

A 131, Quo vadis?

R. Kayser

D-38116 Braunschweig, Adolf-Bingel-Str. 2

Kurzfassung: Kläranlagen, die nach dem ATV Arbeitsblatt A 131 von 1991 bemessen worden sind, enthalten gewisse Reserven, dadurch sind aber die Ablaufkonzentrationen insbesondere des Stickstoffs meist besser als erwartet. Zur Novellierung wird erwogen, die Sicherheiten zu beziffern sowie auch eine Bemessung auf der Basis des CSB einzuführen. Bedacht werden sollte dabei, daß das Arbeitsblatt auch in anderen europäischen Ländern mit zum Teil andersartiger Wassergesetzgebung und Überwachungsstrategie angewendet werden kann. Für größere Kläranlagen sollte die dynamische Simulation zur Ermittlung der Schwankungsbreite der Ablaufkonzentrationen von Nitrat und Ammonium genutzt werden, ggf. sind danach Korrekturen an der Anlagenkonfiguration vorzunehmen. Auch der Spitzenbedarf des Sauerstoffs ergibt sich dabei zwangsläufig. Dies erfordert jedoch umfangreichere Untersuchungen der Belastung.

Key words: Belebungsanlagen, Bemessung, Bemessungsgrundlagen, Nitrifikation, Stickstoffelimination, CSB-Bilanz, dynamische Simulation.

1 Die Probleme

Nachdem in Deutschland die ersten Kläranlagen auf Stickstoff- und Phosphorelimination ausgebaut waren und etwa zeitgleich das Geld in allen öffentlichen Kassen weniger wurde, begann das Klagen über die zu teuren Kläranlagen.

Der Verursacher war schnell ausgemacht: Die ATV mit ihren überzogenen Standards. Bei der Bemessung nach dem ATV-Arbeitsblatt A 131 würden die Becken zu groß und die Belüftungseinrichtungen überdimensioniert.

Darauf werde ich eingehen. Im A 131 steht allerdings nichts von der Schönheit und Geräumigkeit vieler Hochbauten auf Kläranlagen, dem zum Teil großzügigen Wegenetz, den gepflegten gärtnerischen Anlagen, sowie nicht zuletzt der hochwertigen Elektro- und Prozeßleittechnik. Auch wird keine Forderung erhoben, die Schlammbehandlung, „weil man einmal dabei ist“, neu zu bauen, denn es fällt praktisch nicht mehr Schlamm an als vorher. Zum Komplex der Kosten haben sich in letzter Zeit viele Fachleute geäußert, ich verweise beispielhaft auf Bucksteeg (1995).

Wesentliche Ursachen für zu große Belebungsanlagen (auch in den alten Bundesländern) sind meines Erachtens: Eingeplante Reserven für Bevölkerungs- und Gewerbezuwachs, Verzicht auf gezielte Belastungsmessungen oder nicht sachgerechte Auswertung des vorhandenen Datenmaterials (z.B. zur Frachtermittlung wird der 85%-Wert des Abwasseranfalles multipliziert mit dem Mittelwert oder - noch schlimmer - dem 85%-Wert der BSB-Zulauf-Stichproben), Verzicht auf Versuche, wie sie in A 131 als beste Bemessungsgrundlage herausgestellt werden.

Man kann nun leider nicht in jedem Fall Versuche durchführen, daher wird das Bemessungswerkzeug A 131 benötigt. Anders als den Vätern des A 131 von 1991, liegen uns heute von einer großen Zahl existierender Anlagen Betriebsergebnisse vor, die für eine Novellierung genutzt werden können. Leider lassen Datenumfang und -dichte in vielen Fällen aber zu wünschen übrig und wir haben das Problem der z.T. geringen Auslastung. Deshalb müssen wir uns weiterhin auch auf neuere Forschungsergebnisse stützen.

Wir müssen uns auch bewußt sein, daß das Arbeitsblatt A 131 nicht nur in Deutschland sondern auch im Ausland, wie z.T. hier in Österreich, angewendet wird. Dabei ist auch in Betracht zu ziehen, daß andere Länder z.T. andere Wasserrechtsvorschriften haben.

Auf die Bemessungsgrundlagen wird zum Schluß eingegangen, wenn die Bemessungsprinzipien diskutiert sind.

2 Volumen des Belebungsbeckens

2.1 Prägende Faktoren

Das Volumen des Belebungsbeckens wird geprägt durch, (in Klammern sind einige Einflußfaktoren aufgeführt):

- Das erforderliche Schlammalter für Nitrifikation (organische Frachten, TS_0/BSB_5 , Masse an Fällschlamm, N-Fracht-Schwankungen, Temperatur, erwünschte Ablaufkonzentration an Ammonium, Konfiguration des Belebungsbeckens).
- Das erforderliche Schlammalter für Nitrifikation und Denitrifikation (Schlammalter für Nitrifikation, Temperatur, Einhaltung einer Nitratkonzentration oder %-Elimination, interne Rückbelastung mit Stickstoffverbindungen, organische Frachten zu N-Frachten sowie deren Schwankungen, Denitrifikationsverfahren).
- Schlammindex (Abwasserzusammensetzung, Konfiguration des Belebungsbeckens, Phosphatfällung).
- Schlamm-trockensubstanz (Schlammindex, Eindickzeit in der Nachklärung).

2.2 Schlammalter für Nitrifikation

Als maßgebendes Schlammalter für Nitrifikation gilt nach A 131 (Gl. 23) :

$$t_{TS,aer} = 2,3 \cdot 2,13 \cdot 1,103^{(15-T)} \quad (1)$$

Hierin wird der Faktor 2,3 auch mit Sicherheitsfaktor (SF) bezeichnet. Der Faktor 2,13 stellt den Kehrwert der maximalen Netto-Wachstumsrate von 0,47 d^{-1} von Nitrosomonas bei 15°C dar. Diese kann man in eine maximale Wachstumsrate

$$\mu_{max} = 0,52 \cdot 1,103^{(T-15)} \quad (2)$$

und eine Zerfallsrate

$$K_{D,N} = 0,05 \cdot 1,072^{(T-15)} \quad (3)$$

unterteilen. Bei $T = 10^\circ\text{C}$ werden $\mu_{\max} = 0,318 \text{ d}^{-1}$ und $K_{D,N} = 0,035 \text{ d}^{-1}$, damit erhält man die Netto-Wachstumsrate zu $0,283 \text{ d}^{-1}$, d. h. bei einem aeroben Schlammalter von $1/0,283 = 3,50 \text{ d}$ können sich praktisch noch keine Nitrifikanten im System halten. Man bezeichnet diesen Betriebspunkt daher in der Biotechnologie als Ausschwemmpunkt. Betrachtet man die Belebungsanlage wie einen total durchmischten Fermenter, der jeweils für eine bestimmte Zeit mit einem konstanten Schlammalter und einer entsprechenden, konstanten Belastung betrieben wird, so lassen sich Betriebspunkte für die Konzentration an Nitrifikanten im Schlamm und die Konzentration an Ammonium darstellen (Bild 1). Die Berechnungsgleichungen lauten:

$$\text{NH}_4\text{-N}_e = \frac{K_N \cdot (1/t_{\text{TS}} + K_{D,N})}{\mu_{\max} - K_{D,N} - 1/t_{\text{TS}}} \quad (4)$$

$$X_N = \frac{Y \cdot (\text{NH}_4\text{N}_{\text{Nit}} - \text{NH}_4\text{N}_e)}{t^* \cdot (K_{D,N} + 1/t_{\text{TS}})} \quad (5)$$

Die Temperaturfaktoren von μ_{\max} und $K_{D,N}$ sind in den obigen Gleichungen zu berücksichtigen. Es wurde mit $Y = 0,15 \text{ kg/kg}$, der Monod-Konstanten $K_N = 1,0 \text{ mg/l}$ und $T = 10^\circ\text{C}$ gerechnet. Das Verhältnis der Durchflußzeit zum Schlammalter (t^* / t_{TS}) wurde mit $1/15$ konstant gehalten, um jedem Schlammalter die entsprechende Belastung zuzuordnen. $\text{NH}_4\text{-N}_{\text{Nit}}$ ist die für die Nitrifikation verfügbare Ammoniumkonzentration, sie wurde für dieses Beispiel mit 50 mg/l angesetzt.

Der Bezugspunkt für den Sicherheitsfaktor ist bisher der Ausschwemmpunkt ($t_{\text{TS,aer}} = 3,5 \text{ d}$). Man erhält dann mit $\text{SF} = 2,3$ das Schlammalter von $t_{\text{TS,aer}} = 8 \text{ d}$.

Gujer (1993) interpretiert den Sicherheitsfaktor als Schwankungsfaktor des Ammoniums. Auch im sog. Hochschulansatz wird ein Schwankungsfaktor berücksichtigt (Böhnke 1989). Tatsache ist zwar, daß das Belebungsbeckenvolumen mit steigendem Sicherheitsfaktor größer und die mittlere Ablaufkonzentration des Ammoniums geringer wird. Ein Kausalnachweis für die Einhaltung bestimmter Ablaufkonzentrationen ist damit aber nicht zu erbringen, obwohl das z.B. im Hochschulansatz vorgegaukelt wird. Dies ist nur mit Hilfe der dynamischen Simulation möglich.

Die Größe des Sicherheitsfaktors wird häufig in Unkenntnis der Zusammenhänge kritisiert. Es wird daher angedacht, verschiedene zweckgerichtete Sicherheitsfaktoren einzuführen.

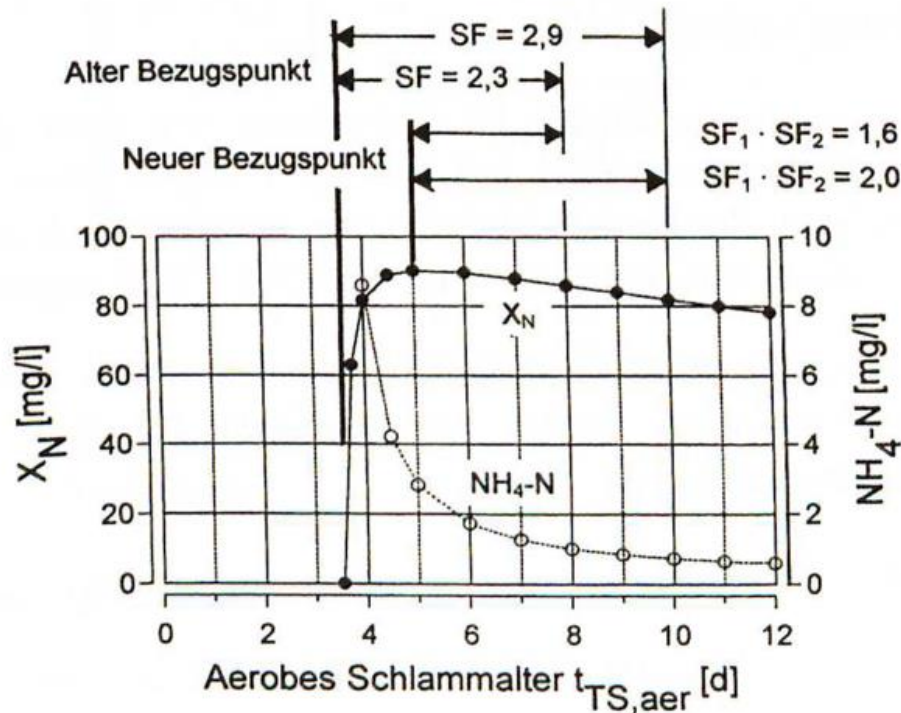


Abbildung 1: Konzentration an Nitrifikanten und Ablaufkonzentration an Ammonium bei $T = 10^\circ\text{C}$, bestimmten konstanten Schlammaltern und zugehörigen Belastungen

Vorgeschlagen wird, den Bezugspunkt für einen neuen Sicherheitsfaktor auf das Maximum der Nitrifikantenkonzentration (hier $t_{\text{TS,aer}} = 5,0 \text{ d}$) für $T = 10^\circ\text{C}$ zu legen. Es gilt:

$$\min t_{\text{TS,aer}} = 5,00 \cdot 1,103^{(10-T)} \quad (6)$$

An dieser Stelle ist einzufügen, daß häufig mit $K_N = 0,5 \text{ mg/l}$ gerechnet wird. Dabei würde sich die maximale Nitrifikantenkonzentration bei $t_{\text{TS,aer}} = 4,70 \text{ d}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ bei $1,80 \text{ mg/l}$ einstellen.

Schweighofer (1997) kritisiert zu recht die Spekulationen um die schwer erfaßbare Zerfallsrate $K_{D,N}$. Geht man von der maximalen Netto-Wachstumsrate aus, so beinhaltet der Abstand des neuen Bezugspunktes $t_{\text{TS,aer}} = 5,0 \text{ d}$ vom Ausschwemmpunkt einen Grundfaktor von rd. $\text{SF}_0 = 1,4$.

Eine Anlage, die konstant belastet würde und in der alle weiteren Bedingungen (pH, Sauerstoffgehalt) optimal wären, könnte bei einer Temperatur von 10°C und $t_{TS,aer} = 5,0$ d weitgehend nitrifizieren, die Ablaufkonzentration läge rechnerisch bei 2,6 mg/l NH_4-N . Da diese deutlich höher ist als $K_N = 1,0$ mg/l, würde jede Schwankung der Zulaufkonzentration an Stickstoff erhebliche Ausschläge der Ablaufkonzentration nach sich ziehen.

Nun gehen wir bei der maximalen Wachstumsrate von einer gottgegebenen Konstanten aus. Wir wissen aber, daß manche Anlagen besser und andere schlechter nitrifizieren. Zur Berücksichtigung von Schwankungen der maximalen Wachstumsrate scheint daher ein Sicherheitsfaktor $SF_1 = 1,25$ angebracht zu sein.

Die Schwankungen der Stickstofffrachten können durch einen zweiten Sicherheitsfaktor SF_2 erfaßt werden, der zwischen 1,3 und 1,6 je nach Anlagengröße liegen könnte.

Damit erhält man:

$$\text{erf. } t_{TS,aer} = SF_1 \cdot SF_2 \cdot 5,0 \cdot 1,103^{(10-T)} \quad (7)$$

Mit $SF_1 = 1,25$ und $SF_2 = 1,3$ bzw. 1,6 erhält man für 10° C erf. $t_{TS,aer} = 8$ d und 10 d.

Aus Bild 2 kann man das erforderliche aerobe Schlammalter für andere Temperaturen abgreifen. Man kann aber auch Gl. 7 verwenden und mit geringeren Sicherheitsfaktoren dimensionieren, wenn z. B. eine Überprüfung mit Hilfe einer dynamischen Simulation erfolgt.

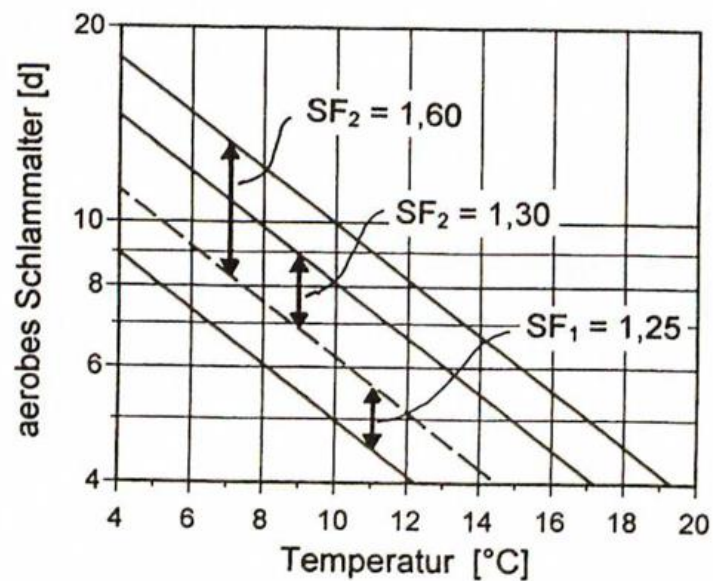


Abbildung 2: Diagramm zur Ermittlung des erforderlichen Schlammalters in Abhängigkeit von der Temperatur und den Sicherheitsfaktoren

2.3 Schlammalter für Nitrifikation-Denitrifikation

Das erforderliche Schlammalter beträgt:

$$\text{erf } t_{\text{TS}} = \text{erf } t_{\text{TS,aer}} \cdot \frac{1}{1 - V_{\text{D}} / V_{\text{BB}}} \quad (8)$$

Hierzu ist zunächst das erforderliche aerobe Schlammalter zu bestimmen. In Abänderung des bisherigen Vorgehens in A 131 (*...ist es erforderlich, die Bemessungstemperatur auf 10°C festzulegen*), wird für deutsche Verhältnisse entsprechend den Mindestanforderungen vorgeschlagen, das Schlammalter für Nitrifikation und Denitrifikation für 12°C anzusetzen. Es ist dann der Nachweis zu führen, daß bei der tiefsten Temperatur im Belebungsbecken, bestimmt als 2-
Wochenmittel, das hierfür erforderliche aerobe Schlammalter gehalten werden kann. Hierzu ist ggf. das aerobe Volumen zu vergrößern. Dieser Vorschlag deckt sich im Prinzip mit den Empfehlungen des ATV - Merkblattes M 208 „Biologische Phosphatentfernung bei Belebungsanlagen“.

Die Größe von $V_{\text{D}}/V_{\text{BB}}$ soll wie bisher auf der Basis des Sauerstoffverbrauches für den Kohlenstoffabbau ermittelt werden. Es gilt im Prinzip Gl. 25 aus A 131, wobei auf den Faktor 0,8 verzichtet werden kann, wenn mit einem geringeren OV_{C} gerechnet wird:

Für intermittierende und simultane Denitrifikation gilt damit:

$$\frac{\text{NO}_3\text{-N}_D}{\text{BSB}_5} = \frac{0,75 \cdot \text{OV}_C}{2,9} \cdot \frac{V_D}{V_{\text{BB}}} \quad (9)$$

Für vorgeschaltete Denitrifikation und vergleichbare Verfahren, bei denen der überwiegende Teil des Abwassers während der Denitrifikationsphasen zugeführt wird, wird ein empirischer Faktor angefügt, der auf Ermel (1983) basiert:

$$\frac{\text{NO}_3\text{-N}_D}{\text{BSB}_5} = \frac{0,75 \cdot \text{OV}_C}{2,9} \cdot \frac{V_D}{V_{\text{BB}}} \cdot \left(\frac{V_D}{V_{\text{BB}}} \right)^{-0,235} \quad (10)$$

Mit den Koeffizienten von Hartwig (1993) für den Sauerstoffverbrauch (vgl. 3.) würde Tabelle 4 in A 131 geringfügige Änderungen erfahren (vgl. Tab. 1). Bei abweichenden Temperaturen muß man die o.a. Gleichungen verwenden.

Denkbar wäre auch ein anderer Ansatz, bei dem davon ausgegangen wird, daß der gelöste BSB_5 praktisch spontan und zu 100% für die Denitrifikation veratmet wird (Kayser 1997). Beispielhaft wird Bild 3 für vorgeschaltete Denitrifikation ($T = 12^\circ\text{C}$) gezeigt. Die dick gestrichelte Linie wurde mit Gl. 10 berechnet, die Punkte stellen die Werte aus Tab. 4 (A 131) dar. Für die intermittierende Denitrifikation (nicht dargestellt) ergeben sich nur sehr geringe Abweichungen von Gl. 9 sowie den Werten aus Tab. 4 (A 131) für simultane Denitrifikation.

Tabelle 1: Neu berechnete Werte für $\text{NO}_3\text{-N}_D/\text{BSB}_5$ für $T = 10^\circ\text{C}$ bis 12°C

V_D/V_{BB}	$\text{NO}_3\text{-N}_D/\text{BSB}_5$	
	Vorgeschaltete und vergleichbare Verfahren	Simultane und intermittierende Denitrifikation
0,2	0,080	0,040
0,3	0,110	0,085
0,4	0,140	0,115
0,5	0,175	0,150

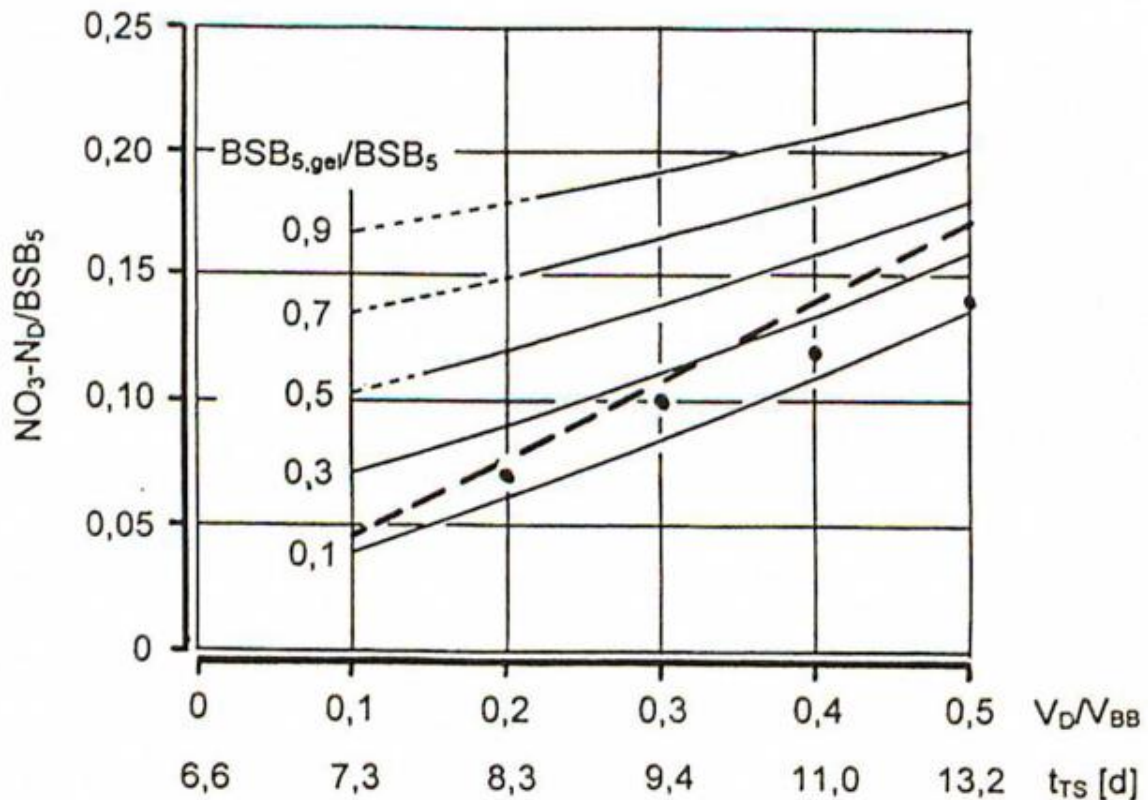


Abbildung 3: Denitrifikationskapazität in Abhängigkeit vom gelösten BSB_5 -Anteil für vorgeschaltete Denitrifikation bei $T = 12^\circ C$

Letztlich besteht auch die Möglichkeit, wie Gujer (1993) es vorgeschlagen hat, das Denitrifikationsvolumen auf der Basis einer CSB-Bilanz zu ermitteln. Hierzu muß der leicht abbaubare CSB in Versuchen bestimmt werden. Das weitere Vorgehen entspricht dem des obigen Ansatzes. An die Stelle des Sauerstoffbedarfes des gelösten BSB_5 tritt praktisch der leicht abbaubare CSB.

3 Überschlußschlammproduktion und Sauerstoffbedarf

Kritik wird vor allem laut an der Überschätzung des Sauerstoffbedarfes. Hierauf wurde auf der Basis von CSB-Bilanzen auch schon von Svardal und Nowak (1992) hingewiesen. Schlüssiger in der Bilanz ist die Berechnung mit Hilfe der Koeffizienten von Hartwig (1993), welche allerdings für $CSB : BSB_5 = 2,0$ ermittelt worden sind. Die Gleichungen für die Schlammproduktion und den Sauerstoffbedarf für Kohlenstoffabbau lauten:

$$\dot{U}_{BSB_5} = \frac{\dot{U}_R}{B_R} = \eta \cdot Y_H + a \cdot \frac{TS_0}{BSB_5} - \frac{(1-b) \cdot K_{D,H} \cdot Y_H \cdot t_{TS} \cdot f_T}{1 + K_{D,H} \cdot t_{TS} \cdot f_T} \quad (11)$$

$$OV_C = \frac{OVC_R}{B_R} = \eta \cdot d + \frac{e \cdot Y_H \cdot t_{TS} \cdot f_T}{1 + K_{D,H} \cdot t_{TS} \cdot f_T} \quad (12)$$

Bei den hohen Schlammaltern, die für Nitrifikation erforderlich sind, kann $\eta = 1,0$ gesetzt werden. Die bisher in A 131 gebräuchlichen Koeffizienten sind in Tab. 2 den Hartwig'schen Koeffizienten gegenübergestellt. Bild 4 zeigt im Vergleich die Schlammproduktion und Bild 5 den Sauerstoffbedarf.

Tabelle 2: Koeffizienten zu Gl. 11 und 12 nach A 131 und nach Hartwig (1993)

		Dimension	A 131	Hartwig
Y_H	Ausbeutekoeffizient	kg TS / kg BSB_5 -Abbau	0,6	0,75
$k_{D,H}$	Autolysekoeffizient	kg TS / (kg x TS_{BB} · d)	0,08	0,17
b	Bakterienreste	kg TS / (kg x TS_{BB})	0,1	0,2
a	Reste von TS im Zulauf	kg TS / kg TS	0,6	0,6
d	Substratatemungskoeff.	kg O_2 / kg BSB_5 -Abbau	0,5	0,56
e	endogene Atmungsrate	kg O_2 / (kg x TS_{BB} · d)	0,24	0,2

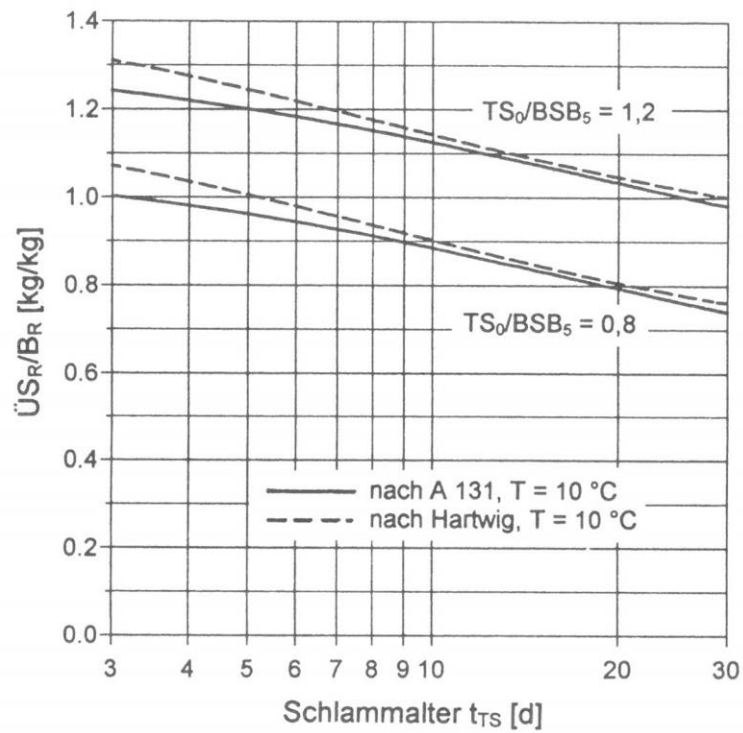


Abbildung 4: Überschussschlammproduktion nach A 131 und nach Hartwig (1993)

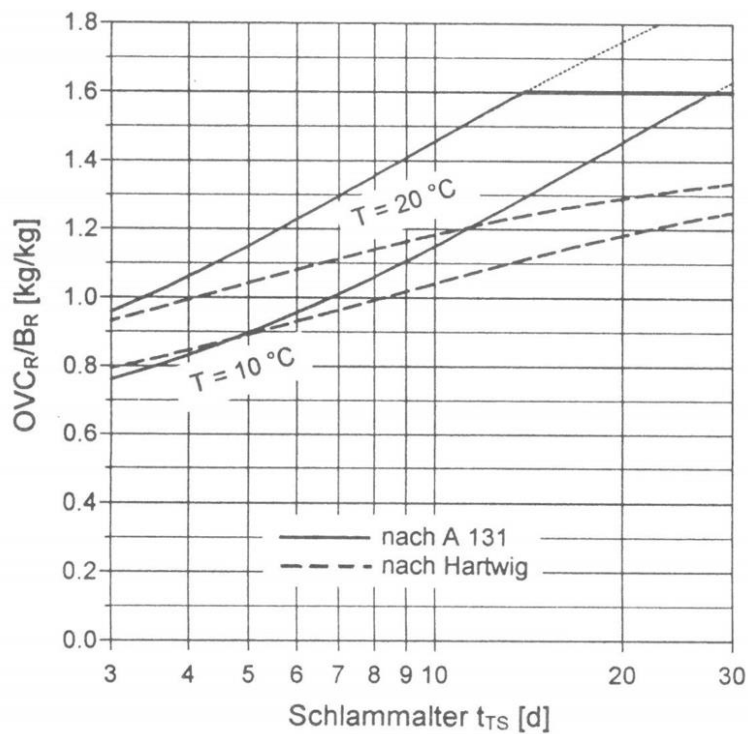


Abbildung 5: Sauerstoffbedarf für Kohlenstoffelimination nach A 131 und nach Hartwig (1993)

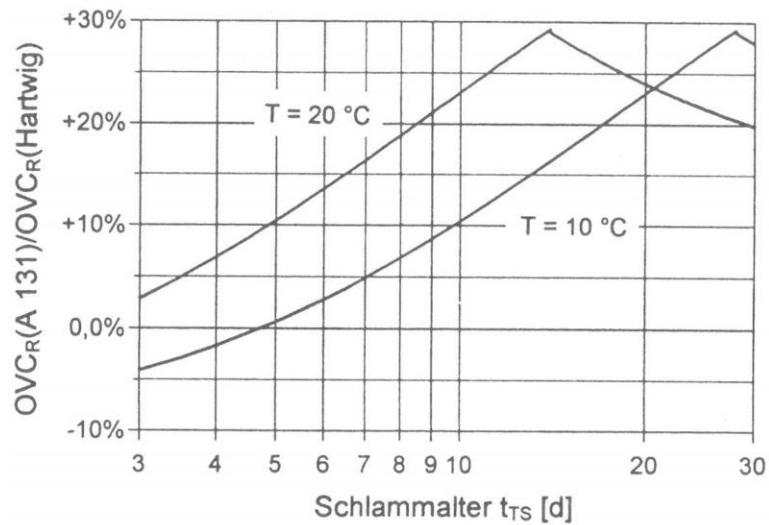


Abbildung 6: Unterschiede des Sauerstoffbedarfes für Kohlenstoffelimination nach A 131 und nach Hartwig (1993)

Während die Schlammproduktion praktisch gleich ist, ergeben sich für den Sauerstoffbedarf erhebliche Abweichungen. Diese sind in Bild 6 herausgehoben. Setzt man für den Überschussschlamm ein Verhältnis von $TS/CSB = 1,0$ an und addiert den CSB des Überschussschlammes zum Sauerstoffbedarf (Bild 7), so findet man für $TS_0/BSB_5 = 0,8$ eine Summe von 2,0, die dem theoretischen CSB/BSB_5 -Verhältnis entspricht. Mit $TS_0/BSB_5 = 1,2$, was etwa für rohes häusliches Abwasser gilt, kommt man auf eine Summe von 2,2 bis 2,25. In dieser Größe liegen vielfach auch die gemessenen CSB/BSB_5 -Verhältnisse von Rohabwasser. Die Koeffizienten von Hartwig sind also plausibel.

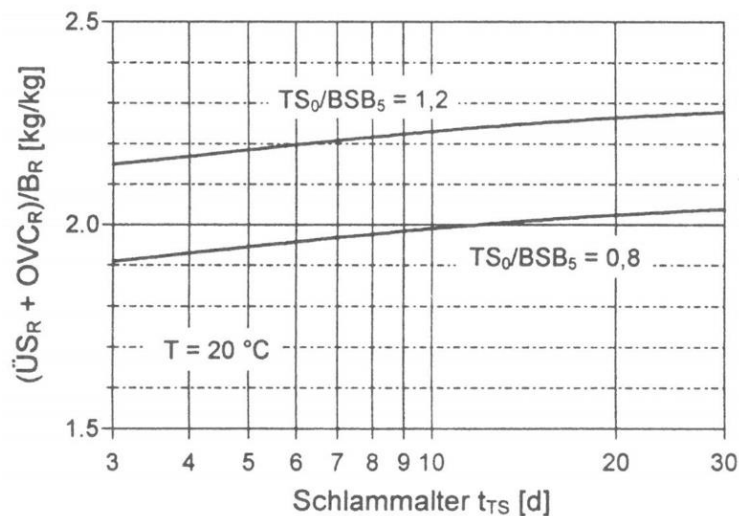


Abbildung 7: Summen aus Sauerstoffbedarf und Schlammproduktion nach Hartwig (1993)

Alternativ zur Berechnung mit dem BSB_5 hat Gujer (1993) ein einfaches Modell auf der Basis einer CSB-Bilanz vorgestellt. Es gilt:

$$CSB_0 - CSB_{e, gel} = CSB_{\ddot{U}S} + OVC \quad (13)$$

Für den Anteil des eliminierten CSB der in den belebten Schlamm eingebaut wird, nennt er in einer Tabelle Zahlenwerte (vgl. Tab. 3). Er berechnet dann aber die Schlammproduktion mit Gl. 11 auf der Basis des BSB_5 .

Tabelle 3: Anteil des eliminierten CSB, der in den Überschussschlamm eingebaut wird, aus Gujer (1993)

t_{TS} [d]	5	10	15	20	5	10	15	20
TS_0/CB B	Temperatur 10°C				Temperatur 20°C			
0,3	0,49	0,45	0,42	0,40	0,45	0,40	0,36	0,34
0,4	0,57	0,52	0,49	0,47	0,52	0,47	0,44	0,42
0,5	0,64	0,59	0,56	0,54	0,59	0,54	0,51	0,49
0,6	0,71	0,66	0,63	0,61	0,66	0,61	0,58	0,56

Für eine Umstellung der Bemessung auf CSB ist es erforderlich, auch die Schlammproduktion auf der Basis des CSB zu berechnen. Rechnet man mit 1kg TS pro kg CSB und 90 % CSB-Elimination sowie $BSB_5/CSB = 2$, so ergibt sich mit den Werten der Tabelle 3 eine geringfügig (3% bis 5 %) höhere Schlammproduktion als nach Gl. 11 mit den Koeffizienten von Hartwig.

Sowohl mit der CSB-Bilanz als auch mit Gl. 12 (BSB_5) erhält man den durchschnittlichen täglichen Sauerstoffbedarf. Bei den hohen Schlammaltern, die für Nitrifikation - Denitrifikation erforderlich sind, hat die Grundatmung einen hohen Anteil am gesamten Sauerstoffbedarf für den Kohlenstoffabbau. Die Grundatmung stellt sich nach der mittleren Belastung mehrerer Tage ein. Sie kann aber über die Dauer des Schlammalters durchaus Schwankungen unterworfen sein, weil die maximale Wachstumsrate der heterotrophen Organismen sehr viel größer ist als die Ausschwemmrate ($1/t_{TS}$). Deshalb findet man auf vielen Anlagen einen typischen Wochengang mit einer geringeren Grundatmung zum Wochenbeginn und einen gewissen Anstieg zum Wochenende hin. Freitags wird daher vielfach der höchste Sauerstoffverbrauch gemessen. Dieses Verhalten läßt sich nur mit der dynamischen Simulation erfassen.

Es macht daher Sinn, den durchschnittlichen Sauerstoffbedarf auf der Grundlage der mittleren Schmutzfrachten der Werkstage der maßgebenden Woche zu berechnen. Den stündlichen Spitzenbedarf kann man mit empirischen Stoßfaktoren (Tab. 10 in A 131) abschätzen oder mit Hilfe der in der maßgebenden Woche gemessenen Spitzenfracht berechnen. Wegen der den Spitzenbedarf senkenden partikulären organischen Stoffe, kann empfohlen werden, als Spitzenfracht $B_{R,h}$ (kg BSB₅/h) das höchste 4-Stunden-Mittel der Woche anzusetzen. Gl. 11 wird dann wie folgt erweitert:

$$OVC_{R,h} = \left(d + \frac{e \cdot Y_H \cdot t_{TS} \cdot f_T}{1 + K_{D,H} \cdot t_{TS} \cdot f_T} \right) \cdot \frac{B_R}{24} + d \cdot \left(B_{R,h} - \frac{B_R}{24} \right) \quad (14)$$

Der Bruch in der ersten Klammer stellt die belastungsunabhängige Grundatmung und der Klammerinhalt insgesamt den durchschnittlichen mittleren stündlichen Sauerstoffbedarf dar. Mit der zweiten Klammer wird der Sauerstoffbedarf für die über die durchschnittliche Fracht hinausgehende Belastung berücksichtigt.

Für $t_{TS} = 12$ d und $T = 20^\circ\text{C}$ erhält man mit den Koeffizienten von Hartwig $OV_C = 1,22$ kg/kg. Es sei z.B. $B_{R,h} = 1,8 \cdot B_{R,24}$, dann wird:

$$OVC_{R,h} = 1,22 \cdot \frac{B_R}{24} + 0,56 \cdot (1,8 - 1) \cdot \frac{B_R}{24} = 1,67 \cdot \frac{B_R}{24}$$

In Anlagen mit Denitrifikation wird nun ein großer Teil der leicht abbaubaren organischen Stoffe mit Nitrat veratmet. Deshalb braucht man für die Auslegung der Belüftungseinrichtung den Spitzenanteil allenfalls zur Hälfte zu berücksichtigen, also:

$$OVC_{R,h} = \left(d + \frac{e \cdot Y_H \cdot t_{TS} \cdot f_T}{1 + K_{D,H} \cdot t_{TS} \cdot f_T} \right) \cdot \frac{B_R}{24} + \frac{d}{2} \cdot \left(B_{R,h} - \frac{B_R}{24} \right) \quad (16)$$

Für das obige Beispiel ergibt sich damit:

$$OVC_{R,h} = 1,44 \cdot \frac{B_R}{24}$$

Das Verhältnis des Spitzenverbrauches zum Durchschnittsverbrauch beträgt $1,44 : 1,22 = 1,18$. Es liegt damit auf gleicher Höhe wie die Stoßfaktoren in Tab. 10 in A 131.

4 Bemessungsgrundlagen

4.1 Prüfung auf Trend und saisonale Schwankungen

Angesichts der Tatsache, daß in den letzten Jahren (nicht nur in den neuen Bundesländern) der Abwasseranfall und häufig auch die Schmutzfrachten rückläufig sind, ist vor der hilfswisen Häufigkeitsauswertung der Daten der letzten zwei bis drei Jahre zu prüfen, ob ein Trend vorliegt. Es ist in jedem Fall zu prüfen, ob es saisonale Schwankungen gibt. Hierauf hat z.B. auch Kroiss (1995) hingewiesen.

Er hat auch die Notwendigkeit der Einbeziehung der Temperaturganglinie des Abwassers angesprochen, denn das vorzugebende Schlammalter und der Sauerstoffbedarf sind von der Temperatur im Belebungsbecken abhängig.

Ideal ist es, die Temperaturganglinie als gleitendes 1- bis 2-Wochen-Mittel darzustellen. Kurzfristige Temperatursprünge werden dadurch geglättet.

4.2 Daten zur Bemessung des Beckenvolumens

Nach A 131 ist für Belebungsanlagen mit Nitrifikation *„der Mittelwert der Woche mit maximaler BSB₅ - Belastung, z.B. während der kalten Jahreszeit, für das Schlammalter bestimmend. Hilfsweise kann der 85% Wert aller Messungen der letzten zwei bis drei Jahre zugrunde gelegt werden.“*

Da es gilt, die Schlammproduktion zu ermitteln, sind vorrangig die maßgebenden Frachten von CSB, BSB₅ und abfiltrierbaren Stoffen (TS₀) und die zugehörige Temperatur zu bestimmen. Auch die Stickstofffrachten (TKN) sind wegen des Einflusses auf das Denitrifikationsvolumen zu erheben.

Tagesganglinien (z.B. 2-h-Mischproben) sind dann erforderlich, wenn geplant ist, die statische Bemessung mit Hilfe der dynamischen Simulation (zur Erkennung der Schwankungen der Ablaufkonzentrationen von Ammonium und Nitrat) zu überprüfen und ggf. zu korrigieren.

Insbesondere letzteres ist nicht möglich, wenn der Bemessung die an 85% der Tage unterschrittenen Frachten zugrundegelegt werden. 85% Unterschreitung bedeutet, daß im Mittel etwa alle 7 Tage ein Wert höher ist. Wenn nun die

Frachten nur an den Werktagen gemessen worden sind, würde der 80%-Wert zutreffender sein (alle 5 Tage ein Wert höher).

4.3 Daten zur Berechnung des Sauerstoffbedarfes

Hierzu heißt es in A 131: *„Für dieBerechnung des Sauerstoffverbrauches für die Kohlenstoffatmung sind die Schmutzfrachten der Arbeitstage (Montag bis Freitag) maßgebend, die an 85% der Fälle unterschritten werden.“*

Dies läuft auf die Bemessung nach dem im Mittel höchstbelasteten Werktag einer Woche hinaus. Wenn die Berechnung, wie oben gezeigt, vorgenommen werden soll, ist das Mittel der organischen Fracht einer Woche zweckentsprechender.

Und weiter: *„Maßgebend für die Bemessung, insbesondere für die Sauerstoffzufuhr, sind Tagesganglinien für die Schmutzfrachten, z.B. aus 2-h-Mischproben. Für Anlagen mit Nitrifikation sollten mindestens sechs Ganglinien der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Frachten und gleichzeitig zwei Ganglinien der TKN-Frachten ermittelt werden.“*

Es fehlt hier der Zusatz: *„Bei den maßgebenden Temperaturen.“* Denn alle Erfahrungen zeigen, daß der Sauerstoffbedarf im Sommer stets höher ist als im Winter. Es ist zwar durch Senkung des Schlammalters betrieblich möglich, den Sauerstoffbedarf im Sommer zu verringern, hiervon wird aber in der Praxis kein Gebrauch gemacht.

Tatsache bleibt, daß der Berechnung des Sauerstoffbedarfes streng genommen ein anderes Datenkollektiv zugrundegelegt werden müßte, als der Bemessung des Belebungsbeckens.

4.4 Empfehlungen

Nur mit einer guten Datengrundlage ist ein sichere und zugleich sparsame Bemessung möglich. Für die Erweiterung sehr großer Anlagen sind Versuche die beste Grundlage. Für Anlagen mittlerer Größe ist die dynamische Simulation einer statisch (A 131) vorbemessenen Anlage das geeignete Werkzeug zur Optimierung und Korrektur sowie zur genaueren Abschätzung des Sauerstoffbedarfes. Hieraus ergibt sich zwangsläufig, daß

Frachtenganglinien (2-h-Werte) über je mindestens zwei bis drei Wochen zu verschiedenen Jahreszeiten (Temperaturen, saisonale Unterschiede) erhoben werden müssen. Die häufig kritisierten hohen Kosten hierfür stehen in keinem Verhältnis zu den Investitionskosten.

Die für die Simulation erhobenen Datensätze sind zugleich eine solide Datengrundlage für die (Vor)Bemessung der Beckenvolumina und der Belüftungseinrichtung.

5 Schlußbemerkung

Das Arbeitsblatt A 131 hat sich zur Bemessung von Belebungsanlagen bestens bewährt. Die vielfältigen Gründe für mögliche Überdimensionierungen wurden aufgezeigt, kleinere Mängel im A 131 haben hieran den geringsten Anteil. Man stelle sich einmal vor, die Väter des A 131 hätten mit weniger Vorsicht gearbeitet und man müsse heute schon gerade erst ausgebaute Anlagen erneut erweitern, weil die geforderten Ablaufkonzentrationen nicht eingehalten würden.

Wenn Korrekturen an A 131 vorgenommen werden sollen, erhebt sich auch die Frage der Umstellung von BSB₅ auf CSB. Dafür spricht, daß die Datengrundlage eine erheblich bessere ist, weil CSB wesentlich häufiger und zugleich genauer bestimmt wird als BSB₅. Zur „Gewöhnung“ wird daran gedacht, die Bemessung nach CSB neben der Bemessung nach BSB₅ als Alternative zu integrieren.

Es wird auch daran gedacht, dem Arbeitsblatt eine Diskette zur Bemessung beizulegen. Insbesondere durch eine Abfrage zu den Bemessungsgrundlagen soll der planende Ingenieur auf Lücken gestoßen werden.

6 Literatur

- Böhnke, B.(1989): Bemessung der Stickstoffelimination in der Abwasserreinigung (HSG-Ansatz). Korresp. Abwasser 36, S. 1.046 - 1.061.
- Bucksteeg, K. (1995): Kostensparen in der öffentlichen Abwasserentsorgung. Berichte der ATV, Heft 45, S. 231-244.
- Ermel, G. (1983): Stickstoffentfernung in einstufigen Belebungsanlagen - Steuerung der Denitrifikation. Veröff. des Inst. für Stadtbauwesen, TU Braunschweig, Heft 35.
- Gujer, W. (1993): Grundlagen der Nitrifikation und der Denitrifikation in Belebungsanlagen. VSA Fortbildungskurs 1993, Typoskript, Zürich.
- Hartwig, P. (1993): Beitrag zur Bemessung von Belebungsanlagen mit Stickstoff- und Phosphorelimination. Veröff. des Inst. für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik, Universität Hannover, Heft 84.
- Kayser, R. (1997): Ein neuer Ansatz zur Berechnung der Denitrifikationskapazität. gwf Wasser-Abwasser 138, Heft 5 (in Vorbereitung).
- Kroiss, H. (1995): Wirklichkeitsnahe Bemessung von kommunalen Kläranlagen. Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer Band 125, S. F1-34
- Schweighofer, P. (1997): Grenzen der stationären Bemessung. Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer Band 137, S. 1-33
- Svardal, K. und O. Nowak (1992): Bemessungsansätze. Wiener Mitteilungen Wasser-Abwasser-Gewässer Band 100, S. C1-26

Prof. a.D. Dr.-Ing. R. Kayser

Adolf-Bingel-Str. 2, D-38116 Braunschweig
Tel.: + 49 531-512154
Fax: + 49 531-512750