

waves of enthusiasm
since 1995

Die Hygiene in Pools

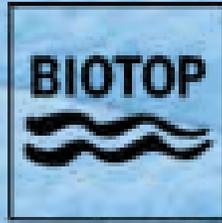
von 100 Jahren Chlordesinfektion zu einer
biologischen Zukunft

Dr. Jakob Schelker

Biotop P&P International GmbH

Themen & Fragen

- Historischer Hintergrund – Die Entdeckung des Chlors und seiner Wirkung
- Wie kam es zum ersten Chlorpool?
- Wie schädlich ist Chlor? Wie ist der Wissensstand?
- Wie können pathogene Bakterien biologisch entfernt werden?
- Zukünftigen Herausforderungen für Schwimmteiche und Naturpools:
Wassertemperatur!
- Die gute Nachricht zum Schluss



waves of enthusiasm
since 1995

Historischer Hintergrund – Die Entdeckung des Chlors und seiner Wirkung

Was ist Chlor?



- ab 1808 als chemisches Element bekannt (Humphry Davy)
- hochreaktiv mit fast allen Materialien
- kaum reaktionsfreudig, wenn es als Chlorid-Anion (Cl_2) vorliegt
 - Natriumchlorid (NaCl)

Die Entdeckung des Chlors und seiner Wirkung

Die Entdeckung der Wirkung des Chlors

- Bleichmittel: (Eau de Javel, 1792) und Chlorkalk (1799)
 - Beschreibung der desinfizierenden Wirkung ab 1845 in Wien und 1867 in London
 - Erste Versuche für die Trinkwasserversorgung 1892 in Hamburg DE und 1897 in Maidstone, UK.
- Keimtötende Wirkung von Chlor für Wasser ab ~1900 allgemein bekannt

Medizinische Forschung von 1840-1910

- **Ignaz Semmelweis** (1847) Chlorkalk zur Handreinigung
- **John Snow** (1849) Cholera durch Erreger im Trinkwasser
- **Joseph Lister** (1867) „antiseptische Chirurgie“
- **Louis Pasteur** (1881) Forschung zur Desinfektion und Impfung
- **Robert Koch** Entdeckung des Erregers der Tuberkulose (1882) und der Cholera (1885)

→ Infektionen sind in vielen Fällen noch ein Todesurteil!



Ignaz Semmelweis

Zeitgeist um ~1900

- *Belle Époque*
- Enormer technischer und kultureller Fortschritt

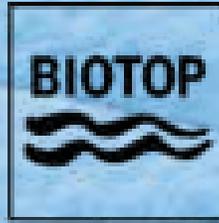


- **Cholera-Epidemie 1892 in Hamburg**

- 16.956 Erkrankte
- 8.605 verstorben!



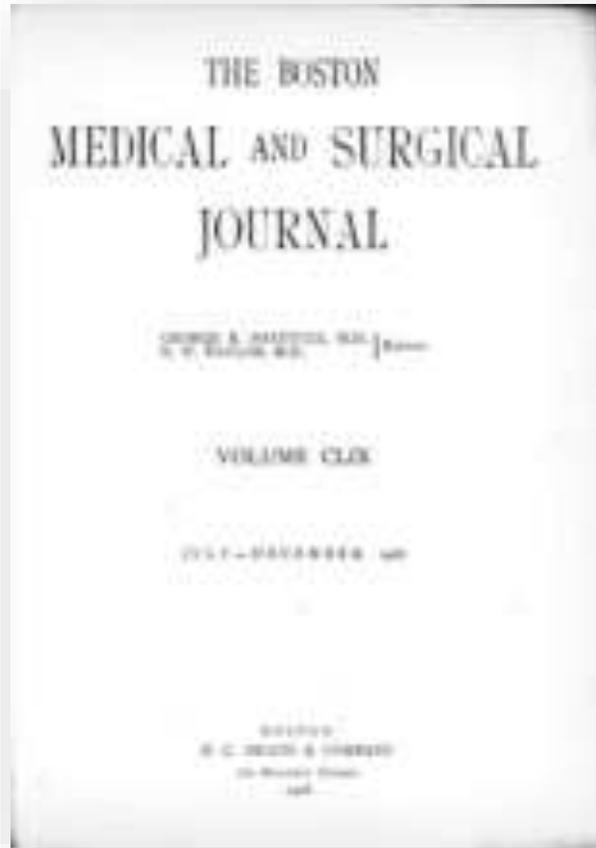
→ **Moderne Zeiten, aber dennoch viele Seuchen**



waves of enthusiasm
since 1995

Wie kam es zum ersten Chlorpool?

Der Erste Chlorpool



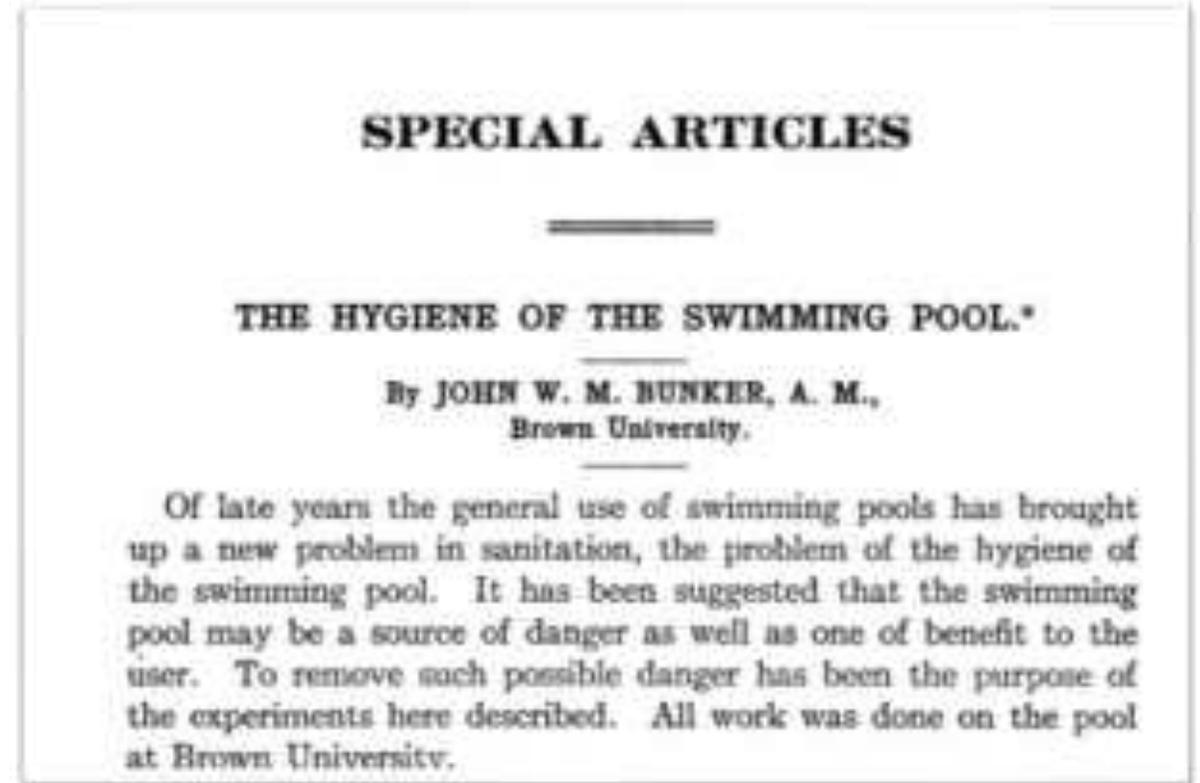
Carolus Cobb (1908) zum Schwimmen in Pools:

„Das Sonderbare ist nicht, dass sich die Menschen mit diesem verunreinigten Wasser die Nase, Hals und die Ohren infizieren, sondern dass sie darauf bestehen, ihre Köpfe unter Wasser zu halten.“

→ Infektionen beim Schwimmen an der Tagesordnung!

Der Erste Chlorpool

- **John Bunker** experimentiert an der Brown University (Rhode Island) mit Poolwasser und Chlorkalk:
- 2L Flaschen
- Ganzer Pool



→ Erster Chlorpool geht **1909** in Betrieb

Der Erste Chlorpool



Der Erste Chlorpool

Pool bleibt bis in die 1940er
in Betrieb

→ Chlor setzt sich als ultimative
Desinfektionsmethode für
Pools durch!

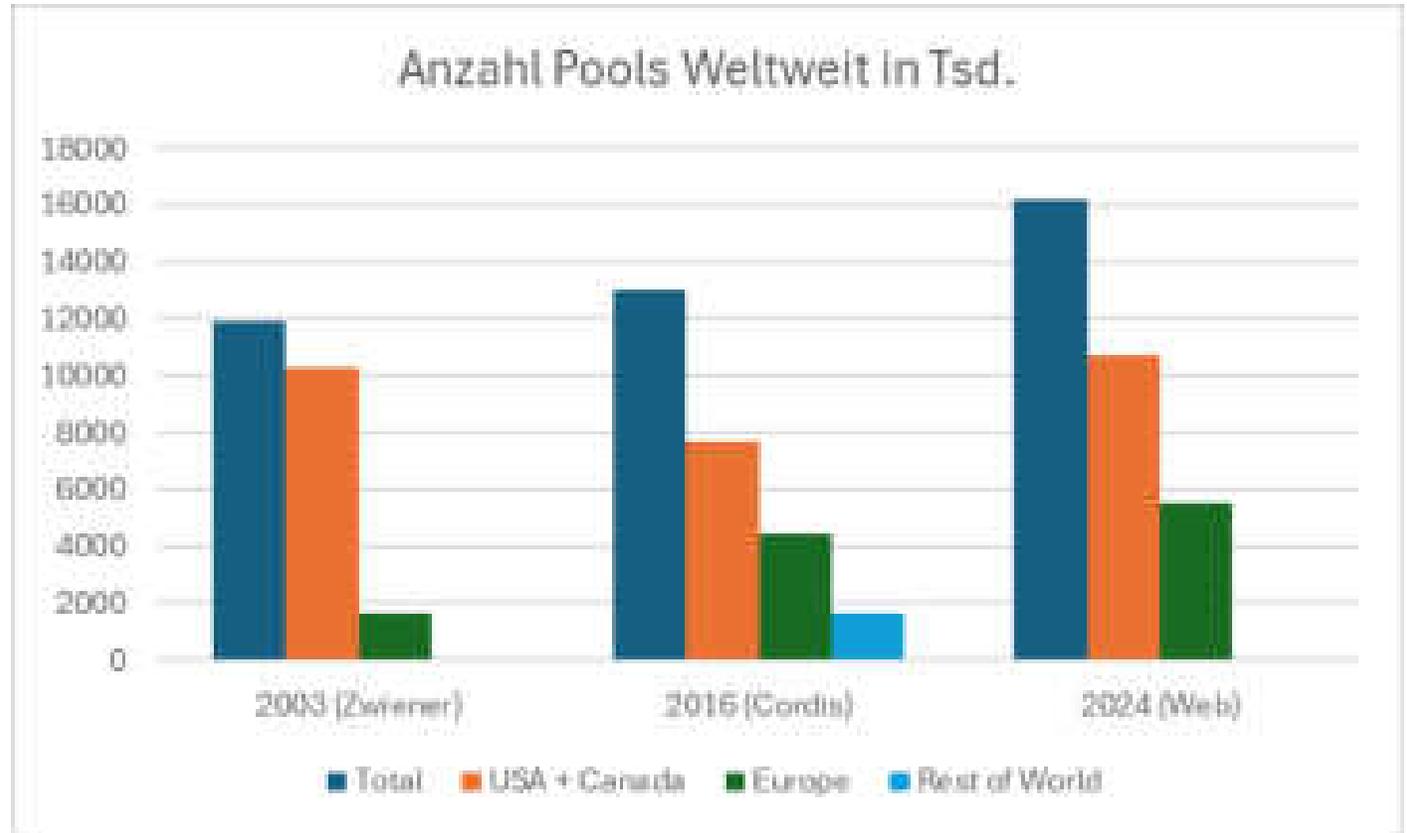


→ Wo stehen wir heute?

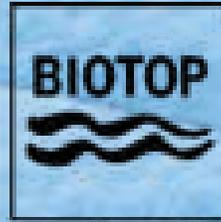
Poolbranche Heute

Wo stehen wir heute?

- Zwischen ~12 und ~16 Millionen Pools weltweit*
- >95% mit Chlor desinfiziert*
- Rund 50-60% Aufstellpools (USA und FR)*



* alle Daten sind sehr unsicher; teilweise aus online-Quellen



waves of enthusiasm
since 1995

Wie schädlich ist Chlor?
Wie ist der Wissensstand?

Auswirkungen der Chlor Nutzung

Erhöhte Risiken von bestimmten Erkrankungen (Zwiener et al., 2007)

- Irritation von Augen und Haut
- Atembeschwerden und Asthma
 - Entstehung von Asthma bei Kindern
- Risiken von Krebs
 - Blasenkrebs (1,2-2x höheres Risiko)

Auswirkungen auf Umwelt und Mensch

- Chlor in der Abwasserbehandlung

Critical Review

Drowning in Disinfection Byproducts? Assessing Swimming Pool Water

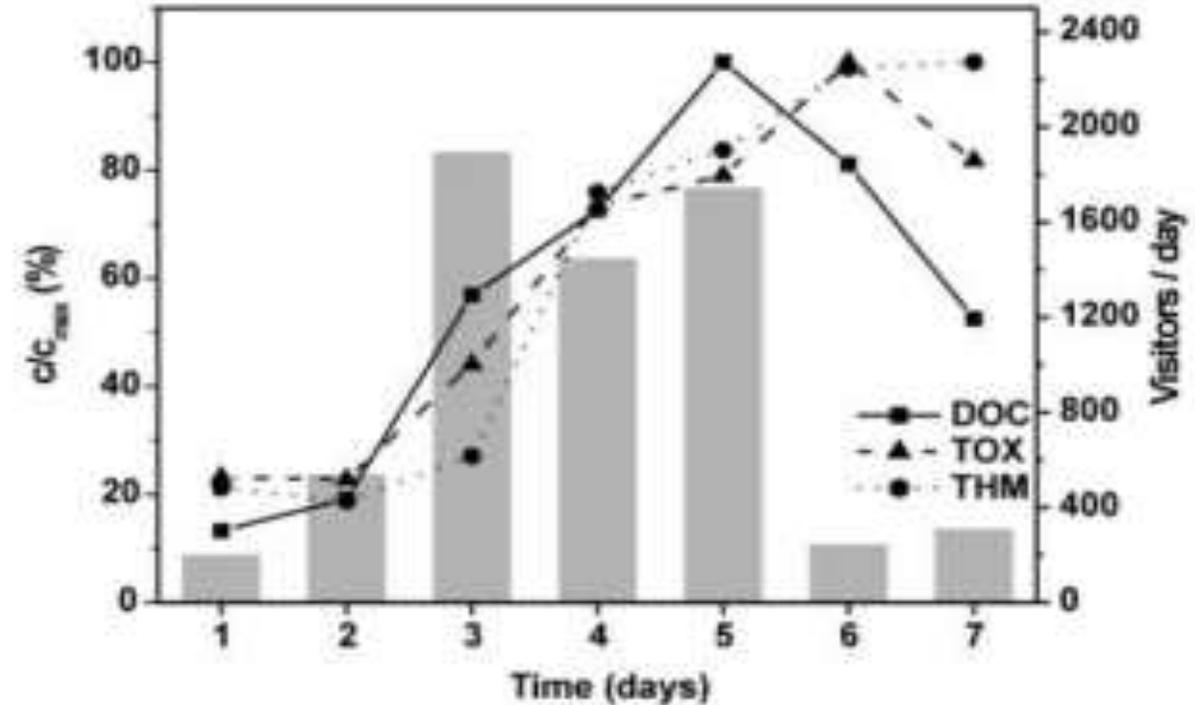
CHRISTIAN ZWIENER,^{1,2} SUSAN D. RICHARDSON,¹
DAVID M. DE MARINI,¹ TAMARA GRIMM,¹
THOMAS GLÄUBER,¹ AND FRITZ H. FRIMMEL¹

¹Engler-Bioscience Institute, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, ²National Exposure Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, Georgia, ³Environmental Contaminants Division, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina, and ⁴Federal Environmental Agency, Bad Elms, Germany

Auswirkungen der Chlor Nutzung

Auswirkungen der Chlor Nutzung in Pools

- Chlor reagiert mit Pflegeprodukten (Hautcremes, Sonnencremes etc.)
- Gesundheitsgefährdung entsteht durch Abbauprodukte
 - z.B. Trichlormethane (THMs) sind Krebserregend!

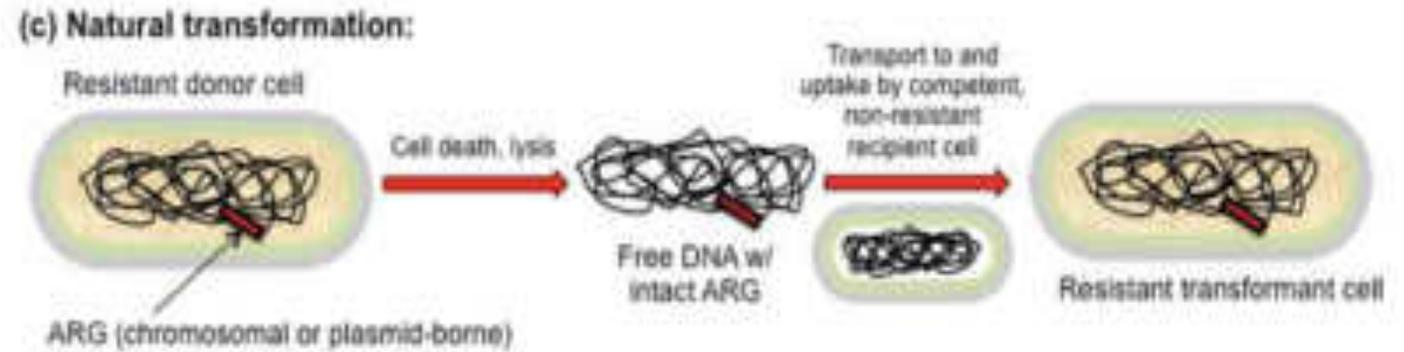


(Zwiener et al., 2007, ES&T)

→ Badegäste sind diesen Substanzen ausgesetzt!

Entstehung von Antibiotika-Resistenzen

- Chlor beschädigt Zellmembranen
- Beschädigte Bakterien nehmen DNA von anderen beschädigten Zellen auf



(Dodd, 2012)

→ Antibiotika Resistenz Gene (ARGs) werden ausgetauscht!

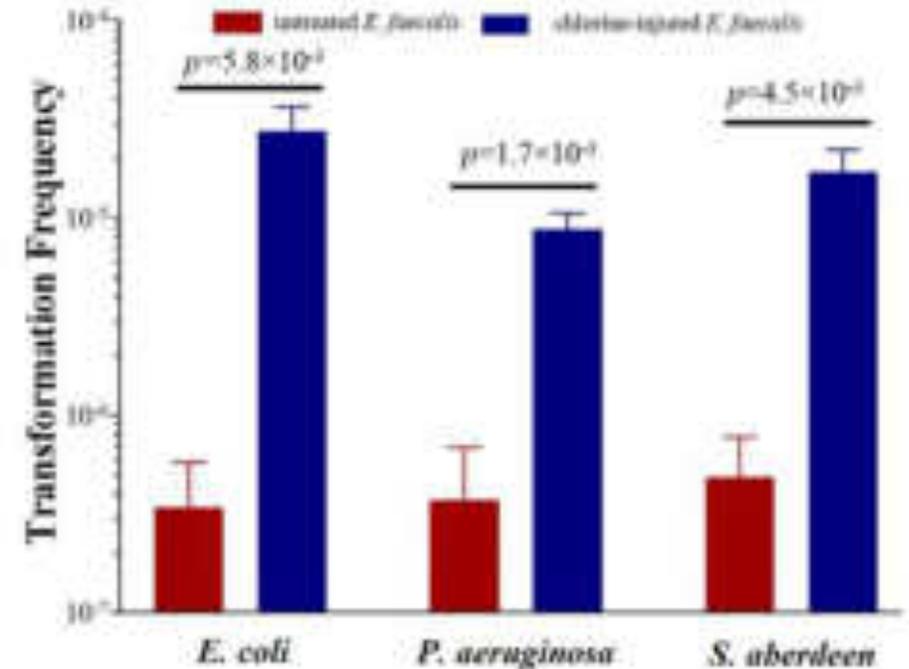
Auswirkungen der Chlor Nutzung

Mögliche Entstehung von Antibiotika-Resistenzen

Antibiotika Resistenz Gene (ARGs)



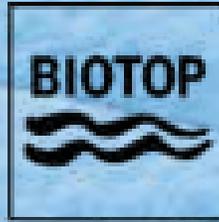
Fig. 6: Transformation frequency of RP4 released from killed *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Salmonella abderdeen* into chlorine-injured *Enterococcus faecalis* or not (10^8 cfu/mL) naturally at pH 7.2 and 20 °C ($n = 3$; mean \pm SD).



➔ Verstärkte weitergabe der ARGs mit Chlor!

(Jin et al., 2020, ISME)

➔ Neues Forschungsfeld; gesamtes Ausmass noch nicht klar

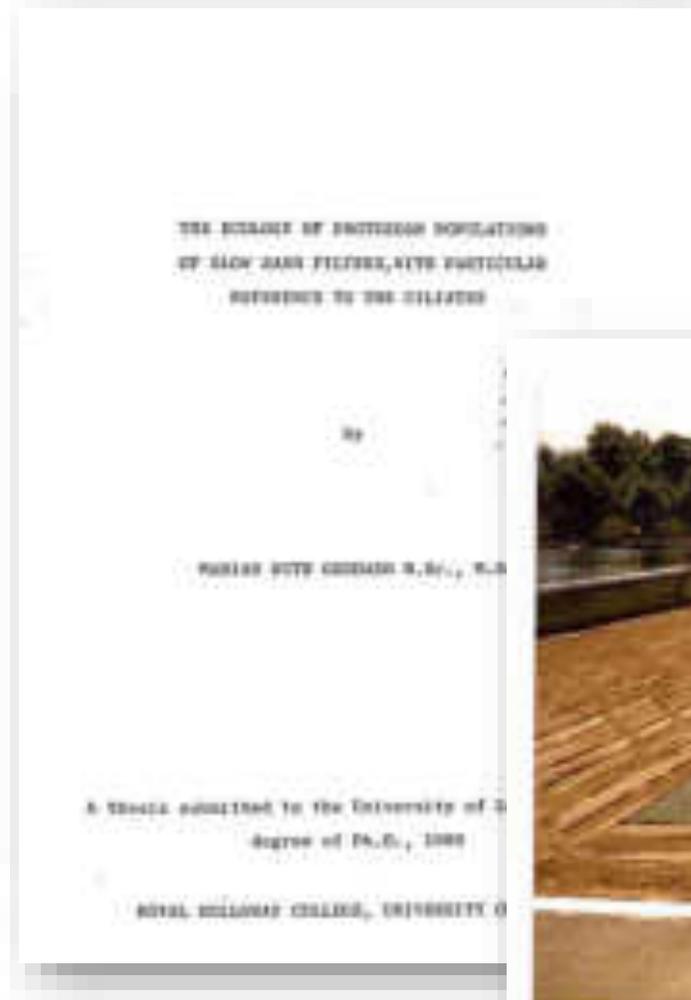


waves of enthusiasm
since 1995

Wie können pathogene Bakterien biologisch aus dem Wasser entfernt werden?

Filtermaterialien und Filtergeschwindigkeiten

- Sandfilter seit ~1840 in Benutzung für Trinkwasser (London/Hamburg) bekannt
- Drei Hauptprozesse
 - Mechanisch-physikalische Sedimentation
 - Anhaftung von Bakterien an Oberflächen
 - Biologischer Abbau der Bakterien

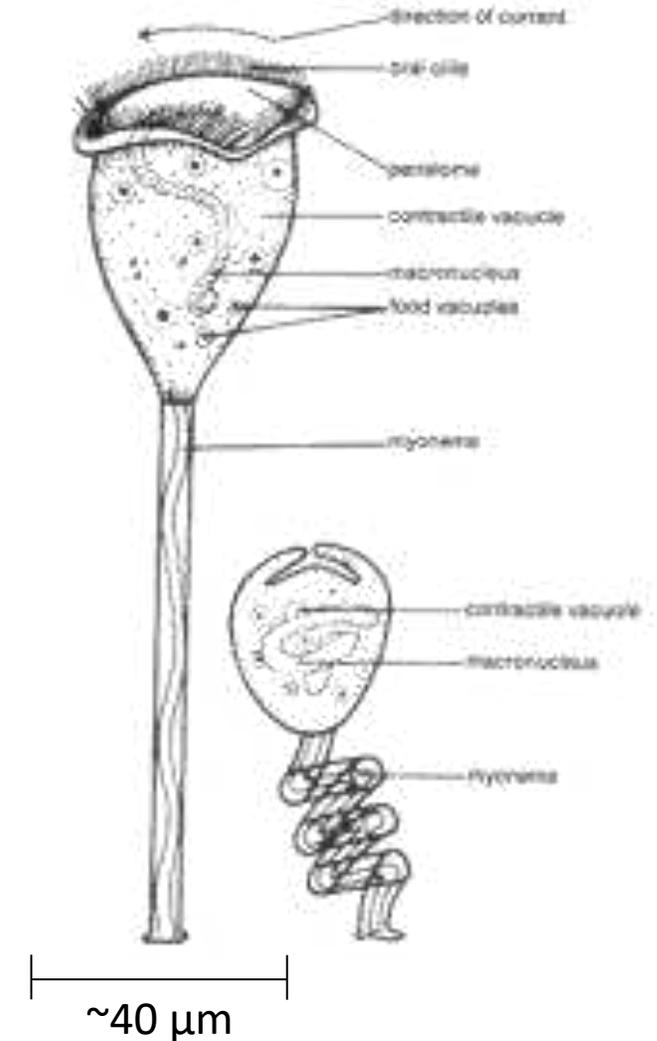


Anhaftung und Abbau von Bakterien

- Physikalische Anhaftung am Filtermaterial
- Van-der-Waals Kräfte, die die Bakterien an z.B. Sandkörner binden
- Abbau der Bakterien durch Mikroorganismen, insb. Protozoen, wie Wimperntierchen (Ciliaten)

→ Explizitier Nachweis des Abbauprozesses?

Ciliate, Vorticella spp.



Wie werden Pathogene abgebaut?

Frage: Wer frisst *E.coli*?

- Aufzucht von *E. coli* im Labor mit ^{13}C -Glucose als Markierstoff
- Nachweis der Markierstoffes (^{13}C) in den abbauenden Organismen

→ Protozoen („Bakterienfresser“) werden innerhalb weniger Stunden aktiv und dominieren den Abbau!

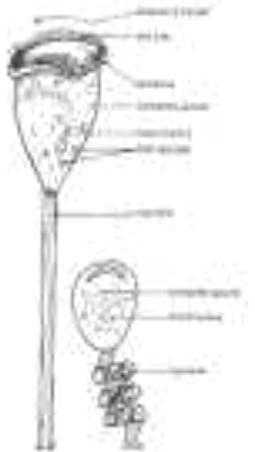
ORIGINAL ARTICLE

Stable-isotope probing and metagenomics reveal predation by protozoa drives *E. coli* removal in slow sand filters

Barth-Jean Haig¹, Melanie Schirmer², Rosalinda D'Amico³, Joseph Gibbs⁴, Robert L. Davies⁵, Gavin Collins^{6,7} and Christopher Quinn⁸
¹School of Engineering, University of Glasgow, Glasgow, UK; ²School of Biological Sciences, University of Liverpool, Liverpool, UK; ³Mitochondrial Biophysics Laboratory, School of Natural Sciences and Food Systems, National University of Ireland, Galway, Ireland and ⁴Division of Infection, Immunity and Inflammation, College of Medical, Veterinary and Life Sciences, University of Glasgow, Glasgow, UK

Ergebnis:

- 99% Abbau durch Protozoen, Rest durch Bakteriophagen (Viren)

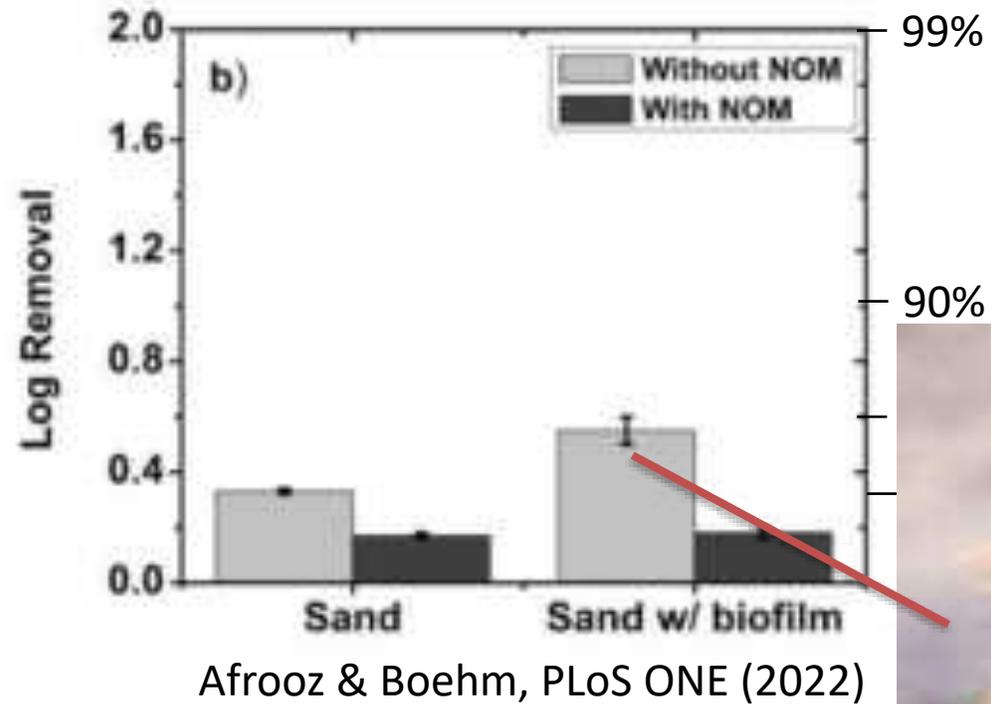


Ciliate,
Vorticella spp.

Abbau von *E. coli* im Biofilter

Verbesserter Abbau von *E. coli*

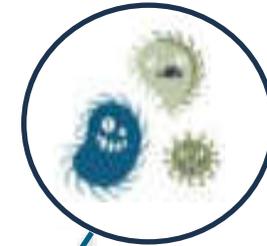
- Aufwuchs eines Biofilms
- Versorgung mit organischem Kohlenstoff (NOM)



- Biofilter als „hungrige Prädatoren“ heranzüchten!
- Wie gut sind die modernen Biotop Bio-Kompaktfilter?

Hygieneversuche Biotop Filter

Experimente zur Abbauleistung von **Biotop Bio-Kompaktfiltern**

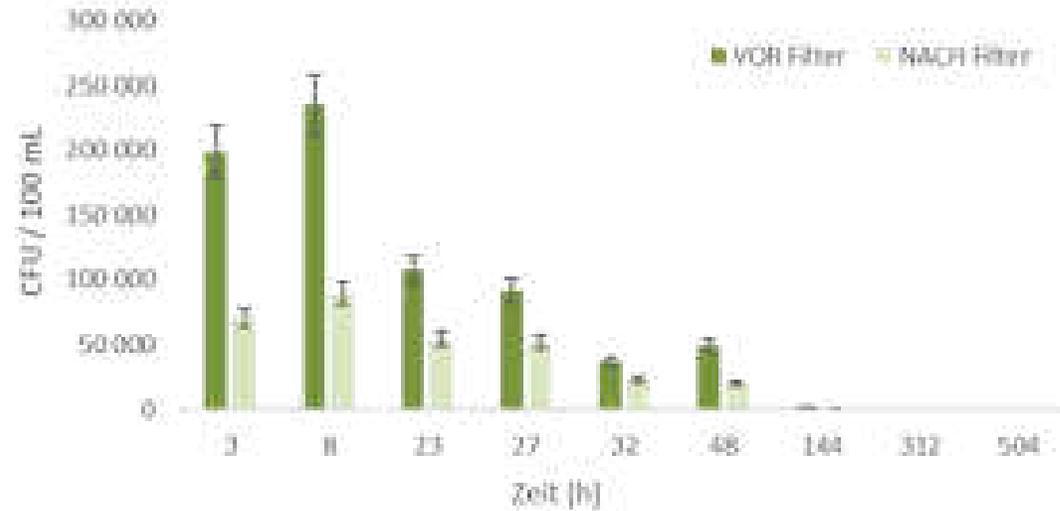


→ Zugabe von *E.coli*, *Enterococcus* und *P. Aeruginosa*

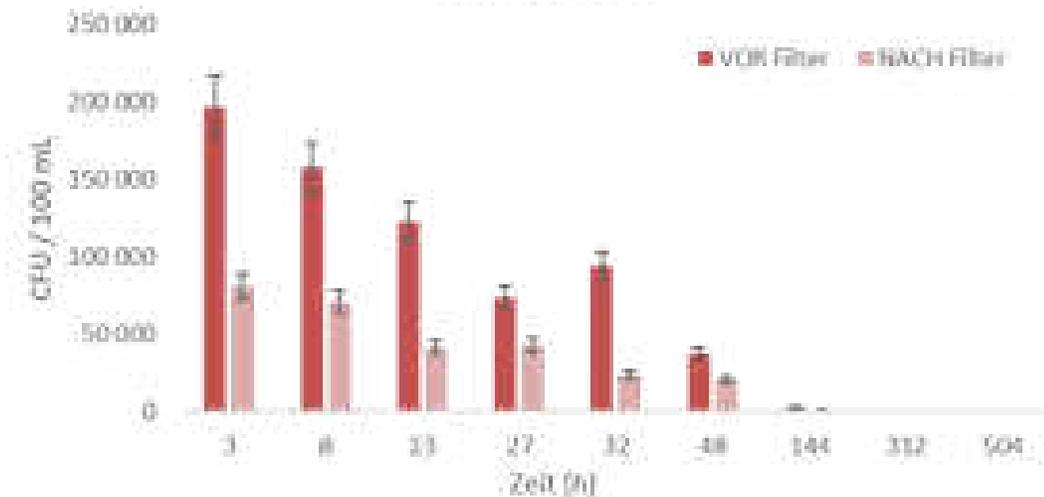
Ergebnisse Hygieneversuche - Mattenfilter

Abbau durch Biokompaktfilter: Vergleich vor und nach Filter

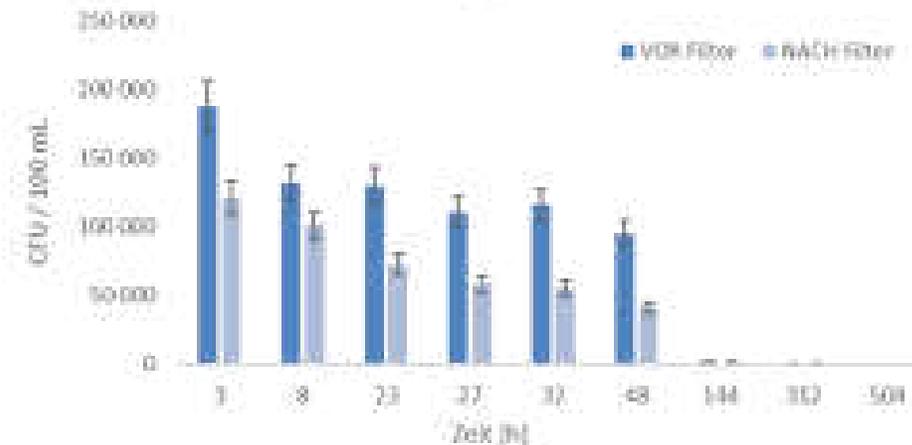
e. coli



Enterokokken



P. aeruginosa



→ Eliminationsraten nach FLL 2011

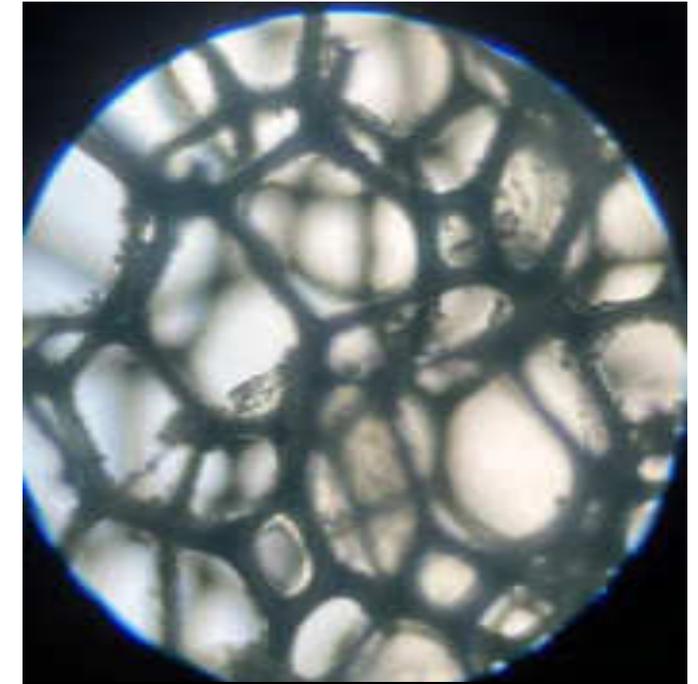
Filtermaterialien und Filtergeschwindigkeiten

Hoher Abbau trotz geringer Baugrösse?

- Porosität /nutzbarer Porosität
- offene Poren

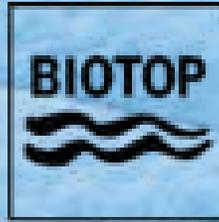


Quarzsand 0.5 - 1mm
60-Fache Vergrößerung



Filtermatte Biotop Blau
60-Fache Vergrößerung

→ Biotop Filtermatten: Sehr gutes synthetisches Filtermaterial!



waves of enthusiasm
since 1995

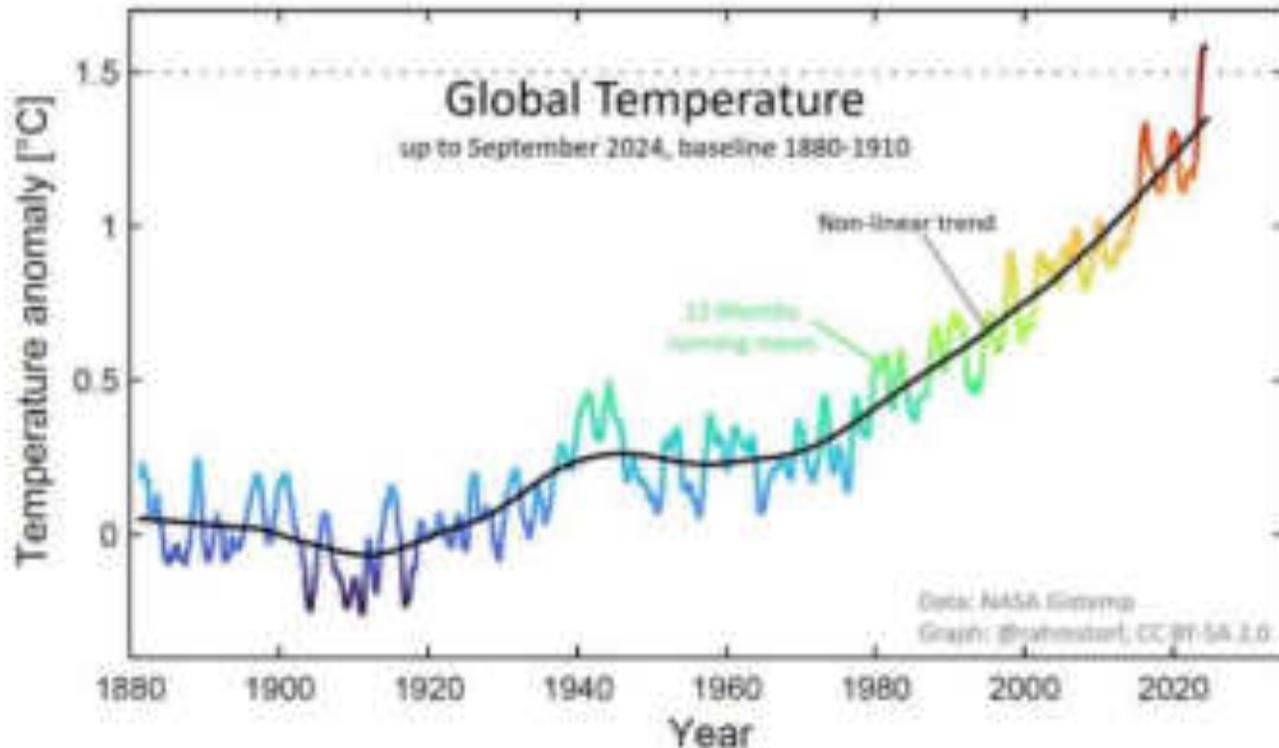
Wie sehen die zukünftigen Herausforderungen für
Schwimmteiche und Naturpools aus?

Zukünftige Herausforderungen

- Image-Belastung durch „schlechte“ Anlagen
 - Mehr klimatische Extremereignisse
 - Dürren & Wasserknappheit
 - Überflutungen
 - Hitzewellen/Erhöhte Temperaturen im Sommer
- Blick auf Wassertemperatur und Hygiene



Klimawandel



Erwartung:

- Hitzewellen mit erhöhten Wassertemperaturen im Sommer
- Beheizung durch Wärmepumpen

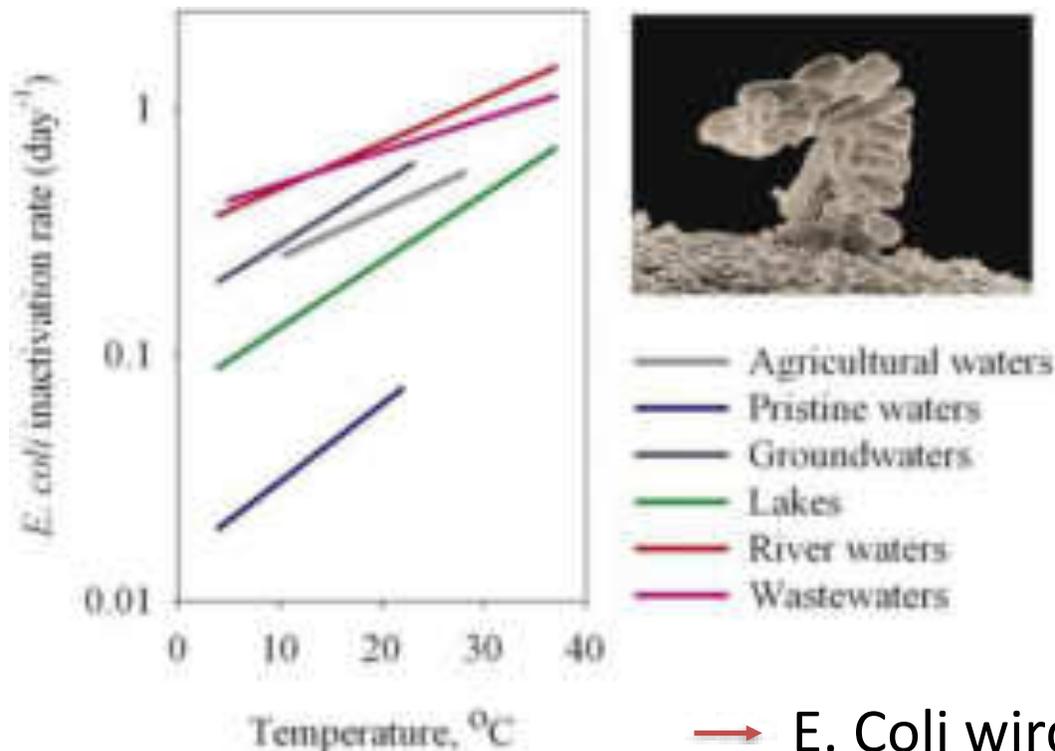
→ Was bedeutet das für die Hygiene?

Kritische Temperatur für biologische Anlagen?

25... 28 oder 32 Grad C?

Eine gute und (mindestens) eine schlechte Nachricht!

Die Gute:



Escherichia coli survival in waters: Temperature dependence

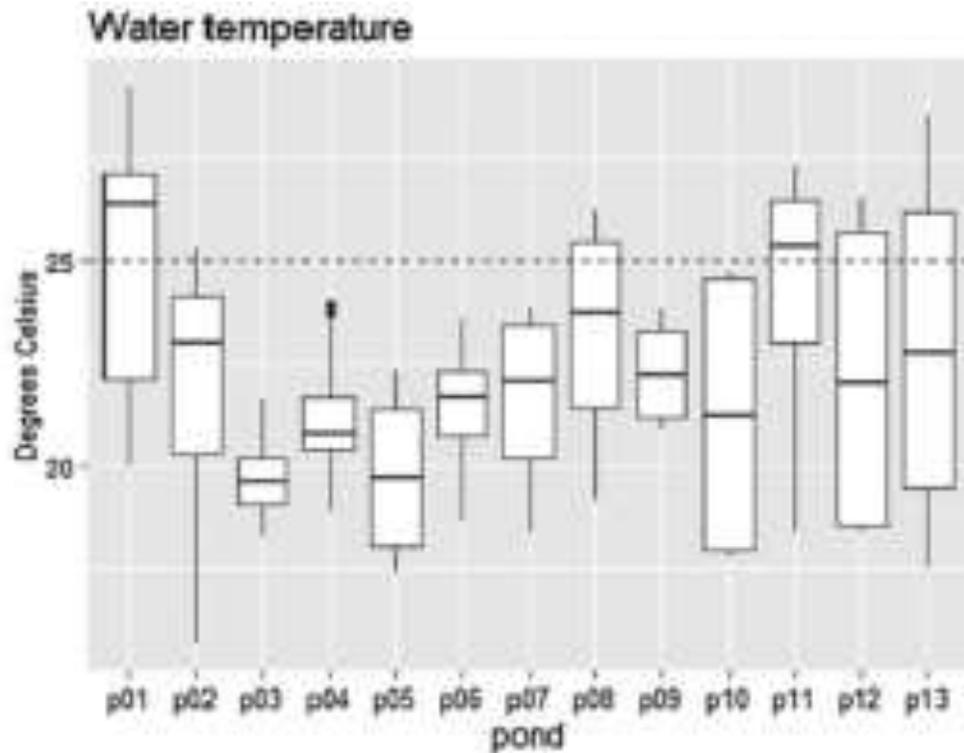
E.A. Skoczko¹, Y. Pachepsky², R.L. Hill³, D.B. Shelton³, G. Whelan¹

¹Department of Environmental Science and Technology, University of Maryland at College Park, College Park, MD, USA
²USDA Aquatic Animal Health and Food Safety Laboratory, National Aquaculture Research Center, Beltsville, MD, USA
³USDA Aquaculture Research System, National Aquaculture Research Laboratory, Athens, GA, USA

ABSTRACT
 Studying the survival rates of waterborne *Escherichia coli* is important to evaluating microbial waterborne and water logging systems management decisions. *E. coli* survival rates are dependent on temperature. A dependency that is routinely expressed using an average of two D_{90} models. This suggestion was made 74 years ago based on 97 scattered points taken from published literature but has not been critically scrutinized. The objective of this study was to determine the accuracy of the D_{90} equation, utilizing data generated since 1976. We generated a database of 407 *E. coli* survival datasets from 71 peer-

→ E. Coli wird vermehrt abgebaut!

Die (erste) Schlechte:



→ *Pseudomonas Aeruginosa* wächst mit der Wassertemperatur!



Die (zweite) Schlechte:



- Freilebende Amöben (FLAs) werden bei Temperaturen ab 30 Grad zum Risikofaktor!



Wassertemperatur

Kritische Temperatur für biologische Anlagen?

Ab $>25...28^{\circ}\text{C}$: Starkes Erreger-Wachstum!

- z.B. *Pseudomonas Aeruginosa* Infektionen

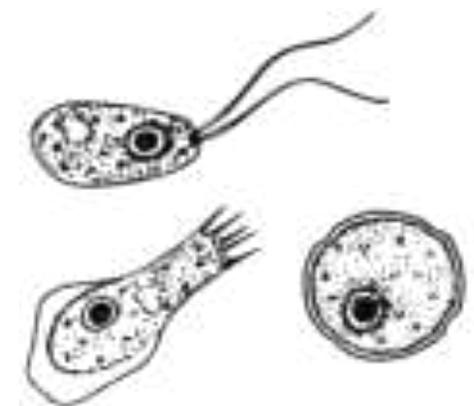
Ab $>30^{\circ}\text{C}$: Sehr gefährliche Erreger!

- *Legionella*
- Amöben, wie *Naegleria fowleri* †

- Verwenden Sie nur getestete Filtersysteme
- Dimensionierung nach Norm/Richtlinie
- Warnen Sie Ihre Kunden bzgl. Wassertemperaturen!



Jacob & Tschen (2020)

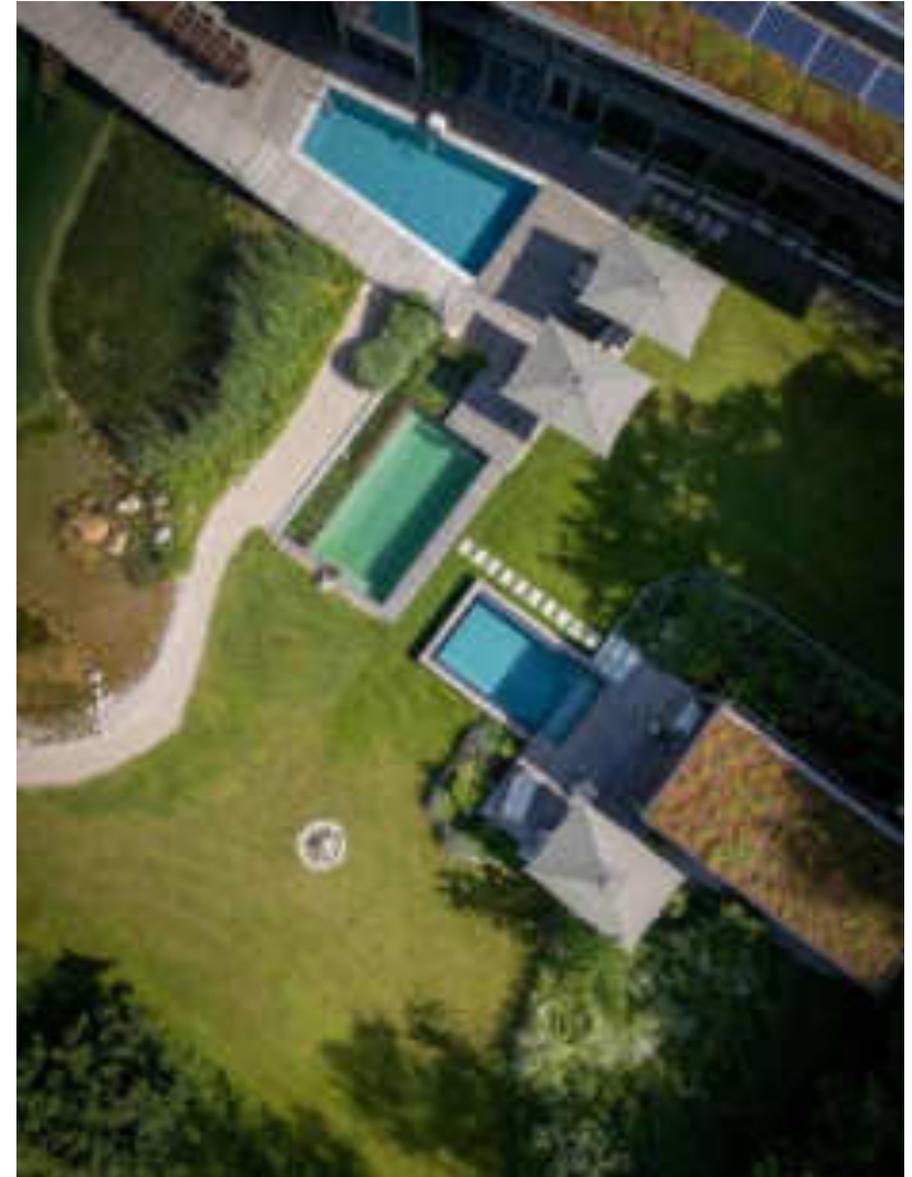


wikipedia.org/wiki/Naegleria_fowleri

Fazit

- Chlor hat viele Menschenleben gerettet!
- Chlor ist heute nicht mehr Zeitgemäss!
- Effektiver biologischer Abbau von Pathogenen ist möglich!
- Für Teiche und Biopools sollten nur getestete Filtersysteme verwendet werden!
- Wasser-Temperaturen sind ein Risiko-Faktor
- Weitere Forschung nötig!

→ Kommen Sie zum Biotop Stand hier beim IOB!



Die gute Nachricht zum Schluss

Die wirklich gute Nachricht:
Unsere Anlagen können das!

→ „Unser System“
funktioniert seit
Jahrtausenden
zuverlässig!



Die gute Nachricht zum Schluss



Wie hygienisch ist ein Naturpool?

Während herkömmliche Pool-Systeme auf Desinfektion durch Chlor setzen, nutzen Naturpools und Schwimmteiche den Selbstreinigungseffekt der Natur. Wie hygienisch ist aber natürliches Badewasser? Dr. Jakob Schelker, Experte für Technik und FFE bei Biotop, hat die Antwort.

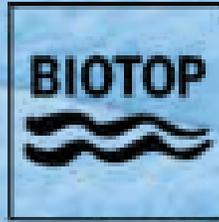
LERNEN & WISSEN

Im und unterirdische Partikel werden in einer Sandfängeranlage mechanisch entfernt. Der Sandfilter wird dann regelmäßig und automatisch rückgespült, um die Partikel aus dem Sand wieder auszuwaschen. Im Deckenwasser bleiben große Mengen an gelösten Nährstoffen, die aus den zersetzten Zellen stammen, wie auch viel freie DNA-Bestandteile. Die Wirkung des Ozeans hält für einige Tage an, dann muss allmählich nachgeliefert werden. Geschieht dies nicht, so sind aufgrund der vielen Nährstoffe Idealbedingungen für ein schnelles Wachstum von Bakterien und Kieselalgen gegeben.

Natürliches Wasser ist gesund

Aktives Chlor hat zahlreiche positive Eigenschaften - darunter seine schmerzstillende Wirkung. Diese ist auch problematisch für Haut, Zähne, Atemwege und lange. Wissenschaftliche Untersuchungen haben gezeigt, dass bestimmte Erkrankungen bei Schwimmbädern durch Chlor verursacht werden können. Zweitens müssen Einzugs von außen, in Form von gelöstem Stickstoff, Nitrat, Phosphat und insbesondere Phosphat, verhindert werden. Bereits wenige Literer Konzentration können in einem Schwimmbad zu einer erhöhten Erkrankungsrate führen oder bei welchen die Filter nicht korrekt dimensioniert sind. Bei öffentlichen Anlagen besteht zudem das Risiko, dass ein ansteigend hoher Badelast die Filteranlage überlastet.

→ Zusammenfassender Artikel zur Hygiene von Naturpools in **Schwimmteich & Naturpool**, Ausgabe 02-2024



waves of enthusiasm
since 1995

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Wissenschaftliche Referenzen:

- Afrooz, A.R.M.N., Boehm, A.B., 2016. Escherichia coli removal in biochar-modified biofilters: Effects of biofilm. PLoS One 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167489>
- Ariyadasa, S., Billington, C., Weaver, L., 2025. Free-living amoebae and emerging public health challenges in a warming world [WWW Document]. the-microbiologist.com.
- Blaustein, R.A., Pachepsky, Y., Hill, R.L., Shelton, D.R., Whelan, G., 2013. Escherichia coli survival in waters: Temperature dependence. Water Res 47, 569–578. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.10.027>
- Bunker, J.W.M., 1910. The hygiene of the swimming pool. Am J Public Hygiene 20, 810.
- Cobb, C.M., 1908. The Menace of the Swimming Tank. Boston Med Surg J 159. <https://doi.org/10.1056/nejm190807021590104>
- Dodd, M.C., 2012. Potential impacts of disinfection processes on elimination and deactivation of antibiotic resistance genes during water and wastewater treatment. Journal of Environmental Monitoring. <https://doi.org/10.1039/c2em00006g>
- Goddard, R.M., 1980. The Ecology of Protozoan Populations of Slow Sand Filters, with Particular Reference to the Ciliates.
- Haig, S.J., Schirmer, M., D'Amore, R., Gibbs, J., Davies, R.L., Collins, G., Quince, C., 2015. Stable-isotope probing and metagenomics reveal predation by protozoa drives E. Coli removal in slow sand filters. ISME Journal 9, 797–808. <https://doi.org/10.1038/ismej.2014.175>
- Jacob, J.S., Tschén, J., 2020. Hot Tub-Associated Pseudomonas Folliculitis: A Case Report and Review of Host Risk Factors. Cureus. <https://doi.org/10.7759/cureus.10623>
- Jin, M., Liu, L., Wang, D., Yang, D., Liu, W., Yin, J., Yang, Z., Wang, H., Qiu, Z., Shen, Z., Shi, D., Li, H., Guo, J., Li, J., 2020. Chlorine disinfection promotes the exchange of antibiotic resistance genes across bacterial genera by natural transformation. ISME J 14, 1847–1856. <https://doi.org/10.1038/s41396-020-0656-9>
- Schets, F.M., van den Berg, H.H.J.L., Lynch, G., de Rijk, S., de Roda Husman, A.M., Schijven, J.F., 2020. Evaluation of water quality guidelines for public swimming ponds. Environ Int 137. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105516>
- Zwiener, C., Richardson, S.D., De Marini, D.M., Grummt, T., Glauner, T., Frimmel, F.H., 2007. Drowning in Disinfection Byproducts? Assessing Swimming Pool Water. Environ Sci Technol 41, 363–372. <https://doi.org/10.1021/es062367v>