

**Vergleich zweier Kläranlagentypen in Bezug auf  
die Eliminationsrate pathogener  
Mikroorganismen zur produktionsintegrierten  
Nutzung gereinigter Wässer**

Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt,  
gefördert unter den Az: 24011-23 und 24011/02-23 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dr. Niels Christian Holm & Prof. Peter Roggentin

Mai 2010

# Inhaltsverzeichnis

<b>Verzeichnis von Bildern und Tabellen .....</b>	<b>4</b>
<b>Verzeichnis von Begriffen und Definitionen .....</b>	<b>9</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>10</b>
<b>Einleitung .....</b>	<b>11</b>
<b>Material und Methoden .....</b>	<b>12</b>
<i>Klärwerke mit Probennahmestellen .....</i>	<i>12</i>
Kläranlage Weißtal .....	12
Kläranlage Erfde .....	16
<i>Probennahmen .....</i>	<i>17</i>
Probennahme 10.05.06 .....	17
Probennahme 29.05.06 .....	17
Probennahme 04.07.06 .....	17
Probennahme 15.08.06 .....	17
Probennahme 12.09.06 .....	18
Probennahme 18.10.06 .....	18
Probennahme 06.12.06 .....	18
Probennahme 31.01.07 .....	18
Probennahme 27.02.07 .....	18
Probennahme 09.05.07 .....	18
Probennahme 04.06.07 .....	19
Probennahme 24.07.07 .....	19
Probennahme 12.09.07 .....	19
Probennahme 11.02.09 .....	19
Probennahme 21.04.09 .....	20
Probennahme 01.07.09 .....	20
Probennahme 28.07.09 .....	20
<i>Anreicherung und Isolierung von Salmonellen .....</i>	<i>21</i>
<i>Bestimmung der Salmonellen-Serovare .....</i>	<i>21</i>
<i>Anreicherung und Isolierung von Campylobacter .....</i>	<i>21</i>
<i>Zellzahl-Bestimmung mit der MPN-Methode .....</i>	<i>22</i>
<i>Identifizierung von Campylobacter/Arcobacter .....</i>	<i>22</i>
<b>Nachweis von Viren .....</b>	<b>22</b>
<i>Methodenentwicklung .....</i>	<i>22</i>
<i>Anreicherung von Viren aus großen Probenvolumina .....</i>	<i>22</i>
<i>Ionenaustauscher-Filtration .....</i>	<i>23</i>
<i>PEG-Fällung .....</i>	<i>23</i>
<i>Einengen der Proben mit Konzentratoren .....</i>	<i>23</i>
<i>RNA-Extraktion .....</i>	<i>23</i>
<i>PCR-Verfahren .....</i>	<i>24</i>
Rotavirus: nested RT-PCR .....	24
Norovirus: nested RT-PCR .....	24
Norovirus Real-time PCR .....	24
<i>Grenzwertbestimmungen .....</i>	<i>24</i>
<i>Kontrollversuche .....</i>	<i>24</i>
<b>Ergebnisse und Diskussion .....</b>	<b>25</b>
<i>Versuche zur Methodik .....</i>	<i>25</i>
Nachweis von Salmonellen und Campylobacter/Arcobacter .....	25
Probentransport .....	26
Probenart .....	26

<i>Ergebnisse der methodischen Experimente zum Virusnachweis</i> .....	26
Virusanreicherung .....	26
RNA-Extraktion und PCR .....	27
Grenzwertbestimmungen.....	27
Positivkontrollen.....	28
ELISA zur Bestimmung von Rotavirus .....	28
<i>Klärwerksparameter</i> .....	28
<i>Nachgewiesene Salmonellen</i> .....	31
Proben aus Erfde.....	33
<i>Nachgewiesene Campylobacter/Arcobacter</i> .....	35
Proben aus Erfde.....	37
<i>Eliminationsraten von Bakterien</i> .....	38
<i>Nachweisgrenzen von Viren</i> .....	47
Nachweis von Noroviren mit Realtime-PCR.....	48
Proben aus Erfde.....	50
<i>Detaillierte Untersuchung des SBR-Zyklus</i> .....	51
<i>Elimination von Salmonella und Norovirus in der SBR-Anlage Weißtal unter</i> <i>Hochlastbedingungen</i> .....	53
Hochlastversuche in Erfde.....	56
<i>Zyklus mit zwei Beschickungen</i> .....	59
<i>Salmonellen-Serovare</i> .....	61
Salmonellen-Serovare aus Erfde .....	68
Gemeldete Salmonellen-Erkrankungen im Einzugsgebiet des Klärwerks Weißtal .....	70
<i>Campylobacter/Arcobacter-Bestimmung</i> .....	72
<b>Fazit</b> .....	<b>75</b>
<i>Bakterien</i> .....	75
<i>Viren</i> .....	77
<b>Ökologische und ökonomische Bilanzierung des Verfahrens</b> .....	<b>77</b>
<b>Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse</b> .....	<b>79</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>80</b>

## Verzeichnis von Bildern und Tabellen

<b>Tabelle 1:</b>	<b>Zulauffrachten zur Kläranlage bei 20.500 EW. ....</b>	<b>13</b>
<b>Tabelle 2:</b>	<b>Bemessungswassermengen. ....</b>	<b>13</b>
<b>Tabelle 3:</b>	<b>Überwachungswerte vor/nach Erweiterung. ....</b>	<b>13</b>
<b>Abb. 1:</b>	<b>Luftbild der Kläranlage Weißtal nach der Erweiterung. ....</b>	<b>13</b>
<b>Tabelle 4:</b>	<b>Bestimmung der CSB-Werte (mg/L) in Abwasserproben * Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors, n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>28</b>
<b>Tabelle 5:</b>	<b>Bestimmung der <math>N_{ges}</math>-Werte (mg/L) in Abwasserproben * Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors; n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>28</b>
<b>Tabelle 6:</b>	<b>Bestimmung der <math>NH_4</math>-N-Werte (mg/L) in Abwasserproben * Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors; n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabelle 7:</b>	<b>Bestimmung der <math>NO_3</math>-N-Werte (mg/L) in Abwasserproben * Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors; n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabelle 8:</b>	<b>Bestimmung der <math>P_{ges}</math>-Werte (mg/L) in Abwasserproben * Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors; n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabelle 9:</b>	<b>Bestimmung von CSB-, <math>N_{ges}</math> - und <math>P_{ges}</math> -Werte in den Abwasserproben der Kläranlage Erfde; n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabelle 10:</b>	<b>Bestimmung von CSB-, <math>N_{ges}</math> - und <math>P_{ges}</math> -Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Weißtal vom 04.06.07. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 11:</b>	<b>Bestimmung von CSB-, <math>N_{ges}</math> - und <math>P_{ges}</math> -Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Weißtal vom 24.07.07. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 12:</b>	<b>Bestimmung von CSB-, <math>N_{ges}</math> - und <math>P_{ges}</math> -Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Weißtal vom 12.09.07. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 13:</b>	<b>Bestimmung von CSB-, <math>N_{ges}</math> - und <math>P_{ges}</math> -Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Weißtal vom 21.04.09. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 14:</b>	<b>Bestimmung von CSB-, <math>N_{ges}</math> - und <math>P_{ges}</math> -Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage; SBR-Reaktor 2, des Klärwerks Weißtal vom 01.07.09. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 15:</b>	<b>Bestimmung von CSB-, <math>N_{ges}</math> - und <math>P_{ges}</math> -Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage; SBR-Reaktor 1, des Klärwerks Weißtal vom 01.07.09. ....</b>	<b>30</b>
<b>Tabelle 16:</b>	<b>Bestimmung von CSB-, <math>N_{ges}</math> - und <math>P_{ges}</math> -Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Erfde vom 28.07.09. ....</b>	<b>31</b>
<b>Tabelle 17:</b>	<b>Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 04.07.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>31</b>
<b>Tabelle 18:</b>	<b>Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 15.08.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt * nach Beschickung vor Belüftung ** es wurden nur 1 bzw. 2 parallele Anreicherungen angelegt. ....</b>	<b>31</b>
<b>Tabelle 19:</b>	<b>Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 12.09.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>32</b>
<b>Tabelle 20:</b>	<b>Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 18.10.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>32</b>
<b>Tabelle 21:</b>	<b>Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 27.02.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt. ....</b>	<b>32</b>

<b>Tabelle 22: Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 09.05.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabelle 23: Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Erfde vom 06.12.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabelle 24: Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Erfde vom 31.01.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabelle 25: Auf Campylobacter/Arcobacter getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 04.07.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabelle 26: Auf Campylobacter/Arcobacter getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 15.08.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt; * nach Beschickung, vor Belüftung; ** es wurde nur 1 Anreicherung beimpft.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabelle 27: Auf Campylobacter/Arcobacter getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 12.09.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabelle 28: Auf Campylobacter/Arcobacter getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 18.10.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabelle 29: Auf Campylobacter/Arcobacter getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 27.02.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabelle 30: Auf Campylobacter/Arcobacter getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 09.05.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt; * Nach Beschicken, vor Belüften.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabelle 31: Auf Campylobacter getestete Probevolumina der Probennahme in Erfde vom 31.01.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Campylobacter nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabelle 32: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonellen bei der Probennahme vom 04.07.06.....</b>	<b>38</b>
<b>Abb. 2: Überlebensraten von Salmonellen in % bei der Probennahme vom 04.07.06 .....</b>	<b>38</b>
<b>Tabelle 33: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonellen bei der Probennahme vom 15.08.06.....</b>	<b>38</b>
<b>Abb. 3: Überlebensraten von Salmonellen in % bei der Probennahme vom 15.08.06 .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabelle 34: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 15.08.06.....</b>	<b>39</b>
<b>Abb. 4: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 15.08.06.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabelle 35: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 12.09.06.....</b>	<b>39</b>
<b>Abb. 5: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 12.09.06.....</b>	<b>39</b>

<b>Tabelle 36: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 18.10.06.....</b>	<b>40</b>
<b>Abb. 6: Überlebensraten von Salmonella in % bei der Probennahme vom 18.10.06 .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabelle 37: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 18.10.06.....</b>	<b>40</b>
<b>Abb. 7: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 18.10.06.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabelle 38: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 27.02.07.....</b>	<b>41</b>
<b>Abb. 8: Überlebensraten von Salmonella in % bei der Probennahme vom 27.02.07 .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabelle 39: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 27.02.07 .....</b>	<b>41</b>
<b>Abb. 9: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 27.02.07 .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabelle 40: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 09.05.07 *Nach Beschicken vor Belüften .....</b>	<b>42</b>
<b>Abb. 10: Überlebensraten von Salmonella in % bei der Probennahme vom 09.05.07 .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabelle 41: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 09.05.07 *Nach Beschicken vor Belüften .....</b>	<b>42</b>
<b>Abb. 11: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 09.05.07 .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabelle 42: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 06.12.06 in Erfde .....</b>	<b>43</b>
<b>Abb. 12: Überlebensraten von Salmonellen in % bei der Probennahme vom 06.12.06 in Erfde .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabelle 43: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 31.01.07 in Erfde .....</b>	<b>43</b>
<b>Tabelle 44: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 31.01.07 in Erfde.....</b>	<b>43</b>
<b>Abb. 13: Zusammenhang zwischen der Salmonellen-Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate in % für Salmonellen in der konventionellen Belebung .....</b>	<b>45</b>
<b>Abb. 14: Zusammenhang zwischen der Campylobacter/Arcobacter-Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate in % für Campylobacter in der konventionellen Belebung .....</b>	<b>45</b>
<b>Abb. 15: Zusammenhang zwischen der Salmonellen-Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate in % für Salmonella in der SBR-Anlage im 4 h-Zyklus.....</b>	<b>45</b>
<b>Abb. 16:: Zusammenhang zwischen der Campylobacter/Arcobacter-Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate in % für Campylobacter/Arcobacter in der SBR-Anlage im 4 h-Zyklus. ....</b>	<b>46</b>
<b>Tabelle 45: Nachweisgrenzen von Norovirus und Rotavirus in Abwasserproben aus Weißtal * die Viren aus diesem Volumen wurden über Ionenaustauschfilter angereichert (24 h): handelt sich um eine mengenproportionale 24 h-Mischprobe; neg = negativ * * = nach Beschickung, vor Belüftung, 1 h Absetzen lassen, Überstand verwendet n. d. = nicht bearbeitet.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabelle 46: Eliminationsraten von Noroviren berechnet aus den ermittelten CT-Werten der Real-Time-PCR * Die Kopienzahl wird aus dem CT-Wert errechnet, der auf dem Vergleich mit einer Standardkurve beruht, die von einem willkürlich festgelegten Wert ausgeht. Die Kopienzahlen verschiedener Probennahmetage sind nicht vergleichbar ** Nach Beschicken vor Belüften.....</b>	<b>49</b>
<b>Tabelle 47: Nachweisgrenzen von Norovirus und Rotavirus aus Abwasserproben aus Erfde .....</b>	<b>50</b>

<b>Tabelle 48: Eliminationsraten von Norovirus in der SBR-Anlage in Erfde .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabelle 49: Eliminationsraten von Rotavirus in der SBR-Anlage in Erfde.....</b>	<b>50</b>
<b>Tabelle 50: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 04.06.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt.....</b>	<b>51</b>
<b>Tabelle 51: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 04.06.07.....</b>	<b>51</b>
<b>Abb. 19: Elimination von Salmonellen während eines SBR-Zyklus am 04.06.07 in Weißtal .....</b>	<b>52</b>
<b>Tabelle 52: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal 21.04.09. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabelle 53: Eliminationsraten von Noroviren bei der Probennahme vom 04.06.07 .....</b>	<b>53</b>
<b>Tabelle 54: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 24.07.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabelle 55: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 24.07.07.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabelle 56: Eliminationsraten von Noroviren bei der Probennahme vom 24.07.07.....</b>	<b>54</b>
<b>Abb. 20: Elimination von Noroviren unter hydraulischen Hochlastbedingungen in der SBR-Anlage Weißtal am 24.07.07 .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabelle 57: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 12.09.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabelle 58: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 12.9.07.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabelle 59: Eliminationsraten von Noroviren bei der Probennahme vom 12.09.07 .....</b>	<b>55</b>
<b>Tabelle 60: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Erfde vom 11.02.09. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt.....</b>	<b>56</b>
<b>Tabelle 61: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Erfde vom 28.07.09 nach 18 h Peptonanreicherung. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt .....</b>	<b>56</b>
<b>Tabelle 62: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Erfde vom 28.07.09 nach 18 h Peptonanreicherung bei 37 °C und weiteren 3 Tagen bei Zimmertemperatur. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt.....</b>	<b>57</b>
<b>Tabelle 63: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 28.07.09 in Erfde .....</b>	<b>58</b>
<b>Abb. 21: Elimination von Salmonellen unter hydraulischen Hochlastbedingungen in der SBR-Anlage Erfde am 28.7.09.....</b>	<b>58</b>
<b>Tabelle 64: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 01.07.09 aus Reaktor 2. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabelle 65: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 01.07.09 aus Reaktor 2.....</b>	<b>59</b>
<b>Abb. 22: Elimination von Samonellen während eines SBR-Zylus' mit 2 Beschickungen in der SBR-Anlage Weißtal, Reaktor 2 am 01.07.09 .....</b>	<b>60</b>

<b>Tabelle 66: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 01.07.09 aus Reaktor 1. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt</b>	<b>60</b>
<b>Tabelle 67: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 01.07.09 aus Reaktor 1</b>	<b>60</b>
<b>Abb. 23: Elimination von Samonellen während eines SBR-Zyklus' mit 2 Beschickungen in der SBR-Anlage Weißtal, Reaktor 1 am 01.07.09</b>	<b>61</b>
<b>Tabelle 68: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 10.05.06</b>	<b>61</b>
<b>Tabelle 69: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 29.05.06</b>	<b>62</b>
<b>Tabelle 70: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 04.07.06</b>	<b>62</b>
<b>Tabelle 71: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 12.09.06</b>	<b>62</b>
<b>Tabelle 72: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 15.08.06</b>	<b>63</b>
<b>Tabelle 73: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 18.10.06</b>	<b>63</b>
<b>Tabelle 74: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 27.02.07</b>	<b>64</b>
<b>Tabelle 75: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 09.05.07</b>	<b>64</b>
<b>Tabelle 76: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 04.06.07</b>	<b>65</b>
<b>Tabelle 77: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 24.07.07</b>	<b>65</b>
<b>Tabelle 78: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 12.09.07</b>	<b>66</b>
<b>Tabelle 79: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 21.04.09</b>	<b>66</b>
<b>Tabelle 80: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom in Weißtal vom 01.07.09 aus Reaktor 2.</b>	<b>67</b>
<b>Tabelle 81: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom in Weißtal vom 01.07.09 aus Reaktor 1.</b>	<b>67</b>
<b>Tabelle 82: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 06.12.06 in Erfde</b>	<b>68</b>
<b>Tabelle 83: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 31.01.07 in Erfde</b>	<b>68</b>
<b>Tabelle 84: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 11.02.09</b>	<b>68</b>
<b>Tabelle 85: Prozentuale Verteilung der bisher bestimmten Serovare der Salmonellen-Isolate</b>	<b>69</b>
<b>Tabelle 86: Vergleich der im Jahr 2006 im Gemeindebereich Wilnsdorf gemeldete Salmonellen-Erkrankungen und deren Salmonellen-Serovare mit den Serovaren, die aus dem Zulauf der Kläranlage Weißtal isoliert werden konnten</b>	<b>70</b>



**Tabelle 87: Vergleich der von Januar bis November des Jahres 2007 im Gemeindebereich Wilnsdorf gemeldete Salmonellen-Erkrankungen und deren Salmonellen-Serovare mit den Serovaren, die aus dem Zulauf der Kläranlage Weißtal isoliert werden konnten; n. b. = nicht bestimmt ..... 71**  
**Tabelle 88: Bestimmung der Campylobacteriaceen-Gattung von Stämmen in Bezug zum Probenvolumen, in dem Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen werden konnten ..... 73**

## **Verzeichnis von Begriffen und Definitionen**

BSB: Biochemischer Sauerstoffbedarf bei einer Messzeit von 5 Tagen bei 20 °C.

CSB-Wert: chemischer Sauerstoffbedarf. Bei einer CSB-Messung wird ermittelt, wie viel Sauerstoff die chemischen Faulungs-/Reinigungsprozesse im Abwasser verbrauchen.

EW: Einwohnerwerte.

SBR: Sequencing Batch Reactor.

Serovar: Ein Salmonellen-Serovar ist definiert durch seine Antigenformel.

SFB: Schmutzlastberechnung.

TKN: Gesamtstickstoff.

TS: Trockensubstanz.

## Zusammenfassung

In der Kläranlage Weißtal werden 2 verschiedene Kläranlagentypen, eine konventionelle Belebung (= Durchlauf-Belebung) und eine SBR-Anlage (= Aufstau-Belebung), aus demselben Zulauf beschickt. Diese Verhältnisse bieten die einmalige Chance, die Pathogenen-Eliminationsrate beider Klärwerkstypen vergleichend zu bestimmen. Für konventionelle Durchlauf-Anlagen sind einige, aufgrund verschiedener Verfahrenstechniken schwer vergleichbare Literaturwerte verfügbar, für SBR-Anlagen gab es bisher überhaupt keine Daten.

Es wurden die 4 häufigsten Enteritis-Erreger (*Salmonella*, *Campylobacter*, Norovirus und Rotavirus) untersucht, von denen bekannt war, dass sie in Abwasser regelmäßig vorkommen.

Die Keimzahlen schwanken im Zulauf erheblich. Sie sind von der Jahreszeit, den Wetterbedingungen (Verdünnung durch Regenwasser) und vielen anderen Faktoren abhängig, so dass für gut gesicherte Ergebnisse wiederholte Probenahmen erforderlich waren.

Die SBR-Anlage zeigte mindestens genau so gute, für *Salmonella* sogar überwiegend bessere Eliminationsraten (*Salmonella* 88-99,9 %, *Campylobacter/Arcobacter* 83-99,99 %) als die konventionelle Belebung (*Salmonella* 86-99,93 %; *Campylobacter/Arcobacter* 41-99,98 %).

Es zeigte sich, dass die Eliminationsraten umso besser waren, je konzentrierter das Abwasser gemessen an den CSB-Werten war. Außerdem wurde festgestellt, dass die Eliminationsrate umso höher war, je höher die Keimzahl des jeweiligen pathogenen Organismus im Zulauf war.

Beide Faktoren legen nahe, möglichst konzentriertes Abwasser in die Kläranlage einzuleiten. Aus der Perspektive der Elimination von pathogenen Keimen ist eine separate Regenwasserbehandlung daher vorteilhaft. Dieses wird seit mehreren Jahren aus ganz anderen Gründen (z. B. der Fremdwasservermeidung) vermehrt betrieben.

Nach Anpassung der Methoden zur Anreicherung und zum Nachweis der Viren konnten im Abwasser Norovirus und Rotavirus nachgewiesen werden. Für Norovirus konnten Eliminationsraten für die SBR-Anlage zwischen 78,8 und 98,1 % und für die konventionelle Belebung zwischen 80,7 und 99 % ermittelt werden. Auch hier war die Eliminationsrate umso besser, je konzentrierter das Abwasser im Zulauf gemessen an den CSB-Werten war. Beide Belebungen eliminieren Norovirus gleich gut. Rotavirus wurde in den Abläufen beider Belebungen gefunden.

Um zu zeigen, dass die Ergebnisse aus der kommunalen Kläranlage Weißtal auch auf SBR-Anlagen, mit gewerblichen Abwässern übertragbar sind, wurde die SBR-Anlage in Erfde (S-H) beprobt. Hier werden ca. 50 % Schlachthofabwasser eingeleitet. Im 8 h-Zyklus unter Trockenwetterbedingungen wurde auch hier eine Eliminationsrate für *Salmonella* zwischen 97 % und 99,97 % und für *Campylobacter/Arcobacter* von 99,29 % ermittelt. Für Norovirus lagen die Eliminationsraten bei 99,80–99,99 % und bei Rotavirus bei 93,48–98,86 %.

Eine detaillierte Untersuchung eines SBR-Zyklus zeigte, dass sowohl Salmonellen als auch Noroviren zu einem hohen Prozentsatz mit dem Belebtschlamm sedimentieren.

Versuche mit der SBR-Anlage in Weißtal ergaben, dass unter Hochlastbedingungen im 6 h-Zyklus vergleichbare Eliminationsraten für Salmonellen und Noroviren erreicht werden, wie bei normalen Beschickungsvolumen. Diese Ergebnisse konnten für *Salmonella* in der SBR-Anlage Erfde (8 h-Zyklus) bestätigt werden.

SBR-Zyklen werden oft mit zwei Beschickungen gefahren. Es konnte gezeigt werden, dass kurz nach der zweiten Beschickung in der SBR-Anlage in Weißtal tatsächlich eine erhöhte Salmonellenkeimzahl zu finden war. Am Ende des Zyklus wurde aber trotzdem eine Eliminationsrate erreicht wie bei Zyklen mit nur einer Beschickung.

Von den isolierten Salmonellen wurden die Serovare bestimmt. Hierbei zeigte sich, dass nicht die nach den Meldezahlen bei Erkrankungen am häufigsten vorkommenden Serovare, sondern oftmals relativ selten vorkommende Serovare die jeweils höchste Keimzahl im Abwasser aufwiesen. Ein Vergleich mit den Serovaren der aus dem Einzugsgebiet der Kläranlage Weißtal gemeldeten Erkrankungen ergab keine Hinweise auf einen epidemiologischen Zusammenhang.

## Einleitung

Sauberes Wasser gehört weltweit zu den äußerst knappen Ressourcen, deshalb gibt es umfangreiche Bestrebungen, gereinigtes Abwasser z. B. zu Bewässerungszwecken zu nutzen. Da im Abwasser zahlreiche pathogene Mikroorganismen vorkommen, ist deren Elimination wichtig, um gesundheitliche Gefährdungen auszuschließen.

In diesem Projekt sollten zwei verschiedene Belebtschlammverfahren im Hinblick auf ihre Eliminationsrate von pathogenen Mikroorganismen vergleichend untersucht werden. Für konventionelle Kläranlagen gibt es bereits Literaturangaben. SBR-Anlagen wurden hingegen noch nie unter diesem Aspekt untersucht.

Die Kläranlage Weißtal bietet die einmalige Möglichkeit, eine SBR-Anlage und eine konventionelle Belebung direkt zu vergleichen, da sie aus demselben Zufluss gespeist werden.

Als Modellorganismen wurden 2 Bakteriengattungen, *Campylobacter* und *Salmonella*, sowie 2 Viren, Norovirus und Rotavirus, untersucht. Bei diesen Modellorganismen handelt es sich um die häufigsten Gastroenteritis-Erreger.

Im ersten Abschnitt des Projektes (ca. 3 Monate) sollten die methodischen Voraussetzungen für die Erfassung der Eliminationsraten (Anreicherungsstrategie, erforderliche Probenvolumina, Anzahl Parallelen etc.) geschaffen werden. Im zweiten Abschnitt (ca. 9 Monate) sollen die Eliminationsraten in den Monaten bestimmt werden, in denen die Pathogenen gehäuft vorkommen, und deren Gesundheitsgefährdungspotential abgeschätzt werden. In der Fortsetzung des Projektes 2009 sollten die Salmonellen-Eliminationsrate spezieller SBR-Zyklen (hydraulische Hochlast, Zyklus mit 2 Beschickungen) untersucht werden.

Neben der Kläranlage Weißtal, bei der im Wesentlichen kommunale Abwässer eingeleitet werden, sollte eine weitere SBR-Anlage mit Industrieabwässern beprobt werden, um zu prüfen, ob die Ergebnisse aus Weißtal übertragbar (und repräsentativ) sind und damit Modellcharakter haben.

## Material und Methoden

### *Klärwerke mit Probennahmestellen*

#### **Kläranlage Weißtal**

Die Gemeindewerke Wilnsdorf haben in den Jahren 2003/2004 die Kläranlage in Weißtal von 16.000 EW auf 20.500 EW erweitert.

Die überlastete, bestehende konventionelle Durchlaufbelebung (bei der nur vom Frühling bis zum Herbst eine vollständige Nitrifikation möglich war) wurde dabei um eine neue Rechenanlage, ein Vorklärbecken und eine zweite Biologiestraße in Form einer Aufstau-belebung mit einem Pufferbehälter und zwei SB-Reaktoren ergänzt.

Die Kläranlage Weißtal liegt im Ortsteil Niederdielfen an der Gemeindegrenze zur Stadt Siegen. Das zugehörige Einzugsgebiet umfasst das Weißtal und das Dielfetal mit den Ortschaften Gernsdorf, Rudersdorf, Wilgersdorf, Niederdielfen, Oberdielfen, Anzhausen Flammersbach und Teilflächen von Obersdorf-Rödgen. Es hat laut Schmutzfrachtberechnung (SFB) für den Prognosezeitpunkt 2015 eine Größe von  $A_{EK} = 517$  ha. Die Entwässerung folgt zu 18,4 % im Trennsystem und zu 81,6 % im Mischsystem.

Durch die tief eingeschnittenen Täler weist das Kanalnetz vielfach ein hohes Gefälle aus, so dass es zu großen Abflussgeschwindigkeiten kommt. Die Schmutzfrachtberechnung geht von 90 min Fließzeit bei Vollfüllung für die maximale Einzugsgebietslänge von gut 10 km aus. Es ist daher von kurzen Aufenthaltszeiten des Abwassers im Kanalnetz und damit verbundenen geringen Abbauvorgängen während des Fließweges auszugehen.

Der Fremdwasseranfall wurde in der SFB mit  $0,16 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)}$  angenommen. Aus den Regenüberlaufbecken im Einzugsgebiet ist nach Regenereignissen mit Nachlaufzeiten von mehreren Tagen zu rechnen, weil der hohe Fremdwasseranteil eine schnelle Entleerung verhindert (Angaben Gemeindewerke Wilnsdorf).

Von besonderer Bedeutung für dieses Projekt sind die hohen Fremd-/Regenwassermengen im Zulauf zur Kläranlage. Unter Regenwetterbedingungen sinken die Schmutzfrachtkonzentrationen auf ein bemerkenswert niedriges Niveau ab,  $\text{NH}_4^+$  beispielsweise regelmäßig unter  $10 \text{ mg/l}$ !

Die folgenden Tabellen 1 und 2 geben die Frachten / Mengen bezogen auf die Auslegungsgröße 20.500 EW an. Seit Erweiterung der Anlage behandelt der SBR-Teil 45 % des Abwassers und die konventionelle Durchlaufanlage 55 %.

Der Ansatz zur Reduktion der Zulauffrachten durch die Vorklärung erfolgte gemäß A 131, S. 15 (Durchflusszeit 0,5 bis 1 h).

Die Reduktion von TKN durch die Vorklärung berücksichtigt nur die  $225,5 \text{ kg/d}$  des Zulaufs. Die aus dem Press- und Spülwasser stammenden  $86,8 \text{ kg/d NH}_4$  werden nicht reduziert, da sie in gelöster Form vorliegen.

Parameter	einwohnerspez. Fracht [g/(EW*d)]	Zulauf [kg/d]	Press- und Spülwasser [kg/d]	Summe [kg/d]	nach Vorklä- rung [kg/d]	Anteil kon-ventionelle Biologie [kg/d]	Anteil SBR [kg/d]
CSB	120	2.460,0	35,0	2.495,0	1.871,3	1.029,2	842,1
BSB <sub>5</sub>	60	1.230,0	5,0	1.235,0	926,3	509,5	416,8
TS	70	1.435,0	0,0	1.435,0	717,5	394,6	322,9
TKN	11	225,5	86,8	312,3	291,8	160,5	131,3
NH <sub>4</sub>	9,17	188,0	86,8	274,8	274,8	151,1	123,7
P	1,8	36,9	0,6	37,5	33,3	18,3	15,0

Tabelle 1: Zulaufmengen zur Kläranlage bei 20.500 EW.

	Einheit	Zulauf	Press- wasser	Summe	nach Vorklä rung	Anteil konventio- nelle Biologie	Anteil SBR
Q <sub>d</sub>	[m <sup>3</sup> /d]	6.800	100	6.900	6.900	3795	3.105
Q <sub>m</sub>	[m <sup>3</sup> /h]	620	13	633	633	348	285
Q <sub>t</sub>	[m <sup>3</sup> /h]	327	13	340	340	187	153

Tabelle 2: Bemessungswassermengen.

Für die auf 20.500 EW ausgebaute Kläranlage wurden von der Bezirksregierung Arnsberg folgende neuen Überwachungswerte festgelegt. Die Werte sind in der qualifizierten Stichprobe einzuhalten.

Parameter	vor Erweiterung	nach Erweiterung
CSB	60 mg/l	50 mg/l
BSB <sub>5</sub>	15 mg/l	15 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	10 mg/l	5 mg/l
N <sub>ges.</sub>	18 mg/l	18 mg/l
P <sub>ges.</sub>	1,5 mg/l	1 mg/l

Tabelle 3: Überwachungswerte vor/nach Erweiterung.

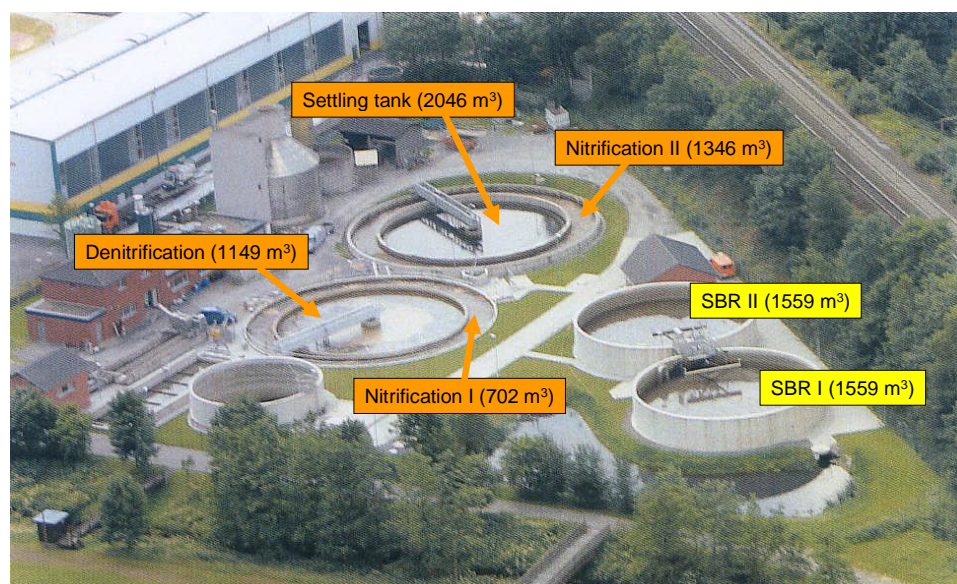


Abb. 1: Luftbild der Kläranlage Weißtal nach der Erweiterung

Abb. 1 zeigt ein Luftfoto nach der Inbetriebnahme der erweiterten Kläranlage. Die alten (orange) und neuen (gelb) Gewerke der Biologen sind gekennzeichnet mit Angabe der Nutzvolumina.

Zudem ist im unteren linken Bildbereich der neue Pufferbehälter für die SBR-Straße (mit einem Nutzvolumen von  $877 \text{ m}^3$ ) sowie das neue Vorklärbecken links daneben zu erkennen.

Der Pufferbehälter für die SBR-Stufe dient nur zur Vorlage für Stoßbeschickungen sowie als Ausgleichsbehälter für den Übergang von Trockenwetter- zu Regenwetterzyklen. Der Pufferbehälter hat ansonsten keine „biologische“- oder „Absetz“-Funktion.

Die konventionelle Durchlaufbelebung wird nach dem Verfahren der vorgeschalteten Denitrifikation betrieben mit einem vorgeschalteten Denitrifikationsbecken von  $1.149 \text{ m}^3$  Nutzvolumen (siehe Bild 1) gefolgt von einer 2-stufigen Nitrifikation mit  $702$  und  $1.346 \text{ m}^3$  Nutzvolumen (die erste Nitrifikationsstufe wird auch nach einer Zeit-Pausen-Schaltung als eine zweite Denitrifikations-Stufe genutzt) sowie abschließend einem Nachklärbecken mit  $2.046 \text{ m}^3$  Nutzvolumen.

Aus der Nitrifikationsstufe 2 wird eine Rezirkulation in der Größenordnung  $100 - 200 \%$  und aus der Nachklärung eine Rücklaufschlammprozessführung in der Größenordnung  $100 \%$  zurück in die vorgeschaltete Denitrifikation gefördert.

Aus der Abwasserleitung, die aus dem Ablauf der Vorklärung in den Zulauf des vorgeschalteten Denitrifikationsbeckens führt, erfolgt über FU-geregelte Pumpen eine Entnahme von genau  $45 \%$  der Gesamtzulaufmenge in den Pufferbehälter der SBR-Straße. Aus diesem Pufferbehälter erfolgt ausgeprägt stoßweise die wechselseitige Beschickung der beiden SB-Reaktoren. Alle SB-Beschickungen erfolgen mit ca.  $600 \text{ m}^3/\text{h}$ . Daraus folgt, dass im Trockenwetterfall mit  $3.105 \text{ m}^3/\text{d}$  Zulauf in die SBR-Straße (siehe Tabelle 2), die Beschickungszeiten pro SB-Reaktor bei  $3.105 / (600 \cdot 2) = 2,60$  Stunden in 24 Stunden betragen. Das sind nur  $11 \%$  der Gesamtzykluszeiten im 6 h-Zyklus unter Trockenwetterbedingungen. Unter Starkregenwetterbedingungen mit kontinuierlichen Zulauf von  $285 \text{ m}^3/\text{h}$  in den SBR-Teil beträgt diese Rate  $285 / (600 \cdot 2) = 24 \%$ .

Das ist insofern von Bedeutung für dieses Pathogenen-Projekt, als dass daraus folgt, dass die Befüllung der SB-Reaktoren immer vor Beginn der Belüftungsphasen beendet ist. Die zugeführten Pathogenen sind somit immer allen Belüftungsphasen in ihrer gesamten Länge ausgesetzt.

Das Gesamtvolumen der konventionellen Durchlaufbelebung mit und ohne Nachklärung beträgt somit  $5.243 \text{ m}^3$  bzw.  $3.197 \text{ m}^3$ .

Das Gesamtvolumen der 2-straßigen SBR-Stufe mit und ohne Nachkläranteil bezogen auf den 6 und 4 h-Zyklus ergibt sich für den 6 h-Zyklus (mit 2 h für Nachklärung) zu  $3.118 \text{ m}^3$  bzw.  $2.079 \text{ m}^3$  und für den 4 h-Zyklus zu  $3.118 \text{ m}^3$  bzw.  $1.559 \text{ m}^3$ .

Unter Trockenwetterbedingungen ( $3.795 \text{ m}^3/\text{d}$  Zulauf in die Durchlaufanlage und  $3.105 \text{ m}^3/\text{d}$  Zulauf in die SBR-Anlage) beträgt die hydraulische Aufenthaltszeit somit in der Durchlaufanlage mit und ohne Nachklärung  $33,2$  Stunden bzw.  $20,2$  Stunden.

Für den SBR-Anlagenteil beträgt unter Trockenwetterbedingungen (dann ist der 6 h-Zyklus aktiv) die hydraulische Aufenthaltszeit somit mit und ohne Nachklärzeit  $23,4$  Stunden bzw.  $15,7$  Stunden.

Hierbei ist noch folgendes zu bedenken: Die SBR-Reaktoren dekantieren immer auf die Mindesttiefe von  $3,49 \text{ m}$  Wassertiefe (nur bei maximaler Wassertiefe von  $5,50 \text{ m}$  ist das maximale Nutzvolumen von  $1.559 \text{ m}^3$  realisiert, bei einem maximalen Dekantiervolumen von  $570 \text{ m}^3$ ), um ein zu spätes Reagieren bei plötzlichem Regenwetterzulauf zu vermeiden. Daher wird im Trockenwetterfall das maximale Reaktorvolumen von  $1.559 \text{ m}^3$  gar nicht realisiert sondern nur ca.  $85 \%$ , das sind  $1.325 \text{ m}^3$ .

Daher betragen die realen Aufenthaltszeiten unter Trockenwetterbedingungen nur  $20$  Stunden bzw.  $13,4$  Stunden.

Unter Starkregenwetterbedingungen (8.184 m<sup>3</sup>/d Zulauf in die Durchlaufanlage und 6.696 m<sup>3</sup>/d Zulauf in die SBR-Anlage) beträgt die hydraulische Aufenthaltszeit somit in der Durchlaufanlage mit und ohne Nachklärung 15,4 Stunden bzw. 9,4 Stunden.

Für den SBR-Anlagenteil beträgt unter Regenwetterbedingungen (dann ist der 4 h-Zyklus aktiv mit 50 % Nachklärzeit) die hydraulische Aufenthaltszeit somit mit und ohne Nachklärzeit 11,2 Stunden bzw. 5,6 Stunden.

Die hydraulischen Aufenthaltszeiten in der SBR-Biologie betragen somit i. M. nur ca. 65 % der hydraulischen Aufenthaltszeiten in der Durchlaufbiologie. Da es sich um identisches Abwasser handelt, ist das gleichbedeutend damit, dass die SBR-Biologie um ca. 50 % höher belastet ist als die Durchlaufbiologie.

Der Grund für dieses in der betrieblichen Praxis realisierte Ungleichgewicht liegt zum einen an dem viel geringeren Schlammindex der SBR-Biologie im Vergleich zur Durchlaufbiologie. Seit Inbetriebnahme dieses biologischen Anlagenteils beträgt der Schlammindex in beiden SB-Reaktoren ca. 70 ml/g mit ungewöhnlich geringen Schwankungen von maximal 10 ml/g. Selbst die typischen Frühjahr/Herbst Schlammindex-Anstiege konventioneller Durchlaufanlagen sind in den SB-Reaktoren noch nie aufgetreten. Dagegen schwankt der Schlammindex in der Durchlaufbiologie um die 150 ml/g mit Minimalwerten bis runter auf 100 ml/g und Maximalwerten bis über 200 ml/g.

Ein weiterer Grund liegt in der größeren Flexibilität des SBR-Teils. Auf Basis der NH<sub>4</sub>-N- und NO<sub>3</sub>-N-Online-Messungen in beiden SB-Reaktoren erfolgt dort automatisch eine bedarfsgerechte Justierung der Belüftungszeiten, d. h. der Nitrifikations- und Denitrifikationszeiten.

Der TS-Gehalt in den SB-Reaktoren liegt (unter anderem auf Grund des viel geringeren Schlammindexes) etwas höher als in der Durchlaufbiologie, so dass das Schlammalter in beiden Biologien ungefähr gleich ist, ca. 10 – 20 Tage.

Bei den meisten SBR-Biologien in Deutschland handelt es sich um Schwachlastbiologien, die nach dem klassischen SBR-Verfahren mit einer Füllphase, einer nachfolgenden Denitrifikationsphase, einer nachfolgenden Belüftungsphase sowie abschließend einer Sedimentations- und Dekantierphase betrieben werden.

Genau so wird die SBR-Biologie in Weißtal auch im 4-Stunden-Zyklus betrieben. Im 6-Stunden-Zyklus werden die Reaktoren dagegen mit zwei internen Zyklen betrieben. Das hat verfahrenstechnische Gründe bezogen auf eine Maximierung der Stickstoff-Elimination.

Zwecks Gewährleistung des Modellcharakters und Übertragbarkeit auf die meisten anderen großtechnischen SBR-Anlagen wurden einige der Pathogenen-Versuche jedoch auch im 6-Stunden-Zyklus nur mit einem internen Zyklus betrieben.

Parallel sowie etwas vorher zu diesem Vorhaben sind eine Reihe weiterer Untersuchungen auf der Kläranlage in Weißtal durchgeführt worden. Die für dieses Vorhaben relevanten Ergebnisse dieser Vorhaben werden nachfolgend kurz aufgeführt:

1. Dynamische Simulationsuntersuchungen im Rahmen eines vom MUNLV geförderten Forschungsvorhabens „Anwendungsorientiertes Forschungsvorhaben zum integrierten Betrieb einer kombinierten SBR / Durchlaufanlage unter besonderer Berücksichtigung eines neuen Verfahrensansatzes zur Filtratwassermitbehandlung sowie eines neuen Ansatzes zur spezifischen Anreicherung sowohl von Nitrifikanten als auch Bio-P-Bakterien“.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden mehrere Intensivmesskampagnen durchgeführt

zwecks Generierung von Daten für die Kalibrierung/Validierung von Simulationsmodellen für die Durchlaufanlage und die SBR-Anlage.

Die Kalibrierung/Validierung ergab Kinetiken für beide Anlagenteile, die sich so geringfügig unterscheiden, dass von keinen signifikanten Unterschieden gesprochen werden kann. Die Wachstumsraten, Sterberaten und Halbsättigungsraten sind sowohl hinsichtlich der Nitrifikanten, der Heterotrophen und der Denitrifikation somit für beide Anlagenteile praktisch identisch. Diesbezüglich sind somit keine unterschiedlichen Auswirkungen auf die Eliminationsraten von Pathogenen zu erwarten.

Auch der CSB im TS beider Biologien war nahezu identisch, womit von einem praktisch gleichen Mineralisierungsgrad beider Belebtschlämme ausgegangen werden kann. Diesbezüglich ist somit von gleichen Adsorptionsraten beider Belebtschlämme (auch bezogen auf Pathogene) auszugehen.

Das bedeutet natürlich nicht, dass die Chemie/Biochemie beider Belebtschlämme gleich ist. Weitergehende Untersuchungen wurden allerdings (noch) nicht durchgeführt.

2. Im Rahmen von zwei Diplomarbeiten wurde das Ad-/Desorptionsverhalten der Belebtschlämme aus Weißtal bezogen auf  $\text{NH}_4\text{-N}$  untersucht:
  - Kontrollierte Beschickung von Sequencing Batch Reaktoren zu Beginn der Sedimentationsphase mit dem Ziel der Verfahrensoptimierung. 2007 FH Lippe und Höxter, Peter Schwitalla.
  - Ammoniumde- und -adsorption an Belebtschlamm - Versuche auf großtechnischen SBR-Anlagen und deren Auswirkungen auf die Modellierung der Reinigungsprozesse. 2006 FH Suderburg, Karoline Kiehn.

Für dieses Vorhaben von Bedeutung ist, dass im Rahmen dieser Diplomarbeiten festgestellt wurde, dass das  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Adsorptionsverhalten der beiden Belebtschlämme aus Weißtal praktisch identisch ist. Er liegt in der Größenordnung 0,5 – 2,0 mg  $\text{NH}_4\text{-N}/10$  g TS.

Die Ergebnisse dieser Arbeiten haben den Betreiber der Kläranlage veranlasst, den Betrieb der SB-Reaktoren um eine kontrollierte dritte geringe Beschickung direkt zu Beginn der Sedimentationsphase zu ergänzen.

## **Kläranlage Erfde**

Die Kläranlage in Erfde wurde 2007 neu erbaut nach dem SBR Verfahren. Die neue Anlage wurde ausgelegt auf 4.750 EW als Stabilisierungsanlage mit ca. 25 Tage Schlammalter. Der tatsächliche Anschlusswert liegt allerdings nur bei ca. 3.200 EW. Nur etwas unter 50 % des Abwassers sind kommunalen Ursprungs, der Rest stammt aus einer Schlachtereier; es handelt sich somit überwiegend um eine gewerbliche Kläranlage.

Die Abwassermenge betrug 2009 114.244  $\text{m}^3/\text{a}$ , davon 75.000  $\text{m}^3$  Schmutzwasser. Die Stunden Spitze liegt allerdings bei überraschend hohen ca. 400  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Der biologische Teil der Anlage besteht aus einem Pufferbehälter, 240  $\text{m}^3$  Nutzvolumen, sowie aus zwei SB-Reaktoren, jeweils 810  $\text{m}^3$  Nutzvolumen. Die Reaktoren werden wechselweise beschickt basierend auf folgender typischen Zyklusstrategie:

Beschickung mit Umwälzung (Denitrifikation) -> Belüftung (Nitrifikation) mit chemischer P – Elimination -> Absetzphase und Dekantierung in 4 bis 8 Stunden Zyklen. Anders als in der KA Weißtal erfolgt immer nur eine Beschickung pro Zyklus.

Das im Vergleich zu Weißtal wesentlich konzentriertere Abwasser bedingt in Erfde ein vergleichsweise geringes Austauschvolumen der SB-Reaktoren von maximal 21 % (ca. 170  $\text{m}^3$ ).



Die Reinigungsleistung ist wie in Weißtal sehr gut. Nachfolgend sind für 2009 die Jahresmittelwerte für Zulauf und Ablauf aufgeführt:

<u>Werte in mg/l</u>	<u>Zulauf</u>	<u>Ablauf</u>
CSB	1.233	39
BSB <sub>5</sub>	615	5
NH <sub>4</sub> -N	65	1
NO <sub>3</sub> -N		4
N <sub>ges,anorg</sub>		5,6
TNB	128	4
P <sub>ges</sub>	16,6	0,5

Zu erkennen ist, dass das Zulaufabwasser in Erfde sehr viel konzentrierter ist als in Weißtal. Das liegt hauptsächlich daran, dass in Erfde nur Trennkanalisation vorhanden ist, in Weißtal dagegen überwiegend Mischkanalisation.

### *Probennahmen*

Im Zeitraum von Mai 2006 bis September 2007 und 2009 wurde das Klärwerk in Weißtal dreizehnmal und die Kläranlage in Erfde viermal beprobt.

#### **Probennahme 10.05.06**

Es wurden 4 Proben gezogen. Aus dem Zulauf wurden über 24 Stunden alle 2 h durch einen automatischen Probennehmer Proben genommen. Anhand der im Tagesbericht der Kläranlage erfassten Zulaufmengen wurde überprüft, ob die Zulaufmengen über die 24 h große Unterschiede aufwiesen. Danach wurden die 12 Proben zu einer 24 h-Mischprobe vereinigt.

Zusätzlich wurde aus dem Zulauf direkt eine Probe entnommen (Stichprobe).

Aus dem Ablauf der konventionellen Belebung wurde, wie für den Zulauf beschrieben, eine 24 h-Mischprobe hergestellt. Der Ablauf der SBR-Anlage wurde nach einem 6 h-Zyklus während des Dekantiervorganges beprobt.

Da der Probennahme eine Schönwetterperiode vorangegangen war, handelte es sich beim Zulauf um sehr konzentriertes Abwasser.

#### **Probennahme 29.05.06**

Es wurden nochmals vier Proben genommen. Drei entsprachen denen für den 10.5.06 beschriebenen. Bei der konventionellen Belebung wurde eine Probe direkt aus dem Ablauf geschöpft. Dieser Probennahme war eine Schlechtwetterperiode vorangegangen und die SBR-Anlage wurde nach einem 4 h-Zyklus beprobt.

#### **Probennahme 04.07.06**

Es wurden 3 Proben gezogen wie für den 29.05.06 beschrieben, wobei die Stichprobe aus dem Zulauf weggelassen wurde. Die Probennahme erfolgte nach einer Trockenperiode und der beprobte SBR-Reaktor durchlief einen 6 h-Zyklus.

#### **Probennahme 15.08.06**

Vom Zulauf und vom Ablauf der konventionellen Belebung wurde eine 24 h-Mischprobe genommen. Etwa in der Mitte des Probensammelzeitraums hatte es zu regnen begonnen, so dass

die Zulaufmengen über die 24 h sehr unterschiedlich waren. Deshalb wurden die 2 h-Einzelproben proportional zu den Zuflussmengen zur 24 h-Mischprobe zusammengemischt.

Von der SBR-Anlage wurde eine Probe direkt nach der Beschickung vor der ersten Belüftung gezogen. Diese Probe wurde eine Stunde stehengelassen und danach der Überstand dekantiert und zur Anreicherung der Pathogenen verwendet.

Die Ablaufprobe der SBR-Anlage wurde nach einem 4 h-Zyklus während des Dekantierens gezogen.

#### **Probennahme 12.09.06**

Aus dem Zulauf und aus dem Ablauf der konventionellen Belebung wurde eine 24 h-Mischprobe genommen. Aus der SBR-Anlage wurde nach 2 und 4 Stunden eine Probe geschöpft. Diese Proben wurden jeweils 1 h stehengelassen und dann dekantiert. Der Überstand wurde für die Untersuchungen verwendet.

Während des Dekantierens nach einem 6 h-Zyklus wurde eine Ablaufprobe der SBR-Anlage genommen.

Die Probennahme erfolgte in einer Trockenwetterperiode.

#### **Probennahme 18.10.06**

Es wurden 4 Proben entnommen, die denen der Probennahme vom 12.09.06 entsprachen. Der SB-Reaktor wurde nicht nach 2 h Zykluszeit beprobt. Es herrschten Schönwetterbedingungen.

#### **Probennahme 06.12.06**

In diesem Fall wurde die Kläranlage in der Gemeinde Erfde in Schleswig-Holstein beprobt. Bei dieser Anlage handelt es sich um SB-Reaktoren, in die neben kommunalen Abwässern unter der Woche zu ca. 50 % Schlachthofabwasser eingeleitet werden. Diese Beprobung diente der Überprüfung der Ergebnisse aus Weißtal.

Die Anlage wurde am Probennahmetag im 8 h-Zyklus mit einer Beschickung gefahren. Es wurde der Puffertank, der die SB-Reaktoren speist, sowie das Dekantat eines der Reaktoren beprobt. In diesem Fall bestand keine Möglichkeit, die Proben vor Ort zu bearbeiten, deshalb wurden sie in Styropor verpackt ca. 2,5 h ins Labor transportiert.

#### **Probennahme 31.01.07**

Es wurde nochmals die SBR-Anlage in Erfde beprobt. Die Probennahme erfolgte unter Trockenwetterbedingungen und die Anlage arbeitete im 8 h-Zyklus.

#### **Probennahme 27.02.07**

Es wurde erneut die Kläranlage in Weißtal beprobt. Es wurden jeweils eine Probe aus dem Zulauf, dem Ablauf der konventionellen Kläranlage und dem Dekantat der SBR-Anlage entnommen. Die Probennahme erfolgte nach lang andauerndem Regen und die SBR-Anlage lief im 4 h-Zyklus.

#### **Probennahme 09.05.07**

Aus der Kläranlage in Weißtal wurden 4 Proben entnommen. Neben den Proben aus Zulauf, Ablauf der konventionellen Anlage und Dekantat der SBR-Anlage wurde eine Probe nach Beschicken des SBR-Reaktors vor der Belüftungsphase gezogen. Diese Probe wurde eine Stunde zum Absetzen stehengelassen und anschließend der Überstand verwendet.

Die Probennahme erfolgte nach einigen Tagen Regenwetter nach einer längeren Trockenperiode. Die SBR-Anlage lief im 4 h-Zyklus.

#### **Probennahme 04.06.07**

Bei dieser Probennahme in Weißtal wurde ausschließlich der SBR-Reaktor beprobt. Es wurden insgesamt 6 Proben entnommen:

Das Dekantat des vorherigen Zyklus, der Zulauf zwischen Pufferbehälter und Reaktor, eine Probe nach Beschicken des Reaktors vor der Belüftung, eine Probe während der Belüftungsphase, das Dekantat des Zyklus und der Ablauf des Teiches, in den das Dekantat abfließt. Die Proben, die nach der Beschickung und während der Belüftung des Reaktors gezogen wurden, wurden eine Stunde zum Absetzen stehen gelassen. Anschließend wurde der Überstand verarbeitet.

Bei der eigentlichen Probennahme herrschte Trockenwetter. Allerdings hatte es zuvor heftige Regenfälle gegeben, so dass die herangeleitete Wassermenge einen Betrieb der SBR-Anlage im 4 h-Zyklus erforderlich machte.

#### **Probennahme 24.07.07**

Diese Probennahme erfolgte, um die Elimination von Pathogenen unter Hochlastbedingungen des SB-Reaktors zu bestimmen. Die Probennahme erfolgte bei Regenwetter. In der Woche zuvor hatten sich Sonne und Regen abgewechselt. Die SBR-Anlage wurde auf einen 6 h-Zyklus eingestellt. Dieses war nur möglich, weil 70 % des ankommenden Abwassers in die konventionelle Belebung geleitet wurden.

Der SB-Reaktor wurde mit 524 m<sup>3</sup> Abwasser beschickt, das entspricht einer Füllhöhe von 5,52 m. Normalerweise liegt die Füllmenge bei ca. 85 % des maximalen Reaktorvolumens, was einer Füllhöhe von 4,67 m entspricht. Der Reaktor wurde also mit 118,2 % der normalen Menge befüllt (hydraulische Hochlast).

Es wurden der Ablauf des vorherigen Zyklus', der Zulauf zwischen Pufferbehälter und SB-Reaktor, der Reaktor nach Beschicken vor der ersten Belüftungsphase und nach der Hälfte der Belüftungsphase sowie der Ablauf beprobt. Die Proben nach Beschicken und während der Belüftung wurden 1 Stunde stehen gelassen, damit sich der Schlamm absetzte. Anschließend wurden mit dem Überstand die erforderlichen Salmonellen-Anreicherungen beimpft.

Außerdem wurden je eine 24 h-Mischprobe des Zulaufs und des Ablaufs der konventionellen Belebung für die Virenbestimmung genommen.

#### **Probennahme 12.09.07**

Bei dieser Probennahme sollte der Hochlastversuch vom 24.7.07 wiederholt werden. Wieder ging der Probennahme eine Regenperiode voran, so dass ein 6 h-Zyklus der SBR-Anlage nur eingestellt werden konnte, weil 70 % des ankommenden Abwassers über die konventionelle Belebung geleitet wurden. Die Beschickung erfolgte mit Hochlastbedingungen von 117 %.

Es wurden wiederum der Ablauf des vorherigen Zyklus', der Zulauf zum SB-Reaktor sowie die einzelnen Zyklusphasen beprobt. Für die Virenbestimmung wurden außerdem eine 24 h-Mischprobe des Zulaufs und eine Stichprobe des Ablaufes der konventionellen Belebung genommen.

#### **Probennahme 11.02.09**

Am 11.02.09 wurde erneut das Klärwerk in Erfde, Schleswig-Holstein, beprobt, um die Hochlastversuche aus Weißtal zu bestätigen.

Am Probennahmetag herrschte schönes, sehr kaltes Wetter, nachdem es am Vortag geschneit hatte.

Der beprobte Reaktor SBR1 lief im 8 h Zyklus.

Der Zyklus enthielt eine 2. Beschickungsphase. In diesem Fall wurde er mit hydraulischer Hochlast von ca. 117 % (1. Beschickung) gefahren. Die 2. Beschickung hängt vom Volumen der ersten ab, so dass in diesem Fall nur mit wenig Volumen ein zweites Mal beschickt wurde. In der 2. Belüftungsphase des Zyklus' wurde  $\text{Fe}^{3+}$  zur Phosphatfällung zugesetzt.

Folgende Proben wurden gezogen: Zulauf (aus dem durchmischten Pufferbehälter), Zulauf zum Pufferbehälter (Abwasser aus der Stadt nach dem Rechen/Sandfang), nach Beschicken vor Belüften, Mitte der 1. Belüftungsphase, Mitte der 2. Belüftungsphase, Dekantat. Alle Proben, mit Ausnahme der Zuläufe und des Dekantats., wurden eine Stunde zum Absetzen stehen gelassen und der Überstand der abgossenen Proben verwendet.

### **Probennahme 21.04.09**

Die Probennahme in Weißtal erfolgte nach einer regnerischen Woche, die auf eine sonnige folgte. Am Probennahmetag war es sonnig. Die SBR-Anlage war auf einen 4h-Zyklus mit einer Beschickung eingestellt. Ein 6h-Zyklus war wegen der anfallenden Wassermenge der vorangegangenen Regenfälle nicht möglich. Im 4h-Zyklus ist auch keine zweite Beschickung möglich. Es wurde der hintere, rechte Reaktor (Reaktor 1) beprobt.

Folgende Proben wurden gezogen: Zulauf, nach Beschicken vor Belüften, Mitte der 1. Belüftung, direkt nach der Belüftung und das Dekantat. Alle Proben mit Ausnahme von Zulauf und Dekantat wueden 1 Stunde stehengelassen und dann dekantiert. Mit den Überständen wurden die Anreicherungen beimpft.

### **Probennahme 01.07.09**

Die Probennahme am 1.7.09 in Weißtal erfolgte nach einer wechselhaften warmen Woche, die auf eine sonnige folgte. Am Probennahmetag war es sonnig.

Die SBR-Anlage war auf einen 6h-Zyklus mit 2 Beschickungen eingestellt, mit  $0,7 \times 570 = 400 \text{ m}^3$  in der ersten Beschickung und  $0,3 \times 570 = 170 \text{ m}^3$  in der zweiten Beschickung.

Es wurden beide Reaktoren beprobt, die 3 Stunden Zeit versetzt beschickt wurden.

Für beide Zyklen wurden vergleichbare Proben gezogen: Es wurde jeweils der Zulauf direkt aus der Zuleitung; die beiden Reaktoren nach Beschicken vor der ersten Belüftung, direkt nach der ersten Belüftung, nach der 2. Beschickung, nach der zweiten Belüftung und jeweils das Dekantat beprobt. Mit Ausnahme der Zuläufe und der Dekantate wurden alle Proben eine Stunde stehengelassen und dann dekantiert. Die Überstände wurden verwendet.

### **Probennahme 28.07.09**

Am 28.07.09 wurde das Klärwerk in Erfde, Schleswig-Holstein, beprobt, um den im Februar nicht auswertbaren Hochlastversuch zu wiederholen.

Am Probennahmetag herrschte wechselhaftes Wetter mit sonnigen Abschnitten und kurzen Schauern.

Der beprobte Reaktor SBR1 lief im 8 h Zyklus (Trockenwetter). Der Zyklus enthielt nur eine Beschickung. Zwischen der 1. und der 2. Belüftungsphase wurde  $\text{Fe}^{3+}$  zur Phosphatfällung zugesetzt.

Der Zyklus wurde mit hydraulischer Hochlast gefahren. Der Höhenstand beträgt bei einer normalen Beschickung 420-439 cm. Beim beprobten Zyklus betrug der Höhenstand 489 cm. Das entspricht einer Beschickung von 111-116 %.

Folgende Proben gezogen: Zulauf direkt aus dem Pufferbehälter, eine Probe nach Beschicken vor der 1. Belüftungsphase, eine Probe in der Mitte der 1. Belüftungsphase, eine Probe in der Mitte der 2. Belüftungsphase und das Dekantat. Bis auf Zulauf und Dekantat wurden alle Proben

direkt aus dem Reaktor geschöpft und eine Stunde stehengelassen. Anschließend wurde jeweils dekantiert und der Überstand verarbeitet.

### *Anreicherung und Isolierung von Salmonellen*

Kleine Probenvolumina (< 3 ml) wurden direkt zu dem Anreicherungsmedium gegeben. Große Probenvolumina wurden über Sterilfilter (0,2 µm bzw. 0,45 µm Porenweite) filtriert und die Filter ins Anreicherungsmedium gegeben.

Für die Anreicherung von Salmonellen wurde eine phosphatgepufferte Peptonlösung mit einem definierten Probenvolumen bzw. mit einem Sterilfilter beimpft und 18-24 h bei 37 °C bebrütet.

Anschließend wurde mit 100 µl dieser ersten Anreicherung 10 ml Rappaport-Vassiliades-Medium (Oxoid) beimpft und 18-24 h bei 42 °C bebrütet. Die Rappaport-Anreicherung wurde auf XLD- und Chromagarplatten (Difco bzw. BBL) ausgestrichen. Nach 1-2 Tagen Bebrütung bei 37 °C wurden diese Platten ausgewertet.

Falls keine Salmonellen-Kolonien vorhanden waren, wurden die Peptonanreicherungen, die bei Zimmertemperatur aufbewahrt worden waren, nochmals in eine Rappaport-Anreicherung überimpft. Diese wurden nach 18 h bei 42 °C erneut auf beiden Plattentypen ausgestrichen.

Kolonien, die von der Morphologie her Salmonellen sein könnten, wurden auf Drei-Zucker-Eisen-Schrägagar (TSI; Merck) und Beweglichkeits-Indol-Lysin-Weichagar-Röhrchen (Difco) geimpft. Nach 24 h Bebrütung bei 37°C wurden die Tests ausgewertet. Von Stämmen, die die typischen Salmonellen-Merkmale aufwiesen, wurde eine Serovar-Bestimmung durchgeführt.

### *Bestimmung der Salmonellen-Serovare*

Die Salmonellen-Serovare wurden mit Testseren des Instituts für Hygiene und Umwelt, Hamburg, mittels Objektträger-Agglutinationstests bestimmt.

Von auf TSI-Agar gewachsenen Kulturen wurden zunächst mit poly- und monovalenten O-Antisera die O-Antigene bestimmt und eine Weichagarplatte nach Sven Gard beimpft. Nach Bebrütung über Nacht bei 37 °C wurde von den geschwärmten Bakterien mit Salmonella H-Antisera das 1. H-Antigen bestimmt. Anschließend wurde eine zweite Weichagarplatte mit dem Hemmserum der 1. H-Phase angelegt. Die Salmonellen wurden erneut über Nacht bei 37 °C bebrütet. Falls die Bakterien nicht schwärmten, wurde mit den Bakterien ein U-Rohr mit Weichagar beimpft. Nach Passieren des U-Rohrs wurde erneut eine Weichagarplatte mit Hemmserum angelegt, von deren Zellmaterial die 2. H-Phase bestimmt wurde. Falls erforderlich, wurden „Bunte Reihen“ zur Bestimmung der Subspezies durchgeführt. Die Auswertung erfolgte nach dem Kauffmann-White-Schema.

### *Anreicherung und Isolierung von Campylobacter*

Die Anreicherung von *Campylobacter* erfolgte nach Standardverfahren (Hunt et al., 1998). Kleine Probenvolumina (< 3 ml) wurden direkt zu dem Anreicherungsmedium gegeben. Große Probenvolumina wurden über Sterilfilter (0,2 µm bzw. 0,45 µm Porenweite) filtriert und die Filter ins Anreicherungsmedium gegeben. Als Anreicherungsmedium diente Boltonbouillon (Oxoid). Die Anreicherungen wurden mit *Campylobacter*-Atmosphäre begast (Campygen, Oxoid). Nach 5 Stunden wurde dem Anreicherungsmedium Supplement (Oxoid) zugesetzt und die Anreicherungen 18-42 h bei 42 °C in *Campylobacter*-Atmosphäre bebrütet.

Zur Isolierung von *Campylobacter* wurden je 100 µl jeder Anreicherung auf einen Sterilfilter (0,45 µm Porenweite) getropft, der auf einer CCDA-Platte (Oxoid) lag. Da es sich bei *Campylobacter* um schlanke, bewegliche Stäbchen handelt, sind sie in der Lage, sich aktiv durch die Poren dieser Filter zu bewegen (Jacob et al., 1991). Die Platten wurden mitsamt den Filtern 2 h bei 37 °C in *Campylobacter*-Atmosphäre bebrütet. Anschließend wurden die Filter entfernt und die Platten weitere 48 Stunden bei 37 °C bebrütet. Kolonien, die aufgrund ihrer Morphologie von

*Campylobacter* stammen konnten, wurden mikroskopiert (Lebendpräparat im Phasenkontrast). Stämme, die schlanke, leicht gekrümmte Stäbchen oder schraubenförmige Zellen zeigten, die beweglich sind, wurden in Einfriermedium (Boltonbouillon + 10,5 % foetales Kälberserum + 10,5 % Glycerin) bei – 70 °C bis zu näheren Bestimmung eingefroren.

### *Zellzahl-Bestimmung mit der MPN-Methode*

Da eine direkte Bestimmung der Zellzahl mittels Direktausstrichen auf Selektivnährböden nicht möglich war, da sowohl Salmonellen als auch *Campylobacter* von Begleitorganismen überwachsen wurden, wurde die Zellzahl mittels der MPN-Methode abgeschätzt. Hierzu wurden die parallelen Anreicherungen verschiedener Probenvolumina eingesetzt. Es wurden von jedem Probenvolumen 3 parallele Anreicherungen beimpft. Falls aus einer Anreicherung einer der gesuchten Organismen isoliert werden konnte, wurde sie als positiv angesehen. Für die Berechnung der „most probable number“ wurde die Exceltabelle (BAM-MPN) mit Makros der FDA (Food and Drug Administration) verwendet, die von der Internetseite der FDA (<http://www.cfsan.fda.gov/~ebam/bam-a2.html>) herunter geladen werden kann.

### *Identifizierung von Campylobacter/Arcobacter*

Als *Campylobacter* bzw. *Arcobacter* werden vorläufig alle Isolate bezeichnet, die sich auf Boltonbouillon mit Supplement bei 42 °C anreichern und sich auf CCDA-Platten isolieren ließen (Multiresistenz gegen Antibiotika) sowie einen Sterilfilter mit 0,45 µm Porenweite passieren konnten. Außerdem wiesen sie eine für *Campylobacter* charakteristische Koloniemorphologie auf. Bei allen Isolaten handelt es sich um dünne, gekrümmte bis korkenzieherartige, bewegliche Zellen. Zur biochemischen Differenzierung wurde folgende Tests durchgeführt: Wachstum auf Blutplatte ohne Begasung bei 37 °C, Wachstum bei 25 °C und 42 °C mit Begasung, Gramfärbung, Wachstum auf TSI und H<sub>2</sub>S-Bildung, Urease, Nitratreduktion, Katalase, Indoxylacetat-Spaltung, Hippurathydrolyse und Wachstum mit 4 % NaCl. Eine biochemische Differenzierung wurde nur von Isolaten aus dem jeweils geringsten Probenvolumen einer Probe, in der noch *Campylobacter/Arcobacter* nachgewiesen wurde, vorgenommen.

## **Nachweis von Viren**

### *Methodenentwicklung*

Die Proben der ersten drei Probennahmen dienten zunächst der Entwicklung und Optimierung der virologischen Nachweisverfahren. Dabei wurden sowohl Kontrollversuche mit bekannt Noro- oder Rotavirus-positiven Stuhlproben als auch die nativen Wasserproben mit verschiedenen methodischen Varianten untersucht. Im Folgenden wird die Methodik beschrieben, die sich aus den Experimenten ergab und die ab August 2006 zum Einsatz kam.

### *Anreicherung von Viren aus großen Probenvolumina*

Da die Abwasserproben in vielen Fällen nur sehr geringe Viruskonzentrationen enthielten, mussten die Viren vor der RNA-Extraktion angereichert werden. Hierzu wurden die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Methoden eingesetzt.

### *Ionenaustauscher-Filtration*

Entsprechend früherer Methodenbeschreibungen zur Anreicherung von Viren aus Abwasser (Gilgen et al., 1997; Nygard et al., 2003) wurden die verschiedenen Wasserproben folgendermaßen behandelt:

Zwei Liter jeder Wasserprobe wurden zunächst über einem Glasfaserfilter der Porengröße 1,0 µm (Fa. Pall, Germany) vorfiltriert. Nach Einstellen des pH-Wertes der Probe auf pH 3,5 wurde die Probe durch einen positiv geladenen Ionenaustauschfilter der Porengröße 0,45 µm (Anioni PES-Copolymer, Firma Pall, Germany) filtriert. Je nach Verschmutzungsgrad des Wassers konnten unterschiedliche Volumina durch den Filter befördert werden, ehe dieser sich dicht setzte. Die Volumina bewegten sich zwischen 900 und 2000 ml.

Nach der Filtration wurden mehrere Ionenaustauschfilter mit 6 ml 50 mM Glycin-NaOH + 1 % Rinderserum (pH 9,5) in 50 ml-Blaukappenröhrchen (Fa. Greiner, Germany) manuell geschüttelt, um die Viren vom Filter abzulösen, und anschließend 20 min bei 50 x g und Raumtemperatur zentrifugiert.

Daraufhin wurden die Filterblätter verworfen und jeweils 4 ml der virushaltigen Lösung auf Konzentratoren (MWCO 50 000, Fa. Vivascience AG, Sartorius) gegeben, in 10 Minuten-Schritten bei 120 x g zentrifugiert und auf höchstens 140 µl eingengt.

Da sich die Filtration durch die schwergängige Passage über die Ionenfilter als umständlich erwies, wurde bei geeigneten Proben (überwiegend Zulauf) auf eine Anreicherung der Viren über Ionenaustauschfilter verzichtet und die Proben direkt konzentriert.

Hierzu wurde jede Probe auf dem Schüttler 10 min. durchmischt. Dann wurde sie bei 12.500 x g, 20 min zentrifugiert. Der Überstand wurde vorsichtig in Blaukappenröhrchen abgegossen und bis auf 100 ml sofort eingefroren. Die verbleibenden 100 ml des Überstandes wurden für das Konzentrieren benutzt.

### *PEG-Fällung*

Ab Oktober 2006 wurde für große Probenvolumina neben der Filtration über Ionenaustauschfilter auch die PEG-Fällung eingesetzt.

Hierzu wurden die Proben bei 12.500 x g 30 min zentrifugiert und der Überstand gewonnen. Zu je 1 L Überstand wurde Kochsalz mit einer Endkonzentration von 0,3 M gegeben, gelöst und der pH-Wert auf 7,2 eingestellt. Anschließend wurden 80 g PEG 6000 (Polyethylenglycol, Fa. BDH Prolabo VWR) im Überstand gelöst. Die Lösung wurde zur Ausfällung der Viren auf einem Magnetrührer für 18 h bei 4-8 °C langsam gerührt und dann 30 min bei 12.500 x g zentrifugiert. Der Überstand wurde vollständig abgegossen, das Sediment in 5 ml Phospat-gepufferter 0,85 %-iger Kochsalzlösung, pH 7,5, resuspendiert und 4 ml hiervon auf einen Konzentrator überführt.

### *Einengen der Proben mit Konzentratoren*

Für verschiedene Probenvolumina wurden Konzentratoren unterschiedlicher Größe eingesetzt. Für Probenvolumina von 1,3 ml, 4 ml und 12 ml wurde der Konzentrator 4 ml, 50 000 MWCO, Fa. Vivascience AG verwendet. Für größere Volumina wurden auch größere Konzentratoren eingesetzt (2-20 ml, 50 000 MWCO, Fa. Vivascience AG) und die Proben auf 140 µl eingengt. Bei Volumina über 20 ml bis 48 ml wurde der große Konzentrator mehrmals befüllt. Die Zentrifugation erfolgte stets bei 500 x g.

### *RNA-Extraktion*

Die RNA-Extraktion wurde manuell mit dem QUIamp viral RNA-Kit (Fa. Qiagen) entsprechend der Firmenbeschreibung durchgeführt.

## *PCR-Verfahren*

### **Rotavirus: nested RT-PCR**

Den Literaturangaben (Elschner, M. et al., 2002) entsprechend wurde die Rotavirus-PCR im „nested“-Verfahren in den drei Arbeitsschritten Reverse Transkription, 1. PCR und 2. PCR auf einem Thermocycler (Mastercycler, Fa. Eppendorf) durchgeführt. Die dabei verwendeten Primer detektieren Rotaviren der Gruppe A humanen und tierischen Ursprungs.

Dabei wurden 20 µl des 60 µl-RNA-Extraktes für die PCR eingesetzt, ein Drittel des Volumens wurden somit in der PCR untersucht.

### **Norovirus: nested RT-PCR**

Auch diese RNA-PCR wurde als nested RT-PCR nach OH et al (2004) mit dem Mastercycler (Fa. Eppendorf) durchgeführt. Dabei wurden 10 µl des 60 µl RNA-Extraktes eingesetzt und somit ein Sechstel des Ausgangsmaterials in der PCR untersucht.

### **Norovirus Real-time PCR**

Um die Sensitivität der Norovirus-PCR zu steigern, wurden die Proben aus Erfde zusätzlich in einer Realtime-PCR untersucht.

Dafür wurde auf dem Rotorgene der Firma Corbett die Realtime PCR entsprechend der Herstellerempfehlung mit dem Kit MutaPLATE der (Fa. Immundiagnostik AG, Germany) durchgeführt. In dieser PCR wurden 5 µl des Probenextraktes eingesetzt, was einem Zwölftel der extrahierten RNA entspricht.

## *Grenzwertbestimmungen*

Um Eliminationsraten für die Viren bestimmen zu können, wurden die Probenvolumina von Zu- und Abläufen ermittelt, die gerade noch einen positiven Virennachweis erbrachten. Zu diesem Zweck wurden stark positive Proben verdünnt bzw. die sehr schwach viruskontaminierten Abläufen mit den oben beschriebenen Verfahren konzentriert.

Stark positive Proben, bei denen ein Volumen um und unterhalb von 140 µl ausreichte, wurden direkt in die RNA-Extraktion gegeben. Zum Teil wurde der Grenzwert in Dreifach-Ansätzen ermittelt. Diese Grenzwerte wurden dann für die Ermittlung der Eliminationsraten herangezogen.

## *Kontrollversuche*

Als Positivkontrolle wurden bei den ersten Untersuchungen verdünnte, viruspositive Stuhlproben jeweils einer nativen Wasserprobe zugesetzt. Hierzu wurden 125 ml Wasserprobe und 0,25 ml Norovirus-positiver Stuhl (vorher ermittelte Menge) gemischt und analog zu den Proben 20 min bei 12.500 x g zentrifugiert. Vom Überstand wurden dann 4 ml auf einem Konzentrator auf 140 µl eingengt. Später wurden Positivkontrollen nur noch für Zuläufe durchgeführt, weil hier wegen der größeren Verunreinigung die Gefahr einer PCR-Inhibierung besonders groß ist.



## Ergebnisse und Diskussion

### *Versuche zur Methodik*

#### **Nachweis von Salmonellen und Campylobacter/Arcobacter**

Die ersten beiden Probennahmen in Weißtal dienten dazu, einige grundsätzliche Fragen zu klären. Im Mittelpunkt stand zunächst die Frage, mit welchen Strategien zuverlässig die Anzahl von Salmonellen und *Campylobacter* aus Klärwerksproben ermittelt werden kann.

Bei der ersten Probennahme wurden für beide Organismen sowohl Anreicherungen mit Abwasserproben beimpft als auch Direktausstriche auf Selektivmedien angefertigt. Es zeigte sich, dass Direktausstriche ungeeignet sind, da beide Organismen von anderen, im Abwasser vorkommenden Bakterien völlig überwachsen wurden. Die Selektivität der Medien ist offensichtlich für eine komplexe Bakterienpopulation, wie sie in Klärwerken vorkommt, nicht ausreichend.

Für *Salmonella* zeigte sich schon in der ersten Versuchsreihe, dass die spezifische Anreicherung in Rappaport-Vassiliadis-Medium zusammen mit einer Bebrütungstemperatur von 42 °C zu guten Ergebnissen führt. Bei diesem Verfahren wird zwar auf die Anreicherung von *S. typhi* verzichtet, aber es ist auch nicht anzunehmen, dass *S. typhi* der vorherrschende Salmonellen-Typ in Abwasser ist.

Die Isolierung der Salmonellen auf XLD- und Chromagar führte ebenfalls zu guten Ergebnissen, da Salmonellen auf beiden Nährböden meist charakteristische Koloniemerkmale aufweisen und deshalb kaum zu übersehen sind.

Bei *Campylobacter* zeigte sich, dass Ausstriche der selektiven Anreicherungen (Boltonbouillon mit Zugabe von Supplement) auf CCDA- bzw. Skirrow-Platten noch sehr viele Kolonien zeigten, die nicht *Campylobacter* zuzuordnen waren. Deshalb war eine große Anzahl der Platten nicht auswertbar. Offensichtlich kommen in Abwasser viele Organismen vor, die Multiresistenzen gegen die Antibiotika aufweisen, die zur selektiven Anreicherung und Isolierung von *Campylobacter* eingesetzt wurden. Deshalb wurde in späteren Probennahmen als weitere Selektionsstrategie die oben beschriebene Filtermethode eingesetzt, bei der es sich um eine Modifikation der Methode von Jacob et al. 1991 handelt.

Mit der dritten Probennahme sollte u. a. für *Campylobacter* geklärt werden, nach welcher Anreicherungszeit im Boltonbouillon sich die Anwendung der Filtermethode empfiehlt. Aliquots der *Campylobacter*-Anreicherungen wurden deshalb nach 1, 2 und 3 Tagen auf die Sterilfilter auf CCDA-Platten (jeweils 2 Parallelen) getropft. Die Auswertung ergab, dass eine Anreicherungszeit von 1-2 Tag optimal ist. Nach 3 Tagen Anreicherung ließen sich in einigen Proben bereits keine *Campylobacter* mehr nachweisen, während nach einem Tag in der Anreicherung *Campylobacter* vorhanden war. Offensichtlich sterben *Campylobacter* nach einer gewissen Zeit in der Anreicherung. Um sicherzustellen, dass 24 h Bebrütung im Boltonmedium ausreichen, um auch eine geringe Anzahl *Campylobacter* in einer Anreicherung so weit hoch wachsen zu lassen, dass sie durch den Filter migrieren und sich dann auf Platte nachweisen lassen, wurde ein Kontrollversuch durchgeführt.

Von einem Isolat wurde eine 1:10 Verdünnungsreihe in Boltonmedium angelegt. Mit jeder Verdünnungsstufe wurde eine Anreicherung in Boltonmedium 10 %-ig beimpft und 24 h bei 42 °C in *Campylobacter*-Atmosphäre bebrütet. Am nächsten Tag wurde festgestellt, bis zu welcher Verdünnungsstufe noch eine Trübung nachzuweisen war. Die erste Verdünnungsstufe ohne sichtbare Trübung wurde mikroskopisch und per Ausstrich auf CCDA-Platte auf Wachstum geprüft. Von allen Anreicherungen mit Trübung wurden 100 µl auf einen auf einer CCDA-Platte liegenden Sterilfilter (0,45 µm Porenweite) aufgetropft und 2 h unter *Campylobacter*-Atmosphäre bebrütet. Nach Entfernen der Filter und weiterer Bebrütung (48 h) zeigten sich in allen Fällen *Campylobacter*-Kolonien auf dem Filter. Hieraus lässt sich der Schluss ziehen, dass 24 h Anreicherung in Boltonmedium ausreicht, um eine Keimzahl von *Campylobacter* in einer

Anreicherung zu erhalten, die hoch genug ist, dass sich *Campylobacter* nach Migration durch einen Sterilfilter nachweisen lässt.

Bei Abwasserproben findet man nach Migration durch einen Sterilfilter auf der bebrüteten Platte fast ausschließlich Organismen, die von der Morphologie her *Campylobacter* sein könnten. In einigen Fällen konnte beobachtet werden, dass auch Organismen den Filter passieren, die eigentlich von ihrem Zelldurchmesser her nicht dazu in der Lage sein sollten. Aber auch beim Auftreten solcher Organismen lässt sich *Campylobacter* durch einen Reinigungsausstrich noch isolieren.

Auffällig war, dass sich in Anreicherungen, die mit sehr großen Probenvolumina beimpft wurden, gelegentlich keine *Campylobacter* isolieren ließen, obwohl in den nachfolgenden kleineren Volumina durchaus welche zu finden waren. Bei diesem Phänomen könnte es sich um ein sehr frühes Erschöpfen der Nährstoffe im Nährmedium durch eine schneller wachsende Begleitflora handeln, aber auch andere Erklärungen sind denkbar. Für unsere Versuche spielt dieses Phänomen keine Rolle, da ausschließlich die Anreicherungen von Probenvolumina um die Nachweisgrenze herum von Interesse sind.

Hiermit stehen jetzt sowohl für *Salmonella* als auch für *Campylobacter* Anreicherungs- und Isolierungsstrategien zur Verfügung, die den zuverlässigen Nachweis dieser Organismen auch in Gegenwart einer großen Anzahl anderer Bakterienarten erlaubt, wie sie in Abwasserproben regelmäßig vorkommen.

### **Probentransport**

Eine weitere Fragestellung der ersten beiden Probennahmen war, ob die Proben ca. 5 Stunden von Siegen nach Hamburg transportiert werden können, ohne dass signifikant viele Organismen absterben. Die Ergebnisse der ersten beiden Versuchsreihen reichten nicht aus, um diese Frage gesichert zu beantworten, aber es zeigte sich eine Tendenz in die Richtung, dass Absterbeeffekte bei Transport nicht auszuschließen waren. Deshalb wurden später alle Proben zur Isolierung von Bakterien vor Ort im Labor des Klärwerks Weißtal verarbeitet, d. h. es wurden die Anreicherungen beimpft und diese dann transportiert.

### **Probenart**

Außerdem sollte die Frage geklärt werden, ob beim Zulauf eine zu einer bestimmten Zeit geschöpfte Probe oder eine 24 h-Mischprobe geeigneter ist. Diese Frage ließ sich nicht eindeutig beantworten, deshalb wurden später stets 24 h-Mischproben verwendet.

## *Ergebnisse der methodischen Experimente zum Virusnachweis*

### **Virusanreicherung**

Da sich in den Abwasserproben zum Teil nur sehr geringe Viruskonzentrationen fanden, kam eine RNA-Extraktion direkt aus der Probe nur in seltenen Fällen infrage. In der Regel war es sowohl für Zu- als auch für Abläufe erforderlich, die Viren anzureichern. Hierzu kam die Filtration über Ionenaustauschfilter und die Polyethylenglycol(PEG)-Fällung für sehr große Volumina sowie die direkte Einengung der Probe über Konzentratoren für mittlere Probenvolumina (bis 50 ml) zum Einsatz. Mit allen 3 Verfahren ließen sich Viren so anreichern, dass sie mittels PCR nachgewiesen werden konnten.

Das Filtrationsverfahren hatte den Nachteil, dass sich durch die in den Wasserproben vorhandene Partikel die Ionenaustauschfilter trotz Vorfiltration sehr schnell dicht setzten. Dies bewirkte sehr lange Filtrationszeiten, so dass diese Art der Probenaufarbeitung sich als sehr zeit- und arbeitsintensiv erwies.

Als sehr zuverlässig erwies sich die Einengung mittlerer Probevolumina auf Konzentratoren. Hierzu wurden Konzentratoren verschiedener Hersteller und unterschiedlicher Größen in Bezug auf ihre Ausbeute und Praktikabilität verglichen. Die Konzentratoren der Firma Vivascience AG erwiesen sich als am brauchbarsten. Nach einer hochtourigen Zentrifugation zum Entfernen von Detritus aus der Wasserprobe ließen sich die Konzentratoren mit dem Überstand sogar mehrfach beschicken, so dass Probenvolumina bis ca. 50 ml eingeengt werden konnten.

### **RNA-Extraktion und PCR**

Für die RNA-Extraktion wurden 2 Testkits ausprobiert. Das RNA-Mini Kit der Firma Qiagen lieferte zuverlässig reproduzierbare Ergebnisse. Versuche mit dem QUIamp DNA stool mini Kit (Fa. Qiagen, USA) erwiesen sich als weniger effektiv.

Die für Rotavirus verwendete „nested“ PCR erwies sich als zuverlässig und ausreichend sensitiv, da in fast allen Abwasserproben relativ hohe Viruskonzentrationen nachweisbar waren.

Die für Norovirus verwendete „nested“ PCR erbrachte für Ablaufproben in der Regel negative Ergebnisse.

Deshalb wurde zusätzlich ab Dezember 2006 eine sensitivere Realtime-PCR eingesetzt. Diese erbrachte auch im Ablauf positive Ergebnisse und erwies sich somit als geeigneteres PCR-Verfahren für kleine Virusmengen. Mit Hilfe der Realtime-PCR kann eine relative Quantifizierung vorgenommen werden, wenn Zu- und Ablauf mit den selben Positivstandards gemessen werden. Zudem erlaubt die im Kit enthaltene interne Kontrolle den Ausschluss einer PCR-Inhibierung, was bei stark fäkal verunreinigten Proben vorteilhaft ist.

Zunächst wurden die Proben aus Erfde in zwei verschiedenen Realtime-PCR-Verfahren untersucht. Zum einen mit dem MutaPLATE Kit (Fa. Immundiagnostik) auf dem Rotorgene Cyler (Fa. Corbett, Australia) und zum anderen mit einer inhouse Multiplex PCR nach Literaturangabe (Hoehne et al, 2005) auf dem Light Cyler (Fa. Roche, USA). Im Vergleich erwies sich die Kit-PCR als geringfügig sensitiver und erbrachte auch bei kleineren Mengen noch einen knapp positiven Nachweis. Daher wurden diese Ergebnisse für die Berechnung der Eliminationsraten zu Grunde gelegt. Die im Kit enthaltene interne Kontrolle war in den Versuchsläufen positiv, eine Inhibierung also nicht nachweisbar.

### **Grenzwertbestimmungen**

Um eine Eliminationsrate bestimmen zu können, wurden zunächst die niedrigsten Volumina mit positivem Virus-Nachweis ermittelt. In diesem Zusammenhang wurden auch Mehrfachbestimmungen durchgeführt, um exemplarisch eventuelle Zufallsstreuungen beobachten zu können. Zur Ermittlung der Nachweisgrenze wurde bei den Zulaufproben vom August und September folgendermaßen verfahren:

Von jeder Probe wurden 1,3 ml; 4,0 ml; 12,0 ml und 16,0 ml auf 140 µl konzentriert.

Positive Proben wurden wie folgt weiter bearbeitet:

Schwach positive Proben: je 1,3 ml; 1,73 ml ; 2,16 ml; 2,6 ml; 3,0 ml; 3,43 ml und 4,0 ml wurden auf 140 µl konzentriert

Stark positive Proben: 5 µl, 16 µl, 40 µl, 140 µl wurden direkt zur RNA-Extraktion verwendet. 430 µl wurden auf 140 µl konzentriert.

Mit allen Volumina wurde eine dreifache PCR durchgeführt. Anschließend wurde die Nachweisgrenze bestätigt, indem von dem geringsten, noch positiven Volumen die Bestimmung mit 3 Parallelen wiederholt wurde.

Dabei ergab sich zwar eine Streuung der Ergebnisse, aber trotz großen Aufwandes konnten keine zusätzlichen Erkenntnisse aus dem Mehrfachansatz gewonnen werden. Daher wurde später ein Verfahren durchgeführt, bei dem nach einem ersten Screening nur noch eine engmaschige Titra-

tion im Grenzbereich erfolgte. Das dabei ermittelte kleinste positive Probenvolumen wurde als Grenzwert angenommen.

Im Falle der Grenzwertbestimmung für Rotavirus konnten Ergebnisse zunächst nicht ausreichend reproduziert werden, um schlüssige Eliminationsraten berechnen zu können. Durch eine Reduktion der Präparationsschritte konnte die Reproduzierbarkeit gesteigert werden.

### Positivkontrollen

Das Zumischen virushaltiger Stuhlproben zu den Abwasserproben diente als Kontrolle des Aufarbeitungsverfahrens. In zwei Fällen war das Ergebnis der PCR dieser Kontrollen im Zulauf negativ, ein Hinweis auf einen Fehler in der Extraktion oder das Vorkommen von Substanzen im Abwasser, die die PCR inhibieren.

### ELISA zur Bestimmung von Rotavirus

Die ersten Wasserproben wurden mit einem Rota Antigen-ELISA (Fa. Dako Cytomation, GB) erfolglos untersucht. Der ELISA erwies sich als nicht sensitiv genug, so dass später darauf verzichtet wurde.

### Klärwerkparameter

Von den Abwasserproben, die zur Anreicherung und Isolierung der pathogenen Mikroorganismen gezogen wurden, wurden die Klärwerkparameter bestimmt. Die Ergebnisse zeigen folgende Tabellen.

	CSB-Werte mg/l						
Datum	Zulauf (24 h)	Ablauf konv.	Ablauf SBR	Zulauf direkt	Zusatzprobe SBR*	Ablauf SBR 2 h	Ablauf SBR 4 h
30.05.2006	37,0	3,0	8,0	46,0	n. d.	n. d.	n. d.
04.07.2006	353,0	16,0	16,0	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
15.08.2006	113,0	13,0	13,0	n. d.	18,0	n. d.	n. d.
12.09.2006	212,0	16,0	25,0	n. d.	n. d.	30,0	14,0
18.10.2006	172,0	14,0	9,0	n. d.	n. d.	n. d.	13,0
27.02.2007	n. d.	3,0	1,0	47,0	n. d.	n. d.	n. d.
09.05.2007	87,0	17,0	12,0	n. d.	16,0	n. d.	n. d.

Tabelle 4: Bestimmung der CSB-Werte (mg/L) in Abwasserproben

\* Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors, n. d. = nicht durchgeführt

	N <sub>ges</sub> mg/l						
Datum	Zulauf (24 h)	Ablauf konv.	Ablauf SBR	Zulauf direkt	Zusatzprobe SBR*	Ablauf SBR 2 h	Ablauf SBR 4 h
30.05.2006	7,0	2,7	3,6	10,0	n. d.	n. d.	n. d.
04.07.2006	41,0	6,6	7,2	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
15.08.2006	26,0	4,7	3,1	n. d.	4,9	n. d.	n. d.
12.09.2006	27,0	3,4	3,0	n. d.	n. d.	3,2	3,3
18.10.2006	33,0	5,4	4,2	n. d.	n. d.	n. d.	4,4
27.02.2007	n. d.	1,9	3,8	11,0	n. d.	n. d.	n. d.
09.05.2007	21,0	5,3	3,1	n. d.	4,7	n. d.	n. d.

Tabelle 5: Bestimmung der N<sub>ges</sub>-Werte (mg/L) in Abwasserproben

\* Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors; n. d. = nicht durchgeführt

	NH <sub>4</sub> -N mg/l						
Datum	Zulauf (24 h)	Ablauf konv.	Ablauf SBR	Zulauf direkt	Zusatzprobe SBR*	Ablauf SBR 2 h	Ablauf SBR 4 h
30.05.2006	n. d.	n.d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
04.07.2006	28,0	0,8	0,0	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
15.08.2006	23,0	2,8	0,0	n. d.	3,5	n. d.	n. d.
12.09.2006	20,0	3,0	0,0	n. d.	n. d.	10,0	0,0
18.10.2006	27,0	0,7	0,0	n. d.	n. d.	n. d.	0,0
27.02.2007	n. d.	0,0	0,0	0,0	n. d.	n. d.	n. d.
09.05.2007	24,0	2,2	0,1	n. d.	2,1	n. d.	n. d.

Tabelle 6: Bestimmung der NH<sub>4</sub>-N-Werte (mg/L) in Abwasserproben

\* Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors; n. d. = nicht durchgeführt

	NO <sub>3</sub> -N mg/l						
Datum	Zulauf (24 h)	Ablauf konv.	Ablauf SBR	Zulauf direkt	Zusatzprobe SBR*	Ablauf SBR 2 h	Ablauf SBR 4 h
30.05.2006	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
04.07.2006	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
15.08.2006	2,7	0,8	1,9	n. d.	0,2	n. d.	n. d.
12.09.2006	0,1	3,1	2,7	n. d.	n. d.	0,7	2,7
18.10.2006	0,1	3,9	3,4	n. d.	n. d.	n. d.	3,5
27.02.2007	n. d.	1,8	3,8	2,4	n. d.	n. d.	n. d.
09.05.2007	1,2	2,6	3,7	n. d.	1,4	n. d.	n. d.

Tabelle 7: Bestimmung der NO<sub>3</sub>-N-Werte (mg/L) in Abwasserproben

\* Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors; n. d. = nicht durchgeführt

	P <sub>ges</sub> mg/l						
Datum	Zulauf (24 h)	Ablauf konv.	Ablauf SBR	Zulauf direkt	Zusatzprobe SBR*	Ablauf SBR 2 h	Ablauf SBR 4 h
30.05.2006	0,76	0,15	0,44	1,08	n. d.	n. d.	n. d.
04.07.2006	6,09	0,41	0,82	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
15.08.2006	2,58	0,76	0,36	n. d.	0,68	n. d.	n. d.
12.09.2006	3,99	0,33	0,59	n. d.	n. d.	0,69	0,58
18.10.2006	4,95	0,30	0,96	n. d.	n. d.	n. d.	0,96
27.02.2007	n. d.	0,36	0,44	1,62	n. d.	n. d.	n. d.
09.05.2007	2,0	0,25	0,23	n. d.	0,31	n. d.	n. d.

Tabelle 8: Bestimmung der P<sub>ges</sub>-Werte (mg/L) in Abwasserproben

\* Probe nach Beschicken vor Belüften des Reaktors; n. d. = nicht durchgeführt

Datum	Parameter	Zulauf (mg/l)	Ablauf
06.12.2006	CSB mg/L	792	45
	N <sub>ges</sub> mg/L	1,8	1,1
	P <sub>ges</sub> mg/L	10,74	0,82
31.01.2007	CSB mg/L	473	28
	N <sub>ges</sub> mg/L	n. d.	n. d.
	P <sub>ges</sub> mg/L	6,97	2,5

Tabelle 9: Bestimmung von CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub>-Werte in den Abwasserproben der Kläranlage Erfde; n. d. = nicht durchgeführt

	Dekantat vorheriger Zyklus	Zulauf	Nach Beschicken vor Belüften	Während Belüftung	Dekantat	Ablauf Teich
CSB mg/L	16,0	111,0	16,0	13,0	9,0	10,0
N <sub>ges</sub> mg/L	6,0	13,0	6,0	4,9	4,0	5,6
NH <sub>4</sub> -N mg/L	0,1	8,0	2,0	0,1	0,1	0,2
NO <sub>3</sub> -N mg/L	6,1	1,3	2,9	5,0	5,1	5,3
P <sub>ges</sub> mg/L	0,37	1,37	0,59	0,08	0,49	0,45

Tabelle 10: Bestimmung von CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub>-Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Weißtal vom 04.06.07

	Dekantat vorheriger Zyklus	Zulauf	Nach Beschicken vor Belüften	Während Belüftung	Dekantat	Zulauf konv. Anlage	Ablauf konv. Anlage
CSB mg/L	24	63	30	22	18	159	38
N <sub>ges</sub> mg/L	8,0	13,7	8,5	8,0	7,9	29,0	5,9
NH <sub>4</sub> -N mg/L	0,1	9,9	3,2	0,3	0,1	21,0	1,5
NO <sub>3</sub> -N mg/L	7,3	1,1	4,1	7,1	7,4	0,6	3,6
P <sub>ges</sub> mg/L	0,50	1,72	0,61	0,61	0,47	2,97	0,41

Tabelle 11: Bestimmung von CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub>-Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Weißtal vom 24.07.07

	Dekantat vorheriger Zyklus	Zulauf	Nach Beschicken vor Belüften	Während Belüftung	Dekantat	Zulauf konv. Anlage	Ablauf konv. Anlage
CSB mg/L	11	40	13	18	10	68	12
N <sub>ges</sub> mg/L	7,6	14,0	7,7	7,6	7,4	19,0	5,1
NH <sub>4</sub> -N mg/L	0,3	9,0	3,0	0,1	0,1	13,0	1,4
NO <sub>3</sub> -N mg/L	6,8	2,4	3,7	6,7	6,9	1,4	3,7
P <sub>ges</sub> mg/L	0,55	1,80	0,70	0,69	0,54	2,14	0,48

Tabelle 12: Bestimmung von CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub>-Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Weißtal vom 12.09.07

	Zulauf	Nach Beschicken vor Belüften	Mitte Belüftung	Nach Belüftung	Dekantat
CSB mg/L	92	23	19	16	12
N <sub>ges</sub> mg/L	13,0	8,7	8,6	8,6	9,9
P <sub>ges</sub> mg/L	2,01	0,65	0,60	0,54	0,44

Tabelle 13: Bestimmung von CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub>-Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Weißtal vom 21.04.09

	Zulauf	Nach Beschicken vor Belüften	Nach 1. Belüftung	Nach 2. Beschickung	Nach 2. Belüftung	Dekantat
CSB mg/L	76	38	38	17	17	14
N <sub>ges</sub> mg/L	18,0	5,0	6,0	10,9	6,2	5,9
P <sub>ges</sub> mg/L	2,28	1,05	0,96	0,82	0,78	0,72

Tabelle 14: Bestimmung von CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub>-Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage; SBR-Reaktor 2, des Klärwerks Weißtal vom 01.07.09

	Zulauf	Nach Beschicken vor Belüften	Nach 1. Belüftung	Nach 2. Beschickung	Nach 2. Belüftung	Dekantat
CSB mg/L	99	39	41	28	20	15
N <sub>ges</sub> mg/L	26,0	6,0	6,0	9,1	8,9	8,6
P <sub>ges</sub> mg/L	2,69	0,87	0,78	0,73	0,66	0,55

Tabelle 15: Bestimmung von CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub>-Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage; SBR-Reaktor 1, des Klärwerks Weißtal vom 01.07.09

	Zulauf	Nach Beschicken vor Belüften	Mitte 1. Belüftung	Mitte 2. Belüftung	Dekantat
CSB mg/L	573	42	33	28	24
N <sub>ges</sub> mg/L	59,10	<6,4	6,7	<16,2	<12,3
NH <sub>4</sub> -N mg/L	56,0	4,3	2,7	<0,2	<0,2
NO <sub>3</sub> -N mg/L	3	<2	4	16	12
NO <sub>2</sub> -N mg/L	0,100	<0,1	0,108	0,019	0,115
P <sub>ges</sub> mg/L	21,40	3,41	1,16	0,44	0,29

Tabelle 16: Bestimmung von CSB-, N<sub>ges</sub>- und P<sub>ges</sub>-Werte in den Abwasserproben der SBR-Anlage des Klärwerks Erfde vom 28.07.09

Die Tabellen 10 – 16 liefern das bemerkenswerte Ergebnis, dass in den Überstandsfractionen aus den SBR-Anlagen nach den ersten Beschickungen mit Abwasser (und vor der Belüftung!) mit einer einzigen Ausnahme (der P<sub>ges</sub> Wert vom 28.07.2009) alle! neuen Überwachungswerte der Kläranlage eingehalten werden. Das belegt eine sehr gute und stabile Reinigungsleistung als auch ein sehr effektives Adsorptionsverhalten des Belebtschlammes.

Die Messwerte zeigen zudem, dass die Reinigungsleistung des konventionellen Anlagenteils in Weißtal der der SBR Anlage entspricht und dass die Reinigungsleistung in Erfde größenordnungsmäßig der in Weißtal entspricht.

Aus dieser Perspektive betrachtet ist somit zwischen den 3 Anlagen eine Vergleichbarkeit gegeben.

### Nachgewiesene Salmonellen

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Nachweise von *Salmonella* in Abhängigkeit vom Probenvolumen der Abwasserproben an den verschiedenen Probennahmetagen.

Probe	Probenvolumen								
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	+++	++-	---	---	---
Ablauf konv.	n. d.	+-	+-	+-	+-	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR	n. d.	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 17: Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 04.07.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Bei dieser Probennahme herrschten Trockenwetterbedingungen und der SB-Reaktor durchlief einen 6 h-Zyklus. Sowohl aus dem Zulauf als auch aus dem Ablauf der konventionellen Belüftung konnten Salmonellen nachgewiesen und isoliert werden.

Probe	Probenvolumen								
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	+++	+-	+-
Ablauf konv.	+++	+++	+-	+-	+-	---	+-	n. d.	n. d.
Ablauf SBR	+++	+-	+-	+-	---	---	---	n. d.	n. d.
Zusatzprobe SBR*	n. d.	n. d.	+-	+++	+-	---	---	---	n. d.

Tabelle 18: Auf Salmonellen getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 15.08.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

\* nach Beschickung vor Belüftung

\*\* es wurden nur 1 bzw. 2 parallele Anreicherungen angelegt

Bei dieser Probennahme wurde neben der Zulauf- und den beiden Ablaufproben eine zusätzliche Probe aus dem SB-Reaktor genommen. Die Probe wurde nach Beschickung des Reaktors direkt

vor der ersten Belüftungsphase geschöpft. Mit dieser Probe sollte geklärt werden, was mit den Salmonellen des Zulaufs nach der Verdünnung durch den im Reaktor verbliebenen Schlamm passiert. Von der Probe wurde der Überstand nach 1 h Absetzenlassen zur Salmonellenbestimmung verwendet. Auch bei dieser Probennahme konnten in allen Proben Salmonellen nachgewiesen und isoliert werden. In der Zusatzprobe war ein großer Teil der Salmonellen praktisch nur durch Mischen mit dem Belebtschlamm und anschließender Sedimentation bereits aus dem Überstand verschwunden.

Probenvolumen											
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	++	---	---	---	---	---	---	---
Ablauf konv.	+	+-	+-	---	+-	---	---	---	+-	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 2 h	-	---	--	--	--	--	--	--	--	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 4 h	-	---	--	--	--	--	--	--	--	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 6 h	---	---	--	--	--	--	--	--	--	n. d.	n. d.

Tabelle 19: Auf Salmonellen getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 12.09.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Die September-Versuchsreihe sollte neben einem Vergleich der konventionellen Belegung mit der SBR-Anlage zeigen, welche Auswirkungen ein 4- bzw. ein 6-h-Zyklus auf die Eliminationsrate von Salmonellen hat. Um einen möglichst guten Vergleich zu haben, wurde der im 6-h-Zyklus laufende Reaktor nach 2 und 4 h Zykluszeit beprobt. Die Proben blieben zum Absetzen eine Stunde stehen. Zur Salmonellenbestimmung wurde der Überstand verwendet.

Im Zulauf und im Ablauf der konventionellen Belegung konnten nur relativ wenige Salmonellen nachgewiesen werden. In den Proben aus der SBR-Anlage waren keine Salmonellen vorhanden.

Probenvolumen											
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	+++	+++	+-	+-	+-
Ablauf konv.	-	+-	+-	+-	+-	+-	---	+-	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 4 h	+++	+++	+++	---	---	+-	+-	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 6 h	+-	+++	+-	+-	+-	+-	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 20: Auf Salmonellen getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 18.10.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Mit dieser Probennahme wurde die Versuchsreihe vom 12.9.06 wiederholt, wobei auf die 2 h-Probe aus dem SB-Reaktor verzichtet wurde. Diesmal wurden in allen Proben Salmonellen nachgewiesen. Der SB-Reaktor wies nach einem 6 h-Zyklus weniger Salmonellen im Ablauf auf als nach 4 h.

Probenvolumen											
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	+-	+-	---	---	---	---	---	---
Ablauf konv.	+++	+-	+++	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR	+++	+++	---	+-	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 21: Auf Salmonellen getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 27.02.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt



Der Probennahme vom 27.02.07 in Weißtal war eine lang andauernde Regenperiode vorausgegangen. Das Abwasser enthielt deshalb eine große Menge Regenwasser, was sich im niedrigen CSB-Wert von 47 mg/L widerspiegelt. Entsprechend wenig Salmonellen befanden sich im Zulauf und in den beiden Abläufen der Kläranlage in Weißtal. Zwischen den beiden Abläufen konnte kein großer Unterschied festgestellt werden.

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	+-	---	---	---	---
Ablauf konv.	+ n.d. n.d.	+++	+++	+++	+++	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR	+++	+++	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Zusatzprobe	n. d.	+++	+++	+-	+-	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 22: Auf Salmonellen getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 09.05.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Auch die Probennahme vom 09.05.07 fand bei Regenwetter statt, so dass der SB-Reaktor im 4 h-Zyklus lief. Da dem Regenwetter eine längere Trockenperiode vorangegangen war, ist der Verdünnungseffekt des Abwassers durch Regenwasser aber nicht so stark ausgeprägt wie im Februar. Aus allen Proben konnten Salmonellen isoliert werden.

In den Zulaufproben wiesen die Konzentrationen an Salmonellen an den verschiedenen Probenahmetagen eine große Schwankungsbreite auf, die von einem Nachweisvolumen von 0,01 ml bis zu 10 ml reichte. Diese Schwankungsbreite über die Sommer- und Herbstmonate lässt sich nicht mit einer jahreszeitlichen Abhängigkeit erklären, die für Salmonellen beschrieben wurde (RKI: Epid. Bulletin 31/2004), erklären, sondern scheint von anderen Faktoren bestimmt zu sein, wie der Konzentration des Abwassers, die bei starken Regenfällen abnimmt, und dem Freispülen von Abwasserkanälen durch Regenfälle nach Trockenperioden. Dadurch, dass sich nicht vorhersehen lässt, in welchen Volumina Salmonellen zu erwarten sind, ist es erforderlich, bei jeder Probenahme eine große Anzahl verschiedener Volumina (zwischen 5 und 7) zu testen, um die Nachweisgrenze bestimmen zu können. Schon bei 3 Parallelansätzen führt das zu einer großen Zahl Anreicherungen, die bearbeitet werden müssen.

In den Abläufen wurde erwartungsgemäß stets eine niedrige Zahl Salmonellen gefunden als im Zulauf, was die Bearbeitung größerer Volumina erforderlich machte, um überhaupt noch Salmonellen nachweisen zu können. Deshalb wurden von den Abläufen Volumina bis zu 1000 ml getestet und selbst hier wurden bei einigen Probennahmen noch negative Werte gefunden. Es wurde trotzdem darauf verzichtet, noch größere Volumina zu testen, weil eine gesundheitlich Gefährdung unserer Meinung nach auszuschließen ist, wenn in einem Liter Ablauf keine Salmonellen nachzuweisen sind.

Für den Ablauf der konventionellen Anlage konnte für die 1000 ml-Anreicherung meist keine Parallelen angelegt werden, weil die Probenahme durch den automatischen Probennehmer kein entsprechend großes Gesamtvolumen lieferte.

Für die Probennahmen am 04.07.06, 15.08.06, 18.10.06, 27.02.07, 09.05.07 und 04.06.07 konnten mit Hilfe der MPN-Methode Keimzahlen bestimmt und eine Eliminationsrate errechnet werden. Diese Ergebnisse sind unter „Eliminationsraten“ zusammengefasst.

## Proben aus Erfde

Das Klärwerk in Erfde, Schleswig-Holstein wurde beprobt, um die Ergebnisse aus Weißtal anhand einer SBR-Anlage zu überprüfen, in die industrielles Abwasser eingeleitet wird.

	Probenvolumen															
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,33 ml	0,11 ml	0,033 ml	0,011 ml	0,0033 ml	0,0011 ml	0,00033 ml	0,00011 ml	0,000033 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	---
Ablauf SBR	+++	-++	+++	--+	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.

Tabelle 23: Auf Salmonellen getestete Probenvolumina der Probennahme in Erfde vom 06.12.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Es konnten sowohl im Zulauf als auch im Dekantat der SBR-Anlage Salmonellen nachgewiesen werden, so dass mittels der MPN-Methode eine Keimzahl errechnet werden konnte. Die Eliminationsrate ist im Abschnitt „Eliminationsraten“ dargestellt.

	Probenvolumen															
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,33 ml	0,11 ml	0,033 ml	0,011 ml	0,0033 ml	0,0011 ml	0,00033 ml	0,00011 ml	0,000033 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	+++	++	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ablauf SBR	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.

Tabelle 24: Auf Salmonellen getestete Probenvolumina der Probennahme in Erfde vom 31.01.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Bei dieser Probennahme wurden schon im Zulauf relativ wenig Salmonellen gefunden. Die Eliminationsraten sind im entsprechenden Abschnitt dargestellt.

## Nachgewiesene *Campylobacter*/*Arcobacter*

Die folgenden Tabellen zeigen die Probenvolumina der Abwasserproben, die auf *Campylobacter*/*Arcobacter* getestet wurden.

Probe	Probenvolumen								
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	---	---	+++	+++	---
Ablauf konv.	n. d.	---	+++	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR	n. d.	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 25: Auf *Campylobacter*/*Arcobacter* getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 04.07.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = *Campylobacter*/*Arcobacter* nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Bei dieser Probennahme konnte im Zulauf und im Ablauf der konventionellen Anlage *Campylobacter*/*Arcobacter* nachgewiesen werden. Der SBR-Ablauf enthielt auch in 300 ml Probenvolumen keine *Campylobacter*.

Probe	Probenvolumen								
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	---	---	+++
Ablauf konv.	+++	+++	+++	+++	---	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Ablauf SBR	+++	---	---	+++	+++	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Zusatzprobe SBR*	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	+++	---	---	n. d.

Tabelle 26: Auf *Campylobacter*/*Arcobacter* getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 15.08.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = *Campylobacter*/*Arcobacter* nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt; \* nach Beschickung, vor Belüftung; \*\* es wurde nur 1 Anreicherung beimpft

Die Proben vom August enthielten eine hohe Anzahl *Campylobacter*/*Arcobacter*. In den Abläufen waren selbst in den kleinsten, getesteten Volumina noch *Campylobacter*/*Arcobacter* nachzuweisen. Die Zusatzprobe des SB-Reaktors zeigte *Campylobacter*/*Arcobacter* noch in 0,3 ml. Anscheinend wurden bei dieser Probennahme *Campylobacter*/*Arcobacter* anders als Salmonellen nicht durch Mischen mit dem Schlamm der Anlage eliminiert, sondern verblieben nach 1 h Absetzenlassen im Überstand.

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	---	---	---	---	---
Ablauf konv.	+	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 2 h	+	+++	--	+	+	--	--	--	--	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 4 h	+++	+++	--	--	--	--	--	--	--	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 6 h	+++	+++	+	--	--	--	--	--	--	n. d.	n. d.

Tabelle 27: Auf *Campylobacter*/*Arcobacter* getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 12.09.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = *Campylobacter*/*Arcobacter* nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Bei der September-Probennahme ließen sich in allen Proben *Campylobacter*/*Arcobacter* nachweisen. Die SBR-Proben enthielten bereits nach 2 h-Zykluszeit weniger *Campylobacter*/*Arcobacter* als der konventionelle Ablauf. Zwischen 4 h- und 6 h-Zykluszeit gibt es keine gravierenden Unterschiede in der *Campylobacter*/*Arcobacter*-Konzentration.

Probe	Probenvolumen											
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml	0,03 ml	0,01 ml	
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Ablauf konv.	+	+++	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 4 h	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR, 6 h	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 28: Auf *Campylobacter/Arcobacter* getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 18.10.06. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = *Campylobacter/Arcobacter* nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Auch bei den Proben vom Oktober konnten in allen Proben *Campylobacter/Arcobacter* nachgewiesen werden. Der Ablauf der konventionellen Anlage enthielt diesmal eine geringere Konzentration *Campylobacter/Arcobacter* als die SBR-Proben. Bei der SBR-Anlage zeigte sich zwischen den Proben der 4 h-Zykluszeit und der 6 h-Zykluszeit wieder kein gravierender Unterschied.

Probe	Probenvolumen											
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml	
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	---	+++	+++	---	---	---	---	---	---
Ablauf konv.	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.	n. d.
Ablauf SBR	+++	+++	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.	n. d.

Tabelle 29: Auf *Campylobacter/Arcobacter* getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 27.02.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = *Campylobacter/Arcobacter* nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Auch bei dieser Probennahme konnte, trotz der Verdünnung des Abwassers mit großen Mengen Regenwassers in allen Proben *Campylobacter/Arcobacter* nachgewiesen werden.

Probe	Probenvolumen											
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml	
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	---	---
Ablauf konv.	+ n. d. n. d.	+++	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Ablauf SBR	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
SBR Zusatzprobe*	n. d.	+++	+++	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 30: Auf *Campylobacter/Arcobacter* getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 09.05.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = *Campylobacter/Arcobacter* nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt; \* Nach Beschicken, vor Belüften

In den Proben vom 09.05.07 konnten *Campylobacter/Arcobacter* nachgewiesen werden. Trotz Regenwetters fanden sie sich im Zulauf noch in einem Volumen von 0,1 ml.

Insgesamt lässt sich sagen, dass *Campylobacter/Arcobacter* im Zulauf in relativ hohen Konzentrationen gefunden wurde. Die Nachweisgrenze lag meist bei 0,1 bis 3 ml. Damit schwankte die Konzentration der *Campylobacter* über den Probennahmezeitraum weniger als die der Salmonellen.

## Proben aus Erde

Bei der zweiten Probennahme in Erde konnten sowohl im Zulauf als auch im Ablauf *Campylobacter* /*Arcobacter* nachgewiesen werden. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

	Probenvolumen															
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,33 ml	0,11 ml	0,033 ml	0,011 ml	0,0033 ml	0,0011 ml	0,00033 ml	0,00011 ml	0,000033 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	+++	++-	++-	+++	++-	-+-	---	---	---
Ablauf SBR	+++	+++	+++	++-	+++	+++	+++	---	---	-+-	++-	---	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.

Tabelle 31: Auf *Campylobacter* getestete Probenvolumina der Probennahme in Erde vom 31.01.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + = *Campylobacter* nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

## Eliminationsraten von Bakterien

Die folgenden Tabellen und Diagramme zeigen die mit der MPN-Methode ermittelten Keimzahlen sowie die daraus errechneten Überlebens- und Eliminationsraten geordnet nach Probennahmedaten.

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,292	0,101	0,842	292	100	0
Ablauf konv.	0,015	0,006	0,037	15	5	95
Ablauf SBR	0				0	100

Tabelle 32: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonellen bei der Probennahme vom 04.07.06

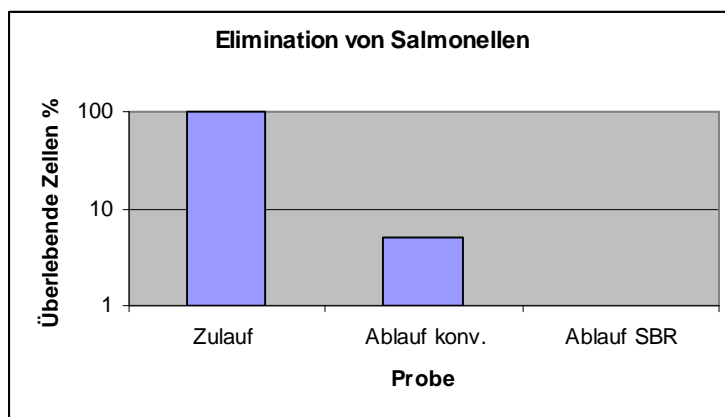


Abb. 2: Überlebensraten von Salmonellen in % bei der Probennahme vom 04.07.06

In den Proben vom 04.07.06 waren zu wenig *Campylobacter/Arcobacter* enthalten, so dass keine Eliminationsrate ermittelt werden konnte.

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	4,08	1,459	11,418	4080	100	0
Ablauf konv.	0,018	0,007	0,044	18	0,4	99,6
Ablauf SBR	0,005	0,002	0,012	5	0,1	99,9
Zusatzprobe	0,061	0,021	0,181	61	1,5	98,5

Tabelle 33: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonellen bei der Probennahme vom 15.08.06

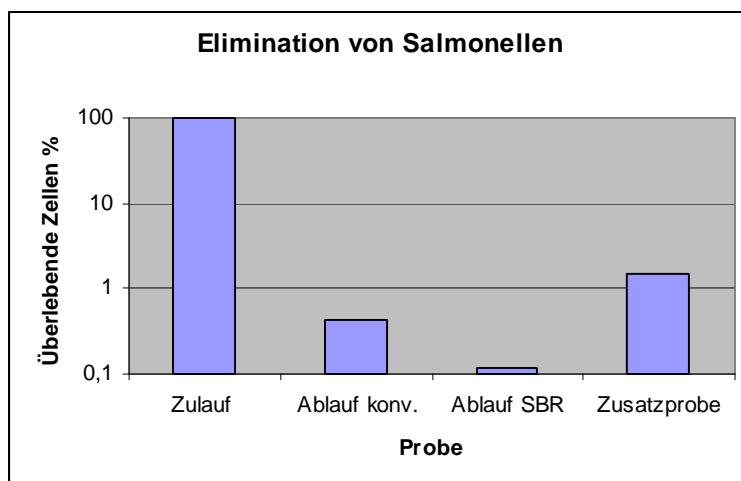


Abb. 3: Überlebensraten von Salmonellen in % bei der Probennahme vom 15.08.06

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,889	0,362	2,188	889	100,00	0
Ablauf konv.	0,011	0,005	0,024	11	1	99
Ablauf SBR	0,004	0,002	0,010	4	0	100
Zusatzprobe	0,839	0,305	2,307	839	94	6

Tabelle 34: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 15.08.06

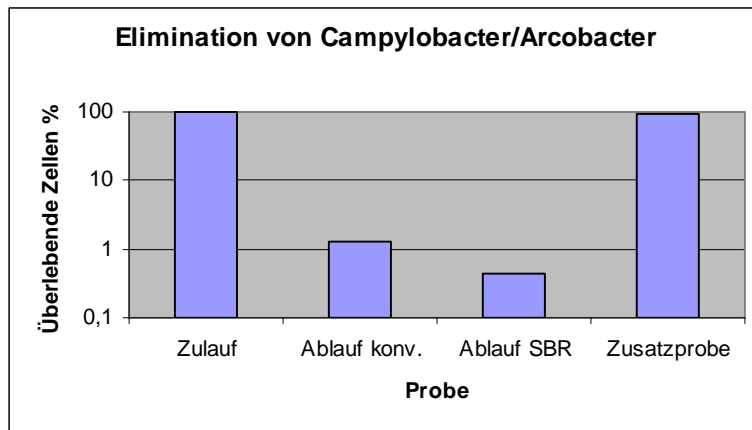


Abb. 4: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 15.08.06

In den Proben vom 12.09.06 waren sehr wenig Salmonellen, so dass eine Eliminationsrate nicht errechnet werden konnte.

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,234	0,099	0,554	234	100	0
Ablauf konv.	0,061	0,021	0,181	61	26	74
Ablauf SBR 2 h	0,010	0,003	0,027	10	4	96
Ablauf SBR 4 h	0,010	0,003	0,027	10	4	96
Ablauf SBR 6 h	0,008	0,010	0,054	8	3	97

Tabelle 35: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 12.09.06

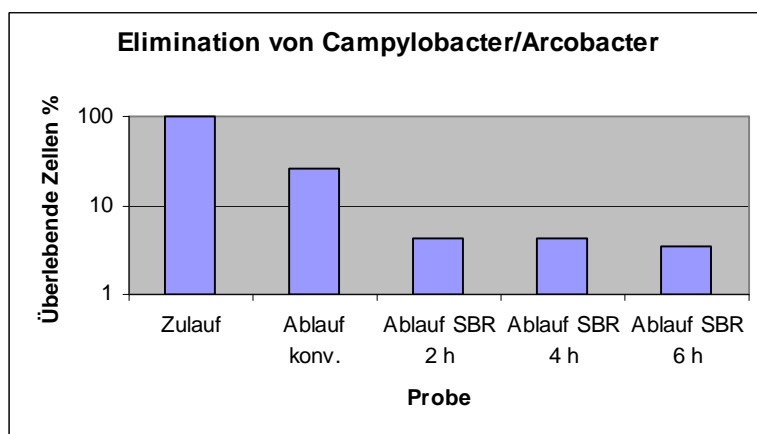


Abb. 5: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 12.09.06

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	20,146	8,114	50,075	20.146	100	0
Ablauf konv.	0,014	0,007	0,028	14	0,07	99,93
SBR 4 h	0,034	0,014	0,080	34	0,17	99,83
SBR 6 h	0,024	0,010	0,055	24	0,12	99,88

Tabelle 36: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 18.10.06

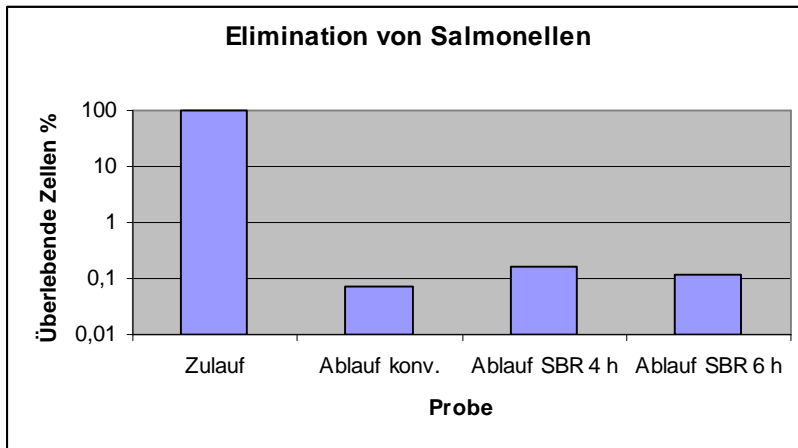


Abb. 6: Überlebensraten von Salmonella in % bei der Probennahme vom 18.10.06

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	1,465	0,575	3,734	1465	100	0
Ablauf konv.	0,007	0,003	0,018	7	0,5	99,5
SBR 4 h	0,061	0,025	0,150	61	4,2	95,8
SBR 6 h	0,023	0,010	0,054	23	1,6	98,4

Tabelle 37: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 18.10.06

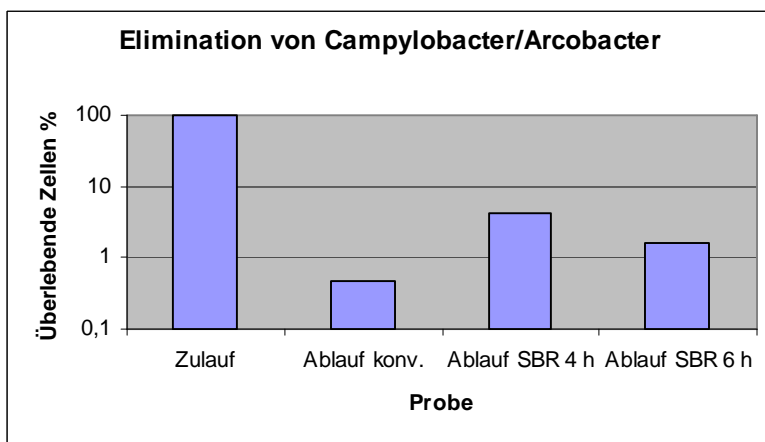


Abb. 7: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 18.10.06



Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,049	0,018	0,138	49	100	0
Ablauf konv.	0,007	0,003	0,017	7	14	86
Ablauf SBR 4 h	0,006	0,002	0,016	6	12	88

Tabelle 38: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 27.02.07

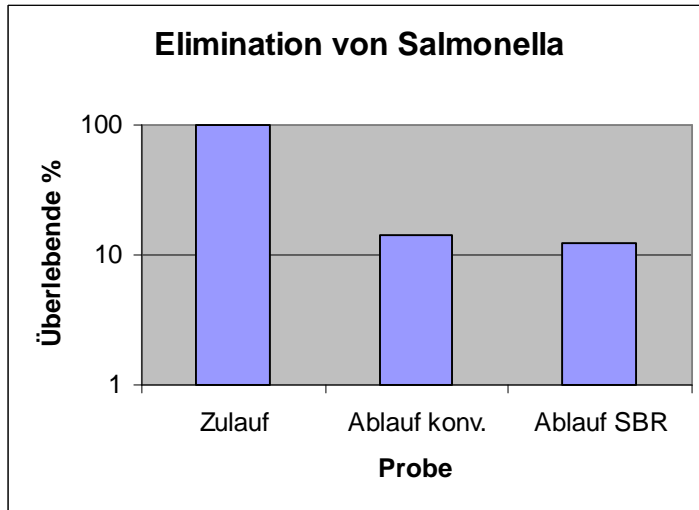


Abb. 8: Überlebensraten von Salmonella in % bei der Probennahme vom 27.02.07

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,078	0,036	0,168	78	100	0
Ablauf konv.	0,046	0,018	0,119	46	59	41
Ablauf SBR 4 h	0,013	0,005	0,030	13	17	83

Tabelle 39: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 27.02.07

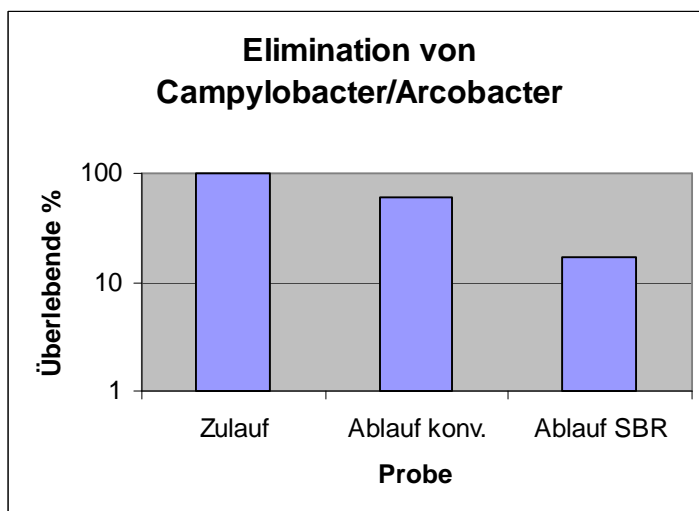


Abb. 9: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 27.02.07

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,789	0,294	2,119	789	100	0
Ablauf konv.	0,117	0,044	0,312	117	15	85
Ablauf SBR	0,005	0,002	0,014	5	1	99
SBR Zusatzprobe*	0,014	0,014	0,101	37	5	95

Tabelle 40: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 09.05.07  
\*Nach Beschicken vor Belüften

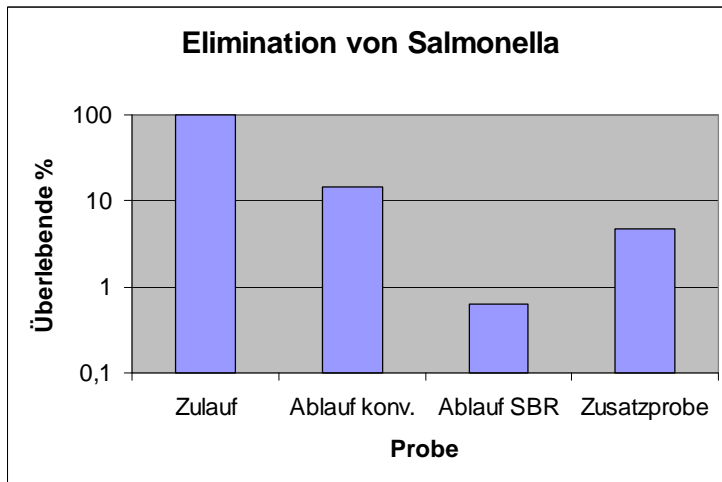


Abb. 10: Überlebensraten von Salmonella in % bei der Probennahme vom 09.05.07

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	15,436	5,086	47,06	15436	100	0
Ablauf konv.	0,003	0,001	0,009	3	0,02	99,98
Ablauf SBR	0,002	0,001	0,004	2	0,01	99,99
SBR Zusatzprobe*	0,051	0,019	0,133	51	0,33	99,67

Tabelle 41: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 09.05.07

\*Nach Beschicken vor Belüften

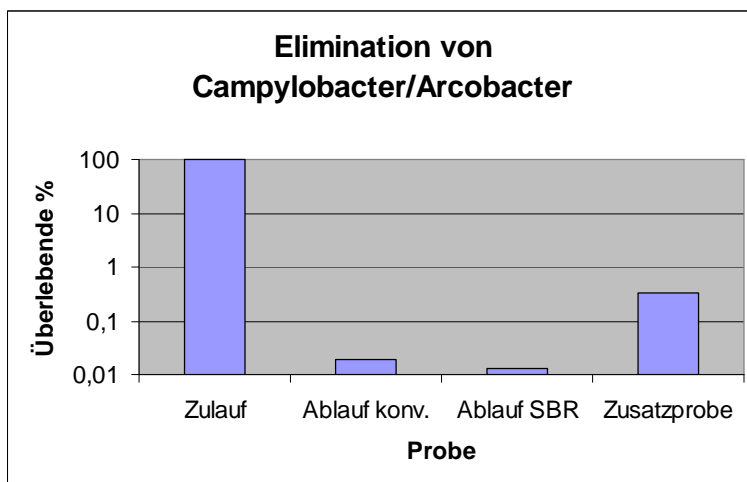


Abb. 11: Überlebensraten von Campylobacter/Arcobacter in % bei der Probennahme vom 09.05.07

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	26,559	9,255	76,304	26.559	100	0
Ablauf	0,008	0,003	0,020	8	0,03	99,97

Tabelle 42: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 06.12.06 in Erfde

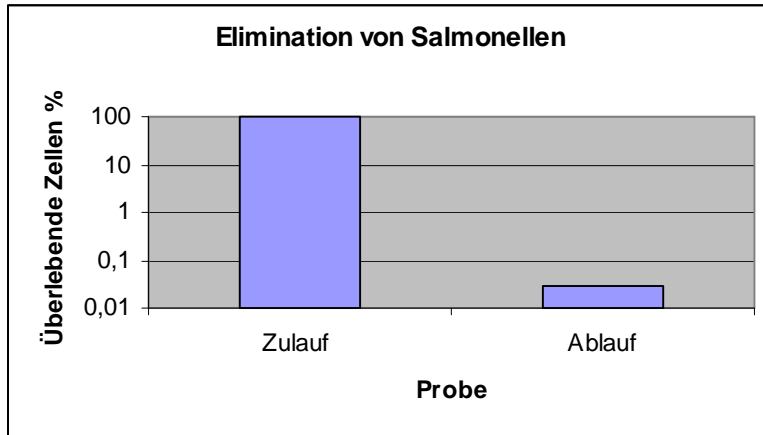


Abb. 12: Überlebensraten von Salmonellen in % bei der Probennahme vom 06.12.06 in Erfde

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,445	0,176	1,13	445	100	0
Ablauf	0,015	0,005	0,047	15	3	97

Tabelle 43: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 31.01.07 in Erfde

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	337,767	124,571	917,76	337.767	100	0
Ablauf	2,39	0,986	5,793	2390	0,71	99,29

Tabelle 44: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Campylobacter/Arcobacter bei der Probennahme vom 31.01.07 in Erfde

Die Keimzahlen, die im Zulauf der Kläranlage Weißtal nachgewiesen wurden, schwanken zwischen 5-2015 MPN / 100 ml für Salmonellen und 8-1544 MPN / 100 ml für *Campylobacter/Arcobacter*. Ein Vergleich mit Literaturwerten für *Campylobacter* (110-4000 MPN / 100 ml; Stelzer et al., 1988, Stampi et al. 1992, 1993; Jacob et al. 1991) zeigt, dass das Klärwerk Weißtal im Probennahmezeitraum eher gering mit *Campylobacter/Arcobacter* belastet war. Das gleiche gilt für die Salmonellen. Hier liegen Literaturwerte zwischen 235 und 2400 MPN / 100 ml (Stampi et al., 1992).

Im Ablauf der konventionellen Belebung lagen die Keimzahlen für Salmonellen zwischen 0,7 und 11,7 MPN / 100 ml, für die SBR-Anlage zwischen 0 und 3,4 MPN / 100 ml. Ein Vergleich mit Literaturwerten ist nicht möglich, weil die Abwasserbehandlung zu unterschiedlich ist.

Unsere Daten legen nahe, dass von den Abläufen der Kläranlage Weißtal keine gesundheitliche Gefährdung für Wassersportler und Badende ausgeht, da die ermittelten Keimzahlen nur sehr gering sind. Für stressfreie Salmonellen ist eine Infektionsdosis von ca.  $10 - 10^5$  Zellen (Blaser und Newman, 1982), bei gestressten Salmonellen reichen wenige Zellen aus. Für *Campylobacter* schätzt man, dass ca. 500 Zellen (Riordan et al. 1993) erforderlich sind, um eine Erkrankung

auszulösen. Die von uns ermittelten Werte liegen pro 100 ml darunter und werden im Vorfluter durch den raschen Verdünnungseffekt weiter sinken, so dass die nötige Infektionsdosis nicht erreicht wird.

Die Eliminationsraten für Salmonellen in der konventionellen Belebung liegen zwischen 85,17 und 99,93 %. Nach Literaturdaten (Stampi et al. 1992; Blumenthal et al. 2000) ist eine durchschnittliche Eliminationsrate von 2 Zehnerpotenzen (99 %) zu erwarten. Damit zeigte die konventionelle Belebung der Kläranlage Weißtal von August bis Oktober 2006 überdurchschnittlich gute Eliminationsraten für Salmonellen. Die Proben vom Februar und Mai 2007 zeigten dagegen eine unterdurchschnittliche Eliminationsrate.

Die SBR-Anlage zeigte verlässlich für Salmonellen Eliminationsraten von annähernd 3 Zehnerpotenzen (99,9 %), unabhängig von der Zykluslänge. Einzige Ausnahme ist die Probe vom 27.02.07 (88 %).

Dass sich diese Ergebnisse auch auf andere SBR-Anlagen, die mit industriellem Abwasser beschickt werden, übertragen lassen, zeigen die Probennahmen in Erfde. Hier wird unter der Woche ca. 50 % Schlachthofabwasser eingeleitet.

Hier wurde Salmonellen-Keimzahlen von 2656 MPN / 100 ml und 44,5 MPN / 100 ml im Zulauf gefunden.

Im Ablauf nach einem 8 h-Zyklus wurden in Erfde Eliminationsraten von 99,97 und 97 % erzielt.

Bei *Campylobacter/Arcobacter* wiesen die Eliminationsraten für beide Belebungen eine deutlich höhere Schwankungsbreite auf. So lag die Eliminationsrate der konventionellen Belebung zwischen 41 und 99,98 %, die der SBR-Anlage zwischen 83 und 99,99 %.

Bei *Campylobacter* zeigte die SBR-Anlage insgesamt stabilere Eliminationsraten als die konventionelle Belebung.

In Erfde wurde bei der Probennahme vom 31.01.07 eine sehr hohe *Campylobacter/Arcobacter*-Keimzahl im Zulauf (33777 MPN /100 ml) gefunden. Trotz einer relativ hohen Eliminationsrate von 99,29 % wurde im Ablauf immer noch eine Keimzahl von 239 MPN / 100 ml gefunden.

Insgesamt scheinen bei beiden Belebungen die Eliminationsraten für *Campylobacter/Arcobacter* deutlich geringer zu sein als für Salmonellen.

Im Laufe der Untersuchung zeigte sich, dass bei Regenwetterbedingungen die CSB-Werte und die Pathogenenzahlen im Zulauf stark zurückgingen, weil in die Kläranlage Weißtal sehr viel Regenwasser läuft. Bei solchen Bedingungen wurden auch stets die schlechtesten Eliminationsraten gemessen. Die Elimination von Pathogenen scheint, genauso wie die Elimination von Arzneimittel-Rückständen und Kontaminanten (POSEIDON-Report, 2004) von der Konzentration des Abwassers abzuhängen. Je konzentrierter das Abwasser ist, desto höher ist die Eliminationsrate. Diese Fakten sprechen eindeutig dafür, Regenwasser aus Kläranlagen heraus zu halten.

Möglicherweise gibt es daneben einen Zusammenhang zwischen der Höhe der entsprechenden Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate. Für beide Bakterienarten ist die Eliminationsrate bei beiden Belebtschlammverfahren um so besser, je höher die Keimzahl der jeweiligen Art im Zulauf war. Diese Ergebnisse sind in den folgenden Diagrammen dargestellt.

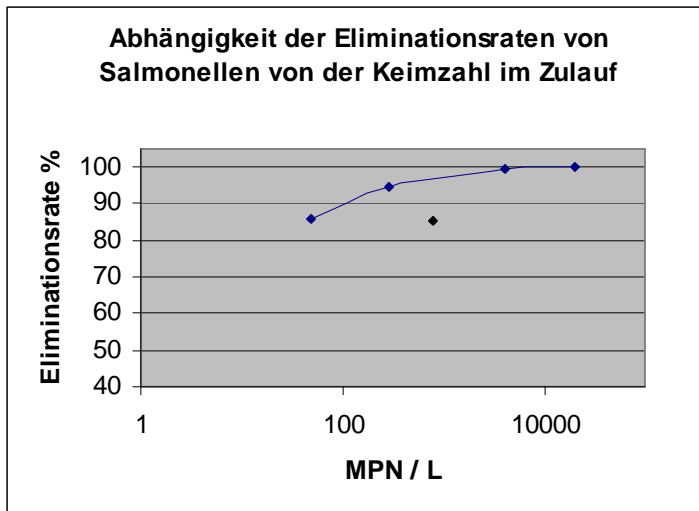


Abb. 13: Zusammenhang zwischen der Salmonellen-Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate in % für Salmonellen in der konventionellen Belebung

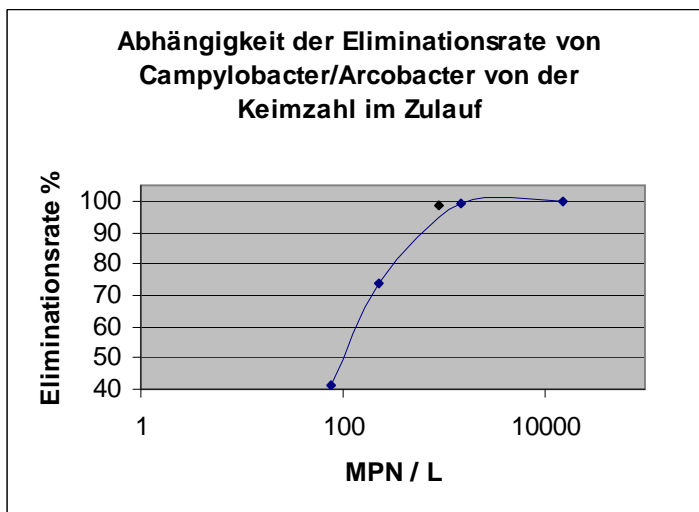


Abb. 14: Zusammenhang zwischen der Campylobacter/Arcobacter-Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate in % für Campylobacter in der konventionellen Belebung

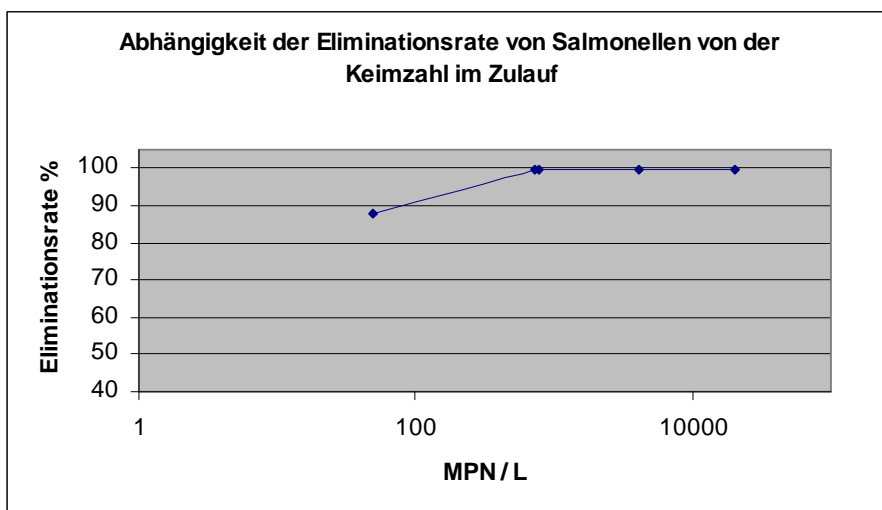


Abb. 15: Zusammenhang zwischen der Salmonellen-Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate in % für Salmonella in der SBR-Anlage im 4 h-Zyklus

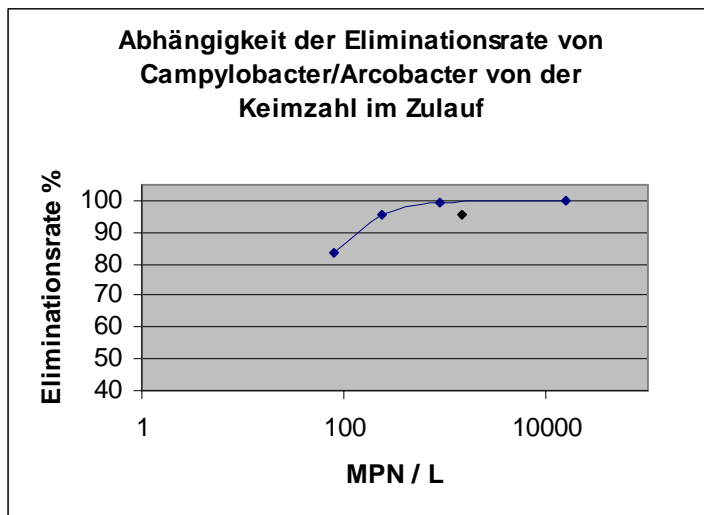


Abb. 16:: Zusammenhang zwischen der Campylobacter/Arcobacter-Keimzahl im Zulauf und der Eliminationsrate in % für Campylobacter/Arcobacter in der SBR-Anlage im 4 h-Zyklus.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Keimzahl der Pathogenen im Zulauf von mehreren Tausend für eine Eliminationsrate um 99 % erforderlich ist. Aufgrund von 4-5 Messwerten ist der dargestellte Zusammenhang noch nicht sehr gut abgesichert, doch in der Literatur ist dieser Effekt schon einmal beschrieben worden (Kayser et al. 1987). Leider konnte er von uns nicht systematisch untersucht werden, da kein Einfluss auf die Pathogenenzahl im Zulauf genommen werden konnte.

## Nachweisgrenzen von Viren

Die Norovirus-Nachweisgrenzen sind in der folgenden Tabelle dargestellt. Als Berechnungsgrundlage dienten die geringsten Probenvolumina, die in der PCR noch positiv waren.

Datum der Probennahme	Art der Probe	Norovirus in ml nachgewiesen	Max. auf Norovirus getestetes Volumen (ml)
10.5.06	Zulauf (24 h)	19,4*	
	Zulauf	27,77*	
	Ablauf konv.	neg	119,4
	Ablauf SBR	neg	105,5
29.5.06	Zulauf	0,67	
	Zulauf (24 h)	neg	100,0
	Ablauf konv.	neg	166,6
	Ablauf SBR	neg	111,1
4.7.06	Zulauf (24 h)	0,67	
	Ablauf konv.	neg	111,1
	Ablauf SBR	neg	111,1
15.8.06	Zulauf (24 h)	0,021	
	Ablauf konv.	neg	200,0
	Ablauf SBR	neg	200,0
	SBR Zusatzprobe**	neg	200,0
12.9.06	Zulauf (24 h)	2,0	
	Ablauf konv.	neg	300,0
	Ablauf SBR 4 h	neg	200,0
	Ablauf SBR 6 h	neg	200,0
18.10.06	Zulauf (24 h)	2,0	
	Ablauf konv.	neg	166,6
	Ablauf SBR 4 h	neg	250,0
	Ablauf SBR 6 h	neg	333,3

Tabelle 45: Nachweisgrenzen von Norovirus und Rotavirus in Abwasserproben aus Weißtal

\* die Viren aus diesem Volumen wurden über Ionenaustauschfilter angereichert (24 h): handelt sich um eine mengenproportionale 24 h-Mischprobe; neg = negativ  
 \*\* = nach Beschickung, vor Belüftung, 1 h Absetzen lassen, Überstand verwendet  
 n. d. = nicht bearbeitet

Erst ab August 2006 wurde ein genauer Grenzwert ermittelt, vorher erfolgte die Optimierung der Methoden für den Virusnachweis. In den Zuläufen schwankte das Nachweisvolumen zwischen 0,02 und 28 ml. In den Sommermonaten war die Norovirus-Konzentration im Zulauf am höchsten.

In allen Abläufen war Norovirus bis zu einem Untersuchungsvolumen von 330 ml nicht nachweisbar. Deshalb wurden später größere Probenvolumina auf Norovirus getestet.

## Nachweis von Noroviren mit Realtime-PCR

Um die Streuung durch die unterschiedlichen Verfahren zur Grenzwertbestimmung mit Nested-PCR zu beseitigen, wurde ein standardisiertes Vorgehen eingeführt. Dabei wurden die Proben alle zunächst zu je einem Liter mit PEG 6000 gefällt. Das Sediment wurde gelöst, dialysiert und dann über Konzentratoren auf ein Volumen von 140 µl eingengt. Die Virusbestimmung erfolgte mit dem PCR-Kit „MUTAPLATE Norovirus“ der Firma Immun-Diagnostik (Deutschland).

Bei dem PCR-Kit, das Primer für humanes Norovirus Genogruppe I und II beinhaltet, ist eine interne Kontrolle enthalten, mit der eine mögliche PCR-Inhibierung nachgewiesen werden kann. Außerdem wurde die mitgelieferte Positivkontrolle zur Bestimmung der CT-Werte in mehreren Zehnerverdünnungsstufen parallel gemessen bzw. eine in Zehnerpotenzen verdünnte Norovirus-positive Stuhlprobe, die aus einem Hamburger Gastroenteritis-Ausbruchsgeschehen stammte.

Es wurde eine Realtime-PCR durchgeführt, die die Möglichkeit bietet, über die CT-Werte, die so genannten „crossing points“, eine semiquantitative Konzentrationsbestimmung vorzunehmen. Je niedriger der CT-Wert, desto größer ist die Anzahl Viruspartikel in einer Probe.

Die Software des Corbett Rotorgene 6000 ist in der Lage, anhand der Kurve quantitative Werte für die untersuchten Proben zu ermitteln, wenn in dem jeweiligen Amplifikationslauf eine Standardkurve mit vier oder mehr titrierten Positivkontrollen mitgeführt wird. Ein Beispiel für eine solche PCR und eine Standardkurve ist im Folgenden dargestellt.

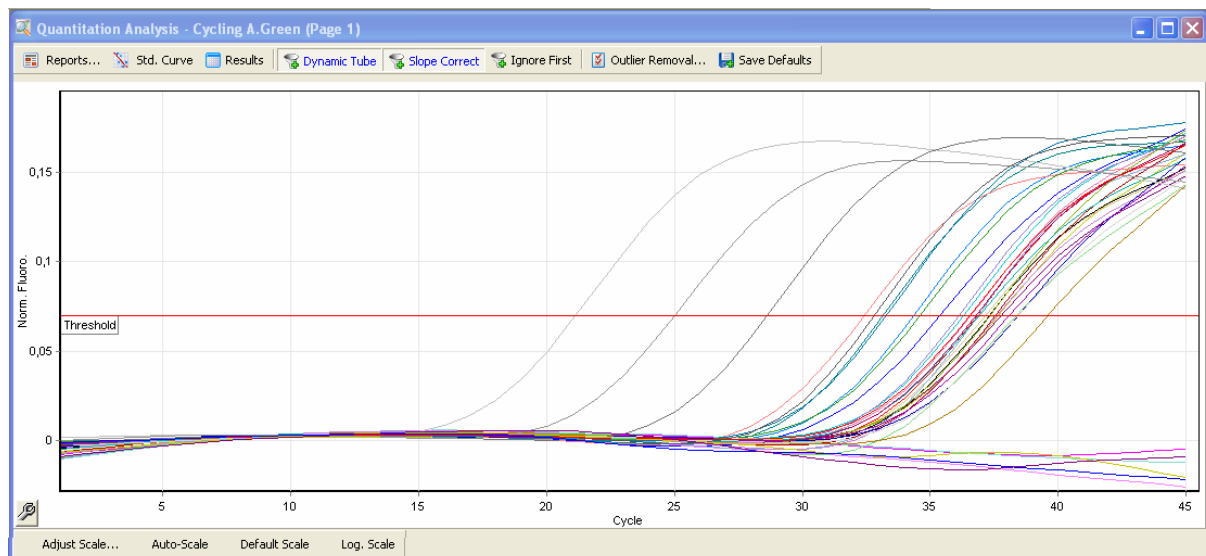


Abb. 17: Beispiel einer Realtime-PCR mit Norovirus-RNA. Die Kurven zeigen den Anstieg des gemessenen Fluoreszenzwertes in Abhängigkeit von der Zykluszahl.



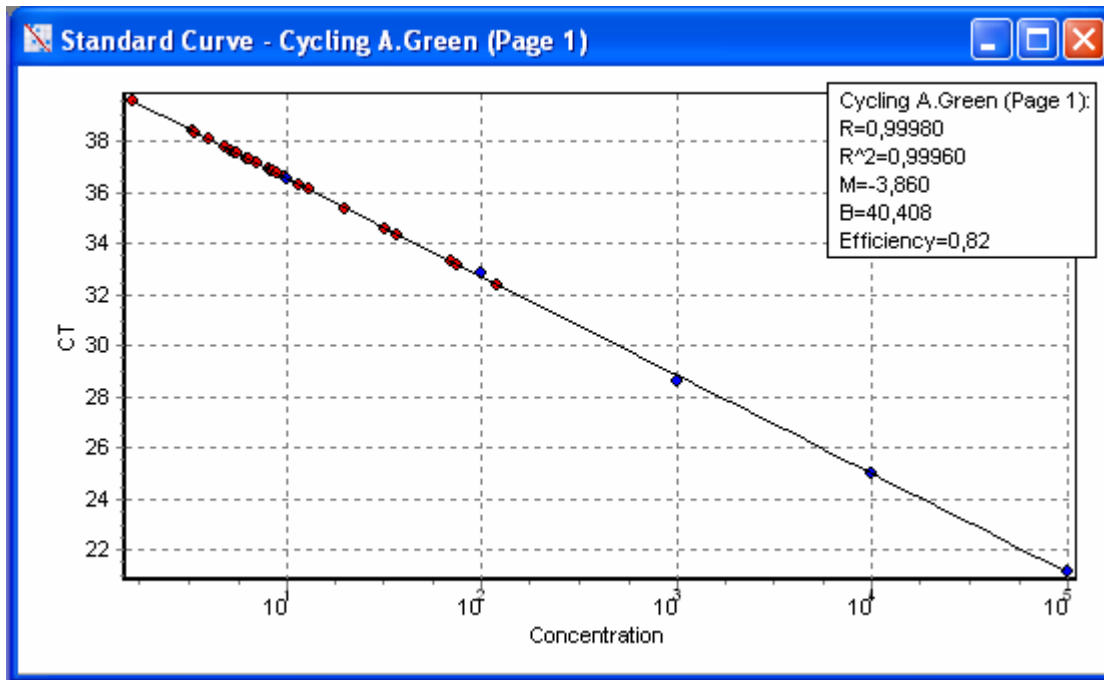


Abb. 18: Abhängigkeit der CT-Werte von der relativen Anzahl der Viruspartikel in der Probe

Die Werte sind dabei willkürlich gesetzt, weil für das humane Norovirus, das bisher nicht in Zellkultur vermehrt werden kann, keine quantitativen Standards existieren. Mit der so festgelegten Partikelanzahl lässt sich eine Eliminationsrate errechnen, indem das „Partikeläquivalent“ des Zulaufs als 100 % gesetzt wird. Diese Eliminationsraten sind zuverlässiger als die bisher ermittelten Grenzwerte, da die Proben gleich behandelt werden konnten und eine sensitive, semiquantitative PCR eingesetzt wurde.

Ab Februar 2007 wurden folgende Eliminationsraten von Norovirus mit der Realtime PCR-Methode ermittelt.

Datum der Probennahme	Art der Probe	Ct-Werte	Kopien*	Eliminationsrate (%)
27.02.07	Zulauf	28,71	6319	0
	Ablauf konv.	32,11	1220	80,69
	Ablauf SBR	31,92	1338	78,82
09.05.07	Zulauf	26,38	532060	0
	Ablauf konv.	29,75	82888	84,42
	Ablauf SBR	31,66	28788	94,58
	SBR Zusatzprobe**	31,50	31549	94,07
24.07.07	Zulauf	31,70	74707	0
	Ablauf konv.	37,44	2109	97,18
	Ablauf SBR	38,07	1421	98,10
12.09.07	Zulauf	32,22	124	0
	Ablauf konv.	39,65	1	99
	Ablauf SBR	36,61	7	94

Tabelle 46: Eliminationsraten von Noroviren berechnet aus den ermittelten CT-Werten der Real-Time-PCR

\* Die Kopienzahl wird aus dem CT-Wert errechnet, der auf dem Vergleich mit einer Standardkurve beruht, die von einem willkürlich festgelegten Wert ausgeht. Die Kopienzahlen verschiedener Probennahmetage sind nicht vergleichbar

\*\* Nach Beschicken vor Belüften

Die Daten zeigen Eliminationsraten von Noroviren für die SBR-Anlage zwischen 78,82 % und 98,10 %. Auch in diesem Fall ist die Eliminationsrate schlechter, wenn das Abwasser in hohem Maße mit Regenwasser verdünnt ist und der Zulauf geringe CSB-Werte aufweist. Dieses war bei den Proben vom 27.02.07 der Fall.

Die gemessenen Eliminationsraten entsprechen annähernd den aus der Literatur bekannten Werten für andere Kläranlagen von ca. 2 Zehnerpotenzen (Laverick et al. 2004; Van den Berg et al. 2005).

Betrachtet man die Eliminationsraten der konventionellen Belebung und der SBR-Anlage, so lässt sich nicht sagen, welche der beiden Belebungen besser eliminiert, da mal die eine mal die andere Anlage den besseren Wert aufweist.

Rotaviren wurden in allen Zu- und Abläufen in Volumina von 0,046 bis 2,66 ml nachgewiesen. Eine genaue Bestimmung der Nachweisgrenze konnte zunächst nicht erreicht werden, da Parallelansätze eine geringe Reproduzierbarkeit zeigten. Diese konnte später durch eine Reduzierung der großen Anzahl an Arbeitsschritten deutlich verbessert werden.

### Proben aus Erfde

Datum der Probennahme	Art der Probe	Norovirus in ml nachgewiesen	Rotavirus in ml nachgewiesen
6.12.06	Zulauf	0,11	0,0016
	Ablauf SBR	56,0	0,14
31.1.07	Zulauf	0,011	0,003
	Ablauf SBR	83,0	0,046

Tabelle 47: Nachweisgrenzen von Norovirus und Rotavirus aus Abwasserproben aus Erfde

Bei den Abwasserproben aus Erfde lässt sich eine annähernde Eliminationsrate errechnen, wobei jeweils das geringste Probenvolumen ermittelt wurde, bei dem mittels PCR gerade noch Viren nachzuweisen waren. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen dargestellt

Datum der Probennahme	Art der Probe	Minimalvolumen in ml	% noch vorhandene Viruspartikel	Eliminationsrate in %
06.12.06	Zulauf	0,11	-	-
	Ablauf SBR	56	0,20	99,80
31.01.07	Zulauf	0,011	-	-
	Ablauf SBR	83	0,01	99,99

Tabelle 48: Eliminationsraten von Norovirus in der SBR-Anlage in Erfde

Datum der Probennahme	Art der Probe	Minimalvolumen in ml	% noch vorhandene Viruspartikel	Eliminationsrate in %
06.12.06	Zulauf	0,0016	-	-
	Ablauf SBR	0,14	1,14	98,86
31.01.07	Zulauf	0,003	-	-
	Ablauf SBR	0,046	6,52	93,48

Tabelle 49: Eliminationsraten von Rotavirus in der SBR-Anlage in Erfde

Die Ergebnisse zeigen, dass Noroviren in der SBR-Anlage zu einem sehr hohen Prozentsatz (annähernd 3 Zehnerpotenzen) eliminiert werden. Die Eliminationsrate ist durchaus mit denen für pathogene Bakterien vergleichbar. Die Eliminationsrate ist für Rotavirus zumindest bei der 2. Probennahme deutlich schlechter.

Insgesamt war die Konzentration von Rotavirus im Erfde-Wasser sehr hoch. Bei einer Nachweisgrenze bei einem Probenvolumen von 0,0016 ml im Zulauf ergibt sich eine minimale Viruskonzentration von 6.250.000 pro Liter, wenn von einer Sensitivität der PCR von mindestens 10 Viruspartikeln ausgegangen wird. Im Falle der zweiten Probennahme fand sich auch im Ablauf

noch eine minimale Viruskonzentration von 220000 Partikeln pro Liter, somit 220 Partikeln pro ml. Hierbei kann eine gesundheitliche Gefährdung bei Aufnahme von Ablaufwasser nicht ausgeschlossen werden.

### Detaillierte Untersuchung des SBR-Zyklus

Um festzustellen, an welchem Punkt des SBR-Zyklus pathogene Bakterien eliminiert werden, sollten die einzelnen Phasen eines SBR-Zyklus' beprobt werden. Eine erste Probennahme zu dieser Fragestellung erfolgte am 04.06.07 in Weißtal. Die Probennahme erfolgte nach einer Regenperiode und der Reaktor lief im 4 h-Zyklus.

Folgende Proben wurden gezogen:

1. das Dekantat des Zyklus', der dem beprobten Zyklus vorausging
2. der Zulauf zwischen Pufferbehälter und SB-Reaktor
3. der SB-Reaktor nach Beschicken vor dem Belüften
4. der SB-Reaktor während der Belüftungsphase
5. das Dekantat
6. der Ablauf des Teiches, in den das Dekantat fließt, während des Dekantiervorganges.

Die Proben 3 und 4 wurden zum Absetzen eine Stunde stehen gelassen und anschließend der Überstand zur Anreicherung von Salmonellen verwendet.

Aus den Proben wurden lediglich Salmonellen angereichert und isoliert. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Dekantat vorheriger Zyklus	+++	+-	---	---	---	++	---	---	---	n. d.	n. d.
Zulauf nach Pufferbehälter	n. d.	n. d.	n. d.	+++	+++	+++	---	++	---	---	---
nach Beschicken, vor Belüften	n. d.	+++	+++	+++	+-	---	---	+-	---	n. d.	n. d.
Belüftung	+++	---	+-	---	---	+-	---	---	---	n. d.	n. d.
Dekantat	+++	+-	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Teichablauf	+-	---	+-	+-	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 50: Auf Salmonella getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 04.06.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Aus diesen Ergebnissen ließen sich folgende MPN-Werte und Eliminationsraten errechnen:

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Dekantat vorheriger Zyklus	0,002	0,001	0,006	2	0,3	99,7
Zulauf nach Pufferbehälter	0,731	0,279	1,914	731	100	0
Nach Beschicken vor Belüften	0,075	0,028	0,199	75	10,3	89,7
Belüftung*	0,002	0,001	0,006	2	0,3	99,7
Dekantat	0,003	0,001	0,008	3	0,4	99,6
Teichablauf	0,001	0,000	0,004	1	0,1	99,9

Tabelle 51: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 04.06.07

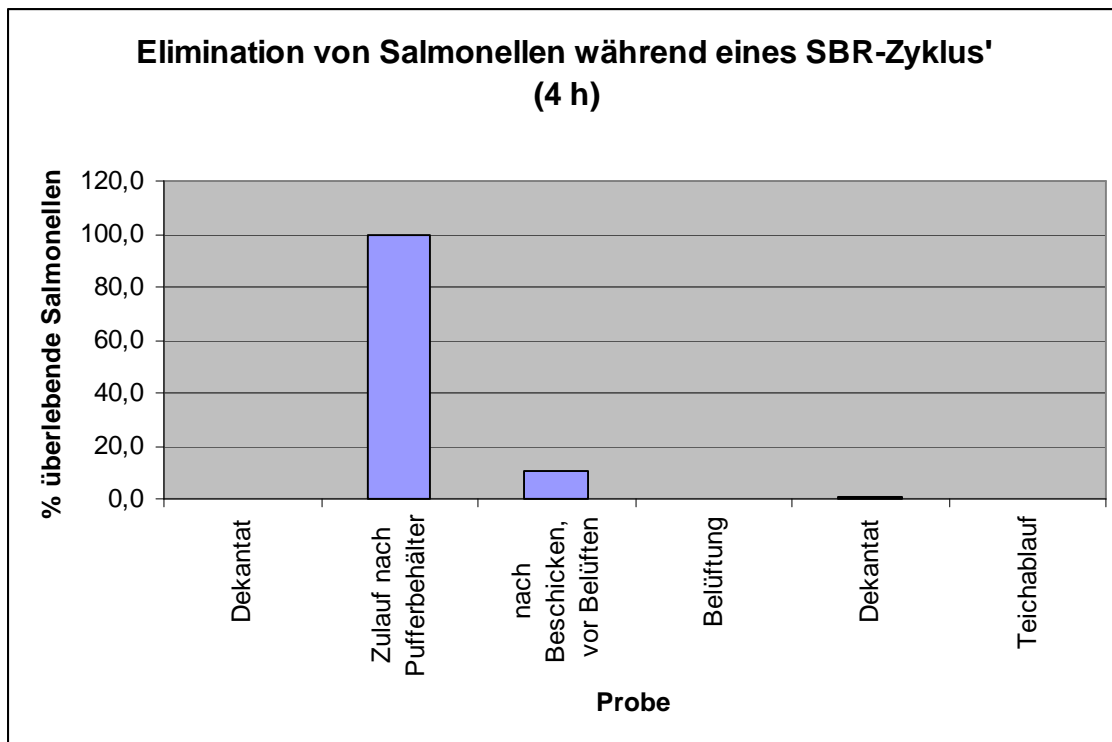


Abb. 19: Elimination von Salmonellen während eines SBR-Zyklus am 04.06.07 in Weißtal

Die Ergebnisse dieses Versuches zeigen, dass annähernd 90 % der Salmonellen des Zulaufes bereits gleich nach dem Beschicken vor der Belüftungsphase eliminiert werden. Das bedeutet, dass die Salmonellen nach dem Mischen mit Belebtschlamm mit diesem sedimentiert werden. Dieses dokumentierten auch Kayser et al. 1987. Die Autoren stellten ebenfalls fest, dass ein Sedimentationsschritt ca. 90 % der im Abwasser enthaltenen Salmonellen entfernt. Während der Belüftungsphase wird dann die endgültige Eliminationsrate erreicht.

Der Versuch wurde am 21.04.09 wiederholt:

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	+ - -	- + -	- - +	- + -	- - +	- - -	- - -	- - -
nach Beschicken, vor Belüften	n. d.	+ + -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	+ - -	- - -	n. d.	n. d.
Mitte Belüftung	+ + +	- - -	- - +	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	n. d.	n. d.
Ende der Belüftung	- - +	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	n. d.	n. d.
Dekantat	+ - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	n. d.	n. d.

Tabelle 52: Auf Salmonella getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal 21.04.09. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Bei dieser Probennahme war die Zahl an Salmonellen bereits im Zulauf zu gering, als dass Keimzahlen und Eliminationsraten hätten errechnet werden können.

Die folgende Tabelle zeigt, dass auch Noroviren zum größten Teil durch Sedimentation mit dem Belebtschlamm eliminiert werden. Auch hier wird in der Belüftungsphase der höchste Eliminationswert erreicht. Die abschließende Eliminationsrate liegt aber unter der für Salmonellen.

Art der Probe	Ct-Werte	Kopien*	Eliminationsrate (%)
Ablauf SBR vorheriger Zyklus	35,38	20	-
Zulauf zwischen Pufferbehälter und SBR-Anlage	32,41	118	0
SBR nach Beschicken vor Belüften	37,15	7	94
SBR während Belüftung	37,59	5	96
Dekantat SBR	37,32	6	95
Ablauf Teich	36,76	9	93

Tabelle 53: Eliminationsraten von Noroviren bei der Probennahme vom 04.06.07

### *Elimination von Salmonella und Norovirus in der SBR-Anlage Weißtal unter Hochlastbedingungen*

Besonders interessant ist die Frage, wie sich die Elimination von Pathogenen in einem Klärwerk unter Hochlastbedingungen gestaltet. Falls eine Desinfektionsstufe nachgeschaltet werden soll, sollte deren Umfang an den Bedarf unter Stoßbelastung angepasst werden. Deshalb wurde die Eliminationsrate für Salmonellen und Norovirus in der SBR-Anlage Weißtal unter diesen Bedingungen bestimmt.

Die Anlage wurde hierfür am 24.07.07 mit 118 % der normalen Füllmenge beschickt und in einem 6 h-Zyklus gefahren. Die einzelnen Phasen des Zyklus (Ablauf vorheriger Zyklus, Zulauf, Reaktor nach Beschicken vor Belüften, Reaktor in der Mitte der Belüftungsphase, Ablauf) wurden beprobt, wobei die Proben nach Beschicken vor Belüften und während der Belüftungsphase eine Stunde zum Absetzen stehen blieben, ehe der Überstand weiter verarbeitet wurde. In den Proben wurden die im Folgenden dargestellten Salmonellen-Konzentrationen nachgewiesen:

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Dekantat	+++	+++ -	++++	+++ -	----	----	----	----	----	n. d.	n. d.
Zulauf nach Pufferbehälter	n. d.	n. d.	n. d.	++++	++++	+++ -	+++ +	----	----	----	----
nach Beschicken, vor Belüften	n. d.	++++	++++	++++	+++ +	+++ -	----	----	----	n. d.	n. d.
Belüftung	+++	++++	++++	+++ -	+++ -	----	----	----	----	n. d.	n. d.
Dekantat	+++	+++ -	++++	----	+++ -	----	----	----	----	n. d.	n. d.

Tabelle 54: Auf Salmonella getestete Probevolumina der Probennahme in Weißtal vom 24.07.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Dekantat vorheriger Zyklus	0,011	0,005	0,022	11	-	-
Zulauf nach Pufferbehälter	0,342	0,148	0,792	342	100	0
Nach Beschicken vor Belüften	0,185	0,081	0,421	185	54	46
Belüftung	0,021	0,009	0,050	21	6	94
Dekantat	0,005	0,002	0,011	5	1	99

Tabelle 55: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 24.07.07

Die Keimzahl an Salmonellen war schon im Zulauf zum SB-Reaktor mit 342 MPN/L eher gering, was nach einer Schlechtwetterperiode, in der viel Regenwasser in die Kläranlage fließt, nicht ungewöhnlich ist. Nach der Beschickung des Reaktors vor der ersten Belüftung ließen sich noch 54 % der Keimzahl des Zulaufes nachweisen. Im Vergleich zu den Daten (ca. 10 %), die bei der Untersuchung der einzelnen Zyklusphasen bei normaler Beschickung bestimmt wurden, ist dieser Wert deutlich höher. Dass das Volumen der Beschickung im Vergleich zur im Reaktor vorhandenen Belebtschlamm-Menge jetzt größer war, bietet hierfür eine Erklärung. Die Elimination der Salmonellen in dieser Zyklusphase scheint im Wesentlichen auf die Sedimentation der Salmonellen durch den Belebtschlamm zurückzuführen zu sein.

Etwa in der Mitte der Belüftungsphase sind nur noch 6 % der Salmonellen des Zulaufs nachweisbar. Während der Belüftung wird also ein weiterer hoher Anteil an Salmonellen eliminiert. Im Ablauf befanden sich nur noch 1 % der Salmonellen des Zulaufs. Am Ende des Zyklus' wird eine Eliminationsrate von 99 % erreicht. Wenn man die niedrige Keimzahl im Zulauf und die oben dargestellte Abhängigkeit der Eliminationsrate von der Keimzahl im Zulauf berücksichtigt, weicht diese Rate nicht von denen ab, die in anderen Versuchen mit normaler Beschickung gemessen wurden.

Die Ergebnisse derselben Versuchsreihe für Noroviren sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Art der Probe	Ct-Werte	Kopien*	Eliminationsrate (%)
Ablauf SBR vorheriger Zyklus	35,56	6778	-
Zulauf SBR	32,19	54953	0
Nach Beschicken vor Belüften	34,96	9852	82,07
Während Belüftung	35,63	6876	87,49
Ablauf SBR	38,07	1421	97,41

Tabelle 56: Eliminationsraten von Noroviren bei der Probenahme vom 24.07.07

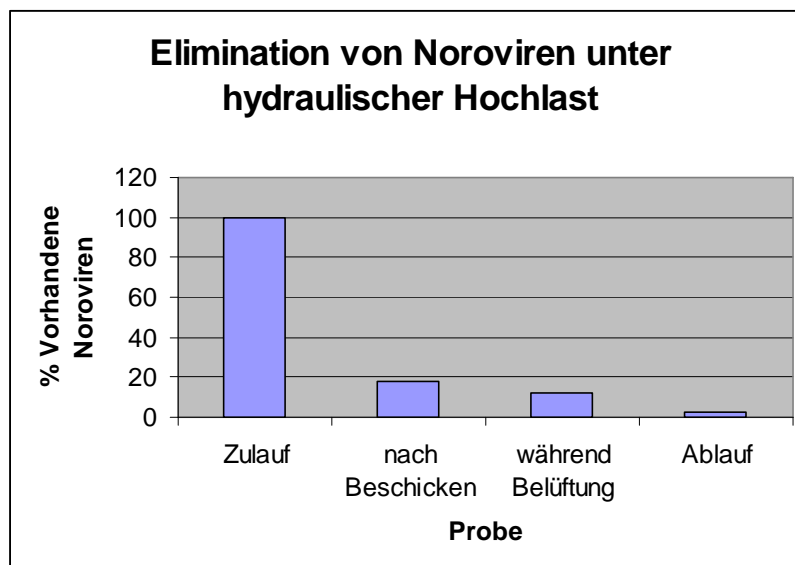


Abb. 20: Elimination von Noroviren unter hydraulischen Hochlastbedingungen in der SBR-Anlage Weißtal am 24.07.07

Auch hier zeigen sich ähnliche Ergebnisse wie für Salmonellen. Der Eliminationswert für Noroviren liegt nach dem Beschicken vor der Belüftung niedriger (82 %) als in früheren Versuchen (94 %), die nicht unter hydraulischen Hochlastbedingungen durchgeführt wurden. Auch hier wird ein weiterer Anteil an Noroviren während der Belüftungsphase eliminiert, ehe der Endwert von 97,41 % erreicht wird. Wenn man die Regenwetterbedingungen und die damit verbundenen, schlechteren Eliminationsraten berücksichtigt, lässt sich für Noroviren auch unter Stoßbelastung eine ähnliche Eliminationsrate wie unter normalen Bedingungen feststellen.

Um die Ergebnisse dieses Versuches abzusichern, wurde der SB-Reaktor in Weißtal am 12.09.07 erneut beprobt. Auch dieses Mal erfolgte eine Vollast-Beschickung und der Reaktor befand sich in einem 6 h-Zyklus. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Dekantat vorheriger Zyklus	-- ++	+---	----	----	----	----	----	----	----	n. d.	n. d.
Zulauf nach Pufferbehälter	n. d.	n. d.	n. d.	++++	+---	++-	----	----	----	----	----
nach Beschieken, vor Belüften	n. d.	++++	---+	----	----+	----	----	----	----	n. d.	n. d.
Belüftung	+++ +	----	---	----	----	----	----	----	----	n. d.	n. d.
Dekantat	+---	----	----	----	----	----	----	----	----	n. d.	n. d.

Tabelle 57: Auf Salmonella getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 12.09.07. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Dekantat vorheriger Zyklus	0,001	0,000	0,002	1	-	-
Zulauf nach Pufferbehälter	0,083	0,036	0,192	83	100	0
Nach Beschieken vor Belüften	0,009	0,004	0,020	9	11	89
Belüftung*	0,001	0,000	0,002	1	1	99
Dekantat	0,000	0,000	0,001	0	0	100

Tabelle 58: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 12.9.07

Die Keimzahl an Salmonellen im Zulauf waren in diesem Fall noch geringer als beim ersten Hochlastversuch. Im Wesentlichen unterscheiden sich die Ergebnisse beider Versuche nicht. Der größte Unterschied zwischen den beiden Versuchen zeigt die Probe nach der Beschickung. Im zweiten Versuch ist der Eliminationswert mit 89 % viel höher als im ersten Versuch. Die Ursache hierfür könnte die größere statistische Schwankungsbreite der Ergebnisse bei so geringen Keimzahlen sein.

Auch im zweiten Versuch liegt die Eliminationsrate am Ende des Zyklus' um die 99 %. Dieses Ergebnis bestätigt, dass unter Hochlastbedingungen vergleichbare Eliminationsraten für Salmonella erreicht werden wie unter Normalbedingungen.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe für Noroviren sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Art der Probe	Ct-Werte	Kopien*	Eliminationsrate (%)
Ablauf SBR vorheriger Zyklus	38,47	2	-
Zulauf SBR	34,13	35	0
Nach Beschicken vor Belüften	35,08	19	45
Während Belüftung	35,79	12	66
Ablauf SBR	36,61	7	80

Tabelle 59: Eliminationsraten von Noroviren bei der Probennahme vom 12.09.07

Die Tendenz der Ergebnisse ist dieselbe wie bei dem ersten Hochlastversuch vom 24.07.07. Etwa die Hälfte der Noroviren werden einfach nach der Beschickung mit dem Belebtschlamm sedimentiert. Ein weiterer Anteil wird in der Belüftungsphase eliminiert. Der Eliminations-Endwert liegt in diesem Versuch mit 80 % recht niedrig. Dieses ist wohl auf durch Regenwasser

stark verdünnte Abwasser zurückzuführen, dass im Zulauf einen CSB-Wert von nur 40 mg/l aufwies (zum Vergleich CSB-Wert im Zulauf vom 24.07.07: 63 mg/l). Aber auch dieser Wert ist mit den Eliminationsraten bei normaler Beschickung vergleichbar, denn bei der Probennahme vom 27.02.06 wurde bei einem CSB-Wert im Zulauf von 47 mg/l bei normaler Beschickung eine Eliminationsrate für Norovirus von 79 % gemessen.

### Hochlastversuche in Erfde

Um die Ergebnisse der Versuche mit hydraulischer Hochlast aus Weißtal an einer Anlage, in die Industrieabwässer eingeleitet werden, zu überprüfen, wurde die SBR-Anlage in Erfde beprobt. Die erste Probennahme wurde am 11.02.09 durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	---+	----	----	----	----	----	----	----
Zulauf zum Pufferbecken	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	---	---	---	---	---	---	---
Nach Beschi- cken, vor Belüf- ten	n. d.	---+	---+	----	----	----	----	----	----	n. d.	n. d.
1. Belüftung	---+	----	----	----	----	----	----	----	----	n. d.	n. d.
2. Belüftung	----	----	----	----	----	----	----	----	----	n. d.	n. d.
Dekantat	----	----	----	----	----	----	----	----	----	n. d.	n. d.

Tabelle 60: Auf Salmonella getestete Probenvolumina der Probennahme in Erfde vom 11.02.09. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Leider konnten aus den Anreicherungen nur vereinzelt Salmonellen isoliert werden, obwohl das Abwasser nicht mit Regenwasser verdünnt war. Dieses Ergebnis kann mit der Jahreszeit zusammenhängen, da Salmonellen vermehrt im Sommer auftreten. Teitge et al. (1986) fanden ebenfalls im Winter nur sehr geringe Salmonellenzahlen im Abwasser und führen dieses auf Verdünnungseffekte und auf die Abtötung von Salmonellen durch Versalzung des Abwassers durch Straßensalz zurück.

Für diesen Versuch konnten keine Keimzahlen und Eliminationsraten ausgerechnet werden. Damit war der Hochlastversuch nicht auswertbar.

Der Versuch wurde am 28.07.09 wiederholt. Der beprobte Reaktor wurde mit ca. 116 % der normalen Füllmenge beschickt und lief im 8 h-Zyklus mit einer Beschickung.

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis dieses Versuches nach der Standardanreicherungs- methode (18 h Peptonanreicherung, 18 h Rappaportanreicherung und anschließend ausplattiert auf XLD und Chromagar).

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	---	+++	---	---	---	---	---	---
Nach Beschi- cken, vor Belüf- ten	n. d.	---	---	---	---	+++	---	---	---	n. d.	n. d.
1. Belüftung	---	---	---	---	---	+++	---	---	---	n. d.	n. d.
2. Belüftung	---	---	+++	+++	+++	+++	---	---	---	n. d.	n. d.
Dekantat	---	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 61: Auf Salmonella getestete Probenvolumina der Probennahme in Erfde vom 28.07.09 nach 18 h Peptonanreicherung. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt



Auffallend war, dass im Zulauf trotz konzentriertem Abwassers und warmen Temperaturen keine Salmonellen zu isolieren waren. Dasselbe gilt für alle Proben mit Ausnahme der Probe während der 2. Belüftungsphase. Hier sind Salmonellen noch in 3 ml nachweisbar.

Bei einer hohen Bakterien- bzw. Protozoendichte, wie sie im Zulauf vorhanden war, kann es vorkommen, dass keine Salmonellen zu isolieren sind, weil sie überwachsen oder z. B. von Protozoen und Bakteriophagen eliminiert werden. Dann sind aber bei den kleineren Probenvolumina bzw. bei den Proben mit geringerer Gesamtkeimzahl welche zu finden. Dies war in diesem Fall wohl nicht das Problem, denn dann hätten in den großen Volumina vom Ablauf Salmonellen zu finden sein müssen. Falls sich im Zulauf keine Salmonellen befunden haben und die in der Probe aus der 2. Belüftung aus dem Belebtschlamm kommen, hätten sie aber schon in der Probe nach dem Beschicken auftauchen müssen.

Was die Probe während der zweiten Belüftung von der vorherigen unterscheidet, ist die Zugabe von einem Mittel zur Phosphatfällung, in diesem Fall Eisen-III-Sulfat (PIX 113, Peter W. Thielemann GmbH, Hamburg). Es wurden ca. 2 L PIX 113 zudosiert. PIX 113 enthält 2,11 Mol  $Fe_{ges}$ /kg, wobei der Eisen-II-Anteil mit 0,2-0,7 % vernachlässigbar ist. Die Dichte beträgt ca.  $1,55 \text{ g/cm}^3$ . Bei einer Zugabe von 2 L entspricht dies ca. 3,1 kg (ca. 6,5 Mol  $Fe_{ges}$ ). Das Reaktorvolumen betrug  $982,7 \text{ m}^3$ . Die Endkonzentration entspricht damit ca.  $6,6 \text{ mMol/m}^3$ .

Nun ist bekannt, dass sich geschädigte Salmonellen, die in einer nicht mehr kultivierbaren Form vorliegen (sogenannte VNC-Zellen; Chmielewski und Frank, 1995) mit Hilfe von Siderophoren, eisengesättigten Komplexen mit 1:1 Stöchiometrie, wieder belebt werden können (Reissbrodt et al. 2000). Außerdem ist bekannt, dass Eisen zur Regulation zahlreicher Gene bei Salmonella benötigt wird, möglicherweise auch solche, die an Stressreaktionen beteiligt sind (Bjanarson et al. 2003).

Möglicherweise ist eine Wiederbelebung von geschädigten Salmonellen auch mit der Zugabe von Eisen-III-Sulfat möglich. Dies könnte erklären, warum in der Probe während der 2. Belüftung plötzlich Salmonellen auftauchen. Es könnte sich um geschädigte Salmonellen gehandelt haben, die sich bei der Lagerung der Probe über Nacht erholt haben.

Die Ablaufprobe dagegen enthielt keine Eisen-Ionen mehr, weil diese mit Phosphat schnell schwer lösliche Komplexe bilden und ausfallen.

Da sich geschädigte Salmonellen auch in den Peptonanreicherungen erholen können, wurde diese nach 3-5 weiteren Tagen Bebrütung bei Zimmertemperatur erneut in die selektive Rapportanreicherungen gegeben, die dann nach Bebrütung nochmals ausplattiert wurden. Das Ergebnis zeigt folgende Tabelle:

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	---	++	++	++	---	---	---	---
Nach Beschicken, vor Belüften	n. d.	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	---	n. d.	n. d.
1. Belüftung	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
2. Belüftung	+++	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	---	n. d.	n. d.
Dekantat	---	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 62: Auf Salmonella getestete Probenvolumina der Probenahme in Erfde vom 28.07.09 nach 18 h Peptonanreicherung bei 37 °C und weiteren 3 Tagen bei Zimmertemperatur. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Es wurden deutlich mehr isoliert als beim ersten Ausplattieren, es scheint sich also tatsächlich um einen langsamen Erholungseffekt geschädigter Salmonellen zu handeln. Schädigungen von Bakterien können im Abwasser durch die Einleitung von toxischen Chemikalien, z. B. Desinfektions-, Reinigungs- und Lösungsmittel, hervorgerufen werden.

Die Berechnung von Keimzahlen und Eliminationsraten war jetzt möglich. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,183	0,073	0,461	183	100,0	0,0
Nach Beschicken vor Belüften	0,063	0,025	0,155	63	34	66
Nach 1. Belüftung	0,007	0,003	0,020	7	4	96
Nach 2. Beschickung	0,483	0,159	1,473	483	264	-164
Nach 2. Belüftung	0,000	0,000	0,002	0	0	100

Tabelle 63: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 28.07.09 in Erfde

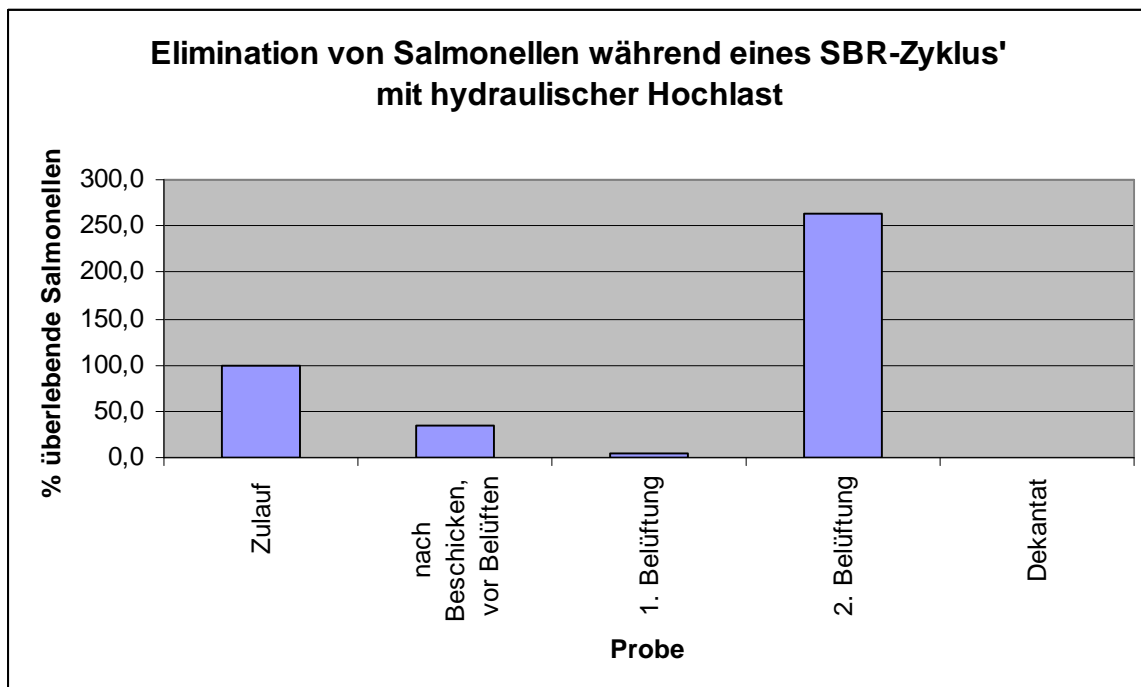


Abb. 21: Elimination von Salmonellen unter hydraulischen Hochlastbedingungen in der SBR-Anlage Erfde am 28.7.09

Die Keimzahl im Zulauf (183 MPN/L) ist für konzentriertes Abwasser (CSB = 573 mg/L) mit ca. 50 % Schlachthofabwasser im Hochsommer immer noch sehr gering.

Lässt man die Probe während der 2. Belüftung unberücksichtigt, bekommt man einen Eliminationsverlauf, wie er aus Weißtal bekannt ist. Die Elimination durch bloßes Mischen mit dem Belebtschlamm und anschließendem Absetzenlassen ergibt auch für diesen Hochlastzyklus einen niedrigeren Wert (65,5 %) als ein normal beschickter Zyklus. Dies ist auch zu erwarten, da das Verhältnis zwischen Belebtschlamm- und Beschickungsvolumen unter hydraulischer Hochlast ungünstiger ist.

Trotzdem ist die Eliminationsrate am Ende (Dekantat) mit der eines normalen Zyklus vergleichbar.

Die Probe, die während der 2. Belüftung gezogen wurde, weist eine im Vergleich zu den anderen Proben zu hohe Keimzahl auf. Wir vermuten, dass dieses auf eine Erholung geschädigter Salmo-

nellen durch Fe<sup>3+</sup>-Zugabe zurückzuführen ist (siehe oben). Wenn diese Hypothese zutrifft, sind die Keimzahlen aller anderen Proben vergleichsweise zu niedrig. Eine spätere Zugabe von 0,18 mM/L Eisen-III-chlorid zu den mittlerweile 14 Tage alten Peptonanreicherungen führte zu keinem weiteren Erholungseffekt von Salmonellen, so dass die Hypothese nicht überprüft werden konnte. Trotzdem wäre dieser Effekt eine nähere Untersuchung wert.

### Zyklus mit zwei Beschickungen

Bei SBR-Anlagen ist es möglich, verschiedene Zyklusabläufe einzustellen. So kann man unter anderem eine zweite Beschickung veranlassen. Dabei wird mit einem deutlich kleineren Volumen beschickt als bei der 1. Beschickung.

Solche Zyklen erzielen eine besonders hohe Reinigungsleistung in Bezug auf die Stickstoffelimination, da für die anaerob ablaufende Denitrifizierung, die sich an eine aerobe Nitrifizierungsphase anschließt, ausreichend Kohlenstoffquellen zur Verfügung gestellt werden.

Bei einer zweiten Beschickung des Reaktors mit Abwasser werden auch wieder Salmonellen eingeleitet, die dann nicht mehr den ganzen Zyklus durchlaufen. Hierbei stellt sich die Frage, ob sie trotzdem noch eliminiert werden können und somit, ob die Gesamteliminationsrate solcher Zyklen schlechter als die von Zyklen mit nur einer Beschickung.

Zur Klärung dieser Frage wurden in Weißtal beide Reaktoren mit 2 Beschickungen gefahren und die einzelnen Zyklusstadien beprobt. Die 6 h-Zyklen liefen zeitversetzt um 3 Stunden.

Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen dargestellt.

### Reaktor SBR 2

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d. -	+++	+++	-+-	+++	---	---	---	---
Nach Beschicken vor Belüften	n. d.	+++	+++	-+-	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Nach 1. Belüftung	+++	+++	---	-+-	-+-	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Nach 2. Beschickung	n. d.	+++	+++	---	-+-	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Nach 2. Belüftung	+++	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Dekantat	+++	---	---	---	-+-	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 64: Auf Salmonella getestete Probenvolumina der Probenahme in Weißtal vom 01.07.09 aus Reaktor 2. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,251	0,092	0,679	251	100	0
Nach Beschicken vor Belüften	0,027	0,010	0,074	27	11	89
Nach 1. Belüftung	0,010	0,004	0,025	10	4	96
Nach 2: Beschickung	0,018	0,006	0,048	18	7	93
Nach 2. Belüftung	0,003	0,001	0,009	3	1	99
Dekantat	0,003	0,001	0,009	3	1	99

Tabelle 65: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probenahme vom 01.07.09 aus Reaktor 2

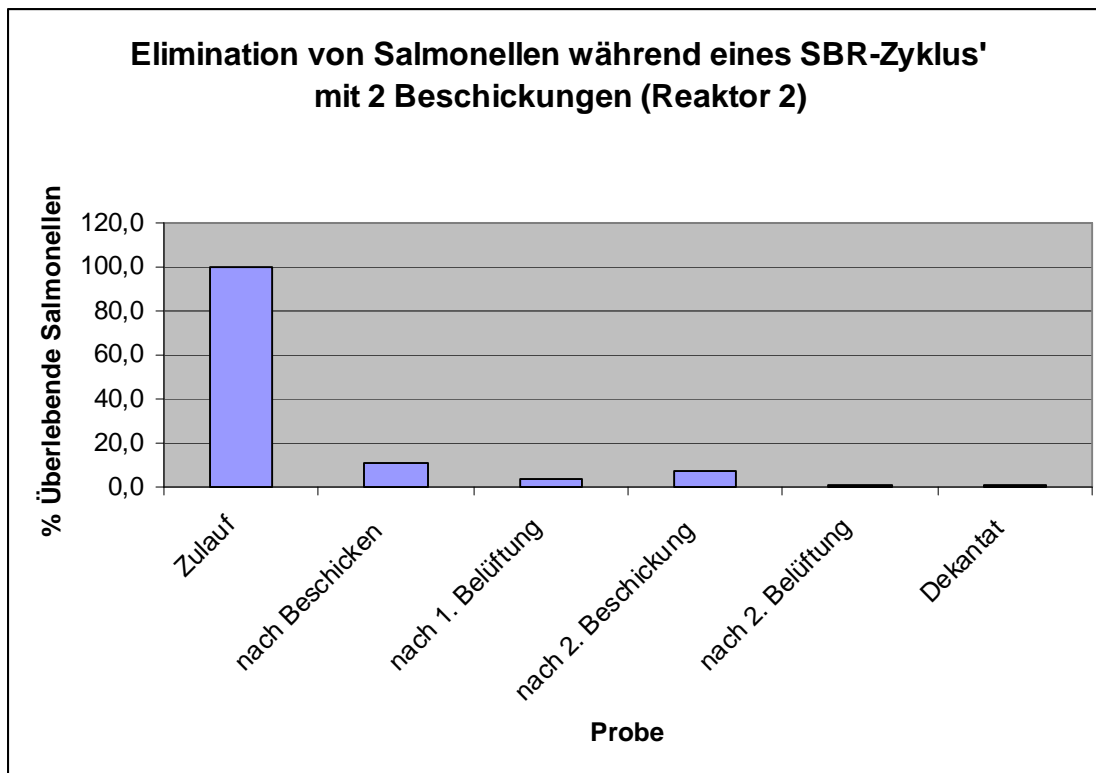


Abb. 22: Elimination von Samonellen während eines SBR-Zylus' mit 2 Beschickungen in der SBR-Anlage Weißtal, Reaktor 2 am 01.07.09

### Reaktor SBR 1

Probe	Probenvolumen										
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml	0,10 ml	0,03 ml	0,01 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d. -	+++	+++	+++	+++	---	---	---	---
Nach Beschicken vor Belüften	n. d.	+++	+++	+++	---	+++	---	---	---	n. d.	n. d.
Nach 1. Belüftung	+ n. d.	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Nach 2. Beschickung	n. d.	+++	+++	+++	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Nach 2. Belüftung	+ n. d.	+++	---	+++	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.
Dekantat	+++	---	---	---	---	---	---	---	---	n. d.	n. d.

Tabelle 66: Auf Salmonella getestete Probenvolumina der Probennahme in Weißtal vom 01.07.09 aus Reaktor 1. Die Anzahl der Plus- und Minuszeichen gibt jeweils die Anzahl der getesteten Parallelansätze wieder. + Salmonella nachgewiesen, n. d. = nicht durchgeführt

Probe	MPN / ml	Vertrauensgrenzen		MPN / L	Überlebende in %	Eliminationsrate %
		niedrig	hoch			
Zulauf	0,372	0,137	1,008	372	100	0
Nach Beschicken vor Belüften	0,023	0,010	0,064	23	6	94
Nach 1. Belüftung	0,005	0,002	0,012	5	1	99
Nach 2. Beschickung	0,062	0,022	0,177	62	17	83
Nach 2. Belüftung	0,007	0,003	0,018	7	2	98
Dekantat	0,002	0,001	0,007	2	1	99

Tabelle 67: Keimzahlen, Überlebensraten und Eliminationsraten von Salmonella bei der Probennahme vom 01.07.09 aus Reaktor 1

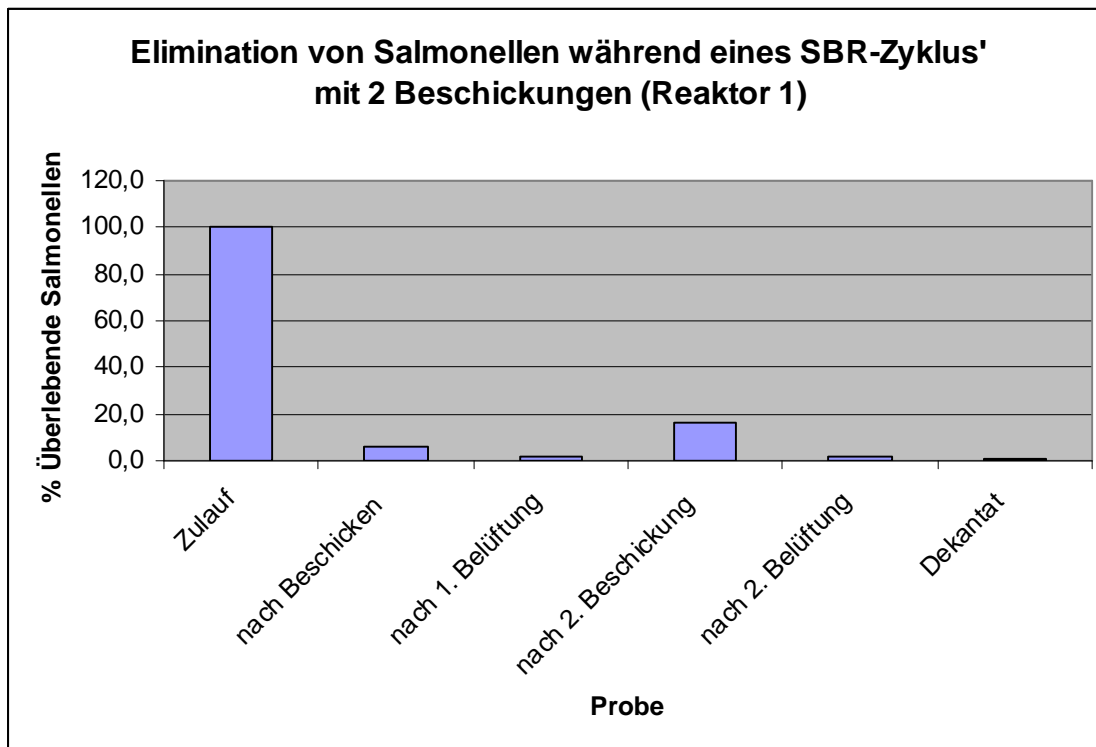


Abb. 23: Elimination von Samonellen während eines SBR-Zylus' mit 2 Beschickungen in der SBR-Anlage Weißtal, Reaktor 1 am 01.07.09

Bei beiden Zyklen ist deutlich zu sehen, dass die Salmonellenzahl nach der 2. Beschickung im Vergleich zu den Proben davor ansteigt (7 zw. 17 %). Aber nach der 2. Belüftung ist die Salmonellenzahl bereits wieder auf den Wert nach der ersten Belüftung bzw. noch darunter gefallen. Die am Ende bei beiden Zyklen erreichte Eliminationsrate (99 %) entspricht den Eliminationsraten, die bei Zyklen mit nur einer Beschickung erreicht werden, wenn man die doch eher geringe Salmonellen-Keimzahl im Zulauf (251 bzw. 372 MPN/L) berücksichtigt.

### Salmonellen-Serovare

Zum Nachweis von Salmonellen wurden von verschiedenen Probenvolumina für *Salmonella* selektive Anreicherungen angelegt und jede dieser Anreicherungen wurde auf XLD- und Chromagar ausgestrichen. Falls sich im Ausstrich mehrere Kolonien zeigten, bei denen es sich um Salmonellen handeln könnte, wurde jeweils eine Kolonie isoliert.

Im Berichtszeitraum konnten auf diese Weise aus den Anreicherungen der Klärwerksproben über 700 Salmonellenstämme isoliert werden. Bei vielen handelt es sich um Parallelisolate, die entweder aus Parallelanreicherungen oder sogar aus der gleichen Anreicherung stammen, da auf 2 verschiedenen Nährböden isoliert wurde.

Die folgenden Tabellen zeigen die isolierten Serovare in Abhängigkeit von dem Probennahmedatum, der Probe und dem jeweils zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen.

Probe	Probenvolumen						
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml
Zulauf 24 h-Mischprobe	n. d.	n. d.	S. Altona S. Typhimurium	n. d.	S. Altona	n. d.	S. Enteritidis
Zulauf Stichprobe	n. d.	n. d.	S. Montevideo	n. d.	-	n. d.	S. Typhimurium
Ablauf konv.	n. d.	n. d.	S. Enteritidis	n. d.	S. Typhimurium	n. d.	-
Ablauf SBR	n. d.	n. d.	-	n. d.	S. Enteritidis	n. d.	-

Tabelle 68: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 10.05.06

Probe	Probenvolumen				
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml
Zulauf 24 h-Mischprobe	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	S. Typhimurium S. Reading
Zulauf Stichprobe	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	S. Saintpaul S. Reading
Ablauf konv.	n. d.	n. d.	S. Reading S. Typhimurium	n. d.	-
Ablauf SBR	n. d.	n. d.	S. Hadar S. Reading S. Typhimurium	n. d.	S. Typhimurium

Tabelle 69: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 29.05.06

Probe	Probenvolumen					
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml
Zulauf 24 h-Mischprobe	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	S. Derby	S. Derby S. Typhimurium
Ablauf konv.	n. d.	S. Typhimurium	S. Typhimurium S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis	-
Ablauf SBR	n. d.	-	-	-	-	-

Tabelle 70: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 04.07.06

Probe	Probenvolumen					
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml
Zulauf 24 h-Mischprobe	n. d.	n. d.	n. d.	S. Montevideo	-	Subspezies I 4,5,12 : i :-
Ablauf konv.	-	Subspezies II 58 : l,z13,z28 : z6	-	-	-	-
SBR 2 h	-	-	-	-	-	-
SBR 4 h	-	-	-	-	-	-
SBR 6 h	-	-	-	-	-	-

Tabelle 71: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 12.09.06

Probe	Probenvolumen								
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml
Zulauf 24 h-Mischprobe	n. d.	n. d.	n. d.	S. Potsdam Subspezies II 48 : d : z6	S. Potsdam S. Montevideo S. Anatum	S. Potsdam	S. Potsdam	S. Potsdam S. Enteritidis	S. Potsdam
Ablauf konv.	S. Infantis	S. Potsdam S. Hadar	S. Potsdam	S. Potsdam	S. Potsdam	-	S. Enteritidis	-	-
Ablauf SBR	S. Potsdam	S. Potsdam S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis	-	-	-	-	-

Tabelle 72: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 15.08.06

Probe	Probenvolumen											
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml	0,03 ml	0,01 ml	
Zulauf 24 h-Mischprobe	n. d.	n. d.	n. d.	Subspezies I 4,5,12 : i : -	Subspezies I 4,5,12 : l : - S. Enteritidis	S. Enteritidis Subspezies I 4,5,12 : l : - S. Montevideo	S. Enteritidis Subspezies I 4,5,12 : l : -	S. Enteritidis Subspezies I 4,5,12 : l : -	S. Enteritidis Subspezies I 4,5,12 : l : -	S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis
Ablauf konv.	-	S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis	-	S. Enteritidis	-	-	-	-
SBR 4 h	S. Typhimurium Subspezies I 4,5,12 : l : -	S. Typhimurium Subspezies I 4,5,12 : l : - S. Enteritidis	S. Enteritidis	-	-	S. Enteritidis	S. Enteritidis	-	-	-	-	-
SBR 6 h	S. Enteritidis	Subspezies I 4,5,12 : i : - S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis	S. Enteritidis	-	-	-	-	-	-

Tabelle 73: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 18.10.06

	Probenvolumen				
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml
Zulauf 24 h-Mischprobe	n. d.	n. d.	n. d.	S. Enteritidis S. Typhimurium	Subspezies III b 6,14 : z10 : z
Ablauf konv.	S. Typhimurium Subspezies III b 6,14 : z10 : z	S. Typhimurium	S. Typhimurium	-	-
SBR 4 h	S. Enteritidis S. Typhimurium	S. Typhimurium S. Newport rauer Stamm	-	S. Typhimurium	-

Tabelle 74: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 27.02.07

	Probenvolumen							
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml
Zulauf 24 h-Mischprobe	n. d.	n. d.	n. d.	Subspezies I 4,12 : d : -; S. Tennessee	Subspezies I 4,12 : d : -;	Subspezies I 4,12 : d : -; S. Indiana; S. Bareilly	Subspezies I 4,12 : d : -;	Subspezies I 4,12 : d : -;
Ablauf konv.	S. Indiana; S. Infantis	S. Infantis; Subspezies I 4,12 : d : -; S. Hessarek; S. Tennessee	Subspezies I 4,12 : d : -; S. Indiana; S. Hessarek	Subspezies I 4,12 : d : -; S. Indiana	Subspezies I 4,12 : d : -;	Subspezies I 4,12 : d : -;	-	-
SBR 4 h	Subspezies I 4,12 : d : -; rauer Stamm	Subspezies I 4,12 : d : -;	-	-	-	-	-	rauer Stamm
SBR nach Beschicken vor Belüften	n. d.	Subspezies I 4,12 : d : -; S. Infantis, S. Indiana	Subspezies I 4,12 : d : -; S. Indiana	Subspezies I 4,12 : d : -;	Subspezies I 4,12 : d : -; rauer Stamm	-	-	-

Tabelle 75: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 09.05.07



Probe	Probenvolumen							
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml
Ablauf SBR vorheriger Zyklus	S. Blockley, S. Typhimurium var. O5-	S. Blockley	-	-	-	-	-	-
Zulauf SBR	n. d.	n. d.	n. d.	S. Blockley, S. Typhimurium, rauer Stamm	S. Blockley rauer Stamm	S. Blockley, S. Typhimurium	-	S. Blockley
Nach Beschicken vor Belüften	n. d.	S. Blockley	S. Blockley, S. Typhimurium	S. Blockley	S. Blockley	-	-	rauer Stamm
Während Belüftung	S. Blockley rauer Stamm	-	S. Blockley	-	-	rauer Stamm	-	-
Ablauf SBR	S. Blockley S. Typhimurium	S. Blockley S. Typhimurium	-	-	-	-	-	-
Ablauf Teich	S. Blockley rauer Stamm	-	S. Blockley	S. Blockley				

Tabelle 76: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 04.06.07

Probe	Probenvolumen						
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml
Dekantat	S. Montevideo	S. Montevideo	S. Montevideo	S. Typhimurium	-	-	-
Zulauf nach Pufferbehälter	n. d.	n. d.	n. d.	S. Derby	S. Derby	S. Typhimurium	S. Montevideo
nach Beschicken, vor Belüften	n. d.	S. Typhimurium	S. Tennessee	S. Derby	S. Typhimurium	S. Typhimurium	-
Belüftung	S. Derby	S. Typhimurium	S. Derby	?	S. Typhimurium	-	-
Dekantat	S. Typhimurium	S. Montevideo	S. Typhimurium	-	S. Typhimurium	-	-

Tabelle 77: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 24.07.07.

	Probenvolumen					
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml
Dekantat	S. Tennessee	S. Enteritidis	-	-	-	-
Zulauf nach Pufferbehälter	n. d.	n. d.	n. d.	S. Coeln	S. Enteritidis	Subsp. I 9 : I,v : -
nach Beschi-cken, vor Belüften	n. d.	S. Brandenburg	S. Enteritidis	-	S. Brandenburg	-
Belüftung	Subsp.II 58 : I,z13,z28 : z6	-	-	-	-	-
Dekantat	-	-	-	-	-	-

Tabelle 78: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 12.09.07.

	Probenvolumen							
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,30 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	Subsp. I 4,12 : i : -	Subsp. I 4,12 : i : -	Subsp. I 4,12 : i : -	Subsp. I 4,12 : i : -	S. Enteritidis
Nach Beschicken vor Belüften	n. d.	Subsp. I 4,12 : i : - Subsp. II 47 : d : z39	-	-	-	-	-	-
Mitte Belüftung	Subsp. I 4,12 : i : - Subsp. II 47 : d : z39	-	Subsp. I 4,12 : i : -	-	-	-	-	-
Ende Belüftung	Subsp. IV 44 : z4, z23 : -	-	-	-	-	-	-	-
Dekantat	Subsp. I 4,12 : i : -	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 79: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 21.04.09.

	Probenvolumen						
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d. -	S. Montevideo S. Pomona	S. Montevideo S. Typhimurium S. Senftenberg	S. Montevideo	S. Montevideo
Nach Beschi-cken vor Belüften	n. d.	S. Montevideo	S. Montevideo S. Senftenberg	S. Montevideo	-	-	-
Nach 1. Belüftung	S. Montevideo S. Typhimurium O5- S. Pomona	S. Senftenberg S. Braenderup S. Typhimurium	S. Senftenberg	Subsp. IV 44 : z4,z23 : -	Subsp.II 58 : I,z13,z28 : z6	-	-

Nach 2. Beschickung	n. d.	S. Montevideo, S. Braenderup; S. Typhimurium	S. Montevideo Subsp.II 58 : l,z13,z26 : z6	-	Subsp. IV 44 : z4,z23 : -	-	-
Nach 2. Belüftung	S. Montevideo S. Typhimurium S. Senftenberg	S. Montevideo	S. Montevideo S. Typhimurium	-	-	-	-
Dekantat	S. Montevideo S. Typhimurium S. Senftenberg	S. Typhimurium Subsp. IIIa 41 :z4,z23 : -	-	-	S. Senftenberg	-	-

Tabelle 80: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom in Weißtal vom 01.07.09 aus Reaktor 2.

Probe	Probenvolumen						
	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d. -	S. Montevideo S. Typhimurium S. London	S. Montevideo	Subsp. IV 44 : z4,z23 : - S. Pomona	S. Typhimurium
Nach Beschi- cken vor Belüften	n. d.	S. Montevideo	S. Montevideo Subsp II 47 : d : z39	S. Montevideo	-	S. Typhimurium S. Pomona	-
Nach 1. Belüftung	S. Montevideo	S. Senftenberg S. Typhimurium Subsp. IV 44 : z4,z23 : -	S. Pomona	S. Typhimurium	-	-	-
Nach 2. Beschickung	n. d.	S. Montevideo, S. Pomona S. Typhimurium	S. Pomona S. Senftenbeg	S. Montevideo S. Pomona	Subsp. IV 44 : z4,z23 : -	-	-
Nach 2. Belüftung	S. Pomona	S. Pomona Subsp. IV 44 : z4,z23 : - Subsp II 47 : d : z39	-	Subsp.II 58 : l,z13,z28 : z6	S. Pomona	-	-
Dekantat	S. Pomona S. Montevideo	S. Pomona S. Montevideo	-	-	S. Senftenberg	-	-

Tabelle 81: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom in Weißtal vom 01.07.09 aus Reaktor 1.

## Salmonellen-Serovare aus Erfde

Auch für die aus den Proben aus der Kläranlage Erfde isolierten Salmonellen wurde die Serovare bestimmt. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt.

	Probenvolumen									
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml	0,1 ml	0,03 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	S. Typhimurium var. 05- S. Saintpaul	S. Typhimurium var. 05- S. Bovismorbificans	S. Typhimurium var. 05- S. Bovismorbificans	S. Typhimurium var. 05-	S. Typhimurium var. 05-	S. Typhimurium var. 05-
Ablauf	S. Typhimurium var. 05-	S. Typhimurium var. 05-	S. Typhimurium var. 05- S. Typhimurium	S. Typhimurium var. 05-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 82: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 06.12.06 in Erfde

	Probenvolumen							
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml	10 ml	3 ml	1 ml	0,3 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.	S. Newport	S. Newport	-	S. Newport
Ablauf	S. Newport S. Give	S. Newport	S. Give	-	-	-	-	-

Tabelle 83: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahmen vom 31.01.07 in Erfde

	Probenvolumen			
Probe	1000 ml	300 ml	100 ml	30 ml
Zulauf	n. d.	n. d.	n. d.	S. Thompson
Zulauf zum Puffer	n. d.	n. d.	n. d.	n. d.
Nach Beschicken vor Belüften	-	-	-	-
1. Belüftung	S. Typhimurium var. O5- S. Dublin S. Derby	S. Typhimurium var. O5- S. Dublin	-	-
2. Belüftung	S. Typhimurium var. O5- S. Derby	-	-	-
Dekantat	-	-	-	-

Tabelle 84: Salmonellen-Serovare in Abhängigkeit von der Probe und dem zur Anreicherung eingesetzten Probenvolumen bei der Probennahme vom 11.02.09.

Bei allen isolierten Salmonellen handelte es sich um *Salmonella enterica*. Wo ein Name angegeben ist, z. B. S. Typhimurium, handelt es sich um die Subspezies I (*S. enterica* subsp. *enterica*). In wenigen Fällen wurden Serovare der Subspezies II, III und IV (*S. enterica* subsp. *salamae* bzw. *S. enterica* subsp. *arizonae/diarizonae* und *S. enterica* subsp. *houtenae*) gefunden.

Die in den Tabellen aufgelisteten Serovare sind jeweils die, die sich in der Anreicherung, aus der sie isoliert wurden, durchsetzen konnten. Je geringer das angegebene Probenvolumen desto größer muss die Konzentration der Salmonellen dieses Serovars in der ursprünglichen Abwasserprobe gewesen sein.

Insgesamt wurden von über 700 Isolaten 576 serotypisiert. Es wurden 38 verschiedene Serovare gefunden, deren prozentuale Verteilung in der folgenden Tabelle dargestellt ist.

Serovar	Anzahl Stämme	Prozent der Gesamtzahl (586) Stämme
S. Agona	2	0,3
S. Altona	3	0,5
S. Anatum	1	0,2
S. Bareilly	2	0,3
S. Blockley	29	5,0
S. Bovismorbificans	4	0,7
S. Braenderup	3	0,5
S. Brandenburg	2	0,3
S. Coeln	1	0,2
S. Derby	14	2,4
S. Dublin	3	0,5
S. Enteritidis	68	11,8
S. Give	8	1,4
S. Hadar	3	0,5
S. Hessarek	2	0,3
S. Indiana	9	1,6
S. Infantis	6	1,0
S. London	1	0,2
S. Montevideo	70	12,2
S. Newport	25	4,3
S. Pomona	15	2,6
S. Potsdam	32	5,6
S. Reading	9	1,6
S. Saintpaul	2	0,3
S. Senftenberg	9	1,6
S. Tennessee	5	0,9
S. Thompson	2	0,3
S. Typhimurium	67	11,6
S. Typhimurium var. O5-	59	10,2
Subsp. I 9 : l,v : -	1	0,2
Subsp. I 4,12 : d : -	50	8,7
Subsp. I 4,5,12 : i : -	45	7,8
Subsp. II 47 : d : z39	6	1,0
Subsp. II 48 : d : z6	1	0,2
Subsp. II 58 : z6 : l,z13,z28	5	0,9
Subsp. IIIa 41 : z4,z23 : -	1	0,2
Subsp. IIib 6,14 : z10 : z	3	0,5
Subsp. IV 44 : z4,z23 : -	8	1,4

Tabelle 85: Prozentuale Verteilung der bisher bestimmten Serovare der Salmonellen-Isolate

Die häufigste Serovar ist *S. Typhimurium* mit ca. 20 %, wenn man seine Variante (O5-) dazu rechnet. Die nächst häufigen Serovare sind *S. Montevideo* und *S. Enteritidis* mit um die 10 %. Das häufige Vorkommen von *S. Enteritidis* und *S. Typhimurium* überrascht nicht. Bei den dem RKI gemeldeten Salmonellosen sind sie die beiden häufigsten Serovare (fast 80 %, RKI, Epidemiol. Bulletin, Nr. 3, 2007).

Auch Kinde et al. (1997) fanden bei 683 Isolaten aus Klärwerken in Südkalifornien 54 verschiedene Serovare. Auch andere Autoren (z. B. Sobotta et al. 1986; Berge et al. 2006) fanden viele verschiedene Serovare im Abwasser.

Interessant ist aber, dass sich bei 12 von 17 Probennahmen in den kleinsten Probenvolumina, aus denen noch Salmonellen isoliert werden konnten, weniger häufige Serovare finden.

Außerdem tauchen unterschiedliche Serovare an den verschiedenen Probennahmetagen auf. In Weißtal sind dieses im Mai 2006 *S. Reading*, im Juli 2006 *S. Derby*, im August 2006 *S. Potsdam*, im September 2006 Subspezies I 4,5,12 : i : -, im Februar 2007 Subspezies III b 6,14 : z : z10, im Mai 2007 Subspezies I 4,12 : d : -, im Juni 2007 *S. Blockley*, im Juli 2007 *S. Montevideo* und im September 2007 Subsp. I 9 : 1,v : -. Im April 2009 war es *S. Enteritidis* und im Juli 2009 *S. Montevideo* und *S. Typhimurium*.

Auch in Erfde konnten sich seltenere Serovare im Januar 2007 (*S. Newport*) und im Februar 2009 (*S. Thompson*) durchsetzen.

Ein gravierender Unterschied in der Serovar-Verteilung zwischen Zu- und Abläufen lässt sich hingegen nicht feststellen, so dass es unwahrscheinlich erscheint, dass bestimmte Serovare im Belebtschlamm überleben und von dort in den Ablauf gelangen.

Damit bestätigen unsere Ergebnisse die von Sobotta et al. 1986. Auch diese Autoren fanden in einem kommunalen Klärwerk 38 verschiedene Serovare. Sie stellten fest, dass die Serovar-Verteilung an den verschiedenen Probenahmestellen im Klärwerk im Wesentlichen von den Serovaren im Zulauf abhängt.

### Gemeldete Salmonellen-Erkrankungen im Einzugsgebiet des Klärwerks Weißtal

Für den Gemeindebereich Wilnsdorf, der den Einzugsbereich des Klärwerkes Weißtal ausmacht, wurden nach Auskunft des Gesundheitsamtes im Jahr 2006 insgesamt 16 durch Salmonellen verursachte Erkrankungen registriert.

Sie verteilen sich über das Jahr wie folgt:

Kalender-woche	Anzahl Erkrankungen	Serovar Erkrankung	Datum von zuordbaren Probennahmen in Weißtal	Kalender-woche	Serovare im Zulauf bei der Probennahme
2	1	<i>S. Typhimurium</i>			
13	1	<i>S. Typhimurium</i>			
19	1	<i>S. Enteritidis</i>	10.05.06	19	<i>S. Altona</i> , <i>S. Typhimurium</i> , <i>S. Enteritidis</i>
20	1	<i>S. Enteritidis</i>			
23	1	<i>S. Enteritidis</i>	29.05.06	22	<i>S. Typhimurium</i> , <i>S. Reading</i>
24	2	<i>S. Enteritidis</i>			
28	3	<i>S. Enteritidis</i>	04.07.06	27	<i>S. Typhimurium</i> , <i>S. Derby</i>
29	3	<i>S. Enteritidis</i>			
32	2	<i>S. Enteritidis</i> , <i>S. Typhimurium</i>			
33	1	<i>S. Enteritidis</i>	15.08.06	33	<i>S. Potsdam</i> , Subspezies II 48:d:z6, <i>S. Montevideo</i> , <i>S. Anatum</i> , <i>S. Enteritidis</i>

Tabelle 86: Vergleich der im Jahr 2006 im Gemeindebereich Wilnsdorf gemeldete Salmonellen-Erkrankungen und deren Salmonellen-Serovare mit den Serovaren, die aus dem Zulauf der Kläranlage Weißtal isoliert werden konnten

Im Jahr 2007 wurden von Januar bis November in der Gemeinde Wilnsdorf 10 Salmonellenerkrankungen gemeldet. Ihre Verteilung ist in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Kalender-woche	Anzahl Erkrankungen	Serovar Erkrankung	Datum von zuordbaren Proben- nahmen in Weißtal	Kalender- woche	Serovare im Zulauf bei der Probenahme
8	1	S. Enteritidis	27.02.07	9	Subspezies III b 6,14 : z10 : z; S. Enteritidis; S. Typhimurium
15	1	S. Enteritidis			
21	1	S. Enteritidis	09.05.07; 04.06.07	19; 23	Subsp. I 4,12 : d : -; S. Indiana; S. Bareilly; S. Tennessee; S. Typhimurium; S. Blockley; rauer Stamm
26	1	S. Typhimurium			
33	1	S. Typhimurium	24.07.07	30	n. b.
34	1	S. Enteritidis			
35	1	S. Enteritidis			
36	1	S. Enteritidis	12.09.07	37	n. b.
40	1	S. Enteritidis			
46	1	S. Enteritidis			

Tabelle 87: Vergleich der von Januar bis November des Jahres 2007 im Gemeindebereich Wilnsdorf gemeldete Salmonellen-Erkrankungen und deren Salmonellen-Serovare mit den Serovaren, die aus dem Zulauf der Kläranlage Weißtal isoliert werden konnten; n. b. = nicht bestimmt

Diese Daten lassen keinen Zusammenhang zwischen den im Klärwerk isolierten Serovaren und den an den Krankheitsfällen beteiligten erkennen. Zwar wurden im Zulauf des Klärwerkes S. Typhimurium und S. Enteritidis gefunden, aber diese beiden Serovare sind die häufigsten überhaupt, so dass daraus kein epidemiologischer Zusammenhang konstruiert werden kann.

## *Campylobacter/Arcobacter-Bestimmung*

Aus jedem Probenvolumen, in dem *Campylobacter/Arcobacter* nachzuweisen war, wurde jeweils ein Isolat näher charakterisiert. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tabellen zusammengefasst:

### **Campylobacter/Arcobacter-Isolate aus Weißtal**

Probennahme-Datum	Probenart	Probenvolumen, aus dem das Campylobacter/Arcobacter-Isolat stammt	Spezies /Gattung
04.07.06	Zulauf	0,3 ml	C. coli
	Ablauf konv.	100 ml	C. jejuni
15.08.06	Zulauf	0,1 ml	C. jejuni
		3 ml	Arcobacter sp.
		10 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf konv.	10 ml	Arcobacter sp.
		30 ml	Arcobacter sp.
		100 ml	Arcobacter sp.
		300 ml	C. coli
		1000 ml	C. coli
	Ablauf SBR 4 h	10 ml	Arcobacter sp.
		30 ml	Arcobacter sp.
		100 ml	Arcobacter sp.
		300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	C. jejuni
	SBR nach Beschicken vor Belüften	1 ml	Arcobacter sp.
		3 ml	Arcobacter sp.
	10 ml	C. jejuni	
	30 ml	Arcobacter sp.	
	100 ml	C. coli	
12.09.06	Zulauf	0,3 ml	Arcobacter sp.
		1 ml	Arcobacter sp.
		3 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf konv.	0,1 ml	Arcobacter sp.
		10 ml	C. jejuni
		30 ml	C. jejuni
		100 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf SBR 2 h	10 ml	Arcobacter sp.
		30 ml	C. jejuni
		300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf SBR 4 h	300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf SBR 6 h	100 ml	Arcobacter sp.
		300 ml	Arcobacter sp.
18.10.06	Zulauf	0,1 ml	C. jejuni
		3 ml	C. jejuni Arcobacter sp.
		10 ml	C. jejuni
	Ablauf konv.	0,3 ml	Arcobacter sp.
		1 ml	Arcobacter sp.
		300 ml	Arcobacter sp.



Probennahme-Datum	Probenart	Probenvolumen, aus dem das Campylobacter/Arcobacter-Isolat stammt	Spezies /Gattung
		1000 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf SBR 4 h	1 ml	Arcobacter sp.
		10 ml	Arcobacter sp.
		30 ml	Arcobacter sp.
		100 ml	Arcobacter sp.
		300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf SBR 6 h	10 ml	Arcobacter sp.
		30 ml	Arcobacter sp.
		100 ml	Arcobacter sp.
		300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	Arcobacter sp.
27.02.07	Zulauf	3 ml	Arcobacter sp.
		10 ml	C. jejuni
		30 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf konv.	1 ml	C. jejuni
		10 ml	C. jejuni
		30 ml	C. jejuni
		100 ml	C. jejuni
		300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf SBR 4 h	1 ml	Arcobacter sp.
		30 ml	Arcobacter sp.
		100 ml	Arcobacter sp.
		300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	Arcobacter sp.
09.05.07	Zulauf	0,1 ml	Arcobacter sp.
		0,3 ml	Arcobacter sp.
		1 ml	Arcobacter sp.
		3 ml	Arcobacter sp.
		10 ml	Arcobacter sp.
		30 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf konv.	300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf SBR 4 h	300 ml	C. jejuni.
		1000 ml	C. jejuni
	SBR nach Beschicken vor Belüften	10 ml	C. jejuni
		30 ml	Arcobacter sp.
		100 ml	C. jejuni
		300 ml	C. jejuni

Tabelle 88: Bestimmung der Campylobacteriaceen-Gattung von Stämmen in Bezug zum Probenvolumen, in dem Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen werden konnten

## Campylobacter /Arcobacter-Isolate aus Erfde

Probennahme-Datum	Probenart	Probenvolumen, aus dem das Campylobacter/Arcobacter-Isolat stammt	Spezies /Gattung
06.12.06	Zulauf	3 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf	300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	Arcobacter sp.
31.01.07	Zulauf	0,001 ml	Arcobacter sp.
		0,003 ml	Arcobacter sp.
		0,01 ml	Arcobacter sp.
		0,03 ml	Arcobacter sp.
		0,1 ml	Arcobacter sp.
		0,3 ml	Arcobacter sp.
		1 ml	Arcobacter sp.
		3 ml	Arcobacter sp.
		10 ml	Arcobacter sp.
	Ablauf	0,01 ml	Arcobacter sp.
		0,03 ml	Arcobacter sp.
		1 ml	Arcobacter sp.
		3 ml	Arcobacter sp.
		10 ml	Arcobacter sp.
		30 ml	Arcobacter sp.
		100 ml	Arcobacter sp.
		300 ml	Arcobacter sp.
		1000 ml	C. jejuni Arcobacter sp.

Tabelle 90: Bestimmung der Campylobacteriaceen-Gattung von Stämmen iaus Erfde in Bezug zum Probenvolumen, in dem Campylobacter/Arcobacter nachgewiesen werden konnten

Von insgesamt 108 näher untersuchten Isolaten waren nur 29 Isolate *Campylobacter* (26,9 %). Alle anderen Isolate gehören zur Gattung *Arcobacter*. Von den 29 *Campylobacter*-Isolaten waren 25 *C.jejuni* und 4 *C. coli*

Dieses Ergebnis ist überraschend, da das Anreicherungsverfahren für thermophile *Campylobacter* einen Anreicherungsschritt über 18-24 h bei 42 °C beinhaltet. Die meisten der *Arcobacter*-Isolate wachsen auf Blutplatte bei dieser Temperatur gar nicht oder nur sehr schwach, aber anscheinend sind *Arcobacter* in der Lage, diesen Zeitraum bei 42 °C lebend zu überstehen.

Um festzustellen, ob und wie viele *Arcobacter* 18 h bei 42 °C überleben, wurde eine dünn beimpfte Kultur eines Isolates, welches bei 42 °C auf Blutplatte nicht wächst, in Bolton-Medium mit Supplement auf 3 Parallel-Kulturen aufgeteilt und über Nacht bei 37 °C in Campylobacter-Atmosphäre bebrütet. Danach wurde die Lebendkeimzahl bestimmt und diese Kulturen anschließend 18 h bei 42 °C unter Campylobacter-Atmosphäre weiterbebrütet. Anschließend wurde erneut die Keimzahl bestimmt.

Vor der Bebrütung bei 42 °C hatten die Kulturen im Mittel eine Keimzahl von  $2,6 \times 10^9$  Zellen/ml, danach  $8,9 \times 10^7$  Zellen/ml, was 3,42 % der Ausgangskultur entspricht.

Bei dem verwendeten *Campylobacter*-Anreicherungsverfahren wurden *Arcobacter* also vermutlich nicht oder nur wenig angereichert. Sie starben sogar während der 42 °C-Bebrütung zu einem hohen Prozentsatz ab. Trotzdem konnten mit dieser Methode viele *Arcobacter*-Stämme isoliert werden, was darauf schließen lässt, dass die von uns ermittelten Keimzahlen für *Arcobacter* im Abwasser um mehr als eine Zehnerpotenz nach oben korrigiert werden müssten.

Die *Arcobacter*-Isolate konnten nicht bis zur Art bestimmt werden, da dieses mit biochemischen Tests allein unsicher ist. Die Arten unterscheiden sich nur in wenigen biochemischen Merkmalen

und viele Stämme verhalten sich in einigen Eigenschaften anders, als für die jeweilige Art beschrieben ist (Vandamme et al., 1992).

*Arcobacter* gehört zusammen mit der Gattung *Campylobacter* und *Bacteroides ureolyticus* zur Familie der *Campylobacteriaceen*. Die Gattung *Arcobacter* wurde 1991 von Vandamme und De Ley beschrieben und enthält Arten, die vorher als „aerotolerante *Campylobacter*“ bekannt waren. Eigenschaften (Vandamme et al. 1991): dünne (0,2 -0,9 µm), gekrümmte oder spiralförmige Stäbchen (Länge 1-3 µm), gramnegativ, beweglich mit einzelner polarer Geißel ohne Schaft, verwerten keine Zucker, aber Aminosäuren und Zwischenprodukte des Citratzyklus'. Wachstum unter mikroaerophilen Bedingungen bei 15 °C bis 37 °C, nicht bei 42 °C. Wachstum auch unter aeroben Bedingungen auf Blutplatte.

Es wurden bisher 6 Arten beschrieben: *A. skirrowii*, *A. cryaerophilus*, *A. cibarius* (Houf et al., 2005), *A. nitrofigilis*, *A. halophilus* (Donachie et al., 2005) und *A. butzleri*. Mit Ausnahme von *A. nitrofigilis* und *A. halophilus* sind alle *Arcobacter* eng mit Tieren und Menschen assoziiert und stehen im Verdacht, humanpathogen zu sein. Sie sollen Diarrhoe auslösen und sind die vierthäufigsten *Campylobacter*-artigen Organismen, die aus menschlichen Stuhlproben isoliert werden konnten (Vandenberg et al., 2004). Möglicherweise können sie bei Schweinen Aborten auslösen. Sie gelten als unterschätzte Pathogene, da in vielen Routinelabors nicht nach ihnen gesucht wird (Phillips, C. A. 2001, Lehner 2005) Bei *A. nitrofigilis* handelt es sich um einen freilebenden Stickstofffixierer, der auf den Wurzeln der Salzmarsch-Pflanze *Spartina alterniflora* gefunden wurde. *A. halophilus* ist ein obligat halophiles Bakterium aus einer Salzlage in Hawaii.

Von thermophilen *Campylobacter*-Arten lassen sich *Arcobacter*-Arten vor allem durch 2 leicht zu bestimmende Eigenschaften trennen: sie wachsen bei 25 °C, nicht aber bei 42 °C und sie können bei 30 °C aerob auf Blutplatte wachsen (Ursing et al., 1994).

*Arcobacter* konnte sowohl in Abwasser als auch in gereinigtem Abwasser nachgewiesen werden (Jacob et al., 1998, Moreno et al., 2003).

Ein italienische Studie zeigte, dass *Arcobacter* durch ein Belebtschlammverfahren und anschließende Behandlung mit 2 ppm Chlordioxid zu 99,9 % aus Abwasser eliminiert werden kann (Stampi et al., 1993).

Interessanterweise wurde durch eine In-Situ-Identifikation in einer Belebtschlammprobe eine hohe Anzahl *Arcobacter* (4 %) gefunden (Snaidr et al., 1997). Die Autoren vermuteten, dass es sich hierbei möglicherweise nicht um pathogene *Arcobacter*, sondern um einen Teil der autochtonen Flora des Belebtschlammes handelt.

Die in diesem Projekt isolierten *Arcobacter*-Stämme wurden sowohl aus dem Zulauf zum Klärwerk als auch aus den Abläufen isoliert. Ob es sich um pathogene Stämme oder um zur autochtonen Belebtschlammflora gehörende Organismen handelt, ist bisher völlig unklar.

## Fazit

### Bakterien

Im Rahmen dieses Projektes ist bisher Folgendes erreicht worden:

Es konnten Methoden etabliert werden, mit denen Salmonellen und *Campylobacter*/*Arcobacter* zuverlässig aus Abwasserproben angereichert und isoliert werden können.

Überraschenderweise wurden trotz eines Anreicherungs-schrittes bei 42 °C unter den Isolat-ten der *Campylobacteriaceen* nur ca. 27 % thermophile *Campylobacter* gefunden, die übrigen Isolate gehören zur Gattung *Arcobacter*, die bei dieser Temperatur nicht wachsen können. Zur Gattung *Arcobacter* gehören mehrere pathogene Arten.

Für SBR-Anlagen liegen erstmals überhaupt Daten zur Eliminationsrate von pathogenen Bakterien vor.

Es konnten vergleichend für die konventionelle Belebung und für die SBR-Anlage Eliminationsraten für *Salmonella* und *Campylobacter/Arcobacter* bestimmt werden.

Beide Belebungen zeigen bei Trockenwetterbedingungen für Salmonellen sehr gute Eliminationsraten von annähernd 3 Zehnerpotenzen. Da die Keimzahlen im Zulauf sowohl für *Campylobacter/Arcobacter* als auch für *Salmonella* gering sind (meist unter 1000 MPN / L) konnten keine genaueren Eliminationsraten bestimmt werden.

Für *Campylobacter/Arcobacter* zeigen die Eliminationsraten beider Verfahren eine höhere Schwankungsbreite. Insgesamt wird *Campylobacter/Arcobacter* von beiden Belebungen schlechter eliminiert als Salmonellen, aber die Raten liegen fast immer über 95 %.

Es konnte kein gravierender Unterschied in den Eliminationsraten zwischen der konventionellen Belebung und der SBR-Anlage festgestellt werden. Die SBR-Anlage liefert mindestens so gute Ergebnisse wie die konventionelle Belebung. Für Salmonellen waren die Werte der SBR-Anlage im 4 h-Zyklus mit einer Ausnahme etwas besser.

Diese Ergebnisse erwiesen sich auf eine industrielle SBR-Anlage (Kläranlage Erfde) als übertragbar.

Es konnte festgestellt werden, dass die Eliminationsraten vor allem von der Konzentration des Abwassers abhängen. Je geringer die Konzentration des Abwassers, desto geringer die Eliminationsraten. Dieses gilt für beide Belebungen gleichermaßen. Da die SBR-Anlage bei Regenwetterbedingungen im 4 h-Zyklus läuft, kann der Einfluss der Zykluslänge auf die Eliminationsrate nur schwer abgeschätzt werden.

Die Eliminationsraten scheinen nicht nur von der Konzentration des Abwassers widerspiegelt durch den CSB-Wert, sondern auch von der Konzentration der jeweiligen Pathogenen im Zulauf abhängig zu sein. Auch dieses konnte für beide Belebungsverfahren gezeigt werden.

Der Haupteliminationsmechanismus besteht in der Kosedimentation von Pathogenen mit Belebtschlamm. Durch diesen Mechanismus können 90-95 % der Pathogenen eliminiert werden.

Es konnte gezeigt werden, dass für die SBR-Anlage unter Hochlastbedingungen vergleichbare Eliminationsraten für *Salmonella* erreicht werden wie bei normaler Beschickung.

Außerdem konnte gezeigt werden, dass Zyklen mit 2 Beschickungen, wie sie für eine besonders gute Reinigungsleistung eingesetzt werden, am Ende dieselben Eliminationsraten erreichen wie Zyklen mit nur einer Beschickung

Insgesamt lagen die Keimzahlen an Pathogenen bereits im Zulauf der Kläranlage Weißtal gleichsweise niedrig. Im Ablauf waren die Keimzahlen stets so gering, dass von ihnen keine gesundheitliche Gefährdung ausgehen kann.

Aus den Abwasserproben konnten zahlreiche Salmonellen isoliert und serotypisiert werden. Hierbei zeigte sich, dass häufig seltene Serovare bezogen auf die Serovare gemeldeter Erkrankungen gefunden wurden. Ein Zusammenhang mit den in der Gemeinde Wilnsdorf gemeldeten Erkrankungsfällen konnte nicht festgestellt werden.

## *Viren*

Es konnten Methoden zu Anreicherung und Nachweis von Viren aus Abwasserproben entwickelt werden.

Bei der Anreicherung der Viren konnte mit Hilfe von Konzentratoren für mittlere Volumina und PEG-Fällung für große Volumina ein befriedigendes Verfahren etabliert werden, was vor allem bei den Ablaufproben mit niedrigem Virusgehalt wichtig war.

Der Nachweis von Viren konnte mit der „nested“ PCR und später für Norovirus mit der Reali-time-PCR so weit verfeinert werden, dass Virus noch in sehr kleinen Volumina (bis zu 0,0018 ml) detektiert werden konnte (Rotavirus in Schlachthofwasser).

Die Ermittlung einer Eliminationsrate bereitete bei Norovirus zunächst einige Schwierigkeiten, weil zeitweise kein Norovirus im Ablauf nachgewiesen werden konnte. Später konnten in Weißtal für Norovirus Eliminationsraten für die konv. Anlage zwischen 80,7 und 99 % und für die SBR-Anlage von 78,8- 98,1 % nachgewiesen werden. Hierbei zeigte sich, wie bei den Bakterien, dass die Eliminationsraten umso schlechter waren, je geringer der CSB-Wert im Zulauf war. Ein signifikanter Unterschied in der Elimination von Norovirus konnte zwischen den beiden Belebungsstypen nicht belegt werden.

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Weißtal untermauern die Eliminationsraten von Norovirus von 99,80 - 99,99 % in Erfde.

Rotavirus zeigte in Erfde Eliminationsraten von 93,48 - 98,86 %. Diese Werte beweisen, dass in SBR-Anlagen unter günstigen Bedingungen (möglichst konzentriertes Abwasser) sehr gute Virus-Eliminationsraten erreicht werden können.

Trotzdem enthielt der Ablauf der Kläranlage Erfde noch eine Konzentration an Rotaviren, von denen eine gesundheitliche Gefährdung für Badende und Wassersportler ausgehen könnte, sofern diese Viruspartikel noch infektiös sein sollten.

Die Ergebnisse einer detaillierten Beprobung des SBR-Zyklus ergaben, dass Norovirus zu einem hohen Prozentsatz durch Sedimentation mit dem Belebtschlamm eliminiert wird. Ein weiterer Anteil wird während der Belüftungsphase eliminiert.

Unter hydraulischen Hochlastbedingungen werden in der SBR-Anlage Weißtal Eliminationsraten von Norovirus erreicht, die mit denen bei normaler Beschickung vergleichbar sind.

## **Ökologische und ökonomische Bilanzierung des Verfahrens**

Mit diesem Vorhaben sollten im Wesentlichen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie groß ist die Eliminationsrate der beiden Klärwerkstypen (konventionelle Anlage, SBR-Anlage) und unterscheidet sich diese?
- Gibt es Unterschiede in der Elimination von Bakterien und Viren?
- Besteht ein gesundheitliches Risiko durch die im Ablauf vorkommenden Pathogenen (Infektionsdosis)?
- Wie sollte eine SBR-Anlage betrieben werden, um möglichst wenig Pathogene in die Umwelt zu entlassen?

Die Ergebnisse dieses Vorhabens zeigen, dass beide Kläranlagentypen pathogene Bakterien und Viren bis zu 99,9 % eliminieren können. Eine genauere Bestimmung war meist nicht möglich, da hierzu die Keimzahlen im Zulauf nicht ausreichten. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Belebungen festgestellt werden, obwohl die SBR-Anlage meist geringfügig bessere Werte zeigte. Bakterien und Viren werden mit etwa gleicher Rate eliminiert.

Insgesamt ging von keiner der beiden Kläranlagentypen in Weißtal eine Gefährdung der öffentlichen Gesundheit aus, da die Zahl an pathogenen Bakterien im Ablauf stets sehr gering war und durch die Einleitung in den Vorfluter außerdem noch ein großer Verdünnungseffekt erzielt wird. Für die Kläranlage Weißtal würde es also wenig Sinn machen, eine Desinfektionsstufe nachzuschalten, um auch noch die letzten pathogenen Bakterien zu eliminieren. Anders ist die Sachlage zu beurteilen, falls mit dem gereinigten Abwasser Nahrungsmittel- oder Futterpflanzen bewässert werden sollen. Es ist bekannt, dass sich gerade Salmonellen durch Eintrocknen auf Pflanzen anreichern lassen und sogar aktiv in die Pflanzen eindringen können. Durch wiederkehrende Bewässerung mit Wasser, das nur eine geringe Salmonellenzahl enthält, können Pflanzen somit eine Salmonellenbelastung aufweisen, die zu einer Infektion bei Mensch und Tier ausreicht.

Der größte Teil der pathogenen Bakterien und Viren wird durch Sedimentation mit dem Belebtschlamm eliminiert. Bei dem Betrieb von Kläranlagen muss deshalb ein besonderes Augenmerk auf die Sedimentationseigenschaften des Belebtschlammes gerichtet werden. Belebtschlämme aus SBR-Anlagen zeigen häufig besonders gute Sedimentationseigenschaften. Problematisch unter dem Aspekt der Elimination von Pathogenen erscheint die Einleitung von Regenwasser in Kläranlagen, da die Eliminationsrate abhängig von der Keimzahl von Pathogenen im Zulauf ist. Je höher die Keimzahl im Zulauf, desto größer ist die Eliminationsrate. Bei großer Verdünnung des Zulauf mit Regenwasser sinkt die Eliminationsrate hingegen drastisch. Dieser Effekt ist auch von Arzneistoffen, wie Hormonen und Antibiotika bekannt. Die Ergebnisse dieses Projektes stützen damit die Empfehlung, Abwasser getrennt von Regenwasser zu reinigen. Für SBR-Anlagen bedeutet dies auch, dass es möglich ist, längere Zyklen zu fahren.

Pathogene im Abwasser stammen zum größten Teil aus dem Stuhl von Menschen bzw. aus dem Kot von Tieren. Optimal wäre es für die Elimination von Pathogenen, mit Stuhl und Kot belastetes Abwasser von allen anderen Abwässern getrennt zu sammeln und dann zu reinigen. Damit dürften sich hervorragende Eliminationsraten ergeben.

Das Projekt ergab Hinweise darauf, dass die Phosphatfällung mit Eisensalzen in Kläranlagen möglicherweise zu einem Erholungseffekt bei geschädigten Salmonellen führen kann. Zu diesem Phänomen liegen bisher zu wenig Ergebnisse vor, als dass eine konkrete Aussage möglich wäre. Dieses Phänomen sollte in der Zukunft unbedingt genauer untersucht werden.

SBR-Anlagen können sowohl unter hydraulischen Hochlastbedingungen wie auch mit zwei Beschickungen betrieben werden, ohne dass die Salmonellen-Eliminationsrate geringer wird. Auch ein Einfluss der Zyklus-Länge auf die Eliminationsrate konnte nicht festgestellt werden.

Anhand zahlloser vergleichender Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Ing. – Büros im Rahmen von Entwurfs- und Genehmigungsplanungen ist bekannt, dass die Investitionen für SBR – Kläranlagen meistens ca. 5 – 20 % geringer sind als konventionelle Durchlaufanlagen. Bedeutender vor dem Hintergrund dieses F+E Vorhabens sind allerdings die laufenden Betriebskosten. Hier kann von nahezu gleichen Kosten ausgegangen werden, mit leichten Vorteilen für SBR – Verfahren auf Grund etwas geringerer Fällmittelverbräuche.

Wie oben aufgeführt sind auch vor dem Hintergrund der Elimination von potentiell pathogenen Bakterien und Viren SBR – Verfahren konventionellen Verfahren gegenüber mindestens gleichwertig, selbst bei Implementation spezieller SBR-Verfahrensschritte wie eine spezifische zweite Beschickung mitten im Zyklus, so dass diesbezüglich von einer ökonomischen Gleichwertigkeit gesprochen werden kann.

Allerdings sind die Eliminationsraten von Pathogenen in SBR Anlagen nicht bedeutend höher als in konventionellen Durchlaufanlagen. Sollte das gereinigte Abwasser für entsprechende Verwendungszwecke daher praktisch frei von Pathogenen sein, müssten bei SBR Anlagen die gleichen Zusatzaufwendungen (z.B. UV oder OZON Behandlung) erfolgen wie bei konventionellen Durchlaufanlagen. Da in SBR Anlagen der Schlammindex in der Regel wesentlich geringer ist als in Durchlaufanlagen (was besonders eindrucksvoll in Weißtal bestätigt wird) und somit die Menge an Feinflockenabtrieb deutlich geringer gehalten werden kann, wird aller Wahrscheinlichkeit nach der Umfang der Zusatzaufwendungen bei SBR Anlagen etwas geringer ausfallen, was ein deutlicher ökonomischer Vorteil wäre.

### **Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse**

Erste Ergebnisse wurden vom 8.-11.3.2009 auf der Jahrestagung der Vereinigung für Allgemeine und Angewandte Mikrobiologie (VAAM) in Form eines Posters dargestellt. Eine Zusammenfassung des Posters wurde im BIOSpektrum Tagungsband zur VAAM-Jahrestagung 2009 (S. 207) veröffentlicht.

Eine Projektbeschreibung wurde in die Umweltforschungsdatenbank UFORDAT des Umweltbundesamtes aufgenommen. Das Projekt wurde auch für das Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg, im Umwelttechnologieatlas des Bundesumweltministeriums aufgelistet.

Außerdem ist die Veröffentlichung der wichtigsten Ergebnisse in einer internationalen Fachzeitschrift (peer-reviewed) in Vorbereitung.

Die Daten sollen zudem im Rahmen der „Rothenburgsorter Fachgespräche“, einer Vortragsreihe des Instituts für Hygiene und Umwelt, Hamburg, präsentiert werden.

## Literaturverzeichnis

- [BDS06] BERGE, A. C. B.; DUEGER, E. L.; SISCHO, W. M. (2006) Comparison of *Salmonella enterica* serovar distribution and antibiotic resistance patterns in wastewater at municipal water treatment plants in two California cities. *J Appl. Microbiol.* 101:1309-1316
- [BSS03] BJARNASON, J.; SOUTHWARD, C. M.; SURETTE, M. G. (2003) Genomic profiling of iron-responsive genes in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium by high-throughput screening of a random promoter library. *J. Bacteriol.* 185: 4973-4982
- [BN82] BLASER, M. J., NEWMAN, L. S. (1982) A review of human salmonellosis: I. Infective dose. *Rev. Infect. Dis.* Vol. 4: 1096-1106
- [BM00] BLUMENTHAL, U. J., PEASEY, A., RUIZ-PALACIOS, G., MARA, D. D. (2000) Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. WELL Study, Task No: 68 Part.1, London School of Hygiene & Tropical Medicine, UK WEDC, Loughborough University
- [CF95] CHMIELEWSKI, R. A. N.; FRANK, J. F. 1995 Formation of viable but nonculturable *Salmonella* during starvation in chemically defined solutions. *Let. Appl. Microbiol.* 20:380-384
- [Man83] DE MAN, J. C. (1983). MPN tables, corrected. *Eur. J. Appl. Biotechnol.* 17: 301-305
- [DA05] DONACHIE, S. P., BOWMAN, J. P., ON, S. L. W., ALAM, M. (2005) *Arcobacter halophilus* sp. nov., the first obligate halophile in the genus *Arcobacter*. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 55: 1271-1277
- [Els02] ELSCHNER, M. et al. (2002): Nested Polymerase Chain reaction for the detection of Group A Rotaviruses. *J. Vet. Med. B* 49: 77-81
- [GH97] GILGEN, M, GERMANN, D., LÜTHY, J., HÜBNER, Ph. (1997): Three Step isolation method for sensitive detection of enterovirus, rotavirus, hepatitis A virus and small round structured viruses in water samples. *Int. J. Food Microbiol.* 37: 189-199
- [HS05] HOEHNE, M., SCHREIER, E. (2005): Detection of Norovirus genogroup I and II by multiplex real-time RT-PCR using a 3-minor groove binder-DNA probe. *BMC Inf. dis.* 69: 1-6
- [HV05] HOUF, K., ON, S. L., COENYE, T., MAST, J., VAN HOOFF, J., VANDAMME, P. (2005) *Arcobacter cibarius* sp. nov., isolated from broiler carcasses. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* 55: 713-117
- [HAT98] HUNT, J. M. ABEYTA, C., TRAN, T. (1998) Isolation of *Campylobacter* species from food and water. In: FDA Bacteriological Analytical Manual, 8 th Ed., pp. 7.01-7.24



- [JBS91] JACOB, J., BINDEMANN, U., STELZER, W. (1991) Characterization of thermophilic *Campylobacters* originated from a high-rate sewage treatment plant. Zbl. Hyg. 192: 14-24
- [JJ98] JACOB, J. WOODWARD, D., FEUERPFEL, I., JOHNSON, W. M. (1998) Isolation of *Arcobacter butzleri* in raw water and drinking water treatments plants in Germany. Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin 201: 189-198
- [KBM87] KAYSER, R., BOLL, R., MÜLLER, H. E. (1987) Quantitative Untersuchungen zur Elimination von Salmonellen durch biologische Abwasserbehandlung. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 184, 195-205
- [Kie06] Kiehn, K. (2006) Ammoniumde- und -adsorption an Belebtschlamm – Versuche auf großtechnischen SBR-Anlagen und deren Auswirkungen auf die Modellierung der Reinigungsprozesse, Diplomarbeit an der FH Suderburg
- [KH97] KINDE, H., ADELSON, M., ARDANS, A., LITTLE, E. H., WILLOUGHBY, D., BERCHTOLD, D., READ, D. H., BREITMEYER, R., KERR, D., TARBELL, R., HUGHES, E. (1997) Prevalence of *Salmonella* in Municipal sewage treatment plant effluents in Southern California. Avian diseases 41: 392-398
- [LWC04] LAVERICK, M. A., WYN-JONES, A. B., CARTER, M. J. (2004) Quantitative RT-PCR for the enumeration of noroviruses (Norwalk-like viruses) in water and sewage. Lett. Appl. Microbiol. 39: 127-136
- [LTS05] LEHNER, A., TASARA, T., STEPHAN, R. (2005) Relevant aspects of *Arcobacter* spp. as potential foodborne pathogen. Int. J. Food Microbiol. 102: 127-135
- [MH03] MORENO, Y., BOTELLA, S., ALONSO, J. L., FERRUS, M., HERNANDEZ, M., HERNANDEZ, J. (2003) Specific detection of *Arcobacter* and *Campylobacter* strains in water and sewage bei PCR and fluorescent In Situ hybridization. Appl. Environ. Microbiol. 69: 1181-1186
- [NK03] NYGARD, K., TORVEN, M., ANCKER, C., KNAUTH et al. (2003). Emerging Genotype (GGIIb) of Norovirus in Drinking Water, Sweden. Emerg. Inf. Des., Vol 9, No12: 1548-1552
- [OGS03] OH D. Y., GAEDECKE, G., SCHREIER, E. (2003). Viral agents of acute gastroenteritis in German children: prevalence and molecular diversity. J. Med. Virol. 71: 82-93
- [Phi01] Phillips, C. A. (2001) *Arcobacter* spp. in food: isolation, identification and control. Trends Food Sci. Technol. 12: 263-275
- [Pos04] POSEIDON- Projekt (EVK1-CT-2000-00047) (2004). Assessment of technologies for the removal of pharmaceuticals and personal care products in sewage and drinking water facilities to improve the indirect potable water reuse. Detailed Report, <http://www.eu-poseidon.com>

- [RW00] REISSBRODT, R.; HEIER, H.; TSCHÄPE, H.; KINGSLEY, R. A.; WILLIAMS, P. H. (2000) Resuscitation by ferrioxamine E of stressed *Salmonella enterica* serovar Typhimurium from soil and water microcosms. Appl. Environ. Microbiol. 66: 4128-4130
- [RHF93] RIORDAN, T., HUMPHREY, T. J., FOWLES, A. (1993) A point source outbreak of *Campylobacter* infection related to bird-pecked milk. Epidemiol. Infect. Vol. 110 (2): 261-265
- [RKI04] RKI: Epidemiologisches Bulletin Nr. 31/2004
- [RKI07] RKI: Epidemiologisches Bulletin Nr. 3/2007
- [Sch07] SCHWITALLA, P. (2007) Kontrollierte Beschickung von Sequencing Batch Reaktoren zu Beginn der Sedimentationsphase mit dem Ziel der Verfahrensoptimierung, Diplomarbeit FH Lippe und Höxter
- [SR08] SCHWITALLA, P., MENNERICH, A., AUSTERMANN-HAUN, U., DORNINGER, C., DAIMS, H., HOLM, N.C., RÖNNER-HOLM, S. (2008) NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ad-/desorption in SBRs: simulation, lab and full-scale studies, 4th Sequencing Batch Reactor Technology Conference, Rom April 7-10 accepted
- [SS97] SNAIDR, J., AMANN, R., HUBER, I., LUDWIG, W., SCHLEIFER, K.-H. (1997) Phylogenetic Analysis and In Situ identification of bacteria in activated sludge. Appl. Environ. Microbiol. 63: 2884-2896
- [SG86] SOBOTTA, B.; SCHÜSSELER, G.; GERHARDT, G. G.; TEITGE, E.; GUNDERMANN, K. O. (1986) Die verschiedenen Salmonella-Serotypen im Klärwerk einer Großstadt im Jahresablauf. Zentralbl. Bakteriol. Mikrobiol. Hyg. B 182: 143-154
- [SZ92] STAMPI, S., VAROLI, O., DE LUCA, G., ZANETTI, F. (1992) Occurrence, removal and seasonal variation of "thermophilic" campylobacters in a sewage treatment plant in Italy. Zbl. Hyg. 193: 199-210
- [SD93] STAMPI, S., VAROLI, O., ZANETTI, F., DELUCA, G. (1993) *Arcobacter cryaerophilis* and thermophilic campylobacters in a sewage-treatment plant in Italy – two secondary treatments compared. Epidemiology and Infection 110: 633-639
- [SD88] STELZER, W., MOCHMANN, H., RICHTER, U., DOBBERKAU, H.-J. (1988) Characterization of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter coli* isolated from waste water. Zbl. Bakt. Hyg. A 269/2: 188-196
- [TGG86] TEITGE, E., GERHARDT, G.; GUNDERMANN, K.-O (1986) Quantitative Untersuchungen an Salmonellen in zwei Kläranlagen in Schleswig-Holstein. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 182, 120-130
- [ULO94] URSING, J. B., LIOR, H., OWEN, R. J. (1994) Proposal of minimal standards for describing new species of the family *Campylobacteraceae*. Int. J. of Syst. Bacteriol. 44: 842-845

- [VL91] VANDAMME, P.; DE LEY, J. (1991) Proposal for a new family, *Campylobacteriaceae*. Int. J. Syst. Bacteriol. 41: 451-455
- [VDL91] VANDAMME, P., FALSEN, E., ROSSAU, R., HOSTE, B., SEGERS, P., TYTGAT, R., DE LEY, J. (1991) Revision of *Campylobacter*, *Helicobacter*, and *Wolinella* taxonomy: emendation of generic descriptions and proposal of *Arcobacter* gen. nov.. Int. J. Syst. Bacteriol. 41: 88-103
- [Van92] VANDAMME, P. M. et al. (1992) Polyphasic taxonomic study of the emended genus *Arcobacter* with *Arcobacter butzleri* comb. nov. and *Arcobacter skirrowii* sp. nov. an aerotolerant bacterium isolated from veterinary specimens. Int. J. Sys. Bacteriol. 42: 344-356
- [VV04] VANDENBERG, O., DEDISTE, A., HOUF, K., IBEKWEM, S., SOUAYAH, H., CADRANEL, S., DOUAT, N., ZISSIS, G., BUTZLER J. P., VANDAMME, P. (2004) *Arcobacter* species in humans. Emerg. Infect. Dis. 10: 1863-1867
- [VR05] VAN DEN BERG, H., LODDER, W., VAN DER POEL, W., VENNEMA, H., DE RODA HUSMAN, A. (2005) Genetic diversity of norovirus in raw and treated sewage water. Research in Microbiology 156: 432-540