

nettebad



Stadtwerke Osnabrück

Innovative Filtertechnik im Nettebad

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az. 29631 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Jürgen August
Dipl.-Wirt.-Ing. Stefan Kawalski
Dr.-Ing. Andreas Nahrstedt

Inhaltsverzeichnis

	Glossar	II - VII
1	Einleitung und Hintergrund	1
1.1	Beschreibung des Projektaufbaus und Ziel des Projekts.....	3
1.2	Auftrag und Projektdurchführung.....	3
1.3	Berechnungsgrundlagen der Badetechnischen Anlage.....	5
2	Aufbau der Rutschen, ihrer Becken und der Verfahrenstechnik ihres Kreislaufs	5
2.1	Anlagen- und Verfahrenskonzept.....	5
2.2	Erweitertes Anlagenkonzept und neues Verfahrenskonzept infolge Einbau der Siebfiltration (Verto).....	10
3	Testbetrieb, Untersuchungsmethoden und Untersuchungsumfang	12
3.1	Rahmenbedingungen.....	12
3.2	Parameter und Probenahmestellen.....	14
3.3	Grundlagen zu dem eingesetzten Partikelzählverfahren und dessen Messwerten.....	15
4	Messergebnisse	22
4.1	Ermittelte Besucherzahl bzw. Personenfrequenz der Rutschen.....	22
4.2	Messdaten der Hygienehilfsparameter und der Bakteriologie.....	24
4.3	Messdaten der Partikelzählung.....	32
4.3.1	Messdaten der Partikelzählung ohne Siebfiltration.....	32
4.3.2	Messdaten der Partikelzählung mit Siebfiltration.....	36
4.4	Ergebnisse der Partikelzählungen.....	42
5	Zusammenfassung und Ausblick	46
6	Literatur	49
7	Anhang	51

GLOSSAR

Verzeichnis von Abbildungen

Abbildung 1:	Beispiele für anlagentechnische Varianten der Siebfiltration in Form von Trommel- und Scheibenfiltern.....	6
Abbildung 2:	Außen- und Innenansichten des Siebtrommelsystems Verto.....	7
Abbildung 3:	R+I-Fließbild der Becken und verfahrenstechnischen Anlagen.....	8
Abbildung 4:	Lageplan der Becken und der verfahrenstechnischen Anlagen.....	9
Abbildung 5:	Eignung verschiedener Verfahren zur Fest-Flüssig-Trennung in Abhängigkeit der Feststoffkonzentration und Partikelgröße [Grom2000].....	10
Abbildung 6:	Volumenströme durch die drei Captura-Tiefenfilter am 28.10.2012.....	13
Abbildung 7:	Schematisches Prinzip der unmittelbaren Partikelzählung per Lichtabschattungsmethode [Nahr2001].....	15
Abbildung 8:	Schema für die Erzeugung und Auswertung eines durch den Partikelschatten ausgelösten Spannungssignals, DVGW-Arbeitsblatt W 213-6.....	16
Abbildung 9:	Summarische Verteilungsfunktion für die Partikelanzahl (Unterschreitungshäufigkeit) und Verteilungsdichtefunktion für die Partikelanzahl $q_{Anz}(x_i)$ für die Beispieldaten der Tabelle 2.....	18
Abbildung 10:	Im Nettebad eingesetztes Partikelzählgerät (WaterViewer, Fa. PAMAS, Rutesheim).....	21
Abbildung 11:	Messaufbau im Nettebad für die Onlinemessung von Trübung und Partikelanzahlkonzentration.....	22
Abbildung 12:	Ergebnis der Personenzählung an den Rutschen und SLOOP am 28.10.2012 (ohne Siebfilter).....	23
Abbildung 13:	Ergebnis der Personenzählung an den Rutschen BLACK-HOLE und SLOOP am 04.11.2012 (mit Siebfilter).....	23
Abbildung 14:	Messdaten für die Parameter freies Chlor, gebundenes Chlor und pH an der Messstelle Rohwasser am 28.10.2012 (ohne Siebfilter).....	24
Abbildung 15:	Messdaten für den Parameter freies Chlor an den Messstellen des Kreislaufs am 28.10.2012 (ohne Siebfilter).....	25

Abbildung 16:	Messdaten für den Parameter gebundenes Chlor an den Messstellen des Kreislaufs am 28.10.2012 (ohne Siebfilter).....	26
Abbildung 17:	Messdaten für den Parameter Oxidierbarkeit als Differenz zum Füllwasser an den Messstellen des Kreislaufs am 28.10.2012 (ohne Siebfilter).....	27
Abbildung 18:	Messdaten für die Parameter freies Chlor, gebundenes Chlor und pH an der Messstelle Rohwasser („vor Verto“) am 04.11.2012 (mit Siebfilter).....	28
Abbildung 19:	Messdaten für den Parameter freies Chlor an den Messstellen des Kreislaufs am 04.11.2012 (mit Siebfilter).....	29
Abbildung 20:	Messdaten für den Parameter gebundenes Chlor an den Messstellen des Kreislaufs am 04.11.2012 (mit Siebfilter).....	30
Abbildung 21:	Messdaten für den Parameter Differenz der Oxidierbarkeit gegenüber Füllwasser an der Messstelle Beckenwasser am 04.11.2012 (mit Siebfilter).....	30
Abbildung 22:	Vergleich der Messdaten des Parameters Redoxpotenzial bzw. Redoxspannung an der Messstelle Zwischenspeicher vom 28.10. 2012 („ohne Verto“) mit denen vom 04.11.2012 („mit Verto“).	32
Abbildung 23:	Partikelanzahlkonzentration im Größenspektrum 1 bis 100 μm vom 28.10.2012 in der zeitlichen Schaltsequenz, mit welcher der Partikelanalysator mit Probenwasser einzelner Messstellen beschickt wurde (ohne Verto).....	33
Abbildung 24:	Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich (10 bis 100 μm) an den einzelnen Messstellen am 28.10.2012 (ohne Verto).....	34
Abbildung 25:	Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich (5 bis 10 μm) an den einzelnen Messstellen am 28.10.2012 (ohne Verto).....	35
Abbildung 26:	Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich (1 bis 5 μm) an den einzelnen Messstellen am 28.10.2012 (ohne Verto).....	35
Abbildung 27:	Partikelanzahlkonzentration im Größenspektrum 1 bis 100 μm vom 04.11.2012 in der zeitlichen Schaltsequenz, mit welcher der Partikelanalysator mit Probenwasser einzelner Messstellen beschickt wurde (mit Verto).....	36
Abbildung 28:	Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich 10 bis 100 μm an den einzelnen Messstellen am 04.11.2012 (mit Verto).....	37

Abbildung 29:	Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich 5 bis 10 µm an den einzelnen Messstellen am 04.11.2012 (mit Verto).....	38
Abbildung 30:	Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich 1 bis 5 µm an den einzelnen Messstellen am 04.11.2012 (mit Verto).....	39
Abbildung 31:	Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen in drei Größenbereich an der Messstelle „vor Verto“ (Rohwasser) am 04.11.2012 (mit Siebfiltration).....	40
Abbildung 32:	Zeitlicher Verlauf der Partikelvolumenkonzentrationen in drei Größenbereich an der Messstelle „vor Verto“ (Rohwasser) am 04.11.2012 (mit Siebfiltration).....	40
Abbildung 33:	Zeitlicher Verlauf der Anteile der Partikelvolumenkonzentrationen in einzelnen Größenbereichen am Gesamtvolumen an der Messstelle „vor Verto“ (Rohwasser) am 04.11.2012 (mit Siebfiltration).....	42
Abbildung 34:	Zeitlicher Verlauf der von der Siebfiltration erzielten Abscheidegrade für das Partikelvolumen in den einzelnen Partikelgrößenbereichen 1 bis 5 µm, 5 bis 10 µm und 10 bis 100 µm am 04.11.2012.....	43
Abbildung 35:	Zeitlicher Verlauf des von der Siebfiltration am 04.11.2012 erzielten Abscheidegrads inklusive dessen Ausgleichskurve für das Partikelvolumen aller Partikelgrößenbereiche.....	44
Abbildung 36:	Mittels Siebfiltration am 04.11.2012 erzielter Gesamtabscheidegrad über den ganzen Messtag für die verschiedenen Partikelgrößenbereiche.....	45
Abbildung 37:	Umweltentlastung durch Reduzierung des Volumenstroms und Chlorbedarf durch den Bypass des Verto-Filtrats mit freiem Chlor.....	47

Verzeichnis von Tabellen

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Ist- und Sollwert gemäß DIN 19643-1 der Volumenströme der Beckenwasserkreisläufe.....	5
Tabelle 2: Von DVGW-Arbeitsblatt W 213-6 für Filtrationsverfahren empfohlene Messverfahren für die Konzentration partikulärer Wasserinhaltsstoffe.....	15
Tabelle 3: Beispiel zu Unterteilung (Diskretisierung) des Messbereichs in Kanäle, für Zählergebnisse, für relative Anzahlhäufigkeiten im Kanal $\Delta Q(x_i)$, als Summenfunktion $Q(x_i)$ und als Dichtefunktion $q(x_i)$	18
Tabelle 4: Messdaten Beckenwasserproben vom 28.10.2012 für die Nitratkonzentration, Säurekapazität und die Koloniezahlen bei 20 und 36 °C, jeweils morgens / abends.....	27
Tabelle 5: Messdaten Beckenwasserproben vom 04.11.2012 für die Nitratkonzentration, Säurekapazität und die Koloniezahlen bei 20 und 36 °C, jeweils morgens / abends.....	31
Tabelle 6: Gegenüberstellung von Betriebskosten beim Istzustand mit Verto-Technik und beim Sollstand, d. h. einer Auslegung der Volumenströme und Verfahrenstechnik gemäß DIN 19643-1.....	47

Verzeichnis von Begriffen und Abkürzungen

BLACK HOLE	Dunkel-Rutsche im Nettebad mit Lichteffekten
Captuar®	Tiefenfiltrationssystem gemäß DIN 19605 der Fa. Aquila Wasseraufbereitungstechnik Wertheim
DNP	Desinfektionsnebenprodukte
DPD	D iethyl-1.04- P henylen D iamin
REW	Reinwasser
SLOOP	= SUPER-LOOP-Steilrutsche mit Freifallstrecke im Nettebad
UF	Ultrafiltration
Verto	Trommelsieb-Filtrationssystem im Vertrieb der Fa. Aquila Wasseraufbereitungstechnik Wertheim

Verzeichnis von Variablen und Indices

$\Delta c_{Anz}(x_i)$: Anzahlkonzentrationen der Partikel in dem Kanal i [1/mL]
$c_{Anz}(x_i)$: Unterschreitungsfunktion für die Anzahlkonzentration [1/mL]
C_{Anz}	: Anzahlkonzentration aller erfassten Partikel [1/mL]
n_i	: Zählerergebnis (Partikelanzahl) in dem Kanal i [-]
N	: Gesamtanzahl aller bei einer Messung erfassten Partikel [-]
$q_{Anz}(x_i)$: Verteilungsdichtefunktion der Partikelanzahl
$\Delta Q_{Anz}(x_i)$: relative Anzahlhäufigkeit (Anteil der Partikelanzahl) der Partikel im Kanal i an der Gesamtanzahl N [-]
$\Delta Q_{Vol}(x_i)$: relative Partikelvolumina (Anteil der Partikelvolumina) der Partikel im Kanal i am Partikelgesamtvolumen [-]
$Q_{Anz}(x_i)$: Summenfunktion der relative Anzahlhäufigkeit für Partikel (Partikelanzahlanteil) unterhalb eines bestimmten Äquivalenzdurchmessers x_i [-]
$Q_{Vol}(x_i)$: Summenfunktion des Partikelvolumenanteils (Anteil der Partikelvolumina) unterhalb eines bestimmten Äquivalenzdurchmessers x_i [-]
V_{mess}	: per Laser abgetastetes Probevolumen (d. h. Produkt aus Messzeit und abgetastetem Volumenstrom) [mL]
x	: Partikel-Äquivalentdurchmesser [μm]

- x_i : Obergrenze des Partikel-Äquivalentdurchmesser des Kanals i [μm]
 \bar{x}_i : mittlerer Partikel-Äquivalentdurchmesser des Kanals i [μm]
 Δx_i : Breite des Kanals i [μm]
 $M_{3,0}$: drittes statistisches Moment der Anzahlverteilung [μm^3]

Indices

- i : Nr. des Größenkanals (Kanals) des Partikelanalysators $i = 1, 2, 3, \dots$
 j : Nr. des Größenkanals (Kanals) des Partikelanalysators $j = 1, 2, 3, \dots$
 r : Kennzeichnet die Mengenart ($r =$ Partikelanzahl, -oberfläche, -volumen)

1 Einleitung und Hintergrund

Der Schutz der Gesundheit der Schwimmbadbesucher vor Infektionen durch Krankheitserreger steht im Mittelpunkt der Badewasseraufbereitung in öffentlichen Schwimmbädern. Um dieses sicher zu stellen, orientieren sich die Badbetreiber in Deutschland an den in der DIN 19643 definierten Anforderungen. Die Unbedenklichkeit des aufbereiteten Wassers macht sich an Werten fest, die aus mikrobiologischer und physikalischer / chemischer Sicht gem. DIN 19643, Tabelle 2 gewonnen werden.

Ein weiterer, zunehmend wichtiger Aspekt, ist für die Badbetreiber die Bewertung der Qualität eines Schwimmbades durch dessen Besucher. Dabei spielt die von den Badegästen subjektiv empfundene Sauberkeit und Klarheit des Wassers wie auch der Reinheit der Luft eine wichtige Rolle.

Verunreinigungen des Wassers entstehen infolge von Eintragungen durch die unmittelbare Umgebung des Beckens – vor allem aber durch die Badegäste selbst: Haare, Hautschuppen, Schweiß, Speichel, Harnstoff, Fett, Kolloide (feinste Schmutzteilchen) organischer Natur und Mikroorganismen (Bakterien, Viren, Pilze) werden auf diesem Weg in das Schwimmbadwasser eingebracht. Eine schnelle Entfernung dieser Stoffe - und somit die ständige Aufbereitung des Badewassers im Rahmen der vorgegebenen Normen – ist die Aufgabe der Filteranlage eines Schwimmbades.

Vorbild für die physikalische Reinigung des Wassers ist die Natur. So wie bei der Durchströmung verschiedener Bodenschichten einen Großteil der im Wasser vorhandenen Partikel herausgefiltert werden, wird bei Festbettfilterverfahren das Wasser durch Filtermaterialien geleitet. Dabei unterscheidet man zwischen dem Einschichtfilter, bei dem ein gleichartiges Filtermaterial (Quarzsand) verwendet wird, wie auch – angelehnt an die Wasserfiltration in der Natur – der Mehrschichtenfilter, bei dem eine Kombination aus Quarzsand und Filterkohle von verschiedener Dichte und Körnung eingesetzt wird.

Kolloidale Stoffe, wie Kosmetika, Speichel u.a. können nur mit Hilfe des Einsatzes von Flockungsmitteln aus dem Wasser gelöst werden. Durch das Einbringen der chemischen Flockungsmittel entstehen Zusammenballungen von entstabilisierten Trübstoffen und Kolloiden, die wiederum mittels der physikalischen Filtration aus dem Wasser entfernt werden können.

Um die oben beschriebene hygienische Unbedenklichkeit des Badebeckenwassers zu garantieren, ist eine Desinfektion des Wassers notwendig. Bei der Chlorung entstehen unvermeidliche Desinfektionsnebenprodukte (DNP) durch die Reaktion der hochchlorigen Säure oder dem Hyperchlorition mit den Inhaltsstoffen des Beckenwassers und den von den Badegästen eingebrachten Verunreinigungen. Der von den Badbesuchern wahrgenommene

typische Hallenbadgeruch wird von dem Reaktionsprodukt, den DNP, verursacht – wird aber irrtümlich als „Chlorgeruch“ bezeichnet. Besonders öffentliche Schwimmbäder sind häufig mit chlorierten oder bromierten DNP (Desinfektionsnebenprodukten) hoch belastet.

Der Einsatz von Chlor respektive der DNP ist in allen Bädern ein zunehmend größeres Problem. Gerade in jüngster Vergangenheit hat sich gezeigt, dass die nach DIN 19643 (Tabelle 2, Abs. 5.3.2.10) maximal zulässige Konzentration von 0,2 mg/L an gebundenem Chlor signifikant die Atemwege gerade bei Kleinkindern, trainierten Sportlern und Badpersonal angreift. Angestoßen durch die öffentliche Berichterstattung, führte dies zu einer Diskussion und Suche nach alternativen und innovativen Lösungsansätzen für die Filtertechnik.

Ziel ist es, eine Komplettlösung für die Wasser- und Raumlufthygiene in öffentlichen Schwimmbädern zu entwickeln und zu optimieren.

Als wichtigste Hauptkomponente entfernt die nachfolgend beschriebene Filtertechnologie mehr als 90% der Hautpartikel und andere organische Partikel und mindert somit die Hauptprobleme in den heutigen Schwimmbädern. Durch den Einsatz dieser neuen Filtertechnologie kann der Zusatz von Chlor in Schwimm- und Badebecken auf ein Minimum dessen, was heute verwendet wird, reduziert werden.

Diese innovative Filtertechnik lässt sich bei allen badetechnischen Anlagen im öffentlichen Bereich (Frei-, Hallen-, Kombi- und Freizeitbädern) anwenden. Darüber hinaus wäre auch ein Einsatz für Hotelbäder und SPA-Bereiche denkbar.

Laut aktueller Erhebung der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen e.V. gibt es derzeit in Deutschland:

- ⇒ 3.484 Hallenbäder,
- ⇒ 3.239 Freibäder und
- ⇒ (1.068 Naturbäder).

Der ermittelte energetische Sanierungsbedarf liegt bei 53,5 %.

Frei- und Hallenbäder haben im Mittel 3,5 Filterkreise, d.h. im Idealfall könnten 12.590 solcher Anlagen nachgerüstet werden.

Die Lieferung und Montage solcher Anlagen würde dann durch kleine und mittlere zertifizierte Unternehmen (KMU) erfolgen. Als Kooperationspartner sollte aufgrund der Komplexität ein bädernerfahrenes Ingenieurbüro diese Anlagen planen, alle Abläufe koordinieren und die gesamte Bauphase begleiten.

1.1 Beschreibung des Projektaufbaus und Ziel des Projekts

Das von den Stadtwerken Osnabrück im Jahr 2005 eröffnete Freizeit- und Sportbad Nettebad verfügt seit seiner Eröffnung über eine Rutschenanlage mit einer Crazy-River-Reifenröhrenrutsche und einer 80 Meter langen Black-Hole-Rutsche. Seit Dezember 2011 ergänzt die Freefall-Rutsche „Sloop“ das Rutschenangebot.

Die im Nettebad installierte Freibad Filteranlage mit einer Leistung von $5 \times 80 + 60 = 480$ m³/h musste erweitert werden, um die zwei neuen Rutschenanlagen gemeinsam über den bestehenden Freibad Filterkreis betreiben zu können. Rutschenanlagen weisen neben Warmsprudelbecken von allen Beckenkreisläufen aufgrund des überdurchschnittlich hohen Hautschuppeneintrags die höchste Beckenwasserbelastung auf. Durch den Einsatz der neuen Filtertechnik erzielt man durch die Möglichkeit der mechanischen Abfilterung:

- ⇒ höchste Effektivität im Aufbereitungsverfahren von Schwimm- und Badebeckenwasser
- ⇒ geringste Belastung auf dem Filterbett
- ⇒ Spülzyklen nach DIN 19643 (84 h Intervall)

Würde man für die Steil- und Röhrenrutsche eine zusätzliche konventionelle Filtertechnik von 2×120 m³/h vorsehen, wäre ein Anstieg des elektrischen Strombedarfs durch zusätzliche Pumpenleistung und sonstiger Medien (Chemikalien, Netzwasser etc.) unvermeidlich.

Ziel der vorgeschalteten, mechanischen Abfilterung ist es somit ferner, dass neben einer deutlichen Reduzierung der Chloreinbringung sich auch die energie- und kostenaufwendigen Spülungszyklen des Filterbetts verringern ließen.

Die in der Verfahrenstechnik schon seit längerem bekannten Scheiben- oder Trommelfilter sollen in dem vorbeschriebenen Filterkreis in einer modifizierten Ausführung zum Einsatz kommen. Ziel ist es, mithilfe dieser Scheiben- bzw. Trommelfilter einen Abscheidegrad von 90 % der sich im Beckenwasser befindlichen Partikel (primär Hautschuppen) ohne zusätzliche Hilfsenergie bei der Filterspülung zu erreichen.

Bestätigt sich dieser Abscheidegrad, bedeutet das gleichzeitig eine erhebliche Verringerung von Chlornebenprodukten (Chloramine und THMs).

1.2 Auftrag und Projektdurchführung

Am 9. September 2012 wurde der Antrag bei der DBU gestellt und am 23.12.2011 bewilligt.

**Antragsteller
Bewilligungsempfänger**

Stadtwerke Osnabrück AG

Abteilung. Bäder
Alte Poststraße 9, 49074 Osnabrück
Ansprechpartner: Herr Jürgen August
Fon: (05 41) 20 02 – 24 30
Fax: (05 41) 20 02 – 22 51
juergen.august@stw-os.de
<http://www.stadtwerke-osnabrueck.de>

Kooperationspartner

Fey und Partner

Beratende Ingenieure und Sachverständige VBI/VDI
Ingenieurgesellschaft mbH
Hatzfelder Straße 59, 42281 Wuppertal
Ansprechpartner: Herr Dipl.-Wirt.-Ing. Stefan Kawalski
Fon: (02 02) 9 46 37 – 0
Fax: (02 02) 9 46 37 – 20
mailto@ihf-tga.de
<http://www.ihf-tga.de>

IWW

Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasser, Beratungs- und
Entwicklungsgesellschaft mbH, Bereich: Wassertechnologie
Moritzstraße 26, 45476 Mülheim a.d.R.
Ansprechpartner: Herr Dr. Ing. Andreas Nahrstedt
Fon: (02 08) 40 303 – 330
Fax: (02 08) 40 303 – 80
a.nahrstedt@iww-online.de
<http://www.iww-online.de>

GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbh

Westerbreite 7, 49084 Osnabrück
Ansprechpartner: Frau Danuta Pyrlik
Fon: (05 41) 75 04 - 141
Fax: (05 41) 75 04 - 143
mailto:danuta.pyrlik@gua.de
<http://www.gua.de>

1.3 Berechnungsgrundlagen der Badetechnischen Anlage

Für den Soll- / Istwert Vergleich der Anlagenkapazität wurden die Filter auf Basis der DIN 19643 nach Tabelle 4 ausgelegt. Der DIN-konforme und entsprechend der Verfahrenstechnik gewählte Belastbarkeitsfaktor (k-Wert) beträgt $0,5 \text{ m}^{-3}$. Da die bestehende Filteranlage nur mit einer maximalen Umwälz- und Filterleistung von $460 \text{ m}^3/\text{h}$ betrieben werden kann, ergibt sich hieraus ein rechnerischer k-Wert von $0,76$.

Ist der zwischengeschaltete Trommelfilter bei diesem Feldversuch in der Lage die Minderleistung zu kompensieren, können zukünftig solche Anlagenkombinationen mit rd. 35 % weniger Leistung ausgelegt und betrieben werden.

Tabelle 1: Gegenüberstellung von Ist- und Sollwert gemäß DIN 196043-1 der Volumenströme der Beckenwasserkreisläufe

	DIN 19643	IST-Wert
Nichtschwimmerbecken	429 m^3/h REW	300 m^3/h REW
Planschbecken	52 m^3/h REW	60 m^3/h REW
Steilrutsche	100 m^3/h REW	100 m^3/h REW
Röhrenrutsche	120 m^3/h REW	120 m^3/h REW
Filterleistung bei $k = 0,50$	701 m^3/h REW	

zukünftiger k-Wert = 0,76

460 m^3/h REW

2 Aufbau der Rutschen, ihrer Becken und der Verfahrenstechnik ihres Kreislaufs

2.1 Anlagen- und Verfahrenskonzept

Bei den hier diskutierten Scheiben- und Trommelfiltern (siehe Beispiele in Abbildung 1) sind mechanische und selbstreinigende Mikrosiebfilter gemeint, die zur Entfernung von primär großen Partikeln und von kleinen Partikeln, die bis zur einer Größe um $10 \mu\text{m}$ per Siebwirkung und mit kleineren Durchmessern durch die Kuchenfiltration, d.h. Filtration durch die sich auf den Siebgeweben aufbauenden Trübstoffschichten erzielt wird. Sie sind daher von Verfahrenseinheiten mit Saugsystemen, die primär einer Feststoffrückgewinnung dienen (oft in Kombination mit Feststoffwäsche realisiert), zu unterscheiden. Gewünscht ist eine

hoher Abscheideleistungen über Siebwirkung in partikulären Systemen, bei denen die Vermeidung der Partikelfragmentierung wichtig ist.

Als typische Einsatzbereiche sind zu nennen die:

- ⇒ Trinkwassergewinnung aus Oberflächengewässern (Fluss-, See- und Talsperrenwasser)
- ⇒ Fischzucht, Großaquarien und Becken für Meeressäuger (Delfinarien, Walarien, etc.)
- ⇒ Prozess-, Brauch- und Kreislaufwasseraufbereitung in Industriebetrieben
- ⇒ Papierindustrie
- ⇒ Lebensmittelindustrie
- ⇒ Kraftwerksindustrie
- ⇒ Biokraftstoffindustrie
- ⇒ Chemie- und Pharmaindustrie
- ⇒ Textilindustrie (Wäschereien)
- ⇒ Metallverarbeitung
- ⇒ Schiffstechnik

Trommelfilter



Scheibenfilter



Abbildung 1: Beispiele für anlagentechnische Varianten der Siebfiltration in Form von Trommel- und Scheibenfiltern

Diese Filteraggregate werden überall dort, insbesondere in Bereichen mit höchsten hygienischen Anforderungen wie als Vorabscheider bei der Trinkwasseraufbereitung und bei der Fischbrut-/zucht, eingesetzt, wo Feststoffe mit geringer Partikelgröße auf wirtschaftliche und hocheffiziente Weise aus großen Wasserströmen entfernt werden müssen.

Der Durchfluss durch die Verfahrenseinheiten erfolgt bei der Wasseraufbereitung nahezu ausnahmslos im Freigefälle (Freispiegelleitung). Die treibende Druckdifferenz für den Filtra-

tionsprozess wird also durch aus Höhendifferenz von Rohwasser- und Filtratniveau im Gerät erzeugt. Die Trommelsiebfilter vom Typ Verto, deren Außen- und Innenansichten der Abbildung 2 zu entnehmen sind, sind so konstruiert und gesteuert, dass sie sich während des Betriebes mit vollautomatischen Prozessabläufen selbst mit Filtrat oder Trinkwasser reinigen. Durch den robusten Aufbau der Filter, die den Einsatzanforderungen angepasst werden, wird ein langer Lebenszyklus bei niedrigen Wartungskosten und Kosten für Hilfsenergie erzielt.



Abbildung 2: Außen- und Innenansichten des Siebtrommelsystems Verto

In der nachfolgenden Abbildung 3 ist der Verrohrungsplan der Gesamtanlage (Rutsche und Außenbecken) sowie ein Teilausschnitt des Fließschemas und rot umrandet der Wasserspeicher mit den beiden nachgeschalteten Trommelfiltern Verto dargestellt. Die im Schema festgelegten Messpunkte sind in den entsprechenden Messprotokollen wiederzufinden. Den gesamten Lageplan der Becken und Anlagenteile innerhalb der zwei Ebenen des Bades zeigt die Abbildung 4.

Der Anlagenaufbau ist bis auf den Trommelfilter und einen Zwischenspeicher konventionell aufgebaut und besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- ⇒ Filtertechnik (Captura)

- ⇒ Erwärmung mittels Wärmeübertrager
- ⇒ Desinfektion (Chlorgas)
- ⇒ Impfstelle pH Korrektur
- ⇒ **ZWISCHENSPEICHER**
- ⇒ Beckenanlage (Rutschenlandebecken)
- ⇒ Analytik
- ⇒ **TROMMELFILTER**
- ⇒ Wasserspeicher
- ⇒ Impfstelle Flockungsmittel (PAC)

Der Zwischenspeicher dient zur Wasserversorgung (Entnahme) der Rutschenanlagen (220 m³/h), die um ein Vielfaches höher zu veranschlagen ist als die erforderliche Reinwasserversorgung (120 m³/h) für die Rutschenauffangbecken mit Attraktionszuschlag. Somit kann außerhalb der Badezeit dieser Beckenkreislauf bedenkenlos in einem reduzierten Betrieb gefahren werden. Der Zwischenspeicher arbeitet somit in einem optimierten Verhältnis von hygienischer und technischer Anforderung.

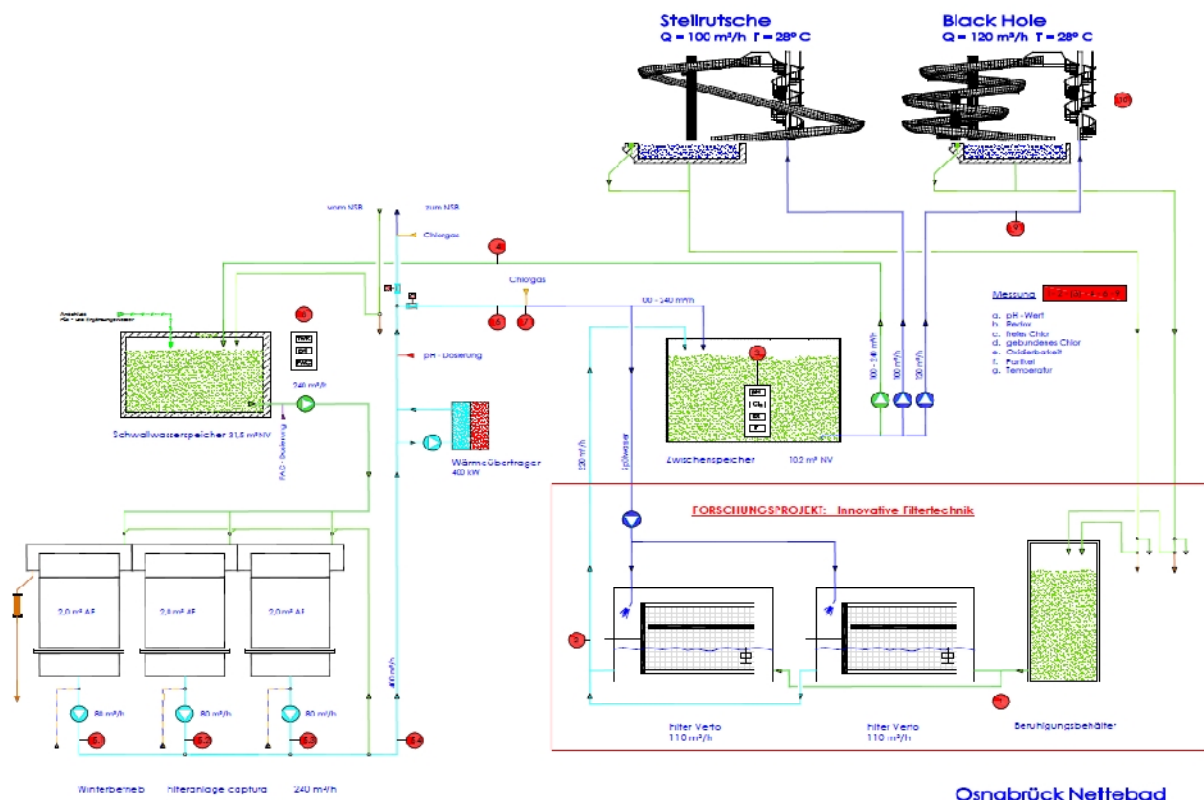


Abbildung 3: R+I Fließbild der Becken und verfahrenstechnischen Anlagen

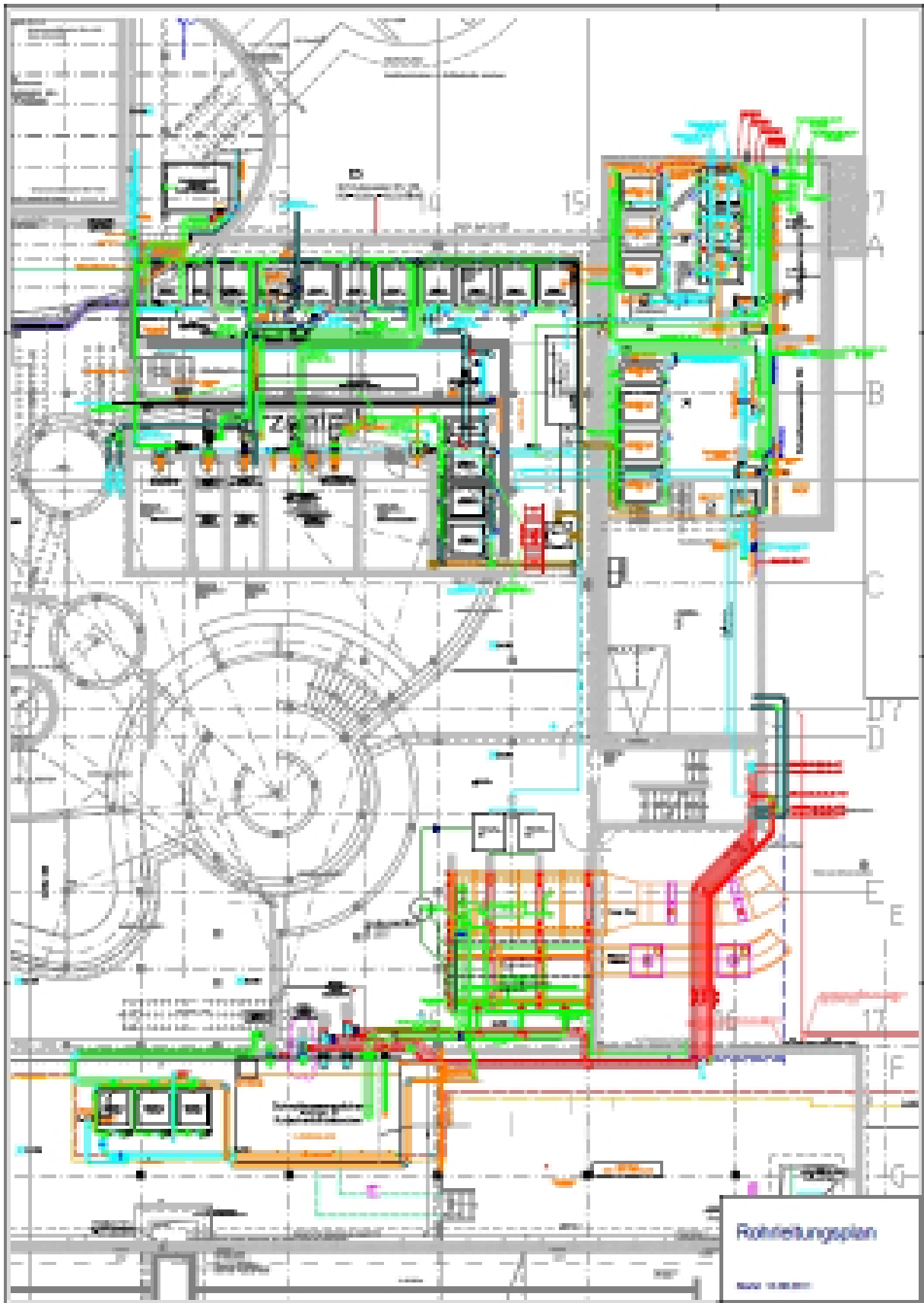


Abbildung 4: Lageplan der Becken und der verfahrenstechnischen Anlagen

2.2 Erweitertes Anlagenkonzept und neues Verfahrenskonzept infolge Einbau der Siebfiltration (Verto)

Die Grund für die Nachrüstung einer Siebfiltration besteht darin, dass eine Entlastung der nachgeschalteten Tiefenfiltration erzielt werden soll. Die Siebung ist nicht in der Lage, ein qualitativ so hochwertiges Filtrat zu erzeugen wie ein Tiefenfilter. Dies soll hier auch nicht angestrebt werden. Diese Aussage gilt umso mehr, wenn der Tiefenfiltration noch eine Flockung vorgeschaltet ist, welche die Abscheidbarkeit partikulärer Wasserinhaltsstoffe verbessert. Je nach gewählter Maschenweite kann eine Siebfiltration als Vorbehandlungsschritt sehr viel Feststoff- oder Trübstoffmasse aus dem Zulauf der Tiefenfiltration entfernen, sodass an diesem Punkt eine entsprechende Entlastung erzielt werden kann. Dadurch wird die Tiefenfiltration in die Lage versetzt, ihre Vorteile besser ausnutzen zu können: Ein nahezu trübstofffreies und somit bakteriologisch einwandfreies Filtrat unter wirtschaftlichen Randbedingungen zu erzeugen.

Abbildung 5 gibt übliche Arbeitsbereiche verschiedener Verfahren zur Feststoffabscheidung in Abhängigkeit auftretender Feststoffkonzentrationen und erzielbarer Trenngrenzen an [Grom2000]. Die Untergrenze für die Siebung wird mit etwa $10\ \mu\text{m}$ angesetzt. Dies entspricht der Siebmaschenweite des in diesem Projekt eingesetzten Verto-Trommelfilters entspricht. Erst linker Hand daran anschließend, d. h. für kleinere Partikel, wird der optimale Arbeitsbereich der Tiefenfiltration ausgewiesen. Die Verfahrenskombination Flockung und Tiefenfiltration erstreckt sich in einem breiteren Bereich über Tiefen- und Siebfiltration.

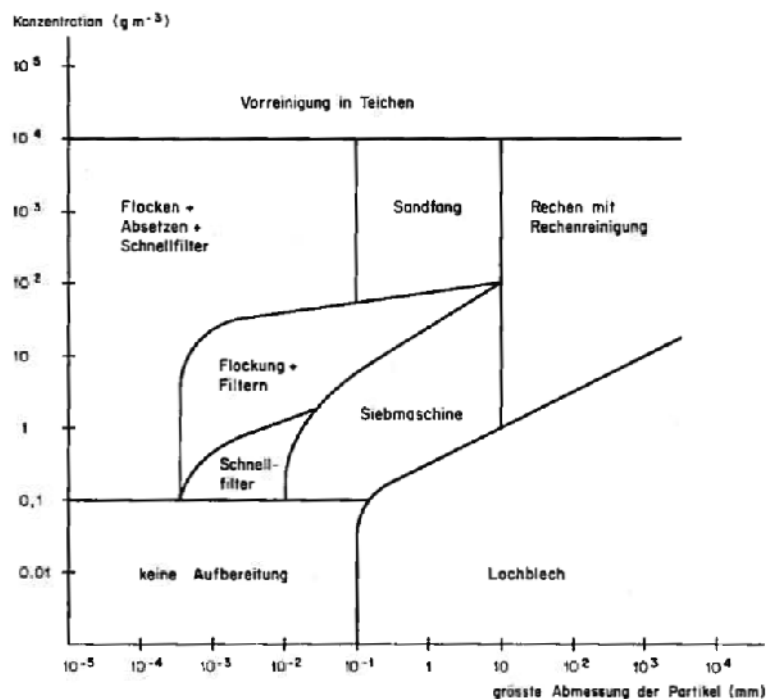


Abbildung 5: Eignung verschiedener Verfahren zur Fest-Flüssig-Trennung in Abhängigkeit der Feststoffkonzentration und Partikelgröße [Grom2000]

Faktisch können Tiefenfilter auch erheblich größere Partikel abscheiden, als im Kennlinienfeld ausgewiesen [Gimb1984, Gimb2004]. Doch ist das i. d. R. mit starken Druckverlusten verbunden und daher betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll. Auch auf der Oberfläche der Schüttschichten von Tiefenfiltern können beim Auftreten großer Partikel Siebeffekte stattfinden, die vermieden werden sollen. Sehr große Partikel forcieren den Aufbau eines sogenannten Filterkuchens, der zu einem hohen Druckverlust im Filtersystem führt. Dies wiederum nimmt infolge der hohen durchgesetzten Wasservolumenströme stark Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Der Begriff Tiefenfiltration impliziert die gewünschte Raumwirkung des Verfahrens im Gegensatz zur Flächenwirkung einer Siebung.

Bei der Siebung tritt potenziell auch das unerwünschte Phänomen auf, dass weniger mechanisch beanspruchbare Partikel, welche auf der Siebfläche abgeschieden werden, durch die Scherkräfte der Strömung zerstört werden können. Eine Beanspruchung der Filterschicht tritt sowohl während der Filtration als auch im Zuge der Abreinigung durch einen aufwärts gerichteten Wasserstrahl statt. Ein solches Phänomen wird bspw. bei der Trinkwasseraufbereitung im Zusammenhang mit dem Auftreten bestimmter Algenarten beobachtet, die wenig bruchfest sind [Grom2000]. Daher ist bei der geplanten Untersuchung ein Augenmerk darauf zu richten, wie sich Partikelanzahlkonzentrationen unterhalb der Größe der gewählten Siebmaschenweite verhalten, bzw. dass diese nur in einem moderaten Maß infolge des Siebprozesses zunehmen.

3 Testbetrieb, Untersuchungsmethoden und Untersuchungsumfang

3.1 Rahmenbedingungen

Basis der Untersuchungen bildet ein vergleichender Testbetrieb des Kreislaufs der Rutschen BLACK HOLE und SLOOP in zwei Kampagnen, einmal ohne (28.10.2012) und einmal mit (04.11.2012) Vorabscheidung bzw. Siebung größerer Partikel (Siebmaschenweite 10 µm) durch den Verto-Trommelfilter. Beide Kampagnen wurden an Wochenenden in den niedersächsischen Herbstferien und somit an Tagen mit sehr hoher Besucheranzahl für das Bad und die Rutschen (am 28.10.2012 mit 3.119 Rutschpartien und am 04.11.2012 mit 2.724 Rutschpartien) durchgeführt.

Auf der Basis umfangreicher Messdaten sollten

- ⇒ Aussagen zur Auswirkung der Vorfiltration bzw. -siebung auf die Qualität der Wässer im Kreislauf und im Becken der Rutschen im Kontext der Anforderungen der Normenreihe DIN 19643 und der Empfehlung des Umweltbundesamtes,
- ⇒ Aussagen zur Auswirkung der Vorfiltration auf das Betriebsverhalten der Tiefenfilter (Druckverlust, Spülfrequenz),
- ⇒ Bilanzen für beide Verfahrensstufen Tiefenfiltration und Siebung

im Hinblick auf

- Partikelanzahl und -volumen,
- Spülwasserbedarf (= Wasserverlust/-bedarf und Wärmeverlust),
- Chemikalienbedarf für die Desinfektion, pH-Korrektur und Flockung,
- Energiebedarf sowie
- Kosten + Wirtschaftlichkeit.

Die Frischwasserzufuhr (Füllwassernachspeisung) wurde an den beiden Messtagen unterbunden, um eine Einflussnahme auf die Wasserqualität infolge von Verdünnungseffekten auszuschließen. Infolgedessen traten Wasserverlustmengen im Kreislauf aufgrund des Badbetriebs sowie bei der zweiten Messkampagne zusätzlich durch die periodische Spülung der Siebflächen des Verto auf. Als weitere Konsequenz nahm die Säurekapazität in den Rutschenlandebecken über die Dauer der ersten Messkampagne von einem Startwert von etwa 0,85 mg/L kontinuierlich auf Werte bis zu 0,29 mg/L ab (zweite Messkampagne: von 0,5 auf 0,3 mg/L). Da als Flockungsmittel vor den Captura-Tiefenfiltern ein Polyaluminiumchlorid mit einer Basizität von 40 % eingesetzt wurde, war allerdings eine negative Auswirkung der verminderten pH-Pufferung auf den Flockungsprozess auszuschließen.

Die Pumpen des Kreislaufs für die Beschickung der drei parallel geschalteten CAPTURA-Tiefenfilter, wurden bei beiden Messkampagnen so geregelt, dass im Tag- und Nachtbetrieb ein jeweils konstanter Volumenstrom vorlag (siehe Messdaten in Abbildung 6):

- ⇒ Tagbetrieb mit einem Volumenstrom je Filter von $Q_F = 50 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. einer Filtrationsgeschwindigkeit von $v_f = 25 \text{ m/h}$.
- ⇒ Nachtbetrieb mit einem Volumenstrom je Filter von ca. $Q_F = 37 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. einer Filtrationsgeschwindigkeit von etwa $v_f = 18,5 \text{ m/h}$.

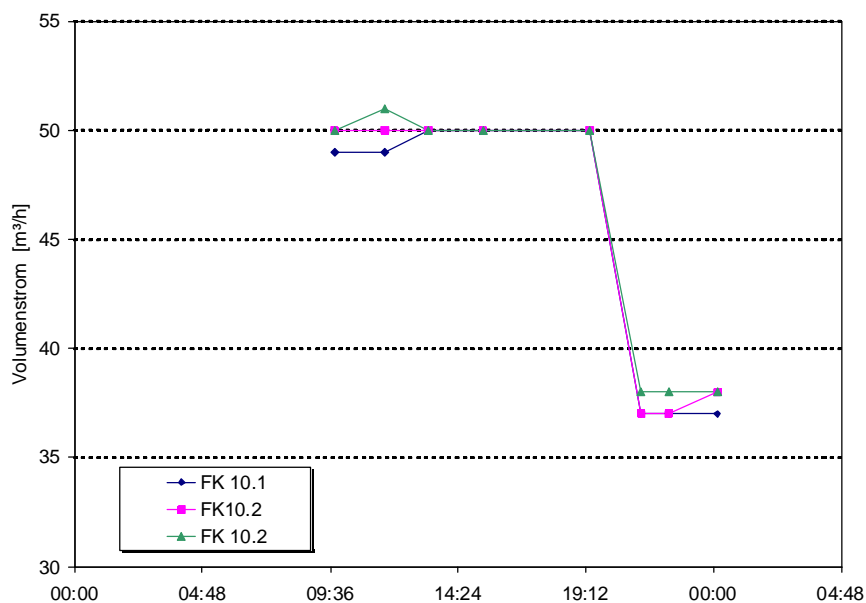


Abbildung 6: Volumenströme durch die drei Captura-Tiefenfilter am 28.10.2012

Von den im Kreislauf umgewälzten $360 \text{ m}^3/\text{h}$ werden somit $150 \text{ m}^3/\text{h}$ über die Tiefenfilter geführt, während $210 \text{ m}^3/\text{h}$ (58 %) im Bypass dem Filtrat zufließen. Mit einem Wassergesamt-volumen im Kreislauf (inklusive der Becken) von 40 m^3 beträgt die Umwälzzeit weniger als 7 Minuten.

Die Einstellungen für die Dosierung des Flockungsmittels waren zuvor optimiert worden und wurden während oder zwischen den Messkampagnen nicht verändert. Der Flockungsmittelverbrauch betrug innerhalb von 24 Stunden 820 g .

Eine Erfassung der Rutschvorgänge während der Untersuchungsphase wurde möglich, da diese jeweils mit einer elektronischen Personenzählung zur Erfassung der Besucherfrequenz ausgerüstet sind.

3.2 Parameter und Probenahmestellen

Entlang des Kreislaufs, d. h. zwischen den einzelnen Betriebs- oder Verfahreseinheiten, wurden notwendige Mess- und Probenahmestellen eingerichtet sowie für beide Kampagnen zeitlich durchstrukturierte Maßnahmepläne und Probenahmepläne erstellt, wie dem Anhang 1 und 2 zu entnehmen ist. Da die mittlere Umlaufzeit des Wassers im gesamten Kreislauf unter 7 Minuten liegt, wurde die Messung der Hygienehilfsparameter und Partikelkonzentrationen nicht in den Becken sondern im Rohwasser hinter dem zuvor gereinigten Rohwasserspeicher (Kunststofftank) vorgenommen.

Einige Parameter wurden mit der im Bad bereits vorhandenen (magnetisch induktive Volumenstrommessung, Druckmessung, amperometrischen Messung des freien Chlors, Messung der Redoxspannung oder mit speziell für die Messkampagnen installierten Prozessmessgeräten (Trübung und Partikelzählung) online aufgezeichnet. Um den pH-Wert zu ermitteln, wurden Handmessgeräte verwendet. Die Hygiene-Hilfsparameter freies Chlor und gebundenes Chlor wurden mit zwei Handmessgeräten („Chlorphotometer“) und jeweils zugehörigem DPD¹-Reagenziensatz photometrisch gemessen. Alle Messgeräte wurden vor ihrem Einsatz kalibriert. „Chlorphotometer“ und Partikelzählgerät wurden zu diesem Zweck zu den Herstellern eingeschickt.

Die DPD-Reagenziensätze waren neu beschafft worden und wurden kühl gelagert. Die Messmethoden wurden so weit wie möglich vereinheitlicht und systematische Fehlerquellen ausgeschlossen. Vergleichsmessung zwischen dem IWW-Photometer und -Reagenzien mit denen des Nettebades ergaben eine recht genaue Übereinstimmung der ermittelten Messdaten (maximale Abweichung von 0,01 mg/L sowohl beim freien als auch beim gebundenen Chlor). Auch die Übereinstimmung mit den Messdaten des Betriebsmessgerätes war ähnlich gut.

Wasserproben wurden in einem akkreditierten Labor analysiert, und zwar auf die Parameter:

- ⇒ Oxidierbarkeit,
- ⇒ Säurekapazität,
- ⇒ Koloniezahl bei beiden Temperaturen und
- ⇒ Nitrat.

¹ DPD: Diethyl-1.04-Phenylendiamin, (DPD) wird in Gegenwart von freiem Chlor unter Bildung eines violetten Farbstoffs (Wurster-Rot) oxidiert, dessen Konzentration dann photometrisch bestimmt wird (in Anlehnung an DIN EN ISO 7393-2).

3.3 Grundlagen zu dem eingesetzten Partikelzählverfahren und dessen Messwerten

Mit der eingesetzten und frisch kalibrierten Partikelzählung (WaterViewer, Fa. PAMAS) und mit der validierten Trübungsmessung (UltraturbPlus, Fa. HACH- Lange) wurde Messverfahren für die Verfahrenseffektivität gewählt, wie es das DVGW-Arbeitsblatt W 213-6 für Filtrationsverfahren zur Trinkwasseraufbereitung empfiehlt (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Von DVGW-Arbeitsblatt W 213-6 für Filtrationsverfahren empfohlene Messverfahren für die Konzentration partikulärer Wasserinhaltsstoffe

	Methoden	Beispiele
1.	Trübungsmessung	gemäß DIN EN 27027
2.	Partikelanalyse	Mittelbare und unmittelbare Zählmethoden sowie Sedimentations- und Klassiermethoden
3.	Gravimetrie	DEV-Verfahren (H1, DIN 38409), Membranfiltration, Biomassebestimmung

Die unmittelbare Zählung von Partikel mittels der Lichtabschattungs-methode entspricht im Prinzip einer Extinktionsmessung am Einzelobjekt [Nahr2001]. Eine schematische Darstellung dieses Messverfahrens ist in Abbildung 7 wiedergegeben.

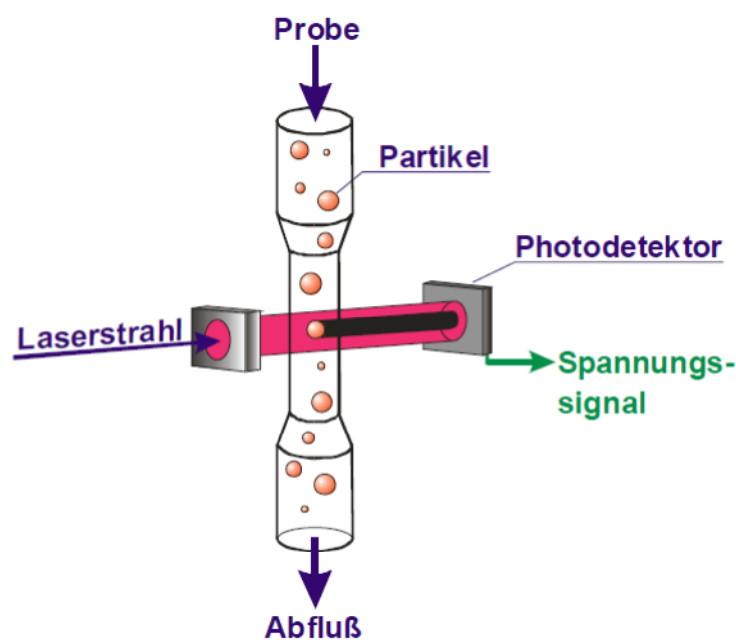


Abbildung 7: Schematisches Prinzip der unmittelbaren Partikelzählung per Lichtabschattungs-methode [Nahr2001]

Ein scharf begrenzter Lichtstrahl durchdringt eine die Messzelle (Kapillare) durchströmende Flüssigkeit und trifft auf eine Photodiode, deren Signal verstärkt und erfasst wird. Der Lichtstrahl wird i. d. R. durch einen Laser erzeugt. Der in der Photodiode entstehende Spannungsimpuls, der durch ein Partikel erzeugt wird, welches die Messzelle und den Laserstrahl passiert, ist proportional zur Abschattung, die das Partikel verursacht. Der prinzipielle zeitliche Zusammenhang von Partikelpassage und auftretendem Spannungssignal wird in Abbildung 8 verdeutlicht.

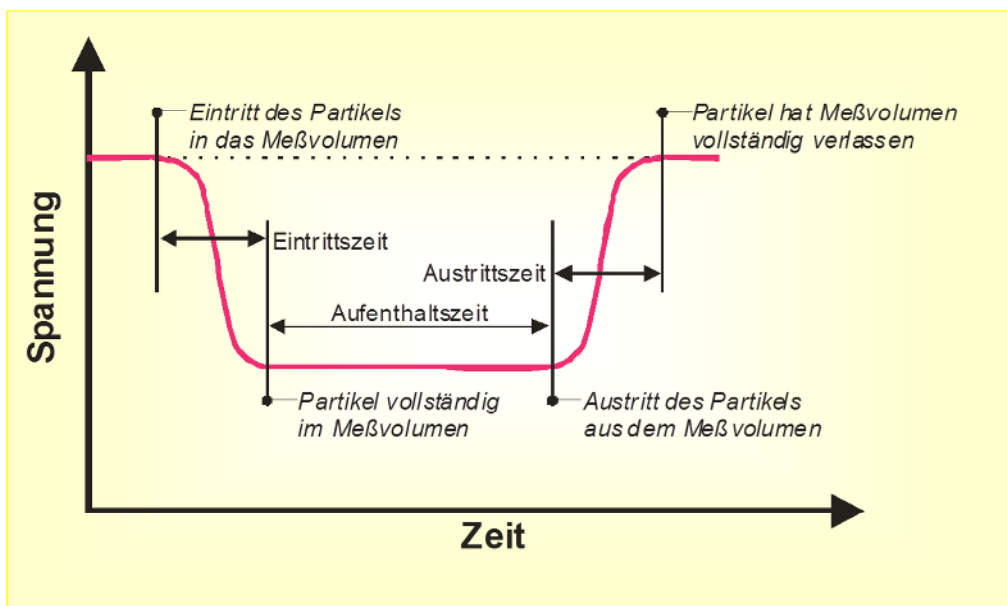


Abbildung 8: Schema für die Erzeugung und Auswertung eines durch den Partikelschatten ausgelösten Spannungssignals, DVGW-Arbeitsblatt W 213-6

Das Maß der Abschattung ist aber auch abhängig von der Art und Form des Partikels. Da die Form der Partikel in wässrigen Suspensionen i. d. R. keinem geometrisch geordneten Körper zuzuordnen ist, wird die Partikelgröße als sogenannter Äquivalenzdurchmesser x angegeben: Das ist der Durchmesser derjenigen Kugel, die das gleiche Messsignal wie das beobachtete Partikel erzeugt. Die Zuordnung der Durchmesser kugelförmiger Partikel zu den von ihnen erzeugten Spannungsimpulsen findet bei der Kalibrierung des Gerätes mit Hilfe von Kalibrierstandards (Suspensionen kugelförmiger Latex-Partikel mit definiertem Durchmesser) statt, ist messgerätespezifisch und daher als Kalibrierkurve in Partikelzählgeräten hinterlegt.

Die Partikelgröße ein stetiges Maß. Für die bei jeder Messung erfassten abertausend Partikel macht es Sinn, nicht den jeweils gemessenen Größenwert zu speichern, sondern ihn als Zählereignis in einer Größenklasse festzuhalten [Alex1974, Alex2008, Stie2009]. Dazu ist es notwendig, zuvor das gesamte zu erfassende Partikelgrößenspektrum in Größenklassen, so

genannte Kanäle, zu unterteilen (Diskretisierung). Die Zählergebnisse für die Äquivalenzdurchmesser lassen sich dadurch mit Hilfe der Statistik stetiger Feinheitsmerkmale umrechnen und in Form statistischer Verteilungen (gemäß DIN ISO 9276-1) darstellen:

In den Größenkanälen mit dem Index $i = 1, 2, 3, \dots$ werden Partikel mit dem Äquivalentdurchmesser x dann erfasst, wenn gilt:

$$x_{i-1} \leq x < x_i \quad (1)$$

Das Auftreten von Partikeln bestimmter Größe bzw. mit einem bestimmten Messwert wird als Zählerergebnis n_i in dem betreffenden Kanal i für die Größe $[x_{i-1}; x_i[$ erfasst (siehe Beispieldaten in Tabelle 3). In der deskriptiven Statistik entspricht das dem Schritt von der Urliste zur Strichliste. Für die Gesamtanzahl N aller bei einer Messung erfassten Partikel gilt:

$$N = \sum_{i=1}^{i_{max}} n_i \quad (2)$$

Die Partikelanzahl n_i im Kanal i ist mit der relativen Anzahlhäufigkeit $\Delta Q_{Anz}(x_i)$ an der Gesamtanzahl N beteiligt (siehe Beispiel in Tabelle 3):

$$\Delta Q_{Anz}(x_i) = \frac{n_i}{N} \quad (3)$$

$\Delta Q_{Anz}(x_i)$ lässt sich als Histogramm über den Partikelgrößenklassen auftragen (distributive Größenverteilung der Partikelanzahl). Da die Größenklassen zumeist nicht äquidistant eingeteilt werden, sind diese Diagramme aber anfällig für Fehlinterpretationen.

Man kann Abhilfe schaffen, indem man $\Delta Q(x_i)$ von Kanal $j = 1$ anfangend bis zu einem bestimmten Größenkanal $j = i$ aufsummiert und dann über x_i aufträgt. Dadurch erhält man mit $Q(x_i)$ eine Summenfunktion für die Größenverteilung (siehe blaue Kurve in Abbildung 9), welche die relative Anzahlhäufigkeit für Partikel unterhalb eines bestimmten Äquivalenzdurchmessers x_i wiedergibt [Alex1974, Alex2008, Stie2009]:

$$Q_{Anz}(x_i) = \sum_{j=1}^i \Delta Q_{Anz}(x_j) \quad (4)$$

$$Q_{r,i} = Q_r(x_i) = \frac{\text{Teilmenge } x_{min} \dots x_i}{\text{Gesamtmenge } x_{min} \dots x_{max}}$$

Mit dem Index r wird die Mengenart definiert, mit der jedes Partikel zu der Gesamtheit beiträgt (in dem bis zu diesem Punkt diskutierten Fall entspricht r der Anzahl).

Tabelle 3:

Beispiel zu Unterteilung (Diskretisierung) des Messbereichs in Kanäle, für Zählergebnisse, für relative Anzahlhäufigkeiten im Kanal $\Delta Q(x_i)$, als Summenfunktion $Q(x_i)$ und als Dichtefunktion $q(x_i)$

Kanal Nr. i	X_i [μm]	ΔX [μm]	$(X_{i-1} + X_i) / 2$ [μm]	n_i [-]	$\Delta Q(x_i)$ [-]	$Q_{\text{Anz}}(x_i)$ [-]
	2,0					0,000
1	3,0	1,0	2,5	3027	0,008	0,008
2	4,0	1,0	3,5	7567	0,019	0,027
3	5,0	1,0	4,5	15133	0,038	0,065
4	6,0	1,0	5,5	25222	0,064	0,130
5	7,0	1,0	6,5	36032	0,092	0,221
6	8,0	1,0	7,5	45040	0,115	0,336
7	9,0	1,0	8,5	50044	0,127	0,463
8	10,0	1,0	9,5	50044	0,127	0,590
9	11,0	1,0	10,5	45495	0,116	0,706
10	12,0	1,0	11,5	37912	0,096	0,802
11	13,0	1,0	12,5	29163	0,074	0,877
12	14,0	1,0	13,5	20831	0,053	0,930
13	15,0	1,0	14,5	13887	0,035	0,965
14	16,0	1,0	15,5	8680	0,022	0,987
15	17,0	1,0	16,5	5106	0,013	1,000

N = 393183

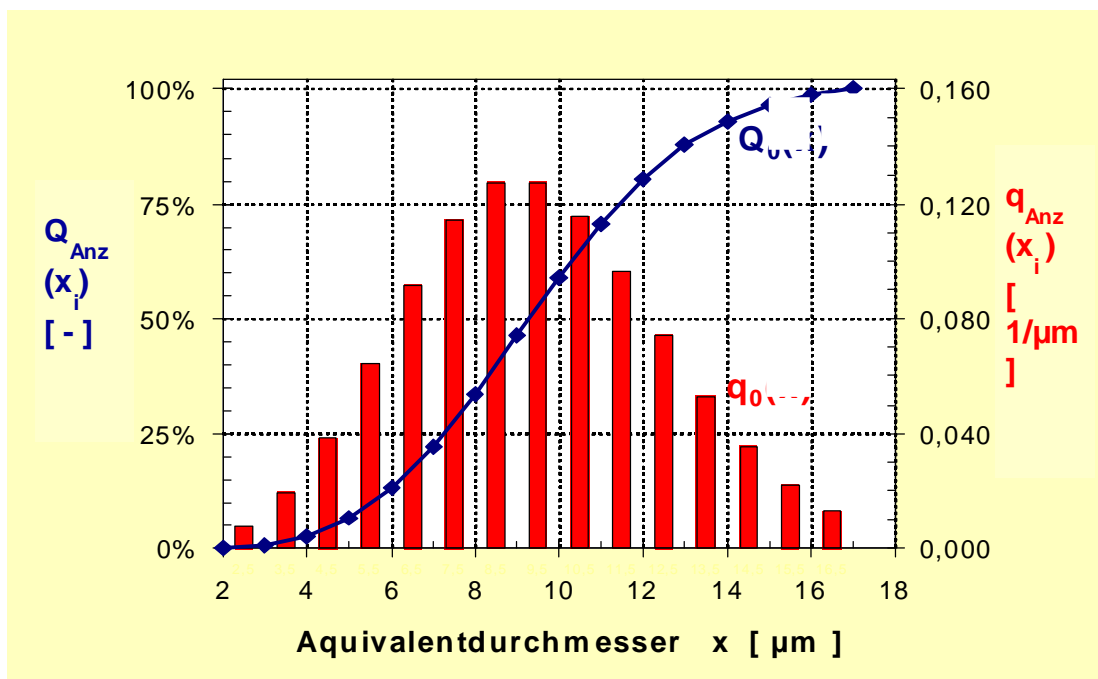


Abbildung 9: Summarische Verteilungsfunktion für die Partikelanzahl (Unterschreitungshäufigkeit) und Verteilungsdichtefunktion für die Partikelanzahl $q_{\text{Anz}}(x_i)$ für die Beispieldaten der Tabelle 2

Mit Hilfe des durch bei der Messung durchgesetzten Probevolumens V_{mess} (Produkt aus Messzeit und abgetastetem Volumenstrom) lassen sich anschließend aus den Zählergebnissen n_i Anzahlkonzentrationen $\Delta c_{Anz}(x_i)$ von Partikeln in dem Größenkanal $[x_{i-1} ; x_i]$ in berechnen:

$$\Delta c_{Anz}(x_i) = \frac{n_i}{V_{mess}} \quad (5)$$

Die gesamte Anzahlkonzentration C_{Anz} ist dann:

$$C_{Anz} = \sum_{i=1}^{i_{max}} \Delta c_{Anz}(x_i) \quad (6)$$

Auch hier erhält man analoge zu $Q(x_i)$ die Unterschreitungsfunktion für die Anzahlkonzentrationen $c_{Anz}(x_i)$:

$$c_{Anz}(x_i) = \sum_{j=1}^i \Delta c_{Anz}(x_j) \quad (7)$$

Bis zu diesem Punkt beschränken sich die Ausführungen zur Auswertung der Zählergebnisse auf die Partikelanzahl bzw. Anzahlkonzentration. Sie ist insbesondere dann im Kontext mikrobiologischer Kontaminationen relevant, wenn die Effektivität Partikel abscheidender Verfahren beurteilt werden muss. Als Maß dient dann der Faktor (meistens gemessen in Zehnerpotenzen), um welchen die Anzahlkonzentration von Partikel bestimmter Größe vermindert wird.

Für die innerhalb eines Verfahrens wirkenden Abscheide- und Speichermechanismen – insbesondere für die hier neben der Siebung betrachtete Tiefenfiltrationsstufe des Beckenwasserkreislaufs – sind hingegen Partikelvolumina ebenso relevant. Die Abscheidung von Partikel in einem Tiefenfilter erfordert zwei sukzessiv hintereinander erfolgreich ablaufende Schritte: der Kontakt mit der abscheidenden Oberfläche (Filterkorn oder dessen Beladungsschicht) mittels eines Transportschritts und ein sich anschließender stabiler Haftvorgang. Für den Partikeltransport sind mehrere verschiedene Mechanismen verantwortlich, wobei einige proportional zum Partikeldurchmesser (Transport über Brownsche Molekularbewegung; Sperreffekt) und einer proportional zum Partikelvolumen ist (Sedimentationseffekt). Das in den Schüttschichten der Filter eingelagert Partikelvolumen (bzw. das Volumen daraus entstehender Beladungsschichten auf dem Filterkorn) reduziert das vom Wasser durchströmbare Porenvolumen der Filterschüttung. Eine Verringerung des Porenvolumenanteils (Porosität) erzeugt unmittelbar höhere effektive Strömungsgeschwindigkeiten im Filterbett (Interstitialgeschwindigkeit), die sowohl für Einbußen bei der Effektivität der Partikelabscheidung als auch für einen stärkeren Anstieg des Druckverlustes sorgen. Beide Kriterien wirken sich

laufzeitverkürzend auf den Filtrationszyklus aus, machen eine häufigere Filterspülung erforderlich, erhöhen die Wasserverluste (Verringern die Ausbeute) und kosten Wärme- und Pumpenergie.

Daher ist es notwendig, eine Größenverteilung für die Partikel zu betrachten, in die sie mit der Mengengart „Partikelvolumen“ erfasst werden. Ausgehend von der Mengengart „Anzahl“ wäre ein sehr einfacher Rechenweg gegeben, wenn die Partikel tatsächlich eine Kugelform hätten und sich entsprechend umrechnen ließen. Dies ist zwar nicht der Fall, dennoch kann man aber den Ansatz einer Kugelform auf der Basis der Äquivalenzdurchmesser verfolgen, wenn die Abweichung von der Kugelform durch einen so genannten Formfaktor korrigiert wird. Ist dieser Formfaktor unbekannt, eröffnen die Rechenansätze für die Statistik stetiger Feinheitsmerkmale einen Weg, wenn man allen Partikeln eine ähnliche Form, d. h. ein ähnliches Abweichen von der Kugelform und somit einen einheitlichen Formfaktor unterstellt. In einem solchen Fall führt die Betrachtungsweise als relativer Anteil an einer Gesamtheit (Partikelanzahl in einem Kanal in Relation zur Gesamtanzahl; Partikelvolumen in einem Kanal in Relation zum Gesamtvolumen) dazu, dass die Formfaktoren sich aus den Formeln herauskürzen lassen.

Aus der Verteilung der Partikelanzahl lässt sich über die Verteilungsdichtefunktion $q_{Anz}(x_i)$

$$\Delta q_{Anz}(\bar{x}_i) = \frac{n_i}{N \cdot \Delta x_i} = \frac{\Delta Q_{Anz}(x_i)}{\Delta x_i} \quad (8)$$

$$q_{Anz}(\bar{x}_i) = \sum_{j=1}^i \Delta q_{Anz}(x_j) \quad (9)$$

mit der mittleren Partikelgröße \bar{x}_i im Kanal i

$$\bar{x}_i = \frac{x_{i-1} + x_i}{2} \quad (10)$$

und dessen Kanalbreite Δx_i

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1} \quad (11)$$

auch die Verteilung der Partikelvolumina $Q_{Vol}(x_i)$ berechnen [Alex19704, Alex2008, Stie2009]:

$$Q_{Vol}(x_i) = \frac{1}{M_{3,0}} \cdot \sum_{j=1}^i (\bar{x}_j)^3 \cdot \Delta q_{Anz}(\bar{x}_j) \cdot \Delta x_j \quad (12)$$

$$M_{3,0} = \sum_{j=1}^{i_{max}} (\bar{x}_j)^3 \cdot \Delta q_{Anz}(\bar{x}_j) \cdot \Delta x_j \quad (13)$$

Das statistische Moment $M_{3,0}$ (das dritte Moment der Anzahlverteilung) hat dabei lediglich eine Normierungsfunktion, denn der Anteil aller Partikel an der Gesamtheit (Flächen unter $Q(x_i)$) muss unabhängig für jede Mengengattung immer 1 bzw. 100 % betragen.

Das in diesem Projekt eingesetzte Partikelzählgerät (WaterViewer, Fa. PAMAS, siehe Abbildung 10) hat einen Größenmessbereich von insgesamt 1,0 bis 100 μm , der in 8 Kanäle diskretisiert wurde. Abbildung 11 zeigt den vollständigen Messaufbau, zu dem auch ein PC für die Parametrierung, eine Steuereinheit der elektrischen Ventile (Eigenbau IWW) für die Auswahl der Probenahmestellen und ein Datenaufzeichnungssystem (Memograph, Fa. Endress und Hauser) gehörte.



Abbildung 10: Im Netzebad eingesetztes Partikelzählgerät (WaterViewer, Fa. PAMAS, Rutesheim)



Abbildung 11: Messaufbau im Nettebad für die Onlinemessung von Trübung und Partikelanzahlkonzentration

4 Messergebnisse

4.1 Ermittelte Besucherzahl bzw. Personenfrequenz der Rutschen

Die Messtage beider Messkampagnen wurden wegen der für die Untersuchung notwendigen hoher Besucherfrequenz auf einen Sonntag gelegt. Die Freigabe der BLACK-HOLE als erste Rutsche des Bades findet sonntags zwischen 9:00 und 21:00 Uhr statt, während die Freigabe der SLOOP (personalintensiver, da der Start jeder einzelnen Rutschpartie beaufsichtigt und frei gegeben werden muss) zwischen 11:00 und 19:00 zeitlich etwas eingeschränkter angeboten wird.

Der Abbildung 12 für die Personenzählung am 28.10.2012 ist zu entnehmen, wie die Besucherzahl der Rutschen ab dem Freigabezeitpunkt steil ansteigt, während der Mittagszeit ihr Maximum mit etwa 400 Personen pro Stunde erreicht und danach stetig bis zum Abend wieder abklingt. Insgesamt fanden an diesem Tag 3.119 Rutschvorgänge statt, womit eine sehr hohe Auslastung der Rutschen gegeben war.

Der zeitliche Ablauf für die Freigabe der Rutschen am Tag der zweiten Messkampagne (04.11.2012) geschah, wie die Kurvenverläufe in Abbildung 13 belegen, analog mit etwa der gleichen Spitzenlast um die Mittagszeit, jedoch mit insgesamt nur 2.724 Rutschvorgänge. Das entspricht 87 % der Gesamtzahl bzw. Gesamtbelastung am Tag der ersten Messkampagne.

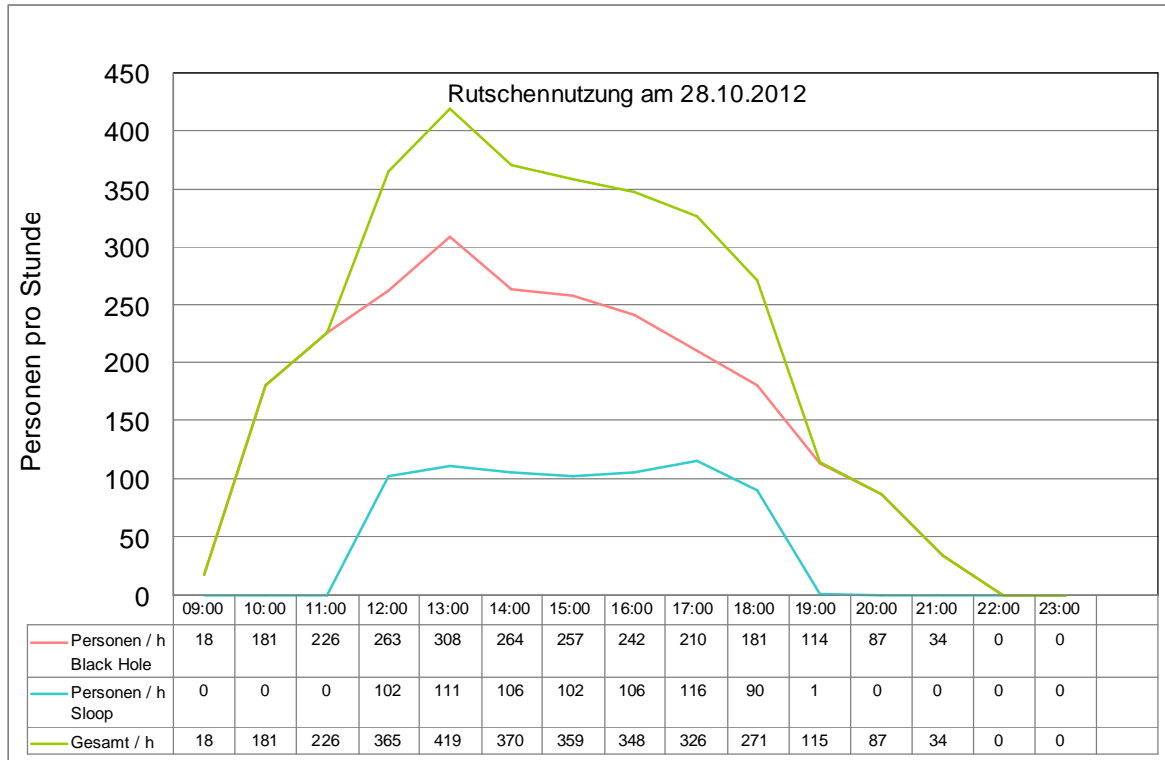


Abbildung 12: Ergebnis der Personenzählung an den Rutschen und SLOOP am 28.10.2012 (ohne Siebfilter)

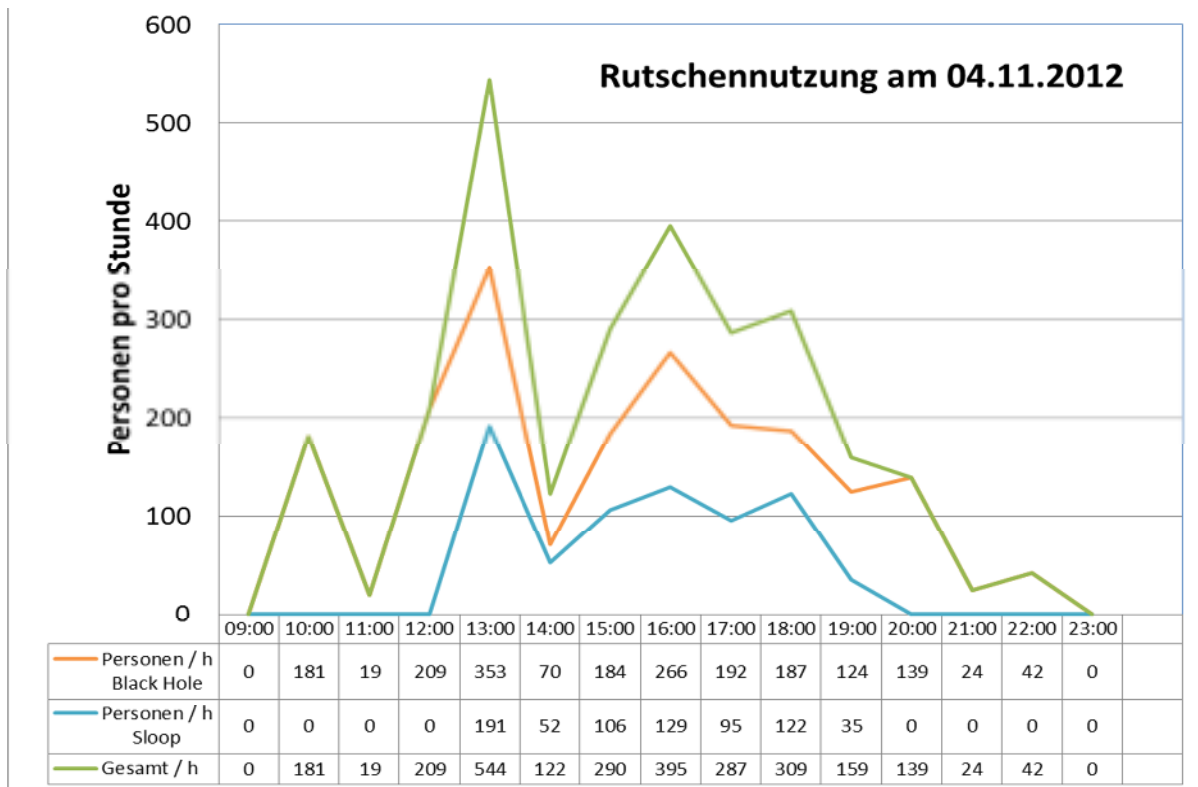


Abbildung 13: Ergebnis der Personenzählung an den Rutschen BLACK-HOLE und SLOOP am 04.11.2012 (mit Siebfilter)

4.2 Messdaten der Hygienehilfsparameter und der Bakteriologie

Alle Messdaten der Hygienehilfsparameter an den verschiedenen Messstellen befinden sich im Anhang 1 und 2. Abbildung 14 zeigt die Daten für das freie sowie das gebundene Chlor und den pH-Wert im Rohwasser. Da die Chlorzehrung des Reinwassers bereits auf dem Weg in den Rutschen einsetzt und das Wasser in dem kleinvolumigen Rohwasserspeicher eine nur geringe Aufenthaltszeit hat, wurde diese Messstelle Nr. 1 („vor Verto“ = Rohwasser) als ausreichend repräsentativ für die Hygienehilfsparameter beider Rutschenlandebecke angesehen. Die Messwerte des freien Chlors starten am Morgen des 28.10.2012 bei 0,51 mg Cl_{frei}/L , sinken dann mit zunehmender Besucheranzahl bis zur Mittagszeit auf Werte von 0,41 mg Cl_{frei}/L ab, um danach in etwa wieder auf den Startwert (0,49 mg Cl_{frei}/L) zu steigen. Der geringere Messwert um Mitternacht mit 0,43 mg Cl_{frei}/l wurde unter den Randbedingungen einer Nachtabenkung mit reduziertem Volumenstrom und reduziertem Chlorsollwert gemessen. Der nach DIN 196043-1 geforderte Wertebereich für die Becken (0,3 bis 0,6 mg Cl_{frei}/L) wurde somit konsequent eingehalten.

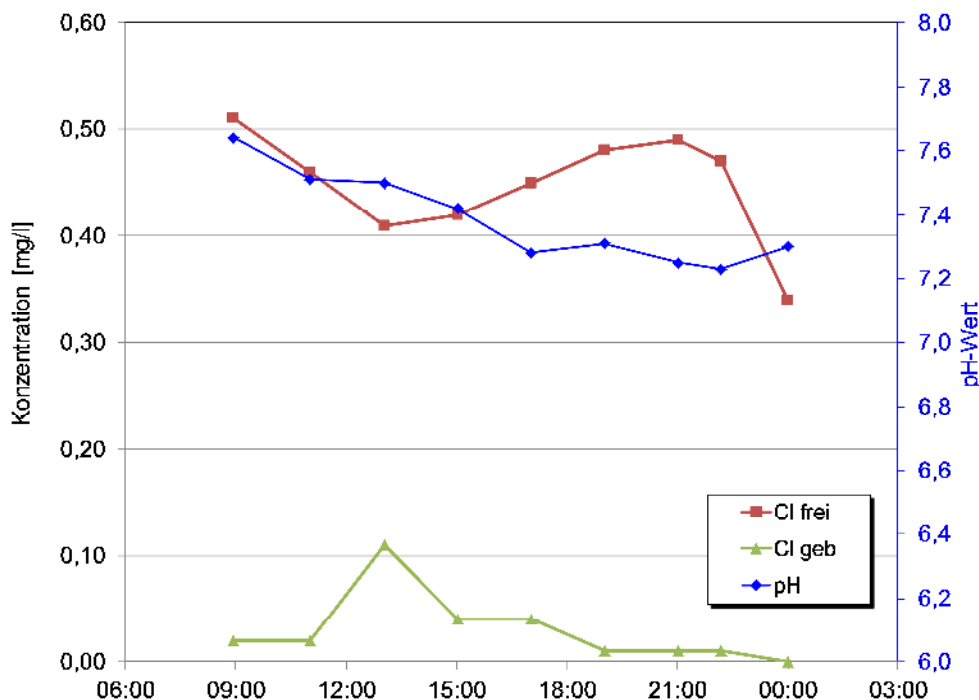


Abbildung 14: Messdaten für die Parameter freies Chlor, gebundenes Chlor und pH an der Messstelle Rohwasser am 28.10.2012 (ohne Siebfilter)

Die Messwerte für das gebundene Chlor zeigen am Vormittag des 28.10.2012 sehr geringe Werte um 0,02 mg Cl_{geb}/L , steigen um die Mittagszeit kurzzeitig auf einen Wert von 0,11 mg Cl_{geb}/L an, um danach wieder kontinuierlich bis unter die Nachweisgrenze ($< 0,01$ mg Cl_{geb}/L) zu sinken. Der obere Wert gemäß DIN 19643-1 für die Becken von 0,2 mg Cl_{geb}/L wurde insgesamt deutlich unterschritten.

Der pH-Wert nimmt über den ganzen Tag nahezu linear von pH 7,64 auf einen Plateauwert von etwa pH 7,25 ab. Da die Füllwasserzufuhr unterbunden wurde, wird der pH nur durch die Stoffeinträge über den Badegast, die Dosierung des Chlors sowie die pH-Regelung mittels Dosierung eines pH-Hebers (Natronlauge) beeinflusst. Der in DIN 19643-1 geforderte Wertebereich (pH 6,5 bis 7,2 für die Flockung mit Aluminiumprodukten) wurde dabei überschritten.

Betrachtet man die Unterschiede der Messdaten für das freie Chlor an den verschiedenen Messstellen, deren zeitliche Verläufe in Abbildung 15 für alle aufgetragen wurden, so zeigen die Messdaten des Reinwassers mit Werten um 0,50 mg Cl_{frei} /L bzw. anschließend im Zuge der Nachtabenkung um 0,45 mg Cl_{frei} /L eine sehr zielgenaue und stabile Regelung. Die Differenz (Chlorzehrung) zu den Werten im Rohwasser „vor Verto“ spiegelt die Belastung der Rutschen durch Badegäste wieder mit einer/ maximalen Zehrung von 0,09 mg Cl_{frei} /L in der Mittagszeit wieder.

Die kohlenstoffhaltigen Filterschichten im Captura-Filter sorgen für eine vollständige Chlorzehrung. Dadurch ist die Bedarfsmenge an Chlor im Wesentlichen nur noch eine Funktion der umgewälzten Wassermenge, d. h. bei dem konstant geregelten Volumenstrom durch die Filter eine Funktion der Betriebszeit.

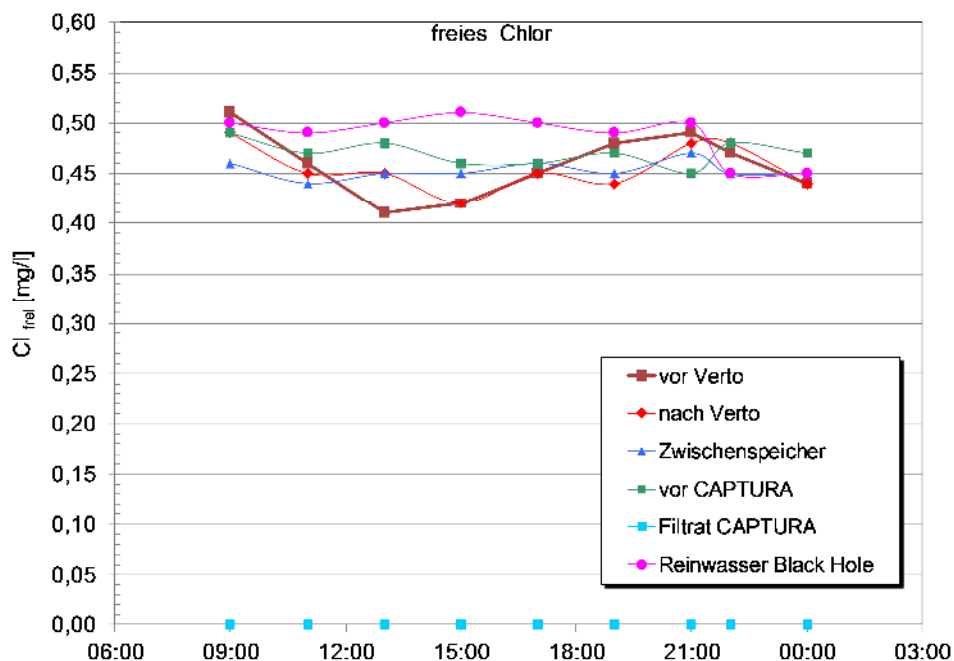


Abbildung 15: Messdaten für den Parameter freies Chlor an den Messstellen des Kreislaufs am 28.10.2012 (ohne Siebfilter)

Das im Rohwasser auftretende gebundene Chlor wird ebenso wie das freie Chlor von den Captura-Filtern auf Werte unter der Nachweisgrenze eliminiert, wie die Messdatenverläufe in Ab-

bildung 16 belegen. Deutlich wird aber auch, dass die Konzentrationen im Zwischenbehälter (Messstellen an den Abgängen des Behälters zu den Filtern („vor Captura“) und zu den Rutschen („Reinwasser Black Hole“) aus der Mischung der Wässer „nach Verto“ und „Filtrat Captura“ (bzw. liegt hier schon Reinwasser vor, da in den Zwischenbehälter bereits gechlortes Filtrat eingespeist wird) entstehen.

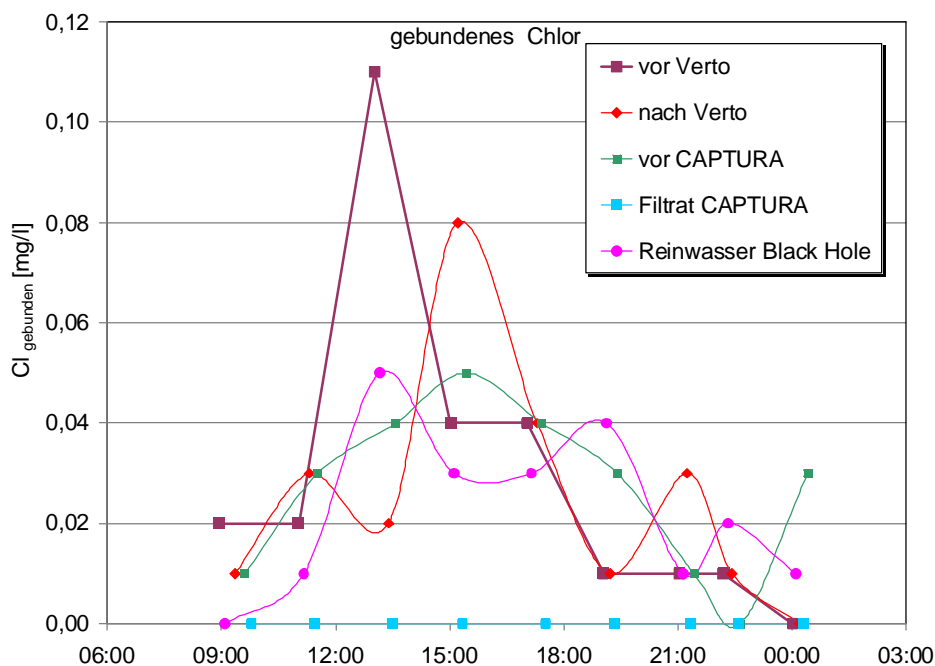


Abbildung 16: Messdaten für den Parameter gebundenes Chlor an den Messstellen des Kreislaufs am 28.10.2012 (ohne Siebfilter)

Hinsichtlich des Parameters Oxidierbarkeit ist anzumerken, dass die Werte für das Beckenwasser entweder in Differenz zum Füllwasser oder zum unbelasteten Filtrat (wenn dieses einen geringeren Messwert als das Füllwasser aufweist) zu betrachten ist. Der Bezug auf das Füllwasser gilt aber generell bis zu einem Wert im Füllwasser von maximal 0,50 mg O₂/L der hier mit 0,39 mg O₂/L nicht überschritten wurde (DIN 19643-1).

Im Rohwasser („vor Verto“) wurden Differenzen von maximal ±0,07 mg O₂/L ermittelt, was deutlich geringer ist als die gemäß DIN 19643-1 zulässigen 0,50 mg O₂/L. in Abbildung 17 ist zudem zu erkennen, wie die insgesamt auftretende Rutschenbelastung die Oxidierbarkeit im Zulauf und im Filtrat der Captura-Filter bis zum Nachmittag und Abend leicht ansteigen lässt. Die Aufbereitung des Wassers erwirkt erst in der Nachtphase wieder geringere Messwerte.

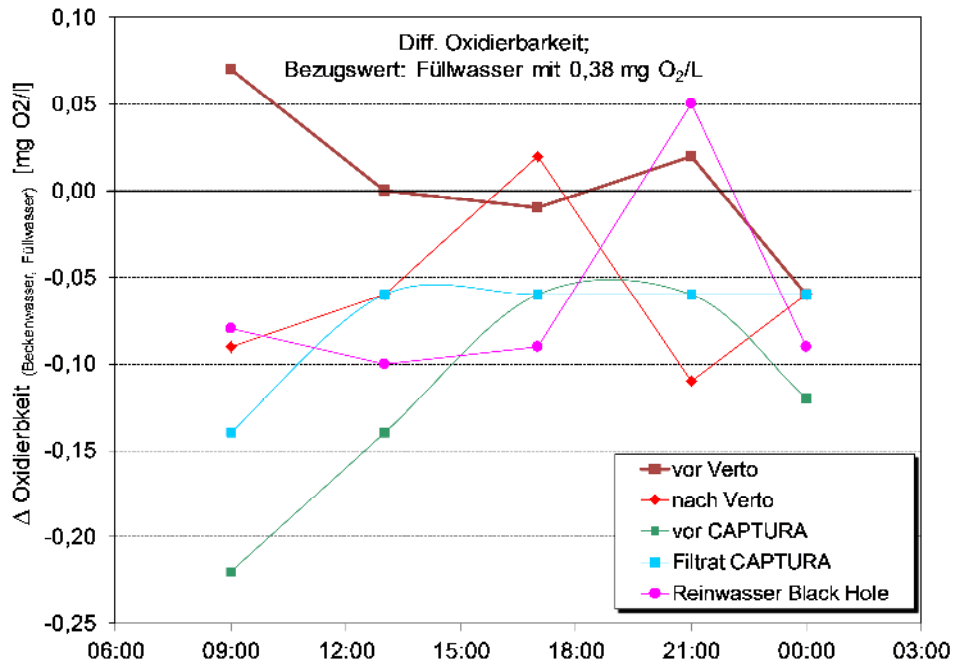


Abbildung 17: Messdaten für den Parameter Oxidierbarkeit als Differenz zum Füllwasser an den Messstellen des Kreislaufs am 28.10.2012 (ohne Siebfilter)

Zu den wasserchemischen Daten der Beckenwässer in Tabelle 4 ist zu bemerken, dass Nitrat selbst als Absolutwert einen Bruchteil des oberen Wertes der Norm entspricht (DIN 19643-1 fordert eine maximale Differenz zum Füllwasser von 30 mg/ NO₃⁻). Die Abnahme der Säurekapazität über den Tag wird durch die hier als Randbedingung eingestellte Unterbindung der Füllwassernachspeisung (mit einer Säurekapazität von 4,04 mmol/L) verursacht und liegt mit dem Startwert (0,85 bzw. 0,87 mmol/L) über dem unteren Wert der DIN 19643-1 von 0,7 mmol/L. Die Bakteriologischen Befunde für die Koloniezahl bei 36°C waren bis auf den Wert für die abends der Steilrutsche SLOOP entnommen Probe ohne Befund. Die Werte für die Koloniezahl bei 20°C waren gänzlich ohne Befund (Tabelle 4).

Tabelle 4: Messdaten Beckenwasserproben vom 28.10.2012 für die Nitratkonzentration, Säurekapazität und die Koloniezahlen bei 20 und 36 °C, jeweils morgens / abends

	<u>Steilrutsche</u>		<u>Black Hole</u>
Nitrat	4,3 / 5,1	mg/L	4,2 / 4,9
Säurekapazität	0,85 / 0,29	mmol/L	0,87 / 0,30
KBE (20 °C)	0 / 0	1/mL	0 / 0
KBE (36 °C)	0 / 2	1/mL	0 / 0

Die analogen Diagramme zeigen Abbildung 19 bis Abbildung 21 für die Messwerte der Wässer am zweiten Versuchstag (04.11.2012) mit eingebauten Sieben im Verto-Filter. An der Mess-

stelle für das Rohwasser („vor Verto“) wurden für die Parameter freies und gebundenes Chlor sowie auch für den pH-Wert etwas konstantere Werte ermittelt. Das freie Chlor wies eine Wertebereich von 0,40 mg Cl_{frei}/L (am Morgen) und 0,46 mg Cl_{frei}/L (am Abend) auf. Das gebundene Chlor stieg in der Mittags- und Nachmittagszeit nur noch auf Werte von bis zu 0,05 mg Cl_{geb}/L an. Der pH-Wert schwankte minimal zwischen pH 7,3 und 7,4 und lag daher nur noch knapp über dem oberen Wert gemäß DIN 196043-1 für Verfahren, bei denen Aluminiumverbindungen als Flockungsmittel eingesetzt werden.

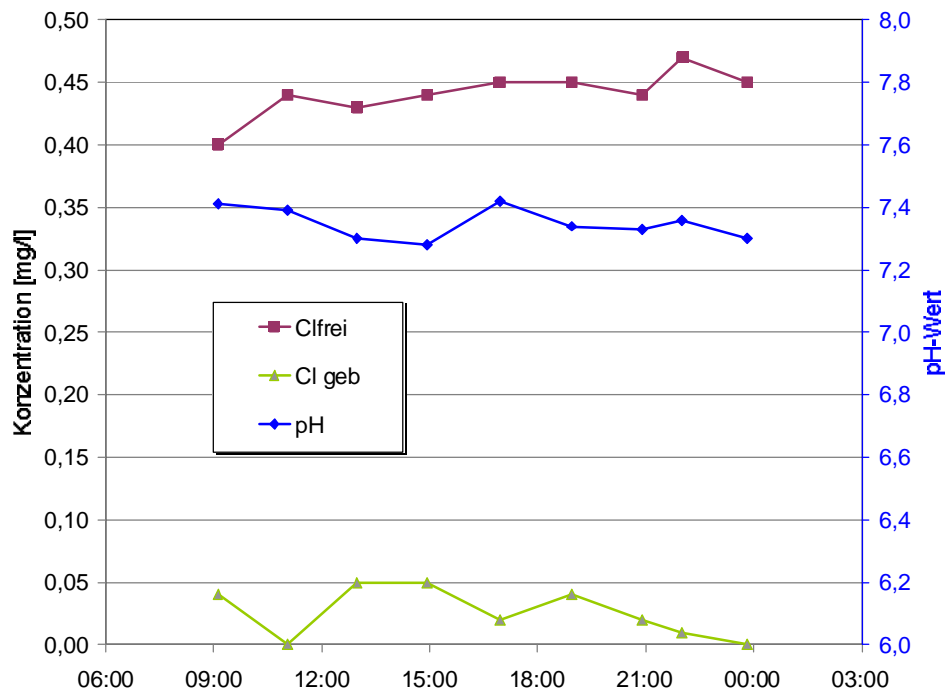


Abbildung 18: Messdaten für die Parameter freies Chlor, gebundenes Chlor und pH an der Messstelle Rohwasser („vor Verto“) am 04.11.2012 (mit Siebfilter)

Die Messdaten für das freie Chlor und die verschiedenen beprobten Messstellen in Abbildung 19 zeigen einen ähnlich engen Wertebereich (0,40 bis 0,50 mg Cl_{frei}/L) wie diejenigen in Abbildung 15 für den Betrieb ohne Verto. Die Messdaten für das Reinwasser folgend hier nicht mehr der Rutschenbelastung. Sie starten am Morgen mit Werten von 0,44 mg Cl_{frei}/L und steigen im Laufe des Tages leicht auf einen Plateauwert um 0,47 mg Cl_{frei}/L .

Nach dem Einsetzen der Nachtabsenkung ergibt sich dann eine leichte Verminderung auf Werte um 0,46 mg Cl_{frei}/L eine sehr zielgenaue und stabile Regelung. Die Messwerte für das Rohwasser („vor Verto“) folgen der Reinwasserkonzentration mit einer nahezu konstanten Differenz von etwa 0,03 bis 0,04 mg Cl_{frei}/L , die sich in der Abendzeit ohne Belastung mehr und mehr zu Null abbaut. Die in der Rutsche und in ihren Becken inklusive Rohwasserspeicher auftretenden Chlorzehrung ist somit deutlich geringer als ohne eine Vorbehandlung per Siebung.

Der Verto bzw. die Durchströmung seiner Siebflächen und deren Beladungsschichten (Filterkuchen) erzeugt auch eine geringe Chlorzehrung von bis zu 0,02 mg Cl_{frei}/L . Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Messwerte eine Abhängigkeit zum zeitlichen Abstand der Letzten Siebspülung aufweisen und daher etwas mehr streuen müssten. Es ist zu erwarten, dass bei der Durchströmung des reinen Siebgewebes (im Nachgang einer Spülung) und der des Siebgewebes mit aufliegendem Filterkuchen unterschiedlich starke Chlorzehrungen auftreten.

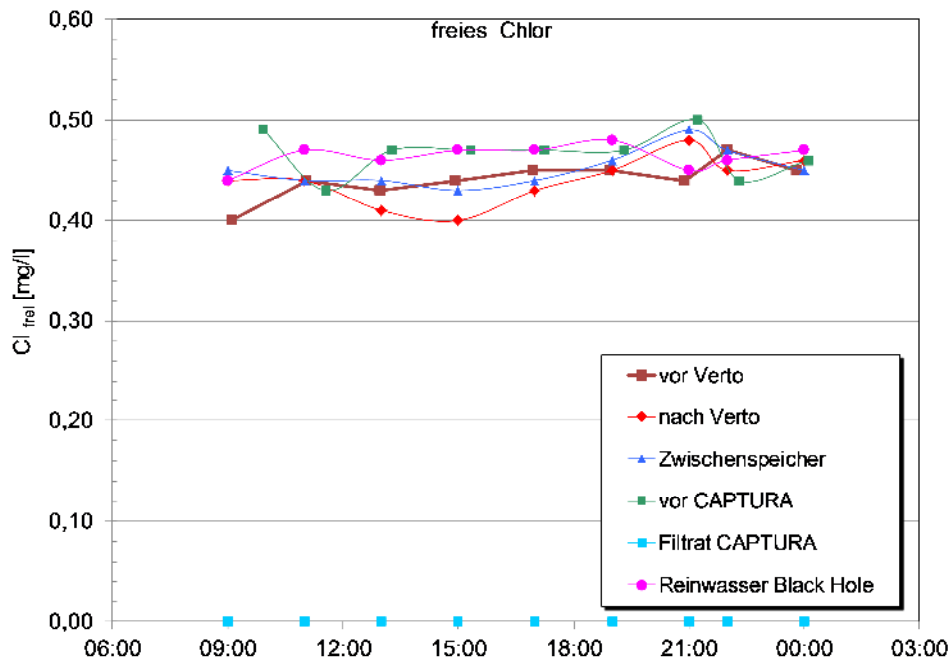


Abbildung 19: Messdaten für den Parameter freies Chlor an den Messstellen des Kreislaufs am 04.11.2012 (mit Siebfilter)

Die zeitlichen Kurvenverläufe für die Messwerte des gebundenen Chlors am 04.11.2012 in Abbildung 20 zeigen sehr viel Ähnlichkeit zu den Daten ohne Siebung vom 28.10.2012. Als nennenswerter Unterschied ist der Maximalwert von 0,11 mg Cl_{geb}/L für das Rohwasser („vor Verto“) zu nennen, der am 28.10.2012 in der Mittagszeit auftrat und der bei einer Aufbereitung mit Siebung am 04.11.2012 nicht aufgetreten ist. Die Differenzen der Messwerte an den Messstellen „vor“ und „nach Verto“ belegen, dass parallel zu der in Abbildung 19 zu erkennenden Chlorzehrung infolge Durchströmung des Siebgewebes mit/ohne Filterkuchen gebundenes Chlor entsteht und die höchsten Messwerte für diesen Parameter innerhalb des Kreislaufs somit hinter dem Verto aufgetreten sind.

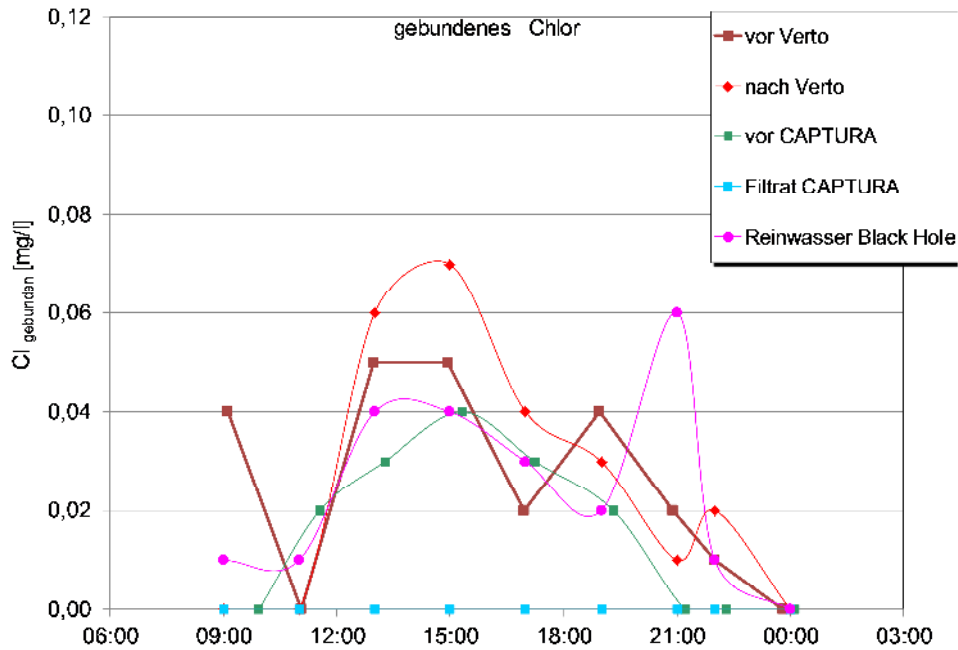


Abbildung 20: Messdaten für den Parameter gebundenes Chlor an den Messstellen des Kreislaufs am 04.11.2012 (mit Siebfilter)

Bei der Oxidierbarkeit (siehe Messkurvenverläufe der Abbildung 20) wurde ein engerer Wertebereich für die Messdaten ermittelt. Die Maximale Differenz zum Füllwasser betrug 0,20 mg O₂/L, obwohl die Werte beim der Öffnung der ersten Rutsche am Morgen weniger günstig waren als am 28.10.2012.

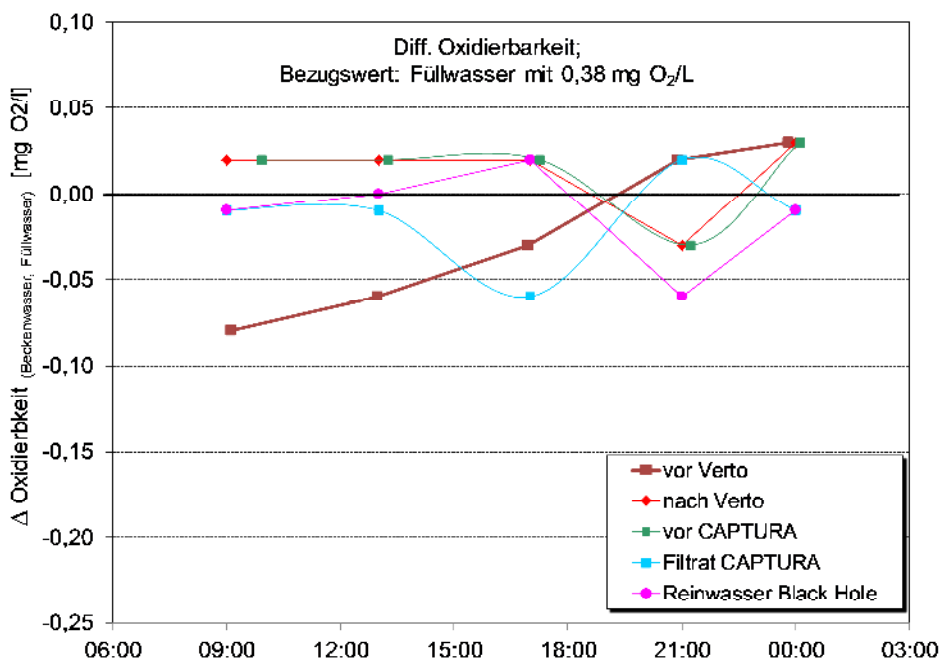


Abbildung 21: Messdaten für den Parameter Differenz der Oxidierbarkeit gegenüber Füllwasser an der Messstelle Beckenwasser am 04.11.2012 (mit Siebfilter)

Die übrigen wasserchemischen Messdaten der Beckenwässer am 04.11.2012 in Tabelle 5 weisen ebenso unauffällige Nitratkonzentrationen (Füllwasserkonzentration von 6 mg NO₃⁻/L) aus wie bei der Messkampagne ohne Siebung. Die Säurekapazität in den Beckenwässern startete am 04.11.2012 morgens mit einem deutlich geringeren und somit ungünstigeren Wert von nur 0,49 bzw. 0,50 mmol/L (gegenüber 0,85 bzw. 0,87 am 28.10.2012) und nimmt im Verlauf des Tages somit auch auf etwas geringere Werte von 0,30 bzw. 0,31 mmol/L am Abend ab.

Tabelle 5: Messdaten Beckenwasserproben vom 04.11.2012 für die Nitratkonzentration, Säurekapazität und die Koloniezahlen bei 20 und 36 °C, jeweils morgens / abends

	<u>Steilrutsche</u>		<u>Black Hole</u>
Nitrat	6,7 / 5,8	mg/L	7,4 / 6,3
Säurekapazität	0,5 / 0,3	mmol/L	0,49 / 0,31
KBE (20 °C)	6 / 10	1/mL	0 / 4
KBE (36 °C)	0 / 0	1/mL	0 / 0

Die Bakteriologischen Befunde für die Koloniezahl bei 36°C waren in beiden Rutschenlandebcken waren konsequent ohne Befund. Koloniezahl bei 20°C waren morgens in dem Becken der Steilrutsche SLOOP und abends in beiden Becken leicht nachweisbar (Tabelle 5).

Die anlässlich beider Messtage ermittelten Redoxspannungen im Reinwasser wurden in Abbildung 22 gemeinsam über der Uhrzeit der Messung aufgetragen. Während beide Kurven im späten Nachmittagsverlauf ein analoges Verhalten mit einer steigenden Redoxspannung im Nachgang der hohen Mittagsbelastung der Rutschen aufweisen, ist der Vormittagsverlauf sehr unterschiedlich. Anlässlich der ersten Messkampagne ohne Verto bzw. ohne Siebung starten die Messdaten mit einer Redoxspannung von 794 mV und somit im Vergleich zu den übrigen Daten mit einem relativ kleinen Wert. Danach steigen sie aber konsequent auf Werte bis zu 821 mV an. Während der zweiten Messkampagne sinkt hingegen die Redoxspannung von einem relativ hohen Wert (817 mV) auf 801 mV am Nachmittag und erholt sich dann am Abend mit Werten um 816 mV fast wieder vollständig.

Ursächlich für das unterschiedlicher Verhalten könnte der am frühen Morgen des 28.10.2012 aufgetretene relativ hohe und erst im Laufe der Vormittags kontinuierlich sinkende pH-Wert des Wassers sein. Ein hoher pH-Wert verschiebt das Dissoziationsgleichgewicht zwischen Hypochloriger Säure und dem Hypochlorit-Ion in die Richtung geringerer Anteile der Säureform, was die Redoxspannung herabsetzt. Dieser Mechanismus überlagert die Beeinflus-

sung der Redoxspannung im Zuge der zunehmenden Belastung der Rutschen am Vormittag, die sich anhand der Daten vom 04.11.2012 klar abzeichnet. Die nach DIN 19643-1 für Süßwasser und einem pH-Wert zwischen pH 7,3 und 7,5 festgelegte Mindest-Redox-Spannung von 770 mV wurde jedoch jederzeit klar überschritten.

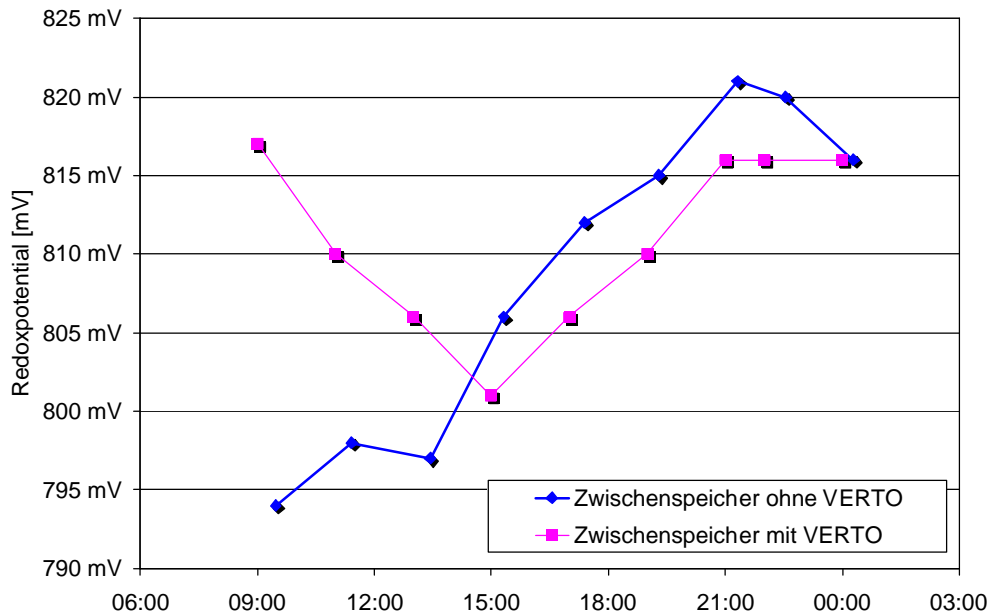


Abbildung 22: Vergleich der Messdaten des Parameters Redoxpotenzial bzw. Redoxspannung an der Messstelle Zwischenspeicher vom 28.10.2012 („ohne Verto“) mit denen vom 04.11.2012 („mit Verto“)

4.3 Messdaten der Partikelzählung

4.3.1 Messdaten der Partikelzählung ohne Siebfiltration

Die Partikelmessdaten wurden an beiden Messtagen in einer zeitlichen Abfolge gemäß der Schaltsequenzen der Ventile für die einzelnen Probenahmestellen aufgezeichnet. Aus den Messdatenpeaks der Abbildung 23 werden bereits sowohl der mit der Rutschenbelastung einhergehende Konzentrationsanstieg und -abfall als auch die unterschiedlichen Niveaus für die Partikelanzahlkonzentration an den verschiedenen Messstellen am Messtag 28.10.2012 ohne eine vorgeschaltete Siebfiltration deutlich. Aus diesen Sequenzen wurden die den einzelnen Probenahmestellen zuzuordnenden Messdaten herausgefiltert, die Partikelgrößenbereiche etwas zusammengefasst (zu den drei Fraktionen 1 bis 5 μm , 5 bis 10 μm und 10 bis 100 μm) und diese in Abbildung 24 bis Abbildung 26 über der Zeit aufgetragen. Die Grenze von 10 μm wurde gewählt, weil sie der Maschenweite der am zweiten Messtag eingebauten Siebtrommel entspricht. Die nächst kleinere Fraktion wurde unter 5 μm gewählt, weil zwischen 1 bis 5 μm viele hygienisch relevante Mikroorganismen wie Cryptosporidien-Oozysten (ein parasitisches Protozoon) oder Bakterien liegen. Die Wasserqualität der Messstelle „vor Verto“ und

„nach Verto“ sollte sich infolge der ausgebauten Siebfläche im Verto erwartungsgemäß nicht stark unterscheiden.

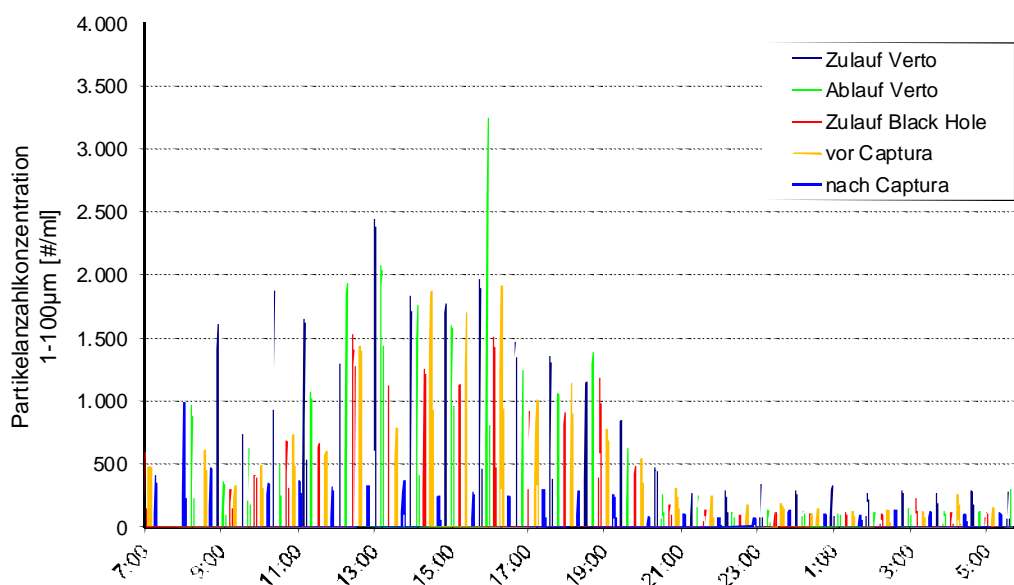


Abbildung 23: Partikelanzahlkonzentration im Größenspektrum 1 bis 100 µm vom 28.10.2012 in der zeitlichen Schaltsequenz, mit welcher der Partikelanalysator mit Probenwasser einzelner Messstellen beschickt wurde (ohne Verto)

Die Partikelanzahlkonzentration $c(x)$ wässriger Systeme, seien sie natürlichen oder großtechnischen Ursprungs, folgt in der Regel dem Partikeläquivalentdurchmesser x in einem Potenzgesetz $c(x) \sim x^{-p}$ mit einem anzupassenden Parameter $p > 0$. Das bedeutet mit abnehmender Partikelgröße einen zunehmend steilen Anstieg der Partikelanzahlkonzentration. Das ist der Grund dafür, weshalb in dem in Abbildung 24 betrachteten Bereich zwischen 10 und 100 µm für die größten Partikel trotz des sehr breit gewählten Größenintervalls von 90 µm die darin gemessene Partikelanzahlkonzentration vergleichsweise gering ausfällt.

Mit einem Messwert von einzelnen Partikeln je Milliliter am Morgen startend, werden um die Mittagszeit im Rohwasser (vor Verto und nach Verto, da kein Sieb eingebaut war) Werte von bis zu 76 Partikel/mL erreicht, um gegen Abend wieder auf das Startniveau abzuklingen. Im Filtrat der Captura-Filter tritt eine solche Ganglinie allerdings nicht auf. Die Filter erzeugen unabhängig von der Rutschenbelastung bzw. dem Partikelanstieg im Filterzulauf („vor Captura“) ein Filtrat mit nur einzelnen Partikeln je Milliliter. Die Konzentrationen des aus dem Zwischenspeicher entnommenen Filterzulaufs sowie auch des von dort zu den Rutschen („BLACK HOLE“) gepumpte Reinwassers tritt als Mischwasserqualität der Wässer „nach Verto“ und des „Filtrat Captura“ auf (mit einem Rohwasseranteil von knapp 60 %). Ein Anteil der Partikel wird daher direkt über die Rutschen ins Rohwasser zurückgeführt.

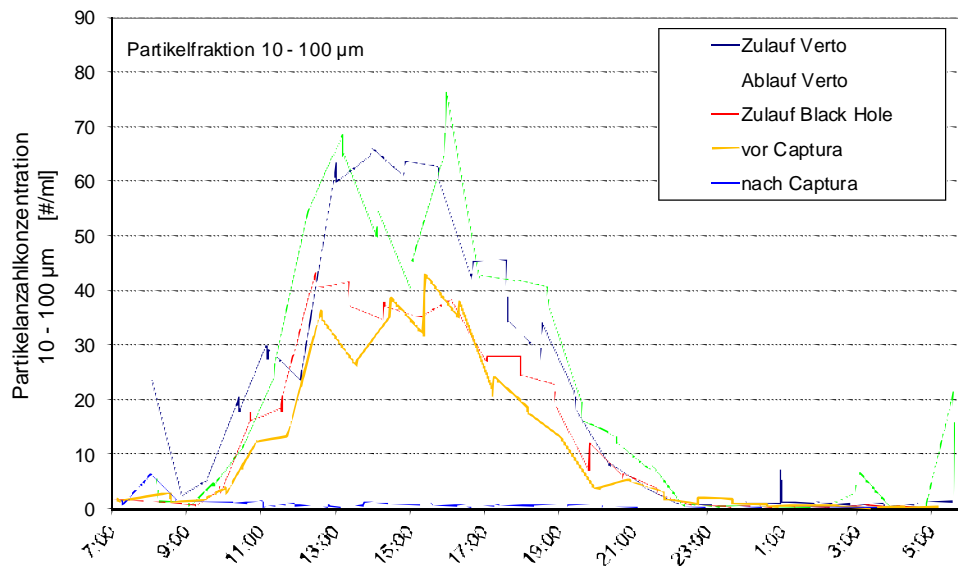


Abbildung 24: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich (10 bis 100 µm) an den einzelnen Messstellen am 28.10.2012 (ohne Verto)

Obwohl der sich darunter anschließende Bereich in Abbildung 25 zwischen 5 und 10 µm nur eine Breite von 10 µm aufweist, wurde darin - von etwa 10 Partikeln je Milliliter in allen Wässern am Morgen startend - ein deutlich stärkerer Anstieg auf Werte von über 80/mL im Rohwasser („Zu- / Ablauf Verto“) gemessen. Zwar ist auch für diesen Größenbereich eine Zunahme des Messwerts im Filtrat im Laufe des Messtages nahezu nicht nachweisbar, doch klingt die Konzentration am Abend (um 4/mL) gemeinsam mit der Verringerung der Konzentrationen im Zulauf leicht auf Werte um 3/mL ab. Die Filter halten also auch Partikel dieser Größe konsequent auf einem Niveau von wenigen Partikeln je Milliliter. Im Speicherbehälter tritt die Mischung von Rohwasser- und Filtratqualität mit einem Rohwasseranteil von gut 60 % auf.

Deutlich höhere Messwerte, die in Abbildung 26 aufgetragen sind, wurden für die Partikelanzahlkonzentration im kleinsten Größenbereich (1 bis 5 µm) ermittelt. Schon vor dem Eintreffen der ersten Rutschenbesucher liegt die Partikelanzahl im Rohwasser bei 9045/mL. Diese Werte steigen bis zur Mittagszeit auf etwa 2.300/mL. Mit der Verringerung der Nutzungsfrequenz der Rutschen sinkt die Partikelzahl dann auf ein Plateau von etwa 250/mL ab und damit deutlich unter den Startwert an diesem Messtag. Es ist nicht klar zu erkennen, ob in diesem Größenbereich die Partikelkonzentration im Filtrat der Captura-Filter derjenigen im Zulauf folgt, da morgens bereits relativ hohe Messwerte von etwa 390/mL vorliegen, die bis 19:00 Uhr leicht auf 240/mL abnehmen, um mit dem Ausklingen der Rutschenbelastung und dem Einsetzen einer geringeren Filtergeschwindigkeit im Zuge der Nachtabsenkung ein Niveau von 80/mL zu erreichen und zu halten.

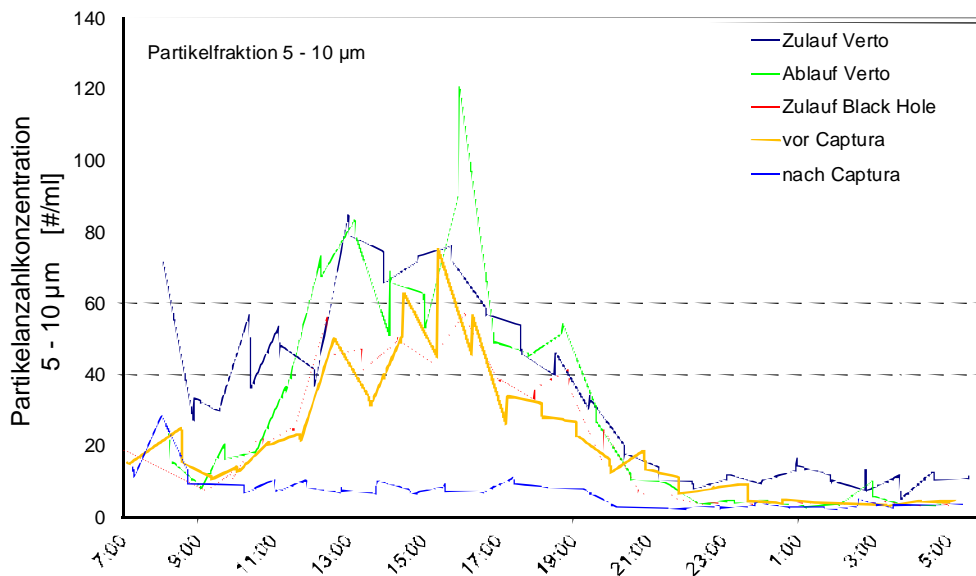


Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich (5 bis 10 µm) an den einzelnen Messstellen am 28.10.2012 (ohne Verto)

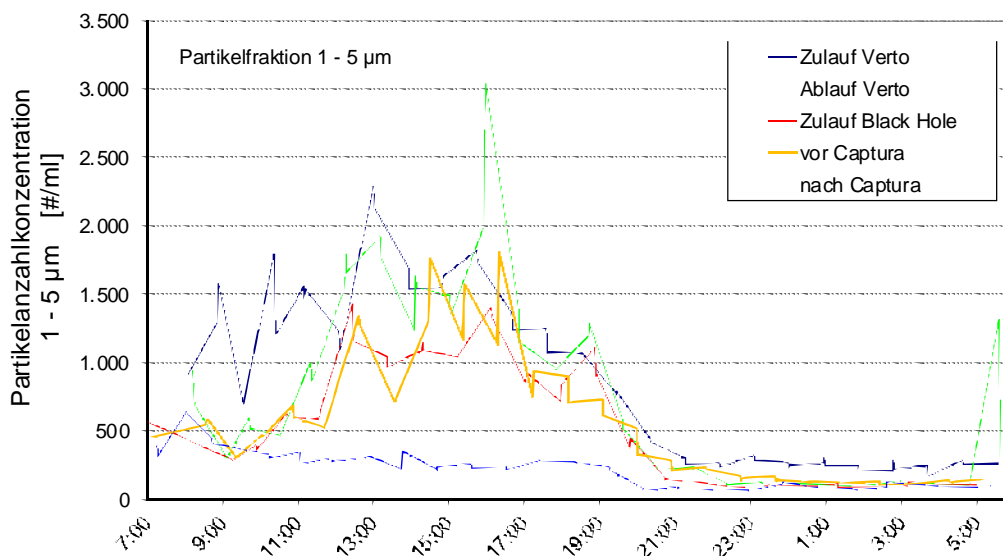


Abbildung 26: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich (1 bis 5 µm) an den einzelnen Messstellen am 28.10.2012 (ohne Verto)

Tiefenfilter haben generell Effektivitätsprobleme bei der Abscheidung von kleinen Partikeln, und zwar umso mehr, je dichter sie an eine Partikelgröße von etwa 1 µm heranreichen. Keiner der verschiedenen bei der Partikelabscheidung wirkenden Mechanismen kann in diesem Größenbereich seine Stärke zur Geltung bringen [Gimb1984, Gimb2004]. Daher ist dieses Verhalten als grundsätzliche Schwäche der Tiefenfiltration bekannt. Wie günstig sich das Absenken der Filtergeschwindigkeit ab 19:00 auf eine Filtrationswirkung auswirkt, kann nicht

verlässlich abgeleitet werden, da sich dieser Effekt mit der abklingenden Besucherzahl für die Rutschen und somit einem geringeren Partikeleintrag in das Rohwasser überlagert.

4.3.2 Messdaten der Partikelzählung mit Siebfiltration

Der nachfolgend gewählte Satz an Diagrammen in Abbildung 27 bis Abbildung 30 wurde analog zu denen im vorigen Kapitel gewählt. Vor dem Hintergrund einer insgesamt um nur 13 % geringeren Rutschenbelastung bzw. -besucherfrequenz können die Daten der korrespondierenden Diagramme direkt verglichen werden. Allerdings war die Besucherfrequenz in der Spitze, d. h. um die Mittagszeit, etwa vergleichbar hoch.

Aus Abbildung 27 werden die Messdaten in der zeitlichen Sequenz ihrer Ermittlung dargestellt. Im Vergleich zu den ohne Siebfiltration aufgezeichneten Messdaten in Abbildung 23 werden unmittelbar die deutlich geringeren Niveaus für die Partikelkonzentration an den einzelnen Messstellen sichtbar. Die Spitzenwerte an den Messstellen „Zulauf Verto“ und „Ablauf Verto“ erreichen Partikelkonzentrationen von etwa 1.500/mL.

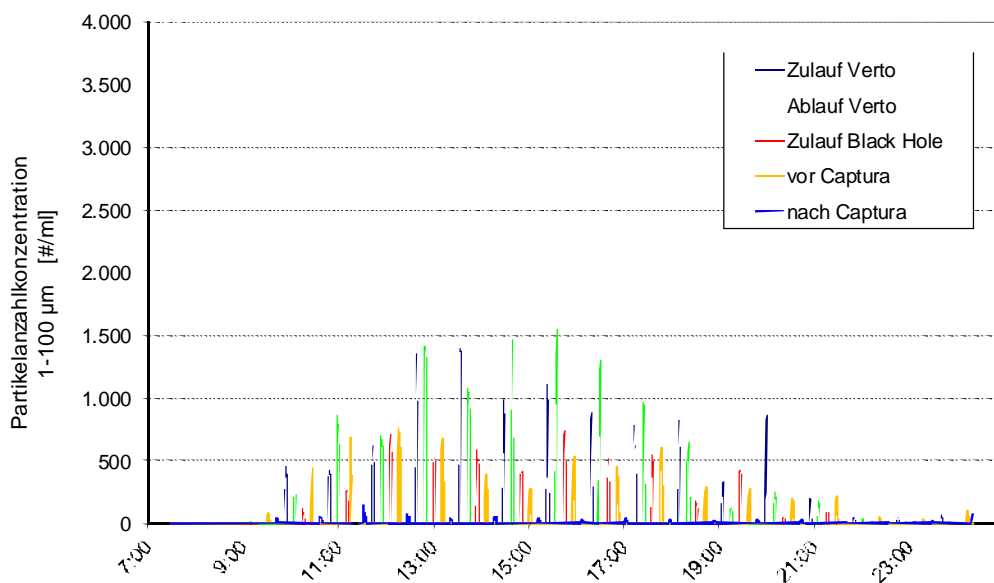


Abbildung 27: Partikelanzahlkonzentration im Größenspektrum 1 bis 100 µm vom 04.11.2012 in der zeitlichen Schaltsequenz, mit welcher der Partikelanalysator mit Probenwasser einzelner Messstellen beschickt wurde (mit Verto)

Die Partikelkonzentration im Größenbereich 10 bis 100 µm, die Abbildung 28 zeigt, steigt im Rohwasser („vor Verto“) von Werten unter einem Partikel je Milliliter auf Werte bis 30/mL an. Die Partikelanzahlkonzentrationen an allen übrigen Messstellen folgen diesem Anstieg kaum, sondern liegen relativ einheitlich im Maximum bei etwa 2/mL. Im Filtrat der Captura-Filter sind diese Partikel (in Bezug auf das einheitlich vermessene Probevolumen von 60 mL)

kaum noch nachweisbar. Mit einer Maschenweite von 10 µm kann die Siebfiltration gegenüber Partikeln dieser Größe eine fast vollständige Abscheidung erwirken. Da trotz der guten Abscheidung dieser großen Partikel in den Captura-Filtern des Kreislaufs ohne eine vorgeschaltete Siebfiltration stets ein bestimmter Anteil der Partikel aus dem Zwischenbehälter zu den Rutschen zurück geführt wird und somit die Becken- und Rohwasserqualität unmittelbar negativ beeinflusst, wirkt sich die Siebfiltration direkt auf die Verbesserung der Becken- und Rohwasserqualität aus. Hier treten Spitzenwerte im Konzentrationsbereich von 20 bis 30/mL auf. Die Werte im Aufbereitungsbetrieb ohne die Siebfiltration lagen auf einem etwa doppelt so hohen Niveau.

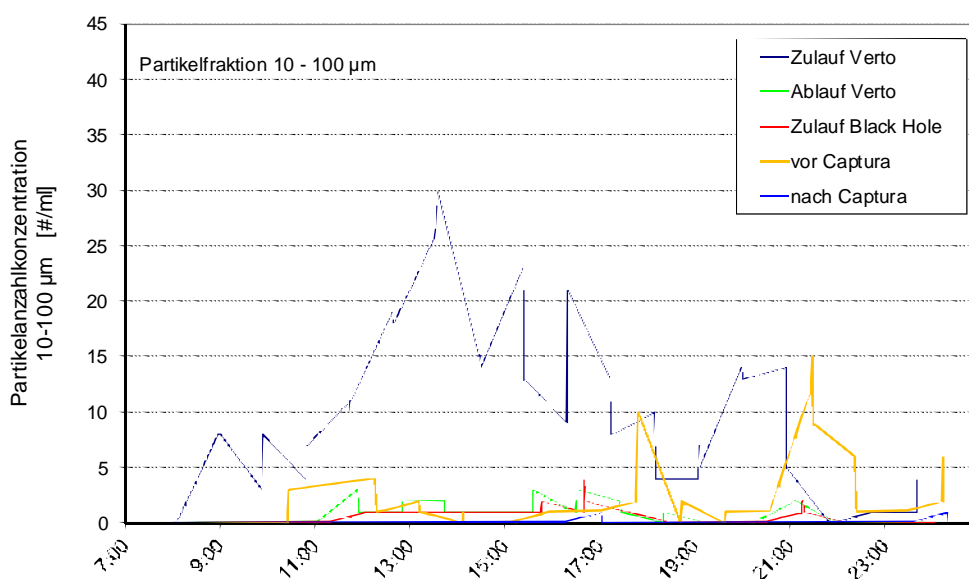


Abbildung 28: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich 10 bis 100 µm an den einzelnen Messstellen am 04.11.2012 (mit Verto)

In dem nächst kleineren Größenbereich von 5 bis 10 µm, dessen Messwerte in Abbildung 29 aufgetragen sind, findet durch die Siebfiltration ebenfalls noch eine Konzentrationsverminderung statt, wie die Differenz der Konzentrationen an den Messstellen „vor Verto“ und „nach Verto“ belegen. Allerdings tritt ein geringerer Abscheidegrad auf (der im nachfolgenden Kapitel genau spezifiziert wird), da die Partikel kleiner sind als die Siebmaschenweite und daher bei der Durchströmung des sich auf dem Sieb ausbildenden Filterkuchens zurück gehalten werden. Nach jeder der im 2-stündigen Turnus automatisch erfolgenden Siebspülung muss allerdings jeweils wieder eine Mindestschicht eines solchen Filterkuchens aufgebaut werden, um einen Rückhalt gegenüber kleineren Partikeln erzeugen zu können, wodurch ein zeitlich fluktuierender Abscheidegrad entsteht.

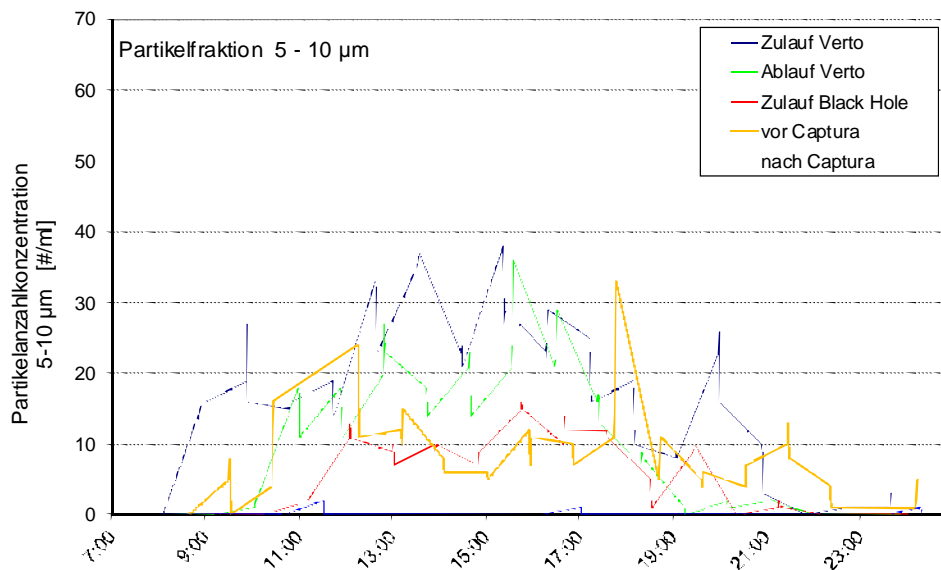


Abbildung 29: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich 5 bis 10 µm an den einzelnen Messstellen am 04.11.2012 (mit Verto)

Am 04.11.2012 wurden im Rohwasser Maximalkonzentrationen im Bereich 5 bis 10 µm von nur 38/mL ermittelt; ohne Siebfiltration (siehe Messdaten der Abbildung 25) wurden hingegen Werte von über 80/mL und somit die doppelte Konzentration erreicht. Im Filtrat der Captura-Filter lag die Konzentration mit einzelnen Partikeln pro Milliliter nur selten über der Nachweisgrenze. Es besteht die grundsätzliche Erwartung, dass sich an der Abscheideleistung der Tiefenfiltration zumindest anfänglich, d. h. in einem Zustand mit geringer Partikelbelastung, kaum gegenüber dem ersten Messtag ohne Siebung (28.10.2012) verändert. Das Filtrat profitiert einfach nur von dem geringeren Niveau für die Partikelanzahlkonzentration um Zulauf der Captura-Filter. Die an den Abgängen des Zwischenbehälters zu den Captura-Filtern und zu den Rutschen gemessenen Werte liegen aufgrund der Mischeffekte wiederum in Mittelfeld (im Maximum 10/mL) zwischen Ablauf Verto und Ablauf Captura.

Im kleinsten Kanal tritt das zu erwartende Phänomen auf, dass nicht nur eine nahezu vollständige Partikelpassage auftritt, sondern der das Filtrat des Verto („nach Verto“) zeitweise eine höhere Anzahlkonzentration aufweist als dessen Zulauf („vor Verto“). Im Rohwasser („vor Verto“) treten Spitzenwerte zwischen 1.000 und gut 1.300/mL auf, während an der Messstelle „nach Verto“ Konzentrationen von bis zu 1.526/mL ermittelt wurden. Die Differenz der Messwerte beider Messstellen erreicht Maxima von bis zu 500/mL. Ursächlich ist ein Auseinanderbrechen von größeren Partikeln oder Agglomeraten infolge der Scherbeanspruchung durch die Wasserströmung sowohl bei der Siebung als auch bei der periodischen Siebreinigung. Dennoch liegt die Ablaufkonzentration mit einem Unterschied von maximal 500/mL weit unter derjenigen des Rohwassers ohne Siebfiltration (vergl. Abbildung 26).

Die Qualität der Captura-Filtrate startet am Morgen mit einer Partikelanzahlkonzentration von gut 30/mL, durchläuft in der Mittagszeit ein Maximum von etwa 50 bis 80/mL und klingt in der Nacht auf ein Niveau zwischen 13 und 21/mL ab. Ohne die Siebfiltration wurde in dem Zeitraum mit maximaler Besucherfrequenz für die Rutschen Werte von über 200/mL gemessen.

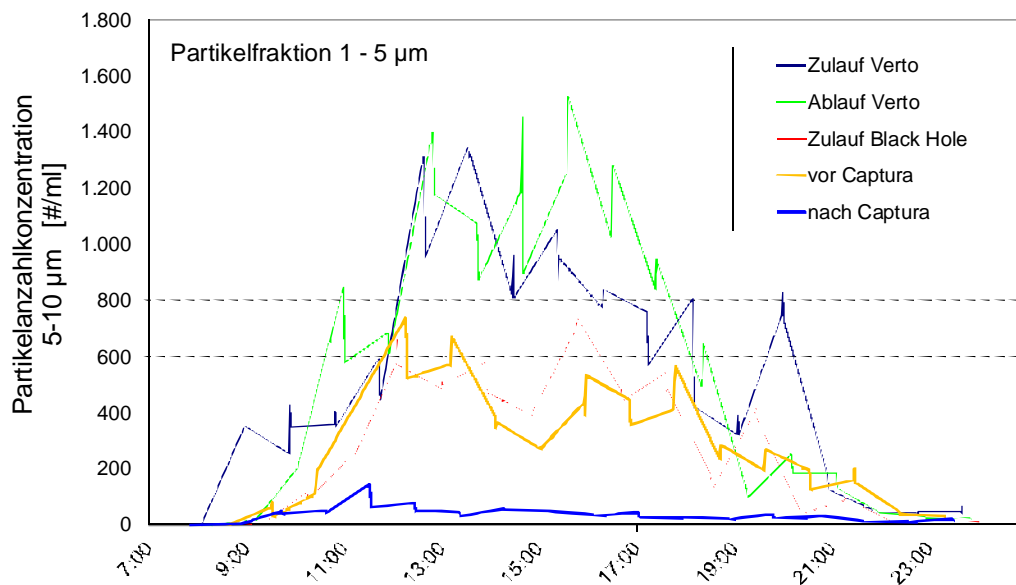


Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen im Größenbereich 1 bis 5 µm an den einzelnen Messstellen am 04.11.2012 (mit Verto)

Während bislang die eher hygienisch relevanten und direkt gemessenen Partikelanzahlkonzentrationen diskutiert wurden, soll im nachfolgenden Kapitel die Auswirkung der Siebfiltration auf die Partikelfracht bzw. das Partikelvolumen erörtert werden. Dazu wurden die in Kapitel 3.3 vorgestellten Umrechnungen vorgenommen.

Die beiden nachfolgenden Diagramme der Abbildung 31 und Abbildung 32 für die Messdaten des Rohwassers („vor Verto“) dienen dem Zweck, die sich umkehrenden Konzentrationsverhältnisse zwischen den Größenfraktionen zu verdeutlichen, wenn man bei der Betrachtungsweise den Schritt von der Partikelanzahl hin zum Partikelvolumen vollzieht.

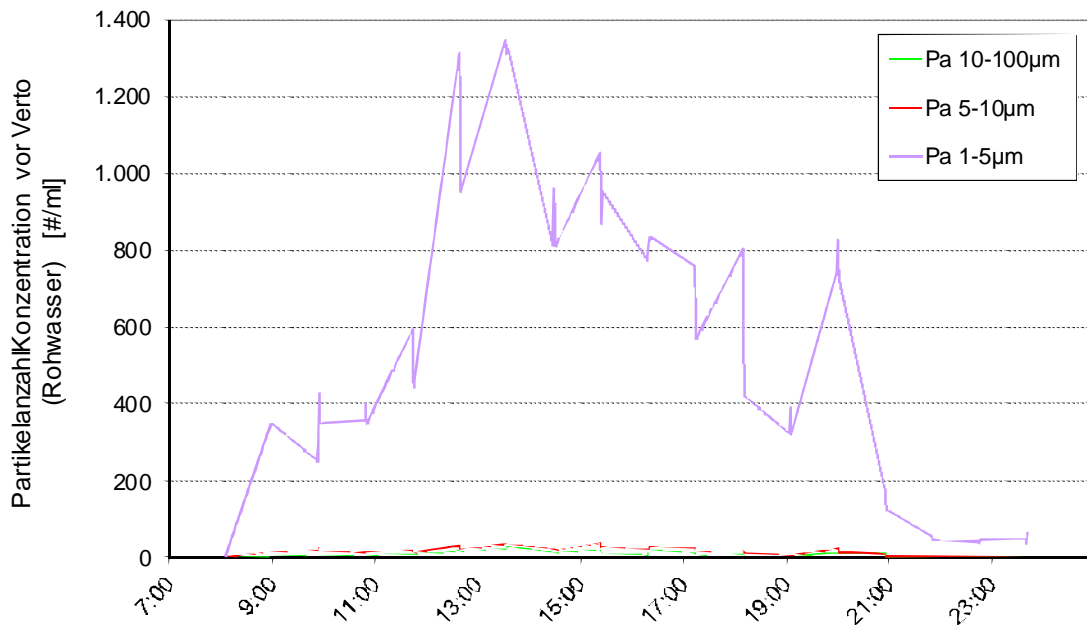


Abbildung 31: Zeitlicher Verlauf der Partikelanzahlkonzentrationen in drei Größenbereich an der Messstelle „vor Verto“ (Rohwasser) am 04.11.2012 (mit Siebfiltration)

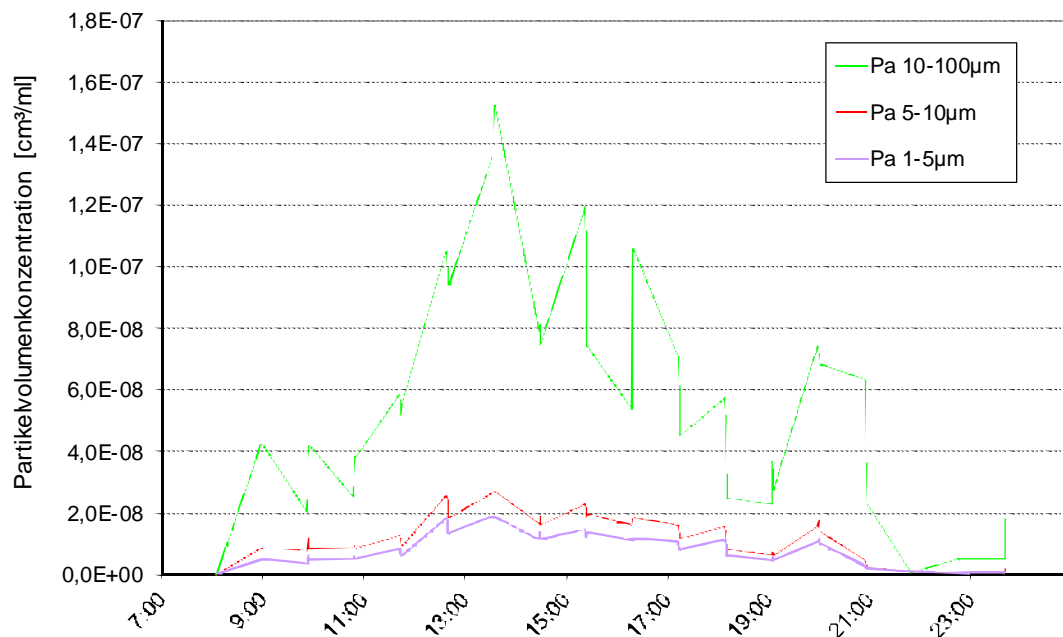


Abbildung 32: Zeitlicher Verlauf der Partikelvolumenkonzentrationen in drei Größenbereich an der Messstelle „vor Verto“ (Rohwasser) am 04.11.2012 (mit Siebfiltration)

Zur Berechnung der Daten für die Partikelvolumenkonzentration in Abbildung 32 wurde den Partikeln eine ideale Kugelform unterstellt, was natürlich nicht der Realität entspricht. Der hierdurch auftretende Fehler (durch die Vernachlässigung eines Formfaktors (nähere Erläuterung in Kapitel 3.3), mit dem sich die Abweichung von der Kugelform beschreiben ließe)

schlägt sich aber nur in der falschen Bemaßung und Skalierung der y-Achse nieder. Die relative Lage der einzelnen Kurven zueinander in dem Diagramm der Abbildung 32 bleibt davon aber vollkommen unbeeinflusst. Als mittlere Partikelgröße im Größenbereich 10 bis 100 μm wurde nicht der übliche der Bereichsmittelwert (45 μm) angesetzt, sondern eine der Realität entsprechende Größe von 20 μm .

Betrachtet man daher nur die relative Lage der drei Kurven in Abbildung 31 zueinander und vergleicht sie mit den Verhältnissen derjenigen in Abbildung 32, so ist festzustellen, dass sich die Relationen vollständig umkehren: Wies bei der Betrachtung der Partikelanzahl noch die kleinste Größenfraktion die Maximalwerte und die größte Partikelfraktion die Minimalwerte auf, so verhält es sich mit den Partikelvolumina exakt umgekehrt. Da sich das Partikelvolumen – unabhängig von der Partikelform – proportional zur dritten Potenz des Partikeldurchmessers verhält, erfahren die wenigen großen Partikel bei der vorgenommenen Umrechnung eine erheblich stärkere Gewichtung hinsichtlich ihres Anteils an der Gesamtheit, also dem Gesamtvolumen.

Stellt man die mit dem erwähnten Fehler (d. h. fehlender Formfaktor) behafteten Partikelvolumina einer Größenfraktion in Relation zum einem mit dem gleichen Fehler behafteten Partikelgesamtvolumen dar, wie in Abbildung 33, kürzt sich der Fehler vollständig heraus (siehe Erläuterung in Kapitel 3.3). Erstaunlich ist, dass diese Volumenverhältnisse über den gesamten Messtag mit Siebfiltration einer recht deutlichen Konstanz unterliegen, wenn man hierbei den Datensatzes um etwa 21:45 Uhr ausklammert. Die prozentualen Anteile zeigen sich unabhängig vom Messzeitpunkt bzw. von den Veränderungen der absoluten Konzentrationen infolge ansteigender oder abfallender Besucherfrequenz der Rutschen. Das war vor dem Hintergrund der beobachteten Zerkleinerungseffekte bei größeren Partikeln in Abhängigkeit der Filterkuchenbildung und der Siebspülung nicht zu erwarten.

Die wenigen großen Partikel (10 bis 100 μm) stellen etwa 70 % des gesamten Partikelvolumens, die mittelgroßen Partikel (5 bis 10 μm) zwischen ca. 15 und 20 % und die Vielzahl der kleinen Partikel (1 bis 5 μm) nur grob 10 bis 15 %.

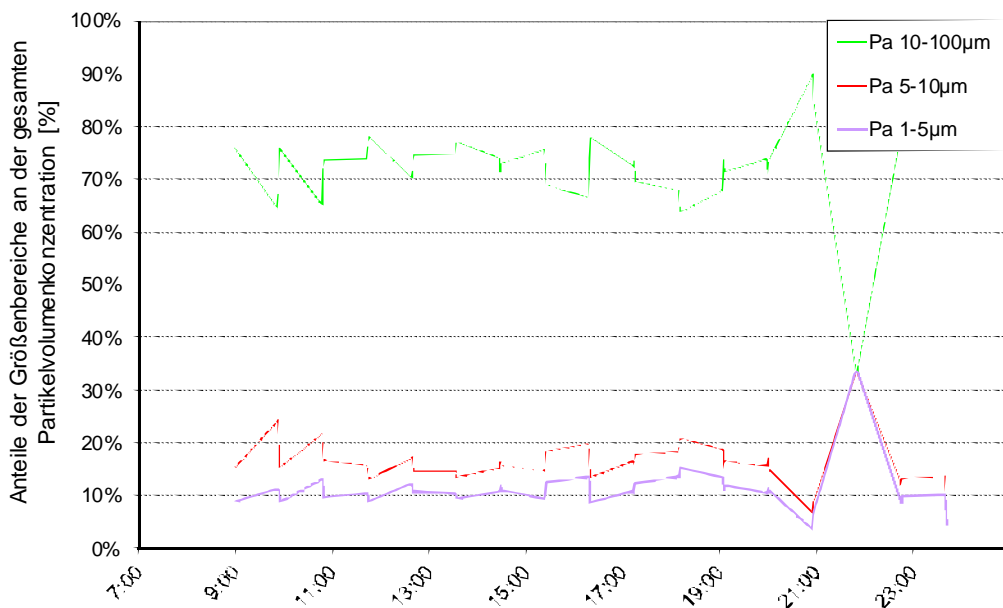


Abbildung 33: Zeitlicher Verlauf der Anteile der Partikelvolumenkonzentrationen in einzelnen Größenbereichen am Gesamtvolumen an der Messstelle „vor Verto“ (Rohwasser) am 04.11.2012 (mit Siebfiltration)

4.4 Ergebnisse der Partikelzählraten

Aus den Zu- und Ablaufdaten des Verto lassen sich die von der Siebung erzielten Abscheidegrade berechnen, die u. a. im Fokus der Untersuchungen zur Wirksamkeit des Verfahrens stehen. Berechnet man die Abscheidegrade für Partikel einer konkreten Größe, so sind sie unabhängig von der jeweils betrachteten Mengenart: Bei einem Rückhalt von bspw. 80 % der Anzahlkonzentration von Partikeln mit einem Äquivalentdurchmesser von 15 µm werden auch 80 % ihrer Volumenkonzentration abgeschieden. Aber berechnet man aus diesen Abscheidegraden für die einzelnen Partikelgrößen einen Gesamtabseidegrad für alle im Wasser erfassten Partikel, gilt diese Übertragbarkeit nicht mehr. Da die Einzelergebnisse für den Abscheidegrad mit einem jeweils anderen Anteil in das Gesamtergebnis eingehen, erfahren sie je nach Mengenart eine gänzlich andere Gewichtung.

In Abbildung 34 wurden die für die Partikelvolumina der einzelnen Größenbereiche berechneten Abscheidegrade über der Messzeit aufgetragen, wobei deren stärkere Streuung ins Auge fällt. Für die Fraktion der großen Partikel (10 bis 100 µm) ergibt sich ein Wertebereich zwischen etwa 60 bis 80 % (mit Extremwerten von 40 und 100 %). Die höheren Abscheidegrade treten am Morgen und am Abend des Messtags bei geringer Besucherfrequenz auf. Für die mittelgroßen Partikel (5 bis 10 µm) fallen die Werte für die Abscheidegrade in Zeiten eher geringer Besucherfrequenz positiv (Abscheidung bis zu 60 % oder sogar 100 %), bei hoher Besucherfrequenz überwiegend negativ aus (bis zu -60 %, was bedeutet, dass das

Partikelvolumen im Filtrat vereinzelt um 60 % über dem Zulauf des Verto liegt). Einen nahezu analogen Kurvenverlauf, der nur etwa 2-%-Punkte unter derjenigen der mittleren Größenfraktion liegt erhält man auch für die Fraktion der kleinsten Partikel (1 bis 5 μm). Die Extrema im positiven Bereich fallen allerdings mit Werten bis etwa 70 % kleiner aus.

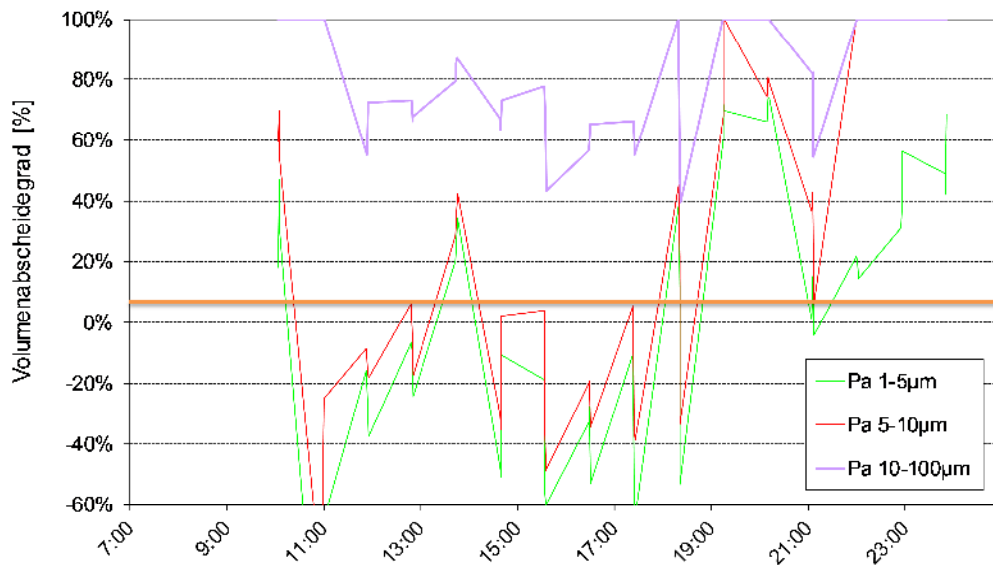


Abbildung 34: Zeitlicher Verlauf der von der Siebfiltration erzielten Abscheidegrade für das Partikelvolumen in den einzelnen Partikelgrößenbereichen 1 bis 5 μm , 5 bis 10 μm und 10 bis 100 μm am 04.11.2012

Es ist zu vermuten, dass es infolge der zeitlich konstanten Steuerung der Siebreinigung (Spülung alle 2 h bzw. Spülfrequenz von 0,5/h) mit Anwachsen der Besucherfrequenz und dem damit einhergehenden vermehrten Partikeleintrag ins Wasser zu einer größeren Höhe des sich ausbildenden Filterkuchens kommt. Die größere Höhe verringert aber (auch ohne Kompressionseffekte) die Permeabilität des Filterkuchens. Bei einem Filterbetrieb mit konstantem Volumenstrom wird der dazu notwendige höhere Differenzdruck (gemessen über Sieb inklusive aufliegendem Filterkuchen) mittels Anstieg der Aufstauhöhe des Wassers in der Siebtrommel erzeugt. Der auf den Filterkuchen einwirkende höhere Differenzdruck versucht dann vermehrt Partikelbruch.

Fasst man nun die Abscheidegrade einzelner Größenfraktionen gemäß ihrer Volumenanteile zusammen, erhält man den zeitliche Verlauf für den Abscheidegrad des gesamten gemessenen Partikelvolumens im Zulauf des Verto, den die Abbildung 35 zeigt. Die zusätzlich eingetragene Ausgleichskurve verdeutlicht auch hier, dass die maximalen Abscheidegrade im Laufe des Vormittags (ca. 80 bis 90 %) oder gegen Abend (etwa 90 bis 100 %) erreicht werden, wenn sich die Besucherzahl noch auf einem vergleichsweise geringen Niveau befindet. Minimalwerte um 40 % treten um die Mittagszeit bei maximaler Besucherfrequenz der Rut-

schen auf. Das bedeutet, dass immer mehr als 40 % des Partikelvolumens per Siebung entfernt werden, im Idealfall für das Verfahren, d. h. bei geringerer Rutschenbelastung und geringem Partikeleintrag in den Kreislauf werden sogar bis zu 100 % erreicht.

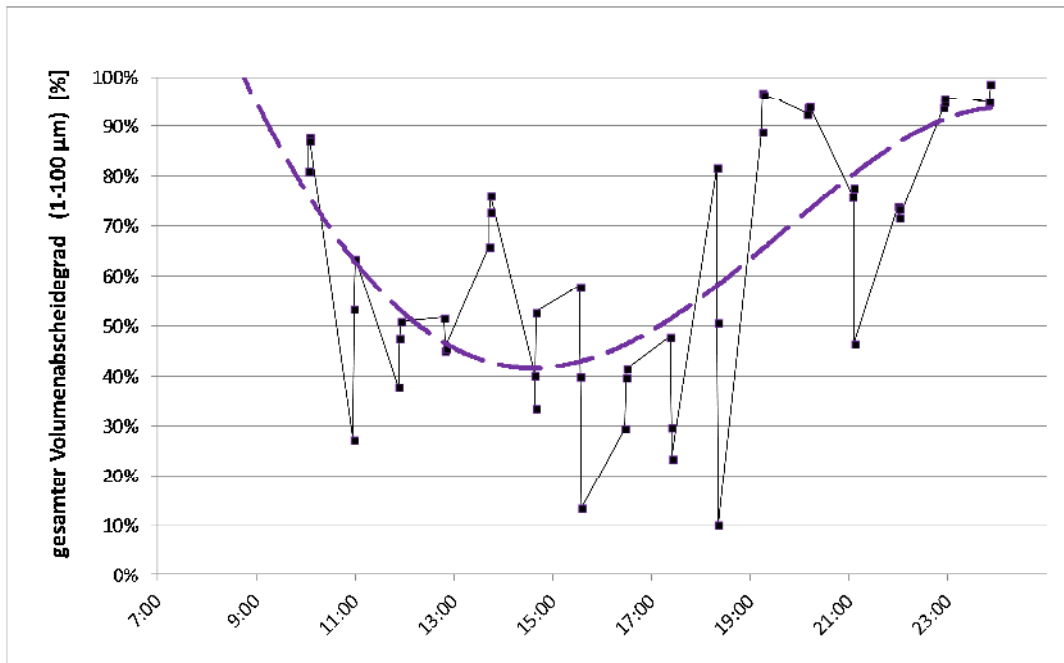


Abbildung 35: Zeitlicher Verlauf des von der Siebfiltration am 04.11.2012 erzielten Abscheidegrads inklusive dessen Ausgleichskurve für das Partikelvolumen aller Partikelgrößenbereiche

Zu einer Gesamtbilanz für den Messtag gelangt man, wenn aus den Verläufen der Abscheidegrade in Abbildung 34 und Abbildung 35 zeitliche Mittelwerte berechnet werden, die in dem Diagramm der Abbildung 36 aufgetragen wurden. Die Gesamtbilanz für den Messtag fällt für die kleinste Partikelfraktion (1 bis 5 μm) mit einem Abscheidegrad des Partikelvolumens von -3 % leicht negativ aus. Durch die insgesamt erzielte Entlastung der nachgeschalteten Tiefenfiltration und deren höhere Effektivität wird aber dennoch auch für diesen Partikelgrößenbereich insgesamt ein qualitativ wesentlich besseres Rein- und Rohwasser erwirkt (siehe Diskussion der Daten von Abbildung 25).

Das Volumen der mittelgroßen Partikelfraktion (5 bis 10 μm) wird zu einem Anteil von 13 % abgeschieden und die große Partikelfraktion (10 bis 100 μm) zu 79 %. Da diese Partikelfraktion mit einem sehr hohen Anteil am Gesamtpartikelvolumen beteiligt ist, liegt die Gesamtbilanz für das abgeschiedene Volumen aller Partikel bei 59 %. Die Tiefenfiltration wird somit im Mittel um 59 % des gesamten am Messtag auftretenden Feststoffvolumens (entspricht unter der Annahme einer konstanten Partikeldichte auch der gesamten Feststofffracht) entlastet. Von der damit einhergehenden geringeren Beladungszunahme der Schüttschichten der Tiefenfilter profitiert ein langsamerer Anstieg der darin auftretenden Druckverluste und auch, wie

im vorangehenden Kapitel dargelegt wurde, eine insgesamt deutlich bessere Filtrat-, Rein- und Rohwasserqualität.

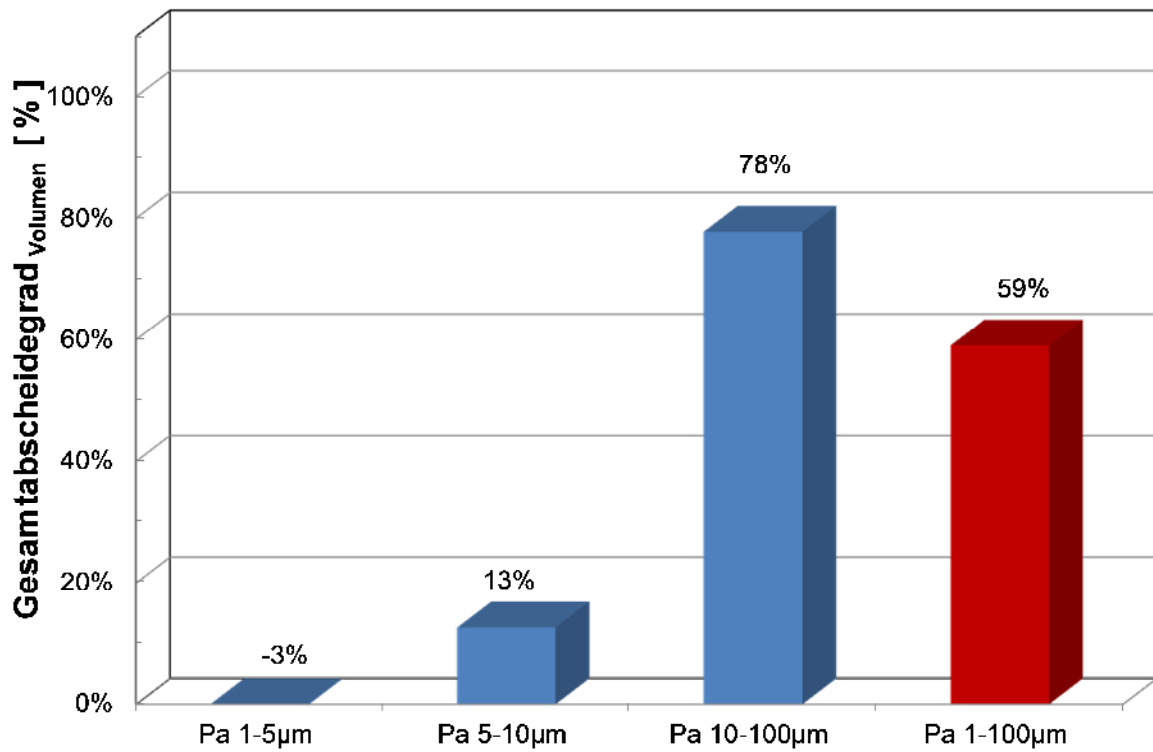


Abbildung 36: Mittels Siebfiltration am 04.11.2012 erzielter Gesamtabscheidegrad über den ganzen Mess-tag für die verschiedenen Partikelgrößenbereiche

5 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurden am 28.10.2012 und am 04.11.2012 jeweils 510 Messungen durchgeführt:

- 1) Chlor (frei)
- 2) Chlor (gebunden)
- 3) pH Korrektur
- 4) Redoxpotential
- 5) Temperatur
- 6) Volumenstrom
- 7) Personenfrequenz
- 8) Oxidierbarkeit
- 9) Nitrat
- 10) Säurekapazität
- 11) KBE (20/36 °C)
- 12) Partikel (<10 / 10-50 / >50 µm)
- 13) Trichloramin

Alle Messungen führen zu dem Ergebnis, dass bei reduziertem Volumenstrom von 150 m³/h (Sollwert gem. DIN 19643: 220 m³/h) die Filterkombination, bestehend aus Captura- und Vertoeinheiten, alle mikrobiologischen, physikalischen und chemischen Anforderungen an das Reinwasser erfüllt. Umgerechnet ergibt sich hieraus ein k-Wert von 0,73.

Die Berechnung des Bedarf an Wasser, Strom, Wärme und Chlorgas und die daraus resultierenden jährlichen Betriebskosten in Tabelle 6 belegen im Kontext der Abbildung 37 für das Fließschema "Nettebad" zeigt die Einsparpotenziale am Beispiel der Rutschenanlage deutlich auf. Hier werden neben der Reduzierung von jährlich 63.510 kg CO₂ auch die Betriebskosten (Netz- und Abwasser – Strom – Wärme – Chemikalien) um rund 41.000,- €/a und die Investitionskosten (Bau + TGA) um 138.000,- € gemindert. Die Vergleichsrechnung zeigt deutlich den ökologischen und ökonomischen Vorteil von Kombinationen Unterdruckfiltern mit vorgeschalteten Trommel- bzw. Scheibenfiltern gegenüber konventionellen Drucksandfiltern auf.

Tabelle 6: Gegenüberstellung von Betriebskosten beim Istzustand mit Verto-Technik und beim Sollstand, d. h. einer Auslegung der Volumenströme und Verfahrenstechnik gemäß DIN 196043-1

Betriebsstunden 8.400 h/a	DIN	Versuch	
	220 m³/h	150 m³/h	
Wasser (ohne Verdunstung)	4.400 m³/h	1.900 m³/h	12.500,- €/a
Strom	167 MWh/a	82 MWh/a	22.100,- €/a
Wärme	82 MWh/a	35 MWh/a	6.100,- €/a
Desinfektion (Cl ₂)	1.480 kg/a	1.010 kg/a	700,- €/a
		Einsparung	41.400,- €/a

Die Vergleichsrechnung zeigt deutlich den ökologisch und ökonomischen Vorteil der Kombinationen von Unterdruckfiltern mit vorgeschalteten Trommel- bzw. Scheibenfiltern gegenüber konventionellen Drucksandfiltern auf.

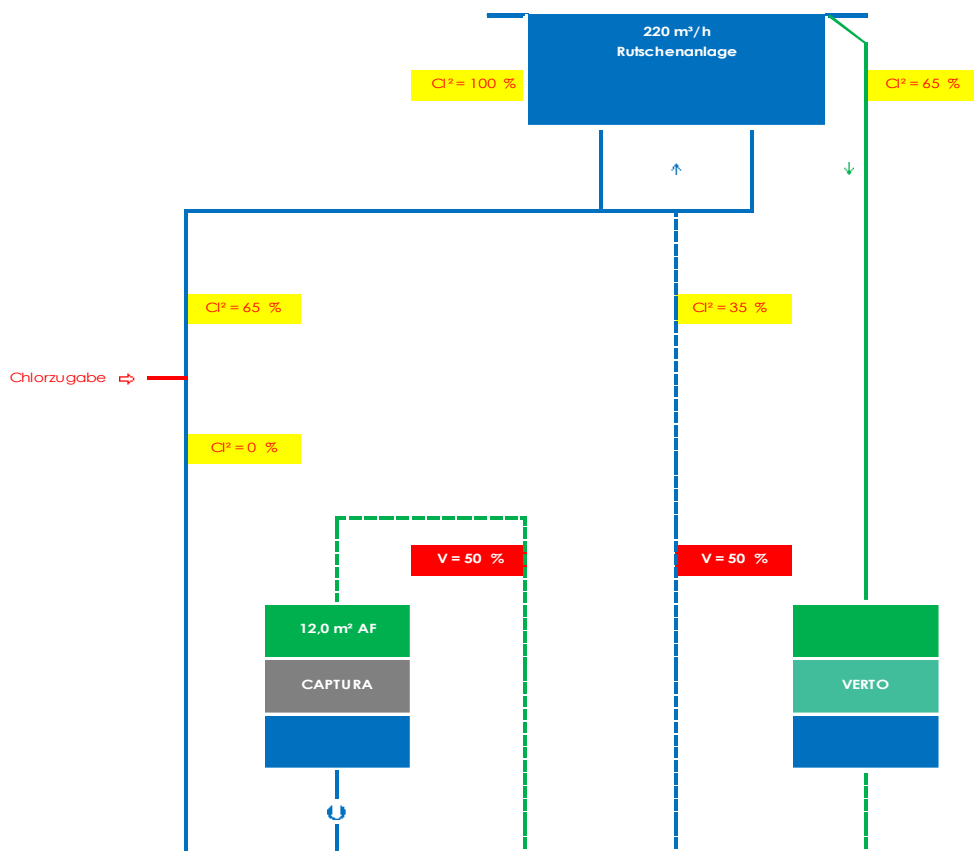


Abbildung 37: Umweltentlastung durch Reduzierung des Volumenstroms und Chlorbedarf durch den Bypass des Verto-Filtrats mit freiem Chlor

Das gesamte Forschungsprojekt soll in allen Fachverbänden, die sich mit der Thematik Schwimm- und Badewasseraufbereitung befassen, veröffentlicht und diskutiert werden. Hierzu zählen:

- ⇒ **Deutsche Gesellschaft für das Badewesen**
<http://www.baederportal.com/>
- ⇒ **Internationalen Akademie für Bäder-, Sport- und Freizeitbauten**
<http://www.iab-ev.de/>
- ⇒ **Internationale Akademie für Sport- und Freizeiteinrichtungen**
<http://www.iaks.info/>
- ⇒ **Bundesinstitut für Sportwissenschaften (BiSp)**
<http://www.bisp.de/>

Sowohl in der Herbstsitzung 2013 des Technischen Ausschuss der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen e.V. in Essen, als auch auf dem 5. Osnabrücker Bädertag im Februar 2013 werden bzw. wurden die Forschungsergebnisse vorgestellt und diskutiert.

Hier sollen die neuen Erkenntnisse mit Badbetreibern, Bäderfachleuten und Fachplanern erörtert werden, sodass der Nutzen solcher Anlagekonzepte erkennbar wird und diese Technologie zukünftig auch in anderen Bädern zur Anwendung kommt.

Der Abschlußbereich wurde erstellt von:

Osnabrück, den 27. Mai 2013

.....
Jürgen August

Wuppertal, den 27. Mai 2013

.....
Dipl.-Wirt.-Ing. Stefan Kawalskit

Mühlheim a.d.R, den 27. Mai 2013

.....
Dr. Ing. Andreas Nahrstedt

6 Literatur

- [Alex1974] ALEX, W.; KOGLIN, B.; LESCHONSKI, K.: *Teilchengrößenanalyse - 4. Zählverfahren*. Chem.-Ing.-Tech. 46 (1974), Nr. 9, S. 387-388
- [Alex2008] ALEX, W.: *Krümekunde*. Skriptum MVM-Institut der Universität Karlsruhe. Eigenverlag, 2008.
<http://www.alex-eingarten.de/skripten/kruemel.pdf>
- [Berg2008] BERJAN, B.; NAHRSTEDT, A.; WILLERT, G.: *Partikelzählung als Nachweisinstrument der Verfahrenseffektivität*. A.B. Archiv des Badewesens, (2008), Nr. 3, S. 130 – 141
- DIN 19605 (1995-04): *Festbettfilter zur Wasseraufbereitung - Aufbau und Bestandteile*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 196043-1 (2012-11): *Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser – Teil 1: Allgemeine Anforderungen*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 19643-3 (2012-11): *Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser – Teil 2: Verfahrenskombinationen mit Festbett- und Anschwemmfiltern*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 7393-2 (2000-04): *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von freiem Chlor und Gesamtchlor - Teil 2: Kolorimetrisches Verfahren mit N,N-Diethyl-1,4-Phenylendiamin für Routinekontrollen*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN EN ISO 7027 (2000-04): *Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Trübung*. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN ISO 9276-1 (2004-09): *Darstellung der Ergebnisse von Partikelgrößenanalysen - Teil 1: Grafische Darstellung*. Beuth Verlag, Berlin.
- DVGW-Arbeitsblatt W 213-6 (2005-06): *Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 6: Überwachung mittels Trübungs- und Partikelmessung Filtrationsverfahren zur Partikelentfernung; Teil 6: Überwachung mittels Trübungs- und Parti-*

kelmessung. DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn.

[Gimb1984]

GIMBEL, R.: *Abscheidung von Trübstoffen aus Flüssigkeiten in Tiefenfiltern*. Veröffentlichungen des Bereichs und des Lehrstuhls für Wasserchemie am Engler-Bunte-Institut der Universität Karlsruhe, Heft 25 (19804) ZfGW-Verlag Frankfurt

[Gimb2004]

GIMBEL, R., NAHRSTEDT, A.: *Grundlagen der Tiefenfiltration*. In: DVGW Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V., Lehr- und Handbuch der Wasserversorgung Bd.6: Wasseraufbereitung – Grundlagen und Verfahren, Oldenbourg Industrieverlag München Wien, 2004.

[Grom2000]

GROMBACH, P. MERKL, G. HABERER, K. E., TRUEB, U.: *Handbuch der Wasserversorgungstechnik*. Oldenbourg München Wien, 2000

[Nahr2001]

NAHRSTEDT, A.: *Die Novelle der Trinkwasserverordnung: Bewertung und Kontrolle der Filterwirksamkeit mit Hilfe von Trübungsmessung und Partikelzählverfahren zur Sicherstellung einer mikrobiologisch einwandfreien Trinkwasserqualität - Teil V*. bbr 52 (2001) Nr. 12, S.34-40

[Stie2009]

STIESS, M.: *Mechanische Verfahrenstechnik - Partikeltechnologie*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009

7 Anhang

Verzeichnis der Anhänge

Anhang 1: *ihf* Messprotokolle vom 28.10.2012

Anhang 2: *ihf* Messprotokolle vom 04.11.2012

Anhang 3: GUA Prüfbericht vom 28.10.2012

Anhang 4: GUA Prüfbericht vom 004.11.2012

Anhang 1: *ihf* Messprotokolle vom 28.10.2012

Anhang 2: *ihf* Messprotokolle vom 04.11.2012

Anhang 3: GUA Prüfbericht vom 28.10.2012

Anhang 04: GUA Prüfbericht vom 04.11.2012

Betrieb Steiltrutsche 8:30 - 22:00 Uhr
Black Hole 12:00 - 22:00 Uhr

MP 0.1 Füllwasseranalyse

27.10.2012 (Sa)

Oxidierbarkeit	0,32	mg O ₂ /L
Nitrat	6,00	mg/L
Säurekapazität	4,04	mmol/L



MP 0.2 Bakteriologie (Becken)

27.10.2012 - 22:00 h (Sa)

28.10.2012 - 22:00 h (So)

	Steiltrutsche		
Oxidierbarkeit	0,32 / 0,37		mg O ₂ /L
Nitrat	4,3 / 5,1		mg/L
Säurekapazität	0,85 / 0,29		mmol/L
KBE (20 °C)	0 / 0		1/mL
KBE (36 °C)	0 / 2		1/mL

	Black Hole		
	0,37 / 0,32		mg/L über Füllwasser
	4,2 / 4,9		mg/L über Füllwasser
	0,87 / 0,30		
	0 / 0		
	0 / 0		

MP 1.0 ~~ROW ver-VERTE~~ **ENTFÄLLT** 28.10.2012 (So)

pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L			

Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand			
SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)			

1	9:00 h	7,64	0,51	0,02	0,45			
2	11:00 h	7,51	0,46	0,02				
3	13:00 h	7,50	0,41	0,11	0,38			
4	15:00 h	7,42	0,42	0,04				
5	17:00 h	7,28	0,45	0,04	0,37			
6	19:00 h	7,31	0,48	0,01				
7	21:00 h	7,25	0,49	0,01	0,40			
8	22:00 h	7,23	0,47	0,01				
9	24:00 h	7,30	0,34	0,00	0,32			

I. M. 0,0289



MP 2.0 ROW nach VERTO

28.10.2012 (So)

pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L			

Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand			
SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)			

10	9:00 h	7,59	0,49	0,01	0,29			
11	11:00 h	7,54	0,45	0,03				
12	13:00 h	7,52	0,45	0,02	0,32			
13	15:00 h	7,25	0,42	0,08				
14	17:00 h	7,32	0,45	0,04	0,40			
15	19:00 h	7,21	0,44	0,01				
16	21:00 h	7,29	0,48	0,03	0,27			
17	22:00 h	7,32	0,48	0,01				
18	24:00 h	7,31	0,44	0,00	0,32			

i. M. 0,0256





MP 3.0 Analytik Zwischenspeicher

28.10.2012 (So)

Cl₂ frei mg/L	Redox mV	pH ---	Temperatur °C			
ablesen	ablesen	ablesen	ablesen			
SWO	SWO	SWO	SWO			

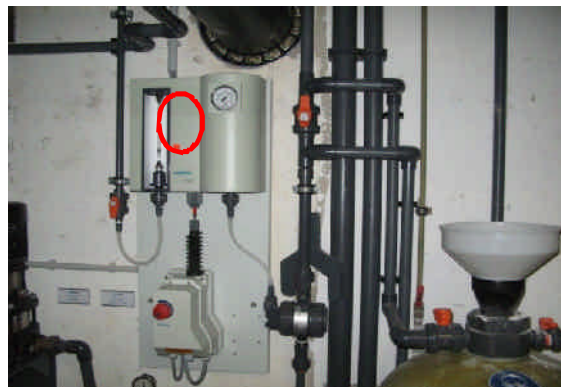
19	9:00 h	0,46	794	7,60	28,5		
20	11:00 h	0,44	768	7,48	28,4		
21	13:00 h	0,45	797	7,41	28,4		
22	15:00 h	0,45	806	7,29	28,6		
23	17:00 h	0,46	812	7,25	28,6		
24	19:00 h	0,45	815	7,24	28,4		
25	21:00 h	0,47	821	7,23	28,4		
26	22:00 h	0,45	820	7,23	28,5		
27	24:00 h	0,45	816	7,27	28,5		



MP 7/8 Chlor - TWK - pH - PAC

28.10.2012 (So)

		Cl ₂ Dosierung		Füllwasser	pH Dosierung	PAC Dosierung		
		mg/L		m ³	L (kg)	L (kg)		
		ablesen		ablesen	wiegen	wiegen		
		SWO		SWO	SWO	SWO		
28	9:00 h	120		17.512,5	30,16	10,76		
29	11:00 h	120						
30	13:00 h	140						
31	15:00 h	140						
32	17:00 h	130						
33	19:00 h	120						
34	21:00 h	100						
35	22:00 h	90		17.518,6	13,06	9,94		
36	24:00 h	90		= 6,10 m³	= 17,10 L	= 0,82 L		



MP 4.0 ROW vor CAPTURA

28.10.2012 (So)

pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L			
---		mg/L	mg/L	mg/L			
Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand			
SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)			

37	9:00 h	7,53	0,49	0,01	0,16			
38	11:00 h	7,43	0,47	0,03				
39	13:00 h	7,28	0,48	0,04	0,24			
40	15:00 h	7,20	0,46	0,05				
41	17:00 h	7,23	0,46	0,04	0,32			
42	19:00 h	7,09	0,47	0,03				
43	21:00 h	7,18	0,45	0,01	0,32			
44	22:00 h	7,04	0,48	0,00				
45	24:00 h	7,20	0,47	0,03	0,26			

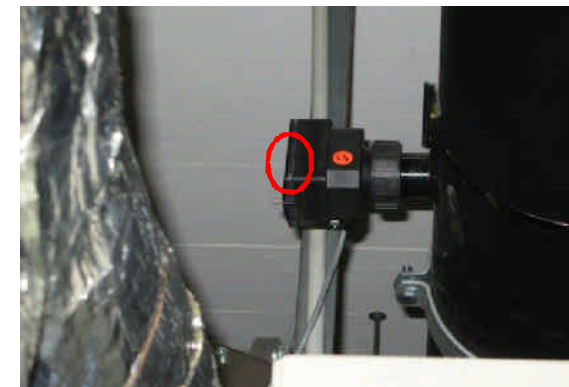
i. M. 0,0267



MP 5.1-4 CAPTURA Betrieb

28.10.2012 (So)

		Leistung FK 10.1	Leistung FK 10.2	Leistung FK 10.3	Leistung FK ges.		
		m³/h	m³/h	m³/h	m³/h		
		ablesen	ablesen	ablesen	ablesen	berechnet	
		SWO	SWO	SWO	SWO	ihf	
46	9:00 h	48	49	50	158	147	
47	11:00 h	50	50	50	155	150	
48	13:00 h	49	50	50	157	149	
49	15:00 h	50	50	52	156	152	
50	17:00 h	50	50	48	158	148	
51	19:00 h	50	50	50	151	150	
52	21:00 h	37	37	37	114	111	
53	22:00 h	37	37	38	121	112	
54	24:00 h	38	37	38	114	113	



MP 6.0 Fil nach CAPTURA

28.10.2012 (So)

pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L			
---		mg/L	mg/L	mg/L			
Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand			
SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)			

55	9:00 h	7,43	0,00	0,00	0,24			
56	11:00 h	7,38	0,00	0,00				
57	13:00 h	7,24	0,00	0,00	0,32			
58	15:00 h	7,03	0,00	0,00				
59	17:00 h	7,02	0,00	0,00	0,32			
60	19:00 h	6,97	0,00	0,00				
61	21:00 h	7,16	0,00	0,00	0,32			
62	22:00 h	7,30	0,00	0,00				
63	24:00 h	7,37	0,00	0,00	0,32			

I. M. 0,0000



MP 9.0 REW Black Hole

28.10.2012 (So)

pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L			

Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand			
SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)			

64	9:00 h	7,62	0,50	0,00	0,30			
65	11:00 h	7,47	0,49	0,01				
66	13:00 h	7,45	0,50	0,05	0,38			
67	15:00 h	7,26	0,51	0,03				
68	17:00 h	7,17	0,50	0,03	0,29			
69	19:00 h	7,21	0,49	0,04				
70	21:00 h	7,26	0,50	0,01	0,43			
71	22:00 h	7,30	0,45	0,02				
72	24:00 h	7,32	0,46	0,01	0,29			

i. M. 0,0222



MP 10.0 Personen Frequenz

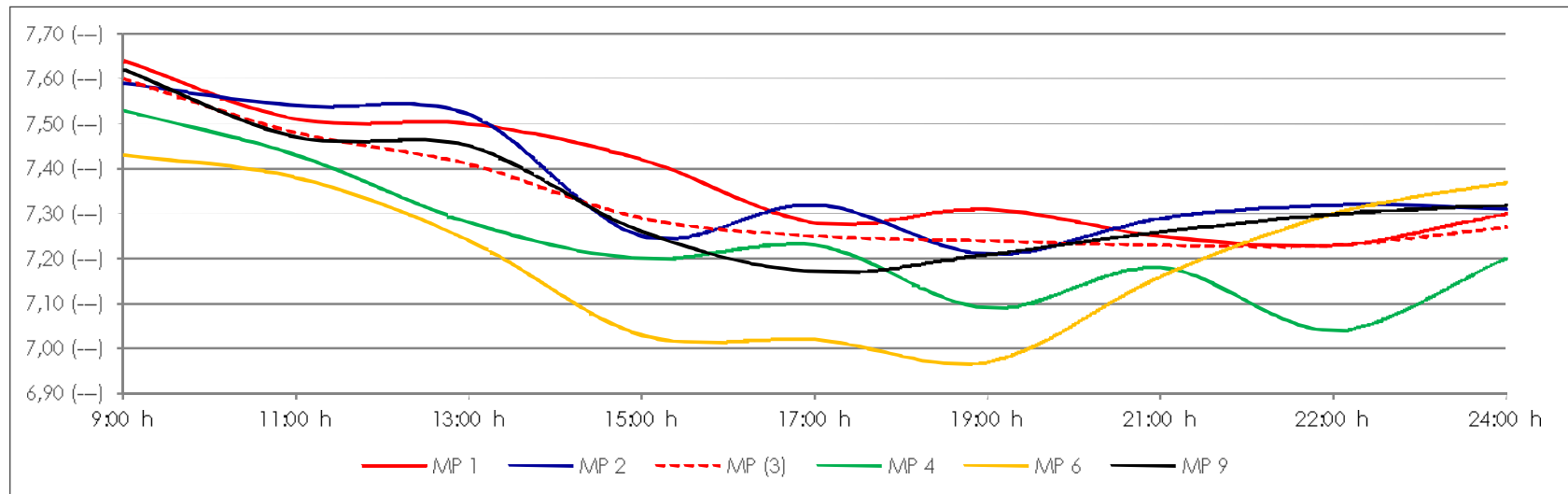
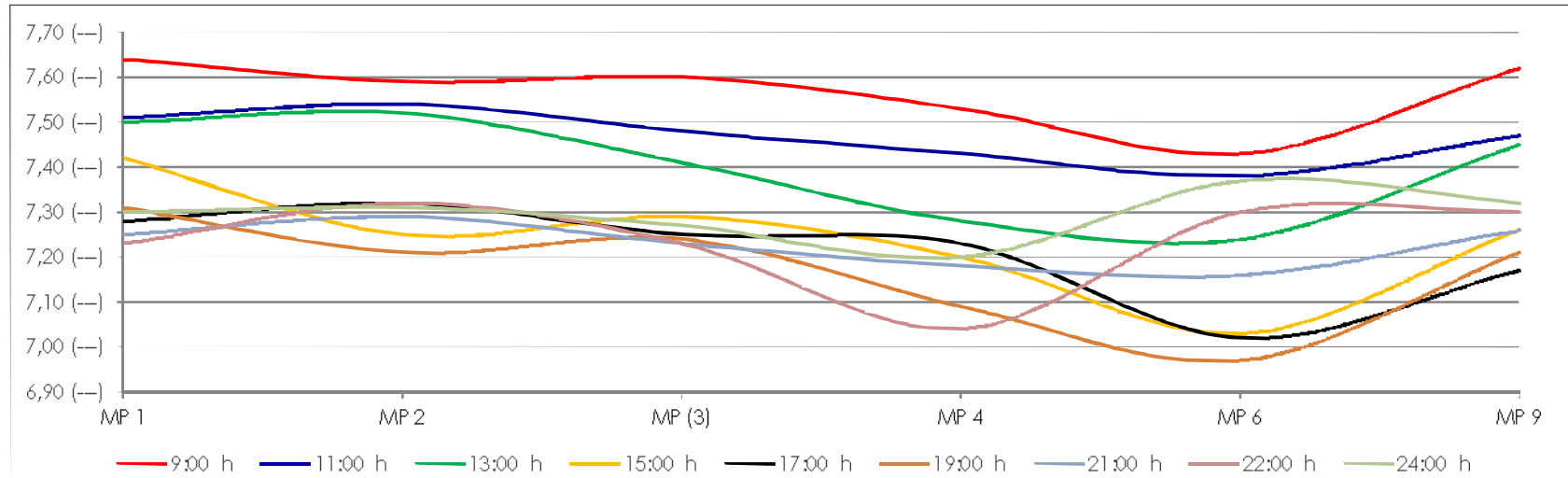
28.10.2012 (So)

		Personen						
		n						
		auto	auto	berechnet				
		STEILRUTSCHE	BLACK HOLE	RU 1+2	GESAMT			
		SWO	SWO	ihf				
73	9:00 h	0	18	18	18			
74	10:00 h	0	181	181	199			
75	11:00 h	0	226	226	425			
76	12:00 h	102	263	365	790			
77	13:00 h	111	308	419	1.209			
78	14:00 h	106	264	370	1.579			
79	15:00 h	102	257	359	1.938			
80	16:00 h	106	242	348	2.286			
81	17:00 h	116	210	326	2.612			
82	18:00 h	116	181	297	2.909			
83	19:00 h	90	114	204	3.113			
84	20:00 h	1	87	88	3.201			
85	21:00 h	0	34	34	3.235			
86	22:00 h	0	0	0	3.235			

ph
 MP 1-2-(3)-4-6-9

28.10.2012 (So)

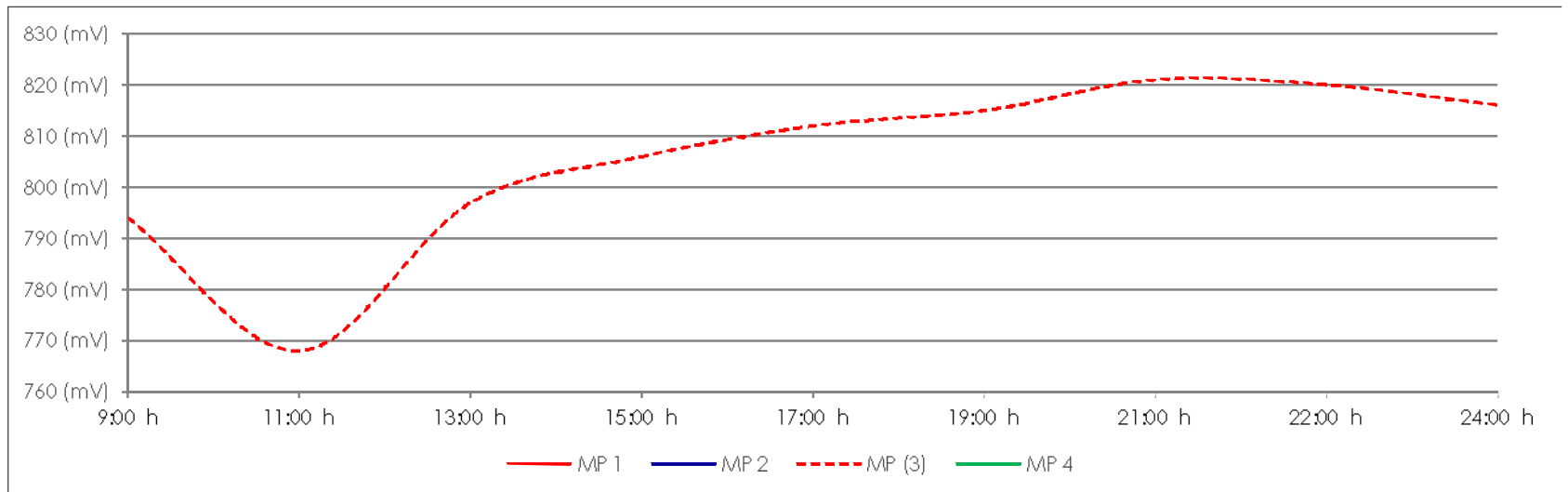
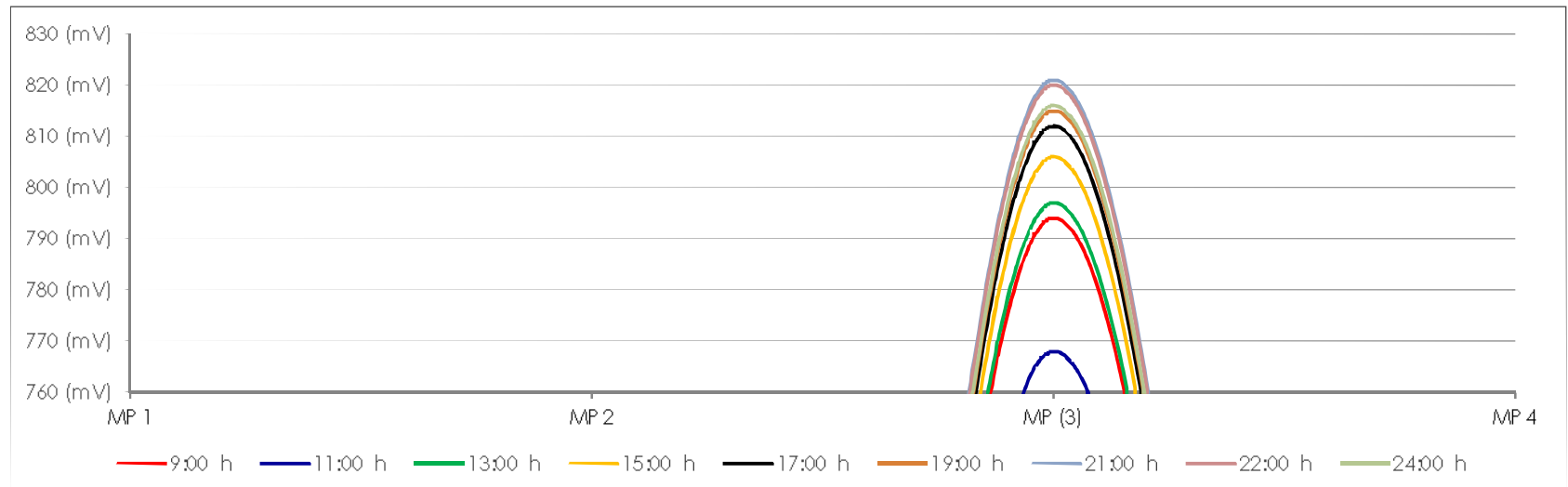
ROW vor VERTO MP 1.0
 ROW nach VERTO MP 2.0
 Zwischenspeicher MP 3.0
 ROW vor CAPTURA MP 4.0
 FiL nach CAPTURA MP 6.0
 REW Black Hole MP 9.0



Redox
MP 1-2-(3)-4

28.10.2012 (So)

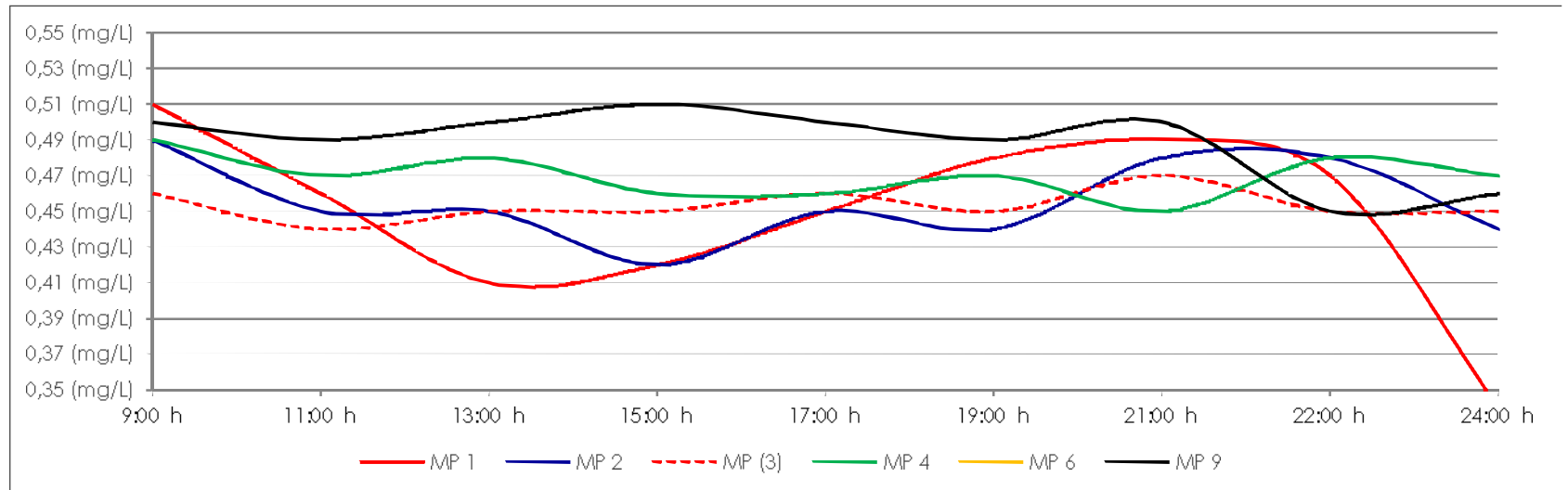
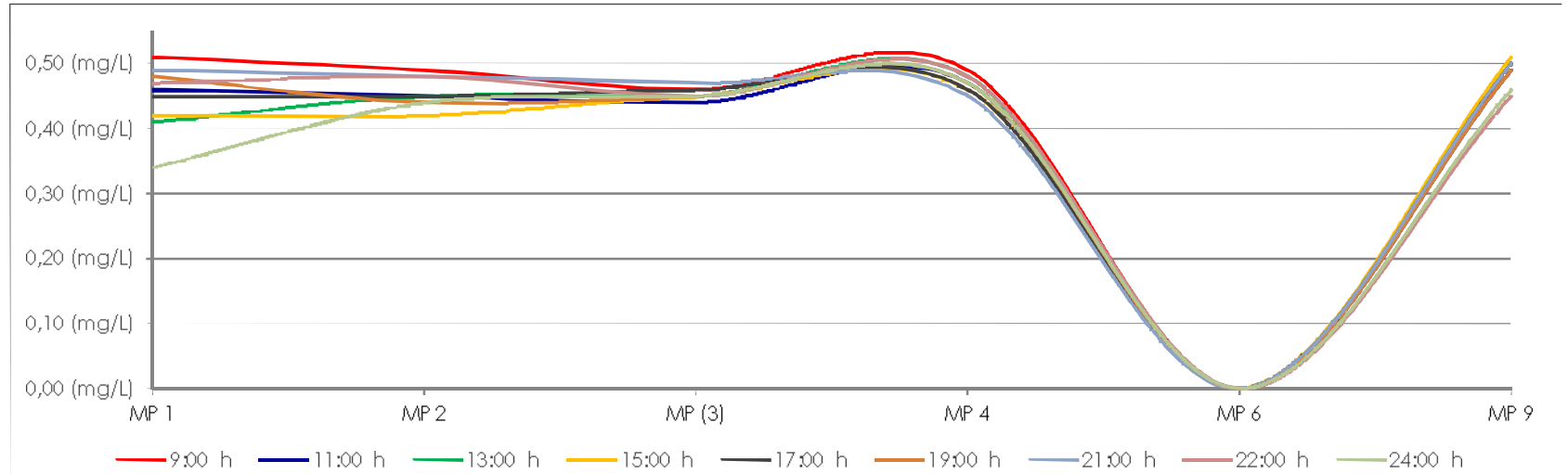
ROW vor VERTO	MP 1.0
ROW nach VERTO	MP 2.0
Zwischenspeicher	MP 3.0
ROW vor CAPTURA	MP 4.0



Cl₂ frei
MP 1-2-(3)-4-6-9

28.10.2012 (So)

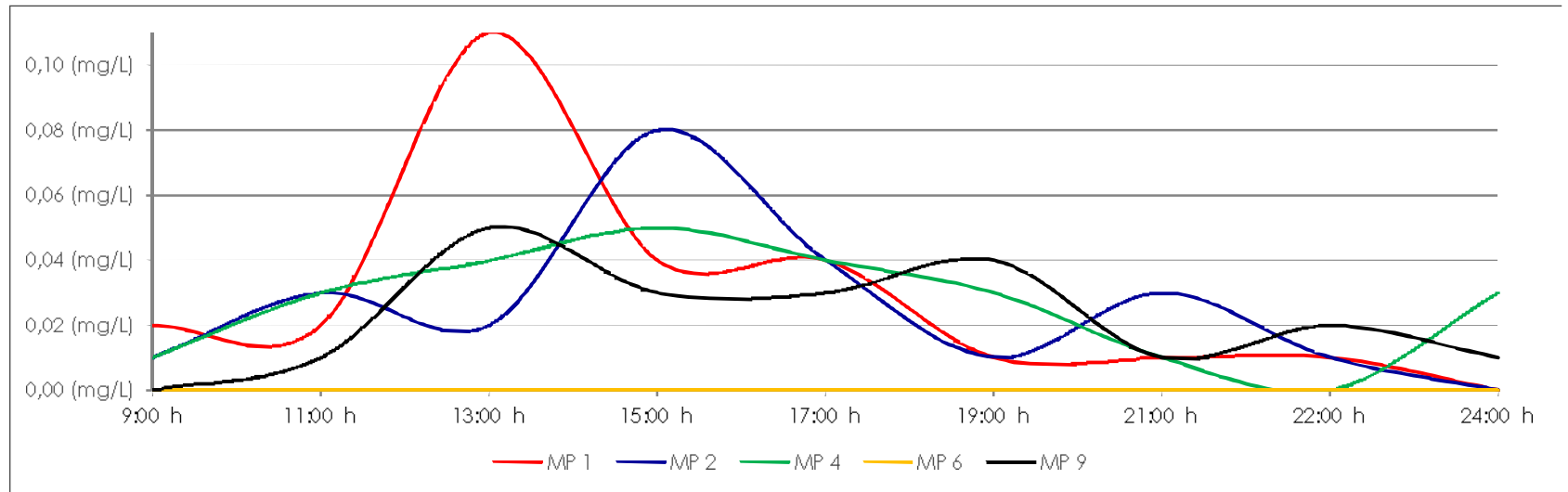
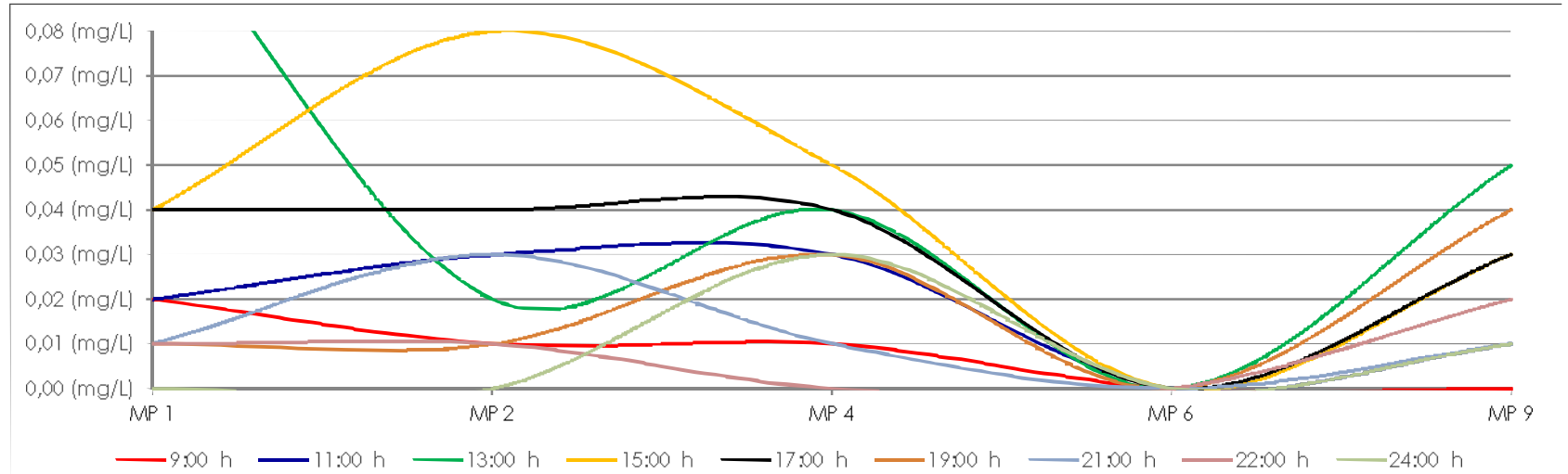
ROW vor VERTO	MP 1.0
ROW nach VERTO	MP 2.0
Zwischenspeicher	MP 3.0
ROW vor CAPTURA	MP 4.0
FIL nach CAPTURA	MP 6.0
REW Black Hole	MP 9.0



Cl₂ geb.
MP 1-2-4-6-9

28.10.2012 (So)

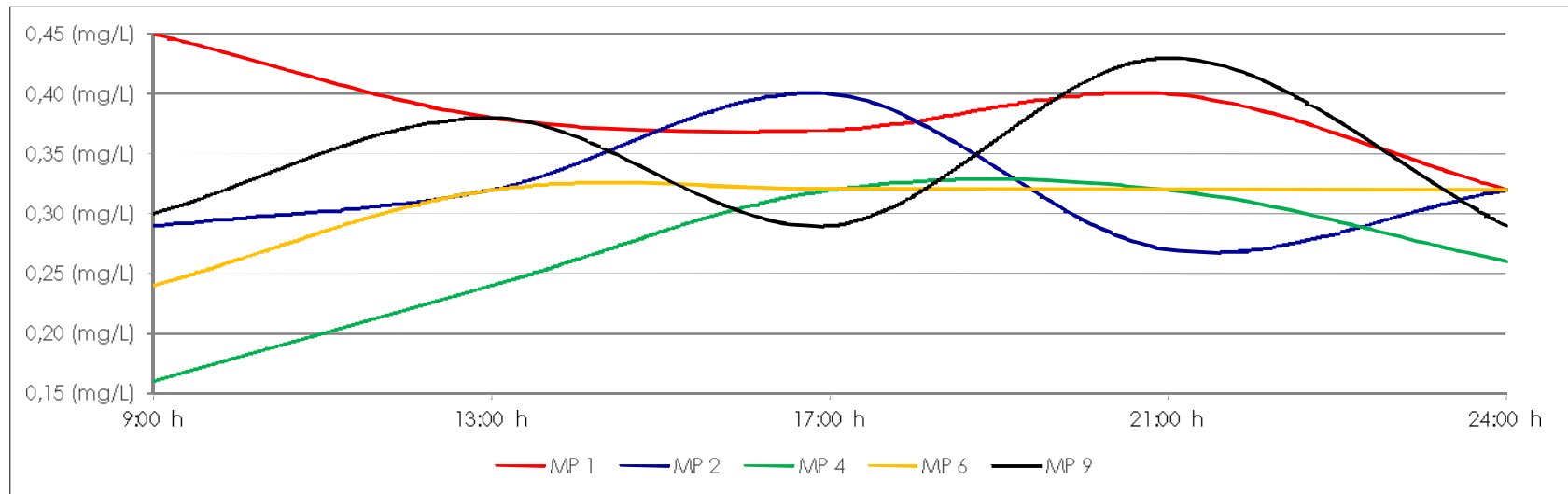
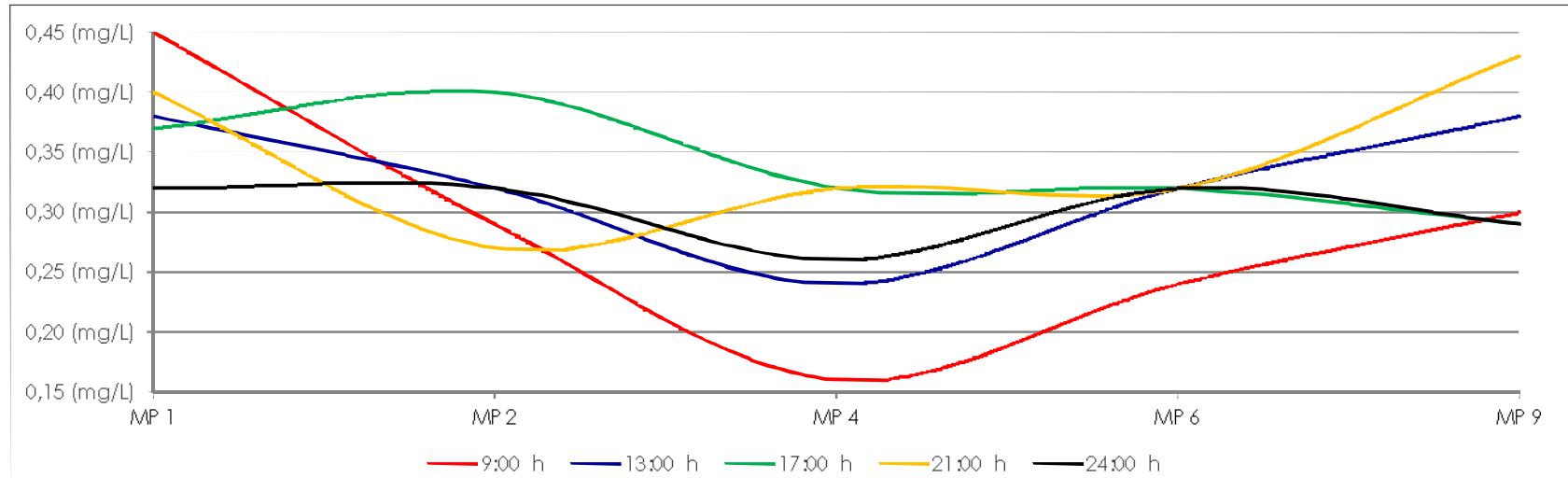
ROW vor VERTO MP 1.0
ROW nach VERTO MP 2.0
ROW vor CAPTURA MP 4.0
FiL nach CAPTURA MP 6.0
REW Black Hole MP 9.0



Oxidierbarkeit
MP 1-2-4-6-9

28.10.2012 (So)

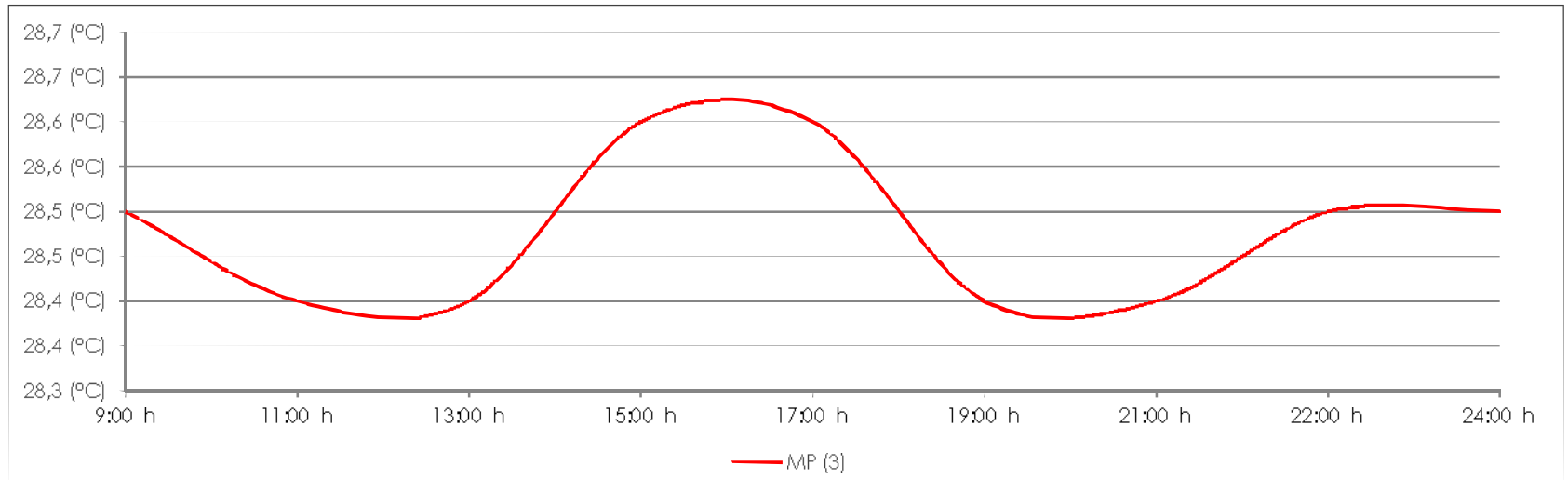
- ROW vor VERTO MP 1.0
- ROW nach VERTO MP 2.0
- ROW vor CAPTURA MP 4.0
- FiL nach CAPTURA MP 6.0
- REW Black Hole MP 9.0



Temperatur
MP 3

28.10.2012 (So)

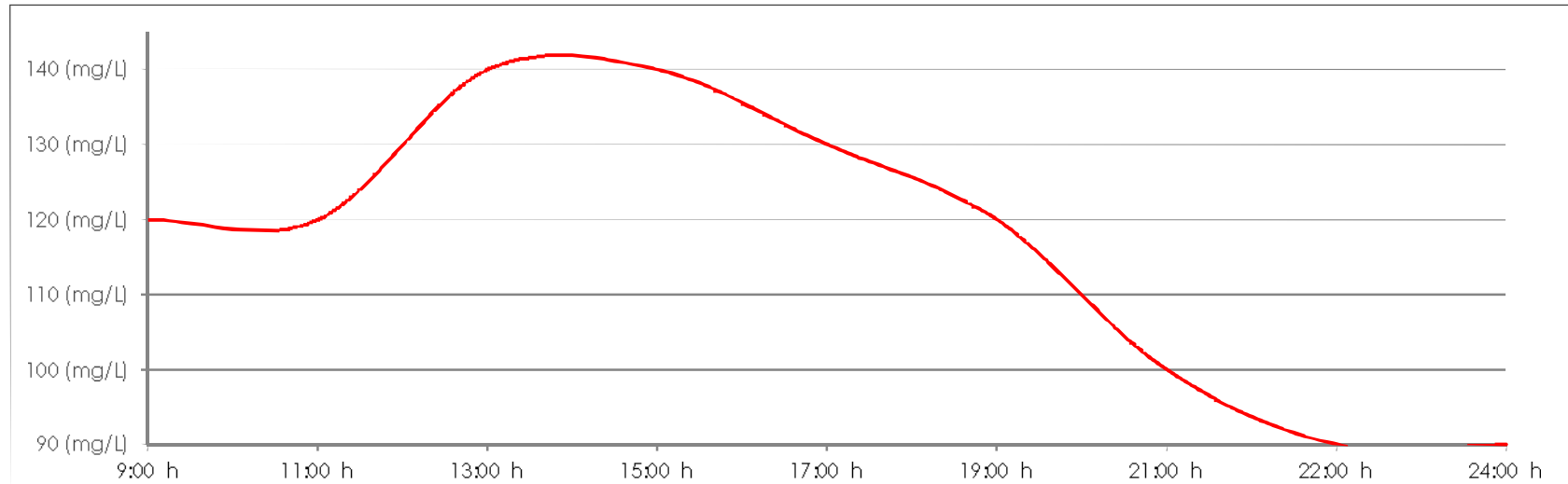
Zwischenspeicher MP 3.0



Cl₂ Dosierung
MP 7

28.10.2012 (So)

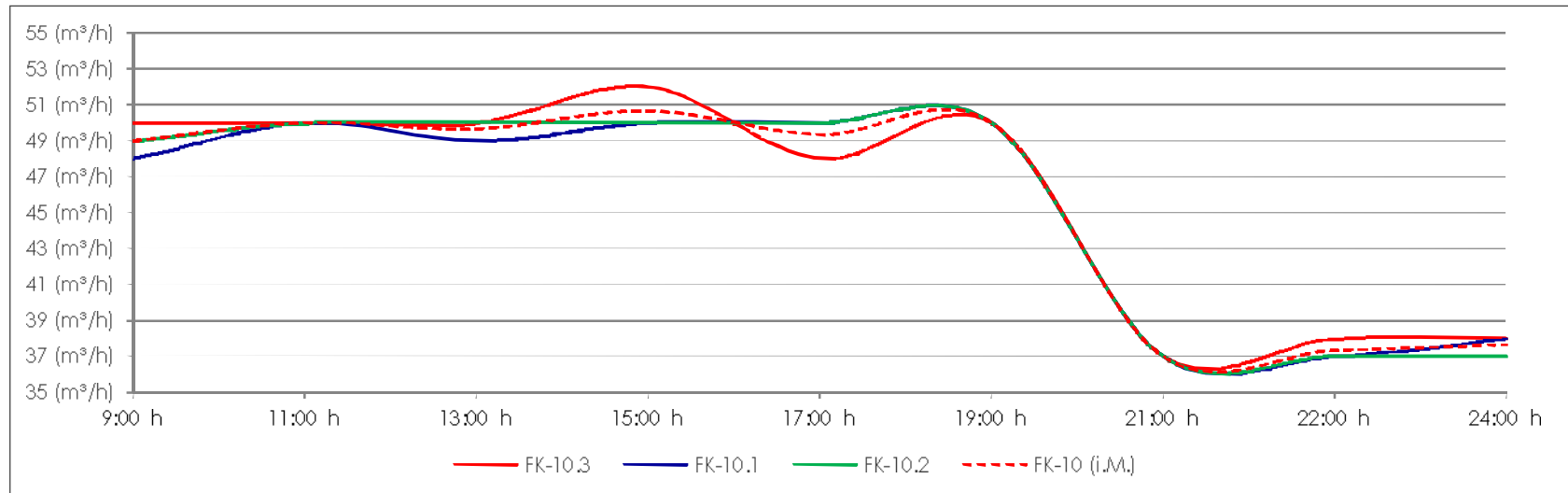
zwischen
Captura / Speicher MP 7.0



Volumenstrom
MP 5.1-4

28.10.2012 (So)

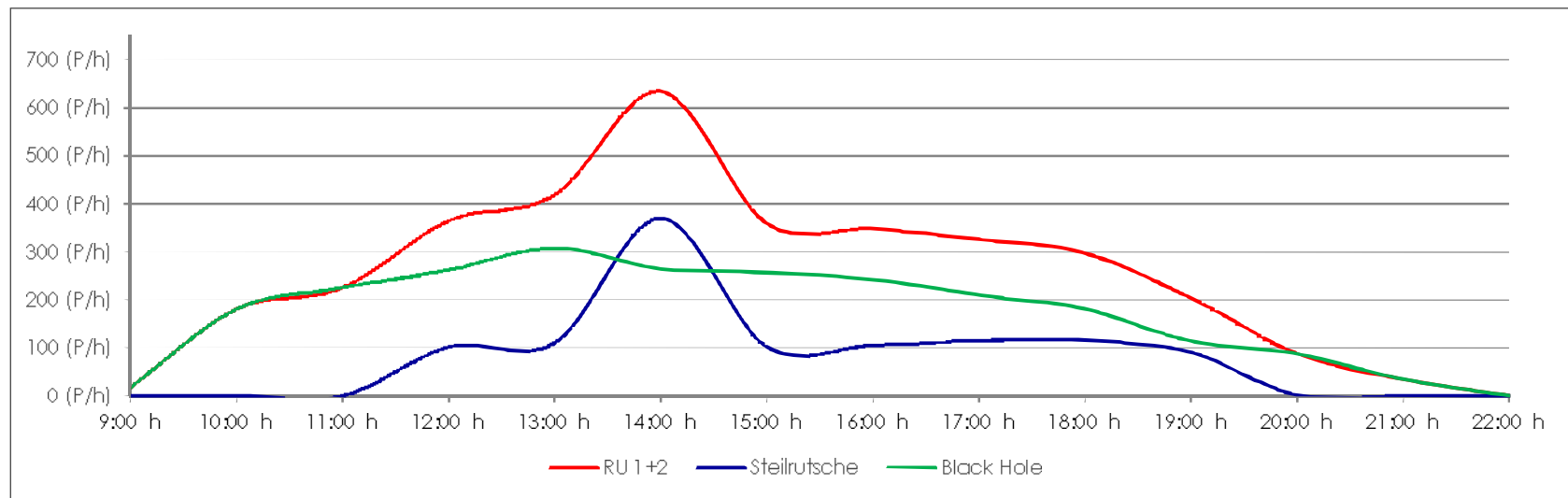
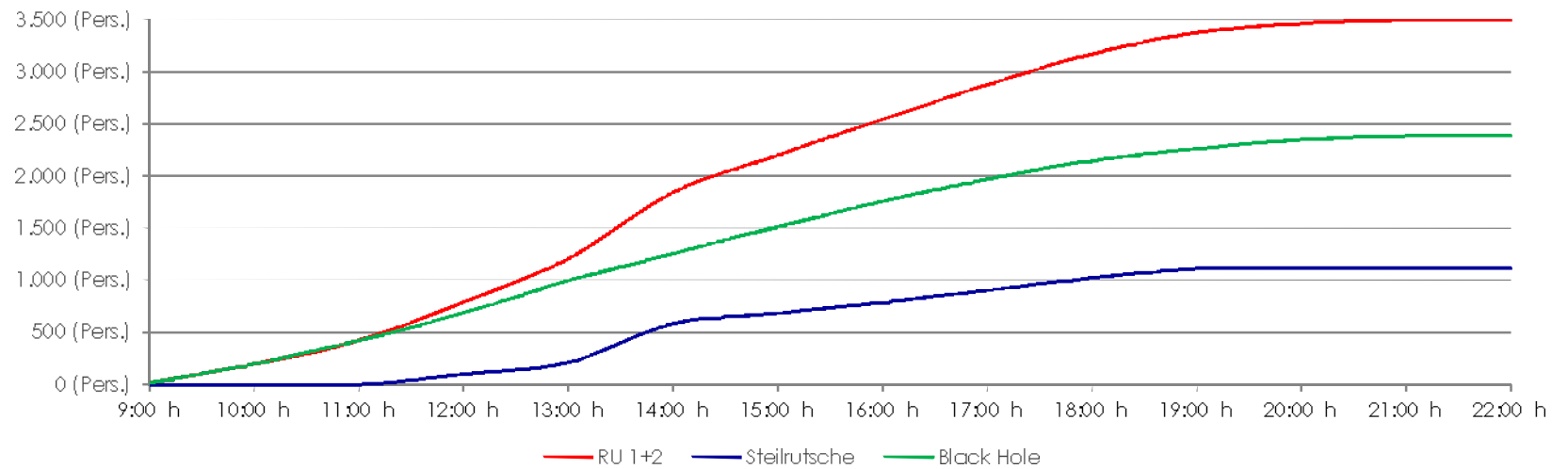
Filterkessel-1 MP 5.1
Filterkessel-2 MP 5.2
Filterkessel-3 MP 5.3
Mittelwert (berechnet)



Pers. Frequenz
MP 10.1-3

28.10.2012 (So)

Rutschenturm MP 10.0

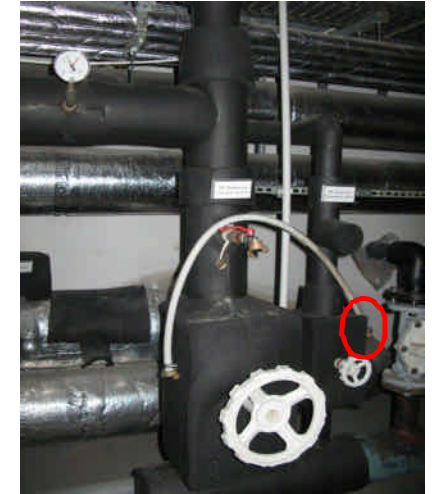


Betrieb Steilrutsche 8:30 - 22:00 Uhr
Black Hole 12:00 - 22:00 Uhr

MP 0.1 Füllwasseranalyse

03.11.2012 (Sa)

Oxidierbarkeit	0,44	mg O ₂ /L
Nitrat	6,50	mg/L
Säurekapazität	4,02	mmol/L



MP 0.2 Bakteriologie (Becken)

03.11.2012 - 22:00 h (Sa)

04.11.2012 - 22:00 h (So)

	<u>Steilrutsche</u>	
Oxidierbarkeit	0,32 / 0,35	mg O ₂ /L
Nitrat	6,7 / 5,8	mg/L
Säurekapazität	0,5 / 0,3	mmol/L
KBE (20 °C)	6 / 10	1/mL
KBE (36 °C)	0 / 0	1/mL

	<u>Black Hole</u>	
Oxidierbarkeit	0,40 / 0,37	mg/L über Füllwasser
Nitrat	7,4 / 6,3	mg/L über Füllwasser
Säurekapazität	0,49 / 0,31	
KBE (20 °C)	0 / 4	
KBE (36 °C)	0 / 0	

MP 1.0 ROW vor VERTO **ENTFÄLL** 04.11.2012 (So)

		pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L			
		---		Hand	Hand (berechnen)	Hand			
		SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)			
1	9:00 h	7,41		0,40	0,04	0,30			
2	11:00 h	7,39		0,28	0,00				
3	13:00 h	7,30		0,43	0,05	0,32			
4	15:00 h	7,28		0,44	0,05				
5	17:00 h	7,42		0,45	0,02	0,35			
6	19:00 h	7,34		0,45	0,04				
7	21:00 h	7,33		0,44	0,02	0,40			
8	22:00 h	7,36		0,47	0,01				
9	24:00 h	7,30		0,45	0,00	0,41			

i. M. 0,0256





MP 2.0 ROW nach VERTO

04.11.2012 (So)

		pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L			
		---		mg/L	mg/L	mg/L			
		Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand			
		SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)			
10	9:00 h	7,37		0,44	0,00	0,40			
11	11:00 h	7,31		0,44	0,00				
12	13:00 h	7,24		0,41	0,06	0,40			
13	15:00 h	7,23		0,40	0,07				
14	17:00 h	7,20		0,43	0,04	0,40			
15	19:00 h	7,35		0,45	0,03				
16	21:00 h	7,23		0,48	0,01	0,35			
17	22:00 h	7,35		0,45	0,02				
18	24:00 h	7,29		0,46	0,00	0,40			

i. M. 0,0256





MP 3.0 Analytik Zwischenspeicher

04.11.2012 (So)

Cl₂ frei mg/L	Redox mV	pH ---	Temperatur °C			
ablesen	ablesen	ablesen	ablesen			
SWO	SWO	SWO	SWO			

19	9:00 h	0,45	817	7,20	28,4		
20	11:00 h	0,44	810	7,19	28,4		
21	13:00 h	0,44	806	7,18	28,5		
22	15:00 h	0,43	801	7,18	28,3		
23	17:00 h	0,44	806	7,20	28,4		
24	19:00 h	0,46	810	7,21	28,3		
25	21:00 h	0,49	816	7,20	28,3		
26	22:00 h	0,47	816	7,21	28,4		
27	24:00 h	0,45	816	7,19	28,4		

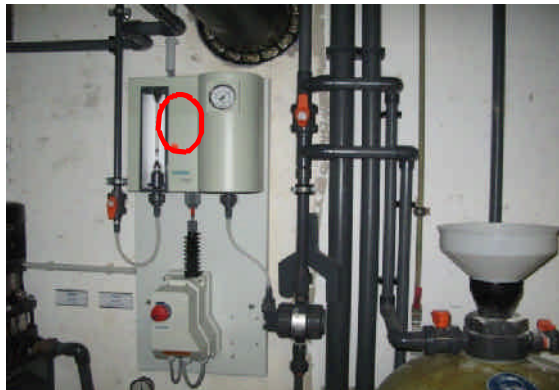




MP 7/8 Chlor - TWK - pH - PAC

04.11.2012 (So)

		Cl₂ Dosierung mg/L		Füllwasser m ³	pH Dosierung L (kg)	PAC Dosierung L (kg)		
		ablesen		ablesen	wiegen	wiegen		
		SWO		SWO	SWO	SWO		
28	9:00 h	120		17.591,5	27,80	27,08		
29	11:00 h	120						
30	13:00 h	120						
31	15:00 h	120						
32	17:00 h	120						
33	19:00 h	120						
34	21:00 h	90						
35	22:00 h	90		17.591,5	15,34	27,06		
36	24:00 h	90		= 0,00 m³	= 12,46 L	= 0,02 L		





MP 4.0 ROW vor CAPTURA

04.11.2012 (So)

		pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L			
		---		mg/L	mg/L	mg/L			
		Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand			
		SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)			
37	9:00 h	7,31		0,49	0,00	0,32			
38	11:00 h	7,17		0,43	0,02				
39	13:00 h	7,21		0,47	0,03	0,40			
40	15:00 h	7,24		0,47	0,04				
41	17:00 h	7,20		0,47	0,03	0,38			
42	19:00 h	7,31		0,47	0,02				
43	21:00 h	7,12		0,50	0,00	0,32			
44	22:00 h	7,18		0,44	0,00				
45	24:00 h	7,12		0,46	0,00	0,35			

i. M. 0,0156





MP 5.1-4 CAPTURA Betrieb

04.11.2012 (So)

		Leistung FK 10.1	Leistung FK 10.2	Leistung FK 10.3	Leistung FK ges.		
		m³/h	m³/h	m³/h	m³/h		
		ablesen	ablesen	ablesen	ablesen	berechnet	
		SWO	SWO	SWO	SWO	ihf	
46	9:00 h	49	50	50	158	149	
47	11:00 h	49	50	51	158	150	
48	13:00 h	50	50	50	158	150	
49	15:00 h	50	50	50	157	150	
50	17:00 h	50	49	50	158	149	
51	19:00 h	50	50	50	158	150	
52	21:00 h	37	37	38	118	112	
53	22:00 h	37	37	38	118	112	
54	24:00 h	37	37	38	118	112	





MP 6.0 **FIL nach CAPTURA**

04.11.2012 (So)

pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L	Partikel (n)		
					< 10 µm	10-50 µm	> 50 µm

Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand	auto		
SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)	IWW		

55	9:00 h	7,21		0,00	0,00	0,37			
56	11:00 h	7,01		0,00	0,00				
57	13:00 h	7,04		0,00	0,00	0,37			
58	15:00 h	7,30		0,00	0,00				
59	17:00 h	7,14		0,00	0,00	0,32			
60	19:00 h	6,99		0,00	0,00				
61	21:00 h	7,23		0,00	0,00	0,40			
62	22:00 h	7,28		0,00	0,00				
63	24:00 h	7,20		0,00	0,00	0,37			

i. M. 0,0000





MP 9.0 REW Black Hole

04.11.2012 (So)

pH		Cl ₂ frei mg/L	Cl ₂ geb. (Cl ₂ ges.) mg/L	Oxidierbarkeit (O ₂) mg/L	Partikel (n)		
					< 10 µm	10-50 µm	> 50 µm

Hand		Hand	Hand (berechnen)	Hand	auto		
SWO		SWO	SWO	SWO (Labor)	IWW		

64	9:00 h	7,25		0,44	0,01	0,37			
65	11:00 h	7,19		0,47	0,01				
66	13:00 h	7,34		0,46	0,04	0,38			
67	15:00 h	7,24		0,47	0,04				
68	17:00 h	7,31		0,47	0,03	0,40			
69	19:00 h	7,29		0,48	0,02				
70	21:00 h	7,21		0,45	0,06	0,32			
71	22:00 h	7,22		0,46	0,01				
72	24:00 h	7,22		0,47	0,00	0,37			

i. M. 0,0244





MP 10.0 Personen Frequenz

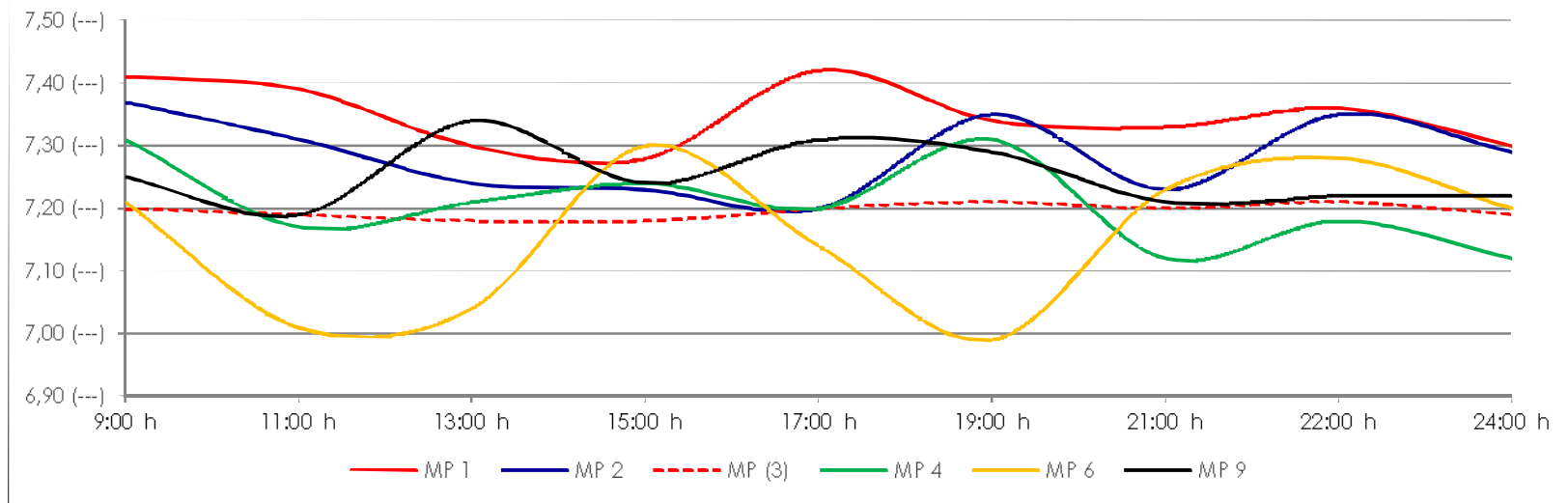
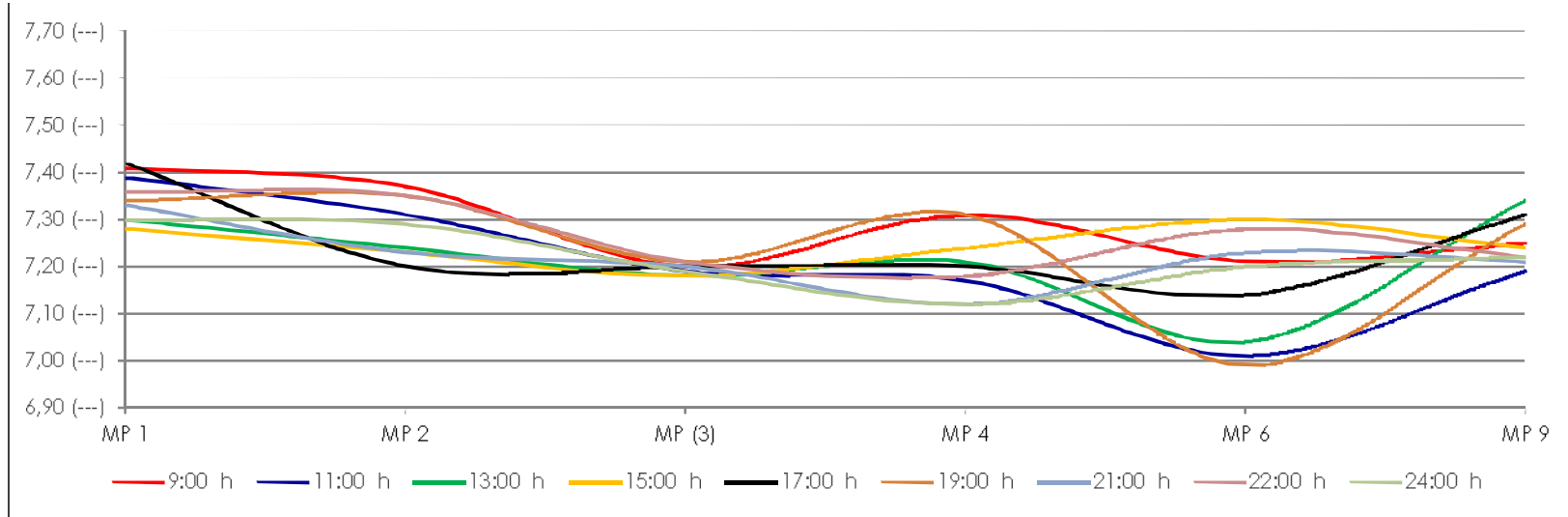
04.11.2012 (So)

		Personen						
		n						
		auto	auto	berechnet				
		STEILRUTSCHE	BLACK HOLE	RU 1+2	GESAMT			
		SWO	SWO	ihf				
73	9:00 h	0	181	181	181			
74	10:00 h	0	19	19	200			
75	11:00 h	0	209	209	409			
76	12:00 h	191	359	550	959			
77	13:00 h	52	70	122	1.081			
78	14:00 h	6	184	190	1.271			
79	15:00 h	129	266	395	1.666			
80	16:00 h	95	192	287	1.953			
81	17:00 h	122	187	309	2.262			
82	18:00 h	35	124	159	2.421			
83	19:00 h	0	139	139	2.560			
84	20:00 h	0	24	24	2.584			
85	21:00 h	0	42	42	2.626			
86	22:00 h	0	0	0	2.626			

ph
MP 1-2-(3)-4-6-9

04.11.2012 (So)

ROW vor VERTO MP 1.0
ROW nach VERTO MP 2.0
Zwischenspeicher MP 3.0
ROW vor CAPTURA MP 4.0
FIL nach CAPTURA MP 6.0
REW Black Hole MP 9.0



Redox

MP 1-2-(3)-4

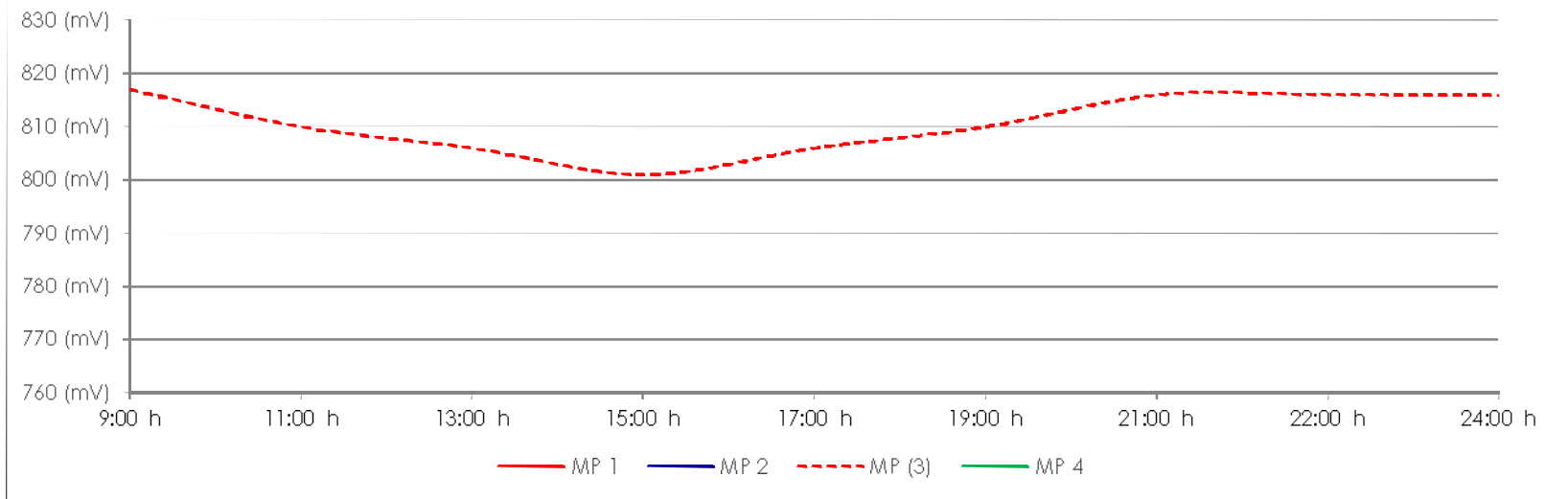
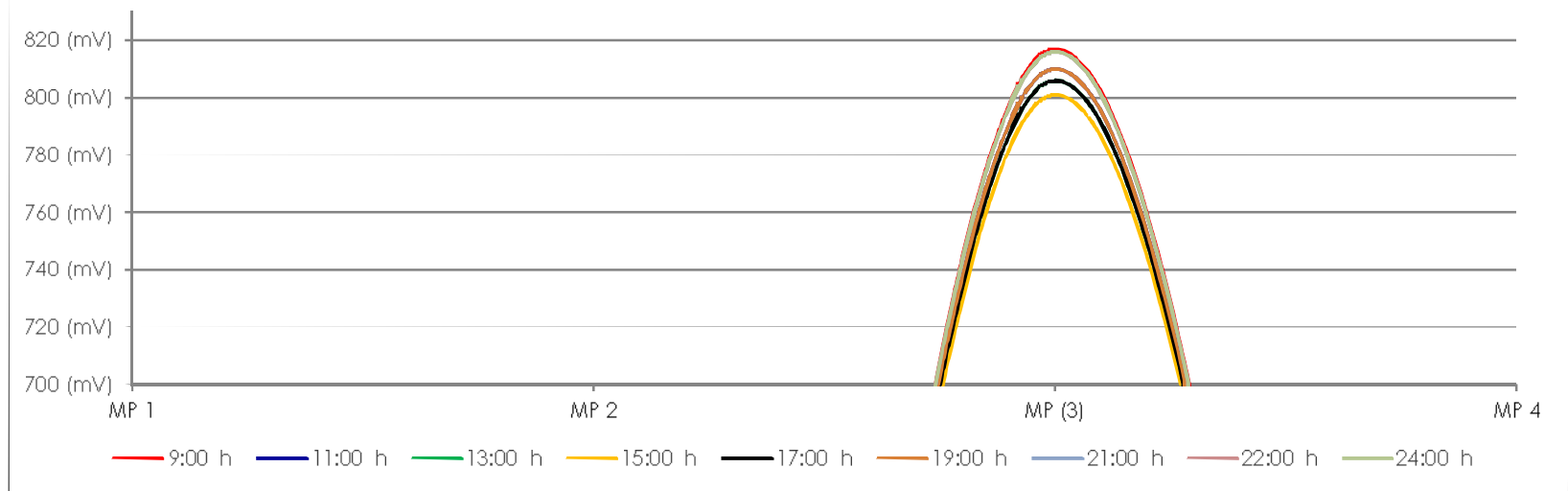
04.11.2012 (So)

ROW vor VERTO MP 1.0

ROW nach VERTO MP 2.0

Zwischenspeicher MP 3.0

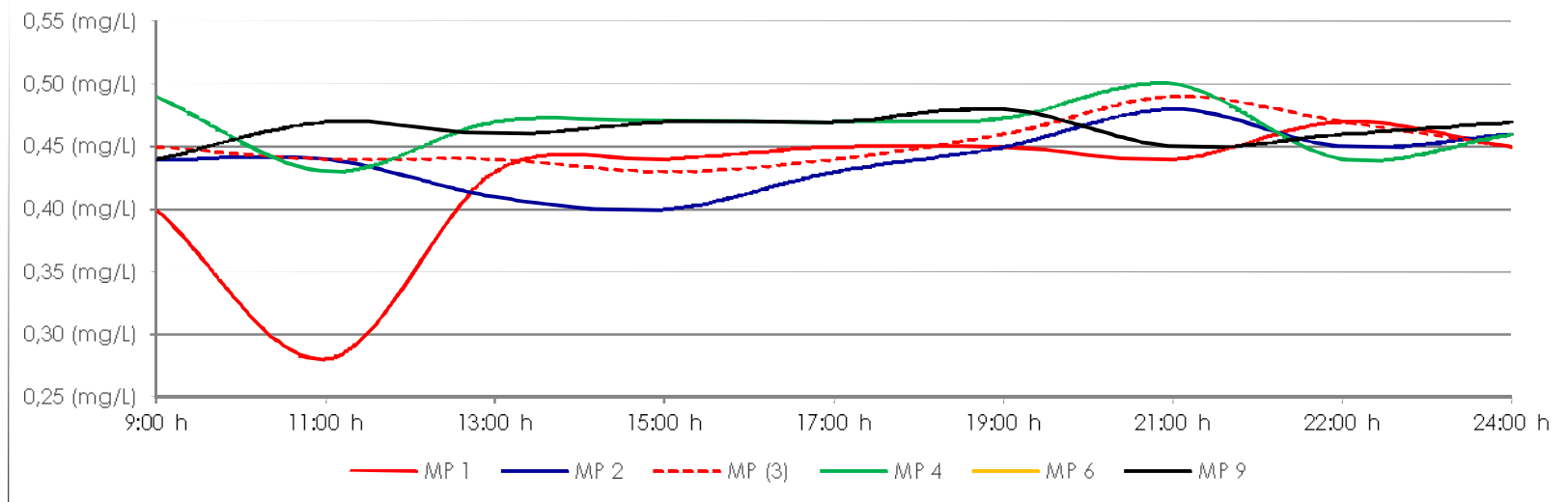
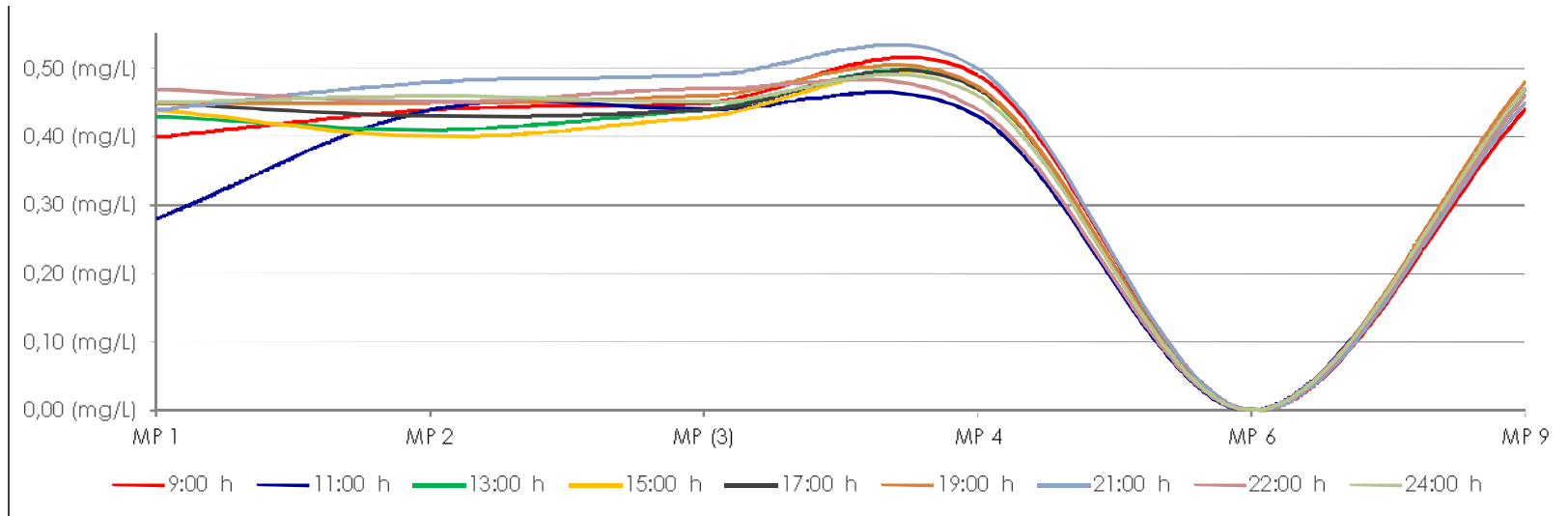
ROW vor CAPTURA MP 4.0



Cl₂ frei
MP 1-2-(3)-4-6-9

04.11.2012 (So)

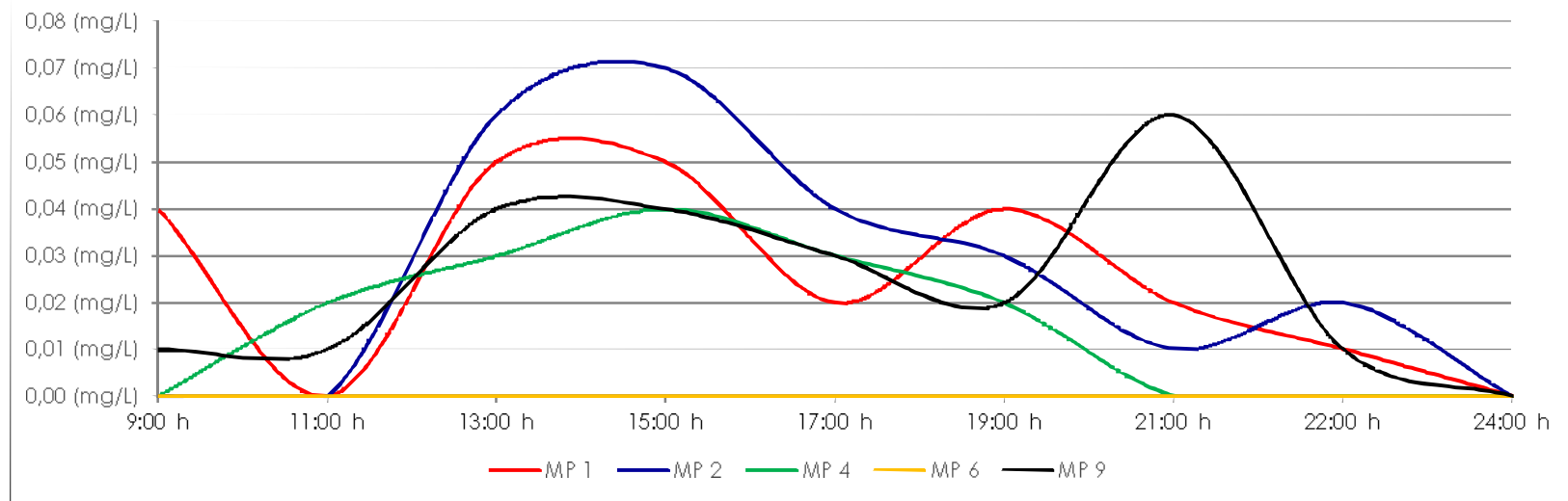
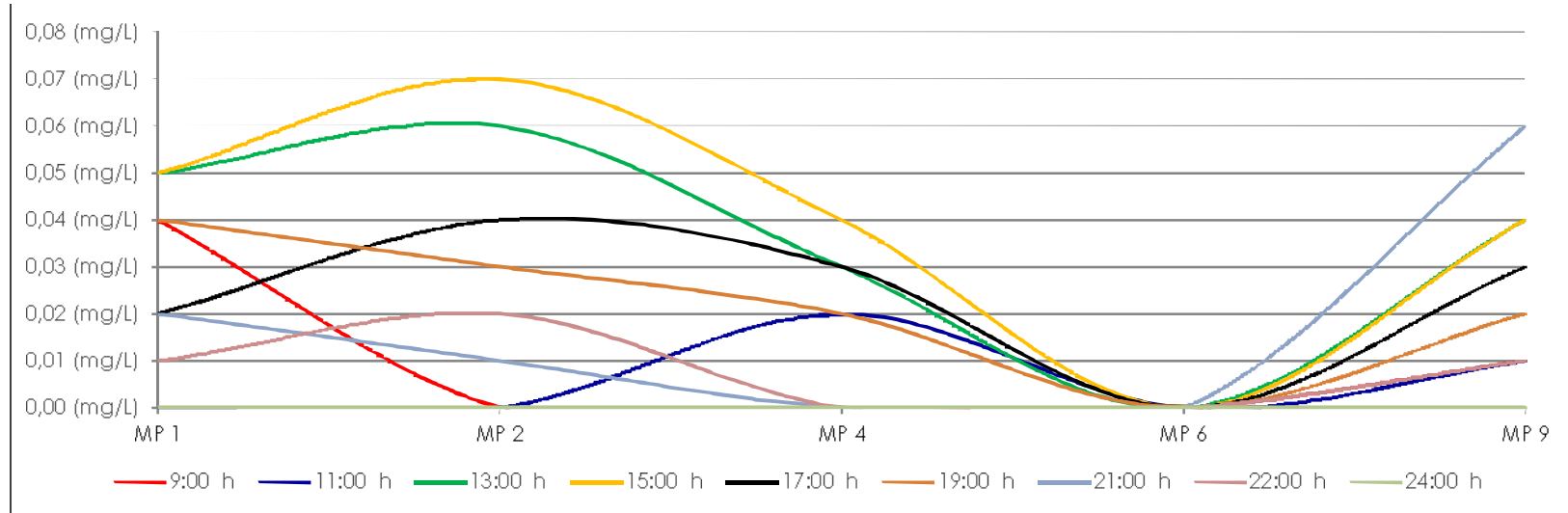
- ROW vor VERTO MP 1.0
- ROW nach VERTO MP 2.0
- Zwischenspeicher MP 3.0
- ROW vor CAPTURA MP 4.0
- FIL nach CAPTURA MP 6.0
- REW Black Hole MP 9.0



Cl₂ geb.
MP 1-2-4-6-9

04.11.2012 (So)

ROW vor VERTO MP 1.0
ROW nach VERTO MP 2.0
ROW vor CAPTURA MP 4.0
FIL nach CAPTURA MP 6.0
REW Black Hole MP 9.0



Oxidierbarkeit

MP 1-2-4-6-9

04.11.2012 (So)

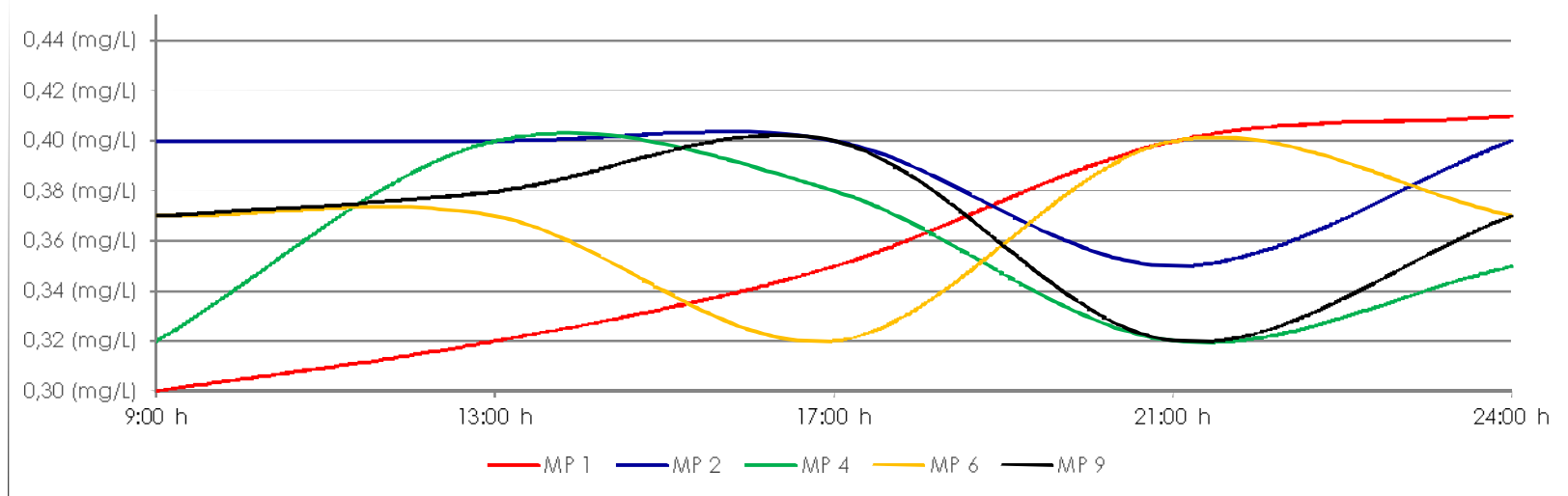
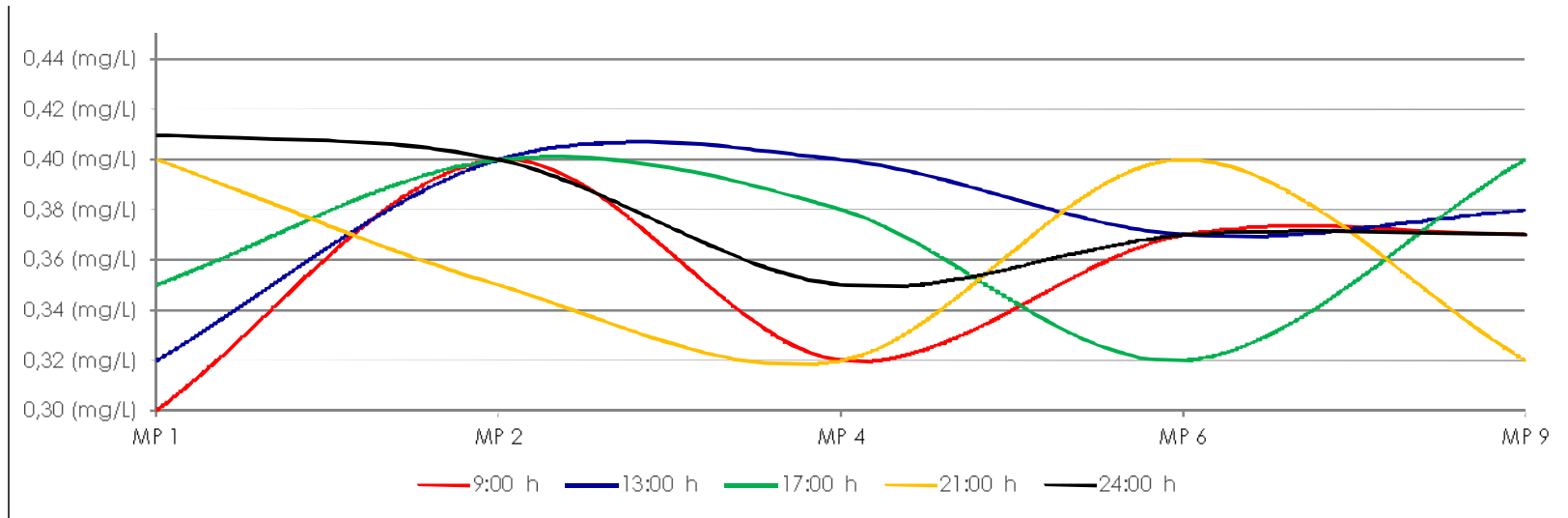
ROW vor VERTO MP 1.0

ROW nach VERTO MP 2.0

ROW vor CAPTURA MP 4.0

FIL nach CAPTURA MP 6.0

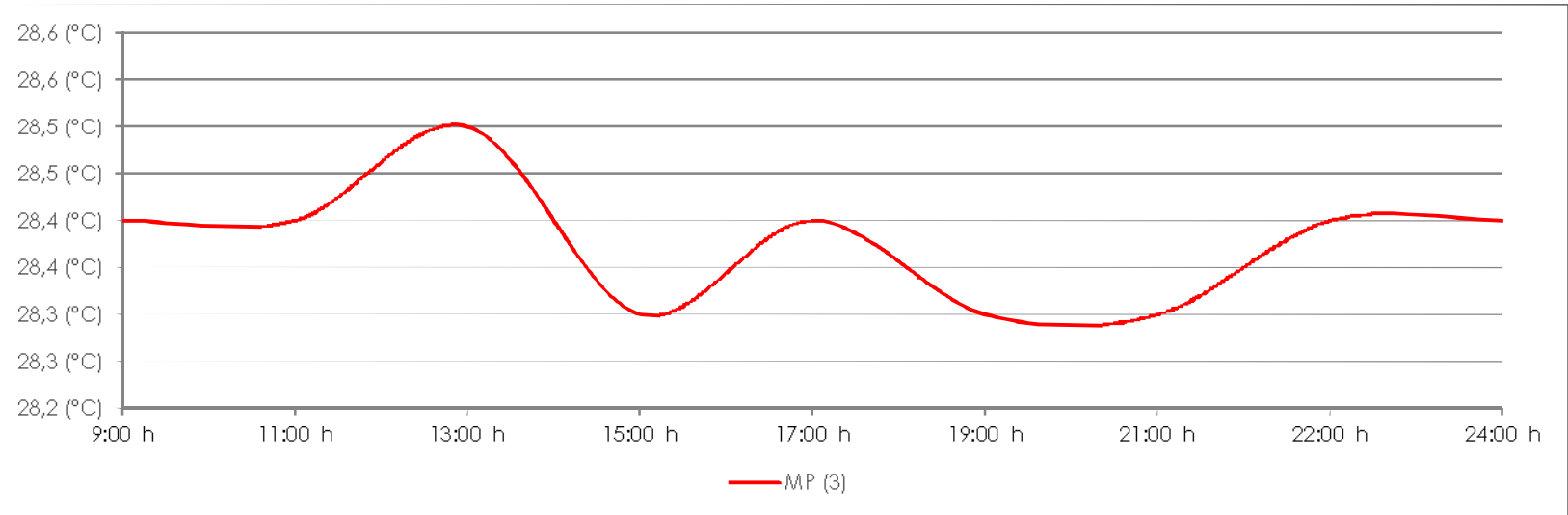
REW Black Hole MP 9.0



Temperatur
MP 3

04.11.2012 (So)

Zwischenspeicher MP 3.0

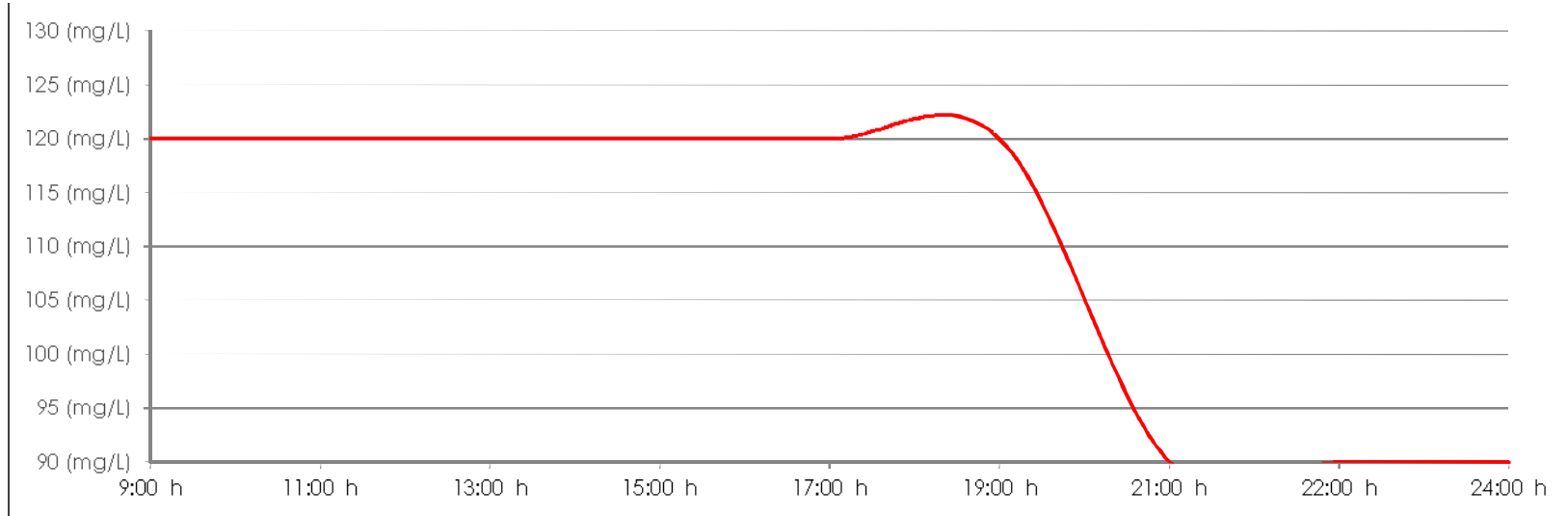


Cl₂ Dosierung
MP 7

04.11.2012 (So)

zwischen
Captura / Speicher

MP 7.0



Volumenstrom
MP 5.1-4

04.11.2012 (So)

Filterkessel-1

MP 5.1

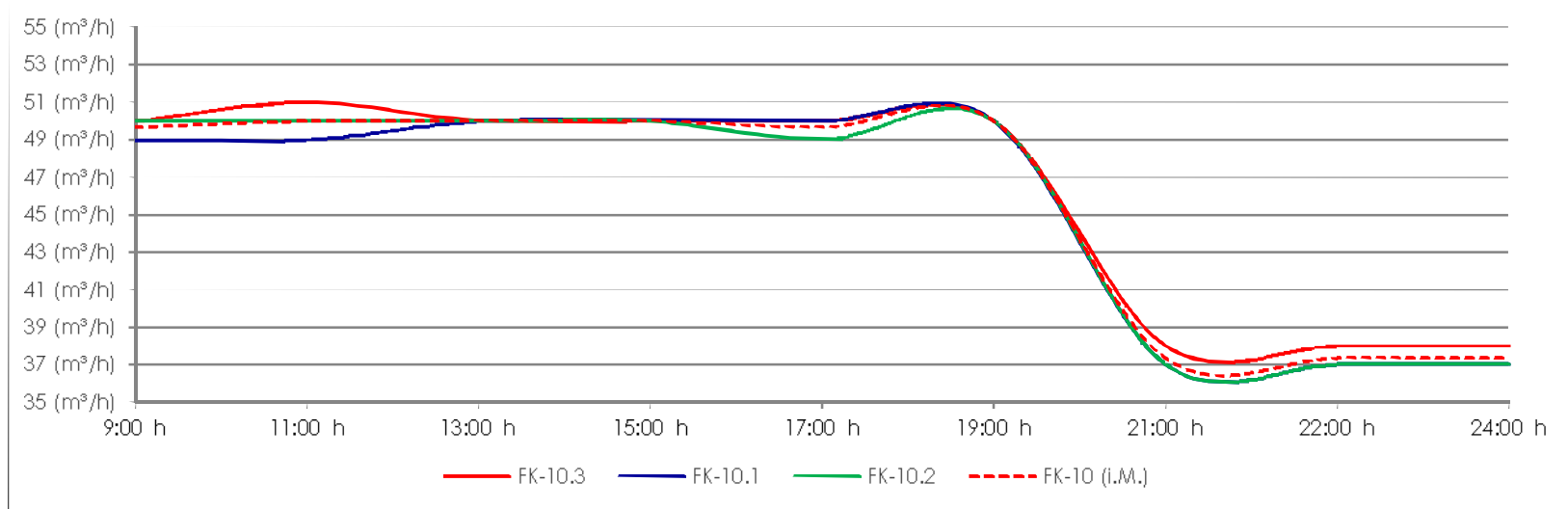
Filterkessel-2

MP 5.2

Filterkessel-3

MP 5.3

Mittelwert (berechnet)



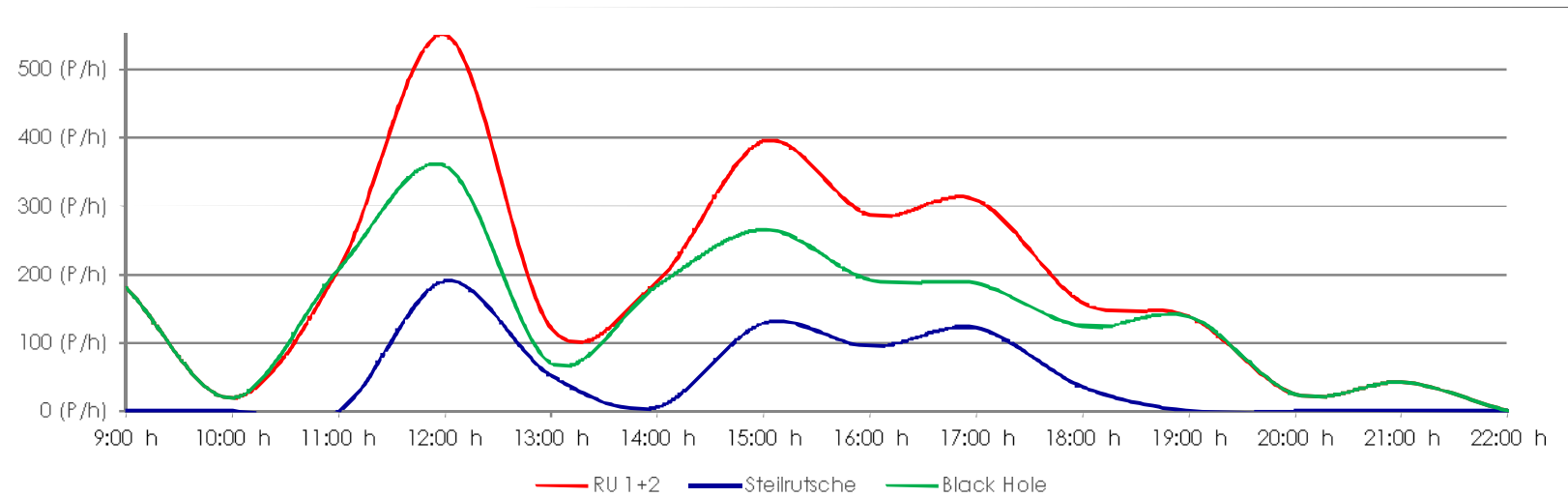
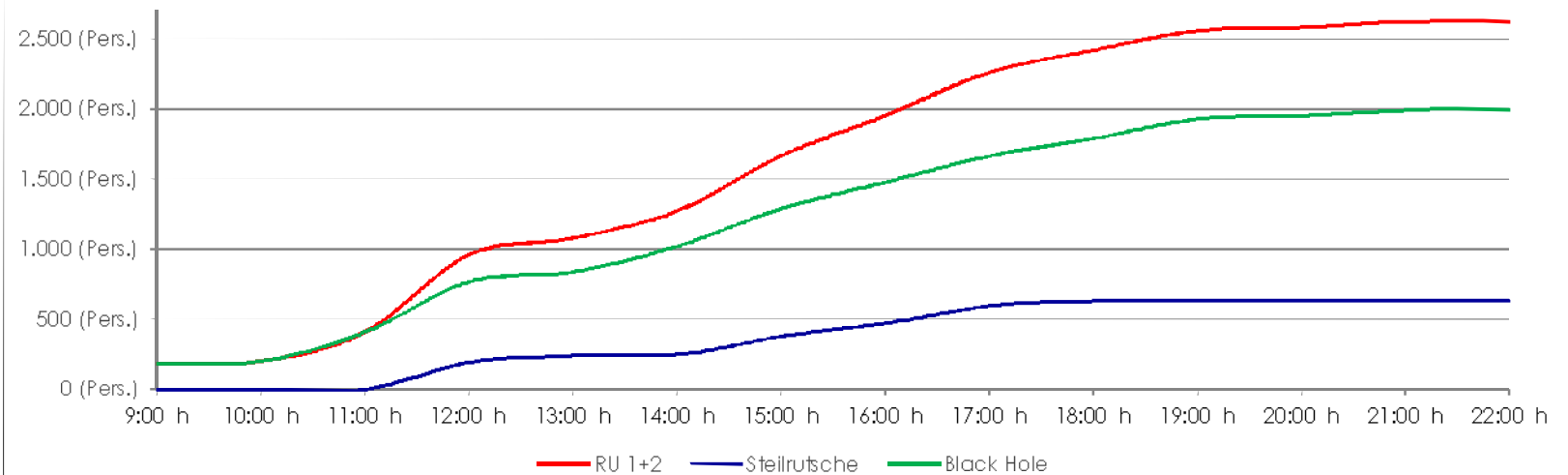
Pers. Frequenz

MP 10.1-3

04.11.2012 (So)

Rutschentrum

MP 10.0



GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-Id.Nr.:
DE117651465

Bankverbindung:
Nord-LB
Kto.-Nr. 200 192 714
BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:
DE03 2505 0000 0200 1927 14

Osnabrück, 08.11.2012

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209364**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probenummer(n): **1209364/01**
Prüfziel: Chemische Analyse gem. Angebot GUA 12-158

Probe Nr.: 1209364/01

Probenbezeichnung: MP 0.1 Füllwasser, 03.11.2012, Nettebad

Probenahme: 03.11.2012

Entnahmestelle: s. Probenbezeichnung

Probennehmer: Auftraggeber

Eingang: 05.11.2012 Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 07.11.2012

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Nitrat	mg/l	6,5	50	0,6	DIN EN ISO 10304-1

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Permanganat-Index	mg O2/l	0,44	5	0,1	DIN EN ISO 8467

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Säurekapazität KS 4,3	mmol/l	4,02		0,1	DIN 38409 H7-1-1,2

Signed at
08.11.2012 12:17:27 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.

Seite 2 von 2

GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-IdNr.:
DE117651465

Bankverbindung:
Nord-LB

Kto.-Nr. 200 192 714
BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:
DE03 2505 0000 0200 1927 14

Osnabrück, 08.11.2012

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209362**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probenummer(n): **1209362/01**
Prüfziel: Mikrobiologische und chemische Analyse
gem. Angebot GUA 12-158

Probe Nr.: 1209362/01

Probenbezeichnung: MP 0.2 Steilrutsche, 03.11.2012, 22:00 Uhr, Nettebad

Probenahme: 03.11.2012 22:00

Entnahmestelle: s. Probenbezeichnung

Probennehmer: Auftraggeber

Eingang: 05.11.2012 Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 07.11.2012

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Gesamtkeimzahl (20°C)	in 1 ml	6	100		TVO, Anl. 1
Gesamtkeimzahl (36°C)	in 1 ml	0	100		TVO, Anl. 1
Escherichia coli	in 100 ml	n.a.	0		TVO, Anl. 1- DIN 38411 K6-1
Pseudomonas aeruginosa	in 100 ml	n.a.	0		DIN 19643

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Säurekapazität KS 4,3	mmol/l	0,50		0,1	DIN 38409 H7-1-1,2

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Permanganat-Index	mg O2/l	0,32	5	0,1	DIN EN ISO 8467

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Nitrat	mg/l	6,7	50	0,6	DIN EN ISO 10304-1

Erläuterung: 0 = nicht nachgewiesen / n.a. nicht analysiert

Signed at
 08.11.2012 12:17:16 +0100
 with Danuta Pyrlík's digital certificate.
 Abteilungsleitung Chemie
 No further signature necessary.

GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-Id.Nr.:
DE117651465

Bankverbindung:
Nord-LB
Kto.-Nr. 200 192 714
BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:
DE03 2505 0000 0200 1927 14

Osnabrück, 08.11.2012

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209365**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probenummer(n): **1209365/01**
Prüfziel: Mikrobiologische und chemische Analyse
gem. Angebot GUA 12-158



Akkreditiert nach
DIN EN ISO / IEC 17025:2005

Seite 1 von 2

Probe Nr.: 1209365/01

Probenbezeichnung: MP 0.2 Black Hole, 03.11.2012, 22:00 Uhr, Nettebad

Probenahme: 03.11.2012 22:00

Entnahmestelle: s. Probenbezeichnung

Probennehmer: Auftraggeber

Eingang: 05.11.2012 Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 07.11.2012

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Gesamtkeimzahl (20°C)	in 1 ml	0	100		TVO, Anl. 1
Gesamtkeimzahl (36°C)	in 1 ml	0	100		TVO, Anl. 1
Escherichia coli	in 100 ml	n.a.	0		TVO, Anl. 1- DIN 38411 K6-1
Pseudomonas aeruginosa	in 100 ml	n.a.	0		DIN 19643

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Säurekapazität KS 4,3	mmol/l	0,49		0,1	DIN 38409 H7-1-1,2

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Permanganat-Index	mg O2/l	0,40	5	0,1	DIN EN ISO 8467

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Nitrat	mg/l	7,4	50	0,6	DIN EN ISO 10304-1

Erläuterung: 0 = nicht nachgewiesen / n.a. nicht analysiert

Signed at
08.11.2012 12:17:31 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.

Seite 2 von 2

GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-Id.Nr.:
DE117651465

Bankverbindung:
Nord-LB

Kto.-Nr. 200 192 714
BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:
DE03 2505 0000 0200 1927 14

Osnabrück, 08.11.2012

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209363**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probenummer(n): **1209363/01**
Prüfziel: Mikrobiologische und chemische Analyse
gem. Angebot GUA 12-158

Probe Nr.: 1209363/01

Probenbezeichnung: MP 0.2 Steilrutsche, 04.11.2012, 22:00 Uhr, Nettebad

Probenahme: 04.11.2012 22:00

Entnahmestelle: s. Probenbezeichnung

Probennehmer: Auftraggeber

Eingang: 05.11.2012 Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 07.11.2012

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Gesamtkeimzahl (20°C)	in 1 ml	10	100		TVO, Anl. 1
Gesamtkeimzahl (36°C)	in 1 ml	0	100		TVO, Anl. 1
Escherichia coli	in 100 ml	n.a.	0		TVO, Anl. 1- DIN 38411 K6-1
Pseudomonas aeruginosa	in 100 ml	n.a.	0		DIN 19643

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Säurekapazität KS 4,3	mmol/l	0,30		0,1	DIN 38409 H7-1-1,2

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Nitrat	mg/l	5,8	50	0,6	DIN EN ISO 10304-1

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Permanganat-Index	mg O ₂ /l	0,35	5	0,1	DIN EN ISO 8467

Erläuterung: 0 = nicht nachgewiesen / n.a. nicht analysiert

Signed at
08.11.2012 12:17:23 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.



GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-Id.Nr.:
DE117651465

Bankverbindung:
Nord-LB
Kto.-Nr. 200 192 714
BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:
DE03 2505 0000 0200 1927 14

Osnabrück, 08.11.2012

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209366**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probenummer(n): **1209366/01**
Prüfziel: Mikrobiologische und chemische Analyse
gem. Angebot GUA 12-158



Akkreditiert nach
DIN EN ISO / IEC 17025:2005

Seite 1 von 2

Probe Nr.: 1209366/01

Probenbezeichnung: MP 0.2 Black Hole, 04.11.2012, 22:00 Uhr, Nettebad

Probenahme: 04.11.2012 22:00

Entnahmestelle: s. Probenbezeichnung

Probennehmer: Auftraggeber

Eingang: 05.11.2012 Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 07.11.2012

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Gesamtkeimzahl (20°C)	in 1 ml	4	100		TVO, Anl. 1
Gesamtkeimzahl (36°C)	in 1 ml	0	100		TVO, Anl. 1
Escherichia coli	in 100 ml	n.a.	0		TVO, Anl. 1- DIN 38411 K6-1
Pseudomonas aeruginosa	in 100 ml	n.a.	0		DIN 19643

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Säurekapazität KS 4,3	mmol/l	0,31		0,1	DIN 38409 H7-1-1,2

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Permanganat-Index	mg O2/l	0,37	5	0,1	DIN EN ISO 8467

Parameter	Einheit	Meßwert	Grenzwert	Bestimmungs- grenze	Verfahren
Nitrat	mg/l	6,3	50	0,6	DIN EN ISO 10304-1

Erläuterung: 0 = nicht nachgewiesen / n.a. nicht analysiert

Signed at
08.11.2012 12:17:35 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.



GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-IdNr.:
DE117651465

Osnabrück, 08.11.2012

Bankverbindung:

Nord-LB

Kto.-Nr. 200 192 714

BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:

DE03 2505 0000 0200 1927 14

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209372**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probennummer(n): **1209372/01 - 1209372/05**
Prüfziel: Chemische Analyse gem. Angebot GUA 12-158



Akkreditiert nach
DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Auftrag: AU1209372

Probennummer(n): 1209372/01 - 1209372/05

vom: 05.11.2012

Probenahme: 04.11.2012

Entnahme-Adresse:

hmer: Auftraggeber

Probeneingang: 05.11.2012

Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 05.11.2012

Probe-Nr	Probenbezeichnung	Permanganat-Index mg O ₂ /l
	Verfahren	DIN EN ISO 8467
	Grenzwert	5
	Bestimmungsgrenze	0,1
1209372/01	MP 1.0 Rohwasser v. Verto, 04.11.2012, 09:00 Uhr, Nettebad	0,30
1209372/02	MP 1.0 Rohwasser v. Verto, 04.11.2012, 13:00 Uhr, Nettebad	0,32
1209372/03	MP 1.0 Rohwasser v. Verto, 04.11.2012, 17:00 Uhr, Nettebad	0,35
1209372/04	MP 1.0 Rohwasser v. Verto, 04.11.2012, 21:00 Uhr, Nettebad	0,40
1209372/05	MP 1.0 Rohwasser v. Verto, 04.11.2012, 24:00 Uhr, Nettebad	0,41

Signed at
08.11.2012 12:17:57 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.

Seite 2 von 2



GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-IdNr.:
DE117651465

Osnabrück, 08.11.2012

Bankverbindung:

Nord-LB

Kto.-Nr. 200 192 714

BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:

DE03 2505 0000 0200 1927 14

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209371**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probenummer(n): **1209371/01 - 1209371/04**
Prüfziel: Chemische Analyse gem. Angebot GUA 12-158



Akkreditiert nach
DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Auftrag: AU1209371

Probennummer(n): 1209371/01 - 1209371/04

vom: 05.11.2012

Probenahme: 04.11.2012

Entnahme-Adresse:

Probenehmer: Auftraggeber

Probeneingang: 05.11.2012

Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 05.11.2012

Probe-Nr	Probenbezeichnung	Permanganat-Index mg O ₂ /l
	Verfahren	DIN EN ISO 8467
	Grenzwert	5
	Bestimmungsgrenze	0,1
1209371/01	MP 2,0 Rohwasser n. Verto, 04.11.2012, 13:00 Uhr, Nettebad	0,40
1209371/02	MP 2,0 Rohwasser n. Verto, 04.11.2012, 17:00 Uhr, Nettebad	0,40
1209371/03	MP 2,0 Rohwasser n. Verto, 04.11.2012, 21:00 Uhr, Nettebad	0,35
1209371/04	MP 2,0 Rohwasser n. Verto, 04.11.2012, 24:00 Uhr, Nettebad	0,40

Signed at
08.11.2012 12:17:53 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.

Seite 2 von 2



GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-IdNr.:
DE117651465

Osnabrück, 08.11.2012

Bankverbindung:

Nord-LB

Kto.-Nr. 200 192 714

BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:

DE03 2505 0000 0200 1927 14

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209370**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probenummer(n): **1209370/01 - 1209370/05**
Prüfziel: Chemische Analyse gem. Angebot GUA 12-158



Akkreditiert nach
DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Auftrag: AU1209370

Probennummer(n): 1209370/01 - 1209370/05

vom: 05.11.2012

Probenahme: 04.11.2012

Entnahme-Adresse:

hmer: Auftraggeber

Probeneingang: 05.11.2012

Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 05.11.2012

Probe-Nr	Probenbezeichnung	Permanganat-Index mg O ₂ /l
	Verfahren	DIN EN ISO 8467
	Grenzwert	5
	Bestimmungsgrenze	0,1
1209370/01	MP 4.0 Rohwasser v. Captura, 04.11.2012, 09:00 Uhr	0,32
1209370/02	MP 4.0 Rohwasser v. Captura, 04.11.2012, 13:00 Uhr	0,40
1209370/03	MP 4.0 Rohwasser v. Captura, 04.11.2012, 17:00 Uhr	0,38
1209370/04	MP 4.0 Rohwasser v. Captura, 04.11.2012, 21:00 Uhr	0,32
1209370/05	MP 4.0 Rohwasser v. Captura, 04.11.2012, 24:00 Uhr	0,35

Signed at
08.11.2012 12:17:49 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.

Seite 2 von 2



GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-IdNr.:
DE117651465

Osnabrück, 08.11.2012

Bankverbindung:
Nord-LB
Kto.-Nr. 200 192 714
BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:
DE03 2505 0000 0200 1927 14

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209369**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probenummer(n): **1209369/01 - 1209369/05**
Prüfziel: Chemische Analyse gem. Angebot GUA 12-158



Akkreditiert nach
DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Auftrag: AU1209369

Probennummer(n): 1209369/01 - 1209369/05

vom: 05.11.2012

Probenahme: 04.11.2012

Entnahme-Adresse:

Probenehmer: Auftraggeber

Probeneingang: 05.11.2012

Prüfbeginn: 05.11.2012 Prüfende: 05.11.2012

Probe-Nr	Probenbezeichnung	Permanganat-Index mg O ₂ /l
	Verfahren	DIN EN ISO 8467
	Grenzwert	5
	Bestimmungsgrenze	0,1
1209369/01	MP 6.0 Filtrat n. Captura, 04.11.2012, 09:00 Uhr, Nettebad	0,37
1209369/02	MP 6.0 Filtrat n. Captura, 04.11.2012, 13:00 Uhr, Nettebad	0,37
1209369/03	MP 6.0 Filtrat n. Captura, 04.11.2012, 17:00 Uhr, Nettebad	0,32
1209369/04	MP 6.0 Filtrat n. Captura, 04.11.2012, 21:00 Uhr, Nettebad	0,40
1209369/05	MP 6.0 Filtrat n. Captura, 04.11.2012, 24:00 Uhr, Nettebad	0,37

Signed at
08.11.2012 12:17:44 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.

Seite 2 von 2



GUA Gesellschaft für Umweltanalytik mbH · Westerbreite 7 · 49084 Osnabrück

Stadtwerke Osnabrück AG
Osnabrücker Bäder
Herr August
Postfach 38 09

49028 Osnabrück

Westerbreite 7
49084 Osnabrück
Tel. 0541 750413
Fax 0541 7504143
Internet: www.gua.de

Geschäftsführer:
[Dr. Rosemarie van Hülst](#)
[Olaf Meyer](#)

Amtsgericht Osnabrück
HRB 15850
Steuernummer:
66/200/28806

Ust.-IdNr.:
DE117651465

Osnabrück, 08.11.2012

Bankverbindung:

Nord-LB

Kto.-Nr. 200 192 714

BLZ 250 500 00

BIC: NOLA DE 2HXXX

IBAN:

DE03 2505 0000 0200 1927 14

PRÜFBERICHT

Auftrag Nr.: **AU1209368**
Auftraggeber: Stadtwerke Osnabrück AG, Osnabrücker Bäder,
Postfach 38 09, 49028 Osnabrück

Probennummer(n): **1209368/01 - 1209368/05**
Prüfziel: Chemische Analyse gem. Angebot GUA 12-158



Akkreditiert nach
DIN EN ISO/IEC 17025:2005

Auftrag: AU1209368

Probennummer(n): 1209368/01 - 1209368/05

vom: 05.11.2012

Probenahme: 04.11.2012

Entnahme-Adresse:

nehmer: Auftraggeber

Probeneingang: 05.11.2012

Prüfbeginn: 05.11.2012

Prüfende: 05.11.2012

Probe-Nr	Probenbezeichnung	Permanganat-Index mg O ₂ /l
	Verfahren	DIN EN ISO 8467
	Grenzwert	5
	Bestimmungsgrenze	0,1
1209368/01	MP 9.0 Reinwasser Black Hole, 04.11.2012, 09:00 Uhr, Nettebad	0,37
1209368/02	MP 9.0 Reinwasser Black Hole, 04.11.2012, 13:00 Uhr, Nettebad	0,38
1209368/03	MP 9.0 Reinwasser Black Hole, 04.11.2012, 17:00 Uhr, Nettebad	0,40
1209368/04	MP 9.0 Reinwasser Black Hole, 04.11.2012, 21:00 Uhr, Nettebad	0,32
1209368/05	MP 9.0 Reinwasser Black Hole, 04.11.2012, 24:00 Uhr, Nettebad	0,37

Signed at
08.11.2012 12:17:40 +0100
with Danuta Pyrlík's digital certificate.
Abteilungsleitung Chemie
No further signature necessary.

Seite 2 von 2

