7.4 Auswertung

In Tabelle 13 sind die ermittelten Messwerte der Kurzzeitdrift angegeben.

Tabelle 13: Ergebnisse der Kurzzeitdrift

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Mittelwert Nullpunkt Anfangswerte [nmol/mol]	-	0,60		0,60	
Mittelwert Nullpunkt Endwerte (12h) [nmol/mol]	-	0,69		1,02	
Mittelwert Span Anfangswerte [nmol/mol]	-	724,87		725,08	
Mittelwert Span Endwerte (12h) [nmol/mol]	-	724,75		725,38	
12-Stunden-Drift Nullniveau D _{s,z} [nmol/mol]	≤ 2,0	0,09	✓	0,42	✓
12-Stunden-Drift Spaniveau D _{s,s} [nmol/mol]	≤ 6,0	-0,21	✓	-0,12	✓

7.5 Bewertung

Für die Komponente NO ergibt sich ein Wert für die Kurzzeitdrift am Nullpunkt von 0,09 nmol/mol für Gerät 1 sowie 0,42 nmol/mol für Gerät 2.

Für die Komponente NO ergibt sich ein Wert für die Kurzzeitdrift am Referenzpunkt von -0,21 nmol/mol für Gerät 1 sowie -0,12 nmol/mol für Gerät 2.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Einzelwerte der Prüfung sind in Tabelle 14 und Tabelle 15 dargestellt.



Tabelle 14: Einzelwerte der Prüfung zur Kurzzeitdrift 1. Prüfgasaufgabe

Anfangswerte		
Nullpunkt		
03.04.2024	Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
16:30:00	0,6	0,6
16:31:00	0,6	0,6
16:32:00	0,6	0,6
16:33:00	0,6	0,6
16:34:00	0,6	0,6
16:35:00	0,6	0,6
16:36:00	0,6	0,6
16:37:00	0,6	0,6
16:38:00	0,6	0,6
16:39:00	0,6	0,6
16:40:00	0,6	0,6
16:41:00	0,6	0,6
16:42:00	0,6	0,6
16:43:00	0,6	0,6
16:44:00	0,6	0,6
16:45:00	0,6	0,6
16:46:00	0,6	0,6
16:47:00	0,6	0,6
16:48:00	0,6	0,6
16:49:00	0,6	0,6
Mittelwert	0,6	0,6

Anfangswerte		
Span-Konzentration		
03.04.2024	Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
17:00:00	724,5	724,5
17:01:00	724,5	724,5
17:02:00	723,9	725,1
17:03:00	723,9	725,1
17:04:00	724,5	724,5
17:05:00	724,5	724,5
17:06:00	724,5	724,5
17:07:00	724,5	724,5
17:08:00	724,5	725,1
17:09:00	724,5	725,1
17:10:00	724,5	725,1
17:11:00	724,5	725,1
17:12:00	725,1	725,1
17:13:00	725,1	725,1
17:14:00	725,7	725,1
17:15:00	725,7	725,7
17:16:00	725,7	725,7
17:17:00	725,7	725,7
17:18:00	725,7	725,7
17:19:00	725,7	725,7
Mittelwert	724,9	725,1

Tabelle 15: Einzelwerte der Prüfung zur Kurzzeitdrift 2. Prüfgasaufgabe

Nach 12h		
Nullpunkt		
04.04.2024	Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
04:30:00	0,6	1,2
04:31:00	0,6	1,2
04:32:00	0,6	1,2
04:33:00	0,6	1,2
04:34:00	0,6	1,2
04:35:00	1,2	1,2
04:36:00	0,6	1,2
04:37:00	0,6	0,6
04:38:00	0,6	0,6
04:39:00	0,6	1,2
04:40:00	0,6	1,2
04:41:00	0,6	1,2
04:42:00	0,6	1,2
04:43:00	0,6	1,2
04:44:00	0,6	0,6
04:45:00	0,6	0,6
04:46:00	0,6	1,2
04:47:00	0,6	1,2
04:48:00	1,2	0,6
04:49:00	1,2	0,6
Mittelwert	0,7	1,0

Nach 12h		
Span-Konzentration		
04.04.2024	Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
05:00:00	724,5	725,1
05:01:00	724,5	724,5
05:02:00	724,5	725,1
05:03:00	724,5	725,1
05:04:00	724,5	725,1
05:05:00	724,5	725,1
05:06:00	724,5	725,1
05:07:00	724,5	725,1
05:08:00	725,1	725,1
05:09:00	725,1	725,1
05:10:00	724,5	725,7
05:11:00	725,1	725,7
05:12:00	725,1	725,7
05:13:00	725,1	725,7
05:14:00	725,1	725,7
05:15:00	724,5	725,7
05:16:00	724,5	725,7
05:17:00	725,1	725,7
05:18:00	725,1	725,7
05:19:00	724,5	725,7
Mittelwert	724,7	725,4



7.1 8.4.5 Wiederholstandardabweichung

Die Wiederholstandardabweichung muss sowohl das Leistungskriterium bei Null $\leq 1,0$ nmol/mol als auch bei der Prüfgaskonzentration am Referenzpunkt ≤ 3 nmol/mol erfüllen.

7.2 Prüfvorschrift

Nach der Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, werden 20 Einzelmessungen bei der Konzentration Null und einer NO-Prüfgaskonzentration (c_t) von 500 ± 50 nmol/mol durchgeführt.

Die Wiederholstandardabweichung dieser Messungen bei der Konzentration Null und bei der Konzentration c_t wird folgendermaßen berechnet:

$$s_r = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Dabei ist

s_r die Wiederholstandardabweichung

x_i die i-te Messung

\bar{x} der Mittelwert der 20 Messungen

n die Anzahl der Messungen

Die Wiederholstandardabweichung wird getrennt für beide Messreihen (Nullgas und Konzentration c_t) berechnet.

s_r muss das oben angegebene Leistungskriterium sowohl bei der Konzentration Null als auch der NO-Prüfgaskonzentration c_t von 500 ± 50 nmol/mol erfüllen.

Aus der Wiederholstandardabweichung bei Null und der nach 8.4.6 bestimmten Steigung der Kalibrierfunktion wird die Nachweisgrenze des Messgeräts nach folgender Gleichung berechnet:

$$l_{\text{det}} = 3,3 \cdot \frac{s_{r,z}}{B}$$

Dabei ist

l_{det} die Nachweisgrenze des Messgeräts, in nmol/mol

$s_{r,z}$ die Wiederholstandardabweichung bei null, in nmol/mol

B die nach Anhang A mit den Daten aus 8.4.6 ermittelte Steigung der Kalibrierfunktion.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt. Die Prüfung muss nach Vorschrift mit der Komponente NO durchgeführt werden. Die Prüfung soll dabei gemäß DIN EN 14211 bei einem Konzentrationslevel von ca. 500 nmol/mol NO durchgeführt werden.

7.4 Auswertung

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse der Untersuchung zur Wiederholstandardabweichung angegeben.

Tabelle 16: Wiederholstandardabweichung für NO am Null- und Referenzpunkt

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Wiederholstandardabweichung $s_{r,z}$ bei Null [nmol/mol]	$\leq 1,0$	0,00	✓	0,13	✓
Wiederholstandardabweichung $s_{r,ct}$ bei c_t [nmol/mol]	$\leq 3,0$	0,31	✓	0,13	✓
Nachweisgrenze [nmol/mol]		0,00		0,44	

7.5 Bewertung

Für NO ergibt sich ein Wert für die Wiederholstandardabweichung am Nullpunkt von 0,00 nmol/mol für Gerät 1 sowie 0,13 nmol/mol für Gerät 2. Für die Wiederholstandardabweichung am Referenzpunkt ergibt sich ein Wert von 0,31 nmol/mol für Gerät 1 sowie 0,13 nmol/mol für Gerät 2.

Mindestanforderung erfüllt? ja



7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse der Einzelmessungen angegeben.

Tabelle 17: Einzelergebnisse zur Wiederholstandardabweichung

18.03.2024		Null Konzentration	
	Gerät 1	Gerät 2	
Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]	
09:33:00	1,2	1,2	
09:34:00	1,2	0,6	
09:35:00	1,2	0,6	
09:36:00	1,2	0,6	
09:37:00	1,2	0,6	
09:38:00	1,2	0,6	
09:39:00	1,2	0,6	
09:40:00	1,2	0,6	
09:41:00	1,2	0,6	
09:42:00	1,2	0,6	
09:43:00	1,2	0,6	
09:44:00	1,2	0,6	
09:45:00	1,2	0,6	
09:46:00	1,2	0,6	
09:47:00	1,2	0,6	
09:48:00	1,2	0,6	
09:49:00	1,2	0,6	
09:50:00	1,2	0,6	
09:51:00	1,2	0,6	
09:52:00	1,2	0,6	
Mittelwert	1,2	0,6	

18.03.2024		Ct-Konzentration	
	0	Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit		[nmol/mol]	[nmol/mol]
10:07:00		509,3	509,3
10:08:00		509,3	509,3
10:09:00		509,3	509,3
10:10:00		509,3	509,3
10:11:00		509,3	509,3
10:12:00		509,3	509,3
10:13:00		509,3	509,3
10:14:00		509,3	509,3
10:15:00		509,3	509,3
10:16:00		509,9	509,3
10:17:00		509,9	509,3
10:18:00		509,9	509,3
10:19:00		509,9	509,3
10:20:00		509,9	509,3
10:21:00		509,9	509,3
10:22:00		509,9	509,3
10:23:00		509,9	509,3
10:24:00		509,9	509,3
10:25:00		509,9	509,3
10:26:00		509,9	509,9
Mittelwert		509,6	509,3

7.1 8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion

Die Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion darf maximal 5 nmol/mol am Nullpunkt sowie maximal 4 % des Messwertes bei Konzentrationen größer Null betragen.

7.2 Prüfvorschrift

Die Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion des Messgeräts ist über den Bereich von 0 % bis 95 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches mit mindestens sechs Konzentrationen (einschließlich des Nullpunktes) zu prüfen. Das Messgerät ist bei einer Konzentration von etwa 90 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches zu justieren. Bei jeder Konzentration (einschließlich des Nullpunktes) werden mindestens fünf Einzelmessungen durchgeführt.

Die Konzentrationen werden in folgender Reihenfolge aufgegeben: 80 %, 40 %, 0 %, 60 %, 20 % und 95 %. Nach jedem Wechsel der Konzentration sind mindestens vier Einstellzeiten abzuwarten, bevor die nächste Messung durchgeführt wird.

Die Berechnung der linearen Regressionsfunktion und der Abweichungen wird nach Anhang A der DIN EN 14211 durchgeführt. Die Abweichungen von der linearen Regressionsfunktion müssen das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

Erstellung der Regressionsgeraden:

Eine Regressionsgerade der Form $Y_i = A + B * X_i$ ergibt sich durch Berechnung der Funktion

$$Y_i = a + B(X_i - X_z)$$

Zur Berechnung der Regression werden alle Messpunkte (einschließlich Null) herangezogen. Die Anzahl der Messpunkte n ist gleich der Anzahl der Konzentrationsniveaus (mindestens sechs einschließlich Null) multipliziert mit der Anzahl der Wiederholungen (mindestens fünf) bei jedem Konzentrationsniveau.

Der Koeffizient a ist:

$$a = \sum Y_i / n$$

Dabei ist:

- a der Mittelwert der Y-Werte
- Y_i der einzelne Y-Wert
- N die Anzahl der Kalibrierpunkte

Der Koeffizient B ist:

$$B = \left(\sum Y_i (X_i - X_z) \right) / \sum (X_i - X_z)^2$$

Dabei ist:

- X_z der Mittelwert der X-Werte (= $\sum x_i / n$)
- X_i der einzelne X-Wert



Die Funktion $Y_i = a + B (X_i - X_z)$ wird über die Berechnung von A umgewandelt in $Y_i = A + B \cdot X_i$

$$A = a - B \cdot X_z$$

Die Abweichung der Mittelwerte der Kalibrierpunkte (einschließlich des Nullpunktes) werden folgendermaßen berechnet.

Der Mittelwert jedes Kalibrierpunktes (einschließlich des Nullpunktes) bei ein und derselben Konzentration c ist:

$$(Y_a)_c = \sum(Y_i)_c / m$$

Dabei ist:

- (Y_a)_c der mittlere Y-Wert beim Konzentrationsniveau c
- (Y_i)_c der einzelne Y-Wert beim Konzentrationsniveau c
- M die Anzahl der Wiederholungen beim Konzentrationsniveau c

Die Abweichung jedes Mittelwertes (r_c) bei jedem Konzentrationsniveau ist:

$$r_c = (Y_a)_c - (A + B \cdot c)$$

Jede Abweichung eines Wertes relativ zu seinem Konzentrationsniveau c ist:

$$r_{c,rel} = \frac{r_c}{c} \times 100 \%$$

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde für die Komponente NO entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt.

7.4 Auswertung

Es ergeben sich folgende lineare Regressionen:

Tabelle 18: Abweichungen der Analysenfunktion

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Größte relative Abweichung r _{max} [%]	≤ 4,0	0,73	✓	0,79	✓
Abweichung bei Null r _z [nmol/mol]	≤ 5,0	1,20	✓	0,60	✓

In Abbildung 8 und Abbildung 9 sind die Ergebnisse der Gruppenmittelwertuntersuchungen zusammenfassend für NO graphisch dargestellt.

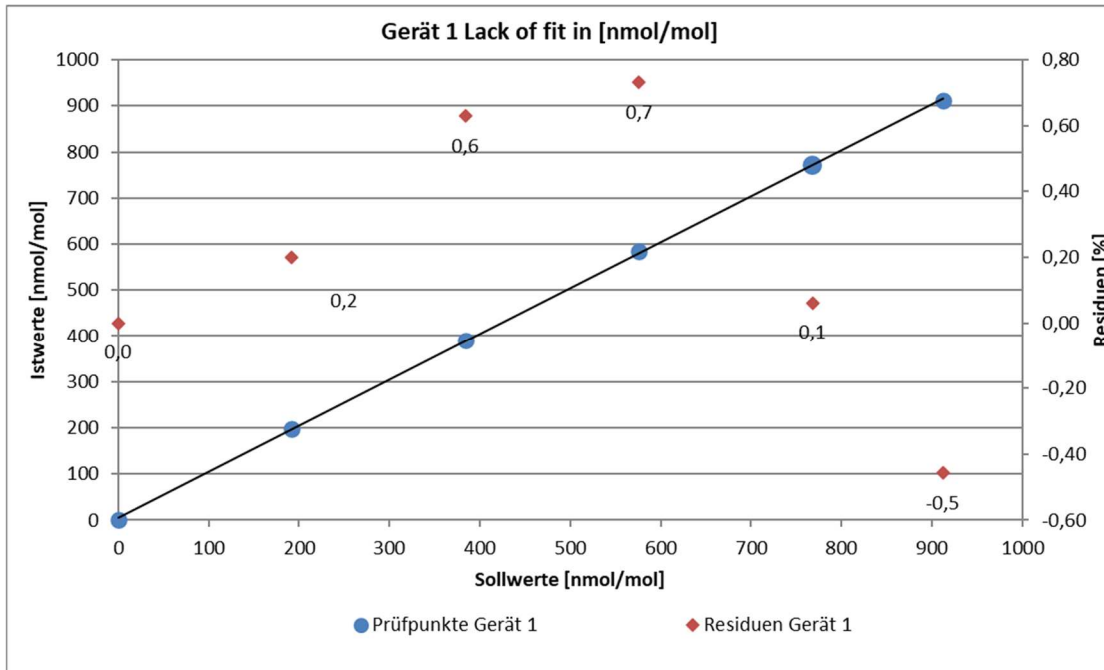


Abbildung 8: Analysenfunktion aus den Gruppenmittelwerten für Gerät 1

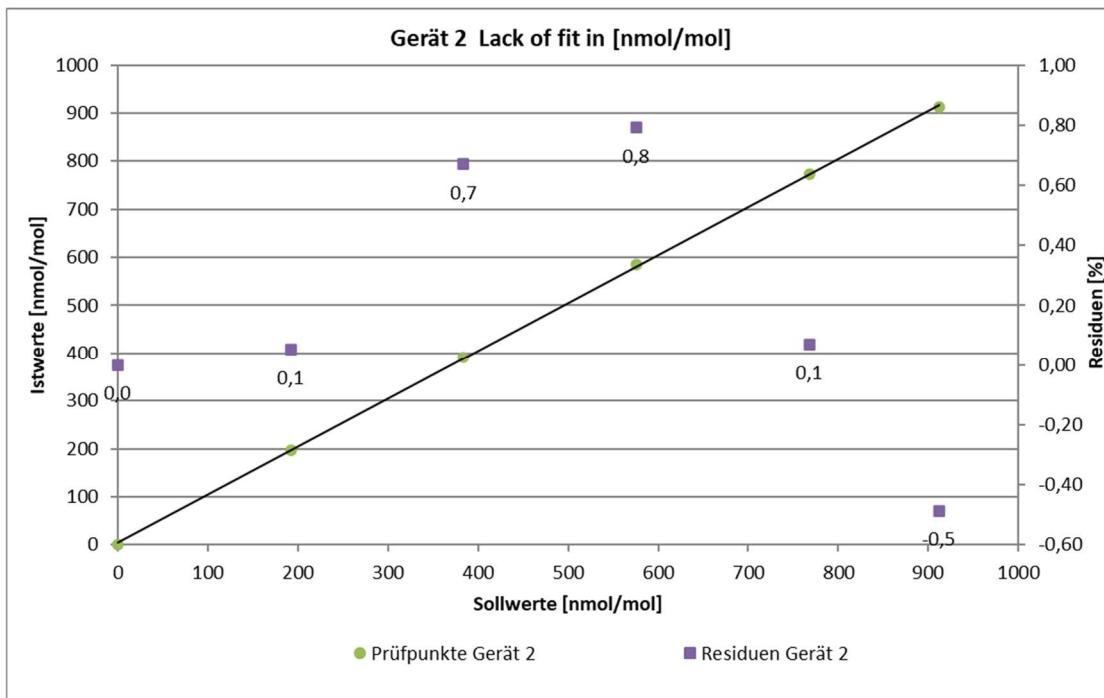


Abbildung 9: Analysenfunktion aus den Gruppenmittelwerten für Gerät 2



7.5 Bewertung

Für Gerät 1 ergibt sich eine Abweichung von der linearen Regressionsgerade von 1,20 nmol/mol am Nullpunkt und maximal 0,73 % vom Sollwert bei Konzentrationen größer Null. Für Gerät 2 ergibt sich eine Abweichung von der linearen Regressionsgerade von 0,60 nmol/mol am Nullpunkt und maximal 0,79 % vom Sollwert bei Konzentrationen größer Null.

Die Abweichungen von der idealen Regressionsgeraden überschreiten nicht die in der DIN EN 14211 geforderten Grenzwerte.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Einzelwerte der Prüfung sind in Tabelle 19 dargestellt.

Tabelle 19: Einzelwerte „lack of fit“ Prüfung

18.03.2024		Gerät 1 [nmol/mol]		Gerät 2 [nmol/mol]	
Zeit	Stufe [%]	Ist Wert y _i	Soll Wert x _i	Ist Wert y _i	Soll Wert x _i
08:16:00	80	772,01	768,00	772,61	768,00
08:17:00	80	772,01	768,00	772,61	768,00
08:18:00	80	772,01	768,00	772,01	768,00
08:19:00	80	771,40	768,00	772,01	768,00
08:20:00	80	771,40	768,00	772,61	768,00
Mittelwert		771,76		772,37	
r _{c,rel}		0,06		0,07	
08:36:00	40	390,21	384,00	390,81	384,00
08:37:00	40	390,21	384,00	390,81	384,00
08:38:00	40	390,21	384,00	390,21	384,00
08:39:00	40	390,21	384,00	390,21	384,00
08:40:00	40	390,81	384,00	390,21	384,00
Mittelwert		390,33		390,45	
r _{c,rel}		0,63		0,67	
08:46:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
08:47:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
08:48:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
08:49:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
08:50:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
Mittelwert		1,20		0,60	
r _z		1,20		0,60	
08:56:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
08:57:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
08:58:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
08:59:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
09:00:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
Mittelwert		583,81		584,42	
r _{c,rel}		0,73		0,79	
09:06:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
09:07:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
09:08:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
09:09:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
09:10:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
Mittelwert		196,61		196,01	
r _{c,rel}		0,20		0,05	
09:16:00	95	910,89	912,00	911,50	912,00
09:17:00	95	910,89	912,00	911,50	912,00
09:18:00	95	910,89	912,00	911,50	912,00
09:19:00	95	910,89	912,00	911,50	912,00
09:20:00	95	910,89	912,00	910,89	912,00
Mittelwert		910,89		911,37	
r _{c,rel}		-0,46		-0,49	



7.1 8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks

Der Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdruckes muss $\leq 8,0$ nmol/mol/kPa betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Messungen werden bei einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches bei absoluten Drücken von etwa 80 kPa \pm 0,2 kPa und etwa 110 kPa \pm 0,2 kPa durchgeführt. Bei jedem Druck sind nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen durchzuführen. Die Mittelwerte dieser Messungen bei den beiden Drücken werden berechnet.

Messungen bei verschiedenen Drücken müssen durch mindestens vier Einstellzeiten voneinander getrennt sein.

Der Empfindlichkeitskoeffizient des Probendruckes ergibt sich wie folgt:

$$b_{gp} = \left| \frac{(C_{P2} - C_{P1})}{(P_2 - P_1)} \right|$$

Dabei ist:

b_{gp} der Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdruckes

C_{P1} der Mittelwert der Messung beim Probengasdruck P_1

C_{P2} der Mittelwert der Messung beim Probengasdruck P_2

P_1 der Probengasdruck P_1

P_2 der Probengasdruck P_2

b_{gp} muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

Die Prüfung muss nach Vorschrift mit der Komponente NO durchgeführt werden. Die Prüfung soll dabei gemäß DIN EN 14211 bei einem Konzentrationslevel von 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereiches für NO durchgeführt werden.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt.

Ein Unterdruck konnte durch Verringerung des zugeführten Prüfgasvolumens mittels Restriktion der Probengasleitung erzeugt werden. Bei der Überdruckprüfung wurde die Messeinrichtung an eine Prüfgasquelle angeschlossen. Die erzeugte Prüfgasmenge wurde höher als die von den Analysatoren angesaugte Probengasmenge eingestellt. Das überschüssige Gas wird über ein T-Stück abgeleitet. Die Erzeugung des Überdrucks wurde durch entsprechende Restriktion der Bypassleitung durchgeführt. Der Prüfgasdruck wurde dabei von einem Druckaufnehmer im Prüfgasweg ermittelt.

Einzelmessungen werden mit Konzentrationen von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches und Probengasdrücken von 80 kPa und 110 kPa durchgeführt.

7.4 Auswertung

Es ergaben sich folgende Empfindlichkeitskoeffizienten für den Probengasdruck.

Tabelle 20: Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Empfindlichkeitskoeff. Probengasdruck b_{gp} [nmol/mol/kPa]	≤ 8,0	0,10	✓	0,19	✓

7.5 Bewertung

Für NO ergibt sich ein Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks von 0,10 nmol/mol/kPa für Gerät 1 sowie 0,19 nmol/mol/kPa für Gerät 2.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 21: Einzelwerte der Empfindlichkeit des Probengasdrucks für NO

03.04.2024			Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit	Druck [kPa]	Konzentration	[nmol/mol]	[nmol/mol]
13:34:00	80	720,00	722,10	721,50
13:35:00	80	720,00	722,10	721,50
13:36:00	80	720,00	722,70	722,10
Mittelwert C_{P1}			722,30	721,70
13:24:00	110	720,00	725,11	725,11
13:25:00	110	720,00	725,71	725,11
13:26:00	110	720,00	725,71	725,11
Mittelwert C_{P2}			725,51	725,11



7.1 8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur muss $\leq 3,0$ nmol/mol/K betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Zur Bestimmung der Abhängigkeit von der Probengastemperatur werden Messungen bei Probengastemperaturen von $T_1 = 0$ °C und $T_2 = 30$ °C durchgeführt. Die Temperaturabhängigkeit wird bei einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches bestimmt. Nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, sind drei Einzelmessungen bei jeder Temperatur durchzuführen.

Die Probengastemperatur am Einlass des Messgerätes muss mindestens 30 min konstant sein.

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur ergibt sich wie folgt:

$$b_{gt} = \frac{(C_{GT,2} - C_{GT,1})}{(T_{G,2} - T_{G,1})}$$

Dabei ist:

b_{gt} der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur

$C_{GT,1}$ der Mittelwert der Messung bei der Probengastemperatur $T_{G,1}$

$C_{GT,2}$ der Mittelwert der Messung bei der Probengastemperatur $T_{G,2}$

$T_{G,1}$ die Probengastemperatur $T_{G,1}$

$T_{G,2}$ die Probengastemperatur $T_{G,2}$

b_{gt} muss das oben genannte Leistungskriterium erfüllen

Die Prüfung muss nach Vorschrift mit der Komponente NO durchgeführt werden. Die Prüfung soll dabei gemäß DIN EN 14211 bei einem Konzentrationslevel von 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereiches für NO durchgeführt werden.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt.

Zur Prüfung wurden das Prüfgas sowie das Verdünnungsgas in der Klimakammer platziert. Das Prüfgasgemisch wurde durch ein ca. 50 Meter langes Schlauchbündel geführt, welches sich in einer Klimakammer befand. Die Messgeräte wurden unmittelbar vor der Klimakammer installiert. Das Ende des Schlauchbündels wurde aus der Klimakammer herausgelegt und an die Messsysteme angeschlossen. Die Zuleitung außerhalb der Klimakammer wurde isoliert und unmittelbar vor den Messeinrichtungen wurde die Prüfgastemperatur mittels eines Thermoelementes überwacht. Die Klimakammertemperatur wurde eingeregelt, so dass die Gastemperatur unmittelbar vor den Analysatoren 0 °C bzw. 30 °C betrug.

7.4 Auswertung

Tabelle 22: Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Empfindlichkeitskoeff. Probengastemp. b_{gt} [nmol/mol/K]	$\leq 3,0$	0,03	✓	0,05	✓

7.5 Bewertung

Es ergibt sich ein Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur von 0,03 nmol/mol/K für Gerät 1 sowie 0,05 nmol/mol/K für Gerät 2.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 23: Einzelwerte des Einflusses des Probengastemperatur

Uhrzeit	Temp [°C]	Konzentration	Gerät 1	Gerät 2
			[nmol/mol]	[nmol/mol]
08:28:00	0	720,00	725,11	725,71
08:29:00	0	720,00	725,71	725,11
08:30:00	0	720,00	725,71	725,11
Mittelwert $C_{GT,1}$			725,51	725,31
14:14:00	30	720,00	726,31	726,91
14:15:00	30	720,00	726,91	726,31
14:16:00	30	720,00	726,31	726,91
Mittelwert $C_{GT,2}$			726,51	726,71



7.1 8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur muss $\leq 3,0$ nmol/mol/K betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Der Einfluss der Umgebungstemperatur ist innerhalb des vom Hersteller angegebenen Bereichs bei folgenden Temperaturen zu bestimmen:

- 1) der niedrigsten Temperatur $T_{\min} = 0$ °C
- 2) der Labortemperatur $T_l = 20$ °C
- 3) der höchsten Temperatur $T_{\max} = 30$ °C

Für diese Prüfungen ist eine Klimakammer erforderlich.

Die Prüfung muss nach Vorschrift mit der Komponente NO durchgeführt werden. Die Prüfung soll dabei gemäß DIN EN 14211 bei einem Konzentrationslevel von 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereiches für NO durchgeführt werden.

Bei jeder Temperatur sind nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen bei Null und der Span-Konzentration durchzuführen.

Die Messungen werden bezüglich der Temperatur in folgender Reihenfolge durchgeführt:

T_l, T_{\min}, T_l und T_l, T_{\max}, T_l

Bei der ersten Temperatur (T_l) wird das Messgerät bei Null- und Spanniveaue (70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches) eingestellt. Dann werden nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen bei T_l, T_{\min} und wieder bei T_l durchgeführt. Diese Vorgehensweise wird bei der Temperaturfolge T_l, T_{\max} und T_l wiederholt.

Um eine auf andere Faktoren als die Temperatur zurückgehende Drift auszuschließen, werden die Messungen bei T_l gemittelt; diese Mittelung wird in der folgenden Gleichung zur Berechnung des Einflusses der Umgebungstemperatur berücksichtigt:

$$b_{st} = \left| \frac{x_T - \frac{x_1 + x_2}{2}}{T_S - T_{S,0}} \right|$$

Dabei ist:

b_{st} der Empfindlichkeitskoeffizient von der Umgebungstemperatur

x_T der Mittelwert der Messungen bei T_{\min} oder T_{\max}

x_1 der erste Mittelwert der Messungen bei T_l

x_2 der zweite Mittelwert der Messungen bei T_l

T_S die Umgebungstemperatur im Labor

$T_{S,0}$ die mittlere Umgebungstemperatur am festgelegten Punkt

Für die Dokumentation der Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur wird der höhere der Werte der Temperaturabhängigkeit bei $T_{S,1}$ oder $T_{S,2}$ gewählt.

b_{st} muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt.

7.4 Auswertung

Es ergaben sich folgende Empfindlichkeiten gegenüber der Umgebungstemperatur

Tabelle 24: Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Empf. Koeffizient bei 0 °C für Nullniveau [nmol/mol/K]	≤ 3,0	0,030	✓	0,015	✓
Empf. Koeffizient bei 30 °C für Nullniveau [nmol/mol/K]	≤ 3,0	0,030	✓	0,060	✓
Empf. Koeffizient bei 0 °C für Span-Niveau [nmol/mol/K]	≤ 3,0	0,040	✓	0,190	✓
Empf. Koeffizient bei 30°C für Span-Niveau [nmol/mol/K]	≤ 3,0	0,220	✓	0,200	✓

Wie in Tabelle 24 zu sehen, erfüllt der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur am Null- und Referenzpunkt die Leistungsanforderungen.

7.5 Bewertung

Der Empfindlichkeitskoeffizient b_{st} der Umgebungstemperatur überschreitet nicht die Anforderungen von maximal 3,0 nmol/mol/K. In der Unsicherheitsberechnung wird für beide Geräte der größte Empfindlichkeitskoeffizient b_{st} gewählt. Für die Komponente NO sind dies für Gerät 1 = 0,220 nmol/mol/K und für Gerät 2 = 0,200 nmol/mol/K.

Mindestanforderung erfüllt? ja



7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Einzelwerte der Prüfung sind in Tabelle 25 aufgeführt.

Tabelle 25: Einzelwerte des Empfindlichkeitskoeffizienten der Umgebungstemperatur

Datum	Nullpunkt				Span-Konzentration			
	Uhrzeit	Temp [°C]	Gerät 1 [nmol/mol]	Gerät 2 [nmol/mol]	Uhrzeit	Temp [°C]	Gerät 1 [nmol/mol]	Gerät 2 [nmol/mol]
08.04.2024	08:42:00	20	0,6	0,6	08:55:00	20	722,1	721,5
08.04.2024	08:43:00	20	0,6	0,6	08:56:00	20	722,1	721,5
08.04.2024	08:44:00	20	0,6	0,6	08:57:00	20	722,1	722,1
Mittelwert ($X_{1(TS1)}$)			0,6	0,6			722,1	721,7
08.04.2024	18:21:00	0	1,2	1,2	18:34:00	0	722,7	725,1
08.04.2024	18:22:00	0	1,2	1,2	18:35:00	0	722,1	725,1
08.04.2024	18:23:00	0	1,2	1,2	18:36:00	0	722,7	725,1
Mittelwert (X_{TS1})			1,2	1,2			722,5	725,1
09.04.2024	07:56:00	20	0,6	1,2	08:11:00	20	720,9	720,9
09.04.2024	07:57:00	20	0,6	1,2	08:12:00	20	721,5	720,9
09.04.2024	07:58:00	20	0,6	1,2	08:13:00	20	721,5	720,9
Mittelwert ($X_{2(TS1)} = X_{1(TS2)}$)			0,6	1,2			721,3	720,9
09.04.2024	18:25:00	30	0,6	1,8	18:36:00	30	722,7	723,3
09.04.2024	18:26:00	30	0,6	1,8	18:37:00	30	722,7	723,3
09.04.2024	18:27:00	30	0,6	1,8	18:38:00	30	722,7	722,1
Mittelwert (X_{TS2})			0,6	1,8			722,7	722,9
10.04.2024	07:17:00	20	1,2	1,2	07:31:00	20	719,7	720,9
10.04.2024	07:18:00	20	1,2	1,2	07:32:00	20	719,7	720,9
10.04.2024	07:19:00	20	1,2	1,2	07:33:00	20	719,7	720,9
Mittelwert ($X_{2(TS2)}$)			1,2	1,2			719,7	720,9

7.1 8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung

Der Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung muss $\leq 0,3$ nmol/mol/V betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Die Abhängigkeit von der Netzspannung wird an den beiden Grenzen des vom Hersteller angegebenen Spannungsbereiches bei der Konzentration Null und einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches bestimmt. Nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, werden drei Einzelmessungen bei jedem Spannungs- und Konzentrationsniveau durchgeführt.

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Spannung nach der Norm DIN EN 14211 ergibt sich wie folgt:

$$b_v = \left| \frac{(C_{V2} - C_{V1})}{(V_2 - V_1)} \right|$$

Dabei ist:

b_v der Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung

C_{V1} der Mittelwert der Messung bei der Spannung V_1

C_{V2} der Mittelwert der Messung bei der Spannung V_2

V_1 die niedrigste Spannung V_{\min}

V_2 die höchste Spannung V_{\max}

Für die Spannungsabhängigkeit ist der höhere Wert der Messungen beim Null- und Spannniveau zu wählen.

b_v muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Zur Prüfung des Empfindlichkeitskoeffizienten der Spannung wurde ein Transformator in die Stromversorgung der Messeinrichtung geschaltet und bei verschiedenen Spannungen Prüfgas am Null- und Referenzpunkt aufgegeben.

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt.

7.4 Auswertung

Es ergaben sich folgende Empfindlichkeiten gegenüber der elektrischen Spannung:



Tabelle 26: Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Empf. Koeff. elekt. Spannung b_v bei Null Niveau [nmol/mol/V]	≤ 0,3	0,00	✓	0,00	✓
Empf. Koeff. elekt. Spannung b_v bei Span [nmol/mol/V]	≤ 0,3	0,03	✓	0,01	✓

7.5 Bewertung

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Spannung b_v überschreitet bei keinem Prüfpunkt die Anforderungen der DIN EN 14211 von maximal 0,30 nmol/mol/V. In der Unsicherheitsberechnung wird für beide Geräte der größte b_v gewählt. Bei der Komponente NO sind dies für Gerät 1 0,03 nmol/mol/V und für Gerät 2 0,01 nmol/mol/V.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 27: Einzelwerte des Empfindlichkeitskoeffizienten der elektrischen Spannung für NO

20.03.2024			Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit	Spannung [V]	Konzentration	[nmol/mol]	[nmol/mol]
08:00:00	207	0,0	1,20	0,60
08:01:00	207	0,0	1,20	0,60
08:02:00	207	0,0	1,20	0,60
Mittelwert C_{V1} bei Null			1,20	0,60
08:03:00	253	0,0	1,20	0,60
08:04:00	253	0,0	1,20	0,60
08:05:00	253	0,0	1,20	0,60
Mittelwert C_{V2} bei Null			1,20	0,60
12:38:00	207	720,00	724,51	725,11
12:39:00	207	720,00	724,51	725,11
12:40:00	207	720,00	724,51	725,11
Mittelwert C_{V1} bei Span			724,51	725,11
12:48:00	253	720,00	725,71	725,71
12:49:00	253	720,00	725,71	725,71
12:50:00	253	720,00	725,71	725,71
Mittelwert C_{V2} bei Span			725,71	725,71

7.1 8.4.11 Störkomponenten

Störkomponenten bei null und bei der NO-Konzentration c_t (500 ± 50 nmol/mol). Die maximal erlaubten Abweichungen für die Störkomponenten H₂O, CO₂ und NH₃, betragen je $\leq 5,0$ nmol/mol.

7.2 Prüfvorschriften

Das Signal des Messgerätes gegenüber verschiedenen in der Luft erwarteten Störkomponenten ist zu prüfen. Diese Störkomponenten können ein positives oder negatives Signal hervorrufen. Die Prüfung wird bei der Konzentration Null und einer NO-Prüfgaskonzentration (c_t) von (500 ± 50) nmol/mol durchgeführt.

Die Konzentrationen der Prüfgasgemische mit der jeweiligen Störkomponente müssen eine Unsicherheit von kleiner als 5 % aufweisen und auf nationale Standards rückführbar sein. Die zu prüfenden Störkomponenten und ihre Konzentrationen sind in Tabelle 28 angegeben. Der Einfluss jeder Störkomponente muss einzeln bestimmt werden. Die Konzentration der Messgröße ist für den auf die Zugabe der Störkomponente (z.B. Wasserdampf) zurückgehenden Verdünnungsfluss zu korrigieren.

Nach der Einstellung des Messgerätes bei Null und beim Spanniveaue wird ein Gemisch von Nullgas und der zu untersuchenden Störkomponente mit der in Tabelle 28 angegebenen Konzentration aufgegeben. Mit diesem Gemisch wird eine unabhängige Messung, gefolgt von zwei Einzelmessungen durchgeführt. Diese Vorgehensweise wird mit einem Gemisch der Messgröße bei der Konzentration c_t und der zu untersuchenden Störkomponente wiederholt. Die Einflussgröße bei Null und der Konzentration c_t ist:

$$X_{\text{int},z} = x_z$$

$$X_{\text{int},c_t} = x_{c_t} - c_t$$

Dabei ist:

- $X_{\text{int},z}$ die Einflussgröße der Störkomponente bei Null
- x_z der Mittelwert der Messungen bei Null
- X_{int,c_t} die Einflussgröße der Störkomponenten bei der Konzentration c_t
- x_{c_t} der Mittelwert der Messungen bei der Konzentration c_t
- c_t die Konzentration des aufgegebenen Gases beim Niveau des 1-Stunden-Grenzwertes

Die Einflussgröße der Störkomponenten muss die in oben angegebenen Leistungsanforderungen sowohl bei Null als auch der Konzentration c_t erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der DIN EN 14211 durchgeführt. Die Geräte wurden bei null und der Konzentration c_t (500 ppb) eingestellt. Anschließend wurde Null- und Prüfgas mit den verschiedenen Störkomponenten aufgegeben. Es wurden die in Tabelle 28 aufgeführten Stoffe in den entsprechenden Konzentrationen geprüft. Wie in der DIN EN 14211 angegeben wurde bei der Prüfung der Störkomponente NH₃ anstelle der NO-Konzentration die gemessenen NO_x-Konzentration abgelesen.



Tabelle 28: Störkomponenten nach DIN EN 14211

Störkomponente	Wert
H ₂ O	19 mmol/mol
CO ₂	500 µmol/mol
NH ₃	200 nmol/mol

7.4 Auswertung

In der folgenden Übersicht sind die Einflussgrößen der verschiedenen Störkomponenten aufgelistet. Bei Ermittlung des Einflusses der Feuchte wurde der Verdünnungseffekt bereits im Prüfgaserzeugungssystem miteinberechnet.

Tabelle 29: Einfluss der geprüften Störkomponenten für NO ($c_t = 500 \pm 50$ nmol/mol)

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Einflussgröße Störkomponente H ₂ O bei Null [nmol/mol]	≤ 5.0 nmol/mol	0.60	✓	-0.20	✓
Einflussgröße Störkomponente H ₂ O bei c_t [nmol/mol]	≤ 5.0 nmol/mol	0.60	✓	0.00	✓
Einflussgröße Störkomponente CO ₂ bei Null [nmol/mol]	≤ 5.0 nmol/mol	0.00	✓	0.00	✓
Einflussgröße Störkomponente CO ₂ bei c_t [nmol/mol]	≤ 5.0 nmol/mol	1.20	✓	0.60	✓
Einflussgröße Störkomponente NH ₃ bei Null [nmol/mol]	≤ 5.0 nmol/mol	0.00	✓	0.00	✓
Einflussgröße Störkomponente NH ₃ bei c_t [nmol/mol]	≤ 5.0 nmol/mol	0.80	✓	1.40	✓

7.5 Bewertung

Es ergibt sich ein Wert für die Querempfindlichkeit am Nullpunkt von 0,60 nmol/mol für Gerät 1 sowie -0,20 nmol/mol für Gerät 2 bei H₂O, 0,00 nmol/mol für Gerät 1 und 0,0 nmol/mol für Gerät 2 bei CO₂ sowie 0,00 nmol/mol für Gerät 1 und 0,00 nmol/mol für Gerät 2 bei NH₃.

Für die Querempfindlichkeit am Grenzwert c_t ergibt sich ein Wert von 0,60 nmol/mol für Gerät 1 sowie 0,00 nmol/mol für Gerät 2 bei H₂O, 1,20 nmol/mol für Gerät 1 und 0,60 nmol/mol für Gerät 2 bei CO₂ sowie 0,80 nmol/mol für Gerät 1 und 1,40 nmol/mol bei NH₃.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

In Tabelle 30 sind die Einzelwerte der Untersuchung angegeben.

Tabelle 30: Einzelwerte der Untersuchung gegenüber Störkomponenten

	ohne Störkomponente			mit Störkomponente		
	Uhrzeit	Gerät 1	Gerät 2	Uhrzeit	Gerät 1	Gerät 2
Nullgas + H ₂ O (19 mmol/mol)	12:21:00	0,60	1,20	12:34:00	1,20	1,20
	12:22:00	0,60	1,20	12:35:00	1,20	0,60
	12:23:00	0,60	0,60	12:36:00	1,20	0,60
	Mittelwert x_z	0,60	1,00	Mittelwert x_z	1,20	0,80
Prüfgas c _t + H ₂ O (19 mmol/mol)	12:47:00	502,65	503,85	13:01:00	503,25	503,85
	12:48:00	502,65	503,85	13:02:00	503,25	503,85
	12:49:00	502,65	503,85	13:03:00	503,25	503,85
	Mittelwert x_{ct}	502,65	503,85	Mittelwert x_{ct}	503,25	503,85
Nullgas + CO ₂ (500 µmol/mol)	09:29:00	0,60	0,60	09:40:00	0,60	0,60
	09:30:00	0,60	0,60	09:41:00	0,60	0,60
	09:31:00	0,60	0,60	09:42:00	0,60	0,60
	Mittelwert x_z	0,60	0,60	Mittelwert x_z	0,60	0,60
Prüfgas c _t + CO ₂ (500 µmol/mol)	09:59:00	503,25	503,85	10:12:00	504,45	504,45
	10:00:00	503,25	503,85	10:13:00	504,45	504,45
	10:01:00	503,25	503,85	10:14:00	504,45	504,45
	Mittelwert x_{ct}	503,25	503,85	Mittelwert x_{ct}	504,45	504,45
Nullgas + NH ₃ (200 nmol/mol)	10:28:00	0,60	0,00	10:40:00	0,60	0,00
	10:29:00	0,60	0,00	10:41:00	0,60	0,00
	10:30:00	0,60	0,00	10:42:00	0,60	0,00
	Mittelwert x_z	0,60	0,00	Mittelwert x_z	0,60	0,00
Prüfgas c _t + NH ₃ (200 nmol/mol)	10:52:00	509,26	507,46	11:05:00	509,86	508,66
	10:53:00	509,26	507,46	11:06:00	509,86	509,26
	10:54:00	509,26	507,46	11:07:00	510,46	508,66
	Mittelwert x_{ct}	510,06	507,46	Mittelwert x_{ct}	510,06	508,86

NO_x - Ablesung bei Störeinfluss gegenüber NH₃



7.1 8.4.12 Mittelungsprüfung

Der Mittelungseinfluss muss bei $\leq 7\%$ des Messwertes liegen.

7.2 Prüfbedingungen

Die Mittelungsprüfung liefert ein Maß für die Unsicherheit der gemittelten Werte, die durch kurzzeitige Konzentrationsänderungen im Probengas, die kürzer als die Messwerterfassung im Messgerät sind, verursacht werden. Im Allgemeinen ist die Ausgabe eines Messgerätes das Ergebnis der Bestimmung einer Bezugskonzentration (üblicherweise Null) und der tatsächlichen Konzentration, die eine gewisse Zeit benötigt.

Zur Bestimmung der auf die Mittelung zurückgehenden Unsicherheit werden die folgenden Konzentrationen auf das Messgerät aufgegeben und die entsprechenden Messwerte registriert:

- eine konstante NO₂ Konzentration c_{t,NO_2} von etwa dem Doppelten des 1-Stunden-Grenzwertes
- eine sprunghafte Änderung der NO-Konzentration zwischen Null und 600 nmol/mol (Konzentration $c_{t,NO}$).

Die Zeitspanne (t_c) der konstanten NO-Konzentrationen muss mindestens gleich der zum Erzielen von vier unabhängigen Anzeigewerten notwendigen Zeitspanne sein (entsprechend mindestens 16 Einstellzeiten). Die Zeitspanne (t_v) der sich ändernden NO-Konzentration muss ebenfalls mindestens gleich der zum Erzielen von vier unabhängigen Anzeigewerten erforderlichen Zeitspanne sein. Die Zeitspanne (t_{NO}) für die NO-Konzentration muss 45 s betragen, gefolgt von der Zeitspanne (t_{zero}) von 45 s für die Konzentration Null.

Weiterhin gilt:

c_t ist die Prüfgaskonzentration

t_v ist die Gesamtzahl der t_{NO} - und t_{zero} -Paare (mindestens drei Paare)

Der Wechsel von t_{NO} auf t_{zero} muss innerhalb von 0,5 s erfolgen. Der Wechsel von t_c zu t_v muss innerhalb einer Einstellzeit des zu prüfenden Messgerätes erfolgen.

Der Mittelungseinfluss (X_{av}) ist:

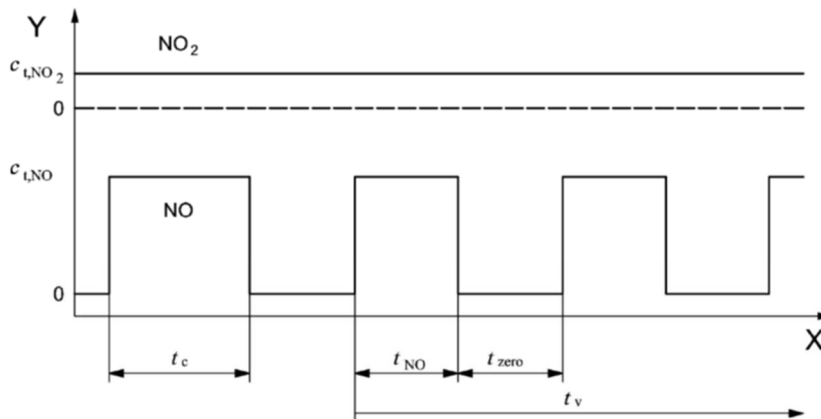
$$E_{av} = \frac{C_{const}^{av} - 2C_{var}^{av}}{C_{const}^{av}} * 100$$

Dabei ist:

E_{av} der Mittelungseinfluss (%)

C_{const}^{av} der Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne der konstanten Konzentration

C_{var}^{av} der Mittelwert von mindestens vier unabhängigen Messungen während der Zeitspanne der variablen Konzentration



Legende
Y Konzentration (nmol/mol)
X Zeit

Abbildung 10: Prüfung des Mittelungseinflusses ($t_{NO} = t_{zero} = 45$ s.)

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Mittelungsprüfung wurde nach den Vorgaben der DIN EN 14211 durchgeführt. Es wurde eine sprunghafte Änderung der NO-Konzentration zwischen Null und 600 nmol/mol als auch gleichzeitig eine konstante NO₂ Konzentration c_{t,NO_2} von etwa dem Doppelten des 1-Stunden-Grenzwertes mittels einer Massflowcontrollerstation aufgegeben. Zuerst wurde bei einer konstanten Prüfgaskonzentration der Mittelwert gebildet. Danach wurde mit Hilfe eines Dreiwegeventils im 45 s Takt zwischen Null und Prüfgas hin und her geschaltet. Über die Zeit der wechselnden Prüfgasaufgabe wurde ebenfalls der Mittelwert gebildet.

7.4 Auswertung

In der Prüfung wurden folgende Mittelwerte ermittelt:

Tabelle 31: Ergebnisse der Mittelungsprüfung

	Anforderung	Gerät 1	Gerät 2
Mittelungseinfluss E_{av} [%]	$\leq 7\%$	-1,3	-0,7

Daraus ergeben sich folgende Mittelungseinflüsse:

Gerät 1: -1,3 %

Gerät 2: -0,7%

7.5 Bewertung

Das Leistungskriterium der DIN EN 14211 an die Mittelungsprüfung wird mit maximal -1,3 % bzw. -0,7 % in vollem Umfang eingehalten.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

In Tabelle 32 sind die Einzelergebnisse der Untersuchung zum Mittelungseinfluss angegeben.



Tabelle 32: Einzelwerte der Untersuchung zum Mittelungseinfluss

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert Konstanter Wert $C_{av,c}$	13:35:00	601,5	602,3
	bis		
	13:54:00		
Mittelwert Variabler Wert $C_{av,v}$	13:55:00	310,9	309,5
	bis		
	14:14:00		

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert Konstanter Wert $C_{av,c}$	14:23:00	597,6	598,3
	bis		
	14:42:00		
Mittelwert Variabler Wert $C_{av,v}$	14:43:00	304,7	305,3
	bis		
	15:02:00		

14.03.2024		Gerät 1	Gerät 2
	Uhrzeit	[nmol/mol]	[nmol/mol]
Mittelwert Konstanter Wert $C_{av,c}$	15:11:00	597,1	597,2
	bis		
	15:30:00		
Mittelwert Variabler Wert $C_{av,v}$	15:31:00	294,0	290,3
	bis		
	15:50:00		

7.1 8.4.13 Differenz Proben-/Kalibrieringang

Die Differenz zwischen dem Proben- und Kalibrieringang darf maximal $\leq 1,0$ % betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Falls das Messgerät über verschiedene Eingänge für Proben- und Prüfgas verfügt, ist die Differenz des Messsignals bei Aufgabe der Proben über den Proben- oder Kalibrieringang zu prüfen. Hierzu wird Prüfgas mit der Konzentration von 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches über den Probeneingang auf das Messgerät aufgegeben. Die Prüfung besteht aus einer unabhängigen Messung, gefolgt von zwei Einzelmessungen. Nach einer Zeitspanne von mindestens vier Einstellzeiten wird die Prüfung unter Verwendung des Kalibrieringangs wiederholt. Die Differenz wird folgendermaßen berechnet:

$$\Delta x_{SC} = \frac{x_{sam} - x_{cal}}{c_t} \times 100$$

Dabei ist

Δx_{SC} die Differenz Proben-/Kalibrieringang

x_{sam} der Mittelwert der Messungen über den Probeneingang

x_{cal} der Mittelwert der Messungen über den Kalibrieringang

c_t die Konzentration des Prüfgases

Δ_{SC} muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde nach den Vorgaben der DIN EN 14211 durchgeführt. Bei der Prüfgasaufgabe wurde der Weg des Gases mit Hilfe eines Drei-Wege-Ventils zwischen Sample- und Spangaseingang umgeschaltet. Das Prüfgas wurde an beiden Eingängen unter atmosphärischen Bedingungen angeboten.

7.4 Auswertung

Bei der Prüfung wurden folgende Differenzen zwischen Proben und Kalibriergaseingang ermittelt:

Tabelle 33: Ergebnisse der Differenz zwischen Proben-/Kalibrieringang

	Anforderung	Gerät 1	Gerät 2
Differenz Proben-/Kalibrieringang Δx_{cs} [%]	$\leq 1\%$	-0,22 ✓	-0,11 ✓

7.5 Bewertung

Das Leistungskriterium der DIN EN 14211 wird mit einer maximalen Abweichung von -0,22 % bzw. -0,11 % in vollem Umfang eingehalten.

Mindestanforderung erfüllt? ja



7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

In Tabelle 34 sind die Einzelergebnisse der Untersuchung zum Mittelungseinfluss angegeben.

Tabelle 34: Einzelwerte der Prüfung der Differenz zwischen Proben und Kalibriergaseingang

25.03.2024	Uhrzeit	Gerät 1	Gerät 2
		[nmol/mol]	[nmol/mol]
Probeneingang	09:41:00	721,5	723,3
	09:42:00	721,5	723,3
	09:43:00	722,1	723,3
Kalibriereingang	09:51:00	723,3	723,9
	09:52:00	723,3	723,9
	09:53:00	723,3	724,5

7.1 8.4.14 Konverterwirkungsgrad

Der Konverterwirkungsgrad muss mindestens ≥ 98 % betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Der Konverterwirkungsgrad wird über Messungen mit bekannten NO₂-Konzentrationen bestimmt. Dies kann durch Gasphasentitration von NO zu NO₂ mit Ozon erfolgen.

Die Prüfung ist bei zwei Konzentrationsniveaus durchzuführen: bei 50 % und bei 95 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches von NO₂.

Das NO_x-Messgerät ist über den NO- und NO_x-Kanal mit einer NO-Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches von NO zu kalibrieren. Beide Kanäle müssen so eingestellt werden, dass sie den gleichen Wert anzeigen. Die Werte sind zu registrieren.

Eine bekannte NO-Konzentration von etwa 50 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches von NO wird auf das Messgerät aufgegeben, bis das Ausgabesignal stabil ist. Diese stabile Zeitspanne muss mindestens vier Einstellzeiten betragen. Vier Einzelmessungen werden am NO- und NO_x-Kanal durchgeführt. NO wird dann zur Erzeugung einer NO₂-Konzentration mit O₃ umgesetzt. Dieses Gemisch mit einer konstanten NO_x-Konzentration wird auf das Messgerät aufgegeben, bis das Ausgabesignal stabil ist. Diese stabile Zeitspanne muss mindestens vier Einstellzeiten des Messgerätes betragen, die NO-Konzentration nach der Gasphasentitration muss zwischen 10 % und 20 % der ursprünglichen NO Konzentration betragen. Anschließend werden vier Einzelmessungen am NO und NO_x-Kanal durchgeführt. Die O₃ Versorgung wird dann abgeschaltet und nur NO auf das Messgerät aufgegeben, bis das Ausgabesignal stabil ist. Diese stabile Zeitspanne muss mindestens vier Einstellzeiten des Messgerätes betragen. Dann wird der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO und NO_x-Kanal geprüft.

Der Konverterwirkungsgrad ist:

$$E_{conv} = \left(1 - \frac{(NO_x)_i - (NO_x)_f}{(NO)_i - (NO)_f} \right) \times 100\%$$

Dabei ist:

E_{con} der Konverterwirkungsgrad in %

$(NO_x)_i$ der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO_x-Kanal bei der anfänglichen NO_x-Konzentration

$(NO_x)_f$ der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO_x-Kanal bei der sich einstellenden NO_x-Konzentration nach Zugabe von O₃

$(NO)_i$ der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO-Kanal bei der anfänglichen NO-Konzentration

$(NO)_f$ Der Mittelwert der vier Einzelmessungen am NO-Kanal bei der sich einstellenden NO-Konzentration nach Zugabe von O₃

Der niedrigere der beiden Werte für den Konverterwirkungsgrad ist anzugeben.



7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde nach den Vorgaben der DIN EN 14211 durchgeführt. Bei der Prüfgasaufgabe wurden mittels der Gasphasentitration zwei NO₂-Konzentrationen im Bereich von 50 % und 95 % des Zertifizierungsbereichs von NO₂ eingestellt.

Der Konverterwirkungsgrad wurde im Labor ermittelt.

7.4 Auswertung

Bei der Prüfung wurden folgende Konverterwirkungsgrade für die beiden Messeinrichtungen APNA-380 ermittelt. Es wurde jeweils der niedrigste Wert beider NO₂-Konzentrationsstufen angegeben:

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Konverterwirkungsgrad E _c [%]	≥ 98%	99,5	✓	99,2	✓

7.5 Bewertung

Das Leistungskriterium der DIN EN 14211 wird mit einem Konverterwirkungsgrad von mindestens 99,2 % in vollem Umfang eingehalten.

Mindestanforderung erfüllt? Ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Einzelwerte sind Tabelle 35 zu entnehmen.

Tabelle 35: Einzelwerte der Überprüfung des Konverterwirkungsgrades

04.04.2024	Uhrzeit	O ₃ [nmol/mol]	NO ₂ [nmol/mol]	Gerät 1		Gerät 2	
				NO [nmol/mol]	NO _x [nmol/mol]	NO [nmol/mol]	NO _x [nmol/mol]
	12:54:00			s t a r t			
O ₃ =0, NO=50%	13:12:00	0,0	0,3	481,0	481,6	481,6	481,6
	13:13:00	0,0	0,3	481,6	481,6	481,6	482,2
	13:14:00	0,0	0,3	481,6	481,6	481,6	482,2
	13:15:00	0,0	0,3	481,6	482,2	481,6	482,2
Mittelwert		0,0	0,3	481,5	481,8	481,6	482,1
NO ₂ = 50%	13:28:00	130,8	130,8	341,5	481,6	342,1	481,0
	13:29:00	130,8	130,8	341,5	481,6	341,5	481,0
	13:30:00	130,8	130,8	341,5	481,0	341,5	481,0
	13:31:00	130,8	130,8	341,5	481,6	341,5	481,0
Mittelwert		130,8	130,8	341,5	481,5	341,7	481,0
O ₃ =0, NO=50%	14:38:00	0,0	0,3	482,8	483,4	482,8	483,4
	14:39:00	0,0	0,3	482,8	483,4	482,8	483,4
	14:40:00	0,0	0,5	482,8	483,4	482,8	483,4
	14:41:00	0,0	0,5	483,4	483,4	482,8	483,4
Mittelwert		0,0	0,4	483,0	483,4	482,8	483,4
NO ₂ = 95%	15:02:00	248,4	251,5	230,9	482,2	231,5	482,8
	15:03:00	248,4	251,7	230,3	482,2	231,5	482,8
	15:04:00	248,4	251,9	230,3	482,2	231,5	482,8
	15:05:00	248,4	252,2	230,3	482,2	230,9	483,4
Mittelwert		248,4	251,8	230,4	482,2	231,3	483,0
O ₃ =0, NO=50%	15:22:00	0,0	0,8	482,2	482,8	481,6	482,8



7.1 8.4.15 Verweilzeit im Messgerät

Die Verweilzeit im Messgerät muss $\leq 3,0$ s betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Die Verweilzeit im Messgerät ist anhand des Volumenstroms und des Volumens der Leitung und anderer relevanter Komponenten des Messgerätes zu bestimmen

7.3 Durchführung der Prüfung

Das Gasvolumen des APNA-380 Analysators beträgt vom Probengaseingang bis zur Messzelle ungefähr 12,0 ml. Der gemessene Probengasvolumenstrom beträgt 0,7 l/min. Daraus ergibt sich eine Verweilzeit im Messgerät von 1,1 Sekunden.

7.4 Auswertung

Hier nicht erforderlich.

7.5 Bewertung

Es ergibt sich eine Verweilzeit im Messgerät von ca. 1,1 s.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.

7.1 8.5.4 Langzeitdrift

Die Langzeitdrift bei Null darf maximal $\leq 5,0$ nmol/mol betragen.

Die Langzeitdrift beim Spanniveau darf maximal ≤ 5 % des Zertifizierungsbereiches betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Nach jeder zweiwöchigen Null- und Spangasprüfung ist die Drift der in der Prüfung befindlichen Messgeräte bei Null und beim Spanniveau entsprechend den in diesem Abschnitt angegebenen Verfahren zu berechnen. Falls die Drift im Vergleich zur Anfangskalibrierung eine der Leistungskenngrößen bezüglich der Drift bei Null oder beim Spanniveau erreicht, ergibt sich das Kontrollintervall als Anzahl der Wochen bis zur Feststellung der Überschreitung minus 2 Wochen. Für weitere (Unsicherheits-)Berechnungen sind für die Langzeitdrift die Werte für die Null- und Spandrift über die Zeitspanne des Kontrollintervalls zu verwenden.

Zu Beginn der Driftzeitspanne werden direkt nach der Kalibrierung fünf Einzelmessungen beim Null- und Spanniveau durchgeführt (nach einer Wartezeit, die einer unabhängigen Messung entspricht).

Die Langzeitdrift wird folgendermaßen berechnet:

$$D_{L,Z} = (C_{Z,1} - C_{Z,0})$$

Dabei ist:

$D_{L,Z}$ die Drift bei Null

$C_{Z,0}$ der Mittelwert der Messungen bei Null zu Beginn der Driftzeitspanne

$C_{Z,1}$ der Mittelwert der Nullgasmessung am Ende der Driftzeitspanne

$D_{L,Z}$ muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

$$D_{L,S} = \frac{(C_{S,1} - C_{S,0}) - D_{L,Z}}{C_{S,1}} \times 100$$

Dabei ist:

$D_{L,S}$ die Drift bei der Span-Konzentration

$C_{S,0}$ der Mittelwert der Messungen beim Spanniveau zu Beginn der Driftzeitspanne

$C_{S,1}$ der Mittelwert der Messungen beim Spanniveau am Ende der Driftzeitspanne

$D_{L,S}$ muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.



7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde so durchgeführt, dass alle 2 Wochen Prüfgas aufgegeben wurde. In Tabelle 36 und Tabelle 37 sind die gefundenen Messwerte der zweiwöchentlichen Prüfgasaufgaben angegeben. Die Prüfung soll dabei gemäß DIN EN 14211 für die Komponente NO bei einem Konzentrationslevel von 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereiches für NO durchgeführt werden.

Zwischen der vorletzten und der letzten Überprüfung der Langzeitdrift lagen organisatorisch bedingt nur 11 Tage.

7.4 Auswertung

Tabelle 36: Ergebnisse der Langzeitdrift am Nullpunkt für NO

		Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Mittel zu Beginn Cz ₁ bei Null [nmol/mol]	29.04.2024	≤ 5,0	--	✓	--	✓
Langzeitdrift DL _Z bei Null [nmol/mol]	13.05.2024	≤ 5,0	0,12	✓	0,00	✓
Langzeitdrift DL _Z bei Null [nmol/mol]	27.05.2024	≤ 5,0	0,00	✓	0,00	✓
Langzeitdrift DL _Z bei Null [nmol/mol]	10.06.2024	≤ 5,0	0,00	✓	0,00	✓
Langzeitdrift DL _Z bei Null [nmol/mol]	24.06.2024	≤ 5,0	0,24	✓	-0,24	✓
Langzeitdrift DL _Z bei Null [nmol/mol]	08.07.2024	≤ 5,0	0,48	✓	0,12	✓
Langzeitdrift DL _Z bei Null [nmol/mol]	22.07.2024	≤ 5,0	0,00	✓	0,00	✓
Langzeitdrift DL _Z bei Null [nmol/mol]	02.08.2024	≤ 5,0	0,00	✓	0,00	✓

Tabelle 37: Ergebnisse der Langzeitdrift am Referenzpunkt für NO

		Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Mittel zu Beginn Cs ₁ bei Span [nmol/mol]	29.04.2024	≤ 5 %	--	✓	--	✓
Langzeitdrift DL _S bei Span [nmol/mol]	13.05.2024	≤ 5 %	-0,04	✓	-0,45	✓
Langzeitdrift DL _S bei Span [nmol/mol]	27.05.2024	≤ 5 %	-0,34	✓	-0,43	✓
Langzeitdrift DL _S bei Span [nmol/mol]	10.06.2024	≤ 5 %	0,13	✓	0,12	✓
Langzeitdrift DL _S bei Span [nmol/mol]	24.06.2024	≤ 5 %	-0,27	✓	-0,45	✓
Langzeitdrift DL _S bei Span [nmol/mol]	08.07.2024	≤ 5 %	0,11	✓	0,07	✓
Langzeitdrift DL _S bei Span [nmol/mol]	22.07.2024	≤ 5 %	1,02	✓	-0,13	✓
Langzeitdrift DL _S bei Span [nmol/mol]	02.08.2024	≤ 5 %	0,16	✓	-0,66	✓

7.5 Bewertung

Für NO liegt die maximale Langzeitdrift am Nullpunkt DL_Z bei 0,48 nmol/mol für Gerät 1 und -0,24 nmol/mol für Gerät 2. Die maximale Langzeitdrift für NO am Referenzpunkt DL_S liegt bei 1,02 % für Gerät 1 und -0,66 % für Gerät 2.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Einzelwerte der Ermittlung der Langzeitdrift sind in Tabelle 38 dargestellt.

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung APNA-380 der Firma Horiba Europe GmbH für die Komponenten NO, NO₂ und NO_x,
Berichts-Nr.: EuL/21262682/B

Tabelle 38: Einzelwerte der Driftuntersuchungen für NO

Null Konzentration				C _t -Konzentration			
Datum	Uhrzeit	Gerät 1	Gerät 2	Datum	Uhrzeit	Gerät 1	Gerät 2
		[nmol/mol]	[nmol/mol]			[nmol/mol]	[nmol/mol]
29.04.2024	10:22:00	0,60	0,60	29.04.2024	10:50:00	722,10	721,50
	10:23:00	0,60	0,60		10:51:00	722,10	722,10
	10:24:00	0,60	0,60		10:52:00	721,50	721,50
	Mittel	0,60	0,60		Mittel	721,90	721,70
	10:26:00	0,60	0,60		10:54:00	722,10	722,10
	10:27:00	0,60	0,60		10:55:00	723,30	722,70
	10:28:00	0,60	0,60		10:56:00	723,30	723,30
	Mittel	0,60	0,60		Mittel	722,90	722,70
	10:30:00	0,60	0,60		10:58:00	723,91	723,30
	10:31:00	0,60	0,60		10:59:00	723,91	723,30
	10:32:00	0,60	0,60		11:00:00	721,50	721,50
	Mittel	0,60	0,60		Mittel	723,10	722,70
	10:34:00	0,60	0,60		11:02:00	721,50	721,50
	10:35:00	0,60	0,60		11:03:00	722,10	721,50
	10:36:00	0,60	0,60		11:04:00	722,10	722,10
	Mittel	0,60	0,60		Mittel	721,90	721,70
	10:38:00	0,60	0,60		11:06:00	722,10	722,10
10:39:00	0,60	0,60	11:07:00	722,10	722,10		
10:40:00	0,60	0,60	11:08:00	722,10	722,10		
		0,60	0,60			722,10	722,10
Mittelwert Feldstart c_{s,0}		0,60	0,60	Mittelwert Feldstart c_{s,0}		722,38	722,18
13.05.2024	09:15:00	1,20	0,60	13.05.2024	09:25:00	722,70	719,70
	09:16:00	0,60	0,60		09:26:00	722,10	719,10
	09:17:00	0,60	0,60		09:27:00	722,10	719,10
	09:18:00	0,60	0,60		09:28:00	722,10	718,49
	09:19:00	0,60	0,60		09:29:00	722,10	718,49
	Mittel c _{s,1}	0,72	0,60		Mittel c _{s,1}	722,22	718,97
27.05.2024	09:22:00	0,60	0,60	27.05.2024	09:33:00	720,30	719,10
	09:23:00	0,60	0,60		09:34:00	720,30	719,10
	09:24:00	0,60	0,60		09:35:00	719,70	719,10
	09:25:00	0,60	0,60		09:36:00	719,70	719,10
	09:26:00	0,60	0,60		09:37:00	719,70	719,10
	Mittel c _{s,1}	0,60	0,60		Mittel c _{s,1}	719,94	719,10
10.06.2024	09:29:00	0,60	0,60	10.06.2024	09:51:00	723,30	722,70
	09:30:00	0,60	0,60		09:52:00	723,30	722,70
	09:31:00	0,60	0,60		09:53:00	723,30	723,30
	09:32:00	0,60	0,60		09:54:00	723,30	723,30
	09:33:00	0,60	0,60		09:55:00	723,30	723,30
	Mittel c _{s,1}	0,60	0,60		Mittel c _{s,1}	723,30	723,06
24.06.2024	09:21:00	1,20	1,20	24.06.2024	09:31:00	720,90	719,10
	09:22:00	1,20	0,60		09:32:00	720,90	719,10
	09:23:00	0,60	0,00		09:33:00	720,90	718,49
	09:24:00	0,60	0,00		09:34:00	720,30	718,49
	09:25:00	0,60	0,00		09:35:00	720,30	718,49
	Mittel c _{s,1}	0,84	0,36		Mittel c _{s,1}	720,66	718,73
08.07.2024	09:15:00	1,80	1,20	08.07.2024	09:25:00	723,30	722,10
	09:16:00	1,20	0,60		09:26:00	723,30	722,10
	09:17:00	1,20	0,60		09:27:00	723,30	723,30
	09:18:00	0,60	0,60		09:28:00	723,91	723,30
	09:19:00	0,60	0,60		09:29:00	724,51	723,30
	Mittel c _{s,1}	1,08	0,72		Mittel c _{s,1}	723,66	722,82
22.07.2024	09:29:00	0,60	0,60	22.07.2024	09:41:00	730,52	721,50
	09:30:00	0,60	0,60		09:42:00	729,92	721,50
	09:31:00	0,60	0,60		09:43:00	729,92	721,50
	09:32:00	0,60	0,60		09:44:00	729,32	720,90
	09:33:00	0,60	0,60		09:45:00	729,32	720,90
	Mittel c _{s,1}	0,60	0,60		Mittel c _{s,1}	729,80	721,26
02.08.2024	07:53:00	0,60	0,60	02.08.2024	08:04:00	722,70	716,09
	07:54:00	0,60	0,60		08:05:00	723,30	717,29
	07:55:00	0,60	0,60		08:06:00	723,30	717,29
	07:56:00	0,60	0,60		08:07:00	723,91	717,89
	07:57:00	0,60	0,60		08:08:00	724,51	718,49
	Mittel c _{s,1}	0,60	0,60		Mittel c _{s,1}	723,54	717,41



7.1 8.5.5 Vergleichsstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen

Die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen darf maximal $\leq 5\%$ des Mittels über eine Zeitspanne von 3 Monaten betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen wird aus den während der dreimonatigen Zeitspanne stündlich gemittelten Messwerten berechnet.

Die Differenz $\Delta x_{f,i}$ für jede i-te Parallelmessung ist:

$$\Delta x_{f,i} = x_{f,1,i} - x_{f,2,i}$$

Dabei ist:

$\Delta x_{f,i}$ die i-te Differenz einer Parallelmessung

$x_{f,1,i}$ das i-te Messergebnis von Messgerät 1

$x_{f,2,i}$ das i-te Messergebnis von Messgerät 2

Die Vergleichsstandardabweichung (unter Feldbedingungen) ist:

$$s_{r,f} = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_{f,i}^2}{2 * n}} \right)}{c_f} \times 100$$

Dabei ist:

$s_{r,f}$ die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen (%)

n die Anzahl der Parallelmessungen

c_f die bei der Feldprüfung gemessene mittlere Stickstoffdioxid-Konzentration

Die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen, $s_{r,f}$, muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Aus den während der Feldprüfung stündlich gemittelten NO₂ Werten, wurde die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen mit Hilfe der oben genannten Formeln ermittelt.

7.4 Auswertung

Tabelle 39: Bestimmung der Vergleichsstandardabweichung für NO₂ auf Basis aller Daten aus dem Feldtest

Vergleichsstandardabweichung im Feldtest		
Stichprobenumfang	[n]	2283
Mittelwert beider Geräte	[nmol/mol]	12,27
Stabw. Aus Doppelbestimmungen	[nmol/mol]	0,149
Vergleichsstandardabweichung im Feld $S_{r,f}$	[%]	1,21
Anforderung	≤ 5,0 %	✓

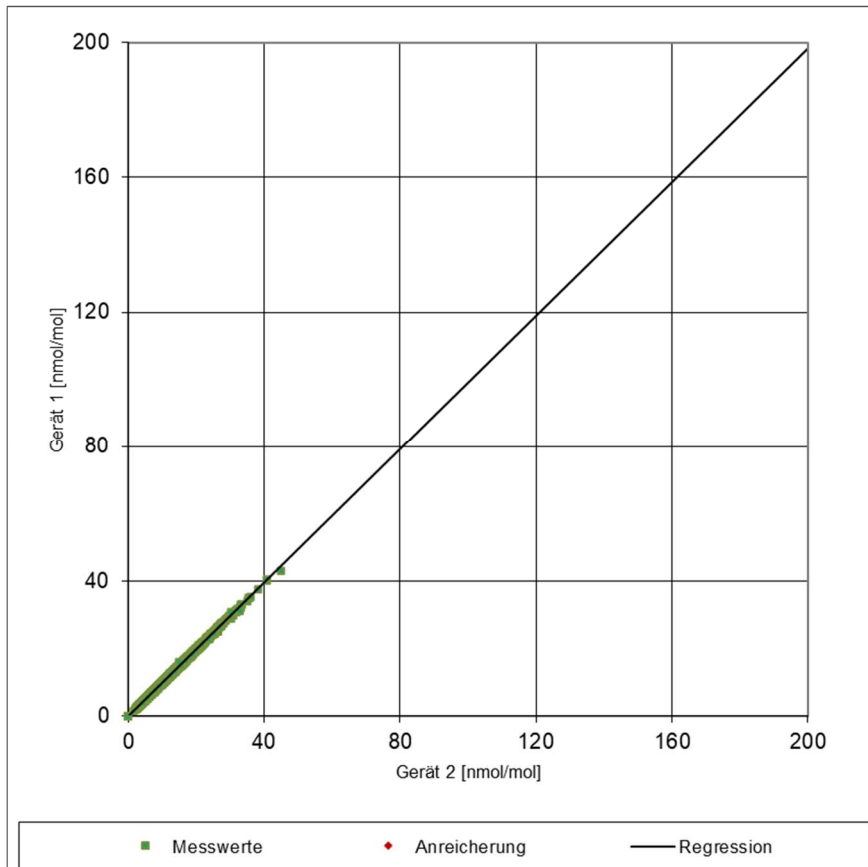


Abbildung 11: Grafische Darstellung der Vergleichsstandardabweichung für NO₂ im Feld

Es ergibt sich eine Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen von 1,21 % des Mittelwertes für NO₂. Dieser Wert wird auch für die Berechnung der Gesamtunsicherheit nach DIN EN 14211 verwendet.

7.5 Bewertung

Die Vergleichsstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen betrug 1,21 % bezogen auf den Mittelwert über die Dauer des Feldtests von 3 Monaten. Damit sind die Anforderungen der DIN EN 14211 eingehalten.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Zur Übersicht sind hier auch die Ergebnisse der Vergleichsstandardabweichung für NO angegeben. Nach DIN EN 14211 wird die Auswertung der Vergleichsstandardabweichung im Feld mit NO₂ durchgeführt. Daher sind die folgenden Daten nur informativ aufgeführt.

Tabelle 40: Bestimmung der Vergleichsstandardabweichung für NO auf Basis aller Daten aus dem Feldtest

Vergleichsstandardabweichung im Feldtest		
Stichprobenumfang	[n]	2283
Mittelwert beider Geräte	[nmol/mol]	9,56
Stabw. Aus Doppelbestimmungen	[nmol/mol]	0,261
Vergleichsstandardabweichung im Feld S_{r,f}	[%]	2,73
Anforderung	≤ 5,0 %	✓

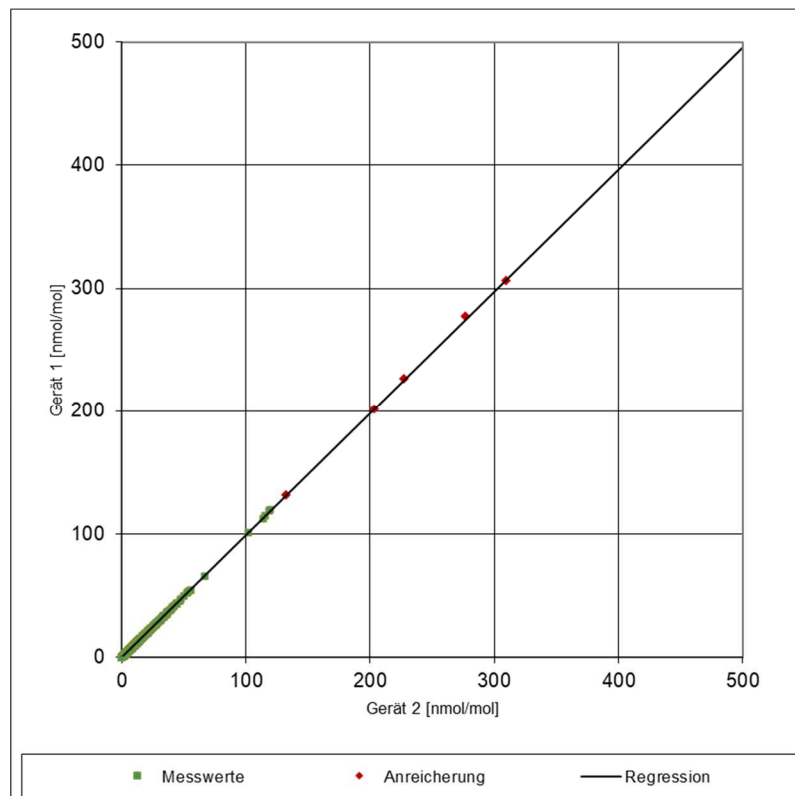


Abbildung 12: Grafische Darstellung der Vergleichsstandardabweichung für NO im Feld

7.1 8.5.6 Kontrollintervall

Das Wartungsintervall muss mindestens 2 Wochen betragen.

7.2 Gerätetechnische Ausstattung

Bei dieser Mindestanforderung nicht erforderlich.

7.3 Durchführung der Prüfung

Bei dieser Mindestanforderung wurde untersucht, welche Wartungsarbeiten in welchen Zeitabständen für eine einwandfreie Funktionsfähigkeit der Messeinrichtung erforderlich sind.

Weiterhin wurden die Ergebnisse der Driftbestimmung für Null- und Referenzpunkt gemäß 7.1 8.5.4 Langzeitdrift zur Ermittlung des Wartungsintervalls berücksichtigt.

7.4 Auswertung

Es konnten für die Messeinrichtungen über den gesamten Feldtestzeitraum keine unzulässigen Driften festgestellt werden. Das Wartungsintervall wird daher durch die anfallenden Wartungsarbeiten bestimmt.

Innerhalb des dreimonatigen Feldtests konnte die Wartung im Wesentlichen auf die Kontrolle von Verschmutzungen, Plausibilitätschecks und etwaigen Status-/Fehlermeldungen beschränkt werden. Die Austauschrate des externen Partikelfilters hängt natürlich vom Staubgehalt der Umgebung des Aufstellortes ab. Hinweise zu Arbeiten im Wartungsintervall sind in Kapitel 7 des Handbuches sowie Kapitel 8 dieses Berichtes gegeben.

7.5 Bewertung

Das Kontrollintervall wird durch die notwendigen Wartungsarbeiten bestimmt. Diese beschränken sich im Wesentlichen auf die Kontrolle von Verschmutzungen, Plausibilitätschecks und etwaigen Status-/Fehlermeldungen. Der externe Partikelfilter muss je nach Staubbelastung am Messort gewechselt werden. Eine Überprüfung des Null- und Referenzpunktes muss nach DIN EN 14211 mindestens alle 14 Tage erfolgen.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



7.1 8.5.7 Verfügbarkeit des Messgerätes

Die Verfügbarkeit des Messgerätes muss ≥ 90 % betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Der korrekte Betrieb des Messgerätes ist mindestens alle 14 Tage zu prüfen. Es wird empfohlen, diese Prüfung während der ersten 14 Tage täglich durchzuführen. Diese Prüfungen beinhalten die Plausibilitätsprüfung der Messwerte, sofern verfügbar, Statussignale und andere relevante Parameter. Zeitpunkt, Dauer und Art von Fehlfunktionen sind zu registrieren.

Die für die Berechnung der Verfügbarkeit zu berücksichtigende Zeitspanne ist diejenige Zeitspanne in der Feldprüfung, während der valide Messdaten für die Außenluftkonzentrationen gewonnen werden. Dabei darf die für Kalibrierungen, Konditionierung der Probengasleitung, Filter und Wartungsarbeiten aufgewendete Zeit nicht einbezogen werden.

Die Verfügbarkeit des Messgerätes ist:

$$A_a = \frac{t_u}{t_t} * 100$$

Dabei ist:

A_a die Verfügbarkeit des Messgerätes (%)

t_u die gesamte Zeitspanne mit validen Messwerten

t_t die gesamte Zeitspanne der Feldprüfung, abzüglich der Zeit für Kalibrierung und
Wartung t_u und t_t müssen in den gleichen Einheiten angegeben werden.

Die Verfügbarkeit muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Aus der Gesamtzeit des Feldtests und den dabei aufgetretenen Ausfallzeiten wurde die Verfügbarkeit mit Hilfe der oben genannten Formel berechnet.

Auswertung

Die während des Feldtestes aufgetretenen Ausfallzeiten sind in Tabelle 41 aufgelistet.

Tabelle 41: Verfügbarkeit des Messgerätes APNA-380

		Gerät 1	Gerät 2
Einsatzzeit	h	2283	2283
Ausfallzeit	h	0	0
Wartungszeit	h	8	8
Tatsächliche Betriebszeit	h	2275	2275
Tatsächliche Betriebszeit inklusive Wartungszeit	h	2283	2283
Verfügbarkeit	%	100	100

Die Wartungszeiten ergeben sich aus den täglichen Prüfgasaufgaben zur Bestimmung des Driftverhaltens und des Wartungsintervalls sowie aus den Zeiten, die zum Austausch der geräteinternen Partikelfilter im Probengasweg benötigt wurden.

7.5 Bewertung

Die Verfügbarkeit beträgt 100 %. Somit ist die Anforderung der DIN EN 14211 erfüllt.
Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht erforderlich.



7.1 8.6 Gesamtmessunsicherheit nach Anhang E der DIN EN 14211 (2012)

Die Eignungsanerkennung des Messgerätes besteht aus folgenden Schritten:

1) Der Wert jeder einzelnen, im Labor geprüften Leistungskenngröße muss das in Tabelle E.1 der DIN EN 14211 angegebene Kriterium erfüllen.

2) Die erweiterte Messunsicherheit, die aus den Standardunsicherheiten der in der Laborprüfung ermittelten spezifischen Leistungskenngrößen berechnet wurde, muss das in Anhang I der Richtlinie 2008/50/EG angegebene Kriterium (15 % für ortsfeste Messungen und 25 % für orientierende Messungen) erfüllen. Dieses Kriterium ist die maximal zulässige Unsicherheit von Einzelmessungen für kontinuierliche Messungen beim 1-Stunden-Grenzwert. Die relevanten spezifischen Leistungskenngrößen und das Berechnungsverfahren sind im Anhang E der DIN EN 14211 angegeben.

3) Der Wert jeder einzelnen, in der Feldprüfung geprüften Leistungskenngröße muss das in Tabelle E.1 der DIN EN 14211 angegebene Kriterium erfüllen.

4) Die erweiterte Messunsicherheit, die aus den Standardunsicherheiten der in der Labor- und Feldprüfung ermittelten spezifischen Leistungskenngrößen berechnet wurde, muss das in Anhang I der Richtlinie 2008/50/EG angegebene Kriterium (15 % für ortsfeste Messungen und 25 % für orientierende Messungen) erfüllen. Dieses Kriterium ist die maximal zulässige Unsicherheit von Einzelmessungen für kontinuierliche Messungen beim 1-Stunden-Grenzwert. Die relevanten spezifischen Leistungskenngrößen und das Berechnungsverfahren sind im Anhang E der DIN EN 14211 angegeben.

7.2 Gerätetechnische Ausstattung

Berechnung der Gesamtunsicherheit nach Anhang E der DIN EN 14211 (2012).

7.3 Durchführung der Prüfung

Am Ende der Eignungsprüfung wurden die Gesamtunsicherheiten mit den während der Prüfung ermittelten Werten berechnet.

7.4 Auswertung

Zu 1) Der Wert jeder einzelnen, im Labor geprüften Leistungskenngrößen erfüllt das in Tabelle E.1 der DIN EN 14211 angegebene Kriterium.

Zu 2) Die erweiterte Messunsicherheit, die aus den Standardunsicherheiten der in der Laborprüfung ermittelten spezifischen Leistungskenngrößen berechnet wurde, erfüllt das geforderte Kriterium.

Zu 3) Der Wert jeder einzelnen, in der Feldprüfung geprüften Kenngröße erfüllt das in Tabelle E.1 der DIN EN 14211 angegebene Kriterium.

Zu 4) Die erweiterte Messunsicherheit, die aus den Standardunsicherheiten der in der Labor- und Feldprüfung ermittelten spezifischen Leistungskenngrößen berechnet wurde, erfüllt das geforderte Kriterium.

7.5 Bewertung

Die Anforderung an die erweiterte Messunsicherheit der Messeinrichtung wird erfüllt.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Ergebnisse zu den Punkten 1 und 3 sind in Tabelle 42 zusammengefasst.

Die Ergebnisse zu Punkt 2 sind in Tabelle 43 und Tabelle 45 zu finden.

Die Ergebnisse zu Punkt 4 sind in Tabelle 44 und Tabelle 46 zu finden.

Tabelle 42: Leistungsanforderungen nach DIN EN 14211

Leistungskenngröße	Leistungskriterium	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
8.4.5 Wiederholstandardabweichung bei Null	$\leq 1,0$ nmol/mol	S _r Gerät 1: 0,00 nmol/mol (NO) S _r Gerät 2: 0,13 nmol/mol (NO)	ja	86
8.4.5 Wiederholstandardabweichung bei der Konzentration c _t	$\leq 3,0$ nmol/mol	S _r Gerät 1: 0,31 nmol/mol (NO) S _r Gerät 2: 0,13 nmol/mol (NO)	ja	86
8.4.6 „lack of fit“ (Abweichung von der linearen Regression)	Größte Abweichung von der linearen Regressionsfunktion bei Konzentration größer als Null $\leq 4,0$ % des Messwertes Abweichung bei Null ≤ 5 nmol/mol	X _{i,z} Gerät 1: NP 1,20 nmol/mol (NO) X _i Gerät 1: RP 0,73 % (NO) X _{i,z} Gerät 2: NP 0,60 nmol/mol (NO) X _i Gerät 2: RP 0,79 % (NO)	ja	89
8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdruckes	$\leq 8,0$ nmol/mol/kPa	b _{gp} Gerät 1: 0,10 nmol/mol/kPa (NO) b _{gp} Gerät 2: 0,19 nmol/mol/kPa (NO)	ja	94
8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengas-temperatur	$\leq 3,0$ nmol/mol/K	b _{gt} Gerät 1: 0,03 nmol/mol/K (NO) b _{gt} Gerät 2: 0,05 nmol/mol/K (NO)	ja	96
8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungs-temperatur	$\leq 3,0$ nmol/mol/K	b _{st} Gerät 1: 0,220 nmol/mol/K (NO) b _{st} Gerät 2: 0,200 nmol/mol/K (NO)	ja	98



Leistungskenngröße	Leistungskriterium	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
8.4.10 Empfindlichkeitskoeffizient der elektrischen Spannung	$\leq 0,3 \text{ nmol/mol/V}$	b _v Gerät 1: RP 0,03 nmol/mol/V (NO) b _v Gerät 2: RP 0,01 nmol/mol/V (NO)	ja	101
8.4.11 Störkomponenten bei Null und der Konzentration ct	H ₂ O $\leq 5,0 \text{ nmol/mol}$ CO ₂ $\leq 5,0 \text{ nmol/mol}$ NH ₃ $\leq 5,0 \text{ nmol/mol}$	NO Kanal - H ₂ O Gerät 1: NP 0,6 nmol/mol / RP 0,60 nmol/mol Gerät 2: NP -0,2 nmol/mol / RP 0,00 nmol/mol NO Kanal - CO ₂ Gerät 1: NP 0,00 nmol/mol / RP 1,20 nmol/mol Gerät 2: NP 0,00 nmol/mol / RP 0,60 nmol/mol NO Kanal - NH ₃ Gerät 1: NP 0,00 nmol/mol / RP 0,80 nmol/mol Gerät 2: NP 0,00 nmol/mol / RP 1,40 nmol/mol	ja	103
8.4.12 Mittelungseinfluss	$\leq 7,0 \%$ des Messwertes	E _{av} Gerät 1: -1,3 % NO E _{av} Gerät 2: -0,7 % NO	ja	106
8.4.13 Differenz Proben-/Kalibrieringang	$\leq 1,0 \%$	Δ_{SC} Gerät 1: -0,22% NO Δ_{SC} Gerät 2: -0,11 % NO	ja	109
8.4.3 Einstellzeit (Anstieg)	$\leq 180 \text{ s}$	tr Gerät 1: 19,5 s (NO) tr Gerät 2: 19,5 s (NO) tr Gerät 1: 27,5 s (NO ₂) tr Gerät 2: 27,25 s (NO ₂)	ja	77
8.4.3 Einstellzeit (Abfall)	$\leq 180 \text{ s}$	t _f Gerät 1: 19 s (NO) t _f Gerät 2: 19,5 s (NO) t _f Gerät 1: 27 s (NO ₂) t _f Gerät 2: 28,25 s (NO ₂)	ja	77

Leistungskenngröße	Leistungskriterium	Prüfergebnis	eingehalten	Seite
8.4.3 Differenz zwischen Anstiegs und Abfallzeit	≤ 10 s	t _d Gerät 1: 0,5 s (NO) t _d Gerät 2: 0,0 s (NO) t _d Gerät 1: 0,5 s (NO ₂) t _d Gerät 2: -1,0 s (NO ₂)	ja	77
8.4.14 Konverterwirkungsgrad	≥ 98%	E _{conv} Gerät 1: 99,5 % E _{conv} Gerät 2: 99,2 %	ja	111
8.4.15 Verweilzeit	≤ 3,0 s	Gerät 1: 1,1 s Gerät 2: 1,1 s	ja	114
8.5.7 Verfügbarkeit des Messgerätes	> 90 %	A _a Gerät 1: 100 % A _a Gerät 2: 100 %	ja	122
8.5.5 Vergleichstandardabweichung unter Feldbedingungen	≤ 5,0 % des Mittels über einen Zeitraum von drei Monaten	S _{r,f} Gerät 1: 1,21 % NO ₂ S _{r,f} Gerät 2: 1,21 % NO ₂	ja	118
8.5.4 Langzeitdrift bei Null	≤ 5,0 nmol/mol	C _z Gerät 1: 0,48 nmol/mol NO C _z Gerät 2: -0,24 nmol/mol NO	ja	115
8.5.4 Langzeitdrift beim Spannniveau	≤ 5,0 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches	C _s Gerät 1: max. 1,02 % NO C _s Gerät 2: max. -0,66 % NO	ja	115
8.4.4 Kurzzeitdrift bei Null	≤ 2,0 nmol/mol über 12 h	D _{s,z} Gerät 1: 0,09 nmol/mol (NO) D _{s,z} Gerät 2: 0,42 nmol/mol (NO)	ja	82
8.4.4 Kurzzeitdrift beim Spannniveau	≤ 6,0 nmol/mol über 12 h	D _{s,s} Gerät 1: -0,21 nmol/mol (NO) D _{s,s} Gerät 2: -0,12 nmol/mol (NO)	ja	82



Tabelle 43: Erweiterte Unsicherheit aus der Laborprüfung für NO, Gerät 1

Messgerät:		APNA 380		Seriennummer:		FGF7XTX9	
Messkomponente:		NO		1h-Grenzwert:		104,6 nmol/mol	
Nr.	Leistungskenngröße	Anforderung	Ergebnis	Teilunsicherheit		Quadrat der Teilunsicherheit	
1	Wiederholstandardabweichung bei Null	≤ 1,0 nmol/mol	0,000	u _{r,z}	0,00	0,0000	
2	Wiederholstandardabweichung beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol	0,310	u _{r,1h}	0,01	0,0001	
3	"lack of fit" beim 1h-Grenzwert	≤ 4,0% des Messwertes	0,730	u _{l,1h}	0,44	0,1944	
4	Änderung des Probengasdrucks beim 1h-Grenzwert	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	0,100	u _{gp}	0,25	0,0633	
5	Änderung der Probengastemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,030	u _{gt}	0,08	0,0057	
6	Änderung der Umgebungstemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,220	u _{st}	0,55	0,3065	
7	Änderung der el. Spannung beim 1h-Grenzwert	≤ 0,30 nmol/mol/V	0,030	u _v	0,11	0,0132	
8a	Störkomponente H ₂ O mit 19 nmol/mol	≤ 10 nmol/mol (Null)	0,600	u _{H2O}	0,45	0,2004	
		≤ 10 nmol/mol (Span)	0,600				
8b	Störkomponente CO ₂ mit 500 µmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,pos}	0,24	0,0571	
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	1,200				
8c	Störkomponente NH ₃ mit 200 nmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,neg}	0,24	0,0571	
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	0,800				
9	Mittelungsfehler	≤ 7,0% des Messwertes	-1,300	u _{av}	-0,79	0,6164	
18	Differenz Proben-/Kalibriergaseingang	≤ 1,0%	-0,220	u _{asc}	-0,23	0,0530	
21	Konvertierwirkungsgrad	≥ 98	99,50	u _{ec}	0,52	0,2735	
23	Unsicherheit Prüfgas	≤ 3,0%	2,000	u _{cg}	1,05	1,0941	
Kombinierte Standardunsicherheit				u _c		1,6964	nmol/mol
Erweiterte Unsicherheit				U		3,3928	nmol/mol
Relative erweiterte Unsicherheit				W		3,24	%
Maximal erlaubte erweiterte Unsicherheit				W _{req}		15	%

Tabelle 44: Erweiterte Unsicherheit aus der Labor- und Feldprüfung für NO, Gerät 1

Messgerät:		APNA 380		Seriennummer:		FGF7XTX9	
Messkomponente:		NO		1h-Grenzwert:		104,6 nmol/mol	
Nr.	Leistungskenngröße	Anforderung	Ergebnis	Teilunsicherheit		Quadrat der Teilunsicherheit	
1	Wiederholstandardabweichung bei Null	≤ 1,0 nmol/mol	0,000	u _{r,z}	0,00	0,0000	
2	Wiederholstandardabweichung beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol	0,310	u _{r,1h}	nicht berücksichtigt, da $\sqrt{2} \cdot u_{r,1h} = 0,01 < u_{r,f}$	-	
3	"lack of fit" beim 1h-Grenzwert	≤ 4,0% des Messwertes	0,730	u _{l,1h}	0,44	0,1944	
4	Änderung des Probengasdrucks beim 1h-Grenzwert	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	0,100	u _{gp}	0,25	0,0633	
5	Änderung der Probengastemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,030	u _{gt}	0,08	0,0057	
6	Änderung der Umgebungstemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,220	u _{st}	0,55	0,3065	
7	Änderung der el. Spannung beim 1h-Grenzwert	≤ 0,30 nmol/mol/V	0,030	u _v	0,11	0,0132	
8a	Störkomponente H ₂ O mit 19 nmol/mol	≤ 10 nmol/mol (Null)	0,600	u _{H2O}	0,45	0,2004	
		≤ 10 nmol/mol (Span)	0,600				
8b	Störkomponente CO ₂ mit 500 µmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,pos}	0,24	0,0571	
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	1,200				
8c	Störkomponente NH ₃ mit 200 nmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,neg}	0,24	0,0571	
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	0,800				
9	Mittelungsfehler	≤ 7,0% des Messwertes	-1,300	u _{av}	-0,79	0,6164	
10	Vergleichspräzision unter Feldbedingungen	≤ 5,0% des Mittels über 3 Mon.	1,210	u _{r,f}	1,27	1,6019	
11	Langzeitdrift bei Null	≤ 5,0 nmol/mol	0,480	u _{d,l,z}	0,28	0,0768	
12	Langzeitdrift bei Span	≤ 5,0% des Max. des Zert.bereichs	1,020	u _{d,l,1h}	0,62	0,3794	
18	Differenz Proben-/Kalibriergaseingang	≤ 1,0%	-0,220	u _{asc}	-0,23	0,0530	
21	Konvertierwirkungsgrad	≥ 98	99,50	u _{ec}	0,52	0,2735	
23	Unsicherheit Prüfgas	≤ 3,0%	2,000	u _{cg}	1,05	1,0941	
Kombinierte Standardunsicherheit				u _c		2,2216	nmol/mol
Erweiterte Unsicherheit				U		4,4433	nmol/mol
Relative erweiterte Unsicherheit				W		4,25	%
Maximal erlaubte erweiterte Unsicherheit				W _{req}		15	%

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung APNA-380 der Firma Horiba Europe GmbH für die Komponenten NO, NO₂ und NO_x,
Berichts-Nr.: EuL/21262682/B

Seite 129 von 344

Tabelle 45: Erweiterte Unsicherheit aus der Laborprüfung für NO, Gerät 2

Messgerät: APNA 380		Seriennummer: WNL01SY4				
Messkomponente: NO		1h-Grenzwert: 104,6 nmol/mol				
Nr.	Leistungskenngröße	Anforderung	Ergebnis	Teilunsicherheit	Quadrat der Teilunsicherheit	
1	Wiederholstandardabweichung bei Null	≤ 1,0 nmol/mol	0,130	u _{r,z}	0,02	0,0004
2	Wiederholstandardabweichung beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol	0,130	u _{r,lh}	0,00	0,0000
3	"lack of fit" beim 1h-Grenzwert	≤ 4,0% des Messwertes	0,790	u _{l,th}	0,48	0,2276
4	Änderung des Probengasdrucks beim 1h-Grenzwert	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	0,190	u _{gp}	0,48	0,2286
5	Änderung der Probengastemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,050	u _{gt}	0,13	0,0158
6	Änderung der Umgebungstemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,200	u _{st}	0,50	0,2533
7	Änderung der el. Spannung beim 1h-Grenzwert	≤ 0,30 nmol/mol/V	0,010	u _v	0,04	0,0015
8a	Störkomponente H ₂ O mit 19 nmol/mol	≤ 10 nmol/mol (Null)	-0,200	u _{H2O}	-0,12	0,0140
		≤ 10 nmol/mol (Span)	0,000			
8b	Störkomponente CO ₂ mit 500 µmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,pos}	0,24	0,0566
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	0,600			
8c	Störkomponente NH ₃ mit 200 nmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	oder		
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	1,400			
9	Mittelungsfehler	≤ 7,0% des Messwertes	-0,700	u _{av}	-0,42	0,1787
18	Differenz Proben-/Kalibriergaseingang	≤ 1,0%	-0,110	u _{asc}	-0,12	0,0132
21	Konverterwirkungsgrad	≥ 98	99,20	u _{ec}	0,84	0,7002
23	Unsicherheit Prüfgas	≤ 3,0%	2,000	u _{cg}	1,05	1,0941
Kombinierte Standardunsicherheit				u _c	1,6687	nmol/mol
Erweiterte Unsicherheit				U	3,3373	nmol/mol
Relative erweiterte Unsicherheit				W	3,19	%
Maximal erlaubte erweiterte Unsicherheit				W _{req}	15	%

Tabelle 46: Erweiterte Unsicherheit aus der Labor- und Feldprüfung für NO Gerät 2

Messgerät: APNA 380		Seriennummer: WNL01SY4				
Messkomponente: NO		1h-Grenzwert: 104,6 nmol/mol				
Nr.	Leistungskenngröße	Anforderung	Ergebnis	Teilunsicherheit	Quadrat der Teilunsicherheit	
1	Wiederholstandardabweichung bei Null	≤ 1,0 nmol/mol	0,130	u _{r,z}	0,02	0,0004
2	Wiederholstandardabweichung beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol	0,130	u _{r,lh}	nicht berücksichtigt, da $\sqrt{2} \cdot u_{r,lh} = 0 < u_{r,f}$	-
3	"lack of fit" beim 1h-Grenzwert	≤ 4,0% des Messwertes	0,790	u _{l,th}	0,48	0,2276
4	Änderung des Probengasdrucks beim 1h-Grenzwert	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	0,190	u _{gp}	0,48	0,2286
5	Änderung der Probengastemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,050	u _{gt}	0,13	0,0158
6	Änderung der Umgebungstemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,200	u _{st}	0,50	0,2533
7	Änderung der el. Spannung beim 1h-Grenzwert	≤ 0,30 nmol/mol/V	0,010	u _v	0,04	0,0015
8a	Störkomponente H ₂ O mit 19 nmol/mol	≤ 10 nmol/mol (Null)	-0,200	u _{H2O}	-0,12	0,0140
		≤ 10 nmol/mol (Span)	0,000			
8b	Störkomponente CO ₂ mit 500 µmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,pos}	0,24	0,0566
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	0,600			
8c	Störkomponente NH ₃ mit 200 nmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	oder		
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	1,400			
9	Mittelungsfehler	≤ 7,0% des Messwertes	-0,700	u _{av}	-0,42	0,1787
10	Vergleichspräzision unter Feldbedingungen	≤ 5,0% des Mittels über 3 Mon.	1,210	u _{r,f}	1,27	1,6019
11	Langzeitdrift bei Null	≤ 5,0 nmol/mol	-0,240	u _{d,lz}	-0,14	0,0192
12	Langzeitdrift bei Span	≤ 5,0% des Max. des Zert.bereichs	-0,660	u _{d,lh}	-0,40	0,1589
18	Differenz Proben-/Kalibriergaseingang	≤ 1,0%	-0,110	u _{asc}	-0,12	0,0132
21	Konverterwirkungsgrad	≥ 98	99,200	u _{ec}	0,84	0,7002
23	Unsicherheit Prüfgas	≤ 3,0%	2,000	u _{cg}	1,05	1,0941
Kombinierte Standardunsicherheit				u _c	2,1364	nmol/mol
Erweiterte Unsicherheit				U	4,2729	nmol/mol
Relative erweiterte Unsicherheit				W	4,08	%
Maximal erlaubte erweiterte Unsicherheit				W _{req}	15	%



8. Empfehlungen zum Praxiseinsatz

Arbeiten im Wartungsintervall

Folgende regelmäßige Arbeiten sind an der geprüften Messeinrichtung erforderlich:

- Regelmäßige Sichtkontrolle / Telemetrische Überwachung
- Gerätestatus prüfen
- Überprüfung der Geräteanzeige auf Fehlermeldungen
- Austausch des internen Partikelfilters am Probengaseingang je nach Bedingungen am Messort
- Nach DIN EN 14211 alle 14 Tage Durchführung einer Null und Referenzpunkt Überprüfung mit geeigneten Prüfgasen

Im Übrigen sind die Wartungsanweisungen des Herstellers im Kapitel 7 des Handbuches zu beachten.

Immissionsschutz/Luftreinhaltung

Dipl.-Ing. Martin Schneider

Dr. Peter Wilbring

Köln, 07. Februar 2025
EuL/21262682/B

9. Literaturverzeichnis

- [1] VDI 4202 Blatt 1: Eignungsprüfung, Eignungsbekanntgabe und Zertifizierung von Messseinrichtungen zur punktförmigen Messung von gasförmigen Immissionen vom April 2018
- [2] Europäische Norm DIN EN 14211 Außenluft – Messverfahren zur Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid mit Chemolumineszenz, November 2012
- [3] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Rates vom 21. Mai 2008 über die Luftqualität und saubere Luft für Europa
- [4] Richtlinie 2024/2881 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2024 über Luftqualität und saubere Luft für Europa
- [5] EN 14211: Ambient air - Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence, Dezember 2024



10. Anlagen

Anhang 1 Auswertung nach EN 14211:2024

Anhang 2 Akkreditierungs-Urkunde nach DIN EN ISO/IEC 17025

Anhang 3 Wetterdaten während der Feldprüfung

Anhang 4 Handbuch

Anhang 1

Auswertung auf Basis der EN 14211:2024

Die in diesem Bericht aufgeführte Eignungsprüfung wurde auf Basis der VDI 4202-1 (April 2018) und DIN EN 14211 (Stand November 2012) durchgeführt und ausgewertet. Zu Jahreschluss 2024 wurde die Revision der Norm EN 14211 in englischer Sprache veröffentlicht (Datum der Veröffentlichung 18. Dezember 2024). Die Veröffentlichung der Richtlinie in deutscher Sprache wird im Frühjahr 2024 erwartet. Die Prüftechnischen Änderungen, welche in der Norm Revision umgesetzt wurden, waren bereits zu Beginn der Prüfarbeiten bekannt.

Während der Eignungsprüfung der Messeinrichtung Horiba APNA-380 wurden auch die überarbeiteten Anforderungen der EN 14211:2024 berücksichtigt. Prüfungen mit überarbeiteten Anforderungen wurden zusätzlich auch auf Basis der Anforderungen der EN 14211:2024 durchgeführt und ausgewertet. Im Einzelnen sind dies die Punkte:

- 8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion
- 8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks
- 8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur
- 8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur
- 8.5.5 Vergleichstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen (nur Berechnung)

Im folgenden sind die genannten Prüfpunkte einzeln mit den jeweiligen Prüfergebnissen aufgeführt. Änderungen der Prüfanforderungen sind **blau markiert**. Desweiteren wurde die Gesamtunsicherheit mit den Prüfergebnissen nach EN 14211:2024 aufgeführt.



10 8.4.6 Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion (EN 14211:2024)

Die Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion darf maximal 5 nmol/mol am Nullpunkt sowie maximal 4 % des Messwertes bei Konzentrationen größer Null betragen.

7.2 Prüfvorschrift

Die Abweichung von der Linearität bei der Kalibrierfunktion des Messgeräts ist über den Bereich von 0 % bis 95 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches mit mindestens sechs Konzentrationen (einschließlich des Nullpunktes) zu prüfen. Das Messgerät ist bei einer Konzentration von etwa 90 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches zu justieren. Bei jeder Konzentration (einschließlich des Nullpunktes) werden mindestens fünf Einzelmessungen durchgeführt.

Die Konzentrationen werden in folgender Reihenfolge aufgegeben: 80 %, **10%**, 40 %, 0 %, 60 %, 20 % und 95 %. Nach jedem Wechsel der Konzentration sind mindestens vier Einstellzeiten abzuwarten, bevor die nächste Messung durchgeführt wird.

Die Berechnung der linearen Regressionsfunktion und der Abweichungen wird nach Anhang A der EN 14211:2024 durchgeführt. Die Abweichungen von der linearen Regressionsfunktion müssen das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

Erstellung der Regressionsgeraden:

Eine Regressionsgerade der Form $Y_i = A + B * X_i$ ergibt sich durch Berechnung der Funktion

$$Y_i = a + B(X_i - X_z)$$

Zur Berechnung der Regression werden alle Messpunkte (einschließlich Null) herangezogen. Die Anzahl der Messpunkte n ist gleich der Anzahl der Konzentrationsniveaus (mindestens sechs einschließlich Null) multipliziert mit der Anzahl der Wiederholungen (mindestens fünf) bei jedem Konzentrationsniveau.

Der Koeffizient a ist:

$$a = \sum Y_i / n$$

Dabei ist:

- a der Mittelwert der Y-Werte
- Y_i der einzelne Y-Wert
- N die Anzahl der Kalibrierpunkte

Der Koeffizient B ist:

$$B = \left(\sum Y_i (X_i - X_z) \right) / \sum (X_i - X_z)^2$$

Dabei ist:

- X_z der Mittelwert der X-Werte (= $\sum x_i / n$)
- X_i der einzelne X-Wert

Die Funktion $Y_i = a + B (X_i - X_z)$ wird über die Berechnung von A umgewandelt in $Y_i = A + B \cdot X_i$

$$A = a - B \cdot X_z$$

Die Abweichung der Mittelwerte der Kalibrierpunkte (einschließlich des Nullpunktes) werden folgendermaßen berechnet.

Der Mittelwert jedes Kalibrierpunktes (einschließlich des Nullpunktes) bei ein und derselben Konzentration c ist:

$$(Y_a)_c = \sum(Y_i)_c / m$$

Dabei ist:

$(Y_a)_c$ der mittlere Y-Wert beim Konzentrationsniveau c

$(Y_i)_c$ der einzelne Y-Wert beim Konzentrationsniveau c

M die Anzahl der Wiederholungen beim Konzentrationsniveau c

Die Abweichung jedes Mittelwertes (r_c) bei jedem Konzentrationsniveau ist:

$$r_c = (Y_a)_c - (A + B \cdot c)$$

Jede Abweichung eines Wertes relativ zu seinem Konzentrationsniveau c ist:

$$r_{c,rel} = \frac{r_c}{c} \times 100 \%$$

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde für die Komponente NO entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der EN 14211:2024 durchgeführt.

7.4 Auswertung

Es ergeben sich folgende lineare Regressionen:

In Abbildung 13 und Abbildung 14 sind die Ergebnisse der Gruppenmittelwertuntersuchungen zusammenfassend für NO graphisch dargestellt.

Tabelle 47: Abweichungen der Analysenfunktion nach EN 14211:2024

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Größte relative Abweichung r_{max} [%]	≤ 4,0	1,68	✓	1,51	✓
Abweichung bei Null r_z [nmol/mol]	≤ 5,0	1,20	✓	0,60	✓

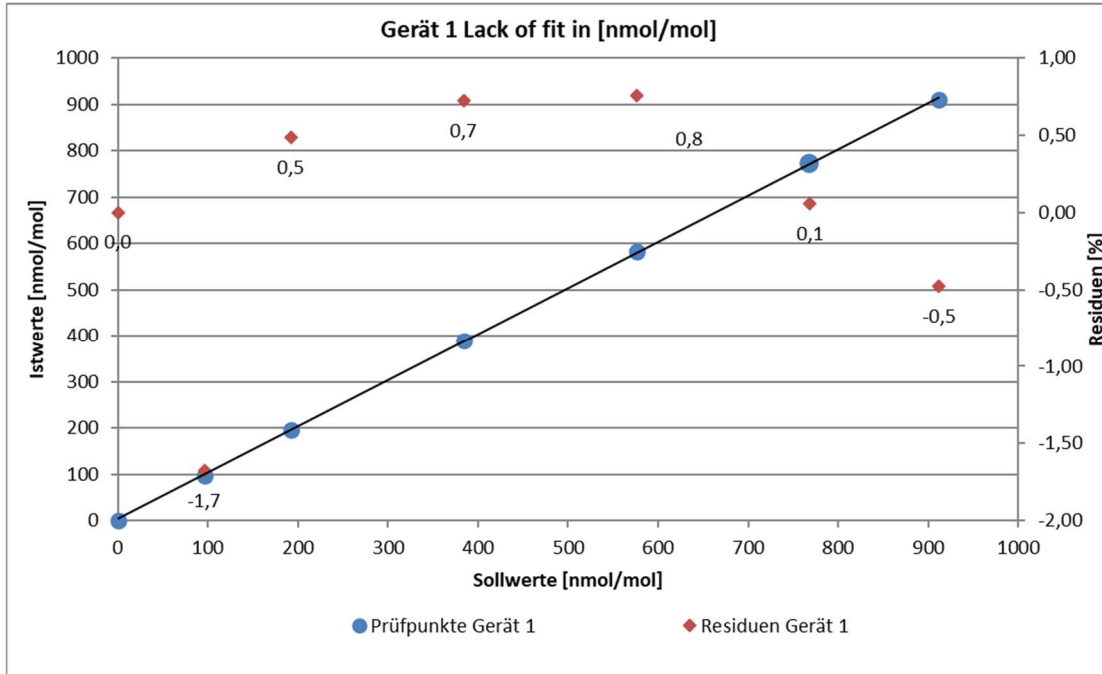


Abbildung 13: Analysenfunktion aus den Gruppenmittelwerten für Gerät 1 (EN 14211:2024)

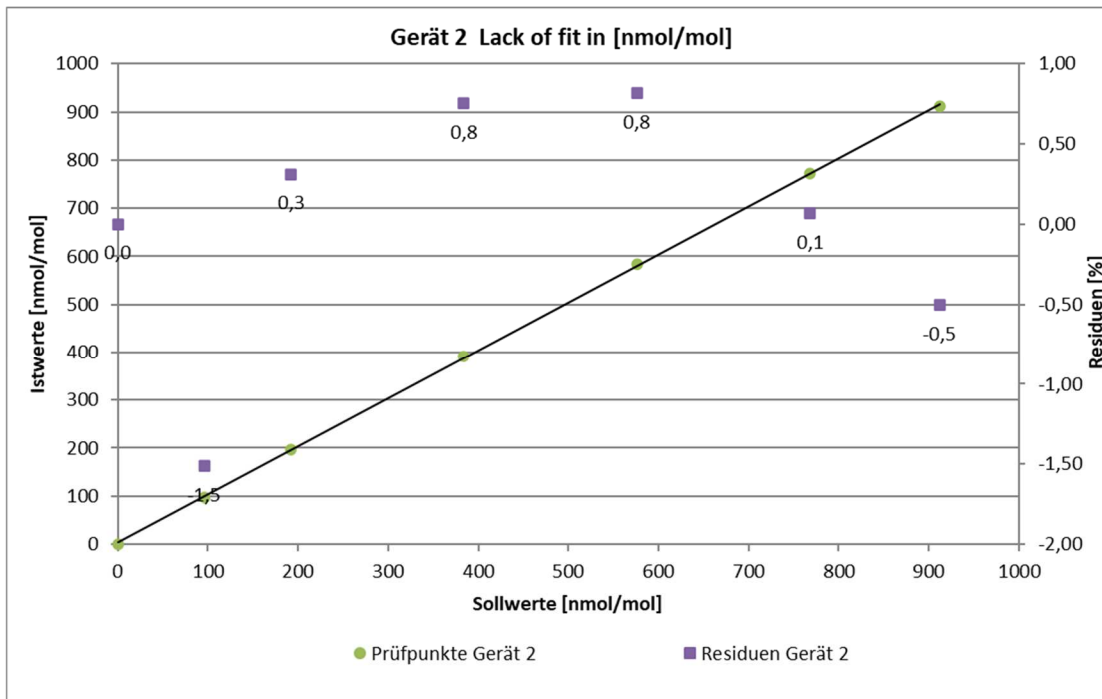


Abbildung 14: Analysenfunktion aus den Gruppenmittelwerten für Gerät 2 (EN 14211:2024)

7.5 Bewertung

Für Gerät 1 ergibt sich eine Abweichung von der linearen Regressionsgerade von 1,20 nmol/mol am Nullpunkt und maximal 1,68 % vom Sollwert bei Konzentrationen größer Null. Für Gerät 2 ergibt sich eine Abweichung von der linearen Regressionsgerade von 0,60 nmol/mol am Nullpunkt und maximal 1,51 % vom Sollwert bei Konzentrationen größer Null.

Die Abweichungen von der idealen Regressionsgeraden überschreiten nicht die in der EN 14211:2024 geforderten Grenzwerte.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Einzelwerte der Prüfung sind in Tabelle 48 dargestellt.



Tabelle 48: Einzelwerte „lack of fit“ Prüfung nach EN 14211:2024

18.03.2024		Gerät 1 [nmol/mol]		Gerät 2 [nmol/mol]	
Zeit	Stufe [%]	Ist Wert y _i	Soll Wert x _i	Ist Wert y _i	Soll Wert x _i
08:16:00	80	772,01	768,00	772,61	768,00
08:17:00	80	772,01	768,00	772,61	768,00
08:18:00	80	772,01	768,00	772,01	768,00
08:19:00	80	771,40	768,00	772,01	768,00
08:20:00	80	771,40	768,00	772,61	768,00
Mittelwert		771,76		772,37	
r _{c,rel}		0,06		0,07	
08:26:00	10	98,00	96,00	97,40	96,00
08:27:00	10	98,00	96,00	98,00	96,00
08:28:00	10	98,00	96,00	98,00	96,00
08:29:00	10	98,00	96,00	98,00	96,00
08:30:00	10	98,61	96,00	98,00	96,00
Mittelwert		98,12		97,88	
r _{c,rel}		-1,68		-1,51	
08:36:00	40	390,21	384,00	390,81	384,00
08:37:00	40	390,21	384,00	390,81	384,00
08:38:00	40	390,21	384,00	390,21	384,00
08:39:00	40	390,21	384,00	390,21	384,00
08:40:00	40	390,81	384,00	390,21	384,00
Mittelwert		390,33		390,45	
r _{c,rel}		0,72		0,75	
08:46:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
08:47:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
08:48:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
08:49:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
08:50:00	0	1,20	0,00	0,60	0,00
Mittelwert		1,20		0,60	
r _z		1,20		0,60	
08:56:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
08:57:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
08:58:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
08:59:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
09:00:00	60	583,81	576,00	584,42	576,00
Mittelwert		583,81		584,42	
r _{c,rel}		0,76		0,82	
09:06:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
09:07:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
09:08:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
09:09:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
09:10:00	20	196,61	192,00	196,01	192,00
Mittelwert		196,61		196,01	
r _{c,rel}		0,49		0,31	
09:16:00	95	910,89	912,00	911,50	912,00
09:17:00	95	910,89	912,00	911,50	912,00
09:18:00	95	910,89	912,00	911,50	912,00
09:19:00	95	910,89	912,00	911,50	912,00
09:20:00	95	910,89	912,00	910,89	912,00
Mittelwert		910,89		911,37	
r _{c,rel}		-0,48		-0,50	

10 8.4.7 Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks (EN 14211:2024)

Der Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdruckes muss $\leq 8,0$ nmol/mol/kPa betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Messungen werden bei einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches bei absoluten Drücken von etwa **90 kPa** \pm 0,2 kPa und etwa 110 kPa \pm 0,2 kPa durchgeführt. Bei jedem Druck sind nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen durchzuführen. Die Mittelwerte dieser Messungen bei den beiden Drücken werden berechnet.

Messungen bei verschiedenen Drücken müssen durch mindestens vier Einstellzeiten voneinander getrennt sein.

Gerätehersteller müssen detailliert beschreiben, wie die Druckkorrektur in ihrem Gerät umgesetzt wird und wo sich die für diese Berechnungen verwendeten Drucksensoren genau befinden.

- Option 1: Wenn die Druckkompensationshardware vollständig im Probengasweg und der Messzelle enthalten ist, werden die Geräte im Labor getestet, indem der Probeneinlassdruck im Bereich von 90 kPa bis 110 kPa variiert wird. Wenn ein Gerät über mehrere Strömungswege verfügt (z. B. den O₃-Strömungsweg für chemilumineszierende NO_x-Analysatoren oder Basislinien-Querströmungssysteme), muss der Einlassdruck für diese bestimmten Wege identisch und gleichzeitig mit dem Druck im Hauptprobenströmungsweg variiert werden.
- Option 2: Wenn eine Manipulation des Einlassdrucks der Probenströmungswege oder der zusätzlichen Strömungswege technisch nicht möglich ist oder wenn die Druckkompensation auf anderen Drucksensoren außerhalb der betroffenen Strömungswege basiert, müssen die Geräte an einem geeigneten Druckprüfstand getestet werden. Ein Beispiel ist in Anhang H beschrieben. Die Instrumente werden im Labor getestet, indem der Probeneinlassdruck im Bereich von 90 kPa bis 110 kPa variiert wird.

Der Empfindlichkeitskoeffizient des Probendruckes ergibt sich wie folgt:

$$b_{gp} = \left| \frac{(C_{P2} - C_{P1})}{(P_2 - P_1)} \right|$$

Dabei ist:

- b_{gp} der Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdruckes
 C_{P1} der Mittelwert der Messung beim Probengasdruck P_1
 C_{P2} der Mittelwert der Messung beim Probengasdruck P_2
 P_1 der Probengasdruck P_1
 P_2 der Probengasdruck P_2
 b_{gp} muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.



Die Prüfung muss nach Vorschrift mit der Komponente NO durchgeführt werden. Die Prüfung soll dabei gemäß EN 14211 bei einem Konzentrationslevel von 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereiches für NO durchgeführt werden.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der EN 14211:2024 unter Anwendung der Prüfoption 1 durchgeführt.

Die Messung des Umgebungsdrucks (und damit auch des Probengasdrucks im Analysator) erfolgt beim APNA-380 durch einen auf dem Board installierten Drucksensor. Dieser musste bei der Durchführung dieser Prüfung im gleichen Verhältnis wie das Probengas unter Über- bzw. Unterdruck gesetzt werden.

Getrennt vom Probengasweg im Analysator bezieht der Ozonator die zur Ozonerzeugung nötige Luft über einen Luftfilter im inneren des Analysatorgehäuses. Der Luftfilter wurde abmontiert, und der Luftzugang zum Ozonator ebenfalls unter Über- bzw. Unterdruck gesetzt.

Ein Unterdruck konnte jeweils durch Verringerung des zugeführten Prüfgasvolumens mittels Restriktion der Probengasleitung /Luftzuleitung erzeugt werden. Bei der Überdruckprüfung wurde die Messeinrichtung an eine Prüfgasquelle angeschlossen. Die erzeugte Prüfgasmenge/Luftmenge wurde höher als die von den Analysatoren angesaugte Probengasmenge eingestellt. Das überschüssige Gas wird über ein T-Stück abgeleitet. Die Erzeugung des Überdrucks wurde durch entsprechende Restriktion der Bypassleitung durchgeführt. Der Prüfgasdruck wurde dabei von einem Druckaufnehmer im Prüfgasweg ermittelt.

Einzelmessungen werden mit Konzentrationen von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches und Probengasdrücken von **90 kPa** und 110 kPa durchgeführt.

7.4 Auswertung

Es ergaben sich folgende Empfindlichkeitskoeffizienten für den Probengasdruck.

Tabelle 49: Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks nach EN 14211:2024

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Empfindlichkeitskoeff. Probengasdruck b_{gp} [nmol/mol/kPa]	≤ 8,0	0,26	✓	0,24	✓

7.5 Bewertung

Für NO ergibt sich nach EN 14211:2024 ein Empfindlichkeitskoeffizient des Probengasdrucks von 0,26 nmol/mol/kPa für Gerät 1 sowie 0,24 nmol/mol/kPa für Gerät 2.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 50: Einzelwerte der Empfindlichkeit des Probengasdrucks für NO nach EN 14211:2024

03.04.2024			Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit	Druck [kPa]	Konzentration	[nmol/mol]	[nmol/mol]
13:41:00	90	720,00	720,30	720,30
13:42:00	90	720,00	720,30	720,30
13:43:00	90	720,00	720,30	720,30
Mittelwert C_{P1}			720,30	720,30
13:24:00	110	720,00	725,11	725,11
13:25:00	110	720,00	725,71	725,11
13:26:00	110	720,00	725,71	725,11
Mittelwert C_{P2}			725,51	725,11



10 8.4.8 Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur (EN 14211:2024)

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur muss $\leq 3,0$ nmol/mol/K betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Zur Bestimmung der Abhängigkeit von der Probengastemperatur werden Messungen bei Probengastemperaturen von **$T_1 = 5$ °C und $T_2 = 40$ °C** durchgeführt. Die Temperaturabhängigkeit wird bei einer Konzentration von etwa 70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches bestimmt. Nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, sind drei Einzelmessungen bei jeder Temperatur durchzuführen.

Die Probengastemperatur am Einlass des Messgerätes muss mindestens 30 min konstant sein.

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur ergibt sich wie folgt:

$$b_{gt} = \frac{(C_{GT,2} - C_{GT,1})}{(T_{G,2} - T_{G,1})}$$

Dabei ist:

- b_{gt} der Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur
- $C_{GT,1}$ der Mittelwert der Messung bei der Probengastemperatur $T_{G,1}$
- $C_{GT,2}$ der Mittelwert der Messung bei der Probengastemperatur $T_{G,2}$
- $T_{G,1}$ die Probengastemperatur $T_{G,1}$
- $T_{G,2}$ die Probengastemperatur $T_{G,2}$
- b_{gt} muss das oben genannte Leistungskriterium erfüllen

Die Prüfung muss nach Vorschrift mit der Komponente NO durchgeführt werden. Die Prüfung soll dabei gemäß EN 14211:2024 bei einem Konzentrationslevel von 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereiches für NO durchgeführt werden.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der EN 14211:2024 durchgeführt.

Zur Prüfung wurden das Prüfgas sowie das Verdünnungsgas in der Klimakammer platziert. Das Prüfgasgemisch wurde durch ein ca. 50 Meter langes Schlauchbündel geführt, welches sich in einer Klimakammer befand. Die Messgeräte wurden unmittelbar vor der Klimakammer installiert. Das Ende des Schlauchbündels wurde aus der Klimakammer herausgelegt und an die Messsysteme angeschlossen. Die Zuleitung außerhalb der Klimakammer wurde isoliert und unmittelbar vor den Messeinrichtungen wurde die Probengastemperatur mittels eines Thermoelementes überwacht. Die Klimakammertemperatur wurde eingeregelt, so dass die Gastemperatur unmittelbar vor den Analysatoren 5 °C bzw. 40 °C betrug.

7.4 Auswertung

Tabelle 51: Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur nach EN 14211:2024

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Empfindlichkeitskoeff. Probengastemp. b_{gt} [nmol/mol/K]	$\leq 3,0$	0,05	✓	0,07	✓

7.5 Bewertung

Es ergibt sich ein Empfindlichkeitskoeffizient der Probengastemperatur von 0,05 nmol/mol/K für Gerät 1 sowie 0,07 nmol/mol/K für Gerät 2.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Tabelle 52: Einzelwerte des Einflusses des Probengastemperatur nach EN 14211:2024

12.04.2024			Gerät 1	Gerät 2
Uhrzeit	Temp [°C]	Konzentration	[nmol/mol]	[nmol/mol]
07:20:00	5	720.00	724.51	722.10
07:21:00	5	720.00	723.91	723.30
07:22:00	5	720.00	723.91	724.51
Mittelwert $C_{GT,1}$			724.11	723.30
13:04:00	40	720.00	726.31	725.71
13:05:00	40	720.00	725.71	725.71
13:06:00	40	720.00	725.71	726.31
Mittelwert $C_{GT,2}$			725.91	725.91



10 8.4.9 Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur (EN 14211:2024)

Der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur muss $\leq 3,0$ nmol/mol/K betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Die Empfindlichkeit der Messergebnisse gegenüber durch den Einfluss der Umgebungstemperatur wird durch Messungen bei folgenden Temperaturen (oder innerhalb der Spezifikationen des Herstellers) ermittelt:

- 1) der niedrigsten Temperatur $T_{\min} = 5$ °C
- 2) der Labortemperatur $T_l = 20$ °C
- 3) der höchsten Temperatur $T_{\max} = 40$ °C

Für diese Prüfungen ist eine Klimakammer erforderlich.

Die Prüfung muss nach Vorschrift mit der Komponente NO durchgeführt werden. Die Prüfung soll dabei gemäß EN 14211:2024 bei einem Konzentrationslevel von 70 % bis 80 % des Zertifizierungsbereiches für NO durchgeführt werden.

Bei jeder Temperatur sind nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen bei Null und der Span-Konzentration durchzuführen.

Die Messungen werden bezüglich der Temperatur in folgender Reihenfolge durchgeführt:

T_l, T_{\min}, T_l und T_l, T_{\max}, T_l

Bei der ersten Temperatur (T_l) wird das Messgerät bei Null- und Spanniveaue (70 % bis 80 % des Maximums des Zertifizierungsbereiches) eingestellt. Dann werden nach einer Zeitspanne, die einer unabhängigen Messung entspricht, drei Einzelmessungen bei T_l, T_{\min} und wieder bei T_l durchgeführt. Diese Vorgehensweise wird bei der Temperaturfolge T_l, T_{\max} und T_l wiederholt.

Um eine auf andere Faktoren als die Temperatur zurückgehende Drift auszuschließen, werden die Messungen bei T_l gemittelt; diese Mittelung wird in der folgenden Gleichung zur Berechnung des Einflusses der Umgebungstemperatur berücksichtigt:

$$b_{st} = \left| \frac{x_T - \frac{x_1 + x_2}{2}}{T_S - T_{S,0}} \right|$$

Dabei ist:

- b_{st} der Empfindlichkeitskoeffizient von der Umgebungstemperatur
- x_T der Mittelwert der Messungen bei T_{\min} oder T_{\max}
- x_1 der erste Mittelwert der Messungen bei T_l
- x_2 der zweite Mittelwert der Messungen bei T_l
- T_S die Umgebungstemperatur im Labor
- $T_{S,0}$ die mittlere Umgebungstemperatur am festgelegten Punkt

Für die Dokumentation der Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur wird der höhere der Werte der Temperaturabhängigkeit bei $T_{S,1}$ oder $T_{S,2}$ gewählt.

b_{st} muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Die Prüfung wurde entsprechend den zuvor genannten Prüfvorschriften der EN 14211:2024 durchgeführt.

7.4 Auswertung

Es ergaben sich folgende Empfindlichkeiten gegenüber der Umgebungstemperatur

Tabelle 53: Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur nach EN 14211:2024

	Anforderung	Gerät 1		Gerät 2	
Empf. Koeffizient bei 5 °C für Nullniveau [nmol/mol/K]	≤ 3,0	0,040	✓	0,020	✓
Empf. Koeffizient bei 40 °C für Nullniveau [nmol/mol/K]	≤ 3,0	0,015	✓	0,000	✓
Empf. Koeffizient bei 5 °C für Span-Niveau [nmol/mol/K]	≤ 3,0	0,013	✓	0,134	✓
Empf. Koeffizient bei 40 °C für Span-Niveau [nmol/mol/K]	≤ 3,0	0,240	✓	0,301	✓

Wie in Tabelle 53 zu sehen, erfüllt der Empfindlichkeitskoeffizient der Umgebungstemperatur am Null- und Referenzpunkt die Leistungsanforderungen.

7.5 Bewertung

Der Empfindlichkeitskoeffizient b_{st} der Umgebungstemperatur überschreitet nicht die Anforderungen von maximal 3,0 nmol/mol/K. In der Unsicherheitsberechnung wird für beide Geräte der größte Empfindlichkeitskoeffizient b_{st} gewählt. Für die Komponente NO sind dies für Gerät 1 = 0,240 nmol/mol/K und für Gerät 2 = 0,301 nmol/mol/K.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Die Einzelwerte der Prüfung sind in Tabelle 54 aufgeführt.



Tabelle 54: Einzelwerte des Empfindlichkeitskoeffizienten der Umgebungstemperatur nach EN 14211:2024

Datum	Nullpunkt				Span-Konzentration			
	Uhrzeit	Temp [°C]	Gerät 1 [nmol/mol]	Gerät 2 [nmol/mol]	Uhrzeit	Temp [°C]	Gerät 1 [nmol/mol]	Gerät 2 [nmol/mol]
08.04.2024	08:42:00	20	0,6	0,6	08:55:00	20	722,1	721,5
08.04.2024	08:43:00	20	0,6	0,6	08:56:00	20	722,1	721,5
08.04.2024	08:44:00	20	0,6	0,6	08:57:00	20	722,1	722,1
Mittelwert (X _{1(TS1)})			0,6	0,6			722,1	721,7
08.04.2024	15:34:00	5	1,2	1,2	15:47:00	5	721,5	723,3
08.04.2024	15:35:00	5	1,2	1,2	15:48:00	5	721,5	723,3
08.04.2024	15:36:00	5	1,2	1,2	15:49:00	5	721,5	723,3
Mittelwert (X _{TS,1})			1,2	1,2			721,5	723,3
09.04.2024	07:56:00	20	0,6	1,2	08:11:00	20	720,9	720,9
09.04.2024	07:57:00	20	0,6	1,2	08:12:00	20	721,5	720,9
09.04.2024	07:58:00	20	0,6	1,2	08:13:00	20	721,5	720,9
Mittelwert (X _{2(TS1)}) = (X _{1(TS2)})			0,6	1,2			721,3	720,9
09.04.2024	14:44:00	40	0,6	1,2	14:55:00	40	725,7	726,9
09.04.2024	14:45:00	40	0,6	1,2	14:56:00	40	725,7	727,5
09.04.2024	14:46:00	40	0,6	1,2	14:57:00	40	724,5	726,3
Mittelwert (X _{TS,2})			0,6	1,2			725,3	726,9
10.04.2024	07:17:00	20	1,2	1,2	07:31:00	20	719,7	720,9
10.04.2024	07:18:00	20	1,2	1,2	07:32:00	20	719,7	720,9
10.04.2024	07:19:00	20	1,2	1,2	07:33:00	20	719,7	720,9
Mittelwert (X _{2(TS2)})			1,2	1,2			719,7	720,9

10 8.5.5 Vergleichstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen (EN 14211:2024)

Die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen darf maximal $\leq 5\%$ des Mittels über eine Zeitspanne von 3 Monaten betragen.

7.2 Prüfvorschriften

Die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen wird aus den während der dreimonatigen Zeitspanne stündlich gemittelten Messwerten berechnet.

Die Differenz $\Delta x_{f,i}$ für jede i-te Parallelmessung ist:

$$\Delta x_{f,i} = x_{f,1,i} - x_{f,2,i}$$

Dabei ist:

$\Delta x_{f,i}$ die i-te Differenz einer Parallelmessung

$x_{f,1,i}$ das i-te Messergebnis von Messgerät 1

$x_{f,2,i}$ das i-te Messergebnis von Messgerät 2

Die Vergleichsstandardabweichung (unter Feldbedingungen) ist:

$$s_{r,f} = \frac{\left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_{f,i}^2}{2 * n}} \right)}{c_f} \times 100$$

Dabei ist:

$s_{r,f}$ die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen (%)

n die Anzahl der Parallelmessungen

c_f ist entweder die während des Feldtests gemessene durchschnittliche Stickstoffdioxidkonzentration in nmol/mol oder 20 % des Zertifizierungsbereichs von Stickstoffdioxid in nmol/mol, je nachdem, welcher Wert höher ist.

Die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen, $s_{r,f}$, muss das oben angegebene Leistungskriterium erfüllen.

7.3 Durchführung der Prüfung

Aus den während der Feldprüfung stündlich gemittelten NO₂ Werten, wurde die Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen mit Hilfe der oben genannten Formeln ermittelt.

Der Mittelwert für NO₂ lag im Zeitraum der Feldprüfungen bei 12,27 ppb (nmol/mol). Der Zertifizierungsbereich für NO₂ nach EN 14211:2024 ist 0 – 261 ppb (nmol/mol). Der Wert von 20 % des Zertifizierungsbereichs = 52,2 ppb (nmol/mol) ist höher als der Mittelwert der während des Feldtests gemessenen Stickstoffdioxidkonzentration. Somit wird die Auswertung der Vergleichsmessung unter Feldbedingungen auf 52,2 ppb (nmol/mol) bezogen.

7.4 Auswertung

Tabelle 55: Bestimmung der Vergleichsstandardabweichung für NO₂ auf Basis aller Daten aus dem Feldtest

Vergleichsstandardabweichung im Feldtest		
Stichprobenumfang	[n]	2283
Mittelwert beider Geräte	[nmol/mol]	12,27
Stabw. Aus Doppelbestimmungen	[nmol/mol]	0,149
Vergleichsstandardabweichung im Feld $S_{r,f}$	[%]	0,29
Anforderung	≤ 5,0 %	✓

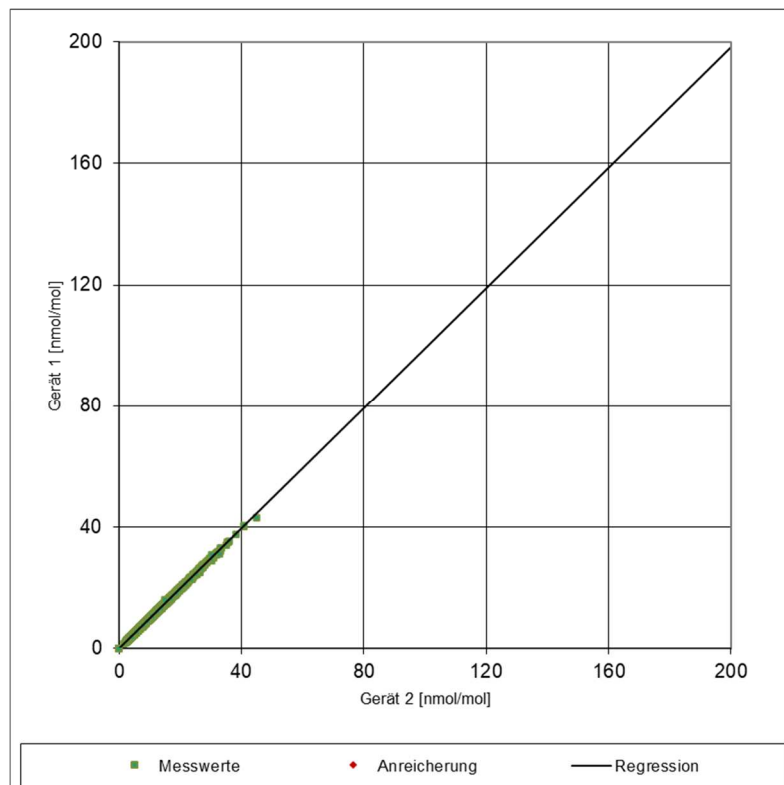


Abbildung 15: Grafische Darstellung der Vergleichsstandardabweichung für NO₂ im Feld

Es ergibt sich eine Vergleichsstandardabweichung unter Feldbedingungen von 0,29 % bezogen auf 20% des Zertifizierungsbereiches von NO₂. Dieser Wert wird auch für die Berechnung der Gesamtunsicherheit nach EN 14211:2024 verwendet.

7.5 Bewertung

Die Vergleichstandardabweichung für NO₂ unter Feldbedingungen betrug 0,29 % bezogen auf 20% des Zertifizierungsbereiches von NO₂ über die Dauer des Feldtests von 3 Monaten. Damit sind die Anforderungen der EN 14211:2024 eingehalten.

Mindestanforderung erfüllt? ja

7.6 Umfassende Darstellung des Prüfergebnisses

Hier nicht notwendig.



10 Gesamtmessunsicherheit nach Anhang E der EN 14211 (2024)

Tabelle 56: Erweiterte Unsicherheit aus der Laborprüfung für NO, Gerät 1 nach EN 14211:2024

Messgerät: APNA 380		Seriennummer: FGF7XTX9				
Messkomponente: NO		1h-Grenzwert: 104,6		nmol/mol		
Nr.	Leistungskenngröße	Anforderung	Ergebnis	Teilunsicherheit		Quadrat der Teilunsicherheit
1	Wiederholstandardabweichung bei Null	≤ 1,0 nmol/mol	0,000	u _{r,z}	0,00	0,0000
2	Wiederholstandardabweichung beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol	0,310	u _{r,1h}	0,01	0,0001
3	"lack of fit" beim 1h-Grenzwert	≤ 4,0% des Messwertes	1,680	u _{if,1h}	1,01	1,0293
4	Änderung des Probengasdrucks beim 1h-Grenzwert	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	0,260	u _{gp}	0,44	0,1902
5	Änderung der Probengastemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,050	u _{gt}	0,15	0,0215
6	Änderung der Umgebungstemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,240	u _{st}	0,70	0,4964
7	Änderung der el. Spannung beim 1h-Grenzwert	≤ 0,30 nmol/mol/V	0,030	u _v	0,11	0,0132
8a	Störkomponente H ₂ O mit 19 mmol/mol	≤ 10 nmol/mol (Null)	0,600	u _{H2O}	0,45	0,2004
		≤ 10 nmol/mol (Span)	0,600			
8b	Störkomponente CO ₂ mit 500 µmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,pos}	0,24	0,0571
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	1,200			
8c	Störkomponente NH ₃ mit 200 nmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,neg}	0,24	0,0571
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	0,800			
9	Mittelungsfehler	≤ 7,0% des Messwertes	-1,300	u _{av}	-0,79	0,6164
18	Differenz Proben-/Kalibriergaseingang	≤ 1,0%	-0,220	u _{asc}	-0,23	0,0530
21	Konverterwirkungsgrad	≥ 98	99,50	u _{ec}	0,52	0,2735
23	Unsicherheit Prüfgas	≤ 3,0%	2,000	u _{cg}	1,05	1,0941
Kombinierte Standardunsicherheit				u _c		2,0113
Erweiterte Unsicherheit				U		4,0227
Relative erweiterte Unsicherheit				W		3,85
Maximal erlaubte erweiterte Unsicherheit				W _{req}		15

Tabelle 57: Erweiterte Unsicherheit aus der Labor- und Feldprüfung für NO, Gerät 1 nach EN 14211:2024

Messgerät: APNA 380		Seriennummer: FGF7XTX9				
Messkomponente: NO		1h-Grenzwert: 104,6		nmol/mol		
Nr.	Leistungskenngröße	Anforderung	Ergebnis	Teilunsicherheit		Quadrat der Teilunsicherheit
1	Wiederholstandardabweichung bei Null	≤ 1,0 nmol/mol	0,000	u _{r,z}	0,00	0,0000
2	Wiederholstandardabweichung beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol	0,310	u _{r,1h}	nicht berücksichtigt, da $\sqrt{2} \cdot u_{r,1h} = 0,01 < u_{r,f}$	-
3	"lack of fit" beim 1h-Grenzwert	≤ 4,0% des Messwertes	1,680	u _{if,1h}	1,01	1,0293
4	Änderung des Probengasdrucks beim 1h-Grenzwert	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	0,260	u _{gp}	0,44	0,1902
5	Änderung der Probengastemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,050	u _{gt}	0,15	0,0215
6	Änderung der Umgebungstemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,240	u _{st}	0,70	0,4964
7	Änderung der el. Spannung beim 1h-Grenzwert	≤ 0,30 nmol/mol/V	0,030	u _v	0,11	0,0132
8a	Störkomponente H ₂ O mit 19 mmol/mol	≤ 10 nmol/mol (Null)	0,600	u _{H2O}	0,45	0,2004
		≤ 10 nmol/mol (Span)	0,600			
8b	Störkomponente CO ₂ mit 500 µmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,pos}	0,24	0,0571
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	1,200			
8c	Störkomponente NH ₃ mit 200 nmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,neg}	0,24	0,0571
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	0,800			
9	Mittelungsfehler	≤ 7,0% des Messwertes	-1,300	u _{av}	-0,79	0,6164
10	Vergleichspräzision unter Feldbedingungen	≤ 5,0% des Mittels über 3 Mon.	0,290	u _f	0,30	0,0920
11	Langzeitdrift bei Null	≤ 5,0 nmol/mol	0,480	u _{d,l,z}	0,28	0,0768
12	Langzeitdrift bei Span	≤ 5,0% des Max. des Zeit.bereichs	1,020	u _{d,l,1h}	0,62	0,3794
18	Differenz Proben-/Kalibriergaseingang	≤ 1,0%	-0,220	u _{asc}	-0,23	0,0530
21	Konverterwirkungsgrad	≥ 98	99,500	u _{ec}	0,52	0,2735
23	Unsicherheit Prüfgas	≤ 3,0%	2,000	u _{cg}	1,05	1,0941
Kombinierte Standardunsicherheit				u _c		2,1432
Erweiterte Unsicherheit				U		4,2865
Relative erweiterte Unsicherheit				W		4,10
Maximal erlaubte erweiterte Unsicherheit				W _{req}		15

Bericht über die Eignungsprüfung der Immissionsmesseinrichtung APNA-380 der Firma Horiba Europe GmbH für die Komponenten NO, NO₂ und NO_x,
Berichts-Nr.: EuL/21262682/B

Seite 151 von 344

Tabelle 58: Erweiterte Unsicherheit aus der Laborprüfung für NO, Gerät 2 nach EN 14211:2024

Messgerät: APNA 380		Seriennummer: WNL01SY4					
Messkomponente: NO		1h-Grenzwert: 104,6		nmol/mol			
Nr.	Leistungskenngröße	Anforderung	Ergebnis	Teilunsicherheit		Quadrat der Teilunsicherheit	
1	Wiederholstandardabweichung bei Null	≤ 1,0 nmol/mol	0,130	u _{r,z}	0,02	0,0004	
2	Wiederholstandardabweichung beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol	0,130	u _{r,1h}	0,00	0,0000	
3	"lack of fit" beim 1h-Grenzwert	≤ 4,0% des Messwertes	1,510	u _{lf,1h}	0,91	0,8316	
4	Änderung des Probengasdrucks beim 1h-Grenzwert	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	0,240	u _{gp}	0,40	0,1621	
5	Änderung der Probengastemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,070	u _{gt}	0,21	0,0422	
6	Änderung der Umgebungstemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,301	u _{st}	0,88	0,7808	
7	Änderung der el. Spannung beim 1h-Grenzwert	≤ 0,30 nmol/mol/V	0,010	u _v	0,04	0,0015	
8a	Störkomponente H ₂ O mit 19 nmol/mol	≤ 10 nmol/mol (Null)	-0,200	u _{H2O}	-0,12	0,0140	
		≤ 10 nmol/mol (Span)	0,000				
8b	Störkomponente CO ₂ mit 500 µmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,pos}	0,24	0,0566	
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	0,600				
8c	Störkomponente NH ₃ mit 200 nmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	oder	0,24	0,0566	
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	1,400				
9	Mittelungsfehler	≤ 7,0% des Messwertes	-0,700	u _{av}	-0,42	0,1787	
18	Differenz Proben-/Kalibriergaseingang	≤ 1,0%	-0,110	u _{asc}	-0,12	0,0132	
21	Konvertierungswirkungsgrad	≥ 98	99,20	u _{ec}	0,84	0,7002	
23	Unsicherheit Prüfgas	≤ 3,0%	2,000	u _{cg}	1,05	1,0941	
Kombinierte Standardunsicherheit				u _c		1,9687	nmol/mol
Erweiterte Unsicherheit				U		3,9374	nmol/mol
Relative erweiterte Unsicherheit				W		3,76	%
Maximal erlaubte erweiterte Unsicherheit				W _{req}		15	%

Tabelle 59: Erweiterte Unsicherheit aus der Labor- und Feldprüfung für NO Gerät 2 nach EN 14211:2024

Messgerät: APNA 380		Seriennummer: WNL01SY4					
Messkomponente: NO		1h-Grenzwert: 104,6		nmol/mol			
Nr.	Leistungskenngröße	Anforderung	Ergebnis	Teilunsicherheit		Quadrat der Teilunsicherheit	
1	Wiederholstandardabweichung bei Null	≤ 1,0 nmol/mol	0,130	u _{r,z}	0,02	0,0004	
2	Wiederholstandardabweichung beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol	0,130	u _{r,1h}	nicht berücksichtigt, da $\sqrt{2} \cdot u_{r,1h} = 0 < u_{r,f}$	-	
3	"lack of fit" beim 1h-Grenzwert	≤ 4,0% des Messwertes	1,510	u _{lf,1h}	0,91	0,8316	
4	Änderung des Probengasdrucks beim 1h-Grenzwert	≤ 8,0 nmol/mol/kPa	0,240	u _{gp}	0,40	0,1621	
5	Änderung der Probengastemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,070	u _{gt}	0,21	0,0422	
6	Änderung der Umgebungstemperatur beim 1h-Grenzwert	≤ 3,0 nmol/mol/K	0,301	u _{st}	0,88	0,7808	
7	Änderung der el. Spannung beim 1h-Grenzwert	≤ 0,30 nmol/mol/V	0,010	u _v	0,04	0,0015	
8a	Störkomponente H ₂ O mit 19 nmol/mol	≤ 10 nmol/mol (Null)	-0,200	u _{H2O}	-0,12	0,0140	
		≤ 10 nmol/mol (Span)	0,000				
8b	Störkomponente CO ₂ mit 500 µmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	u _{int,pos}	0,24	0,0566	
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	0,600				
8c	Störkomponente NH ₃ mit 200 nmol/mol	≤ 5,0 nmol/mol (Null)	0,000	oder	0,24	0,0566	
		≤ 5,0 nmol/mol (Span)	1,400				
9	Mittelungsfehler	≤ 7,0% des Messwertes	-0,700	u _{av}	-0,42	0,1787	
10	Vergleichspräzision unter Feldbedingungen	≤ 5,0% des Mittels über 3 Mon.	0,290	u _{r,f}	0,30	0,0920	
11	Langzeitdrift bei Null	≤ 5,0 nmol/mol	-0,240	u _{d,z}	-0,14	0,0192	
12	Langzeitdrift bei Span	≤ 5,0% des Max. des Zert.bereichs	-0,660	u _{d,1h}	-0,40	0,1589	
18	Differenz Proben-/Kalibriergaseingang	≤ 1,0%	-0,110	u _{asc}	-0,12	0,0132	
21	Konvertierungswirkungsgrad	≥ 98	99,20	u _{ec}	0,84	0,7002	
23	Unsicherheit Prüfgas	≤ 3,0%	2,000	u _{cg}	1,05	1,0941	
Kombinierte Standardunsicherheit				u _c		2,0361	nmol/mol
Erweiterte Unsicherheit				U		4,0723	nmol/mol
Relative erweiterte Unsicherheit				W		3,89	%
Maximal erlaubte erweiterte Unsicherheit				W _{req}		15	%



Anhang 2:



Akkreditierung



Die Deutsche Akkreditierungsstelle bestätigt mit dieser **Teil-Akkreditierungsurkunde**, dass das Prüflaboratorium

TÜV Rheinland Energy & Environment GmbH
Am Grauen Stein, 51105 Köln

die Anforderungen gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2018 für die in der Anlage zu dieser Urkunde aufgeführten Konformitätsbewertungstätigkeiten erfüllt. Dies schließt zusätzliche bestehende gesetzliche und normative Anforderungen an das Prüflaboratorium ein, einschließlich solcher in relevanten sektoralen Programmen, sofern diese in der Anlage zu dieser Urkunde ausdrücklich bestätigt werden.

Die Anforderungen an das Managementsystem in der DIN EN ISO/IEC 17025 sind in einer für Prüflaboratorien relevanten Sprache verfasst und stehen insgesamt in Übereinstimmung mit den Prinzipien der DIN EN ISO 9001.

Diese Akkreditierung wurde gemäß Art. 5 Abs. 1 Satz 2 VO (EG) 765/2008, nach Durchführung eines Akkreditierungsverfahrens unter Beachtung der Mindestanforderungen der DIN EN ISO/IEC 17011 und auf Grundlage einer Bewertung und Entscheidung durch den eingesetzten Akkreditierungsausschuss ausgestellt.

Diese Teil-Akkreditierungsurkunde gilt nur in Verbindung mit dem Bescheid vom 06.12.2023 mit der Akkreditierungsnummer D-PL-11120-02.
Sie besteht aus diesem Deckblatt, der Rückseite des Deckblatts und der folgenden Anlage mit insgesamt 8 Seiten.

Registrierungsnummer der Teil-Akkreditierungsurkunde: **D-PL-11120-02-02**
Sie ist Bestandteil der Akkreditierungsurkunde D-PL-11120-02-00.

Berlin, 06.12.2023


Im Auftrag Dr. Joachim Kintrup
Fachbereichsleitung

Diese Urkunde gibt den Stand zum Zeitpunkt des Ausstellungsdatums wieder. Der jeweils aktuelle Stand der gültigen und überwachten Akkreditierung ist der Datenbank akkreditierter Stellen der Deutschen Akkreditierungsstelle zu entnehmen (www.dakks.de).

Siehe Hinweis auf der Rückseite

Abbildung 16: Akkreditierungs-Urkunde nach DIN EN ISO/IEC 17025 - Seite 1

Deutsche Akkreditierungsstelle

Standort Berlin
Spittelmarkt 10
10117 Berlin

Standort Frankfurt am Main
Europa-Allee 52
60327 Frankfurt am Main

Standort Braunschweig
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) ist die beliehene nationale Akkreditierungsstelle der Bundesrepublik Deutschland gemäß § 8 Absatz 1 AkkStelleG i. V. m. § 1 Absatz 1 AkkStelleGBV. Die DAkkS ist als nationale Akkreditierungsbehörde gemäß Art. 4 Abs. 4 VO (EG) 765/2008 und Tz. 4.7 DIN EN ISO/IEC 17000 durch Deutschland benannt.

Die Akkreditierungsurkunde ist gemäß Art. 11 Abs. 2 VO (EG) 765/2008 im Geltungsbereich dieser Verordnung von den nationalen Behörden als gleichwertig anzuerkennen sowie von den WTO-Mitgliedsstaaten, die sich in bilateralen- oder multilateralen Gegenseitigkeitsabkommen verpflichtet haben, die Urkunden von Akkreditierungsstellen, die Mitglied bei ILAC oder IAF sind, als gleichwertig anzuerkennen.

Die DAkkS ist Unterzeichnerin der Multilateralen Abkommen zur gegenseitigen Anerkennung der European co-operation for Accreditation (EA), des International Accreditation Forum (IAF) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC).

Der aktuelle Stand der Mitgliedschaft kann folgenden Webseiten entnommen werden:

EA: www.european-accreditation.org
ILAC: www.ilac.org
IAF: www.iaf.nu

Diese Akkreditierungsurkunde ist Eigentum der Deutschen Akkreditierungsstelle.



Anhang 3:

Tabelle 60: Wetterdaten (Tagesmittelwerte), Monat April/Mai 2024

April / Mai 2024	Datum	mittl. Lufttemperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Luftdruck [hPa]
29	29.04.2024	14,8	66,4	1012,7
30	30.04.2024	17,9	66,2	1008,5
1	01.05.2024	19,5	69,6	999,0
2	02.05.2024	17,8	75,4	992,5
3	03.05.2024	12,9	81,2	1003,4
4	04.05.2024	12,4	79,2	1006,8
5	05.05.2024	13,8	75,1	1002,5
6	06.05.2024	13,6	91,3	1001,1
7	07.05.2024	14,1	89,0	1010,2
8	08.05.2024	13,8	82,8	1018,5
9	09.05.2024	15,2	72,0	1019,3
10	10.05.2024	16,7	67,1	1016,0
11	11.05.2024	17,8	65,9	1013,8
12	12.05.2024	19,8	60,9	1009,3
13	13.05.2024	19,6	68,1	1004,4
14	14.05.2024	20,8	63,0	999,3
15	15.05.2024	17,2	80,7	999,3
16	16.05.2024	16,7	86,0	998,3
17	17.05.2024	15,5	88,3	999,4
18	18.05.2024	15,6	88,4	1002,6
19	19.05.2024	15,6	82,6	1003,8
20	20.05.2024	16,9	75,8	1003,8
21	21.05.2024	15,6	86,3	1000,4
22	22.05.2024	16,8	77,6	1002,4
23	23.05.2024	16,8	70,7	1008,3
24	24.05.2024	14,3	92,1	1010,4
25	25.05.2024	16,3	79,0	1010,1
26	26.05.2024	17,2	76,9	1009,1
27	27.05.2024	15,8	80,1	1010,1
28	28.05.2024	14,9	73,6	1011,2
29	29.05.2024	16,5	81,7	1004,2
30	30.05.2024	15,6	82,4	999,7
31	31.05.2024	15,8	78,4	1004,1

Tabelle 61: Wetterdaten (Tagesmittelwerte), Monat Juni 2024

Juni 2024	Datum	mittl. Lufttemperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Luftdruck [hPa]
1	01.06.2024	16,2	87,1	1009,0
2	02.06.2024	15,0	83,3	1014,2
3	03.06.2024	13,8	74,7	1013,4
4	04.06.2024	16,9	70,3	1007,3
5	05.06.2024	15,4	79,6	1005,9
6	06.06.2024	15,3	64,4	1009,9
7	07.06.2024	16,5	61,6	1011,4
8	08.06.2024	17,3	61,4	1006,0
9	09.06.2024	16,1	59,4	1004,1
10	10.06.2024	12,7	72,0	1001,4
11	11.06.2024	13,6	64,6	1008,5
12	12.06.2024	12,4	70,0	1012,5
13	13.06.2024	14,8	60,2	1010,5
14	14.06.2024	16,7	71,5	1001,9
15	15.06.2024	16,8	63,6	998,9
16	16.06.2024	16,2	73,2	1001,5
17	17.06.2024	16,9	89,5	1005,1
18	18.06.2024	18,2	88,2	1006,2
19	19.06.2024	17,1	82,7	1010,2
20	20.06.2024	17,6	82,1	1011,6
21	21.06.2024	19,1	83,3	1005,7
22	22.06.2024	16,9	77,0	1007,3
23	23.06.2024	19,9	69,6	1012,3
24	24.06.2024	21,1	67,6	1012,7
25	25.06.2024	22,6	64,7	1008,3
26	26.06.2024	24,0	62,2	1004,3
27	27.06.2024	25,4	63,1	1002,8
28	28.06.2024	21,3	59,4	1008,9
29	29.06.2024	20,5	62,6	1006,7
30	30.06.2024	18,0	86,1	1002,5



Tabelle 62: Wetterdaten (Tagesmittelwerte), Monat Juli / August 2024

Juli / August 2024	Datum	mittl. Lufttemperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Luftdruck [hPa]
1	01.07.2024	16,8	76,7	1008,4
2	02.07.2024	15,3	85,6	1008,2
3	03.07.2024	14,3	81,0	1004,9
4	04.07.2024	17,0	73,2	1002,1
5	05.07.2024	17,0	69,6	1004,5
6	06.07.2024	19,1	67,0	998,4
7	07.07.2024	17,2	56,0	1007,2
8	08.07.2024	18,7	64,1	1010,4
9	09.07.2024	23,8	63,3	1007,8
10	10.07.2024	21,7	82,1	1008,8
11	12.07.2024	21,1	69,5	1010,5
12	12.07.2024	16,9	83,1	1004,7
13	13.07.2024	16,2	72,5	1006,8
14	14.07.2024	18,8	67,1	1006,8
15	15.07.2024	20,9	69,2	1004,9
16	16.07.2024	19,7	76,4	1005,7
17	17.07.2024	20,4	69,0	1013,6
18	18.07.2024	21,8	67,5	1015,6
19	19.07.2024	22,8	66,8	1012,6
20	20.07.2024	24,4	69,0	1004,2
21	21.07.2024	22,8	77,8	1002,2
22	22.07.2024	21,7	68,7	1010,2
23	23.07.2024	20,5	73,2	1011,2
24	24.07.2024	19,4	71,8	1014,0
25	25.07.2024	20,7	64,1	1008,8
26	26.07.2024	21,4	76,5	1005,5
27	27.07.2024	19,1	93,1	1007,9
28	28.07.2024	19,4	73,8	1017,5
29	29.07.2024	20,8	67,4	1016,8
30	30.07.2024	23,9	63,0	1010,8
31	31.07.2024	22,2	76,5	1008,5
1	01.08.2024	21,3	90,1	1005,7

Anhang 4:

Handbuch