

BactoScore

Mikrobielle Gemeinschaften gezielt überwachen.

Über die Zellzahl hinaus: Veränderungen mikrobieller Gemeinschaften mit BactoScore erkennen

Seit mehr als einem Jahrzehnt hat die Online-Durchflusszytometrie grundlegend verändert, was Wasserversorger und industrielle Betreiber über die Mikrobiologie ihres Wassers wissen und wie schnell sie darauf reagieren können. Dennoch nutzen die meisten Installationen aus jeder Messung weiterhin nur einen einzigen Wert: die Zellzahl. BactoScore, der Algorithmus zur Erstellung mikrobieller Fingerabdrücke in bNovates BactoCloud, geht einen Schritt weiter und erkennt Veränderungen innerhalb der mikrobiellen Gemeinschaft selbst.

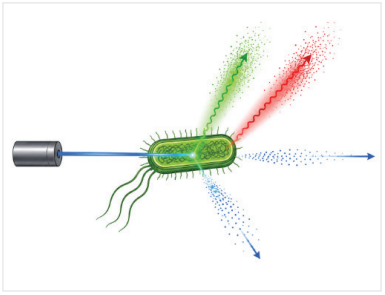
Was BactoScore ist und wie es funktioniert

Jede BactoSense-Messung erfasst in der Regel Tausende einzelner Zellen mit ihren charakteristischen Fluoreszenz- und Lichtstreusignalen. Bei einer konventionellen Auswertung werden diese Informationen auf einen einzigen Wert reduziert: die Zellzahl. BactoScore hingegen nutzt die vollständige multidimensionale Verteilung dieser zellulären Signale und verdichtet sie zu einer charakteristischen Signatur: einem Fingerabdruck. Jeder neue Fingerabdruck wird anhand eines mathematischen multidimensionalen Distanzmasses mit einer Referenzmessung oder einem Basiszeitraum verglichen und in einen einzigen, als Trend darstellbaren Score überführt.



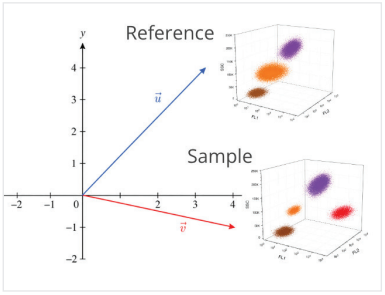
bNovate TECHNOLOGIES

1. PROBE MESSEN



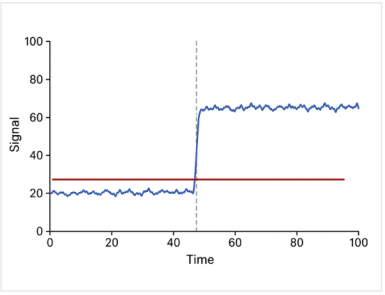
FL1, FL2, SSC, FSC für jede gemessene Zelle

2. MIT REFERENZ VERGLEICHEN



Gesamte Probe als **Vektor** darstellen und **mathematische Distanz** zur Referenz berechnen

3. TREND DARSTELLEN UND ALARM AUSLÖSEN



BactoScore zeigt die „Unähnlichkeit" = **Veränderung der mikrobiellen Zusammensetzung**

Zwei Proben mit identischer Zellzahl können sehr unterschiedliche Fingerabdrücke aufweisen, und BactoScore macht diesen Unterschied messbar. BactoScore erkennt auffällige Veränderungen in der mikrobiellen Gemeinschaft, sobald das Wasser von seinem normalen mikrobiellen Profil abweicht. BactoScore identifiziert nicht, welche Organismen vorhanden sind; dafür ist weiterhin eine Laboranalyse erforderlich. Doch innerhalb kürzester Zeit zu wissen, dass sich die Zusammensetzung verändert hat, ist häufig die entscheidende Information.

Von Zellzahlen zu mikrobiellen Fingerabdrücken

Die Durchflusszytometrie hielt als schnelle, kulturunabhängige Ergänzung zur Plattenzählung Einzug in die Trinkwassermikrobiologie: reproduzierbar, geräteunabhängig und sensitiv nicht nur gegenüber Veränderungen der mikrobiellen Menge, sondern auch gegenüber Verschiebungen zwischen Subpopulationen mit hohem und niedrigem Nukleinsäuregehalt (HNA/LNA) (Prest et al. 2013).

Im folgenden Jahrzehnt entwickelte sich die Methode kontinuierlich weiter. Durchflusszytometrische Zellzahlen erwiesen sich als leistungsfähige Alternative zur Plattenzählung für das Routine-Monitoring, Diversitätskennzahlen wurden direkt aus multidimensionalen zytometrischen Daten berechnet und mikrobielle Fingerabdrücke zur Erkennung betrieblicher Ereignisse in Anlagen im Realbetrieb eingesetzt (Props et al. 2016; Van Nevel et al. 2017; Safford & Bischel 2019; Favere et al. 2020; Claveau et al. 2024).

bNovate trug mit wichtigen Entwicklungen zu diesem Fortschritt bei: Zunächst wurde eine rechnergestützte Methode zur Erkennung auffälliger mikrobieller Ereignisse entwickelt (Sadler et al. 2020). Später kamen die Fingerprinting-Algorithmen von bNovate in gemeinsamen Studien zu Warm- und Kaltwassersystemen in Gebäuden sowie zu alpinen Karstquellen zum Einsatz (Egli et al. 2024; Campostrini et al. 2026).

Ein Hindernis stand einer breiteren Anwendung jedoch weiterhin im Weg: Diese Methoden liefen offline in individuell entwickelten R- oder Python-Pipelines und erforderten Data-Science-Kenntnisse. Die wissenschaftliche Grundlage war vorhanden, die praktische Anwendung blieb jedoch Spezialisten vorbehalten.

Mit der Einführung von BactoCloud wurde mikrobielles Fingerprinting für alle zugänglich: für Betreiber von Wasserwerken, Ingenieure von Wassersystemen und Wissenschaftler gleichermaßen. BactoScore, eine der erweiterten Analysefunktionen von BactoCloud, bietet eine sofort einsetzbare Lösung zur Erkennung von Veränderungen mikrobieller Gemeinschaften: kein Scripting, keine Datenpipeline und keine Data-Science-Erfahrung erforderlich. Was früher ein Forschungsteam erforderte, ist heute mit wenigen Klicks möglich.

Was Veränderungen der mikrobiellen Gemeinschaft aussagen

Eine Veränderung der mikrobiellen Gemeinschaft bedeutet, dass sich die vorhandenen Organismen oder ihre relativen Anteile verändern – unabhängig davon, ob sich die Zellzahl verändert. Die Überwachung dieser Zusammensetzung ist wichtig:

- **Sie signalisiert Instabilität und einen möglichen Kontrollverlust.** Wenn das Wasser nicht mehr seinen charakteristischen Fingerabdruck aufweist, befindet sich das System nicht mehr in seinem üblichen kontrollierten Zustand.
- **Sie ist ein sensitiver Indikator für Kontaminationseinträge.** Bereits ein kleiner Eintrag kann die mikrobielle Gemeinschaft verändern, während sich die Zellzahl kaum bewegt. Der Fingerabdruck kann deshalb früher reagieren.
- **Sie unterstützt die Risikobewertung.** Wenn eine steigende Zellzahl gleichzeitig mit einer Veränderung der mikrobiellen Gemeinschaft auftritt, ist etwas Neues oder Auffälliges in das System gelangt. Dies ermöglicht eine differenziertere Risikobewertung, insbesondere bei Wässern, deren Zellzahlen natürlicherweise stark schwanken.

Wie BactoScore die Zellzahl ergänzt

	Gesamtzellzahl (TCC	BactoScore
Erfasst	Einen Wert: Zellen pro mL	Die vollständige zytometrische Verteilung, ausgedrückt als Veränderung (%) gegenüber einer Referenzzusammensetzung
Beantwortet	Wie viele Zellen sind vorhanden?	Wie stark hat sich die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft verändert?
Zeigt nicht	Die Zusammensetzung	Einzelne Spezies
Sensitivität gegenüber Veränderungen der Gemeinschaft	Gering: Eine stabile Zellzahl kann eine veränderte Gemeinschaft verbergen	Hoch: Erkennt Veränderungen auch bei stabiler Zellzahl
Zeit bis zum Ergebnis	20 Minuten	Aus derselben Messung

Beide Kennzahlen sind wichtig, da sie sich ergänzende und unabhängige Informationen liefern. Und beide können aus derselben Messung gewonnen werden – ohne zusätzliche Reagenzien oder Verzögerungen. Für Ihre Anwendung bleibt die Zellzahl die quantitative Basis. BactoScore ergänzt sie um die Information, ob sich die mikrobielle Gemeinschaft hinter dieser Zahl verändert hat.

Ein praktisches Beispiel: Quellwasserüberwachung

Die Erkennung von Veränderungen mikrobieller Gemeinschaften ist besonders bei unbehandeltem Quell- und Grundwasser relevant. Genau hier setzt das Schweizer Versorgungsunternehmen WWZ BactoScore ein. Seit 2025 überwacht BactoSense alle vier Rohwasserquellen des Quellwasserwerks und stellt über BactoCloud sowohl Zellzahlen als auch BactoScores bereit. Nach Niederschlägen steigen die Zellzahlen typischerweise an. Ein stabiler BactoScore zeigt den Betreibern dabei, dass sich die mikrobiellen Gemeinschaften nicht verändert haben.

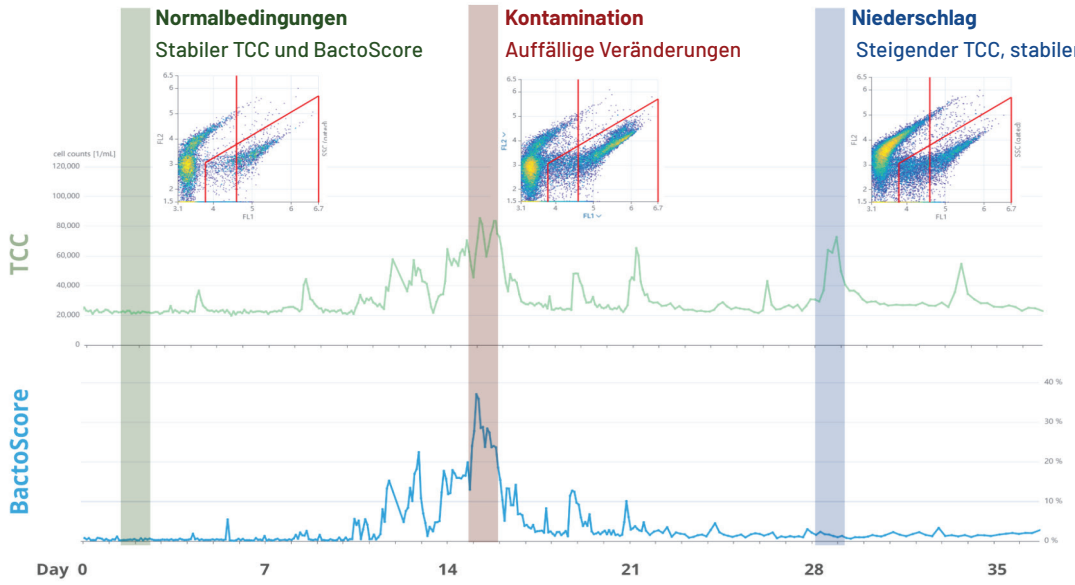


Abbildung: Quellwasserüberwachung anhand der Gesamtzellzahl (obere Grafik) und des BactoScore (untere Grafik), die unterschiedliche Reaktionen auf Kontaminations- und Niederschlagsereignisse zeigt.

Im Sommer 2025 veränderten sich jedoch beide Kennzahlen gleichzeitig. Wenige Tage später bestätigte das Labor eine fäkale Verunreinigung des Rohwassers. Mit der Kombination aus Zellzahlen und BactoScore kann WWZ auffällige Veränderungen unmittelbar erkennen. Lesen Sie die vollständige Geschichte in Aqua & Gas (Zimmermann et al. 2026, Deutsch und Französisch).

„Ohne anormale Veränderung“: Was BactoScore konkret dazu beiträgt

Auch der regulatorische Rahmen unterstreicht diesen Punkt. Gemäß der Neufassung der EU-Trinkwasserrichtlinie (2020/2184) ist die Koloniezahl bei 22 °C ein Indikatorparameter (Anhang I, Teil C), für den kein fester numerischer Grenzwert festgelegt ist. Erwartet wird lediglich, dass keine anormale Veränderung auftritt. Die Vorgabe dient damit der Überwachung und nicht einer Konformitätsbewertung anhand eines festen Grenzwerts.

Die Kombination aus Zellzahlen und BactoScore macht diese Anforderung im Betrieb greifbar: durch eine definierte Basislinie für beide Kennzahlen und eine kontinuierliche, objektive Messung von Abweichungen – innerhalb von Minuten statt nach den Tagen, die ein Kulturverfahren benötigt. Durch die verschlüsselte Datenübertragung, Datenerfassung und Audit-Trails von BactoCloud wird daraus ein nachvollziehbarer und auditierbarer Arbeitsablauf für den täglichen Betrieb.

Erste Schritte mit BactoScore

Der mikrobielle Fingerabdruck ist bereits Bestandteil jeder BactoSense-Messung. BactoScore macht daraus lediglich ein verwertbares Signal. Keine neue Hardware, keine zusätzlichen Reagenzien und keine Programmierung erforderlich:

1. **Für BactoCloud registrieren Sie sich unter bactocloud.com/register.** Der Basistarif ist kostenlos; BactoScore ist in BactoCloud Pro enthalten.
2. **BactoSense verbinden.** Geben Sie Ihrem Analysator Internetzugang und verbinden Sie ihn mit BactoCloud.
3. **BactoScore mit wenigen Klicks aktivieren.**

Seit Jahrzehnten sagt uns die Zellzahl, *wie viele* Zellen vorhanden sind. BactoScore beantwortet nun die ebenso wichtige Frage: *Ist das Wasser noch dasselbe*? Und für jedes BactoSense, das bereits im Einsatz ist, ist diese Antwort nur wenige Klicks entfernt.

FÜR BACTOCLOUD REGISTRIEREN

BACTOSENSE-DEMO BUCHEN

Häufig gestellte Fragen

Wird BactoScore von der Zellzahl beeinflusst?

Nein. BactoScore wird aus der Form des zytometrischen Fingerabdrucks abgeleitet, also aus der relativen Verteilung der Fluoreszenz- und Streulichtsignale, und nicht aus der absoluten Anzahl der Zellen. Da der zugrunde liegende Vergleich, die multidimensionale Distanzmessung, unabhängig von der absoluten Größenordnung ist, kann die Zellzahl einer Probe steigen oder fallen, während der BactoScore stabil bleibt – und umgekehrt. Genau diese Unabhängigkeit ermöglicht es BactoScore, Veränderungen der mikrobiellen Gemeinschaft sichtbar zu machen, die anhand der Zellzahl allein unentdeckt bleiben würden.

Ist BactoScore mit allen Geräten und Kartuschen kompatibel?

Ja. BactoScore funktioniert mit den Daten jedes BactoSense, das mit BactoCloud Pro verbunden ist – unabhängig vom Gerätemodell oder Kartuschentyp. Der Fingerabdruck ist bereits in jeder Messung enthalten. Es sind daher weder ein spezielles Gerät noch eine spezielle Kartusche oder zusätzliche Reagenzien erforderlich.

Wie werde ich benachrichtigt, wenn sich die mikrobielle Zusammensetzung verändert?

Genau wie bei jedem anderen Parameter in BactoCloud: Legen Sie einen Alarmgrenzwert für BactoScore fest und wählen Sie, wie Sie benachrichtigt werden möchten – per E-Mail, SMS oder über die API zur Integration in Ihr SCADA- oder Leitsystem.

AUSGEWÄHLTE REFERENZEN

- Prest, E.I., Hammes, F., Kötzsch, S., van Loosdrecht, M.C.M., Vrouwenvelder, J.S. (2013). Monitoring microbiological changes in drinking water systems using a fast and reproducible flow cytometric method. *Water Research* 47(19), 7131–7142. https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.051
- Props, R., Monsieurs, P., Mysara, M., Clement, L., Boon, N. (2016). Measuring the biodiversity of microbial communities by flow cytometry. *Methods in Ecology and Evolution* 7, 1376–1385. https://doi.org/10.1111/2041-210X.12607
- Van Nevel, S., Koetzsch, S., Proctor, C.R., Besmer, M.D., Prest, E.I., Vrouwenvelder, J.S., Knezev, A., Boon, N., Hammes, F. (2017). Flow cytometric bacterial cell counts challenge conventional heterotrophic plate counts for routine microbiological drinking water monitoring. *Water Research* 113, 191–206. https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.01.065
- Safford, H.R., Bischel, H.N. (2019). Flow cytometry applications in water treatment, distribution, and reuse: A review. *Water Research* 151, 110–133. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.028

- Sadler, M.C., Senouillet, J., Kuenzi, S., Grasso, L., Watson, D.C. (2020). Computational surveillance of microbial water quality with online flow cytometry. *Frontiers in Water* 2, 586969. https://doi.org/10.3389/frwa.2020.586969
- Favere, J., Buysschaert, B., Boon, N., De Gusseme, B. (2020). Online microbial fingerprinting for quality management of drinking water: Full-scale event detection. *Water Research* 170, 115353. https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115353
- Egli, T., Campostrini, L., Leifels, M., Füchslin, H.P., Kolm, C., Dan, C., Zimmermann, S., Hauss, V., Guiller, A., Grasso, L., Shajkofci, A., Farnleitner, A.H., Kirschner, A.K.T. (2024). Domestic hot-water boilers harbour active thermophilic bacterial communities distinctly different from those in the cold-water supply. *Water Research* 253, 121109. https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121109
- Claveau, L., Hudson, N., Jeffrey, P., Hassard, F. (2024). Assessing microbial growth in drinking water using nucleic acid content and flow cytometry fingerprinting. *iScience* 27(12), 111511. https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111511
- Campostrini, L., Demeter, K., Linke, R., Poelz, A., Stevenson, M.E., Derx, J., Jakwerth, S., Lindner, G., Shajkofci, A., Grasso, L., Peer, S., Zessner, M., Kirschner, A.K.T., Farnleitner, A.H. (2026). Performance of on-site flow cytometry for near-real-time microbiological analysis of alpine karst drinking water resources. *npj Clean Water* 9, 6. https://doi.org/10.1038/s41545-025-00536-5
- Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council on the quality of water intended for human consumption (recast).
- Zimmermann, K., Steffen, M., Gross, M., Kaufmann, S. (2026). Automatisierte mikrobiologische Quellwasserüberwachung. *Aqua & Gas* 7/8-2026.