

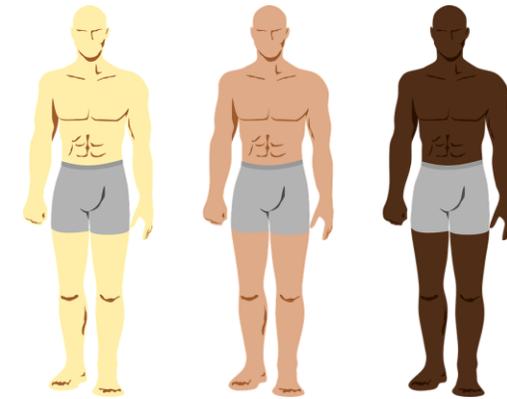
Agenda

- Grundlagen
 - Was sind Keime? Welche gibt es? Welche sind gefährlich? Wo kommen sie vor
 - Was tun wir dagegen? Desinfizieren. Vgl Trinkwasser USA, Schweizer Schwimmbad
- Das Schwimmbad – als Keimschleuder
 - Eintrag der Keime – wo sitzen sie?
 - Haare
 - Duschen
 - Pinkeln
 - Sportschwimmer
 - Bakterien
 - Viren
 - Pilze

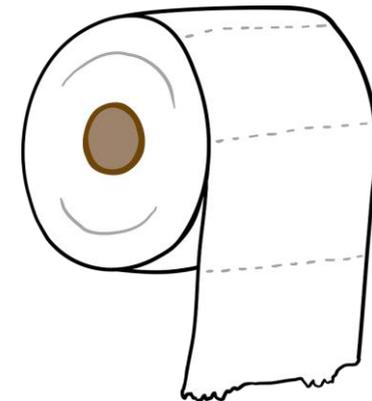
Fakt ist

In erster Linie erfolgt Kontamination mit Keimen durch Badegast

- **Nichtfäkal-Bakterien:** Pseudomonas, Staphylococcus aureus, Adenovirus
→ auf Haut, im Speichel o. Erbrochenem

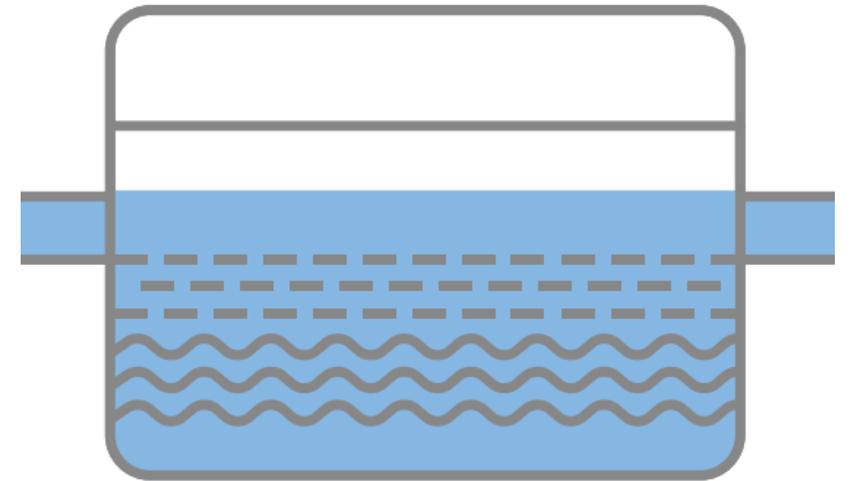


- **Fäkal-Bakterien:** Escherichia coli, Cryptosporidium, Enteroviren
→ Auf Haut, oder beim versehentlichem Lösen von Stuhl



... Und dann ist da auch noch die Sache mit den Filtern

- Verschiedene Schichten
- Unterschiedliche Sauerstoffsättigung
- Eliminierung von Chlor durch Aktivkohle
- Schutz von Keimen in Biofilm



Keuten, M. G. A., et al. "Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools." *water research* 46.11 (2012): 3682-3692.

Indikatoren im Badwasser

Mikrobiologische Anforderungen an Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen

Ziffer	Kategorie	Untersuchungskriterien	Höchstwerte	Analytische Referenzmethode
1	Wasser in Bädern	Aerobe, mesophile Keime	1000 KBE/ml	EN/ISO 6222
		<i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	nn/100 ml	EN/ISO 9308-1
		<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	nn/100 ml	EN/ISO 16266

Nicht-spezifisch:
Gesamtkeimzahl von
Bakterien, Pilze, Hefen

Fäkalbakterien

Nicht-Fäkalbakterien

Nicht berücksichtigt: Viren

Gesetz

Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen
<https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/153/de> (Zugriff 05.11.2022)

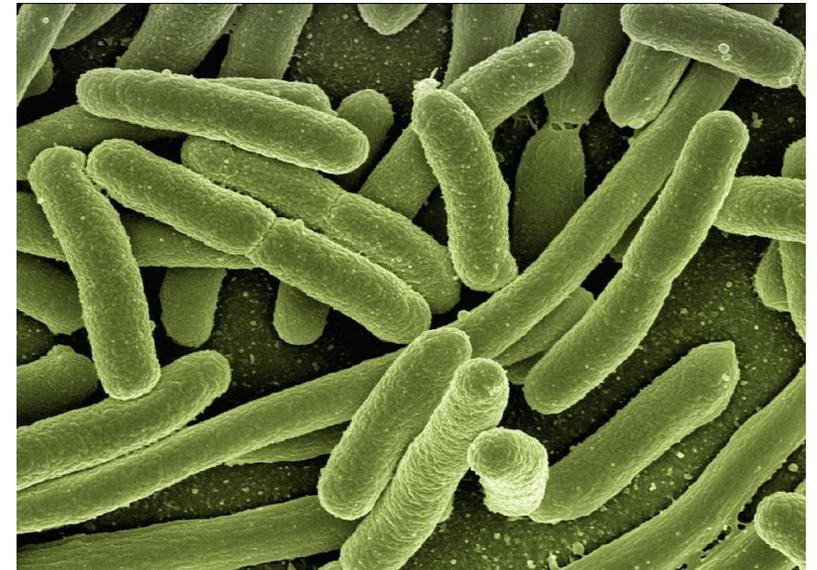
Aerobe, mesophile Keime

- Gesamtkeimzahl: Anzahl Mikroorganismen.
- Anzucht der Keime
 - auf Agarplatten
 - Aerobe Bedingungen
 - 30 °C Bebrütungstemperatur
- Grenzwert: 1000 KBE/mL
(kolonienbildende Einheiten) /mL



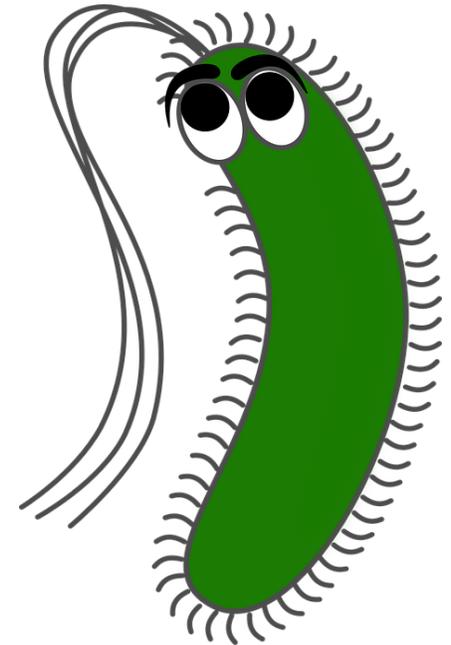
E.coli

- E.coli als Indikator für Fäkalbakterien im Badwasser
- Stäbchenbakterien, Gram-negativ, nicht-sporenbildend
- Vermehrung: ausschliesslich im Darm von Lebewesen
- Grenzwert: **nicht nachweisbar/100 mL**



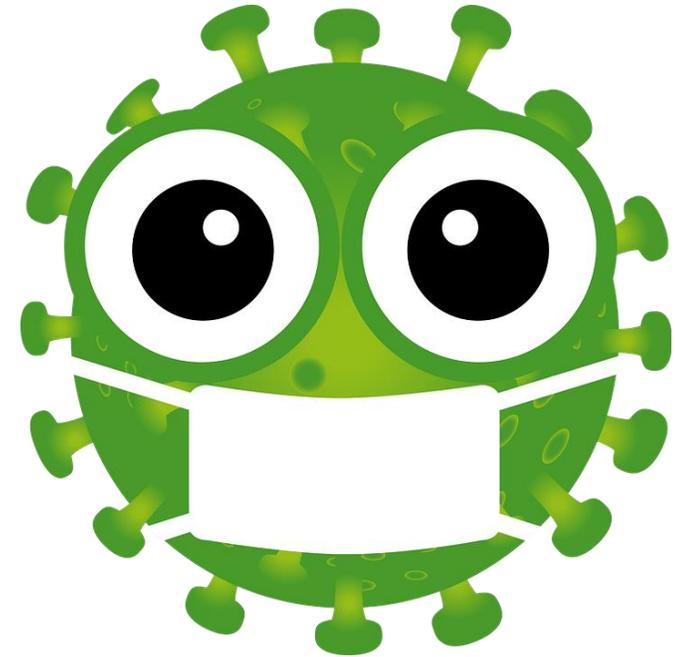
Pseudomonas aeruginosa

- Indikator für Prozessfehler im Schwimmbad
 - regelmässige Reinigung
 - Konzentration des Desinfektionsmittels
 - pH-Wert→ Bekannter Krankenhauskeim!
- Stäbchenbakterium, Gram-negativ, nicht-sporenbildend
- Bildet widerstandsfähige Biofilme (u.a. im Filter)
- Grenzwert: **nicht nachweisbar/100 mL**

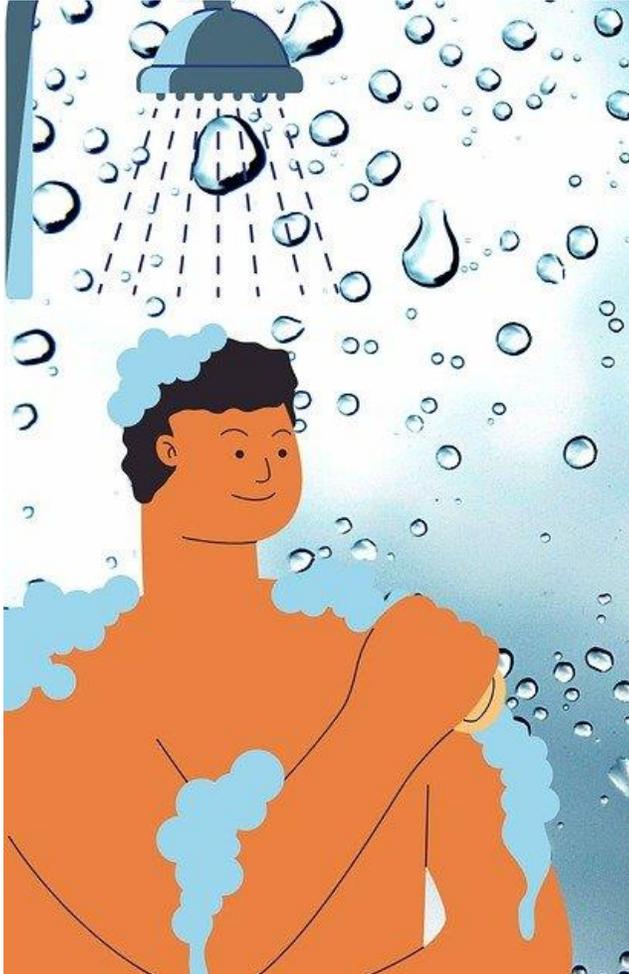


... Was ist mit Viren?

- z.B. Norovirus, Coronavirus
- Keine Überwachung
(nicht fähig zur Vermehrung)



Was hilft?



WATER RESEARCH 46 (2012) 3682–3692

Available online at www.sciencedirect.com

SciVerse ScienceDirect

journal homepage: www.elsevier.com/locate/watres



Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools

M.G.A. Keuten ^{a,b,*}, F.M. Schets ^c, J.F. Schijven ^d, J.Q.J.C. Verberk ^a, J.C. van Dijk ^a

^a Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, PO Box 5048, 2600 GA Delft, The Netherlands
^b Hellebrekers Technieken, PO Box 6, 8070 AA Nunspeet, The Netherlands
^c National Institute for Public Health and the Environment, Laboratory for Zoonoses and Environmental Microbiology, PO Box 1, 3720 BA Bilthoven, The Netherlands
^d National Institute for Public Health and the Environment, Expert Centre for Methodology and Information Services, PO Box 1, 3720 BA Bilthoven, The Netherlands



Über die Studie

- 2012, Universität in Delft, Niederlanden
- Ziel: Untersuchung des Eintrags von Verschmutzung ins Badewasser durch die Badegäste
- 2 Versuche:
 - Wieviel Schmutz wird von einer Person während der ersten Minuten einer Dusche abgewaschen?
(Kontinuierliche Probennahme)
 - Vergleich verschiedener Schwimmbäder: Wieviel Schmutz wird von den Badegästen während einer solchen Dusche abgewaschen?
(unterschiedliche Länge & Temperatur, Sammelprobe)

Keuten, M. G. A., et al. "Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools." *water research* 46.11 (2012): 3682-3692.



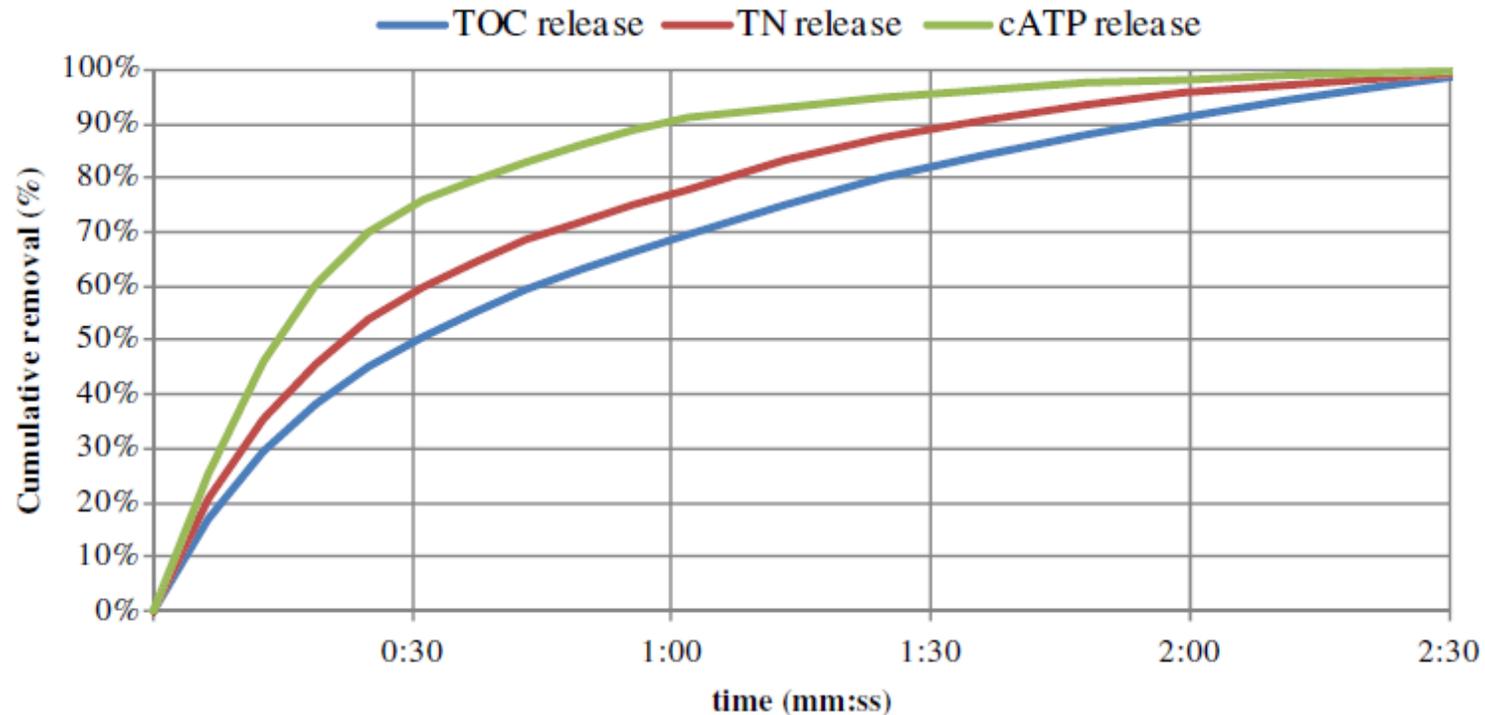
Versuch 1

- Standardisierte Duschkabine im Labor
- Versuchspersonen sollten ihre Standard-Morgenhygiene durchführen
- Testpersonen: 5 Männer, 5 Frauen
- 5 min Duschzeit
- 10 Wasserproben in der ersten Minute, danach 1 Probe pro Minute
- Messen verschiedenster Parameter: TOC, Stickstoff, UV254, Trübung, cATP, ...

Keuten, M. G. A., et al. "Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools." *water research* 46.11 (2012): 3682-3692.



Versuch 1



Kumulative Darstellung der anthropogenen Schmutzfreisetzung während der ersten Minuten des Duschens

Keuten, M. G. A., et al. "Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools." *water research* 46.11 (2012): 3682-3692.



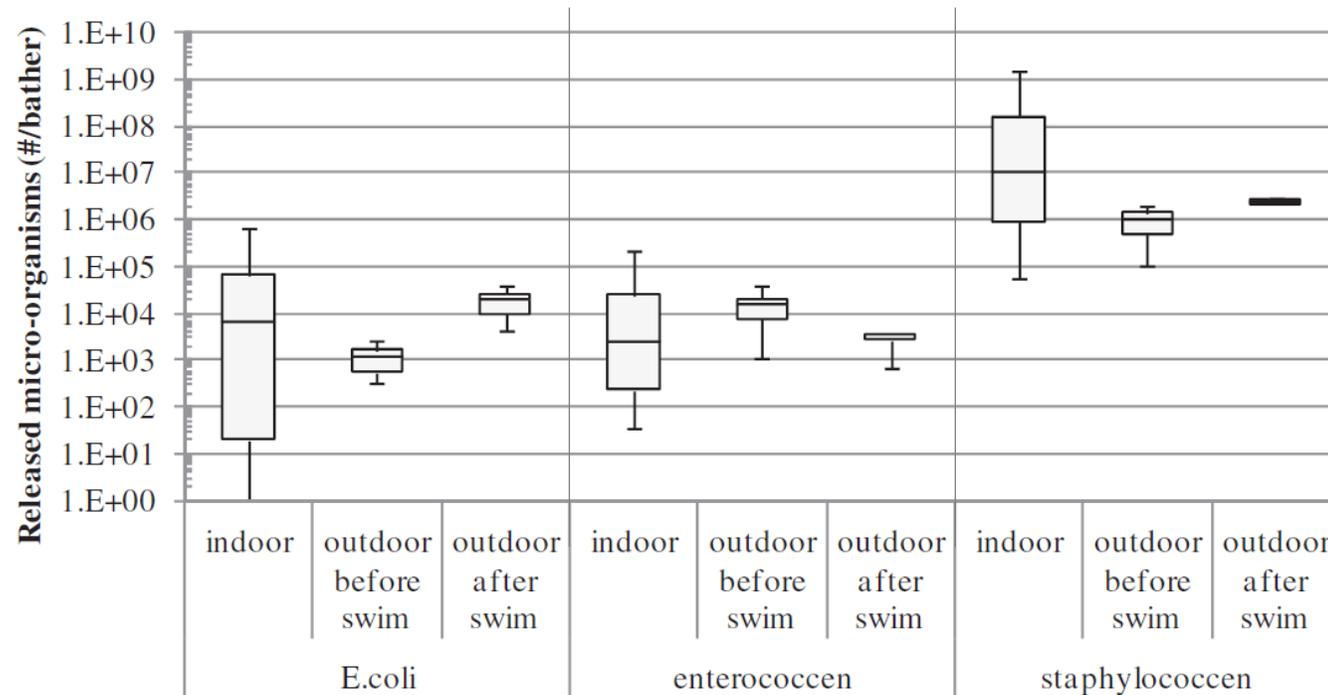
Versuch 2

- 4 Schwimmbäder (3 Hallenbäder, 1 Freibad)
- 106 Teilnehmer
- Duschwasser wird aufgefangen, gut gemischt und daraus Probe entnommen
- Normales Duschverhalten, Untersch. Länge der Dusche

Keuten, M. G. A., et al. "Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools." *water research* 46.11 (2012): 3682-3692.



Versuch 2



Boxplots von Experimenten vor Ort bzgl freigesetzte Mikroorganismen: Duschen im Schwimmbadgebäude im Vgl. zu Freiluftduschen

Keuten, M. G. A., et al. "Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools." *water research* 46.11 (2012): 3682-3692. Graphik modifiziert.



Ergebnisse der beiden Versuche

- Am meisten Schmutz wird in den ersten 60 Sek. unter der Dusche verloren – auch eine kurze Dusche lohnt sich
 - Warmes Wasser verbessert die Körperreinigung
 - "Schmutz"/gewisse Substanzen/Keime werden auf der Haut des Badegasts nachproduziert/vermehrt oder vom Badegast erneuert (Schweiss, Sonnencreme)
- Neben dem Eintrag "zu Beginn" gibt es kontinuierlich weiteren Eintrag während der Dauer des Badeaufenthalts

Keuten, M. G. A., et al. "Definition and quantification of initial anthropogenic pollutant release in swimming pools." *water research* 46.11 (2012): 3682-3692.



Umgang mit Keimen

Reinigung:

- Entfernen unerwünschter Substanzen von Oberflächen
- Mechanische Beseitigung von Mikroorganismen
- Entzug von Nährstoffen von Mikroorganismen
- Keimreduktion von 50-90% möglich
- Ziel: optische Sauberkeit

→ Ist die Voraussetzung für Desinfektion



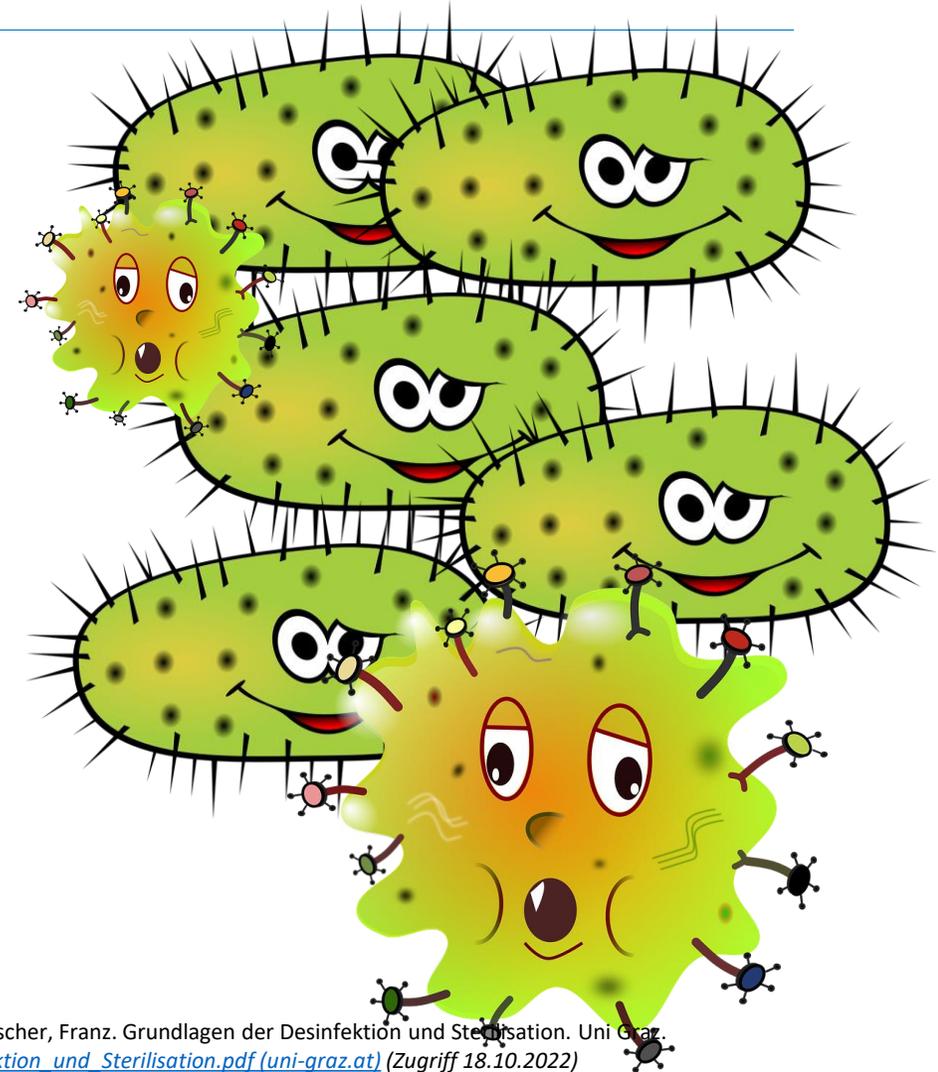
Umgang mit Keimen

Desinfektion:

- Die Abtötung bzw. irreversible Inaktivierung von krankheitserregenden Keimen
- Reduktion der Keimzahl um ca. 4 Größenordnungen (Dekaden)
→ *Von 100'000 Keimen bleiben 10 übrig*

Massnahmen im Badewasser

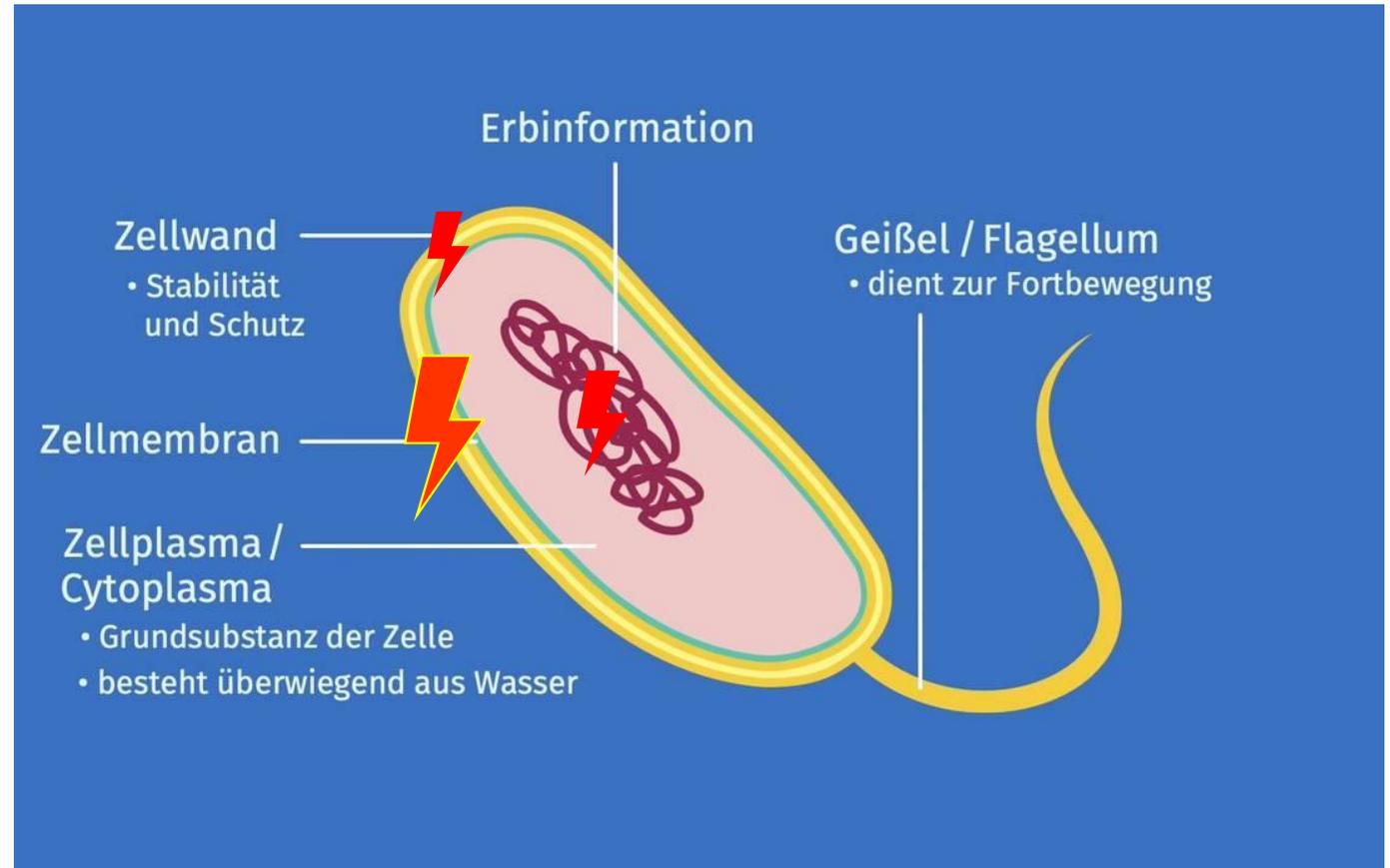
- Definierte Konzentration an Desinfektionsmittel & pH
- Früher: Redoxpotential



Rheintaler, Franz und Mascher, Franz. Grundlagen der Desinfektion und Sterilisation. Uni Graz. [Grundlagen der Desinfektion und Sterilisation.pdf \(uni-graz.at\)](#) (Zugriff 18.10.2022)

Wie wirkt Chlor gegen Bakterien?

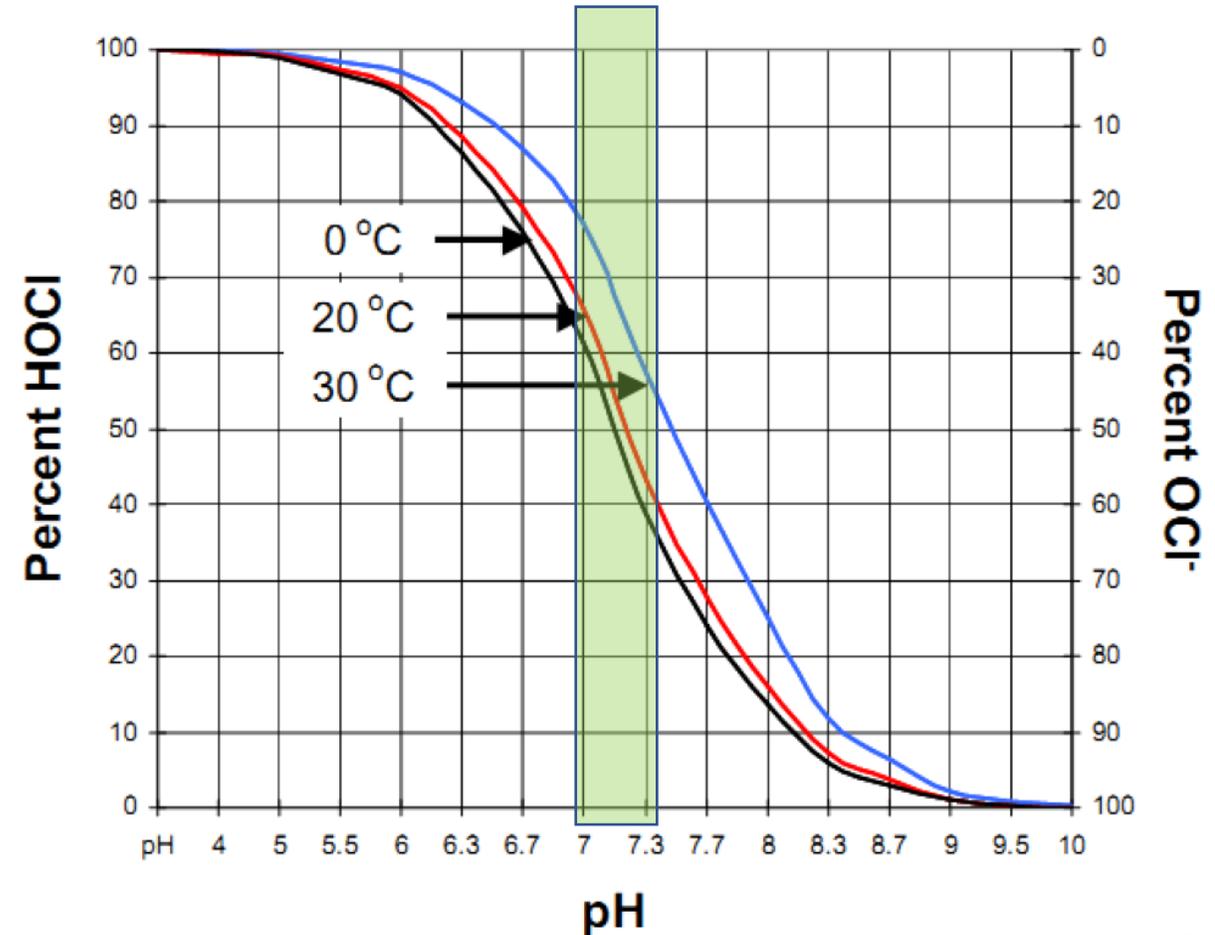
- Beschädigen der **inneren Zellmembran**
→ tödlich.
- Folgend daraus sind Probleme mit
 - Energiegewinnung
 - Stofftransport
 - Vervielfältigung des Erbmaterials
- Dauer: < 1 Sekunde



*Aufbau & Struktur von Bakterien – Biologie Klasse 7+8 (sofatutor.com)
Bacterial Responses to Reactive chlorine species (Zugriff: 05.011.2022).
Graphik modifiziert.*

Warum pH 6.8-7.6?

- > 50% HOCl
- HOCl wirkt stärker desinfizierend als OCl-
- Warum?
 - HOCl: neutral,
 - OCl-: negativ
- Zellwand des Bakteriums: negativ geladen,
- Besseres Eindringen von HOCl ins Bakterium, höhere Abstossung von OCl⁻-Ion
- Besser Wirkung von HOCl



Störfaktoren bei der Desinfektion

- Chlordosierung
 - 0,2 – 0,8 mg/L Schwimmerbecken
 - 1,0 – 1,5 mg/L Whirlpool)
- Temperatur
 - Höhere Temperatur → weniger HOCl, mehr OCl-
- Belüftung im Sprudelbecken
- Eiweissbelastung
 - Badewasserumwälzung
 - Hygiene der Badegäste
- Ungenügende Einwirkzeit
 - Oberflächen ausserhalb Schwimmbeckens

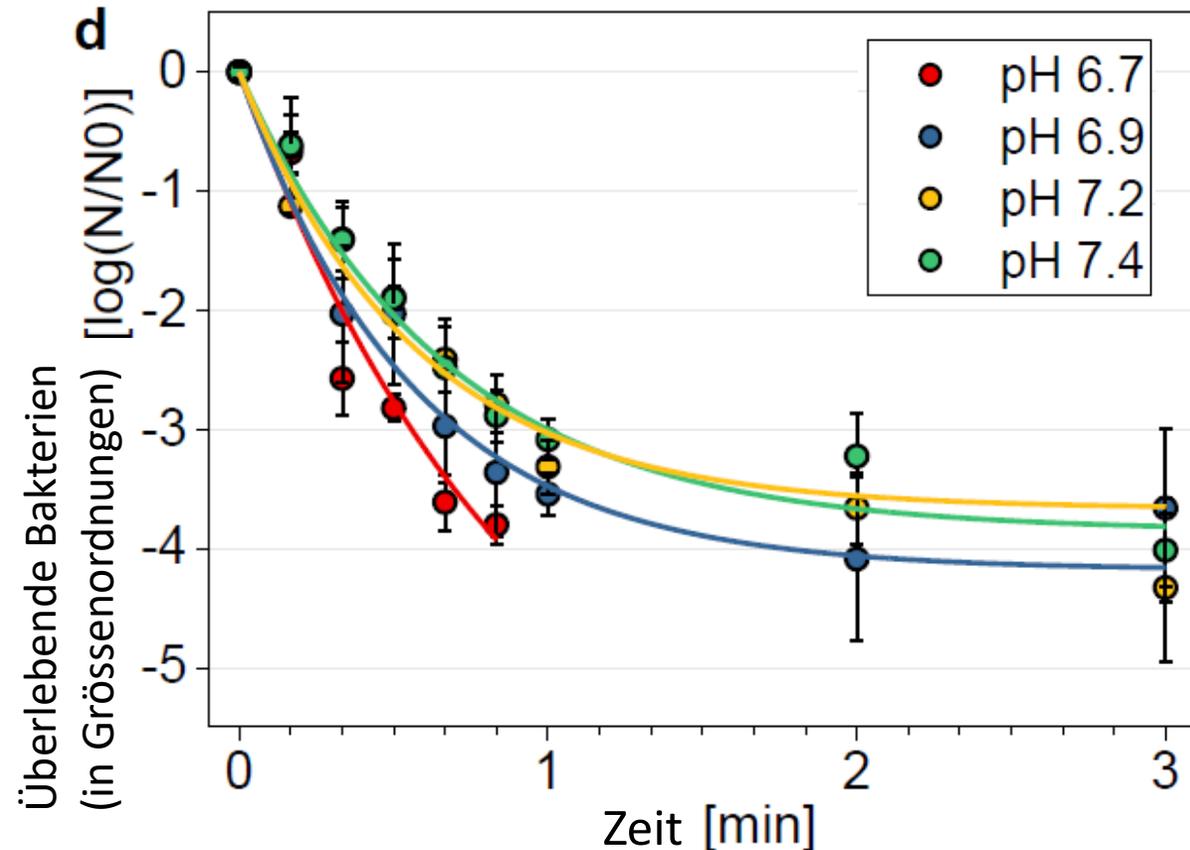
Inaktivierung abh. von pH

Experiment mit *Pseudomonas aeruginosa* :

- Aquarium mit def. Anzahl Bakterien
- 30 °C Wassertemperatur
- HOCl: 0.2 mg/L
- Durchführung bei verschiedenen pH-Werten
- Probenahme und Chlorelimination in der Probe
- Anzucht der verbleibenden Keime auf Agarplatten und Zählen der koloniebildenden Einheiten

Ergebnis:

Mit **sinkendem pH steigt die Geschwindigkeit**, in der Bakterien **inaktiviert** werden.



Kreuter, Leon. *Bacteria in Public Swimming Pools—Inactivation Kinetics, Prevalence of Pathogens and Value of Indicators*. Diss. 2019. Graphik modifiziert.

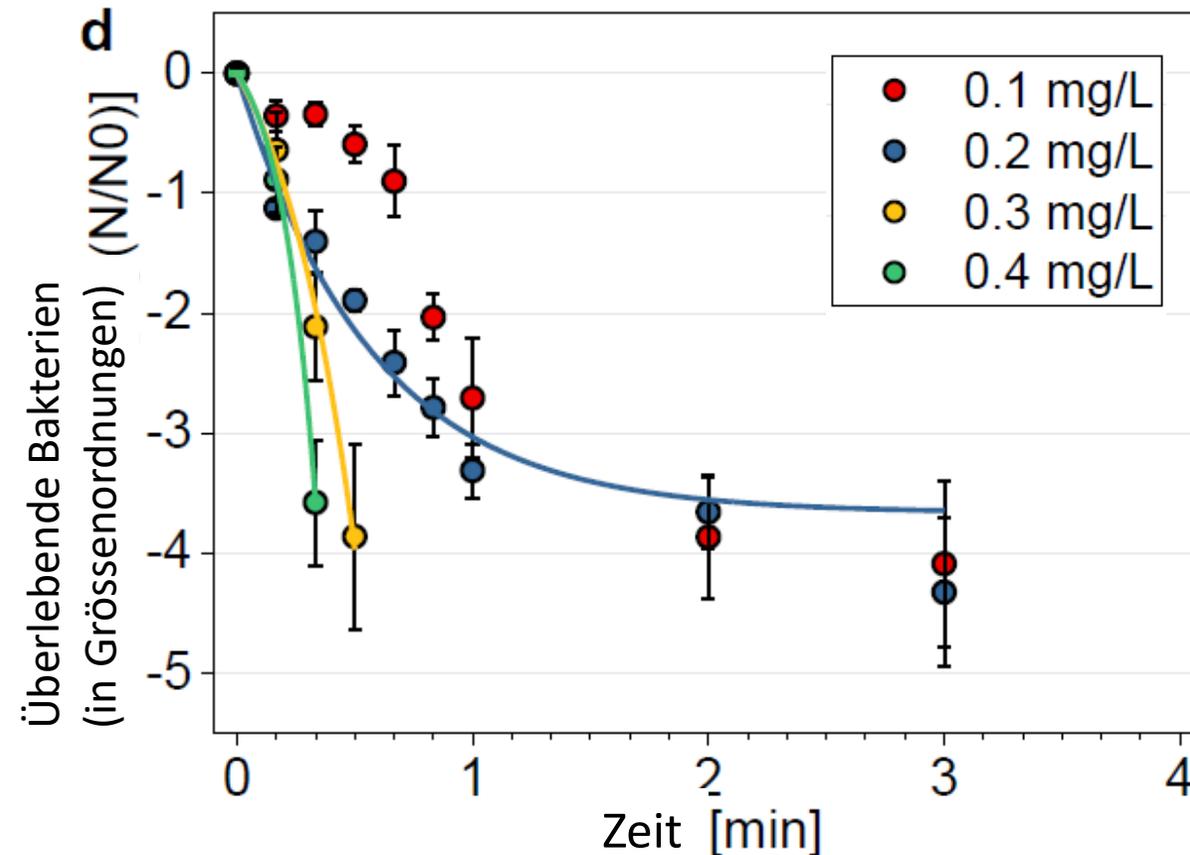
Inaktivierung abh. von Chlorkonzentration

Experiment mit *Pseudomonas aeruginosa* :

- Aquarium mit def. Anzahl Bakterien
- 30 °C Wassertemperatur
- pH: 7.2
- Durchführung bei verschiedenen Konzentrationen HOCl
- Probenahme und Chlorelimination in der Probe
- Anzucht der verbleibenden Keime auf Agarplatten und Zählen der koloniebildenden Einheiten

Ergebnis:

Mit **steigender Konzentration an freiem Chlor steigt auch die Geschwindigkeit**, in der Bakterien **inaktiviert** werden.



Kreuter, Leon. *Bacteria in Public Swimming Pools—Inactivation Kinetics, Prevalence of Pathogens and Value of Indicators*. Diss. 2019. Graphik modifiziert.

Ergebnis des Experiments

Zum ganzen Experiment

- Bei Konzentrationen < 0.4 mg/L HOCl war eine hohe bis grenzwertig hohe Anzahl *P. aeruginosa* in der Probe zu finden (Deutsche Norm fordert Reduktion um 4 Grössenordnungen)
- *E.coli* hingegen zeigte sich sehr sensibel im Hinblick auf freies Chlor. Schnelle Reduktion der Anzahl, auch bei niedriger Chlorkonzentration



Chlormessung früher

750 mv

Wieso??



Geschichte der Redox-Messung

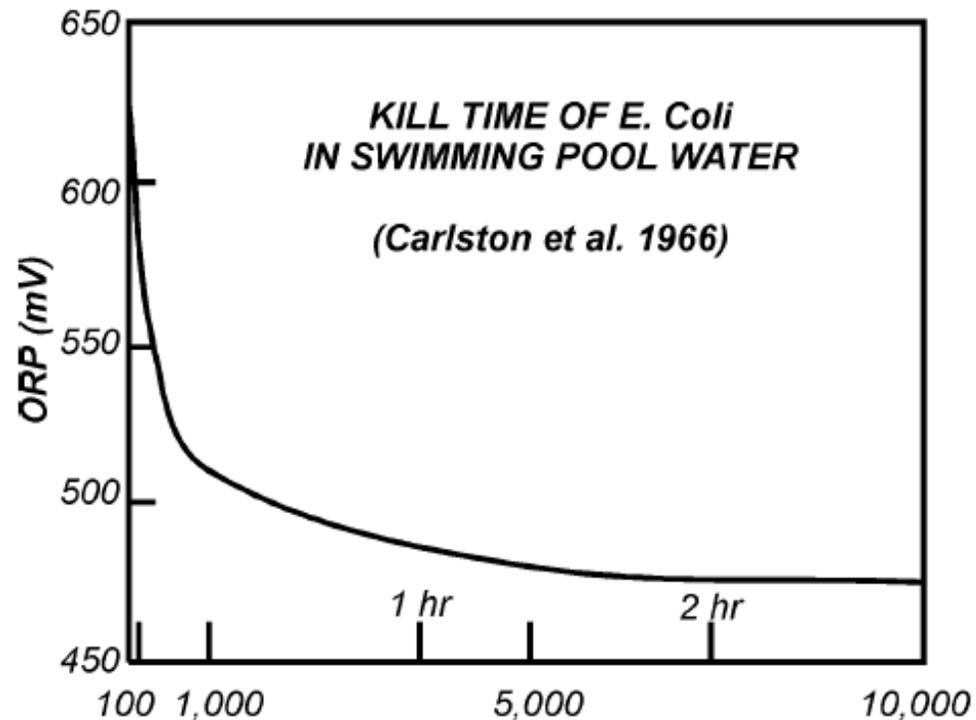
- 1936, Harvard-Universität: Untersuchung von Redoxelektroden
 - Starke Korrelation zwischen Redoxpotential und Aktivität von Bakterien → Bestätigung durch weitere Studien
- 1971: Festlegung 700 mV als Standard für Trinkwasser (WHO)
- 1982: Festlegung 750 mV in DIN für öffentliche Schwimmbäder
- 1988: Festlegung 650 mV für öffentliche Bäder durch das amerikanische Nationale Schwimmbadinstitut



Myron, L., „OXIDATION REDUCTION POTENTIAL (ORP)/REDOX and FREE CHLORINE“
Application Bulletin (2021).

Chlor & Redox im Schwimmbad

650-750 mV sind der „Standard“



**Inaktivierungszeit (in Sekunden)
abh. vom Redox-Wert**

Steinger, Jacques M. "PPM or ORP: which should be used." *Swimming Pool Age & Spa Merchandiser*, (November 1985) (1985).

Problem:

- Funktioniert, z.B. für E.coli
- E. coli reagiert extrem sensibel auf Chlor
- Für andere Keime sind Redox-Werte dieser Größenordnung NICHT ausreichend

Chlor & Redox in anderen Industrien

Das wurde auch schon anderswo bemerkt von Industrien, die die gleichen Standard-Redoxwerte zur Desinfektion verwenden

- Auch das Trinkwasser in Geflügelfarmen muss desinfiziert und überwacht werden
- Chlor wird dosiert um standardmässig 650 – 750 mV Redoxpotential im Wasser zu messen
- In Laborversuchen zeigten sich jedoch 650 mV als unzureichend für die Desinfektion

Cox, Samantha Renee. *Evaluation of the Correlation Between the Oxidation Reduction Potential and Free Chlorine Residual for Different Chlorine Sources Used in Poultry Drinking Water Sanitation*. University of Arkansas, 2017.



Ist die Redox-Messung überholt?

found with an increase of ORP to 550 and 600 mV with potassium permanganate. However, the kill rate of *E. coli* and enterococci by merely raising ORP with potassium permanganate (not a disinfectant) had high variability. Although there was some inactivation, it was not as great as the inactivation observed with chlorine addition.

The percentages of organisms remaining after 60

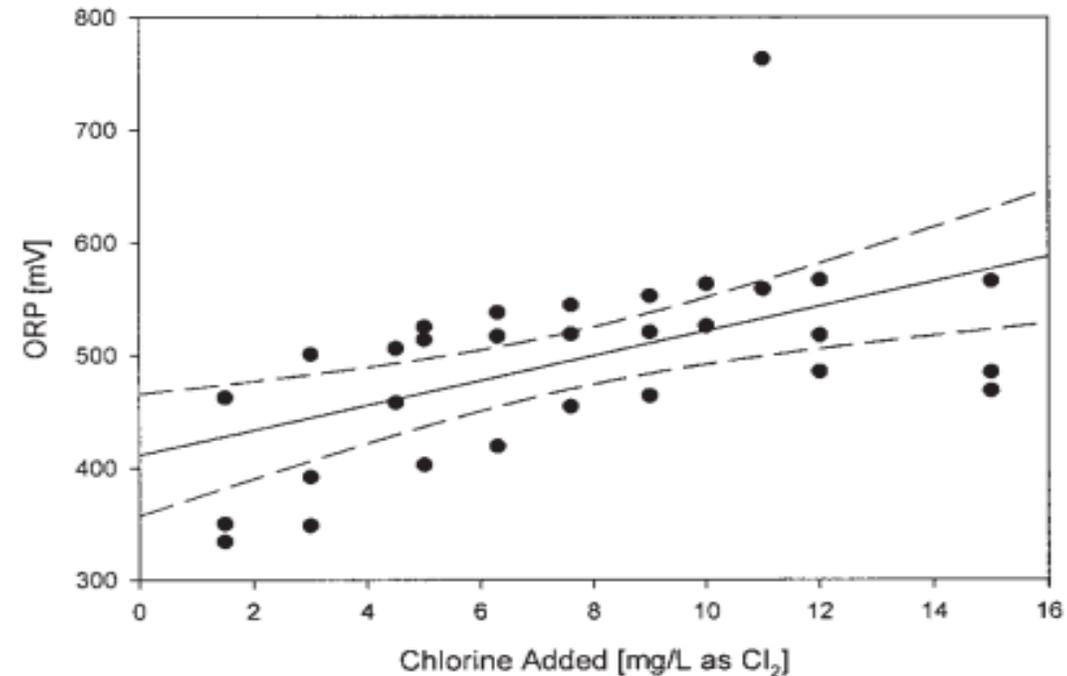
Oxidation Reduction Potential as a Measure of Disinfection Effectiveness for Chlorination of Wastewater John A. Bergendahl, Assistant Professor, and Laurie Stevens, M.S.

Funktioniert nur:

- wenn das Redoxpotential durch das richtige Desinfektionsmittel (z.B. freies Chlor) hervorgerufen wird
- Keine sonstigen Verbindungen/Ionen enthalten sind, die sich auf das Redoxpotential auswirken, aber nicht desinfizieren

Redoxpotential & Chlor

- Verschiedenen Abwässern wurde die gleiche Menge Chlor zugefügt
- Ergebnis: unterschiedliche Redoxpotentiale, bis zu 150 mV Unterschied



ORP-Steigerung durch hinzugefügtes Chlor.
Durchgezogene Linie: lineare Regression
Gestrichelte Linie: 95% Vertrauensintervall

Oxidation Reduction Potential as a Measure of Disinfection Effectiveness for Chlorination of Wastewater John A. Bergendahl, Assistant Professor, and Laurie Stevens, M.S.

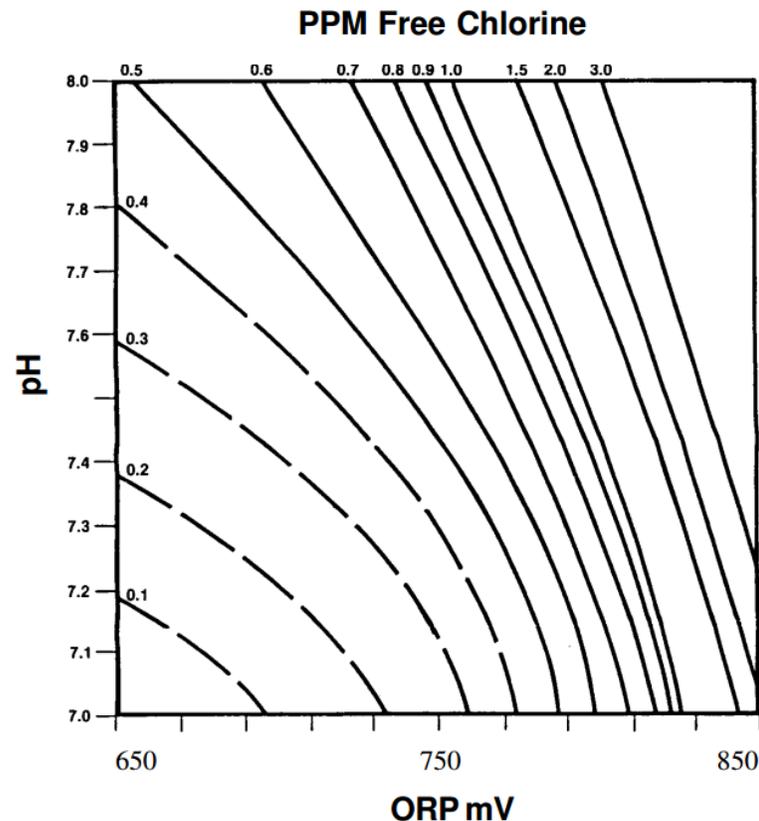
ORP-Messung wird beeinflusst durch

- Nitrate (bis zu 95 mV in Abwasser)
- Schwefelverbindungen
- Organik



Oxidation Reduction Potential as a Measure of Disinfection Effectiveness for Chlorination of Wastewater John A. Bergendahl, Assistant Professor, and Laurie Stevens, M.S.

ORP zur Desinfektionsmessung



Steinger, Jacques M. "PPM or ORP: which should be used."
Swimming Pool Age & Spa Merchandiser, (November 1985) (1985).

Aber:

- **Dieselbe Chlorkonzentration** kann abh. von der Wasserbeschaffenheit in eine niedrigere oder eine höhere Redox-Spannung ergeben
- Das ist abhängig vom Gehalt an reduzierenden Wasserinhaltsstoffen (Verunreinigungen)
- Ausserdem verändern sich die Spannungen nur langsam, weshalb Störungen im Betriebsablauf von der Redox-Elektrode nur verzögert gemessen wird.

<https://www.goldbeck-schwimmbadtechnik.de/?Wasseraufbereitung:Wasserdeseinfektion:Redoxpotential> (Zugriff: 05.11.2022)

Fazit zur ORP-Messung:

- ORP ist eine unspezifische Messung, welche das Summe aller Redoxpotentiale der im Wasser vorhandenen Redox-Paare (Schwefelverbindungen, Organik, Nitrate, ...) misst
 - Von Interesse für die Desinfektion ist eigentlich nur das Redoxpotential vom freiem Chlor.
 - Andere Oxidationsmittel wie z.B. Kaliumpermanganat erhöhen zwar das Redoxpotential, aber sind keine effizienten Desinfektionsmittel
- Chlormessung gibt spezifische Ergebnisse.
- Messwert vom Restchlor (free residual chlorine) korreliert besser mit dem Desinfektionserfolg als eine ORP-Messung.

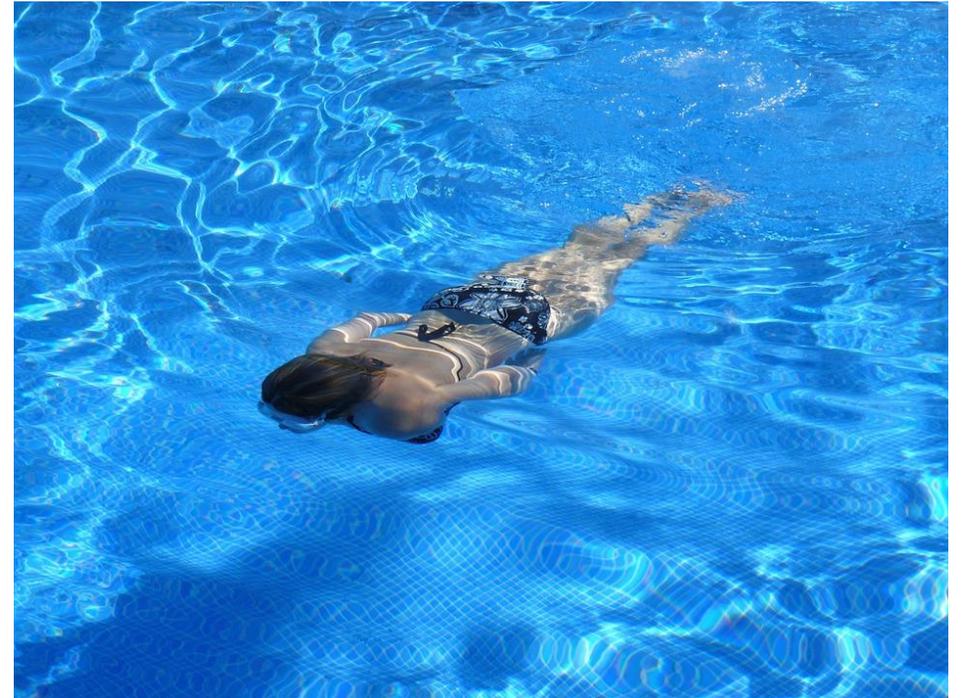
Desinfektionsnebenprodukte

- Erhöhtes Asthma-Risiko bei Leistungsschwimmern
- Augenirritationen
- Hautausschlag
- Manchen Studien nach sogar Unfruchtbarkeit

Minimierung von Desinfektionsnebenprodukte

→ durch niedrigen Organik-Gehalt im Wasser (Filtration)

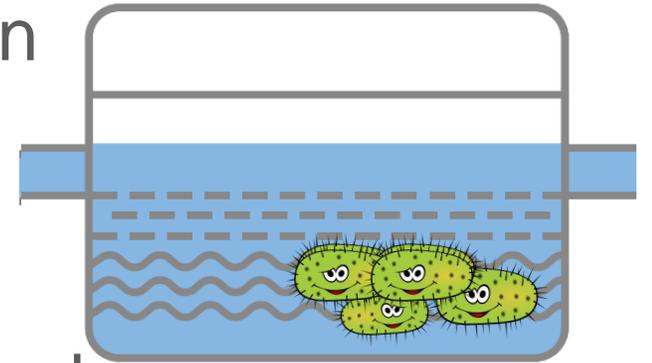
→ Möglichst niedrige Chlordosierung



Ratajczak, Katarzyna, and Alicja Piotrowska. "Disinfection by-products in swimming pool water and possibilities of limiting their impact on health of swimmers." *Geomatics and Environmental Engineering* 13.3 (2019): 71-92.

Filter als Bakterienschleuder?

- Filter zur Reduktion von Desinfektionsnebenprodukten
- Oft Aktivkohle (Hydroanthrazit): Bereiche, frei von Desinfektionsmittel
- Biofilmbildung (*P. aeruginosa*, *Legionella*) → Behandlung mit erhöhter Desinfektionsmittelkonzentration nicht ausreichend
- Regelmässige und gründliche Behandlung des Filters nötig. In Versuchen war eine vollumfängliche Desinfektion/Reinigung nur selten erfolgreich
- Rekontamination des Badewassers mit Mikroorganismen vom Filter



Mascher, Wolfgang, and Mascher, Franz. "How to deal with microbially contaminated filters in bathin water treatment?" Institute of Hygiene, Microbiology and Environmental Medicine of the Medical University of Graz/Austria. Presentation 2016.

Filtration

- Filtert groben Schmutz, Partikel und Organik



Klares Wasser, weniger Nährstoffe für Mikroorganismen

- Zur Reduktion von unerwünschten Desinfektionsnebenprodukten



Weniger Reaktionen zw. Organik und Chlor

- Oft Aktivkohle/ Hydroanthrazit



*filtert auch Chlor → Bereiche ohne Desinfektion im Filter!
Bakterielle Biofilme und Pilze*

- Regelmässige, intensive Reinigung & Desinfektion mit erhöhter Konzentration Desinfektionsmittel

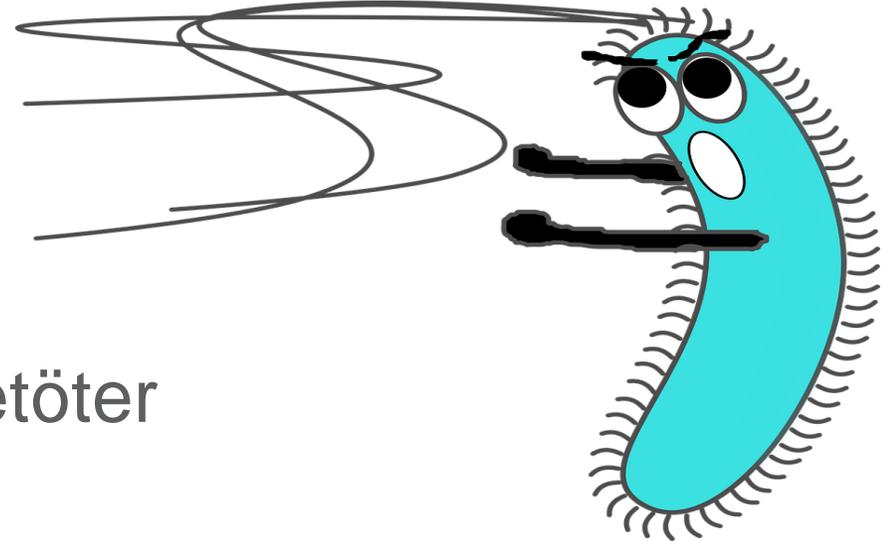


*Vollumfängliche Desinfektion/Reinigung von Mikroorganismen nur selten erfolgreich → **Rekontamination***

Wie sich Bakterien vor Chlor schützen:

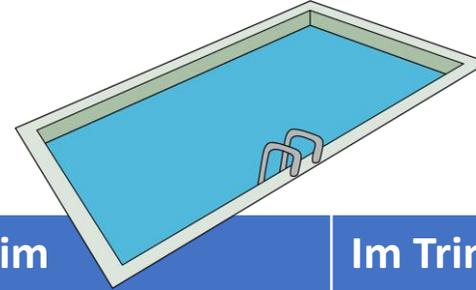
- Zellansammlungen/ Aggregate
- Absondern spezieller Proteine
- Anhaften an suspendierte Partikel

→ Erholen inaktivierter, aber nicht getöteter Mikroorganismen bei sinkender Chlorkonzentration: Rekontamination

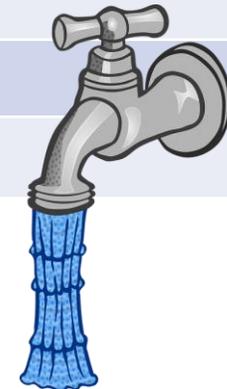


Gray, Michael J., Wei-Yun Wholey, and Ursula Jakob.
"Bacterial responses to reactive chlorine species."
Annual review of microbiology 67 (2013): 141-160.

Gesetzl. festgelegte Chlorgehalte im Schwimmbad

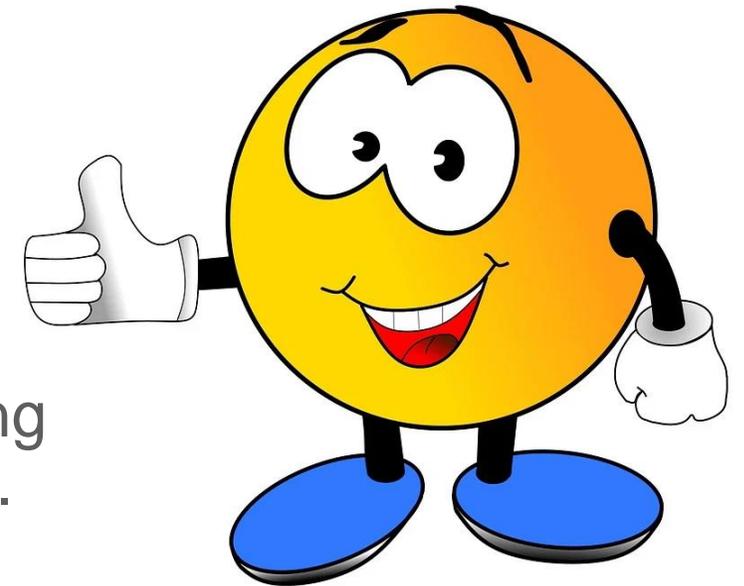


Land	Freies Chlor [mg/L] im Schwimmbadwasser	Im Trinkwasser
Schweiz	0.2 – 0.8	< 0.1
Deutschland	0.3 – 0.6	0.3
Vereinigtes Königreich	1.5 – 3	< 1
WHO	< 3 mg/L (abh. von Wasserqu.)	< 5



Take home messages:

- Die Chlordosierung bedeutet eine Gratwanderung zwischen
 - Zuwenig Desinfektion
 - Vermehrter Entstehung von Desinfektionsnebenprodukten
- Die Chlormessung gibt gegenüber der ORP-Messung genauere Auskunft über den Erfolg der Desinfektion.
- Auch nach ordentlicher Reinigung und Desinfektion kann jederzeit eine Rekontaminierung des Badwassers erfolgen durch gut geschützte Keime in Biofilmen oder durch Badegäste eingeschleppte Keime



THANK YOU FOR YOUR ATTENTION
ANY QUESTIONS?

