

WIRKLICHKEITSNAHE BEMESSUNG VON KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN

Helmut Kroiß

1. EINLEITUNG

Die Anforderungen an die Reinigungsleistung kommunaler Kläranlagen sind im letzten Jahrzehnt stark angestiegen und haben heute ein Niveau erreicht, das nur mit der weitgehenden Ausschöpfung der Möglichkeiten der biologischen Verfahren erreicht werden kann. Um solche Anlagen richtig zu bemessen, ist daher die Kenntnis aller Zusammenhänge zwischen der Belastung und dem Verhalten der biologischen Prozesse erforderlich. Die derzeitige einzige "allgemein anerkannte Regel der Technik" zur Bemessung kommunaler Kläranlagen für die heutigen Anforderungen ist im Arbeitsblatt 131 der ATV niedergelegt. Leider wird die Einleitung zu diesem Arbeitsblatt oft nicht gelesen, sondern es wird unabhängig von den besonderen lokalen Verhältnissen zu kritiklos angewendet. Die Verfasser dieser Bemessungsvorschrift haben es sich zur Aufgabe gemacht, aus der Kenntnis der inneren Zusammenhänge eine Ingenieurmethode zu entwickeln, die auf der großen praktischen Erfahrung mit einstufigen Belebungsanlagen in der Praxis aufgebaut ist und gewissermaßen ein Sicherheitsnetz für die planenden Ingenieure und die beurteilenden Behörden darstellen sollte. Es enthält die Mindestanforderungen an Nachweispflicht und je nach Anwendungsfall meist ausreichende Sicherheiten in den errechneten Dimensionierungsgrößen. Dieser große Vorteil stellt andererseits die Hauptproblematik dar, weil nicht in einfacher Weise nachvollziehbar ist, welche Sicherheiten bei welchen Annahmen für die Bemessungsgrundlagen zu erwarten sind. Gleichzeitig besteht offenbar auch ein Defizit an Wissen darüber, welche Unsicherheiten bei einer Bemessung vorhanden sind, und wie sie sich auf das Reinigungsergebnis auswirken. Genau genommen ist der Begriff der Sicherheit nicht einmal definiert, und zweifellos gibt es verschiedene Arten von "Sicherheiten". Wenn man eine Minimierung der Investitionskosten durch eine möglichst wirklichkeitsnahe Bemessung anstrebt, wird man solche Sicherheiten vermehrt getrennt nachweisen müssen.

Die derzeitige Problematik der Bemessung wird noch dadurch verschärft, daß wir zur Zeit eine Entwicklung zu einer großen Vielfalt neuer Verfahrenstechniken (biologische Filter, Denitrifikation mit Methanol, chemische Vorfällung, etc.) bemerken und eigentlich keine wissenschaftlich abgesicherte Methodik zur Abschätzung der Sicherheit und des Kosten-Nutzen-Verhältnisses besitzen. Weder hinsichtlich unterschiedlicher Bemessungsverfahren, noch hinsichtlich der Erfolgskontrolle in der Praxis gibt es eine international akkordierte und anerkannte Vergleichsmethodik.

Es kann im Rahmen dieser Arbeit keine Lösung dieser komplexen Problematik erwartet werden. Das eigentliche Ziel liegt also darin, die Probleme zu systematisieren, und zu zeigen, woran bei einer Bemessung alles gedacht werden muß, um daraus für die Verbesserung unserer Planungsarbeit zu lernen. Nachdem der überwiegende Teil des Abwassers heute mit dem Belebungsverfahren behandelt wird, nimmt das Bemessungsproblem für Belebungsanlagen im Rahmen dieses Kapitels eine zentrale Stellung ein.

2. GRUNDLAGEN UND ZIELE DER BEMESSUNG

Die Ziele der Bemessung kommunaler Reinigungsanlagen können nach drei Kriterien untersucht werden:

- Gewässerschutz
- Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen
- - Optimierung des Kosten-Nutzen Verhältnisses

Das primäre Ziel bei der Abwasserreinigungsanlage ist die Erfüllung der Anforderungen des Gewässerschutzes. Hier ist es ganz entscheidend, daß die Zielvorstellungen durch Prioritäten der Reinigungsanforderungen auch in Abhängigkeit gewisser lokaler Besonderheiten (z.B. Seeneinzugsgebiete etc.) klar definiert sind. Um diese Vorstellungen über einen ausreichenden Gewässerschutz in die Praxis umzusetzen, ist es notwendig, die Anforderungen in Form gesetzlicher Vorschriften auch zahlenmäßig festzulegen. So ergibt sich für den planenden Ingenieur, aber auch für die Behörden, häufig der Eindruck, daß das primäre Ziel jeder Bemessung und Planung das Einhalten gesetzlicher Anforderungen sei. Nachdem jedoch unsere Vorstellungen über einen ausreichenden Gewässerschutz in der Geschichte einem dauernden Anpassungspro-

zeß unterliegen, müssen sich auch im Laufe der Zeit die gesetzlichen Anforderungen ändern. Die derzeitigen Anforderungen (definiert in den Emissionsverordnungen nach dem Wasserrechtsgesetz) stellen einen gewissen Beharrungspunkt in der Entwicklung zu immer höheren Reinigungszielen dar. Für den Planer stellt sich nun tatsächlich vorerst die Frage, wie er die gesetzlichen Anforderungen mit einem Minimum an Kosten erfüllen kann.

Bei der Entstehung der Emissionsverordnungen hat das in der Wasserrechtsgesetznovelle 1990 verankerte Vorsorgeprinzip die entscheidende Rolle gespielt. Nach diesem Prinzip wird verlangt, daß jedes Abwasser zumindest nach "dem Stand der Technik" gereinigt wird. Es wird also unabhängig von den lokalen Gewässerverhältnissen ein Mindeststandard der Abwasserreinigung festgelegt, der sich im konkreten Fall der kommunalen Abwässer an den technischen Möglichkeiten der einstufigen Belebungsanlage mit Nitrifikation, Denitrifikation und Phosphorentfernung orientiert hat. Der Stand der Technik ist jedoch nicht über das Verfahren der Abwasserreinigung definiert, sondern durch Vorgabe einer Reinigungsleistung. Die derzeitigen Anforderungen an die Reinigungsleistung sind im wesentlichen durch folgende Festlegungen bestimmt:

- Grenzwerte (Konzentrationen von den entscheidenden Parametern)
- Wirkungsgrade der Entfernung
- Definition der Überwachungsmodalitäten (z.B. 4 von 5-Regel)

Bei den Anforderungen an die Reinigungsleistung wird für Planung und Betrieb ein so hoher Standard der Abwasserreinigung gefordert, daß alle vorhersehbaren Störeinflüsse auf den Klärprozeß nicht zu einer Überschreitung der Ablaufgrenzwerte führen dürfen. Solche Störungen können von zwei Quellen kommen:

- aus dem Kanalnetz
- als Folge von Gebrechen an der technischen Ausrüstung der Kläranlage

In Abbildung 1 wurde versucht den Bemessungsvorgang für biologische Abwasserreinigungsverfahren als einen sehr komplexen, iterativen Vorgang darzustellen, der sich auch durch eine Fülle von Entscheidungen des planenden Ingenieurs oder auch des überprüfenden Sachverständigen auszeichnet. In dieser Abbildung sind die vielen Wechselwirkungen durch Doppelpfeile gekennzeichnet.

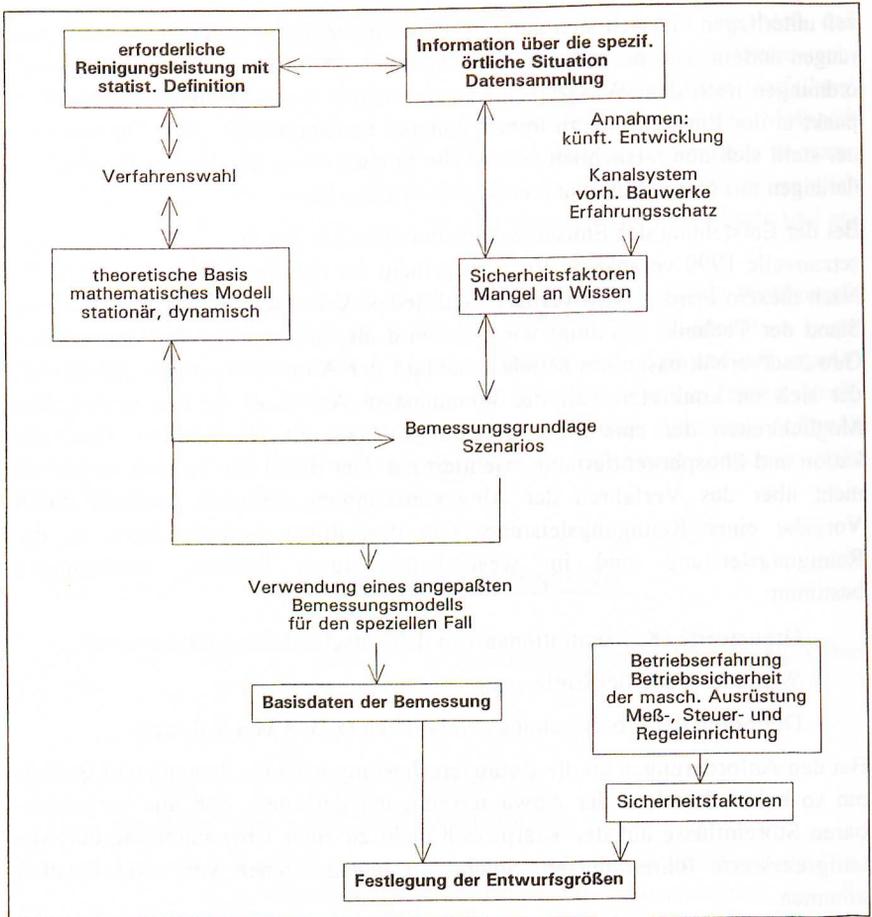


Abb. 1: Bemessungsvorgang für biologische Abwasserreinigungsverfahren

Ausgangspunkt für jede Bemessung ist einerseits die Definition der erforderlichen Reinigungsleistung (inklusive der Überwachungsmodalitäten) und andererseits die Information über die spezifische örtliche Situation der zu planenden Anlage. Letztlich ist für eine wirklichkeitsnahe Bemessung immer ein Bemessungsverfahren (eine theoretische Basis oder ein mathematisches Modell) erforder-

derlich und eine zugehörige Bemessungsgrundlage. Bemessungsverfahren und Bemessungsgrundlage stehen in einer engen Wechselbeziehung. Es ist also nicht möglich, ein und denselben Satz von Bemessungsdaten (Bemessungsgrundlage) für mehrere unterschiedliche Bemessungsverfahren zu verwenden. Wegen der sehr komplexen Aufgabenstellung enthält jedes Bemessungsmodell eine Fülle von Vereinfachungen. Es ist daher auch nicht verwunderlich, daß unterschiedliche Bemessungsverfahren auch unterschiedliche Ergebnisse liefern, doch soll dies nicht der wesentliche Inhalt der folgenden Ausführungen sein. Im Rahmen der Ermittlung der Bemessungsgrundlage, also eines Satzes von zahlenmäßig festgelegten Größen zur Charakterisierung der spezifischen lokalen Anforderungen, werden immer gewisse Sicherheitsfaktoren einfließen, die sich aus einem Mangel an gesichertem Wissen heraus ergeben. Dieser Mangel an Wissen kann teilweise durch Erfahrung ausgeglichen werden: so z.B. durch vorhandene Entwicklungspläne für das Entwässerungsgebiet, durch die Erfahrung von anderen ähnlich gelagerten Fällen von Kläranlagen oder die Betriebsergebnisse von bereits bestehenden Abwasserreinigungsanlagen bei Erweiterungsplanungen. Auch bei noch so großer Sorgfalt bei der Ermittlung der maßgebenden Parameter muß der planende Ingenieur bei der Erstellung der Bemessungsgrundlage Entscheidungen treffen, die nicht allein aus den vorhandenen Daten zwingend abgeleitet werden können, wie z.B. die künftige Entwicklung des Abwasseranfalles für den Planungszeitraum von 15 bis 30 Jahren.

Mit dem Bemessungsmodell und der Bemessungsgrundlage lassen sich dann die Basisdaten der Bemessung ermitteln. Das sind die Beckenkubaturen, die erforderliche Sauerstoffzufuhr und der Anfall an Überschußschlamm, etc.

Bei der Umsetzung dieser Basisdaten in konkrete Bauwerke und maschinelle Ausrüstung müssen abermals Sicherheitsüberlegungen Platz greifen. Diese sind überwiegend bestimmt durch die Betriebserfahrung mit vorhandenen Einrichtungen, von der Betriebssicherheit der maschinellen Ausrüstung, sowie der Ausrüstung mit Meß-, Steuer- und Regeleinrichtungen. Erst unter Berücksichtigung dieser Sicherheitsüberlegungen kommt es zur endgültigen Festlegung der Entwurfsgrößen. Es erscheint besonders wichtig darauf hinzuweisen, daß diese beiden unterschiedlichen Sicherheitsüberlegungen (vor und nach der Ermittlung der Bemessungsgrundlage) immer auseinandergelassen werden.

3. ANFORDERUNG AN DIE "SICHERHEIT" DES EINHALTENS DER GEFORDERTEN REINIGUNGSLEISTUNG

Es gibt derzeit keine allgemein anerkannte Definition für den Begriff der Sicherheit des Reinigungsergebnisses auf Kläranlagen. Dennoch können wir drei unterschiedliche Sicherheitsaspekte unterscheiden:

- Sicherheit der biologischen und physikalischen Prozeßabläufe im Normalbetrieb
- Sicherheit gegenüber Auswirkungen von ungewöhnlichen oder sehr seltenen Belastungszuständen aus dem Kanalnetz (z.B. Eisregen, Hemmstoffeinleitungen etc.)
- Sicherheit gegen die Auswirkung von technischen Gebrechen

Die derzeitigen Anforderungen an die Abwasserreinigung bewirken, daß die Bemessung vorwiegend durch die Sicherheit der Nitrifikation und der Stickstoffentfernung bestimmt wird. In diesem Zusammenhang sind folgende Sicherheitsaspekte von besonderer Bedeutung:

- Sicherheit gegen das Ausschwemmen der Nitrifikanten und, dadurch bedingt, gegen den Verlust der Nitrifikation (vor allem bei niedrigen Abwassertemperaturen)
- Sicherheit gegen das Durchbrechen von Ammoniumspitzen in den Ablauf durch Stoßbelastungen.
- Sicherheit des Einhaltens des gewählten Schlammrockensubstanzgehaltes im Belebungsbecken (TS_{BB}) und der Schlammabsetzeigenschaften (Schlammindex ISV).
- (– Sicherheit bezüglich der Anpassungsmöglichkeit an künftige Anforderungen an die Reinigungsleistung)

Je größer die Empfindlichkeit des Vorfluters einer Kläranlage, umso wichtiger wird es, die Auswirkung nicht exakt vorhersehbarer Belastungszustände aus dem Kanalnetz auf die Ablaufbeschaffenheit mit zu überlegen. Dies betrifft z.B. extreme Belastungsspitzen aus bestimmten Industriebetrieben oder die Einleitung von Nitrifikationshemmstoffen, die zu einer deutlichen Verringerung der maximalen Wachstumsgeschwindigkeit der nitrifizierenden Bakterien füh-

ren. Die Sicherheit gegenüber solchen Einwirkungen aus dem Kanalnetz ist mitunter bei der Verfahrenswahl von ausschlaggebender Bedeutung.

Die in der 1. EVO für kommunales Abwasser geforderte Reinigungsleistung für Kläranlagen sind derzeit so streng, daß die Zuverlässigkeit der technischen Einrichtungen einer Kläranlage bereits einen wesentlichen Einfluß auf die Sicherheit des Einhaltens der Grenzwerte hat. Je nach Probenahmehäufigkeit und der örtlichen Situation bedeutet die 4 von 5-Regel nach 1. EVO, daß die Grenzwerte bei 90 bis 99 % der Messungen eingehalten werden müssen. Es ist daher notwendig, sich die Wahrscheinlichkeit zu überlegen, mit der Spitzenbelastung, niedrige Temperatur, technische Gebrechen und Reparatur und Instandsetzungsmaßnahmen zusammentreffen können. Auch für diesen Zusammenhang gibt es noch kaum gesicherte Untersuchungen.

Die Erhöhung der Sicherheit von Kläranlagen gegenüber technischen Gebrechen und Reparatur und Instandhaltungsmaßnahmen kann durch planerische und betriebliche Vorkehrungen erreicht werden. Die planerischen Maßnahmen sind:

- Verwendung sehr einfacher und robuster baulicher und maschineller Einheiten
- Ausbildung der entscheidenden Verfahrensteile in mehreren Straßen
- Erhöhung der Volumina, um Reservekapazität zu schaffen.
- Einfache Meß- und Regeltechnik, vermehrte Automatisierung

Vielstraßigkeit und Einfachheit stehen oft in einem gewissen Widerspruch. Im ersten Fall geht man davon aus, daß das Risiko dadurch vermindert werden kann, daß der Ausfall eines Aggregates zu keiner wesentlichen Störung des Gesamtsystems führt. Je größer jedoch die Anzahl der Straßen wird, desto mehr meist kleinere Aggregate können zu Störungen führen, was die vorbeugende Instandhaltung relativ aufwendig macht. Bei der Wahl sehr einfacher, sehr großer Bauteile verringert man die Anzahl der Aggregate auf ein absolutes Minimum, muß dann jedoch durch vorbeugende Instandhaltung den Ausfall dieser Aggregate weitgehend zu vermeiden suchen.

Von betrieblicher Seite kann die Sicherheit des Einhaltens der Grenzwerte durch folgende Maßnahmen erhöht werden:

- vorbeugende Instandhaltung

- Verbesserung der Schulung des Betriebspersonals
- Verbesserung der Nutzung der Überwachung des Betriebes durch vermehrten Einsatz von Meß- und Regeltechnik bzw. Automatisierung (Expertensysteme)

Insgesamt geht es darum, jede Fehlentwicklung des Reinigungsprozesses möglichst rasch zu erkennen und die Anzahl und die Möglichkeiten falscher Betriebsentscheidungen zu verringern.

4. EINFLUSSGRÖSSEN AUF DIE BEMESSUNG

4.1. Allgemeines

Die eigentliche Kunst des Bemessens besteht darin, bei jedem spezifischen Fall die Einflußgrößen richtig abzuschätzen. Unbestritten ist der Einfluß der Entscheidungen im Rahmen der Erstellung der Bemessungsgrundlage von viel größerem Einfluß auf das Ergebnis der Bemessung, als die Wahl des Bemessungsformalismus (ATV Arbeitsblatt A 131, Hochschulansatz, Nutzung der dynamischen Simulation, etc.). Es aber immer zu beachten, daß zwischen einem Bemessungsverfahren und der dazu erforderlichen Bemessungsgrundlage entscheidende Zusammenhänge bestehen. Es darf also nicht verwundern, wenn unterschiedliche Bemessungsansätze mit den gleichen Datensätzen zu anderen Ergebnissen führen. Man sieht an dieser Feststellung, daß es eines sehr genauen Wissens um die Zusammenhänge zwischen den Parametern und ihrem Einfluß im Bemessungsverfahren und in der Wirklichkeit bedarf, um eine wirklichkeitsnahe und damit eine gleichermaßen sparsame wie sichere Bemessung durchführen zu können.

Die wichtigsten Einflußgrößen auf die Bemessung sind in der folgenden Zusammenstellung aufgeführt:

- Richtigkeit des vorhandenen Datenmaterials (Plausibilität)
- Bemessungstemperaturen
- Abschätzung der künftigen Entwicklung
- Statistische Auswertung der Daten
- Schwankung der Stickstoff-Belastung

- Wahl des Schlamm Trockengewichtes und der Schlammabsetzeigenschaften
- Abschätzung des Denitrifikationspotentials, Vorabbau im Netz, N / BSB₅-Verhältnis
- Ausgleichswirkung durch Mischbeckenvolumina
- Auswahl der Verfahrenstechnik

4.2. Plausibilität der Daten

Sowohl bei Neuplanungen als auch vor allem bei Erweiterungsplanungen wird man danach trachten, möglichst viel Datenmaterial über den Zufluß zur Kläranlage bzw. zur biologischen Stufe und das Verhalten des Abwassers zu erlangen. Leider sind die Datensätze häufig nicht vollständig und häufig auch die Daten nicht richtig. Im Folgenden wird versucht einige der typischen Probleme der Richtigkeit der Daten aufzuführen, die durch Plausibilitätsprüfungen (Massenbilanzen) entdeckt werden können (MOSER 1993).

Zu den wichtigsten Problemen bei der Beurteilung der Daten gehören:

- BSB₅ und TS₀ des Zulaufs sind zufolge der Probenahme und Probenbehandlung meist systematisch zu gering im Vergleich zu den wirklichen Werten.
- Bei vorgeklärtem Wasser sind ebenfalls BSB₅, TS₀ und CSB häufig zu gering, praktisch nie zu hoch.
- Wenn die Wassermengenmessung fehlerhaft ist, dann ist sie dies meist systematisch, und nicht statistisch.
- Die Werte für TKN und Ges-P sind meist richtig, weil hier Probenahme und Probenbehandlung von geringerer Auswirkung sind. Leider sind gerade für diese beiden Parameter häufig sehr wenige Daten vorhanden.
- Die Datenmenge für den NH₄-N Gehalt des Abwassers ist meist wesentlich größer als jene für den TKN. Nachdem jedoch das Verhältnis zwischen den beiden Parametern abhängig ist von der Temperatur und der Fließzeit im Kanalnetz, kann der Mangel an TKN-Werten im Zulauf durch eine große Anzahl von NH₄-N Meßwerten nur teilweise ausgeglichen werden. Dagegen liefern NH₄-N-Ablaufwerte bestehender nicht

nitrifizierender Anlagen liefern wertvolle Hinweise für die Stickstofffracht, die nitrifiziert und allenfalls denitrifiziert werden muß.

- Auch das Verhältnis $\text{PO}_4\text{-P}$ zu Ges-P im Zulauf ist von der Temperatur und den Verhältnissen im Kanalnetz abhängig. Insgesamt ist jedoch heute der Einfluß der Phosphorgehalte des Zulaufs auf die Bemessung vergleichsweise geringer geworden, weil durch den weitgehenden Verzicht auf phosphathaltige Waschmittel die Phosphorgehalte von ungefähr 4 g/(E.d) auf unter 2 g/(E.d) gesunken sind.
- Wenn die Belastung einer Kläranlage überwiegend über die Einwohnerzahlen und andere ähnliche Parameter ermittelt wird, muß man berücksichtigen, daß das Verhältnis von Einwohnern zu Einwohnerwerten sehr stark abhängig ist von der Größe und der Infrastruktur des Einzugsgebietes. Das Verhältnis E / EW kann auch ohne spezielle Grobeinleiter aus der Industrie zwischen etwa 0,8 und 2,0 schwanken (Pendlergemeinden, Großstädte).

4.3. Temperatur im Belebungsbecken

Die Wahl der Bemessungstemperatur hat vor allem für die Bemessung von nitrifizierenden Kläranlagen extrem starken Einfluß auf die Belebungsbeckenvolumina, wobei man in erster Näherung sagen kann, daß je 1 C Temperaturerhöhung das erforderliche aerobe Beckenvolumen um ca. 10 % kleiner wird.

Die Temperatur im Belebungsbecken ist von einer Wärmebilanz abhängig, die von folgenden Einflußgrößen bestimmt wird:

- Wärmeinhalt des ankommenden Abwassers
- Abkühlung in der Kläranlage (überwiegend durch Verdunstung)
- Biogene Erwärmung (häufig vernachlässigbar)

Fremdwasser führt meist (Grundwasser) zu einer Verringerung der Temperatur des Zulaufes vor allem im Frühjahr und Sommer. Nachdem Fremdwasserzutritte in Zukunft vermehrt bekämpft werden müssen, sollte der Einfluß des Rückganges des Fremdwassers bei der künftigen Entwicklung mit berücksichtigt werden. Liegen lange Kanalstrecken im Bereich schwankenden Grundwassers, so kann dadurch eine stark schwankende Kühlung des Abwassers im

Kanalnetz erfolgen. Veränderungen des Grundwasserstandes können auch langfristig durch Maßnahmen zur Verbesserung des Grundwasserhaushaltes entstehen. Es ist auch bekannt, daß vor allem Seeleitungen, die in größeren Tiefen verlegt sind, zu einer starken Abkühlung des Abwassers führen. Beeinflussen industrielle und gewerbliche Abwässer mit hoher Temperatur den Wärmeinhalt des Zulaufes, so sollte bedacht werden, daß dies nicht auf Dauer gesichert sein muß.

Die Wahl des Belüftungssystems hat auf die Abkühlung nur einen geringen direkten Einfluß. (FREY 1993). Die Abkühlung in der Kläranlage wird überwiegend durch die Verdunstung des Abwassers von den freien Oberflächen verursacht. Der Einfluß des Belüftungssystems auf die Abkühlung erfolgt also vorwiegend indirekt über die Größe der Beckenoberfläche. Abdeckungen von Becken führen zu einer Verringerung der Wärmeverlustes durch Verdunstung.

In einer genauen Wärmebilanz darf die biogene Erwärmung von ca. 14 kJ/kg Sauerstoffverbrauch nicht vergessen werden. Mit steigender Zulaufkonzentration (z.B. bei Industrieabwassereinfluß) steigt auch die biogene Erwärmung.

Die Temperaturganglinie des Zulaufes (zum Belebungsbecken) über das Jahr gehört zu den wichtigsten Informationen für die Bemessung. Meist sind die Wintertemperaturen für die Belebungsbeckenvolumina und die Sommertemperaturen für die erforderliche Sauerstoffzufuhr maßgebend. In Abb. 2 ist beispielhaft eine typische Temperaturganglinie des Zulaufes zum Belebungsbecken über die Wintermonate Dezember bis Februar aufgetragen. Für die Einhaltung der Emissionsverordnungen für kommunales Abwasser wird man sich in diesem Falle meist für eine Bemessungstemperatur von 12°C entscheiden können, wenn die aeroben und anoxischen Volumina des Belebungsbeckens in weitem Bereich verändert werden können, und die Abkühlung im Winter gering gehalten werden kann.

Tritt allerdings die höchste Belastung gerade zur Zeit der etwas längeren Phase der Temperatur unter 12°C (Anfang Feber) auf, wird man wahrscheinlich 11°C als Bemessungstemperatur wählen. Die kurzen Temperatureinbrüche auf $\leq 10^{\circ}\text{C}$ sind im Normalfall, auch wenn sie öfters auftreten, für die Bemessung nicht maßgebend. Ist im Winter zur Zeit der höchsten Belastung mit sehr niedrigen Außentemperaturen (langen Frostperioden) und starker Abkühlung zu rechnen, könnte auch die Wahl von 10°C als Bemessungstemperatur richtig sein.

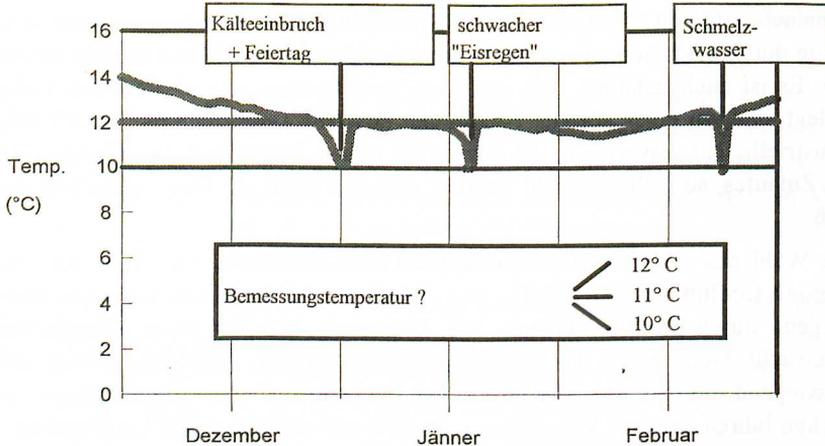


Abb 2: Temperaturganglinie des Zulaufes zu einem Belebungsbecken über die Wintermonate

Es soll mit diesem Beispiel gezeigt werden, daß die Wahl der richtigen Bemessungstemperatur gründliche Überlegungen erfordert, weil jedes Grad Unterschied in der Bemessungstemperatur zu ca. 10% Volumensänderung beim Belebungsbecken führt. Die Zusammensetzung des Belebtschlammes ändert sich nur in Zeiträumen von über einem Schlammalter wesentlich (z.B. Verlust oder Wiedergewinnung der Nitrifikation während bzw. nach Kälteperioden), was bei kurzen Temperatureinbrüchen günstig ist, bei Verlust der Nitrifikation dagegen zu Problemen mit der Einhaltung der Grenzwerte führen kann.

4.4. Statistische Auswertung der Kohlenstoffparameter (BSB₅, CSB, TS₀)

Die Frachten an Kohlenstoffverbindungen und an Feststoffen im Zulauf zur Kläranlage bzw. zum Belebungsbecken bestimmen im wesentlichen den Überschussschlammfall, der über das erforderliche Schlammalter fast linear in die Größe des Beckenvolumens eingeht.

Nach Arbeitsblatt A 131 ist bei Belebungsanlagen mit Nitrifikation der Mittelwert der Woche mit maximaler BSB₅-Belastung, z.B. während der kalten Jahreszeit, für das Schlammalter maßgebend. Läßt sich dieser nicht ermitteln, kann bei Mischkanalnetzen hilfsweise der 85 %-Wert aller Messungen der letzten 2

bis 3 Jahre zugrunde gelegt werden. Das folgende Beispiel soll zeigen, daß die statistische Auswertemethode nur mit Vorsicht anzuwenden ist.

Die statistische Auswertung der Betriebsdaten bestehender Kläranlagen oder von Messungen im Kanalnetz für die Ermittlung der Bemessungsbelastung muß folgende Punkte berücksichtigen:

- Auswahl der maßgebenden Auswerteperiode in Zusammenhang mit der Temperaturganglinie
- Einfluß von Fremdenverkehr und saisonalen Industrie- und Gewerbebetrieben
- Einfluß von Regenüberlaufbecken (Temperatur, TS_0 und Kohlenstofffrachten)

In Abb. 3 sind zwei unterschiedliche Ganglinien der BSB₅-Fracht über eine Woche aufgetragen, wobei jedoch der Mittelwert der Belastung in beiden Fällen gleich ist.

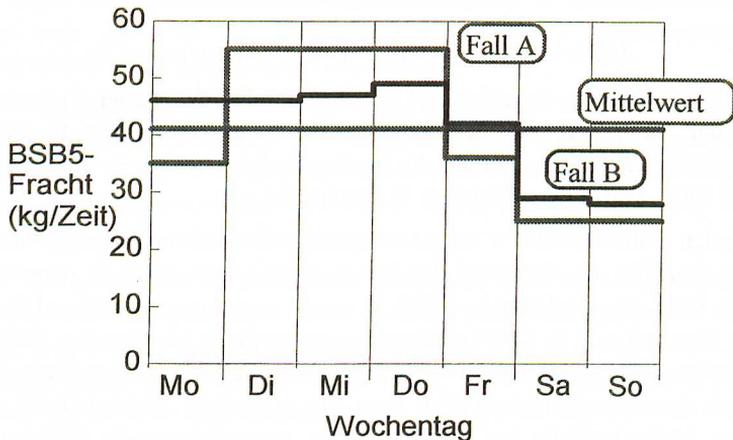


Abb.3: BSB₅-Wochenganglinie der Tagesmittelwerte

Im Fall A wurde angenommen, daß zufolge der Infrastruktur (Industrie, Gewerbe) an den Wochentagen Dienstag bis Donnerstag eine deutlich erhöhte Schmutzfracht auftritt, während an den Wochenenden die Schmutzfracht stark zurückgeht. Für den Fall B wurde von einem überwiegend häuslich dominierten Abwasseranfall ausgegangen, wo über die Woche ein nahezu konstanter Ab-

wasseranfall festzustellen ist, nur am Wochenende ein gewisser Rückgang der Schmutzfracht auftritt.

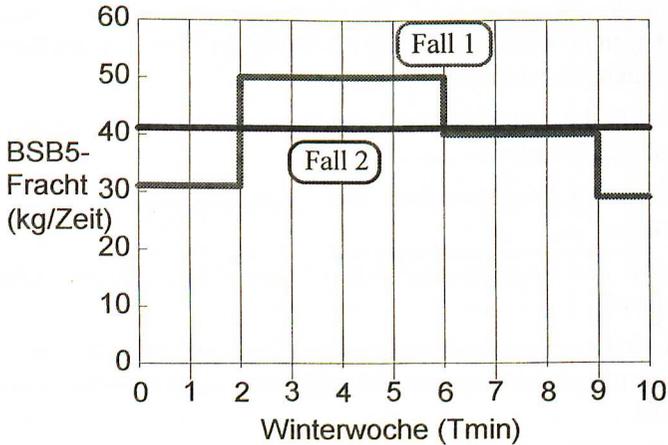


Abb.4: BSB₅-Ganglinie der Wochenmittelwerte

Die Abb. 4 zeigt eine Ganglinie der Wochenmittelwerte, wobei angenommen wurde, daß die maßgebende Belastungssituation im Winter auftritt. In den Wochenmittelwerten können jeweils die beiden charakteristischen Wochenganglinien (Fälle A und B der Abbildung 3) "versteckt" sein.

Die beiden Fälle in Abb. 4 sollen verdeutlichen, daß unabhängig von der Wochenganglinie die Ganglinie der Wochenmittelwerte deutlich unterschiedlich sein kann. Für die Ganglinie "Fall 1" wurde angenommen, daß zufolge saisonaler Unterschiede (z.B. Winterfremdenverkehr) eine einmonatige Erhöhung der mittleren Schmutzfracht auftritt. Für den "Fall 2" wurde dagegen ein praktisch konstanter Schmutzanfall über den gesamten Winterbereich angenommen. Maßgebend für das, der Bemessung zugrundeliegende, Schlammalter ist im Fall 1 z.B. der Monatsmittelwert der höchsten Belastung, zur Zeit der niedrigsten Temperatur (2. - 6. Woche), im Fall 2 ist die mittlere Belastung über die gesamte Zeit maßgebend. Je nach Wahl des Auswertezitraumes kann im Fall 1 der 85 %-Wert der Tagesschmutzfrachten einen zu niedrigen Bemessungswert ergeben. Im Fall 2 mit ausgeprägter Wochenganglinie der Tagesfrachten (Abb. 3, Fall A) kann die statistische Auswertung eine zu hohe Bemessungsfracht ergeben, was zu unnötigen Sicherheiten führt.

4.5. Schwankungen der Stickstoffbelastung

Während die Stickstofffracht, die nitrifiziert werden muß, nicht für die Größe des erforderlichen Nitrifikationsvolumens maßgebend ist, geht die Schwankung der Belastung ab einer gewissen Größe linear in die Berechnung des Belebungsbeckenvolumens ein. Wegen der sehr niedrigen Grenzwerte für die Ammonium-Konzentrationen im Ablauf muß die Sicherheit der Bemessung gegenüber einem Durchbruch von Ammoniumspitzen in den Ablauf relativ groß sein. Im Hochschulansatz findet dies Berücksichtigung durch den sogenannten Schwankungsfaktor (SF). Dieser hängt vom Verhältnis der Stickstofffracht, die während der Tagesspitze (2 - 6 Stundenmittel) nitrifiziert werden muß, zu und der mittleren zu nitrifizierenden Stickstofffracht über ein Schlammalter ab. Der Zahlenwert kann je nach örtlicher Lage in weiten Grenzen schwanken. Unabhängig von der Schwankung der Stickstoffbelastung muß das Ausschwemmen der Nitrifikanten durch zu geringes Schlammalter mit Sicherheit vermeiden werden, was sich in einem minimalen "Schwankungsfaktor" (=Sicherheitsfaktor) von über 2 niederschlägt, um den das Bemessungsschlammalter größer sein muß als der Kehrwert der maximalen Wachstumsrate der Nitrifikanten bei der Bemessungstemperatur

Im ATV Arbeitsblatt A131 wird die Ungleichmäßigkeit der Stickstoffbelastung in Abhängigkeit der Größe der Kläranlage durch Wahl des Schlammalters zwischen 8 und 10 Tage berücksichtigt, was in dem sogenannten Sicherheitsfaktor auch zahlenmäßig seinen Ausdruck findet. Letzterer darf jedoch nicht mit dem Schwankungsfaktor des Hochschulansatzes verwechselt werden

Neben der Größe des Entwässerungsnetzes stellt auch die räumliche Ausdehnung und Anordnung des Entwässerungsnetzes einen Einflußfaktor im Hinblick auf die Schwankung der Stickstoffbelastung dar, wie an den folgenden beiden Beispielen erläutert werden soll. In den Abb. 5 und 6 wird versucht, die Auswirkung der Struktur des Kanalnetzes auf die Schwankung der Stickstoffbelastung darzustellen.

In der Abb. 5 wurde davon ausgegangen, daß die Kläranlage mit Kanälen aus fünf Teileinzugsgebieten beschickt wird, deren Entwässerungsgebiete alle etwa die gleiche Fließzeit zur Kläranlage aufweisen. Der Einfachheit halber wurde angenommen, daß alle Teileinzugsgebiete die gleiche typische Tagesganglinie aufweisen. Die Folge davon ist z.B. daß die Morgenspitzen exakt zur gleichen Zeit auf der Kläranlage eintreffen. Es ergibt sich dann die in der Abbildung

dargestellte Summenganglinie. Die Kläranlage liegt hier praktisch wie eine "Spinne im Netz"

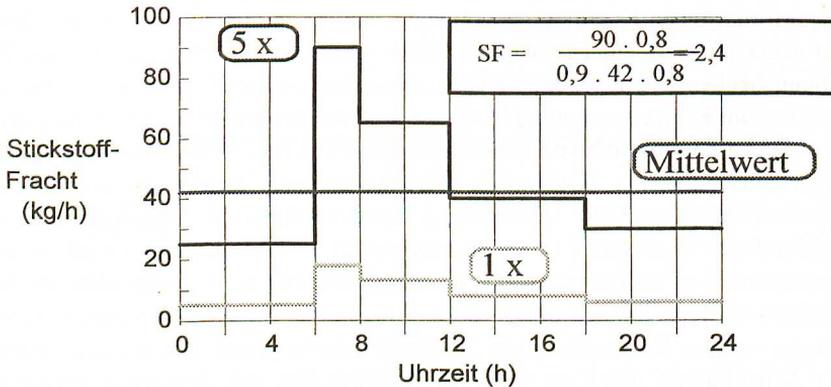


Abb.5: Tagesganglinien der Stickstofffracht, "Spinne im Netz"

In der Abb. 6 wurde dagegen angenommen, daß es sich um einen Abwasser-Verband handelt, der sich entlang eines langen Verbandsammlers in einem Tal entwickelt hat. Die Tagesganglinie der einzelnen Entwässerungsgebiete wäre identisch zu jener in der Abb. 5.. Die Fließzeit zwischen den einzelnen Entwässerungsgebieten wurde mit im Mittel zwei Stunden angenommen. Die tägliche Stickstofffracht ist in beiden Fällen gleich.

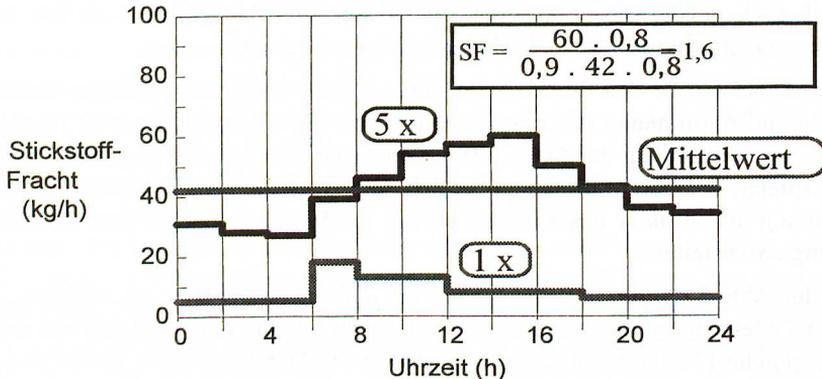


Abb.6.: Tagesganglinie der Stickstofffracht, "Perlenschnur"

Für die Berechnung des Schwankungsfaktors wurde von dem Verhältnis der Vierstundenspitze zur mittleren Stickstofffracht über ein Schlammalter ausge-

gangen. Es wurde angenommen, daß die mittlere Stickstofffracht über ein Schlammalter 90 % des Tagesmittelwertes der betrachteten Tagesfrachtganglinie (Wochentag) beträgt. Weiters wurde davon ausgegangen, daß 20 % der Stickstofffracht mit dem Schlamm aus der Kläranlage entfernt werden (NOWAK, 1993). Unter diesen Annahmen ergibt sich für den Schwankungsfaktor im Fall Abb. 5 ein Wert von ca. 2,4 im Fall Abb. 6 (Perlenkette) ein Wert von ca. 1,6. Man sieht also, daß für ein und dieselbe Kläranlagengröße, je nach der Ausbildung des Entwässerungsgebietes, der Schwankungsfaktor unterschiedlich sein kann. Auch wenn in der Praxis diese beiden extremen Ausbildungen selten auftreten werden, so kann ein Unterschied in der Schwankung der Stickstoffbelastung von 20 - 40 % durchaus wirklichkeitsnah sein.

Durch entsprechende Steuerung der Zugabe der Rückflüsse an Stickstoff aus der Schlammbehandlung kann man die Schwankung der Stickstofffracht deutlich dämpfen. Doch ist dabei zu berücksichtigen, daß bei hohen Anforderungen an die Stickstoffentfernung der Stickstoffausgleich über Nacht, zufolge Mangel an abbaubaren Kohlenstoffverbindungen, zu Nitratspitzen im Ablauf führen kann.

Der Auswertezeitraum für die Beurteilung des Einflusses der Schwankung der Stickstoffbelastung muß mit der Temperaturganglinie über das Jahr gemeinsam betrachtet werden. Sie spielt nur im Bereich der Bemessungstemperatur eine wichtige Rolle. Bei höheren Temperaturen können etwas größere Schwankungen der Stickstoffbelastung in Kauf genommen werden. Wegen der erhöhten Sterberate bei höheren Temperaturen wächst die Reservekapazität der Nitrifikanten nicht proportional zur Wachstumsrate an.

Je größer die Belebungsbeckenvolumina einer Kläranlage werden, desto größer ist die Speicherkapazität für Stickstoff, zufolge Konzentrationserhöhung im Belebungsbecken. Die zulässige Erhöhung der Stickstoffkonzentration im Belebungsbecken von z.B. 1 mg auf 5 mg in der Tagesspitze erlaubt die Zwischenspeicherung von näherungsweise einer ganzen Stundenzulaufcharge (siehe Kap. 4.9). Die Auswirkungen der Schwankungen der Stickstofffracht (und der Temperatur) auf die Ablaufkonzentration und den Sauerstoffverbrauch kann man nach der Bemessung der Beckenvolumina am besten durch dynamische Simulation verschiedener Belastungsfälle (Szenarien) untersuchen.

4.6 Denitrifikation, Stickstoff-Entfernung (N/BSB₅)

Die Größe des Denitrifikationsvolumens wird in den meisten Fällen nicht durch die Kinetik, sondern durch die Massenbilanz bestimmt. Im ATV Arbeitsblatt A 131 ist daher das Denitrifikationspotential in Abhängigkeit des BSB₅ im Zulauf zum Belebungsbecken angegeben. Den maßgebenden Einfluß auf die Größe des Denitrifikationsvolumens haben die zu denitrifizierende Stickstofffracht und das N/BSB₅-Verhältnis.

Prinzipiell kann man die organische Verunreinigung (CSB) des Wassers in zwei Fraktionen einteilen. Eine, die rasch für die Denitrifikation verfügbar ist und eine andere, die erst nach ihrer Hydrolyse dafür zur Verfügung steht. In einer vorgeschalteten Denitrifikation kann man vorteilhaft nur die rasch abbaubare Kohlenstoffverunreinigung nutzen. Für die restliche Kohlenstofffracht, die erst hydrolysiert werden muß, ist überwiegend die Hydrolysegeschwindigkeit der geschwindigkeitsbestimmende Schritt. Das N/BSB₅-Verhältnis im Zulauf zum Belebungsbecken stellt nur einen groben Anhalt für die Abwassercharakterisierung im Hinblick auf die Denitrifikation dar. Prinzipiell kann man davon ausgehen, daß im Kanalnetz durch biologische Vorgänge vorwiegend nur BSB₅, und zwar nur die leicht abbaubare Verschmutzung, aus dem Abwasser entfernt werden, nicht aber die Stickstoffverbindungen. Das führt dazu, daß bei einem hohen Verhältnis N/BSB₅ damit gerechnet werden muß, daß ein Großteil der leicht abbaubaren Fraktion der Kohlenstoffverbindungen bereits im Kanalnetz abgebaut wurde. Dieser Vorabbau im Kanalnetz ist abhängig von der Temperatur, dem Gefälle und bis zu einem gewissen Grad auch von der Konzentration (Fremdwasser). Daneben können spezielle industrielle oder gewerbliche Einleiter eine wichtige Rolle spielen, wenn sie eine vom häuslichen Abwasser deutlich unterschiedliche Zusammensetzung aufweisen.

Nachdem der leicht abbaubare BSB ein höheres Denitrifikationspotential darstellt als der überwiegend partikuläre, schwerer abbaubare Anteil, werden in den Bemessungsvorschriften, die keine Differenzierung zwischen leicht und schwer abbaubarem BSB vornehmen (ATV Arbeitsblatt 131) für die Denitrifikation Annahmen getroffen, die eine Überschätzung des Denitrifikationspotentials vermeiden. Weiters muß berücksichtigt werden, daß "Sicherheiten" bei der Festlegung der Bemessungsschmutzfracht (BSB₅) für die Berechnung des Schlammalters und des Sauerstoffverbrauchs (OVC) zu einer Überschätzung des Denitrifikationspotentials führen. Diese Umstände wurden im Arbeitsblatt A 131 berücksichtigt und für den Hochschulansatz (BÖHNKE 1991) in einigen Veröffentlichungen gefordert (ABELING et.al. 1993). Wenn auch bisweilen

höhere Stickstoffentfernungen je g BSB im Zulauf berichtet werden, so darf daraus nicht allgemein abgeleitet werden, daß das Bemessungsverfahren hier zu große Sicherheiten enthält, sondern daß eben sehr gründliche Überlegungen notwendig sind, wenn man sich vom Pfad der Bemessungsvorschrift des A 131 entfernt.

Die Anforderungen an die Stickstoffentfernung können entweder durch die Vorgabe eines Entfernungsgrades (z.B. EG-Richtlinie, Österr. Wasserrechtsgesetz, Emissionsverordnung) oder durch Vorgabe einer maximalen Stickstoffkonzentration im Ablauf (EG-Richtlinie, Mindestanforderungen nach WHG) festgelegt sein. Für den Gewässerschutz ist fast in jedem Falle eine prozentuale Entfernung des Stickstoffs aus dem Abwasser das vorrangige Ziel. Jene Stickstofffracht, die bei gegebenem Entfernungsgrad durch Denitrifikation aus dem Abwasser entfernt werden muß, hängt auch wesentlich vom Stickstoffexport aus der Kläranlage mit dem Schlamm (etwa 15 und 40 % der Stickstoffzulaufmenge) ab (NOWAK 1993). Allein die Differenz zwischen verschiedenen Schlammbehandlungsverfahren (Rohschlammverbrennung gegenüber Faulschlammverwässerung und -verbrennung) kann ohne Berücksichtigung der Denitrifikation Unterschiede in der Stickstoffablaufkonzentration, von 7 - 10 mg/l bewirken. Nachdem mit steigenden Anforderungen an die Stickstoffentfernung durch Denitrifikation das Denitrifikationsvolumen überproportional ansteigt, kommt diesem Umstand große Bedeutung zu. Wie schon erwähnt, kann die Zufuhr von leicht abbaubaren Kohlenstoffverbindungen aus z.B. der Lebensmittel verarbeitenden Industrie ein sehr gutes Denitrifikationspotential darstellen. Hierbei ist jedoch immer die Frage der Sicherheit zu berücksichtigen, mit der dieses "Substrat" erstens zu jeder Zeit im Jahr und zweitens auch in Zukunft verfügbar ist. Außerdem können negative Einflüsse auf den Schlammindex auftreten, die in der Bemessung berücksichtigt werden müssen.

Fremdwasser beeinflusst die Bemessung für die Einhaltung der Anforderungen an die Stickstoffentfernung. Bei der Vorschreibung von Grenzkonzentrationen für Gesamtstickstoff (gesamter anorganischer Stickstoff) im Ablauf wird das erforderliche Denitrifikationsvolumen umso kleiner, je geringer die Zulaufkonzentration durch Fremdwassereinfluß wird. Bei der Vorschreibung prozentueller Stickstoffentfernungsraten wird das erforderliche Denitrifikationsvolumen (nach A 131) von der Zulaufkonzentration nicht beeinflusst.

Der Anteil des leicht abbaubaren CSB im Zulauf zum Belebungsbecken liegt meist in der Größenordnung von unter 20 % des gesamten abbaubaren Koh-

lenstoffes. Auch wenn man diesen optimal für die Denitrifikation nützen will, ist es nicht sinnvoll, den Anteil des nicht (nie) belüftbaren Volumens für eine vorgeschaltete Denitrifikation größer als maximal 10 - 15% des Gesamtvolumens zu planen (SVARDAL, 1993). Besonders flexibel erscheint daher eine Kombination zwischen vorgeschalteter und simultaner bzw. intermittierender Nitrifikation und Denitrifikation. Dort wo im Kanalnetz bereits der Großteil des leicht abbaubaren CSB abgebaut wird, kann man auf die vorgeschaltete Denitrifikation auch verzichten und das ganze Volumen belüftbar ausführen (nur simultane Nitrifikation-Denitrifikation).

4.7 Künftige Entwicklung

Die Abschätzung der künftigen Entwicklung gehört zu den schwierigsten Problemen bei der Bemessung. Üblicherweise werden Kläranlagen zumindest für einen Zeitraum von 20 Jahren geplant und daher auch bemessen. Die künftige Entwicklung sollte getrennt abgeschätzt werden für:

- Wassermengen
- Schmutzfrachten (C, N, P)
- Temperatur

Die Entwicklung der Wassermengen ist vor allem maßgeblich für die hydraulische Bemessung der gesamten Kläranlage, aber auch für die Größe der Nachklärbecken. Damit ergibt sich ein direkter Einfluß auf die Wahl des Trockensubstanzgehaltes im Belebungsbecken TSBB. Die künftige Entwicklung der Wassermengen hängt ab von:

- Festlegung der zu behandelnden Mischwassermenge (Vielfaches des TW-Zulaufs)
- Entwicklung der Bevölkerungszahlen im Einzugsbereich der Kläranlage
- Entwicklung der Infrastruktur (Schulen, Industrie, Gewerbe, Fremdenverkehr, etc.)
- Die Entwicklung des zukünftigen Wasserverbrauches, der auch von den Kosten des Wassers abhängen wird
- Die Entwicklung des Fremdwasseranteiles (Sanierung von undichten Kanalnetzen)

und meist im abnehmenden Maße von:

- der Entwicklung von Industrie und Gewerbe.

Die für die Bemessung der Belebungsbeckenvolumina entscheidenden Schmutzfrachten an Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphorverbindungen sind im wesentlichen abhängig von:

- Entwicklung der Bevölkerungszahl
- Entwicklung der Art und der Größe der Industrie und des Gewerbes
- Ausbau des Kanalnetzes (Gefälle, Fließzeit, Ausbau der Regenüberlaufbecken, die Gleichzeitigkeit der Anfallsspitzen).

Hinsichtlich der Temperatur sind folgende Maßnahmen in der Zukunft von Einfluß:

- Fremdwassereinfluß und Kühlwirkung im Kanalnetz insbesondere durch kaltes Grundwasser (aber auch bei Seeleitungen)
- Größe der freien Wasserflächen in der Kläranlage durch Abdeckungen
- Hydraulische Verweilzeit des Abwassers in der Kläranlage

4.8. Festlegung des Trockensubstanzgehalts im Belebungsbecken TS_{BB}

Bei der Wahl des Trockensubstanzgehaltes im Belebungsbecken (für die Bemessung), sind große Spielräume für den Planer gegeben. Dabei ist immer auf die Wechselwirkung mit der Nachklärbeckenbemessung Bedacht zu nehmen. In einem gewissen Ausmaß ist das Volumen des Belebungsbeckens und das Volumen des Nachklärbeckens austauschbar. Je nach der Abschätzung des Risikos für Blähschlammentwicklung (Abwasserzusammensetzung, Vorklärung, Selektor, Phosphorfällung, etc.) wird man bei der Festlegung des Trockensubstanzgehaltes eher vorsichtig oder eher großzügig sein. Es sei nur darauf hingewiesen, daß z.B. die Erhöhung des angenommenen Trockensubstanzgehaltes von 3,5 auf 4,5 g/l bei der Bemessung zu einem 22% kleinerem Belebungsbeckenvolumen führt.

Während für die Bemessung des Belebungsbeckenvolumens der Schlammindex keinerlei Bedeutung hat, ist er zusammen mit dem Trockensubstanzgehalt im Belebungsbecken die maßgebende Bemessungsgröße für die Nachklärbecken. Je höher das Schlammvolumen ist, das durch die Nachklärbecken abgeschieden

werden muß, desto größer muß die Oberfläche und die Tiefe der Nachklärbecken werden. Von Einfluß ist auch das Verhältnis zwischen Zulauf der Kläranlage bei Trockenwetter, zu jenem bei Regenwetter. Je größer die Differenz zwischen diesen beiden Zuflüssen ist, desto relativ größer müssen die Nachklärbecken geplant werden.

4.9. Wirkung des Volumens von durchmischten Reaktoren

Je größer das Reaktionsvolumen einer Belebungsanlage, desto mehr Schmutzfracht kann durch Erhöhung der Konzentration im Becken zwischengespeichert werden. Dies ist vor allem interessant, wenn kurzfristige Spitzenbelastungen im Zulauf auftreten. Dieses Volumen dämpft auch die Auswirkung von zu knapper Nitrifikationskapazität, z.B. zufolge kurzfristiger Temperatureinbrüche oder zufolge mangelhafter Steuerung der Sauerstoffzufuhr.

Große Beckenvolumina sind nicht nur große Speicher für Substrat (Ammonium), sondern auch Speicher für nitrifizierende Bakterien. Auch wenn für die Nitrifikation nur die Nitrifikanten im aeroben Teil des Belebungsbeckens wirksam sind, so befinden sich dennoch in den anoxischen und anaeroben Beckenteilen (z.B. auch im Nachklärbecken) Schlammengen, die ebenso mit Nitrifikanten versorgt sind, wie die aeroben Teile. Bei kurzfristigen Rückgängen der Temperatur oder außergewöhnlich hohen Stickstoff-Spitzenbelastungen kann auf dieses Reservepotential zurückgegriffen werden, indem das aerobe Beckenvolumen vergrößert wird. Das Ausschwemmen der Nitrifikanten bei längeren Temperaturrückgängen wird zufolge dieser Reservekapazität deutlich verlangsamt. Es erscheint daher besonders wichtig, die Größe der aeroben und anoxischen Zonen in weiten Bereichen veränderbar zu gestalten, so daß man sich an die jeweiligen Temperatur- und belastungsverhältnisse optimal anpassen kann.

4.10 Verfahrenswahl

Selbstverständlich hat die Wahl der gesamten Verfahrenskette der Abwasserreinigung einen entscheidenden Einfluß auch auf die Bemessung der Einzelteile. So ist es z.B. von großem Einfluß, ob eine Anlage mit oder ohne Vorklärung geplant wird, und welcher Wirkungsgrad der Vorklärung der Berechnung zugrunde liegt. Das kann von der Grobentschlammung mit etwa 10 % BSB-

Entfernung bis hin zur Kombination von Vorklärung mit chemischer Fällung reichen, bei der bis zu 80 % des BSB (partikulärer Anteil) entfernt werden können. Die Größe und Ausführung der mechanischen Reinigung verändert das N/BSB₅-Verhältnis und damit die Denitrifikationsmöglichkeiten mit der Kohlenstofffracht (CSB, BSB₅), die im Abwasser enthalten ist.

Die eigentliche biologische Stufe für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen, der Nitrifikation und der Stickstoffentfernung durch Denitrifikation kann in verschiedenster Weise gestaltet werden:

- Einstufige Belebungsanlage mit und ohne Vorklärung
- Verschiedenste Ausführungen von zweistufigen Belebungsverfahren
- Kombination von Belebungsanlagen mit Festbettreaktoren
- Mehrstufige Festbettverfahren

Nicht nur für die Meß-, Regel- und Steuerungsprobleme, sondern auch für die Auslegung der Anlagenteile ist zu beachten, ob es sich bei den Verfahren überwiegend um Mischbecken, Mischbeckenkaskaden oder um Reaktoren mit überwiegender Pfropfenströmung handelt. Wie schon erwähnt, führen große Mischbeckenvolumina zu einem natürlichen Ausgleich durch die Möglichkeit der Zwischenspeicherung, die bei Anlagen mit vorwiegender Pfropfenströmung (z.B. Festbettreaktoren) kaum zum Tragen kommen. Es muß bei der Bemessung und bei den dabei erforderlichen Sicherheitsüberlegungen immer daran gedacht werden, daß verschiedene Verfahren unterschiedliche Kinetik und mitunter auch unterschiedliche Massenbilanzen aufweisen. Es können daher Sicherheitsüberlegungen, etwa aus dem Bereich des Belebungsverfahrens, nicht ohne weiters auf z.B. Festbettreaktoren (biologische Filter) übertragen werden.

4.11. Sensitivitätsanalyse (Beispiel)

Anhand eines einfachen Beispiels einer einstufigen Belebungsanlage ohne Vorklärbecken, aber mit Grobentschlammung, soll gezeigt werden, wie unterschiedliche örtliche Verhältnisse und unterschiedliche Abschätzungen und Entscheidungen des planenden Ingenieurs zu stark unterschiedlichen Ergebnissen führen, obwohl ein und dasselbe Bemessungsverfahren angewendet wird. Es handelt sich um eine Stadt mit 45.000 EW ohne Industrie. Die Bemessung

erfolgt entsprechend dem Arbeitsblatt A 131 für eine gesicherte Nitrifikation und eine teilweise Denitrifikation

Tab. 1: Drei Varianten der Bemessung für einen Anwendungsfall
(konstruiertes Beispiel) (einstufige Belebungsanlage ohne VB,
Grobentschlammung)

Parameter	Dim.	"Normal" simultan	"Vorsichtig" simultan	"Gewagt" vorgesch.
Q	m ³ /d	10000	11000	9000
BSB ₅	mg/l	250	275	250
TS ₀	mg/l	250	275	225
TKN ₀	mg/l	50	55	47
Sicherheitsfaktor	-	2,5	2,8	2,4
TS _{BB}	mg/l	4,0	3,5	4,5
J _{SV}	mg/l	120	150	115
SV	mg/l	480	520	520
Temp.	°C	11	10	12
NO ₃ -N Ablauf	mg/l	10	10	10
V _{DN} / V	-	0,41	0,42	0,31
V _N + V _{DN}	m ³	8000	13400	4600
B _{TS}	kg/kgd	0,08	0,06	0,11
Anacrobvol.	m ³	700	1400	0
Ges. Beleb.	m ³	8700	14800	4600
A _{NR}	m ²	1520	1810	1480
t _{NR}	m	3,5	3,3	3,5
V _{NR}	m ³	5320	6000	5180
Summe V	m ³	14020	20800	9780

In der Tabelle 1 wird davon ausgegangen, daß es sich bei den drei Bemessungsvarianten um eine Kläranlagengröße aber nicht um einen bestimmten Fall handelt. Die Variation der Bemessungsparameter wurde so gewählt, wie sie auf Grund von Erfahrung in üblichen Bemessungsfällen auch auftritt. Das Reinigungsziel ist für alle 3 Fälle durch die NO₃-N Ablaufkonzentration von 10 mg/l charakterisiert

Die Überschrift der drei Bemessungen ist mit den Begriffen "normal", "vorsichtig" und "gewagt" bezeichnet, obwohl je nach Wissensstand und Gründlichkeit der Voruntersuchung diese drei Varianten zufolge örtlicher Besonderheiten durchaus die gleiche Sicherheit hinsichtlich des Reinigungsergebnisses erwarten lassen könnten. Es ist also ohne sehr genaue Kenntnis der komplexen Planungssituation und ihrer Einschätzung durch den planenden Ingenieur nicht möglich, die Größe der Sicherheit anzugeben, mit der bei den

drei Variationen die geforderte Reinigungsleistung erreicht wird. Zur Demonstration der Sensitivität des Bemessungsverfahrens wurde lediglich darauf geachtet, daß sich in den beiden Fällen "vorsichtig" und "gewagt" die Parameter so verhalten, sodaß sie im einen Fall immer ein eher kleineres, im anderen Fall immer ein eher größeres Belebungsbeckenvolumen ergeben. Beim Parameter "Wassermenge" wurde angenommen, daß die erste Stelle im "Normal"fall eine Eins ist. Die Wahl von $10.000 \text{ m}^3/\text{Tag}$ soll keine besondere Bedeutung des Größenbereichs der Kläranlage signalisieren, obwohl gerade in diesem Bereich (entsprechend ca. 50.000 EW) die Entscheidungsproblematik besonders groß sein kann.

Das erstaunliche Ergebnis dieser Vergleichsrechnung ist, daß das berechnete Belebungsbeckenvolumen im Verhältnis von ca. 3 : 1 schwanken kann. Wenn man das Nachklärbecken noch in die Berechnung mit aufnimmt, so wird das Volumensverhältnis etwas gedämpft auf ca. 2 : 1. Weitere Kommentare zu dieser Tabelle sind nicht notwendig, weil es sich um einen konstruierten Fall handelt. Zusammenfassend soll nur noch einmal betont werden, daß die Auswirkungen einer Reihe von Festlegungen, die der planende Ingenieur in jedem Einzelfall vornehmen muß, unabhängig vom jeweils verwendeten Bemessungsverfahren große Unterschiede im Ergebnis verursachen können. Ob die Unterschiede nun auf Grundlage eines besonders hohen oder eines besonders niedrigen Wissenstandes erfolgen, hat hier nur untergeordnete Bedeutung. Es kann das große ("sichere") Volumen durchaus einer wirklichkeitsnahen und daher richtigen Bemessung entsprechen, es kann aber auch unnötig große Sicherheiten enthalten, was beim Betrieb der Anlage mit sehr geringer Auslastung mitunter auch zu Problemen führt. Aber auch beim kleinsten Volumen kann nicht ausgeschlossen werden, daß das geforderte Reinigungsziel erreicht wird.

5. ÜBERPRÜFUNG VON BEMESSUNGSANSÄTZEN

Durch die stark steigende Vielfalt möglicher Verfahren und Verfahrenskombinationen der biologischen Abwasserreinigung ergibt sich das Problem, im Rahmen der Planung, Ausschreibung und Vergabe solcher Kläranlagenprojekte die Sicherheit des Einhaltens der geforderten Ablaufgrenzwerte miteinander vergleichen zu können. Letzteres ist aber die Voraussetzung für einen "gerechten" Vergleich verschiedener Lösungen im Hinblick auf das Kosten-

Nutzen- oder Preis-Leistung-Verhältnis. Der eigentliche Prüfstein der Bemessungsverfahren ist die praktische Bewährung der auf Basis dieser Bemessungsverfahren entstandenen Großanlagen und ihrer Leistungsfähigkeit. Daneben können zweifellos auch theoretische Überlegungen zum Vergleich verschiedener Bemessungen herangezogen werden. Jedenfalls gibt es zur Zeit keinen "Stand des Wissens" mit dessen Hilfe es möglich wäre, die Sicherheit verschiedener Anlagenkonzepte (z.B. Belebungsanlagen und biologische Filter) miteinander zu vergleichen.

Der Vergleich von Verfahren und die Überprüfung von Bemessungsansätzen muß letztlich über die Betriebsergebnisse von Großanlagen versucht werden. Dieser an und für sich "richtige" Ansatz enthält aber eine Reihe von grundlegenden Problemen, die bisher nicht ausreichend gelöst sind. Unter anderem sind dies:

- Die Komplexität der Betriebsbedingungen (Zulaufbeschaffenheit, Betriebseinstellungen, maschinelle und andere technische Gebrechen).
- Die Plausibilität der Datengrundlagen.
- Die Charakterisierung der aktuellen Reinigungsleistung bezogen auf die Standardbedingungen, die der Bemessung zugrunde liegen.
- Die Charakterisierung der aktuellen Belastung der Anlagen bezogen auf ein Bemessungsverfahren.

In Abbildung. 7 wurde versucht, ein Schema jener Zusammenhänge darzustellen, die für die Verifizierung von Bemessungsverfahren an Hand von Betriebsergebnissen von Großanlagen wichtig erscheinen.

Anhand eines praktischen Beispiels kann gezeigt werden, daß z.B. die Charakterisierung der Belastung einer Kläranlage je nach dem Kriterium, das als maßgebend erachtet wird, zu unterschiedlichen Ergebnissen führt. Die Kläranlage Mödling (FRANZ 1995) wurde 1986 als einstufige Belebungsanlage ohne Vorklärung mit simultaner Nitrifikation / Denitrifikation und biologischer Phosphorentfernung für 100.000 EW geplant. Sie besteht aus 2 Belebungsbecken zur simultanen Nitrifikation und Denitrifikation mit insgesamt 12.000 m^3 einem Anaerobbecken mit 1.000 m^3 und einem Anaerob-anoxen Becken von 4.000 m^3 . Das Gesamtvolumen des Belebungsbeckens beträgt also 17.000 m^3 . Wenn man die Belastung dieser Kläranlage zum aktuellen Zeit-

punkt angeben will, so kann man dies auf verschiedene Weise tun. Bezieht man die Belastung auf die derzeitige mittlere Belastung, so entspricht sie 61.000 EW₆₀. Bezieht man die derzeitige Belastung auf die Woche mit der höchsten Schmutzfracht im Winter, so wie dies auch im Arbeitsblatt A 131 für die Bemessung als maßgebend angegeben ist, so ergibt sich eine Belastung von ca. 90.000 EW. Nimmt man die Schlammbelastung oder das Schlammalter als die maßgebenden Parameter für die Reinigungsleistung so ergeben sich auch unterschiedliche Bezüge zum Bemessungsverfahren. Für die detaillierte Beurteilung der Betriebsergebnisse in Hinblick auf die Überprüfung von Bemessungsverfahren müßte weiterhin die Temperaturganglinie, die Schwankungsbreite der Stickstoffbelastung und das N/BSB₅-Verhältnis im Zulauf berücksichtigt werden.

Eine "Umrechnung" von Betriebsergebnissen von Großanlagen auf andere Belastungs- und Betriebsbedingungen (z.B. andere Temperaturen, Abwassercharakteristika etc.) zum Zwecke der Verifizierung der Bemessungsverfahren ist immer problematisch. Um die Betriebsergebnisse von Großanlagen einordnen und bewerten zu können, braucht man dennoch unbedingt Modellvorstellungen. Die Auswahl der Modellvorstellungen hat Rückwirkungen auf den erforderlichen Umfang und die Interpretation des Datenmaterials.

Wie sich zeigt, ist die Beurteilung der Belastungssituation einer Anlage auf Grund von Betriebsergebnisse zumindest derzeit nicht eindeutig möglich. In den meisten Veröffentlichungen über Betriebsergebnisse von Großanlagen fehlt ein großer Teil jener Information, die für die Beurteilung des Zusammenhanges zwischen Verfahrenstechnik und Reinigungsergebnis notwendig wären. Es ist daher schwierig, Lösungen für ein und dieselbe Problemstellung mit Hilfe verschiedener Anlagenkonzepte hinsichtlich der Sicherheit zu vergleichen, mit der sie eine vorgegebene Reinigungsleistung einhalten. Je mehr jedoch bei der Ausschreibung von Kläranlagen die Verfahrenswahl offen bleibt (schlüsselfertige Anlagen, Betreibermodelle), desto wichtiger wird es, wissenschaftlich begründete Vergleichsmethoden und Bemessungsansätze zu entwickeln.

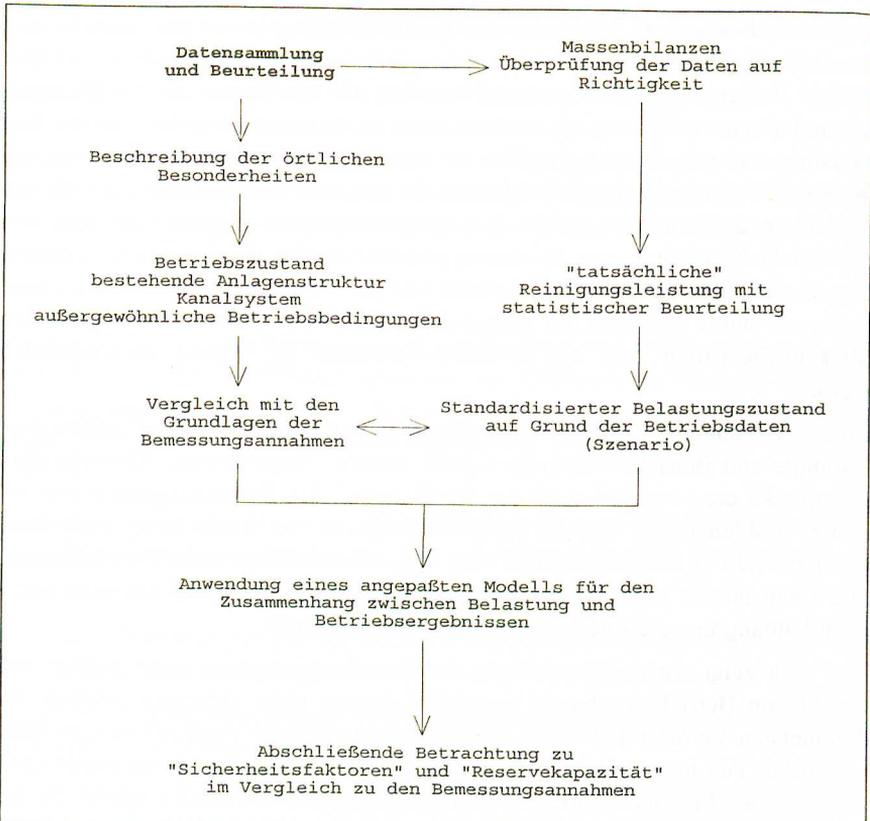


Abb.7: Schema für die Beurteilung der Bemessung von Abwasserreinigungsanlagen auf der Grundlage von großtechnischer Betriebserfahrung

6. KOSTENFAKTOREN

Auch hinsichtlich der Kosten stellt selbstverständlich jede Kläranlagenplanung einen Sonderfall dar. Die Unterschiede sind von Ort zu Ort sehr groß. Es kann sich einerseits um Erweiterungsplanungen, andererseits um Neuplanungen handeln. Die vorhandenen Anlagen können gänzlich unterschiedlich sein. Das Platzangebot und damit auch die Kosten für die erforderlichen Flächen sind oft sehr stark unterschiedlich. Dennoch muß daran gedacht werden, daß die Unter-

schiede in den Kosten zwischen verschiedenen Varianten und Bemessungsansätzen im Gesamtzusammenhang nicht überbewertet werden.

Untersuchungen von FLECKSEDER (1994) und anderen Autoren haben gezeigt, daß in der gesamten Infrastruktur für die Abwasserableitung und -reinigung ca. 70.000 S/EW investiert wurden oder investiert werden müssen. 80 bis 90 % dieser Kosten fallen auf die Investitionen im Bereich des Kanalnetzes. Die eigentliche Kläranlage kostet je nach Kläranlagengröße, Ausstattung und angestrebter Reinigungsleistung etwa zwischen 2000 und 15.000 S pro Einwohner. Von dieser Investitionssumme entfällt jedoch auf die eigentliche biologische Abwasserreinigung meist nur ein Betrag zwischen 1300 und 4500 S pro Einwohner. Wenn man nun noch berücksichtigt, daß sich die Bemessungsproblematik in erster Linie nur auf die Beckenvolumina und nicht auf die maschinelle Ausrüstung auswirkt, so schrumpft die Investitionssumme für das Beckenvolumen auf etwa 700 bis 2000 S/EW zusammen. Es handelt sich ja nur um zusätzliches Beckenvolumen, das nicht mit dem mittleren Volumenpreis eines Beckens (samt maschineller Ausrüstung) verglichen werden darf. Man kann also davon ausgehen, daß das Einsparungspotential durch eine wirklichkeitsnahe und damit möglichst knappe Bemessung im Vergleich zu einer reichlichen oder sehr sicheren Bemessung nur im Bereich von etwa 300 bis 500 S pro Einwohner liegt. Es darf daraus natürlich nicht abgeleitet werden, daß der planende Ingenieur nicht auch diese Einsparungsmöglichkeiten tatsächlich nützen muß. Das zuviel investierte Kapital dient häufig dem Gewässerschutz nur mehr sehr wenig, während die gleiche Summe an anderer Stelle investiert, vielleicht ganz wesentlich zu einer Gewässerentlastung beiträgt. Die obige Zusammenstellung sollte nur darauf hindeuten, daß die möglichen Einsparungen durch Verringerung des Beckenvolumen zumindest in der gleichen Größenordnung liegen, wie die Einsparungen, die man durch einfache und billige Bauformen, einfache und robuste maschinelle Ausrüstung und durch eine angepaßte Meß- und Regeltechnik und Instrumentierung der Anlage erzielen kann. Bis zu einem gewissen Grad sind Kompliziertheit der Anlage hinsichtlich der Steuerung und der maschinellen Ausrüstung austauschbar gegen etwas größere Beckenvolumina.

Die meisten der obigen Aussagen gelten nur für den Vergleich verschiedener Varianten des Belebungsverfahrens. Wenn man jedoch verschiedenen Konzepte der biologischen Abwasserreinigung miteinander vergleicht, ergeben sich ganz andere Schwierigkeiten. So kostet 1 m³ eines biologischen Filters etwa

das 10-fache von 1 m^3 Belebungsbeckenvolumen. Der Flächenbedarf von biologischen Filtern ist jedoch deutlich geringer als jener von Belebungsanlagen (KROISS 1994). Wie die bisherige Praxis zeigt, liegen die Kosten - auch für gänzlich unterschiedliche Lösungen - zur Erreichung der selben hohen Reinigungsziele in der gleichen Größenordnung, sodaß die lokalen Verhältnisse letztlich nicht nur für die Bemessung, sondern auch für die Verfahrenswahl entscheidend werden. So wie für die Investitionskosten, kann man auch zeigen, daß die Unterschiede in den Jahreskosten, die man durch eine sehr sparsame (wirklichkeitsnahe) Bemessung erzielen kann, im Bereich der Rechengenauigkeit für die gesamte Abwasserreinigung und Abwasserableitung liegen. Auch hier muß wiederum betont werden, daß das kein Freibrief für zu reichliche Bemessung und Ausführung ist, sondern daß darauf geachtet werden muß, daß alle anderen Einflußfaktoren auf die Jahreskosten mit der gleichen Sorgfalt beachtet werden, weil dort die Einsparungspotentiale mindestens ebenso groß sind.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß der Vorwurf, daß mit dem Bemessungsverfahren nach ATV Arbeitsblatt A 131 ("allgemein anerkannte Regel der Technik") unnötig große Belebungsbeckenvolumina errechnet werden, und die Anlagen deshalb nicht mehr finanzierbar seien, schlichtweg unrichtig ist. Ebenso falsch ist es aber auch, aus mangelndem Verständnis der Zusammenhänge und mangelnder Sorgfalt bei der Ermittlung der Bemessungsgrundlagen scheinbare Sicherheiten zu akkumulieren und damit Volumina zu "fordern", die den Bedarf bei weitem übersteigen. Wie gezeigt werden konnte, kann in Einzelfällen durch sorglose Annahmen für die Bemessungsgrundlagen das errechnete Volumen auch das Doppelte des erforderlichen ausmachen. Die hierbei vergeudeten Investitionskosten, und damit auch Reparatur- und Instandhaltungskosten, kommen dem Gewässerschutz meist sehr wenig zugute und fehlen vor allem an anderer Stelle.

Das größte Defizit in der Beurteilung der Sicherheit einer zu planenden Kläranlage besteht heute nicht in der Kenntnis der Zusammenhänge der mikrobiologischen Faktoren der Abwasserreinigung, sondern in der Beurteilung der Sicherheit des Gesamtsystems im Zusammenwirken von Kanalnetz und baulicher, maschineller und elektrischer Ausrüstung einer Kläranlage und allen betrieblichen Aspekten. Durch eine "reichliche" Bemessung der Belebungsbeckenvolumina kann nur ein Teil dieser Unsicherheit aufgefangen werden. Dies darf wiederum nicht als ein Freibrief für schlechte Planung angesehen

werden. Die "Kunst" des Planers besteht auch darin, das gesamte geplante Volumen jederzeit für eine optimale Reinigungsleistung nutzbar zu gestalten. Zusätzliches Volumen, das nicht der Reinigungsleistung zugute kommt, ist eine Vergeudung von Kapital.

7. AUSBLICKE, FORSCHUNGSBEDARF

Aus den vorhergehenden Ausführungen können die folgenden Schlüsse gezogen werden:

- Die "Sicherheit" der Abwasserreinigung hängt von folgenden Faktoren ab:
 - Auswahl des Abwasserreinigungsverfahrens
 - Bemessungsverfahren
 - Bemessungsgrundlage mit den darin enthaltenen Annahmen des Planers
 - Technische Ausrüstung und bauliche Ausbildung der Anlagen
 - Ausbildung des Betriebspersonals
 - tatsächliche Betriebsführung der Anlagen
 - Vergleichsstandard.

Aussagen über die Sicherheit, mit der die geforderten Ablaufqualitäten von Kläranlagen erreicht werden können, erscheinen nur auf der Basis von statistischen Betrachtungen möglich, weil die Eingangsgrößen (Abwasserbeschaffenheit) und das Verhalten der Mikroorganismen nicht deterministischen Gesetzmäßigkeiten gehorchen. Bisher gibt es keine anerkannte Definition für den Begriff dieser "Sicherheit", die erst einen "gerechten" Vergleich verschiedener technischer Lösungen eines spezifischen Abwasserproblems ermöglicht.

- Trotz der Verwendung ein und desselben Bemessungsmodells kann das berechnete Volumen der Belebungsbecken einer Anlage je nach der Beurteilung der örtlichen Verhältnisse durch den planenden Ingenieur und der Datengrundlage um den Faktor von über 2 schwanken.

- Die Bemessungsparameter und das Bemessungsverfahren stellen eine Einheit dar. Zu jedem Bemessungsverfahren muß eine angepaßte, standardisierte Bemessungsgrundlage erarbeitet werden, die in jedem Falle eine Fülle von Entscheidungen des planenden Ingenieurs enthält.
- Der Bemessungsvorgang stellt die Lösung einer sehr komplexen Aufgabe dar. Es ist notwendig, daß sich der Entscheidende der großen Tragweite der Entscheidungen im Einzelfall bewußt ist. Es muß jedoch festgehalten werden, daß die Bemessung nur einen Teil der Planung darstellt und nicht das einzige Kriterium für die Güte der Planung ist.
- Die Bemessung kann also nur einen Teil der Sicherheit des Reinigungsprozesses abdecken. Die Betriebssicherheit des gesamten technischen Konzeptes und seiner Ausführung hängt von vielen zusätzlichen Überlegungen des Planers ab, wie z.B.: maschinelle Ausrüstung, Meß- und Regeltechnik, Ausbildung und Qualität des Betriebspersonals, Redundanz von baulichen und maschinellen Einrichtungen, etc. .
- Die eigentliche Abwasserreinigung stellt nur einen Teil jeder Kläranlage dar und ist auch von anderen Einrichtungen, wie z.B. der Schlammbehandlung, abhängig.

Für den künftigen Forschungsbedarf auf diesem Sektor können folgende Fragen aufgeworfen werden:

- Wie kann "Sicherheit" definiert werden, damit man verschiedene Anlagen und Anlagenkonzepte miteinander vergleichen kann?
- Welche minimale Information ist für eine knappe aber "sichere" Bemessung nötig?
- Wie überprüft man verschiedene Bemessungsansätze, bzw. die Bemessung verschiedener Verfahren hinsichtlich vergleichbarer Reinigungsleistung?
- Welche Information über Betriebsergebnisse von Großanlagen ist notwendig, um diese mit den Bemessungsannahmen und mit anderen Verfahren hinsichtlich der Gleichwertigkeit zu vergleichen? Nach welchen Kriterien kann Gleichwertigkeit beurteilt werden?
- Wo ist die Grenze allgemeiner Aussagen über die erforderliche Reinigungsleistung (Grenzwerte und Überwachungsmodalität) und wo beginnt der "Sonderfall" jeder Kläranlage samt Kanalnetzen?

- Welches Konzept der technischen Realisierung einer Kläranlage führt zur höchsten Sicherheit bei den geringsten Kosten (sowohl bei den verschiedenen Ausführungen des selben Verfahrens, als auch bei verschiedenen Verfahren und lokalen Besonderheiten)?
- Welche Bedeutung hat welche Betriebssicherheit für den Gewässerschutz. Wie bewertet man den Nutzen der Sicherheit für den Gewässerschutz? Wie kann man das Kosten-Nutzen-Verhältnis abschätzen?

8. LITERATUR

ABELING U., HÄRTEL I., HARTWIG P., NOWAK O., OTTERPOHL R., SCHWENDTNER G., SVARDAL K., WOLFFSON C.:

Bemessung von Kläranlagen zur Stickstoffelimination, Vergleich ATV A 131 - Ansatz der Hochschulgruppe. Korr.Abw., Heft 2, S 222 ff (1991).

ATV-Arbeitsblatt A 131:

Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen mit Anschlußwerten über 5000 Einwohnerwerten. ATV, Hennef, BRD (1991)

BÖHNKE B.:

Bemessung der Stickstoffelimination in der Abwasserreinigung. Ergebnisse eines Erfahrungsaustausches der Hochschulen. Korr.Abw., Heft 9, S 1046 ff, (1989)

FLECKSEDER, H.:

Einleitung in die Generelle Entwässerungsplanung. Wiener Mitt. Bd. 119, Inst. für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien, (1994)

FRANZ, A.:

Praktische Erfahrung bei der weitergehenden Abwasserreinigung bei schwachen Vorflutern. Wiener Mitt. Bd. 125, Inst. für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien, (1995)

FREY, W.:

Anforderungen an Belüftungssysteme bei Kläranlagen zur Stickstoffentfernung. Wiener Mitt. Bd.110 (1993)

KROISS, H.:

Bemessungsgrundlagen und Grundlagen der Bemessung für Anlagen zur Stickstoffentfernung. Wiener Mitt. Bd.110, Inst. für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien (1993).

KROISS H.:

Überlegungen zum Vergleich verschiedener Verfahren und Konzepte der Abwasserreinigung. Wiener Mitt. Bd.117, Inst. für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien (1994)

MATSCHKE, N., PRENDL, L., FRANZ, A.:

Erweiterung der Kläranlage Mödling. Anpassung von Kläranlagen an den Stand der Technik. Bd. 100, Wiener Mitt. (1992)

MOSEER D.:

Interpretation von chemischen Analysendaten und ihre Überprüfung auf Plausibilität. Wiener Mitt. Bd.110, (1993)

NOWAK, O.:

Der Einfluß der Klärschlammbehandlung und Klärschlamm Entsorgung auf das Verfahrenskonzept der Kläranlage. Wiener Mitt. Bd.110 (1993)

SCHWEIGHOFER, P.:

Nitrifikationshemmstoffe. Chemische Analytik für einen zeitgemäßen Gewässerschutz. Wiener Mitt. Bd.108, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien, (1992)

SVARDAL K.:

Meß-, Regel und Steuerungsstrategien bei Kläranlagen zur Stickstoffentfernung. Wiener Mitt. Bd.110 (1993)

Autor:

Prof. Dr. Helmut Kroiss
Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/226
A-1040 WIEN