

Applikationsbericht

Bedeutung des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB) in der Wasseranalytik

Einleitung

Ein hoher Lebensstandard bedingt einen hohen Bedarf an Wasser und gleichzeitig eine starke Belastung dieses lebenswichtigen Grundnahrungsmittels. Dadurch erfolgt ein erheblicher Eingriff in den natürlichen Stoffkreislauf, der die Selbstreinigungskraft oft überfordert. So treten zu den Abbauprodukten von Naturstoffen (z.B. Kohlenhydrate, Eiweiße, Fette) anthropogene Einträge (z.B. Pestizide, Abwässer, Abfälle), die durch toxische oder hormonartige Wirkung das Trinkwasser verunreinigen oder durch hohe Sauerstoffzehrung ein Gewässer belasten können. Um mögliche Gesundheitsschäden und Existenzbedrohung einiger Arten zu verhindern, ist es vor dem Gebrauch und einer anschließenden Ableitung daher wichtig, den Zustand eines Wassers festzustellen.

Wasseranalyse

Die Qualität des Wassers ist von seinen Inhaltsstoffen abhängig, die sich in anorganische und organische Stoffe unterteilen lassen. Wegen der Vielzahl an natürlichen und künstlichen organischen Verbindungen ist die Analyse der enthaltenen Einzelstoffe nicht praktikabel und darüber hinaus sehr aufwendig. Um rasch Eckdaten für eine Beurteilung zu bekommen, bietet sich in der Praxis an, statt der Einzelparameter die Gruppen der Inhaltsstoffe mit schnellen Methoden in Form von Summenparametern zu bestimmen. In diesem Zusammenhang kann der BSB zur Erfassung der aeroben Abbaubarkeit organischer Substanzen herangezogen werden. Bereits 1870 hat FRANKLAND die ersten BSB-Messungen durchgeführt, die der heutigen Verdünnungsmethode (s.u.) sehr ähnlich waren.

Definition und Auslegung

Der biochemische Sauerstoffbedarf während n Tagen (BSB_n; engl.: BOD_n; biochemical oxygen demand after n days) ist in der DIN 38 409-H 51¹ genau definiert und an experimentelle Standards geknüpft. Er stellt die Menge an Sauerstoff dar, die bei aeroben Abbauprozessen an organischen Stoffen von Mikroorganismen veratmet wird. Der BSB liefert daher Auskunft über den biologisch verwertbaren Teil organischer Inhaltsstoffe in einer Wasserprobe.

¹ Stimmt sachlich mit ISO 5815 (1983), DEV und ÖNORM ISO 5815 überein (Hütter, 1994)

Dabei erfolgt die Erfassung dieser Stoffe über deren Eigenschaft der Oxidierbarkeit unter Sauerstoffverbrauch. Der BSB wird in mg/l Sauerstoff angegeben und üblicher Weise innerhalb von 5 Tagen bestimmt (BSB₅).

Prinzip

Die Selbstreinigungskraft der Gewässer beruht auf der Tätigkeit von Mikroorganismen², die praktisch überall als Mischpopulation³ vorkommen. Sie ernähren sich von Salzen und organischen Verbindungen, wie Zucker, Zellulose und verwertbaren künstlichen Stoffen, die sie bei Gegenwart von Sauerstoff (O₂) veratmen, d.h. biochemisch oxidieren und somit teilweise oder vollständig zersetzen. Unter dem vollständigen Abbau organischer Stoffe (C_{org.}) versteht man deren Oxidation zu Kohlendioxid (CO₂) und anorganischen Salzen (Mineralisierung) nach Gleichung 1:



Die Bedingungen für die BSB-Bestimmung sind so festgelegt, dass alleine die Menge der in einer Probe enthaltenen organischen Stoffe das Wachstum der Mikroorganismen limitiert, d.h. je mehr organische Nährstoffe vorhanden sind, desto größer ist die Stoffwechselaktivität der Bakterien und um so höher liegt der resultierende BSB. Der gemessene O₂-Verbrauch geht dabei auf mikrobielle Umsetzungen zurück. Bei stark anaeroben Wässern können auch Oxidationsvorgänge an anorganischen Stoffen (z.B. Fe²⁺ → Fe³⁺) erfasst werden.

BSB₅ und BSB-Kurve

Die Bestimmung des BSB-Werts nach 5 Tagen (BSB₅) hat sich als Kompromiss zwischen einer möglichst kurzen Testphase und der Erfassung einer vollständigen biologischen Zersetzung der organischen Stoffe durchgesetzt. Bei häuslichen Abwässern wird bei 20 °C erst nach 20 Tagen (BSB₂₀) ein vollständiger Abbau (=100 % BSB) erreicht, jedoch werden bereits nach 5 Tagen 70 % der biologisch verwertbaren Inhaltsstoffe abgebaut (HÜTTER, 1994). Zwischen den BSB₅- und den BSB₂₀-Werten

² Bakterien, Pilze, Archaeen und Protozoen

³ Gruppen von Mikroorganismen liegen nebeneinander vor und unterliegen gegenseitiger Interaktionen

herrscht folgende Gesetzmäßigkeit: Pro Zeitintervall wird der gleiche Anteil an Rest-BSB-Menge abgebaut. Bei 20 °C beträgt die tägliche Abbauleistung 20,6 % der jeweiligen Rest-BSB-Menge (HABECK-TROPFKE, 1992), d.h. es würde sich im Idealfall bei einem Gesamt-BSB (BSB₂₀) von 100 mg/l nach 1 Tag ein BSB-Wert von 20,6 mg/l ergeben. Diese Kinetik entspricht einer Reaktion 1. Ordnung. Aus diesem Zusammenhang kann man, ausgehend vom BSB₅-Wert, die Werte vom BSB₁ bis zum BSB₂₀ für häusliche Abwässer abschätzen. Darüber hinaus ist eine Relation mit BSB-Werten möglich, die bei anderen Temperaturen gemessen wurden (PÖPPINGHAUS & FRESENIUS, 1994). Der Vorteil der 5-Tage-Messung liegt also einerseits im kurzen Zeitbedarf für die Analyse und andererseits in der Extrapolierbarkeit. Eine sogenannte BSB-Kurve lässt sich aufstellen, indem die BSB-Werte in ihrem zeitlichen Verlauf graphisch dargestellt werden. Eine leichte Abweichung der oben beschriebenen Kinetik entsteht durch Schwankungen der Abbaugeschwindigkeiten: Die Mikroorganismen verbrauchen im Milieu den jeweils am leichtesten verwertbaren Stoff vollständig, bevor sie die nächste verwertbare C-Quelle angreifen. Der Übergang zum nachfolgenden Substrat ist mit einer Adaptionsphase gekoppelt und bedingt einen meist kurzen Rückgang der Stoffwechselaktivität (Diauxie). Weitere Überlegungen gehen davon aus, dass unter den gegebenen Standardbedingungen innerhalb der 5-tägigen Testzeit umweltbedingte Adaptationen⁴ der inokulierten Mikroorganismen ausgeglichen und somit vergleichbare BSB-Werte zu erhalten sind (HABECK-TROPFKE, 1992).

Interpretation

Anhand des BSB_n-Werts können sowohl Aussagen über die Eigenschaften eines Wassers als auch über die biologische Aktivität der inkulierten Mikroflora getroffen werden. Beispielsweise kann bei einer starken Belastung des Sauerstoffhaushalts eines Gewässers dieses infolge einer Einleitung stark sauerstoffzehrender Abwässer (mit hohem BSB) durch Sauerstoffmangel anaerob werden und "umkippen". In einem anderen Fall kann die biologische Leistungsfähigkeit einer Kläranlage getestet werden, indem der BSB einer bekannten Kontrolllösung mit dem der im Werk konkret vorhandenen Mikrobiozönose ermittelten verglichen werden. Allgemein lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Ein hoher BSB zeigt einen hohen Gehalt gut abbaubarer, organischer Probeninhaltsstoffe
- Ein niedriger BSB verweist auf eine geringe Menge organischer Stoffe, auf schwer abbaubare Substanzen oder Störungen bei der Bestimmung (s.u.)
- Der Verlauf der BSB-Kurve (s.o.) gibt weitergehende Hinweise auf die Aussagekraft der Messung (Messbereichskonformität, Störungen, Abbauverhalten)

Der BSB-Wert wird i.d.R. zusammen mit anderen Parametern (z.B. CSB, DOC, POC, TOC) bestimmt und ausgewertet, wobei er an Aussagekraft gewinnt. Ein Beispiel stellt der Vergleich des ermittelten BSB- mit dem CSB-Wert dar:

- Eine kleine Differenz deutet auf gute Abbaubarkeit eines Großteils der organischen Stoffe
- Eine große Differenz läßt entweder auf eine schlechte Abbaubarkeit der organischen Belastung oder auf eine Störung (s.u.) rückschließen

Der BSB erfasst nur den abbaubaren Anteil organischer Substanzen und liegt daher grundsätzlich niedriger als der CSB-Wert, der auch die anorganischen und biologisch nicht oxidierbaren Stoffe einschließt.

Störungen

Der Abbau von Wasserinhaltsstoffen vollzieht sich in zwei Phasen: Der Kohlenstoffabbau beginnt praktisch sofort. In der zweiten Phase tritt Nitrifikation auf, bei der ebenfalls Sauerstoff verbraucht wird. Es gibt zwei Gruppen nitrifizierender Bakterien, welche in Abhängigkeit voneinander die Synthese nach Gleichung 2 katalysieren: Die erste Gruppe oxidiert Ammonium (NH₄⁺) zu Nitrit (NO₂⁻), welches das Substrat für die zweite, Nitrat(NO₃⁻)-bildende Gruppe darstellt:



Diese Umsetzung erfordert 4,57 mg/l O₂ pro mg NH₄⁺ und beeinträchtigt erheblich den BSB, der nur den Sauerstoffverbrauch zur Kohlenstoffoxidation (C-BSB) erfassen soll. Die Nitrifikation setzt i.d.R. nach 10 Tagen ein, kann jedoch bei schwach belasteten Proben⁵ bereits innerhalb von 5 Tagen auftreten (HABECK-TROPFKE, 1992; HÜTTER, 1994). Um diese erhebliche Störung zu unterdrücken, können Nitrifikationshemmstoffe, wie N-Allylthioharnstoff (ATH) oder 2-Chlor-6-(trichlormethyl-)Pyridin (CTMP), zugegeben werden. Soll gerade die O₂-Zehrung im Zuge der Nitrifikation (N-BSB) analysiert werden, kommt ein Vergleich eines

⁴ Anpassungen der Mikroorganismen an individuelle Milieubedingungen (z.B. jahreszeitlich bedingte Temperatur, bestimmte Xenobiotika, usw.)

⁵z.B. beim Kläranlagenablauf

Ansatzes mit und ohne Nitrifikationshemmstoff in Betracht.

Im Gegensatz dazu können Hemmstoffe oder andere toxische Substanzen die biologische Aktivität in einem Wasser verringern oder die Organismen sogar abtöten. Es kann trotzdem von Interesse sein, den BSB einer derartigen Probe zu ermitteln. Dies erreicht man mit einer Verdünnung, bei der Substanzen, wie z.B. Stoffwechselgifte, unterhalb der Konzentration gebracht werden, ab der sie eine Beeinträchtigung des aeroben Abbaus bewirken.

Verfahren

Es gibt zwei Standardverfahren, die unter bestimmten Bedingungen einander entsprechen: Die Verdünnungsmethode nach DIN 38409-H 51 liefert den sog. Verdünnungs-BSB_n während n Tagen und ist z.Zt. das amtlich anerkannte Verfahren. Es ist aufwendig und beinhaltet eine Optimierung der für den Abbauprozess maßgeblichen Testbedingungen bei 20 ± 1 °C. Der Sauerstoffgehalt wird dabei direkt im Probenwasser gemessen.

Das einfachere Verfahren ist die Messung der Sauerstoffzehrung Z_s (n) während n Tagen nach DIN 38409-H 52 und wird daher zur Eigenüberwachung angewendet. Die respirometrische Methode (Manometer) beruht darauf, dass der zu Kohlendioxid veratmete Sauerstoff mittels CO₂-Adsorbens, i.d.R. Kaliumhydroxid (KOH), aus dem Gasraum über der Probe entfernt wird. Die entstehende Druckabnahme kann im abgeschlossenen System gemessen werden und ist der verbrauchten Sauerstoffmenge proportional. Der sog. Zehrungswert Z_s (n) kann als BSB_n-Wert interpretiert werden, wenn

1. ausschließlich die Konzentration an organischer Substanz die Sauerstoffzehrung in den Proben limitiert und
2. die Untersuchung bei 20 ± 1°C erfolgt.

Die Druckmessung wurde früher mittels Quecksilbermanometer vorgenommen. Einfacher und zuverlässiger läßt sich die Bestimmung mit dem elektronischen BSB-OxiDirect von AQUALYTIC® durchführen. Die digitale Anzeige ermöglicht eine direkte Ablesung der aktuellen oder gespeicherten BSB-Werte in mg/l. Insbesondere wird dabei die Verwendung des gesundheitsschädlichen Quecksilbers umgangen (s. Gefahrstoffverordnung § 16 und 19).

Weitere Anwendungen der BSB-Methode

Der BSB ist ein Maß für den aeroben, biologischen Abbau. Ein Spezialfall ist die Anwendung

in der Wasseranalytik als BSB₅-Wert. Variationen der Methode können zu weiteren Einsatzmöglichkeiten führen:

- Prüfung des aeroben Abbaus von Umweltchemikalien (z.B. nach OECD 301) in 28 Tagen
- Bestimmung der Atmung in Boden, Schlamm, Sediment, Abfall und Flüssigkeiten
- Toxizitätstest mit Boden, Schlamm, Sediment, Abfall und Flüssigkeiten
- Bestimmung der Bioaktivität von Umweltkompartimenten
- Leistungsüberprüfung einer Abwasserreinigungsanlage
- Bestimmung der Atmungsrate von Lebewesen (z.B. R/Q-Wert, Stressuntersuchung)
- Sauerstoffverbrauch von Zellkulturen unter dem Einfluss verschiedener Prüfstoffe in der medizinisch-/ pharmazeutischen Industrie

Wertebeispiele

Zur Orientierung sind nachfolgend exemplarisch BSB₅-Werte für natürliche und anthropogene Wässer angegeben (s. Tabelle 1):

Tabelle 1: BSB₅-Wertebeispiele (aus: *PÖPPINGHAUS & FRESENIUS, 1994; ;HÜTTER, 1994; LAW-RPL, 1997; KA: kommunale Kläranlage; GKI.: Saprobitätsstufe (Güteklasse))

WÄSSER	BSB ₅ [mg/l]	ABWÄSSER/ VORFLUTER	BSB ₅ [mg/l]
GKI. IV	> 15	Blut*	160.000 -210.000
GKI. IV/III	20 - 10	Jauche*	7.000 - 18.000
GKI. III	13 - 7	Molke*	45.000
GKI. III/II	10 - 5	Mosel/ Plazem	1,0 - 5,1
GKI. I	6 - 2	Nahe/ Grolsh. m.	< 1,0 - 6,7
GKI. II/I	2 - 1	Rhein/ Mainz	< 1,0 - 1,9
GKI. I	≤ 1	KA-Zulauf	300 - 350
Trinkwasser	< 1	KA-Ablauf	< 25

Literaturverzeichnis

- DIN: Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag GmbH, Berlin.
- HABECK-TROPFKE, 1992: Abwasserbiologie, 2. Auflage, Werner-Verlag.
- HÜTTER, 1994: Wasser und Wasseruntersuchung, 6. Auflage, Otto Salle Verlag Frankfurt am Main.
- LAW-RPL, 1997: Datenmaterial zu Oberflächengewässern 1995, Sonderdruck vom Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland-Pfalz.
- PÖPPINGHAUS & FRESENIUS, 1994: Abwassertechnologie, Herausgeber: Institut Pöppinghaus GmbH und Institut Fresenius GmbH, Springer-Verlag, Berlin.