

KONTINUIERLICHE ANALYSENVERFAHREN: ANWENDUNGSTECHNIK

Günther Bahre

1. EINFÜHRUNG

Die Entwicklung von On-line-Meßgeräten für den Einsatz im Abwasserbereich erlebte in den vergangenen 10 Jahren einen ungeheuren Aufschwung; dies gilt nicht nur in quantitativer Hinsicht, d.h. die Vorstellung von mehr Meßgeräten für immer mehr Parameter, sondern auch unter qualitativen Gesichtspunkten mit Bezug auf die Meßgenauigkeit, auf die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse sowie auf die Zuverlässigkeit der Meßgeräte im harten betrieblichen Einsatz.

Gerade der letztgenannte Aspekt gewinnt eine außerordentliche Bedeutung vor dem Hintergrund, daß die kontinuierlich gemessenen Betriebsdaten nicht mehr nur für reine Dokumentationszwecke ermittelt werden, sondern in zunehmendem Maße auch in qualifizierte, z.T. automatisierte Entscheidungsprozesse eingebunden werden; diese bestimmen letztlich die Ergebnisse der Abwasserreinigungsprozesse und damit die Ablaufqualitäten mit.

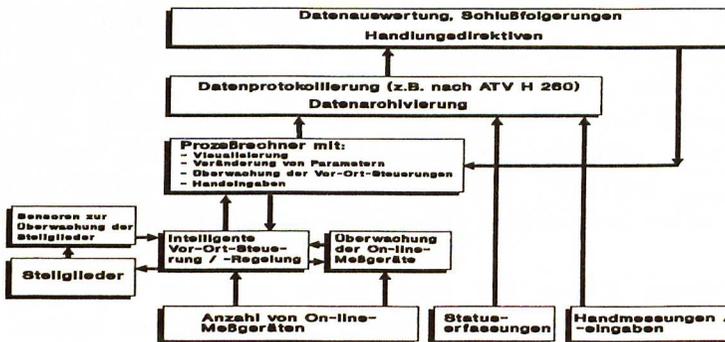


Bild 1: Einbindung der On-line-Meßtechnik in die Betriebsführung eines Klärwerks

Wenn die Basis der Informationsgewinnung, also die On-line-Meßtechnik, versagen würde, dann ist die Einhaltung von allen aufgegebenen Überwachungswerten nach den relativ strengen Verwaltungsvorschriften in der Bundesrepublik Deutschland stark gefährdet. Allein hieran erkennt man den Stellenwert, der inzwischen den kontinuierlichen Analysenverfahren zukommt; dies wird auch durch den Umstand deutlich, wie schwierig es ist, die Steuerungs- und Regelungsfunktionen bei einem nur kurzfristigen, planmäßigen oder außerplanmäßigen Ausfall der Meßdaten qualifiziert aufrecht zu erhalten.

Die Einbindung der modernen kontinuierlichen Analysentechnik in ein ganzheitliches Konzept zur Betriebstechnik eines Klärwerks ist also eine durchaus anspruchsvolle planerische Aufgabe, die nur dann zufriedenstellend gelöst werden kann, wenn fachübergreifend die Forderungen der Objektplanung sowie der Maschinen- und Elektroplanung mit den Vorstellungen des Betreibers in Einklang gebracht werden können.

2. ÜBERSICHT ÜBER EINIGE WICHTIGE STEUERUNGS- UND REGELUNGS-AUFGABEN

In der Bundesrepublik Deutschland gelten seit Januar 1992 neue Vorschriften über Mindestanforderungen an die Einleitung von Abwasser in Gewässer (ANON., 1991a). Neben den schon seit langem eingeführten Überwachungswerten für die Parameter BSB₅ und CSB sowie für NH₄-N und P_{ges} wurde nunmehr an Anlehnung an europäisches Recht für Klärwerke einer Größenordnung ab 5.000 EW erstmals eine Mindestanforderung bezüglich des Parameters N_{ges,anorg.} gestellt, die im Laufe der nächsten Jahre sicherlich in allen betroffenen Klärwerken umgesetzt werden wird.

Darüberhinaus können die Bundesländer von den Möglichkeiten des Wasserhaushaltsgesetzes (ANON., 1986) Gebrauch machen und in Abhängigkeit von der Vorfluterbeschaffenheit und -nutzung weitere, über die Mindestanforderungen hinausgehende Werte

festsetzen. So hat z.B. das Bundesland Nordrhein-Westfalen "allgemeine Güteanforderungen an Fließgewässer" (ANON., 1991b) formuliert, die generell die Zielsetzung verfolgen, überall die Gewässergüteklasse II zu erreichen. Ein zugehöriger Konzentrationskatalog für die wichtigsten Gewässerparameter ergibt in Verbindung mit den maßgebenden Wassermengen (MNQ im Vorfluter und $Q_m \approx 2 \cdot Q_t$ im Ablauf des Klärwerks) nach einer Mischrechnung die zulässigen Ablaufkonzentrationen des Klärwerks. Daraus können - nach technischem Verständnis - durchaus extrem niedrige Ablaufwerte resultieren, die auch mit Hilfe von Abwasserreinigungsverfahren nach dem Stand der Technik nur schwer oder nicht einzuhalten sind.

Aufgaben und Konzepte der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik in Klärwerken sind darin zu sehen, die Betriebsführung der grundsätzlich ausreichend bemessenen Anlagen und Einrichtungen derart zu unterstützen, daß auch unter den in der Praxis vorkommenden Bedingungen, d.h. bei großer Bandbreite von Zulaufmengen und -konzentrationen, jederzeit die Überwachungswerte eingehalten werden können.

Der Schwerpunkt dieses Beitrags wird auf die Möglichkeiten und Erfordernisse zur Nährsalzelimination (N, P) gelegt; dabei wird weniger auf die Verfahrenstechnik, als auf die jeweils darin einzubindende MSR-Technik eingegangen. Dies betrifft die Meßwertgewinnung und -weiterverarbeitung in Steuerungen oder Regelungen. Die zugehörige Analysentechnik an sich sowie die Art der Probenaufbereitung wird hier als bekannt vorausgesetzt. Beispielhaft sei eine Veröffentlichung von KAYSER/ERMEL (1982) angeführt, in der die wesentlichen Elemente der On-line-Bestimmung von chemischen Parametern direkt im Belebtschlamm beschrieben sind.

2.1. Phosphor-Elimination

Neben der chemisch/physikalischen P-Elimination werden in zunehmendem Maße die Möglichkeiten der biologisch intensivierten Phosphorentnahme genutzt. Dabei wird in vielen Fällen die Fällung mit Metallsalzen nur noch unterstützend eingesetzt. Dies hat zur Folge, daß Steuerungskonzepte in Abhängigkeit von der dem Klärwerk zufließenden P-Fracht und einer daraus ableitbaren stöchiometrisch erforderlichen Fällmittelmenge nicht mehr sinnvoll erscheinen; darüberhinaus bereite es große Schwierigkeiten, betriebssicher den für die photometrische Analyse erforderlichen feststofffreien Probestrom im rohen oder sedimentierten Abwasser aufzubereiten.

An die Stelle einer P-frachtproportionalen Steuerung wird daher bei der Simultanfällung eine P-konzentrationsabhängige Regelung treten, die einen echten Regelkreis für die ortho-Phosphatkonzentration im Belebungsbecken, vorzugsweise in einem abgetrennten Bereich vor dem Ablauf zur Nachklärung, aufbaut. Das Blockschaltbild ist in vereinfachter Darstellung in Bild 2 wiedergegeben.

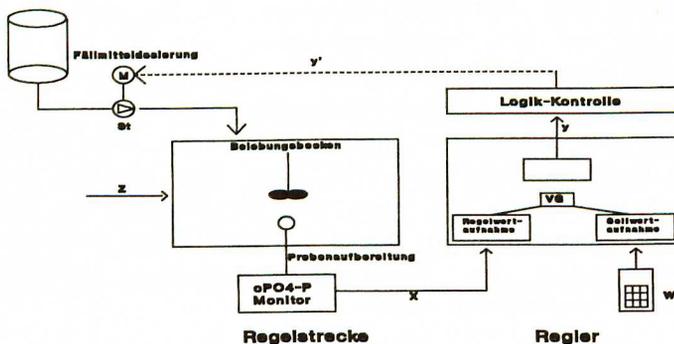


Bild 2: Blockschaltbild zur P-konzentrationsabhängigen Regelung der P-Elimination

Den wichtigsten Teil des Regelkreises stellt der Meßwert-aufnehmer selbst dar, denn ohne eine zuverlässig kontinuierlich gemessene Regelgröße läßt sich eine automatisierte Regelung nicht aufrechterhalten.

Der einzusetzende Reglertyp ist auch mit abhängig von der Möglichkeit, die Stellgröße (hier also die Fällmitteldosierung) zu beeinflussen; ist nur eine einfache Ventil- oder Motoransteuerung vorhanden (auf/zu, an/aus) reicht ein diskontinuierlicher Schwellwertregler aus. Da aber die meisten neueren Fällmitteldosierstationen mit drehzahlveränderlichen Dosierpumpen arbeiten, kann auch eine qualifiziertere, kontinuierliche Reglerstruktur gewählt werden. Dazu bieten sich speicherprogrammierbare Regelungen an, die die Analogsignale soft- oder firmwaremäßig z.B. in PID-Regelalgorithmen verarbeiten können und die errechnete Stellgröße als analoge oder binäre Impulssignale ausgeben.

Die Vorteile der Phosphat-Konzentrationsregelung im Belebungsbecken sind:

- Fällmitteldosierung nur nach tatsächlichem Bedarf,
- d.h. auch unter Berücksichtigung anderer Eliminationsmechanismen (Bio-P),
- Angabe des stöchiometrischen Dosierverhältnisses (β -Wertes) nicht erforderlich,
- Schwankungen des Regelwertes um den Sollwert bei richtiger Auslegung und Parametrierung des Reglers gering.

Als Nachteil einer derartigen Konzeption muß gesehen werden, daß

- bei großen, ggf. inhomogenen Regelstrecken das System träge reagiert und
- die Fällmitteleinmischung im Belebungsbecken fallweise nicht optimal ist (geringe G-Werte).

Als generelles Problem ist weiterhin zu beachten, daß nicht die ortho-Phosphat-Konzentration Überwachungswert ist, sondern vielmehr die P_{ges} -Konzentration. Letztere ist aber on-line in einem Abwasser-Belebtschlammgemisch nicht sinnvoll meßbar, im Ablauf einer Nachklärung könnten die Ergebnisse nur schwerlich in mathematisch exakt formulierbare Steuerungen oder Regelungen eingebunden werden. Da sich die P_{ges} -Ablaufwerte jedoch im wesentlichen aus einem gelösten oPO_4 -P-Anteil sowie aus partikulärem, meist organisch gebundenem Material zusammensetzt, kann zur Erfassung der letztgenannten P-Komponenten mit hinreichender Genauigkeit auch die Trübung als Ersatzparameter herangezogen werden. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, den Regelkreis für die ortho-Phosphatkonzentration auch mit variablen Sollwerten zu betreiben (Kaskadenregler), je nach der Konzentration partikulärer Substanz im Ablauf. Es versteht sich von selbst, daß dadurch etwaige Mängel der Phasentrennung nur in sehr engen Grenzen ausgeglichen werden können.

2.2. Stickstoffelimination

Mit der Einführung eines Überwachungswertes für $N_{ges,anorg}$ ist die Steuerung bzw. Regelung der Stickstoffelimination ein in der Praxis unverzichtbares Element der Verfahrenstechnik geworden. Daraus folgt, daß auch die kontinuierliche Messung der Ammonium- und der Nitratkonzentration in den modernen Klärwerken, die bereits auf die neuen Reinigungsziele ausgelegt sind, notwendige Instrumente der Betriebsführung sind.

Die Art der Einbindung der On-line-Meßgeräte hängt von der gewählten Verfahrenstechnik zur N-Elimination und von den daraus abgeleiteten, zur Verfügung stehenden Stellgrößen ab. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf zwei der am häufigsten eingesetzten Verfahren: die vorgeschaltete sowie die simultane (auch intermittierende) Denitrifikation. Dabei wird immer vorausgesetzt, daß das für den Auslegungsfall maßgebende aerobe Schlammalter durch ergänzende Maßnahmen, die hier nicht

zu betrachten sind, sichergestellt wird.

Vorgeschaltete Denitrifikation

Die vorgeschaltete Denitrifikation ist vor allem gekennzeichnet durch ein kaskadenartiges Belebungsbecken mit mindestens zwei, üblicherweise aber mehreren Kassetten. Dabei sind die erste Kassette unbelüftet, die letzte belüftet und dazwischenliegende maschinentechnisch so ausgestattet, daß ihr Inhalt wahlweise belüftet oder nur umgewälzt wird. Darüberhinaus gibt es neben der üblichen Rücklaufschlammführung eine interne Rezirkulation von Abwasser-Belebtschlammgemisch aus dem Ablaufbereich der Belebung zurück zur Denitrifikationszone. Die unmittelbar ersichtlichen Stellgrößen in diesem System sind:

- die Fördermenge der Rezirkulationspumpen,
- die Zu-/Abschaltung der Belüftung in den wahlweise zu betreibenden Kassetten sowie
- die O_2 -Zufuhr in die belüfteten Bereiche.

Damit wird folgendes Regelkonzept möglich: die Denitrifikationskapazität wird weitgehend ausgeschöpft, wenn soviel Rezirkulationsmenge in die Denitrifikationszone gepumpt wird, daß dort noch eine geringe Restkonzentration an Nitrat meßbar ist. Damit kann die NO_x -N-Konzentration als Regel- und die Rezirkulationsmenge als Stellgröße für diesen Regelkreis isoliert werden. Die Ammoniumkonzentration im Ablauf der Belebung wirkt als Regelgröße bei der Entscheidung über das Zu- und Abschalten von belüfteten Kassetten mit, wenn entsprechende Schwellwerte der NH_4 -N-Konzentration bzw. ergänzend dazu die Konzentrationsänderungsgeschwindigkeiten dies anzeigen. Wenn Kassetten belüftet werden, ist eine Regelung der Sauerstoffkonzentration nicht nur wegen des sparsamen Energieeinsatzes sinnvoll, sondern wegen der erforderlichen O_2 -Konzentrationsbegrenzung nach oben im Hinblick auf die negative Beeinflussung der Denitrifikations-

leistung auch erforderlich. Die zugehörigen Stellglieder sind je nach maschinentechnischer Ausstattung z.B. die Verstell-diffusoren von Turboverdichtern, Blendungsregulierschieber, die Polumschaltung von Gebläsemotoren oder das sukzessive Zu-/Abschalten von Verdichtern. Das zugehörige, vereinfachte Blockschaltbild für eine derartige Konfiguration ist in Bild 3 dargestellt.

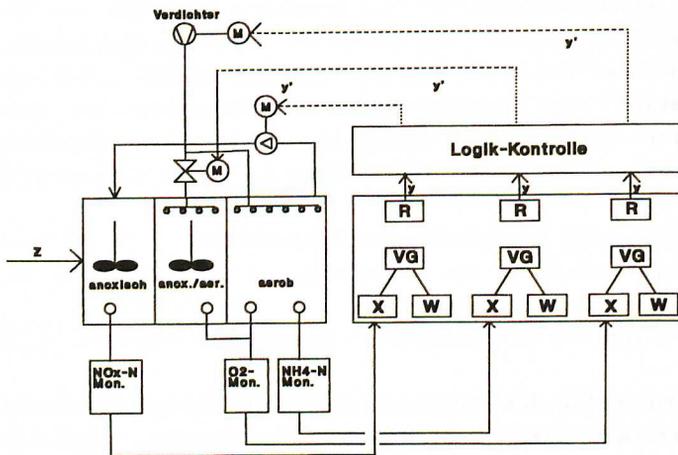


Bild 3: Vereinfachtes Blockschaltbild für Regelkreise bei der vorgeschalteten Denitrifikation

Das bisher beschriebene Konzept basiert auf einer Prioritäten-setzung hinsichtlich der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Ablauf in Verbindung mit einer dafür weitestgehenden Denitrifikation. Dabei wird davon ausgegangen, daß der Gesamtumfang der Denitrifikation aufgrund der Belastung und der Reaktordimensionierung in allen maßgeblichen Fällen ausreicht.

Steigt jedoch die Nitratkonzentration im belüfteten Teil derart an, daß der Überwachungswert erreicht wird, gibt es ver-

fahrentechnisch nur noch die Möglichkeit, die Denitrifikationsleistung zu steigern; bei vollständiger Ausnutzung der Nitrifikationsmöglichkeiten muß dann die Denitrifikationsgeschwindigkeit durch Zudosierung externer Kohlenstoffquellen erhöht werden. Diese weitere Stellgröße erfordert eine zusätzliche Messung zur Erfassung der maßgebenden Regelgröße, in diesem Fall die On-line-Bestimmung der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Konzentration im Ablaufbereich der Belebung. Das so erweiterte Blockschaltbild für die Regelung der $\text{NH}_4\text{-N}$ - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Konzentration ist in Bild 4 wiedergegeben.

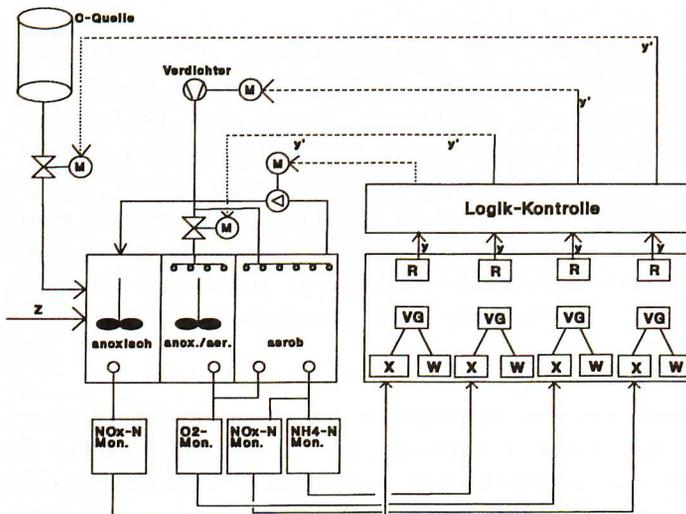


Bild 4: Erweitertes Blockschaltbild für die Regelung der $\text{NH}_4\text{-N}$ - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Ablaufkonzentration bei der vorge-schalteten Denitrifikation

Es sei darauf hingewiesen, daß noch weitere Konzepte zur Regelung von Nitrifikation und Denitrifikation denkbar sind; so ist z.B. von LONDONG (1992) eine Steuerung der $\text{NO}_x\text{-N}$ -Ablaufkonzentration über die zufließende BSB_5 -Fracht in Verbindung mit der rezirkulierten, denitrifizierbaren Nitratfracht

beschrieben worden. Mengenummessungen des Zulaufs, Rücklaufschlammes sowie der internen Rezirkulation sind dabei erforderlich.

Simultane und intermittierende Denitrifikation

Bei der simultanen Denitrifikation muß ebenso wie bei der vorgeschalteten durch geeignete Maßnahmen dafür Sorge getragen werden, daß ein ausreichendes aerobes Schlammalter gemäß dem Genehmigungsentwurf eingehalten wird.

Verfahrenstechnisch wird die simultane Denitrifikation im Umlaufbecken mit punktuellen Sauerstoffeintrag sowie möglichst getrennter Umwälzung realisiert. Unter den Bedingungen des mengen- wie konzentrationsmäßig variablen Zulaufs stellt sich ein de facto nicht meßtechnisch erfaßbares Muster von anoxischen und aeroben Bereichen im Umlaufbelebungsbecken ein. Qualitativ lassen sich die Denitrifikationszonen durch Reduzierung der Sauerstoffzufuhr vergrößern; dies gilt bis hin zur vollständigen Abschaltung der Belüftung (intermittierende Denitrifikation).

Die zunächst einzige Stellgröße, der Sauerstoffeintrag, kann auch nur für einen Regelkreis zur Verfügung stehen; daraus folgt, daß man sich für den wichtigsten Regelparameter entscheiden muß. Bei Anlagen, die nicht simultan aerob stabilisieren, wird dies die Ammoniumkonzentration sein. Da in aller Regel nur eine stufenweise Veränderung der Stellgröße möglich ist, wird ein Zwei- oder Mehrpunktregler zum Einsatz kommen, der bei steigender Ammoniumkonzentration die Belüftung intensiviert und bei sinkenden $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werten verringert bzw. ganz abschaltet.

Natürlich kann die O_2 -Konzentration vor allem aus wirtschaftlichen Gründen nicht beliebig gesteigert werden; daher wird meist eine Kaskadenregelung mit der O_2 -Konzentration als

Hilfsregelgröße eingesetzt, wobei die Stellgröße des Hauptreglers auf den Führungsgrößeneingang des Hilfsreglers geschaltet wird.

Bei häufigen Unterlastsituationen kann es sinnvoll sein, eine zusätzliche $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messung zu betreiben; diese würde dafür sorgen, daß bei einem Verschwinden des Nitrats innerhalb einer Phase vollständiger Sauerstoffabschaltung dennoch die O_2 -Zufuhr wiederaufgenommen wird, obwohl der Regelwert für $\text{NH}_4\text{-N}$ dies noch nicht anzeigt. Damit werden anaerobe Zustände vermieden.

Eine $\text{NO}_x\text{-N}$ -Messung ist auch dann erforderlich, wenn die Denitrifikationskapazität nicht ausreicht, um den angestrebten $\text{NO}_x\text{-N}$ -Wert im Belebungsbecken zu unterschreiten. In diesem Fall müßte - wie auch bei der vorgeschalteten Denitrifikation - eine externe Kohlenstoffquelle (als Stellgröße) zudosiert werden. Ein mögliches, vereinfachtes Blockschaltbild für eine Regelung der $\text{NH}_4\text{-N}$ - und $\text{NO}_x\text{-N}$ -Konzentrationen bei einer simultanen Denitrifikation ist in Bild 5 dargestellt.

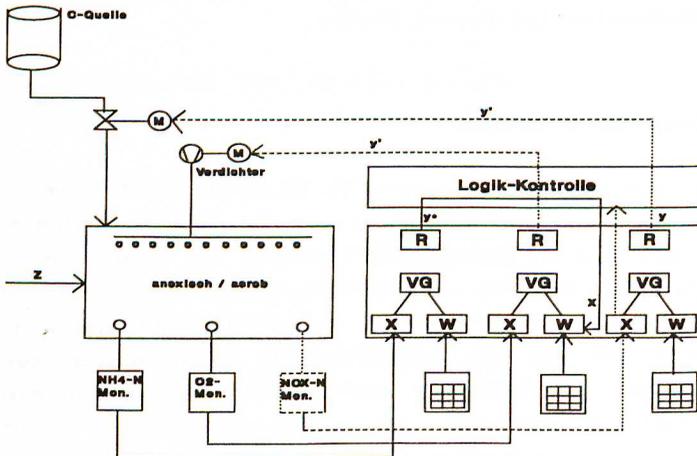


Bild 5: Vereinfachtes Blockschaltbild für die Regelung der Ammonium- und Nitratkonzentration bei der simultanen (intermittierenden) Denitrifikation

3. PROBLEME BEI DER WEITERVERARBEITUNG VON INFORMATIONEN AUS KONTINUIERLICHEN MEßSYSTEMEN

Anspruchsvolle Regelkreise und Steuerstrecken sind darauf angewiesen, kontinuierlich mit allen erforderlichen Informationen versorgt zu werden. Der zeitweise Ausfall von Meßwerten muß zwangsläufig dazu führen, daß die die Abwasserreinigung beeinflussenden Stellgrößen unkontrolliert verändert werden.

Die Grundanforderung der Steuer- und Regeltechnik an die zugehörige Meßtechnik muß daher eine möglichst hohe Verfügbarkeit von präzisen und nachvollziehbaren Meßwerten sein. Diese Forderung wird mittlerweile von einigen der auf dem Markt erhältlichen Meßsystemen erfüllt. Gleichzeitig ist dieser Umstand auch dafür verantwortlich, daß die - in vielen Fällen - berechnete Scheu vor dem Einsatz komplizierter Technik nach und nach abgebaut werden kann.

Dennoch bestehen nach wie vor einige Problemstellen, die derzeit noch unvermeidlich sind und demzufolge in der Anwendungstechnik berücksichtigt werden müssen.

3.1. Eichung der Meßgeräte

Praktisch alle Meßgeräte weisen im Laufe der Zeit eine Drift des Nullpunkts und der Steilheit auf, so daß in angemessenen Zeitabständen ein entsprechender Abgleich mit Standards erforderlich ist. Die bei den meisten Meßgeräten inzwischen automatisch ablaufende Eichung hat zur Folge, daß für die Zeitdauer der Eichung und für das anschließende Einschwenken auf den Meßwert keine Informationen aus dem zu steuernden oder zu regelnden Prozeß vorliegen, da im Klärwerksbereich nicht mit redundanten, doppelt ausgelegten Meßsystemen gearbeitet wird.

Aus diesem Grund muß in Kauf genommen werden, daß eine Regelabweichung nach einem Eichvorgang vorhanden ist. Daher

wird man die Eichung gezielt dann ablaufen lassen, wenn erfahrungsgemäß eine Überschreitung von Überwachungswerten nicht eintreten wird, in den meisten Fällen also nachts.

Die Anforderungen des Automatisierungssystems an das Meßgerät sind, daß

- der Zeitpunkt der Eichung bekannt ist oder vorgegeben werden kann,
- der Eichvorgang einschließlich Wiedereinlaufen auf den Meßwert dem Automatisierungsgerät signalisiert wird und
- generell der Eichvorgang möglichst wenig Zeit in Anspruch nimmt.

Wenn diese Forderungen erfüllt sind, ist es unerheblich, ob die Meßwerte vor Beginn der Eichung elektronisch konstant gehalten werden oder nicht; es kann durchaus sinnvoll sein, auch den Eichvorgang mit Null- und Standardlösung an das Automatisierungsgerät auszugeben, so daß hier eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit über den Erfolg der Eichung besteht.

3.2. Zeitverzug bei der kontinuierlichen Messung chemischer Parameter

Eines der größten Probleme bei der On-line-Messung von chemischen Parametern und bei deren Weiterverarbeitung in Automatisierungssystemen ist die Tatsache, daß es sich nicht um einen wirklichen Echtzeitbetrieb handelt, bei dem zwar dauerhaft eine Verbindung zwischen den Prozeßabläufen und dem Automatisierungsgerät besteht, die Informationen aus dem Prozeß aber erst mit einem z.T. erheblichen Zeitverzug zur Verfügung stehen. Daran sind aber nicht nur die On-line-Analysengeräte beteiligt, sondern auch die Probenaufbereitung. In Bild 6 ist am Beispiel einer Ammoniummessung dargestellt, an welchen Stellen und in welchem Umfang dieser Zeitverzug entsteht.

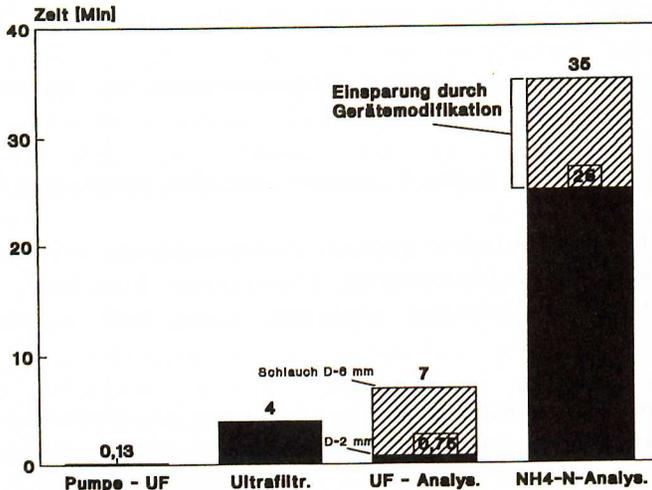


Bild 6: Zeitverzug zwischen der Probenahme im Belebungsbecken und der Anzeige in einem NH₄-N-Meßgerät

Es ist hier beispielhaft erkennbar, daß der Analysengerätehersteller durch Modifikationen am Gerät einen deutlichen Rückgang des Zeitbedarfs für die eigentliche Analyse erreichen konnte. Dies ist aber für den Anwender nicht beeinflussbar. Er kann jedoch sehr wohl dafür Sorge tragen, daß die konstruktive Ausbildung der gesamten On-line Messung, also einschließlich der Probenaufbereitung, nur noch zu einem unvermeidbaren Zeitverzug von wenigen Minuten führt, und zwar durch

- häufigere Regeneration der Ultrafiltrationseinheit, verbunden mit einer Erhöhung des Flux,
- Verkürzung der Schlauchverbindung zwischen der Ultrafiltration und dem Meßgerät sowie
- Verkleinerung des durchflossenen Volumens durch Reduzierung des Schlauchquerschnitts und Vermeidung von voluminösen Flux-Kontrollgeräten.

Dennoch vergehen etwa 30 Minuten, bis eine vorhandene Veränderung der Ammoniumkonzentration auch tatsächlich am Meßgerät angezeigt und an das Automatisierungsgerät übergeben werden kann. Die Anwendungstechnik muß also davon ausgehen, daß ausgerechnet bei der zumeist diskontinuierlich betriebenen Ammoniumregelung ein recht deutliches Über- und Unterschwingen der eingestellten Sollwerte erfolgt. Mit Hilfe einer erweiterten Regelung, die auch die Gradienten der Konzentrationsveränderung erfassen kann, kann dann eine Extrapolation der gemessenen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte bis zur Ist-Zeit vorgenommen werden, die natürlich zwischenzeitliche Veränderungen der Stellgrößen mit berücksichtigen muß.

3.3 Sind die heute gebräulichen Regelertypen noch sinnvoll anwendbar?

Angesichts der vorgenannten Probleme mit dem Zeitverzug zwischen dem Prozeß-Ist-Zustand und der Verfügbarkeit der Meßergebnisse wird ein Regelungstechniker nur zögernd herkömmliche Zwei-/Mehrpunktregler bzw. PID-Regler einsetzen. Wenn jedoch die Parametrierung der Regler an die Regelstrecke angepaßt ist, d.h. wenn die Sprungantwort des Systems richtig ausgewertet wird, kann die Amplitude um den eingestellten Sollwert in kalkulierbaren Grenzen gehalten werden.

Dies gilt natürlich nur dann, wenn die jeweilige Stellgröße ungehindert eingreifen kann. Im Bereich der Abwasserreinigung hat man es jedoch mit einer Vielzahl von nichtlinearen Prozessen zu tun, die sich z.T. gegenseitig beeinflussen. Eine mathematisch exakte Beschreibung von Reaktionen auf Veränderungen von Prozeßvariablen fällt daher schwer.

Es liegt nahe, die vielfältigen Erfahrungen über verschiedene Reaktionen des Systems in einer ausreichenden Anzahl von möglichst einfachen Wenn-Dann-Regeln zu verdichten. Derartige relativ unscharfe Algorithmen führen zur Entwicklung von

Fuzzy-Reglern, einer Technik, die in der Bundesrepublik Deutschland bisher noch nicht allgemein verbreitet ist. Über erste Erfahrungen mit dieser Regelungstechnik im Bereich der Abwassertechnik in Japan ist von AOI et al. (1992) berichtet worden.

3.4. Integration von Anforderungen der Meß-, Steuer- und Regeltechnik in die Planung eines Klärwerks

Der Einsatz einer qualifizierten MSR-Technik stellt selbstverständlich auch an das System, in dem die Installation erfolgen soll, einige Anforderungen. Die technische Abstimmung der jeweiligen Stellglieder an und in den einzelnen Reaktoren muß so vorgenommen werden, daß die im Abwasserbereich übliche, starke Variation der Zulaufbedingungen durch ausreichend große Reaktionsbreiten der Stellglieder kompensiert werden können. Unabweisbare technische Erfordernisse, wie etwa eine bestimmte Mindestdrehzahl von Drehstrommotoren oder ein kurzzeitiges Hochfahren der Förderleistung bei ansaugenden Dosierpumpen können in eine dem eigentlichen Regler nachgeschaltete Logik-Kontrolle integriert werden.

Es ist daher erforderlich, bereits im Zuge der Vorentwurfs- und Entwurfsplanung für die Abwassertechnische Anlage auch die MSR-technische Planung mit durchzuführen; dies ist in der Vergangenheit häufig vernachlässigt worden. Dazu gehört bereits in dieser Phase die Erstellung eines Verfahrensfließbildes, besser jedoch die eines (Rohr-)leitungs- und Instrumentenfließbildes, welches nicht nur für die weitere Detailplanung, sondern auch für die Montage sowie im späteren Betrieb erforderlich ist. Dieses RI-Fließbild enthält die gesamte technische Ausrüstung einer Anlage und muß die MSR-Aufgabenstellung darlegen. Letztere kann auch der Übersichtlichkeit halber in einem separaten MSR-Fließbild detailliert dargestellt werden.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Die gestiegenen Reinigungsanforderungen insbesondere hinsichtlich der Nährsalze Stickstoff und Phosphor lassen den Einsatz einer qualifizierten Meßtechnik in Verbindung mit einer angepaßten Steuer- und Regelungstechnik für die betroffenen Klärwerke zu einer Notwendigkeit werden. Dabei hängt das sichere Unterschreiten der Überwachungswerte grundsätzlich von der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der On-line-Analysengeräte ab, die für einen harten betrieblichen Einsatz ausgelegt sein müssen.

Für die Reinigungsziele der P- und N-Elimination können bei Vorliegen der verfahrenstechnischen Grundvoraussetzungen Regelkreise mit diskontinuierlichen oder kontinuierlichen Reglern auf der Basis von Konzentrationswerten eingesetzt werden. Für die Simultanfällung sowie für die vorgeschaltete und simultane Denitrifikation sind verschiedene Blockschaltbilder angegeben. Steuerungen, die auf Frachtbetrachtungen beruhen und damit zusätzliche Mengenmessungen erforderlich machen, sind jedoch auch möglich.

Probleme aufgrund eines planmäßigen (Eichung) oder außerplanmäßigen (Störung, Defekt) Ausfalls der kontinuierlichen Meßeinrichtungen müssen vom nachgeschalteten Automatisierungsgerät erkannt werden können. Nur dann kann die Ausfallzeit mit Ersatzprogrammen (i.d.R. Zeitsteuerungen nach Erfahrungswerten) überbrückt und die Ausgabe von unsinnigen Stellgrößen vermieden werden. Daraus leitet sich bereits die Erfordernis ab, dem Meßgerät immer ein Kontrollgerät nachzuschalten, in dem die Erfahrungen über betriebliche und technische Rahmenbedingungen abgelegt sind.

Ein auch heute noch wesentliches Defizit bei der Anwendung von Regelungen im Abwasserbereich stellt der fallweise erhebliche Zeitverzug zwischen der Probenahme aus dem System und der Anzeige der gesuchten Prozeßgröße dar. Daran ist nicht nur das

Analysengerät beteiligt, sondern bei unsachgemäßer Anbindung auch die Probenaufbereitung; während letzteres durch eine sachgerechte Konstruktion leicht vermieden werden kann, müssen und sollten die Hersteller der Analysengeräte an der Verkürzung der Reaktionszeiten ihrer kontinuierlich messenden Geräte weiterarbeiten.

Neben den mathematisch exakt beschreibbaren Reglerstrukturen sollten auch neuartige Reglerentwürfe, die auf der Kombination einer Vielzahl aus der Erfahrung abgeleiteter Wenn-Dann-Regeln basieren, gerade für den Einsatz in nichtlinearen Prozessen weiterentwickelt werden. Diese Fuzzy-Logik könnte die herkömmlichen PID-Regler in der Abwassertechnik verdrängen.

Abschließend muß darauf hingewiesen werden, daß eine erfolgreiche Anwendung der MSR-Technik auch abhängig ist von der frühzeitigen Einbindung der MSR-Planung in die Objektplanung. So können die gegenseitigen Anforderungsprofile besser aufeinander abgestimmt werden, als wenn die kontinuierliche Meßtechnik und die dazugehörigen Steuerungen und Regelungen einem bereits durchgeplanten oder gar fertiggestellten Klärwerk übergestülpt werden.

LITERATUR

- ANON. (1986) Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts
(Wasserhaushaltsgesetz - WHG), Bundesgesetzblatt, Teil 1,
1986, S. 1529-1543
- ANON. (1991a) Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Änderung
der Allgemeinen Rahmenabwasserverwaltungsvorschrift über
Mindestanforderungen an das Einleiten von Abwasser in
Gewässer, GMBI., 1991, S. 686-692
- ANON. (1991b) Allgemeine Güteanforderungen für Fließgewässer
(AGA), Min.-bl. NW, Nr. 42, 1991, S. 863-873
- AOI, T. et al. A direct ammonium control system using fuzzy
inference in a high-load biological denitrification
process treating collected human excreta, Wat. Sci. Tech.,
Vol. 26, 1992, S. 1325-1334
- KAYSER, R.; ERMEL, G. Nitrifikation und Denitrifikation in
ein- und zweistufigen Belebungsanlagen, GWA, Bd. 59, 1983,
S. 287-300
- LONDONG, J. Strategies for optimized nitrate reduction with
primary denitrification, Wat. Sci. Tech., Vol. 26, 1992,
S. 1087-1096

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Günther Bahre
Ruhr-Universität Bochum
Postfach 10 21 48
D - 4630 Bochum 1