

Leitfaden Nr. 2-14

Betrieb von Abwasseranlagen; Die Stickstoffbilanz im kommunalen Abwasser

Stand: 02/2024

Allgemeines

Der Stickstoff kommt im Abwasser in verschiedenen Verbindungen vor. Entsprechend unterschiedlich sind die Eigenschaften dieser Stickstoffverbindungen. Bei Einleitung in ein Gewässer können sie sauerstoffzehrend oder fischgiftig sein oder als Nährstoffe wirken.

Es ist deshalb wichtig, wie sich die Stickstoffverbindungen im kommunalen Abwasser zusammensetzen und wie sie sich bei den jeweiligen Verfahrensschritten der Abwasserbehandlung verändern. Bei der Bilanz werden zusätzliche Belastungen – z. B. aus dem Schlammwasser der Schlammbehandlung – nicht berücksichtigt. Diese Einflüsse können bei jeder Anlage anders sein und würden die Einfachheit der Darstellung nur erschweren.

Der Stickstoff (N) im kommunalen Abwasser kommt größtenteils aus den menschlichen Ausscheidungen. Hierbei geht es im Wesentlichen um den Stickstoff im Harnstoff des Urins. Ein Mensch scheidet täglich rund 12,5 g N aus. Im kommunalen Rohabwasser liegt der mittlere TKN (Kjeldahl-Stickstoff), d. h. die Summe aus organischem Stickstoff (org. N) und Ammonium-Stickstoff (NH₄-N), häufig in einer Größenordnung von 30 bis 80 mg/l. Der Anteil an org. N ist dabei wesentlich niedriger als der Anteil an NH₄-N.

Zulauf zur Kläranlage

Es ergibt sich beispielsweise für einen täglichen Schmutzwasseranfall von 200 l je Einwohner (inkl. Fremdwasser) und eine spezifische Zulaufkraft von 12,5 g N/(E·d) eine rechnerische Konzentration von

$$12.500 \text{ mg N } / (\text{E} \cdot \text{d}) / 200 \text{ l} / (\text{E} \cdot \text{d}) = 62,5 \text{ mg/l}$$

In der Praxis liegen die Stickstoffkonzentrationen teilweise niedriger. Dies ist meist auf einen hohen Fremdwasseranfall oder einen großen Anteil an gewerblichem Schmutzwasser zurückzuführen. Harnstoff und anderer organisch gebundener Stickstoff wird schon im Kanal durch mikrobielle Prozesse als Ammoniak (NH₃) freigesetzt (Ammonifikation). Aus im Wasser gelöstem NH₃ entstehen NH₄-Ionen. Je länger der Fließweg zur Kläranlage oder die Aufenthaltszeit des Abwassers in Pumpensämpfen oder Druckleitungen ist, umso weiter ist dieser Vorgang bereits fortgeschritten.

Mechanische Reinigung

Der Prozess der Ammonifikation setzt sich in der mechanischen Stufe fort, sodass weiter organischer Stickstoff in NH₄-N umgewandelt wird. Der in der Vorklärung abgesetzte Schlamm enthält eine Masse von etwa 1 g N/(E·d). Dies entspricht einem Stickstoffgehalt von rund 5 mg/l, der damit aus dem Abwasser entfernt ist. Diese Zahlen gelten nicht für Abwasserteiche; durch Rücklösungen infolge von Fäulnisprozesse des abgesetzten Schlammes im ersten Teich liegen hier andere Verhältnisse vor.

Biologischen Reinigung (nur C-Abbau)

In der biologischen Stufe liegt fast der gesamte Stickstoff als stark sauerstoffzehrender $\text{NH}_4\text{-N}$ vor. Nun wird organische Substanz in Bakterienmasse eingebaut und als Überschussschlamm abgezogen. Für die Bildung dieser Biomasse durch die Bakterien wird Stickstoff benötigt. Der Stickstoff, der dabei entfernt wird, liegt etwa bei 5 % des BSB_5 je Einwohner und Tag:

$0,05 \cdot 40 \text{ g N}/(\text{E} \cdot \text{d}) = 2 \text{ g N}/(\text{E} \cdot \text{d})$, ergibt 10 mg/l im Abwasser.

Nitrifikation

Im Belebungsbecken wird mit Hilfe von Sauerstoff $\text{NH}_4\text{-N}$ über Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$) zu Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) oxidiert. Auch bei schwachbelasteten Tropfkörpern oder Rotationstauchkörpern geschieht dies in gleicher Weise. Dieser Vorgang heißt Nitrifikation oder Stickstoffoxidation. Bei ausreichendem Schlammalter bzw. niedriger BSB_5 -Schlammbelastung und günstigen Randbedingungen ist der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt im Ablauf kleiner als 3 mg/l, meist sogar kleiner als 1 mg/l. Das entstandene Nitrat wirkt als Nährstoff für Pflanzenwachstum im Gewässer, Nitrit wirkt bei höheren Konzentrationen fischgiftig. Durch die Nitrifikation wird die Stickstoffkonzentration im Abwasser nicht weiter reduziert.

Denitrifikation

In nicht belüfteten (anoxischen) Becken oder Zonen finden die Bakterien keinen gelösten Sauerstoff und sind daher gezwungen, den benötigten Sauerstoff aus dem Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) aufzunehmen. Der übrigbleibende Stickstoff ist ein Gas (N_2), das in die Atmosphäre entweicht. Diesen Vorgang nennt man Denitrifikation.

TKN (Kjeldahl-Stickstoff)

Der TKN ist die Summe aus dem organisch gebundenen Stickstoff (org. N) und dem Ammoniumstickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$). Er ist für die Ermittlung der Stickstofffracht im Rohabwasser oder nach der mechanischen Reinigung von Interesse. Im Ablauf liegt die Konzentration an org. N in der Regel so niedrig, dass seine Messung nicht mehr erforderlich ist. Der TKN wird näherungsweise mit GesN im Zulauf gleichgesetzt.

Stickstoff, gesamt im Ablauf (N_{ges}) bzw. gesamter anorganischer Stickstoff

Gemäß dem Abwasserabgabengesetz (AbwAG) ist beim Einleiten von Abwasser in ein Gewässer für den Stickstoff eine Abgabe zu bezahlen. Der Stickstoff (N_{ges}) ist nach der Abwasserverordnung (AbwV) und dem AbwAG als Summe von $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NO}_2\text{-N}$ definiert – also ohne den organischen Stickstoff. Bei einer weitgehenden Stickstoffelimination ist im Ablauf der Kläranlage die Konzentration an N_{ges} kleiner als 12 mg/l.

Gesamtstickstoff (GesN bzw. TN_b)

Im Unterschied zum N_{ges} im Ablauf, der nur aus dem anorganischen Stickstoff besteht, wird die Summe aus organisch gebundenem Stickstoff und anorganischem Stickstoff mit GesN bezeichnet, d. h. $\text{N}_{\text{ges}} + \text{org.N} = \text{GesN}$. Die Analyse ist vor allem im Zulauf wichtig, da hier der organische Stickstoff noch mehr als 20 mg/l betragen kann. Auch für die Ermittlung des Stickstoff-Abbaugrades einer Kläranlage müssen im Zu- und Ablauf die Konzentrationen an GesN ermittelt werden. Alternativ erfolgt z. B. beim Leistungsvergleich die Abschätzung des GesN im Ablauf über $\text{N}_{\text{ges}} + 2 \text{ mg/l}$.

In der beigefügten Abbildung ist beispielhaft dargestellt, wie sich der Stickstoff im kommunalen Abwasser zusammensetzt und wie er sich bei den jeweiligen Verfahrensschritten der Abwasserreinigung verringert. Bei der Bilanz werden mögliche zusätzliche Belastungen z. B. aus dem Schlammwasser der Schlammbehandlung oder der maschinellen Schlammwässerung nicht berücksichtigt. Diese Einflüsse können bei jeder Anlage anders sein und würden die Einfachheit der Darstellung nur erschweren.

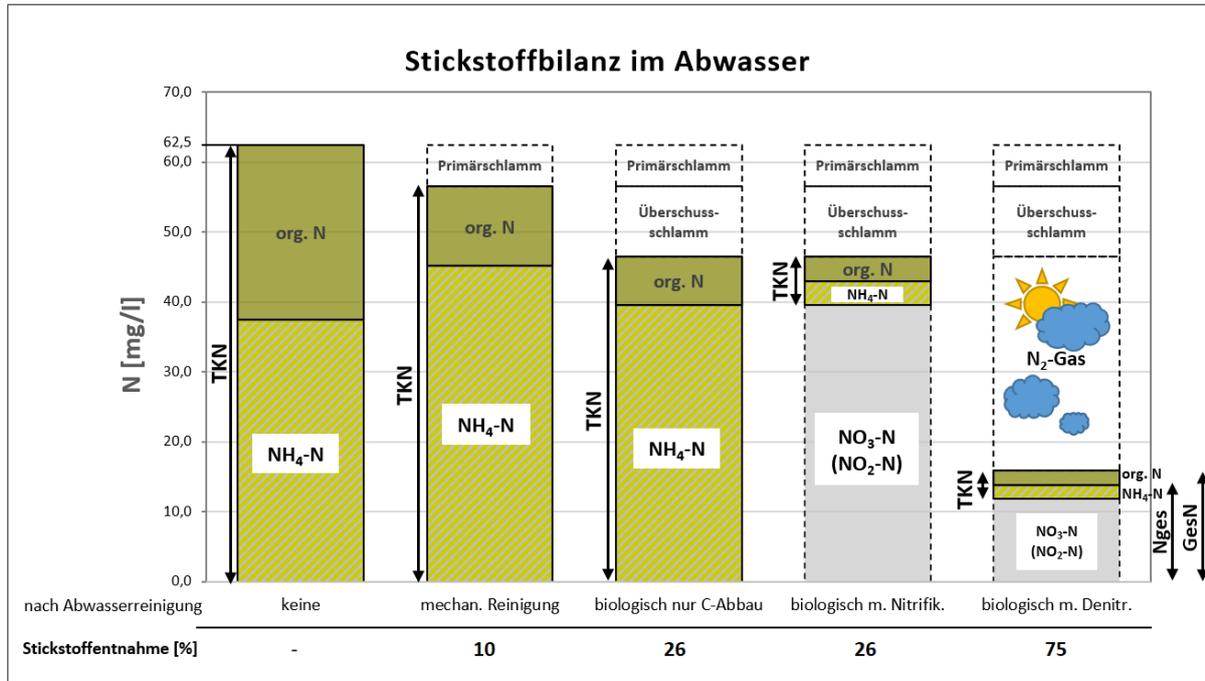


Abbildung 1 exemplarische Stickstoffbilanz für einen Schmutzwasseranfall (inkl. Fremdwasser) von 200 l/(E·d) und einer spezifischen Stickstofffracht von 12,5 g/(E·d)