

**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH**

bmlfuw.gv.at

**ENTWICKLUNG EINES
TRINKWASSER-
AUFBEREITUNGSSYSTEMS
ZUR ENTFERNUNG VON
AMMONIUM AUS
TIEFENGRUNDWÄSSERN
BEI (SEHR) KLEINEN
VERSORGUNGSGRÖßEN**

PROJEKTENDBERICHT



Universität für Bodenkultur Wien
Department Wasser-Atmosphäre-
Umwelt

IMPRESSUM



Medieninhaber und Herausgeber:
BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT
Stubenring 1, 1010 Wien

Text und Redaktion: DI Laurent Richard, DI Ernest Mayr, Priv.-Doz. DI Dr. Reinhard Perfler (BOKU-SIG)

Bildquellen: DI Laurent Richard

Konzept und Gestaltung: Universität für Bodenkultur, Wien - Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz (BOKU-SIG)

Lektorat: Universität für Bodenkultur, Wien - Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz (BOKU-SIG)

Druck: Gedruckt nach der Richtlinie „Druckerzeugnisse“ des Österreichischen Umweltzeichens.

Zentrale Kopierstelle des BMLFUW, UW-Nr. 907.
Alle Rechte vorbehalten.
Wien, Juli 2014



Inhaltsverzeichnis

TABELLENVERZEICHNIS	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	4
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	6
ZUSAMMENFASSUNG	7
1 EINLEITUNG	8
1.1 PROBLEMATIK DER BELASTUNG MIT AMMONIUM UND ORGANISCHEN KOHLENSTOFF-VERBINDUNGEN IM GRUNDWASSER ZUR TRINKWASSERVERSORGUNG.....	8
1.2 GRUNDSÄTZE BEI DER VERFAHRESENTWICKLUNG	8
1.3 DIE GEMEINDE WENDLING ALS FALLSTUDIE	9
1.4 INHALT DES ENDBERICHTS	9
2 FALLSTUDIE WENDLING	10
2.1 GEMEINDE WENDLING	10
2.2 HYDROGEOLOGISCHE SITUATION.....	10
2.3 PROBLEMATIK DER TRINKWASSERBESCHAFFENHEIT IN WENDLING.....	10
2.4 AKTUELLE CHARAKTERISTIK DER TRINKWASSERVERSORGUNG	12
3 ALLGEMEINE INFORMATIONEN ZU DEN PILOTVERSUCHEN	14
3.1 <i>Grundlegende Anforderung an das Aufbereitungsverfahren</i>	14
3.2 GETESTETE VERFAHRENSVARIANTEN	14
3.2.1 <i>Biologische Nitrifikation zum Abbau der Ammoniumbelastung</i>	14
3.2.2 <i>Alternative Verfahren</i>	17
3.3 DIE PILOTANLAGE	20
3.3.1 <i>Lage</i>	20
3.3.2 <i>Modularer Aufbau</i>	21
3.3.3 <i>Anlagesteuerung</i>	23
3.3.4 <i>Aufbau der Pilotanlage</i>	24
3.4 WISSENSCHAFTLICHE BEGLEITUNG UND WEITERE UNTERSUCHUNGEN.....	24
3.4.1 <i>Physikalisch-chemische Parameter</i>	24
3.4.2 <i>Mikrobiologische Parameter</i>	25
3.4.3 <i>Sonstige Parameter</i>	25

4	HAUPTERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN ZUR BIOLOGISCHEN NITRIFIKATION	27
4.1	CHARAKTERISIERUNG DER ROHWASSERQUALITÄT	27
4.1.1	<i>Das Rohwasser</i>	27
4.1.2	<i>Physikalisch-chemische Untersuchungen</i>	27
4.1.3	<i>Mikrobiologische Untersuchungen</i>	28
4.2	LEISTUNG DER BIOLOGISCHEN NITRIFIKATION	28
4.2.1	<i>Notwendigkeit einer funktionierenden und ausreichenden Druckluftanreicherung</i>	28
4.2.2	<i>Änderung des Wassers durch die Aufbereitung</i>	29
4.2.3	<i>Einarbeitungszeit des Filtermaterials</i>	30
4.2.4	<i>Sonstige Ergebnisse</i>	30
4.3	BETRIEB UND WARTUNG	31
4.3.1	<i>Vorgangsweise bei der Rückspülung</i>	31
4.3.2	<i>Filterlaufzeit / Rückspülungshäufigkeit</i>	31
4.3.3	<i>Betrieb nach der Rückspülung</i>	32
4.3.4	<i>UV-Desinfektionsanlage</i>	32
4.3.5	<i>Andere Wartungstätigkeiten</i>	33
5	HAUPTERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN FÜR DIE ALTERNATIVEN VERFAHREN	35
6	AUSBLICK.....	36
	LITERATURVERZEICHNIS	38
	ANHANG 1: FOTODOKUMENTATION	39
	ANHANG 2: VARIANTENSTUDIE.....	43
	ANHANG 3: BEMESSUNGSGRUNDLAGE (BIOLOGISCHE NITRIFIKATION)	44
	ANHANG 4: ANLAGENSHEMA (BIOLOGISCHE NITRIFIKATION)	50
	ANHANG 5: ANLAGENBETRIEB	51
	ANHANG 6: DETAILLIERTE AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE	55
	ANHANG 7: ABSCHÄTZUNG DER AUFBEREITUNGSKOSTEN (BIOLOGISCHE NITRIFIKATION).....	84

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abkürzungsverzeichnis	6
Tabelle 2: Ergebnisse von Wasserqualitätsanalysen in Wendling	11
Tabelle 3: Dimensionen der Filterbehälter	16
Tabelle 4: Dimensionen des Zeolithfilters	19
Tabelle 5: Messungen vor Ort (NH ₄ -N, NO ₃ -N und NO ₂ -N)	25
Tabelle 6: untersuchte mikrobiologische Parameter	25
Tabelle 7: Mikrobiologische Parameter (TWV-Werte für nicht desinfiziertes Wasser)	28
Tabelle 8: Mikrobiologische Parameter (TWV-Werte für desinfiziertes Wasser*)	30
Tabelle 9: Informationen zu der Filtrerrückspülung	31
Tabelle 10: Luftmenge und Einstellung des Druckminderers	45
Tabelle 11: Dimensionen der Filterbehälter	47
Tabelle 12: Filtermaterialien	47
Tabelle 13: Ionenbilanz des Rohwassers	56
Tabelle 14: NH ₄ -N, NO ₃ -N, NO ₂ -N und N _{anorg} -N im Rohwasser	56
Tabelle 15: NH ₄ , NO ₃ und NO ₂ im Rohwasser	56
Tabelle 16: Ionenbilanzen – Rohwasser und Ablauf der Anlage	76
Tabelle 17: Aufbereitungskosten - verkaufte Wassermenge	84
Tabelle 18: Aufbereitungskosten - Anlage (Investitionskosten)	84
Tabelle 19: Aufbereitungskosten - Anlage (Betriebskosten)	85
Tabelle 20: Kosten für die Überwachung der Wasserqualität (Investitionskosten)	85
Tabelle 21: Kosten für die Überwachung der Wasserqualität (laufende Kosten)	86
Tabelle 22: Kosten für die Erweiterung des Leitsystems (Investitionskosten)	86

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lage der Pilotanlage in der Gemeinde Wendling, Oberösterreich	10
Abbildung 2: Schwimmende Kunststoffdecke im Hochbehälter (06.02.2014)	11
Abbildung 3: Schwimmende Kunststoffdecke im Hochbehälter (19.02.2014)	11
Abbildung 4: Verteilung von Siedlungen in der Gemeinde Wendling	12
Abbildung 5: Schematische Darstellung der kommunalen Wasserversorgung in Wendling	13
Abbildung 6: Schematische Darstellung der Trinkwasseraufbereitungsanlage	15
Abbildung 7: F1(1), F1(2), F2 und UV-Desinfektionsanlage	15
Abbildung 8: Oxidator	16
Abbildung 9: Schematische Darstellung der Nitrifikationsfilter F1(1) und F1(2)	16
Abbildung 10: Schematische Darstellung des Schnellfilters F2	16
Abbildung 11: Druckhalteventil im Ablauf der UV-Desinfektionsanlage	17
Abbildung 12: Schematische Darstellung der Filtration über Zeolith	18
Abbildung 13: Zeolithfilter	18
Abbildung 14: Solebehälter	18
Abbildung 15: Schematische Darstellung der Chlordioxidanlage	19
Abbildung 16: Chlordioxidanlage	20
Abbildung 17: Lageplan Container	20
Abbildung 18: Schematische Darstellung der Pilotanlage (15.04.2013-22.10.2013)	21
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Pilotanlage (29.10.2013-18.12.2013)	22
Abbildung 20: Schematische Darstellung der Pilotanlage (18.12.2013-18.03.2014)	22
Abbildung 21: Messgeräte zur kontinuierliche Messung der Wasserqualität	23
Abbildung 22: NH ₄ -N, NO ₃ -N und NO ₂ -N Werte im Ablauf der Anlage	29
Abbildung 23: Partikel im rückgespülten Wasser	31
Abbildung 24: NO ₃ -N im Ablauf von F1(1), F1(2) und F2 (31.01-15.02.2014)	32
Abbildung 25: Display des Schaltschranks der UV-Desinfektionsanlage	33
Abbildung 26: Quarzrohr der UV-Desinfektionsanlage	33
Abbildung 27: Durchflussmesser mit Biofilm	34
Abbildung 28: gereinigter Durchflussmesser	34
Abbildung 29: Platz vor der Containerlieferung (25.03.2013)	39
Abbildung 30: Containerlieferung (25.03.2013)	39
Abbildung 31: Container (25.03.2013)	40
Abbildung 32: Lieferung der Pilotanlagekomponenten (16.04.2013)	40
Abbildung 33: Fertige Pilotanlage (21.05.2013)	41
Abbildung 34: Online Messstrecke (21.05.2013)	41
Abbildung 35: Pilotanlage (21.11.2013)	42
Abbildung 36: Schematische Darstellung eines Nitrifikationsfilters (F1(1) und F1(2))	48
Abbildung 37: Schematische Darstellung des Schnellfilters (F2)	48
Abbildung 38: schematische Darstellung der UV-Desinfektionsanlage (PACHINGER, 2013)	49
Abbildung 39: Druckentwicklung in der Nitrifikationsanlage (08.05.2013-22.10.2013)	52
Abbildung 40: kumulierte aufbereitete Wassermengen (08.05.2013-22.10.2013)	52
Abbildung 41: Druckentwicklung in der Nitrifikationsanlage (29.10.2013-18.03.2014)	53
Abbildung 42: kumulierte aufbereitete Wassermengen (29.10.2013-18.03.2014)	53
Abbildung 43: Durchflussmengen (28.01.2013-17-03.2014)	54
Abbildung 44: NH ₄ -N, NO ₃ -N und NO ₂ -N im Rohwasser	55
Abbildung 45: NH ₄ -N, NO ₃ -N, NO ₂ -N und N _{anorg} -N im Rohwasser	55
Abbildung 46: pH-Wert, Temperatur und O ₂ im Rohwasser	57

Abbildung 47: Leitfähigkeit und des ORP im Rohwasser	57
Abbildung 48: pH-Wert, Temperatur und O ₂ im Rohwasser	58
Abbildung 49: Leitfähigkeit im Rohwasser	58
Abbildung 50: NO ₃ -N _{eq} , TOC _{eq} , DOC _{eq} und SAK254 _{eq} im Rohwasser.....	59
Abbildung 51: Absorptionsspektren - Medianwerte für Rohwasser.....	59
Abbildung 52: Boxplots – Absorptionsspektren – Rohwasser (01.-30.11.2013).....	60
Abbildung 53: Absorption bei ausgewählten Wellenlängen im Rohwasser (01.-30.11.2013).....	60
Abbildung 54: coliforme Bakterien und <i>E.coli</i> im Rohwasser (RW)	61
Abbildung 55: Enterokokken und <i>Ps. Aeruginosa</i> im Rohwasser (RW)	61
Abbildung 56: KBE 22°C und KBE 37°C im Rohwasser (RW).....	62
Abbildung 57: NH ₄ -N, NO ₃ -N und NO ₂ -N im Ablauf der Anlage.....	63
Abbildung 58: Wassertemperatur – Abläufe F1(1), F1(2) und F2.....	63
Abbildung 59: NH ₄ -N, NO ₃ -N und NO ₂ -N im Ablauf des Nitrifikationsfilters F1(1)	64
Abbildung 60: NH ₄ -N, NO ₃ -N und NO ₂ -N im Ablauf des Nitrifikationsfilters F1(2)	64
Abbildung 61: NO ₃ -N _{eq} – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (31.01.-15.02.2014)	65
Abbildung 62: O ₂ im Ablauf des Oxidators (25.01.-20.03.2014)	65
Abbildung 63: pH-Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2), F2 und UV-Anlage.....	66
Abbildung 64: ORP-Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2), F2 und UV-Anlage.....	66
Abbildung 65: O ₂ – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2), F2 und UV-Anlage	67
Abbildung 66: Leitfähigkeitswerte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2), F2 und UV-Anlage.....	67
Abbildung 67: Trübung – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.02.-18.03.2014)	68
Abbildung 68: SAK _{eq} -Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.02. -18.03.2014)	68
Abbildung 69: TOC _{eq} -Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.02. -18.03.2014).....	69
Abbildung 70: DOC _{eq} -Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.02.-18.03.2014)	69
Abbildung 71: Absorptionsspektren – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (14.-18.03.2014).....	70
Abbildung 72: Absorptionsspektren – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (21.-28.02.2014).....	70
Abbildung 73: Absorptionsspektren* – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (03.-11.11.2013).....	71
Abbildung 74: Partikelzählungen (≤ 1 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (22.-28.11.2013).....	71
Abbildung 75: Partikelzählungen (≤ 1 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014).....	72
Abbildung 76: Partikelzählungen (5 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (22.-28.11.2013)	72
Abbildung 77: Partikelzählungen (5 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014)	73
Abbildung 78: Partikelzählungen (10 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (22.-28.11.2013).....	73
Abbildung 79: Partikelzählungen (10 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014).....	74
Abbildung 80: Partikelzählungen (20 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (21.-29.11.2013).....	74
Abbildung 81: Partikelzählungen (20 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014).....	75
Abbildung 82: Partikelzählungen (30-100 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (21.-29.11.2013).75	75
Abbildung 83: Partikelzählungen (30-100 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014).76	76
Abbildung 84: <i>E. coli</i> und coliforme Bakterien – Rohwasser; Abläufe F1(1), F2 und UV-Anlage	77
Abbildung 85: Enterokokken und <i>Ps. Aeruginosa</i> – Rohwasser; Abläufe F1(1), F2 und UV-Anlage	77
Abbildung 86: KBE 22°C und KBE 37°C – Rohwasser; Abläufe F1(1), F2 und UV-Anlage (UV-C).....	78
Abbildung 87: NH ₄ -N, NO ₃ -N und NO ₂ -N - Ablauf des Zeolithfilters	79
Abbildung 88: <i>E. coli</i> und coliforme Bakterien - Rohwasser (RW) und Ablauf des Zeolithfilters	80
Abbildung 89: Enterokokken und <i>Ps. Aeruginosa</i> - Rohwasser (RW) und Ablauf des Zeolithfilters.....	80
Abbildung 90: KBE 22°C und KBE 37°C - Rohwasser (RW) und Ablauf des Zeolithfilters	81
Abbildung 91: <i>E. coli</i> und coliforme Bakterien - Rohwasser (RW) und Ablauf der Chlordioxidanlage (ClO ₂) ..82	82
Abbildung 92: Enterokokken und <i>Ps. Aeruginosa</i> - Rohwasser (RW) und Ablauf der Chlordioxidanlage (ClO ₂)	82
Abbildung 93: KBE 22°C und KBE 37°C - Rohwasser (RW) und Ablauf der Chlordioxidanlage (ClO ₂)	83

Abkürzungsverzeichnis

Tabelle 1: Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	
HB	Hochbehälter
NF	Nitrifikationsfilter
RW	Rohwasser
SF	Schnellfilter
TWV	Trinkwasserverordnung

Zusammenfassung

Der vorliegende Endbericht stellt eine Zusammenfassung der Ergebnisse des vom BMLFUW geförderten Projektes „Entwicklung eines Trinkwasseraufbereitungssystems zur Entfernung von Ammonium aus Tiefengrundwässern bei (sehr) kleinen Versorgungsgrößen“ dar (Fördervertrag GZ B202295; Mai 2013-März 2014).

Im Rahmen des Projekts wurde eine Pilotanlage zur Trinkwasseraufbereitung in der Gemeinde Wendling (Oberösterreich) aufgebaut, getestet und optimiert.

Das geförderte Tiefengrundwasser der Gemeinde Wendling weist eine erhöhte, geogen bedingte Ammoniumbelastung auf (bis 5 mg/l NH_4^+). Ammonium ist in der Trinkwasserverordnung ein Parameter mit Indikatorfunktion; der Indikatorparameterwert liegt bei 0,5 mg/l, Geogen bedingte Überschreitungen bleiben jedoch bis zu 5 mg/l außer Betracht. Bei Ammoniumgehalte im Trinkwasser ergibt sich als wesentliches Problem, dass sich daraus Nitrit und Nitrat bilden kann. In ungünstigen Fällen können Überschreitungen der TWV-Grenzwerte vor allem bei Nitrit (0,1 mg/l) entstehen. Im Tiefbrunnen findet die biochemische Umwandlung auf Grund der Milieubedingungen meistens nicht statt. Im Trinkwasserbehälter, bei ausreichendem Kontakt mit Luftsauerstoff und entsprechender Mikroorganismenentwicklung, ist diese Umwandlung jedoch möglich. In Wendling wurde nach der Inbetriebnahme des in 2006 neugebauten Trinkwasserspeichers und vor der Einführung einer provisorischen Schutzmaßnahme (Abdeckung der freien Wasserfläche), während Überwachungsuntersuchungen Überschreitungen des Grenzwerts für Nitrit (bis 0,56 mg/l) im Rohrnetz festgestellt (der Nitratgehalt erreichte dabei bis zu 15,1 mg/l).

Der Schwerpunkt des Projekts war die biologische Oxidation (biologische Nitrifikation), da in Österreich zur Entfernung von Ammonium prinzipiell nur dieses Verfahren zulässig ist (§5.10 des Codexkapitels B1 des Lebensmittelbuchs). Zwischen Mai und November 2013 konnten zusätzlich zwei alternative Verfahren (Oxidation/Stabilisierung mit Chlordioxid sowie Ionenaustausch mittels Zeolithfilter) getestet werden.

Die wesentliche Herausforderung bei dem Projekt lag in der Anpassung der biologischen Nitrifikation an eine (sehr) kleine Anlagengröße (durchschnittliche Einspeisung ins Verteilungssystem: rund 20 m³/Tag) unter besonderen Randbedingungen: Prototyp der Aufbereitungsanlage in einem 10-Fuß Container am Standort des Hochbehälters im Wohngebiet.

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse konnte bewiesen werden, dass die biologische Nitrifikation in Kombination mit einer Druckluftanreicherung, einer Schnellfiltration und einer UV-Desinfektion für die Aufbereitung des Tiefengrundwassers bei den vorherrschenden Entnahmesituationen am besten geeignet war. Unter der Voraussetzung einer entsprechend hohen Sauerstoffanreicherung wird bei diesem Prozess eine vollständige Nitrifikation des Rohwassers erreicht (vollständige Umwandlung von ca. 5 mg/l Ammonium in ca. 17 mg/l Nitrat).

Das Projekt wurde mit dem Ziel konzipiert, dass die Übernahme der Pilotanlage und deren Integration ins Wasserversorgungssystem der Gemeinde Wendling nach dem Projektende einfach möglich ist. Die Planung, der Aufbau und der Betrieb der Pilotanlage wurden hauptsächlich durch das Institut für Siedlungswasserbau, Industrierewasserwirtschaft und Gewässerschutz der Universität für Bodenkultur Wien mit Unterstützung der Firma Ludwig Wassertechnik GmbH, der Firma AQUAFIDES GmbH und der Gemeinde Wendling durchgeführt.

1 Einleitung

1.1 Problematik der Belastung mit Ammonium und organischen Kohlenstoffverbindungen im Grundwasser zur Trinkwasserversorgung

In Österreich, v.a. im nordwestlichen Teil Oberösterreichs weisen, Brunnenwässer oft eine geogen bedingte erhöhte Belastung an Ammonium und organischen Kohlenstoffverbindungen auf. Im nahen Ausland werden, z.B. in Ungarn, Pilotprojekte zur Trinkwasserversorgung aus ähnlichen Grundwässern durchgeführt. Auch in Nord-Deutschland sind solche Problemstellungen weit verbreitet, allerdings ist der Einsatz derartiger Aufbereitungsanlagen dort nur bei sehr großen Wasserwerken (z.B. Hamburg-Baursberg, siehe MUTSCHMANN & STIMMELMAYR, 2011) bekannt.

Die vorhandene Rohwasserqualität führt in der Speicherung und der Verteilung meist zu einer erhöhten Nitritbelastung und Verkeimung, so dass die Trinkwassereignung nicht mehr gegeben ist. Überschreitungen des Grenzwertes für Nitrat und v.a. für Nitrit (50 bzw. 0,1¹ mg/l²) sind durch den Kontakt mit Luftsauerstoff möglich. Die örtlichen Verhältnisse lassen vielfach einen Wechsel der Rohwasserressource (z.B. Erschließung anderer Grundwasservorkommen) bzw. den Anschluss an eine regionale Versorgung aus technischen bzw. wirtschaftlichen Gründen als wenig zielführend erscheinen (siehe Anhang 2).

1.2 Grundsätze bei der Verfahrensentwicklung

Die Entwicklung einer technisch, hygienisch und ökonomisch befriedigenden Lösung unter gleichzeitiger Vermeidung des Einsatzes von Chemikalien und des Anfalls von belastetem Abwasser aus der Aufbereitung soll eine Problemlösung für die Trinkwasserversorgung aus reduzierten Grundwässern bei kleinen Anlagengrößen (ab 10-20 m³/Tag; Wassergenossenschaften, kleine Gemeindeversorgungen) darstellen. Dies kann am besten unter Anwendung der biologischen Nitrifikation erreicht werden. Nach dem österreichischen Lebensmittelbuch (Codex-Kap.:B1 Trinkwasser) ist für die Entfernung von Ammonium ausschließlich die biologische Oxidation durch Nitrifikation zulässig. Andere Verfahren nutzen Ionen-Austausch- bzw. Adsorptionsprozesse, die aber immer mit einem erheblichen, nicht unproblematischen, Abwasseranfall bzw. mit der Verwendung von nicht zugelassenen Filtermaterialien einhergehen. Zusätzlich kommen noch Chlor-Desinfektionsverfahren zum Einsatz, die jedoch nur die mikrobielle Aktivität und die damit verbundenen unerwünschten Umsetzungsprozesse im Wasser unterbinden. Eine grundsätzliche Lösung der Aufbereitung im Hinblick auf eine stabile Wasserqualität (sehr geringer Gehalt an TOC und Ammonium) erreichen diese aber nicht.

¹ Dieser Wert gilt jedenfalls am Ausgang der Wasserwerke. Für einen begrenzten Zeitraum, der maximal sechs Monate nicht übersteigen darf, ist eine Überschreitung des Parameterwertes bis 0,5 mg/l zulässig, - falls sie technisch bedingt ist (z.B. bei Verwendung von verzinkten Werkstoffen bis zur Bildung einer entsprechenden Schutzschicht) und - wenn sichergestellt ist, dass dieses Wasser nicht für die Zubereitung von Nahrung für Säuglinge verwendet wird.

² Es ist zusätzlich die Bedingung, $[\text{Nitrat}]/50 + [\text{Nitrit}]/3 \leq 1$ einzuhalten (die eckigen Klammern stehen für Konzentrationen in mg/l, und zwar für Nitrate [NO₃] und für Nitrite [NO₂])

1.3 Die Gemeinde Wendling als Fallstudie

Das Brunnenwasser der Wasserversorgung der Gemeinde Wendling – bei der das Pilotprojekt angesiedelt ist – ist ein typischer Anwendungsfall und weist erhöhte Gehalte an Ammonium (bis 5 mg/l³) mit den damit verbundenen Problemen auf. Die Erschließung anderer Grundwasservorkommen bzw. der Anschluss an eine regionale Versorgung wurden grundsätzlich überprüft und sind aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht umzusetzen.

Der wesentliche Innovationsschritt bei dem beschriebenen Pilotprojekt liegt in der Anpassung von großtechnisch eingesetzten Verfahrensschritten an (sehr) kleine Anlagengrößen (im Fall Wendling 15 – 20 m³/Tag).

1.4 Inhalt des Endberichts

Der vorliegende Endbericht stellt die Ergebnisse des Projektes zusammenfassend dar. Im Kapitel 2 wird zuerst die Fallstudie Wendling und die Problematik der lokalen Trinkwasserbeschaffenheit präsentiert. Im dritten Kapitel sind allgemeine Informationen zu den Pilotversuchen dargestellt. Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Begleituntersuchungen sind in Kapitel 4 (biologische Nitrifikation) und Kapitel 5 (alternative Verfahren) zusammengefasst.

³ Ammonium ist ein Parameter der Trinkwasserverordnung (TWV) mit Indikatorfunktion. Der Parameterwert ist 0,5 mg/l, wobei, im Fall von geogen bedingter Belastung, Überschreitungen bis 5 mg/l zulässig sind.

2 Fallstudie Wendling

2.1 Gemeinde Wendling

Die Gemeinde Wendling liegt im Bezirk Grieskirchen, in der Region des oberösterreichischen Hausruckviertels (Abbildung 1). Mit 31. Dezember 2012 waren in der Gemeinde 801 Hauptwohnsitze und 44 Nebenwohnsitze gemeldet.



Abbildung 1: Lage der Pilotanlage in der Gemeinde Wendling, Oberösterreich

2.2 Hydrogeologische Situation

Das Trinkwasser der Gemeinde Wendling wird aus den Tertiär- bzw. Quartärsanden der oberösterreichischen Molassezone entnommen. Der Tiefengrundwasserkörper ist gekennzeichnet durch lokale, nicht zusammenhängende, mit Schlierkörpern verzahnten Schichtgliedern mit unterschiedlichen Durchlässigkeiten. Die häufig vorkommenden artesisch gespannten Aquifere können unter Umständen Grundwasserverweilzeiten von mehreren tausend Jahren aufweisen. Zu den relevanten, wasserführenden Schichten im Raum Wendling zählen die Linzer Sande, die Phosphoritsande, die fossilreichen Grobsande, die Atzbacher Sande, die Kletzenmarkter Sande, die Treubacher Sande sowie die Mehrnbacher Sande (HEISS et al. 2003). Durch die variable Lagerung der Sandschichten und die Verzahnung mit den Schliervorkommen können innerhalb einer Formation verschiedene Grundwasserleiter auftreten.

2.3 Problematik der Trinkwasserbeschaffenheit in Wendling

Das geförderte Tiefengrundwasser (Bohrbrunnen: ca. 250 m) der Gemeinde Wendling weist eine erhöhte, geogenbedingte Ammoniumbelastung auf (bis 5 mg/l NH_4^+). Während der Zwischenspeicherung im Hochbehälter (zwei Speicherkammern mit je 30 m³) kommt das Tiefengrundwasser in Kontakt mit Luftsauerstoff. Dieser Umstand führte zu einer nicht vollständigen Aktivierung der Nitrifikation und einer dementsprechenden Bildung von Nitrat und Nitrit. Als Folge traten bisher kontinuierlich Überschreitungen des Grenzwertes

für Nitrit (0,1 mg/l) auf. Zudem werden durch diesen Vorgang Wachstumsbedingungen von Mikroorganismen begünstigt, die die mikrobiologische Stabilität des Trinkwassers beeinflussen können (z.B. Anstieg der Koloniezahl bei 22°C und 72 h und 37°C und 48 h). Als provisorische Übergangslösung wurde die Trinkwasseroberfläche im Hochbehälter mit Polyethylen-Platten abgedeckt (Abbildung 2 und Abbildung 3). Dadurch konnte der Eintrag von Sauerstoff über die Wasseroberfläche minimiert und somit der entsprechende Grenzwert von Nitrit in der Regel eingehalten werden.



Abbildung 2: Schwimmende Kunststoffdecke im Hochbehälter (06.02.2014)



Abbildung 3: Schwimmende Kunststoffdecke im Hochbehälter (19.02.2014)

Die Ergebnisse der Wasserqualitätsuntersuchungen aus den Jahren 2006, 2009 und 2013 sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Wasserproben wurden beim Wasserhahn des Gemeindeamtes (WC) genommen.

Tabelle 2: Ergebnisse von Wasserqualitätsanalysen in Wendling

Parameter / Indikatorparameter (IP)	Parameterwert/ Indikatorwert *	Netzprobe 14/8/2006	Netzprobe 02/03/2009	Netzprobe 6/5/2013
Ammonium (IP)	0,5 mg/l**	3,03	4,8	4,1
Nitrit	0,1 mg/l	0,56	0,134	0,0164
Nitrat	50 mg/l	< 1	< 0,5	< 1
KBE 22°(IP)	100 KBE/ml	> 1000	-	9
KBE 37°(IP)	20 KBE/ml	360	-	1

* Parameterwert entspricht lt. Trinkwasserversorgung einem Grenzwert, der Indikatorwert entspricht einem Richtwert.

** Geogen bedingte Überschreitungen bleiben bis zu 5 mg/l NH₄ außer Betracht.

Für die Trinkwasserversorgung der Gemeinde Wendling wurden für die langfristige und sichere Trinkwasserversorgung der Bevölkerung folgende Lösungen betrachtet:

- Wechsel der Rohwasserressource,
- Anschluss an eine regionale Versorgung,
- Eigenständige Trinkwasseraufbereitung des Tiefengrundwassers der Gemeinde Wendling.

Da die örtlichen Verhältnisse einen Wechsel der Rohwasserressource bzw. den Anschluss an eine regionale Versorgung aus technischen bzw. wirtschaftlichen Gründen als wenig zielführend erscheinen lassen, soll eine entsprechende Wasserqualität durch eine geeignete Wasseraufbereitungsanlage erreicht werden.

2.4 Aktuelle Charakteristik der Trinkwasserversorgung

An der kommunalen Trinkwasserversorgungsanlage in Wendling sind 81 Objekte für insgesamt 193 Personen angeschlossen (per 1. Oktober 2013) (Abbildung 5). Die restlichen Einwohner der Gemeinde werden von einer Wassergenossenschaft bzw. aus Hausbrunnen versorgt. Diese Situation ergibt sich vor allem auf Grund der Topographie und Zersiedelung in der Region (Abbildung 4).

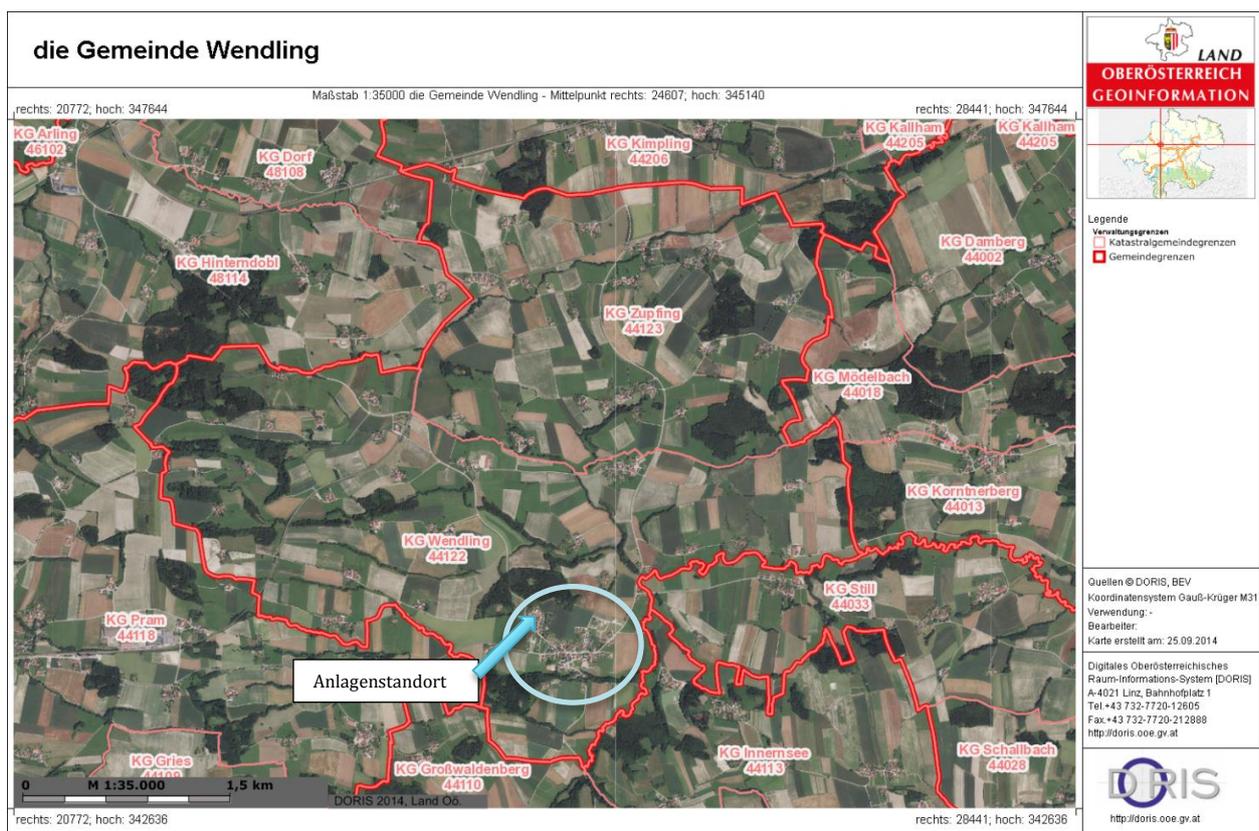


Abbildung 4: Verteilung von Siedlungen in der Gemeinde Wendling

Zu den Hauptbestandteilen der Trinkwassergewinnungs- sowie Trinkwasserabgabereinrichtung zählen ein auf rund 250 m Tiefe abgeteufter Vertikalfilterbrunnen, ein Hochbehälter und eine Drucksteigerungsanlage, welche eine Abgabeleistung von 4,0 l/s sicherstellt. Um den steigenden Trinkwasserbedarf auch in Zukunft dauerhaft gewährleisten zu können, wurde ein Ausbau der Drucksteigerung auf eine Leistung von 7,8 l/s im Jänner 2013 durchgeführt. Der Tiefenbrunnen weist einen maximalen Tageskonsens von 56 m³/d auf, die höchst zulässige Spitzenentnahme beträgt 1,5 l/s. Das 60 m³ große Fassungsvermögen des Hochbehälters ist in zwei gleich große Kammern aufgeteilt. Um das Speichervolumen und damit die Aufenthaltszeit und das Potenzial zur Nitritbildung zu minimieren, wird nur eine Kammer betrieben. Der Wasservorrat bewegt sich derzeit somit zwischen 16 und 18 m³. Der derzeit täglich stattfindende Wasserverbrauch schwankt zwischen 18 und 22 m³. Im Zeitraum von Oktober 2011 bis Ende September 2012 wurden in Summe 7 400 m³ Wasser aus dem Brunnen entnommen und an die Bevölkerung abgegeben.

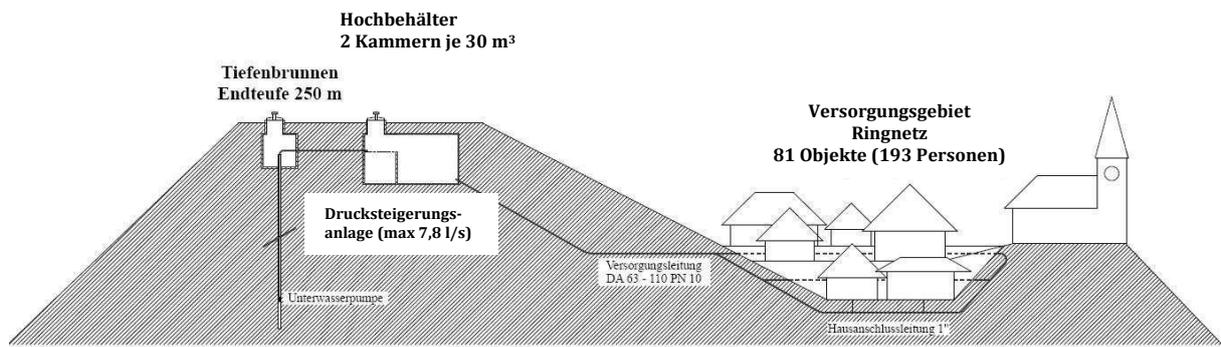


Abbildung 5: Schematische Darstellung der kommunalen Wasserversorgung in Wendling

3 Allgemeine Informationen zu den Pilotversuchen

3.1 Grundlegende Anforderung an das Aufbereitungsverfahren

Die Erreichung eines einwandfreien hygienischen Zustandes des aufbereiteten Trinkwassers gilt als grundlegende Anforderung für den Betrieb der Pilotanlage in Wendling. Das zur Anwendung kommende Aufbereitungsverfahren soll gleichzeitig folgenden Kriterien entsprechen:

- kein Zusatz von Chemikalien zum Trinkwasser,
- möglichst geringer Eingriff in den Chemismus des Rohwassers,
- ausreichende mikrobiologische „Stabilität“ des aufbereiteten Trinkwassers bei der Weiterverteilung,
- möglichst geringer Abwasseranfall bei der Aufbereitung bzw. möglichst wenig belastete Abwässer,
- geringer Energieaufwand,
- angepasste Anforderungen an den Anlagenbetrieb bei (sehr) kleinen Versorgungsgrößen,
- geringer Wartungsaufwand,
- geringe Aufbereitungskosten.

3.2 Getestete Verfahrensvarianten

3.2.1 Biologische Nitrifikation zum Abbau der Ammoniumbelastung

Aus verfahrenstechnischer Sicht wurde im Hinblick auf die Ammoniumbelastung des reduzierten Grundwassers in Wendling eine Anlage zur vollständigen Nitrifikation (Oxidation des Ammoniums und Nitrits zu Nitrat) implementiert. Auf Grund der Ausgangskonzentration von max. 5 mg/l Ammonium kann der TWV-Grenzwert für Nitrat (50 mg/l) im Ablauf der Nitrifikationsstufe/Pilotanlage jedenfalls eingehalten werden.

Als erste Verfahrensvariante wurde im vorliegenden Fall eine biologische Nitrifikation über Drucksandfilter mit anschließender Partikelabtrennung (Schnellfilter) ausgewählt. Für die Nitrifikation wird zusätzlich Sauerstoff benötigt, um eine vollständige Oxidation zu Nitrat zu erreichen. Bei der Pilotanlage wurde dies durch Anreicherung mit Druckluft sichergestellt.

Der beim Aufbau des Biofilms zur Nitrifikation eintretende Verbrauch von Kohlenstoff und Stickstoff soll zu einer Stabilisierung der (mikrobiologischen) Wasserqualität durch den deutlich reduzierten Nährstoffgehalt führen. Der Einsatz einer Desinfektionsanlage (UV-Desinfektion) nach dem Schnellfilter soll die mikrobiologische Wasserqualität garantieren (Sicherheitsstufe).

Eine einfache schematische Darstellung der Aufbereitungsanlage wird in Abbildung 6 gegeben (siehe auch Anhang 4). In einem ersten Schritt wird die Konzentration von Sauerstoff im Rohwasser/Anlagenzulauf zuerst durch die Zufuhr von Druckluft in einem Oxidator („Luftoxidation“) erhöht (Abbildung 8).

Nach der Luftanreicherung fließt das Wasser in die Nitrifikationsfilter F1(1) und F1(2). Diese Filter sind identisch gebaut und werden parallel betrieben. Sowohl Dimensionen

(Höhe, Durchmesser) als auch die eingesetzten Filtermaterialien (Art von Material, Korngröße, Schichthöhe) sind für beide Filter ident (siehe Tabelle 3 und Abbildung 9). Die Filter F1(1) und F1(2) dienen der biologischen Nitrifikation und werden als „Abstrom“-Filter betrieben (im Normalbetrieb fließt das Wasser durch das Filtrationsmedium von oben nach unten). Nach der biologischen Nitrifikation fließt das Wasser zuerst in den Schnellfilter F2 und dann in die UV-Desinfektionsanlage. Anschließend wird das aufbereitete Wasser zukünftig in den Hochbehälter der Gemeinde Wendling eingespeist.

Der Schnellfilter F2 dient der Filtration von partikulären Inhaltsstoffen, die im Ablauf der Nitrifikationsfilter v.a. nach einem Rückspülprozess auftreten könnten (z.B. feine Partikel aus der in den Filter F1(1) und F1(2) vorhandenen Biomasse). Dadurch kann gemeinsam mit der nachgeschalteten Desinfektion (UV-Desinfektionsanlage) eine einwandfreie, mikrobiologische Qualität des Wassers sichergestellt werden.

Die Trinkwasseraufbereitungsanlage (biologische Nitrifikation und UV-Desinfektion) wurde für einen maximalen Aufbereitungsdurchsatz von rund 1,2 m³/h ausgelegt. Detaillierte Informationen zu der Bemessungsgrundlage befinden sich im Anhang 3 dieses Berichts.

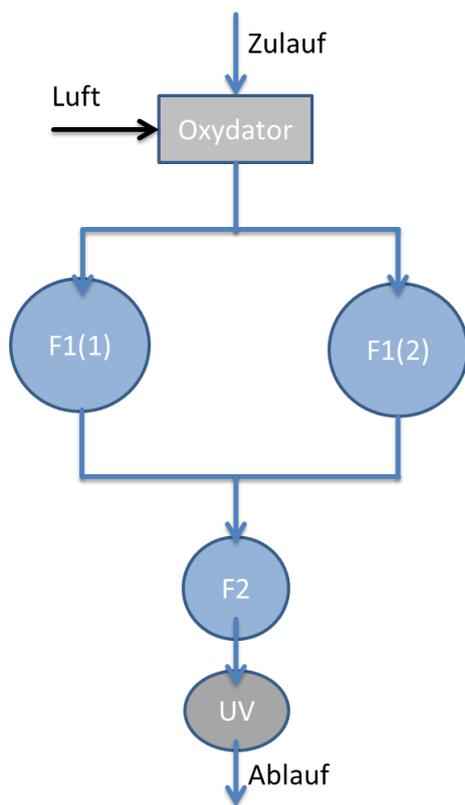


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Trinkwasseraufbereitungsanlage

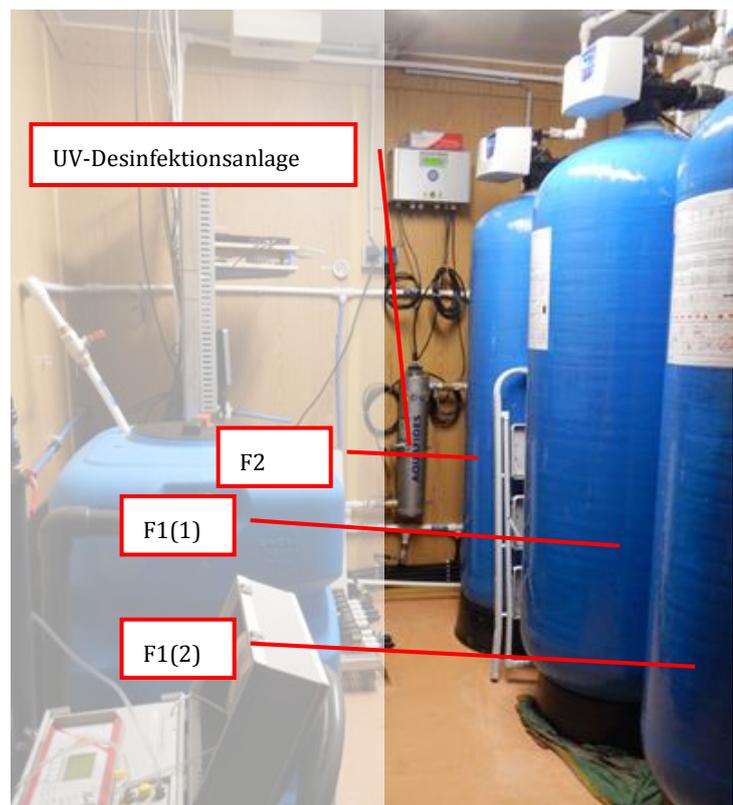


Abbildung 7: F1(1), F1(2), F2 und UV-Desinfektionsanlage



Oxidator

Abbildung 8: Oxidator

Die Dimensionen der Nitrifikationsfilter sind in der Tabelle 3 zusammengefasst. Informationen zu den Filtermaterialien sind in Abbildung 9 angegeben. Die Nitrifikationsfilter F1(1) und F1(2) sind seit Juli bzw. seit November 2013 in Betrieb. Auch die Dimensionen des Schnellfilters F2 sind ebenfalls in der Tabelle 3 zusammengefasst. Informationen zu den Filtermaterialien sind in Abbildung 10 angegeben. Der Schnellfilter F2 ist seit Juli 2013 im Betrieb.

Tabelle 3: Dimensionen der Filterbehälter

Filter	Art	Material	Behälterhöhe [cm]	Durchmesser [cm]	Volumen [Liter]	
F1(1)	Druckfilter	Nitrifikationsfilter	Polyethylen	188	61	436
F1(2)	Druckfilter	Nitrifikationsfilter	Polyethylen	188	61	436
F2	Druckfilter	Schnellfilter	Polyethylen	179	47	250

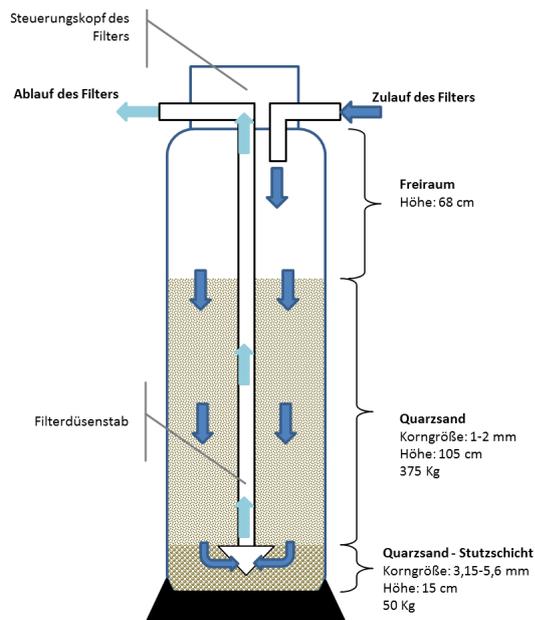


Abbildung 9: Schematische Darstellung der Nitrifikationsfilter F1(1) und F1(2)

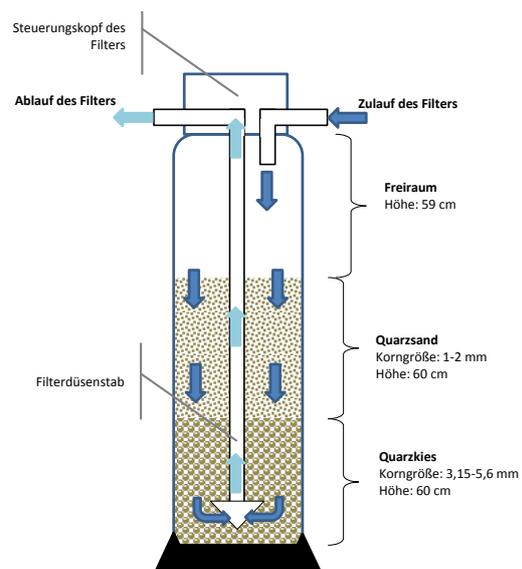


Abbildung 10: Schematische Darstellung des Schnellfilters F2

Eine besonders wichtige Armatur ist das Druckhalteventil, das beim Ablauf der UV-Desinfektionsanlage installiert ist. Das Ventil ermöglicht den Druck im System einzustellen bzw. konstant zu halten. Im Standardbetrieb erreicht der Druck vor dem Ventil rund 1 bar. Dieser Druck verursacht im Anlagezulauf einen Druck von rund 2 bis 3 bar. Durch die Erhöhung des Drucks im System kann mehr Sauerstoff im Wasser gelöst werden.



Abbildung 11: Druckhalteventil im Ablauf der UV-Desinfektionsanlage

3.2.2 Alternative Verfahren

Im Rahmen des Projekts wurden parallel zusätzlich folgende Aufbereitungsverfahren getestet: Filtration über Zeolith (Ionenaustauschverfahren), chemische Oxidation mit Hilfe von Chlordioxid zur mikrobiologischen Stabilisierung des Rohwassers.

3.2.2.1 Filtration über Zeolith - Ionenaustausch

Die Filtration über Zeolith (ein natürlich vorkommender, grau-grüner Klinoptilolith) - Ionenaustausch wurde im Zuge der Pilotierung als alternative Aufbereitungsmethode eingesetzt. Die chemische Formel des getesteten Zeolithmaterials ist $(Ca, K_2, Na_2, Mg)_4Al_8Si_{40}O_{96} \cdot x24H_2O$. Vor Anwendung als Filterstoff für die Trinkwasseraufbereitung wurde das Naturgestein (Naturzeolith) vom Hersteller thermisch aktiviert und aufbereitet. Zu den physikalischen Haupteigenschaften zählen ein spezifisches Gewicht von 2,2-2,5 g/cm³, eine Porosität von 32-40% und eine spezifische Oberfläche von 400-600 m²/g. Die Ionenaustauschkapazität liegt zwischen 1,2 und 1,2 mol/kg (Selektivität des Ionenaustausches: $NH_4^+ > K^+ > Mg^{2+}, Ca^{2+}$).

Nach dem österreichischen Lebensmittelbuch ist die Aufbereitungsmethode des Ionenaustauschs ausschließlich bei der Entfernung von Nitrat und der Enthärtung anzuwenden. Jedoch wurde, im Rahmen von Forschungsarbeiten, gezeigt, dass die Entfernung von Ammonium durch Ionenaustausch unter Verwendung natürlicher Zeolith eine konkurrenzfähige Alternative zur biologischen Nitrifikation darstellt (z.B. KURAMA et al., 2010; WANG & PENG, 2010).

Die Chlordioxidanlage ist in Abbildung 12 schematisch dargestellt. Die Zeolithfiltration wurde wie die Chlordioxidanlage ohne zusätzliche Sauerstoffeinbringung betrieben. Die Systemkomponenten für die Zeolithfiltration waren ein mit Zeolith gefüllter Drucktank („Zeolithfilter“, siehe Tabelle 4), ein für den Betrieb erforderliches Steuerungsventil und ein für das Regenerationsmittel notwendiger Solebehälter.

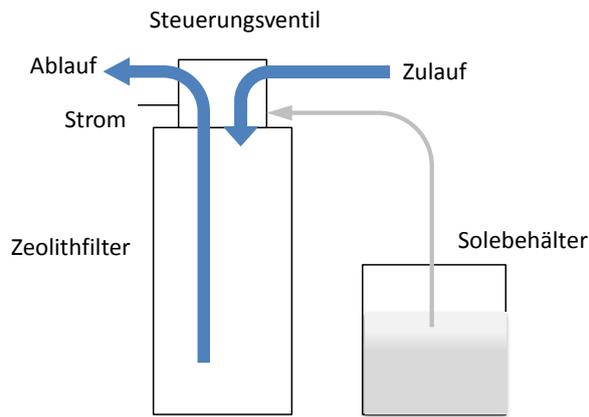


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Filtration über Zeolith



Abbildung 13: Zeolithfilter



Abbildung 14: Solebehälter

Die Ionenaustauschkapazität von Zeolith ist nach einer zeitlichen Beschickung des Filtermediums mit ammoniumhaltigem Rohwasser erschöpft. Durch eine, in kontinuierlichen Zeitintervallen stattfindende Spülung bzw. Regeneration kann eine entsprechende Filterwirksamkeit aufrechterhalten werden (PACHINGER, 2013). Die Regeneration wird mittels Wasser und einer konzentrierten Natrium - Chlorid Lösung (NaCl Konzentration im 100-Liter-Solebehälter: 100-120 g/l) durchgeführt. Pro Regeneration werden im Durchschnitt 5,5 kg Natrium-Chlorid verbraucht (PACHINGER, 2013). Informationen zum Betrieb des Zeolithfilters während des Projekts sind in Anhang 5 dargestellt.

Tabelle 4: Dimensionen des Zeolithfilters

Filter	Art	Material	Behälterhöhe [cm]	Durchmesser [cm]	Volumen [Liter]	
Zeolithfilter	Druckfilter	Zeolithfilter	Fiberglass	130	35	125*

* mit 43 Liter Zeolithmaterial gefüllt.

3.2.2.2 Chlordioxidverfahren

Die Anwendung von Chlordioxid ist lt. TWV ausschließlich für die Trinkwasserdesinfektion zugelassen, eine Oxidation von Wasserinhaltsstoffen ist nicht gestattet. Chlordioxid reagiert nicht mit Ammonium, jedoch ist die Oxidation von Nitrit möglich (DVGW, 2010). Die Chlordioxidanlage soll neben der mikrobiologischen Stabilisierung des Rohwassers auch als alternative Desinfektionsmethode zur UV-Desinfektionsanlage und aufgrund der gleichzeitigen Desinfektions- und Oxidationswirkung als alternative Methode zur biologischen Nitrifikation dienen.

Im Zuge des Projekts wurde eine Chlordioxidkompaktanlage getestet. Die Vor- und Nachteile von Chlordioxid Kompaktanlagen als Trinkwasserdesinfektionsmaßnahme wurden von Mayr et al. (2014) beschrieben. Chlordioxid bzw. eine Lösung mit einer Chlordioxidkonzentration von rund 3 g/l kann durch die sehr einfache Mischung von zwei Komponenten (einer natriumhaltigen Chloritlösung und einem zum Großteil aus Natriumperoxodisulfat zusammensetzten Salzgemisch) vor Ort hergestellt werden. Die Chlordioxidanlage ist in Abbildung 15 schematisch dargestellt. Zu den Hauptbestandteilen der Anlage zählen ein Chemikalienbehälter, eine Dosierpumpe, ein Kontaktwasserzähler, eine Impfstelle und ein Reaktionsbehälter. Die Dosierpumpe dosiert proportional zu einem externen potentialfreien Kontaktsignal aus dem Wasserzähler (Dosierung je Impuls bzw. je Liter). In Abhängigkeit der einzuhaltenden Grenzwerte wird die dosierte Chlordioxidlösung über eine Impfstelle dem Wasservolumenstrom beigemischt. Die durch das Chlordioxid verursachte Oxidation und Desinfektion der Wasserinhaltsstoffe findet innerhalb des Reaktionsbehälters (Volumen:310 l) statt.

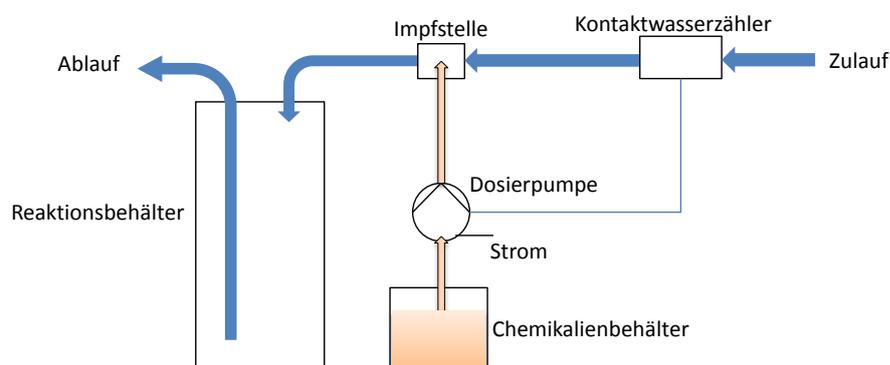


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Chlordioxidanlage

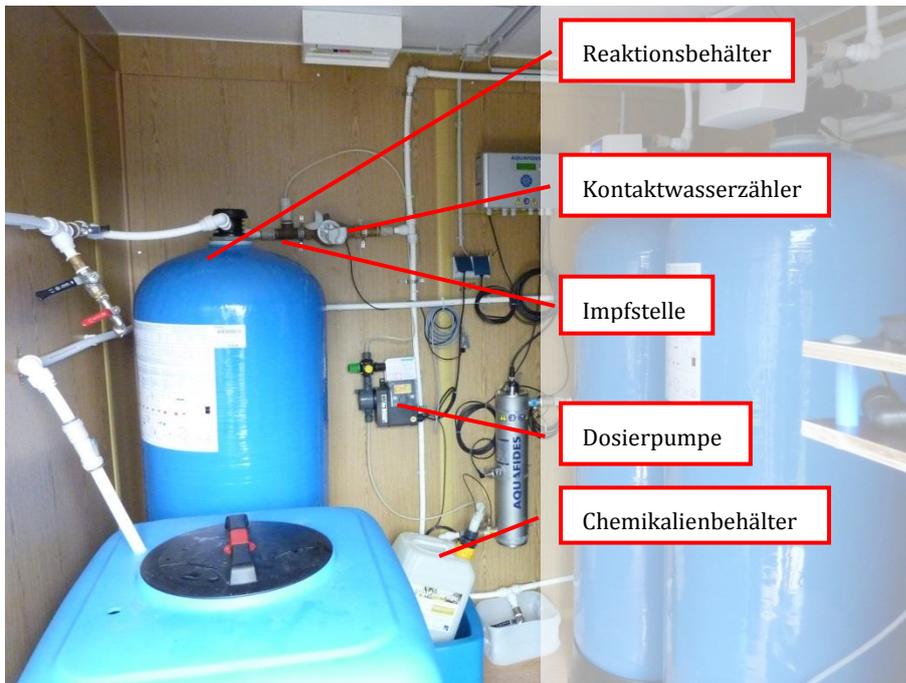


Abbildung 16: Chlordioxidanlage

3.3 Die Pilotanlage

3.3.1 Lage

Aus Gründen der einfacheren Durchführbarkeit sowie der eingeschränkten Zugänglichkeit und Platzverhältnisse im Hochbehälter wurde die Trinkwasseraufbereitungsanlage in einem 10-Fuß Container direkt beim Brunnen und beim Hochbehälter untergebracht (Abbildung 17). Der 10-Fuß Bürocontainer hat eine Innenfläche von rund 6 m² und eine Höhe von rund 2,35 m.

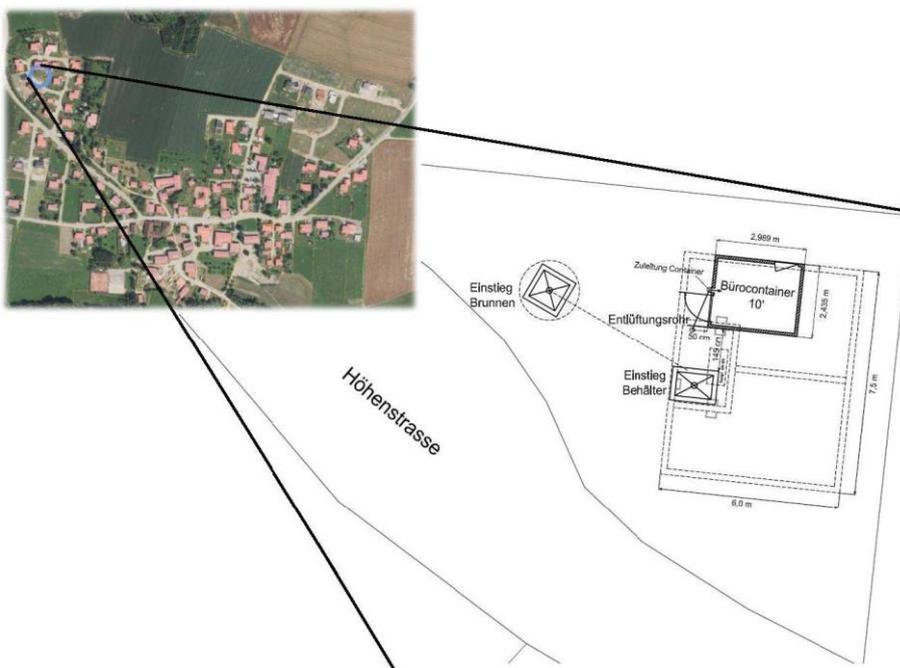


Abbildung 17: Lageplan Container

3.3.2 Modularer Aufbau

Die Pilotanlage wurde modular aufgebaut, sodass sie – im Hinblick auf die Dimensionierungsgröße und Verfahrensschritte – zumindest als Teil einer zukünftigen Aufbereitungsanlage am Pilotstandort genutzt werden kann. Eine Abgabe zur Netzversorgung wird erst nach entsprechender Überprüfung der Trinkwasserqualität und nach der wasserrechtlichen Genehmigung vorgenommen. Die Pilotanlage wurde auf einen maximalen Durchfluss von 1,2 m³/h ausgelegt. Das Rohwasser wurde direkt aus dem Wasserspeicher entnommen und mit Hilfe einer Drucksteigerungspumpe zur Pilotanlage gepumpt. In der Pilotanlage wurden unterschiedlichen Konfigurationen von Aufbereitungsmaßnahmen durchgeführt.

1. Konfiguration der Pilotanlage (15.04.2013-22.10.2013)

Die Pilotanlage ist in Abbildung 18 schematisch dargestellt. Das aufbereitete und analysierte Wasser der gesamten Pilotanlage wurde im Freispiegelabfluss, entweder direkt oder über einen Puffertank (Vorlagebehälter für die Filtrerrückspülung) in den Abflusskanal abgeleitet. Bei dieser Konfiguration wurden auch die Filtration über Zeolith und das Chlordioxidverfahren parallel zu der biologischen Nitrifikation untersucht.

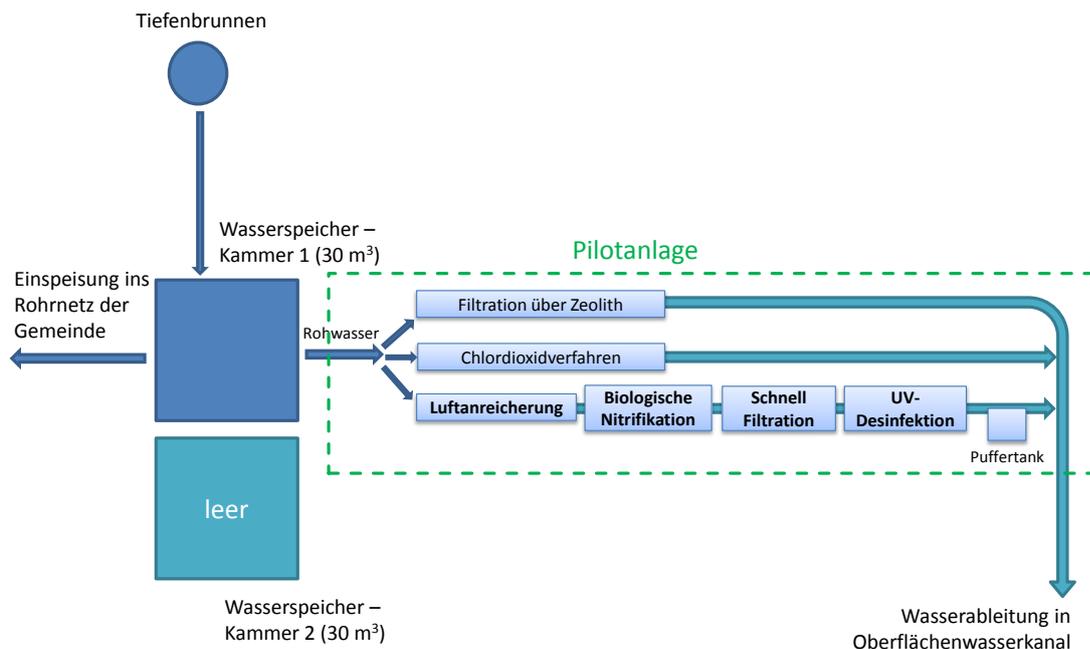


Abbildung 18: Schematische Darstellung der Pilotanlage (15.04.2013-22.10.2013)

2. Konfiguration der Pilotanlage (29.10.2013-18.12.2013)

Die Pilotanlage ist in Abbildung 19 schematisch dargestellt. Die alternativen Verfahren (Filtration über Zeolith, Chlordioxidverfahren) wurden zwischen 22. und 29. Oktober abgebaut. Die biologische Nitrifikation wurde weiter untersucht.

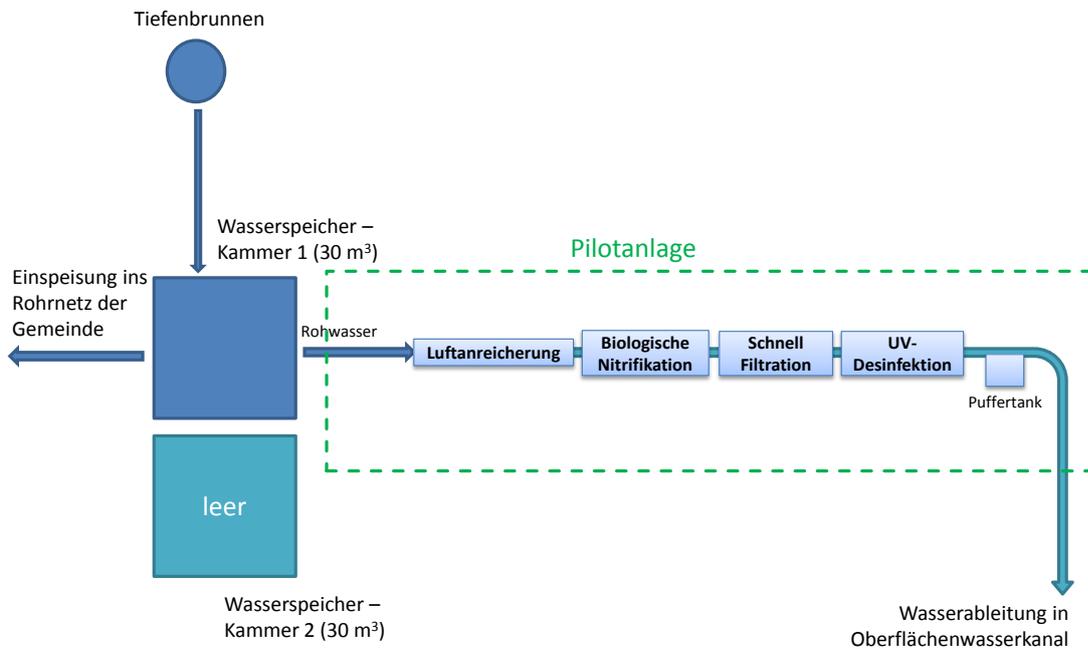


Abbildung 19: Schematische Darstellung der Pilotanlage (29.10.2013-18.12.2013)

3. Konfiguration der Pilotanlage (18.12.2013-18.03.2014)

Die Pilotanlage ist in Abbildung 20 schematisch dargestellt. Ab 18. Dezember wurde die zweite Kammer des Hochbehälters dazu verwendet, um die Entwicklung der Wasserqualität nach der Aufbereitung untersuchen zu können. Die durchschnittliche Aufenthaltszeit des aufbereiteten Wassers in der Wasserkammer betrug rund 24 Stunden (zukünftige Betriebsbedingungen an normalen Verbrauchstagen. Der Überlauf dieser Kammer wurde in den Abflusskanal abgeleitet.

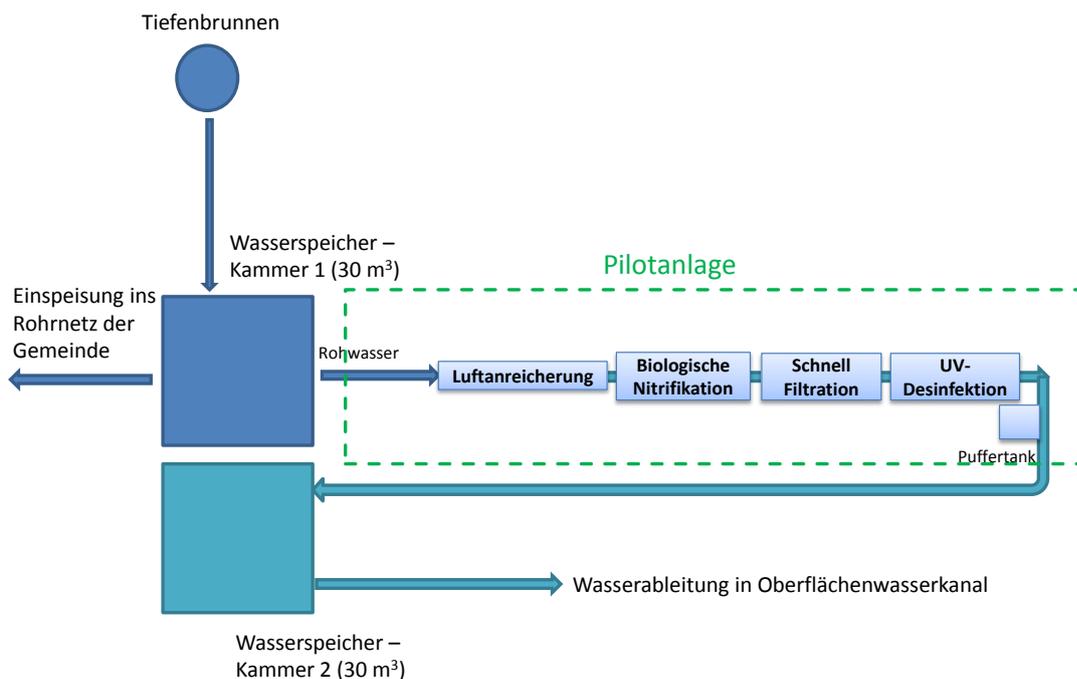


Abbildung 20: Schematische Darstellung der Pilotanlage (18.12.2013-18.03.2014)

3.3.3 Anlagesteuerung

Der Betrieb der Anlage wurde manuell gesteuert (Einstellungen der Durchflussmengen und Drücke). Die Messstrecke zur kontinuierlichen Überwachung der Wasserqualität wurde über Magnetventile automatisch gesteuert. Die Steuerung erfolgte mit Hilfe der Programmiersoftware LabVIEW, die auch die automatische Überwachung der Anlage ermöglicht.

3.3.3.1 Manuelle Steuerungen der Aufbereitungseinheiten

Die Regulierung der entsprechenden Durchflussvolumina für die beiden Verteilsysteme erfolgte mit Hilfe der jeweils angebrachten Schwebekörper-Durchflussmesser in Kombination mit den davor platzierten Drosselventilen. Mit dem Messbereich der Schwebekörper-Durchflussmesser und den Drosselventilen kann ein Volumenstrom von 150 bis 1.500 l/h reguliert werden. Für die Gewährleistung der erforderlichen Betriebsdrücke und Durchflussraten sind mehrere Regulierungsventile angeordnet, mit denen manuell der Durchfluss und der Druck für das jeweilige System eingestellt werden kann.

3.3.3.2 Automatische Steuerungen und Anlageüberwachung

Im Rahmen des Betriebs der Prototypanlage wurden Messgeräte zur kontinuierlichen Messung der Wasserqualität eingesetzt (Spectro::lyser, Ammo::lyser, Condu::lyser und oxi::lyser der Firma scan Messtechnik GmbH, Abbildung 21). Da es nur eine Messstrecke gab, war es nicht möglich alle relevanten Messstellen (Rohwasser, Ablauf Nitrifikationsfilter, Ablauf Schnellfilter, Ablauf UV-Desinfektionsanlage, Ablauf Zeolithfilter und Ablauf Chlordioxidanlage) direkt parallel zu überwachen. Um dennoch eine zeitnahe und quasi-parallele Überwachung der einzelnen Aufbereitungsströme zu erreichen, wurde eine automatische Steuerung der Messstrecke mit kürzeren Schaltintervallen von 10 Minuten für die einzelnen Teilströme eingerichtet.



Abbildung 21: Messgeräte zur kontinuierlichen Messung der Wasserqualität

Das Programm ermöglichte auch die kontinuierliche Überwachung und Aufzeichnung der anlagenspezifischen Parameter wie Druck und Durchfluss. Zur Aufzeichnung der Messwerte war das Betriebsprogramm zusätzlich mit vier am Verteilsystem angeschlossenen piezoresistiven Drucktransmittern und zwei Wasserzählern verbunden.

3.3.4 Aufbau der Pilotanlage

3.3.4.1 Zeitraum

Der Container wurde im April 2013 installiert. Die Trinkwasseraufbereitungsanlage wurde hauptsächlich im Rahmen des Projekts entwickelt (April 2013 – März 2014), wobei bis Juli 2014 noch Optimierungsarbeiten durchgeführt wurden.

3.3.4.2 Mitwirkende

Der Aufbau der Pilotanlage wurde grundsätzlich in Zusammenarbeit mit der Fa. Ludwig Wassertechnik und mit der Gemeinde Wendling durchgeführt. Die Firma AQUAFIDES GmbH (Bereitstellung der UV-Desinfektionsanlage für die Dauer des Projekts), die Firma AGRE Kompressoren GmbH (Auswahl des Kompressors für die Luftanreicherung) und die Firma HEIGL GmbH (Änderung der Verrohrung im Bereich Brunnen-Behälter) waren innerhalb des Projekts zusätzlich eingebunden.

3.4 Wissenschaftliche Begleitung und weitere Untersuchungen

Die Untersuchungen im Rahmen des Betriebs der Pilotanlage hatten die Zielsetzung, die Rohwasserqualität, die Verfahrensschritte und die Qualität des aufbereiteten Wassers möglichst lückenlos zu dokumentieren. Dazu wurde einerseits Betriebsdaten andererseits aber auch repräsentative Qualitätsparameter kontinuierlich erfasst. Die kontinuierliche Qualitätsüberwachung erfolgte für die einzelnen Verfahrensschritte bzw. -kombinationen und wurde durch regelmäßige labortechnische Analysen referenziert (z.B. pH, Redox, Leitfähigkeit, Temperatur, O₂, SAK, DOC, NO₃-N, NO₂-N, NH₄-N, Trübe). Zusätzlich erfolgten spezifische labortechnische Untersuchungen zur mikrobiologischen Qualität des Wassers und von Stabilitätsparametern (Koloniebildende Einheiten, *E. coli*, coliforme Bakterien, Enterokokken, *Ps. aeruginosa*).

3.4.1 Physikalisch-chemische Parameter

Es wurden Labormessungen und Messungen vor Ort durchgeführt.

Labormessungen

- Ammonium (NH₄⁺)
- Gelöster organischer Kohlenstoff (DOC)
- Eisen gelöst
- Carbonathärte
- Mangan gelöst
- Nitrat (NO₃⁻)
- Nitrit (NO₂⁻)
- SAK254nm
- Kalium
- Gesamter organischer Kohlenstoff (TOC)
- Trübung
- und andere Ionen (siehe Ionenbilanz, Tabelle 16, Seite 76)
- Messungen vor Ort

- pH-Wert
- Redoxpotential (ORP)
- Sauerstoffgehalt
- Temperatur
- Leitfähigkeit

Tabelle 5: Messungen vor Ort (NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N)

Parameter	Messbereiche	Test (HACH LANGE Küvettestests)
NH ₄ -N	0,015-2,0 mg/l	LCK 304
NH ₄ -N	2,0-47,0 mg/l	LCK 303
NO ₃ -N	0,23-13,5 mg/l	LCK 339
NO ₂ -N	0,015-0,6 mg/l	LCK 341
NO ₂ -N	0,6-6,0 mg/l	LCK 342

3.4.2 Mikrobiologische Parameter

Es wurden nur Labormessungen durchgeführt.

Labormessungen

Tabelle 6: untersuchte mikrobiologische Parameter

Parameter	Methode
Koloniebildende Einheiten	nach EN ISO 6222, Plattenguss
<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) und coliforme Bakterien	MPN-Verfahren, 100 ml, Colilert®-18 (C-18), Quanti-Tray™ (IDEXX)
Enterokokken	MPN-Verfahren, 100 ml, Enterolert-DW, Quanti-Tray™ (IDEXX)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (<i>Ps. aeruginosa</i>)	MPN-Verfahren, 100 ml, Pseudalert, Quanti-Tray™ (IDEXX)

3.4.3 Sonstige Parameter

Hydraulische Leistung

- Durchsatz der gesamten Anlage in m³/h,
- Durchsatz des Nitrifikationsfilters F1(1) in m³/h,
- Durchsatz des Nitrifikationsfilters F1(2) in m³/h,
- Druck im Anlagenzulauf in bar
- Druck im Ablauf der Nitrifikationsfilter in bar
- Druck im Ablauf der Trinkwasseraufbereitungsanlage (vor dem Druckhalteventil) in bar

Druckluftanreicherung

- Angereicherte Luftmenge in l/min
- Druck im Anlagezulauf und Einstellung des Druckminderers in bar

UV-Desinfektionsanlage

- Status der UV-Desinfektionsanlage: in Ordnung oder Alarm
- Strahlung der UV-Desinfektionsanlage in W/m^2
- Kumulierte Anzahl von Betriebsstunden

4 Hauptergebnisse der Untersuchungen zur biologischen Nitrifikation

Die Hauptergebnisse der Untersuchungen zur biologischen Nitrifikation sind nachstehend zusammengefasst. Betriebsdaten sowie detaillierte Ergebnisse sind in den Anhängen 5 und 6 dargestellt. Während der gesamten Projektdauer wurde die Anlage zur biologischen Nitrifikation, außer bei Wartungsarbeiten, kontinuierlich betrieben (24 Stunden am Tag). Insgesamt wurden zwischen dem 8. Mai und dem 22. Oktober 2013 (Betrieb mit einem Nitrifikationsfilter - F1(1)) rund 2.000 m³ Wasser aufbereitet. Zwischen dem 29. Oktober 2013 und dem 18. März 2014 (Betrieb mit zwei Nitrifikationsfiltern – F1(1) und F1(2)) sind rund 3.200 m³ Wasser aufbereitet worden.

4.1 Charakterisierung der Rohwasserqualität

4.1.1 Das Rohwasser

Als Rohwasser wird das Wasser vor der Aufbereitung bezeichnet (Zulauf der Anlage). Im Rahmen der Versuche wurde das Rohwasser aus der ersten Kammer des Hochbehälters und nicht direkt das Brunnenwasser verwendet. Aus technischen Gründen wäre eine direkte Entnahme aus dem Brunnen ohne riesen Aufwand (Umbauarbeiten im Bereich Brunnen-Hochbehälter, Umtausch der Brunnenpumpe) nicht möglich gewesen. Die Behälterkammer wurde in Abhängigkeit des Wasserstands direkt aus dem Tiefbrunnen gespeist (siehe Kapitel 2.3). Ein Einfluss auf die Versuche durch den Aufenthalt des Wassers im Hochbehälter konnte mittels Analysen von physikalisch-chemischen und mikrobiologischen Wasserqualitätsuntersuchungen ausgeschlossen werden.

4.1.2 Physikalisch-chemische Untersuchungen

4.1.2.1 Anorganischer Stickstoff: Ammonium, Nitrit und Nitrat

Über den gesamten Projektzeitraum blieb die physikalisch-chemische Rohwasserqualität konstant. Das Rohwasser wies eine erhöhte, geogen bedingte Ammoniumbelastung auf, die im Durchschnitt 4,6 mg/l betrug. Eine Überschreitung des 5 mg/l Wertes wurde nur einmal nachgewiesen. Die schwimmende Kunststoffdecke im Behälter (PE-HD Platten zum trinkwassertauglichen Einsatz) konnte die Nitritbildung kontinuierlich verhindern. Allerdings wurden bei 2 von insgesamt 12 im Labor durchgeführten Analysen Überschreitungen des Trinkwasserverordnungsgrenzwerts für Nitrit gemessen (0,28 und 0,53 statt 0,1 mg/l). Die höchste gemessene Nitratkonzentration betrug 1 mg/l.

4.1.2.2 Begleitanalysen

Die nachstehenden Parameter können einen starken Einfluss auf die biologische Nitrifikation haben. Die in Wendling gemessenen Werte weisen auf für die biologische Nitrifikation günstige Bedingungen hin und sind im Folgenden zusammengefasst:

- Wassertemperatur konstant zwischen 15 und 17°C,
- pH-Wert konstant zwischen 8,2 und 8,8 - wobei der Großteil zwischen 8,4 und 8,6 gemessen wurde
- Carbonathärte: 1,2°dH (Gesamthärte: rund 1,2°dH) (Anmerkung: es wurde aber eine Carbonathärte von rund 10,8°dH gemessen. Die Carbonathärte ist hier größer

als die Gesamthärte, weil neben den Erdalkaliionen auch Alkaliionen an Hydrogenkarbonat gebunden sind (GANS et al, 1999.)

- Phosphat: 0,06 mg/l

Weiters wurden geringe TOC- bzw. DOC-Gehalte (zwischen 0,2 und 0,5 mg/l) gemessen. Die Leitfähigkeit erreichte konstant rund 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Die gemessenen Konzentrationen an gelöstem Sauerstoff betragen jeweils unter 2 mg/l. Im Tiefengrundwasser ist wahrscheinlich ein Sauerstoffgehalt von Null (anoxisches Grundwasser) gegeben. Sauerstoffeinträge im Behälter (trotzt der schwimmenden Kunststoffdecke) und vor allem während den Probenahmen konnten nicht komplett ausgeschlossen werden, weshalb ein Sauerstoffgehalt im Rohwasser <2 mg/l wahrscheinlich ist.

4.1.3 Mikrobiologische Untersuchungen

Bei den mikrobiologischen Untersuchungen konnten die TWV-Grenzwerte (Tabelle 7) für *E. coli* und Enterokokken sowie für *Pseudomonas Aeruginosa* eingehalten werden. Für die Indikatorparameter coliforme Bakterien, Koloniebildende Einheiten (KBE) bei 37°C und 48h sowie bei 22°C und 72h wurden Überschreitungen in den ersten Versuchsmonaten beobachtet. Diese Überschreitungen wurden zeitlich mit dem Austausch der Brunnenpumpe und der damit verbundenen Änderungen der hydraulischen Randbedingungen im Brunnenbereich festgestellt. Im Februar und Juni 2014 konnten keine Überschreitungen der Grenzwerte festgestellt werden.

Tabelle 7: Mikrobiologische Parameter (TWV-Werte für nicht desinfiziertes Wasser)

Parameter / Indikatorparameter (IP)	Parameterwert/ Indikatorwert *	Einheit
Escherichia coli	0	Anzahl/100 ml
Enterokokken	0	Anzahl/100 ml
Pseudomonas aeruginosa	0	Anzahl/100 ml
KBE 22* (IP) (koloniebildende Einheiten bei 22 °C Bebrütungstemperatur)	100	Anzahl/ml
KBE 37* (IP) (koloniebildende Einheiten bei 37 °C Bebrütungstemperatur)	20	Anzahl/ml
coliforme Bakterien* (IP)	0	Anzahl/100 ml

* Parameterwert entspricht lt. TWV einem Grenzwert, der Indikatorwert entspricht einem Richtwert.

4.2 Leistung der biologischen Nitrifikation

4.2.1 Notwendigkeit einer funktionierenden und ausreichenden Druckluftanreicherung

Wenn das Wasser mit genug Druckluft angereichert ist und damit der Sauerstoffgehalt des Wassers vor den Nitrifikationsfiltern ausreichend erhöht ist, wird Ammonium vollständig nitrifiziert (vollständige Umwandlung des Ammoniums in Nitrat). Die unvollständige Nitrifikation des Wassers und eine mögliche Bildung von Nitrit mit Konzentrationen über 0,1 mg/l sind möglich, wenn nicht ausreichend Sauerstoff im Wasser angereichert wird. Daher muss der Prozess der Druckluftanreicherung regelmäßig kontrolliert und im Ablauf der Anlage ein Mindestsauerstoffgehalt nachgewiesen werden. Wird zu wenig bzw. keine Druckluft angereichert, kann naturgemäß keine biologische Nitrifikation stattfinden.

In Abbildung 22 sind die Ergebnisse der Ammonium-, Nitrit- und Nitratanalysen vom Ablauf der Anlage dargestellt. Erst mit dem im Jahr 2014 eingebauten, von der Universität für Bodenkultur selbst gebauten Oxidator und einem geeigneten Schraubenkompressor, konnten gute Ergebnisse im Prozess erzielt werden. Durch die unzureichende Luftanreicherung vor diesem Umbau, konnte die biologische Nitrifikation nicht immer vollständig betrieben werden. Die höchsten Ammoniumwerte im November und Dezember 2013 wurden gemessen, als der ursprünglich eingebaute Kompressor einen Defekt aufwies. Im Zeitraum von Mai bis Juli 2013 wurden die Filtermaterialien „eingearbeitet“ (d.h. Bildung einer ausreichenden Biomasse), weshalb zu diesem Zeitpunkt noch keine biologische Nitrifikation erreicht wurde.

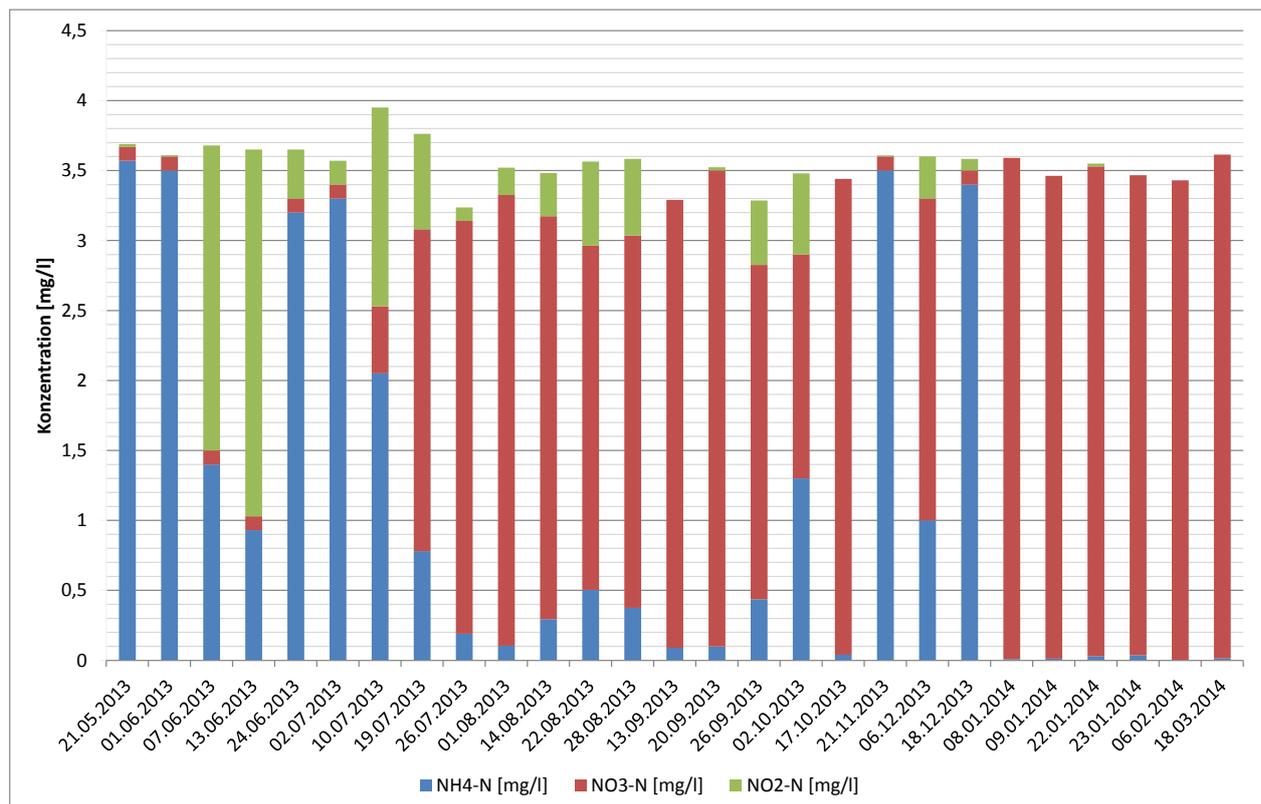


Abbildung 22: NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N Werte im Ablauf der Anlage

Zur Kontrolle der vollständigen Nitrifikation, werden der pH-Wert und der Sauerstoffgehalt des Wassers im Ablauf kontinuierlich gemessen. Dabei soll ein Sauerstoffgehalt des Wassers von mindestens 2 mg/l eingehalten werden, um die biologische Nitrifikation vollständig zu erreichen. Messungen, die in der zweiten Behälterkammer durchgeführt wurden, weisen zusätzlich darauf hin, dass sich der Sauerstoffgehalt des aufbereiteten Wassers im Hochbehälter noch weiter erhöht.

4.2.2 Änderung des Wassers durch die Aufbereitung

4.2.2.1 Physikalisch-chemische Parameter

Durch die biologische Nitrifikation werden folgende Wassereigenschaften wie beschrieben beeinflusst:

- Reduktion des pH-Werts von 1 pH-Stufe
- Reduktion der elektrischen Leitfähigkeit von rund 360 auf rund 330 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Reduktion der gemessenen Carbonathärte von rund 10,8 auf 9,5°dH

- Phosphat: Reduktion von rund 0,06 auf 0,05 mg/l

Zusätzlich werden durch die Luftanreicherung die Eisen- und Mangangehalte sowie durch die Filtration die Partikelanzahl reduziert.

4.2.2.2 Mikrobiologische Parameter

Im Ablauf der UV-Desinfektionsanlage wurden die TWV-Grenzwerte (Tabelle 10) der untersuchten mikrobiologischen Parameter eingehalten (*E. coli*, Enterokokken, *Ps. Aeruginosa*). Die Ergebnisse der Indikatorparameter coliforme Bakterien, KBE 37°C sowie der KBE 22°C zeigen keine überdurchschnittliche Erhöhung.

Tabelle 8: Mikrobiologische Parameter (TWV-Werte für desinfiziertes Wasser*)

Parameter / Indikatorparameter (IP)	Parameterwert/ Indikatorwert **	Einheit
Escherichia coli	0	Anzahl/250 ml
Enterokokken	0	Anzahl/250 ml
Pseudomonas aeruginosa	0	Anzahl/250 ml
KBE 22* (IP) (koloniebildende Einheiten bei 22 °C Bebrütungstemperatur)	10	Anzahl/ml
KBE 37* (IP) (koloniebildende Einheiten bei 37 °C Bebrütungstemperatur)	10	Anzahl/ml
coliforme Bakterien* (IP)	0	Anzahl/100 ml

* unmittelbar nach Abschluss der Desinfektion

** Parameterwert entspricht lt. TWV einem Grenzwert, der Indikatorwert entspricht einem Richtwert.

4.2.3 Einarbeitungszeit des Filtermaterials

Die biologische Nitrifikation findet nach der Erst-Inbetriebnahme von neuem Filtermaterial nicht sofort statt. Neue Filtermaterialien brauchen Zeit bevor sie biologisch aktiv werden. Diese Zeit wird als „Einarbeitungszeit“ bezeichnet. Im Rahmen des Projekts konnte eine Einarbeitungszeit von 4 bis 8 Wochen (ohne zusätzliche Beimpfung der Filter) beobachtet werden. Bei einem zukünftigen Austausch von Filtermaterial (falls erforderlich) würde eine Beimpfung z.B. durch die Zugabe vom Filtermaterial aus einem funktionieren Nitrifikationsfilter, die Einarbeitungszeit verkürzen.

4.2.4 Sonstige Ergebnisse

- Der Schnellfilter F2 kann auch als Sicherheitsmaßnahme bei der biologischen Nitrifikation bezeichnet werden. Am Ende des Projekts wurde festgestellt, dass der Nitrifikationsfilter F1(1) einen Kurzschluss im Steuerungskopf (Vermischung des Filterablaufs mit einem Teil des Filterzulaufs durch eine fehlende Dichtung) hatte, wodurch im Ablauf vom F1(1) immer geringere Nitratwerte als im Ablauf vom F1(2) nachgewiesen wurden. Aber selbst hier konnte das Wasser mit Hilfe des Schnellfilters F2 vollständig nitrifiziert werden.
- Im Rahmen des Projekts wurden einzelne Störfälle getestet. Nach einer 14 Tage langen Unterbrechung der Druckluftanreicherung (keine Sauerstoffzufuhr) wurde beobachtet, dass die Filterbiomasse nach nur kurzer Reaktionszeit wieder eine vollständige Nitrifikationsleistung erreichen konnte. Rund 10 Stunden nach der Wiederinbetriebnahme der Druckluftanreicherung konnten Nitratwerte (als NO₃-N)

von rund 3,5 mg/l nachgewiesen werden. Nach 36 Stunden wurde das Maximum von rund 3,7 mg/l NO₃-N erreicht.

4.3 Betrieb und Wartung

4.3.1 Vorgangsweise bei der Rückspülung

Die Rückspülung erfolgte in 3 Phasen:

- Phase 1:** Rückspülung ausschließlich mit Luft: zum Aufbruch des Filterbetts
- Phase 2:** Rückspülung mit einer Mischung von Wasser und Luft: zum Ablösen der Schmutzstoffe
- Phase 3:** Rückspülung ausschließlich mit Wasser: zum Ausspülen der Schmutzstoffe und Luftaustag

Weitere Anweisungen zu der Filtrerrückspülung befinden sich in Tabelle 9.

Tabelle 9: Informationen zu der Filtrerrückspülung

Phase	
1	3-5 Minuten lang
2	Mischung aus Luft und Wasser (rund 250 Liter)
3	Nur mit Wasser (rund 250 Liter)

In Abbildung 23 ist das Rückspülwasser inkl. der ausgetragenen Partikel dargestellt.



Abbildung 23: Partikel im rückgespülten Wasser

4.3.2 Filterlaufzeit / Rückspülungshäufigkeit

Die Daten über die Entwicklung des Druckwiderstands in jedem Filter (Druckverluste im Filter in Abhängigkeit der Durchflussmenge) können als Entscheidungsgrundlage zur Bestimmung der Filterlaufzeit (Zeit zwischen zwei Rückspülungen) benützt werden.

Im Rahmen des vorliegenden Pilotprojekts wurde ein Rückspülintervall von einmal pro Monat festgelegt, obwohl keine signifikante Erhöhung der Filterwiderstände nach dieser Periode beobachtet wurde.

4.3.3 Betrieb nach der Rückspülung

Nach einer Rückspülung und der Wiederinbetriebnahme des rückgespülten Filters ist es üblich das gefilterte Wasser eine gewisse Zeit lang auszuleiten bzw. nicht für die Trinkwasserversorgung zu verwenden. Es besteht das Risiko, dass nicht alle Schmutzstoffe während der Rückspülung (Phase 3) aus dem Filter ausgetragen werden. Diese Schmutzstoffe würden mit dem ersten gefilterten Wasservolumen ausgetragen werden. Die Messungen im Rahmen des BOKU Pilotprojekts (s. Abbildung 24) haben gezeigt, dass die Nitrifikationsleistung der gesamten Anlage nur unmittelbar nach der Rückspülung geringfügig beeinflusst wird, wobei nach ein paar Stunden die Nitrifikationsleistung wieder ihr Maximum erreicht.

Für die Rückspülung der Anlage wird daher empfohlen:

1. Nicht alle drei Filter an einem Tag rückzuspülen, sondern die Filter F1(1) und F1(2) alle 4 Wochen rückzuspülen („n“ und „n+4“); die Rückspülung von F2 erfolgt ebenfalls alle 4 Wochen jedoch um 2 Wochen versetzt („n+2“ und „n+6“)
2. der Ablauf der Anlage muss nur nach Rückspülung des Schnellfilters (F2) für eine Stunde nach Wiederinbetriebnahme ausgeleitet werden.

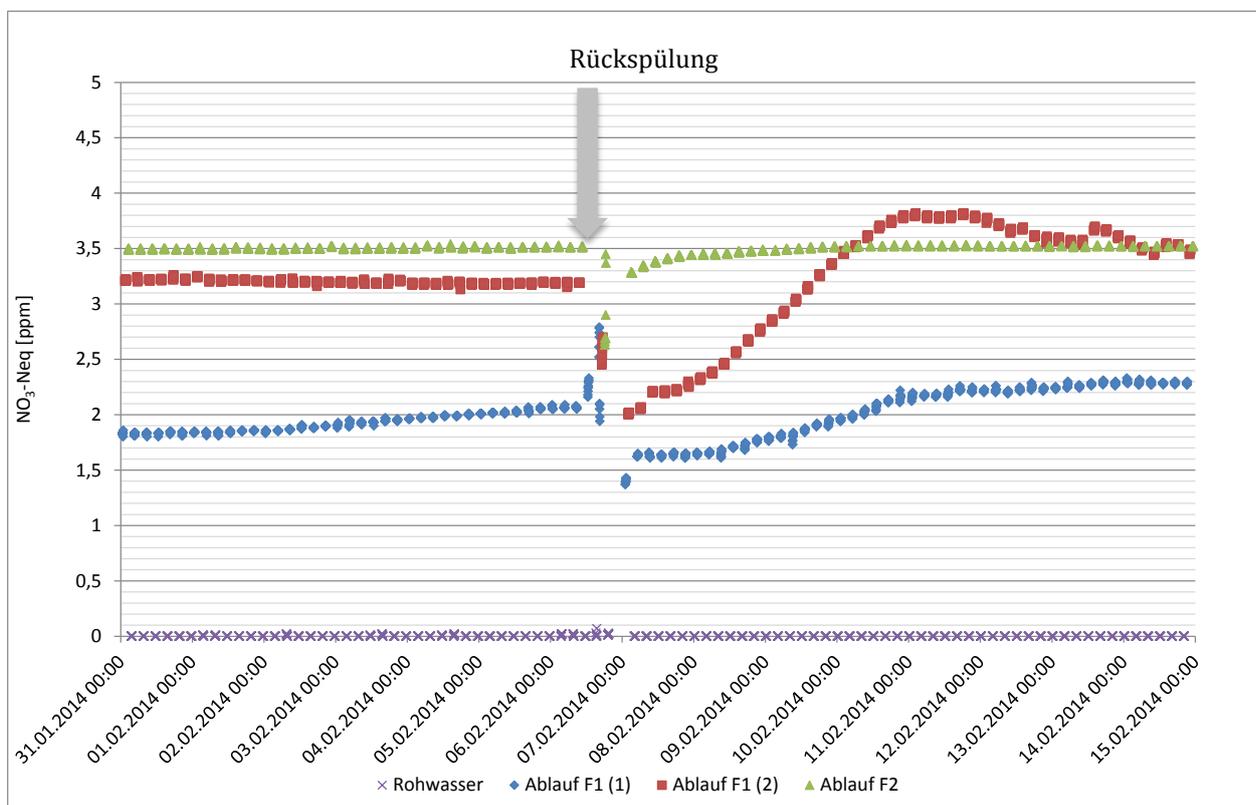


Abbildung 24: NO₃-N im Ablauf von F1(1), F1(2) und F2 (31.01-15.02.2014)

Rückspülung aller Filtern am 6. Februar 2014

4.3.4 UV-Desinfektionsanlage

Wichtige Informationen für den Betriebszustand der UV-Desinfektionsanlage werden auf dem Display des Schaltschranks der Anlage angezeigt (z.B.: Strahlung, kumulierte Anzahl von Betriebsstunden, Alarm). Beispielerweise zeigt in Abbildung 25 die Anzeige, dass die

maximale Anzahl von kumulierten Betriebsstunden der Lampe überschritten wurde. Die Lampe ist in diesem Fall sofort zu tauschen.

Typische Wartungsarbeiten bei der UV-Desinfektionsanlage sind:

- Reinigung des Sensors
- Reinigung des Quarzrohrs (Abbildung 26)
- Jährliche Wartung durch Fachleute (z.B. Mitarbeiter der Firma Aquafides)
- Installation einer neuen UV Lampe (jedenfalls nach einem Jahr)

Die Reinigung des Sensors und des Quarzrohrs soll ausschließlich bei niedrigen Strahlungswerten bzw. bei Störungsanzeige am Display des Schaltschranks durchgeführt werden. Im Rahmen des BOKU Pilotprojekts wurde nur eine Reinigung in der Einfahrphase durchgeführt. Während der einzelnen Kontrollen bei vollständiger Nitrifikation konnte festgestellt werden, dass das Quarzrohr und der Sensor immer sauber bzw. ablagerungsfrei waren.

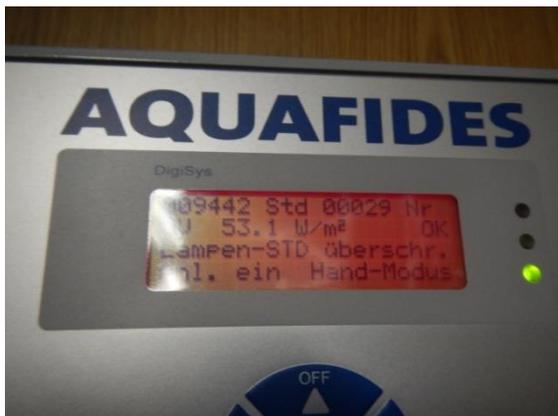


Abbildung 25: Display des Schaltschranks der UV-Desinfektionsanlage

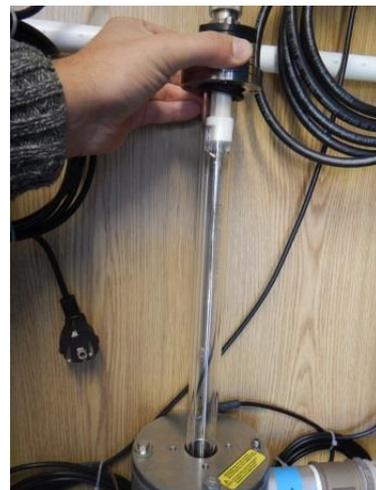


Abbildung 26: Quarzrohr der UV-Desinfektionsanlage

Umfassende Informationen zu der Wartung der UV-Desinfektionsanlage befinden sich in der Bedienungsanleitung des Geräts.

4.3.5 Andere Wartungstätigkeiten

4.3.5.1 Durchflussmesser mit Schwebekörper

In allen Durchflussmessern der Anlage (im Anlagezulauf, im Ablauf des Nitrifikationsfilters F1(1) und im Ablauf des Nitrifikationsfilters F1(2)) kann sich ein Biofilm bilden, der eine Funktionsbeeinträchtigung zur Folge hat. Nach rund 2-3 Monaten sollten die Durchflussmesser gereinigt werden. Die Reinigung kann durch die Verwendung einer einfachen und trinkwassergeeigneten Bürste erfolgen.



Abbildung 27: Durchflussmesser mit Biofilm



Abbildung 28: gereinigter Durchflussmesser

5 Hauptergebnisse der Untersuchungen für die alternativen Verfahren

Es muss hier darauf hingewiesen werden, dass nach dem österreichischen Lebensmittelbuch (Codex-Kap.:B1 Trinkwasser) für die Entfernung von Ammonium ausschließlich die biologische Oxidation durch Nitrifikation zulässig ist.

Im Rahmen des Projekts wurden aber aufgrund der sehr kleinen Anlagengröße zwei potentielle alternative Aufbereitungsverfahren zusätzlich getestet:

- Filtration über Zeolith (Ionenaustauschverfahren),
- chemische Oxidation mit Hilfe von Chlordioxid zur mikrobiologischen Stabilisierung des Rohwassers.

Beim Ionenaustauschverfahren mit Hilfe des Zeolithfilters wurde eine Reduktion der Ammoniumkonzentration festgestellt (Reduktion bis maximal 0,7 mg/l). Beim Verfahren mit Zeolith konnte im Vergleich zu der Anwendung der biologischen Nitrifikation ein verringertes Wartungsintervall beobachtet werden. Die Wartung erfolgt einerseits durch die automatische Regeneration des Zeoliths (jeden vierten Tag) andererseits durch die regelmäßige Nachfüllung des für die Regeneration benötigten Natriumchlorid-Behälters. Die Auswertungen zeigten allerdings, dass die Ionenaustauschkapazität des Zeoliths nach der Aufbereitung von bestimmten Wassermengen auch trotz regelmäßigen Regenerationen erschöpft wird. Dies bedeutet, dass das Zeolith-Filtermaterial nach einer bestimmten Zeit zu tauschen oder neu zu aktivieren ist. Im Hinblick auf die mikrobiologische Qualität des durch den Zeolithfilter aufbereiteten Wassers konnte zusätzlich festgestellt werden, dass die Stabilität der mikrobiologischen Wasserqualität geringer als bei dem durch die biologische Nitrifikation aufbereiteten Wassers ist, da durch die Regeneration mit Natriumchlorid die im Filter gebildete Biofilmschicht regelmäßig gestört wird und sich keine mikrobiologisch stabilen Verhältnisse (mikrobiologisch aktiver Filter) einstellen konnten. Der Nachweis erfolgte durch die Messung eines hohen mikrobiologischen Wachstumspotentials im Filterablauf.

Bei der Chlordioxidkompaktanlage konnte nach Betriebsunterbrechungen und variablen Dosiermengen keine einwandfreie Desinfektion nachgewiesen werden. Die getestete Chlordioxiddosierung (0,04 mg/l im Rohwasser) war dafür zu gering. Die mikrobiologische Stabilisierung konnte in der Pilotanlage nicht weiterführend getestet werden.

6 Ausblick

Ziel des Projekts war die Entwicklung eines Trinkwasseraufbereitungssystems zur Entfernung von Ammonium aus Tiefengrundwässern bei sehr kleinen Versorgungsgrößen (rund 20 m³/Tag). Aus gesamtösterreichischer Sicht kann grundsätzlich von Grundwässern mit ähnlichen spezifischen – problematischen – Eigenschaften im Untergrund der Molassezone ausgegangen werden, die sich nördlich der Alpen von Oberösterreich bis nach Niederösterreich und südlich der Alpen von der Weststeiermark bis in das Burgenland erstreckt.

Die Belastung mit Ammonium führt in der Speicherung und der Verteilung meist zu einer erhöhten Nitritbelastung und Verkeimung, so dass die Trinkwassereignung nicht mehr gegeben ist. In ländlichen Gebieten mit verstreuten Siedlungen gilt die Trinkwasseraufbereitung als meist einzige Option gegenüber anderen Varianten (z.B. Erschließung anderer Wasservorkommen, Überregionaler Anschluss).

Im Rahmen des Projekts wurde eine Pilotanlage zur Trinkwasseraufbereitung in der Gemeinde Wendling (Oberösterreich) aufgebaut, getestet und optimiert. Dabei wurde der Schwerpunkt des Projekts auf die biologische Nitrifikation (biologische Oxidation) gelegt, da nach dem österreichischen Lebensmittelbuch für die Entfernung von Ammonium ausschließlich dieses Verfahren zulässig ist. Parallel zu der biologischen Nitrifikation wurden alternative Aufbereitungsverfahren untersucht (Filtration über Zeolith, Chlordioxidverfahren). Die Untersuchungen wurden auf Grund der ersten Ergebnisse nicht weiter verfolgt.

Die Hauptherausforderung bei der biologischen Nitrifikation lag in der Anpassung eines Verfahrens, das bei Großanlagen mit konstanten Betriebsbedingungen bereits erfolgreich angewendet wird, an eine (sehr) kleine Anlagengröße (durchschnittliche Einspeisung ins Verteilungssystem: rund 20 m³/Tag). Zusätzlich mussten die sehr limitierten Platzverhältnisse berücksichtigt werden (Aufbereitung in einem 10-Fuß Container auf einem kleinen Grundstück in der Mitte eines Wohngebiets).

Die Anpassung der biologischen Nitrifikation wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts in der Pilotanlage Wendling erfolgreich durchgeführt. Eine erste Abschätzung der Aufbereitungskosten für diese Anlage wurde durchgeführt und ist in Anhang 7 dargestellt. Die Betriebskosten liegen bei rund 0,32 EUR/m³. Die abgeschätzten Investitionskosten pro m³ liegen bei rund 0,30 EUR/m³ (Nutzungsdauer: 15 Jahre). Die Kosten für eine systematische Überwachung der Wasserqualität (Einbau einer Messstation für die kontinuierliche Messung von pH und O₂ im Ablauf der Anlage und Durchführung von Wasserqualitätsanalysen) und der Anlage (Erweiterung des bestehenden Leitsystems) wurden bei rund 0,26 EUR pro m³ abgeschätzt.

Weitere Potenziale zur Anlagenoptimierung können mit Hilfe der beobachtbaren Betriebsparameter über die nächsten Jahren identifiziert und weiterverfolgt werden. Ein großes Optimierungspotenzial gibt es sicherlich noch bei der Druckluftanreicherung von Luftsauerstoff. Deren Effizienz könnte durch die Entwicklung von für die Anlage notwendigen kleinmaßstäblichen Sauerstoff-Diffusoren zur Schaffung von feineren Sauerstoffblasen noch gesteigert werden. Die Filterausgestaltung ist ebenfalls hinsichtlich der Entlüftung von potenziellen Gasen optimierbar, und der Platzbedarf der gesamten Anlage könnte noch weiter reduziert werden. Die derzeit bewusst manuelle Bedienung könnte in Zukunft auf Basis von über längere Zeiträume gesammelten Betriebsdaten automatisiert werden um das Bedienungspersonal zu entlasten. Die Automatisierung der Filterrückspülung könnte auch einer Verbesserung des Anlagenbetriebs dienen.

In weiteren Studentenarbeiten möchte die Universität für Bodenkultur Wien weitere Untersuchungen zur Bestimmung der maximalen Nitrifikationskapazität der Anlage durchführen, um wichtige Informationen über die Bemessung von Folgeanlagen unterschiedlicher Größenordnungen zu erhalten. Ausgehend vom derzeitigen Wissensstand sind zusätzlich weitere wissenschaftliche Untersuchungen zu der Zusammensetzung der Biologie in den Nitrifikationsfiltern und deren Stabilität wichtig.

In der Pilotanlage in Wendling sind einige Anlagenteile eingebaut, die für diese Anlagengröße erst entwickelt wurden (Oxidator durch BOKU) oder z.B.: im Normalfall in größeren Anlagen eingesetzt werden (z.B. Kompressor). Um den tatsächlichen Bedarf an solchen Anlagenkomponenten zu ermitteln und das Angebot verbessern zu können, sollten weitere Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft (Nischenbildung) gefördert werden. Aufbauend auf der erfolgreichen Anwendung bei der Pilotanlage in Wendling sollte gemeinsam mit den österreichischen Wassertechnik-Firmen ein modulares Anwendungskonzept mit Standardkomponenten erstellt und bei vielen Wasserversorgern mit ähnlichen Rohwasserverhältnissen einfach angewendet werden.

Mit Hilfe der biologischen Nitrifikation konnte bei der Gemeinde Wendling eine Trinkwasseraufbereitung installiert werden, die ohne chemische Zusatzstoffe und damit mit einem möglichst geringen Eingriff in die Trinkwassereigenschaften realisiert werden.

Literaturverzeichnis

ABLASSER, C., ZEROBIN, J., (2011): *Biologische Ammoniumentfernung in kleinen Anlagen – Fallbeispiel Wendling*. Universität für Bodenkultur, Wien. November 2011

DEUTSCHE VEREINIGUNG DES GAS UND WASSERFACHES e.V (DVGW), (2010): *Technische Regel, W 224 Arbeitsblatt: Verfahren zur Desinfektion von Trinkwasser mit Chlordioxid*, Wirtschafts- und Vertragsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

GANS, O., SCHARF, S., SCHMID, S., SCHÜTZ, C., (1999): *Orientierende chemische Untersuchungen auf Kommunale Belastungen in Fließgewässern Oberösterreichs*. BE-157 Berichte, Band 157. Umweltbundesamt, Wien

HEISS, G., JUNG, M., METZ, A. & SPENDLINGWIMMER, R. 2003: *Wasserwirtschaftliche Vorrangflächen gegenüber Sandabbau (WWVF Sande)*. – Bericht ARC, Seibersdorf.

KURAMA, H., KARGÜZEL, C., MORGAN, T., CELIK, M.S., (2010): *Ammonium removal from aqueous solutions by dissolved air flotation in the presence of zeolite carrier*. Desalination 253 (2010), 147-152

MAYR, E., KLEINRATH, J., PERFLER, R., (2014): *Chlordioxid-Kompaktanlagen – Ist-Zustandsdarstellung für den Einsatz von ClO₂-Kompaktanlagen bei sehr kleinen Wasserversorgungen*. Forschungsbericht im Auftrag von OÖ Wasser. Universität für Bodenkultur, Wien. Juni 2014

MUTSCHMANN, J., STIMMELMAYR, F. (2011): *Taschenbuch der Wasserversorgung (15. Auflage)*. Vieweg und Teubner Verlag/Springer Fachmedien GmbH

PACHINGER, R., (2013): *Trinkwasseraufbereitung zur Entfernung von Ammonium – Verfahrensvarianten und Pilotierung*. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien. September 2013

TRÄNCKER, J., WRICKE, B., GROSZE, D., (2006): *Exportorientierte Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wasserver- und -entsorgung, Teil I: Trinkwasserband2: Leitfaden*, Deutsche Vereinigung des Gas und Wasserfaches (DVGW) e.V. – Technologiezentrum Wasser (TZW), Außenstelle Dresden. Eigenverlag DVGW – Technologiezentrum Wasser: Karlsruhe

WANG, S., PENG, Y., (2010): *Natural Zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment*. Chemical Engineering Journal 156 (2010), 11-24

ZIBUSCHKA, F., SOMMER, R., KNASMÜLLER, S., PRESSL, A., LINDNER, G., FERK, F., MISIK, M. SCHÜRHAGL, R., ALLABASHI, R., KROPITZ, F (2010): *Reinigungsleistung von Membranbelebungsanlagen bezüglich hygienischer Parameter*. Forschungsbericht. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft

Anhang 1: Fotodokumentation



Abbildung 29: Platz vor der Containerlieferung (25.03.2013)



Abbildung 30: Containerlieferung (25.03.2013)



Abbildung 31: Container (25.03.2013)



Abbildung 32: Lieferung der Pilotanlagekomponenten (16.04.2013)



Abbildung 33: Fertige Pilotanlage (21.05.2013)



Abbildung 34: Online Messstrecke (21.05.2013)



Abbildung 35: Pilotanlage (21.11.2013)

Mitwirkende (Anlageaufbau): DI Laurent Richard, DI Ernest Mayr, DI Dr. Roman Neunteufel, DI Dr. Aditya Alexander Lukas, Friedrich Kropitz, Fabian Vanas und Ralph Pachinger (BOKU-SIG), Firma Ludwig Wassertechnik GmbH, Gemeinde Wendling.

Anhang 2: Variantenstudie

Nach ABLASSER & ZEROBIN, 2011:

„

- **Variante 1 – Erschließung anderer Grundwasservorkommen**

Diese beinhaltet die Möglichkeit einen neuen Brunnen zu bohren. Im Prinzip würde dies die Grundwassersituation zulassen, die Ammoniumbelastung würde dort aber ebenfalls auftreten.

- **Variante 2 – Fernanschluss**

Es besteht die Möglichkeit bei der Gemeinde Dorf mit Hilfe einer Anschlussleitung Wasser anzukaufen. Bei einem durchschnittlichen Laufmeterpreis von etwa 100 € (unter Berücksichtigung aller Einsparungsmöglichkeiten) und einer Entfernung von 6,9 km ergeben sich Kosten alleinig für den Leitungsbau von min. 690.000 €.

- **Variante 3 – Wasseraufbereitung**

Die dritte Variante besteht darin, das mit Ammonium belastete Grundwasser so aufzubereiten, dass es den Forderungen der Trinkwasserverordnung gerecht wird. Aus Schätzungen von Fachleuten ist bei einer Wasseraufbereitungsanlage mit Kosten von 100.000-150.000 € zu rechnen.

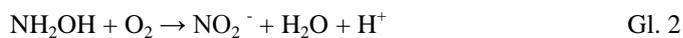
Da die Variante 3 – Wasseraufbereitung am kostengünstigsten ausfällt, wird im Folgenden nur diese behandelt.,,

Anhang 3: Bemessungsgrundlage (biologische Nitrifikation)

Allgemeine Information zu der biologischen Nitrifikation

Die Nitrifikation beschreibt einen obligat aeroben Prozess, in dem Ammonium von 2 Gruppen chemolithoautotropher Bakterien über Nitrit zu Nitrat umgesetzt wird. Die Nitrifikation erfolgt hauptsächlich in zwei Teilschritten. Die erste Stufe, die Nitritation (*Gleichung 1-3*), beinhaltet die Oxidation von Ammonium zu Nitrit und verläuft über mehrere Zwischenprodukte. Der Sauerstoffbedarf beträgt rund 3,7 mg O₂/mg NH₄⁺. In der zweiten Stufe, der Nitratation (*Gl. 4*), wird Nitrit zu Nitrat oxidiert. Bei der Nitrifikation (*Gl. 5*) entstehen pro mg NH₄⁺ + 3,4 mg NO₃⁻. Es ergeben sich folgende Reaktionsgleichungen:

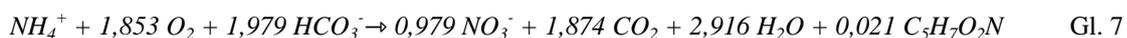
Nitritation



Nitratation



Gesamt



Stöchiometrische Bilanz der Nitrifikation (NOWAK, 1995; zit. bei TRÄNCKER, 2006)

Auslegung der erforderlichen Luftanreicherung

Theoretischer Bedarf

Ausgehend von einer Ammoniumbelastung von 5 mg/l und einer maximalen Durchflussmenge von 1.300 l/h ergibt sich eine Ammoniumfracht von 6.5 g/h (Gl. 7). Anhand der Stöchiometrischen Gleichung ist ersichtlich, dass für 1 g NH₄⁺ 3,3 g O₂ aufgewendet werden müssen. Somit ergibt sich ein stündlicher O₂-Bedarf von 21.450 mg O₂ (Gl. 8). Aus Kosten und Sicherheitsgründen wird an Stelle von reinem Sauerstoff Umgebungsluft verwendet. Als Sauerstoffgehalt der Luft kann 260 mg/l (→ 260 kg/m³) angenommen werden. Der resultierende Luftbedarf beträgt 82,5 l/h. Um einen Mindestgehalt an Sauerstoff im Wasser zu gewährleisten werden 28 l/m³ Luft zusätzlich zugesetzt. Inklusive eines 20% Sicherheitszuschlages sind für eine erfolgreiche Nitrifikation 143 l/h Luft zuzusetzen.

Ammoniumfracht:	$5 \text{ g/m}^3 \times 1,3 \text{ m}^3/\text{h} = 6,5 \text{ g/h NH}_4^+$	Gl. 7
O ₂ Bedarf:	$6.500 \text{ mg/h NH}_4^+ \times 3,3 \text{ mg O}_2 / 1 \text{ mg NH}_4^+ = 21.450 \text{ mg/h O}_2$	Gl. 8
Luftbedarf:	$21.450 \text{ mg/h O}_2 / 260 = 82,5 \text{ l/h Luft}$	Gl. 9
Mindestgehalt:	$28 \text{ l/m}^3 \text{ Luft} \times 1,3 \text{ m}^3/\text{h} = 36,4 \text{ l/h Luft}$	Gl. 10

Erforderliche Luftmenge (L) im Verlauf der Nitrifikation:

$$36,4 \text{ l/h} + 82,5 \text{ l/h} = 119 \text{ l/h}$$

$$L = 119 \text{ l/h} \times 1,2 \text{ (20 \% Sicherheit)}$$

$$L = 143 \text{ l/h} = 2,4 \text{ l/min}$$

Realer Bedarf

In der Praxis sind die für die biologische Nitrifikation erforderliche Luftmenge wesentlich höher (Tabelle 10).

Ein Grund dafür ist, dass auch Sauerstoff für die Oxidation von anderen Ionen im Wasser (Eisen- und Mangan-Ionen) verbraucht wird. Der Hauptgrund ist aber, dass das Anreicherungssystem (Sauerstoffdiffusor, Oxidator) in der Praxis nicht 100% effizient ist und sich die angereicherte Luftmenge im Wasser nicht vollständig lösen kann. Ein Teil davon wird also aus dem Oxidator, über ein Entlüftungsventil, ausgetragen.

Tabelle 10: Luftmenge und Einstellung des Druckminderers

Q [l/h]	Erforderliche Luftmenge [l/min]	Einstellung Druckminderer [bar]
600	6-8	2,5
800	6-8	3
1.000	6-8	3,5

*in Abhängigkeit des Aufbereitungsdurchsatzes Q

Bemessung der Nitrifikationsfilter F1(1) und F1(2)

Mit der Kenntnis über die täglich anfallende Ammoniumfracht und der Nitrifikationsrate lässt sich die Anlage dimensionieren. Die Nitrifikationsrate wurde im Rahmen von Vorversuchen ermittelt.

Nitrifikationsrate:

$$\Delta\text{NH}_4 = 0,263 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$$

Täglich anfallende Ammoniumfracht:

$$[\text{NH}_4\text{-N}] = 1,3 \text{ m}^3/\text{h} \times 24 \text{ h} \times 5 \text{ g/ m}^3 \text{ NH}_4\text{-N} = 156 \text{ g/d} = 0,156 \text{ kg/d}$$

$$V_{\text{Filter}} = \frac{1 \text{ [m}^3\text{]}}{0,263 \text{ kg NH}_4\text{-N}} * 0,156 \frac{\text{kg NH}_4\text{-N}}{\text{m}^3 * \text{d}} = 0,594 \text{ m}^3$$

Anstelle eines großen Filterbehalters werden 2 Behälter mit einem Durchmesser von 0,61 m ausgewählt. Die resultierende Filterschichthohe je Behälter beträgt somit 1,05 m.

$$h = \frac{V_{F1(1)}}{A_{0,61}} = \frac{0,297 \text{ m}^3}{0,2827 \text{ m}^2} = 1,05 \text{ m}$$

Um ein effizientes Rückspülen zu gewährleisten, beträgt die Behälterhöhe 188 cm. Als Filtermaterial wurde Quarzsand mit einer Korngröße von 1-2 mm ausgewählt.

Aufenthaltszeit

Die Aufenthaltszeit (HRT) pro Filterschicht bei einer Durchflussmenge Q_{500} von 500 l/h beträgt 36 min und 14 min bei $Q_{1300} = 1300$ l/h.

$$HRT_{Q_{500}} [\text{min}] = \frac{V_{F1(1)}}{Q_{500}} = \frac{0,297 \text{ m}^3}{0,5 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)} = 36 \text{ min}$$

$$HRT_{Q_{1300}} [\text{min}] = \frac{V_{F1(1)}}{Q_{1300}} = \frac{0,297 \text{ m}^3}{1,3 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)} = 14 \text{ min}$$

Bemessung Schnellfilter

Definition

Verfahren zur Partikelentfernung bei der Trinkwasseraufbereitung, bei dem das Wasser ein Filtermedium aus gekorneten Materialien mit Filtergeschwindigkeiten von mehreren Metern pro Stunde durchströmt. Schnellfilter werden entsprechend ihrer verfahrenstechnischen Voraussetzungen mit Filtergeschwindigkeiten bis zu 30 m/h betrieben.

Aufenthaltszeit

$$HRT_{0,5} = \frac{V_{SF}}{Q_{0,5}} = \frac{A * h_{FS}}{Q_{0,5}} = \frac{0,173 \text{ m}^2 * 1,2 \text{ m}}{0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 25 \text{ min}$$

$$HRT_{1,3} = \frac{V_{SF}}{Q_{1,3}} = \frac{A * h_{FS}}{Q_{1,3}} = \frac{0,173 \text{ m}^2 * 1,2 \text{ m}}{1,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} = 10 \text{ min}$$

Wobei: HRT Aufenthaltszeit
 A Filterfläche
 h_{FS} Filterschichthöhe
 $Q_{Zufluss}$ Durchflussmenge
 V_{SF} Schnellfiltervolumen

$$v_{Q0,5} = \frac{h_{FS}}{HRT_{0,5}} = \frac{1,2 [m]}{25 [min]} = 2,88 \frac{m}{h}$$

$$v_{Q1,3} = \frac{h_{FS}}{HRT_{1,3}} = \frac{1,2 [m]}{10 [min]} = 7,2 \frac{m}{h}$$

Tabelle 11: Dimensionen der Filterbehälter

Filter	Art	Verwendungszweck	Material	Behälterhöhe [cm]	Durchmesser [cm]	Volumen [Liter]
F1(1)	Druckfilter	Nitrifikationsfilter	Polyethylen	188	61	436
F1(2)	Druckfilter	Nitrifikationsfilter	Polyethylen	188	61	436
F2	Druckfilter	Schnellfilter	Polyethylen	179	47	250

Tabelle 12: Filtermaterialien

Filter	Filtermaterial	Verwendungszweck	Filterhöhe [cm]	Korngröße [mm]
F1(1)	Quarzsand	Filterschicht	105	1-2
F1(1)	Quarzsand	Stüttschicht	15	3,15 - 5,6
F2	Quarzsand	Filterschicht 1	60	1-2
F2	Quarzsand	Filterschicht 2	60	3,15 - 5,6

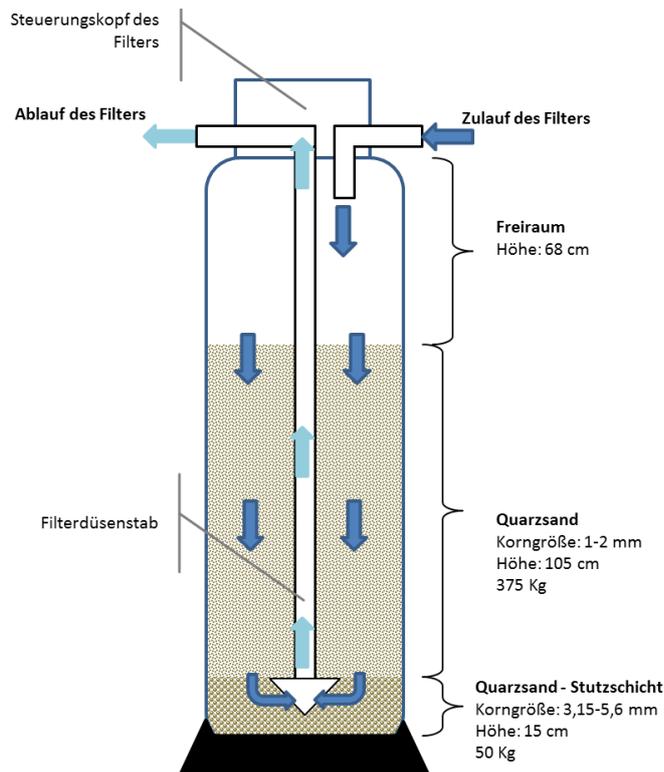


Abbildung 36: Schematische Darstellung eines Nitrifikationsfilters (F1(1) und F1(2))

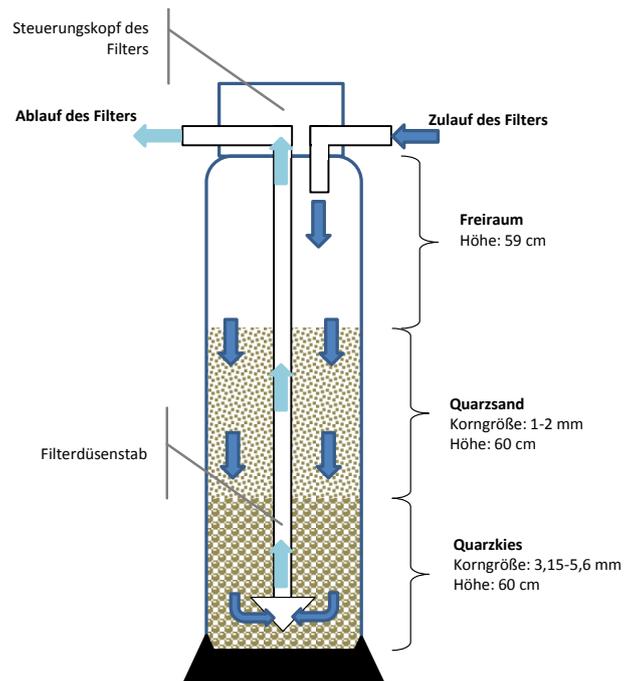


Abbildung 37: Schematische Darstellung des Schnellfilters (F2)

Bemessung UV

Installierte UV-Desinfektionsanlage: längsangeströmte UV-Desinfektionsanlage mit kreisförmigem Querschnitt und der Typenbezeichnung 1 AF 45 T der Firma AQUAFIDES (mit Quecksilberdampf-Niederdruck-Strahlern).

Die UV-Desinfektion (Abbildung 38) ist beim biologischen Nitrifikationsverfahren dem Schnellfilter nachgeschaltet. Die desinfizierende Wirkung von UV-Licht liegt im Wellenbereich von etwa 240 bis 290 nm. Sie beruht auf einer Schädigung des Erbgutes (der DNS bzw. RNA) der Mikroorganismen. Dadurch kommt es zum Verlust der Vermehrungsfähigkeit. Voraussetzung für eine sichere Desinfektion mit UV-Desinfektionsgeräten ist ein weitgehend trübstoffreies und ein mikrobiell nur gering belastetes Wasser.

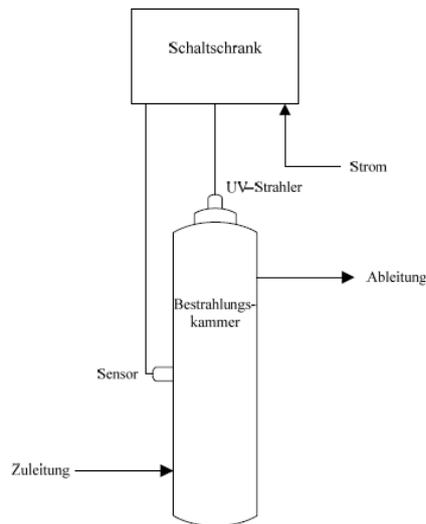


Abbildung 38: schematische Darstellung der UV-Desinfektionsanlage (PACHINGER, 2013)

Abmessungen

- Höhe 63,4 cm
- Durchmesser: 12,9 cm
- Füllvolumen: 7 Liter

Maximale zulässige Durchflussmenge:

- $Q_{\max} = 1,82 \text{ m}^3/\text{h}$

Durchflussmenge:

- $Q = 1,25 \text{ m}^3/\text{h}$

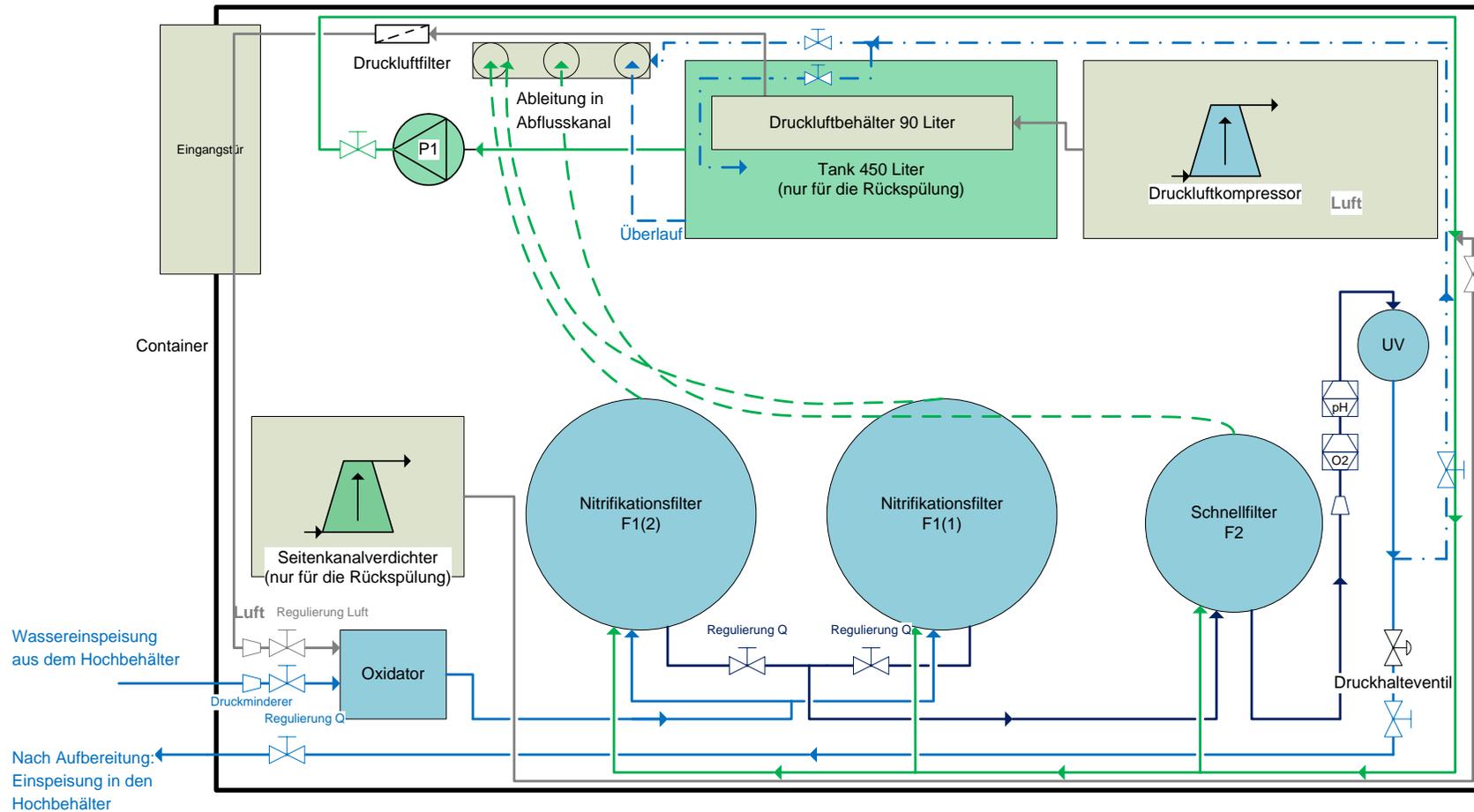
Aufenthaltszeit:

$$HRT_{0,45} = \frac{V}{Q_{0,45}} = \frac{0,07 \text{ [m}^3\text{]}}{0,45 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]} = 9,33 \text{ min}$$

$$HRT_{1,25} = \frac{V}{Q_{1,25}} = \frac{0,07 \text{ [m}^3\text{]}}{1,25 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]} = 3,36 \text{ min}$$

$$HRT_{1,82} = \frac{V}{Q_{1,82}} = \frac{0,07 \text{ [m}^3\text{]}}{1,82 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]} = 2,31 \text{ min}$$

Anhang 4: Anlagenschema (biologische Nitrifikation)



Projekt WAA Wendling – Schematische Darstellung der Anlage (Draufsicht)

Ohne Maßstab	Trinkwasseraufbereitungsanlage (Biologische Nitrifikation, Schnellfiltration, UV-Desinfektionsanlage)	01/02/2014	Seite 1/1
--------------	---	------------	-----------

Anhang 5: Anlagenbetrieb

Biologische Nitrifikation

Der gesamte Versuchszeitraum unterteilte sich in 3 Hauptperioden:

- **Periode 1 (vom 15. April bis 19. Juli 2013) - Installation der Aufbereitungseinheiten und Tests:** die Inbetriebnahme der biologischen Nitrifikation erfolgte am 8. Mai 2013. Bis zum 19. Juli wurden Optimierungsarbeiten durchgeführt.
- **Periode 2 (vom 19. Juli bis 22. Oktober 2013) - Betrieb mit F1(1), F2 und der UV-Anlage:** dabei erfolgte die biologische Nitrifikation bei einer durchschnittlichen Durchflussmenge von rund 0,6 m³/h und ausschließlich mit dem Nitrifikationsfilter F1(1). Alternative Aufbereitungsverfahren wurden parallel zu der biologischen Nitrifikation untersucht (Filtration über Zeolith, Chlordioxidverfahren, Kapitel 5, Seite 35).
- **Periode 3 (vom 29. Oktober 2013 bis 18. März 2014) - Betrieb mit dem Oxidator, F1(1), F1(2), F2 und der UV-Anlage:** in diesem Zeitraum gab es keine Untersuchungen zu alternativen Aufbereitungsverfahren. Am 29. Oktober wurde der zweite Nitrifikationsfilter F1(2) installiert und in Betrieb genommen. Die biologische Nitrifikation erfolgte bei einer durchschnittlichen Durchflussmenge von rund 0,9 m³/h. Seit der Inbetriebnahme des zweiten Nitrifikationsfilters erreichte die theoretische Kapazität der Anlage 1,2 m³/h.

Innerhalb dieser einzelnen Perioden wurden unterschiedliche Versuche durchgeführt sowie ausgewählte Randbedingungen geändert. Diese geänderten Randbedingungen sind:

- Der **Druck** in der Anlage,
- Die angereicherte **Luftmenge**,
- Der **Aufbereitungsdurchsatz** (und somit die Fließgeschwindigkeit in den Filtern und die Kontaktzeit zwischen dem Wasser und der in den Filtern vorhandenen Biomasse).

Diese Änderungen sind in der Abbildung 39 bis Abbildung 43 dargestellt. Diese Abbildungen zeigen die angereicherte Luftmenge, die aufbereiteten Durchflussmengen sowie die Auswertung der Druckmessungen im Anlagezulauf („Rohwasser“ als blaue Punkte dargestellt), im Ablauf der Nitrifikationsfilter F1(1) und F1(2) (rote Punkte) und im Ablauf des Schnellfilters (F2) (grüne Punkte).

Ab Ende Oktober 2013 wurde die Pilotanlage so umgebaut, dass nur die biologische Nitrifikation in der Pilotanlage mit dem zukünftig für die Versorgung der Gemeinde notwendigen Durchsatz von ca. 1.000 l/h weitergetestet und für den Wasserwerksbetrieb optimiert wurde. Bis zum Projektende (März 2014) wurde die für die vollständige Nitrifikation erforderliche Luftanreicherung weiter optimiert und unterschiedliche Mechanismen der Luftsauerstoffanreicherung getestet. Die Ursache der höheren Werte bei den mikrobiologischen Indikatorparametern KBE 37°C und 48h sowie der KBE 22°C und 72h sowie bei coliforme Bakterien, werden über das Projektende hinaus weiter untersucht. Bei den bisherigen Auswertungen konnten im Rohwasser mit zunehmender Zeit geringere Werte bei diesen Parametern festgestellt werden.

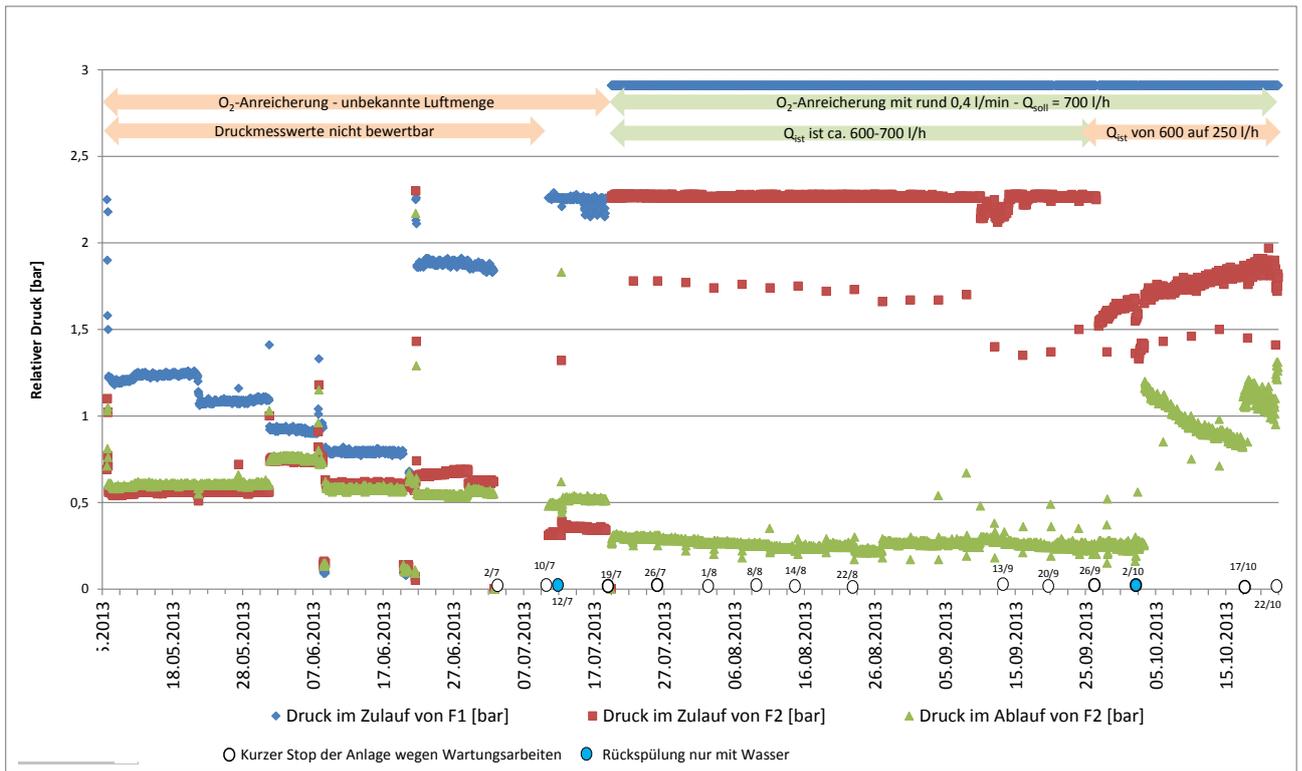


Abbildung 39: Druckentwicklung in der Nitrifikationsanlage (08.05.2013-22.10.2013)

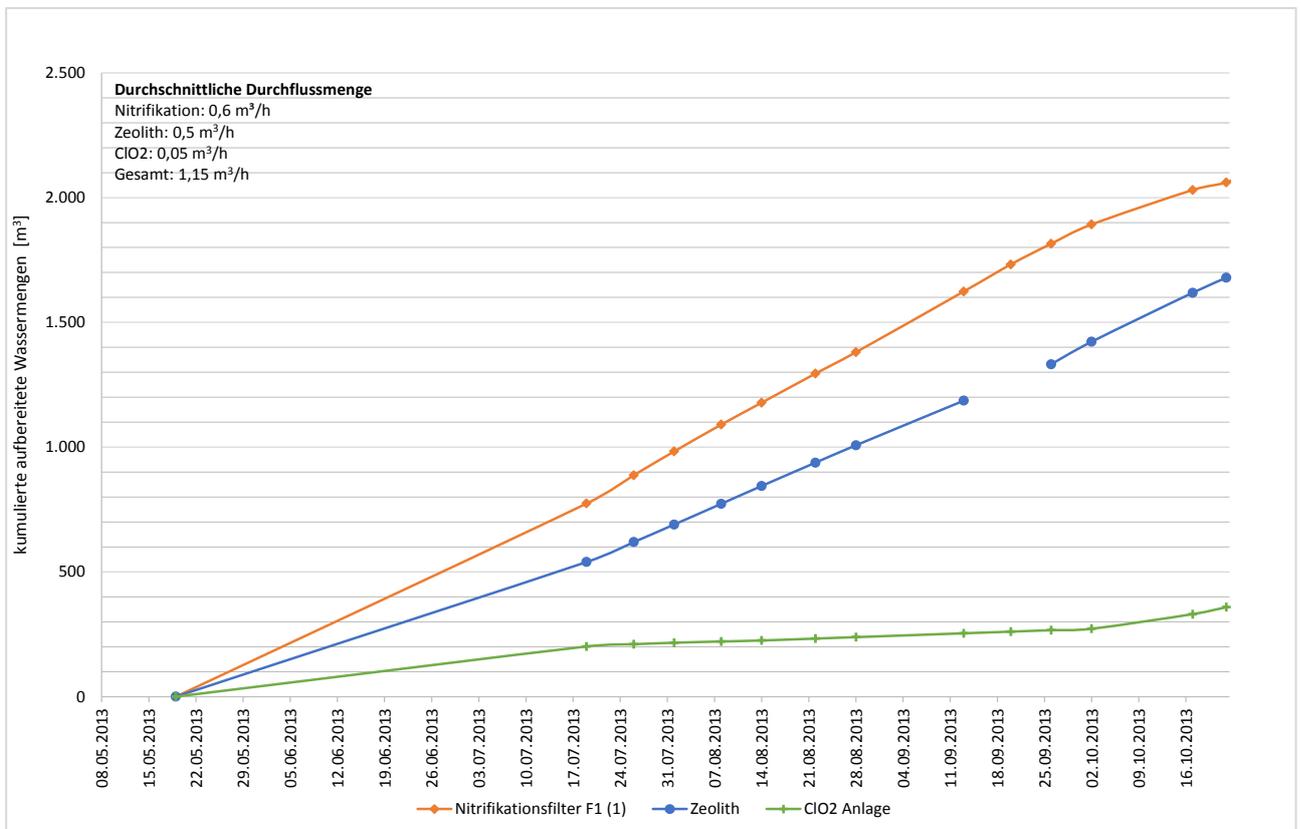


Abbildung 40: kumulierte aufbereitete Wassermengen (08.05.2013-22.10.2013)

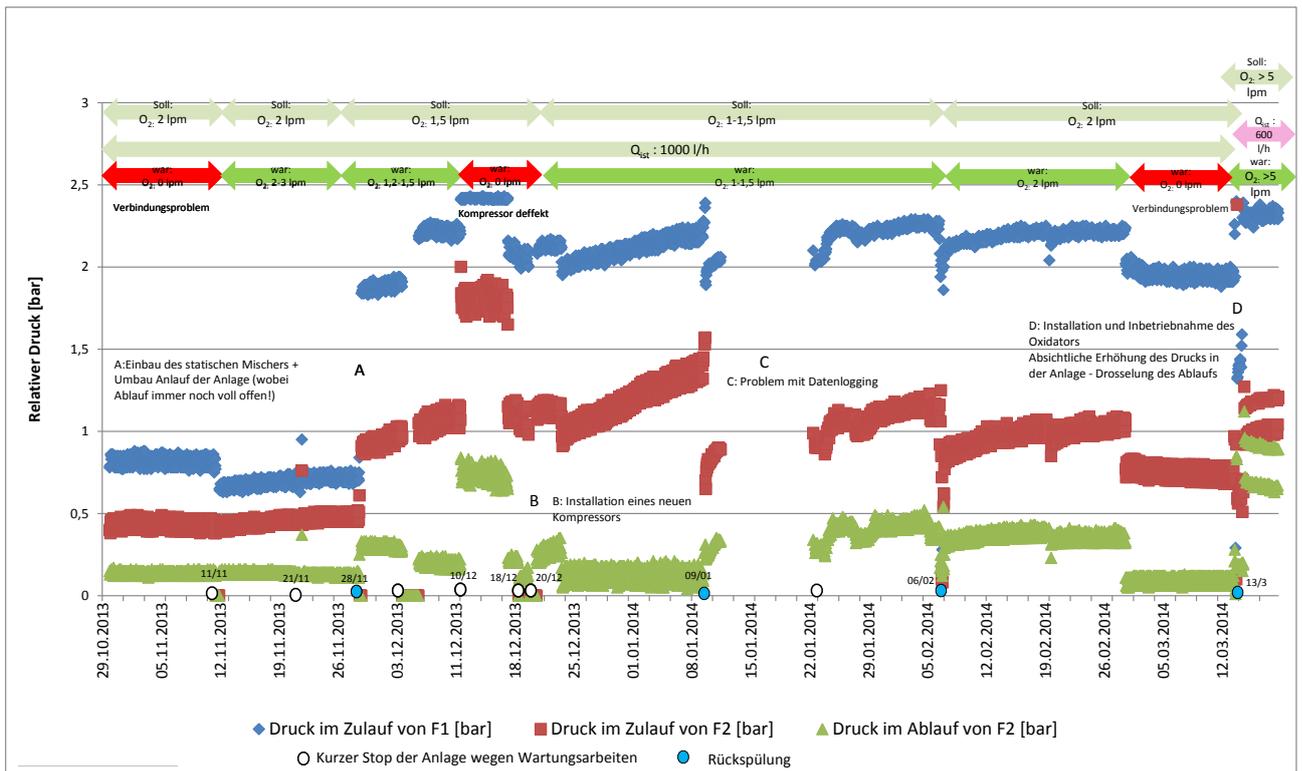


Abbildung 41: Druckentwicklung in der Nitrifikationsanlage (29.10.2013-18.03.2014)

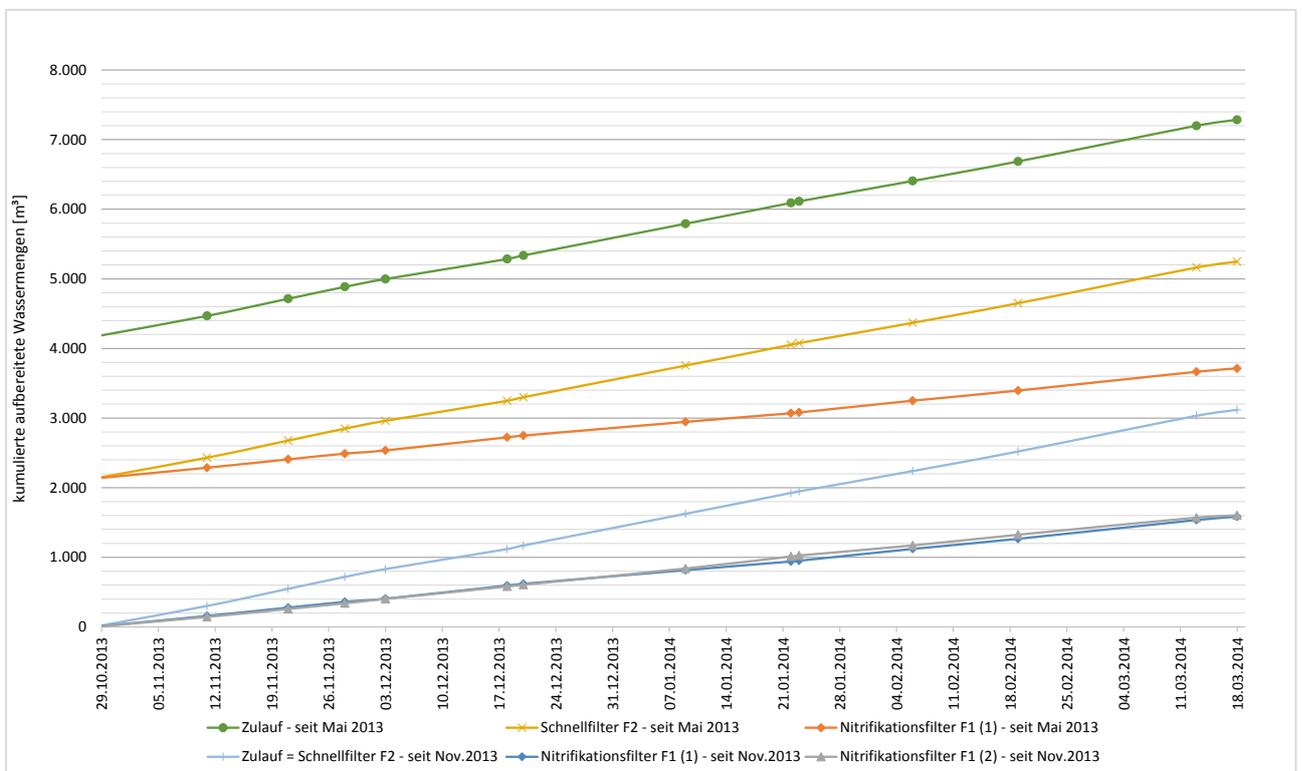


Abbildung 42: kumulierte aufbereitete Wassermengen (29.10.2013-18.03.2014)

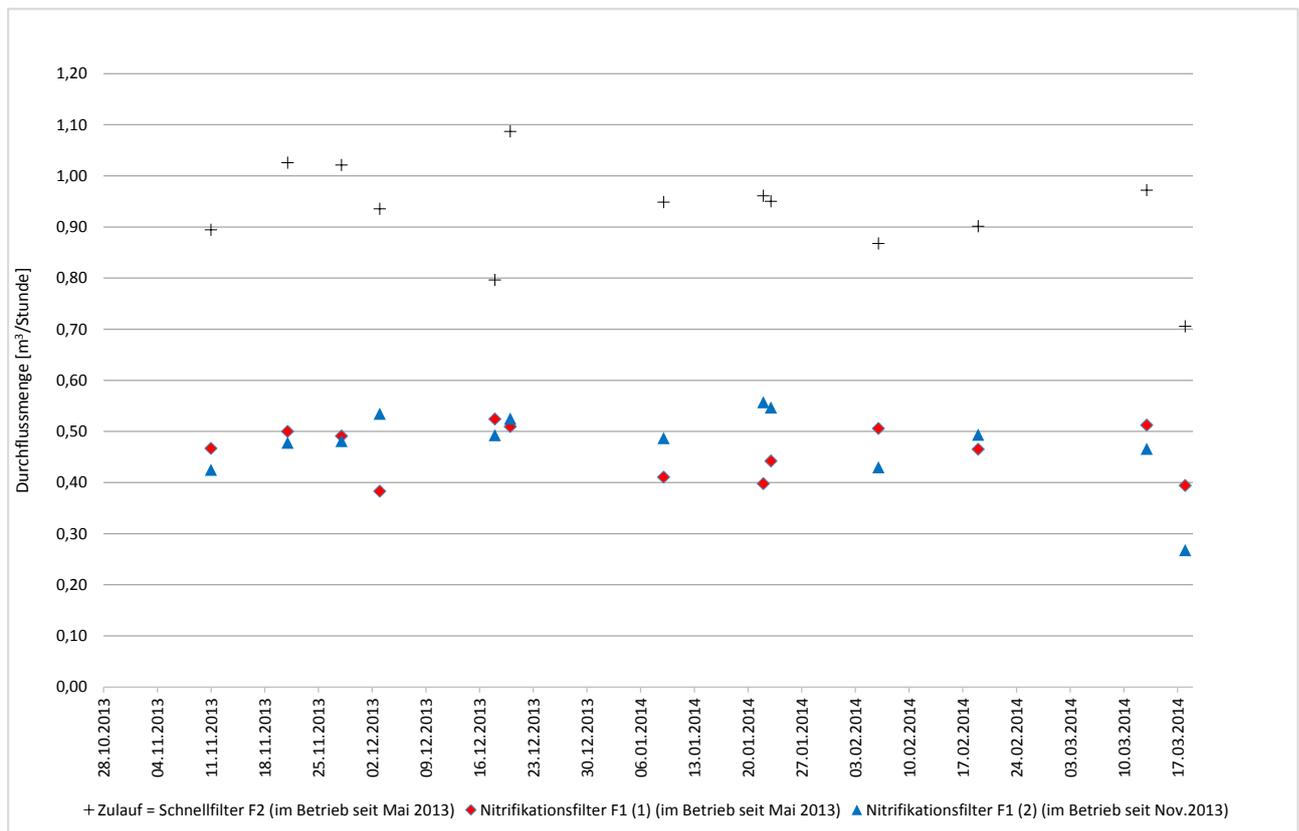


Abbildung 43: Durchflussmengen (28.01.2013-17.03.2014)

Filtration über Zeolith (Ionenaustausch)

Die Zeolithfiltration (Ionenaustausch) wurde zwischen Mai und November 2013 mit einer durchschnittlichen Durchflussmenge von rund 0,6 m³/h betrieben. Nach einer bestimmten zeitlichen Beschickung des Filtermediums ist die Ionenaustauschkapazität des Zeoliths erschöpft. Die Anlage muss daher in regelmäßigen Zeitintervallen gespült bzw. regeneriert werden. Die Regeneration des Filtermediums erfolgt mit Hilfe einer konzentrierten Natrium-Chlorid Lösung in Kombination mit einer Wasserspülung.

Der Zeolithfilter wurde jeden 4. Tag rückgespült und regeneriert. Der Behälter mit der Natrium-Chlorid Lösung wurde von der Firma Ludwig Wassertechnik GmbH regelmäßig nachgefüllt.

Insgesamt wurden zwischen Mai und November 2013 rund 1.680 m³ Tiefengrundwasser durch den Zeolithfilter aufbereitet.

Chlordioxidanlage

Die Chlordioxid Anlage wurde zwischen Mai und November 2013 mit einer durchschnittlichen Durchflussmenge von rund 50 l/h betrieben. Aus einer 0,3%-Chlordioxid wässrigen Lösung wurden rund 0,125 mg/l im Zulauf des Reaktionsbehälters zudosiert. Bei der Chlordioxidanlage wurde regelmäßig die Dosierpumpe überprüft und gewartet, wobei im August ein Problem mit der Verbindung zwischen dem Kontaktwasserzähler und der Dosierpumpe übersehen wurde. Wenn nötig, wurde der Chemikalienbehälter wieder befüllt. Insgesamt wurden zwischen Mai und November 2013 rund 360 m³ Tiefengrundwasser durch die Chlordioxidanlage aufbereitet. Die Anlage wurde im Durchschnitt mit einer Durchflussmenge von rund 50 l/min betrieben.

Anhang 6: Detaillierte ausgewählte Ergebnisse

Rohwasser

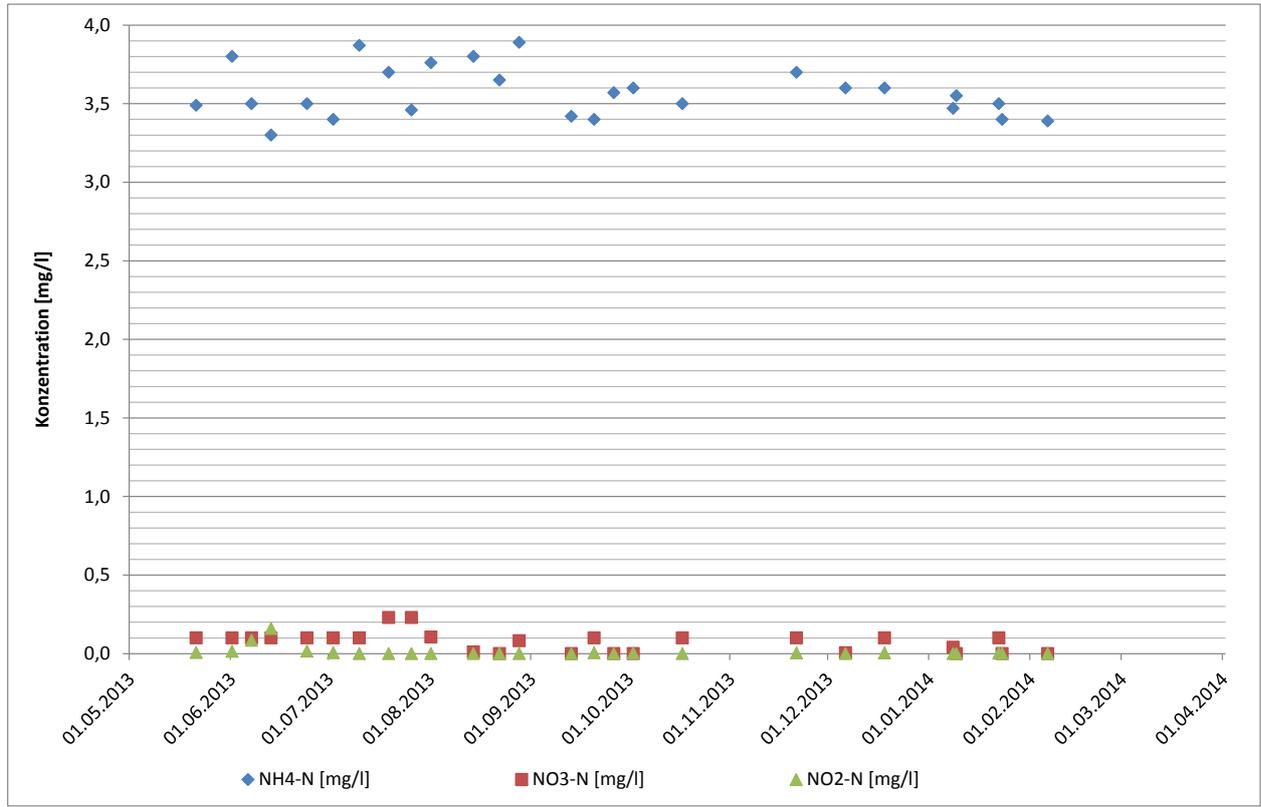


Abbildung 44: NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N im Rohwasser

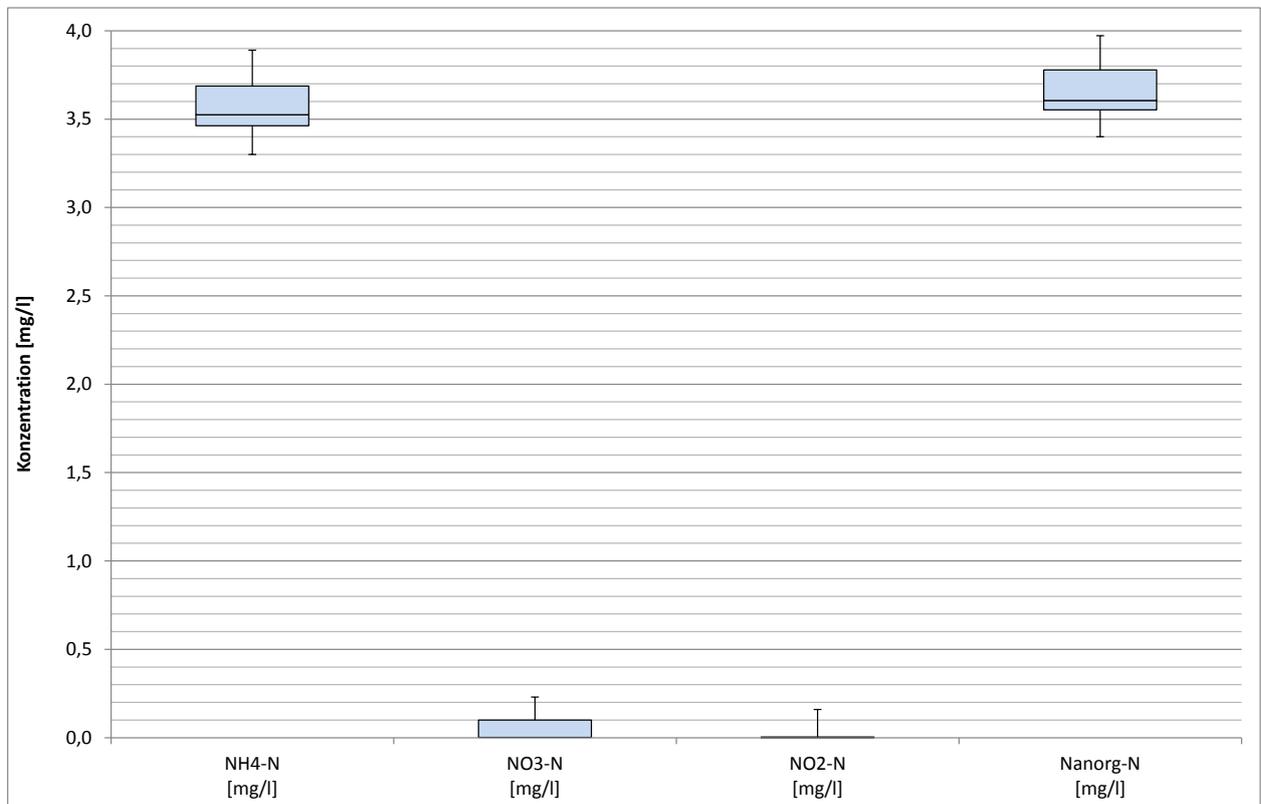


Abbildung 45: NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N und N_{anorg}-N im Rohwasser

Tabelle 13: Ionenbilanz des Rohwassers

ANALYSENKONTROLLE:						
Probenahmestelle: 39552 Rohwasser Wendling 22.01.2014						
KATIONEN	Mol. Masse	Massenkonz.		Stoffmengenkonz.		Äquival.konz. Äquival.% equ. - %
		mg/l	mmol/l	m equ./l	m equ./l	
Hauptgr.	Na+	22,99	73	3,18	3,18	80,54
	K+	39,10	3,2	0,08	0,08	2,08
	Mg++	24,31	1,9	0,08	0,16	3,97
	Ca++	40,08	5,6	0,14	0,28	7,09
Begl.stoffe	Sr++	87,62		0,00	0,00	0,00
	Fe++	55,85	0,0243	0,00	0,00	0,02
	Mn++	54,94	0,01	0,00	0,00	0,00
	NH4+	18,04	4,48	0,25	0,25	6,30
	Al+++	26,98		0,00	0,00	0,00
Summe Kationen			88,21	3,72	3,94	100,00

ANIONEN	Mol. Masse	Massenkonz.		Stoffmengenkonz.		Äquival.konz. Äquival.% equ. - %
		mg/l	mmol/l	m equ./l	m equ./l	
Hauptgr.	Cl -	35,45	0,5	0,01	0,01	0,36
	NO3 -	62,00	0	0,00	0,00	0,00
	HCO3 -	61,02	236	3,87	3,87	97,85
	SO4 --	96,06	3,4	0,04	0,07	1,79
Begl.stoffe	F -	19,00		0,00	0,00	0,00
	Br -	79,90		0,00	0,00	0,00
	I -	126,91		0,00	0,00	0,00
	NO2 -	46,01	0,01	0,00	0,00	0,01
	HPO4 --	95,98		0,00	0,00	0,00
HS -	33,07		0,00	0,00	0,00	
Summe Anionen			239,91	3,92	3,95	100,00

Leitfähigkeit	Summe Anionen + Kationen	Gesamtmineralstoffgehalt von - bis		Gesamthärte	Karbonat-härte
µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	°dH	°dH
357	328	0	0	1,22	10,83

Max. zulässige Abweichung nach DVWK 111:

bis 2 mmol(eq)/l Anionen- oder Kationensumme	5%
größer 2 mmol(eq)/l Anionen- oder Kationensumme	2%

Abweichung v. Mittelwert der Anionen- und Kationensumme -0,13 %

Tabelle 14: NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N und N_{anorg}-N im Rohwasser

	NH ₄ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	NO ₂ -N [mg/l]	N _{anorg} -N [mg/l]
Min	3,3	0,0	0,000	3,4
1. Quartil	3,5	0,0	0,000	3,6
Median	3,5	0,1	0,000	3,6
3. Quartil	3,7	0,1	0,005	3,8
Max	3,9	0,2	0,160	4,0
Mittelwert	3,6	0,1	0,012	3,7

Tabelle 15: NH₄, NO₃ und NO₂ im Rohwasser

	NH ₄ [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	NO ₂ [mg/l]
Min	4,3	0,0	0,000
1. Quartil	4,5	0,0	0,000
Median	4,6	0,4	0,000
3. Quartil	4,8	0,4	0,016
Max	5,1	1,0	0,528
Mittelwert	4,6	0,3	0,039

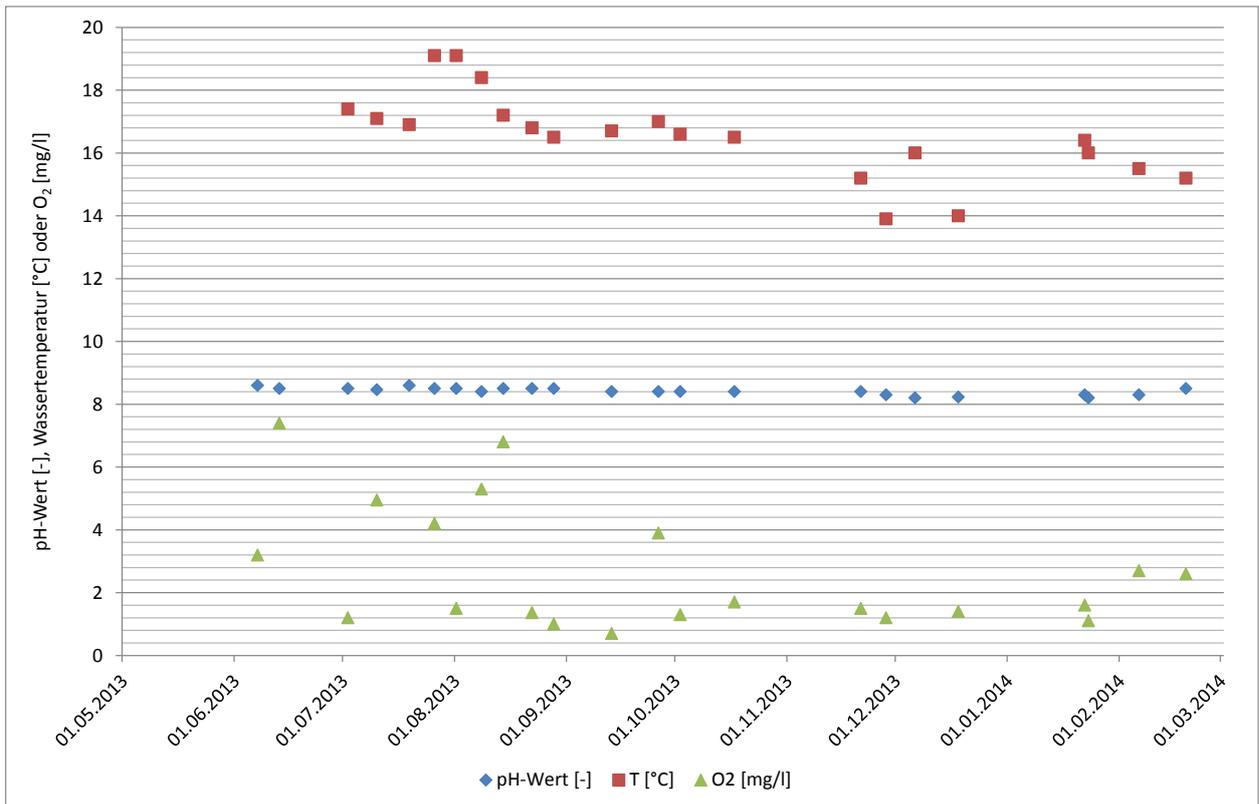


Abbildung 46: pH-Wert, Temperatur und O₂ im Rohwasser

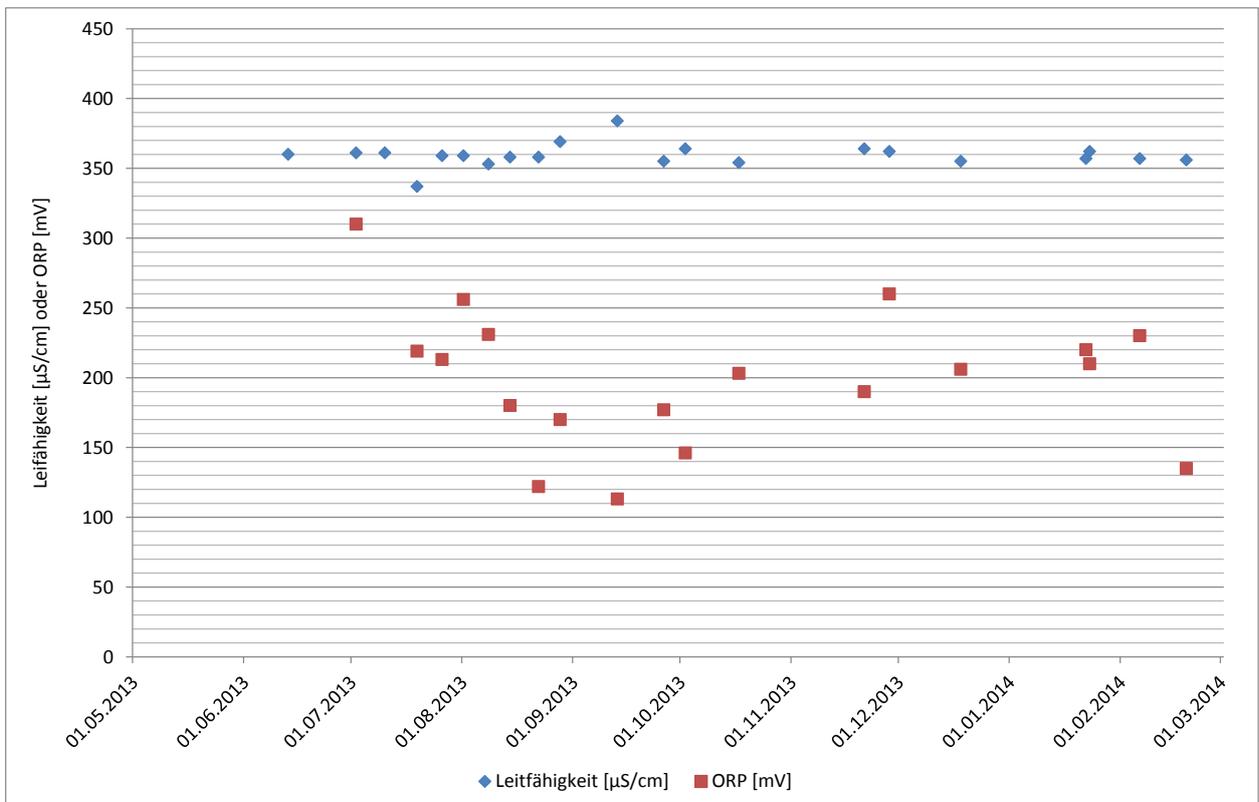


Abbildung 47: Leitfähigkeit und des ORP im Rohwasser

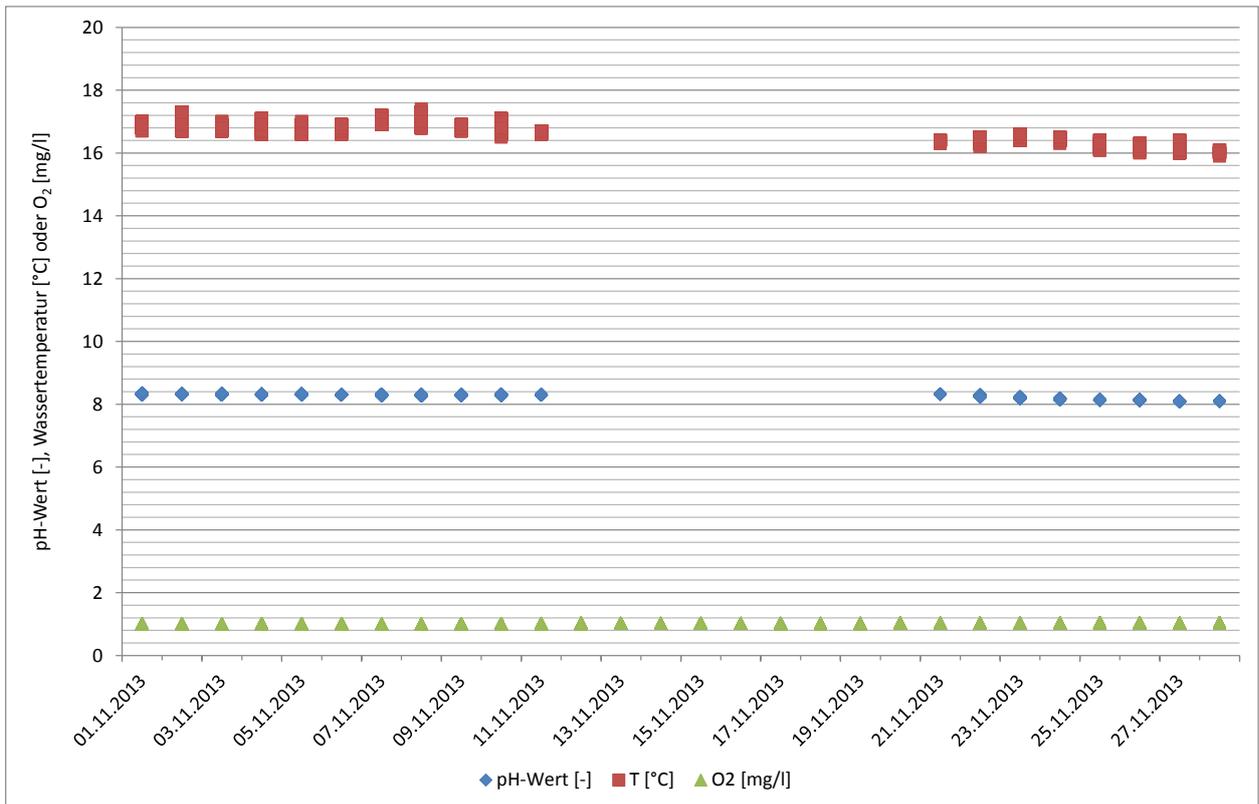


Abbildung 48: pH-Wert, Temperatur und O₂ im Rohwasser

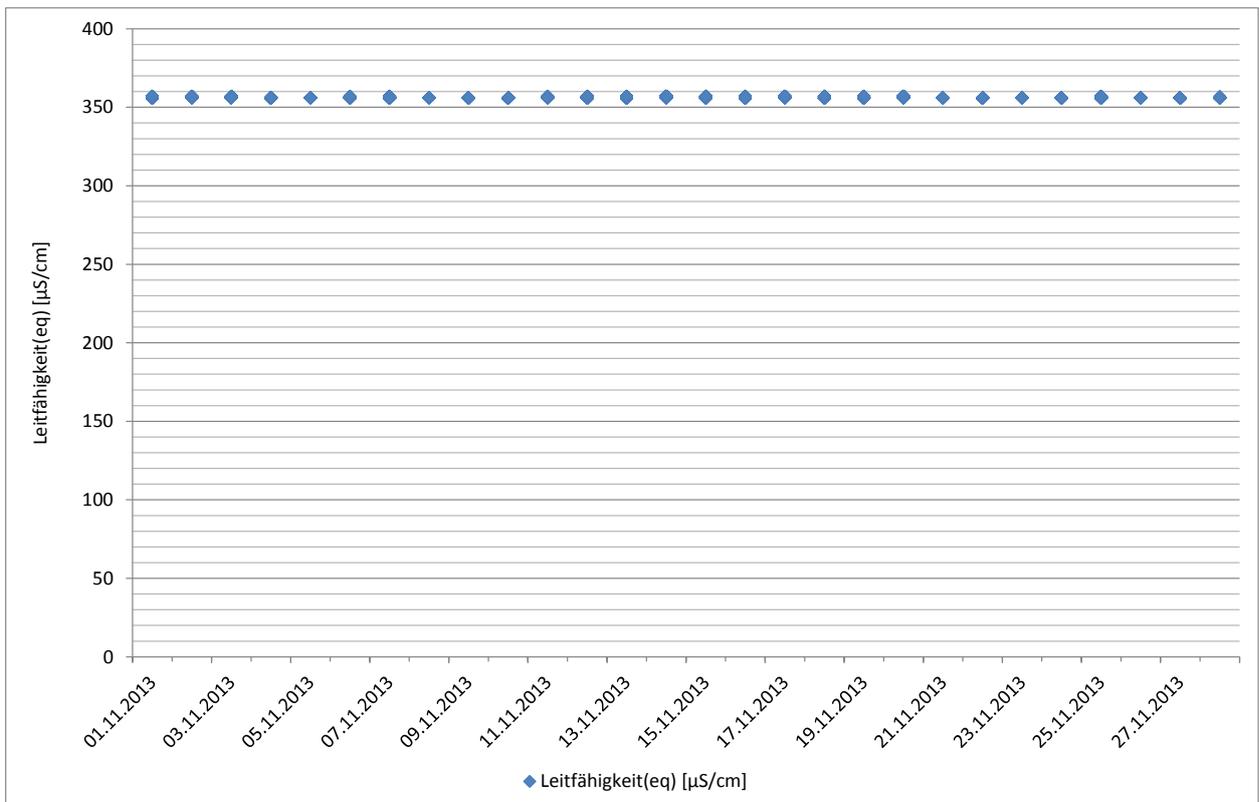


Abbildung 49: Leitfähigkeit im Rohwasser

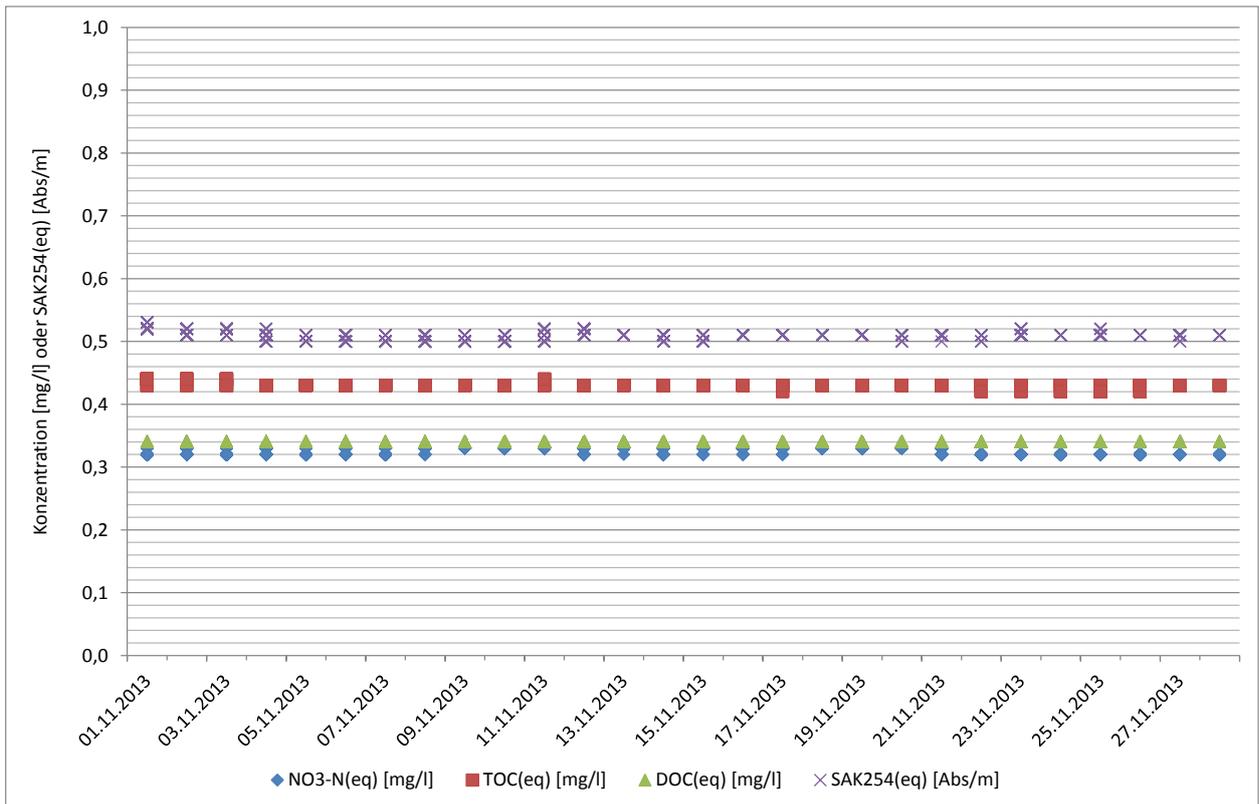


Abbildung 50: NO₃-N_{eq}, TOC_{eq}, DOC_{eq} und SAK254_{eq} im Rohwasser

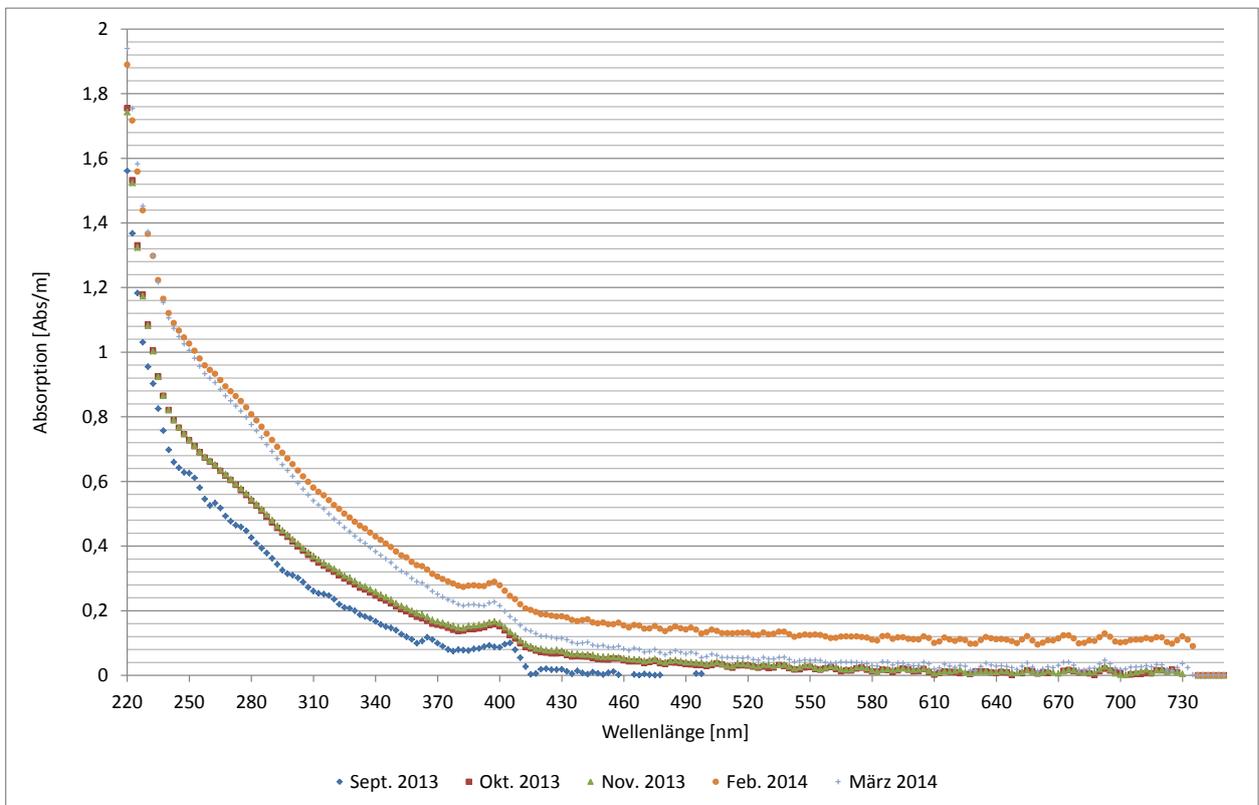


Abbildung 51: Absorptionsspektren - Medianwerte für Rohwasser

(Anzahl von Messungen: Sept. 2013: 299; Oktober 2013: 461; November 2013: 445, Dezember 2013: 3154; Jänner 2014: 1562; Februar 2014: 3376; März 2014: 2731)

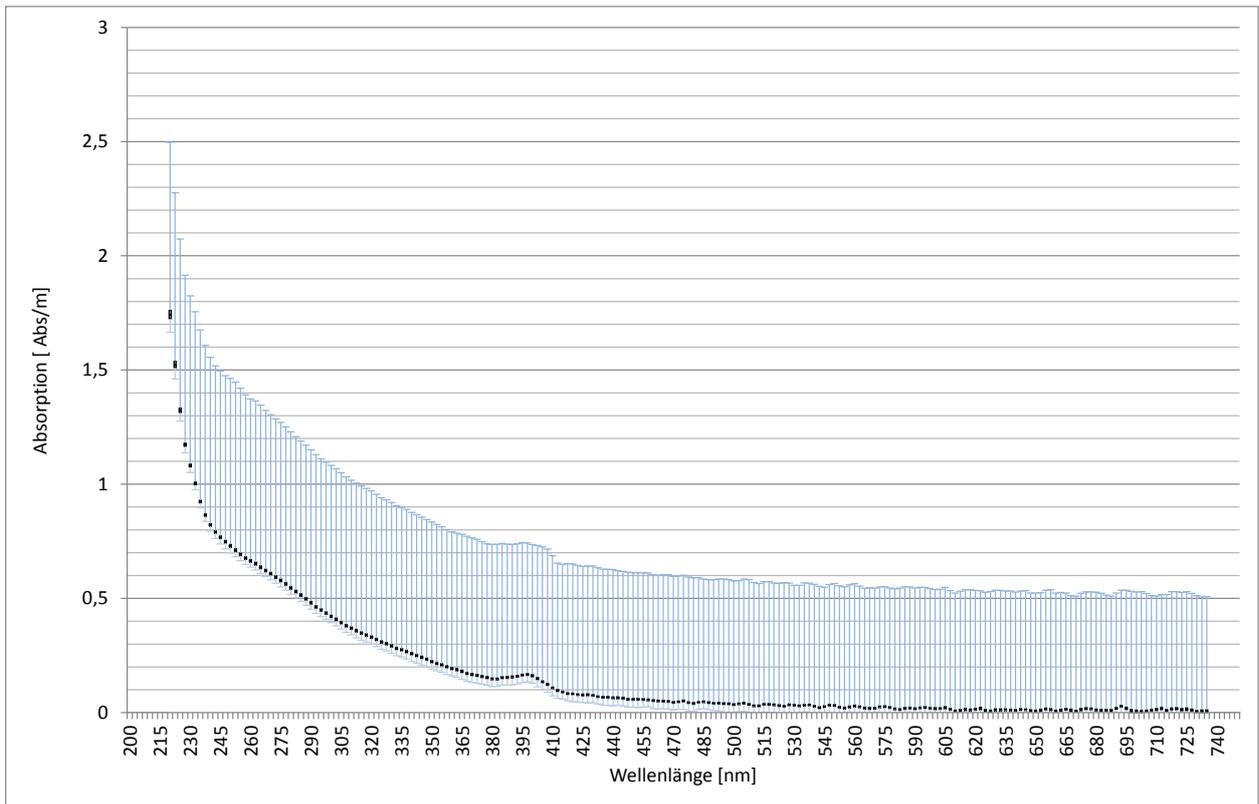


Abbildung 52: Boxplots – Absorptionsspektren – Rohwasser (01.-30.11.2013)

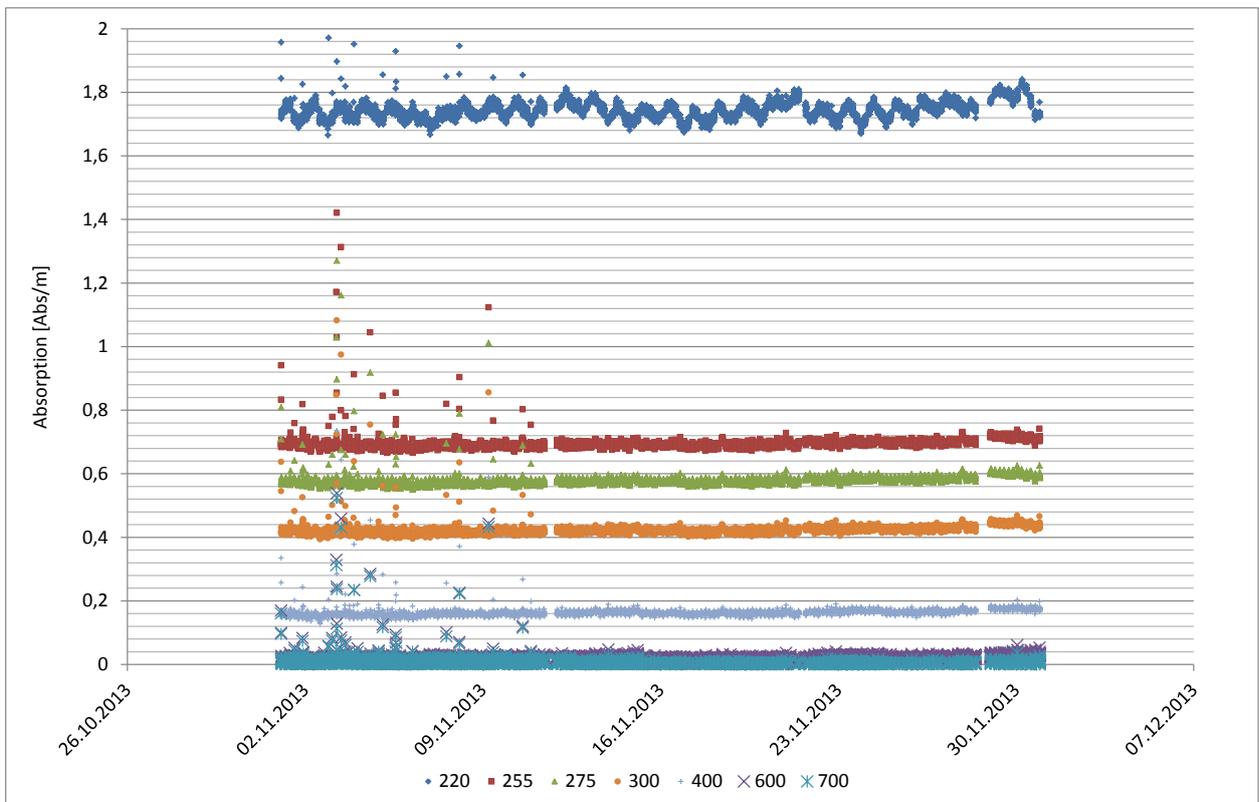


Abbildung 53: Absorption bei ausgewählten Wellenlängen im Rohwasser (01.-30.11.2013)

(Ausgewählte Wellenlänge: 220, 275, 300, 400, 600 und 700 nm)

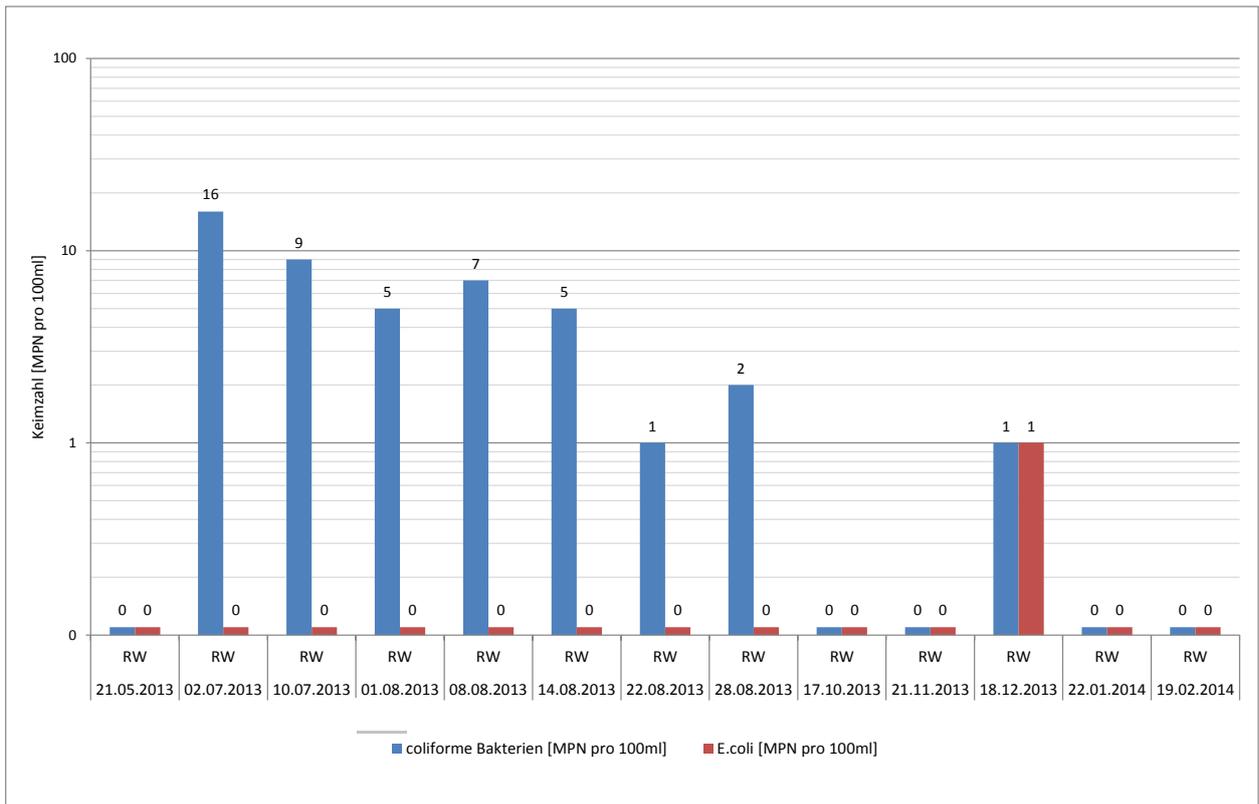


Abbildung 54: coliforme Bakterien und *E.coli* im Rohwasser (RW)

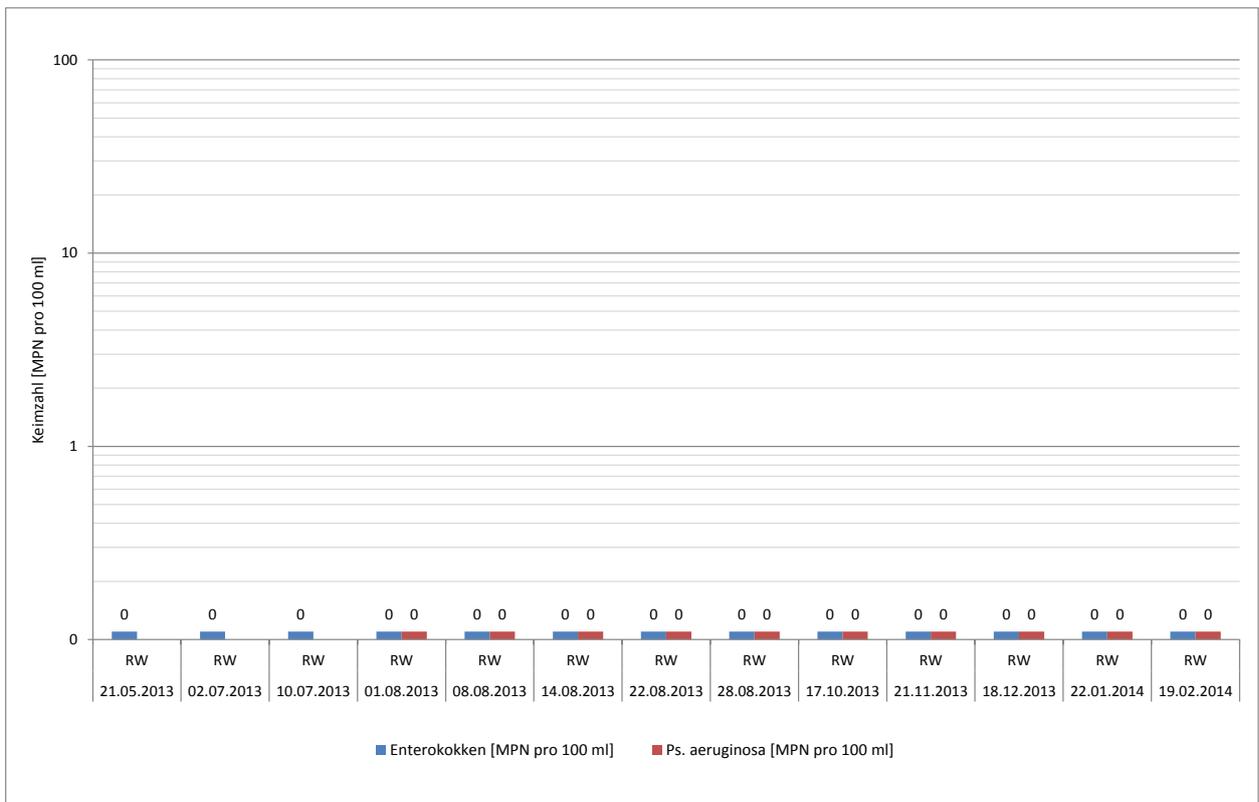


Abbildung 55: Enterokokken und *Ps. Aeruginosa* im Rohwasser (RW)

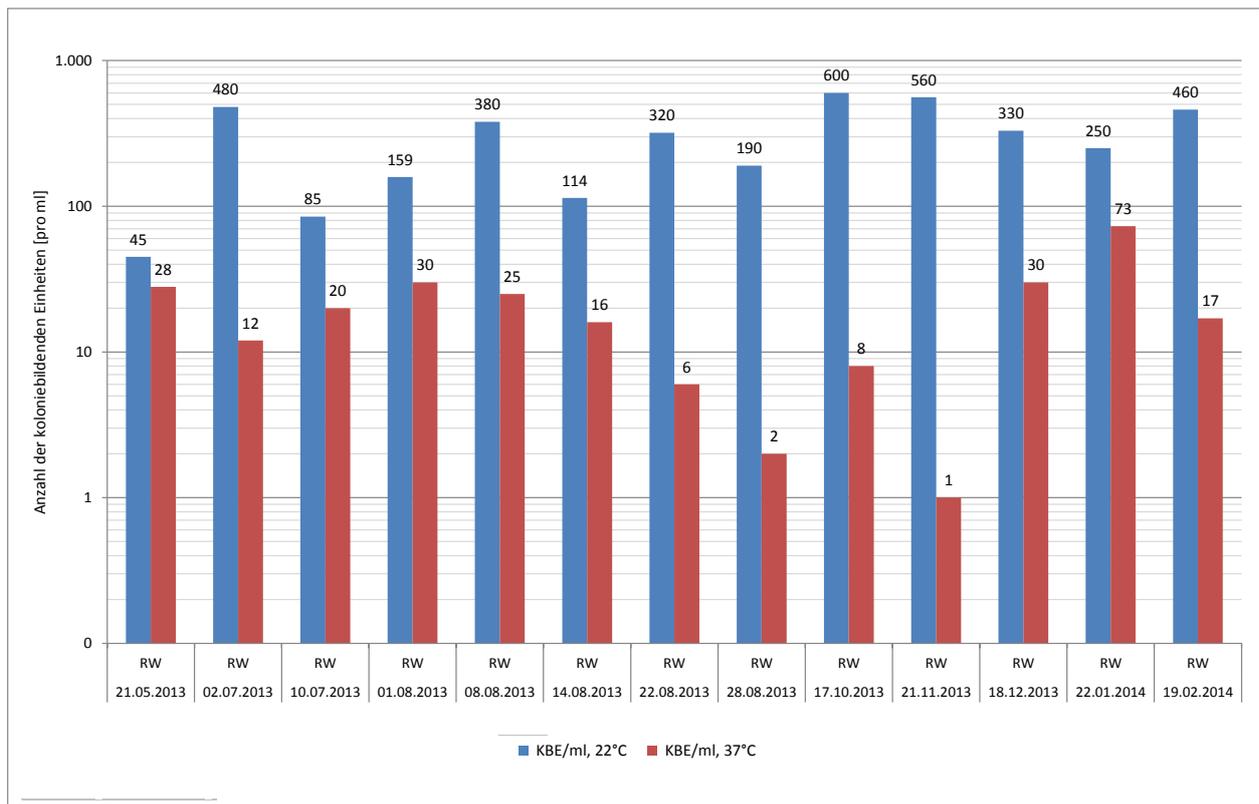


Abbildung 56: KBE 22°C und KBE 37°C im Rohwasser (RW)

Abläufe F1(1), F1(2) und F2

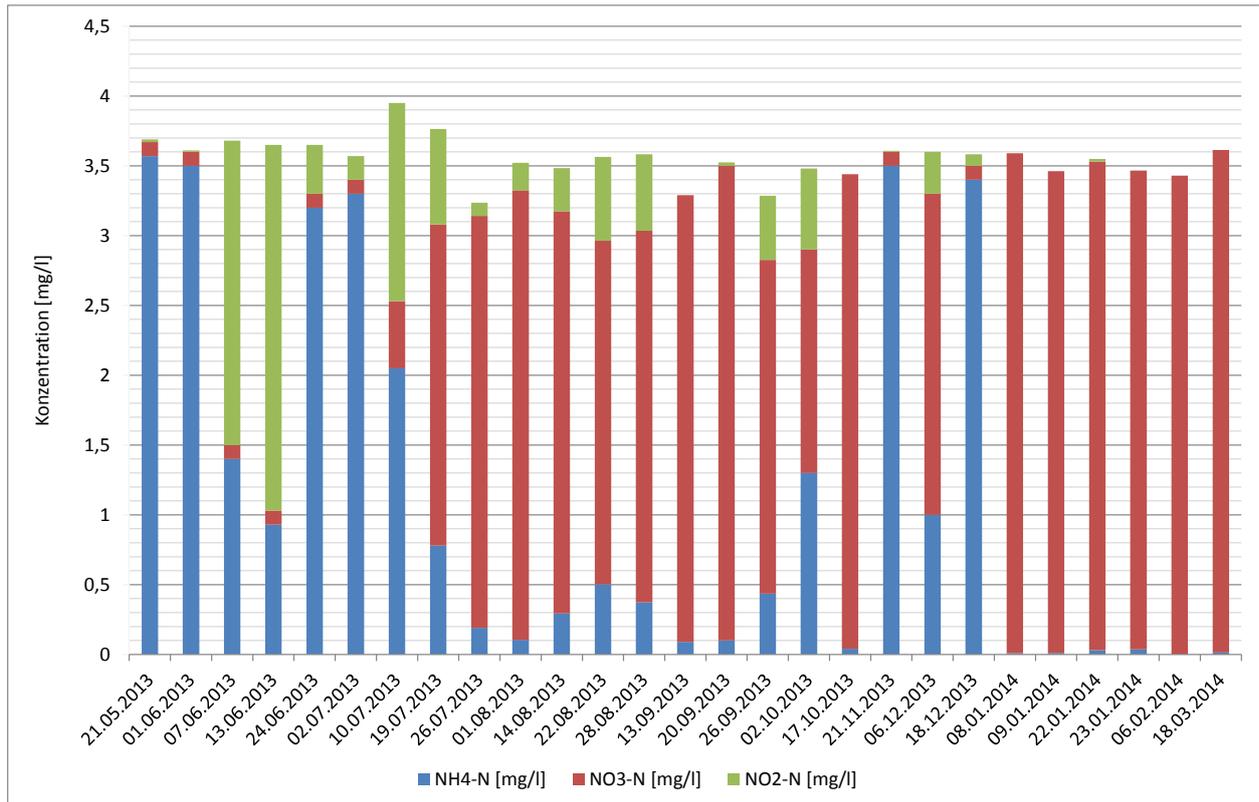


Abbildung 57: NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N im Ablauf der Anlage

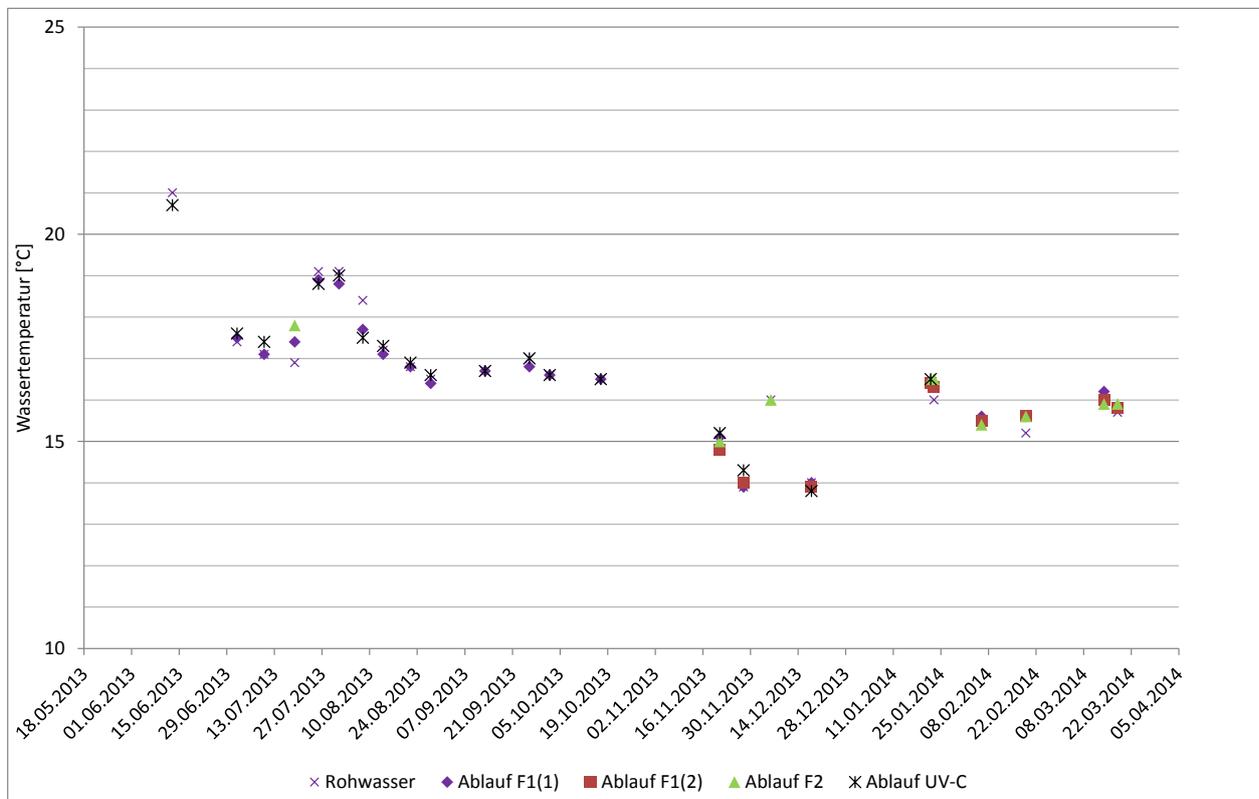


Abbildung 58: Wassertemperatur – Abläufe F1(1), F1(2) und F2

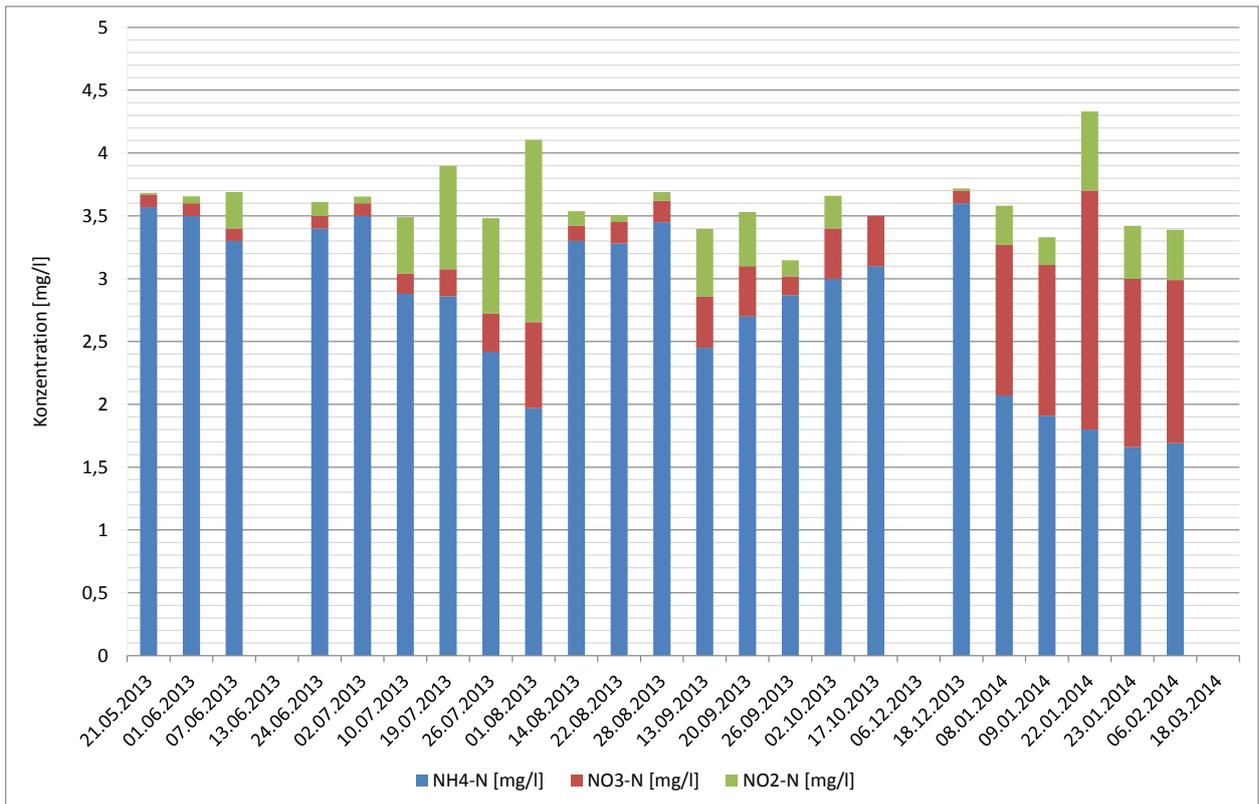


Abbildung 59: NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N im Ablauf des Nitrifikationsfilters F1(1)

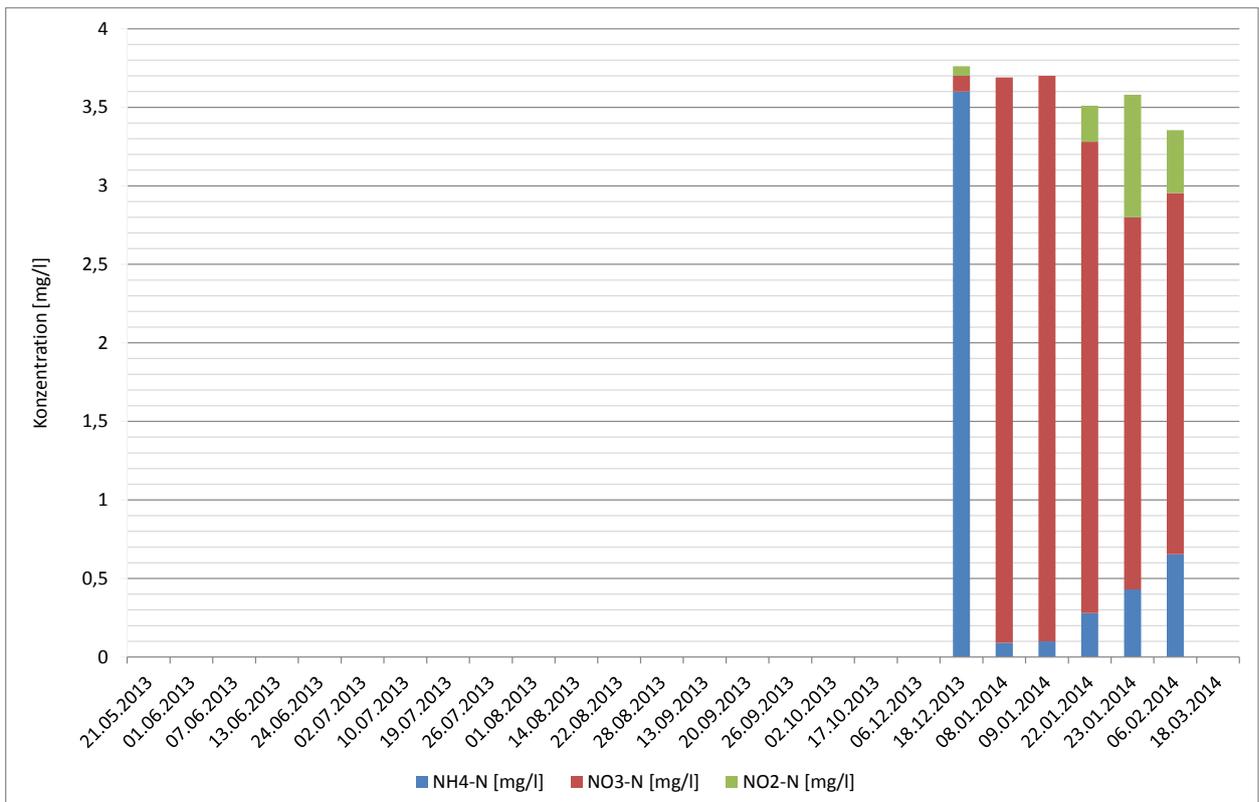


Abbildung 60: NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N im Ablauf des Nitrifikationsfilters F1(2)

Vergleich zwischen Rohwasser und den Abläufen von F1(1), F1(2), F2 und UV

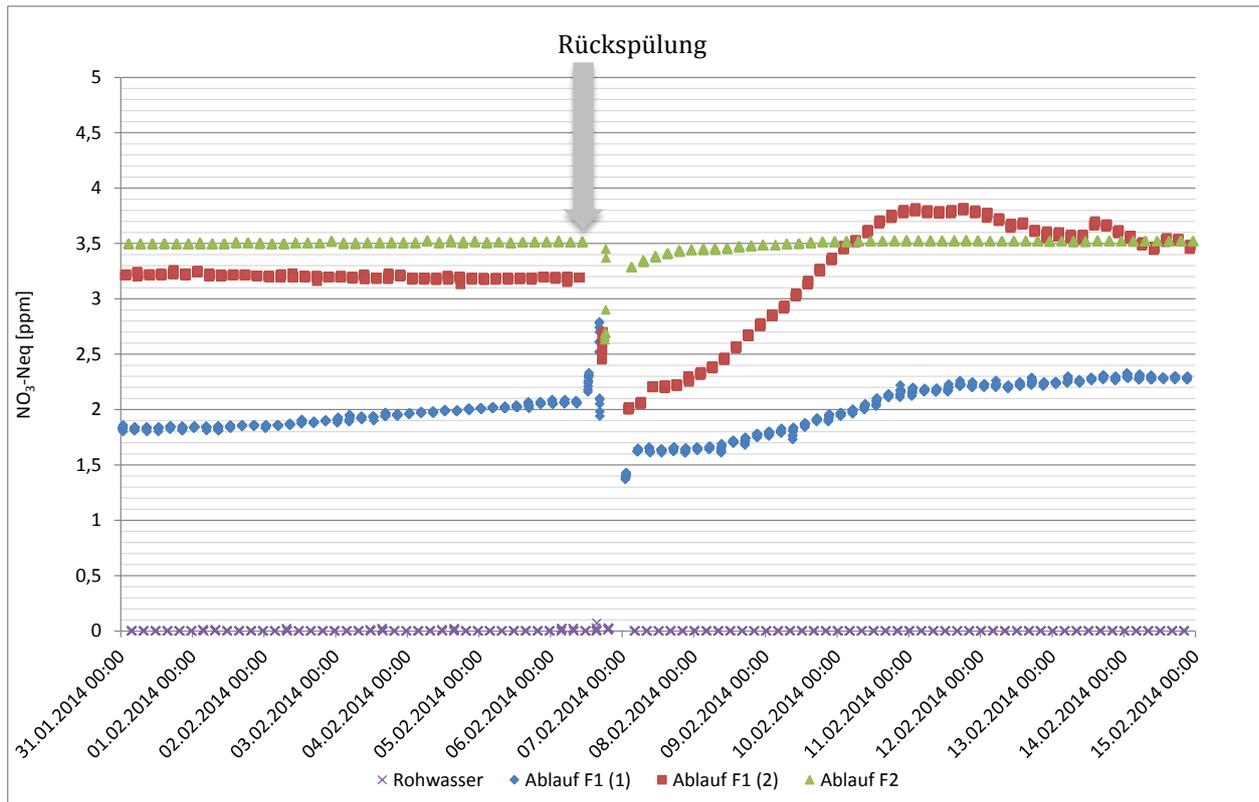


Abbildung 61: NO₃-Neq – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (31.01.-15.02.2014)

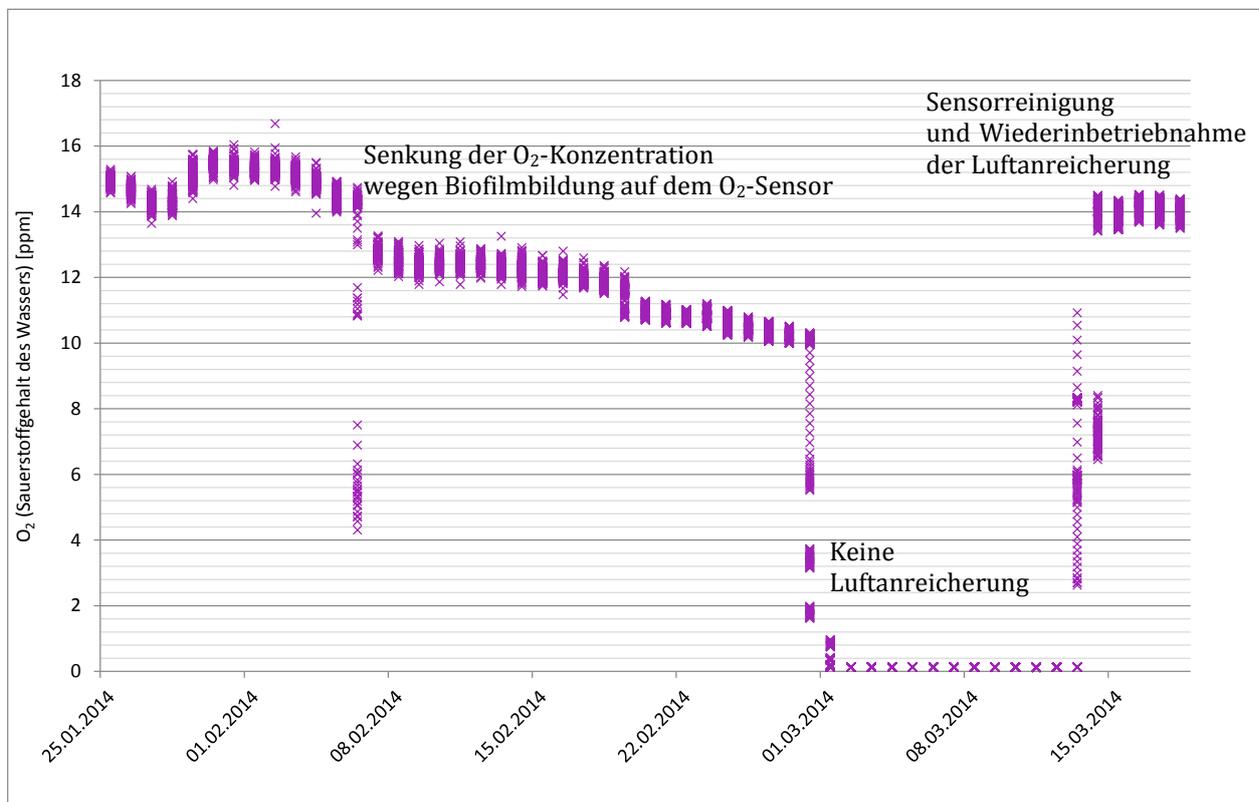


Abbildung 62: O₂ im Ablauf des Oxidators (25.01.-20.03.2014)

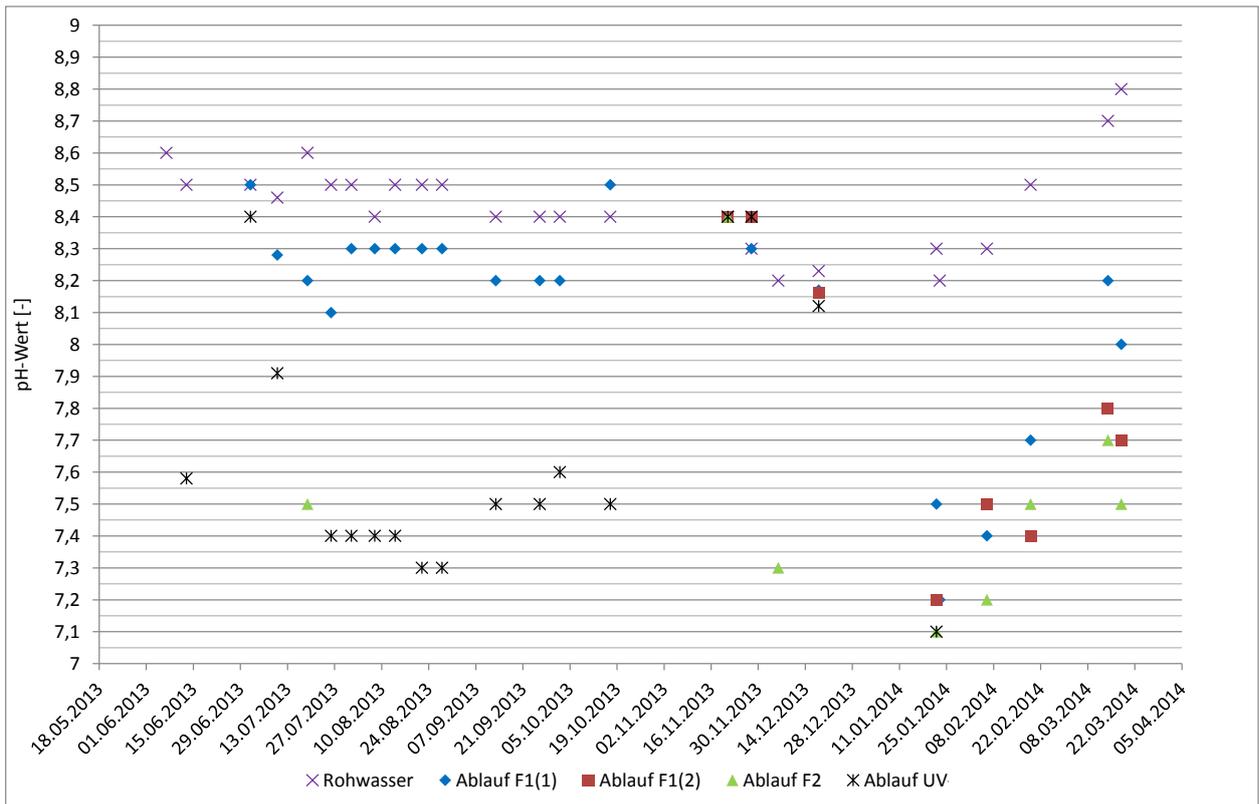


Abbildung 63: pH-Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2), F2 und UV-Anlage

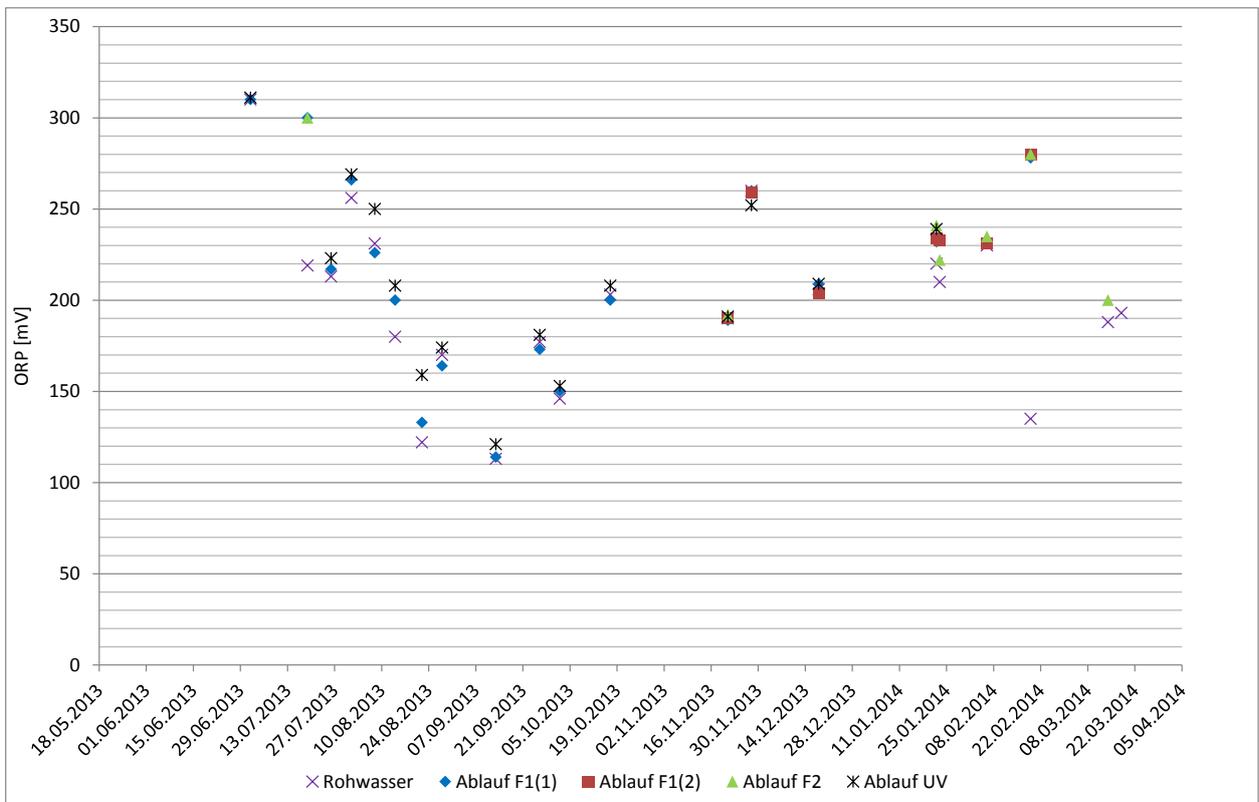


Abbildung 64: ORP-Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2), F2 und UV-Anlage

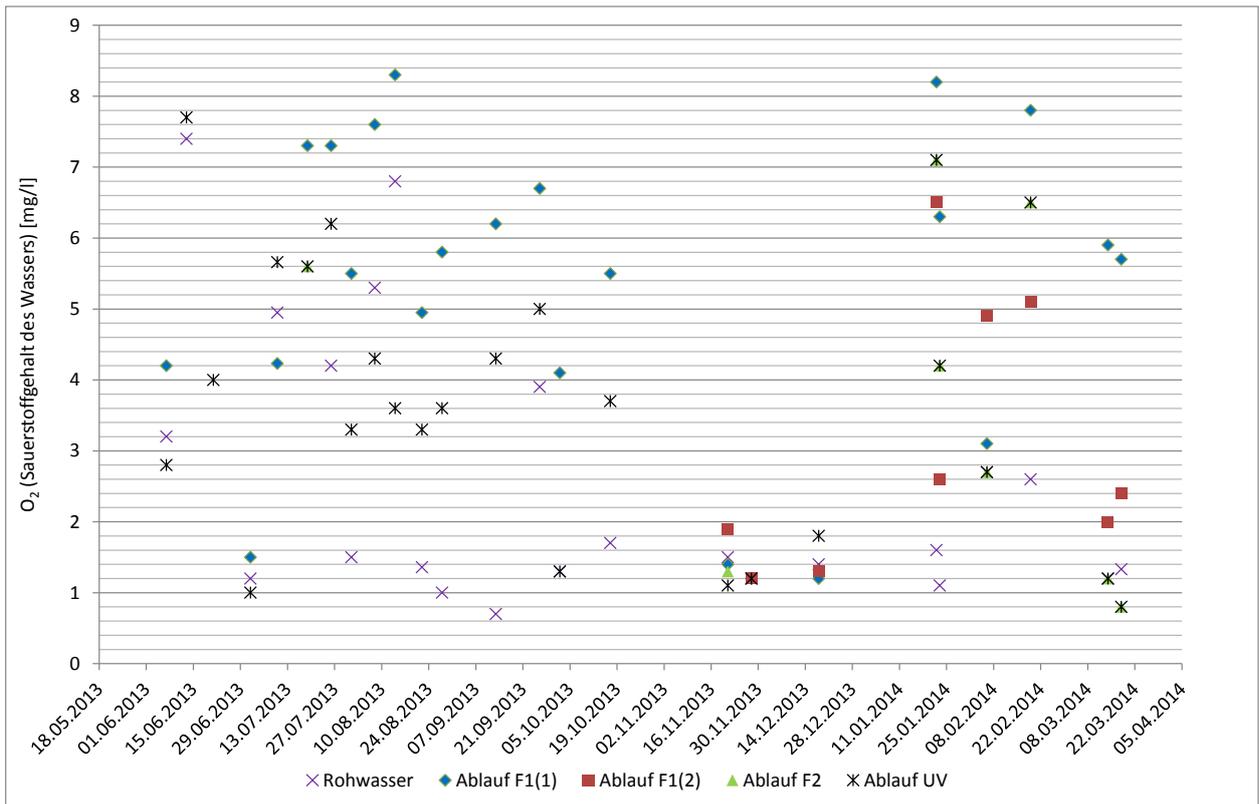


Abbildung 65: O₂ – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2), F2 und UV-Anlage

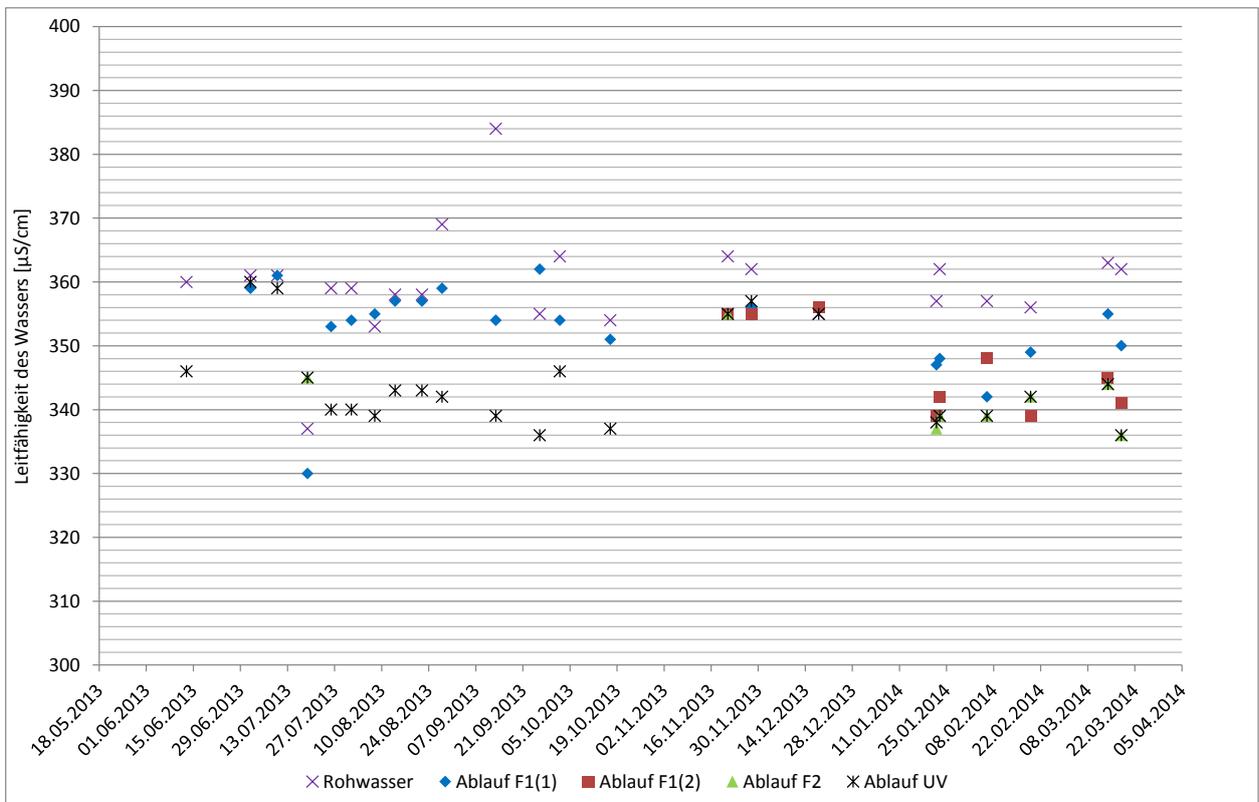


Abbildung 66: Leitfähigkeitswerte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2), F2 und UV-Anlage

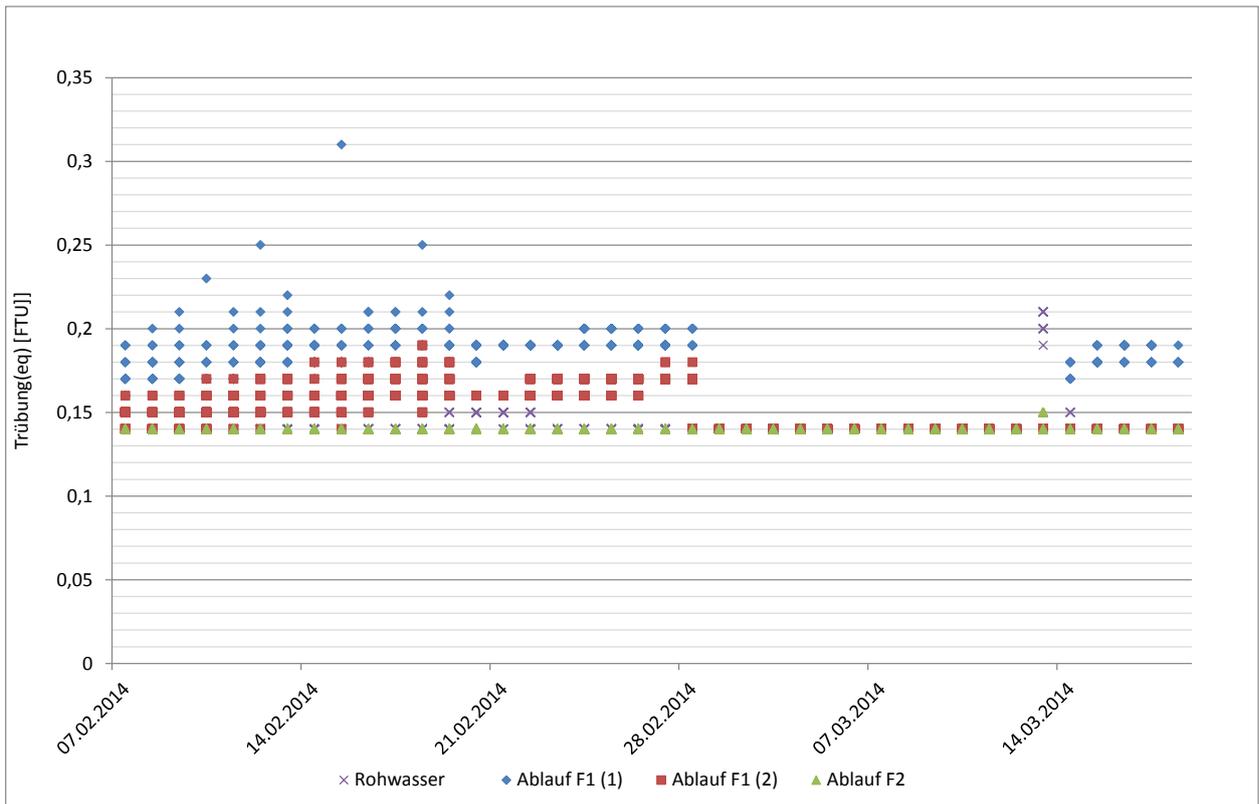


Abbildung 67: Trübung – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.02.-18.03.2014)

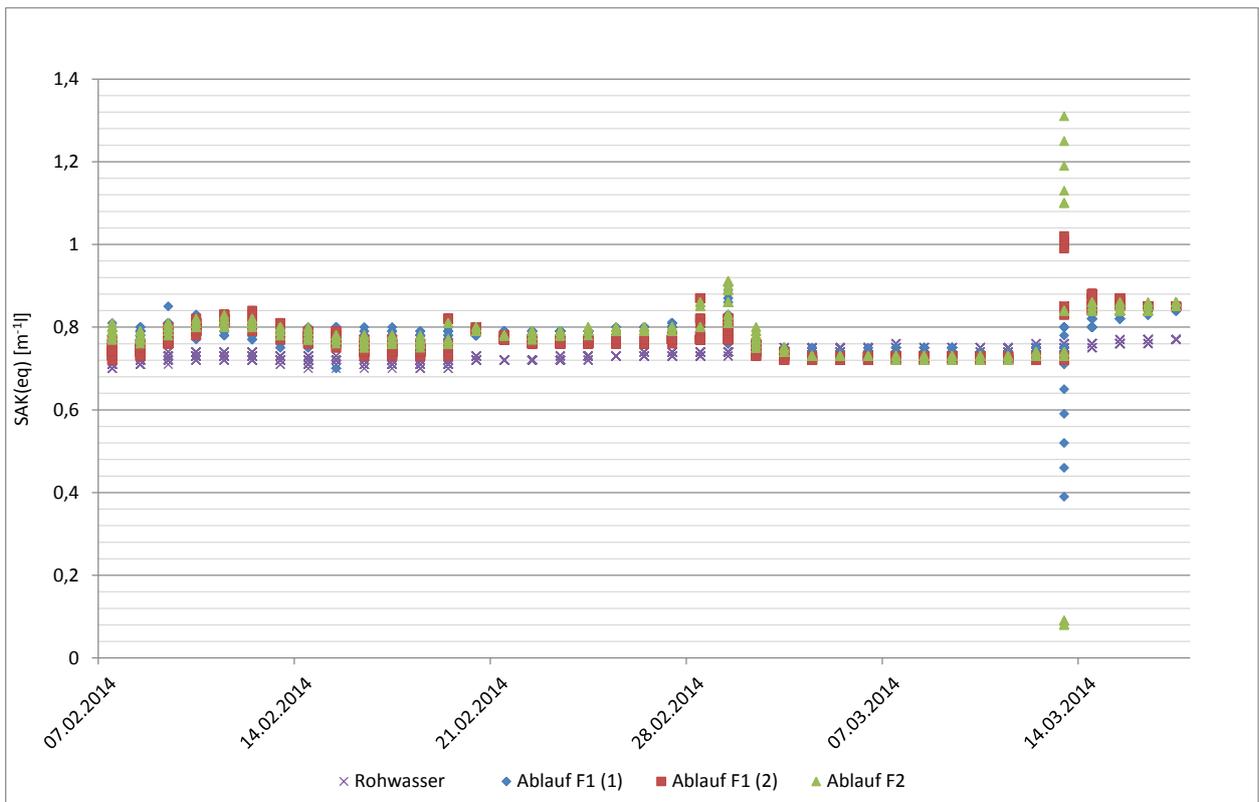


Abbildung 68: SAK_{eq}-Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.02. -18.03.2014)

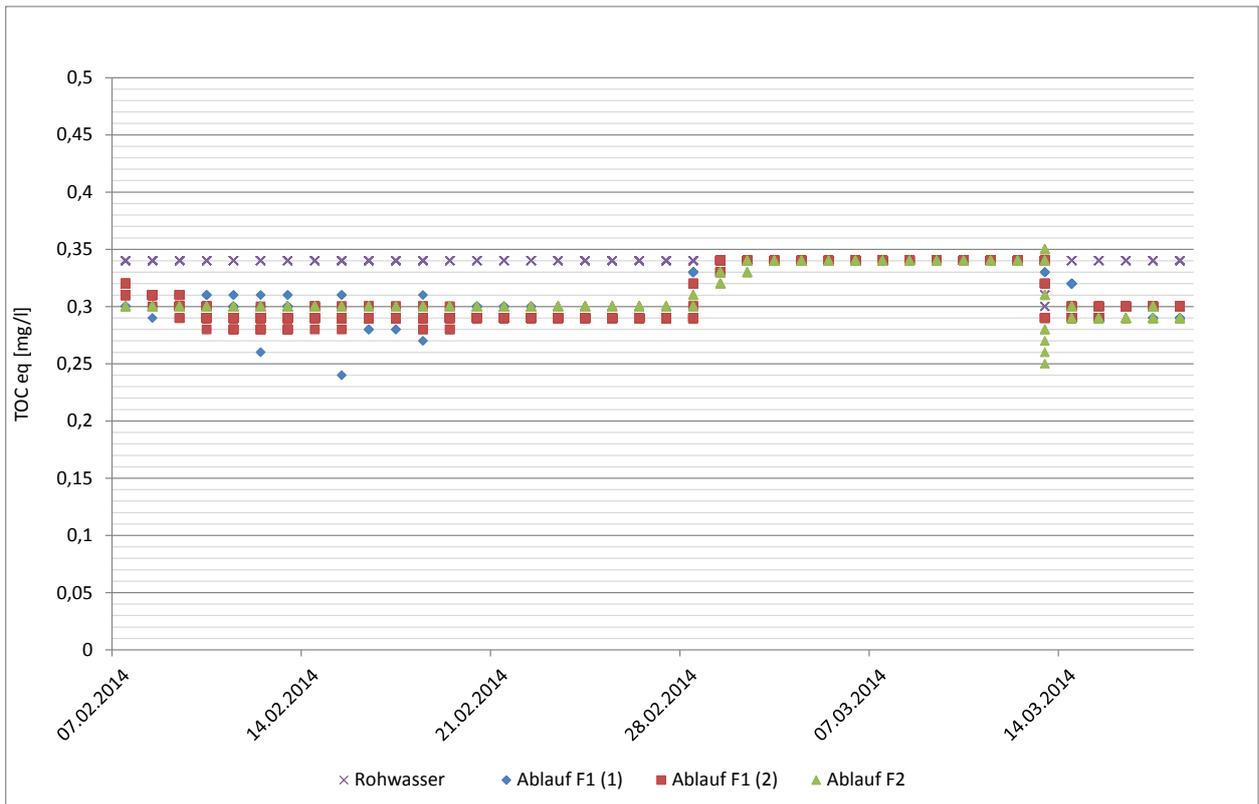


Abbildung 69: TOC_{eq}-Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.02. -18.03.2014)

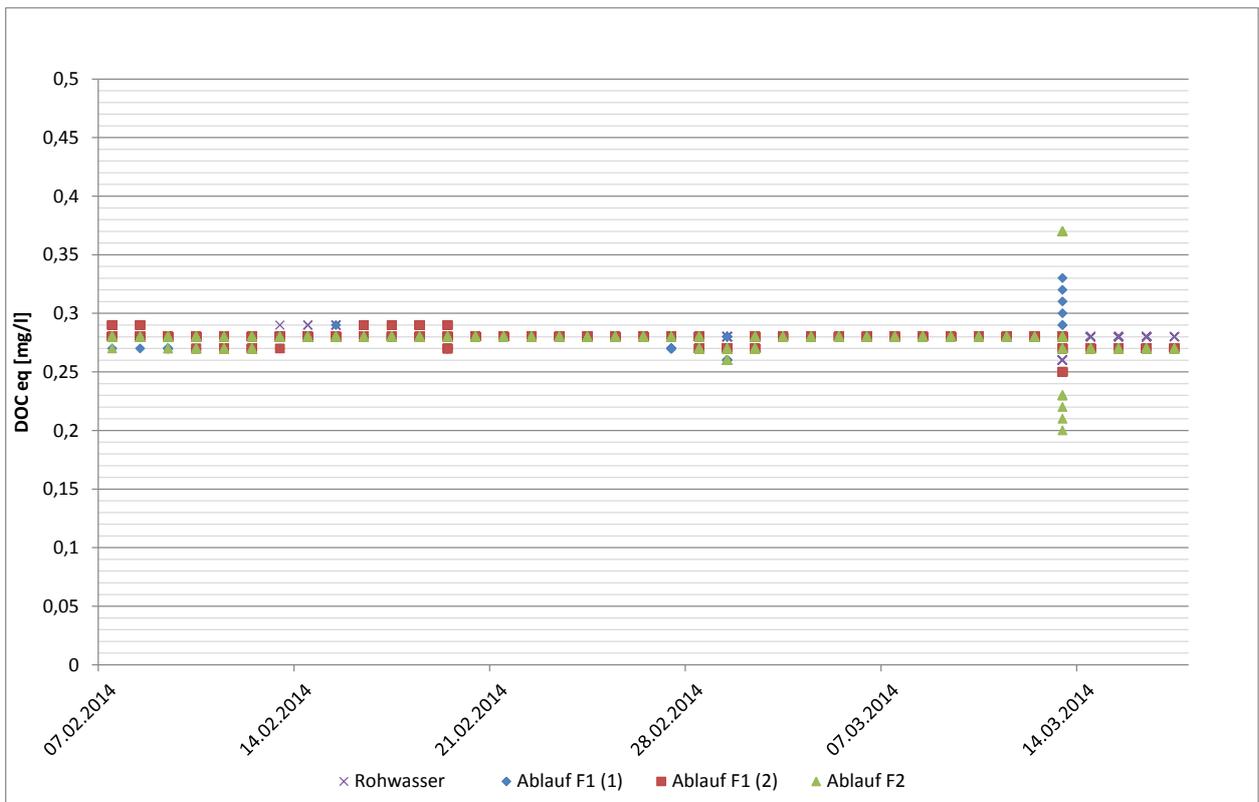


Abbildung 70: DOC_{eq}-Werte – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.02.-18.03.2014)

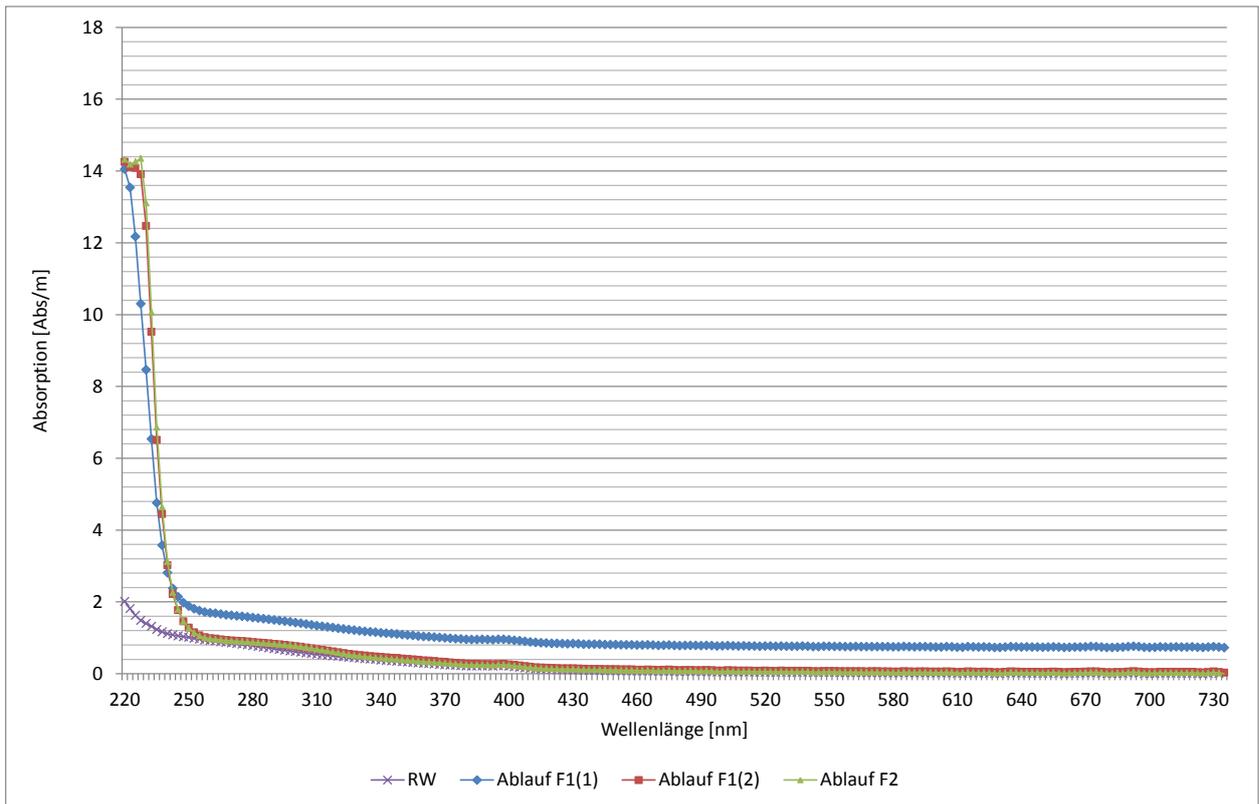


Abbildung 71: Absorptionsspektren – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (14.-18.03.2014)
(Medianwerte)

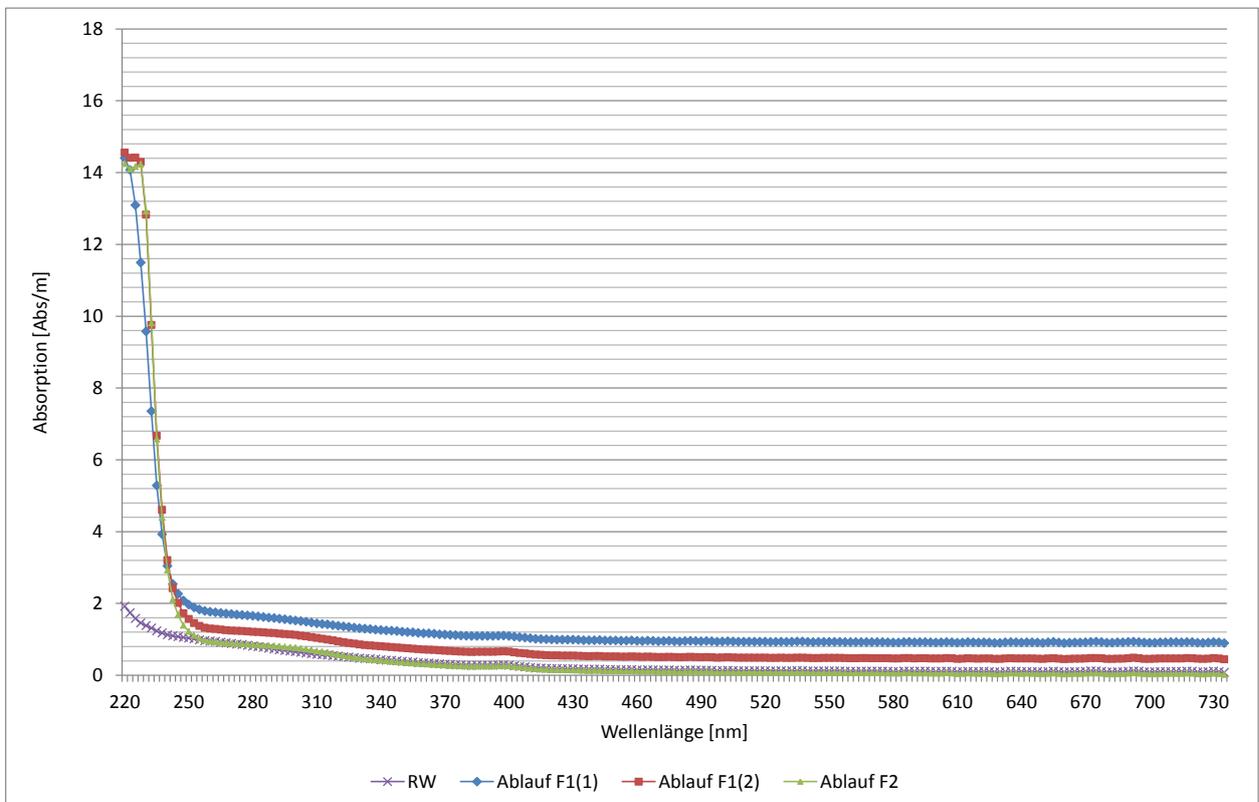


Abbildung 72: Absorptionsspektren – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (21.-28.02.2014)
(Medianwerte)

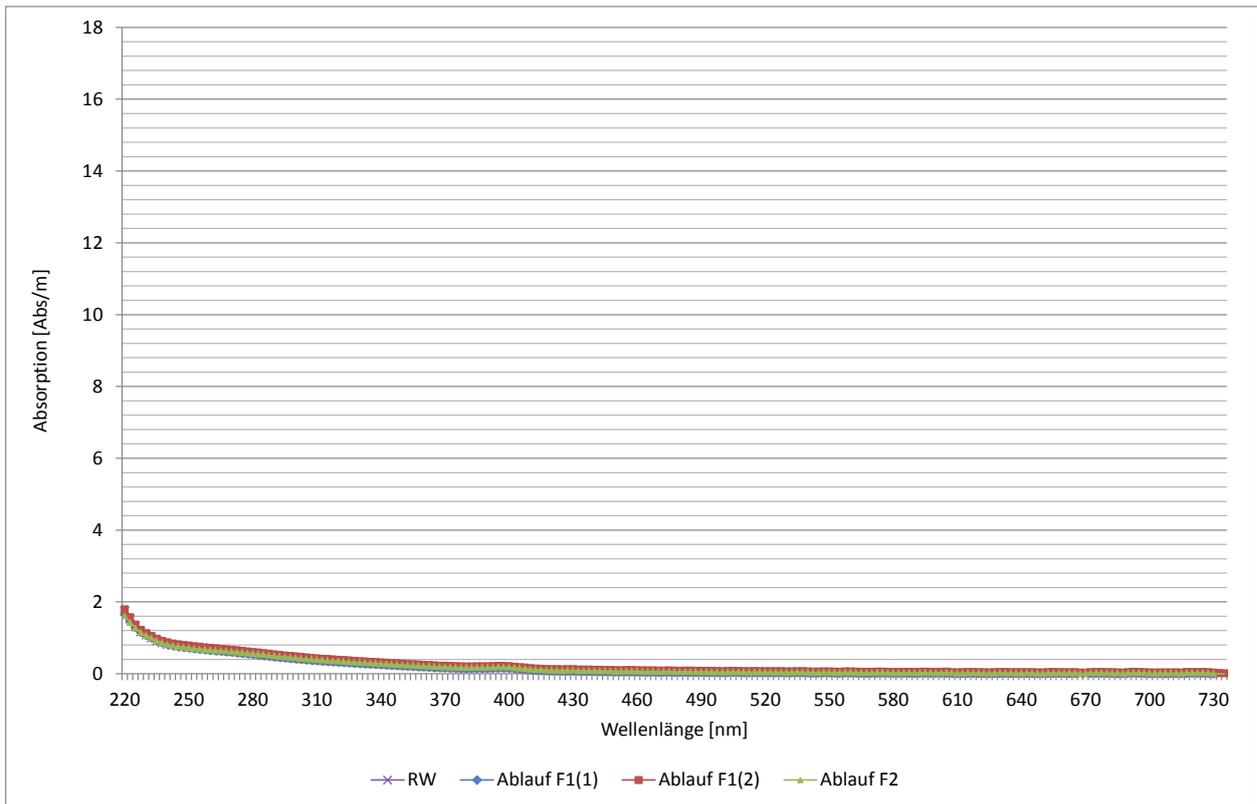


Abbildung 73: Absorptionsspektren* – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (03.-11.11.2013)

(Medianwerte)

03.-11.11.2013: keine Luftanreicherung

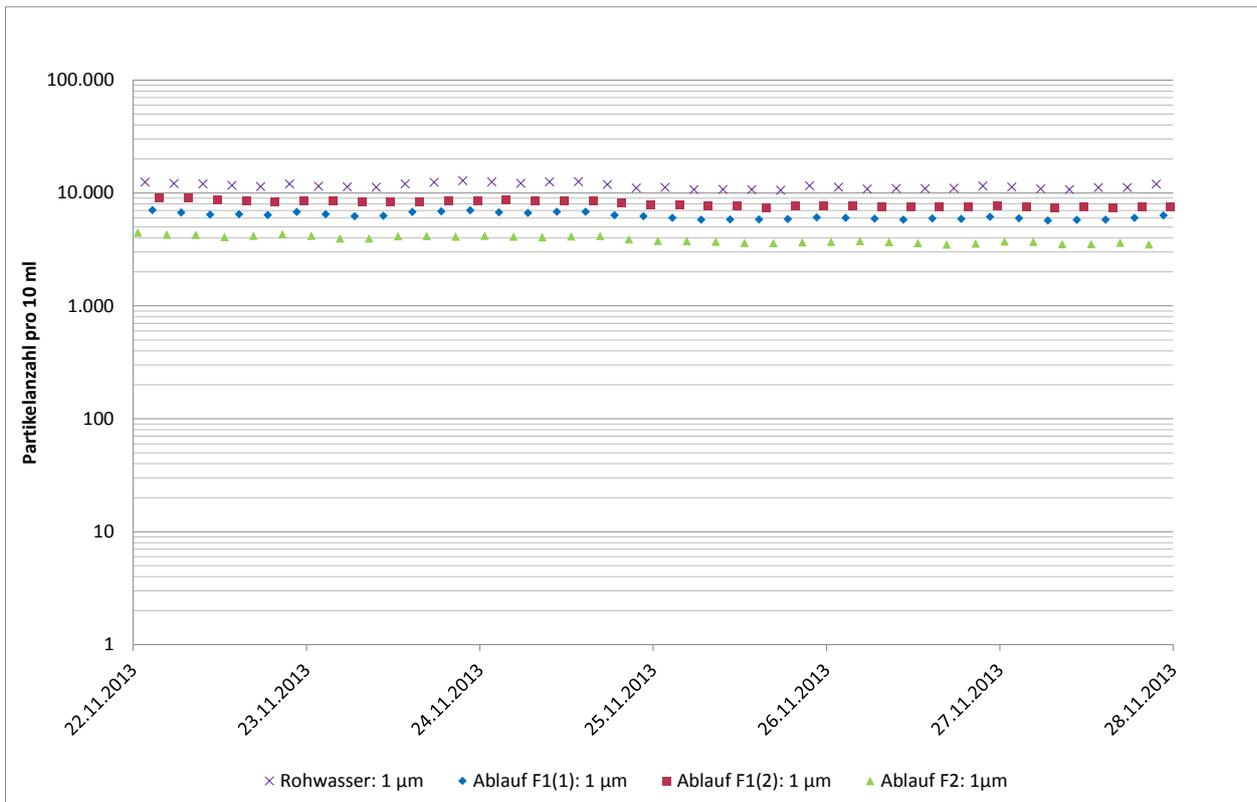


Abbildung 74: Partikelzählungen ($\leq 1 \mu\text{m}$) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (22.-28.11.2013)

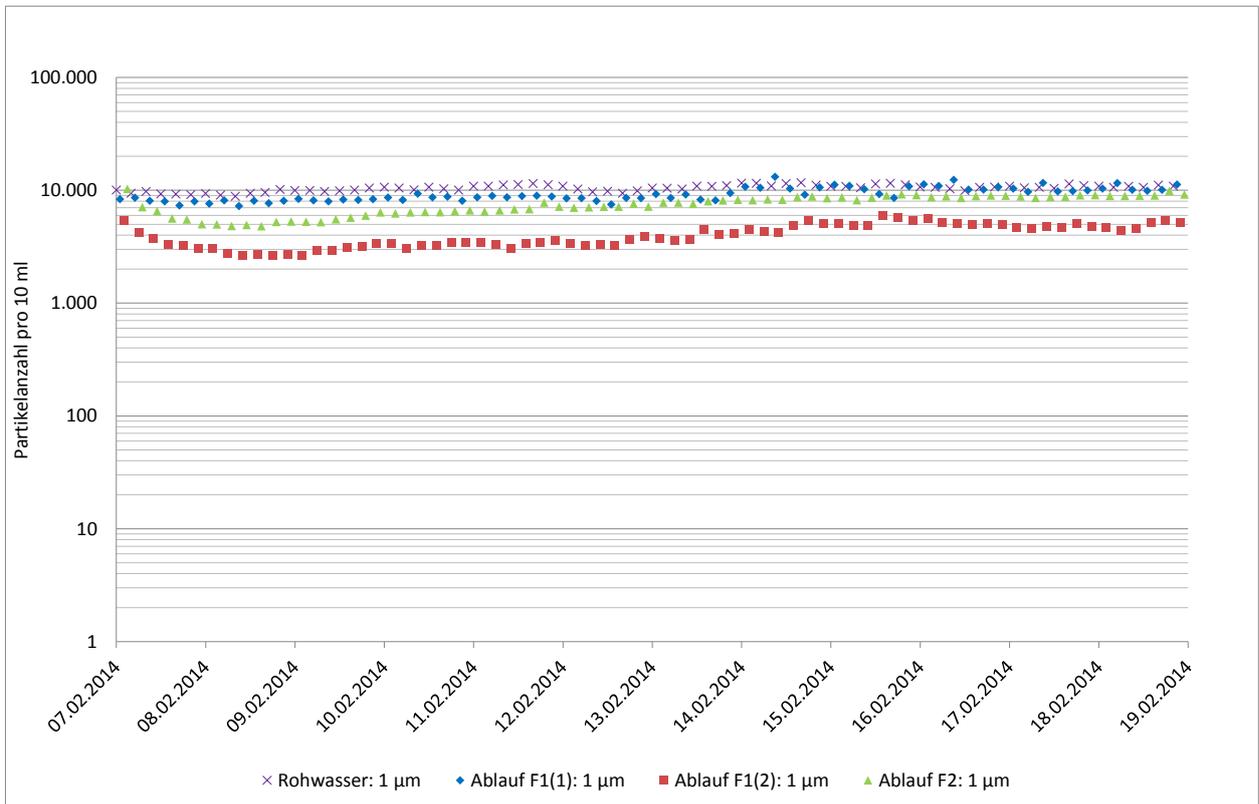


Abbildung 75: Partikelzählungen ($\leq 1 \mu\text{m}$) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014)

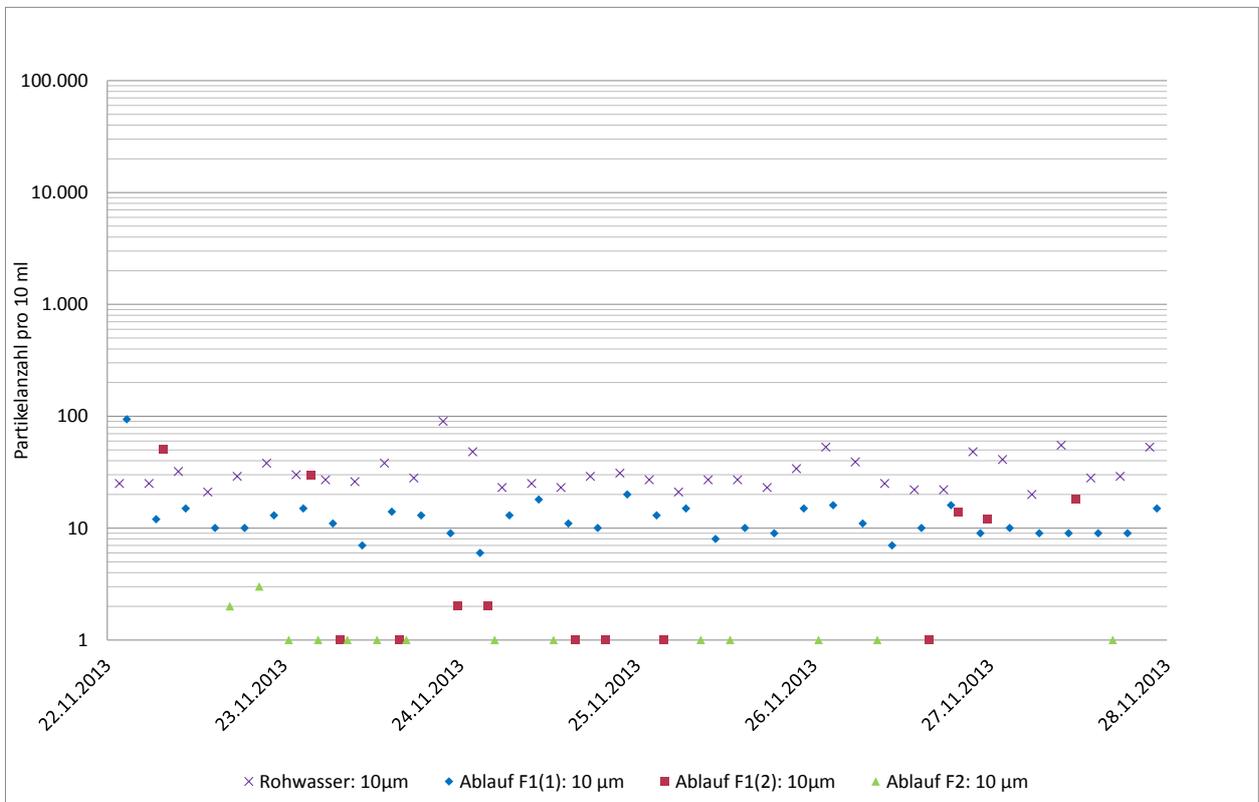


Abbildung 76: Partikelzählungen (5 μm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (22.-28.11.2013)

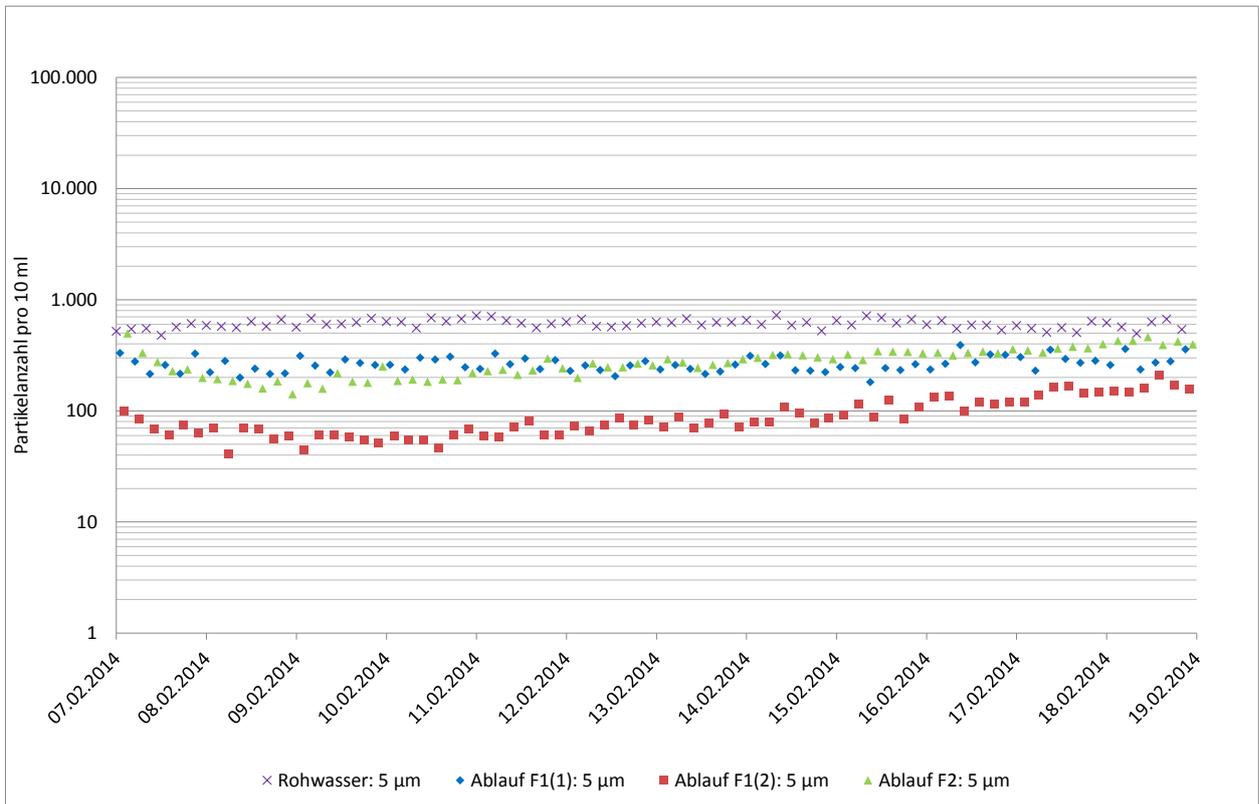


Abbildung 77: Partikelzählungen (5 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014)

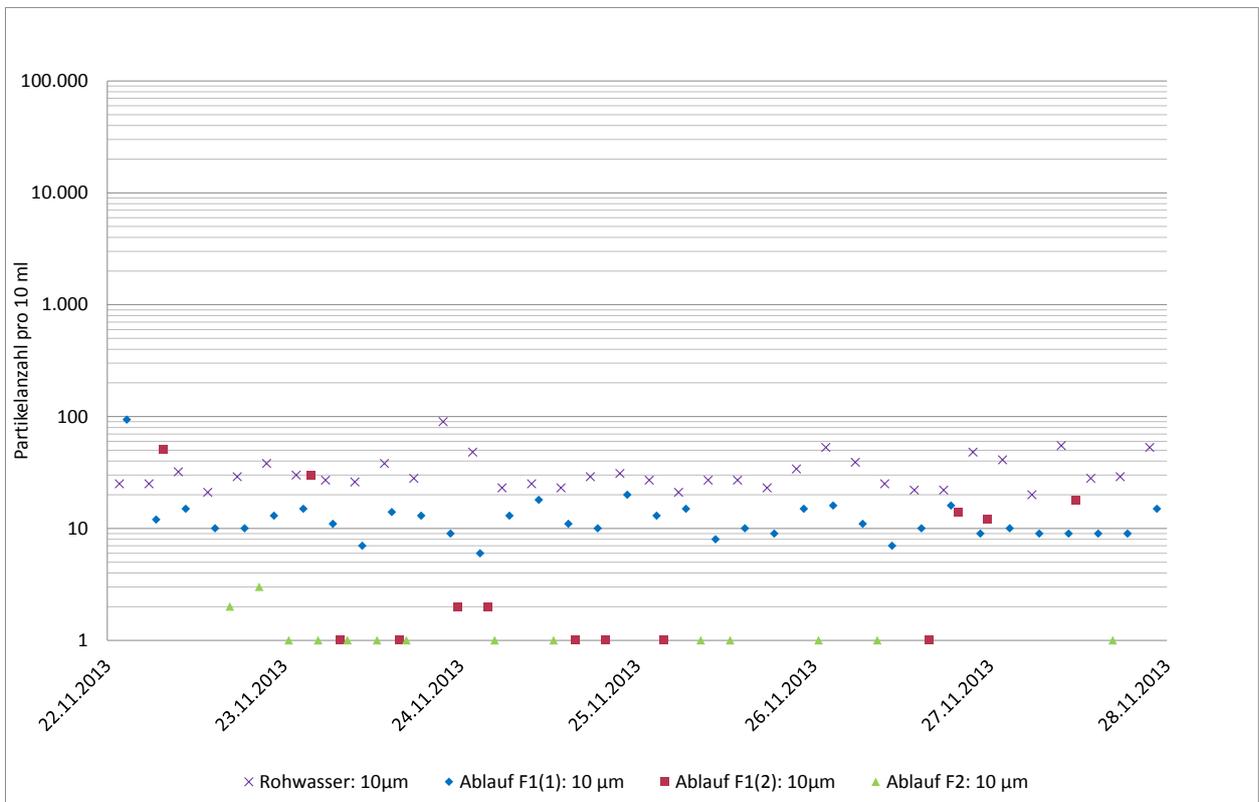


Abbildung 78: Partikelzählungen (10 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (22.-28.11.2013)

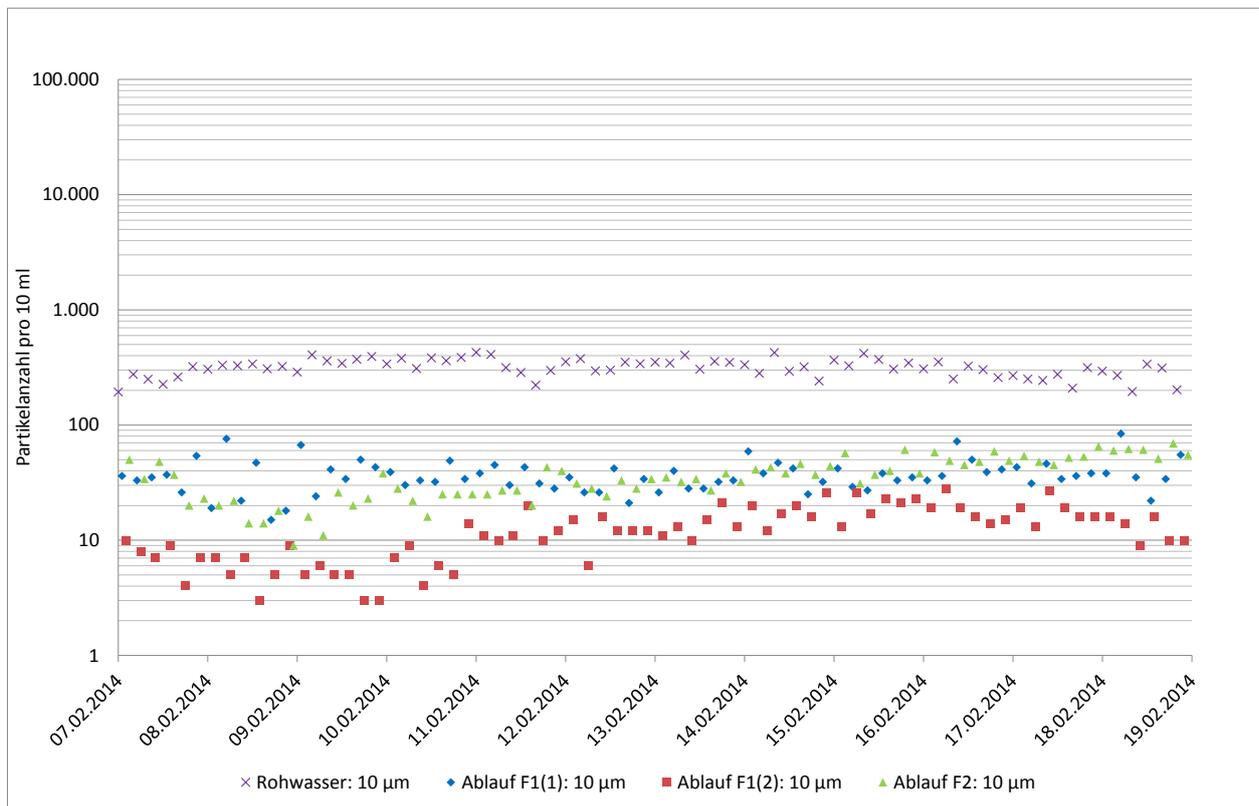


Abbildung 79: Partikelzählungen (10 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014)

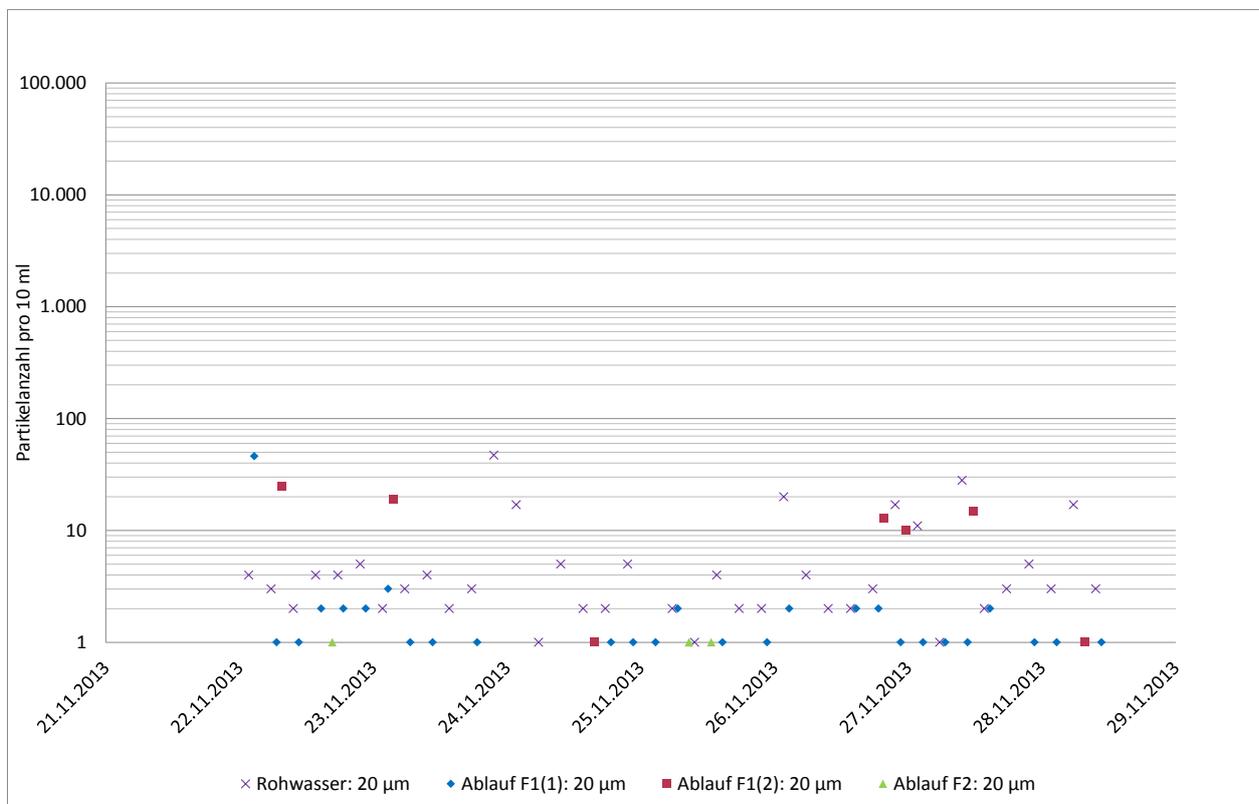


Abbildung 80: Partikelzählungen (20 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (21.-29.11.2013)

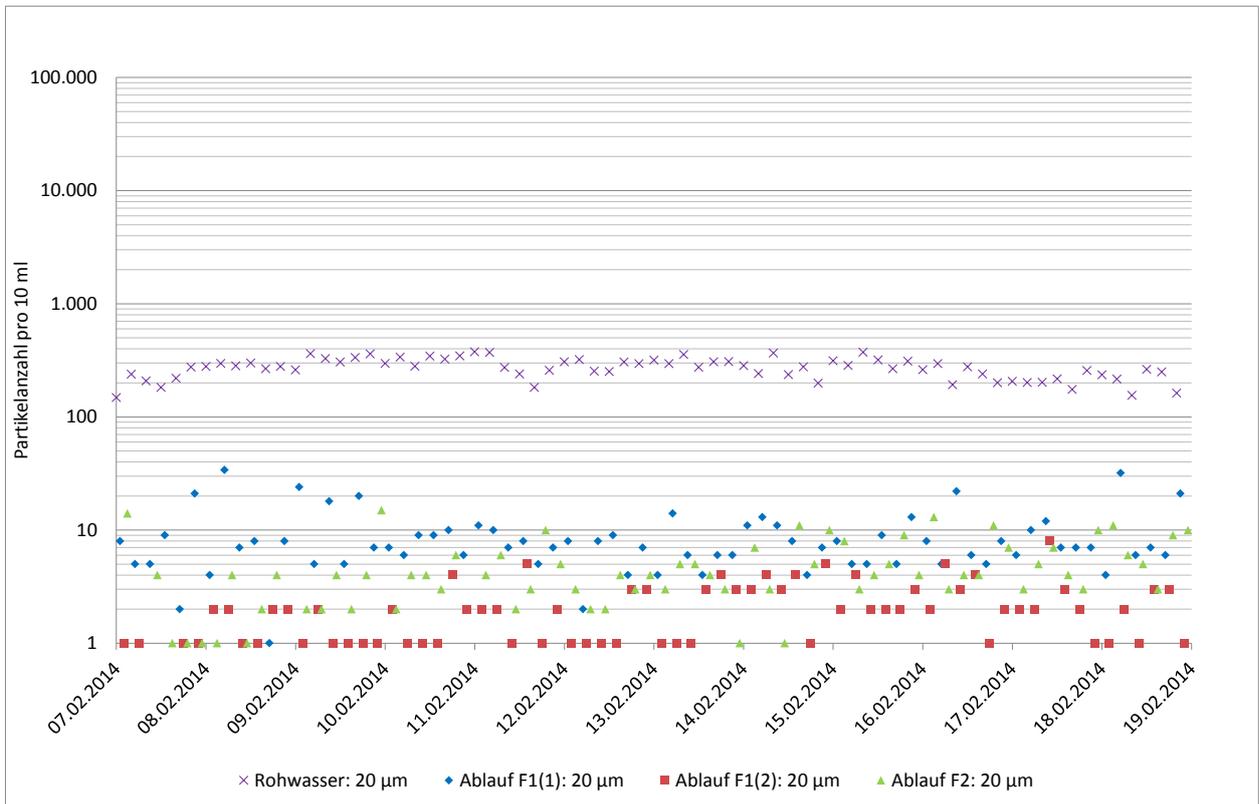


Abbildung 81: Partikelzählungen (20 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014)

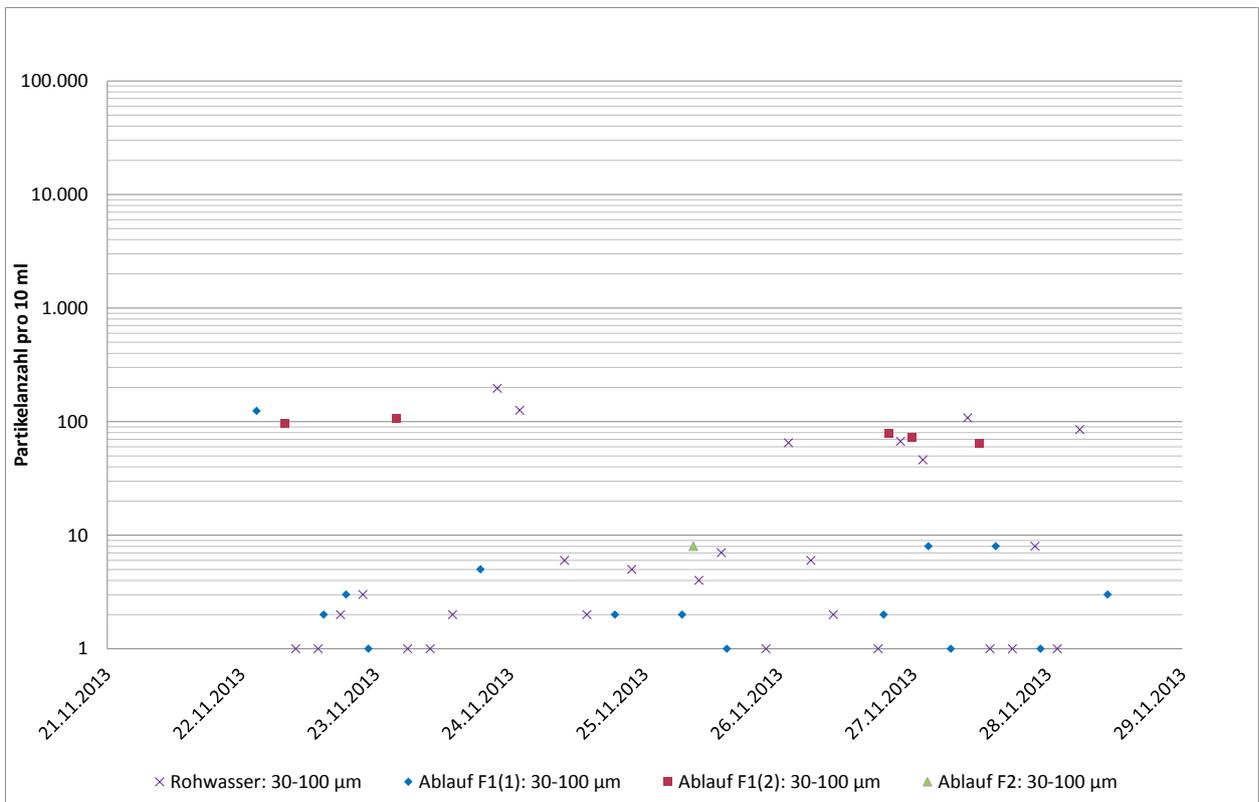


Abbildung 82: Partikelzählungen (30-100 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (21.-29.11.2013)

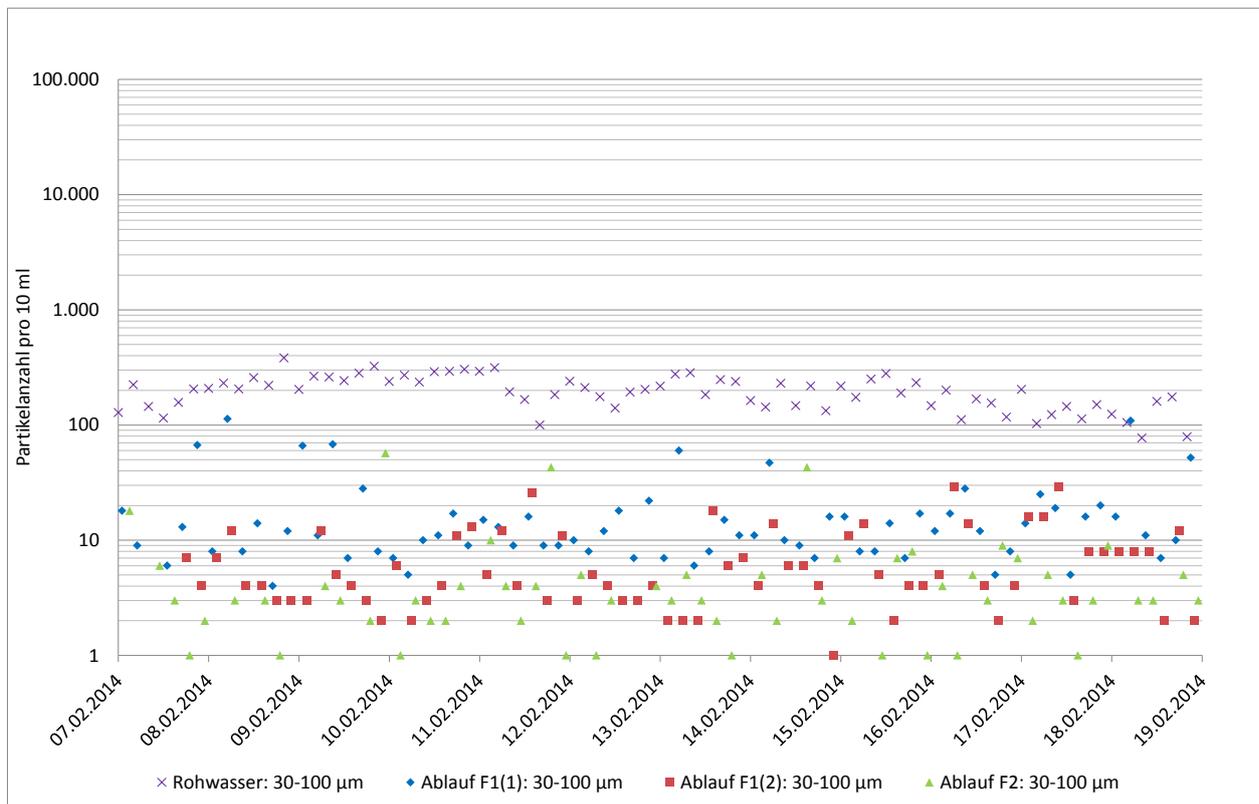


Abbildung 83: Partikelzählungen (30-100 µm) – Rohwasser; Abläufe F1(1), F1(2) und F2 (07.-19.02.2014)

Tabelle 16: Ionenbilanzen – Rohwasser und Ablauf der Anlage

ANALYSENKONTROLLE:						ANALYSENKONTROLLE:							
Probenahmestelle: 39552 Rohwasser Wending 22.01.2014						Probenahmestelle: 39556 Ab UV Wending 22.01.2014							
KATIONEN		Mol. Masse	Massenkonz.	Stoffmengenkonz.	Äquival.konz.	Äquival.%	KATIONEN		Mol. Masse	Massenkonz.	Stoffmengenkonz.	Äquival.konz.	Äquival.%
		mg/l	mmol/l	m eq/l	mmol/l	mmol/l			mg/l	mmol/l	m eq/l	mmol/l	mmol/l
Hauptgr.	Na+	22,99	73	3,18	3,18	80,54	Hauptgr.	Na+	22,99	73	3,18	3,18	86,16
	K+	39,10	3,2	0,08	0,08	2,08		K+	39,10	2,8	0,07	0,07	1,94
	Mg++	24,31	1,9	0,08	0,16	3,97		Mg++	24,31	1,9	0,08	0,16	4,24
	Ca++	40,08	5,6	0,14	0,28	7,09		Ca++	40,08	5,6	0,14	0,28	7,58
Begl.stoffe	Sr++	87,62		0,00	0,00	0,00	Begl.stoffe	Sr++	87,62		0,00	0,00	0,00
	Fe++	55,85	0,0243	0,00	0,00	0,02		Fe++	55,85	0,0112	0,00	0,00	0,01
	Mn++	54,94	0,01	0,00	0,00	0,00		Mn++	54,94	0,00	0,00	0,00	0,00
	NH4+	18,04	4,48	0,25	0,25	6,30		NH4+	18,04	0,04	0,00	0,00	0,06
	Al+++	26,98		0,00	0,00	0,00		Al+++	26,98		0,00	0,00	0,00
Summe Kationen			88,21	3,72	3,94	100,00	Summe Kationen			83,35	3,47	3,69	100,00
ANIONEN		Mol. Masse	Massenkonz.	Stoffmengenkonz.	Äquival.konz.	Äquival.%	ANIONEN		Mol. Masse	Massenkonz.	Stoffmengenkonz.	Äquival.konz.	Äquival.%
		mg/l	mmol/l	m eq/l	mmol/l	mmol/l			mg/l	mmol/l	m eq/l	mmol/l	mmol/l
Hauptgr.	Cl -	35,45	0,5	0,01	0,01	0,36	Hauptgr.	Cl -	35,45	0,5	0,01	0,01	0,38
	NO3 -	62,00	0	0,00	0,00	0,00		NO3 -	62,00	15,5	0,25	0,25	6,70
	HCO3 -	61,02	236	3,87	3,87	97,85		HCO3 -	61,02	207	3,39	3,39	90,93
	SO4 --	96,06	3,4	0,04	0,07	1,79		SO4 --	96,06	3,5	0,04	0,07	1,95
Begl.stoffe	F -	19,00		0,00	0,00	0,00	Begl.stoffe	F -	19,00		0,00	0,00	0,00
	Br -	79,90		0,00	0,00	0,00		Br -	79,90		0,00	0,00	0,00
	I -	126,91		0,00	0,00	0,00		I -	126,91		0,00	0,00	0,00
	NO2 -	46,01	0,01	0,00	0,00	0,01		NO2 -	46,01	0,06	0,00	0,00	0,04
	HPO4 --	95,98		0,00	0,00	0,00		HPO4 --	95,98		0,00	0,00	0,00
	HS -	33,07		0,00	0,00	0,00		HS -	33,07		0,00	0,00	0,00
Summe Anionen			239,91	3,92	3,95	100,00	Summe Anionen			226,56	3,69	3,73	100,00
Leitfähigkeit	Summe Anionen + Kationen	Gesammineralstoffgehalt von - bis		Gesamthärte	Karbonathärte								
µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	°dH	°dH								
357	328	0	0	1,22	10,83								
Max. zulässige Abweichung nach DVWK 111:						Max. zulässige Abweichung nach DVWK 111:							
bis 2 mmol(eq)/l Anionen- oder Kationensumme				5%		bis 2 mmol(eq)/l Anionen- oder Kationensumme				5%			
größer 2 mmol(eq)/l Anionen- oder Kationensumme				2%		größer 2 mmol(eq)/l Anionen- oder Kationensumme				2%			
Abweichung v. Mittelwert der Anionen- und Kationensumme						Abweichung v. Mittelwert der Anionen- und Kationensumme							
-0,13 %						-0,61 %							

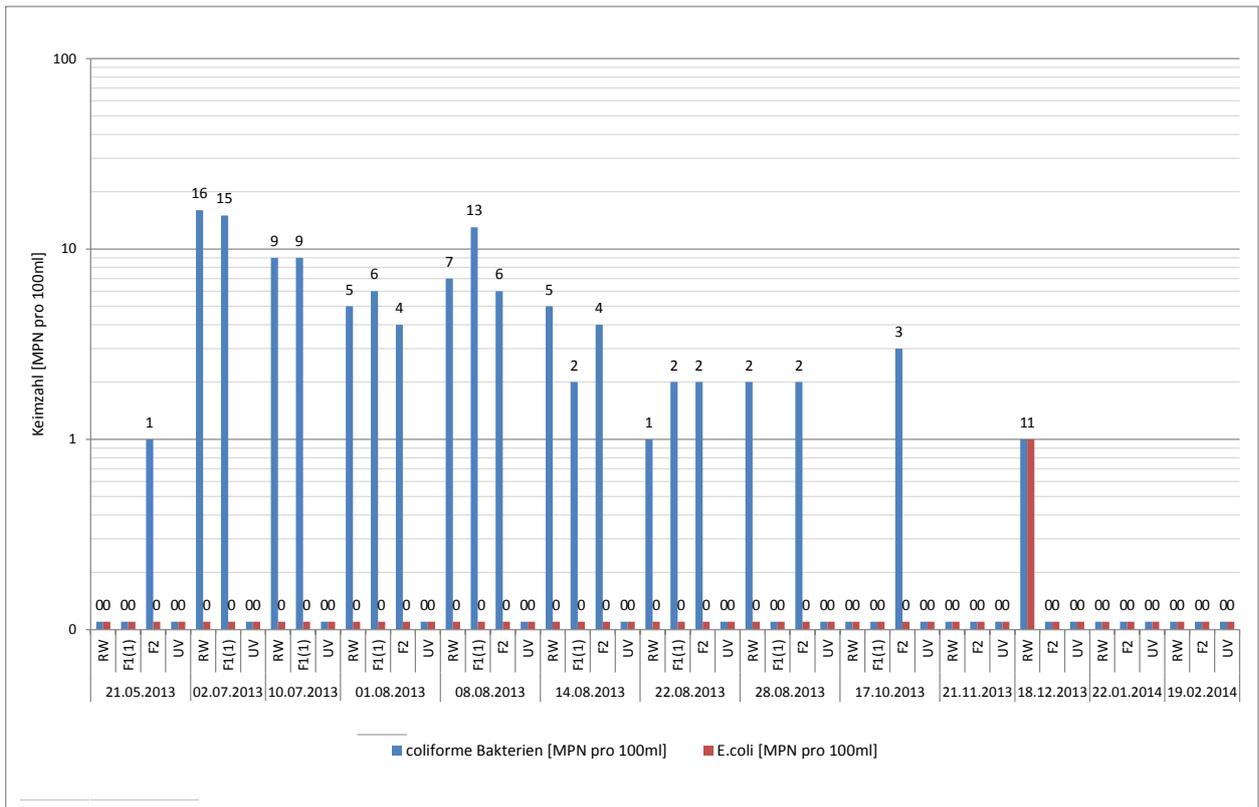


Abbildung 84: *E. coli* und coliforme Bakterien – Rohwasser; Abläufe F1(1), F2 und UV-Anlage

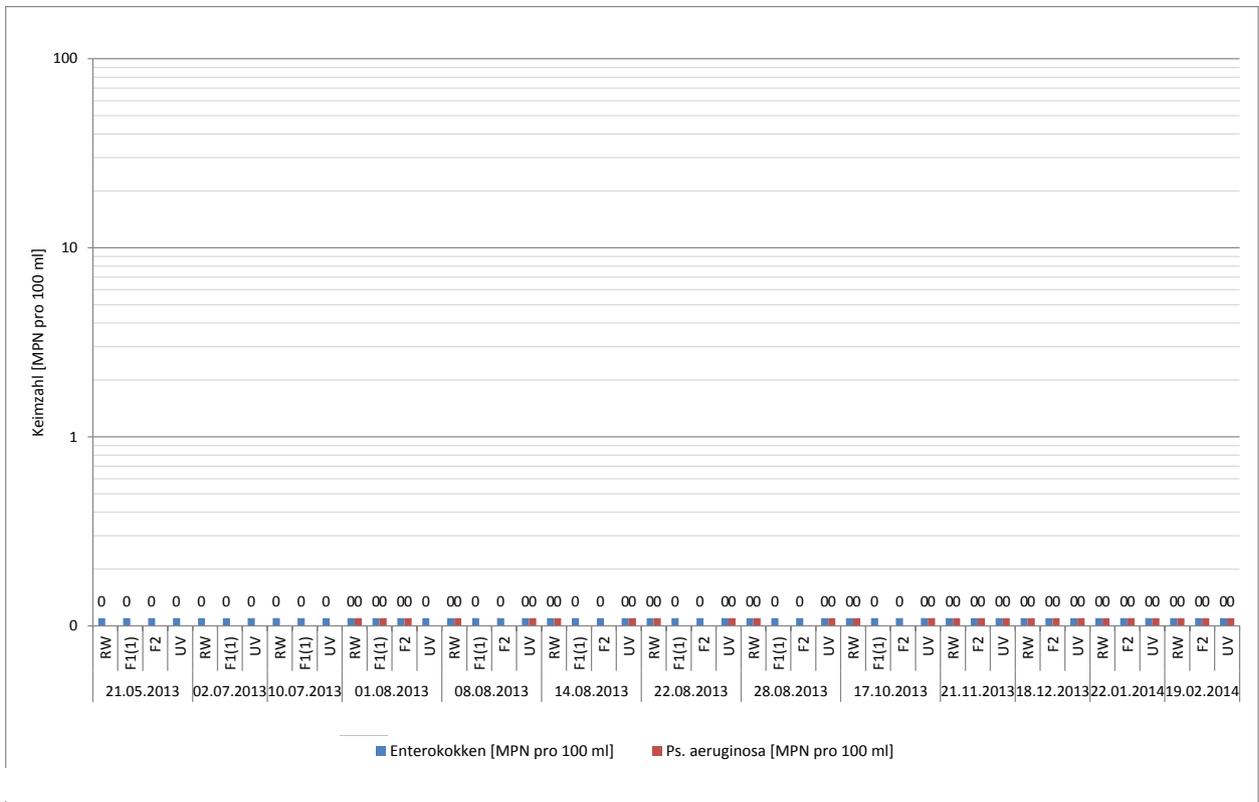


Abbildung 85: Enterokokken und *Ps. Aeruginosa* – Rohwasser; Abläufe F1(1), F2 und UV-Anlage

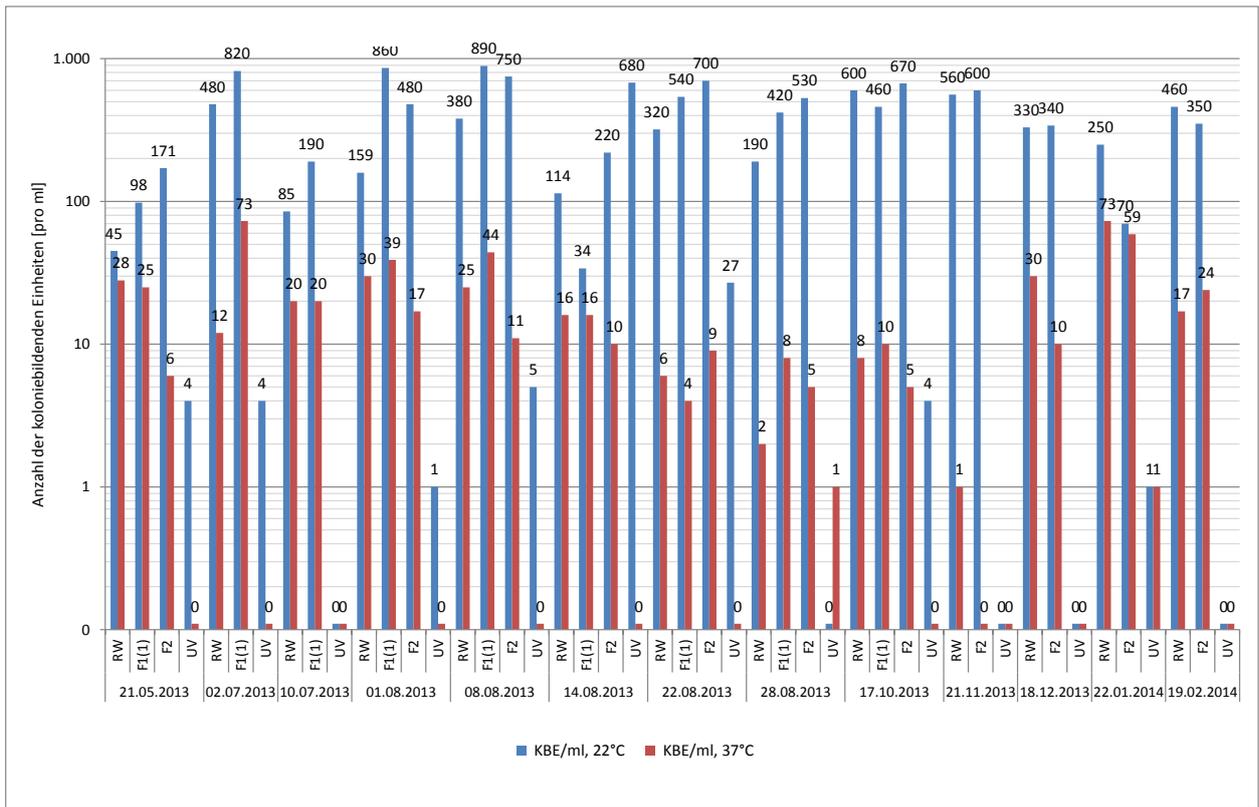


Abbildung 86: KBE 22°C und KBE 37°C – Rohwasser; Abläufe F1(1), F2 und UV-Anlage (UV-C)

Filtration über Zeolith - Ionenaustausch

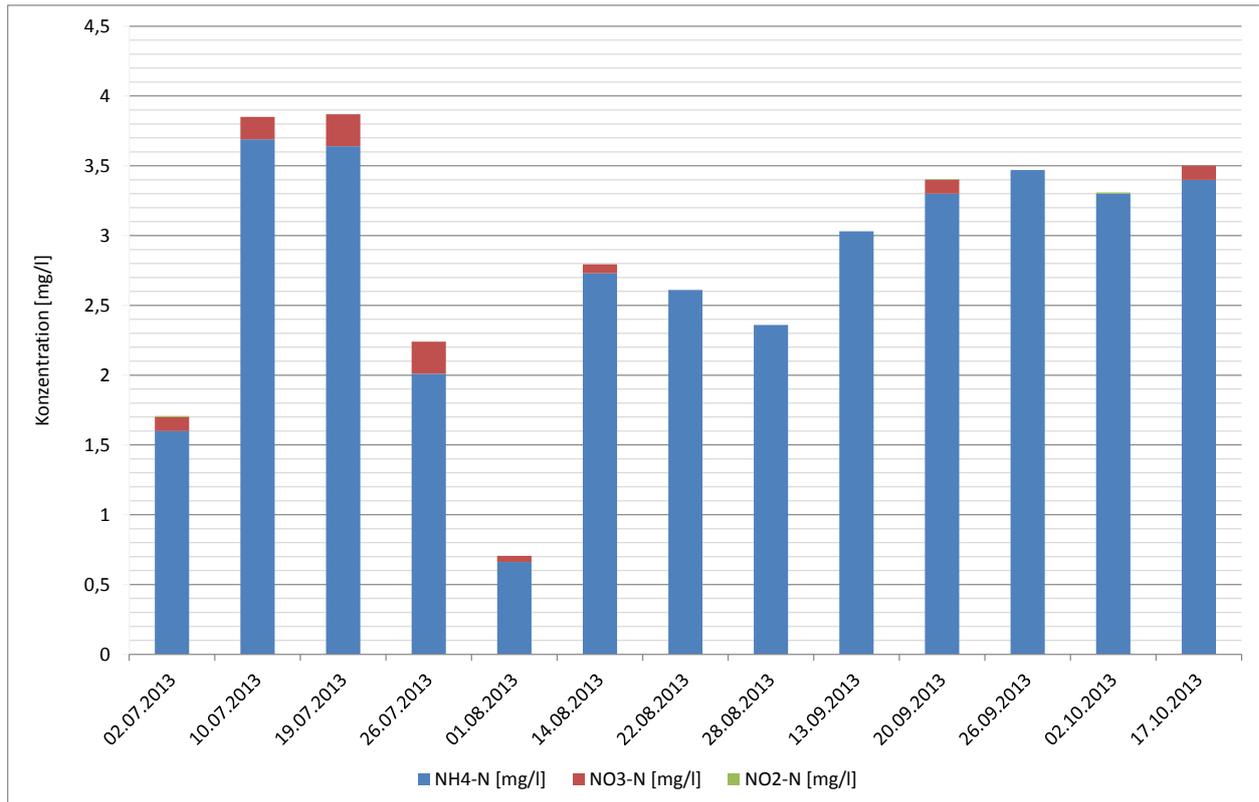


Abbildung 87: NH₄-N, NO₃-N und NO₂-N - Ablauf des Zeolithfilters

Vergleich zwischen Rohwasser und dem Ablauf des Zeolithfilters

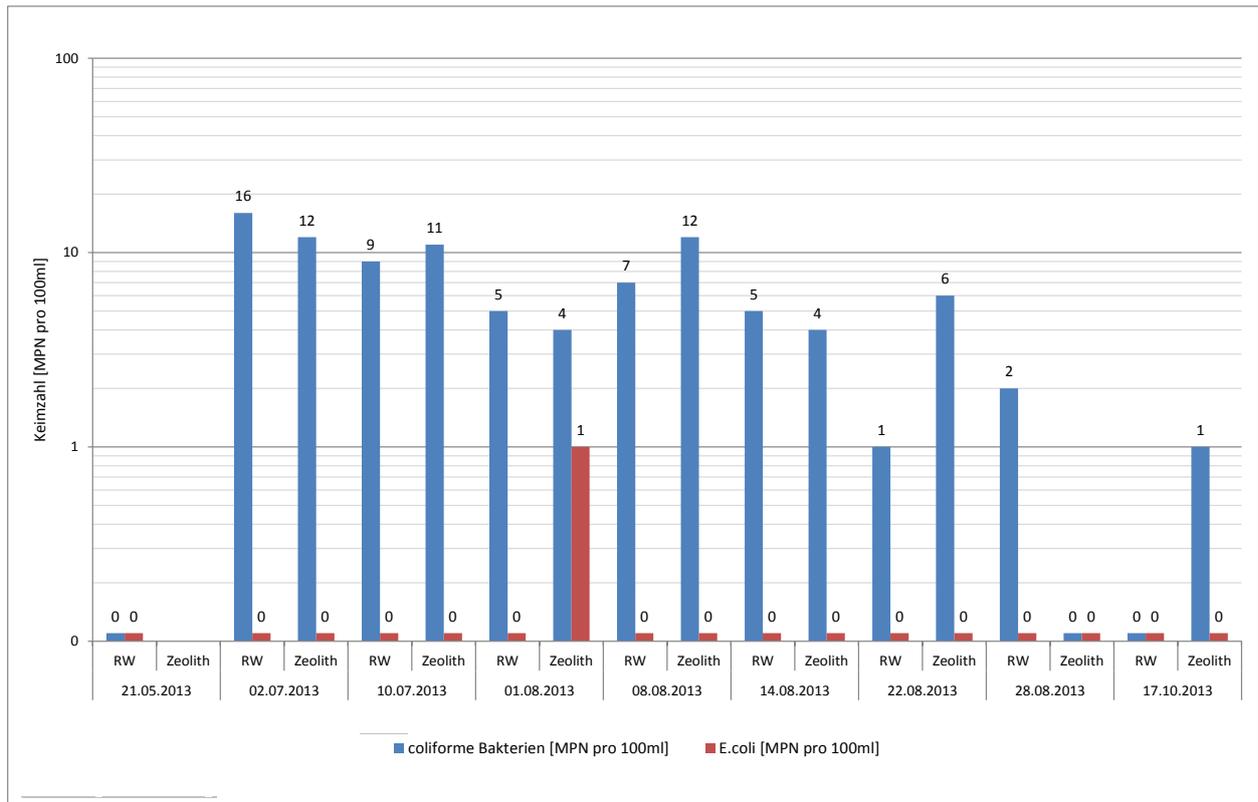


Abbildung 88: *E. coli* und coliforme Bakterien - Rohwasser (RW) und Ablauf des Zeolithfilters

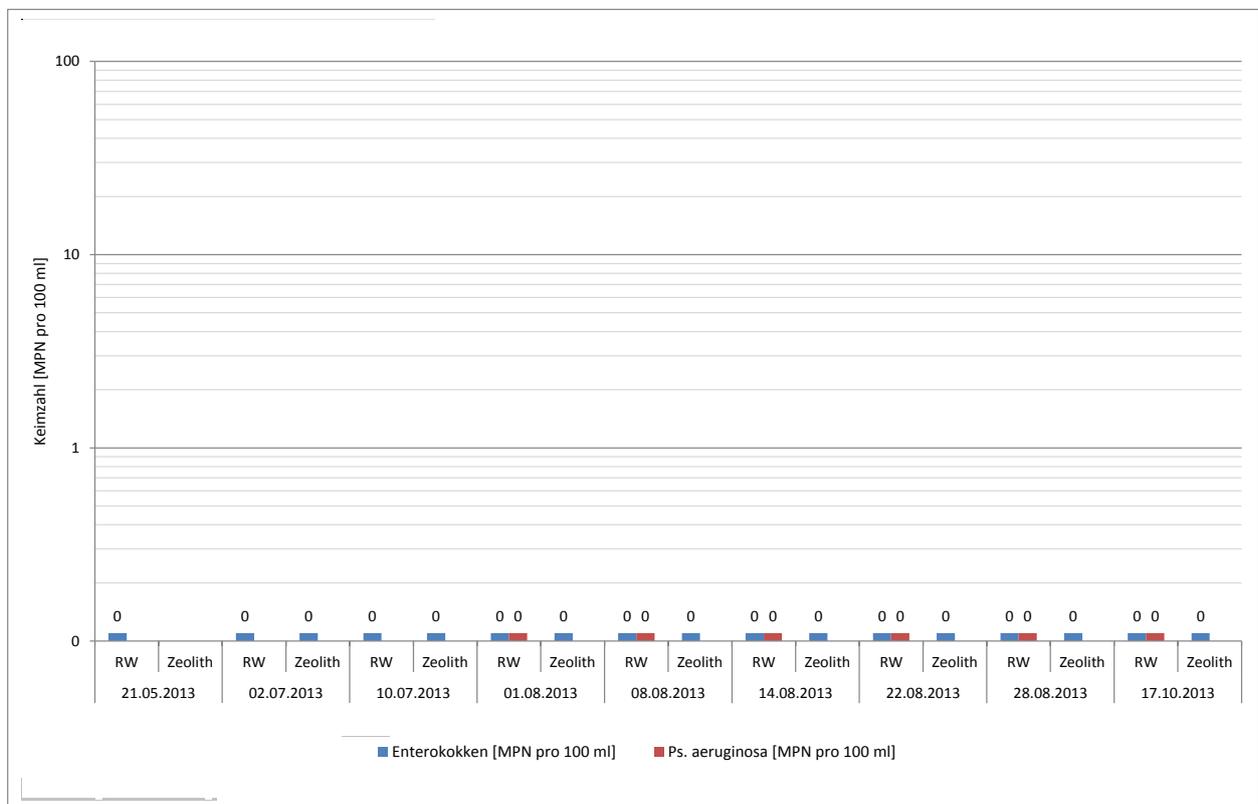


Abbildung 89: Enterokokken und *Ps. Aeruginosa* - Rohwasser (RW) und Ablauf des Zeolithfilters

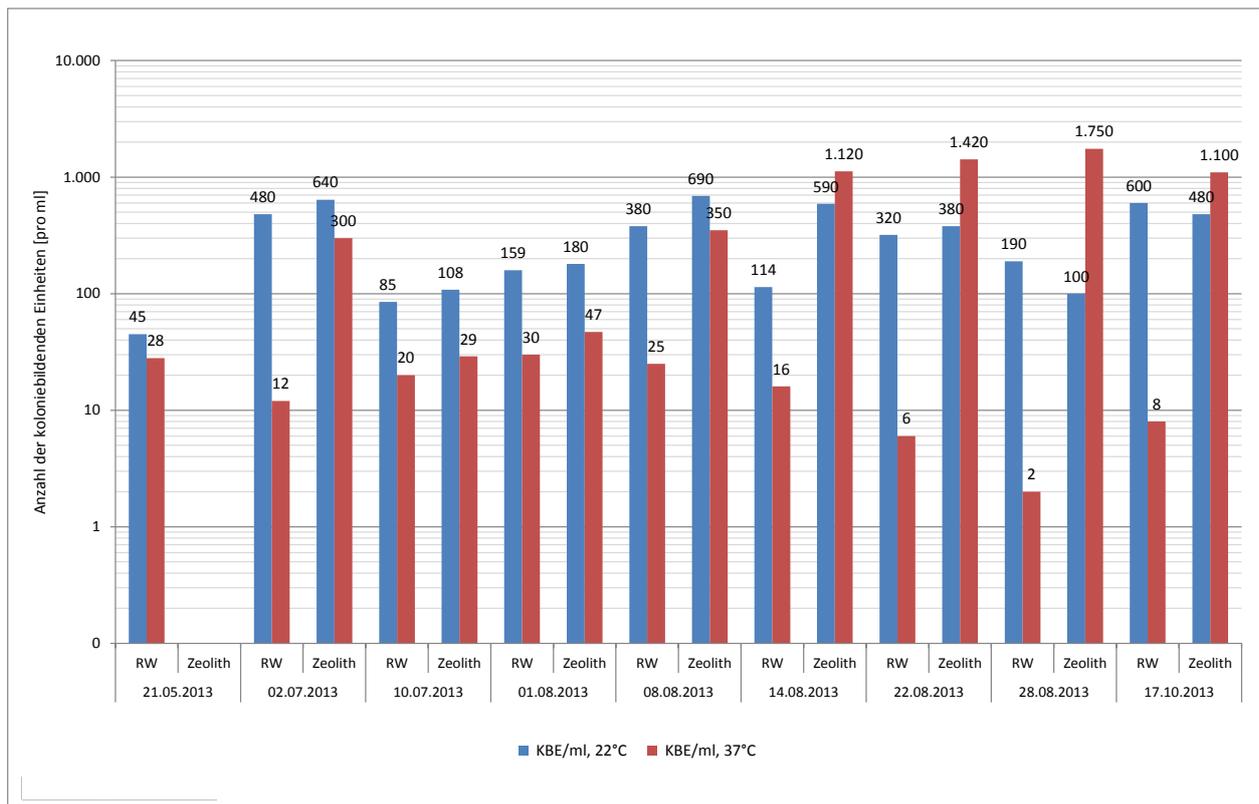


Abbildung 90: KBE 22°C und KBE 37°C - Rohwasser (RW) und Ablauf des Zeolithfilters

Vergleich zwischen Rohwasser und dem Ablauf der Chlordioxidanlage

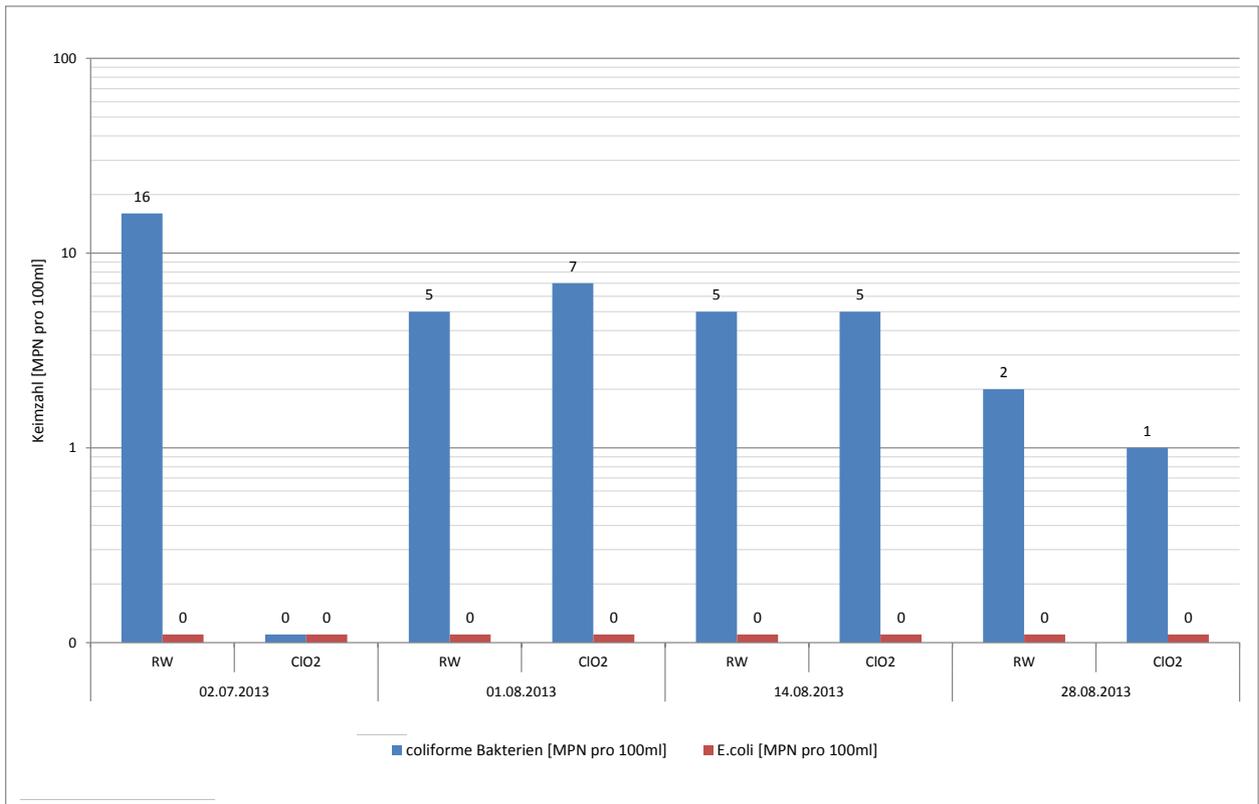


Abbildung 91: *E. coli* und coliforme Bakterien - Rohwasser (RW) und Ablauf der Chlordioxidanlage (ClO2)

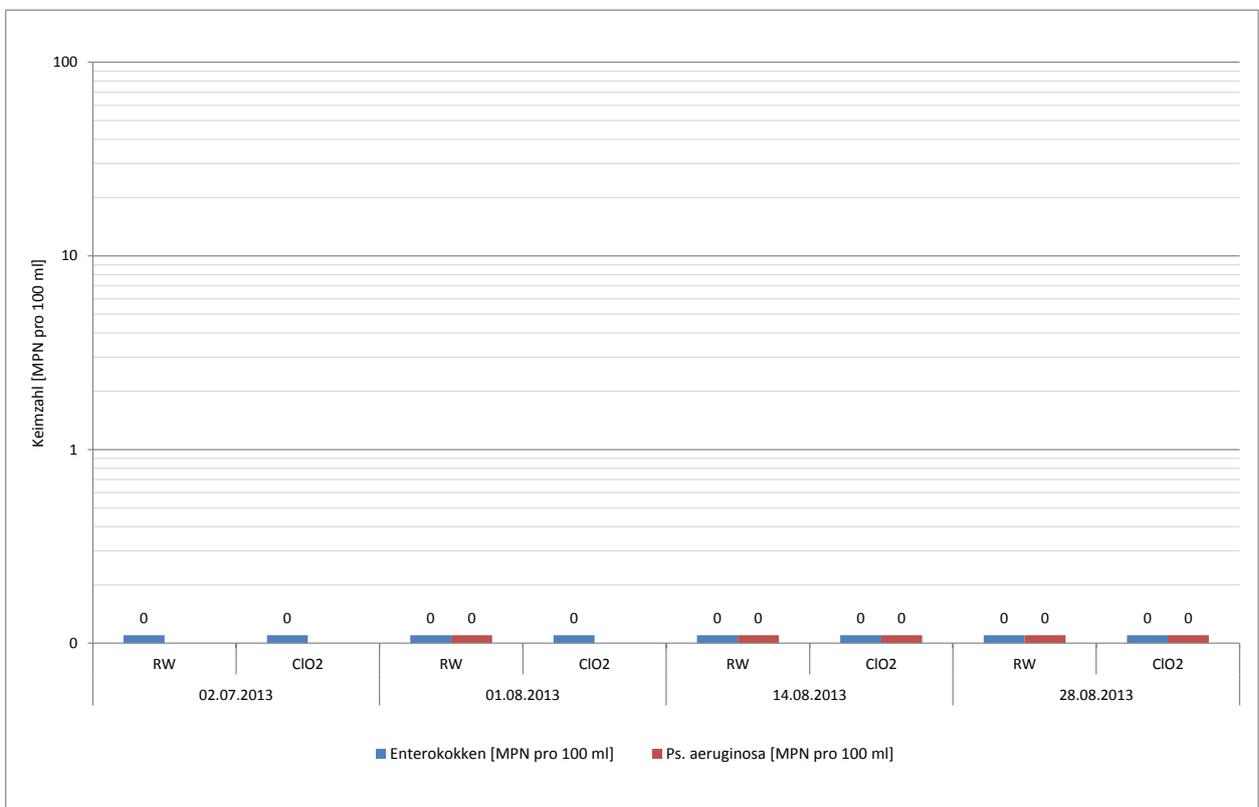


Abbildung 92: Enterokokken und *Ps. Aeruginosa* - Rohwasser (RW) und Ablauf der Chlordioxidanlage (ClO2)

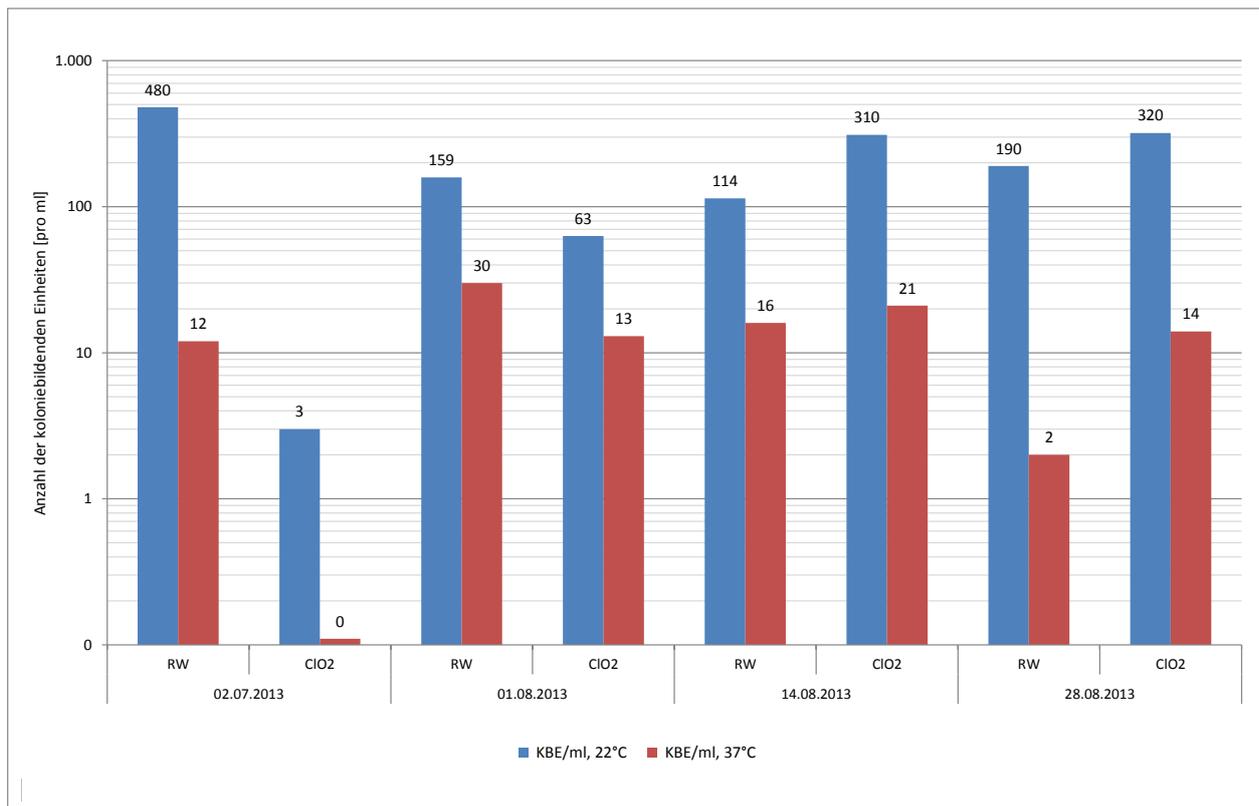


Abbildung 93: KBE 22°C und KBE 37°C - Rohwasser (RW) und Ablauf der Chlordioxidanlage (ClO2)

Anhang 7: Abschätzung der Aufbereitungskosten (biologische Nitrifikation)

Eine vereinfachte Abschätzung der Aufbereitungskosten wurde für die Variante „biologische Nitrifikation“ (inkl. Schnellfiltration und UV-Desinfektion) in der Gemeinde Wendling durchgeführt.

Die Ergebnisse sind hier zusammengefasst:

- Anlage - Investitionskosten: 0,30 EUR/m³
- Anlage - Betriebskosten: 0,32 EUR/m³
- Überwachung der Wasserqualität – Investitionskosten (Kauf einer Messstation für die kontinuierliche Messung von pH und O₂ im Ablauf der Anlage): 0,06 EUR/m³
- Überwachung der Wasserqualität – laufende Kosten: 0,12 EUR/m³
- Erweiterung des Leitsystems: 0,08 EUR/m³
- Gesamtkosten: 0,89 EUR/m³

Detaillierte Informationen zu dieser vereinfachten Abschätzungen der Aufbereitungskosten (inkl. getroffene Annahmen) sind in den nachstehenden Tabellen darstellen.

Es muss hier angemerkt werden, dass die Investitionskosten hier sehr niedrig sind (Gesamtinvestitionskosten: 40.600 EUR). Wie im Anhang 2 beschrieben, wäre aus Schätzungen von Fachleuten eher mit Kosten von 100.000-150.000 € für eine Wasseraufbereitungsanlage zu rechnen. In dem Fall würden die Investitionskosten pro m³ jeweils 0,73 und 1,10 EUR/m³ betragen (statt 0,30).

Tabelle 17: Aufbereitungskosten - verkaufte Wassermenge

Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung
Verkaufte Wassermenge pro Tag (Durchschnitt)	25	m ³ /Tag	Annahme
Verkaufte Wassermenge pro Jahr	9.125	m ³ /Jahr	

Tabelle 18: Aufbereitungskosten - Anlage (Investitionskosten)

Kategorie	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung
Material	Materialkosten	35.000	EUR	Annahme
Personal	Stundensatz (Mitarbeiter)	70	EUR/Stunde	Annahme
Personal	Mitarbeiterstunden (z.B. Planung, Aufbau)	80	Stunde	
Personal	Personalkosten	5.600	EUR	
	Gesamtinvestitionskosten	40.600	EUR	
	Nutzungsdauer	15	Jahr	Annahme
	Investitionskosten pro Jahr	2.707	EUR/Jahr	
	Investitionskosten pro m³	0,30	EUR/m³	

Tabelle 19: Aufbereitungskosten - Anlage (Betriebskosten)

Kategorie	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung
Personal	Stundensatz (Mitarbeiter)	25	EUR/Stunde	Annahme
Personal	Anzahl von Wartungstermin pro Monat	2	-	Annahme
Personal	Dauer eines Wartungstermins	2	Stunde/Wartungstermin	Annahme
Personal	Mitarbeiterstunden pro Monat	4	Stunde/Monat	
Personal	Mitarbeiterstunden pro Jahr	48	Stunde/Jahr	
Personal	Personalkosten pro Jahr (Wartung: Ruckspülung, Reinigung, usw.)	1.200	EUR/Jahr	
Personal	Personalkosten pro m³	0,13	EUR/m³	
Energie	Strompreis	0,15	EUR/kWh	Annahme
Energie	UV-Desinfektionsanlage: Betriebsstunden	8.760	Stunde	
Energie	UV-Desinfektionsanlage: Stromverbrauch pro m ³	8	Wh/m ³	Annahme
Energie	UV-Desinfektionsanlage: Stromverbrauch pro Jahr	73	kWh pro Jahr	
Energie	UV-Desinfektionsanlage: Stromkosten pro Jahr	11	EUR/Jahr	
Energie	Kompressor: Betriebsstunden	1.752	Stunde	Annahme
Energie	Kompressor: Stromverbrauch	1,5	kW	Annahme
Energie	Kompressor: Stromverbrauch pro Jahr	2.628	kWh/Jahr	
Energie	Kompressor: Stromkosten pro Jahr	397	EUR/Jahr	
Energie	Pumpe: Betriebsstunden	1.460	Stunde	
Energie	Pumpe: Stromverbrauch	0,7	kW	Annahme Anmerkung: die Kosten für die Förderung des Grundwassers vom Brunnen zur Anlage sind hier nicht berücksichtigt.
Energie	Pumpe: Stromverbrauch pro Jahr	1.022	kWh/Jahr	
Energie	Pumpe: Stromkosten pro Jahr	154	EUR/Jahr	
Energie	Gesamtstromkosten pro Jahr	562	EUR/Jahr	
Energie	Gesamtstromkosten pro m³	0,06	EUR/m³	
Instandhaltung	Jährliche Wartung des Kompressors	400	EUR	Annahme
Instandhaltung	Jährliche Wartung der UV-Desinfektionsanlage (inkl. Strahlerwechsel)	600	EUR	Annahme
Instandhaltung	Sonstige Kosten (z.B. Ersatz Fittings)	200	EUR	Annahme
Instandhaltung	Instandhaltungskosten pro Jahr	1.200	EUR	
Instandhaltung	Instandhaltungskosten pro m³	0,13	EUR/m³	
	Gesamtbetriebskosten pro Jahr	2.962	EUR	
	Gesamtbetriebskosten pro m³	0,32	EUR/m³	

Tabelle 20: Kosten für die Überwachung der Wasserqualität (Investitionskosten)

Kategorie	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung
Material	Messtation zur Überwachung von pH und O₂ im Ablauf der Anlage	5.700	EUR	Annahme
Personal	Stundensatz (Mitarbeiter)	25	EUR/Stunde	Annahme
Personal	Mitarbeiterstunden (z.B. Planung, Aufbau)	2	Stunde	
Personal	Personalkosten	50	EUR	
	Gesamtinvestitionskosten	5.750	EUR	
	Nutzungsdauer	10	Jahr	Annahme
	Investitionskosten pro Jahr	575	EUR	
	Investitionskosten pro m³	0,06	EUR/m³	

Tabelle 21: Kosten für die Überwachung der Wasserqualität (laufende Kosten)

Kategorie	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung
Instandhaltung	Jährliche Wartung der Messstation	200	EUR	Annahme
Instandhaltung	Sonstige Kosten	200	EUR	Annahme
Instandhaltung	Gesamtkosten pro Jahr	400	EUR	
Instandhaltung	Gesamtkosten pro m³	0,04	EUR/m³	
Material	Eigene Wasseruntersuchungen - Nitrat	118	EUR	Annahme
Material	Eigene Wasseruntersuchungen - Ammonium	90	EUR	Annahme
Material	Eigene Wasseruntersuchungen - Nitrit	102	EUR	Annahme
Material	Gesamtkosten pro Jahr	310	EUR	
Material	Gesamtkosten pro m³	0,03	EUR/m³	
Personal	Anzahl von selbstdurchgeführten Wasserqualitätsuntersuchungen (pro Jahr)	24	-	Annahme
Personal	Dauer einer Wasserqualitätsuntersuchungen	0,25	Stunde	Annahme
Personal	Stundensatz (Mitarbeiter)	25	EUR/Stunde	Annahme
Personal	Personalkosten pro Jahr	150	EUR	
Personal	Personalkosten pro m³	0,02	EUR/m³	
Fremdleistung	1X Trinkwassermindestuntersuchung durch ein akkreditiertes Labor	260	EUR	Annahme
	Gesamtkosten pro Jahr	1.120	EUR	
	Gesamtkosten pro m³	0,12	EUR/m³	

Tabelle 22: Kosten für die Erweiterung des Leitsystems (Investitionskosten)

Kategorie	Bezeichnung	Wert	Einheit	Anmerkung
Material	Fremdleistung	11.000	EUR	Annahme
	Nutzungsdauer	15	Jahr	Annahme
	Investitionskosten pro Jahr	733	EUR/Jahr	
	Investitionskosten pro m³	0,08	EUR/m³	



**MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH**