

## 10/20

# Datenbank für Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung (DANA)

## Auswertung der Hygienesituation auf Basis der DANA

Dipl.-Ing. Stefan Bruns, Geschäftsführer der Polyplan GmbH, Bremen, Mitglied des Technischen Ausschusses der Deutschen Gesellschaft für das Badewesen e. V., Essen

### Beschreibung der Datenplattform DANA

Die Datenbank Naturfreibäder (DANA) wurde im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsvorhabens entwickelt (AZ 25480-23). Initiator und Antragsteller des Vorhabens war die Polyplan GmbH aus Bremen; Kooperations- und Entwicklungspartner waren das limnologische Büro KLS Gewässerschutz aus Hamburg und der Softwareentwickler Ravenworks aus Bremen.

Maßgeblicher Anlass für die Initiierung des Projektes waren die bis 2006 teilweise hohen Überschreitungshäufigkeiten für den Hygieneparameter *Pseudomonas aeruginosa* in Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung. Ziel war es daher, eindeutige Datenzuordnungen und Abfrageanalysen zu ermöglichen und somit potenzielle Korrelationen zwischen dem Hygienein-

dikator *Pseudomonas aeruginosa* und anderen anlagenspezifischen Parametern zu erkennen. Insbesondere die baulichen und hydraulischen Besonderheiten der unterschiedlichen Anlagentypen (Nutzungsbereich, Aufbereitungsbereich) als auch die betriebsbedingten Anlagendaten (Besucherzahlen, Temperaturverlauf, Füllwasserzufuhr etc.) waren dabei von Interesse.

### Stammdaten

Auf Basis eines Java-Servlets mit einer internet-basierten SQL-Datenbank wurde ein Stammdatenmodul aufgebaut. Die Beschreibung eines jeden Freibades wird über diese Anwendung ausgeführt. Dabei werden die wesentlichen Eckdaten der Becken und der Wasseraufbereitungsanlagen sowie die Roh- und Reinwasservolumenströme detailliert numerisch beschrieben.

Weiterhin werden hier alle Routinemessprogramme, inklusive der erforderlichen Parameter, Messverfahren, Einheiten und Probenentnahmestellen bzw. Messpunkte, definiert und abgebildet.

Es besteht zudem die Möglichkeit, Anlagendokumente, wie Zeichnungen, Bilder, Betriebs- und Arbeitsanleitungen, in den verschiedenen gängigen Datenformaten einzulesen.

In den Stammdaten werden sowohl die bäderspezifischen Schnittstellen und Eingabemasken der verschiedenen Datenbereiche, wie Betriebstagebuch, Hygieneüberwachung, limnologisches Monitoring sowie Mess- und Regelungsdaten, als auch Sondermessprogramme definiert.

### Datenverarbeitung

Jeder Betreiber erhält die für sein Freibad individuell spezifizierten Datenmasken zur Eingabe und Erfassung der anfal-

Anzeige



lenden Daten. Je nach Herkunft und Format der Daten kann die Dateneingabe auf unterschiedliche Weise erfolgen. Manuelle Eingaben können von jedem Ort über den Internet-Browser eines PCs oder eines Smartphones erfolgen. Auf diese Weise wird ein hohes Maß an Mobilität erreicht. Während der manuellen Eingabe werden Plausibilitätsabfragen durchgeführt, womit Fehleingaben reduziert werden können.

Weiterhin können über diese Plattform Daten auch digital eingelesen werden. Insbesondere besteht die Möglichkeit, Laboraten über die sog. TEIS-3.0-Schnittstelle im .xml-Format direkt einzulesen, sodass der Fehlerquotient manueller Eingaben weitestgehend minimiert werden kann.

Durch den Betreuungsservice wird eine Datenpflege und Qualitätssicherung im Hintergrund durchgeführt. Neben den Messdaten stellt die Datenbank den Anwendern aktuelle Datensätze bzgl. der Anlagendokumentation zur Verfügung. Dafür gibt es eine eigene grafische Abfrageoberfläche, in der verschiedene Parameter kombiniert und aktuell ausgewertet werden können.

Es können die Zugriffsmöglichkeiten auf das Datenbanksystem für die verschiedenen Akteure (Schwimmeister, Verwaltung, Labor, Gesundheitsamt) mit unterschiedlichen Rechten (Schreib-, Lese-, Download-Rechte) belegt werden. Die aktuellen Betriebszustände des Freibades werden somit für alle Beteiligten in Echtzeit transparent dargestellt.

## Umfang der Erhebungen

DANA wurde nach Fertigstellung des Systems zunächst mit allen vorhandenen Altdaten ab 2005 gespeist. Bis heute nutzen 30 öffentliche Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung das Datenbanksystem. Die Durchgängigkeit der Daten ist durchaus Schwankungen unterworfen. So ist es beispielsweise möglich, dass nach einem Personalwechsel eine Datenlücke klappt oder die Erfordernis der Datenpflege von einigen Be-

teiligten nur dann gesehen wird, wenn tatsächlich Probleme im Freibad auftreten und eine umfassende Ursachenforschung erforderlich wird. Erschwerend hinsichtlich einer repräsentativen Datenbasis ist, dass besonders problembehaftete Bäder an uns herantreten, um eine systematische Fehleranalyse durchführen zu können.

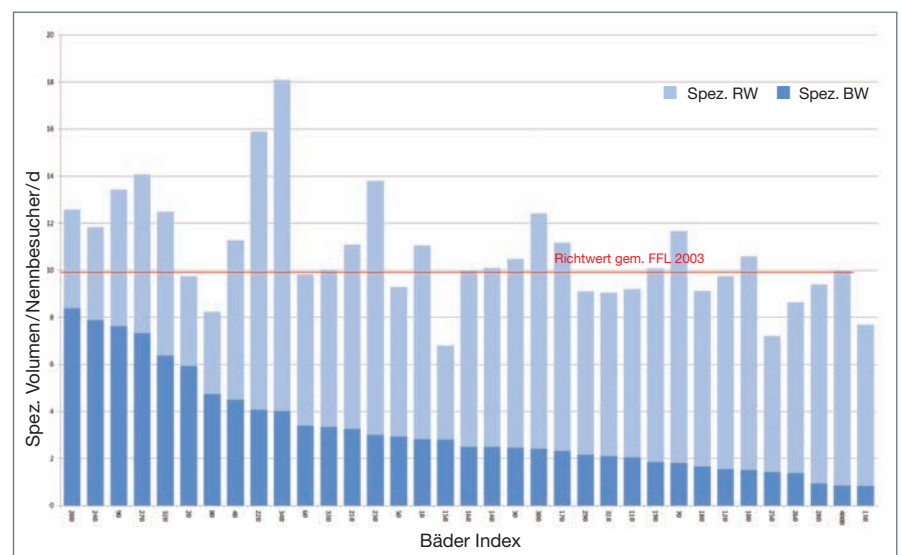
Die zugrunde liegenden Nenndaten der Bäder (siehe Abbildung 1) reichen von 0,9 bis zu 8,3 m<sup>3</sup> Beckenwasservolumen pro Badegast (spezifisches Beckenwasservolumen) und einem täglichen Reinwasservolumenstrom von 3,5 bis 14 m<sup>3</sup>/Badegast (spezifischer Reinwasservolumenstrom pro Tag), sodass ein sehr breites Spektrum von verschiedenen Bädertypen hinsichtlich der Nutzungsintensität abgebildet wird. Alle Bäder sind bis auf wenige Ausnahmen gemäß den „Empfehlungen für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von öffentlichen Schwimm- und Badeteichanlagen“ der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL), Bonn, aus dem Jahr 2003 ausgelegt worden.

## Daten der Hygieneüberwachung

Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung werden routinemäßig entspre-

chend den Empfehlungen des Umweltbundesamtes<sup>1)</sup> (UBA 2003) wöchentlich oder zweiwöchentlich durch die Gesundheitsämter bzw. durch akkreditierte Labore beprobt. Im Rahmen dieser Untersuchungen werden standardmäßig die mikrobiologischen Indikatorparameter *Escherichia coli*, intestinale Enterokokken und *Pseudomonas aeruginosa* untersucht. Darüber hinaus werden auch die chemischen Überwachungsparameter Phosphor als P<sub>ges</sub> und Nitrat sowie die physikalischen Parameter Sichttiefe und pH-Wert gemessen. Entsprechend den UBA-Empfehlungen sind Untersuchungen in allen Nutzungsbereichen des Beckenwassers vorgesehen.

Leider sind nach diesen Empfehlungen im Reinwasser nur dann Untersuchungen durchzuführen, wenn bereits Auffälligkeiten im Beckenwasser aufgetreten sind. Das führt dazu, dass die Probenanzahl im Reinwasser insgesamt deutlich geringer ausfällt. In der neuen Richtlinie der FLL aus dem Jahr 2011<sup>2)</sup> wird die routinemäßige Untersuchung des Reinwassers gefordert, wobei diese Maßgabe noch nicht von allen Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung umgesetzt wird.



■ Abbildung 1: Darstellung der spezifischen Reinwasservolumenströme und des spezifischen Beckenwasservolumens (Nennbesucher)

Spez. BW: Spezifisches Beckenwasservolumen

Spez. RW: Spezifischer Reinwasservolumenstrom

## Datenanzahl

Anzeige

| Parameter                              | Erhebungen pro Jahr |      |      |      |      |      |      |      |       |
|--|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|  | 2005                | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | Summe |
| Besucherzahl                           |                     |      |      | 105  | 101  | 22   | 8    | 3    | 239   |
| Pges-P [mg/l]                          | 158                 | 265  | 305  | 637  | 505  | 409  | 416  | 349  | 3044  |
| Pges.PO4 [mg/l]                        |                     |      |      | 93   | 68   | 59   | 74   | 62   | 356   |
| TOC [mg/l]                             | 4                   |      |      |      |      |      | 4    | 1    | 9     |
| Nitrit NO2 [mg/l]                      |                     |      |      | 15   | 1    | 2    | 1    |      | 19    |
| Nitrat NO3 [mg/l]                      | 18                  | 88   | 125  | 186  | 158  | 138  | 109  | 115  | 937   |
| gel. Sauerstoff [mg/l]                 |                     |      |      | 118  | 95   | 15   | 11   | 6    | 245   |
| Oxydierbarkeit                         |                     |      |      |      | 1    | 2    | 1    |      | 4     |
| Sauerstoff absolut [mg/l]              |                     |      | 16   | 20   | 58   | 55   | 33   | 25   | 207   |
| Luft Temperatur [°C]                   | 57                  | 59   | 52   | 106  | 128  | 94   | 76   | 12   | 584   |
| Wasser Temperatur [°C]                 | 57                  | 100  | 290  | 787  | 667  | 630  | 517  | 379  | 3427  |
| Sichttiefe [Secci]                     | 56                  | 77   | 89   | 366  | 424  | 265  | 210  | 175  | 1662  |
| Eisen [mg/l]                           | 7                   | 34   | 16   | 59   | 55   | 55   | 34   | 38   | 298   |
| CalciumCa [mg/l]                       | 5                   | 21   | 12   | 29   | 34   | 14   | 11   | 12   | 138   |
| Chlorid [mg/l]                         |                     |      |      |      | 1    | 1    |      |      | 2     |
| KaliumK [mg/l]                         |                     |      |      |      | 2    | 1    | 1    |      | 4     |
| Natrium [mg/l]                         |                     |      |      |      | 2    | 1    | 1    |      | 4     |
| Mangan [mg/l]                          | 6                   | 30   | 6    | 40   | 40   | 53   | 34   | 29   | 238   |
| Summe Erdalkalien [mmol/l]             |                     |      |      | 24   | 22   | 1    | 1    |      | 48    |
| Pseudomonas aeruginosa [KBE/100 ml]    | 271                 | 598  | 581  | 1091 | 973  | 770  | 662  | 527  | 5473  |
| Coliforme Bakterien [N/100ml]          | 98                  | 154  | 53   | 44   | 32   | 19   | 24   | 7    | 431   |
| Escherichia coli [KBE/100 ml]          | 212                 | 579  | 592  | 1117 | 960  | 781  | 677  | 526  | 5444  |
| KZ20                                   | 110                 | 120  | 120  | 134  | 35   | 27   | 21   | 19   | 586   |
| Intest. Enterokokki [KBE/100 ml]       | 272                 | 616  | 632  | 1138 | 955  | 781  | 674  | 523  | 5591  |
| Salmonella [n/100 ml]                  |                     | 8    |      | 4    |      |      |      |      | 12    |
| Vibrio vulnificus [KBE/100 ml]         |                     |      |      | 12   | 10   | 13   | 3    | 3    | 41    |
| Legionella pneumophila                 |                     |      |      | 10   | 1    | 1    |      |      | 12    |
| Säurebindkapazität bis pH 4,3 [mmol/l] |                     |      | 12   | 82   | 86   | 98   | 75   | 81   | 434   |
| Leitfähigkeit bei 25°C [µS/cm]         |                     |      | 18   | 84   | 129  | 68   | 90   | 107  | 496   |
| Leitfähigkeit bei 20°C [µS/cm]         |                     |      |      |      |      | 21   | 12   | 6    | 39    |
| pH-Value                               |                     | 57   | 200  | 590  | 590  | 517  | 445  | 324  | 2723  |

■ Tabelle 1: Datenanzahl DANA im Modul Hygieneüberwachung

**Daten der Mess- und Regeltechnik****Datenanzahl**

Täglich werden pro Bad ca. 3000 Datensätze aus der Mess- und Regeltechnik online ausgelesen und in das Datenbanksystem importiert. Hierzu zählen Sondenparameter wie Durchflussmengenmessungen sowie Wasser- und Lufttemperaturen als auch Pumpenlaufzeiten und Fehlermeldungen von Betriebsstörungen.

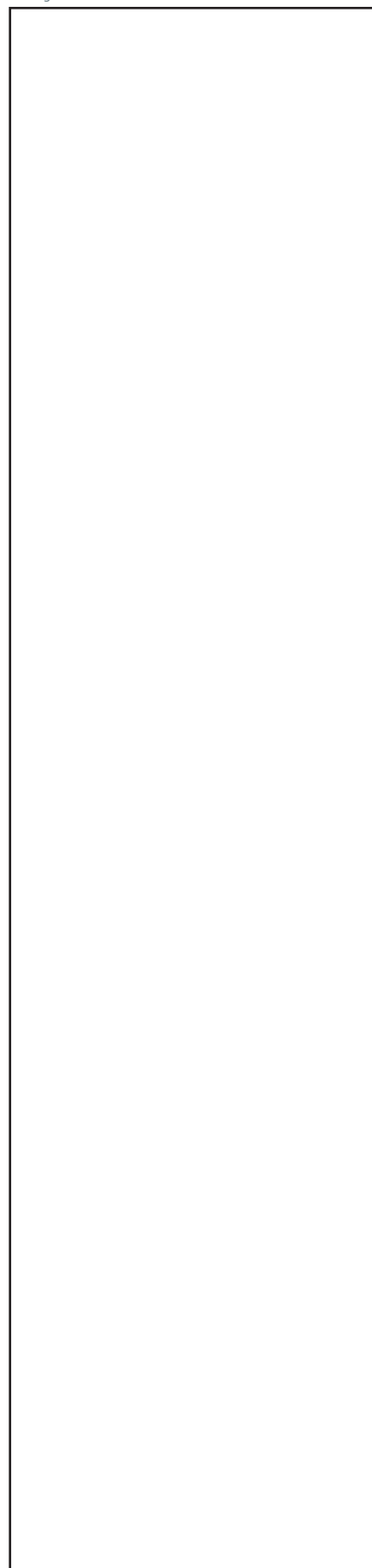
**Ergebnisse**

Die online-Datenübertragung ermöglicht eine Fernüberwachung der technischen Anlagenfunktionen. Eine Störung

wird in Dringlichkeiten von 1 bis 3 kategorisiert und läuft beim verantwortlichen Betriebsbetreuer auf.

**Daten aus dem Bäderbetrieb**

In diesem Modul werden alle betriebsrelevanten Parameter durch den Schwimmmeister und das Betriebspersonal manuell erfasst. Diese Daten sind bei Bedarf durch alle Projektbeteiligten bei Auffälligkeiten jederzeit einsehbar, sodass Störungen von allen Partnern analysiert und die erforderlichen Maßnahmen eingeleitet werden können.



## Datenanzahl

| Erhebung                                       | Erhebungen pro Jahr |       |       |       |       |       | Summe |
|--|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|  | 2007                | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  |       |
| Anlagenleistung [%]                            | 297                 | 901   | 1285  | 967   | 1075  | 1112  | 5637  |
| Anlagenleistung gestauter Substratfilter [%]   |                     |       |       | 356   | 234   | 294   | 884   |
| Anlagenleistung ungestauter Substratfilter [%] |                     |       |       | 356   | 234   | 297   | 887   |
| Personenaufwand [h]                            |                     | 94    | 68    | 36    |       |       | 198   |
| Biofilmwachstum                                |                     | 1     | 1906  | 2964  | 2831  | 2273  | 9975  |
| Badegastzahlen [Pers.]                         |                     | 293   | 271   | 220   | 249   | 261   | 1294  |
| Volumenstrom Reinwasser [m³/h]                 |                     |       |       | 119   | 115   |       | 234   |
| Volumenstrom Rohwasser [m³/h]                  |                     |       | 107   | 220   | 210   | 98    | 635   |
| Besondere Vorkommnisse                         |                     | 50    | 235   | 261   | 209   | 171   | 926   |
| Besucherzahl 1 [Pers.]                         | 1452                | 1738  | 1802  | 1535  | 1557  | 1680  | 9764  |
| Besucherzahl 2 [Pers.]                         | 6974                | 11851 | 14778 | 13730 | 14951 | 14560 | 76844 |
| Besucherzahl (Nichtmitglieder) [Pers.]         |                     |       |       | 59    | 118   | 146   | 323   |
| Betriebszeit Ozongenerator [h]                 |                     |       |       |       |       |       |       |
| Wasservogel [Anzahl]                           |                     |       | 29    |       |       | 53    | 82    |
| Betriebsstunden Solarabsorber [h]              |                     |       |       | 29    | 132   | 146   | 307   |
| Durchflussmesser 2 [m³/h]                      | 71                  | 153   | 146   |       |       |       | 370   |
| Fe [mg/l]                                      |                     | 170   | 247   | 10    |       |       | 427   |
| Entfernung von Algen [h]                       |                     | 135   | 117   | 108   | 113   | 115   | 588   |
| Fadenalgenaufkommen [halb quantitativ]         |                     |       | 2109  | 2964  | 2850  | 2317  | 10240 |
| Gebundenes Chlor [mg/l]                        |                     |       | 119   |       |       |       | 119   |
| Leitfähigkeit bei 25 °C [µS/cm]                |                     | 554   | 125   |       |       |       | 679   |
| Mangan [mg/l]                                  |                     | 170   | 253   | 9     |       |       | 432   |
| Luft Temperatur [°C]                           | 1146                | 2420  | 2549  | 2009  | 2796  | 2456  | 13376 |
| Sichttiefe (Secci) [m]                         | 2180                | 2647  | 3550  | 3607  | 3927  | 3425  | 19336 |
| Redoxpotential [mV]                            |                     |       | 377   |       |       |       | 377   |
| Niederschlag [mm]                              |                     |       | 1     | 22    | 17    | 6     | 46    |
| Nachspeisung Füllwasser [m³]                   | 492                 | 450   | 511   | 291   | 558   | 470   | 2772  |
| Wassertemperatur [°C]                          | 3247                | 5040  | 6311  | 6883  | 6549  | 6435  | 34465 |

■ Tabelle 2: Datenanzahl DANA im Modul Betriebstagebücher

### Daten aus dem limnologischen Betreuungsprogramm

Zusätzlich werden in 15 Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung limnologische

relevante Daten erfasst. Diese zusätzlichen Werte werden für die Ermittlung des IQ<sup>N3</sup> benötigt.

## Datenanzahl

| Parameter                          | Erhebungen pro Jahr |      |      |      |      |      |      | Summe |
|------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                    | 2006                | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |       |
| Pges.PO4 [mg/l]                    |                     |      |      |      | 11   |      |      | 11    |
| Pges-P [mg/l]                      | 3                   | 185  | 149  | 194  | 197  | 213  | 174  | 1115  |
| pH-Value                           |                     | 3    | 1    | 9    | 10   | 23   | 15   | 61    |
| Nitrat NO3 [mg/l]                  | 3                   | 183  | 146  | 176  | 167  | 210  | 173  | 1058  |
| Ammonium NH4 [mg/l]                | 3                   | 183  | 146  | 176  | 167  | 210  | 168  | 1053  |
| Calcium Ca [mg/l]                  |                     | 13   | 9    |      |      |      |      | 22    |
| Eisen [mg/l]                       |                     | 3    | 1    | 9    | 17   | 23   | 15   | 68    |
| Gesamthärte mmol [mmol/l]          | 3                   | 183  | 136  | 173  | 167  | 195  | 130  | 987   |
| Leitfähigkeit bei 25°C [µS/cm]     |                     | 3    | 1    | 9    | 10   | 23   | 95   | 141   |
| Magnesium [mg/l]                   |                     | 13   | 9    |      |      |      |      | 22    |
| Mangan [mg/l]                      |                     | 3    | 1    | 9    | 17   | 23   | 15   | 68    |
| Säurekapazität bis pH 4,3 [mmol/l] | 3                   | 183  | 146  | 173  | 167  | 210  | 173  | 1055  |

■ Tabelle 3: Stand der Datenerhebung DANA, Modul Limnologie

Neben den chemischen Parametern gemäß Tabelle 3 werden weitere limnologische Parameter wie Phyto- und Zooplanktonmessungen 4- bis 6-mal jährlich durchgeführt und halbquantitativ ausgewertet.

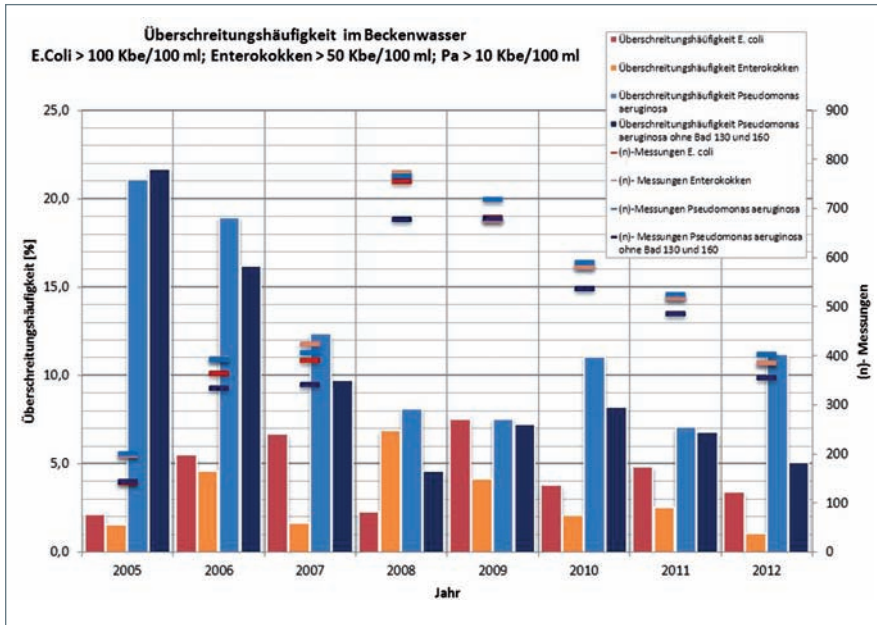
### Ergebnisse

Die Daten bzgl. des Phyto- und Zooplanktonvorkommens sowie deren Filtrationsleistungen wurden bereits in AB Archiv für das Badewesen<sup>4) 5)</sup> veröffentlicht. Weitere Einzelveröffentlichungen aus diesem Block sollen folgen.

### Ergebnisauswertung der Hygieneüberwachung

Die Überschreitungshäufigkeiten für *Escherichia coli* (in der Abbildung 2 in rot) liegen in den Jahren 2005 bis 2007 zwischen 2,1 und 7,5 %. Der Mittelwert der Überschreitungshäufigkeiten liegt bei 4,5 %. Die weitergehende Ursachenforschung ergab, dass eine deutliche Grenzwertüberschreitung von *E. coli* im Beckenwasser in den meisten Fällen auf einen Eintrag durch Tiere zurückzuführen war (Wasservogel, Marder, Waschbär etc.). Nur in wenigen Fällen ließ sich eine Kontamination direkt auf einen Fäkalienbeitrag durch den Menschen zurückführen (z. B. „Windelunfall“). Bei beiden genannten Ursachen traten jeweils massive Grenzwertüberschreitungen, teilweise an mehreren Messstellen gleichzeitig, im Beckenwasser auf. Das Ermitteln und Abstellen der Eintragsquellen führte in der Regel zu einem schnellen Abfall der Nachweiswerte.

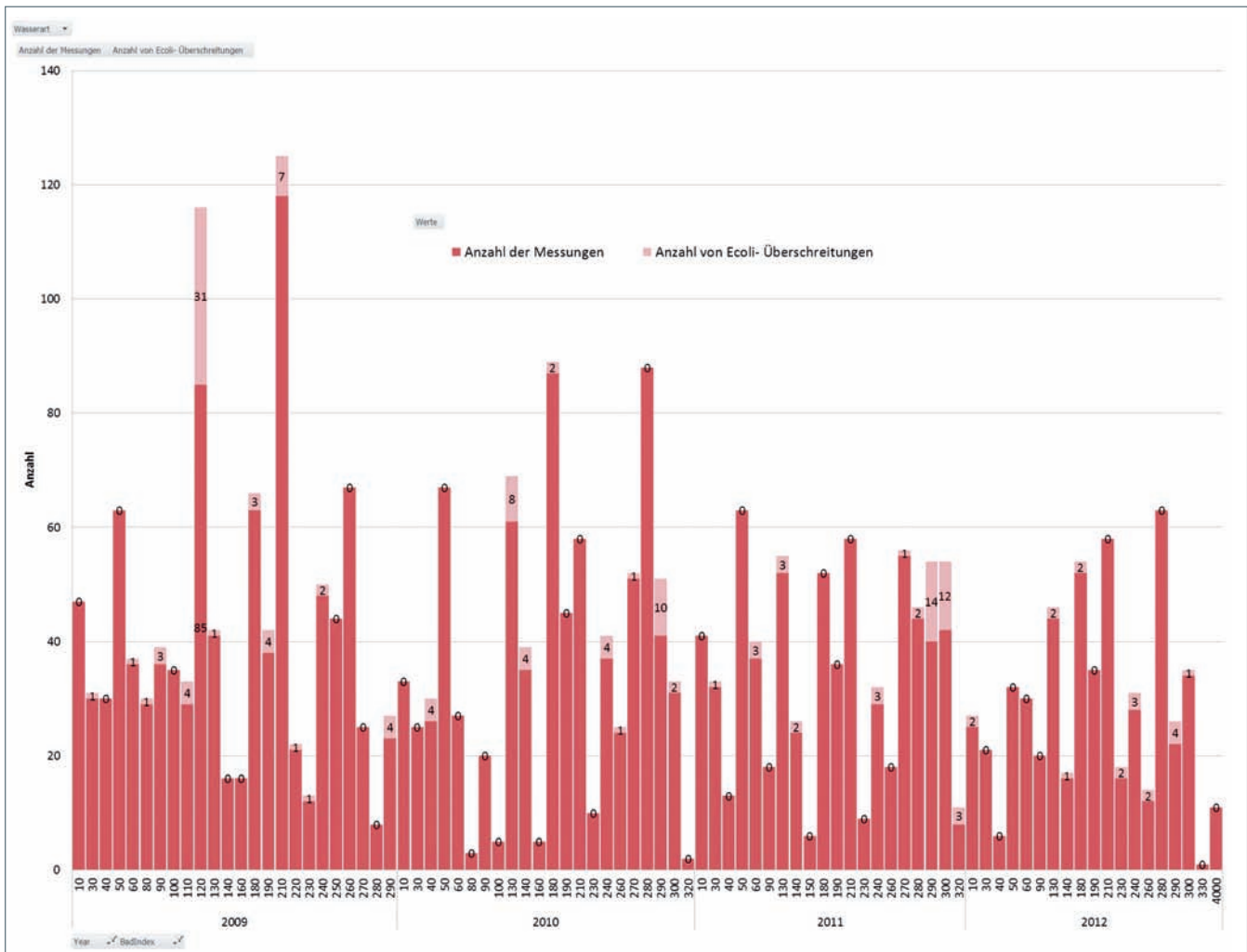
Das Freibad 120 in Abbildung 3 ist ein Strandbad, das sich in einem wasser- vogelreichen Einzugsgebiet im innerstädtischen Bereich befindet. Dabei handelt es sich um den Teilabschnitt eines Flussbettes mit langgezogenen natürlichen Uferabschnitten und großen Strandbereichen. Die Belastungen mit *E. coli* sind hier im Wesentlichen auf die Einwaschungen von Wasservogelkot über den Strand zu erklären. Seit 2010 wurden durch den Betreiber keine weiteren Daten eingepflegt.



■ **Abbildung 2:** Hygieneanalysen des Beckenwassers aus 30 Bädern mit biologischer Wasseraufbereitung von 2005 bis 2012

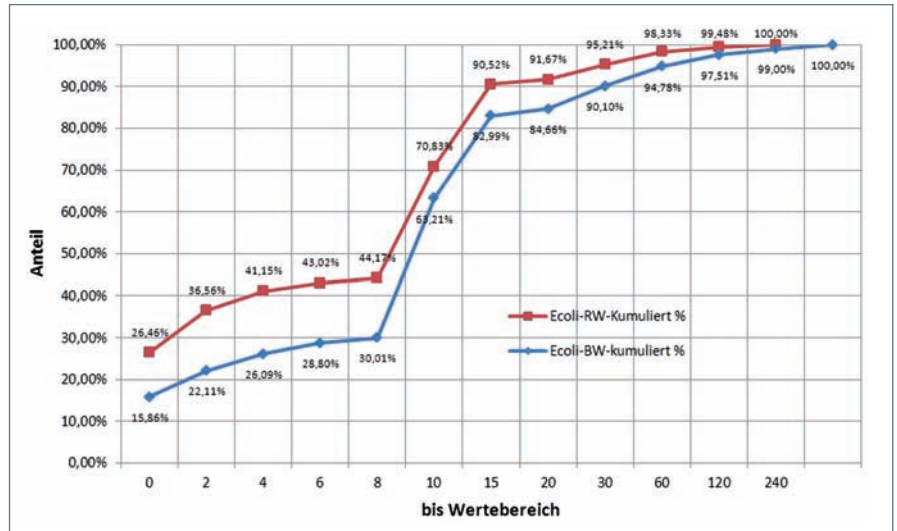
Abbildung 4 zeigt die Häufigkeitsverteilung der vorgefundenen *E. coli*-Konzentrationen im Beckenwasser und im Reinwasser. 26,46 % aller Werte im Reinwasser bzw. 15,86 % im Beckenwasser sind ohne Befund. Der starke Anstieg bei 10 und 15 KBE/100 ml liegt daran, dass einige Labore Werte < 10 bzw. < 15 als untersten Anzeigewert ausgeben. Die Werte < 10 bzw. < 15 werden = 10 bzw. = 15 gesetzt. 2,49 % aller Werte im Beckenwasser bzw. 0,52 % im Reinwasser liegen oberhalb von 120 KBE/100 ml. 1 % aller Werte des Beckenwassers bzw. 0 % des Reinwassers liegen oberhalb von 240 KBE/100 ml.

Die Überschreitungshäufigkeiten für Enterokokken (in Abbildung 2 in orange) liegen in den Jahren 2005 bis 2012 zwi-



■ **Abbildung 3:** Häufigkeiten von *E. coli*-Messungen und -Überschreitungen in einzelnen Bädern in den Jahren 2009 - 2012

Anzeige



■ Abbildung 4: Verteilungshäufigkeit der E. coli-Konzentrationen ohne Bad 120 über die Jahre 2005 bis 2012

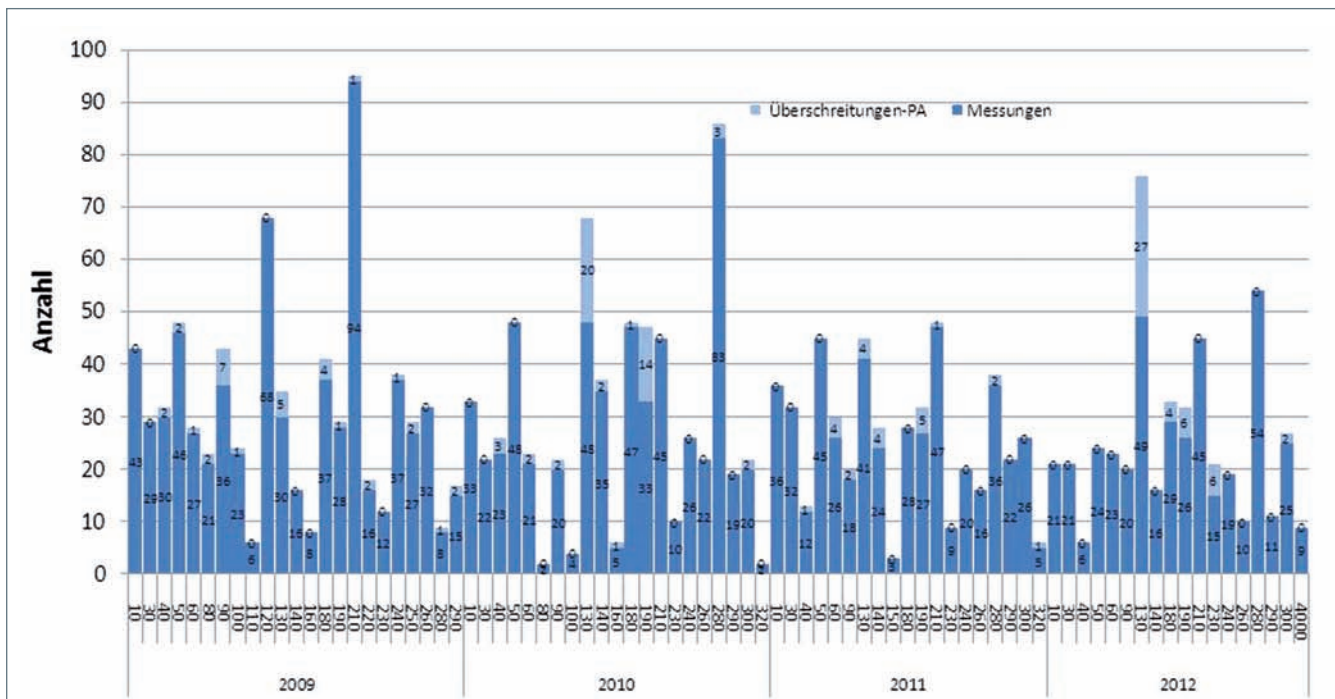
schen 1,0 und 6,8 %. Der Mittelwert der Überschreitungshäufigkeiten liegt bei 3,0 %. Die Ursachenforschung bzgl. der Überschreitung bei Enterokokken ergab dasselbe Bild wie bei den Überschreitungen von *E. coli*. Insbesondere bei Kontamination durch anwesende Tiere erfolgte der Anstieg der Enterokokken-Belastung in der Regel zeitversetzt zu den *E. coli*-Belastungen innerhalb von eins bis drei Tagen.

Die Überschreitungshäufigkeiten bei *Pseudomonas aeruginosa* (in Abbildung 2 in hell-blau) fallen in den Jahren von 2005 bis 2008 deutlich ab. Dies ist im Wesentlichen auf die Veränderung des Messverfahrens bzw. auf die Sensibilisierung der Labore zurückzuführen. Vergleicht man diese Werte in den Jahren 2005 und 2006 mit dem Jahr 2008, so kann bei einer vorsichtigen Schätzung davon ausgegangen werden, dass die falsch-positiven Messungen bei mindestens 60 % lagen. Die Problematik falsch-positiver Befunde für diesen Parameter nach der DIN EN 12 780 wurde auch in Untersuchungen des Niedersächsischen Landesgesundheitsamtes<sup>6)</sup> offenkundig.

In den Jahren 2008 bis 2012 liegen die Überschreitungshäufigkeiten zwischen 7,0 und 11,2 %. Der Mittelwert der Überschreitungshäufigkeiten liegt bei 8,9 %.

Da die Überschreitungen nach 2007 im Wesentlichen in zwei Bädern ausgelöst wurden, deren Ursachen zwischenzeitlich aber behoben sind, wurde diese Auswertung ergänzend mit 28 Bädern wiederholt (in Abbildung 2 in dunkel-blau). In dieser Auswertung liegen die Überschreitungshäufigkeiten in den Jahren 2008 bis 2012 zwischen 4,5 und 8,2 %. Der Mittelwert der Überschreitungshäufigkeiten liegt bei 6,3 %.

Die Ursachenforschung bzgl. der Überschreitungen von *Pseudomonas aeruginosa* ist trotz intensiver Bemühungen nach wie vor schwierig. In erster Näherung gehen wir davon aus, dass deutliche Grenzwertüberschreitungen zu ca. 50 % durch Stagnationen in Rohrleitungen und weitere 50 % durch nah am Beckenrand befindliche Dauernassflächen zu erklären sind. Geringere Grenzwertüberschreitungen bis 100 KBE/100 ml ließen sich in der Regel auf keine konkrete Ursache zurückführen. Wir gehen derzeit davon aus, dass es sich in diesen Fällen aufgrund des ubiquitären (überall verbreiteten; Anmerkung der Redaktion) Vorkommens von *Pseudomonas aeruginosa* um ein natürliches „Hintergrundschwingen“ handelt, bzw. dass in Einzelfällen weiterhin Fehlbestimmungen vorliegen.



■ Abbildung 5: Häufigkeiten von *Pseudomonas aeruginosa*-Messungen und -Überschreitungen in einzelnen Bädern in den Jahren 2009 bis 2012  
PA: *Pseudomonas aeruginosa*

Abbildung 5 zeigt, dass *Pseudomonas aeruginosa* in Bädern wie beispielsweise in Bad 10 oder 30 bisher praktisch nicht vorkommt oder nicht nachgewiesen worden ist, während er in den anderen Bädern mit einer Überschreitungshäufigkeit von 0 bis 10 % auftritt. Auffallend ist die Häufigkeit von Grenzwertüberschreitungen in Bad 130 in den Jahren 2010 und 2012. In den Messungen 2013 lag für dieses Freibad bisher keine Grenzwertüberschreitung vor (siehe Abbildung 6), da die Eintragsquelle ermittelt und behoben werden konnte.

Der Eintrag erfolgte mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit über eine Reinwasserleitung, die nur im Hochlastfall durchströmt wurde. Während der Standzeiten bildeten sich in dieser Rohrleitung Sedimente verbunden mit einer zunehmenden Sauerstoffzehrung. Diese Sedimente wurden bei Wiederinbetriebnahme von der Rohrsohle verdriftet und in den Nutzungsbereich eingetragen, wo dann der positive Nachweis für *Pseudomonas aeruginosa* erfolgte. Es ist zu vermuten, dass *Pseudomonas aeruginosa* aufgrund seines fakultativ-anaer-

oben Vorkommens, in Rohrleitungen mit länger andauernden Standzeiten und einer dadurch bedingten wechselnden Sauerstoffversorgung, einen Wachstumsvorteil gegenüber anderen Mikroorganismen besitzt.

Der Betriebsfehler in der genannten Anlage konnte bis zum Betriebsjahr 2012 im Rahmen des Bädermonitorings aufgedeckt und gemeinsam mit dem Betreiber behoben werden.

Anzeige



Abbildung 7 zeigt die Verteilung der vorgefundenen Konzentrationen von *Pseudomonas aeruginosa* für Reinwasser und Beckenwasser. Bis zu einem Nachweis von 10 KBE/100 ml steigen die Grafen relativ steil auf 96,6 % im Beckenwasser bzw. 91,2 % im Reinwasser an. Das bedeutet, dass 3,4 % (Reinwasser) bzw. 8,8 % (Beckenwasser) oberhalb des Wertebereiches 0 - 10 KBE/100 ml liegen. 69,57 % (Beckenwasser) bzw. 82,35 % (Reinwasser) aller Befunde sind positiv. Daraus ergibt sich, dass 30,43 % (Beckenwasser) bzw. 17,65 % (Reinwasser) aller Befunde negativ sind.

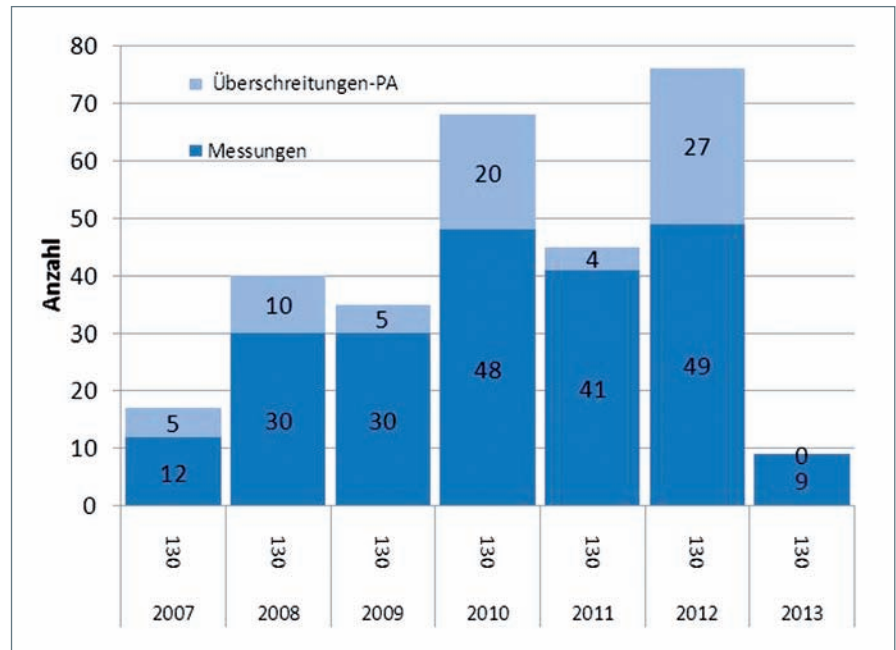
Werte größer 100 KBE/100 ml traten jedoch nur mit einer Häufigkeit von 1,23 % (Beckenwasser) bzw. 0,13 % (Reinwasser) auf. Dieser Wert sollte aus unserer Sicht für eine Risikoanalyse herangezogen werden, da auch von der WHO<sup>7)</sup> 100 KBE/100 ml als Risikowert kommuniziert wird. Niedersachsen ist derzeit das einzige Bundesland in Deutschland, das 100 KBE/100 ml für *Pseudomonas aeruginosa* als Grenzwert in einem Erlass<sup>8)</sup> den Überwachungsbehörden verbindlich vorgegeben hat. Das Saarland folgt ebenfalls diesem Erlass, wenn auch dort bislang keine eigenen Vorschriften formuliert worden sind.

## Daten aus Sondererhebungen

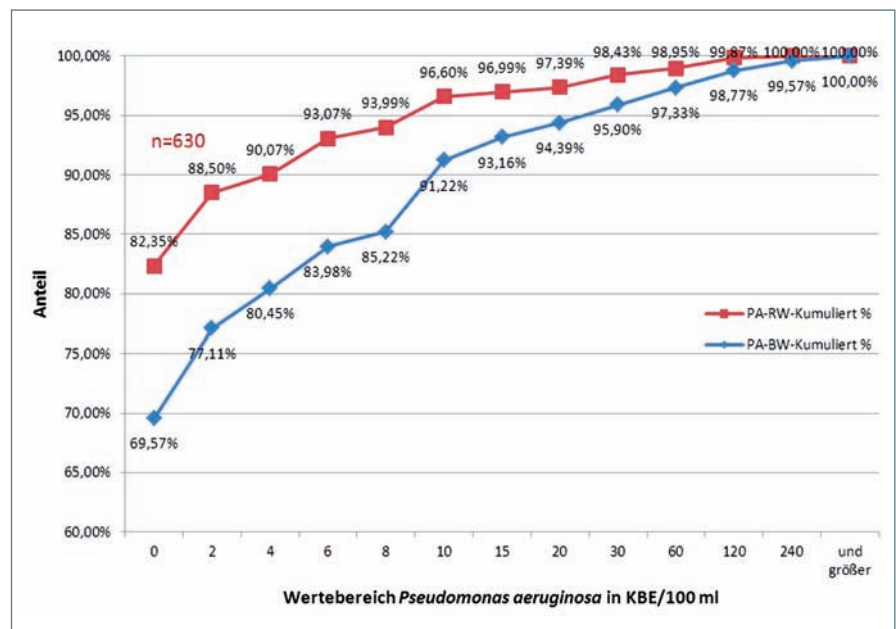
### Abbauversuche an Filtersäulen zur Simulation nicht überstauter Bodenfilter

#### Anlass

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Untersuchung und Evaluation der Hygienestabilität in Naturfreibädern“ – Kooperationsprojekt KF 0092402MD5, Laufzeit: 01.10.2005 - 31.03.2007, gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Antragsteller: Polyplan GmbH, Bremen, Kooperationspartner: ttz Bremerhaven, und Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik (ISAH) der Universität Hannover – wurden neben anderen Untersuchungen die Abbauleistungen von nicht überstauten Substratfiltern bestimmt. Diese Versuche wurden



■ Abbildung 6: Entwicklung der *Pseudomonas aeruginosa*-Überschreitungshäufigkeit an Bad 130



■ Abbildung 7: Verteilungshäufigkeit der *Pseudomonas aeruginosa*-Konzentrationen der Analysen von 2008 bis 2012

an einem eigens dafür entwickelten Versuchsstand realisiert, sodass definierte Zu- und Ablaufbedingungen eingestellt werden konnten.

#### Methodik

Um festzustellen, wie verschiedene variierende hygienische und hydraulische Situationen die Gesamteliminationsleistung von Bakterien und Viren im Filter-

system beeinflussen, wurden mehrere Versuchsreihen im Versuchsstand durchgeführt. Äußere Faktoren, welche die Versuchsergebnisse im Freiland verfälscht hätten, konnten im Versuchsstand gezielt kontrolliert werden. Da der Einsatz pathogener Bakterien und Viren nur unter strengen Sicherheitsvorkehrungen zugelassen ist, wurden für die Versuche als Modellorganismen *Escherichia*



*coli* (für Bakterien) und Coliphagen (für Viren) verwendet. Die Versuche wurden für Filtersäulen mit einer Mächtigkeit von 0,8, 1,2 und 1,7 m durchgeführt. Um zu überprüfen, ob die Substratfilter die Zulaufkonzentration an Coliphagen und *E. coli* wirklich eliminieren und nicht im Ablauf verzögern, wurde jede Versuchsanordnung in Zeitreihen über jeweils sechs Stunden durchgeführt.

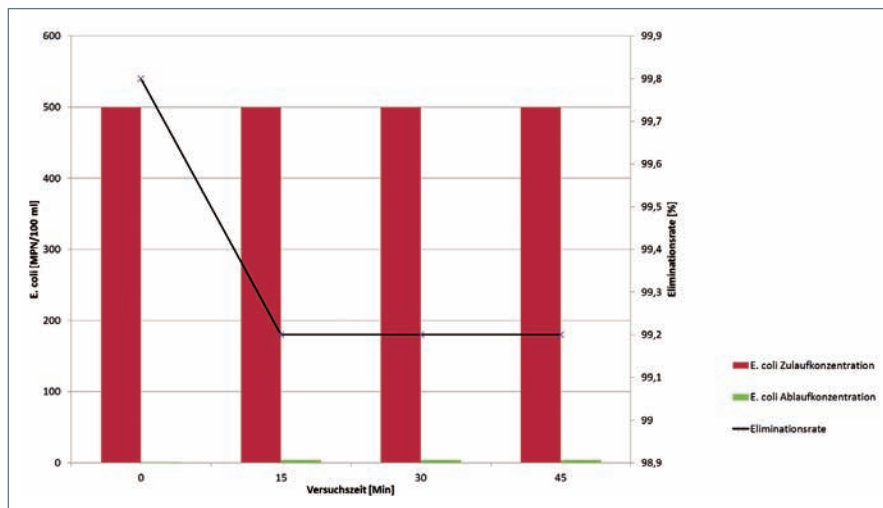
**Ergebnis bzgl. des Indikatororganismus *E. coli***

Insgesamt konnte bei allen Kurzzeitversuchen zur Eliminationsleistung des untersuchten Bodenfilters bzgl. *E. coli* festgestellt werden, dass trotz variierender hydraulischer Belastungen und Filterhöhen Eliminationsleistungen von 96 bis 100 % erreicht werden konnten (siehe Abbildung 9). Auch die Langzeitversuche über sechs Stunden konnten diese Leistung bestätigen.

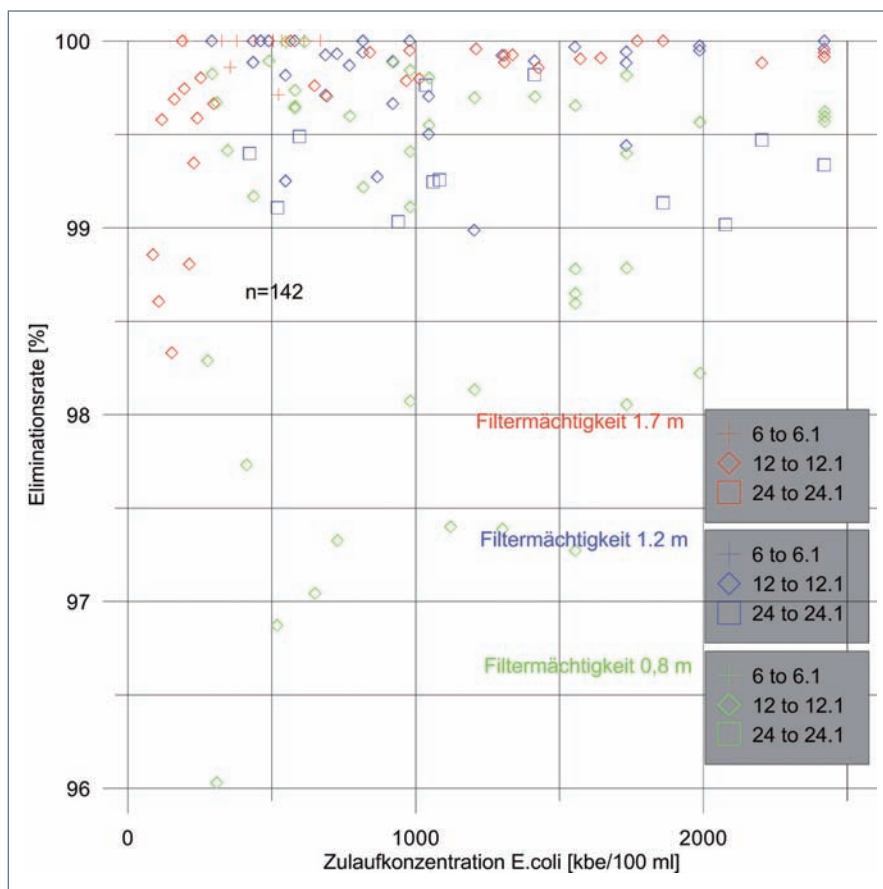
Insgesamt fallen die Eliminationsleistungen der VersuchsfILTER mit abnehmender wirksamer Schichtdicke des Substratfilters. Bei Filtermächtigkeiten von 0,8 m zeigen sich bereits tendenziell verringerte Abbauleistungen insbesondere bei höheren Zulaufkonzentrationen. Dieses Verhalten spricht für einen teilweisen Durchbruch.

Bei Substratfiltern mit Mächtigkeiten ab 1,2 m tritt diese Erscheinung nicht mehr auf. Bei 1,7 m Substratfiltermächtigkeit werden nahezu immer Eliminationsraten von 3 Log-Stufen und höher erreicht. Im Zusammenhang eines Substratfiltereinsatzes in einem Bad mit biologischer Wasseraufbereitung tritt die im Versuch gewählte Zulaufkonzentration an *E. coli* nur bei ca. 0,2 % aller Werte auf. Ca. 98 % aller Analysenbefunde aus dem realen Hygieneüberwachungsprogramm der Freibäder mit biologischer Wasseraufbereitung liegen unterhalb eines Wertebereiches von 240 MPN/100 ml (MPN = KBE).

Bei aufbauenden Kurzzeitversuchen wurden in regelmäßigen Zeitabständen alle



■ Abbildung 8: Eliminationsleistung des Bodenfilters hinsichtlich *E. coli* im Kurzzeitversuch



■ Abbildung 9: Eliminationsraten bezogen auf *E. coli* in Abhängigkeit der Zulaufkonzentration an einem nicht überstauten Substratfilter mit 0,8, 1,2 und 1,7 m Filtermächtigkeit und einer Beschickungshöhe  $Q = 6, 12$  und  $24 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$

15 Minuten die Ablaufkonzentrationen für *E. coli* bei konstanter hydraulischer Beschickungslast und konstanter Zulaufkonzentration des Indikatororganismus ermittelt (siehe Abbildung 8).

Der Substratfilter mit einer Mächtigkeit von 1,2 m und einer konstanten Beschickungsleistung von  $12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  wies Eliminationsraten von 2 Log-Stufen auf. Auch der Zeitreihenversuch weist ähnliche Ergebnisse auf. In Abbildung 9

wurden die Eliminationsraten in Abhängigkeit der Zulaufkonzentrationen abgebildet.

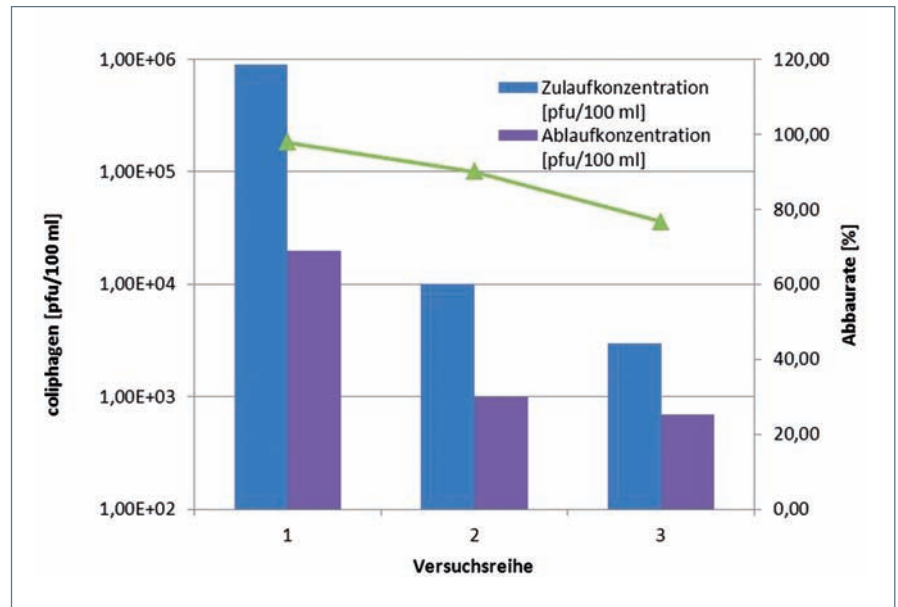
Die Abbildung 9 zeigt alle erhobenen Daten aus diesem Messprogramm. Die Daten wurden gestaffelt nach den Filtermächtigkeiten 0,8, 1,2 und 1,7 m (Farben: grün, blau, rot) und den Beschickungslasten 6, 12 und 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d (Formen: Kreuz, Rombe, Rechteck) abgebildet. Es zeigt sich hierbei folgendes Phänomen: Die Eliminationsleistung des Substratfilters mit 0,8 m Dicke ist am geringsten. Die Eliminationsrate liegt oftmals unter 2 Log-Stufen, entsprechend unter 99 %.

Der Substratfilter mit 1,2 m Mächtigkeit wurde mit 12 und 24 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d Beschickungslast betrieben. Hier werden stets 2 Log-Stufen Eliminationsrate erreicht bzw. überschritten (entsprechend >99 % Eliminationsrate). Es zeigen sich allerdings deutlich geringere Ablaufkonzentrationen bei der geringeren Beschickungshöhe von 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d.

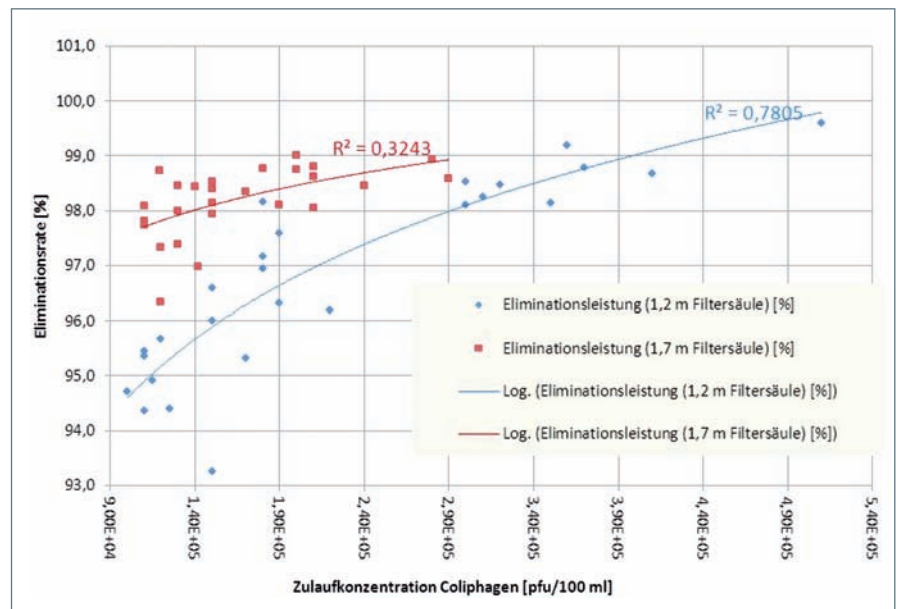
Der Substratfilter mit 1,7 m Mächtigkeit wurde mit 6 und 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d Beschickungslast betrieben. Hier werden in der Regel 2-3 Log-Stufen Eliminationsrate erreicht bzw. überschritten, entsprechend einer Eliminationsrate im Bereich zwischen 99 und 99,9 %.

*Ergebnis bzgl. des Indikatororganismus Coliphagen*

Im Ablauf des untersuchten Bodenfilters lagen die geringsten Coliphagenkonzentrationen bei 7\*10<sup>2</sup> pfu/100 ml (pfu: plaque forming units) und die höch-



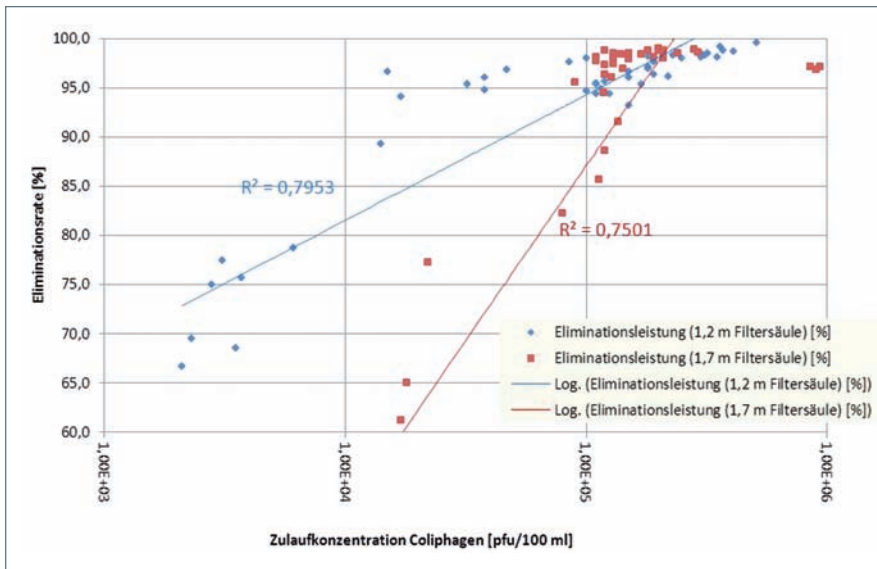
■ Abbildung 10: Ergebnis der Einzelversuche zur Coliphagen-Abbauleistung in Abhängigkeit unterschiedlicher Zulaufkonzentrationen



■ Abbildung 11: Eliminationsraten bezogen auf Coliphagen in Abhängigkeit der Zulaufkonzentration an einem nicht überstauten Substratfilter mit 1,2 und 1,7 m Filtermächtigkeit und einer hydraulischen Beschickungslast Q = 12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d; Datensätze im Bereich 1\*10<sup>5</sup> bis 5,5\*10<sup>5</sup> [pfu/100 ml]

Anzeige





■ Abbildung 12: Eliminationsraten bezogen auf Coliphagen in Abhängigkeit der Zulaufkonzentration an einem nicht überstauten Substratfilter mit 1,2 und 1,7 m Filtermächtigkeit und einer hydraulischen Beschickungslast  $Q = 12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$

ten bei etwa  $10^4$  pfu/100 ml. Hohe Zulaufkonzentrationen von  $5 \cdot 10^4$  pfu/100 ml bis  $9 \cdot 10^5$  pfu/100 ml führten unabhängig von den in den durchgeführten Versuchsreihen eingestellten hydraulischen Belastungen zu hohen Eliminationsleistungen von 90 bis 98 %, entsprechend 1 bis 2 Log-Stufen (siehe Abbildungen 10 und 11).

Bei Coliphagen-Zulaufkonzentrationen  $< 3,5 \cdot 10^3$  pfu/100 ml wurden dagegen deutlich geringere Eliminationsleistungen von nur noch 65 bis etwa 77 % ermittelt (vgl. Abbildung 10). Trotz zwischenzeitlich eingestellter geringer Zulaufkonzentrationen von weniger als  $1 \cdot 10^3$  pfu/100 ml, einer Filtermächtigkeit von 1,7 m und einer hydraulischen Belastung von  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  lagen die Ablaufkonzentrationen nie unter  $7 \cdot 10^2$  pfu/100 ml (siehe Abbildung 12).

### Zusammenfassung

Es konnte festgestellt werden, dass ab einer Zulaufkonzentration von  $1 \cdot 10^4$  pfu/100 ml Coliphagen die Eliminationsrate in nicht überstauten Substratfiltern (Definition gemäß FLL 2011)  $\geq 1$  Log-Stufe entspricht. Mit zunehmender Zulaufkonzentration steigt die Eliminationsrate auf 2 Log-Stufen an. Geringe-

re Zulaufkonzentrationen im Bereich von  $1 \cdot 10^3$  bis  $1 \cdot 10^4$  weisen oftmals Eliminationsraten von unter 1 Log-Stufe auf.

Wenn man sich auf das in der Literatur angegebene Verhältnis von Virus zu Coliphage von 1:1000 stützt, würde dies bedeuten, dass bei einer Zulaufkonzentration von  $1 \cdot 10^4$  eine Virenkonzentration von 10 pfu/100 ml vorliegt. Oberhalb dieser Virenkonzentration wäre demnach mit einem Abbau 1 Log-Stufe zu rechnen.

Daher erscheint der Ansatz von 1 Log-Stufe für die Berechnung gemäß FLL-Richtlinie auch vor dem Hintergrund der Virologie als angebracht.

### Quellenangaben

- 1) Empfehlung des Umweltbundesamtes (2003): Hygienische Anforderungen an Kleinbadebecken (künstliche Schwimm- und Badeteichanlagen). Hrsg.: Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschungs-Gesundheitsschutz 2003 (46: 527 - 529)
- 2) Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschafts-

bau e. V. (2011): Empfehlungen für Planung, Bau, Instandhaltung und Betrieb von Freibädern mit biologischer Wasseraufbereitung

- 3) Der Index für die Qualität von Naturfreibädern, das IQ<sup>N</sup>-Gütesiegel, wird von der Deutschen Gesellschaft für naturnahe Badegewässer e. V., München, vergeben.
- 4) I. Eydelor u. J. Spieker, Keimelimination durch Zooplankton. In: AB Archiv des Badewesens 03/2010, S. 167 - 175
- 5) S. Bruns u. A. Wunderlich, Herleitung einer neuen Berechnungsmethode zur Ermittlung der Nennbesucherzahl. In: AB Archiv des Badewesens 05/2010, S. 279 - 289
- 6) E.-A. Heinemeier u. K. Luden, Probleme bei der Anwendung der DIN EN 12 780 zum Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa* aus Schwimmteichen und Oberflächengewässern. Hrsg.: Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschungs-Gesundheitsschutz 3/2009 (52: 345-351)
- 7) WHO, Guidelines for safe recreational water environments. 2006
- 8) Anlage 1 zum Runderlass des Niedersächsischen Ministeriums für Frauen, Arbeit und Soziales: Vorgehen bei erhöhten Messwerten von *Pseudomonas aeruginosa* (Az.: 401.1 5-41504/3/4/4 vom 08.05.2007)

Abb. 12  
oder

Abb. 10