

Materialien

Nr. 67

**Erprobung von Online-Messgeräten für
die Abwassertechnik zur Grundlagenermittlung**

Luft

Wasser

Boden

Abfall



Technik
Verfahren

Materialien

Band 67

**Erprobung von Online-Messgeräten
für die
Abwassertechnik
zur Grundlagenermittlung und Überwachung
von Abwasserbehandlungsanlagen**

Essen 2005

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

Impressum

Herausgeber: **Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (LUA NRW)**
Wallneyer Straße 6, D-45133 Essen
Telefon (02 01) 79 95-0, Telefax (02 01) 79 95-14 48
e-mail: poststelle@lua.nrw.de
Essen 2005

ISSN **0947-5206 (Materialien)**

Informationsdienste
des LUA NRW:

Umweltdaten aus NRW (Aktuelle Luftqualität, Pegeldata online, Hochwassermeldungen, etc.) sowie **Fachinformationen:**

- **Internet** unter www.landesumweltamt.nrw.de

Aktuelle Luftqualitätswerte:

- **Telefonansagedienst** (02 01) 1 97 00
- **WDR-Videotext** (3. Fernsehprogramm, Tafeln 177 bis 179)

Bereitschaftsdienst: Nachrichtenbereitschaftszentrale des LUA NRW
(24-Std.-Dienst): Telefon (0201) 71 44 88

Vorwort

Gemäß der Richtlinie der Europäischen Gemeinschaft über die Behandlung von kommunalem Abwasser müssen alle Kläranlagen in Gemeinden mit mehr als 10.000 Einwohnern mit einer weitergehenden Stickstoffelimination bis Ende 2005 ausgerüstet sein. Dabei ist die Eliminationsleistung von 70 bis 80 Prozent einzuhalten. Der Ausbau der Kläranlagen ist in den Jahren seit Verabschiedung dieser Richtlinie gut vorangegangen. Nur noch wenige Anlagen in NRW sind auszubauen

Nachdem die technischen Randbedingungen hergestellt sind, müssen die Werte auch überwacht werden durch Staatlich Stellen aber auch überprüft werden vom Betreiber, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten und damit den Anforderungen an einen nachhaltigen Gewässerschutz nach zu kommen.

In den letzten Jahren hat die Prozessanalysetechnik in Abwasseranlagen eine zunehmende Verbreitung gefunden, neue Systeme zur Probenvorbereitung wurden entwickelt, Systeme für in-situ-Messungen finden verstärkt Anwendung und kontinuierliche Messgeräte werden erweitert eingesetzt.

Nachdem in den vergangenen Jahren im kommunalen Bereich der Trend, die für die Abwasserabgabe relevanten Nährstoffkonzentrationen unter Einsatz von Online-Messgeräten zu erfassen, sich durchsetzte und zudem Online-Messgeräte verstärkt zur Prozessüberwachung und Steuerung bzw. Regelung auf Kläranlagen eingesetzt wurden, sollten in diesem Projekt die an die einzelnen Produkte gestellten Anforderungen unter Betriebsbedingungen einer kommunalen Kläranlage für die Stickstoffverbindungen NH₄-N, NO₂/NO₃-N und NO₃-N untersucht werden.

Grundlage für die berücksichtigten Untersuchungskriterien ist das DWA-Merkblatt 269 (2000) „Prozessanalysegeräte für N, P und C in Abwasseranlagen“. Das Merkblatt gibt allgemeine Einsatzanforderungen für Online-Messgeräte vor, hingewiesen sein an dieser Stelle exemplarisch auf die Richtigkeit der Messwerte, die Verfügbarkeit der Geräte aber auch auf die Handhabung und den Wartungsaufwand.

Die neuen Entwicklungen führen zu einer Vielzahl an einsetzbaren Geräten und Systemen für die verschiedensten Anwendungsfälle.

Um dem Betreiber einen Überblick über den aktuellen Stand der Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen auf dem Markt befindlichen Systeme zu geben, wurde ein Vorhaben an die Uni Bochum in Auftrag gegeben, welches die verschiedenen Online-Messgeräte zur NH₄-N und NO₂/NO₃-N-Bestimmung nach einheitlichen Kriterien untersucht.

Der anliegende Bericht soll den Betreibern kommunaler Kläranlagen ermöglichen, das für seine Anlage und seine spezifischen Randbedingungen geeignete Gerät auszuwählen.

An dieser Stelle sei den Herstellern noch einmal gedankt, die die Geräte für die Untersuchung zur Verfügung gestellt haben. Insgesamt wurden 10 Messgeräte von 4 Herstellern zur Verfügung gestellt.

Essen 2005



Dr.-Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes NRW

Inhaltsverzeichnis

Impressum	2
Vorwort	3
Inhaltsverzeichnis	5
Verzeichnis der Abbildungen	6
Verzeichnis der Tabellen	6
1. Zusammenfassung	7
2. Projektvorstellung	9
3. Versuchsbeschreibung und Versuchsphasen	11
4. Eingesetzte Messgeräte	13
4.1 NH ₄ -Stickstoff-Messgeräte	13
4.2 NO _x -Stickstoff-Messgeräte	13
5. Betriebserfahrungen und Handhabung	19
5.1 Bran+Luebbe, DiaMon Resources – NH ₄ -N und NO _x -N	19
5.2 Dr. Lange, Amtax inter 2 – NH ₄ -N	19
5.4 Dr. Lange, Nitratix clear und Nitratix plus – NO _x -N	20
5.5 SWAN, FAM Ammonia und Nitrate – NH ₄ -N und NO _x -N	20
5.6 WTW TresCon – NH ₄ -N und NO _x -N	21
6. Überprüfung nach ATV-DVWK Merkblatt M 269	23
6.1 Technische Daten	23
6.2 Kontroll- und Wartungsarbeiten	32
6.3 Verfügbarkeit	35
6.4 Messgenauigkeit und Messunsicherheit	37
7. Bewertung	40

Verzeichnis der Abbildungen

- Abbildung 1:** Verfügbarkeit der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte in den einzelnen Versuchsphasen in %
- Abbildung 2:** Verfügbarkeit der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte in den einzelnen Versuchsphasen in %
- Abbildung 3:** Arithmetische Mittel der absoluten Abweichungen der Messwerte der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte vom Laborreferenzwert in den einzelnen Versuchsphasen in % bezogen auf den Messbereichsendwert
- Abbildung 4:** Arithmetische Mittel der absoluten Abweichungen der Messwerte der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte vom Laborreferenzwert in den einzelnen Versuchsphasen in % bezogen auf den Messbereichsendwert

Verzeichnis der Tabellen

- Tabelle 1:** Übersicht über die technischen Daten der einzelnen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte gemäß Herstellerangabe
- Tabelle 2:** Übersicht über die technischen Daten der einzelnen $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte gemäß Herstellerangabe
- Tabelle 3:** Übersicht über nach ATV-DVWK-Merkblatt M 269 für eine Bewertung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte maßgebliche Kriterien gemäß Herstellerangabe
- Tabelle 4:** Übersicht über nach ATV-DVWK-Merkblatt M 269 für eine Bewertung der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte maßgebliche Kriterien gemäß Herstellerangabe
- Tabelle 5:** Übersicht über Wartungsarbeiten an den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräten
- Tabelle 6:** Übersicht über Wartungsarbeiten an den $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräten
- Tabelle 7:** Bewertung der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte
- Tabelle 8:** Bewertung der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte

1. Zusammenfassung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass sich sowohl die unterschiedlichen fotometrischen als auch die verschiedenen potenziometrischen Verfahren zur Messung der Parameter $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_x\text{-N}$ im innerhalb dieses Projektes untersuchten kommunalen Abwasser bewährt haben. Sowohl im Ablauf der Nachklärung, als auch im Belebtschlamm-/Abwassergemisch und im lediglich vorgereinigten Abwasser sind aussagekräftige, jedoch aufbereitungsbedürftige Ergebnisse zu erzielen. Insbesondere der Kalibrierung der Messgeräte und dem damit einhergehenden Abgleich mit Resultaten von Laboranalysen ist allerdings eine größere Bedeutung beizumessen, als dies prinzipiell vermittelt wird. An dieser Stelle werde auf die Stichworte Nullpunktverschiebung und Korrektur der Steilheit verwiesen.

Eine optimale Verfahrensvariante bzw. ein für alle Zwecke optimales Messverfahren gibt es nicht. Zwar lassen sich, die einzelnen Details bei Messunsicherheiten und Verfügbarkeiten vernachlässigend, insgesamt betrachtet Einstufungen der Geräte hinsichtlich ihrer Genauigkeit, Zuverlässigkeit und Ausstattung vornehmen, jedoch hat der einzelne Anwender schon allein aufgrund der zum Teil sehr unterschiedlichen Ausrüstung der Geräte hinsichtlich der Bedienung, der Visualisierung der Messwerte oder der Weiterverarbeitung der Messdaten für den jeweiligen Einsatzfall abzuwägen, welches Gerät die für seine Bedürfnisse beste Lösungsalternative darstellt. Nicht zuletzt müssen auch Investitions- sowie Wartungs- und Betriebskosten bei der hierzu notwendigen Abschätzung im Detail, bspw. der angestrebten Messzyklen bei den Betriebskosten, berücksichtigt werden.

Der vorliegende Abschlussbericht ist somit als zahlreiche bei der Auswahl eines Messgerätes notwendige Informationen enthaltender Leitfaden zu verstehen, eine abschließende Bewertung oder Beurteilung der unterschiedlichen Messgeräte obliegt dem Anwender selbst.

2. Projektvorstellung

Nachdem sich in den vergangenen Jahren im kommunalen Bereich der Trend, für die Abwasserabgabe relevante Nährstoffkonzentrationen unter Einsatz von Online-Messgeräten zu erfassen, durchsetzte, und zudem Online-Messgeräte verstärkt zur Prozessüberwachung und Steuerung bzw. Regelung auf Kläranlagen eingesetzt wurden, sollten in diesem Projekt die an die einzelnen Produkte gestellten Anforderungen unter Betriebsbedingungen einer kommunalen Kläranlage für die Stickstoffverbindungen $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_x\text{-N}$ bzw. $\text{NO}_3\text{-N}$ untersucht werden.

Grundlage für die berücksichtigten Untersuchungskriterien ist das im März 2000 von der ATV-DVWK-Arbeitsgruppe KA13.3 „Prozessanalysegeräte für N, P und C in Abwasseranlagen“ erarbeitete Merkblatt ATV-DVWK M 269. Das Merkblatt gibt allgemeine Einsatzanforderungen für Online-Messgeräte vor, hingewiesen sei an dieser Stelle exemplarisch auf die Richtigkeit der Messwerte, die Verfügbarkeit der Geräte aber auch auf Handhabung und Wartungsaufwand.

3. Versuchsbeschreibung und Versuchsphasen

Vier Hersteller stellten im Rahmen des Projektes insgesamt zehn Messgeräte bzw. Messmodule zur Verfügung, die mit fotometrischen oder potenziometrischen Analysemethoden arbeiten. Einige davon werden außerhalb des zu messenden Mediums mit entsprechender Probenaufbereitung betrieben, andere können direkt im Medium eingesetzt werden (Tauchsonden).

In jeweils sechswöchigen Messphasen wurden nacheinander Messungen im Ablauf der Nachklärung, im Ablauf der Belebung und im Zulauf der halbtechnischen Versuchskläranlage des Landesumweltamtes NRW in Neuss vorgenommen. Als Referenz für insbesondere die Richtigkeit der Messwerte wurden parallel dazu Laboranalysen für die einzelnen untersuchten Parameter $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_x\text{-N}$ bzw. $\text{NO}_3\text{-N}$ durchgeführt. Aufgrund der unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,3 mg/l liegenden $\text{NO}_x\text{-N}$ -Konzentrationen im Zulauf der Kläranlage sind in der dritten Messphase keine Online-Messungen der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Konzentrationen mehr vorgenommen worden.

Die im Folgenden dargelegten Untersuchungsergebnisse sollen Betreibern von kommunalen Kläranlagen als Hilfsmittel zur Auswahl eines für ihre Einsatzzwecke geeigneten Gerätes dienen. Eine allgemeine Empfehlung für oder gegen ein bestimmtes Gerät kann und soll nicht ausgesprochen werden, da je nach Randbedingungen die Bedeutung verschiedener Untersuchungskriterien unterschiedlich sein kann.

4. Eingesetzte Messgeräte

4.1 NH₄-Stickstoff-Messgeräte

Zur Messung von NH₄-N-Konzentrationen wurden insgesamt fünf Messgeräte eingesetzt. Im Einzelnen handelte es sich hierbei um (in alphabetischer Reihenfolge) das NH₄-N-Modul für das Bran+Luebbe DiaMon Resources, das Dr. Lange Amtax compact sowie das Dr. Lange Amtax inter 2, die Tauchsonde SWAN FAM Ammonia und das NH₄-N-Modul für das WTW TresCon.

Im Ablauf der Nachklärung (Phase 1) wurden sowohl die Geräte der Fa. Dr. Lange als auch die Tauchsonde der Fa. SWAN ohne Probenaufbereitung betrieben. Im Belebtschlamm-/Abwassergemisch (Phase 2) und im vorgereinigten Rohabwasser (Phase 3) ist auch für die Geräte der Fa. Dr. Lange ein Probenaufbereitungssystem vorgeschaltet worden, während die Sonde der Fa. SWAN wiederum direkt im Messmedium eingesetzt wurde.

Zu den technischen Daten der einzelnen getesteten NH₄-N-Messgeräte gemäß Herstellerangabe wird auf Tabelle 1 verwiesen.

4.2 NO_x-Stickstoff-Messgeräte

Auch für die Versuche zur Messung von NO_x-N-Konzentrationen standen insgesamt wiederum fünf Messgeräte zur Verfügung. Hierbei handelte es sich um das NO_x-N-Modul für das Bran+Luebbe DiaMon Resources, die Dr. Lange Nitratix clear und Nitratix plus Tauchsonden, die Tauchsonde SWAN FAM Nitrate sowie das NO_x-N-Modul für das WTW TresCon.

Während die Geräte der Firmen Bran+Luebbe und WTW stets mit vorgeschalteter Probenaufbereitung betrieben wurden, konnten die Tauchsonden der Firmen Dr. Lange und SWAN direkt im Messmedium arbeiten. Nur in Phase 2 wurde auch die Tauchsonde Nitratix clear der Fa. Dr. Lange mit Probenaufbereitung eingesetzt.

Die technischen Daten laut Herstellerangabe der in die Untersuchung einbezogenen NO_x-N-Messgeräte werden in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 1: Übersicht über die technischen Daten der einzelnen NH₄-N-Messgeräte gemäß Herstellerangabe

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NH ₄ -N-Modul	Dr. Lange Amtax inter2	Dr. Lange Amtax compact	SWAN Monitor FAM Ammonia	WTW TresCon NH ₄ -N-Modul
Messprinzip	fotometrisch	fotometrisch	potenziometrisch	potenziometrisch	potenziometrisch
Messmethode	Indophenolblau- Verfahren	Indophenolblau- Verfahren	Austreibmethode mit fotometrischer pH-Indikation	Ionensensitive Elektrode	Gassensitive Elektrode
Messwertanzeige	Grafik-Display mit Gangliniendarstellung	Grafik-Display mit Gangliniendarstellung	Grafik-Display mit Gangliniendarstellung	Numerisches Display	Grafik-Display mit Gangliniendarstellung
Reagenzien	ja	ja	ja	nein	ja
Kalibrierung	automatisch	automatisch	automatisch	manuell (werksseitig)	automatisch
Reinigung	automatisch	automatisch	automatisch	automatisch (Spülein- richtung)	automatisch
Umgebungstemperatur	0 °C bis + 35 °C	+ 5°C bis + 40°C	+ 10°C bis + 40°C	-10 °C bis + 50 °C	0 °C bis + 40 °C
Netzanschluss	115 oder 230 V Wech- selspannung -15 %, +10 % 50 – 60 Hz max. 150 VA	230 V Wechselspannung ± 10 % 50 – 60 Hz ca. 200 VA optional: 115 V	100 - 240 V Wechsel- spannung ± 10 % 50 – 60 Hz max. 150 VA	24, 115, 230, 200 oder 100 V Wechselspannung ± 15 % 50–60 Hz oder 24 V DC max. 7 VA (FAM Moni- tor)	115 oder 230 V Wech- selspannung ± 10 % 50 – 60 Hz max. 480 VA
Abmessungen	1680 x 600 x 310 mm	550 x 1190 x 390 mm	350 x 640 x 220 mm	180 x 280 x 75 mm (FAM Monitor)	952 x 845 x 245 mm Höhe in montiertem Zustand (mit optionaler Standsäule): 1773 mm

Tabelle 1: Übersicht über die technischen Daten der einzelnen NH₄-N-Messgeräte gemäß Herstellerangabe (Fortsetzung)

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NH ₄ -N-Modul	Dr. Lange Amtax inter2	Dr. Lange Amtax compact	SWAN Monitor FAM Am- monia	WTW TresCon NH ₄ -N-Modul
Gewicht	ca. 70 kg, je nach Kon- figuration	ca. 42 kg (ohne Reagen- zien)	ca. 10 kg (ohne Reagen- zien)	ca. 3 kg (FAM Monitor), 40 g (Elektrode)	37 kg (TresCon Grund- gerät inkl. Modul), 25 kg (optionale Stand- säule)

Tabelle 2: Übersicht über die technischen Daten der einzelnen NO_x-N-Messgeräte gemäß Herstellerangabe

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NO _x -N-Modul	Dr. Lange Nitratax plus	Dr. Lange Nitratax clear	SWAN Monitor FAM Nitrate	WTW TresCon NO _x -N-Modul
Messprinzip	fotometrisch	fotometrisch	fotometrisch	potenziometrisch	fotometrisch
Messmethode	Direktspektroskopie	2-Strahl-Verfahren	2-Strahl-Verfahren	Ionensensitive Elektrode	4-Strahl-Verfahren
Messwertanzeige	Grafik-Display mit Gangliniendarstellung	Grafik-Display mit Gangliniendarstellung	Grafik-Display mit Gangliniendarstellung	Numerisches Display	Grafik-Display mit Gangliniendarstellung
Reagenzien	nein	nein	nein	nein	nein
Kalibrierung	automatisch	manuell (werksseitig)	manuell (werksseitig)	manuell (werksseitig)	automatisch (Nullpunkt- kalibrierung)
Reinigung	automatisch	automatisch (Wischer)	automatisch (Wischer)	automatisch (Spülein- richtung)	automatisch
Umgebungstemperatur	0 °C bis + 35 °C	+ 2 °C bis + 40 °C (Son- de) - 10 °C bis + 40 °C (An- zeigeeinheit)	+ 2 °C bis + 40 °C (Son- de) - 10 °C bis + 40 °C (An- zeigeeinheit)	-10 °C bis +50 °C	0 °C bis + 40 °C
Netzanschluss	115 oder 230 V Wech- selspannung -15 %, +10 % 50 – 60 Hz max. 150 VA	100 bis 240 V Wechsel- spannung ± 10 % 50 Hz 18 VA optional: 24 V Gleich- oder Wechselspannung ± 25 % 15 W	100 bis 240 V Wechsel- spannung ± 10 % 50 Hz 18 VA optional: 24 V Gleich- oder Wechselspannung ± 25 % 15 W	24, 115, 230, 200 oder 100 V Wechselspannung ± 15 % 50–60 Hz oder 24 V DC max. 7 VA	115 oder 230 V Wech- selspannung ± 10 % 50 – 60 Hz max. 480 VA
Abmessungen	1680 x 600 x 310 mm	70 x 400 mm (Sonde) 306 x 286 x 93 mm (Anzeigeeinheit)	70 x 400 mm (Sonde) 306 x 286 x 93 mm (Anzeigeeinheit)	180 x 280 x 75 mm	952 x 845 x 245 mm Höhe in montiertem Zustand (mit optionaler Standsäule): 1773 mm

Tabelle 2: Übersicht über die technischen Daten der einzelnen NO_x-N-Messgeräte gemäß Herstellerangabe (Fortsetzung)

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NO _x -N-Modul	Dr. Lange Nitratax plus	Dr. Lange Nitratax clear	SWAN Monitor FAM Nitrate	WTW TresCon NO _x -N-Modul
Gewicht	ca. 70 kg, je nach Konfiguration	3,0 kg (Sonde), 3,5 kg (Anzeigeeinheit)	3,0 kg (Sonde), 3,5 kg (Anzeigeeinheit)	ca. 3 kg (FAM Monitor), 40 g (Elektrode)	37 kg (TresCon inklusive Modul), 25 kg (optionale Standsäule)

5. Betriebserfahrungen und Handhabung

Hinsichtlich der Betriebserfahrungen und der Handhabung ergeben sich zum Teil gravierende Unterschiede zwischen den einzelnen Messgeräten sowohl zur $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messung als auch zur $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messung. Hierbei wird im Einzelnen verwiesen auf stark voneinander abweichende Bequemlichkeit bei der Bedienung (Tasten, Tastaturen, alphanumerische Displays oder auch Grafikdisplays), zu differenzierende Menüfunktionen zur Steuerung bzw. Auswertung der Messergebnisse sowie die ggf. erforderliche Verwendung von Probenaufbereitungssystemen beim Einsatz unter bestimmten Randbedingungen.

Diese Geräteeigenschaften spiegeln sich positiv oder negativ auch in den jeweiligen Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten wider, worauf in Kapitel 5 detailliert eingegangen wird.

5.1 Bran+Luebbe, DiaMon Resources – $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_x\text{-N}$

Das Messgerät bietet die Möglichkeit, verschiedene Module zur Messung von Stickstoff und Phosphor miteinander zu kombinieren. Ein Grafikdisplay erlaubt die gleichzeitige Anzeige von Konzentrationsganglinien unterschiedlicher Parameter, von Messwerten und Betriebszuständen. Zudem werden Fehlermeldungen ausgegeben.

Die Bedienung des Gerätes erfolgt menügesteuert über ein einer Schreibmaschinentastatur nachempfundenes Tastenfeld.

Zur Messung im Ablauf der Nachklärung (Phase 1) wurde eine herkömmliche Ultrafiltration vorgeschaltet, zur Messung in den übrigen beiden Messphasen wurde das Probenaufbereitungssystem CeraClean der Fa. Bran+Luebbe eingesetzt.

5.2 Dr. Lange, Amtax inter 2 – $\text{NH}_4\text{-N}$

Das Amtax inter 2 besitzt ein Grafikdisplay zur Anzeige des aktuellen Messwertes, auf dem auch Konzentrationsganglinien und Fehlermeldungen ausgegeben werden können.

Die Bedienung wird über insgesamt vier Funktionstasten menügesteuert sichergestellt. Weitere vier Tasten erlauben detailliertere Einsichtnahme in Konzentrationsganglinien über Zoom- und Scroll-Funktionen. Aufgrund zweier Kanäle können zwei Messstellen gleichzeitig betrieben werden.

Während in der zweiten Messphase (Ablauf Belebung) ein Plattenfiltersystem der Fa. Dr. Lange (Filtrax) eingesetzt wurde, genügte für Phase 3 (Zulauf Vorklärung) eine herkömmliche Ultrafiltration.

5.3 Dr. Lange, Amtax compact – NH₄-N

Das Amtax compact verfügt über ein Grafikdisplay zur Anzeige von Messwerten, Fehlermeldungen und Konzentrationsganglinien.

Über vier Funktionstasten erfolgt die eigentliche Bedienung, während über vier weitere Tasten Änderungen in der Ansicht von Konzentrationsganglinien vorgenommen werden können. Im 2-Kanal-Modus ist der Betrieb zweier Messstellen gleichzeitig möglich.

Das Plattenfiltersystem Filtrax der Fa. Dr. Lange wurde für die Messungen im Ablauf der Nachklärung (Phase 2) vorgeschaltet, in der dritten Messphase (Zulauf Vorklärung) erfolgte der Einsatz einer herkömmlichen Ultrafiltration.

5.4 Dr. Lange, Nitratix clear und Nitratix plus – NO_x-N

Zur Einstellung und zur Visualisierung der Messwerte der Tauchsonden Nitratix clear, die über eine eingeschränkte Trübungskompensation verfügt, und Nitratix plus, die auch direkt in Medien mit höherer Trübung arbeiten kann, benötigt man die Anzeigeeinheiten Multi Unit oder Multi Unit plus der Fa. Dr. Lange. Während die Erstgenannte auf einem zweizeiligen Display Messwerte, Einstellungen und Fehlermeldungen anzeigt, erlaubt die Letztgenannte auf ihrem Grafikdisplay zusätzlich die Ausgabe von Konzentrationsganglinien. Zudem erlaubt Letztere den Anschluss zweier Sonden im Vergleich zu nur einer Sonde bei der Einheit Multi Unit. Menügesteuerte Bedienungen erfolgen bei beiden Anzeigeeinheiten über Tastenanordnungen.

Bei den Messungen der Sonde Nitratix clear wurde in der zweiten Messphase (Belebtschlamm-/Abwassergemisch) eine Probenaufbereitung (Filtrax) der Fa. Dr. Lange vorgeschaltet.

5.5 SWAN, FAM Ammonia und Nitrate – NH₄-N und NO_x-N

Das einzeilige Display der Anzeigeeinheit FAM Monitor erlaubt die Ausgabe aktueller Messwerte und codierter Fehlermeldungen der beiden Tauchsonden zur NH₄-N- bzw. NO_x-N-Messung.

Einstellungen für die Sonden lassen sich über insgesamt fünf Tasten am FAM Monitor vornehmen.

5.6 WTW TresCon – NH₄-N und NO_x-N

Das Analysengerät TresCon erlaubt den gleichzeitigen Betrieb von bis zu drei unterschiedlichen Modulen für NH₄-N, NO_x-N, PO₄-P, NO₂-N und für eine Kombination aus NO_x-N und SAK. Im Grafikdisplay können für alle betriebenen Module Messwerte, Fehlermeldungen und Ganglinien dargestellt werden.

Die Bedienung der Module erfolgt menügesteuert über insgesamt acht Funktions- bzw. Steuerungstasten.

Während sämtlicher Versuchsphasen wurde beiden Modulen das Probenaufbereitungssystem PurCon der Fa. WTW vorgeschaltet.

6. Überprüfung nach ATV-DVWK Merkblatt M 269

Die einzelnen in die Untersuchung eingebundenen Messgeräte zur $\text{NH}_4\text{-N}$ - bzw. $\text{NO}_x\text{-N}$ -Bestimmung wurden hinsichtlich ihrer weiteren technischen Daten, der spezifischen Wartungsarbeiten, der Verfügbarkeit und der Messgenauigkeit in enger Anlehnung an das ATV-DVWK Merkblatt M 269 untersucht.

6.1 Technische Daten

Ergänzend zu den bereits in Kapitel 0 ausgeführten allgemeinen Angaben werden in Tabelle 3 für die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte die technischen Daten gemäß Herstellerangabe aufgeführt, die entsprechend den Ausführungen des Merkblattes M 269 der ATV-DVWK als maßgebliche Kriterien zur Einstufung der Messgeräte zu betrachten sind. Im Einzelnen sind dies die Messbereichsgröße, die Empfindlichkeit bzw. Auflösung, die Option zur Selbstdiagnose, die Messdichte und die Analysezeit. Hinzu kommen Zahlen zu Investitions- und Wartungs- sowie Betriebskosten. Des Weiteren wird eingegangen auf die Möglichkeit zur Datenfernübertragung und die unterschiedlichen Ausgabemöglichkeiten der Messwerte.

Tabelle 4 führt die entsprechenden Informationen gemäß Herstellerangabe für die $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte auf.

Die zuvor bereits in Kapitel 4 beschriebenen zum Teil grundsätzlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten lassen sich auch für die genannten maßgeblichen Kriterien zur Einstufung der Messgeräte feststellen. Frei programmierbaren Messbereichsgrößen beispielsweise des DiaMon-Resources stehen einzelne feste Messbereichsgrößen beispielsweise der Dr. Lange Nitratex clear oder der Tauchsonden der Fa. SWAN gegenüber. Fehleranzeigen werden bei der Fa. SWAN codiert ausgegeben, wohingegen die übrigen Hersteller eine verbale Ausgabe integriert haben. Frei wählbare Messdichten ohne unteres Zeitlimit beispielsweise der Fa. Bran+Luebbe oder der Fa. SWAN differieren von unterschiedlichen, jedoch festen Messdichten beispielsweise bei den Dr. Lange Amtax Geräten. Analysezeiten zwischen wenigen Sekunden bei den Tauchsonden unterscheiden sich von zum Teil bis zu 12 min für die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messung der Hersteller Bran+Luebbe oder Dr. Lange (Amtax compact). Zum Teil finden sich die Vorzüge der einzelnen Geräte in den Kosten wieder, die für Investition, Wartung und Betrieb aufzubringen sind.

So liegen beispielsweise die Investitionskosten bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräten zwischen gut 8.000 EUR (ggf. zzgl. Probenaufbereitung) für das Dr. Lange Amtax compact und 21.000 EUR (ggf. zzgl. Probenaufbereitung) für das DiaMon Resources der Fa. Bran+Luebbe. Ganz ohne Probenaufbereitung arbeitet im Gegensatz hierzu die Tauchsonde FAM Ammonia der Fa. SWAN bei Investitionskosten von ca. 2.500 EUR. Ähnlich verhält sich die Situation bei der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messung. Investitionskostenunterschieden zwischen ca. 7.000 EUR (ggf. zzgl. Probenaufbereitung) für die Tauchsonde Nitratex clear der Fa. Dr. Lange und 21.000 EUR (ggf. zzgl. Probenaufbereitung) für das DiaMon Resources der Fa. Bran+Luebbe stehen ca. 2.500 EUR für die Sonde FAM Nitrate der Fa. SWAN gegenüber, die wiederum ohne Probenaufbereitung eingesetzt wird.

Die Unterschiede in den Wartungskosten liegen bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräten zwischen ca. 600 EUR/a (ggf. zzgl. Probenaufbereitung) für die Geräte der Fa. Dr. Lange und der Fa. WTW und ca. 1.000 EUR/a für die Geräte der Fa. Bran+Luebbe bzw. SWAN. Die Differenzen für die $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messungen variieren zwischen ca. 600 EUR/a (ggf. zzgl. Probenaufbereitung) für die TresCon der Fa. WTW und ca. 1.000 EUR/a für Bran+Luebbe bzw. SWAN.

Am stärksten fallen die technischen Eigenschaften bei den Betriebskosten ins Gewicht. So sind für die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messung bei der Fa. SWAN keine Kosten anzusetzen, während für die übrigen Hersteller zwischen 800 EUR/a und 1.000 EUR/a bei WTW bzw. Bran+Luebbe und Dr. Lange aufzubringen sind. Bei der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messung ergeben sich Unterschiede zwischen keinen Betriebskosten (Fa. Dr. Lange und Fa. SWAN) sowie ca. 250 EUR/a für das Messgerät der Fa. WTW.

Tabelle 3: Übersicht über nach ATV-DVWK-Merkblatt M 269 für eine Bewertung der NH₄-N-Messgeräte maßgebliche Kriterien gemäß Herstellerangabe

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NH ₄ -N-Modul	Dr. Lange Amtax inter2	Dr. Lange Amtax compact	SWAN Monitor FAM Am- monia	WTW TresCon NH ₄ -N-Modul
Messbereichsgröße	Frei programmierbar (typisch: 0-4 ... 0-25 mg/l NH ₄ -N), mit einer Verdünnungs- einheit sind höhere Messbereichsendwerte mögl.	0,02 – 2 mg/l 0,1 – 20 mg/l (AMTAX inter2 – 20) 1,0 – 80 mg/l (AMTAX inter2 – 80)	0,2 – 12 mg/l 2 – 120 mg/l 20 – 1200 mg/l	0-1000 ppm (mg/l)	0,1 – 1000 mg/l (je nach Kalibrierstandards)
Empfindlichkeit bzw. Auflösung					von 0,1 bis 10 mg/l: 0,01 mg/l von 10 bis 100 mg/l: 0,1 mg/l von 100 bis 1000 mg/l: 1 mg/l
Selbstdiagnose	Fehleranzeige (verbal)	Fehleranzeige (ver- bal)	Fehleranzeige (ver- bal)	Fehleranzeige (co- diert)	Fehleranzeige (verbal)
Messdichte bzw. mi- nimale Messintervalle	frei wählbar	5 oder 10 min (wählbar bei kontinu- ierlicher Probenzufüh- rung)	13, 15, 20 oder 30 min (wählbar bei kontinu- ierlicher Probenzufüh- rung)	frei wählbar	wählbar: kontinuierlich, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min
Analysezeit bzw. An- sprechzeit	ca. 12 min	ca. 5 min	ca. 12 min	wenige Sekunden	ca. 3 min

Tabelle 3: Übersicht über nach ATV-DVWK-Merkblatt M 269 für eine Bewertung der NH₄-N-Messgeräte maßgebliche Kriterien gemäß Herstellerangabe (Fortsetzung)

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NH ₄ -N-Modul	Dr. Lange Amtax inter2	Dr. Lange Amtax compact	SWAN Monitor FAM Am- monia	WTW TresCon NH ₄ -N-Modul
Investitionskosten ¹	DiaMon Resources Grundgerät 19.000,00 EUR NH ₄ -N-Modul 2.000,00 EUR CeraClean Probenauf- bereitung 5.000,00 EUR Ultrafiltration 5.500,00 EUR Plattenfiltration mit Steuerung (alternativ zur Ultrafiltration) 5.000,00 EUR	Amtax inter2 (1 Kanal) 11.250,00 EUR Filtrax Probenaufbe- reitung 4.380,00 EUR	Amtax compact (1 Kanal) 8.250,00 EUR Filtrax Probenaufbe- reitung 4.380,00 EUR	FAM Ammonium ohne Schnittstelle 1.400,00 EUR Starter Kit NH ₄ -N 490,00 EUR	TresCon Grundgerät 5.685,00 EUR NH ₄ -N-Modul 5.760,00 EUR PurCon Probenaufberei- tung 4.390,00 EUR
Wartungskosten ¹	Gesamtsystem bei 2 Wartungen/Jahr: 1.000,00 EUR/a Anfahrt keine Angabe	Service-Vertrag (5 Jahre Laufzeit, 2 Wartungen/Jahr): Amtax inter2 (1 Kanal) 540,00 EUR/a Filtrax Probenaufbe- reitung 430,00 EUR/a Anfahrt enthalten	Service-Vertrag (5 Jahre Laufzeit, 2 Wartungen/Jahr): Amtax compact (1 Kanal) 540,00 EUR/a Filtrax Probenaufbe- reitung 430,00 EUR/a Anfahrt enthalten	Austausch-Sensoren (monatlicher Aus- tausch) Jahr der Installation 990,00 EUR/a Folgejahre 1.080,00 EUR/a Anfahrt keine Angabe	Standardwartungsvertrag (5 Jahre Laufzeit, 2 Wartungen/Jahr): TresCon Grundgerät 100,00 EUR/a NH ₄ -N-Modul 360,00 EUR/a PurCon Probenaufberei- tung 440,00 EUR/a Anfahrt 160,00 EUR/a

Tabelle 3: Übersicht über nach ATV-DVWK-Merkblatt M 269 für eine Bewertung der NH₄-N-Messgeräte maßgebliche Kriterien gemäß Herstellerangabe (Fortsetzung)

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NH ₄ -N-Modul	Dr. Lange Amtax inter2	Dr. Lange Amtax compact	SWAN Monitor FAM Am- monia	WTW TresCon NH ₄ -N-Modul
Betriebskosten ¹	Messzyklus 20 min 700,00 EUR/a Messzyklus 10 min 1.200,00 EUR/a	Messzyklus 10 min Messbereich 0,1-20 mg/l und 1-80 mg/l 1.279,55 EUR/a	Messzyklus 13 min bzw. 15 min Messbereich 0,2-12 mg/l 913,20 EUR/a	bei abgeschlossenem Wartungsvertrag keine	Messbetrieb kontinu- ierlich: Jahr der Installation 194,00 EUR/a Folgejahre 795,00 EUR/a
Option zur DFÜ	gegeben				gegeben
Ausgabemöglichkeit der Messwerte	je nach Konfiguration mindestens 3 Digitalsignale und mindestens 4 Analogausgänge 0/4...20 mA Relais für alle wichtigen Gerätefunktionen, frei konfigurierbar (alle Angaben für Dia- Mon Resources)	2 Stromausgänge: 0/4...20 mA, max. 500 Ω 2 Grenzwertkontakte: potenzialfrei, 24 V, 1 A optional: Schnittstelle busfähig	2 Stromausgänge: 0/4...20 mA, max. 500 Ω Störmeldekontakt: potenzialfrei, 24 V, 1 A optional: 2 Grenzwertkontakte: potenzialfrei, 24 V, 1 A Schnittstelle busfähig bei 2-Kanalbetrieb 2. Analogausgang, 2 Grenzwertkontakte	1 Analogausgang: 0/4...20 mA, max. 510 Ω (Messwert oder Kon- trollparameter) 2 potenzialfreie Relais für alle wichtigen Ge- rätefunktionen, frei konfigurierbar	3 Stromausgänge: 0/4...20 mA, max. 600 Ω 12 potenzialfreie Relais, frei konfigurierbar RS 232 RS 485

1 Stand August 2003

Tabelle 4: Übersicht über nach ATV-DVWK-Merkblatt M 269 für eine Bewertung der NO_x-N-Messgeräte maßgebliche Kriterien gemäß Herstellerangabe

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NO _x -N-Modul	Dr. Lange Nitratax plus	Dr. Lange Nitratax clear	SWAN Monitor FAM Nitrate	WTW TresCon NO _x -N-Modul
Messbereichsgröße	frei wählbar (typisch: 0-10 ... 0-25 mg NO ₃ -N)	0,1 – 25 mg/l NO _x -N 0,1 – 50 mg/l NO _x -N 0,1 – 100 mg/l NO _x -N	0,5 – 20 mg/l NO _x -N	0-1000 ppm (mg/l NO ₃ - N)	0 – 60 mg/l NO _x -N
Empfindlichkeit bzw. Auflösung					von 0,1 bis 60 mg/l: 0,1 mg/l
Selbstdiagnose	Fehleranzeige (ver- bal)	Fehleranzeige (ver- bal)	Fehleranzeige (ver- bal)	Fehleranzeige (co- diert)	Fehleranzeige (verbal)
Messdichte bzw. mi- nimale Messintervalle	frei wählbar	> 1 min, wählbar	> 1 min, wählbar	frei wählbar	wählbar: kontinuierlich, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min
Analysezeit bzw. An- sprechzeit	ca. 3 min	> 1 min, einstellbar	> 1 min, einstellbar	wenige Sekunden	ca. 30 s
Investitionskosten ¹	DiaMon Resources Grundgerät 19.000,00 EUR NH ₄ -N-Modul 2.000,00 EUR CeraClean Proben- aufbereitung 5.000,00 EUR Ultrafiltration 5.500,00 EUR Plattenfiltration mit Steuerung (alternativ zur Ultrafiltration) 5.000,00 EUR	Sonde 2 mm 11.250,00 EUR Anzeigeeinheit Multi Unit plus 2.115,00 EUR	Sonde 5 mm 5.050,00 EUR Anzeigeeinheit Multi Unit plus 2.115,00 EUR Filtrax Probenaufbe- reitung 4.380,00 EUR	FAM Nitrate ohne Schnittstelle 1.400,00 EUR Starter Kit Nitrate 490,00 EUR	TresCon Grundgerät 5.685,00 EUR NO _x -N-Modul 6.805,00 EUR PurCon Probenaufberei- tung 4.390,00 EUR

Tabelle 4: Übersicht über nach ATV-DVWK-Merkblatt M 269 für eine Bewertung der NO_x-N-Messgeräte maßgebliche Kriterien gemäß Herstellerangabe (Fortsetzung)

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NO _x -N-Modul	Dr. Lange Nitratex plus	Dr. Lange Nitratex clear	SWAN Monitor FAM Nitrate	WTW TresCon NO _x -N-Modul
Wartungskosten ¹	Gesamtsystem bei 2 Wartungen/Jahr: 1.000,00 EUR/a Anfahrt keine Angabe	Service-Vertrag (5 Jahre Laufzeit, 2 Wartungen/Jahr): Sonde 2 mm 640,00 EUR/a Anfahrt enthalten	Service-Vertrag (5 Jahre Laufzeit, 2 Wartungen/Jahr): Sonde 5 mm 640,00 EUR/a Filtrax Probenaufbe- reitung 430,00 EUR/a Anfahrt enthalten	Austausch-Sensoren (monatlicher Aus- tausch) Jahr der Installation 990,00 EUR/a Folgejahre 1.080,00 EUR/a Anfahrt keine Angabe	Standardwartungsvertrag (5 Jahre Laufzeit, 2 Wartungen/Jahr): TresCon Grundgerät 100,00 EUR/a NO _x -N-Modul 360,00 EUR/a PurCon Probenaufberei- tung 440,00 EUR/a Anfahrt 160,00 EUR/a
Betriebskosten	Messzyklus 3 min ca. 170,00 EUR/a	keine	keine	bei abgeschlossenem Wartungsvertrag kei- ne	Messbetrieb kontinuier- lich: Jahr der Installation 98,00 EUR/a Folgejahre 261,00 EUR/a
Option zur DFÜ	gegeben				gegeben

Tabelle 4: Übersicht über nach ATV-DVWK-Merkblatt M 269 für eine Bewertung der NO_x-N-Messgeräte maßgebliche Kriterien gemäß Herstellerangabe (Fortsetzung)

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NO _x -N-Modul	Dr. Lange Nitratix plus	Dr. Lange Nitratix clear	SWAN Monitor FAM Nitrate	WTW TresCon NO _x -N-Modul
Ausgabemöglichkeit der Messwerte	je nach Konfiguration mindestens 3 Digital- signale und mindestens 4 Analogausgänge 0/4...20 mA Relais für alle wichti- gen Gerätefunktionen, frei konfigurierbar (alle Angaben für Di- aMon Resources)	2 Analogausgänge: 0/4...20 mA, max. 500 Ω Schnittstelle: DIN-Messbus Service-Schnittstelle: RS 232	2 Analogausgänge: 0/4...20 mA, max. 500 Ω Schnittstelle: DIN-Messbus Service-Schnittstelle: RS 232	1 Analogausgang 0/4...20 mA, max. 510 Ω (Messwert oder Kon- trollparameter) 2 potenzialfreie Relais für alle wichtigen Gerä- tefunktionen, frei konfigurierbar	3 Stromausgänge 0/4...20 mA, max. 600 Ω 12 potenzialfreie Relais, frei konfigurierbar RS 232 RS 485

1 Stand August 2003

6.2 Kontroll- und Wartungsarbeiten

Die in Tabelle 5 für die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte und in Tabelle 6 für die $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte aufgelisteten Wartungsarbeiten, die beim Einsatz der unterschiedlichen Geräte durchzuführen sind, basieren auf den Angaben der einzelnen Hersteller, wobei seitens des Verfassers inhaltliche Gruppierungen zur Verbesserung der Vergleichbarkeit vorgenommen wurden.

Die Angaben zu Wartungen und Reparaturen durch Servicepersonal während der jeweiligen Gesamtversuchsdauer beruhen auf den Erfahrungen, die sich bei der Umsetzung der Versuche ergeben haben. Das heißt, die genannten absoluten Zahlenwerte beziehen sich jeweils auf den Untersuchungszeitraum von insgesamt 23,5 Wochen für die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte und 15 Wochen für die $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte.

Die Unterschiede hinsichtlich der vorzunehmenden Wartungsarbeiten sind zum Teil, was einzelne Bereiche der Messtechnik angeht, enorm. So wurden beispielsweise die Tauchsonden der Fa. Dr. Lange innerhalb des Versuchszeitraumes gar nicht gewartet, während die übrigen Hersteller bis zu fünfmal (Bran+Luebbe) bzw. bis zu sechsmal (Prototyp-Tauchsonden der Fa. SWAN) Wartungen an ihren Geräten (einschließlich ggf. erforderlicher Probenaufbereitung) vornehmen mussten. Regelmäßig durchzuführende Wartungen, die in erster Linie vom Anwender vorzunehmen sind, beschränken sich auf die Prüfung von erforderlichen Reagenzienvorräten und ggf. Reagenzienaustausch bzw. die Prüfung auf Verschmutzungen, Verallgungen, Verstopfungen oder Leckagen. Insgesamt wartungstechnisch im oberen Mittelfeld platziert hat sich die TresCon der Fa. WTW, die mit nur zwei Wartungen während des jeweiligen Versuchszeitraums genauso gut abschnitt wie die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte der Fa. Dr. Lange.

Unterschiede in der technischen Ausstattung zwischen den einzelnen Messgeräten, bspw. das verwendete Messprinzip, provozieren auch bei den Wartungen spezifische Arbeitsschritte, die sich allgemein gültig nicht vergleichen lassen.

Tabelle 5: Übersicht über Wartungsarbeiten an den NH₄-N-Messgeräten

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NH ₄ -N-Modul	Dr. Lange Amtax inter2	Dr. Lange Amtax compact	SWAN Monitor FAM Ammonia	WTW TresCon NH ₄ -N-Modul
Kalibrieranpassung vornehmen ^{1,2}	jährlich (Service)			Prototyp, daher keine Erfahrungen zu erforderlichen Reinigungs- bzw. Wartungsintervallen	
Prüfung Reagenzienvorrat bzw. Austausch der Reagenzien ^{1,2}	täglich	4-8 wöchentlich, halbjährlich (Service), jährlich	6-12 wöchentlich		bei Bedarf
Prüfung auf Verschmutzung, Veralgung, Verstopfungen oder Leckagen ^{1,2}	wöchentlich	4-8 wöchentlich	wöchentlich, vierteljährlich (Service)		wöchentlich
Schläuche versetzen, wechseln	vierteljährlich, jährlich (Service)	vierteljährlich, halbjährlich (Service), jährlich	vierteljährlich (Service), jährlich (Service)		monatlich, halbjährlich
Austausch der Dosierschlauchführungen, Membran, Messkette ^{1,2}		jährlich			bei Bedarf
Reinigung Optik ^{1,2}		vierteljährlich, halbjährlich (Service)	vierteljährlich (Service)		
Austausch der Halogenlampe ^{1,2}		halbjährlich (Service)			
Kontrolle Signalpegel und Elektronik ^{1,2}		halbjährlich (Service)	vierteljährlich (Service)		
Wartungen bzw. Reparaturen durch Servicepersonal während der Gesamtversuchsdauer (23,5 Wochen)	5	2	2	6	2

¹ Wartungstätigkeiten gruppiert, zu Details vgl. Abschlussbericht, Kapitel 5.1

² Herstellerangabe

Tabelle 6: Übersicht über Wartungsarbeiten an den NO_x-N-Messgeräten

	Bran+Luebbe DiaMon Resources NO _x -N-Modul	Dr. Lange Nitratix plus	Dr. Lange Nitratix clear	SWAN Monitor FAM Nitrate	WTW TresCon NO _x -N-Modul
Kalibrieranpassung vornehmen ^{1,2}	jährlich (Service)			Prototyp, daher keine Erfahrungen zu Reinigungs- bzw. War- tungsintervallen	
Prüfung Reagenziovorrat bzw. Austausch der Reagenzien ^{1,2}	täglich				bei Bedarf
Prüfung auf Verschmutzung, Veralgung, Verstopfungen oder Leckagen ^{1,2}	wöchentlich	wöchentlich	wöchentlich		wöchentlich
Schläuche versetzen, wechseln ^{1,2}	vierteljährlich, jährlich (Service)				monatlich, halb- jährlich
Reinigung Optik, Austausch Wischer ^{1,2}		bei Bedarf, halb- jährlich (Service)	bei Bedarf, halb- jährlich (Service)		
Dichtungen wechseln ^{1,2}		jährlich (Service)	jährlich (Service)		
Wartungen bzw. Reparaturen durch Servicepersonal während der Gesamtversuchsdauer (15 Wochen)	5	0	0	6	2

¹ Wartungstätigkeiten gruppiert, zu Details vgl. Abschlussbericht, Kapitel 5.1

² Herstellerangabe

6.3 Verfügbarkeit

Zur Ermittlung der ebenfalls im ATV-DVWK Merkblatt M 269 angeführten Verfügbarkeit als maßgebliches Kriterium zur Einstufung der untersuchten Messgeräte wurden sowohl die Aufzeichnungen des eingesetzten Datenloggers als auch die Aufzeichnungen der Tagesprotokolle herangezogen. Somit ergibt sich ein sehr dichtes Netz an Informationen, das nur noch vereinzelt Geräteausfälle nicht als solche erkennt. So zum Beispiel, wenn Geräte während einer Funktionsstörung den letzten gemessenen regulären Wert beibehalten und von selbst wieder in Funktion gehen, ohne dass ein Eingriff von außen notwendig wird. Ausfälle als solche ergeben sich im Regelfall durch Gerätedefekte, durch Verschmutzungen und damit verbundene Reinigungsarbeiten, durch Reparatur- und Wartungsarbeiten an sich und schließlich durch Reparatur- oder Wartungsarbeiten an den ggf. vorgeschalteten Probenaufbereitungssystemen.

Unter der Zeit, die das Messgerät nach Abzug aller oben genannten Zeiträume für die eigentliche Messung zur Verfügung stand, versteht man die Verfügbarkeit, die in den nachfolgend vorgestellten Grafiken in Prozent von der Untersuchungsdauer angegeben wird. Zu Details hinsichtlich der einzelnen Messphasen wird auf den Abschlussbericht insgesamt verwiesen.

Abbildung 1 zeigt die Verfügbarkeiten der fünf $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte für die Gesamtversuchsdauer von 23,5 Wochen, Abbildung 2 die Verfügbarkeiten der ebenfalls fünf $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte für den Zeitraum von 15 Wochen, in dem die Untersuchungen einschließlich der Umbauphasen durchgeführt worden sind.

Hinsichtlich der Verfügbarkeit sind bei den $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräten insgesamt bessere Ergebnisse zu beobachten als bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräten.

Die besten Ergebnisse bei der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messung erzielte das Amtax compact der Fa. Dr. Lange vor dem WTW TresCon Modul unmittelbar gefolgt vom Amtax inter2 wiederum der Fa. Dr. Lange. Durch Schwächen im Belebtschlamm-/Abwassergemisch bzw. im Zulauf werden die Geräte der Fa. SWAN bzw. Bran+Luebbe auf die Ränge vier und fünf verwiesen. Bei der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messung führen die beiden Tauchsonden der Fa. Dr. Lange vor den nahezu gleichauf folgenden Geräten der Fa. Bran+Luebbe bzw. WTW. Wiederum wegen Unzulänglichkeiten in Phase 2 der Versuche wird der Prototyp der Sonde der Fa. SWAN auf Rang fünf verwiesen.

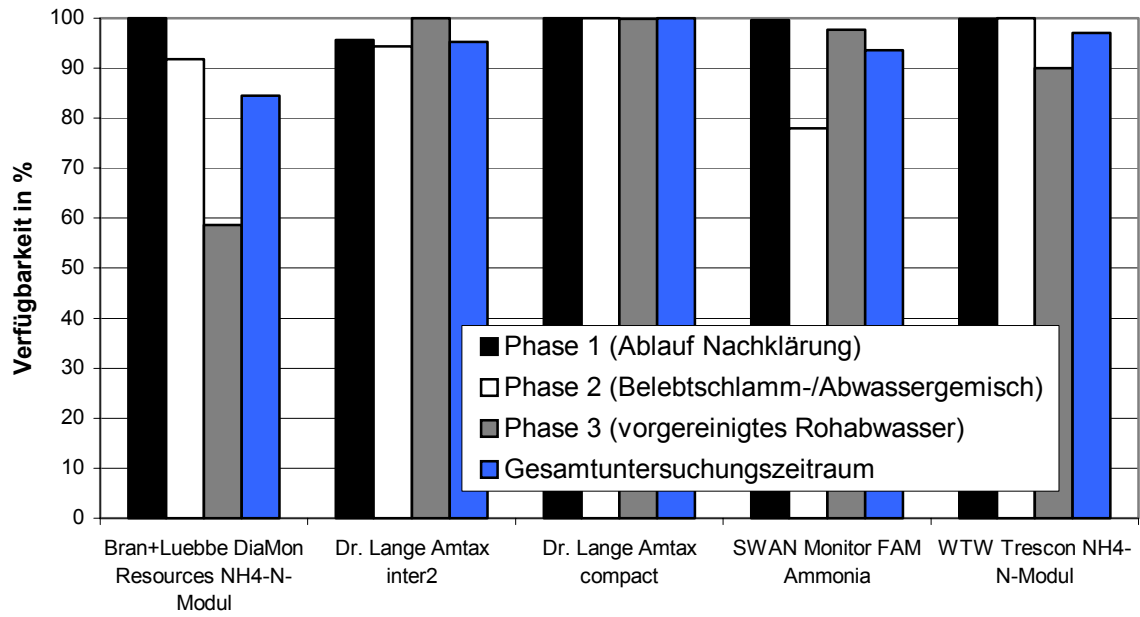


Abbildung 1: Verfügbarkeit der NH₄-N-Messgeräte in den einzelnen Versuchsphasen in %

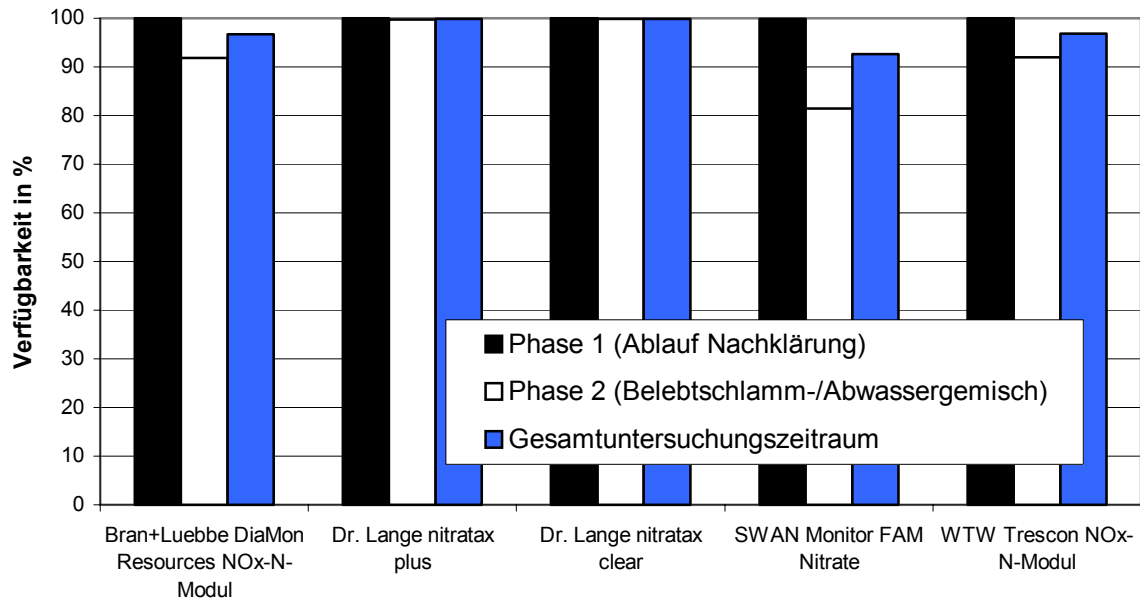


Abbildung 2: Verfügbarkeit der NO_x-N-Messgeräte in den einzelnen Versuchsphasen in %

6.4 Messgenauigkeit und Messunsicherheit

Um Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen untersuchten Geräten zu schaffen, wurde das arithmetische Mittel der absoluten Abweichungen des jeweiligen Messwertes vom im Labor ermittelten Referenzwert bezogen auf den Messbereichsendwert herangezogen. Streng nach den in DIN 55350-13 (1987) und in DIN 1319-1 (1995) festgelegten Definitionen für Genauigkeit und Messunsicherheit wurde so eine Größe genutzt, die nicht nur den Vergleich zwischen den Geräten unterschiedlicher Hersteller innerhalb einer Versuchsphase sondern auch eine Beurteilung der Eignung der einzelnen Geräte für die unterschiedlichen drei Versuchsphasen (Ablauf Nachklärung, Belebtschlamm-/Abwassergemisch und vorgereinigtes Abwasser) erlaubt.

Abbildung 3 zeigt grafisch veranschaulicht die Ergebnisse für die getesteten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräte, Abbildung 4 die Resultate der Untersuchungen der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräte.

Bei der Gesamtbeurteilung der einzelnen Messgeräte hinsichtlich der Messunsicherheit ergibt sich bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräten kein einheitliches Bild, wohingegen bei den $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräten eindeutig festzustellen ist, dass die Geräte im Ablauf der Nachklärung besser arbeiten als im Ablauf der Belebung.

Bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräten schneidet das Amtax compact der Fa. Dr. Lange in Phase 1 vor der WTW TresCon und dem Amtax inter2 wiederum der Fa. Dr. Lange am besten ab. Bran+Luebbe sowie SWAN folgen. In Phase 2 ist tendenziell die gleiche Reihenfolge zu beobachten, wobei die beiden Produkte der Fa. Dr. Lange die Plätze tauschen. Im lediglich vorgereinigten Abwasser der Phase 3 liefert die Sonde der Fa. SWAN die besten Ergebnisse, gefolgt vom Amtax compact der Fa. Dr. Lange, Bran+Luebbe, WTW und schließlich dem Amtax inter2 wiederum der Fa. Dr. Lange.

Während der Messungen des Parameters $\text{NO}_x\text{-N}$ im Ablauf der Nachklärung schnitt die Sonde Nitratix clear der Fa. Dr. Lange am besten ab, während die TresCon der Fa. WTW und die Sonde Nitratix plus von Dr. Lange folgen. Nahezu gleichauf mit dem letztgenannten Produkt schließt sich der Prototyp der Tauchsonde der Fa. SWAN an, Bran+Luebbe wird auf den fünften Rang verwiesen. Im Ablauf der Belebung erzielte die Sonde der Fa. SWAN die besten Ergebnisse, die Sonden der Fa. Dr. Lange folgen. Auf Rang vier und fünf schließen sich die Geräte DiaMon Resources des Herstellers Bran+Luebbe sowie die TresCon der Fa. WTW an.

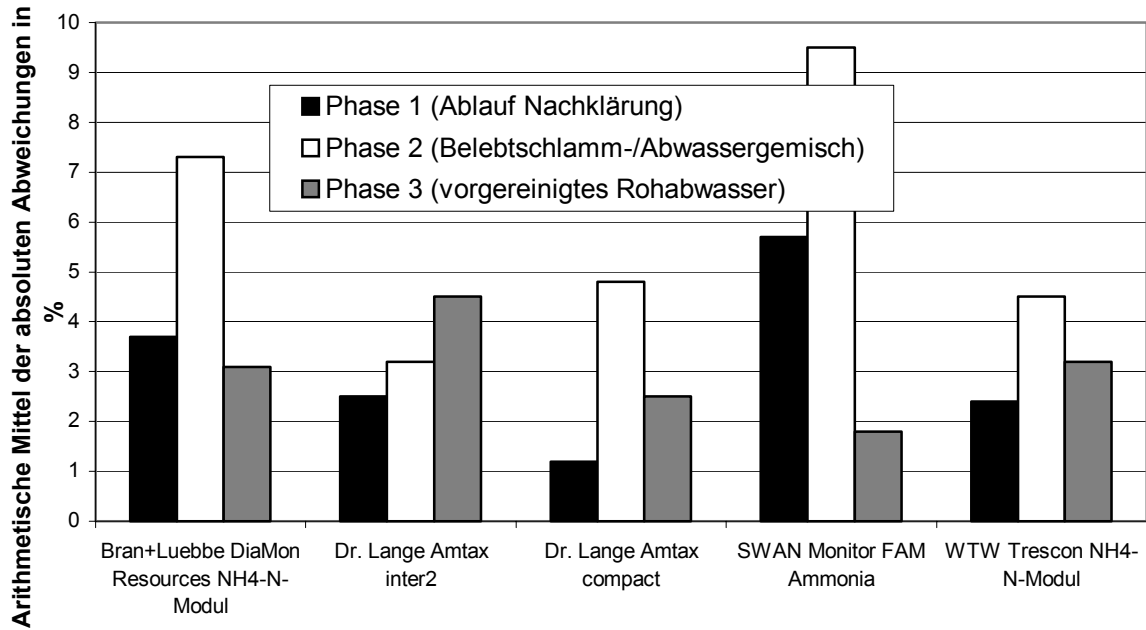


Abbildung 3: Arithmetische Mittel der absoluten Abweichungen der Messwerte der NH₄-N-Messgeräte vom Laborreferenzwert in den einzelnen Versuchsphasen in % bezogen auf den Messbereichsendwert

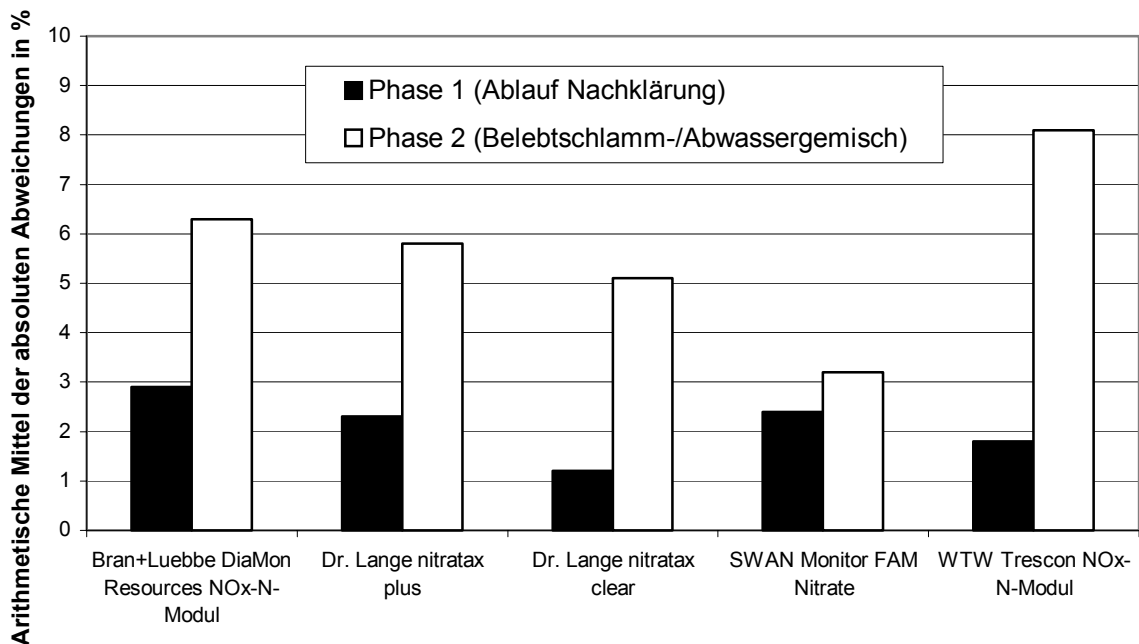


Abbildung 4: Arithmetische Mittel der absoluten Abweichungen der Messwerte der NO_x-N-Messgeräte vom Laborreferenzwert in den einzelnen Versuchsphasen in % bezogen auf den Messbereichsendwert

7. Bewertung

Bei der im Folgenden vorgenommenen Bewertung der einzelnen Messgeräte für die $\text{NH}_4\text{-N}$ - und die $\text{NO}_x\text{-N}$ -Bestimmung wurde auf die Kriterien des ATV-DVWK Merkblattes 269 eingegangen, die sich im täglichen Umgang mit dem Messgerät, d.h. im Betrieb, als die elementarsten betrachten lassen. Insbesondere technische Daten wie bspw. angewendetes Messprinzip, eingesetzte Messmethode, Abmessungen oder Gewichte wurden innerhalb der einzelnen Übersichten nicht berücksichtigt. Benötigt der Anwender detailliertere Informationen, sei auf die vorangehenden Ausführungen verwiesen.

Tabelle 7 und Tabelle 8 gehen getrennt nach den Einsatzorten der Messgeräte auf die ermittelten Messunsicherheiten und Verfügbarkeiten sowie auf die Frage der Notwendigkeit des Einsatzes von Reagenzien, auf die Durchführung von Kalibrierung und Reinigung, die Umgebungstemperatur des Aufstell- bzw. Installationsortes, die gegebenen Messbereichsgrößen und die Möglichkeiten zur Selbstdiagnose ein. Zudem werden die Investitionskosten in Bezug auf das arithmetische Mittel der Kosten der für die jeweilige Bestimmung eingesetzten Geräte betrachtet. Für die Wartungs- und Betriebskosten werden die zu erwartenden Größenordnungen angegeben. Ein direkter Vergleich ist insbesondere bei den Betriebskosten wegen der Abhängigkeit vom vorgewählten Messprogramm nicht möglich. Schließlich zeigen die Tabellen auf, wie häufig ein bestimmtes Messgerät relativ zu den Mitbewerbern während des gesamten Untersuchungszeitraumes einer Wartung unterzogen werden musste.

Lässt man bei der Gesamtbewertung die aufgeführten Details der Messunsicherheiten und der Verfügbarkeiten, der Messbereichsgrößen und Betriebskosten sowie die in der Bewertung nicht berücksichtigten übrigen Kriterien außer Betracht und beschränkt sich zusammenfassend auf die numerische Erhebung der Einstufungen +, 0 und -, so würde man bei den $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messgeräten das Amtax compact der Fa. Dr. Lange favorisieren. Bei den $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messgeräten würde man die Tauchsonde Nitratix clear, ebenfalls ein Produkt der Fa. Dr. Lange, bevorzugen.

Tabelle 7: Bewertung der NH₄-N-Messgeräte

		Bran+Luebbe DiaMon Resources NH ₄ -N-Modul	Dr. Lange Amtax inter2	Dr. Lange Amtax compact	SWAN Monitor FAM Ammonia	WTW TresCon NH ₄ -N-Modul
Messunsicherheit ¹	Ablauf Nachklärung	O	O	+	-	O
	Ablauf Belebung	-	+	+	-	+
	Zulauf	O	-	O	+	O
Verfügbarkeit ²	Ablauf Nachklärung	O	-	O	O	O
	Ablauf Belebung	O	+	+	-	+
	Zulauf	-	+	+	+	O
Reagenzien		ja	ja	ja	nein	ja
Kalibrierung ³		+	+	+	+	+
Reinigung ⁴		+	+	+	+	+
Zulässige Umgebungstemperatur ⁵		-	-	-	+	O
Messbereichsgröße		0 – 25 mg/l (frei programmier- bar)	0,02 – 80 mg/l (3 Bereiche)	0,2 – 1200 mg/l (3 Bereiche)	0 – 1000 mg/l	0,1 – 1000 mg/l (je nach Kalibrier- standard)
Selbstdiagnose ⁶		+	+	+	O	+
Investitionskosten (Grundkonfiguration) ⁷		-	O	+	+	O
Wartungskosten (Grundkonfiguration, Wartungsvertrag, ohne Anfahrt)		ca. 1000 EUR/a	ca. 540 EUR/a	ca. 540 EUR/a	ca. 990 – 1080 EUR/a	ca. 460 EUR/a
Betriebskosten gemäß Herstellerangabe		ca. 700 – 1000 EUR/a	ca. 1300 EUR/a	ca. 900 EUR/a	keine	ca. 194 – 795 EUR/a
Wartungen im Untersuchungszeitraum ⁸		-	+	+	-	+

^{1,2} Abweichung unterdurchschnittlich: +, durchschnittlich: O, überdurchschnittlich: -,

Durchschnitt entspricht dem arithmetischen Mittelwert aller Messunsicherheiten bzw. aller Verfügbarkeiten in % ± 1 %

^{3,4} automatisch bzw. werksseitig: +, anwenderseitig: -

⁵ 0° C bis +40° C: O, Bereich größer: +, Bereich kleiner: -

⁶ Anzeige verbal: +, Anzeige numerisch: O, keine Anzeige vorhanden: -

⁷ Durchschnitt ± 10 %: O, Kosten kleiner Durchschnitt ± 10 %: +, Kosten größer Durchschnitt ± 10 %: -

⁸ Durchschnitt: O, Anzahl kleiner Durchschnitt: +, Anzahl größer Durchschnitt: -

Tabelle 8: Bewertung der NO_x-N-Messgeräte

		Bran+Luebbe DiaMon Resources NO _x -N-Modul	Dr. Lange Nitratax plus	Dr. Lange Nitratax clear	SWAN Monitor FAM Nitrate	WTW TresCon NO _x -N-Modul
Messunsicherheit ¹	Ablauf Nachklärung	O	O	O	O	O
	Ablauf Belebung	O	O	O	+	-
Verfügbarkeit ²	Ablauf Nachklärung	O	O	O	O	O
	Ablauf Belebung	-	+	+	-	-
Reagenzien		nein	nein	nein	nein	ja
Kalibrierung ³		+	+	+	+	+
Reinigung ⁴		+	+	+	+	+
Zulässige Umgebungstemperatur ⁵		-	+	+	+	O
Messbereichsgröße		0 – 25 mg/l (frei programmier- bar)	0,1 – 100 mg/l (3 Bereiche)	0,5 – 20 mg/l	0 – 1000 mg/l	0 – 60 mg/l
Selbstdiagnose		+	+	+	O	+
Investitionskosten (Grundkonfiguration) ⁷		-	-	+	+	-
Wartungskosten (Grundkonfiguration, Wartungsvertrag, ohne Anfahrt)		ca. 1000 EUR/a	ca. 640 EUR/a	ca. 640 EUR/a	ca. 990 – 1080 EUR/a	ca. 460 EUR/a
Betriebskosten gemäß Herstellerangabe		ca. 170 EUR/a	keine	keine	keine	ca. 98 – 261 EUR/a
Wartungen im Untersuchungszeitraum ⁸		-	+	+	-	+

^{1,2} Abweichung unterdurchschnittlich: +, durchschnittlich: O, überdurchschnittlich: -,

Durchschnitt entspricht dem arithmetischen Mittelwert aller Messunsicherheiten bzw. aller Verfügbarkeiten in % ± 1 %

^{3,4} automatisch bzw. werksseitig: +, anwenderseitig: -

⁵ 0° C bis +40° C: O, Bereich größer: +, Bereich kleiner: -

⁶ Anzeige verbal: +, Anzeige numerisch: O, keine Anzeige vorhanden: -

⁷ Durchschnitt ± 10 %: O, Kosten kleiner Durchschnitt ± 10 %: +, Kosten größer Durchschnitt ± 10 %: -

⁸ Durchschnitt: O, Anzahl kleiner Durchschnitt: +, Anzahl größer Durchschnitt: -