

WIENER MITTEILUNGEN

WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER

**Neues aus der Mess-,
Steuer- und Regelungstechnik**

Band 239 - Wien 2016

WIENER MITTEILUNGEN

WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER

Band 239

Neues aus der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

ÖWAV - Seminar - Wien 2016

TU Wien

23. - 24. Februar 2016

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Krampe

Ass.Prof. DI Dr. Karl Svardal

Technische Universität Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement
und Abfallwirtschaft

Veranstalter



Technische Universität Wien
Institut für Wassergüte,
Ressourcenmanagement
und Abfallwirtschaft

Karlsplatz 13 / 226
1040 Wien



zukunft
S E I T 1 9 0 9
denken

Österreichischer
Wasser- und
Abfallwirtschaftsverband

Marc - Aurel - Straße 5
1010 Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
Karlsplatz 13/226; 1040 Wien
Tel.: + 43 1 58801 - 22611
Fax: + 43 1 58801 - 922611
E-Mail: iwag@iwag.tuwien.ac.at

Alle Rechte vorbehalten.

Ohne Genehmigung der Herausgeber ist es nicht gestattet,
das Buch oder Teile daraus zu veröffentlichen

© Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft TU-Wien, 2016

Druck: Riegelnik
1080, Piaristengasse 19

ISSN 0279 - 5349
ISBN 978-3-85234-134-7

Inhaltsverzeichnis

Stefan Wildt	1 - 24
EDV-Einsatz zum Datenmanagement – Tiroler Modell	
Peter Baumann	25 - 44
Vorstellung des DWA-A 268 „Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen“	
Karl Palkowitz	45 - 52
MSR Praxiserfahrung, Feldbus	
Andreas Winkelbauer	53 - 78
Datenmanagement: Vom Sensor zum Report	
Christian Fimml	79 - 108
Cloud Computing in der Wasserwirtschaft, ÖWAV-Regelblatt 13	
Claus Salzmann	109 - 136
Aktueller Stand der Implementierung moderner MSR	
Jens Alex	137 - 156
Simulation zur Optimierung der Steuerung und Regelung von Kläranlagen	
Stefan Haider, Florian Praxmarer	157 - 180
Fallstudie Modellierung und Planung	
Peter Hartwig	181 - 194
Energiegeführtes Schlammmanagement	
Detlef Wedi	195 - 210
Universelle Regler für Kläranlagen	
Florian Hell	211 - 222
MSR-Technik am Beispiel einer Wasseraufbereitungsanlage in Saudi Arabien	
André Spindler, Martin Armbruster	223 - 234
Einsatz moderner MSR-Technik zur Überwachung der Leistungsfähigkeit von Nachklärbecken	

Wilhelm Frey	235 - 252
Aktuelle Technologien zur Regelung der Sauerstoffzufuhr	
Lukas Kornfeind	253 - 270
Fluoreszenzspektroskopie	
Roland Fuiko	271 - 286
Kapillarelektrophorese	
Peter Stadler	287 - 302
Vollautomatisierte und zeitnahe Bestimmung von Enzymaktivitäten in Wasserressourcen	
Herstellerforum	
Endress+Hauser:	303 - 308
Der Erfolg einer Revolution – 10 Jahre Memosens/Liquiline	

EDV-Einsatz zum Datenmanagement: Tiroler Modell - 20 Jahre Praxiserfolg

Stefan Wildt

Amt der Tiroler Landesregierung, Abt. Wasserwirtschaft

Abstract: Beginnend in den Jahren 1995/96 wurden im Bundesland Tirol bis dahin vielerorts noch auf Papiervordrucken händisch geführte Betriebsprotokolle kommunaler Abwasserreinigungsanlagen durch einheitliche digitale Protokolle abgelöst. Die Überwachung von Kläranlagen beruht in Tirol seit geraumer Zeit – neben den hier zu berücksichtigenden rechtlichen Grundlagen im Wasserrecht inkl. der zugehörigen Abwasseremissionsverordnungen – in weiten Bereichen auf dem Regelwerk des ÖWAV. Mit Einführung der DIGIPROT-Betriebsprotokolle wurde konsequent das ÖWAV-Regelblatt 13 im praktischen Betrieb umgesetzt. Auf den so dokumentierten Daten der Eigen- und Betriebsüberwachung basieren diverse Überwachungs- und Planungsvorgänge in Tirol. Die Software wurde wiederholt überarbeitet und optimiert, bis hin zur Umstellung auf eine Online-Lösung ab dem Jahr 2014, in dem das KlärAnlagenPortal als neue Grundlage für das Datenmanagement in Tirol eingeführt wurde. Der Erfahrungsaustausch im Rahmen der ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften in Tirol erwies sich bei Einführung und Optimierung des Tiroler Modells als sehr befruchtend. Umgekehrt steht neben dem Modul DIGIPROT und anderen Modulen im KlärAnlagenPortal den ÖWAV-KAN seit dem Jahr 2015 österreichweit das Modul Zustandsbericht zur Verfügung, mit dem Auswertungen auf einheitlicher Datenbasis im Rahmen der Nachbarschaftsarbeit in zeitgemäßer Form durch alle an den ÖWAV-KAN Beteiligten vorgenommen werden können.

Key Words: Kläranlagen, Überwachung, Betriebsprotokolle, Datenmanagement, IT-Einsatz, DIGIPROT, KlärAnlagenPortal

1 20 Jahre DIGIPROT – Gründe zum Feiern!

Das Jahr 2016 bietet für die Siedlungswasserwirtschaft im Amt der Tiroler Landesregierung Grund zum Feiern: vor exakt 20 Jahren begann im Land Tirol die Ära einheitlicher digitaler Betriebsprotokolle für alle kommunalen Kläranlagen und die beiden – hinsichtlich Kriterien der organischen Abwasserfracht – größten betrieblichen Direkteinleiter in Tirol. Auf Ebene des Landes Tirol wurde mit dem Produkt DIGIPROT die zentrale Grundlage für

Überwachungsaufgaben, für andere Erledigungen in diversen hoheitlichen Verwaltungsverfahren und für das nationale und internationale Berichtswesen geschaffen.

Die gemeinsame Kapazität aller Abwasserreinigungsanlagen in Tirol, deren Daten aus der Eigen- und Betriebsüberwachung mittels dieses einheitlichen, heute auf dem ÖWAV-Regelblatt 13 (ÖWAV, 2013) beruhenden Protokollsystems erfasst, dargestellt und ausgewertet werden, beträgt aktuell ca. 3,6 Mio. EW₆₀. Diese Summe umfasst alle 53 kommunalen Kläranlagen im Land Tirol mit einer Kapazität von insgesamt ca. 2,16 Mio. EW₆₀ (vgl. ATLR, 2015b) sowie die beiden angesprochenen betrieblichen Direkteinleiter mit hoher organischer Rohabwasserfracht und eigener Abwasserreinigung (Kapazität insgesamt ca. 1,4 Mio. EGW₆₀).

Ausgehend vom Erfolg des Gemeinschaftsprojekts DIGIPROT im Land Tirol ergab sich in den vergangenen beiden Jahrzehnten eine Reihe von zusätzlichen Effekten – weit über die Aspekte des reinen Datenmanagements bzw. des IT-Einsatzes im Allgemeinen hinaus. Ursprünglich „nur“ als einheitliche Umsetzung des im Jahr 1995 in zweiter Auflage erschienenen ÖWAV-Regelblattes 13 „Betriebsprotokolle für Abwasserreinigungsanlagen (inkl. Musterprotokolle samt Erläuterungen)“ (ÖWAV, 1995) im Bundesland Tirol gedacht, ist die Erfolgsgeschichte von DIGIPROT auch ein Beispiel für gelebte Kommunikation und Kooperation zwischen Vertretern und Mitarbeitern der Kläranlagen-Betreiber, den Mitarbeitern der Siedlungswasserwirtschaft im Amt der Tiroler Landesregierung sowie den Softwareentwicklern der Firma DIGILOG Steuerungstechnik, Kirchbichl.

Im Jubiläumsjahr 2016 sei es gestattet, an dieser Stelle die Firma DIGILOG Steuerungstechnik bzw. deren Team nicht nur als IT-Dienstleister namentlich zu erwähnen, sondern zugleich zu betonen, dass die konstruktive, stets über ein herkömmliches Auftraggeber-Auftragnehmer-Verhältnis hinaus höchst engagierte Kooperation – zumindest aus persönlicher Sicht des Verfassers – ein, wenn nicht *das* entscheidende Element für die Erfolgsgeschichte DIGIPROT und damit für das Datenmanagement im Bereich der Tiroler Abwasserwirtschaft war und ist.

Inzwischen bestehen zwar auch in anderen Bundesländern zentrale IT-Anwendungen zur Verwaltung von Kläranlagen-Daten, soweit es die für den Verfasser verfügbaren Informationen zulassen, darf aber das Tiroler Modell mit etwas Stolz wohl weiterhin als beispielgebend in Österreich bezeichnet werden. Das gilt insbesondere hinsichtlich der klaren Regelung der Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten innerhalb eines gemeinsam genutzten Portals, nicht zuletzt

aber auch im Hinblick auf die umfassende Akzeptanz dieser Form des Datenhandlings im Bundesland Tirol unter allen Beteiligten.

Seitdem sich die Verantwortlichen im Bundesland Salzburg für die Anwendung von DIGIPROT in ihrem Bereich entschieden haben, dürfte das zunächst in bzw. für Tirol entwickelte Modell wohl das einzige in Österreich sein, welches in diesem Umfang über die Grenzen eines einzelnen Bundeslandes hinaus in der Praxis im Einsatz steht.

Abgesehen vom Führen der Betriebsprotokolle für Kläranlagen gab es im Umfeld der gemeinsamen Tiroler Erfahrungen während der vergangenen beiden Jahrzehnte weitere Fortschritte beim IT-Einsatz in Bereichen außerhalb der abwassertechnischen Überwachung von Anlagen im engeren Sinn. Das Engagement von Teilnehmern an den ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften (ÖWAV-KAN) in Tirol beeinflusste das Entwickeln verschiedener IT-Anwendungen, die dem Datenhandling im Rahmen der ÖWAV-KAN nicht nur in Tirol, sondern österreichweit dienen.

2 Wie konnte es dazu kommen? - Nutzen für alle Beteiligten

Vertreter der Siedlungswasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung engagierten sich von Beginn in der berufsbegleitenden Fortbildung für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen im Rahmen der ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften (ÖWAV-KAN; ÖWWV, 1991). Es war daher naheliegend, die Anwendung des vollständig überarbeiteten ÖWAV-Regelblattes 13 (ÖWAV, 1995) im Zuge der ÖWAV-KAN-Herbstrunde 1995 in Tirol mit den von diesem Thema betroffenen Klärwärtern zu besprechen. Ausgelöst durch die Diskussionen an diesen KAN-Tagen wurden Initiativen gesetzt, zumindest für das Bundesland Tirol eine einheitliche Betriebsprotokoll-Software für alle kommunalen Abwasserreinigungsanlagen auf Basis des ÖWAV-Regelblattes 13 (ÖWAV, 1995) zu entwickeln und allen Betreibern zugänglich zu machen.

Noch Ende des Jahres 1995 wurden vom damaligen Sachgebiet Siedlungswasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung diverse Vorbereitungen zur Einführung eines einheitlichen Datensystems für die Eigen- und Betriebsüberwachung der kommunalen Abwasserreinigungsanlagen im Land Tirol gesetzt. Im Jahr 1996 konnten - nach einer Veranstaltung zur Information der Anlagenbetreiber über das geplante Procedere - bereits 34 kommunale Kläranlagen mit einem einheitlichen digitalen Betriebsprotokoll ausgestattet werden („DIGIPROT“; Fa. DIGILOG Steuerungstechnik, Kirchbichl). Die übrigen Anlagen wurden in den Folgejahren ausgerüstet, wobei hin-

sichtlich des Zeitpunktes für die Implementierung auch auf verschiedene Aus- und Umbauprojekte der auszurüstenden Kläranlagen Rücksicht zu nehmen war.

In der angesprochenen Informationsveranstaltung für die Anlagenbetreiber ging es nicht nur darum, die Betreibervertreter von den Vorteilen eines gemeinsamen Datenmanagements zu überzeugen. Aus heutiger Sicht mag es zwar nahezu unvorstellbar erscheinen, Ende 1995 / Anfang 1996 mussten Kläranlagenbetreiber aber tatsächlich noch bei ganz anderen Aufgaben unterstützt werden, um den IT-Einsatz in der Tiroler Abwasserwirtschaft überhaupt ins Rollen bringen zu können: auf einer erheblichen Anzahl von Kläranlagen stand vor 20 Jahren die erforderliche Hardware nämlich noch nicht zur Verfügung. So organisierte die Firma DIGILOG mit Partnern die Basisausstattung für den Einstieg der Kläranlagenbetreiber in das gemeinsame Projekt.

Nachdem diese Einstiegshürde aus heutiger Sicht in der Tat kaum vorstellbar ist, darf hier folgender Ausschnitt aus einer noch fast zehn Jahre nach Projektbeginn gültig gewesenen Version des „Benutzerhandbuchs Betriebsdatenerfassung DIGIPROT“ (DIGILOG, 2004) wiedergegeben werden:

Systemanforderung:

Betriebssystem: Minimum: Prozessor mit 500 MHz Taktfrequenz, 128 MB RAM

Empfohlen wird aber ein PC-System mit einem Prozessor ab 1 GHz mit 256 MB Hauptspeicher und dem Betriebssystem MS-Windows 2000, Me oder XP

Hardware:

Arbeitsspeicher: (RAM) sollte bei beiden Systemen mindestens 128 MB groß sein.

Festplatte: DIGIPROT selbst benötigt ca. 10 MB Speicherplatz

Empfohlen wird ein Rechner mit mind. 20 GB Harddisk

Grafikkarte: Da das Programm zum Großteil mit grafischen Objekten arbeitet, wird eine Grafikkarte ab 32 MB (Video RAM) empfohlen.

Bildschirm: Empfohlen wird bei einer Auflösung von 1024 x 768 ein 17“ Bildschirm (TFT), Minimum 15“ und 800 x 600 Bildpunkte.

Bei Röhrenmonitor 19“ empfohlen, 17“ Minimum

Schnittstellen: Da für die Fernwartung und die Datenübertragung per E-Mail ein Modem oder ein Internetzugang benötigt wird, sollte mindestens eine serielle Schnittstellen zur Verfügung stehen.

Bei ADSL oder Standleitungsprodukten ist das nicht erforderlich.

Alternativ ist auch ein USB-Anschluss möglich.

Internet: Da sämtliche Digiprot-Updates (Änderung RB 13 ÖWAV) im Internet als Download zur Verfügung stehen, ist ein Internetzugang empfehlenswert.

Software

Anwendungsprogramm: MS-Excel® 97, 98, 2000, XP oder Excel 2003

Digiprot: läuft unter Windows 98, NT, 2000 und Excel ab 8.0

Mailbox: wird zur Datenübertragung an den KAAD benötigt

2.1 Konzept des Tiroler Modells

Zentrale Vorgabe des damaligen SG Siedlungswasserwirtschaft im Amt der Tiroler Landesregierung für die Entwicklung eines landesweit einheitlichen EDV-Betriebsprotokollsystems war das Einhalten jenes Mindeststandards, der im ÖWAV-Regelblatt 13 (ÖWAV, 1995) definiert wurde, um jederzeit Daten von Tiroler Abwasserreinigungsanlagen für österreichweit einheitlich zu bearbeitende Fragestellungen vorhalten zu können. Außer den Festlegungen im ÖWAV-Regelwerk waren zum Zeitpunkt der Entwicklung von DIGIPROT keine in der österreichischen Fachwelt allgemein anerkannten Grundlagen für die standardisierte Gewinnung und Dokumentation derartiger Daten vorhanden. Das Tiroler Protokollsystem hatte daher „auf Mausklick“ Protokolle der betrachteten Kläranlage in jenem Umfang und mit jenem Layout zu liefern, die das ÖWAV-Regelblatt 13 (ÖWAV, 1995, und ÖWAV, 1998a) vorgab.

Die abwassertechnische Konfiguration der konkreten Anlage war dabei selbstverständlich von der Software zu berücksichtigen. In der ursprünglichen Konzeption von DIGIPROT wurden die Betriebsprotokolle in Files im MS-Excel-Format lokal auf den Kläranlagen abgelegt. Dies erforderte jeweils individuell an die Anlagen angepasste lokale Installationen der Software – ein Nachteil, der mit der Umstellung von DIGIPROT auf eine Anwendung innerhalb des KlärAnlagenPORTals KAPO beseitigt werden konnte.

Aufgabe der Anlagenbetreiber bzw. des Betriebspersonals ist von Anbeginn an die fortlaufende, regelmäßige und gewissenhafte Erfassung der Daten aus Eigen- und Betriebsüberwachung. Dazu gehört auch die konsequente Qualitätssicherung und Plausibilitätsprüfung aller Daten, vorzugsweise bereits beginnend zum Zeitpunkt der Dateneingabe bzw. der Datenübernahme.

Ursprünglich war DIGIPROT ausschließlich als Instrument für Daten aus der Eigen- und Betriebsüberwachung konzipiert. Im Rahmen der gemeinsamen Weiterentwicklung des Systems wurden auch Möglichkeiten geschaffen, Daten aus der Fremdüberwachung entsprechend den Vorschlägen im ÖWAV-Regelblatt 6, Teil 1 (ÖWAV, 1998b), in das System zu integrieren, einschließlich tabellarischer sowie grafischer Gegenüberstellungen zwischen Daten der Eigenüberwachung und der Fremdüberwachung.

Seit Einführung des Tiroler Modells legen die Betreiber ihre DIGIPROT-Daten in der Regel quartalsweise dem Kläranlagenaufsichtsdienst (KAAD) in der Abteilung Wasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung vor. Hier bearbeiten die siedlungswasserwirtschaftlichen Amtssachverständigen Daten aus der Überwachung von Abwasserreinigungsanlagen für alle im Einzelfall zuständigen Behörden im Land Tirol. Ab Einführung von DIGIPROT wurden die Betriebsprotokolle von den Anlagenbetreibern mittels E-Mail zu vorgegebenen Terminen an den KAAD übermittelt.

Abbildung 1 zeigt die Terminübersicht für den DIGIPROT-Datentransfer von den Kläranlagenbetreibern zum Kläranlagenaufsichtsdienst Tirol (KAAD), wie sie bis zum Betriebsjahr 2013 allen Anlagenbetreibern jährlich im Vorhinein vom KAAD bekanntgegeben wurde. In diese Übersicht integriert ist auch die Erinnerung für die MitarbeiterInnen der Kläranlagen, auf das im Rahmen der ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften in Tirol vereinbarte Übermitteln des Kläranlagenzustandsberichts (ÖWAV, 1999) in digitaler Form nicht zu vergessen (jeweils bis 1.3. des Folgejahres).

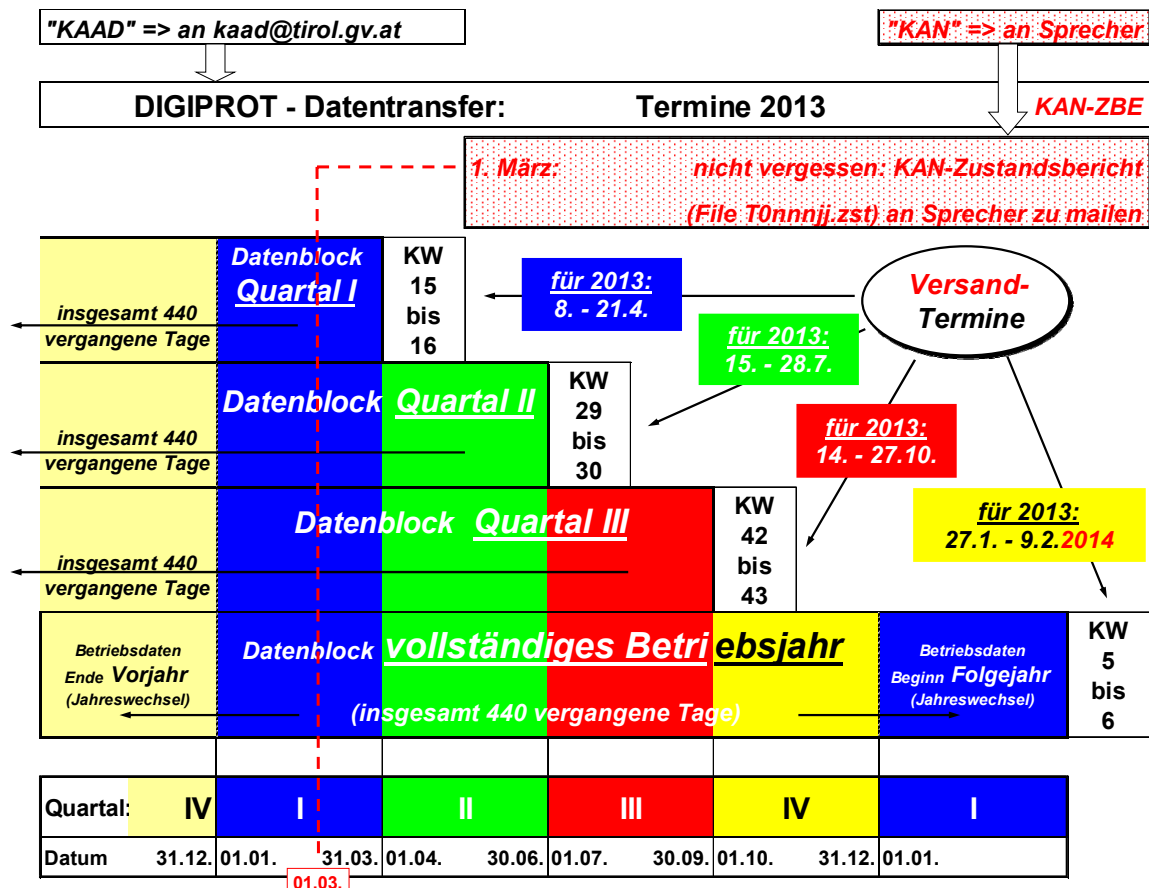


Abbildung 1: Terminübersicht für den DIGIPROT-Datentransfer von den Kläranlagenbetreibern zum Kläranlagenaufsichtsdienst Tirol (KAAD) am Beispiel des Betriebsjahres 2013

Auch nach der Umstellung von DIGIPROT auf eine Anwendung innerhalb des KlärAnlagenPortals KAPO, das heißt im Wesentlichen seit dem Jahr 2014, pflegen die MitarbeiterInnen auf den Tiroler Kläranlagen ihre Betriebsdaten wie gewohnt systematisch in DIGIPROT ein. Das frühere Übermitteln der Daten an den KAAD mit E-Mail (vgl. Abbildung 1) wurde allerdings durch die regelmäßige Freigabe der bereits im KlärAnlagenPortal gespeicherten Daten zur Einsicht bzw. Auswertung durch den KAAD abgelöst. Bis zu diesen Freigaben - aktiv von den MitarbeiterInnen der Anlagenbetreiber vorzunehmen - sind die Daten im KlärAnlagenPortal nur für den Betreiber zugänglich, mit der Freigabe auch für den KAAD, und zwar jeweils die bis zum Tag der Freigabe in KAPO vorhandenen Daten. Auf die Fälligkeit dieser Freigaben, wie früher zu allgemein festgelegten Terminen (15.2., 15.5., 15.8. und 15.11. jedes Jahres), wird das Betriebspersonal durch eine Standard-Erinnerung aus dem System hingewiesen (vgl. FIMML, 2016).

Aufgabe der Siedlungswasserwirtschaft bzw. des KAAD im Amt der Tiroler Landesregierung war und ist es nach dem Konzept des Tiroler Modells, im Rahmen der Weiterentwicklung bzw. bei Updates von DIGIPROT aktiv dafür

zu sorgen, dass alle Betriebsprotokolle der Tiroler Kläranlagen den rechtlichen Grundlagen, hier insbesondere der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser (1. AEV), BGBl. Nr. 210/1996 idgF, entsprechen. Aber auch die Implementierung des im Jahr 2013 in einer weiteren, besonders weitreichenden Überarbeitung erschienenen ÖWAV-Regelblatts 13 (ÖWAV, 2013) gehörte zu den Anliegen, um die sich der KAAD kümmerte. Natürlich erfolgten alle diese Optimierungen unter Einbeziehung von Erfahrungen der Anwender aus dem Kreis der Kläranlagenbetreiber. Die KollegInnen beteiligten sich an diesem Prozess dankenswerterweise - wie seit den Jahren 1995/1996 üblich und bewährt - höchst aktiv und konstruktiv.

2.2 Nutzen für Anlagenbetreiber

DIGIPROT dient den Kläranlagenbetreibern zunächst dazu, gegenüber der Wasserrechtsbehörde den Nachweis über die Einhaltung des Konsenses hinsichtlich der hydraulischen und der organischen Belastung der Anlage sowie hinsichtlich der Einhaltung von Emissionsbegrenzungen zu führen. Über die Verpflichtung zum Nachweis der Konsenseinhaltung gegenüber der Wasserrechtsbehörde hinaus haben die Kläranlagenbetreiber je nach individuellem Bedarf und Interesse diverse Möglichkeiten, verschiedenste Betriebsdaten mit demselben Datensystem zu erfassen und damit auch darzustellen. Werte, die bereits über das Prozessleitsystem digital verfügbar sind, können selbstverständlich über eine Schnittstelle in DIGIPROT importiert werden. Nach Dateneingabe bzw. -übernahme aus einem Prozessleitsystem ermittelt die Software u.a. diverse Frachten und Wirkungsgrade.

Dem Betriebspersonal stellt DIGIPROT seit dem gemeinsamen Start des Tiroler Modells praxisgerechte, zugleich äußerst leistungsfähige Werkzeuge zur Verfügung wenn es darum geht, die eigenen Daten zu sichten, insbesondere auf Plausibilität zu prüfen, für die Betriebsführung bedeutsame Trends frühzeitig zu erkennen, Zusammenhänge zwischen verschiedenen Parametern darzustellen u.a.m. (vgl. FIMML, 2016).

Sämtliche eingegebenen oder vom Prozessleitsystem übernommenen Daten, inklusive aller innerhalb der Anwendung DIGIPROT daraus berechneten Werte können in diversen Kombinationen grafisch dargestellt werden. Das System ergänzt die Grafiken bei Bedarf durch Grenzwert-, Mittelwert- und Trendlinien. Der Benutzer legt den Betrachtungszeitraum entsprechend seiner Fragestellung frei fest. Diese Funktionen ermöglicht es jedem Anlagenbetreiber, sich auf einfache und übersichtliche Art rasch ein Bild zu machen, zunächst über die Plausibilität der Daten und in der Folge über den Betriebszustand bzw. die Reinigungsleistung seiner Anlage.

Im Fall eines erforderlichen Anlagenausbaus steht dem Anlagenbetreiber eine umfassende Datengrundlage in Form der DIGIPROT-Daten zur Verfügung, und zwar auf Basis der anerkannten Standards gemäß ÖWAV-Regelblatt 13 (ÖWAV, 2013). Diese Datengrundlagen sind auch den prüfenden Amtssachverständigen zugänglich bzw. bekannt, was den Verlauf der erforderlichen Verfahren sicher im beiderseitigen Interesse begünstigt. Voraussetzung dafür ist selbstverständlich das möglichst umfassende Erheben und konsequente Protokollieren der Daten im Rahmen der Eigen- und Betriebsüberwachung durch den Anlagenbetreiber.

2.3 Nutzen für das Amt der Tiroler Landesregierung

Nachdem das Betriebspersonal aller Tiroler Kläranlagen und die Sachbearbeiter in der Siedlungswasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung mit DIGIPROT dieselbe IT-Lösung zum Datenmanagement verwenden, haben auch beide Beteiligten tatsächlich vollständig identische Bilder von der betrieblichen Situation der jeweiligen Anlage. Damit entfallen von vornherein zahlreiche Ursachen für Verständigungsschwierigkeiten.

Im Interesse von Dienststellen der Landesverwaltung, hier besonders im Rahmen des Vollzug des Wasserrechtsgesetzes stellt DIGIPROT standardisierte Daten bereit für diverse Fragen in einzelnen Verwaltungsverfahren, aber auch für Fragen der wasserwirtschaftlichen Planung im Bundesland sowie letztlich für das nationale und internationale wasserbezogene Berichtswesen. Die meisten dieser Aufgaben sind seit der Einführung der einheitlichen EDV-Betriebsprotokolle rasch, ohne langwierige Importe von Daten aus anderen Systemen und ohne mühsames Aufbereiten des Zahlenmaterials möglich. In der Regel decken die Funktionen und Inhalte von DIGIPROT den Bedarf der Amtssachverständigen bei derartigen Datenauswertungen ab.

Sollten im konkreten Anlassfall aktuelle Betriebsdaten zwischen den vereinbarten Terminen für die routinemäßige Datenfreigabe benötigt werden, fordert der KAAD den betroffenen Anlagenbetreiber gezielt zu einer außertourlichen Freigabe seiner Daten im KlärAnlagenPortal auf.

Der Kläranlagenaufsichtsdienst des Landes Tirol (KAAD), eingerichtet beim Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, übte bis Ende des Jahres 2007 selbst Überwachungstätigkeiten einschließlich systematischer, regelmäßiger Beprobungen mit entsprechenden Begutachtungen aus. Diese Tätigkeiten erfolgten ohne individuelle Aufträge der Wasserrechtsbehörden. Grundlage war ein generelles Ersuchen der Tiroler Wasserrechtsbehörden, sol-

che Überwachungsmaßnahmen seitens der dafür kompetenten Fachdienststelle im Amt der Landesregierung vorzunehmen.

Mit Beginn des Jahres 2008 mussten diese Aktivitäten eingestellt werden, sodass die Fremdüberwachung von Abwasserreinigungsanlagen in Tirol seither praktisch ausschließlich im Auftrag der Betreiber erfolgt. Nicht zuletzt vor diesem Hintergrund stützt sich die Überwachung der Kläranlagen in Tirol daher in besonderer Weise auf die DIGIPROT-Daten, zumal diese ja seit geraumer Zeit auch Daten aus der Fremdüberwachung im Sinne der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser (1. AEV_k), BGBl. Nr. 210/1996 idgF, integrieren und somit eine vergleichende Darstellung von Daten aus Eigen- und Fremdüberwachung gemäß ÖWAV-Regelblatt 6, Teil 1 (ÖWAV, 1998b) ermöglichen.

Schließlich bilden die DIGIPROT-Datenbestände aller Tiroler Kläranlagen die Grundlage für den Kläranlagenkataster Tirol (DIGIKAT), der in diesem Beitrag noch vorgestellt und von der Siedlungswasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung jährlich erstellt wird (vgl. z.B. ATR, 2015b).

3 Randbedingungen in Tirol

Die vergangenen Jahrzehnte waren durch intensive Bemühungen in der Tiroler Abwasserwirtschaft geprägt, kommunale Abwässer möglichst in größeren Einheiten einer Reinigung zuzuführen. Diese Bemühungen wurden seitens der Siedlungswasserwirtschaft im Amt der Tiroler Landesregierung mit getragen und gezielt unterstützt, sodass insbesondere im Zeitraum von den späten 1970-er bis Mitte der 1990-er Jahre eine Reihe von größeren kommunalen Kläranlagen in Betrieb gehen konnte. Das vorläufige Ergebnis dieser Entwicklung wurde zum Stichtag 31.12.2002 zuletzt umfassend im Abwasserbericht 2002 dokumentiert (ATR, 2003). Von der am 31.12.2002 in Tirol vorhandenen Gesamtkapazität aller damals bestehenden 61 kommunalen Kläranlagen (etwas mehr als 2 Mio. EW₆₀) entfielen ca. 95 % auf 37 Anlagen mit Bemessungswerten über 15.000 EW₆₀. Großteils handelt es sich also um größere Anlagen, sodass die Abwasserreinigung in verfahrenstechnisch wie auch wirtschaftlich günstigen Größenverhältnissen ablaufen kann. Qualifiziertes und motiviertes Betriebspersonal steuert und wartet die Anlagen auf höchstem technischem Niveau.

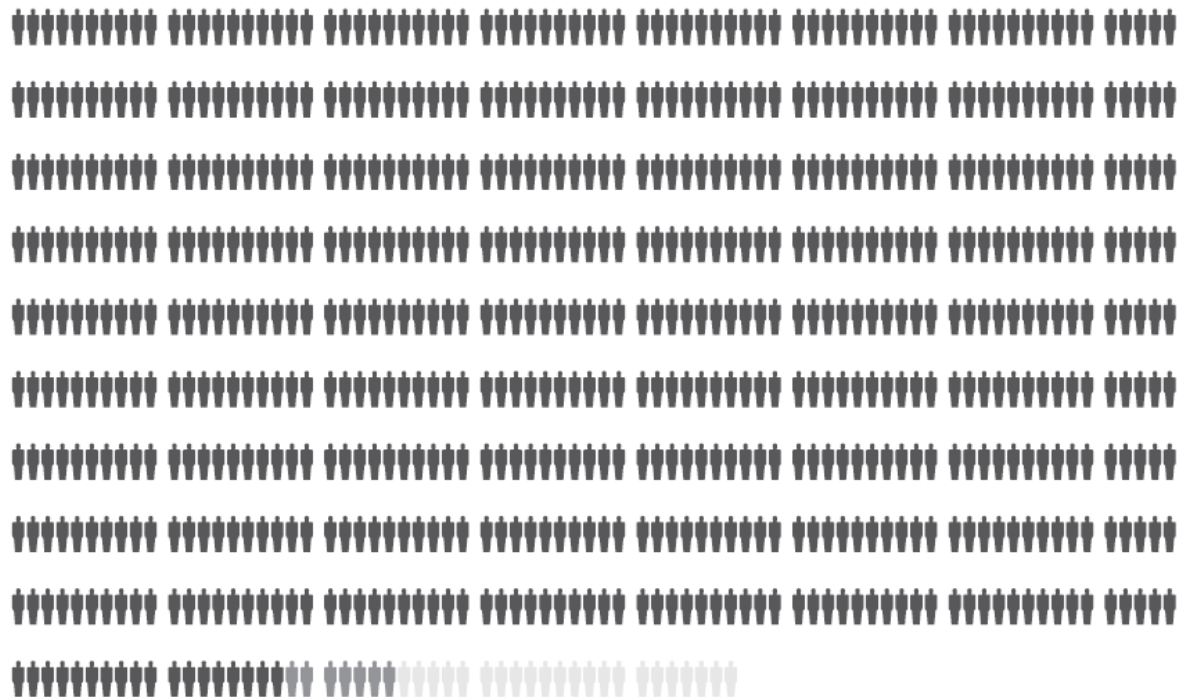


Abbildung 2: Standorte und Bezeichnungen der kommunalen Kläranlagen in Tirol (ATLR, 2015a)

Auf Basis von Daten aus der österreichweit durchgeführten Investitionskostenerhebung Siedlungswasserwirtschaft 2012 konnten die Erhebungen für den Abwasserbericht 2002 (ATLR, 2003) nach geraumer Zeit fortgeschrieben und in der Publikation „Trinkwasser und Abwasser in Tirol. Daseinsvorsorge durch kommunale Infrastruktur. Status – Entwicklungen – Investitionen“ veröffentlicht werden (ATLR, 2015a). Aktuell stehen in Tirol 53 kommunale Kläranlagen mit einer Gesamtkapazität von ca. 2,16 Mio. EW₆₀ in Betrieb (sh. Abbildung 2; vgl. auch ATLR, 2015b).

Betreiber der kommunalen Kläranlagen in Tirol sind zumeist Gemeindeverbände. Einige Abwasserreinigungsanlagen werden von einzelnen Gemeinden selbst oder von ausgelagerten kommunalen Betrieben geführt.

Die eher großräumigen Strukturen der kommunalen Tiroler Abwasserwirtschaft waren und sind im Hinblick auf effiziente und betriebssichere Abwasserentsorgung zweifelsohne von Vorteil. Zugleich waren diese Strukturen bei der geordneten Umsetzung einheitlicher Vorgangsweisen betreffend die Erfassung und Nutzung von Kläranlagendaten im Bundesland Tirol äußerst zweckmäßig.



Von insgesamt 722.038 Personen in Tirol
sind 96 % bezüglich Trinkwasser,
97 % bezüglich Abwasser an öffentliche
Infrastrukturen angebunden.

Ein Symbol entspricht 1.000
Einwohnern; Einwohnerzahl
Tirol gesamt: 722.038

Abbildung 3: Anschlussgrade an öffentliche Abwasserentsorgung und öffentliche Trinkwasserversorgung in Tirol (ATLR, 2015a)

Im Jahr 2002 lag der Anschlussgrad an kommunale Abwasserreinigungsanlagen in Tirol noch bei 91 % (ATLR, 2003). Die Erhebungen im Jahr 2012 führten zu einem Anschlussgrad von 97 % im Mittel für Tirol. Das entspricht jenem Wert, der im Jahr 2002 als Endausbau geschätzt wurde. Beim Anschlussgrad an öffentliche Wasserversorgungsanlagen ergab die Investitionskostenerhebung 2012 für Tirol im Mittel den Wert von 96 %. Diese Anschlussgrade wurden in der oben erwähnten jüngsten Publikation in Form von Abbildung 3 grafisch veranschaulicht (ATLR, 2015a).

4 ÖWAV-Regelwerk zur Überwachung von Kläranlagen – Anwendung in Tirol

Anforderungen an die Reinigungsleistung von Kläranlagen werden von der Wasserrechtsbehörde in den individuellen Bewilligungsbescheiden festgelegt. Die Betreiber der Abwasserreinigungsanlagen haben die Einhaltung dieser Vorschriften regelmäßig nachzuweisen. Zu diesem Zweck führt einerseits das Betriebspersonal

selbst Messungen und Analysen durch („Eigenüberwachung“), andererseits werden die Kläranlagen durch externe Stellen überprüft („Fremdüberwachung“). Neben den Überprüfungen der Abwasserbeschaffenheit mit dem Hauptaugenmerk auf die geforderte Reinigungsleistung bzw. das Einhalten von Emissionsbegrenzungen, sind an den Kläranlagen vom Betriebspersonal täglich verschiedenste zusätzliche Messungen vorzunehmen, um einen reibungslosen und möglichst wirtschaftlichen Betrieb aller Anlagenteile sicherzustellen („Betriebsüberwachung“).

Anforderungen hinsichtlich der Eigen- und Betriebsüberwachung sowie hinsichtlich der Fremdüberwachung von Abwasserreinigungsanlagen enthalten ebenfalls die wasserrechtlichen Bewilligungsbescheide. Die wesentlichsten allgemeinen Grundlagen für die konkreten Festlegungen in den individuellen Bescheiden kommunaler Kläranlagen sind gegenwärtig:

- ☞ 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser (1. AEV), BGBl. Nr. 210/1996 idGF, in Verbindung mit der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung, BGBl. Nr. 186/1996 (AAEV),
- ☞ ÖWAV-Regelblatt 6, Teile 1 und 2 (ÖWAV, 1998b und ÖWAV, 2000),
- ☞ ÖWAV-Regelblatt 7 (ÖWAV, 2003),
- ☞ ÖWAV-Arbeitsbehelf 14 (ÖWAV, 2010),
- ☞ ÖWAV-Regelblatt 13 (ÖWAV, 2013).

Bereits im Jahr 1982 wurden vom Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (ÖWAV; damals noch ÖWWV - Österr. Wasserwirtschaftsverband) Vordrucke für Betriebsprotokolle von Abwasserreinigungsanlagen und Erläuterungen hierzu als Hilfestellung für eine österreichweit standardisierte Dokumentation der Daten aus Eigen- und Betriebsüberwachung veröffentlicht (ÖWWV, 1982). Nach Inkrafttreten der Wasserrechtsgesetz-Novelle 1990 und der darauf basierenden 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser war das Regelblatt an die geänderte Rechtslage anzupassen. Dies geschah in Form des ÖWAV-Regelblattes 13 (ÖWAV, 1995). Aufgrund der Novelle zur 1. AEV für kommunales Abwasser, BGBl. Nr. 210/1996, musste dieses Regelblatt bereits wenig später durch ein Beiblatt ergänzt werden (ÖWAV, 1998a).

Im Jahr 2013 erschien die dritte, vollständig überarbeitete Auflage des ÖWAV-Regelblattes 13 (ÖWAV, 2013). Hinsichtlich der Grundsätze und Ziele dieser jüngsten Überarbeitung darf auf dem Text im Kapitel 1.1 des zitierten Regelblattes verwiesen werden.

Im Sinne österreichweit standardisierter und damit auch vergleichbarer Daten wurde von der Siedlungswasserwirtschaft des Amtes der Landesregierung bereits die Anwendung der ursprünglichen Version der Betriebsprotokoll-Formulare des ÖWWV gefördert. Häufig konnten die Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen durch eine entsprechende Bestimmung im wasserrechtlichen Bewilligungsbescheid dazu verpflichtet werden, ihre Betriebsaufzeichnungen nach den Vorgaben dieses ÖWWV-Regelblattes zu gestalten. Mit der zunehmenden Anwendung von EDV-Systemen zur Führung der Betriebsprotokolle wurden die Anlagenbetreiber nach Möglichkeit dazu angehalten, jedenfalls aber von der Siedlungswasserwirtschaft im Amt der Tiroler Landesregierung dringend gebeten, bei der Gestaltung elektronischer Kläranlagen-Betriebsprotokolle rechtzeitig das Einvernehmen mit dem Kläranlagenaufsichtsdienst herzustellen.

Ab dem Jahr 1996, mit dem Beginn der Installation von DIGIPROT auf den Tiroler Kläranlagen, wurde diese einseitige Forderung abgelöst durch das Tiroler Modell des IT-Einsatzes zum Datenmanagement auf Abwasserreinigungsanlagen.

Auch die oben angeführten ÖWAV-Regelblätter 6 und 7 sowie der ÖWAV-Arbeitsbehelf 14 wurden bzw. werden in Tirol üblicherweise in den wasserrechtlichen Bewilligungsbescheiden verbindlich als Grundlagen für die Eigen- und Betriebsüberwachung sowie für die Fremdüberwachung von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen definiert.

5 DIGIKAT und Tiroler Modell der Kläranlagen-Überwachung

Durch Sachverständige der Siedlungswasserwirtschaft im Amt der Tiroler Landesregierung erfolgen während des Jahres in Anbetracht der äußerst eingeschränkt gegebenen zeitlichen Möglichkeiten nur stichprobenartige oder anlassbezogene Überprüfungen der übermittelten Daten aus der Kläranlagen-Überwachung. Eine standardisierte Prüfung aller Jahresdatenpools wird jeweils ab Ende Jänner des folgenden Kalenderjahres vorgenommen. Diese Kontrollen betreffen zunächst Vollständigkeit und Plausibilität der von den Anlagenbetreibern gemeldeten Daten. Die Prüfung der Vollständigkeit bezieht sich primär auf die Vorgaben in der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser (1. AEVk), BGBl. Nr. 210/1996 idgF, ergänzt durch die Inhalte des ÖWAV-Arbeitsbehelfs 14 (ÖWAV, 2010).

Einheitlich strukturierte Prüfprotokolle fassen das Ergebnis der Datenprüfung zusammen. Mit diesen Routineprüfungen beginnen die Arbeiten an den jährlichen Auswertungen des „Kläranlagenkatasters Tirol“. Einerseits bietet der Kläranlagen-

kataster für jedes Kalenderjahr eine Gesamtübersicht über den Betrieb der kommunalen Tiroler Kläranlagen. Andererseits berichtet der Kläranlagenaufsichtsdienst in Form des Kläranlagenkatasters Tirol jährlich nach diesem inzwischen gut etablierten System allen Wasserrechtsbehörden im Land darüber, inwieweit von den einzelnen Kläranlagenbetreibern den Anforderungen der 1. AEVk entsprochen wird. Der Kläranlagenkataster Tirol wird - nicht zuletzt - auch als umfassender gemeinsamer Leistungsnachweis der Tiroler Siedlungswasserwirtschaft nach Möglichkeit in gedruckter Form publiziert, zumindest aber in ausgewählten Teilen auf der Homepage des Landes Tirol veröffentlicht (vgl. ATR, 2015b).

Die Software DIGIKAT, welche für diese jährlichen Standardauswertungen eingesetzt wird, ermöglicht darüber hinaus die Behandlung praktisch aller Fragen, für die Betriebsdaten, aber auch statische Kenndaten der Anlagen als Abfragekriterien eingesetzt werden können (z.B. Anlagenkonfiguration inkl. Beckenkubaturen, Zuordnung zu Gewässer(-teil-)einzugsgebieten u.s.w.). So lassen sich anlassbezogen inhaltlich nahezu unbeschränkte, landesweite Auswertungen rasch und unkompliziert durch den KAAD vornehmen.

DIGIKAT wurde im Zusammenhang mit der Einführung des KlärAnlagenPORTals KAPO zwischenzeitlich ebenfalls in diese Plattform integriert und steht hier dem Kläranlagenaufsichtsdienst des Landes Tirol als wichtiges Element des Datenmanagements mit neuen Funktionalitäten zur Verfügung (vgl. FIMML, 2016).

6 DIGIPROT im KlärAnlagenPORTal KAPO

6.1 Hintergründe und Veranlassung

DIGIPROT wurde seit den ersten Installationen im Jahr 1996 in zahlreichen Updates aufgrund der Erfahrungen beim Einsatz sowohl auf den Abwasserreinigungsanlagen, als auch beim Kläranlagenaufsichtsdienst immer wieder schrittweise weiterentwickelt. Auch auf das Erscheinen von Neuauflagen im Regelwerk des ÖWAV musste wiederholt reagiert werden. Schon kurz nach dem Start des Modells Tirol war die Novelle der 1. AEV für kommunales Abwasser Mitte des Jahres 1996 (BGBl. Nr. 210/1996) ein Anlass für Erweiterungen im Datensystem.

Auch die Veränderungen im Bereich der erforderlichen Basissoftware waren mit zu berücksichtigen: die ersten Versionen der DIGIPROT-Betriebsprotokolle wurden unter MS Windows 95 und MS Excel 5 betrieben. Kurzlebigkeit und zunehmende Vielfalt von verfügbarer Hard- und Software am Markt und damit auch auf den Kläranlagen bedeuteten für den Betrieb von DIGIPROT immer häufigere und stetig wachsende Herausforderungen. All das führte nach fast 20 Jahren DIGIPROT - ohne

maßgebliche Probleme für die Anwender (trotz der geschilderten schwierigen Randbedingungen!) – Ende des Jahres 2013 zu einem besonders großen Schritt in der Weiterentwicklung von DIGIPROT, hinein in eine neue Ära des Modells Tirol:

Nach intensiven Überlegungen und Diskussionen zwischen den Beteiligten – Kläranlagenbetreiber, Kläranlagenaufsichtsdienst und Firma DIGILOG – fiel im Jahr 2013 die Entscheidung, das Modell Tirol das Datenmanagements in der Abwasserwirtschaft, insbesondere in der Kläranlagen-Überwachung von Installationen einer lokalen Excel-Anwendung umzustellen auf ein System zur Online-Verwaltung der Betriebsdaten von Abwasserreinigungsanlagen. Eine vollständige Funktion der bisherigen Software konnte nur mehr bis MS Office 2010 gewährleistet werden. Die Kernanwendung von DIGIPROT wurde bekanntlich bereits im Jahr 1995 konzipiert und war mit den neu auf den Markt kommenden Office-Suiten und 64-bit Betriebssystemen langfristig nicht mehr kompatibel zu halten, zumindest nicht mit auch nur halbwegs vertretbarem Aufwand für alle Beteiligten.

6.2 Umsetzung

Dem unausweichlichen Trend zur Anwendung von Internettechnologien in vielen Bereichen, so auch bei Kläranlagenbetreibern und in der öffentlichen Verwaltung folgend, begannen Kläranlagenaufsichtsdienst des Landes Tirol (KAAD) und Firma DIGILOG, bei der Erfassung und Auswertung von Betriebsdaten der Tiroler Kläranlagen die Internettechnologie auch in diesem Bereich gezielt und bedarfsgerecht zu nützen: das „KlärAnlagenPORTal“ ("KAPO") wurde von der Firma DIGILOG entwickelt und in Abstimmung mit dem KAAD in Betrieb genommen. Alle Betreiber von Kläranlagen in Tirol wurden als Nutzer der bisherigen Versionen von DIGIPROT-Betriebsprotokollen von KAAD und Firma DIGILOG gemeinsam über die erforderlichen Schritte beim Systemwechsel informiert und zur weiteren Teilnahme am erfolgreichen Modell Tirol in der Kläranlagen-Überwachung eingeladen. Dazu konnten letztlich alle Betreiber gewonnen werden, sodass im Jahr 2014 mit dem Ausrollen von DIGIPROT als zentralem Modul des KlärAnlagenPORTals KAPO in Tirol begonnen wurde.

Durch die zentrale Ablage der Betriebsdaten in einer Onlinedatenbank können die Nutzer nun unabhängig von lokaler Anwendersoftware und Betriebssystem über einen Browser auf die am KlärAnlagenPORTal abgelegten Daten zugreifen, selbstverständlich immer nur auf Basis konsequenter Vergabe bzw. Administration von Zugriffsrechten.

Zugleich mit dem Umstieg auf DIGIPROT als Modul des KlärAnlagenPORTals wurden auch die Vorgaben des ebenfalls im Jahr 2013 nach grundlegender

Überarbeitung neu erschienenen ÖWAV-Regelblattes 13 (ÖWAV, 2013) für alle Beteiligten im Tiroler Modell implementiert. Damit konnten die doch weitreichenden Änderungen in den Betriebsprotokollen aufgrund des neuen ÖWAV-Regelblattes 13 bereits unter Nutzung der Vorteile einer Portal-Lösung für alle DIGIPROT-Anwender in deren anlagenspezifischen Betriebsprotokollen umgesetzt werden.

Bekanntlich wurden mit der aktuellen Auflage des ÖWAV-Regelblattes 13 immerhin neue Parameter inkl. Stammdaten eingeführt, alle Parameter umfassend beschrieben und definiert sowie mit eindeutigen Bezeichnungen, Abkürzungen, Dimensionen etc. versehen, um einen aktuellen Standard für österreichweit einheitlich aufgebaute bzw. les- und auswertbare (IT-)Systeme zum Datenmanagement auf Abwasserreinigungsanlagen zur Verfügung zu stellen.

Ebenfalls im Zusammenhang mit der Umstellung auf das KlärAnlagenPortal wurden zahlreiche Funktionalitäten und Zusatzwerkzeuge des bewährten DIGIPROT-Systems adaptiert und optimiert. In besonderer Weise gilt dies für umfassende Tools zur Plausibilitätsprüfung der erfassten Daten, zur Auswertung von Messhäufigkeiten (inkl. Abfragen auf Basis des aktuellen ÖWAV-Arbeitsbehelfs 14 (ÖWAV, 2010)) und zur Beurteilung der Reinigungsleistung der betrachteten Abwasserreinigungsanlagen.

In Anbetracht der bereits seit 1995/96 in Tirol erfolgreich praktizierten Vorgangsweise beim Einsatz einer gemeinsamen IT-Lösung zum Datenmanagement in der Kläranlagen-Überwachung versteht es sich an sich von selbst, dass alle nun verfügbaren Tools für alle User im Rahmen ihrer Berechtigungen im KlärAnlagenPortal zur Verfügung stehen. Natürlich wurde auch für die gezielte Übernahme der vor Einführung des Portals erfassten DIGIPROT-Daten in das neue Online-System gesorgt, was hier an sich nur der Vollständigkeit halber erwähnt sei.

6.3 Weitere Module im KlärAnlagenPortal KAPO

DIGIPROT stellt inzwischen zwar weiterhin das zentrale Modul im KlärAnlagenPortal KAPO dar, allerdings nicht das einzige. Im Interesse und auch auf Nachfrage bzw. Anregung der Anwender stehen aktuell zusätzlich folgende Module am KlärAnlagenPortal zur Verfügung:

- Fremdüberwachung (vgl. ÖWAV, 1998b)
- Zustandsbericht (vgl. ÖWAV, 2015a)
- Kataster bzw. DIGIKAT (vgl. oben, Pkt. 5)
- Abfallbilanz

- Betriebstagebuch
- Stundenerfassung

In der Praxis ist inzwischen für das KlärAnlagenPortal KAPO und die dort verfügbaren Module das Bild eines Gebäudes mit mehreren Räumen etabliert, für die es unterschiedliche Nutzer bzw. „Mieter“ mit spezifischen, klar geregelten Zutrittsrechten gibt (vgl. Abbildung 4; Quelle: FIMML, 2015).

Ausführliche Hinweise zu allen Modulen im KlärAnlagenPortal KAPO sind dem Beitrag „Cloud Computing in der Wasserwirtschaft, ÖWAV-Regelblatt 13“ im vorliegenden Band der Wiener Mitteilungen zu entnehmen (FIMML, 2016).



Abbildung 4: Die aktuellen „Räume“ im Gebäude KlärAnlagenPortal (FIMML, 2015)

7 ÖWAV-KAN als Mieter im KlärAnlagenPortal

7.1 Vorgeschichte

Seit Anfang der 1990-er Jahre werden im Rahmen ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften Kläranlagenzustandsberichte erstellt. Damit verfolgt man im Rahmen der berufsbegleitenden Fortbildung des Betriebspersonals von Abwasserreinigungsanlagen hauptsächlich folgende Ziele:

- jährliche Auswertung der Betriebsdaten nach einer standardisierten Arbeitsanleitung

- Vergleich mit anderen Anlagen auf Basis spezifischer Kennzahlen
- Fortbildung des Betriebspersonals durch Vergleich der Betriebsdaten und Diskussion der Ergebnisse innerhalb der Kläranlagen-Nachbarschaften
- österreichweite Auswertungen auf einheitlicher Datenbasis wie z.B. für den jährlichen Kläranlagen-Leistungsvergleich im Rahmen der ÖWAV-KAN
- grafischer Vergleich mit den Ergebnissen der Vorjahre
- Für kleinere Anlagen ist der Kläranlagenzustandsbericht auch als einfacher Jahres-Betriebsbericht verwendbar.

Anleitungen dazu wurden im ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 22 (ÖWAV, 1999), abgelöst durch den ÖWAV-Arbeitsbehelf 22 (ÖWAV, 2015a) für die Nachbarschaftsarbeit in den ÖWAV-KAN-zur Verfügung gestellt.

Im Jahr 1992 wurden bereits Kläranlagenzustandsberichte in Form handschriftlich erstellter Formulare als Leitfaden und Hilfsmittel eingesetzt. Diese wurden in der Folge durch Vordrucke, zum Teil auch Textfiles abgelöst (vgl. ÖWAV, 2015a). Im Jahr 2000 wurde erstmalig eine IT-basierte Version des Kläranlagenzustandsberichts für die Arbeit in den ÖWAV-KAN allen KAN-Teilnehmern zur Verfügung gestellt, ausgehändigt auf einer CD. Dieses Modul 1 des Kläranlagenzustandsberichts ermöglichte das Erstellen einzelner Kläranlagenzustandsberichte für einzelne Kläranlagen und einzelne Betriebsjahre. Im Jahr 2001 wurde das Modul 2 ausgeliefert, mit welchem Kläranlagenzustandsberichte mehrerer Anlagen oder für mehrere Betriebsjahre auf KAN-Ebene dargestellt und ausgewertet werden konnten (vgl. FIMML, 2010).

Für beide Module des digitalen Kläranlagenzustandsberichts wurden in der Folge mehrfach Updates zur Verfügung gestellt.

7.2 Integration des Kläranlagenzustandsberichts in das KlärAnlagenPortal

Was für DIGIPROT und den Anpassungsbedarf an neue inhaltliche Vorgaben sowie an neue IT-Entwicklungen galt, traf auch für den Kläranlagenzustandsbericht zu: der Wechsel von aufwändig zu wartenden lokalen Installationen hin zu einer zeitgemäßen Portal-Lösung war letztlich nur eine Frage der Zeit. Im Sinne des Einbeziehens der Basis der ÖWAV-KAN-Teilnehmer wurde im Zuge der KAN-Arbeit österreichweit die Meinung zur weiteren Vorgangsweise in einer Umfrage erhoben. Dabei konnte erwartungsgemäß zwar keine vollkommen einheitliche Linie festgestellt werden. Allerdings äußerte sich doch die Mehrheit der Beteiligten sowohl grundsätzlich für die weitere Verwendung des Kläranlagenzustandsberichts

im Rahmen der ÖWAV-KAN-Arbeit, als auch für eine Ablöse der CD-Version durch eine Portal-Lösung (vgl. FIMML, 2011).

Im ÖWAV-Arbeitsausschuss fiel in der Folge die Entscheidung, den Teilnehmern an den ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften für den Kläranlagenzustandsbericht die Möglichkeit des Zugangs zum KlärAnlagenPortal zu schaffen. Von der Firma DIGILOG wurde dieser „Raum“ Zustandsbericht im „Gebäude“ KlärAnlagenPortal inzwischen eingerichtet.

Die Teilnehmer an den ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften erhielten beginnend im Jahr 2015 die technischen Voraussetzungen für das Nutzen dieses „Raumes“. Ca. 60 % der KAN-Teilnehmer sind bereits „virtuell eingezogen“, d.h. ca. 540 von 970 Kläranlagen haben sich am KlärAnlagenPortal angemeldet und registriert, sodass sie die Möglichkeiten dieses Portals bereits in Anspruch nehmen können. Auch wenn noch „Luft nach oben“ ist, darf dieser Beteiligungsgrad doch als sehr guter Zwischenstand betrachtet werden, bedenkt man die unterschiedlichsten Randbedingungen österreichweit hinsichtlich der vorhandenen Betreiberstrukturen, der IT-Strukturen auf Kläranlagen (soweit überhaupt in nennenswertem Umfang auf kleineren Anlagen vorhanden) und nicht zuletzt hinsichtlich der IT-Strukturen auf Ebene der Bundesländer.

8 Erfolgsfaktoren des Tiroler Modells

Wesentliche Grundvoraussetzung für den Erfolg bei der flächendeckenden Ausstattung der Tiroler Kläranlagen mit der einheitlichen Protokoll-Software DIGIPROT war das gute Klima zwischen Kläranlagenbetreibern und Siedlungswasserwirtschaft im Amt der Tiroler Landesregierung einerseits sowie den Softwareentwicklern beim gemeinsamen Partner Firma DIGILOG andererseits. Auf Basis des guten Klimas zwischen Anlagenbetreibern und Amt wird auch - betreut durch Mitarbeiter der Siedlungswasserwirtschaft des Amtes - die berufsbegleitende Fortbildung für das Betriebspersonal der Kläranlagen im Rahmen der Kläranlagen-Nachbarschaften des Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverbandes (ÖWAV) mit äußerst positivem Echo abgewickelt. Die Tiroler Nachbarschaftstage waren und sind bis heute Foren, in denen regelmäßig konstruktive Rückmeldungen über allenfalls noch sinnvolle weitere Optimierungen des gemeinsamen Datenmanagements gegeben wurden und weiterhin gegeben werden.

Wesentlichen Anteil an den zahlreichen realisierten Programmupdates von DIGIPROT hatten Tools zur Sicherstellung einer möglichst fehlerfreien Datenerfassung (z.B. in Form von Prüfmechanismen bei der Eingabe) und zur fortlaufenden Plausibilitätsprüfung.

Im Zuge der Einführung der einheitlichen Betriebsprotokoll-Software konnten neben der eigentlichen Hauptaufgabe, nämlich der Bereitstellung eines benutzerfreundlichen, dem Bedarf der Anwender schrittweise anpassbaren, flexiblen EDV-Protokolls, eine Reihe von zusätzlichen Erfolgen erreicht werden. So war die Einführung von DIGIPROT in den Anfangsjahren 1996/97 in manchen Fällen Anlass dafür, dem Betriebspersonal zumindest eine Hardware-Grundausstattung zur Verfügung zu stellen (vgl. oben).

Die generelle Abwicklung des Datentransfers zum Kläranlagenaufsichtsdienst bedeutete auch die Einführung der E-Mail-Kommunikation zwischen Kläranlagen und KAAD. Nach einer gewissen Zeit der Eingewöhnung für beide beteiligten Partner etablierte sich diese – 1996/97 bei weitem noch nicht allgemein verbreitete – Form der Kommunikation zu einer immer intensiver, auch für andere Zwecke als die bloße Übermittlung von Protokolldaten genutzten Kontaktmöglichkeit und Informationsschiene, auch zwischen den MitarbeiterInnen auf den verschiedenen Tiroler Kläranlagen.

Durch die Erreichbarkeit aller Anwender der gemeinsamen Protokollsoftware DIGIPROT über E-Mail bzw. Internet reduzierte sich auch der Aufwand bei der Behebung technischer Probleme. In der Regel konnten solche über Fernwartung mit vergleichsweise minimalen Kosten (gegenüber der Anreise und Problembehandlung durch den Softwarelieferanten vor Ort) gelöst werden. Über dieselbe Schiene wurden bis zur Einführung des KlärAnlagenPORTals auch sämtliche Updates an die Anwender ausgeliefert, in der Regel ohne nennenswerte technische Schwierigkeiten oder größeren finanziellen Aufwand.

Generell ist nach 20 Jahren Praxiserfolg in der Anwendung eines gemeinsamen Datenmanagements in der Tiroler Abwasserwirtschaft festzustellen, dass unter den Vertretern der Kläranlagenbetreiber eine durchwegs hohe Bereitschaft zur Arbeit mit zeitgemäßer Informationstechnologie besteht – und zwar über alle Größenklassen von Kläranlagen hinweg, schließlich beteiligen sich kommunale Anlagen mit Bemessungswerten von 300 EW60 bis 400.000 EW60 am Tiroler Modell und haben all diese Anlagen auch den Einstieg in die Ära des KlärAnlagenPORTals mit vollzogen.

Nicht nur aus Tiroler Sicht, also aus der Sicht des „Geburtslandes“ von DIGIPROT, sondern im Hinblick auf eine breite Anwenderbasis und damit im Sinne einer auch zukünftig stabilen Weiterentwicklung des Gesamtsystems ist der Einstieg des Bundeslandes Salzburg in das anfangs ausschließliche Tiroler Modell positiv und höchst erfreulich.

9 Ausblick im Jubiläumsjahr 2016

Die Erfahrungen in Tirol aus 20 Jahren DIGIPROT zeigen trotz kontinuierlicher Verbesserung der Datenverfügbarkeit und der Datenqualität: Initiativen zum Beibehalten bzw. weiteren Steigern sind und bleiben weiterhin zentrales Thema.

Ausbaufähig ist wohl nach wie vor auch die Verfügbarkeit tatsächlich vergleichbarer Daten hinsichtlich Inhalten, Strukturen, Formaten etc. innerhalb Österreichs (vgl. WILDT, 2003). Als ein aktuelles Angebot in diesem Sinn darf das Modul Zustandsbericht im KlärAnlagenPOrtal betrachtet werden: zumindest im Bereich der ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften steht dieses Tool für immerhin fast 1.000 Abwasserreinigungsanlagen österreichweit zur Verfügung – inhaltlich auf dem Niveau des aktuellen ÖWAV-Regelwerks, technisch auf Basis ebenfalls zeitgemäßer Informationstechnologie.

In diesem Sinn darf für den Bereich der ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften an dieser Stelle die herzliche Einladung ausgesprochen werden, die Vorteile des KlärAnlagenPOrtals zu nutzen. Je flächendeckender dieses Portal Akzeptanz und Anwendung findet, umso mehr wird die Plattform zukünftig nicht nur dem Zweck eines rein abwassertechnischen Datenmanagements dienen, sondern darüber hinaus die Basis für noch effizienteren Informationsaustausch innerhalb der ÖWAV-KAN-Gemeinschaft bilden.

In der Siedlungswasserwirtschaft des Landes Tirol wird man sich jedenfalls auch zukünftig im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten um den zweckmäßigen Einsatz von Informationstechnologie zum Datenmanagement bemühen.

10 Literatur

- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, Abteilung Wasserwirtschaft, Sachgebiet Siedlungswasserwirtschaft (ATLR, 2003): Abwasserentsorgung in Tirol, Bericht 2002. Innsbruck. veröffentlicht auch unter www.tirol.gv.at/abwasserbericht
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, Abteilung Wasserwirtschaft (ATLR, 2015a): Trinkwasser und Abwasser in Tirol. Daseinsvorsorge durch kommunale Infrastruktur. Status – Entwicklungen – Investitionen. Innsbruck
- AMT DER TIROLER LANDESREGIERUNG, Abteilung Wasserwirtschaft / Siedlungs- und Industrierwasserwirtschaft (ATLR, 2015b): Kläranlagenkataster Tirol 2013. Innsbruck. veröffentlicht unter www.tirol.gv.at/digikat2013
- BGBI. Nr. 186/1996: Allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (AAEV)
- BGBI. Nr. 210/1996: Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser) idF BGBI. II Nr. 392/2000

- DIGILOG Steuerungstechnik (2004): Benutzerhandbuch Betriebsdatenerfassung DIGIPROT. Fa. DIGILOG Steuerungstechnik, Kirchbichl. Unveröffentlicht
- FIMML, Ch. (2010): Kläranlagenzustandsbericht. ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 22. Vortrag im Rahmen der 19. Sprechertagung der ÖWAV-Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften, 8.9.2010, Pregarten. Veröffentlicht unter www.kan.at
- FIMML, Ch. (2011): Kläranlagenzustandsbericht ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 22. Ergebnisse der Umfrage vom Herbst 2010. Vortrag im Rahmen der 20. Sprechertagung der ÖWAV-Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften, 7.9.2011, Pregarten. Veröffentlicht unter www.kan.at
- FIMML, Ch. (2015): IT-Umsetzung des ÖWAV-Kläranlagenzustandsberichts. Vortrag im Rahmen der 24. Sprechertagung der ÖWAV-Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften, 9.9.2015, Hagenberg. Veröffentlicht unter http://www.kan.at/KAN.aspx_param_target_is_138544_and_Title_is_-Sprechertagung%202015.v.aspx
- FIMML, Ch. (2016): Cloud Computing in der Wasserwirtschaft, ÖWAV-Regelblatt 13. Wiener Mitteilungen, Band 239, 79-108
- INVESTITIONSKOSTENERHEBUNG SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT 2012: Ergebnisse auszugsweise veröffentlicht unter http://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasseroesterreich/foerderungen/trinkwasser_abwasser/aktuelle_projekte/investitionskosten.html
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 1995): Betriebsprotokolle für Abwasserreinigungsanlagen (inkl. Musterprotokolle samt Erläuterungen). ÖWAV-Regelblatt 13. 2., vollständig überarbeitete Auflage. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 1998a): Beiblatt zum ÖWAV-Regelblatt 13. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 1998b): Fremdüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen. ÖWAV-Regelblatt 6, Teil 1: Fremdüberwachung gem. 1. AEV für kommunales Abwasser. Zweite, vollständige überarbeitete Auflage. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 1998c): Eigen- und Betriebsüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen (> 50 EW). ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 14. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 1999): Kläranlagenzustandsbericht. ÖWAV-Arbeitsbehelf Nr. 22. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 2000): Fremdüberwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen. ÖWAV-Regelblatt 6, Teil 2: Gesamtprüfung. Zweite, vollständige überarbeitete Auflage. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 2003): Mindestausrüstung für die Eigen- und Betriebsüberwachung biologischer Abwasserreinigungsanlagen (inkl. Indirekteinleiterüberwachung). ÖWAV-Regelblatt 7. Vierte, vollständig überarbeitete Auflage. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 2010): Eigen- und Betriebsüberwachung von biologischen Abwasserreini-

- gungsanlagen (> 50 EW). ÖWAV-Arbeitsbehelf 14. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 2013): Betriebsdaten von Abwasserreinigungsanlagen. Erfassung, Protokollierung und Auswertung. ÖWAV-Regelblatt 13. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 2015a): Kläranlagenzustandsbericht. ÖWAV-Arbeitsbehelf 22. 2., vollständig überarbeitete Auflage. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSER- UND ABFALLWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWAV, 2015b): Kanal- und Kläranlagennachbarschaften 2015. Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen, Folge 23. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWWV, 1982): Erläuterungen zu den Betriebsprotokollen für Abwasserreinigungsanlagen. ÖWWV-Regelblatt 13. Wien
- ÖSTERREICHISCHER WASSERWIRTSCHAFTSVERBAND (ÖWWV, 1991): Kläranlagennachbarschaften in Österreich – Ein Beitrag zur Reinhaltung der Gewässer. ÖWWV-Arbeitsbehelf Nr. 8. Wien
- WILDT St. (1998): Kläranlagenzustandsbericht. Wiener Mitteilungen Bd. 147, S. 341-377
- WILDT, St. (2004): Eigenüberwachung von Kläranlagen in Tirol: Nutzung eines einheitlichen Datensystems durch Kläranlagenaufsicht und Betreiber. Wiener Mitteilungen, Band 187, Seite 197-220
- WILDT, St. (2008): (Anlagen-) Planung 2008 aus amtlicher Sicht. Wiener Mitteilungen, Band 208, Seite 1-28
- WILDT, St. (2011): Verwendung von Kläranlagendaten auf Länderebene – Beispiel Tirol. Wiener Mitteilungen, Band 224, Seite 1-22

Korrespondenz an:

Dr. Stefan Wildt

Amt der Tiroler Landesregierung
Abteilung Wasserwirtschaft
Herrengasse 1
6020 Innsbruck

Tel.: +43 512 508-4233

Mail: s.wildt@tirol.gv.at

Vorstellung des DWA-A 268 „Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen“

Dr.-Ing. Peter Baumann, Pforzheim

Weber-Ingenieure GmbH, Pforzheim

Abstract: Mit dem neuen DWA-Arbeitsblatt-A 268 zur Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen wurde erstmals im DWA-Regelwerk eine Reihe von bisher bestehenden Merkblättern zu einem einheitlichen Arbeitsblatt zusammengefügt. Zielsetzung ist, Planern und Betreibern von Kläranlagen sowie den Behörden Orientierungshilfen zur Auswahl geeigneter Automatisierungsstrategien und der dazu erforderlichen Messtechnik zu geben. Im nachfolgenden Text werden die Struktur und die wesentlichen Inhalte des A 268 beschrieben. Dazu kommen vertiefte Ausführungen zur Projektabwicklung und zur Wirtschaftlichkeit von Automatisierungslösungen auf Kläranlagen.

Key Words: Kläranlagen, Automatisierung, Belebungsanlage, Projektabwicklung, Wirtschaftlichkeit

1 Einleitung

Die Automatisierung von Kläranlagen kann bei der Abwasserbehandlung insbesondere für Aufgaben der Prozessoptimierung und der Prozesskontrolle eingesetzt werden und damit zu einem verfahrensmäßig wie energetisch effizienten Anlagenbetrieb beitragen.

Für die Automatisierung von Belebungsanlagen stehen in der Regel erprobte Steuer- und Regelungsstrategien zur Verfügung. Bei dem Einsatz von Automatisierungslösungen ist jedoch auch die Wirtschaftlichkeit fallspezifisch zu überprüfen. Dabei sind neben den Kosten für die Anschaffung der Messsysteme und der Einbindung in die Schaltanlage auch die Unterhaltungs- und Wartungskosten zu berücksichtigen [1].

Voraussetzung für eine erfolgreiche Automatisierung ist die Auswahl geeigneter Messsysteme, die den Anforderungen im Abwasserbereich gerecht und an zweckmäßigem Ort eingesetzt werden. Durch den Fachausschuss DWA-KA 13 wurden im DWA-Regelwerk in den letzten Jahrzehnten Empfehlungen für die Messung der Parameter Sauerstoff, Leitfähigkeit, pH, Redox, TS-Gehalt,

Füllstände, Schlamm Spiegel und Trübung (M-256), für N-, P,- und Kohlenstoffverbindungen (M-269) sowie die Durchflussmessung von Gasen (M-264) erarbeitet und ständig fortgeschrieben.

Randbedingungen und Strategien zur erfolgreichen Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen sind im Arbeitsblatt DWA-A 268 beschrieben, welches aktuell (Stand Juni 2015) als Gelbdruck im DWA-Regelwerk vorliegt.

Im Zuge des Einspruchsverfahrens wurden ca. 130 Anmerkungen und Einsprüche an die DWA-Geschäftsstelle gesandt. Die Synopse der DWA mit 34 Seiten wurde zwischenzeitlich durch die zuständige DWA-AG bearbeitet, so dass bis Mitte des Jahres 2016 mit dem Weißdruck des neuen Arbeitsblattes zu rechnen ist.

Ziel des Arbeitsblattes ist, Planern und Betreibern von Kläranlagen sowie den Behörden Orientierungshilfen zur Auswahl geeigneter Automatisierungsstrategien und der dazu erforderlichen Messtechnik zu geben. Im Folgenden werden die Struktur und die wesentlichen Inhalte beschrieben. Hinzuweisen ist jedoch darauf, dass hier kein Fachbuch erstellt wurde, sondern nur die wesentlichen Aspekte von Automatisierungslösungen auf Kläranlagen betrachtet werden konnten.

2 Anwendung- und Geltungsbereich des neuen DWA-A 268

Aufgrund gesetzlicher Vorgaben (Abwasserverordnung AbwV) sind die Konzentrationen von Ammoniumstickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) einerseits und des gesamten anorganischen Stickstoffs ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$) andererseits im Ablauf kommunaler Kläranlagen mit einem Anschlusswert $\text{EW} > 5.000 \text{ E}$ zu begrenzen. Dazu kommen auf der Basis von Immissionsbetrachtungen zunehmend schärfere Anforderungen an die Überwachungswerte auch für kleinere Kläranlagen. Die Umsetzung der Anforderungen an die weitergehende N-Elimination erfordert die Oxidation des im Abwasser vorwiegend in reduzierter Form vorliegenden Stickstoffs (als organisch gebundener Stickstoff und Ammonium) durch die Nitrifikation sowie eine anschließende Entfernung des Stickstoffs aus dem Abwasser mit dem Verfahren der Denitrifikation. Phosphor ist gemäß den Mindestanforderungen im Ablauf von Kläranlagen $> 10.000 \text{ E}$ zu begrenzen, auch hier werden regional die Anforderungen zunehmend auch auf Kläranlagen der Größenklasse 1 -3 ausgedehnt und zur Verbesserung der Gewässerqualität deutlich verschärft. Die gezielte P-Elimination aus Abwasser erfolgt in der Regel mit einer Kombination aus biologischer und chemischer P-Elimination.

Damit die biologische Reinigung in der Kläranlage effektiv durchgeführt werden kann, ist zudem ein entsprechendes Schlammanagement erforderlich. Um Störungen der Reinigungskapazität wegen salzhaltigen Zulaufs oder aufgrund geringer Wasserhärte im Kläranlagenzulauf zu vermindern, ist ggf. eine Anhebung der Säurekapazität im biologischen Reaktor durch die Zugabe von Kalk oder Kreide erforderlich.

Das Arbeitsblatt stellt zunächst die wesentlichen Grundlagen der Stickstoffelimination, der Phosphorelimination, der Säurekapazitätspufferung und des Schlammanagements sowie die im praktischen Einsatz bewährten Verfahrenstechniken zusammen. Im Anschluss wird auf die wichtigsten Messeinrichtungen eingegangen, wobei bezüglich der Stickstoffelimination neben den Online-Messgeräten zur direkten Bestimmung der relevanten Stickstofffraktionen auch auf Einrichtungen zur Messung von Ersatzgrößen verwiesen wird. Der Schwerpunkt des Arbeitsblatts liegt auf der verfahrensorientierten Zusammenstellung der Steuerungs- und Regelungsstrategien, wobei die Zielgrößen, die Regel- und Messgrößen, die möglichen Messorte und die Stellgrößen detailliert beschrieben werden. Damit unterstützt das Arbeitsblatt die Entscheidung über die Steuerungs- und Regelungskonzepte, an die sich später im Planungsprozess die Wahl der Algorithmen für die Steuerung und Regelung, die Reglerparametrierung und die Instrumentierung anschließen. Als Grundlage für die Auswahl der jeweiligen Automatisierungsstrategie kann unter Berücksichtigung der gewählten Verfahrenstechnik der Abschnitt 9 „Wirtschaftlichkeit“ im Arbeitsblatt herangezogen werden. Das Zusammenwirken des DWA-A 268 mit anderen Regelwerken der DWA ist dem Bild 1 zu entnehmen [1].

Das Arbeitsblatt gilt grundsätzlich für Steuerungs- und Regelungskonzepte, die auf kommunalen oder industriellen Kläranlagen beim Belebungsverfahren eingesetzt werden können. Für andere biologische Abwasserreinigungsverfahren, wie z. B. die Biofilm- oder Membrantechnik, kann das Arbeitsblatt – soweit möglich – sinngemäß angewendet werden.

Die Einordnung des DWA-A 268 in weitere DWA-Regelwerke ist der folgenden Abbildung zu entnehmen.

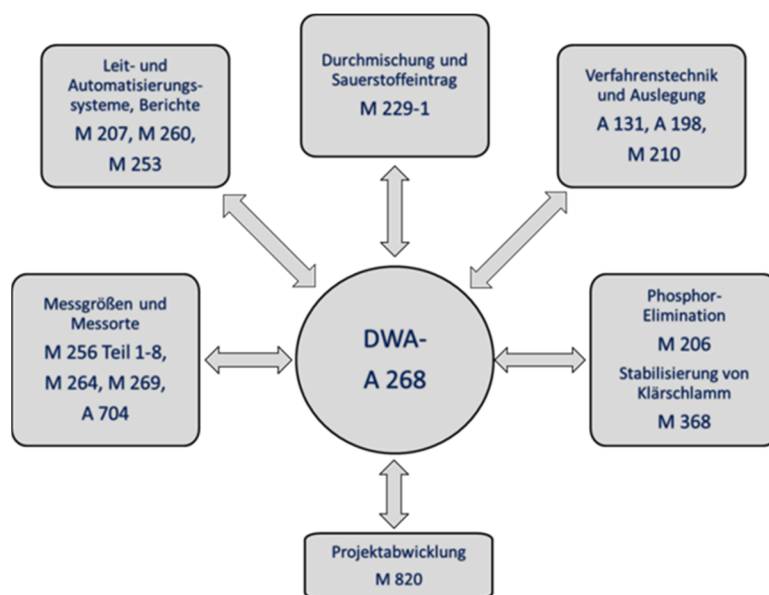


Abbildung 1: Einordnung des DWA-A 268 in das DWA-Regelwerk [1]

3 Struktur und wesentliche Inhalte des DWA-A 268

Zunächst werden nach Beschreibung des Anwendungsbereiches und der Kurzzeichen (Kap. 1 und Kap. 2) im Arbeitsblatt einleitend die Umweltauswirkungen von Stickstoff, Phosphor und Feststoffen auf Gewässer beschrieben (Kap.3.1) und anschließend verfahrenstechnische Grundlagen aufgeführt (Kap. 3.2), die für das Verständnis der Steuer- und Regelungsstrategien erforderlich sind. Dabei werden die Prozesse des Feststoffmanagement, der Stickstoff- und Phosphorelimination sowie der Stützung der Säurekapazität beschrieben. Die regelungstechnischen Grundlagen (Kap.3.3) sollten das Verständnis für die Funktionalität der Automatisierung erleichtern.

Eine Automatisierung basiert auf Messgrößen (Kap 4.1), die an geeigneten Messorten (Kap. 4.2) zu erfassen sind. Gegebenenfalls sind Ersatzwertstrategien (Kap. 4.3) erforderlich und in der Automatisierung zu berücksichtigen.

Steuerungen und Regelungen wirken durch Stellglieder (Kap. 5.2) auf Stellgrößen (Kap. 5.1) ein. Darum werden die im Bereich von Belebungsanlagen relevanten Stellglieder und -größen als wesentliche Elemente von Steuerungen und Regelungen beschrieben.

Die im Arbeitsblatt berücksichtigten Stellgrößen sind:

- Sauerstoffzufuhr
- Zeit (Nitrifikationsdauer, Denitrifikationsdauer)
- Raum (Nitrifikationsvolumen/Denitrifikationsvolumen/ Bio-P-Volumen)
- C-Fracht
- Schlammrückführung
- Überschussschlammabzug
- Fällmitteldosierung
- Alkaliendosierung
- Stickstofffracht
- Zulaufverteilung.

Die wesentlichen Stellglieder sind im Belebungsbecken und für weitere Fluidströme:

- Motordrehzahl für Zwangsförderer (Drehkolbenverdichter)
- Drehzahl oder Diffusor oder Schaufelverstellung für Turboverdichter
- Stellung von Drosselarmaturen in Rohrleitungsnetzen
- Motordrehzahl für Oberflächenbelüfter
- Pumpendrehzahl bei Kreiselpumpen, über Frequenzumrichter
- Drehzahl bei Zwangsförder-Pumpen (Kolbenpumpen, Schlauchpumpen)
- Stellung von Drosselarmaturen in Rohrleitungsnetzen
(Problem: Energievernichtung)
- Wehr- oder Schützhöhe in Kanälen, Verteilerbauwerke
- Ventile (Auf/Zu), Zellradschleusen.

Die Steuerungs- und Regelungsstrategien für die Sauerstoffzufuhr werden beschrieben (Kap. 6) und dabei insbesondere auf die Konzepte der Konstantdruckregelung, Gleitdruckregelung und Luftverteilregelung eingegangen und bewertet.

Der Kern des Arbeitsblattes ist die verfahrensorientierte Zusammenstellung der Steuerungen und Regelkreise (Kap. 7) für die Prozesse

- Feststoffmanagement
- Stickstoffelimination für kontinuierliche Verfahren (vorgeschaltete, simultane, intermittierende, alternierende, nachgeschaltete Denitrifikation) und im Aufstaubetrieb
- Ausgleich von Belastungsschwankungen
- Phosphorelimination
- Stützung der Säurekapazität.

Weiterhin wird kurz auf das Zusammenwirken von Kanalnetz und Kläranlage eingegangen.

Hinweise und Empfehlungen zur Projektabwicklung (Kap. 8) und Wirtschaftlichkeit (Kap. 9) sollen zu einer guten Anwendbarkeit dieses Arbeitsblattes und zu einer effektiven Umsetzung eines Automatisierungsprojektes in der Praxis beitragen [1].

4 Ausgewählte Anwendungsbeispiele

Exemplarisch werden im Folgenden, ausgewählte Prozesse im Hinblick auf die Empfehlungen des neuen DWA-268 kurz beschrieben.

Speicherung von Abwasser zum Ausgleich von Belastungsschwankungen

Durch eine Vergleichmäßigung der Belastung mittels Speicherung ist es möglich, die biologischen Teilprozesse mit relativ konstanten Betriebseinstellungen im optimierten Betriebspunkt zu fahren. Jegliche Belastungsschwankung vermindert im Vergleich dazu den Wirkungsgrad und erhöht den Energiebedarf. Besonders wirtschaftlich kann es sein, bereits auf der Kläranlage vorhandene, aber für den Reinigungsprozess ansonsten nicht genutzte Behältervolumen zu nutzen. Bei der Beschickung der Speicherung ist zu berücksichtigen, dass bereits vor Vollfüllung des Speichers der Zustrom zur Hauptanlage erhöht wird, um hydraulische Stoßbelastungen zu vermeiden.

Für die Steuerung und Regelung eines Speicherbeckens kann der Zufluss verwendet werden, um die biologische Stufe mit nur mit einem mittleren Zufluss zu beaufschlagen und die Tagesschwankungen im Zufluss mittels eines Speicherbeckens auszugleichen. Des Weiteren kann der kontinuierlich

gemessene $\text{NH}_4\text{-N}$ -Wert im Ablauf der biologischen Stufe verwendet werden, um bei unzureichender Nitrifikationsleistung der biologischen Stufe eine Überschreitung der Ablaufwerte im Kläranlagenauslauf durch einen Belastungsausgleich zu verhindern (Bild 2).

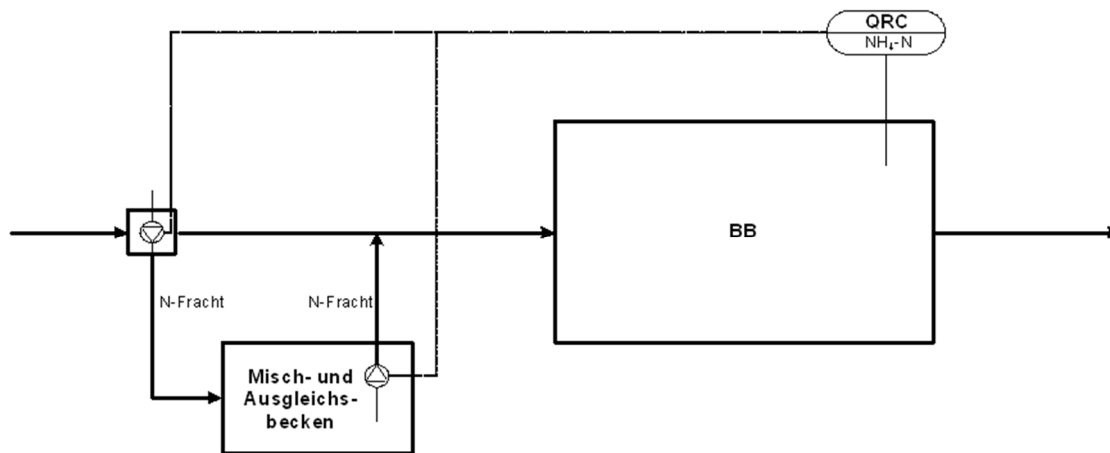


Abbildung 2: Ausgleich von Belastungsschwankungen;
Messgröße: $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration; Stellgröße: Stickstofffracht [1]

Einstellung des Schlammalters

Die Einstellung des Schlammalters richtet sich nach den Reinigungszielen. Das erforderliche Schlammalter ist aufgrund der Wachstumscharakteristik der beteiligten Mikroorganismen stark temperaturabhängig. Die Einstellung eines länger als betrieblich erforderlichen Schlammalters führt zu erhöhtem Sauerstoffbedarf in der Biologie und durch die aerobe Teilstabilisation des belebten Schlammes zu einem vermindertem Gasertrag in der Faulung (soweit vorhanden). Bei der Regelung des Schlammalters ist zu beachten, dass die Anpassung der Biomasse an geänderte Randbedingungen etwa zwei- bis dreifache Schlammalter erfordert und bei der Regelung des Schlammalters eine entsprechende zeitliche Dämpfung berücksichtigt wird. Die Automatisierung des Überschussschlammabzuges in Abhängigkeit des Schlammalters erfordert somit eine sorgfältige Parametrierung der Automatisierungseinstellungen, um auch bei fehlerhaften Messungen eine Beeinträchtigung des Betriebes durch einen übermäßigen Überschussschlammabzug zu verhindern.

Regelung des Sauerstoffbedarfes

Die Versorgung der Biomasse mit Sauerstoff benötigt einen wesentlichen Anteil der insgesamt für die Abwasserreinigung erforderlichen Energie. Insofern kommt der Regelung des Sauerstoffgehaltes (und des belüfteten Volumens) eine besondere Bedeutung zu. Beachtet werden sollte, dass eine $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration von im Mittel unter $1,0 \text{ mg/l}$ $\text{NH}_4\text{-N}$ eingestellt werden sollte, um einen ausreichenden Abstand zum Ausschwemmpunkt der Nitrifikanten sowie eine ausreichende Betriebsstabilität zu haben, auch wenn vergleichsweise ein Betrieb mit Überwachungswerten um $\text{NH}_4\text{-N} = 5,0 \text{ mg/l}$ den erforderlichen Energieeintrag reduzieren würde. Energieeinsparung bei der Belüftung ist auch nicht angezeigt, wenn der Sauerstoff zur aeroben Stabilisierung des belebten Schlammes benötigt wird (Beispiel simultane aerobe oder externe aerobe Stabilisierung). Eine zu gering eingestellte O_2 -Sollkonzentration (z.B. $\text{O}_2 < 0,5 \text{ mg/l}$) kann weiterhin zu einer Verschlechterung des Schlammindex oder bei intermittierend betriebenen Anlagen zu einer ungewollten Phosphatrücklösung im Belebungsbecken führen.

Durch eine Gleitdruckregelung kann im Vergleich zur Konstantdruckregelung deutlich Energie eingespart werden. Der Vorteil der Anwendung der Gleitdruckregelung oder der Luftverteilerregelung in einem System lässt sich mittels eines detaillierten Simulationsmodells nachweisen, wenn die vorhandenen oder geplanten Komponenten des Belüftungssystems entsprechend detailliert beschrieben werden [3]. Eine Simulation des biologischen Systems mit der damit verbundenen relativ aufwendigen Kalibrierung ist dazu nicht erforderlich.

Betrieb von Wechselkaskaden

Bei Erweiterungen oder Neubauten ist die Anordnung einer variabel zu belüftenden Zone sinnvoll. Durch Ab- und Einschalten der Belüftungsaggregate bzw. der Umwälzaggregate wird die Zone je nach Bedarf als Denitrifikations- oder Nitrifikationszone genutzt. Der Einbau entsprechender Belüftungseinrichtungen (bspw. Membranbelüftern), welche bei dieser wechselseitigen Beanspruchung ohne wesentliche Leistungseinbußen belastet werden können, ist dabei Voraussetzung. Relativ einfach ist die variable Kaskade im Sommer-/Winterbetrieb zu betreiben. Die Umschaltung erfolgt in der Regel manuell aufgrund der Messergebnisse im Rahmen der Eigenkontrolle.

Die Regelung der Zuordnung N/DN kann theoretisch auch in Abhängigkeit des aktuellen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Messwertes erfolgen. Ein entsprechendes Zeitglied ($> 1 \text{ h}$) ist aber vorzusehen, um einen ständigen Wechsel zwischen N/DN zu vermeiden. Dieses System ist aber nur im Bemessungslastfall bzw. bei hohen Stickstoffspitzen (auch bei einsetzendem Mischwasserzufluss) sinnvoll zu betreiben.

Bei der simultanen Nitrifikation/Denitrifikation kann durch Zu- und Abschaltung einzelner Rotoren bzw. Rotorengruppen derselbe Effekt erreicht werden. Bei dieser Verfahrenstechnik ist eine optimale Anpassung der Zonen an den Bedarf auf einfache Weise möglich [2].

5 Phosphorelimination

Die Automatisierung der Phosphorelimination wird wie bisher weiterhin ausführlich im Merkblatt ATV-DVWK-M 206 beschrieben. Im DWA-A 268 wurden daher nur eine tabellarische Übersicht der möglichen Steuerungs- und Regelungsstrategien als auch allgemeine Hinweise zur Automatisierung der erhöhten, biologischen P-Elimination aufgenommen [1].

6 Betrieb von Anlagen außerhalb der Vorgaben des DWA-Regelwerkes

Die Arbeits- und Merkblätter der DWA weisen einen definierten Geltungsbereich auf, um die pauschale Anwendung des Regelwerkes auf Sonderlastfälle und spezielle Situationen zu verhindern und die planenden Büros oder den Betreiber auf spezielle Überlegungen hinzuführen. Dies gilt auch für das DWA-A 268, so dass hier – auch außerhalb der Ausführungen im Regelwerk – der Sachverhalt beleuchtet werden sollte.

Aus unterschiedlichen Gründen ist nach eigenen Erfahrungen tendenziell seit einigen Jahren eine Zunahme dieser „Sonderfälle“ zu beobachten.

Hier sind vor allem

- saisonale oder temporäre, einseitige Belastungen aus Indirekteinleitungen
- der Betrieb von Anlagen mit einem vergleichsweise hohen Verhältnis vom Q_M/Q_T , das auch über den Vorgaben des ATV-DVWK A-198 liegen kann
- der Betrieb von Anlagen mit einem Schlamminde > 150 ml/g
- Sicherstellung vergleichsweise (sehr) niedriger Überwachungswerte oder Zielwerte.

zu nennen. In der Regel kommen hier - vordergründig - in Anbetracht der Finanzlage vieler Kommunen aus Kostengründen keine größeren baulichen Erweiterungen der Kläranlage oder der Regenbecken in Frage, zudem lässt sich in diesen Fällen zumindest rechnerisch oft nicht ohne eine deutliche Volumenerhöhung zur biologischen Abwasserreinigung beziehungsweise Schlammabtrennung in der Nachklärung auskommen. Die moderne Automatisierungstechnik kann bei diesen Sonderlastfällen und sachgerechter Anwendung oft eine erhebliche Hilfestellung bieten und damit zur sicheren Einhaltung von wasserwirtschaftlichen Anforderungen führen.

Durch die Kombination von vorgeschalteter und intermittierender Nitrifikation / Denitrifikation mit flexibler, lastabhängiger, gegebenenfalls präkognitiver Volumenaufteilung in Kombination mit einer geregelten Fällmitteldosierung - auch als Zweipunktfällung - lassen sich auch saisonal beziehungsweise stoßartig auftretende Indirekteinleitungen vergleichsweise gut beherrschen. Ebenso sind - (ebenfalls) unter Umständen bereits im Vorfeld erkannte - hohe Mischwasserbelastungen und dadurch induzierte kurzzeitige Ammonium- und Phosphatspitzen durch automatisierte Regelungseingriffe im Hinblick auf das zur Verfügung gestellte belüftete Volumen, die Anpassung der Sauerstoffkonzentration in der Belebung, die zugesetzte Fällmittelmenge sowie begleitende Maßnahmen (Einstellung der Prozesswasserzugabe, Optimierung der Schlammrückführung etc.) zwar nicht vollständig egalierbar, aber in ihrer Bedeutung für das Gewässer unter Einhaltung der wasserrechtlichen Anforderungen doch deutlich zu vermindern.

Dies gilt im Besonderen auch für Situationen, wenn der Feststoffgehalt in der biologischen Stufe aufgrund eines schlechten Absetzverhaltens in der Nachklärung betrieblich gegenüber den Bemessungswerten vermindert werden muss.

Insgesamt lassen sich durch lokal zugeschnittene Prozessregelungen in diesen Fällen rechnerisch fehlende Volumina oft teilweise egalisieren. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass die Betriebssicherheit dieser Anlagen in der Regel geringer ausfällt als bei einer Gestaltung der Anlagenkonfiguration innerhalb der Vorgaben des DWA-Regelwerkes, vereinzelt werden sogar auch gelegentliche Überschreitungen der gesetzlichen Vorgaben in Kauf genommen. Weiterhin ist anzumerken, dass die Einführung entsprechender Automatisierungstechnik ebenfalls mit den entsprechenden Kosten für Investitionen und dem erforderlichen Betriebsaufwand verbunden ist und nicht zum „Nulltarif“ erhalten werden kann. Bei dann ggf. fehlenden, rechnerischen Nachweisen für die Größe der Beckenvolumina kann die mathematische Simulation der Teilprozesse mit entsprechender Simulation der Automatisierungskonzepte eine große Hilfestellung bieten.

7 Projektabwicklung

Im Vergleich zu den bisherigen Merkblättern zur Nährstoffelimination im DWA-Regelwerk sind die Ausführungen zur Projektabwicklung im A 268 völlig neu gestaltet und erweitert. Die Umsetzung von Automatisierungslösungen erfolgt typischerweise entweder

- in einem Projekt mit der Beteiligung mehrerer Gewerke und einem Schwerpunkt im Gewerk Leit- und Automatisierungstechnik oder
- allein im Gewerk der Automatisierungstechnik (ohne Beteiligung der klassischen Objektplanung).

Dabei zeichnen sich Automatisierungsprojekte durch einen hohen Grad an interdisziplinären Problemstellungen aus, wie die Umsetzung von verfahrenstechnischen und energetischen Optimierungen oder die Berücksichtigung der betrieblichen und wartungstechnischen Anforderungen. Ein wesentlicher Faktor für die erfolgreiche Projektabwicklung von Automatisierungsprojekten ist somit die frühzeitige inhaltliche und strukturelle Integration der betroffenen Fachdisziplinen. Dazu ist eine eindeutige Dokumentation der Projektinhalte und -ziele als Grundlage der Projektabwicklung für die Projektbeteiligten zu empfehlen.

In Tabelle 1 sind die übergeordneten Dokumente, die die Projektinhalte und -ziele sowie deren Umsetzung im Projektverlauf durchgehend beschreiben, im zeitlichen Bezug auf die Leistungsphasen (LPH) der HOAI aufgelistet. Es wird

empfohlen, die Erstellung der Dokumente vertraglich explizit zu regeln, um die Verantwortlichkeiten und Schnittstellen eindeutig zu definieren.

Tabelle 1: Zuordnung der Projektziele und Projektinhalte zur HOAI (aus DWA-A 268, Gelbdruck)

Unterlagen	Erstellung	Projektphase	Leistungsphase HOAI
Bedarfsplanung	Auftraggeber	Projektdefinition	In HOAI nicht enthalten
Projekthandbuch	Auftraggeber	Projektdefinition	In HOAI nicht enthalten
Lastenheft	Verfahrensgeber und Fachplaner	Planungsprozess	LPH 2 – 5
Pflichtenheft	Auftragnehmer bzw. Ausrüster	Realisierung	LPH 8
Dokumentation	Auftragnehmer bzw. Ausrüster	Realisierung	LPH 8

Zu Projektbeginn ist eine Bedarfsplanung durchzuführen und die Vorgaben und Wünsche des Bauherren bzw. Nutzers in qualitativer und quantitativer Form zu ermitteln und zu dokumentieren. Es wird empfohlen, die Bedarfsplanung auch bei kleinen Maßnahmen durchzuführen. Die Erstellung einer Bedarfsplanung ist nicht Bestandteil der Grundlagenermittlung (LPH 1) nach HOAI und sollte vom Auftraggeber selbst oder dessen Beauftragten erstellt und dokumentiert werden. Darauf aufbauend werden im Projekthandbuch (Organisationshandbuch) die spezifischen, für das Projekt geltenden Informationen und Regelungen dokumentiert.

Die Auslegung und Konfiguration der Automatisierungsprojekte basieren im Wesentlichen auf den im Lastenheft definierten Anforderungen. Im Lastenheft (auch Funktionsbeschreibung) sind die Anforderungen aus Anwendersicht einschließlich aller Randbedingungen zu beschreiben. Diese sollten quantifizierbar und prüfbar sein.

Weiterhin ist bei Automatisierungsprojekten wichtig, dass die Aufgaben für alle fachlich Beteiligten (Verfahrensgeber, Fachplaner Automatisierung, Fachplaner Maschinenteknik und Ausrüster) klar zugeordnet sind. Im neuen DWA-Arbeitsblatt-A 268 finden sich so Hinweise zu den üblicherweise zugeordneten Verantwortlichkeiten im Planungs- wie im Realisierungsprozess [1].

Tabelle 2: Verantwortlichkeiten im Projektverlauf, Teil 1: Planung (aus DWA-A 268, Gelbdruck mit Änderungen vom September 2015)

Unterlagen	Verfahrensgeber		Fachplaner Automatisierung		Fachplaner Maschinentechnik	
	LPH 1 – 3	LPH 4 – 5	LPH 1 – 3	LPH 4 – 5	LPH 1 – 3	LPH 4 – 5
Vorgabe Verfahren	V	V	Z	Z	Z	Z
Funktionsbeschreibungen	V	V	Z	Z	Z	Z
R+I-Schemata	V	V	Z	Z	Z	Z
Messstellenliste	V	Z	Z	V	Z	Z
Verbraucherliste	V	Z	Z	V	Z	Z
Lastenheft	V	V	Z	Z	Z	Z
Messstellenaufbau	V	Z	Z	V		
Datenpunktliste			V	V	Z	Z
Konfigurator Automatisierungs- und Leittechnik			V	V		
Umbaukonzept für Bestandsanlagen			V	V		
Konzept Systemverfügbarkeit (z. B. Redundanzen)	Z	Z	V	V	Z	Z
Terminplan, Kostenplan	V	Z	Z	V	Z	V
Inbetriebnahmekonzept	V	Z	Z	V	Z	V
Betriebskonzept	V	V	Z	Z	Z	Z
Re-Investitionskonzept	V	V	Z	Z	Z	Z
ANMERKUNG V Verantwortung und Erstellung bzw. Fortschreibung; Z aktive Zuarbeit						

Sofern bei „reinen“ Automatisierungsprojekten weder ein Verfahrensgeber noch ein Fachplaner Maschinentechnik vorhanden ist, sollte frühzeitig geklärt werden, wer dessen Aufgaben real übernehmen kann. Die hier dargestellte Zuordnung zu den beteiligten Fachplanern ist dabei als Empfehlung anzusehen. Es wird daher empfohlen, die Verantwortung für die Erstellung und Fortschreibung der Planungsunterlagen vertraglich explizit zu regeln

In der Projektphase der Realisierung kommt dem Pflichtenheft eine zentrale Bedeutung zu. Das Pflichtenheft nimmt Bezug auf alle Anforderungen des Lastenhefts. Im Pflichtenheft werden die Anwendervorgaben detailliert und ihre Realisierung beschrieben. Das Pflichtenheft wird in der Regel vom Auftragnehmer erstellt und mit dem Auftraggeber abgestimmt. Der Auftragnehmer prüft bei der Erstellung des Pflichtenhefts die Widerspruchsfreiheit und Realisierbarkeit der im Lastenheft genannten Anforderungen. Das Pflichtenheft bedarf immer der Genehmigung durch den Auftraggeber.

Nach der Umsetzung der geplanten Maßnahmen ist aufgrund der komplexen Auswirkung der Funktionen der Automatisierungseinrichtungen auf den stabilen Prozess der abwassertechnischen Anlagen die Inbetriebnahme dann entsprechend detailliert vorzubereiten und durchzuführen. Revisions- und Bestandsunterlagen, insbesondere die Dokumentation der projektspezifischen Programmierleistungen sind so ausführlich zu erstellen, dass spätere Anpassungen z. B. durch das Betriebspersonal möglich sind. Bei komplexen Automatisierungslösungen wird zur Sicherstellung der ordnungsgemäßen Funktion oft ein längerer Probetrieb unerlässlich sein. Hierzu ist darauf hinzuweisen, dass die Betreuung eines Probetriebes sowohl mit dem Auftragnehmer (E-Planer) wie Fachplaner separat zu vereinbaren ist und dies keine klassische Grundleistung (auch innerhalb der Leistungsphasen der HOAI) darstellt.

8 Wirtschaftlichkeit

Die zunehmende Entwicklung auch preisgünstiger Mess- und Regelungstechnik in Kombination mit einem vereinfachten Datenaustausch führt zu einer Vielzahl an nutzbaren Prozessinformationen zur Automatisierung von Belebungsanlagen. Vor der Realisierung eines Automatisierungskonzepts ist jedoch der erzielbare Nutzen gegen den erforderlichen Aufwand und sich ergebende betriebliche Nachteile, sofern die Maßnahme nicht durchgeführt würde, abzuwägen.

Für eine Wirtschaftlichkeitsanalyse ist die vollständige Erfassung aller Kostenbestandteile unerlässlich. Es ist jedoch unabhängig hiervon zu berücksichtigen, dass für jeden Einzelfall verschiedenste Aspekte existieren, die sich einer rein monetären Wertung entziehen. Somit stehen wirtschaftlich direkt bezifferbare Aufwendungen und Einsparungen wie z. B. Investitionen, verringerter Energiebedarf oder verminderter Bedarf an Hilfsstoffen monetär nicht beschreibbaren Aspekten entgegen.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit zielen Automatisierungsstrategien vorrangig auf folgende, wirtschaftlich fassbare betriebliche Vorteile, wie z. B.:

- Verringerung des Energiebedarfs,
- Minimierung des Chemikalien- bzw. Hilfsmittleinsatzes,
- Reduzierung des Schlammvolumens und der Klärschlamm-trockenmasse,
- Verbesserung der Schlamm-beschaffenheit.

Dem stehen monetär nicht bewertbare Aspekte entgegen, wie z. B.:

- Erhöhung der Prozesstransparenz durch Informationsgewinnung,
- Verbesserung der Prozessstabilität durch präventiven Einsatz von Hilfsstoffen,
- Minimierung von Fehlfunktionen,
- Erhöhung der Betriebssicherheit.

Als Nebeneffekt kann im Einzelfall die Abwasserabgabe verringert werden. Der Einsatz von Automatisierungslösungen ist im Regelfall aber nicht mit einer Verringerung des Personalbedarfs verbunden.

Bei entsprechenden Betrachtungen wird empfohlen, die Vor- und Nachteile von Automatisierungssystemen in einer Matrix mit gewichteten Faktoren zu bewerten. Aufgrund der Vielzahl der Kostenanteile, die auch von den jeweiligen Einsatzbedingungen abhängen, ist es im Rahmen des vorliegenden Arbeitsblattes nicht möglich, alle vorgestellten Automatisierungsstrategien zur Automatisierung von Belebungsanlagen in Bezug auf ihre Wirtschaftlichkeit zu behandeln. Auch sind die zahlreich vorliegenden Veröffentlichungen zur Wirtschaftlichkeit verschiedenster Verfahren auf Basis von Einzelfällen nicht zu verallgemeinern.

Allgemein gilt, dass sich Automatisierungsstrategien mit steigender dynamischer Belastung und mit größer werdenden Anlagen schneller amortisieren. Sind Optimierungsmaßnahmen an einer bestehenden Kläranlage vorzunehmen, können sich oftmals durch geeignete Automatisierungen gezielt Anlagenreserven aktivieren lassen.

Für Teilbereiche der biologischen Abwasserreinigung, insbesondere zur Nährstoffelimination, kann der Einfluss von Steuerungen und Regelungen auf die Wirtschaftlichkeit mittels dynamischer Simulation aufgezeigt werden.

Eine Kosten-Nutzen-Betrachtung ist immer nur als Gesamtbewertung der baulichen, maschinen- und automatisierungstechnischen Maßnahmen ziel führend. Bei der Kostenanalyse ist die Gesamtheit der Kapital- und der Betriebskosten über den effektiven Nutzungszeitraum zu berücksichtigen (Lebenszykluskosten). Zunehmend gewinnen auch Betrachtungen zu Umweltauswirkungen an Bedeutung.

Das neue DWA-A 268 bietet daher in einer tabellarischen Übersicht die wesentlichen Kosten- und Nutzenfaktoren bei der Automatisierung von Belebungsanlagen als Hilfestellung für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung [1].

9 Zusammenfassung

Automatisierungslösungen auf Kläranlagen tragen oft mit dazu bei, dass die Anforderungen an die Prozessstabilität (d.h. Einhaltung von Überwachungswerten in der 2-h-Mischprobe bzw. der qualifizierten Stichprobe) weitgehend eingehalten werden und trotzdem eine wirtschaftliche Betriebsführung möglich ist. Je nach örtlichen Gegebenheiten wie Ausbaugröße, Reinigungsverfahren und Qualifikation des Betriebspersonals, sollte aber eine den Verhältnissen angepasste Automatisierungsstrategie in Verbindung mit einer geeigneten Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) eingesetzt werden. Von großer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang auch die sorgfältige Projektierung der Steuer- und Regeleinrichtungen durch den beauftragten Planer sowie die sachgerechte Umsetzung durch eine Ausrüsterfirma. Hierzu sind dem neuen DWA-A 268 umfangreiche Hinweise zu entnehmen.

Der Einsatz der Automatisierungstechnik mit dem Ziel, aus Gründen der Betriebsmitteleinsparung die Betriebswerte möglichst „nah“ an den festgelegten Überwachungswert „heranzufahren“, kann bei den Parametern P_{ges} (Fällmittelreduzierung wie Minimierung der Kosten der Schlammbehandlung) und N_{anorg} (Einsparung von externen Kohlenstoffquellen) nachvollzogen werden, ist aber bezüglich des Parameters „Ammonium“ (um Betriebskosten für die Belüftung zu sparen) aus Gründen des Gewässerschutzes wie der Betriebsstabilität der Anlage strikt abzulehnen [2,3].

Aufgabenstellungen der Zukunft bestehen in

- einer noch besseren Einbindung von MSR-Konzepten bei der Auslegung und der Gestaltung von verfahrenstechnischen Konzepten. Die nachträgliche Behandlung der Automatisierungstechnik - nach der Fertigstellung des verfahrenstechnischen Konzeptes - ist nicht mehr zielführend.
- der Verhinderung von untauglichen Automatisierungskonzepten durch sachgerechte Planung sowie Ausführungsleistungen und/oder mit Unterstützung begleitender Maßnahmen des fachtechnischen, ggf. externen Controllings
- einer besseren Verankerung der Grundlagen der MSR-Technik in der Lehre
- einem verbesserten Erfahrungsaustausch bezüglich der Implementierung von Automatisierungslösungen bei dem Betrieb von Abwasseranlagen.

Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang die zweijährlich stattfindenden Gemeinschaftstagung der DWA und des VDI/VDE zur Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen, die sich in der Vergangenheit sehr gutem Zuspruch erfreute. International kann vor allem auf die Fachtagungen der IWA verwiesen werden. Hier steht im Einzelfall der Praxisbezug der vorgestellten Lösungen jedoch manchmal etwas im Hintergrund.

Der DWA-Fachausschuss KA 13 „Automatisierung von Kläranlagen“ wird sich den genannten Thematiken auch in der Zukunft annehmen. Lokal gute Steuer- und Regellösungen unter Einbindung der Prozessmesstechnik obliegen aber dennoch immer den Fachleuten vor Ort, das DWA-Regelwerk kann hier immer nur eine Hilfestellung bieten [2].

10 Literatur

10.1 DWA-Regelwerk

ATV-DVWK-A 131 (Mai 2000): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. Arbeitsblatt

DWA-A 131 (Entwurf März 2015): Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. Arbeitsblatt

ATV-DVWK-A 198 (April 2003): Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen. Arbeitsblatt

ATV-DVWK-M 206 (November 2001): Automatisierung der chemischen Phosphatelimination. Merkblatt

DWA-M 207 (Juli 2007): Informations- und Kommunikationsnetzwerke für die Abwassertechnik. Merkblatt

DWA-M 210 (Juli 2009): Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (SBR). Merkblatt

DWA-M 229-1 (Mai 2013): Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen – Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung. Merkblatt

DWA-M 253 (März 2011): Leit- und Automatisierungstechnik auf Abwasseranlagen. Merkblatt

DWA-M 256-1 (Juni 2011): Prozessmesstechnik auf Kläranlagen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Merkblatt

DWA-M 256-2 (Juni 2011): Prozessmesstechnik auf Kläranlagen – Teil 2: Messeinrichtungen zur Bestimmung des Sauerstoffgehaltes. Merkblatt

DWA-M 256-4 (November 2013): Prozessmesstechnik auf Kläranlagen – Teil 4: Messeinrichtungen zur Bestimmung des pH-Wertes und des Redoxpotentials. Merkblatt

DWA-M 256-5 (Juli 2014): Prozessmesstechnik auf Kläranlagen – Teil 5: Messeinrichtungen zur Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes. Merkblatt

DWA-M 256-6 (Juni 2014): Prozessmesstechnik auf Kläranlagen – Teil 6: Messeinrichtungen zur Bestimmung des Füll- und Grenzstandes. Merkblatt

DWA-M 256-7 (Juli 2014): Prozessmesstechnik auf Kläranlagen – Teil 7: Messeinrichtungen zur Bestimmung der Trübung. Merkblatt

DWA-M 256-8 (Juli 2013): Prozessmesstechnik auf Kläranlagen – Teil 8: Messeinrichtungen zur Bestimmung des Schlammspiegels. Merkblatt

ATV-DVWK-M 260 (Juli 2001): Erfassen, Darstellen, Auswerten und Dokumentieren der Betriebsdaten von Abwasserbehandlungsanlagen mit Hilfe der Prozessdatenverarbeitung. Merkblatt (in Überarbeitung, für 2016 avisiert)

DWA-M 264 (Mai 2015): Gasdurchflussmessungen auf Abwasserbehandlungsanlagen. Merkblatt

DWA-M 269 (März 2008): Prozessmessgeräte für Stickstoff, Phosphor und Kohlenstoff in Abwasserbehandlungsanlagen. Merkblatt (in Überarbeitung, für 2017 avisiert)

DWA-M 368 (Juni 2014): Biologische Stabilisierung von Klärschlamm. Merkblatt

DWA-M 820 (in Bearbeitung): Qualität von Ingenieurleistungen optimieren – Vorbereitung, Vergabe und Durchführung. Merkblatt

10.2 Weitere Literatur

[1] P. Hartwig und P. Baumann: Automatisierung von Belebungsanlagen – Das neue DWA-A 268. Vortrag im Rahmen der 2. Kläranlagentage am 10.06.2016 in Kassel

[2] P. Baumann: Automatisierungslösungen für Kläranlagen. Vortrag im Rahmen des Kurses P/2 „Kommunale Abwasserbehandlung“ der DWA am 05.11.2015 in Kassel

[3] P. Baumann und U. Zettl: Energieeinsparung durch Automatisierung von Belüftungssystemen, Vortrag im Rahmen des 5. Infotag IWAR Abwassertechnik am 26.11.2015 in Darmstadt

Korrespondenz an:

Das Arbeitsblatt DWA-A 268 wurde von der DWA-Arbeitsgruppe KA-13.4 „Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen“ im DWA-Fachausschuss KA-13 „Automatisierung von Kläranlagen“ erstellt.

Der Autor ist in beiden Fachgremien als Mitglied und im KA 13 als stellvertretender Obmann tätig.

bis 29.02.2016:

Dr.-Ing. Peter Baumann, Weber-Ingenieure GmbH, Bauschlotter Str. 62. D-75177 Pforzheim, Tel.: ++49 (0) 7231 583-121, E-Mail: peter.baumann@weber-ing.de

und

ab 01.03.2016:

Prof. Dr.-Ing. Peter Baumann, Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart, E-Mail: peter.baumann@hft-stuttgart.de, Tel. ++49 711 8926-2830 oder E-Mail: dr.pbaumann@gmx.de, (www.dr-peter-baumann.de), Tel: ++49 (0) 1578 1013458

MSR Praxiserfahrung, Feldbus

Karl Palkowitz

Abwasserverband Schwechat

1 Vorstellung

Mein Name ist Karl Palkowitz und ich bin seit 1988 beim Abwasserverband Schwechat beschäftigt. Zu meinen Aufgaben im Unternehmen zählen die Leitung und die Organisation der Instandhaltung im Bereich der EMSR Technik. Außerdem bin ich seit 2006 vom ÖWAV mit der Durchführung des Elektrotechnikgrundkurses beauftragt.

Beim Abwasserverband Schwechat sind Feldbussysteme seit 1996 im Einsatz. Es gibt ca. 300 Messstellen, davon sind rd. 75% mittels Feldbussystemen an die Automatisierung (SPS) angebundenen, die restlichen Messgeräte werden über eine 4-20 mA-Schnittstellen gekoppelt.

Weiteres sind ca. 50 Schieber bzw. Regelschieber mit Motorantrieben über Profibus FMS bzw. DP installiert und es wird eine Vielzahl von Antrieben mit Frequenzumrichtern geregelt, welche auch zu 75% mit Profibus an die SPS gekoppelt sind.

Daraus kann man schon erkennen, dass der Feldbus auf unserer Anlage stark vertreten ist

1.1 Erste Begegnung mit Feldbussystemen

In der Vorbereitung zur Erweiterung der Kläranlage im Jahre 1996, wurde ich im Zuge der Teilnahme an Seminaren und Fachmessen erstmals auf die Feldbustechnik aufmerksam. Nach vielen Recherchen in Form von Gesprächen und Vorführungen bei Messtechnikfirmen, haben wir uns entschieden, diese Technologie auf unserer Kläranlage einzusetzen.

Zur Ausschreibung gelang schlussendlich der von der Firma Endress & Hauser entwickelte Feldbus (RackBus).

Die gesamte Messtechnik der Kläranlage wurde auf vier Stationen zusammengefasst und mit einem Protokollwandler Rackbus Profibus an die SPS mit Profibus FMS gekoppelt. In weiterer Folge wurden dann auch die Regel- und Absperrvorrichtungen der Firma AUMA über den Profibus FMS mit den SPS verbunden.

Die ersten Probleme traten bereits bei den ersten Koppelversuchen auf. Wir mussten früh feststellen, dass Profibus FMS nicht gleich Profibus FMS war. Die Herausforderung lag darin, dass die Norm ein so weiten Bereich festgelegt hat, dass wir bei drei verschiedene Fabrikate mit entsprechend unterschiedlichen Einstellungsvarianten vereinen mussten, damit der Bus funktionieren konnte.

Es benötigte viele Gespräche, die bis zu den Entwicklern der Produkte reichten, um eine Lösungen zu finden. Nach diverssem Austausch von Firmware in den Geräten schafften wir es den Bus funktionstüchtig zu machen.

Bis heute wird in verschiedenen Anlagenteilen der Rackbus und der Profibus FMS noch eingesetzt. Da Ersatzteile für diese Technologie nicht mehr lieferbar waren, aber eine Vielzahl an magnetisch-induktiven Mengenmessungen im Einsatz sind, haben wir uns im Jahr 2013 entschlossen das Rackbusprotokoll der Firma Endress & Hauser zu kaufen und den Rackbus in unseren SPS ausprogrammiert.

1.2 Warum Feldbus ?

Aufgrund der raschen Weiterentwicklung in der Technik, ist es in der Automatisierung möglich, dass die meisten Messgeräte oder andere Komponenten, wie z.B. Regelschieber oder Frequenzumrichter eine große Anzahl an Informationen zu Verfügung stellen können.

Das können beispielsweise bei einem Frequenzumrichter Leistungsdaten oder Energieverbrauchsdaten sein. Bei der klassischen Kommunikation ist es immer nur möglich einen Wert über einen Ausgang oder Eingang zu übertragen. Durch den Einsatz von Feldbussystemen sind wir bei der Datenkommunikation zwischen den Feldbusgeräten und der Automatisierung nahezu uneingeschränkt in der Menge der kommunizierenden Daten.

Ein weiterer Vorteil der Feldbussysteme liegt aus meiner Sicht in der Verarbeitung der Signale. Feldbusgeräte, auf dem heutigen Stand der Technik, sind in der Lage digitale Formate zu verarbeiten und diese gleich im digitalen Format an weitere zu verarbeiteten Komponenten zu übertragen. So können mögliche Fehler, die bei der Analog-Digitalwandlung auftreten, ausgeschlossen werden. Z.B. Skalierungsfehler, die bei der Analogverarbeitung immer wieder auftreten können so vermieden werden.

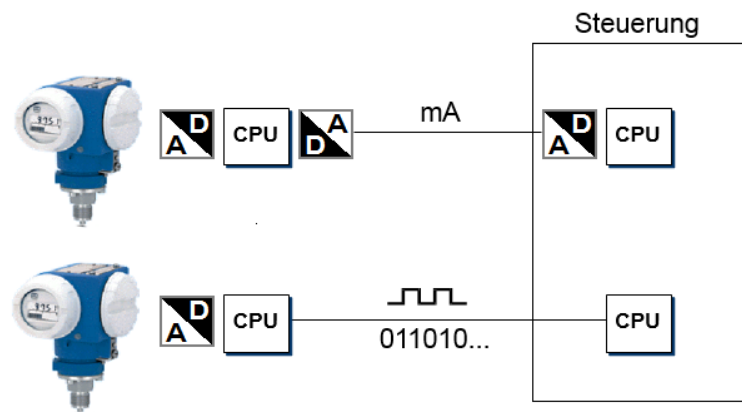


Abbildung 1 Analog-Digital-Wandlungen

Durch den Einsatz von Feldbussystemen bieten sich einige Vorteile, wie die Kosteneinsparung bei der Schaltschrankhardware, an. Im Vergleich zur klassischen Hardware werden weniger SPS-E/A-Module und -Koppelrelais, Überspannungsschutz, Signaltrenner, usw. benötigt. Außerdem ist eine Fernparametrierung und Funktionsüberwachung der Feldbusgeräte mit den verschiedenen Softwaretools der Hersteller möglich und bietet dem Instandhaltungspersonal eine einfache und schnellere Inbetriebnahme.

2 Feldbusmöglichkeiten

Der PROFIBUS

Mit Profibus wurde ein offener und firmenneutraler Feldbusstandard geschaffen, Geräte aller möglichen Hersteller sind mit diesen Schnittstellen ausgerüstet. Auf Grund seiner umfassenden aber auch differenzierten Funktionalität deckt der Profibus neben der Feldebene große Bereiche der Messtechnikensoren, Drehzahlreglern, Automatikschiebern bzw. Ventilen ab und gewährleistet eine gute Durchgängigkeit zu übergeordneten Bussystemen der Leitebene. Dies wird

durch die beschriebenen Ausprägungen des Profibus: Profibus-FMS, -DP und -PA deutlich.

2.1 Der PROFIBUS FMS (Fieldbus Message Specification)

Der Profibus FMS eignet sich vor allem für die Kommunikation in dem Bereich, in dem vorwiegend Automatisierungsgeräte, wie SPSen und PCs miteinander kommunizieren. Es ist als Vorläufer von DP zu verstehen.

2.2 Der PROFIBUS-DP (Dezentrale Peripherie)

Der Profibus-DP nützt die RS485 Datenübertragungstechnik und ist zugeschnitten auf die Anforderungen für den schnellen, effizienten Datenaustausch zwischen den Automatisierungsgeräten und den dezentralen Geräten wie, z.B. binäre oder analoge Ein-/ Ausgangsmodule und Antriebe. Diese Verlagerung der Peripherie in die Feldebene ermöglicht enorme Einsparung bei der Verkabelung. Damit ist das Anwendungsfeld dem Profibus nach unten hin ergänzt. Es ist möglich, Profibus-FMS und Profibus-DP gleichzeitig auf einem einzigen Kabel zu betreiben. Profibus-DP wird hauptsächlich in der Fertigungsautomatisierung eingesetzt und ist die meistverbreitete Profibus - Variante.

2.3 Der PROFIBUS-PA (Prozessautomatisierung)

Der Profibus-PA wurde konstruiert, um in explosionsgefährdeten Bereichen der Prozessautomatisierung, die durch den Feldbus gewonnenen Vorteile nutzen zu können. Hauptsächlich die Betriebe der chemischen Industrie sowie Betriebe mit Lackiertechnik nutzten den Profibus-PA.

Für den Betrieb Profibus -PA werden Segmentkoppler eingesetzt. Dieser übernimmt nicht nur die Energieversorgung der Busteilnehmer, sondern auch die Pegelumsetzung der physikalischen Schicht 1, z.B. von Profibus -DP mit RS 485 auf Profibus -PA mit Signalen nach sowie eine Anpassung der Übertragungsrate auf 31,25 Kbit/s. Für Teilnehmerzahlen von 13-32, je Segment im eigensicheren Bereich, kann die Stromversorgung auch über separate Leitungspaare erfolgen (Fremdeinspeisung). Im Voltage Mode führt die Übertragungsleitung gleichzeitig die benötigte Hilfsenergie, sie wird an beiden Enden mit Abschlusswiderständen versehen.

3 Netz Topologie

Alle Geräte, bis zu 32 Teilnehmer (Master oder Slaves), können in einer Busstruktur (Linie) angeschlossen werden. Anfang und Ende eines jeden Segments wird mit einem aktiven Busabschluss (bus termination) versehen wobei für einen störungsfreien Betrieb sichergestellt werden muss, dass beide Busabschlüsse ständig mit Spannung versorgt werden. Der Busabschluss ist üblicherweise in den Geräten bzw. den Busanschlusssteckern zuschaltbar ausgeführt.

Bei mehr als 32 Stationen oder zur Erweiterung der Netzausdehnung können Leitungsverstärker (Repeater) eingesetzt werden, welche die einzelnen Bussegmente verbinden. Aus meiner Erfahrung ist es besser auf solche Repeater zu verzichten und die einzelnen notwendigen Segmente an die SPS zu koppeln. Daraus ergibt sich der Vorteil, dass bei möglichen Störung oder Problemen beziehungsweise Umbau oder Erweiterung am Feldbus nicht der gesamte Strang mit allen seinen Teilnehmern ausfällt.

4 Installation

Bei der Installation von Feldbussystemen ist besonders auf die Kabel- und Verbindungstechnik zu achten. Am Markt werden für sämtliche Feldbussysteme die dazugehörigen Verbindungsklemmen, -dosen, und Überspannungsschutzklemmen angeboten. Es ist ratsam Feldbussysteme nur mit den richtigen Komponenten aufzubauen um einen zuverlässigen Betrieb zu gewährleisten. Fehler, wie das vertauschen von Adern oder schlechte Klemmstellen, verursachen unter Umständen größere Probleme am installierten Bus. Oft verursacht eine schlechte Verbindungsstelle schon eine Instabilität am Bussystem. Eine übersichtliche strukturierte Verkabelung der Bussegmente bietet bei einer eventuellen Fehlersuche viele Vorteile. Segmente mit weniger Teilnehmer sind leichter zu untersuchen.

Beim Anschluss der Teilnehmer ist darauf zu achten, dass die Datenleitungen nicht vertauscht werden. Um eine hohe Störfestigkeit des Systems gegen elektromagnetische Störstrahlungen zu erzielen, sollte unbedingt eine geschirmte Datenleitung (Typ A ist geschirmt) verwendet werden. Der Schirm sollte möglichst beidseitig und gut leitend über großflächige Schirmschellen an die Schutzterde (protective ground) angeschlossen werden. Weiterhin ist zu beachten, dass die Datenleitung möglichst separat von allen starkstromführenden Kabeln verlegt wird. Bei Übertragungsraten $\geq 1,5$ MBit/s

sind Stichleitungen unbedingt zu vermeiden. Die am Markt angebotenen Stecker bieten die Möglichkeit, das kommende und das gehende Datenkabel direkt im Stecker zu verbinden. Dadurch werden Stichleitungen vermieden und der Busstecker kann jederzeit, ohne Unterbrechung des Datenverkehrs, am Bus auf- und abgesteckt werden. Die für die Übertragungstechnik nach RS485 geeigneten Steckverbinder unterscheiden sich je nach Schutzart. In der Schutzart IP 20 wird vorzugsweise ein 9-poliger D-Sub Steckverbinder verwendet oder es wird mit Profibus-Anschlussklemmen (Abbildung 3) oder Verbindungsboxen (Abbildung 2) gearbeitet, diese werden mit einem Fixanschluss oder mit M12 Steckern angeboten.



Abbildung 2: Profibus Klemmenblock

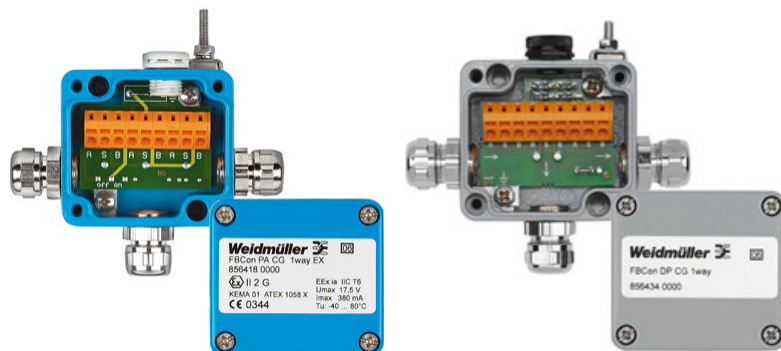


Abbildung 3: Profibus Anschlußboxen

5 Problemlösung und Fehlersuche

Die meisten Probleme an Bussystemen treten nicht im Betrieb, sondern bei der Inbetriebnahme auf. Angefangen bei falschen Kabeln, dem Vertauschen von den Adern (A, B), schlechten Verbindungen, weiter über falsche oder defekte Überspannungsableiter, bis zum Vertauschen der Bussysteme, z.B. Profibus DB Gerät an Profibus PA Strang und umgekehrt. Doppelte oder falsche Adressen der Busteilnehmer ist ebenso eine Fehlerquelle, um einige Beispiele hier angeführt zu haben.

Natürlich gibt es bei einer so hohen Vielzahl an installierten Feldbusgeräten auch Störungen und Ausfälle, die meist durch defekte Profibuskomponenten in den Messgeräten, Motorschiebern oder Frequenzumrichtern hervorgerufen werden.

Das Erkennen solcher Verbindungsprobleme sollte im SPS Programm so gelöst sein, dass wenn ein Teilnehmer nicht erreichbar ist, dieser am Leitsystem als Verbindungstörung dargestellt wird. So kann man im ersten Schritt das Gerät

austauschen und die Störung beheben um einen weiteren Normalbetrieb zu gewährleisten.

Manchmal verursachen fehlerhafte Busteilnehmer auch einen instabilen Betrieb eines einzelnen Stranges. In diesen Fällen muss der betroffene Strang untersucht werden. Dies hört sich im ersten Moment bestimmt komplexer an und man denkt an den Einsatz von teuren Spezialisten oder Messgeräten. Meine Erfahrung zeigt mir, dass der erste Weg eine Überprüfung der Verkabelung einschließlich der Anschlusspunkte und Klemmstellen oft schon die Lösung war. Korrosionen in Steckern, Anschlussdosen oder Klemmen sind häufig ebenfalls Verursacher von Störungen an solchen Bussystemen.

Wenn alle die aufgezählten Möglichkeiten keinen Erfolg bringen, muss man dann doch zu Messgeräten greifen. Am Markt werden viele, spezielle Profibus-Tools angeboten, die einfach und verständlich bei einer Fehlersuche weiterhelfen können. Auch mit einem einfachen Oszilloskop ist eine Fehlersuche möglich. Der Unterschied in den beiden Möglichkeiten besteht darin, dass die Profibus-Tools so ausgelegt sind, dass man nicht unbedingt ein Spezialist sein muss und es bei der Auswertung der Messungen Hilfe bietet. Wobei im Umgang mit dem Oszilloskop schon Erfahrung im Bereich der Messtechnik vorhanden sein muss.

Mein Fazit durch meine langjährige Erfahrung in der Arbeit mit Feldbussen, sagt mir, dass diese Technologie eine Vielfalt an Möglichkeiten bietet. Im Vergleich zur herkömmlichen analogen Technik können, bei gleicher Stabilität und gleichem Aufwand, viel mehr Informationen aus den Komponenten bereitgestellt und verarbeitet werden, was für den Betrieb der Anlage sehr nützlich ist.

6 Literatur

Profibus Technik, Autor, Prof. Max Felser, PROFIBUS Kompetenzzentrum
Fachbuch Elektrotechnik, Europabuch

7 Bilder

Endress & Hauser Website
Weidmüller Produktkatalog

Korrespondenz an:

Karl Palkowitz

Abwasserverband Schwechat
Poigenauweg 1, 2320
Schwechat-Mannswörth

Tel.: 0664 / 820 52 52

Mail: k.palkowitz@awvs.at

Datenmanagement: Vom Sensor zum Report

Andreas Winkelbauer

Technische Universität Wien,
Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

Abstract:

Digitale Datenverarbeitung unter Anwendung exponentiell wachsender Rechenleistung beteiligter Computersysteme führt zu neuen, erweiterten Möglichkeiten des verteilten Datenmanagements und der Datenvisualisierung. Gleichzeitig treten erweiterte und neue Anforderungen an die Datenhaltung sowie die Sicherheit und Robustheit der beteiligten Systeme hervor. Die Grundlagen der Datenerfassung und Datenhaltung sowie die Anknüpfungspunkte an neue Technologien werden dargelegt.

Key Words: Datenmanagement, Datenverarbeitung, Datenvisualisierung

1 Einleitung

Das Ziel des vorliegenden Beitrags ist eine anschauliche, aber nicht umfassende Darstellung relevanter Bedingungen und Grundlagen des Datenmanagements von Messdaten, beginnend bei der Datenerfassung bis hin zu einem (automatisierten) Reporting. Der Schwerpunkt der angeführten Referenzen ist auf Überblicksarbeiten in den jeweiligen Bereichen gelegt.

2 Grundlagen der modernen, automatisierten Datenverarbeitung

Auch in der Wasserwirtschaft werden mögliche Auswirkungen neuer Methoden der Datenverarbeitung und des Datenmanagements in der industriellen Produktion in Analogie zur Industrie 4.0 diskutiert (49. Essener Tagung, „*Wasserwirtschaft 4.0*“). In Anlehnung an diese aktuellen Themen wird im folgenden Abschnitt ein Überblick zu Begrifflichkeiten und Entwicklungen der Automatisierungstechnik gegeben, sowie ein Schwerpunkt auf die Fragestellungen der Datenverarbeitung und Datenhaltung gelegt.

2.1 Definitionen

Der Begriff „Industrie 4.0“ wurde auf der Hannovermesse 2011 vom gleichnamigen Arbeitskreis im Rahmen der Hightech-Strategie der deutschen Bundesregierung geprägt [Kagermann *et al.*, 2011]. Synonym dazu wird auch der Begriff „4. industrielle Revolution“ verwendet. Eine industrielle Revolution bezeichnet im Allgemeinen „einen raschen Wandel von Produktionstechniken und, daraus abgeleitet, von wirtschaftlich-gesellschaftlichen Strukturen“ [Springer Gabler, 2016].

Abbildung 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der bisher stattgefundenen industriellen Revolutionen. Die erste industrielle Revolution wurde im 18. Jahrhundert durch die Entwicklung der Dampfmaschine ausgelöst und ermöglichte durch die Entwicklung von Arbeits- und Kraftmaschinen eine bessere Versorgung der Bevölkerung und eine anschließende Bevölkerungsexplosion. Die zweite industrielle Revolution im 19. Jahrhundert war wesentlich durch die Elektrifizierung und die damit mögliche dezentrale Versorgung der Maschinen geprägt. Die dritte industrielle Revolution im 20. Jahrhundert stand ganz im Zeichen der Entwicklungen im Bereich der Elektronik und der Digitalisierung und wird deshalb auch „digitale Revolution“ genannt. Viele neue Anwendungen in der Automatisierung der Produktionssysteme bis hin zu weltweiter, digitaler Kommunikation, waren die Folge [Bauernhansl, 2014].

Industrie 4.0 – Zukunft der Produktion

Übersicht der industriellen Revolutionen

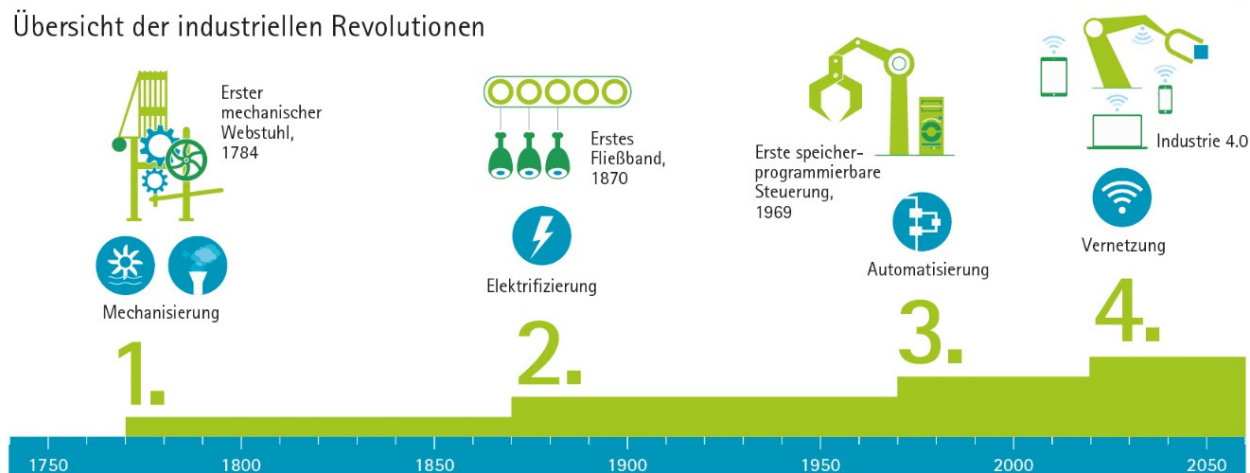


Abbildung 1: Industrie 4.0 [Bild: BMVIT, 2014]

Kennzeichen der aktuell laufenden vierten industriellen Revolution schließlich ist die enge Vernetzung einer großen Zahl von oft dezentral verteilten, leistungsfähigen Endgeräten zur Datenaufnahme- und Weiterverarbeitung im

Rahmen sogenannter CPS (*cyber-physikalischen Systemen*) [Saldivar *et al.*, 2015]. Echtzeitfähige Systeme der Automatisierungstechnik mit einer großen Zahl an Sensoren, Aktoren und entsprechend hohem Datenaufkommen, mit ausgefeilten Benutzerschnittstellen, welche auch auf Mobilgerät aufgerufen werden können, sind typische Vertreter dieser CPS. Im Rahmen der Systementwicklung muss dabei besonders auf Aspekte der Benutzerinteraktion, Effizienz, Sicherheit und Robustheit Rücksicht genommen werden [Reddy, 2014]. Die zu beachtenden Schritte beim Übergang von klassischen Automatisierungs-Architekturen hin zu einem serviceorientierten CPS können in drei Bereiche gegliedert werden: Wahrung der funktionalen Integration, Gruppierung der Geräte und Sicherung der Echtzeit-Fähigkeit des Systems [Delsing *et al.*, 2012].

Die zunehmende Heterogenität und Dichte der zu verarbeitenden Daten wird unter dem Begriff „Big Data“ subsummiert. Big Data lässt sich am ehesten mit „Massendaten“ übersetzen. Eine erste Charakterisierung des Begriffs wurde 2001 mit dem „3V“-Modell getroffen: *Volume*, *Velocity*, *Variety* [META Group, 2001]. *Volume* bezeichnet die bei Big Data auftretenden, großen Datenmengen, *Velocity* die typischerweise hohen Erfassungstakte beziehungsweise die Notwendigkeit der sofortigen Analyse von Datenströmen und schließlich *Variety* die Vielseitigkeit der dabei verwendeten Datentypen und -quellen im Sinne von teil- und unstrukturierten Daten. Diese Definition ist um zusätzliche Begriffe erweitert worden [Demchenko *et al.*, 2013]; für das intuitive Verständnis ist im Wesentlichen das 3V-Modell ausreichend.

Ein weiterer, in diesem Zusammenhang gebräuchlicher Begriff bezeichnet das IoT, das *Internet of Things*. Das Basiskonzept von IoT ist die drahtgebundene bzw. drahtlose Vernetzung von uns umgebenden Dingen oder Objekten mit der sich dadurch ergebenden Interaktion durch (auch autonome) Software-Agenten über standardisierte Schnittstellen [Atzori *et al.*, 2010]; dies führt zu einer umfassenden Dezentralisierung der Datenverarbeitung, angetrieben durch fortwährende Miniaturisierung von eingebetteten Systemen.

Als entscheidende Basis dieser Entwicklungen kann die im Wesentlichen exponentielle Entwicklung der Rechenleistung von (Mikro-)Computersystemen gesehen werden. Basierend auf Beobachtungen von Gordon Moore, Mitbegründer der Firma Intel, wurde in den 1970er-Jahren das Mooresche Gesetz begründet: Eine Verdoppelung der Anzahl der Bauelemente und damit einhergehend eine (quasi)exponentielle Erhöhung der Leistungsfähigkeit einer elektronischen Schaltung alle zwölf Monate wurde prognostiziert [Moore, 1965], siehe dazu

auch Abbildung 2. Die Rate wurde in späteren Arbeiten geringfügig in Richtung niedrigeren Anstiegs korrigiert.

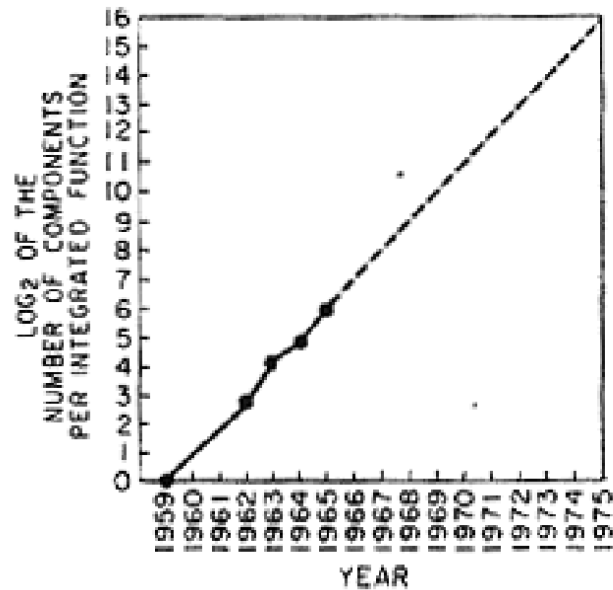


Abbildung 2: Projektion der jährlichen Verdoppelung [Moore, 1965]

Erst als Ausblick auf die zu erwartenden Entwicklungen gedacht, wandelte sich das Verständnis des Mooreschen Gesetzes hin zu einer für die Industrie selbsterfüllenden Prophezeiung. Die Steigerung der Anzahl der Bauelemente pro Chip ist dabei nicht direkt in eine Steigerung der Rechenleistung aufrechenbar, bleibt aber im Wesentlichen exponentiell, wenn auch davon auszugehen ist, dass sich die Zeiträume zwischen einer Verdoppelung künftig verlängern werden [Moore, 2003]. Die kontinuierliche Steigerung der Leistungsfähigkeit ist typisch für diesen Bereich der Mikroelektronik und, Nutzbarmachung in den Anwendungen vorausgesetzt, eine der Treibfedern für die Weiterentwicklung und umfassenden Umbauprozesse in der Organisation und der technischen Realisierung von Automatisierungstechnik (und weit darüber hinaus).

2.2 Serviceorientierte Architekturen

Klassische Leittechnik ist durch das Informationsmodell der Automatisierungspyramide geprägt (Abbildung 3). Die einzelnen Schichten kommunizieren dabei streng hierarchisch über definierte Schnittstellen: Das ERP (*Enterprise Resource Planning*) steht für die Unternehmensleitebene mit der Planung der Produktion und das MES (*Manufacturing Execution System*) für die Betriebsebene mit der Überwachung der Produktion in Echtzeit. Die Prozessleitebene mit SCADA-Systemen (*Supervisory Control and Data Acquisition*) ist für das (rechnerunterstützte) Monitoring der gesamten technischen Prozesse zuständig. Die Steuerungsebene mit den SPS (*speicherprogrammierbaren Steuerungen*) übernimmt die Steuerung und

Regelung der einzelnen Anlagen und ist direkt verbunden mit der Feldebene, bestehend aus Sensoren und Aktoren.

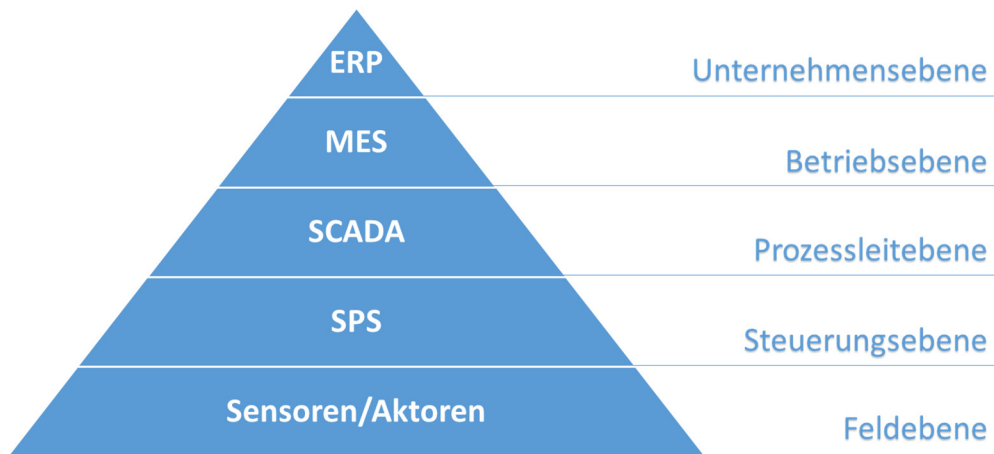


Abbildung 3: Automatisierungsebene der Leittechnik [nach DIN EN 62264-1, 2013]

Stetige Weiterentwicklung der Vernetzung und zunehmend internet-fähige Automatisierungstechnik führte über anfangs monolithisch aufgebaute Leittechnik zu vernetzten und schließlich verteilten SCADA-Systemen. Aktuell kommt es zu einer zunehmenden Auflösung der klassischen, starr hierarchisch aufgebauten Ebenen der Leittechnik hin zu einem neuen Ansatz, einem Netzwerk aus miteinander kommunizierenden „Services“, den sogenannten SOAs (*service-oriented architectures*). Mögliche Ansätze zur Bewältigung der dabei auftretenden Herausforderungen sind in der Literatur beschrieben [siehe Colombo *et al.*, 2014 und Karnouskos *et al.*, 2010]. Gekennzeichnet ist dieser Übergang durch eine Reihe neuer beziehungsweise neu adaptierter Technologien aus dem Bereich Internet-Technologien, Virtualisierung, Cloud-Computing und schließlich autonome, interaktive „Smart Devices“ [Thompson, 2005].

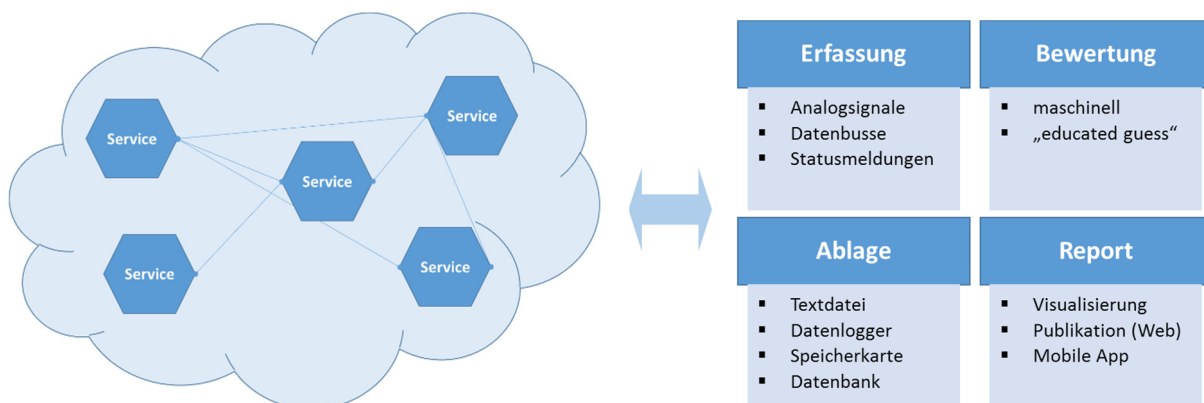


Abbildung 4: Serviceorientierte Architektur: Vernetzung und Aufgaben

Die Struktur und typische Aufgaben einer serviceorientierten Architektur zeigt Abbildung 4. Allen serviceorientierten Architekturen gemeinsam ist komponentenweise die Kapselung der Dienste und der Einsatz standardisierter Schnittstellen zwischen den beteiligten Systemen; die Komplexität der einzelnen Dienste wird dabei verborgen. Auch eine flache Verteilung der Aufgaben über mehrere Geräte oder virtualisierte Maschinen hinweg ist dabei ein typisches Kennzeichen: Die vor Ort stattfindende Datenerfassung wird zum Beispiel durch eine automatisierte, nicht notwendigerweise am selben Gerät stattfindende Datenbewertung ergänzt. Die Ergebnisse der Datenbewertung fließen in die Datenablage zurück, welche ihrerseits wieder zentral oder dezentral stattfindet. Ein weiteres Kennzeichen einer SOA kann der Einsatz vieler kleiner Datenerfassungssysteme anstelle einer großen, zentral aufgebauten SPS sein. Wichtige Gesichtspunkte bei der Auswahl von Speicher-Services sind neben Redundanz, Fehlertoleranz und Zuverlässigkeit bezüglich der Datenverbindungen zunehmend neue Herausforderungen der IT-Datensicherheit (*Security*). Die Anforderungen an IT-Sicherheitssysteme werden in der IEC 62443 definiert (IEC 62443, 2015); weitere Empfehlungen zur Sicherungsmaßnahmen von Steuerungs- und Telekommunikationssystemen sowie Verweise zu facheinschlägigen Normen sind in einem Whitepaper verfügbar [BDEW, 2015]. Funktionale Sicherheit (*Safety*) hingegen muss durch die Anlagen vor Ort, also in der Produktion beziehungsweise an der Messstation selbst gegeben sein. Das Reporting von systemkritischen Meldungen über die Datenvisualisierung bis hin zur Möglichkeit der Eingabe neuer Vorgabewerte für die beteiligten Systeme kann dagegen wieder als Service definiert und entsprechende verteilt werden. Eine beispielhafte Datenvisualisierung basierend auf dem Service dezidierter Rechenclients wird in Kapitel 4.2.2 gezeigt.

2.3 Datenverarbeitung und ihre Anwendungen

Im Zeitalter von Big Data und Cloud-Computing kann Löschung von Daten aufwändiger und damit teurer sein als die vollständige und dauerhafte Speicherung sämtlicher anfallenden Daten. Als Beweis dafür führt der Kryptographie-Experte Bruce Schneier die Datenschutzerklärung (*Privacy Notice*) von Gmail, dem E-Mail Dienst des Konzerns Google, an: Daten werden aus den Backup-Systemen explizit nicht entfernt [Schneier, 2009 und Google, 2015].

Die zunehmende Auflösung hierarchisch geprägter Leittechnik im Sinne der Datenverarbeitung hat auch Auswirkungen auf die Betriebsdatenhaltung und Berichtlegung, beispielsweise nach Regelblatt 13 [ÖWAV Regelblatt 13, 2013]. Der vollständige Zugriff auf Anlagen über beispielsweise privat gehaltene

Mobilgeräte des Bereitschaftspersonals bedingt erhöhte Anforderungen im Bereich IT-Sicherheit, wie zum Beispiel die Sicherstellung des ausschließlich berechtigten Zugriffs auf kritische Infrastruktur. Hier sind auch die Hersteller gefordert, etablierte Verschlüsselungstechnologien für die Verbindungen zu implementieren, auch unter Vermeidung von „*Security through Obscurity*“, in etwa mit „Sicherheit durch Undeutlichkeit“ ersetzt [vgl. McKay, 2012]. Auf der Seite der Datenhaltung stellt sich die Frage nach der Messhäufigkeit und einer geordneten, also für den Betreiber transparent nachvollziehbaren Datenaggregation: Quasi-kontinuierlicher Datenerfassung relevanter Parameter steht die datenintensive Auswertung über Monate oder Jahre gegenüber. Hier ist von Fall zu Fall zu entscheiden, welche Datendichte für welchen Anwendungsbereich sinnvoll ist; im optimalen Fall bietet der Hersteller selbst die Möglichkeit zur Justage der Erfassungszyklen an.

2.3.1 Ziele der Automatisierungstechnik

Das Ziel der Automatisierung ist ein zu jeder Zeit zuverlässiger, sicherer und auch wirtschaftlicher Betrieb einer Anlage. Die Automatisierungstechnik umfasst dabei die gesamte Signalkette von Messdatenerfassung, steuernde Eingriffe ohne Rückwirkung und schließlich den geschlossenen Wirkungsweg der Regelungen. Die wichtigsten Funktionen einer Automatisierung sind [in Anlehnung an Litz, 2013]:

- *Messen* als Schnittstelle eines technischen Systems zur Erfassung der physikalischen Wirklichkeit,
- *Steuern* diskreter Zustände bzw. Zustandsfolgen im Sinne eines offenen Wirkungsweges, d. h. keine direkte Rückführung der Wirkung des Eingriffs an den Eingang des Systems (siehe Abbildung 5 links),
- *Regeln* als geschlossener Wirkungskreislauf mit Rückkopplung der Wirkung des Reglers auf das zu regelnde System an den Eingang (siehe Abbildung 5 rechts),
- *Überwachen* und automatische Meldung im Falle einer Abweichung von einem Soll-Bereich,
- *Anzeigen/Bedienen* der technischen Prozesse über Mensch-Maschinen-Schnittstellen mit der Möglichkeit des direkten Eingriffs in die Regelungen.

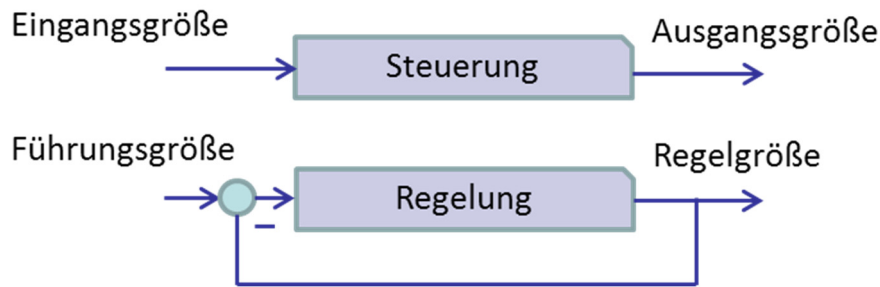


Abbildung 5: Steuern und Regeln

Von cyber-physikalischen Systemen wird in der Regel ab der Sensorik und Aktorik, also ab dem Einsetzen der Informationsflüsse durch Vorliegen binärer Daten gesprochen [vgl. Vogel-Heuser, 2014]. Für die folgenden Betrachtungen wird im Gegensatz dazu der Aspekt der Prozessdynamik im Sinne eines zeitlichen Charakters der zu erfassenden Größen mit ausgeführt.

2.3.2 Datenerfassung und Signalübertragung

Die Messung bildet den Ausgangspunkt der Messkette und beruht in der elektrischen Messtechnik auf der Wandlung eines kontinuierlich wirkenden, nichtelektrischen Eingangssignals, der Messgröße, in eine dazu proportionale elektrische Größe. Die Messgröße wird noch im Sensor in eine elektrisch erfassbare Zwischengröße, wie zum Beispiel eine Widerstandsänderung, gewandelt und durch eine Auslese-Elektronik in ein elektrisches Signal umgesetzt. Nach der Bereichsanpassung und Konditionierung findet die Wandlung in digitale Datenworte statt. Der kontinuierliche Signalcharakter geht ab dieser Stufe in ein zeitlich definiertes Raster aufeinanderfolgender Datenworte über; spätestens an dieser Stelle ist die „Gleichzeitigkeit“ von Messgröße und Messwerte nicht mehr gegeben. Im nächsten Schritt werden die Datenworte entsprechend einem definierten Protokoll über ein Bussystem in die Leittechnik übertragen und dort weiterverarbeitet. Ein Protokoll ist dabei ein Satz von Regeln für Format, Inhalt und Bedeutung von Daten, also die Sprache, mit der Daten übertragen werden. Zur physikalischen Übertragung der Daten wird der Datenbus, kurz Bus, eingesetzt. Die Begriffe „Protokoll“ und „Bus“ werden fälschlicherweise oft synonym eingesetzt, bezeichnen jedoch verschiedene Aspekte einer Datenübertragung. Ein Beispiel der vereinfachten Struktur eines Datenerfassungssystems zeigt Abbildung 6.

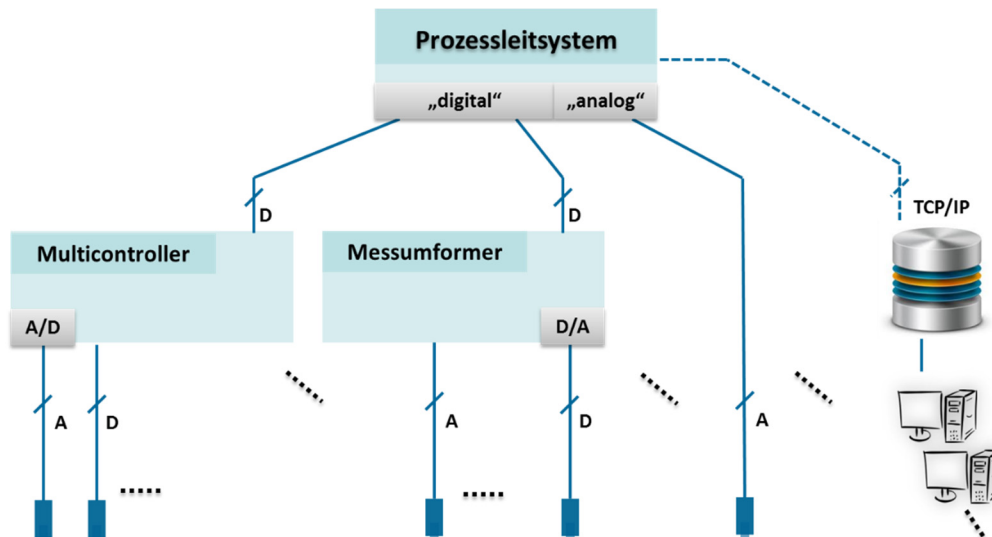


Abbildung 6: Datenerfassungs- und Verarbeitungssystem [Winkelbauer, 2015]

Eine physikalische Messgröße ist im Sinne eines zeit- und wertkontinuierlichen Signals aufzufassen. Der Ort beziehungsweise die Nähe zum Sensor und die Auflösung der Wandlung in digitale Datenworte beeinflusst die Qualität der Messdaten maßgeblich. Zur Minimierung von auf das Messsignal wirkenden Störeinflüssen wie Rauschen kann beispielsweise die Wandlung in ein digitales Signal im Sensor selbst stattfinden. Digitale Signale sind stets zeit- und wertdiskret und in der Übertragung weniger anfällig für Störungen in der Datenübertragung. Die Signalpegel auf der Übertragungsstrecke entsprechen hier nicht mehr dem Messsignal selbst, sondern den wohldefinierten Signalpegeln seiner codierten, digitalen Repräsentation.

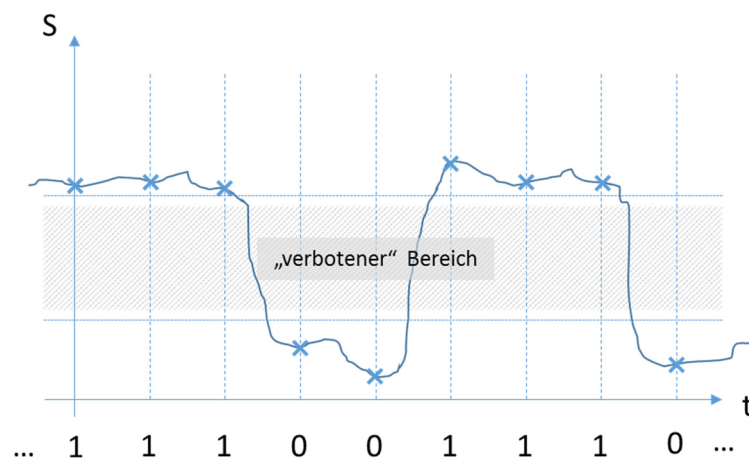


Abbildung 7: Störeinflüsse bei Übertragung eines Digitalsignals

Ein beispielhafter Signalverlauf eines Digitalsignals mit Störeinflüssen auf der Übertragungsstrecke ist in Abbildung 7 dargestellt. Hier zeigt sich der große Vorteil digitaler Signalverarbeitung: Das Signal wird nur zu bestimmten Zeitpunkten abgetastet und es findet ein Vergleich des Signals mit üblicherweise

zwei Schwellwerten statt. Liegt der Signalpegel unterhalb der unteren Schwelle entspricht das Signal einer binären „0“; oberhalb der oberen Schwelle wird eine binäre „1“ registriert. Das Rauschen wirkt somit nicht direkt auf den Messwert, sondern auf die den Werten „0“ und „1“ entsprechenden Signalpegel, zum Beispiel einer Spannung; die gegenüber analogen Signalen geringere Anfälligkeit von digitalen Signalen für Störungen liegt darin begründet. Ein weiterer Vorteil digitaler Signalübertragung ist die Möglichkeit der Übermittlung umfangreicher Fehler- und Statusmeldungen. Analoge Anbindung erlaubt, ohne dafür notwendige, weitere Leitungen zwischen den Geräten, nur die Erkennung von Über- und Unterschreitungen des Signal-Wertebereichs.

In der Praxis der Anlagenautomatisierung wird eine Vielzahl von analogen und digitalen Schnittstellen zur Datenerfassung eingesetzt. Historisch am bedeutendsten ist die *4-20 mA*-Schnittstelle [IEC 60381-1, 1982]. Hier setzt der Messumformer die Messgröße proportional in ein Einheitssignal im Bereich 0 bzw. 4-20 mA um, welches direkt in das Datenerfassungssystem übertragen wird. Bedeutende digitale Schnittstellen sind beispielsweise *Profibus* und *Modbus*, sowie deren Dialekte. Die Grenze zwischen Protokoll und Bus ist hier oft fließend: *ModbusTCP* beispielsweise trägt „Bus“ im Namen, ist jedoch ein Datenübertragungsprotokoll basierend auf Ethernet zur physikalischen Verbindung. Die Vorteile der *ModbusTCP*-Implementierung sind die inhärente Hersteller-Unabhängigkeit, die einfache physikalische Anbindung von Feldgeräten über heutzutage an jedem Standort verfügbare strukturierte Verkabelung und nicht zuletzt das „mitgelieferte“ TCP/IP-Protokoll, was eine direkte Anbindung der Feldgeräte an das *Internet of Things* ermöglicht. *Industrial Ethernet* bezeichnet die direkte Verwendung von Ethernet für die Vernetzung von Geräten, meist um Echtzeit-Fähigkeiten erweitert.

2.4 Datenhaltung

Im folgenden Abschnitt wird die Datenablage basierend auf einzelnen Dateien in einem Dateisystem und auf (potentiell verteilten) Datenbanken im Vergleich eingegangen. Für detaillierte Betrachtungen zu Redundanzen und Replikationsmechanismen siehe Kapitel 3 und 5 in [Rahm *et al.*, 2015].

Eine fundamental wichtige Fragestellung bei der Wahl der Datenhaltungstechnologie ist neben der Sicherstellung der Robustheit und Datenverfügbarkeit die Frage nach der „Privatheit“ der Daten. Cloudbasierte Speicher bieten zum Teil verschlüsselte Übertragung der Daten in den gemeinsamen Bestand – der Anbieter selbst behält in den meisten Fällen jedoch den kompletten Zugriff auf die Daten. Die sorgfältige Interessensabwägung und ein konzentrierter Blick auf die vertraglichen Begebenheiten zwischen (Projekt-)Partnern wird explizit

empfohlen. Die wirksamste Methode, Daten nicht einem eventuell unberechtigten Dritten zur Verfügung zu stellen ist die nicht-externe Datenhaltung und Datenübertragung ausschließlich über Ende-zu-Ende-verschlüsselte Kanäle am aktuellen Stand der Technik. Umfangreiche Fragen und Herausforderungen zur Datenhaltung in Cloud-Speichern gibt [Tianfield, 2015].

2.4.1 Dateibasierte Datenablage

Die am einfachsten zu realisierende Methode zur Ablage von Messdaten ist die direkte Speicherung in einem dateibasierten, binären Format auf einem beliebigen Datenträger. „Einfach“ bedeutet in diesem Zusammenhang jedoch die komplette Verlagerung der für das Datenmanagement notwendigen Schritte an nachgeordnete Stellen. Spätestens bei der Dateninterpretation, die auch einmal längere Zeit nach der eigentlichen Datenaufnahme im Rahmen eines Versuchs stattfinden kann ist mit zum Teil gravierenden Problemen in der Rekonstruktion der tatsächlichen Zustände der Messung, insbesondere, wenn zugehörige Metadaten nicht umfangreich erfasst wurden, zu rechnen. Beginnend mit relativ einfach zu behandelnden Problemen im Datenformat, wie beispielsweise der nicht konsistenten Verwendung von Beistrich- beziehungsweise Punkt-Zeichen als Komma und 1000er-Trennzeichen ist beispielsweise die Korrektheit der verwendeten Zeitbasis und Zeitsynchronisation nicht mehr trivial zu lösen.

Die Ablage von Messwerten als Zahlen entsprechender Codierung, Spalten verschiedener Datenquellen durch Sonderzeichen getrennt ist oft der kleinste gemeinsame Nenner der Datenübergabe. Die konsistente Integration von Metadaten, welche das Umfeld der Datenaufnahme beschreiben, ist bei dateibasierter Datenablage eine große Herausforderung. Aufgrund der Offenheit eines einfachen Dateiformats liegt eine große Vielfalt an Varianten vor: Die Spaltenbeschreibung befindet sich entweder am Anfang der Datei oder in einer separaten Ablage, Messdaten werden mit Anlagenzuständen in Textform vermischt abgelegt, Labor- oder Referenzdaten sind typischerweise auf anderen Rechnern verteilt und vieles mehr.

Der Vorteil einer dateibasierten Messdatenverwaltung mit bekannter Codierung besteht darin, diese Daten potentiell in jedem Computersystem einzulesen und weiterzuverarbeiten. Für den langfristigen, umfassenden Blick auf eine messtechnisch zu erfassende Situation jedoch scheint diese Variante der Datenhaltung als wenig geeignet

2.4.2 Datenbankmodelle

Im Gegensatz zur dateibasierten Datenablage vor Ort können die Daten in Datenbanksystemen (zentral oder dezentral) gespeichert werden. Diese Variante ist von einer höheren Einstiegshürde und steileren Lernkurve gekennzeichnet. Im laufenden Betrieb zeigt sich jedoch ein massiver Zugewinn an Flexibilität und dadurch ermöglichte einfache Adaptierbarkeit an neue Randbedingungen und neue Datenquellen. Eine regelrechte Modellierung und Anforderungsanalyse vor der Implementierung des Datenhaltungssystems erlaubt den Fokus auf Daten aus Anwendersicht heraus vorzunehmen: Der Endanwender möchte, ohne sich um Datenhaltung im Detail kümmern zu müssen, das vollständige Bild einer physikalischen Situation, messtechnisch erfasst und um Metadaten beziehungsweise einer Plausibilitätsbewertung ergänzt, auf seinem Arbeitsplatz vorliegen haben.

Bei Datenbanken wird grob zwischen zwei konkurrierenden Konzepten unterschieden, dem relationalen Modell und dem nicht-relationalen Modell.

Das relationale Datenbankmodell beruht auf dem Konzept der Relation, in diesem Fall dem Verhältnis beziehungsweise der Beziehung von Daten untereinander [Codd, 1970]. Die Daten sind in Form von Tabellen (*Relations*) abgelegt; jede Zeile der Tabelle wird Tupel bzw. Datensatz (*Record*) genannt. Jeder Datensatz besteht aus einer Reihe von Attributen (*Attributes*), welche den Spalten der Tabelle entsprechen. Die zugehörigen Datenbankoperationen beruhen auf der relationalen Algebra; die auf diesen Konzepten basierend Structured Query Language (*SQL*) wird zur Abfrage und Manipulation der Daten eingesetzt [ISO/IEC 9075, 2011].

Die Datenverarbeitung in der Datenbank erfolgt durch Transaktionen. Zur Erfüllung der Forderung einer Datensicherheit in der Datenbank kommt das sogenannte Transaktionskonzept mit den *ACID-Eigenschaften* zur Anwendung [Härder et al., 1983]:

Unteilbarkeit (*Atomicity*)

Änderungen durch eine Transaktion werden komplett oder gar nicht in die Datenbank übernommen.

Konsistenz (*Consistency*)

Sämtliche Integritätsbedingungen der Datenbank werden durch eine Transaktion nicht verletzt (ist Voraussetzung für die Dauerhaftigkeits-Eigenschaft).

Isolation (*Isolation*)

Transaktionen müssen von anderen vollkommen isoliert und unbeeinflusst stattfinden. Der parallele Zugriff auf ein und dasselbe Datenbankobjekt wird dadurch gewährleistet.

Dauerhaftigkeit (*Durability*)

Die Ergebnisse einer korrekt abgelaufenen Transaktion sind für die Datenbank dauerhaft gültig.

Das relationale Datenbankmodell ist hervorragend geeignet für die sichere Verarbeitung von großen, strukturiert vorliegenden Daten die sich häufig, aber wenig ändern.

Für extrem datenintensive Anwendungen mit nur zum Teil strukturiert vorliegenden Daten, die sich darüber hinaus auch häufig ändern wird zunehmend auf einen nicht-relationalen Ansatz gesetzt. Ein bekannter Vertreter dieses Konzeptes ist *NoSQL (Not Only SQL)* [Pokorny, 2013]. Unter (teilweisem) Verzicht auf SQL und mit nur eingeschränkten ACID-Eigenschaften finden sich eine Reihe von Implementierungen, die vor allem im Big Data- und Cloud-Computing-Bereich Anwendung finden. Bekannte Implementierungen sind MongoDB oder CouchDB [Srivastava *et al.*, 2015].

Ein verteiltes Datenbanksystem ist die Basis für weitere, umfangreiche Manipulationen der Datensätze auch über Systemgrenzen hinweg – ganz im Sinne einer serviceorientierten Architektur einer Messdatenverwaltung.

3 Monitoringplattform *i*^{TUW}*mon*

Die folgenden Abschnitte zeigen eine mögliche Umsetzung der im ersten Teil des Beitrags gezeigten Grundlagen am Beispiel der Monitoringplattform *i*^{TUW}*mon* [Winkelbauer *et al.*, 2014].

Dieses Werkzeug wird seit 2009 am Institut für Wassergüte entwickelt und dient der Datenerfassung und dem Betrieb von autonom betriebenen Gewässergütemessstationen. Aktuelle Fragestellungen der Forschung führen zu Erweiterungen der Funktionalität und zur Erprobung neuer Technologien im praktischen Einsatz. Die Messstationen sind über industrielle Verbindungstechnik und verschlüsselte Datenleitungen mit der Messnetzzentrale verbunden. Eine typische Messstation ist mit Sensorik zur Erfassung der Gewässergüte (chemische Parameter), der Durchfluss- und Pegelüberwachung (bei Anwendung von Bypass-Lösungen; das Messmedium wird hier in eine Messwanne gefördert) und Messtechnik für die

Überwachung weiterer, operationalen Parameter (Netzüberwachung, Betriebsüberwachung, Fehlerbehebung) ausgestattet. Eine durchschnittliche Station mit rund 35 Datenkanälen liefert rund 6.2 Mio. auf Plausibilität geprüfte Messpunkte pro Jahr [Winkelbauer *et al.*, 2014] Für detaillierte Analysen werden darüber hinaus sämtliche Kanäle in einem 10-Sekunden-Raster, unabhängig von der Dichte der konfigurierten Messzyklen, als quasi-kontinuierliche Datensätze erfasst und abgelegt. Die erhöhte Datendichte bildet eine gute Basis für weitergehende Evaluierungen und Tests der Methoden des Datenmanagements. Der folgende Abschnitt präsentiert Ergebnisse aus dem Betrieb mit dem Schwerpunkt auf automatisierter Datenplausibilisierung und einem nachfolgenden Reporting der Messdaten.

Abbildung 8 zeigt zwei typische Messstationen in Container-Bauweise. Ein Messcontainer wird bei Inbetriebnahme an Spannungsversorgung sowie an Zu- und Ablauf des Messmediums angeschlossen und ist mit Sensorik, einem Kompressor zur Sondenreinigung per Druckluft und weiteren Gerätschaften wie einem Mobilfunkrouter zur Datenverbindung nach außen angeschlossen.



Abbildung 8: Messcontainer mobil / stationär (oben) und Messwanne (unten)

Im unteren Teil der Abbildung ist die Messwanne der Bypass-Lösung dargestellt. Der Vorteil dieses Aufbaus liegt in einer definierten Messumgebung durch konstanten Anströmung der Sensorik, unabhängig von der Ansaugsituation und

den Wasserständen der zu untersuchenden Gewässer. Der erhöhte Einsatz von Steuerungstechnik (Pumpenansteuerung, regelmäßige Druckluftreinigung des Saugkorbes) wird durch die erreichbare, höhere Datenqualität kompensiert.

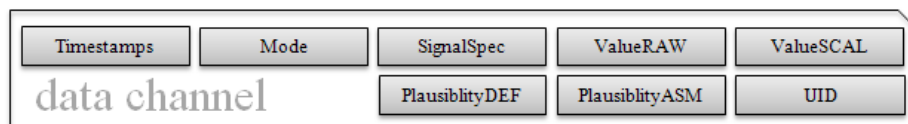
4 Praktische Umsetzung des Datenmanagements

Die Datenplausibilisierung als Service, basierend auf einem gemeinsamen Datenformat, bietet eine erste Einschätzung der zu erwarteten Datenqualität; verschiedene Methoden des automatisierten Reportings und der Visualisierung, die auf separaten Rechnern, unabhängig von der Datenverarbeitung laufen, werden im Anschluss präsentiert.

4.1 Datenhaltung, Datenplausibilisierung und Fehlererkennung

Der Einsatz von Datenbanksystemen ermöglicht den Zugriff auf den kompletten Messdatensatz unabhängig von der datenerfassenden Station aus, auch über (industrielle) Netzwerke. Dies ermöglicht die Implementierung einer service-orientierten Architektur, wo eine erste Vorsortierung und Bewertung von Daten unabhängig von der Datenerfassung selbst durchgeführt werden kann, die auf Basis einer gemeinsamen Datenschnittstelle funktioniert: Die erfassten Daten werden abgelegt, ein Datenplausibilisierungs-Service greift auf diese Datensätze zu, führt die Bewertung durch und schreibt die Ergebnisse der automatisierten Einschätzung in den Grunddatensatz als zusätzliche Information zurück.

Abbildung 9 zeigt beispielhaft die verwendete Datenstruktur; im unteren Teil wird die Ablage von Temperaturmesswerten in Tabellenform gezeigt. Das in dieser Anwendung verwendete Werkzeug ist das relationale, quelltext-offene Enterprise-Datenbankmanagementsystem *PostgreSQL* [The PostgreSQL Global Development Group, 2014].



	timeutc [PK] timestamp without time zone	timelocal timestamp with time zone	timematric double precision	mode character varying(10)	parspec_unit_sourceurl character varying(255)	raw double precision	scal double precision
17290	2016-02-13 16:06:00	2016-02-13 16:06:00	736373.7	General	{Raab-Neumarkt__T_Conta	0.010901	12.446788
17291	2016-02-13 16:12:00	2016-02-13 16:12:00	736373.7	General	{Raab-Neumarkt__T_Conta	0.010879	12.296241
17292	2016-02-13 16:18:00	2016-02-13 16:18:00	736373.7	General	{Raab-Neumarkt__T_Conta	0.010858	12.149373

Abbildung 9: Datenstruktur und Ausschnitt einer Tabelle

4.1.1 Grundlagen der automatisierten Datenprüfung

Jede Messdatenerfassung ist mit einer Reihe von Messfehlern und Abweichungen in der Datenerfassung behaftet. Zur korrekten Interpretation der Messergebnisse ist eine Fehlererkennung und Datenplausibilisierung basierend auf statistischen Methoden unabdingbar. Als Referenzimplementierung der automatisierten Datenplausibilitätsprüfung dient ein Erweiterungsmodul basierend auf der Messnetzplattform $i^{TUW}mon$. Die zyklischen Überprüfungen finden unmittelbar nach der Messung und direkt am Messort statt; die Problematik der präzisen Nachvollziehbarkeit von Ereignissen im Nachhinein ist damit wirksam unterbunden. Die Eingangs-Kriterien können dabei auf Messdaten der jeweiligen Station (messort-spezifisch) oder auf extern erfassten und in der Datenbank vorgehaltenen Datensätzen basieren. Das Ergebnis der einzelnen Datenprüfung wird im Datensatz jedes einzelnen Messzeitpunktes eines jeden Kanals als Vertrauenswert 0-100 % abgelegt und auch direkt auf der Benutzeroberfläche durch Farbcodes zur Darstellung gebracht (siehe Abbildung 12). Mehrere, voneinander unabhängige Prüfungen sind dabei definiert: Erkennung von Ausreißern im Werteverlauf, Detektion von „Strichfahren“, Über- und Unterschreitung von Messbereichen und der Sondendrift. Abbildung 10 zeigt die Abläufe des Post-Processings, basierend auf im korrekten Datenformat vorliegenden Messdaten.

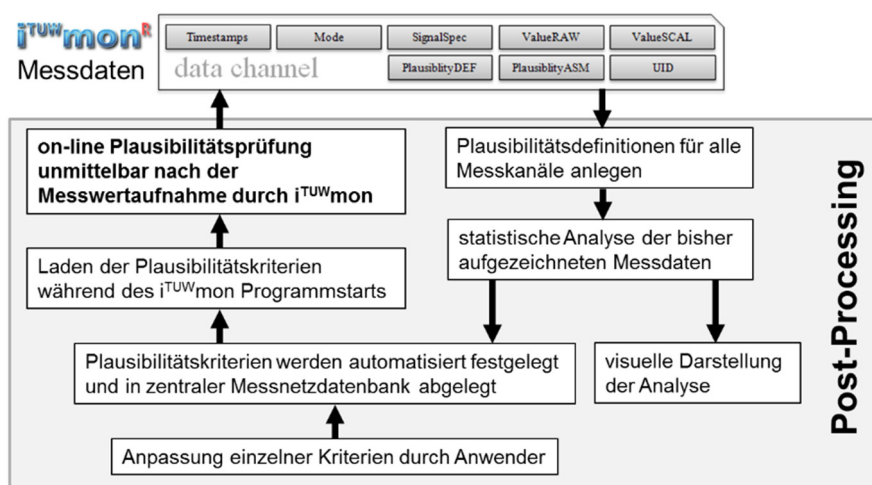


Abbildung 10: Post-Processing basierend auf $i^{TUW}mon$ [Fuiko und Winkelbauer, 2015]

4.1.2 Implementierung in die Messplattform $i^{TUW}mon$

Grundvoraussetzung einer Plausibilitätsbewertung ist ein möglichst vollständiges Bild der für einen Messort spezifischen Signalverläufe bezüglich dem Wertebereich und der zeitlichen Änderungen [Winkler *et al.*, 2013]. Die konkrete Realisierung beruht auf Kerndichteschätzungen mit Gaußkern und daraus folgend einer Festlegung der für ein „gutes Signal“ erlaubten Wertebereiche, festgemacht

an erlaubten Perzentilen der zugrunde gelegten Verteilung [Fuiko und Winkelbauer, 2015]. Abbildung 11 zeigt beispielhaft den Weg einer Plausibilitätsprüfung anhand der Korrelation von zwei Messsignalen, Chlorid und Leitfähigkeit. Im ersten Schritt wird der Zusammenhang modelliert (Abbildung 11, durchgezogene Linie links oben). Auf Basis der Modellresiduen (Abbildung 11 oben, Mitte) werden die erlaubten Grenzwerte für ein als plausibel befundenes Signal festgelegt (Abbildung 11 oben, rechts) und in die Datenstruktur zurückgeschrieben.

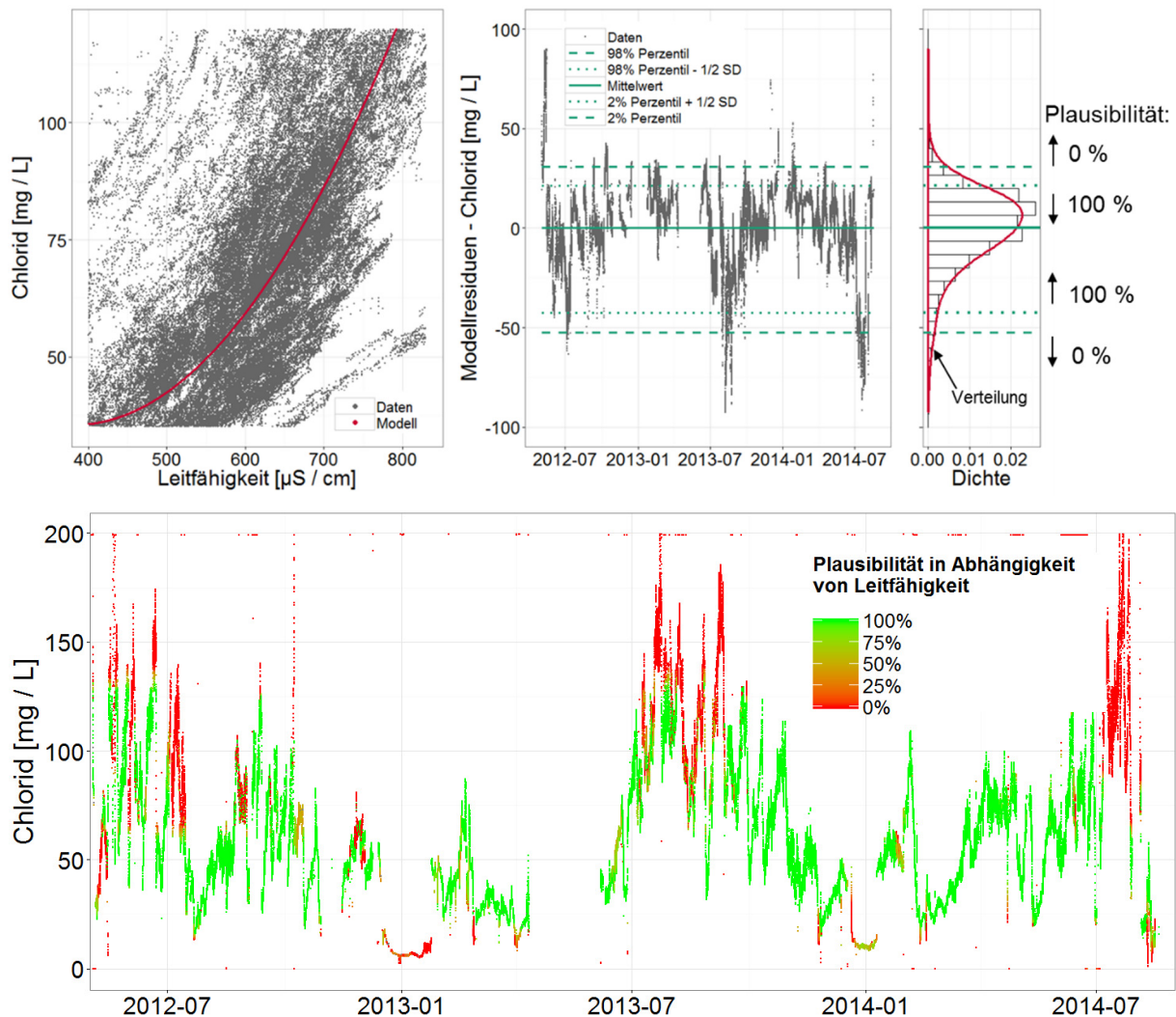


Abbildung 11: Plausibilisierung über Korrelation (oben), Ergebnis: Chlorid-Konzentration in Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit (unten) [Fuiko *et al.*, 2015]

Als Ergebnis der Plausibilitätsbewertung zeigt schließlich der untere Teil der Abbildung 11 den zeitlichen Verlauf der Chloridkonzentration, eingefärbt entsprechend dem Grad der Datenplausibilität für jeden einzelnen Messwert. Neben den offensichtlich nicht-plausibel erscheinenden Werten am oberen und unteren Rand des erlaubten Messbereichs findet sich ein relativ hoher Anteil von intuitiv durchaus als „richtig“ zu bewerteten Signalen, die jedoch, basierend auf

objektiven, statistischen Kriterien, tatsächlich als nicht-plausibel bewertet werden müssen.

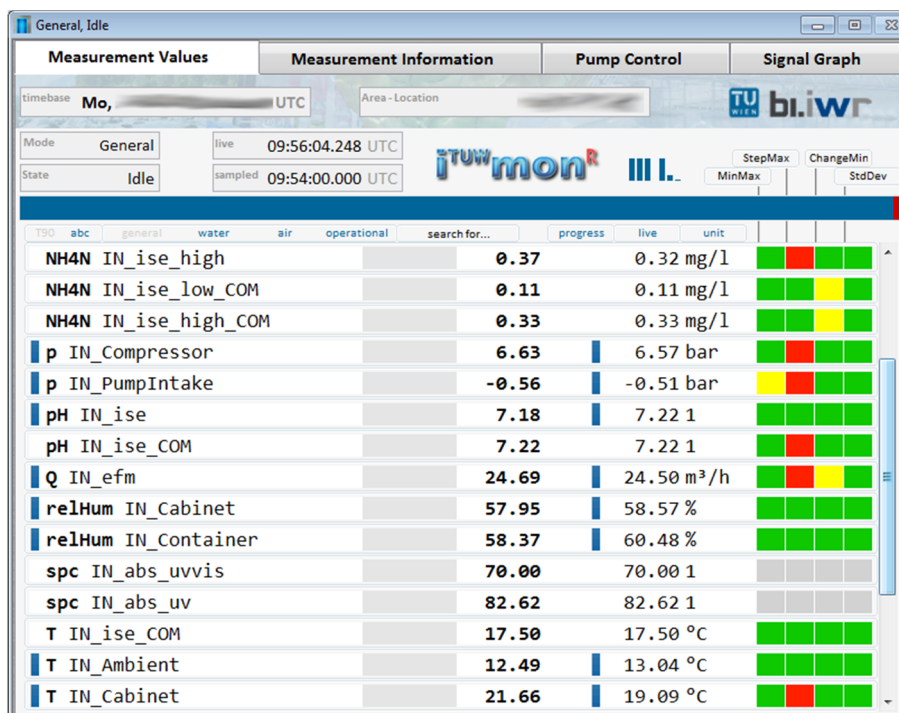


Abbildung 12: farbcodierte Darstellung der Datenplausibilisierung in iTUWmon

Im Ergebnis kann durch Anwendung von Methoden der automatisierten Datenplausibilisierung eine gesteigerte Datenqualität insgesamt erwartet werden. Abbildung 12 zeigt die Darstellung der Ergebnisse direkt auf der Bedienoberfläche der Messstation; dem Anwender wird so direkt neben den eigentlichen Messdaten eine erste Einschätzung bezüglich einer erreichten Datenqualität präsentiert.

4.2 Reporting und Datenpräsentation

An der Spitze des Datenmanagements steht die Mensch-Maschine-Schnittstelle in Form der Datenpräsentation beziehungsweise des Reportings. Der Bereich des Designs von Benutzerschnittstellen und Anforderungen an Bediensysteme im Allgemeinen sind nicht Teil der Ausführungen [siehe dazu Zühlke, 2012]. Der Schwerpunkt der folgenden Ausführungen ist das automatisierte Reporting und die Veröffentlichung von Messdaten beziehungsweise die Anlagenüberwachung über eine auf sämtlichen Geräten verfügbare Schnittstelle in Form von Internet-Seiten. Unterscheidungsmerkmal der Varianten ist der Grad der Interaktivität, sowie die eingesetzten Datenquellen (Datenhaltung lokal oder cloudbasiert).

4.2.1 Reporting von Messdaten

Ein Beispiel von automatischem Reporting ist die für Informationszwecke eingerichtete Publikation von Gewässergüte-(Roh-)Daten auf einer öffentlich zugänglichen Internet-Seite am Instituts-Webserver, wie in Abbildung 13 dargestellt [IWAG, 2016].

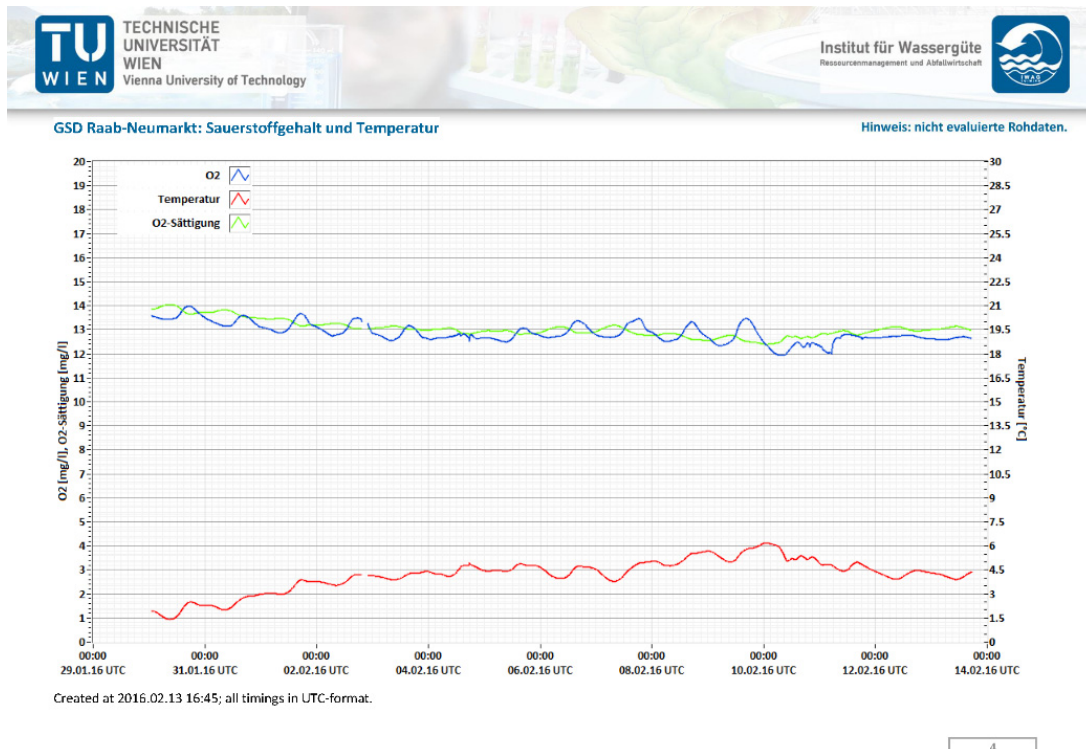
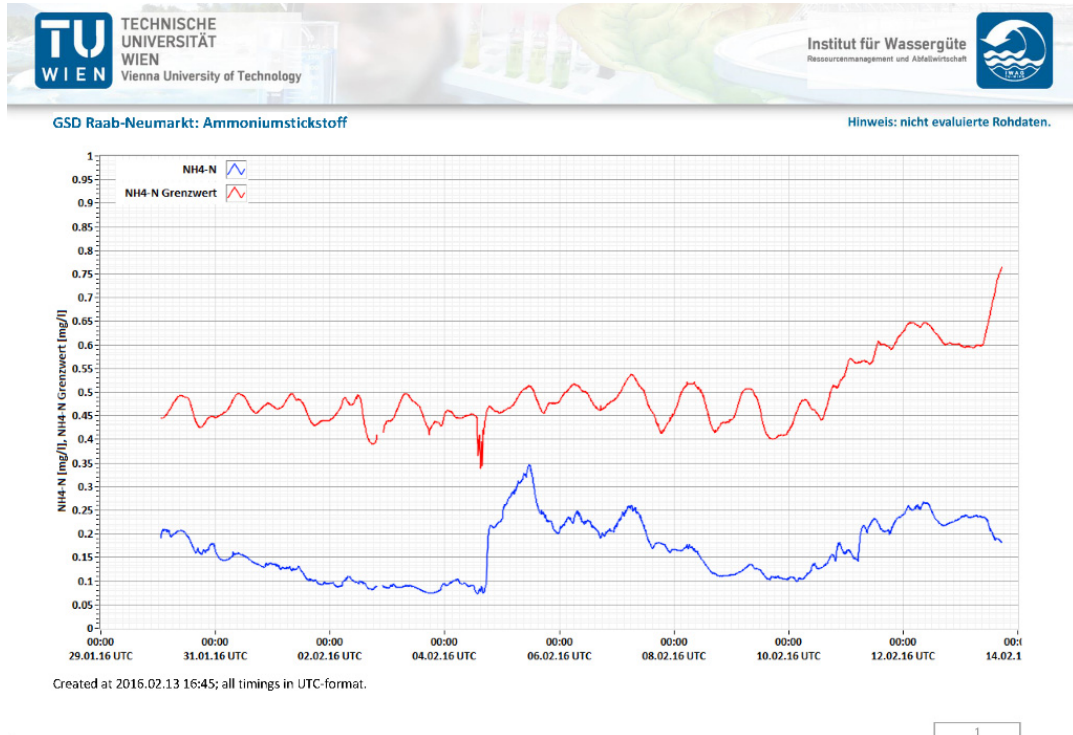


Abbildung 13: ADR für eine Gewässergütemessstation

Die Einbindung ist statisch in Form hinterlegter PDF-Dateien realisiert. Jeder moderne Internetbrowser kann mit diesem Datenformat umgehen; die Installation von speziellen Plugins zur Datendarstellung entfällt.

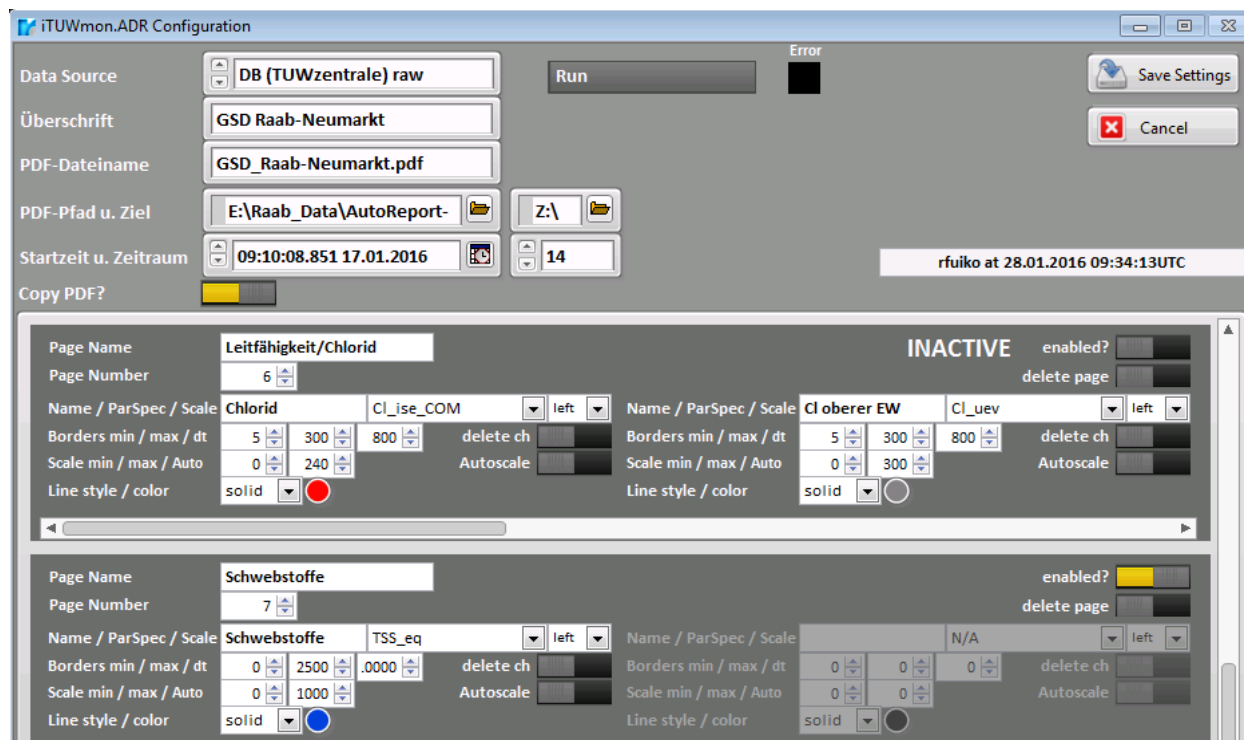


Abbildung 14: Konfigurationsoberfläche des ADR

Das Werkzeug zur Konfiguration der Report-Erstellung *AutomaticDataReport* (ADR) ermöglicht die weitgehend freie Konfiguration der darzustellenden Inhalte; jeder Eingriff in die Konfiguration des Reports wird gemeinsam mit weiteren Daten erfasst und die Kriterien des Reportings sind so über die gesamte Laufzeit nachvollziehbar.

Eine weitere Anwendung des automatischen Reportings ist im Projekt KomOzAk [Kreuzinger *et al.*, 2015] zum Einsatz gekommen. Ziel der Visualisierung ist der einfache Zugriff zur Betriebsüberwachung über einen entsprechend gesicherten Fernzugriff.

Die Besonderheit dieser Visualisierung liegt im halb-statischen Charakter der Implementierung: Zur Anzeige werden Bilder im Format PNG kombiniert, die wiederum ohne zusätzliche Internetbrowser-Erweiterungen (Plugins) dargestellt werden können. Die Bilder selbst werden, unter einer Wahrung geringer notwendiger Datenrate, kontinuierlich oder, bei Änderungen im Anlagenzustand, sofort aktualisiert. Aufgrund des Alarmierungscharakters im Fehlerfall wurden hier besondere Vorkehrungen bezüglich der Sicherheit der Datenübertragung getroffen: Die Visualisierung ist ausschließlich einem kleinen, berechtigten Kreis von Mitarbeitern zugänglich, sämtliche Zugriffe werden registriert und in der Datenbank

gemeinsam mit weiteren gerätespezifischen Daten abgelegt. Jede Änderung im Systemzustand wird mit dem dazugehörigen, am mobilen Client angezeigten Alarmierungsbild vermerkt. Die Kombination dieser Maßnahmen ermöglicht die exakte Nachvollziehbarkeit des Systemzustandes über die gesamte Betriebszeit hinweg.



Abbildung 15: Darstellung des Stationszustands am mobilen Client

4.2.2 Vernetzte Datenvisualisierung

Ein neueres Thema zur Datenvisualisierung sind dynamische Datenpräsentationen basierend auf dezidierten, vernetzten Visualisierungseinheiten, welche im Rahmen des *Internet of Things* zuständig für die flüssige und auf beliebigen Endgeräten gefällige (engl. *responsive*) Darstellung, auch umfangreicher Datensammlungen, sorgen.

Einen Überblick zu Visualisierungs-Dienstleistern zeigt Abbildung 16. Charakterisiert werden die Dienstleister nach der für die Visualisierung benötigten Datenablage (lokal oder cloudbasiert) und nach dem Stadium der Interaktivität.

	cloud-basiert	Interaktivität	Referenz
Google Charts	ja	dynamisch	https://developers.google.com/chart/
Highcharts	nein	dynamisch	http://www.highcharts.com/
matplotlib	nein	statisch	http://matplotlib.org/
plotly	ja	dynamisch	https://plot.ly/
Pygal	nein	semi-dynamisch	http://pygal.org/
RRDtool	nein	statisch	http://oss.oetiker.ch/rrdtool/

Abbildung 16: Übersicht gängiger Visualisierungsdienstleister [Winkelbauer und Krampe, 2015]

Ein hoher Grad an Interaktivität geht folglich mit einer Datenweitergabe an einen externen Dienstleister, der die entsprechenden Visualisierungsroutinen über einfache Schnittstellen zugänglich macht (siehe *plotly*) oder mit erhöhtem Aufwand in der Implementierung (siehe *Highcharts*), dafür unter Wahrung der Privatheit der Daten, einher.

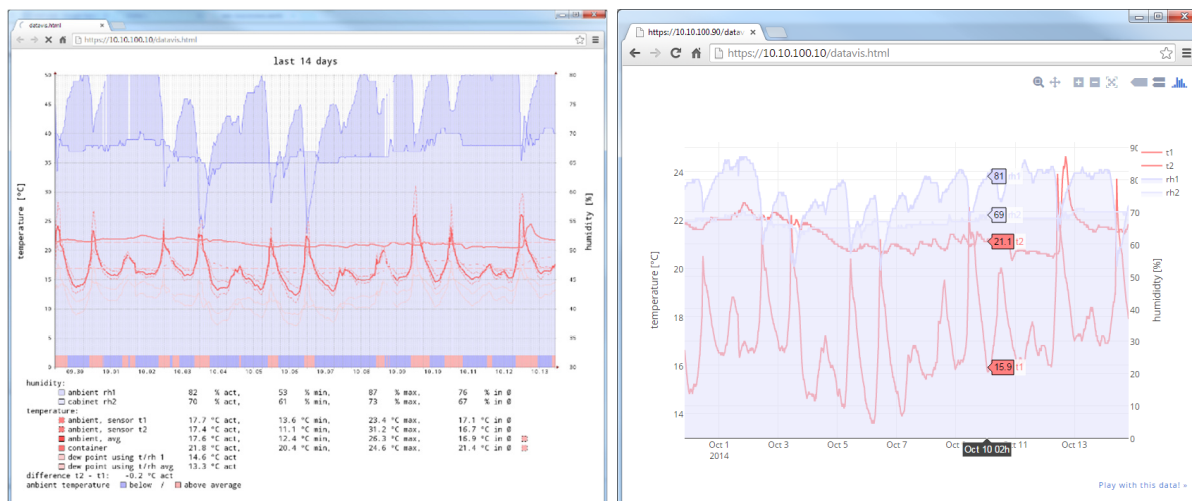


Abbildung 17: statische und dynamische Datenvisualisierung

Portable, auf allen gängigen Geräten lauffähige Datenvisualisierung beruht auf dem aktuellen HTML5-Standard [W3C, 2014]. Leistungsfähige Visualisierungen waren bis HTML4 nur durch Nachrüsten der Internetbrowser mit Drittanbieter-Plugins möglich; umfangreiche 2D- und 3D-Datenvisualisierung bei gleichzeitig echter Plattform-Unabhängigkeit und an das jeweilige Endgerät angepassten Darstellungen für mobile und stationäre Rechner ist erstmals im aktuellen Standard möglich.

5 Ausblick

Die Durchdringung aller Produktions- und Datenerfassungs-Prozesse durch Geräte immer höherer Rechenleistung und stetig anwachsende Datenmengen

führen zu neuen Herausforderungen an Hersteller und Anwender. *Big Data*, *Cloud-Computing*, *Internet of Things* und auch Fragen zur *Robustheit der Datenerfassung* sind in aller Munde; *Augmented Reality*, die „erweiterte Realität“, meist als Verschmelzung computergenerierter Benutzeroberflächen mit realer Wahrnehmung der Realität verstanden, ist eines der aktuellen Themen der Forschung. Die Wirkungen der 4. industriellen Evolution auf die Gesellschaft, insbesondere auf die künftige Arbeitsplatzsituation, sind noch nicht abzusehen und werden aktuell auf breiter Basis diskutiert.

Historisch abgeschlossene Systeme auf Basis etablierter Techniken, wie beispielsweise die Anwendung von Profibus zur Datenübertragung, werden zunehmend in Richtung verteilter Datenablagen in Cloud-Systemen mit wesentlich gesteigerter Datenrate und veränderten Voraussetzungen an Datenübergabeschnittstellen gestaltet. Die technischen Herausforderungen sind komplex und meist nur interdisziplinär umsetzbar. Für die Wasserwirtschaft bietet sich hier die Möglichkeit, gestaltend auf die Standardisierung wirken zu können. Vorgefertigte und vielleicht weniger flexible Konzepte müssen nicht mehr zwangsweise übernommen werden und neue Anwendungen können in der Zusammenarbeit zwischen Anwendern mit entsprechendem Domänenwissen und Ausrüstern mit deren Erfahrung in der industriellen Umsetzung wegweisend mitgestaltet werden.

6 Literatur

- Atzori, L. , Lera, A., Morabito, G. (2010): „The internet of things: A survey.“; *Computer Networks*, 54(15), S. 2787–2805; DOI:10.1016/j.comnet.2010.05.010.
- Bauernhansl, T. (2014): „Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma“; T. Bauernhansl et al. (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, DOI 10.1007/978-3-658-04682-8_1, S. 5-35, Springer Fachmedien Wiesbaden 2014.
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2015): „Whitepaper Anforderungen an sichere Steuerungs- und Telekommunikationssysteme“; online: [https://www.bdew.de/internetnsf/id/232E01B4E0C52139C1257A5D00429968/\\$file/OE-BDEW-Whitepaper_Secure_Systems%20V1.1%202015.pdf](https://www.bdew.de/internetnsf/id/232E01B4E0C52139C1257A5D00429968/$file/OE-BDEW-Whitepaper_Secure_Systems%20V1.1%202015.pdf), abgerufen am 11.02.2016.
- Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2014): „Die Fabrik der Zukunft“; online: http://www.bmvit.gv.at/innovation/ikt/produktion/fabrik_der_zukunft.html, abgerufen am 11.02.2016.
- Codd, E. F. (1970): „A relational model of data for large shared data banks“; *Communications of the ACM (CACM)* 13(6), S. 377-387, Juni 1970, DOI:10.1145/362384.362685.

- Colombo, A. W., Bangemann, T., Karnouskos, S. (2014): „IMC-AESOP Outcomes: Paving the way to Collaborative Manufacturing Systems“; IEEE 12th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), Porto Alegre, Brazil, 2014.
- Delsing, J., Rosenqvist, F., Carlsson, O., Colombo, A. W., Bangemann, T. (2012): „Migration of Industrial Process Control Systems into Service Oriented Architecture“; 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON2012), S. 5786-5792, DOI:10.1109/IECON.2012.6389039.
- Demchenko, Y., Membrey, P., Grosso, P., de Laat, C. (2013): „Addressing Big Data Issues in Scientific Data Infrastructure,“ First International Symposium on Big Data and Data Analytics in Collaboration (BDDAC 2013). Part of The 2013 Int. Conf. on Collaboration Technologies and Systems (CTS 2013); 20.24. Mai 2013, San Diego, California, USA.
- DIN EN 62264-1 (2013): „Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen. Teil 1: Modelle und Terminologie.“; Beuth Verlag, Berlin.
- Fuiko, R., Winkelbauer, A. (2015): „Automatisierte Plausibilitätsprüfung von on-line Messdaten“; 10. Fachtagung Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen (MSR), DWA; 9.-10. Juni 2015, Kassel.
- Google (2015): „Datenschutzerklärung und Nutzungsbedingungen, Stand 19. August 2015“; online: <https://www.google.com/policies/privacy/> abgerufen am 11.02.2016.
- Härder, T., Reuter, A. (1983): „Principles of Transaction-Oriented Database Recovery.“; ACM Computing Surveys 15(4), S. 287-317, DOI:10.1145/289.291.
- IEC 60381-1 (1982): „Analogue signals for process control systems. Part 1: Direct current signals.“, Beuth Verlag, Berlin.
- IEC 62443 (2015): „Industrielle Kommunikationsnetze – IT-Sicherheit für Netze und Systeme.“; Beuth Verlag, Berlin.
- ISO/IEC 9075-1 (2011): „Information technology -- Database languages -- SQL -- Part 1: Framework (SQL/Framework)“; International Organization for Standardization, online: http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/c053681_ISO_IEC_9075-1_2011.zip, abgerufen am 11.02.2016.
- Kagermann, H., Lukas, W.-D., Wahlster, W. (2011): „Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution“; VDI-Nachrichten (13), April 2011.
- Karnouskos, S., Colombo, A.W. ; Jammes, F. ; Delsing, J. (2010): “Towards an architecture for service-oriented process monitoring and control”; IECON 2010 – 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, S. 1385-1391, 7-10 Nov. 2010, DOI:10.1109/IECON.2010.5675482.
- Kreuzinger, N. et al (2015): „KomOzAk Endbericht: Weitergehende Reinigung kommunaler Abwässer mit Ozon sowie Aktivkohle für die Entfernung organischer Spurenstoffe“; online: <https://www.bmlfuw.gv.at/dam/jcr:eb9b35f3-2f2a-4e23-bf57-b99aefd4858a/KomOzAk%20Endbericht%20-%20Langfassung.pdf>, abgerufen am 11.02.2016.
- Litz, L. (2013): „Grundlagen der Automatisierungstechnik“; Oldenbourg Verlag München, 2. Auflage, ISBN: 978-3-486-70888-2.

- McKay, M. (2012): „Best practices in automation security“; 2012 IEEE-IAS/PCA 53rd Cement Industry Technical Conference, S. 1-15, DOI:10.1109/CITCON.2012.6215678.
- META Group (2001): „3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity, and Variety.“; Application Delivery Strategies, 6. Feb. 2001; online: <http://blogs.gartner.com/doug-laney/files/2012/01/ad949-3D-Data-Management-Controlling-Data-Volume-Velocity-and-Variety.pdf>, abgerufen am 11.02.2016.
- Moore, G. E. (1965): „Cramming more Components onto Integrated Circuits“; Electronics 38(8), 19. April 1965.
- Moore, G. E. (2003): „No exponential is forever: But ‘forever’ can be delayed!“: IEEE International Solid-State Circuits Conference Keynote address, 2003.
- IWAG, Projekt NaWas (2016): „aktuelle Messdaten (online Messstation Neumarkt / Raab)“; online: <http://iwr.tuwien.ac.at/wasser/raab.html>, abgerufen am 11.02.2016.
- ÖWAV Regelbatt 13 (2013): „Betriebsdaten von Abwasserreinigungsanlagen – Erfassung, Protokollierung und Auswertung“; 3. vollständig überarbeitete Auflage, Wien.
- Pokorny, J. (2013): „NoSQL databases: a step to database scalability in web environment“, International Journal of Web Information Systems 9(1), S. 69-82, DOI:10.1108/17440081311316398.
- Rahm, E., Saake, G., Sattler, K.-U. (2015): „Verteiltes und Paralleles Datenmanagement - Von verteilten Datenbanken zu Big Data und Cloud“; Springer-Verlag Wien Heidelberg, ISBN 978-3-642-45242-0.
- Reddy, Y. B. (2014): „Cloud-based Cyber Physical Systems: Design Challenges and Security Needs“; 10th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks (MSN), S. 315-322, DOI:10.1109/MSN.2014.50.
- Saldivar, A. A. F., Li, Y., Chen, W. N., Zhan, Z. H., Zhang, J., Chen, L. Y. (2015): „Industry 4.0 with Cyber-Physical Integration: A Design and Manufacture Perspective“; 21st International Conference on Automation and Computing (ICAC), S. 1-6, DOI:10.1109/IConAC.2015.7313954.
- Schneier, B. (2009): „File Deletion“; online: https://www.schneier.com/blog/archives/2009/09/file_deletion.html, abgerufen am 11.02.2016.
- Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon: „Stichwort: industrielle Revolution“; online: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/73533/industrielle-revolution-v4.html>, abgerufen am 11.02.2016.
- Srivastava, P.P., Goyal, S., Kumar, A. (2015): „Analysis of various NoSql database“; 2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT), S. 539-544, DOI:10.1109/ICGCIoT.2015.7380523.
- Thompson, C. W. (2005): „Smart Devices and Soft Controllers“; IEEE Internet Computing 9(1), S. 82-85, 21. März 2005, DOI:10.1109/MIC.2005.22.
- The PostgreSQL Global Development Group (2016): „PostgreSQL - the world’s most Advanced Open Source Database.“, online: <http://www.postgresql.org>, abgerufen am 11.02.2016.
- Tianfield, H. (2015): „Security issues in cloud computing“; 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), S. 1082-1089, DOI:10.1109/ICSMC.2012.6377874.

- Vogel-Heuser, B. (2014): „Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik“; T. Bauernhansl et al. (Hrsg.), Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, DOI:10.1007/978-3-658-04682-8_1, S. 37-48, Springer Fachmedien Wiesbaden 2014.
- W3C, World Wide Web Consortium (2014): “HTML5 – A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML”; Proposed Recommendation; online: <https://www.w3.org/TR/html5/Overview.html#contents>, abgerufen am 11.02.2016.
- Winkelbauer, A. (2015): „ÖWAV Messtechnikkurs“; aus Vortragsskriptum Kapitel 6: Signalübertragung und Skalierung.
- Winkelbauer, A., Fuiko, R., Krampe, J., Winkler, S. (2014): „Crucial elements and technical implementation of intelligent water monitoring networks“; Water Science and Technology 70(12), S. 1926-1933, DOI: 10.2166/wst.2014.415.
- Winkelbauer, A., Krampe, J. (2015): „Water Quality Monitoring with a Raspberry Pi used as Data Visualization Appliance“; IWA New Developments in IT & Water Conference, 8.-10. Feb. 2015, Rotterdam.
- Winkler, S., Kornfeind, L., Fuiko, R., Winkelbauer, A. (2013): „Separating real system dynamics from measurement failures and artefacts by means of automated data quality assessment methods“; 11th IWA Conference on Instrumentation Control and Automation; 18-20. Sept. 2013.
- Zühlke, D. (2012): „Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen – Useware-Engineering für technische Systeme“; Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2. Auflage, ISBN 978-3-642-22074-6.

Korrespondenz an:

Andreas Winkelbauer

Technische Universität Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

Karlsplatz 13/E226-1

1040 Wien

Tel.: +43 1 58801 22661

Mail: awinkelbauer@iwag.tuwien.ac.at

Cloud Computing in der Wasserwirtschaft, ÖWAV-Regelblatt 13

Christian Fimml

Abwasserverband Achental-Inntal-Zillertal

Abstract: IT aus der Steckdose ist heute auch in der Branche der Wasserwirtschaft Wirklichkeit geworden. Cloud-Computing bietet gerade in diesem Bereich viele interessante Anwendungen und Möglichkeiten um das eigene Datenmanagement sowie die Erfüllung von diversen Berichtspflichten erheblich zu erleichtern. Aktuell entsteht gerade eine Cloud-Anwendung im Bereich der ÖWAV-Kläranlagenachbarschaften, wodurch zukünftig die Nachbarschaftsarbeit für Kläranlage, Sprecher und Betreuer effizienter gestaltet werden kann. Der Einstieg in die Nutzung von Cloud-Services mag für manche Veränderungsunwillige immer noch mit Unsicherheit und Skepsis verbunden sein. Die digitale Revolution ist aber bereits im Gange, und es wird kein Weg daran vorbeiführen. Je früher wir uns dieser Herausforderung stellen, desto größer wird langfristig der Nutzen sein. Der vorliegende Beitrag soll helfen, Vertrauen in die Cloud zu bekommen, sowie ein Bewusstsein für die Vorteile von Cloud-Services zu schaffen, um den Verantwortlichen und dem Betriebspersonal in der Wasserwirtschaft die irrationale Angst vor der Wolke zu nehmen

Key Words: Cloud-Computing, Cloud-Services, Hosting, Virtualisierung, Regelblatt 13, Kläranlagenportal,

1 Was versteht man unter Cloud Computing?

Unter Cloud Computing versteht man die dynamische Bereitstellung von IT-Hardware, -Software und -Services über ein entferntes Netzwerk (Rechenzentrum). Dabei kann es sich um Rechendienste, Transaktionen, Dokumentenverarbeitung, Datenbank-Anwendungen, E-Mail-Services, Datenspeicherung oder Security-Aufgaben handeln. Anwender können die zentralen Dienste jederzeit von jedem Ort aus online nutzen.

2 Die IT-Entwicklung bis zum Cloud Computing

Die große Zahl der Computer begann Mitte der 60iger Jahre in erster Linie für große Firmen und Banken. Es wurden Großrechner, sogenannte Mainframes installiert, was meist raumfüllende Computeranlagen waren. Die einzelnen Computer-Arbeitsplätze waren Terminals, über denen sich der Anwender mit Benutzernamen und Kennwort in den Großrechner einloggte. Die Programme und Daten waren am Großrechner installiert. So war in etwa der EDV-Standard von 1965 bis 1985.

Die eigentlichen Personal-Computer kamen erst in den achtziger Jahren. Hier war es dann möglich, Programme, wie beispielsweise Textverarbeitung oder Tabellenkalkulation, am eigenen Rechner auszuführen. Mit Entwicklung der Netzwerke (WAN, LAN, TCP-IP) kam dann die Client-Server-Technologie. Daten wurden über Netzwerke auf Datenbankservern gespeichert.

Mit dem Einzug des Internet Anfang der 90iger Jahre wurden dann die ersten Daten und E-Mails über das World-Wide-Web verschickt. Als Internetverbindungen mit der Zeit schneller und zuverlässiger wurden, entwickelte sich eine neue Art von Unternehmen, der sogenannte Application-Service-Provider (kurz: ASP) oder Anwendungsdienstleister.

Es dauerte fast noch bis zur Jahrtausendwende, bevor das Cloud Computing, wie wir es heute kennen, seinen Siegeszug startete. Die Sinnvolle Nutzung dieser Dienstleistungen war nicht zuletzt auch von einer schnellen Internetverbindung (Breitbandzugang) abhängig. In der EU verfügten erst Anfang 2008 80% der Haushalte mit Internetanschluss über einen Breitbandzugang.

Mittlerweile ist das Thema Cloud Computing allgegenwärtig, denkt man nur an Mobility, Big-Data, Analytics und Social Media wie Facebook und dergleichen.

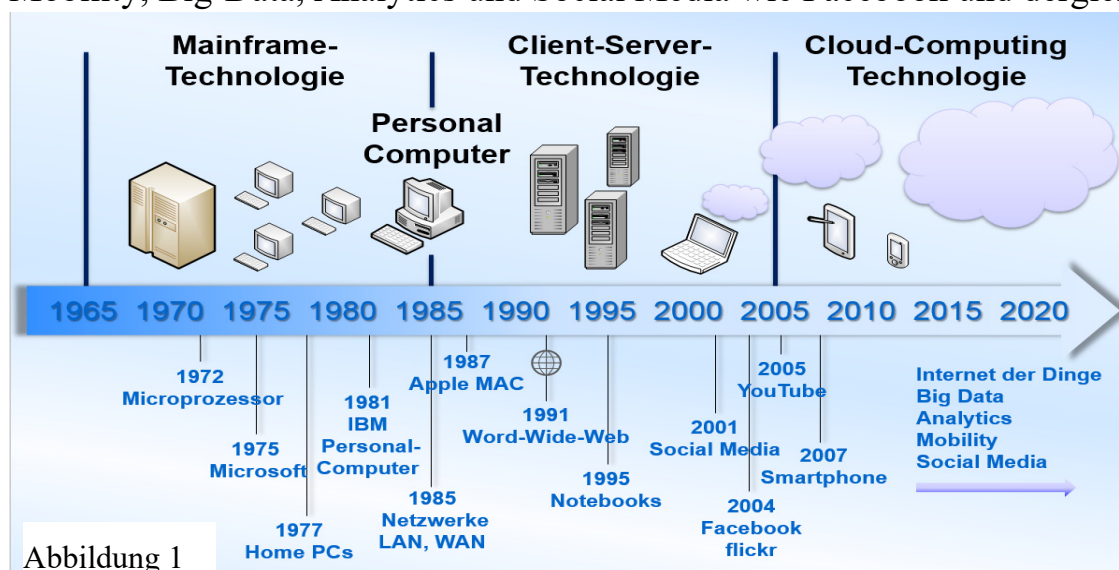


Abbildung 1

3 Begriffe beim Cloud Computing

Der Vollständigkeit halber werden einige wesentliche Begriffe im Zusammenhang mit Cloud Computing angeführt und beschrieben:

3.1 Cloud-Serviceebenen (Cloud-Computing-Architektur)

3.1.1 Infrastructure as a Service (IaaS)

Hier versteht man im Cloud-Computing die Bereitstellung von virtualisierter IT-Infrastruktur über private oder öffentliche Netzwerke. Üblicherweise wird als Hardware Rechen-, Speicher- und Netzwerkinfrastruktur (Firewalls, Load-Balancer etc.) zur Verfügung gestellt. Die eigentliche Anwendung läuft typischerweise auf einer virtuellen Maschine, für deren Inhalte der Nutzer selbst verantwortlich ist. IaaS ähnelt daher dem traditionellen Hosting: Unternehmen nutzen die Hostumgebung als logische Erweiterung des firmeninternen Datacenters, müssen ihre Server dort jedoch genauso wie firmeninterne Server warten.

3.1.2 Platform as a Service (PaaS)

Platform as a Service ist ein Cloud-Computing-Modell, bei dem neben Hardware-Services und Betriebssystemen als Basisinfrastruktur auch höherwertige Dienste aus der Cloud geliefert werden. Dabei kann es sich sowohl um schnell einsetzbare Laufzeitumgebungen (typischerweise für Webanwendungen) aber auch um Entwicklungsumgebungen handeln, die mit geringen administrativen Aufwand und ohne Anschaffung der darunterliegenden Hardware und Software genutzt werden.

Mit der technischen Umsetzung dieser Services müssen sich Benutzer nicht befassen. PaaS-Angebote erleichtern Entwicklung, Erprobung, Einführung und laufende Wartung von Anwendungen, ohne dass Anschaffungskosten für Infrastruktur und Software-Umgebungen fällig werden.

Beispiele: Microsoft Azure, Salesforce,

3.1.3 Software as a Service (SaaS)

Bei Software as a Service stellen Cloud-Anbieter fertige Anwendungen über das Internet zur Verfügung. Dabei werden Infrastrukturressourcen und die Anwendungen kombiniert genutzt. Die Cloud-Anwendung wird nach Bedarf abgenommen und entsprechend bezahlt, lässt sich aber jederzeit im Umfang

erweitern, wenn das erforderlich ist. Software as a Service ist derzeit die häufigste Form von Cloud Computing.

Beispiele: Google Apps, Microsoft Office 365, Kläranlagenportal (KAPO)

3.2 Betriebsmodelle in der Cloud

3.2.1 Private Cloud

Private Cloud bezeichnet eine standardisierte Cloud-Umgebung, die von einem bestimmten Personenkreis oder Unternehmen selbst kontrolliert und betrieben wird. Der Zugriff auf die Dienste erfolgt via Intranet oder über ein Virtual Private Network (VPN) und steht ausschließlich den Mitarbeitern oder Geschäftspartnern zur Verfügung.

3.2.2 Public Cloud

Public Cloud bezeichnet eine IT-Umgebung, die von einem Cloud-Dienstleister betrieben wird. Die Anwender (Privatpersonen oder Unternehmen) greifen über das Internet auf die Ressourcen zu und teilen sich eine virtualisierte Infrastruktur. Eigene Ressourcen benötigen sie nicht, stattdessen abonnieren sie die in der Public Cloud verfügbaren Services. Die Public Cloud stellt eine Auswahl von Geschäftsprozess-, Anwendungs- und/oder Infrastrukturservices auf einer variablen, nutzungsabhängigen Basis bereit.

3.2.3 Community Cloud

Community Clouds werden Cloud-Infrastrukturen bezeichnet, die von mehreren Unternehmen oder Organisationen (oft im Zuge eines Projekts) genutzt und bereitgestellt werden, um gemeinsam auf bestimmte Dienste zugreifen zu können. Diese sind jedoch nicht öffentlich verfügbar, sondern beschränken sich auf einen definierten Nutzerkreis.

3.2.4 Hybrid Cloud

Als Hybrid Cloud wird eine Mischform aus Private Cloud, Public Cloud, Community-Cloud und traditioneller IT-Umgebung bezeichnet. Gerade in Unternehmen werden die bestehenden Anforderungen meist nicht durch eine einzelne IT-Form optimal erfüllt. In Hybrid Clouds lassen sich die Nutzungsanteile von Private Cloud, Public Cloud und traditioneller IT-Umgebung flexibel kombinieren.

3.3 Hosting

Als Hosting bezeichnet man das Zur-Verfügung-Stellen von IT-Dienstleistungen oder Ressourcen über einem Dienstleister. Unternehmen werden durch den Einsatz von Hosting-Lösungen vom Eigenbetrieb entsprechender Infrastruktur und Ressourcen entlastet.

Die Internet-Hosting-Dienste sind in der Regel öffentlich, können aber auch auf bestimmte Zielgruppen beschränkt sein, wie zum Beispiel Mitarbeiter, Geschäftspartner oder Endkunden.

Die genutzte Hosting-Lösung kann dabei mit ausgewählten Ressourcen für jeden Kunden arbeiten oder auch Cloud Services umfassen

3.4 Virtualisierung

Als Virtualisierung bezeichnet man in der IT die Einführung einer logischen Abstraktionsebene zwischen zwei Schichten – beispielsweise zwischen Hardware-Ressourcen und Anwender-Oberflächen. Die zugrundeliegenden Ressourcen können dadurch flexibel und mit maximaler Auslastung gleichzeitig unterschiedlichen Anwendern oder Prozessen zur Verfügung gestellt werden. Der Anwender bekommt dabei gleichzeitig den Eindruck, die genutzten Ressourcen stünden ihm „exklusiv“ zur Verfügung.

Ein vereinfachendes, aber im Prinzip zutreffendes Beispiel kann das vielleicht verdeutlichen: Normalerweise sitzt der Anwender am PC und speichert seine Dokumente auf die darin befindliche Festplatte. Das gleiche Benutzererlebnis hat er, wenn er dafür eine „virtualisierte Festplatte“ in der Cloud wie OneDrive benutzt. Sie „fühlt“ sich beim Gebrauch an wie eine dem Anwender exklusiv zur Verfügung stehende Online-Festplatte, auf die er über das Internet zugreift.

Tatsächlich wird dabei durch die Abstraktionsebene „Cloud“ der Zugriff auf zahlreiche Festplatten in verschiedenen, über die ganze Welt verteilten Rechenzentren organisiert. Die Daten werden zwischen diesen Speicherorten je nach Auslastung flexibel verteilt, ohne dass der Anwender sich um einen „freien Speicherplatz“ kümmern muss.

4 Vor- und Nachteile von Cloud-Lösungen

4.1 Vorteile von Cloud-Lösungen

Die meisten Abwasserverbände und Kläranlagen in Österreich haben keine eigenen EDV-Spezialisten als Mitarbeiter zur Verfügung und müssen daher für Softwareinstallationen, Konfiguration, Sicherung sowie Instandhaltung externe IT-Fachkräfte anfordern. Durch Cloud-Dienstleistungen kann ein Großteil dieser genannten Anforderungen minimiert werden.

4.1.1 Verfügbarkeit der Cloud-Anwendung

Praktisch immer, weil der Cloud-Service über jeden Internet-Browser erreichbar ist, somit ist es ganz egal, wo man sich befindet. Das Endgerät muss verständlicherweise eine Verbindung zum Internet herstellen können.

4.1.2 Softwareinstallation und Konfiguration

Bei lokal installierten Softwareprogrammen muss auf jedem Arbeitsplatz die Software installiert und am aktuellen Stand gehalten werden. Bei jedem PC-Tausch kommt es zu Problemen: Wo liegt das Software-Installationspaket, ist diese für das Betriebssystem noch geeignet, wo liegt die Datenbank und so weiter. Liegt eine Anwendung in der Cloud, kann im Prinzip von jedem internetfähigen PC mit Standardkonfiguration darauf zugegriffen werden.

4.1.3 Sicherung und Instandhaltung

Erfahrungsgemäß werden regelmäßige Sicherungen von Daten und Programmen unzureichend bis gar nicht durchgeführt. Durch die Auslagerung in die Cloud entsteht hier der große Vorteil, dass der Anwender sich nicht mehr um die Sicherung und Wartung seiner Daten kümmern muss. Diese Aufgaben muss der Cloud-Dienstleister übernehmen. Zudem besteht eine höhere Ausfallsicherheit der Hardware in der Cloud durch leistungsfähigere USV, Redundanz, Zutrittsschutz etc.

4.1.4 Aktualisierungen und Updates

Durch die zentrale Installation und Administration der Cloud-Anwendungen werden Softwareänderungen, Anpassungen und Updates an den Cloud-Dienstleister übertragen. Da diese Anwendungen meist von einer Vielzahl von Benutzern verwendet werden, nutzt man daher Ressourcen, die in der Regel dem aktuellen Stand der Technik entsprechen bzw. laufend auf dem aktuellen Stand gebracht werden.

4.1.5 Kosten

Da Cloud-Anbieter ihre Ressourcen für viele Teilnehmer bereitstellen, können die einzelnen Dienstleistungen kostengünstiger angeboten werden, als dies ein Einzelunternehmen kann, das hierfür Personal, Hardware und Software bereitstellen muss. Da die benötigten Dienste und Hardware meist angemietet werden, können klar kalkulierbare Kosten monatlich oder jährlich geplant werden.

4.1.6 Datenablage in der Cloud

Durch die Ablage von Daten (persönliche oder Unternehmensdaten) in einen Cloud-Storage-Service (z. B. Dropbox, OneDrive etc.) kann jederzeit und an jedem Ort auf diese zugegriffen werden. Der Zugriff auf einzelne Daten oder Ordner für mehrere Personen, wie zum Beispiel bei der Bearbeitung eines gemeinsamen Projekts, erfolgt durch benutzerdefinierte Freigaben. (Cloud-basiertes File Sharing)

4.2 Nachteile von Cloud-Lösungen

4.2.1 Internetanbindung

Durch die Auslagerung der Softwareanwendung und eventuell auch der Daten in die Cloud, ist man auf eine funktionierende Internetverbindung angewiesen. Hier ist in jeden Fall zu prüfen, ob für den Standort eine ausreichende Bandbreite zur Verfügung steht. Für die Zuverlässigkeit der Internetanbindung sollten auch Provider mit Businesspaketen gewählt werden. Hier gibt es zum Beispiel Backup Mobile-Pakete die bei Ausfall des primären Internetzugangs (Festnetz) automatisch auf einen Backup Mobile-Router umschalten.

4.2.2 Zugriff - Geschwindigkeit und Arbeitstempo

Hängt vorwiegend von der Qualität des Internetzuganges ab, es kann aber auch durch Auslastung der gehosteten Server die Übertragungsgeschwindigkeit oder Performance eingeschränkt sein.

4.2.3 Abhängigkeit vom Anbieter

Beim Cloud-Computing entsteht automatisch eine Abhängigkeit gegenüber dem Cloud-Anbieter bzw. Cloud-Dienstleister. Bei personenbezogenen und sicherheitsrelevanten Daten sollte geprüft werden, ob die Datenschutzbestimmungen dem europäischen Recht entsprechen.

5 Vertrauen ist der Schlüssel für den Weg in die Cloud

5.1 Trust in Cloud (TiC)

Die Vorteile von Cloud-Computing sind heute in der IT-Welt unumstritten. Diverse Datenmanagementsysteme, wie beispielsweise das EDM Portal des BMLFUW wären ohne Cloud-Lösung nicht umsetzbar. Als einziges Killerargument gegen die Cloud bleibt das Thema „Risiko“ und „Sicherheit“. Unwissenheit und viele offene Fragen gegenüber dieser neuen IT-Technologie bringen automatisch Unbehagen und Unsicherheit. Es ist ein gewisser Sachverstand notwendig, um die Problembereiche rund um die Cloud besser verstehen zu können. Ohne Vertrauen in die Cloud wird es schwierig, die Vorteile für die eigene Organisation zu nutzen.

EuroCloud Österreich (ist der Verband der österreichischen Cloud Computing-Industrie) hat nicht zuletzt deshalb die Initiative „Trust in Cloud“ ins Leben gerufen. Weitere Details und Informationen rund um das Thema Cloud-Computing sind auf der Webseite <http://www.trustincloud.org> zu finden.

5.2 Cloud Privacy Check (CPC)

Eine weitere Initiative der EuroCloud Österreich ist der „Cloud Privacy Check“. Hier geht es um datenschutzrechtliche Anforderungen, die ein Kunde vor der Nutzung von Cloud-Services einhalten muss. Auf der Webseite <http://www.cloudprivacycheck.eu/de/> kann über die „Legal Toolbox“ mit Hilfe von vier einfachen Prüfungsschritten die Rechtmäßigkeit des Einsatzes einer bestimmten Cloud-Lösung beurteilt und die erforderlichen rechtlichen Möglichkeiten identifiziert werden.

6 Recht, Datenschutz und Compliance

Beim Cloud-Computing muss Sicherheit und Compliance als eines der wichtigsten Themen betrachtet werden. Die folgenden Punkte dienen als kurzer Überblick über diese heikle Materie.

6.1 Rechtsgebiete beim Cloud Computing

Neben den technischen Details beim Cloud-Computing sind viele juristische Aspekte zu beachten.

Folgende Rechtsgebiete sind u.a. in Betracht zu ziehen:

- IT-Vertragsrecht
- Urheberrecht
- Recht am eigenen Bild (allg. Persönlichkeitsrecht)
- Grundrechte (z.B. Meinungs-/Presse-freiheit)
- Datenschutzrecht
- Strafrecht

Wenn es um personenbezogene Daten geht, sollte darauf geachtet werden, dass sich der Sitz des Dienstleisters bzw. der Standort der Server in der EU oder dem europäischen Wirtschaftsraum (EWR) befindet.

6.2 Der Cloud-Vertrag

Derzeit sind Cloud-Verträge noch nicht die Regel und auch einheitlich schwer zu bewerten, da es sehr viele Varianten und Gestaltungsmöglichkeiten gibt.

In jeden Fall dient der Cloud-Vertrag als Rechtsbeziehung zwischen Cloud-Nutzer und Cloud-Dienstleister.

Ein Cloud-Vertrag sollte folgende Punkte beinhalten:

- Service Level Agreement (SLA)
- technische Aspekte, wie Sicherheit, Backup etc.
- Leistungsbeschreibung (Software + Dokumentation)
- Rechte (Lizenzbestimmungen beachten)
- Entgelt (Zahlungen für „Mehrnutzung“?)
- Hauptpflichten (Zahlung; Instandhaltung/Wartung)
- Nebenleistungspflichten
- Haftung/Gewährleistung
- Besonderheiten des Datenschutzrechts
- Form (Idealfall: Schriftform)

6.3 Datenschutzrecht

Datenschutzrechtliche Vorgaben werden dann relevant, wenn personenbezogene Daten (z. B. Kundendaten oder Mitarbeiterdaten) betroffen sind. Der Begriff der „personenbezogenen Daten“, im Sinne des Datenschutzgesetzes, ist allerdings nicht immer eindeutig zu beurteilen.

In Österreich hat derzeit das Datenschutzgesetz 2000 (DSG 2000) Gültigkeit.

Alle Daten, die einen Personenbezug haben oder bei denen der Anbieter, der Nutzer oder ein Dritter einen Personenbezug herstellen könnte, gelten aus Sicht der Datenschutzbehörden als „personenbezogene Daten“. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass nach österreichischem Datenschutzrecht nicht nur

eine natürliche Person „Betroffener“ sein und damit den Schutz des DSGVO in Anspruch nehmen kann, sondern auch juristische Personen, unternehmensrechtliche Personengesellschaften und sonstige Personengemeinschaften, deren Daten verwendet werden.

6.4 Compliance

Unter Compliance versteht man die Einhaltung der gesetzlichen, unternehmensinternen und vertraglichen Regelungen, insbesondere im IT-Bereich

die wichtigsten nationalen **Regeln** zur Erfüllung einer IT-Compliance sind:

- Telekommunikationsrecht
- Datenschutzrecht
- Grundsätze zum Datenzugriff und zur Prüfbarkeit digitaler Unterlagen (GDPdU)
- Gesetz zur Kontrolle und Transparenz im Unternehmensbereich
- Sowie zahlreiche internationale Vorschriften (Basel II, Rating etc.)

zu den Compliance **Anforderungen** in der IT gehören hauptsächlich:

- Informationssicherheit
- Verfügbarkeit
- Datenaufbewahrung und
- Datenschutz
- Befolgung der Compliance-Regeln (wichtig für GmbH und AG)

7 Cloud-Lösungen für die Wasserwirtschaft

Im Bereich der Wasserwirtschaft kommen Cloud-Lösungen immer häufiger zum Einsatz. Einerseits müssen diverse Informationen und Daten aus Gründen von Berichtspflichten (Bescheide, EmREG-OW, PRTR, IDE-VO, EDM etc.) übermittelt werden, andererseits können die gesammelten Betriebsdaten für Vergleiche und Statistiken (Benchmark, Zustandsbericht etc.) für einen bestimmten Nutzerkreis (z.B. Kläranlagennachbarschaften) zur Verfügung gestellt werden. Liegen die benötigten Informationen und Daten in der Cloud, kann der Datenzugriff auch für andere berechtigte Benutzer freigeschaltet werden. Hier ist natürlich im Besonderen auf die Datennutzung und Rechtevergabe (Schreib- und/oder Leserechte) zu achten. Im Folgenden werden einige Cloud-Lösungen für die Wasserwirtschaft vorgestellt.

7.1 KAPO – Das Kläranlagenportal

KAPO ist eine Public Cloud-Lösung, die in erster Linie für das Datenmanagement von Abwasserreinigungsanlagen entwickelt wurde. Das Ziel dabei ist, Stammdaten und Betriebsdaten geschützt in einer Cloud-Plattform abzulegen, um diese für verschiedene Auswertungen und Anwendungen zur Verfügung zu stellen. Durch Erteilen von gezielten Benutzerrechten durch den Betreiber, können auch externe Benutzer Zugriff auf ausgewählte Daten erhalten. Eine übersichtliche Menüstruktur, sowie komfortable Import- und Exportschnittstellen ermöglichen dem Benutzer (vorwiegend dem Klärwärter) eine Fülle von Verwaltungsaufgaben aus diesem zentralen Cloud-Service einfach und effizient zu erledigen

Mit dem Einstieg in das Portal über die Webseite <http://www.kapo.or.at> oder auch <http://www.zustandsbericht.at> gelangt man in die allgemeine Übersichtsseite (Abbildung 2). Je nach Berechtigungsstufe und Freischaltung werden auf der linken Seite die eigene(n) Kläranlage(n), die Kläranlagen einer Kläranlagennachbarschaft (KAN), oder auch alle Kläranlagen eines Bundeslandes angezeigt. Die einzelnen Cloud-Anwendungen werden über das Menü in der Kopfleiste angewählt.

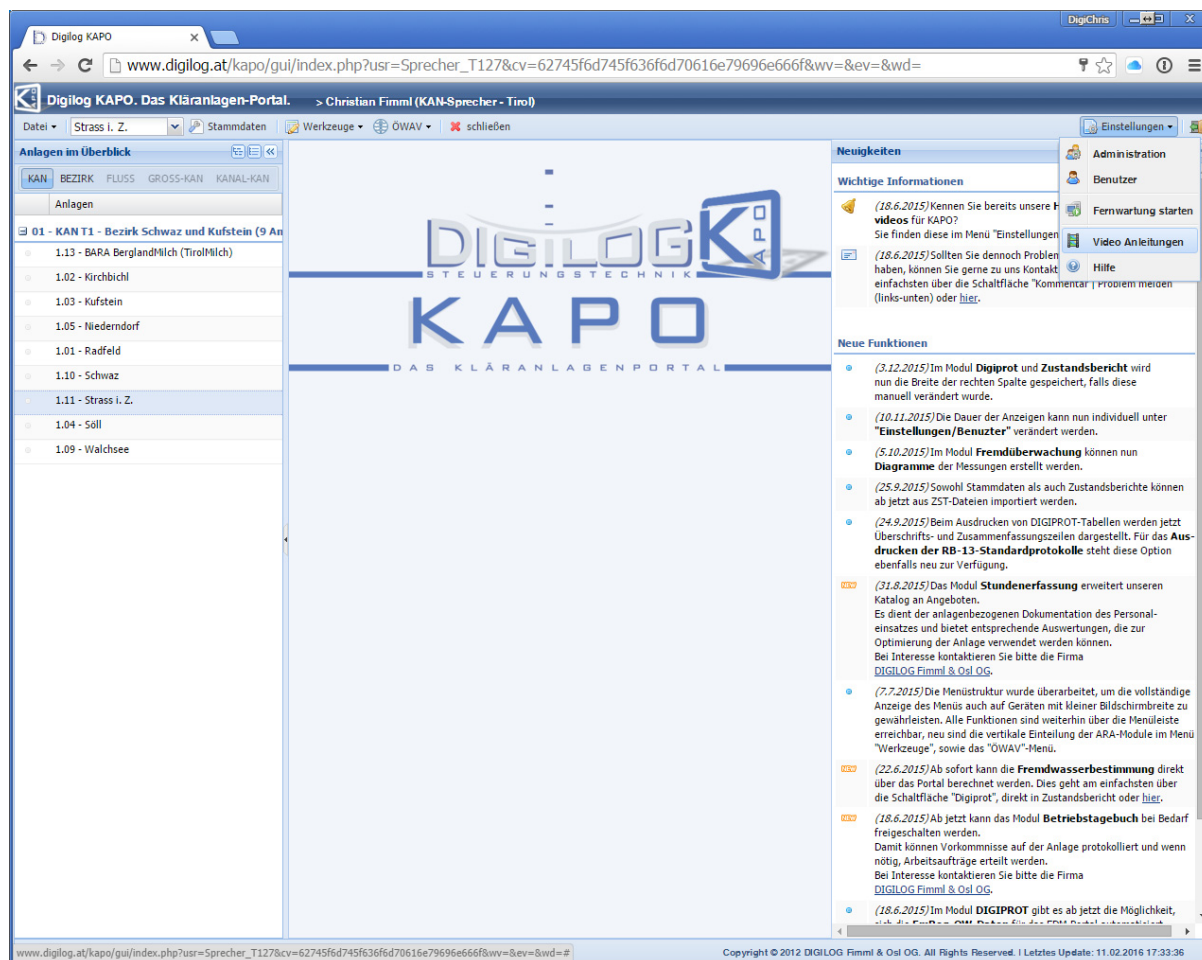


Abbildung 2

Die Stammdaten jeder Kläranlage wurden als eigenständiger Menüpunkt in der KAPO-Hauptseite integriert und werden für alle anderen Cloud-Anwendungen verwendet. Die Stammdaten sind nach der Modulstruktur (derzeit 32 Module) des ÖWAV–Regelblattes 13 eingeteilt. Angezeigt werden nur jene Module die der Kläranlagenkonfiguration entspricht bzw. die ausgewählt wurden.

Folgende Cloud-Anwendungen sind derzeit über das KAPO verfügbar:

- DIGIPROT – Betriebsdatenerfassung - Protokollierung und Auswertung nach den Vorgaben des ÖWAV Regelblatt-13 (2013)
- Fremdüberwachung – Protokollierung der Eigen- und Fremdüberwachung nach den Vorgaben des ÖWAV-Regelblatt-6 Teil1
- Kläranlagen-Zustandsbericht – Datenerfassung und Auswertung nach dem ÖWAV – Arbeitsbehelf 22
- Abfallbilanztool – Fakturierung (Lieferscheine, Rechnungen) der Abfallströme und automatische Erstellung eines XML-Files zur Abfallbilanzmeldung am EDM-Portal
- Betriebstagebuch – zur Dokumentation und Verwaltung von Tagesaktivitäten und Aufgaben
- DIGIKAT – Zentrale Verwaltung und Auswertung von Kläranlagendaten auf Bundeslandebene für Behörden
- Stundenerfassung – Aufzeichnung von Wartungs- und Reparaturstunden nach Kostenstellen

Sämtliche Informationen zum Kläranlagenportal wurden auf einen eigenen YouTube-Kanal gestellt. Dort finden Sie Videos, die das Portal und alle dazu vorhandenen Cloud-Anwendungen vorstellen und die Bedienung erklären. Um dorthin zu gelangen, suchen Sie einfach im YouTube-Portal nach „DIGILOG KAPO“ oder Sie geben diesen kurzen Link im Browser ein: [videos.digilog.at](https://www.youtube.com/channel/UCv8p1p1p1p1p1p1p1p1p1p1)

7.1.1 Die Cloud-Anwendung DIGIPROT (ÖWAV RB 13)

DIGIPROT dient dem Klärwärter zur Erfassung, Protokollierung und Auswertung von Betriebsdaten (Basis Tageswerte). DIGIPROT wurde nach den Parametervorgaben des ÖWAV Regelblatt 13 (2013) aufgebaut und bildet somit eine einheitliche Datenbasis, auch für weitere Cloud-Anwendungen im Kläranlagenportal.

Die browserbasierende Benutzeroberfläche bietet folgenden Umfang:

- Eingabe oder automatische Übernahme von Betriebsdaten
- Erstellen von Diagrammen, Tabellen
- Erstellen von Vorlagen für erneute schnelle Selektion von Daten
- Datendownloads in .csv, .xls, .pdf Formaten
- Downloads von Diagrammen als Bild oder als Datensatz im CSV-Format
- Verwaltung und Editieren von Stammdaten und Betriebsdaten
- Erstellen des EmReg-OW Datensatzes zur Meldung an das EDM
- Datenprüfung bzgl. Einhaltung AEV_k, Bescheid und ÖWAV AB 14
- Datenfreigabe mit automatisierter Mailbenachrichtigung für den Kläranlagenaufsichtsdienst
- Erstellen von benutzerdefinierten Abfragen und Auswertungen (Rohdaten, berechnete Daten, Gruppierungen, Zusammenfassungen, verschachtelte Filter usw.)

Dateneingabe

The screenshot shows the 'Betriebsdaten-Eingabe' (Operational Data Entry) interface for plant M01. The main table lists various parameters and their values:

Name	Wert
Abwassermengen	
Zulauf - Abwassermenge [m³]	22870
Zulauf - Abwassermenge min [m³/h]	563
Zulauf - Abwassermenge max [m³/h]	1417
Q-Zulauf Zillertal [0 - 100000 m³/d]	16051
Q-Zulauf Innal [0 - 30000 mg/l]	6337
Regenwetterzulauf [0 - 200000 m³/d]	
Messwerte-Labor	
Zulauf - BSBS [50 - 1000 mg/l]	310
Zulauf - CSB [100 - 2000 mg/l]	679
Zulauf - TOC [30 - 600 mg/l]	
Zulauf - Ges.P [0 - 25 mg/l]	9,1
Zulauf - NH4-N [mg/l]	26,5
Zulauf - Ges.N [10 - 150 mg/l]	46
Zulauf - absetzbare Stoffe [0 - 100 ml/l]	14
Messwerte-PLS	
Zulauf - Temperatur [0 - 40 °C]	17,6
Zulauf - pH-Wert min [0 - 10 -]	7,1
Zulauf - pH-Wert max [4 - 14 -]	7,9
Frachten	
Zulauffracht - BSBS [kg/d]	7090
Zulauffracht - CSB [kg/d]	15529
Zulauffracht - Ges.P [kg/d]	208
Zulauffracht - NH4-N [kg/d]	606
Zulauffracht - Ges.N [kg/d]	1052
Einwohnerwerte	
Einwohnerwert BSBS [-]	118162
Einwohnerwert CSB [-]	129406
Einwohnerwert Phosphor [-]	122422
Einwohnerwert Stickstoff [-]	95638

The right sidebar shows a summary table for 'Verlauf: Q-Zulauf Zillertal [0 - 100000 m³/d]' with 14 days of data:

Datum	Wert
01.09.2015	16051
31.08.2015	15701
30.08.2015	15308
29.08.2015	16620
28.08.2015	16722
27.08.2015	16420
26.08.2015	16190
25.08.2015	23321
24.08.2015	16009
23.08.2015	16067
22.08.2015	17025
21.08.2015	18673
20.08.2015	19606
19.08.2015	20887
18.08.2015	18691

Abbildung 3

Der Benutzer kann selbständig für jeden Parameter die Eingabemasken und Eingabefelder positionieren, farblich anpassen und Grenzwerte definieren. Es besteht auch die Möglichkeit, den Eingabemodus (wenn das Datum der Probenahme und Eingabe unterschiedlich ist) für jeden Parameter anzupassen (Abb.3).

Prozesswerte aus einem Leitsystem, oder auch die gesamten Betriebsdaten können automatisiert in die Cloud hochgeladen werden.

Datenausgaben

The screenshot shows a software interface for creating a table query. The main window is titled 'Tabellen erstellen'. It has a menu bar with 'Datei', 'Strass i. Z.', 'Stammdaten', 'Werkzeuge', and 'ÖWAV'. Below the menu bar are tabs for 'Betriebsdaten', 'Abfragen', and 'Vorlagen'. The 'Felder filtern' section has a dropdown menu for 'Module wählen:' with '2 - Ablauf' selected. The 'Verfügbare Felder' section has a dropdown menu for 'Feld:' with 'Ablauf - Ges.P <GesP_Ab> [mg/l]' selected. Below this is a table with columns 'Nr.', 'Feldbeschreibung', 'Aggregation', 'Funktion', and 'Wert'. The table contains 7 rows, with the 7th row selected. The 'Zeitbereich' section has a 'Typ:' dropdown with 'Jahr' selected and 'Zeitspanne' unselected. Below this is a 'Jahr:' dropdown with '2015' selected. The 'Art der Werte' section has radio buttons for 'Tageswerte', 'Wochenwerte', 'Monatswerte', and 'Jahreswerte', with 'Wochenwerte' selected. The 'Erweiterte Einstellungen' section has checkboxes for 'Tage ohne Werte ausblenden', 'Nur komplett gefilterte Tage anzeigen', and 'Zellen-Infos anzeigen', all of which are checked. At the bottom of the window are buttons for 'Zurücksetzen', 'Als Vorlage speichern', and 'Abfrage ausführen'.

Nr.	Feldbeschreibung	Aggregation	Funktion	Wert
1	Zulauf - Abwassermenge ...	Mittelwert	keine	
2	Zulauf - CSB [mg/l]	Mittelwert	keine	
3	Zulauf - Ges.N [mg/l]	Mittelwert	keine	
4	Zulauf - Ges.P [mg/l]	Mittelwert	keine	
5	Belastungsgrad BSBS [%]	Mittelwert	keine	
6	Wirkungsgrad - CSB [%]	Mittelwert	keine	
7	Ablauf - Ges.P [mg/l]	Mittelwert	größer	1

Die individuelle Ausgabe von Betriebs- und Stammdaten kann über eine menügeführte Tabellenabfrage gesteuert werden. Dem Anwender stehen dabei etliche Filtermöglichkeiten und Funktionen zur Verfügung. Die Betriebsdaten können als Tages-, Wochen-, Monats- oder Jahreswerte ausgegeben werden, dabei sind die Zeitbereiche frei definierbar (Abb.4).

Es können Standardbetriebsprotokolle (lt. Vorgaben aus RB 13) aus den vorhandenen Vorlagen erstellt und für die eigene Anlage angepasst werden. Die Ausgabe erfolgt hier auf ein formatiertes Drucklayout.

Für jede Tabellenabfrage besteht die Möglichkeit, diese in eine CSV- oder Excel-Datei zu exportieren.

Abbildung 4

Daten prüfen

Im Menüpunkt „Daten prüfen“ können die Betriebsdaten nach Bescheid, Arbeitsbehelf 14 (2010) und AEVk (1., AnlageC, 1996) auf Einhaltung von Messhäufigkeiten und Grenzwerten geprüft werden. Dabei kann der Zeitbereich für die zu prüfenden Daten auf ein ganzes Jahr oder für eine frei wählbare Zeitspanne eingestellt werden. Das Prüfergebn wird in einer Tabelle dargestellt, dabei wird für jeden geprüften Parameter eine Reihe von Informationen ausgegeben. Die Spalte „Status“ gibt dem Benutzer auf einem Blick Auskunft über das Prüfergebn.

In der Tabelle kann nach jeder Spalte automatisch sortiert werden. Die Ausgabe kann gedruckt oder in eine Excel-Tabelle exportiert werden.

Diagramme

Das Erstellen und Editieren von Diagrammen in dieser Cloud-Anwendung ist komfortabel und umfangreich, dabei können bis zu vier Parameter in einem Diagramm dargestellt werden (Abb.5).

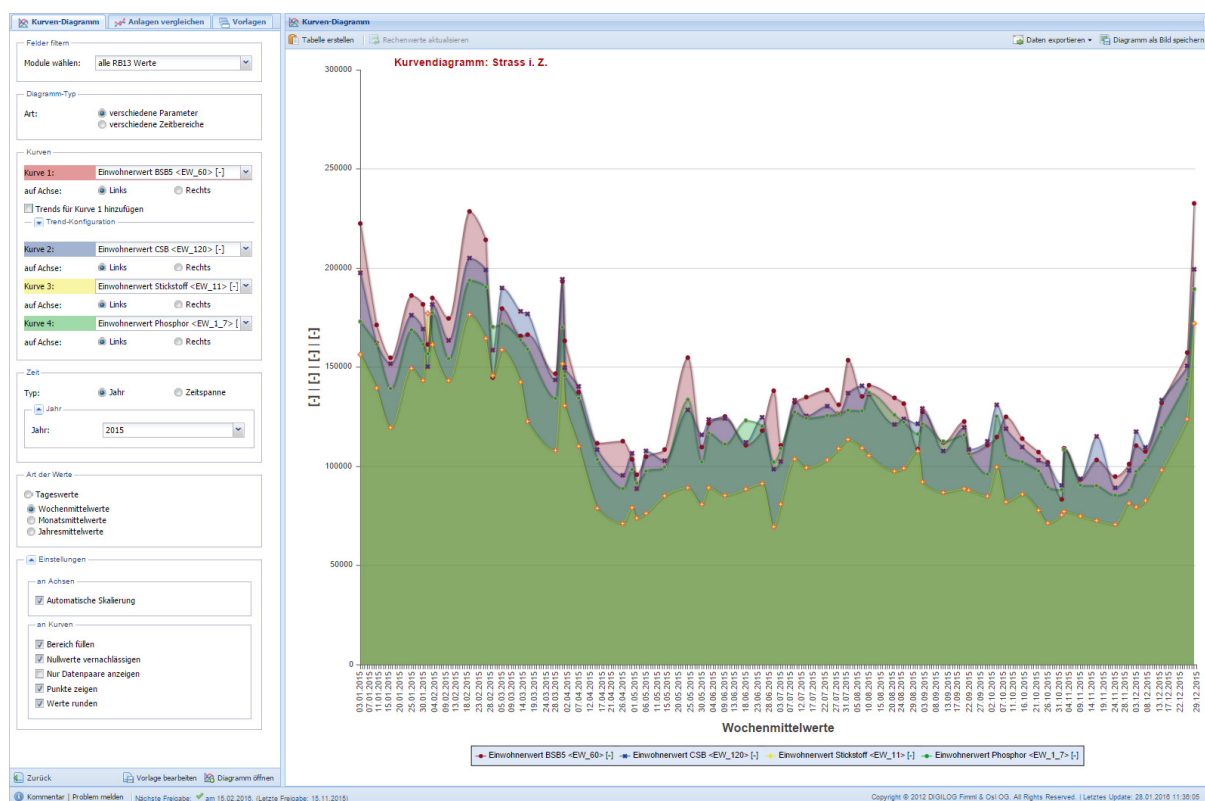
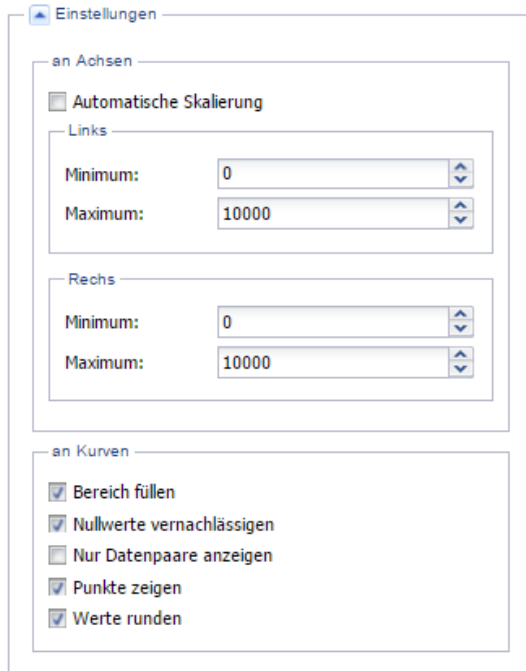


Abbildung 5

Neben der Auswahl über verschiedene Parameter und Zeitbereiche kann für die erste Kurve eine Trendlinie (linearer Trend oder gleitendes Mittel) sowie der Mittelwert und Grenzwert ausgewählt werden.



Unter Einstellungen kann die „Automatische Skalierung“ deaktiviert, und stattdessen ein Minimum und Maximum sowohl für die Linke als auch für die Rechte Achse angegeben werden.

Für die individuelle Darstellung der Kurven gibt es die in der Abbildung 6 dargestellten Auswahlmöglichkeiten.

Jede Kurve wird durch das Anklicken der Bezeichnung in der Legende ein- oder ausgeblendet.

Abbildung 6

Vorlagen

Jede Tabellenabfrage und die Erstellung von Diagrammen kann als Vorlage in drei Kategorien gespeichert werden. Als öffentliche, anlagen- oder benutzerspezifische Vorlage, je nach Anmeldung und Berechtigung.

Jede Vorlage lässt sich erneut bearbeiten und kann mit den neuen Einstellungen gespeichert werden.

Die Vorlagen eignen sich sehr gut zur Ablage von selbst erstellten Betriebsprotokollen (Abb.7).

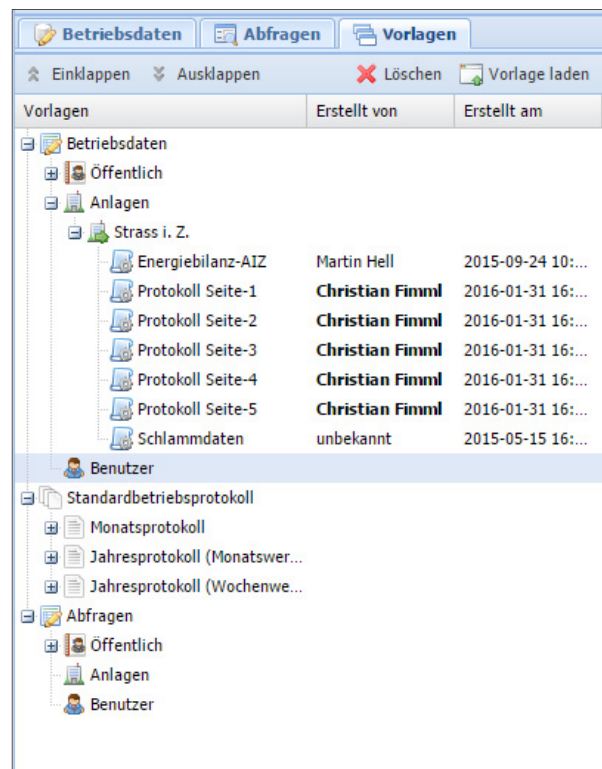


Abbildung 7

Datenausgabe für EmReg-OW Berichtspflichten

In der DIGIPROT-Anwendung gibt es einen Menüpunkt „EmReg-OW“, hier können die Messergebnisse der prioritären Stoffe eingegeben werden. Über „Jahresfrachten anzeigen“ werden alle relevanten Werte zur Meldung der jährlichen „EmReg-OW“ Daten ausgegeben.

7.1.2 Die Cloud-Anwendung „DIGIKAT“

DIGIKAT wurde für das Datenmanagement von Kläranlagen-Betriebsdaten entwickelt und dient einerseits der Kläranlagen-Aufsichtsbehörde in einem Bundesland zur Datenprüfung-, Sichtung und Abfrage, der im Bescheid vorgeschriebenen Parameter und Grenzwerte. Zum anderen kann aus dem vorliegenden Datenpool ein digitaler Kataster erstellt werden.

Komplexe Abfragen und Auswertungen

The screenshot shows the DIGIKAT application interface with the following sections:

- Anlagen-Auswahl:** Region: Tirol. Stammdaten-Filter: Parameter: Bemessungsfracht BSBS5. A table lists parameters with columns: Nr., Parametername, Funktion, Wert. One entry is shown: 1, Bemessungsfracht BSBS5, größer, 5000. Below the table are radio buttons for 'Parameter verknüpfen mit: UND (selected) ODER'.
- Gefilterte Anlagen:** A list of locations with checkboxes: Anlage, Fritzens, Innsbruck, Kirchbichl, Schwaz, Strass i. Z. All are checked.
- Betriebsdaten-Filter:** Feld: Ablauf - Ges.P <GesP_Ab> [mg/l]. A table lists parameters with columns: Nr., Feldbeschreibung, Funktion, Wert. Three entries are shown: 1, Ablauf - CSB [mg/l], größer, 75; 2, Ablauf - BSBS [mg/l], größer, 15; 3, Ablauf - Ges.P [mg/l], größer, 1.
- Gruppierungen:** Gruppieren nach: (keine). Zusammenfassung anzeigen: .
- Zeitbereich:** Typ: Jahr (selected), Zeitspanne. Jahr: 2015.

Abbildung 8

Unter dem Menüpunkt „Abfragen“ besteht die Möglichkeit, komplexe Abfragen über alle Anlagen im Bundesland auf Stammdaten und Betriebsdaten durchzuführen (Abb.8).

Dabei stehen folgende Funktionen zur Verfügung:
Keine, gleich, kleiner, kleiner gleich, größer, größer gleich, beginnt mit, enthält und endet mit.

Es können dabei auch mehrere Parameter mit „und“ oder „oder“ verknüpft werden.

Die Abfrage funktioniert in zwei Stufen:

In der Anlagen-Auswahl können Anlagen nach Region (Bezirk) oder nach einer Selektion im „Stammdaten-Filter“ gefiltert werden. Dieses Ergebnis kann, wenn erforderlich, im nächsten Schritt über den „Betriebsdaten-Filter“ weiter selektiert und/oder nach Datum oder Anlage gruppiert werden.

Bei den Abfragen sind sämtliche Zeitbereiche einstellbar, die

Tabellenausgabe ist in Tageswerte, Wochen- Monats- oder Jahresmittelwerte möglich. Alle Abfragen können wiederum in Vorlagen gespeichert werden.

Datensichtung und Plausibilitätsprüfung

The screenshot shows the 'Kataster Manager' application window. The main area displays a table of data for 'Strass i. Z.' (Streets) in the year 2014. The table has the following columns: Bereich/Anlage, Datum, Q_Zu [m³], Belastung_Q, Belastung_BSI, BSB_Zu [mg/l], BSB_Ab [mg/l], BSB_F_d_Zu [l], and BSB_F_d_Ab [l]. The data rows show dates from 30.12.2013 to 21.01.2014. The 'Belastung_Q' column is highlighted in blue, and the value 118,920 is visible for the date 10.01.2014. Below the table, there are summary statistics for 'Belastung_Q' (Spalte) and 'Messhäufigkeiten (AB-14)'. The summary statistics show: Summe: 37509.37, Anzahl: 365, Minimum: 55.75, Mittelwert: 102.77, Maximum: 358.43. The 'Messhäufigkeiten (AB-14)' section shows Ist-Wert: 365 and Soll-Wert: 0. The 'Überschreitungen (Tageswerte)' section shows Ablauf-GW: -, zul. ÜS: -, and ÜS: -. The 'Überschreitungen (Jahreswerte)' section shows Jahres-GW: - and Jahres-MW: -. The interface also includes a navigation tree on the left and a footer with copyright information: Copyright © 2012 DIGILOG Fimml & Osl OG. All Rights Reserved. | Letztes Update: 04.02.2016 16:56:29.

Abbildung 9

Zur Plausibilitätsprüfung der Daten wird das Tool „Kataster-Manager“ verwendet (Abb.9). Die Daten werden dabei über einen Prüffilter in einen eigenen Bereich geladen und dabei, je nach Abweichung, farblich markiert, wodurch die weitere Datenprüfung wesentlich erleichtert wird.

Datenverfügbarkeit

Damit die Betriebsdaten einer Kläranlage für die Behörde verwendet werden können, müssen die Daten vom Kläranlagenbetreiber zu einem vereinbarten Stichtag im „DIGIPROT“ freigegeben werden. Die Betreiber werden dabei automatisch über Mail-Nachrichten aufgefordert.

Im „DIGIKAT“ ist der Status der Freigabe über ein Ampelsystem erkennbar.

7.1.3 Die Cloud-Anwendung Zustandsbericht (AB 22)

Diese Cloud-Anwendung dient den ÖWAV-Kläranlagennachbarschaften zur digitalen Erstellung und Auswertung des ÖWAV Zustandsberichtes in Form von Jahreswerten aus dem Parameterumfang des ÖWAV-Arbeitsbehelfes 14 (2010). Durch die Speicherung dieser Jahresdaten in einer Cloud-Datenbank, können neben dem Kläranlagenbetreiber auch die Sprecher und Betreuer der Kläranlagennachbarschaften über unterschiedliche Zugriffsrechte diverse Abfragen und Auswertungen durchführen, die im Rahmen der Nachbarschaftstage innerhalb der KAN-Teilnehmer verglichen und diskutiert werden können.

Die Stammdaten bilden auch in dieser Cloud-Anwendung die Basis für Rechenwerte in den verschiedenen anlagenspezifischen Eingabekategorien und müssen dementsprechend aktualisiert und gepflegt werden.

Dateneingabe/Datenimport

Nach Auswahl des Betriebsjahres können die Werte unter „Eingabewerte“ direkt für jeden anlagenspezifischen Eingabebereich eingegeben werden. Wird DIGIPROT-Online verwendet, können die AB-14 Daten über das Menü „RB13 Daten laden“ automatisch übernommen werden (Abb.10). Alternativ besteht auch die Möglichkeit, über das Menü „Import“ bestehende ZST-Dateien oder CSV-Dateien (z.B. aus eDAB oder KLÄX) zu importieren.

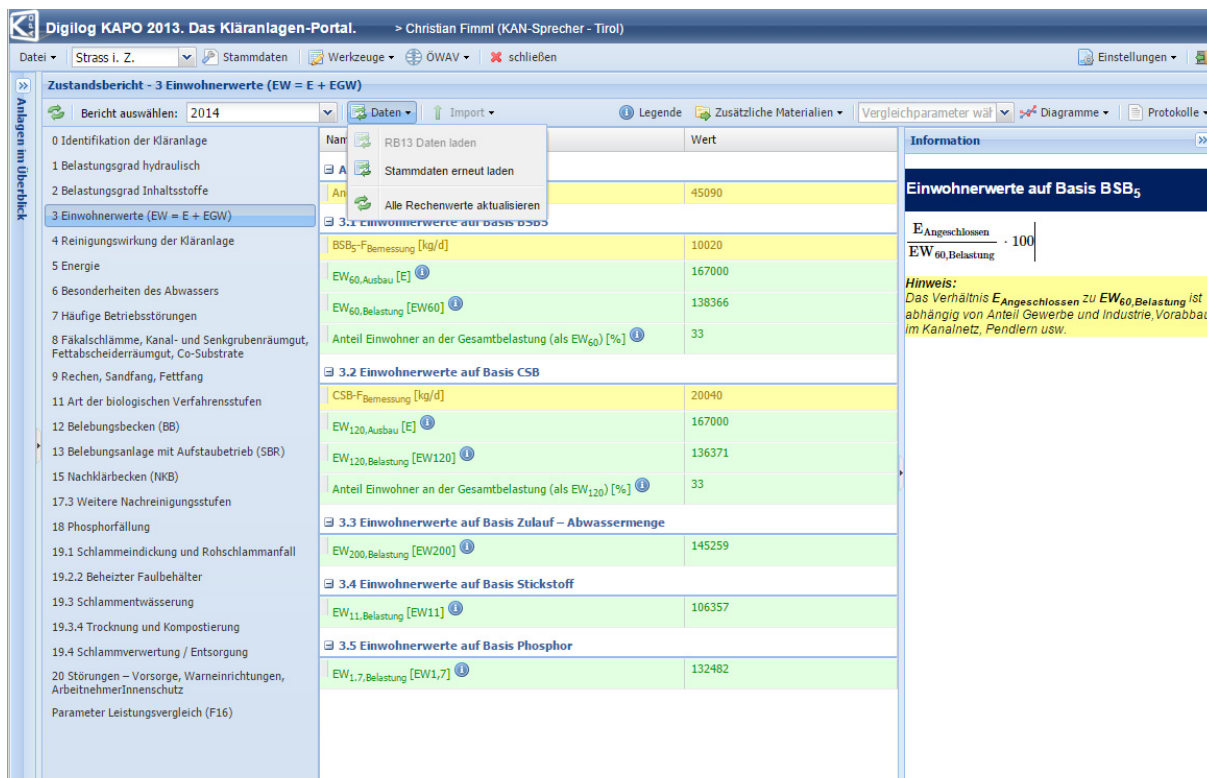


Abbildung 10

Rechenwerte

Zur Anzeige und Berechnung der Rechenwerte muss der Menüpunkt „Rechenwerte aktualisieren“ ausgeführt werden. Per Mausklick auf einen Info-Button werden Zusatzinformationen, sowie Formeln von Berechnungen in einem eigenen Info-Fenster angezeigt.

Diagramme

Die Darstellung von Diagrammen ist für eine Kläranlage über mehrere Jahre oder für ausgewählte Kläranlagen, innerhalb einer Nachbarschaft, über ein Jahr oder mehrere Jahre möglich (Abb.11). Die Diagrammfunktion eignet sich sehr gut für die Präsentation und Diskussion an einem Nachbarschaftstag.

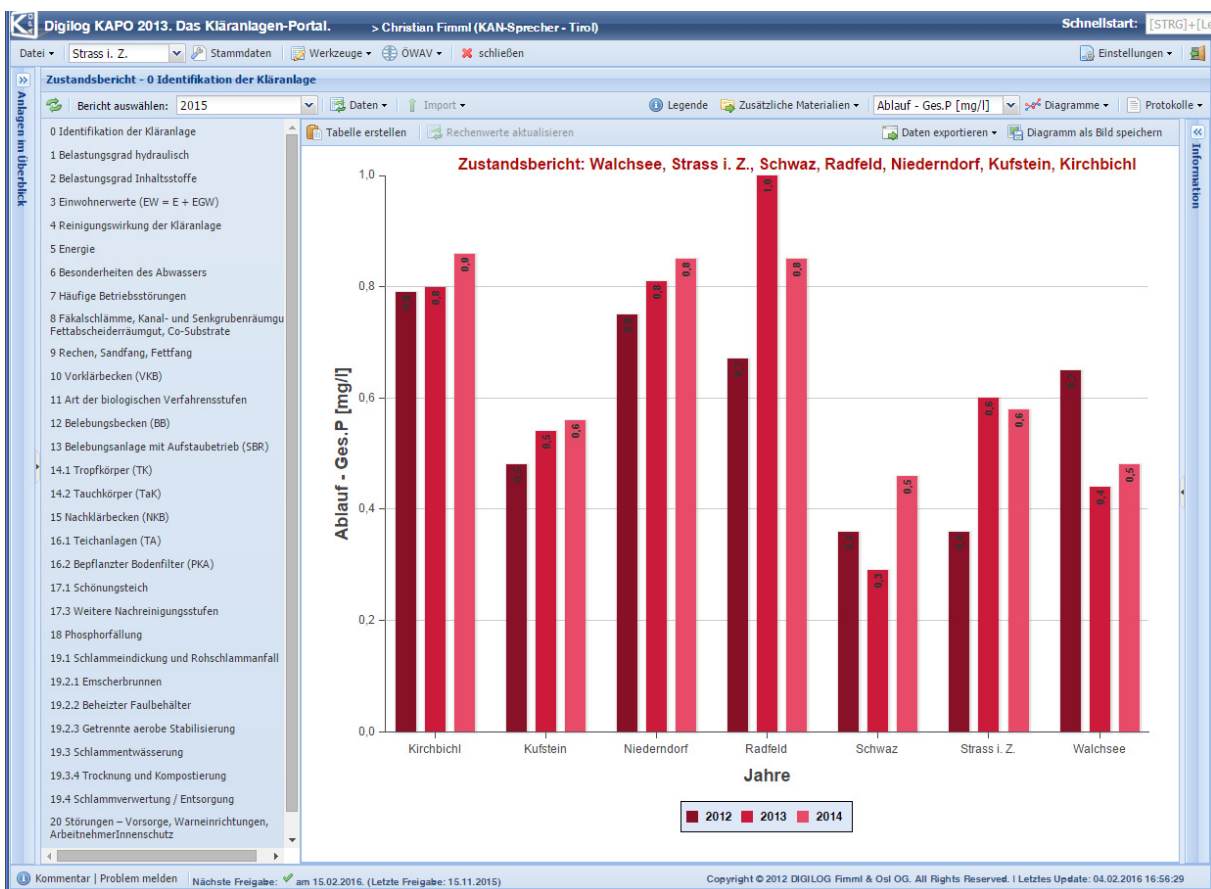


Abbildung 11

Protokolle – Datenausgabe

Im Menüpunkt „Protokolle“ kann der Zustandsbericht in Form einer HTML-Seite oder als Excel-File ausgegeben werden. Das Protokoll-Layout passt sich dabei automatisch an die Konfiguration (ausgewählte Module) der Kläranlage an. Bei der Ausgabe der Daten für den Leistungsvergleich (KAN-Formular 16) gibt es die Variante einzelne Anlagen, die gesamte KAN oder für Betreuer auch mehrerer Nachbarschaften auszuwählen.

7.1.4 Die Cloud-Anwendung „Fremdüberwachung“

Kommunale Kläranlagen sind gesetzlich verpflichtet, die für die jeweilige Größenklasse festgelegten Emissionsbegrenzungen und Mindestwirkungsgrade einzuhalten, und diese im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung nachzuweisen. Damit hier die Datenverwaltung und der Datenaustausch zwischen Betreibern von Abwasserreinigungsanlagen und Behörden auf einfache Weise abgewickelt werden kann, wurde diese Anwendung als eigenständiges Modul, unabhängig der RB-13 Anwendung in das KAPO integriert. Als Protokollausgabe dienen zum Teil die Tabellenvorlagen des ÖWAV-Regelwerks 6 Teil-1 (1998)

Wird die Eigenüberwachung im „DIGIPROT“ dokumentiert, können die Werte

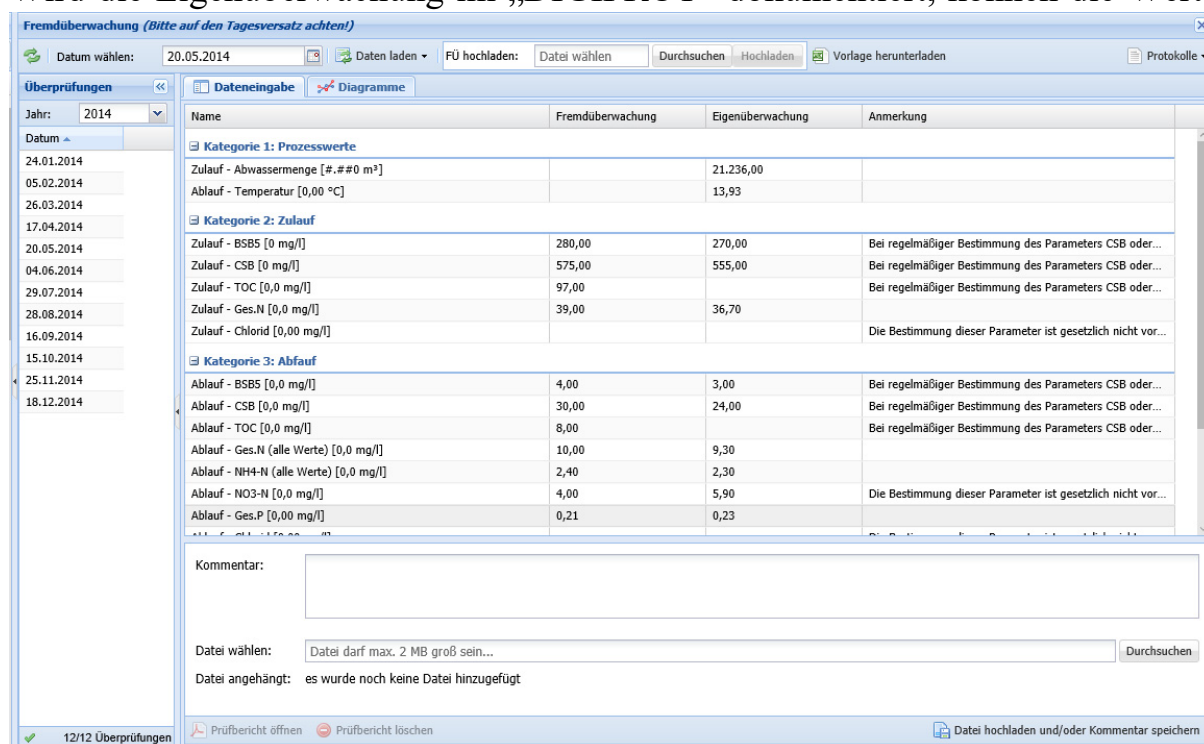


Abbildung 12

mit „Daten laden“ automatisch für das eingestellte Untersuchungsdatum übernommen werden. Für jeden Parameter der Eigen- und Fremdüberwachung besteht die Möglichkeit, diesen über eine grafische Darstellung zu vergleichen.

Die Fremdüberwachungsberichte können zur Dateiablage oder auch als Nachweis für die Behörde in das Portal hochgeladen werden.

Datenabfrage Behörde

Der Vorteil dieser Cloud-Anwendung besteht nicht zuletzt darin, dass die Behörde mit entsprechender Benutzerberechtigung Einsicht in diese Daten bekommen kann. Die Berichtspflicht wäre somit erfüllt.

7.1.5 Die Cloud-Anwendung „Abfallbilanz“

In kommunalen Abwasserreinigungsanlagen werden vorwiegend Abwässer gereinigt. Vielfach werden aber auch diverse Abfallarten zur weiteren Behandlung in den Abwasserkreislauf (Fäkalien, Kanalräumgut etc.) oder in die Schlammfäulung (Fettabscheiderinhalte, Co-Substrate etc.) übernommen. Jede Abwasserreinigungsanlage produziert oder sammelt auch Abfälle, wie beispielsweise Klärschlamm, Rechengut und Sandfanginhalte.

Werden Abfälle übernommen oder übergeben, haben Betreiber Nachweispflicht laut Abfallnachweisverordnung oder müssen darüber hinaus für bestimmte Abfälle eine Abfallbilanz laut Abfallbilanzverordnung erstellen. Diese Bilanzen müssen elektronisch über das EDM-Portal des Umweltbundesamtes erfasst bzw. gemeldet werden.

Um hier eine möglichst einfache und einheitliche Vorgangsweise für Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen zu realisieren, wurde am Kläranlagenportal eine eigene Anwendung „ABFALLBILANZ“ entwickelt, in der neben Erstellung von Lieferscheinen und Bilanzen auch die Fakturierung sämtlicher Übernahmen und Übergaben möglich ist.

Einstellungen-Grunddaten

Unter Einstellungen wird eine Start-Nummer für Lieferscheine und Rechnungen vordefiniert. Zur Abfrage der „eRAS-Datenbank“ für die Kontaktverwaltung werden hier die anlagenspezifischen Benutzerdaten hinterlegt.

Über „Kontakt hinzufügen“ können registrierte Betriebe online in der aktuellen „eRAS-Datenbank“ abgefragt und in die Kontaktliste aufgenommen werden. Diese stehen in weiterer Folge für die Erstellung von Lieferscheinen und Rechnungen in den Listenfeldern zur Verfügung.

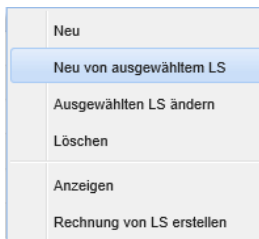
Lieferscheine erstellen

Für die Erstellung eines Lieferscheines sind folgende Eingabefelder vorgesehen:

- Standort der eigenen Anlage (auch mehrere möglich, z. B. bei Kofermentation oder Abwasserkreislauf)
- Behandlungsverfahren
- Abfallrichtung (Übernahme, Übergabe oder speziell)
- Abfallart (gesamte Abfallkatalog mit Suchfunktion)
- Menge (Angabe ausschließlich in kg)
- Übernehmer bzw. Übergeber
- Herkunft und Verbleib (Übergeber-Typ u. Behandlungsverfahren)

- Transport und Transport-Art (von Anlage, von Partner, anderer)
- Zeitbereich (Transportbeginn und Empfangsdatum)
- Bemerkung (Zusatztext für Übergabe oder Übernahme)

Erst nach Eingabe aller Pflichtfelder wird mit „**Speichern**“ der Lieferschein erstellt.



Als zeitsparend hat sich der Menüpunkt „Neu von ausgewähltem LS“ herausgestellt. Dabei kann jeder vorhandene Lieferschein (z.B. bei gleichen Abfall und Lieferant) als neuer Lieferschein verwendet werden. Es braucht nur mehr die Menge und das Datum geändert werden.

Rechnungen aus Lieferscheine erstellen

Mit geringem Aufwand kann aus Lieferscheinen eine Rechnung erstellt werden. Dabei sortiert das Programm automatisch alle offenen Lieferscheine eines Kunden in einer Liste (Abb.13). Die Auswahl nach Zeitbereich, Lieferscheinen sowie individuelle Preise sind manuell noch möglich.

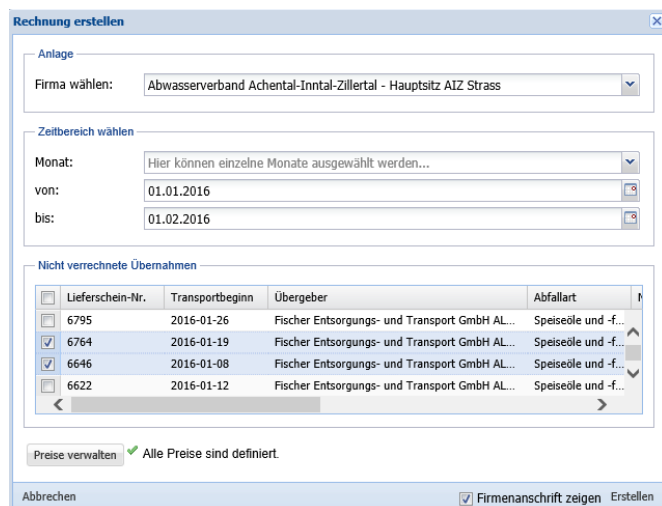
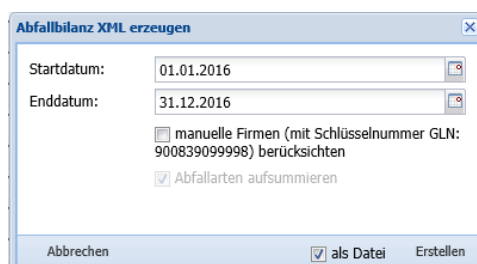


Abbildung 13

Abfragen und Filter

Aus der vorhandenen Datenbank können einfache Abfragen über die Abfallrichtung (Übernahme, Übergabe etc.) aber auch umfangreiche Abfragen über den Menüpunkt „Erweiterte Filter“ ausgeführt werden.

Abfallbilanz erstellen



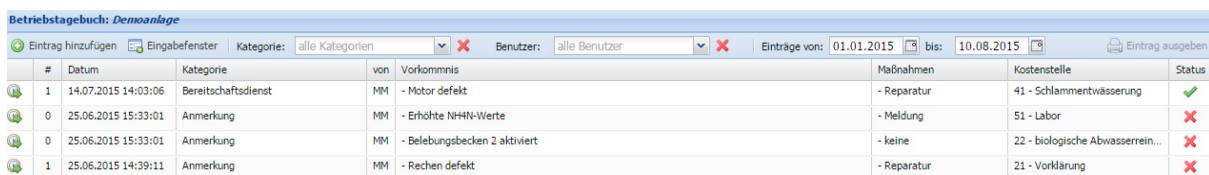
Die Erstellung einer Abfallbilanz (XML-File) zur Meldung an das EDM-Portal beschränkt sich nur mehr auf die Auswahl eines Zeitbereiches, sowie der Auswahl zu Berücksichtigung manueller Firmen (Abb.14).

Abbildung 14

7.1.6 Die Cloud-Anwendung „Betriebstagebuch“

Das „Betriebstagebuch“ dient dem Kläranlagenbetreiber und dessen Mitarbeitern zur Dokumentation von Ereignissen, verrichteten Arbeiten und Notizen für die eigene Kläranlage. Zu jedem dieser Einträge können ein oder mehrere Folgeaufträge hinterlegt und dem dafür verantwortlichen Benutzer zugeordnet werden. Somit werden Arbeitsabläufe einfach und schnell organisiert und die Produktivität innerhalb des Betriebes optimiert. Das Betriebstagebuch eignet sich auch als Dokumentation für den gesamten Bereich der Evaluierung (Maßnahmenliste) sowie der Sicherheits- und Gesundheitsdokumente (Dok-VO).

Durch die Online-Verwaltung dieser Informationen ist es jedem Benutzer möglich, schnell und von jedem Internetzugang aus seine Aufgaben abzurufen, abzuarbeiten und schlussendlich deren Status zeitnah zu aktualisieren. Somit erhalten alle Benutzer direkt die Information über die laufenden Ereignisse und können voneinander abhängige Aufgaben besser koordinieren (Abb.15).



#	Datum	Kategorie	von	Vorkommnis	Maßnahmen	Kostenstelle	Status
1	14.07.2015 14:03:06	Bereitschaftsdienst	MM	- Motor defekt	- Reparatur	41 - Schlammwässerung	✓
0	25.06.2015 15:33:01	Anmerkung	MM	- Erhöhte NH4N-Werte	- Meldung	51 - Labor	✗
0	25.06.2015 15:33:01	Anmerkung	MM	- Belebungsbecken 2 aktiviert	- keine	22 - biologische Abwasserrein...	✗
1	25.06.2015 14:39:11	Anmerkung	MM	- Rechen defekt	- Reparatur	21 - Vorklärung	✗

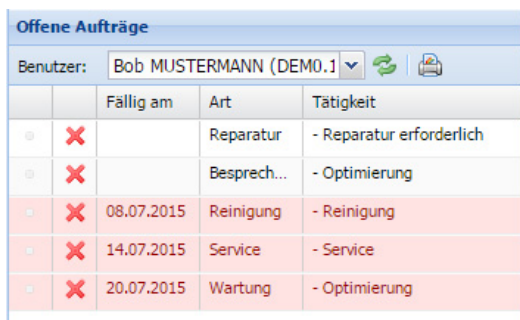
Abbildung 15

Einträge

Das Betriebstagebuch besteht aus datumsabhängigen Einträgen, die ein bestimmtes Vorkommnis dokumentieren und einer Kategorie zugeordnet sind. Es kann sich dabei um eine Anmerkung, Bereitschaftsdienst, Schadensmeldung usw. handeln. Ein Eintrag kann zutreffende Maßnahmen enthalten und mit einer Kostenstelle verknüpft sein. Durch den Status wird angezeigt, ob ein Eintrag offen, in Bearbeitung oder erledigt ist.

Aufträge

Zusätzlich zu den Maßnahmen eines Eintrags können auch benutzerbezogene Aufträge definiert werden. Diese informieren den Benutzer über seine Aufgaben, gegebenenfalls über das Fälligkeitsdatum und die entsprechende Priorität. Beim Erledigen eines Auftrages kann wiederum eine Anmerkung angehängt werden.



Offene Aufträge			
Benutzer: Bob MUSTERMANN (DEMO.1)			
	Fällig am	Art	Tätigkeit
⊙	✗		Reparatur - Reparatur erforderlich
⊙	✗		Besprech... - Optimierung
⊙	✗	08.07.2015	Reinigung - Reinigung
⊙	✗	14.07.2015	Service - Service
⊙	✗	20.07.2015	Wartung - Optimierung

Als Benutzer hat man eine Auflistung seiner offenen Aufträge zur Verfügung.

Abbildung 16

Zusammenarbeit mit dem Modul DIGIPROT

Nutzt man zusätzlich zum Modul Betriebstagebuch auch das Modul DIGIPROT, so bietet das mehrere Vorteile:

1. „Anmerkungen“ werden zu Betriebstagebuch-Einträgen und erhalten deren erweiterte Funktionalitäten.
2. Bereits erstellte DIGIPROT-Anmerkungen können auch im Nachhinein ins Betriebstagebuch nachgeladen werden.

7.1.7 Die Cloud-Anwendung „Stundenerfassung“

Das Modul „Stundenerfassung“ dient zur anlagenspezifischen Dokumentation des Personaleinsatzes und bietet dem Kläranlagenbetreiber die Möglichkeit, Auswertungen dazu vorzunehmen. Damit können Fragen beantwortet werden wie „Welcher Anteil des Personaleinsatzes entfällt auf welche Tätigkeitsfelder/Anlagenobjekte/Kostenstellen?“

Kalender

In einer Kalenderansicht, die ähnlich wie MS-Office Outlook aufgebaut ist, werden die Arbeitsstunden von Mitarbeitern eingetragen. Für jeden Zeitblock muss eine Kategorie ausgewählt werden, zusätzlich kann eine Kostenstelle einem Anlagenobjekt zugewiesen werden. Es besteht auch die Möglichkeit, Fahrzeuge und damit gefahrene Kilometer zuzuweisen. Die Kalenderansicht bietet eine Kompaktübersicht über die Verteilung der Arbeitsstunden des gewählten Monats.

Oft wiederkehrende Blöcke aus mehreren Tätigkeiten können als Vorlagen eingerichtet und dann als solche bequem eingetragen werden.

Auswertung

In der Auswertungsansicht (Abb.16) können beliebige Zeiträume, sowie die erfassten Stunden von mehreren Mitarbeitern zusammen ausgewertet werden. Eine Aufschlüsselung nach Tätigkeitsart, Stundenart, Kostenstelle oder Anlagenobjekt wird dargestellt.

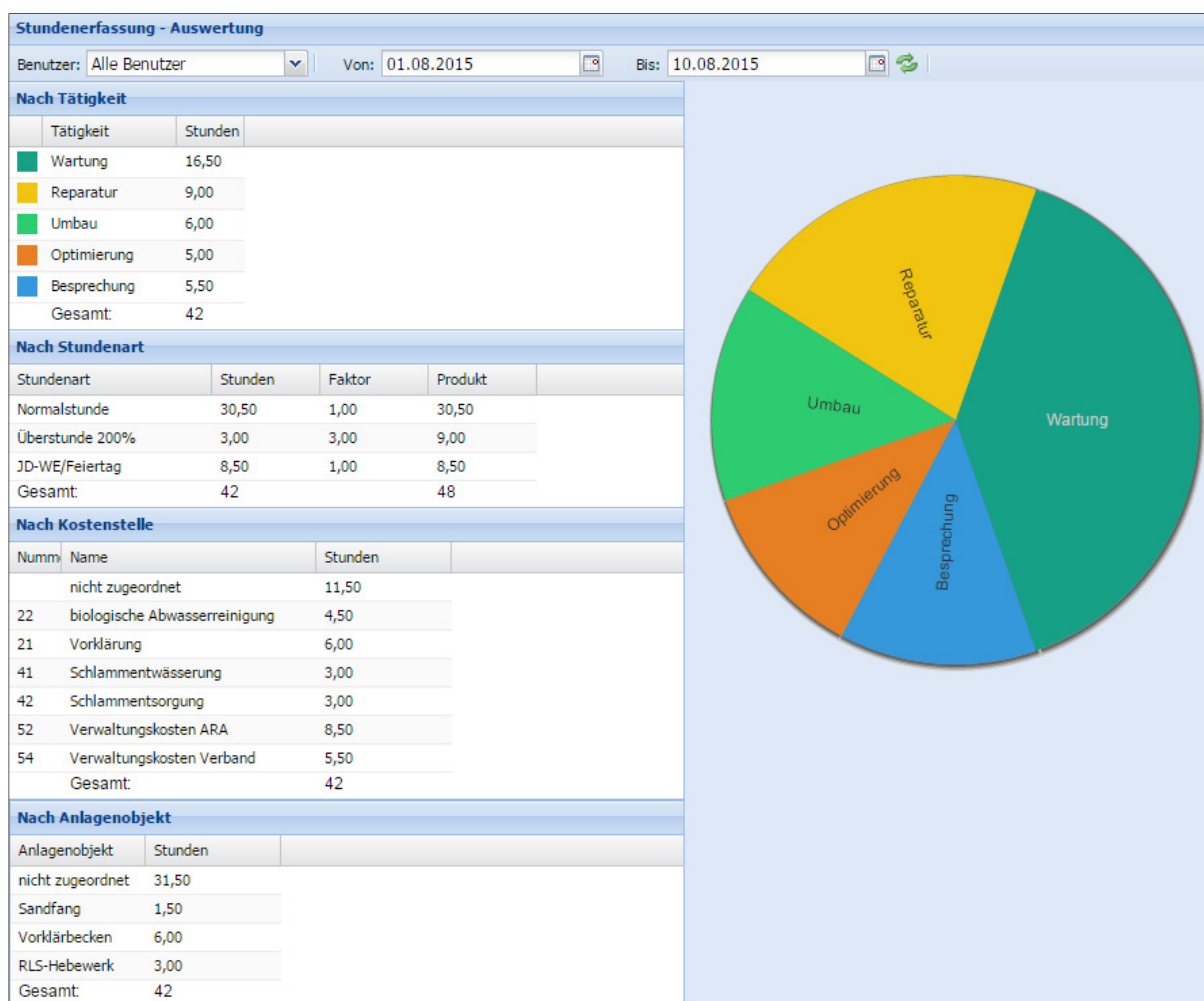


Abbildung 17

7.2 PLS-Datenmanagement in der Cloud

Das Auslagern von Prozessdaten in die Cloud (Web-Service) wird schon seit einigen Jahren im Bereich der Visualisierungs- bzw. Prozessleittechnik eingesetzt.

Mit einer solchen Online – Visualisierung wird eine simple und vor allem einfach zu bedienende Möglichkeit geschaffen, ohne speziell konfigurierte Ausrüstung von jedem Ort aus auf die aktuellen Daten der Anlage zuzugreifen. VPN-Router

mit sicherer Verbindung zur Anlage, mobile SCADA Anwendungen zum Fernzugriff entfallen somit vollständig.

Über die wie bei allen KAPO Anwendungen einheitlich gehaltene Oberfläche können die Anlagendaten mit Hilfe von selbst konfigurierten Trends – Vorlagen können auch gespeichert und wiederverwendet werden – betrachtet und ausgewertet werden. Konfigurierbare Live- Betrachter ermöglichen einen schnellen Überblick über den aktuellen Zustand der Anlage.

Digitale Daten wie Alarmer und Meldungen werden in Form eines Meldebuches zur Verfügung gestellt.

Zur Weiterverarbeitung der Anlagendaten auf dem eigenen lokalen System werden die relevanten Daten über eine Export-Schnittstelle heruntergeladen. Über die selbe Schnittstelle werden andere Apps wie zum Beispiel DIGIPROT automatisch mit Daten versorgt.

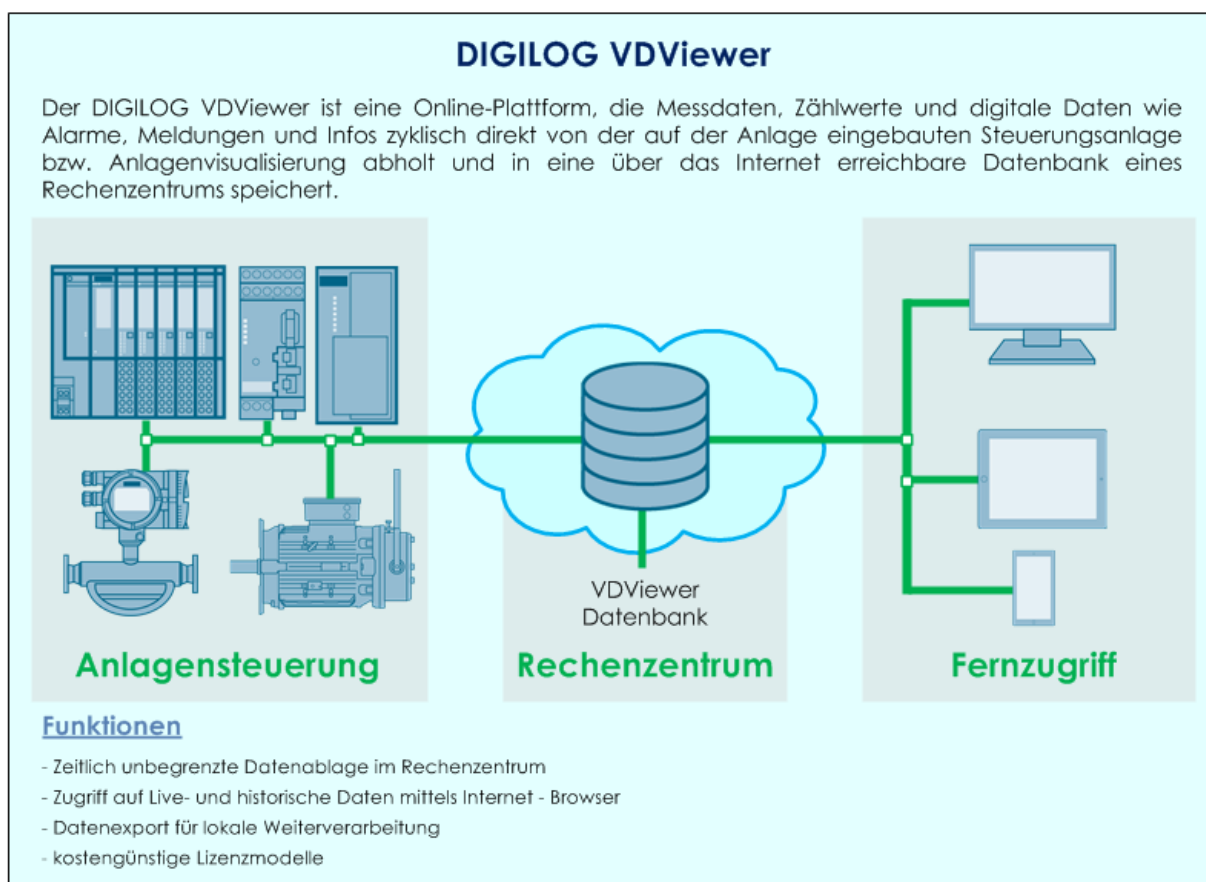


Abbildung 18

Durch die Auslagerung der Daten in ein externes Rechenzentrum wird die Datenarchivierung und Sicherung ohne zusätzlichem Aufwand gewährleistet.

7.3 KAIE – Kataster für Indirekteinleiter

KAIE ist wie KAPO eine Public-Cloud-Lösung zur Online-Verwaltung aller betrieblichen und häuslichen Indirekteinleiterdaten mit folgendem Umfang:

- Strukturierte Stammdatenverwaltung laut Indirekteinleiterverordnung
- Aktuell gesetzlich vorgeschriebene Parameter der jeweiligen Herkunftsbereiche können automatisch übernommen werden
- Automatisierte Terminverwaltung - alle anstehenden, aktuellen und überfälligen Termine der Melde- und Nachweispflichten werden angezeigt
- Serienbrieffunktion für Mahnschreiben, Verträge und sonstigen Schriftverkehr. Dafür werden einmalig individuelle Vorlagen erstellt und eingerichtet.
- Suchfunktionen nach Standort und Betrieb
- Dokumentenverwaltung zur Archivierung von Anträgen, Verträge und Planunterlagen zum jeweiligen Indirekteinleiter
- Erfassen der Melde- und Nachweispflichten
- Zusätzliche Eintragungen wie beispielsweise Nachweise über Führung eines Wartungsbuches, Meldung des Jahreswasserverbrauchs, Nachweis über Ausräumung der Abscheider etc.
- Jährliche und 3 jährliche Meldungen an die Behörde mit automatischer Erinnerung zu den vorgeschriebenen Terminen
- Benutzerverwaltung mit umfangreicher Rechteverwaltung
- Vorlagenverwaltung und Konfigurator für PDF-Vorlagen
- Auswertetool für Frachtsummen sowie neue/inaktive IE

Verbandsgemeinden können, mit entsprechender Zugangsberechtigung, auf die Indirekteinleiterdaten innerhalb ihrer Gemeinde zugreifen und selbstständig Verträge für häusliche Indirekteinleiter erstellen.

Links: www.kaie.at sowie www.indirekteinleiter.com

7.4 ÖWAV-Benchmarking-Plattform

Die Benchmarking-Plattform in der Abwasserwirtschaft besteht nun schon ca. seit 10 Jahren und ist die zentrale Datenbankschnittstelle für die Eingabe und Übernahme sowohl der technischen, als auch der kaufmännischen Daten zur Auswertung des jährlichen Abwasserbenchmarks in Österreich.

Diese Cloud-Anwendung wird laufend und in Abstimmung mit den teilnehmenden Betreibern praxisnah weiterentwickelt. In einem geschützten Benchmarking-Bereich kann der Teilnehmer auf seine Eingabedaten (Betriebs-, und Buchhaltungsdaten, Kostendaten) und Auswertungen (Anlagenverzeichnis,

Journal, Betriebsabrechnungsbogen) zugreifen, sämtliche Daten und Jahresberichte werden dabei auf der Cloud-Plattform archiviert.

Link: www.abwasserbenchmarking.at

7.5 EDM – Portal (Elektronisches Datenmanagement)

EDM ist ein Verbundsystem von Internetanwendungen und Datenbanken zur Unterstützung komplexer Abläufe bei umweltschutzbezogenen Dokumentations-, Melde- und Berichtspflichten. Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen benötigen diese Cloud-Anwendung zur Erfüllung der Meldepflichten, wie z. B. im Bereich der Emissionsregister-Verordnung, E-PRTR -Begleitverordnung und der Abfallnachweisverordnung.

7.6 Cloud-Lösungen für den täglichen Arbeitsablauf

7.6.1 Cloud-Speicher

Die Möglichkeit Daten in der Cloud zu speichern sind mittlerweile sehr vielseitig, und reichen vom kostenlosen Cloud-Speicher für den privaten Bereich bis hin zum hochsicheren Cloud-Speicher für den Businessbereich. Bei sensiblen Daten sollte bei der Auswahl eines Anbieters besonders auf die Sicherheitsstandards sowie die Serverstandorte (EU) geachtet werden.

Beispiele: Dropbox, OneDrive, SecureSafe, TrendMicro, iCloud, Strato;

7.6.2 Online-Sicherungsservice (Online-Backup)

Mit einem Online-Sicherungsservice können Dateien von Computern oder Servern kostengünstig in der Cloud gesichert werden. Hier gibt es verschiedene Modelle bis hin zur automatischen Dateisynchronisation.

Beispiele: Livedrive, Mozy;

7.6.3 Online-Notizen

Das Verwalten von Notizen in der Cloud ist besonders effizient. Sämtliche Haftnotizen, vollgekritzelte Notizblöcke und zusammengewürfelte Grafiken, die sonst den Schreibtisch überschwemmen, gehören der Vergangenheit an und befinden sich online. Sogar Text in Bildern wird erkannt, auch die Ablage von Audio und Videodokumenten ist möglich.

Beispiele: Evernote, Simplenote, OneNote;

7.6.4 Komplette Softwarelösungen in der Cloud

Sämtliche Office-Programme wie Kalender, Kontakte, Textverarbeitung, Tabellenkalkulationen, Präsentationen, E-Mail mit personalisierte E-Mail-Konten etc. werden Online zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus können mehrere Personen an einer einzelnen Datei gleichzeitig arbeiten.

Beispiele: Google-Apps für Business, Microsoft Office 365;

8 Literatur

<https://www.microsoft.com/de-de/cloud/glossar/>

<http://www.Video2brain.com>, Cloud Computing-Einführung,

Michael Rohrlisch, Marc Oliver Thoma

<http://www.eurocloud.at/projekte/publikationen/leitfaeden.html>

<http://www.trustincloud.org/>

<http://www.cloudprivacycheck.eu/de/>

Korrespondenz an:

Christian Fimml

Abwasserverband Achenal-Inntal-Zillertal

6261 Strass im Zillertal

Tel.: +43 664 3387248

Mail: fimml@aiz.at

Aktueller Stand der Implementierung moderner MSR

Claus Salzmann

ETS – Claus Salzmann
Planungsbüro für Elektrotechnik
5760 Saalfelden

Abstract: Die MSR-Konfigurationen auf Abwasserreinigungsanlagen unterliegen im Zusammenspiel der laufenden Modernisierung und Optimierung von Feldgeräten, Sensorik, SPS-Anlagen, Datenübertragungsmöglichkeiten, Prozessleitsystemen mit unterschiedlichen Bedien-, Visualisierungs-, Protokollierungs- und Alarmierungsphilosophien einer permanenten Anpassungserfordernis an den Stand der Technik.

Im Gegensatz der elektrotechnischen Planung von Neuanlagen stellen sich in der Praxis für die Adaptierung und Erweiterung von Bestandsanlagen die Grundsatzfragen der Weiterverwendbarkeit vorhandener MSR-Technik. Bei bestehenden Kläranlagen ergeben sich für die Beibehaltung der MSR-Anlagen neben der gesicherten Ersatzteilverfügbarkeit, der Weiterentwicklungen und ortsnaher Serviceangeboten auch die Kompatibilitätsfragen der vorhandenen Anlagenteile mit den neuen Techniken.

Gleichzeitig bieten sich im Zuge von Umbauten und Erweiterungen bestehender Abwasser-reinigungsanlagen Chancen der Digitalisierung welche unter dem Schlagwort

von „Industrie 4.0“ zur „Kläranlage 4.0“

zusammengefasst werden können.

Diese Präsentation sollte Denkanstöße und Entscheidungshilfen für die MSR-Planung und Ausführung von Neuanlagen und die im Vordergrund stehende Anpassung an den Stand der Technik von Abwasserreinigungsanlagen unterschiedlicher Errichtungszeiträume bieten. Die Arbeit versucht auszugsweise auf Grundlage von derzeit am Markt verfügbaren und eingesetzten Fabrikaten und Typen umgesetzte MSR-Anlagen grundsätzlich zu beschreiben.

Auf die allgemeine Dokumentation standardisierter Usancen der MSR-Technik wird bewusst verzichtet und nur auf einige Besonderheiten und Erfordernisse eingegangen.

Key Words: Kläranlage 4.0, Digitalisierung, Datensicherheit, SIL-Level, Schnittstellen, EMV

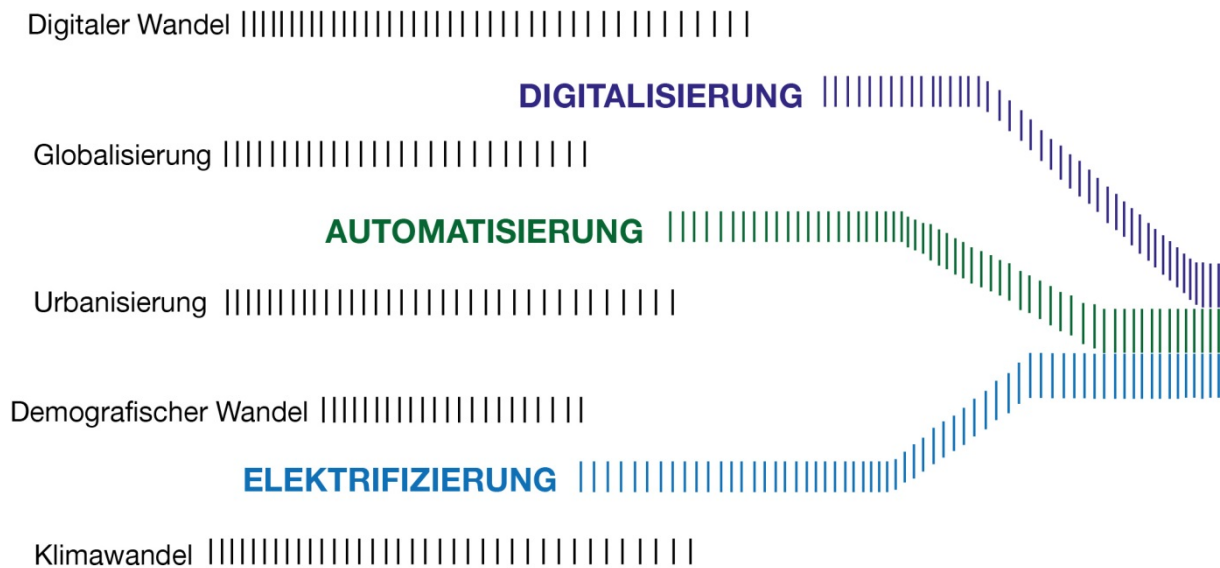
1 Von „Industrie 4.0“ zur „Kläranlage 4.0“

In der Arbeitswelt hat „Industrie 4.0“ bereits teilweise Einzug gehalten und der rasante Anstieg der Digitalisierung erfordert ein Umdenken bei Abwasserreinigungsanlagen im Sinne von Sicherheitsaspekten und Gesamtorganisation.

1.1 Mögliche Ziele der Kläranlage 4.0

Als mögliche Themen und Anforderungen der Zukunft gelten

- integrierte Abwasserbewirtschaftung
- optimierte Echtzeit-Steuerung
- Nutzung der Infrastruktur
- Einbindung hydraulischer Modelle in die Leittechnik
- optimierter Pumpbetrieb
- Online Kanalnetzsteuerung
- Optimierung von Abschlüssen im Kanalnetz



1.2 Von Daten zu Werten

Entscheidende Bedeutung kommt dem „Datenübertragungskreislauf“ zu

- Datenerfassung und Modellierung der Daten
- sichere Datenhaltung und Datentransfer
- Analyse der Daten und Simulation

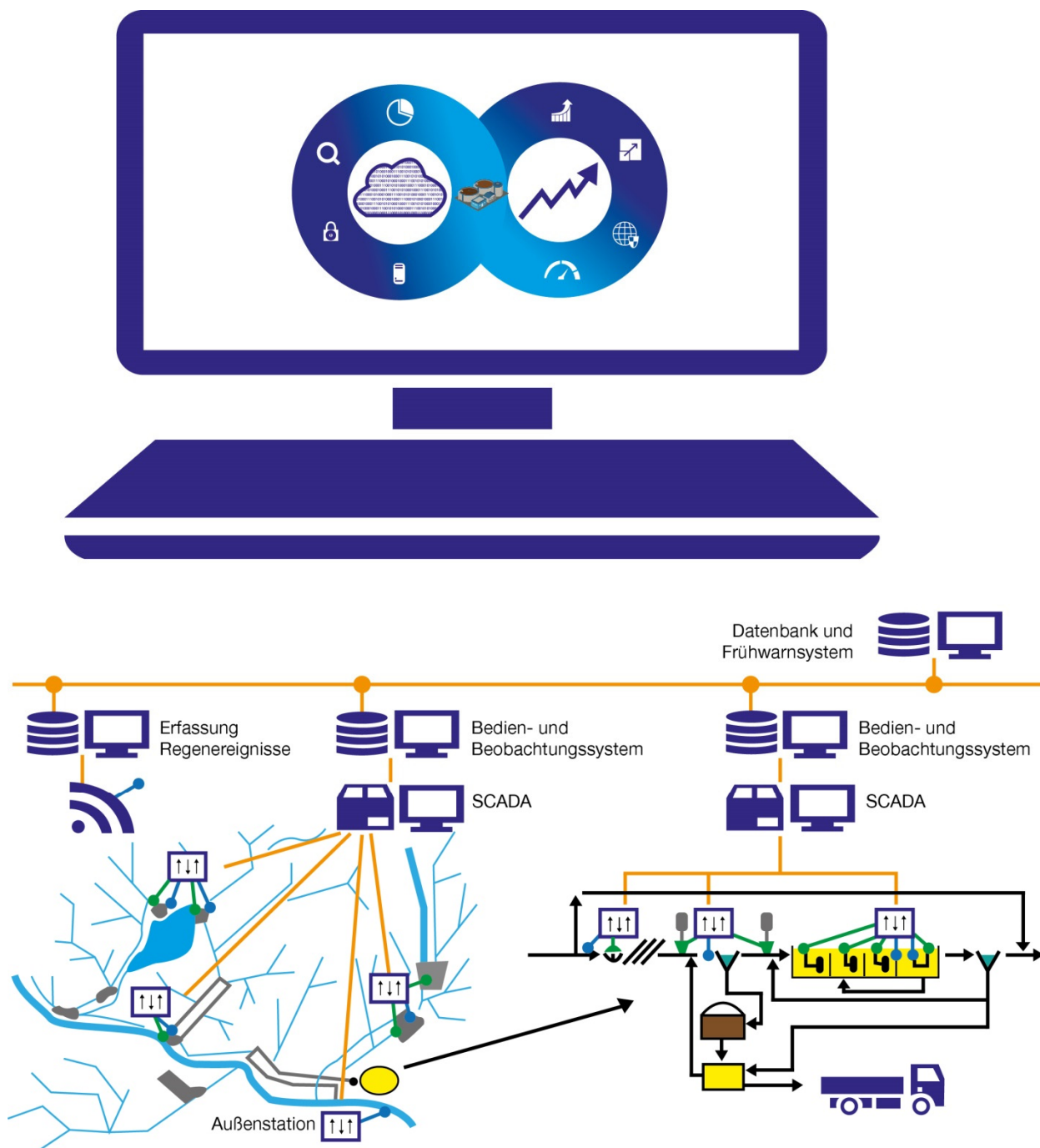
- Visualisierung und Handlungsempfehlung
- maximierte „Prozess – Effizienz“
- verbesserte industrielle Cybersecurity
- optimiertes Energiemanagement
- Erhöhte Asset-Verfügbarkeit



1.3 Integrierte Abwasserbewirtschaftung

Als nachhaltige Effizienz über alle Ebenen gilt die Verfügbarkeit aller Prozess- und Unternehmensdaten in Echtzeit mit den Schwerpunkten

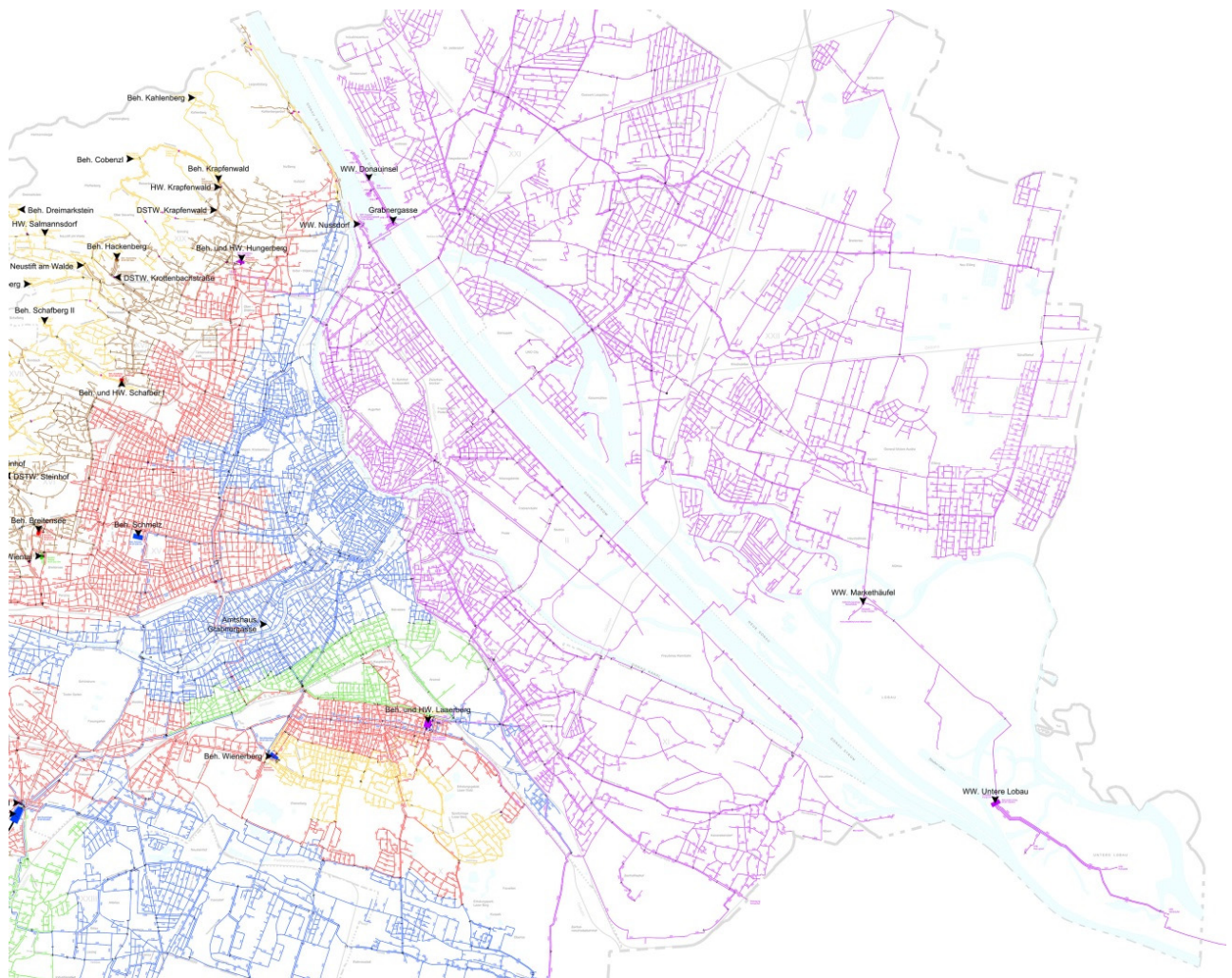
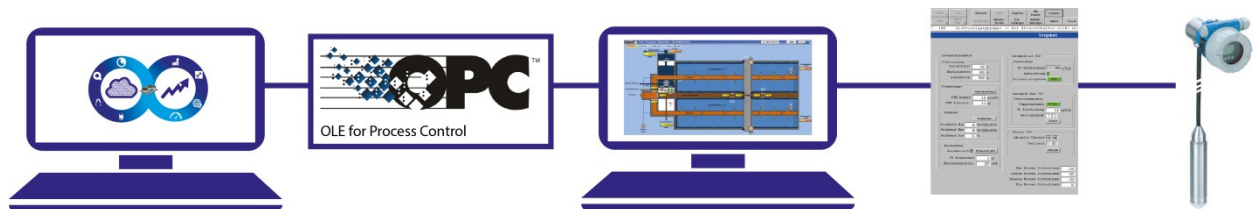
- Kopplung aller relevanten Einzelsysteme der Abwasserreinigungsanlage
- Nutzung freier Systemkapazitäten
- Entscheidungsunterstützungssystem durch frei konfigurierbares PLS
- Modellierung von Niederschlagsabfluss
- Reduktion von Mischwasserentlastung
- Effizientes Gesamtsystem zur Sicherstellung eines störungsfreien Betriebs



1.4 Zukünftige Themen der „integrierten Abwasserbewirtschaftung“

Im Bereich der Abwasserentsorgung stehen im Sinne von Anlagensammenlegungen und innovativer Energie- und Tarifgestaltungen weitere Themen zur Diskussion

- Verbundsteuerung großräumiger und komplexer Entwässerungssysteme
- Lastmanagement mehrerer Abwasserreinigungsanlagen
- Bereitstellung von „positiver oder negativer“ Regelenergie



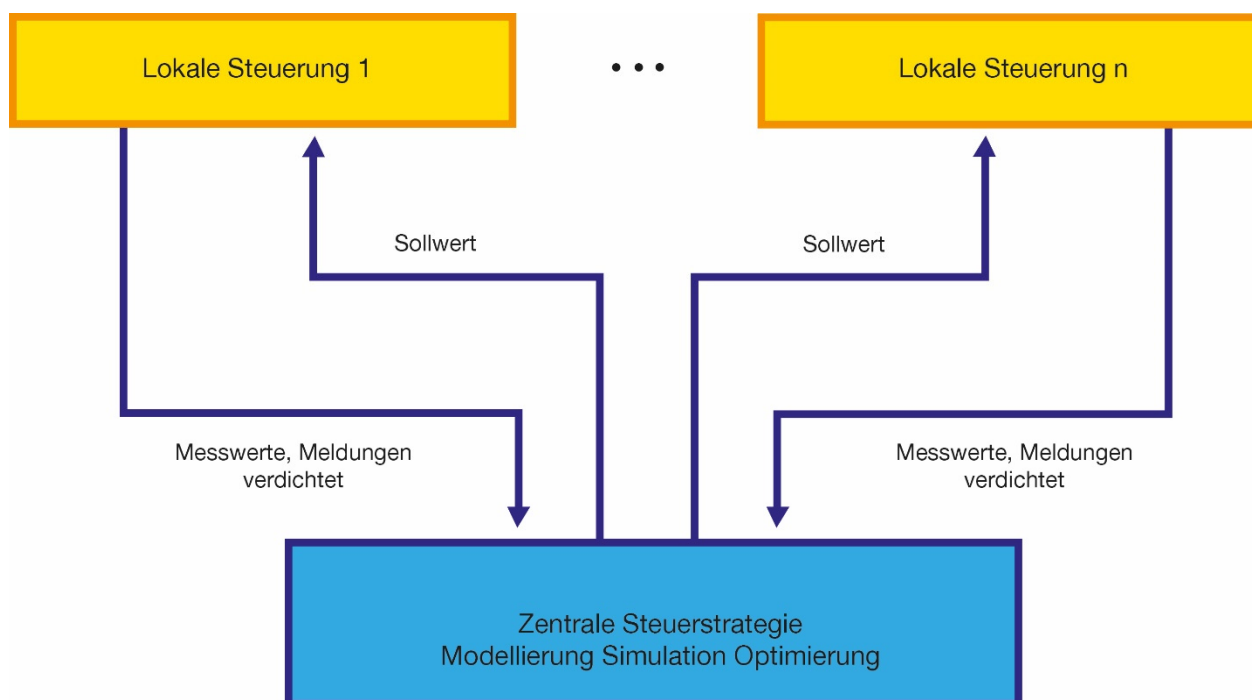
2 Umsetzungsvoraussetzungen zur „Kläranlage 4.0“

Um die Chancen der Digitalisierung und die damit verbundene Idee nutzen zu können gilt als allgemeiner Ansatz die „zentrale Steuerstrategie“

- Steuerung und Regelung mit bauwerksübergreifenden Informationen
- verschiedenste Komponenten mit skalierbarer Leistungsfähigkeit
- Integration in Leit- und Automatisierungssysteme

mit den Vorteilen einer

- optimierten Betriebsführung
- Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit
- Reduzierung der Betriebskosten



2.1 Datenerfassung über datenbankorientierte Plattform

Zukünftig wird entgegen der gelebten Praxis von Anlagenplanung und Anlagenbetrieb mit den Nachteilen einer

- getrennten Umgebung,
- manuellen oder halbautomatisierten Informationsverteilung,
- System- und Medienbruches bei der Datenübergabe von Planer zu Betreiber,

- Erfordernis der mehrfachen Eingabe von Informationen

der Umstieg auf eine „datenbankorientierte Plattform“ mit den Performancevorteilen wie

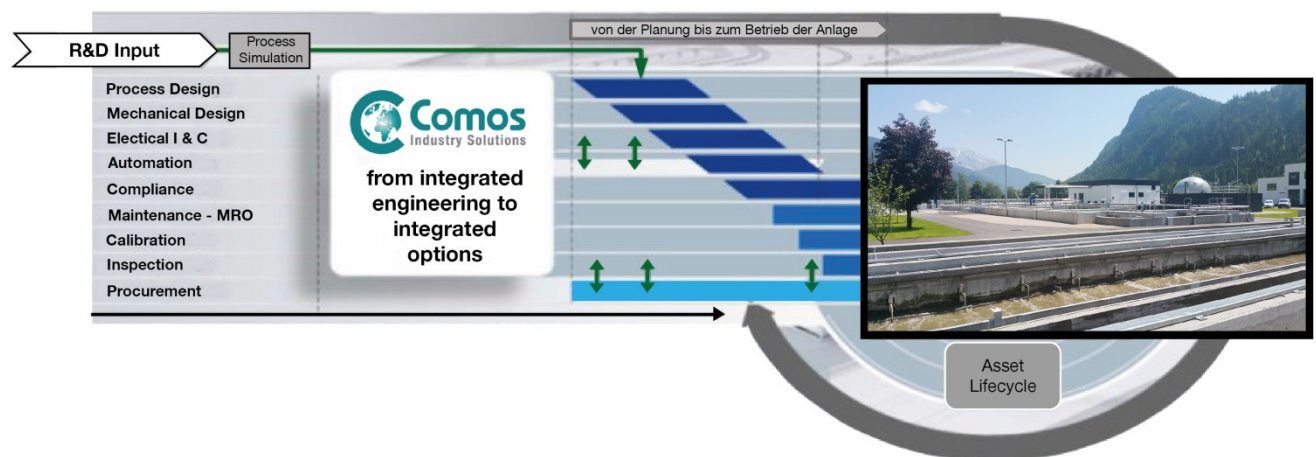
- Reduzierung der Anwendungen
- Ermöglichung einer einheitlichen Informationsquelle
- Integration verschiedener Disziplinen
- Prozessintegration zu und von anderen Systemen

erfolgen.

2.1.1 Vom R&I-Schema bis ins Prozessleitsystem

Datenbankorientierte Plattformen bieten den Vorteil einer „einheitlichen Datenhaltung“ und damit die Möglichkeit einer stets aktuellen Dokumentation in

- R&I-Schemen (PID)
- Elementelisten
- Stromlaufplänen
- Protokollen



2.2 Vorteile einer Anlagensimulation

Am Markt befindliche Simulationsprogramme ermöglichen die virtuelle Inbetriebnahme (VIBN) von Abwasserreinigungsanlagen mit dazugehörigen Kanalnetzsimulationen und stellen die Umgebung für das Betreibertraining zur Verfügung.

Die wesentlichen Leistungsmerkmale bestehen aus

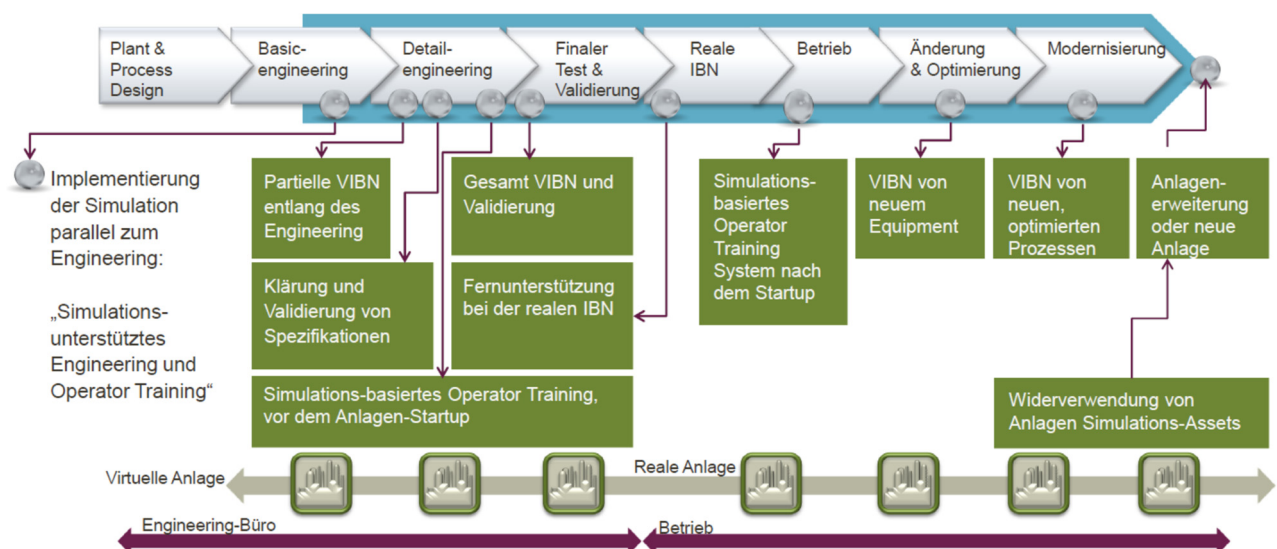
- Anwenderfreundlichkeit
 - virtueller Controller
 - Bedienerfreundlichkeit für Automatisierer
 - stufenweise Simulationsmöglichkeit
- Design-Effizienz
 - umfangreiche Funktionen und Schnittstellen
 - Wiederverwendung von „Plattformdaten“
- Offenheit
 - Datenaustausch über OPC
 - flexibler Datenimport
 - automatisierte Simulationsmodellierung (.xls, .xml)

2.2.1 Von der Planung bis zur realen Anlage

Simulationsprogramme ermöglichen den virtuellen Aufbau der Kläranlage, wobei seitens des Anlagenbetreibers ein „Training“ der Mitarbeiter zu einem frühen Projektstadium sichergestellt wird.

Über die „Simulation Framework“ wird geprüft

- I/Os Simulation
- Sensor und Aktor Simulation
- Feldkommunikation Simulation
- Automatisierungsequipment und Prozessverhalten Simulation
- Offener Datenaustausch und „Remote Control“



2.3 Datensicherheit auf Abwasserreinigungsanlagen

Der hohe Automatisierungsgrad und die Datenfülle bergen natürlich auch Gefährdungen von Automatisierungsanlagen, wodurch wichtige Trends als Gründe immer höheren Stellenwert erlangen.

- horizontale und vertikale Integration aller Netzwerkebenen
- Anbindung von Automatisierungsnetzwerken an IT-Netzwerke
- Anbindung von Automatisierungsnetzwerken an das Internet
- vermehrter Einsatz „offener Standards“ und PC-basierende Systeme
- Zugriffsverletzungen durch Unbefugte
- Spionage und Manipulation von Daten
- Schäden und Datenverluste durch Malware

Die Sicherheitskette auf Abwasserreinigungsanlagen ist nur so stark wie sein „schwächstes Glied“ und es ergeben sich erfahrungsgemäße Sicherheitslücken

- Mitarbeiter
- Smartphones
- Laptops
- PC-Workstations
- Netzwerkinfrastruktur
- Mobile Speichereinheiten
- Tablet-PCs
- Drucker

3 MSR-Ergänzungen auf Bestandsanlagen

Das elektrische Messen, Steuern und Regeln auf Abwasserreinigungsanlagen umfasst die Verbindung der Fachgebiete der Messtechnik (Feldgeräte) zur Informationsgewinnung, der Steuerungstechnik (SPS-Anlagen) zur logischen Informationsverarbeitung und der Regelungstechnik (Prozessleitsysteme) zur Vorgabe von Soll-Werten oder prozessabhängiger Führungsgrößen.

Neben der Auswahl funktional angepasster MSR-Komponenten kommt sicherheitsbezogener Aspekte und dem Schutz gegen Überspannungen immer höhere Bedeutung zu.

Erhöhtes Augenmerk ist auf folgende MSR-Ausrüstungen zu legen:

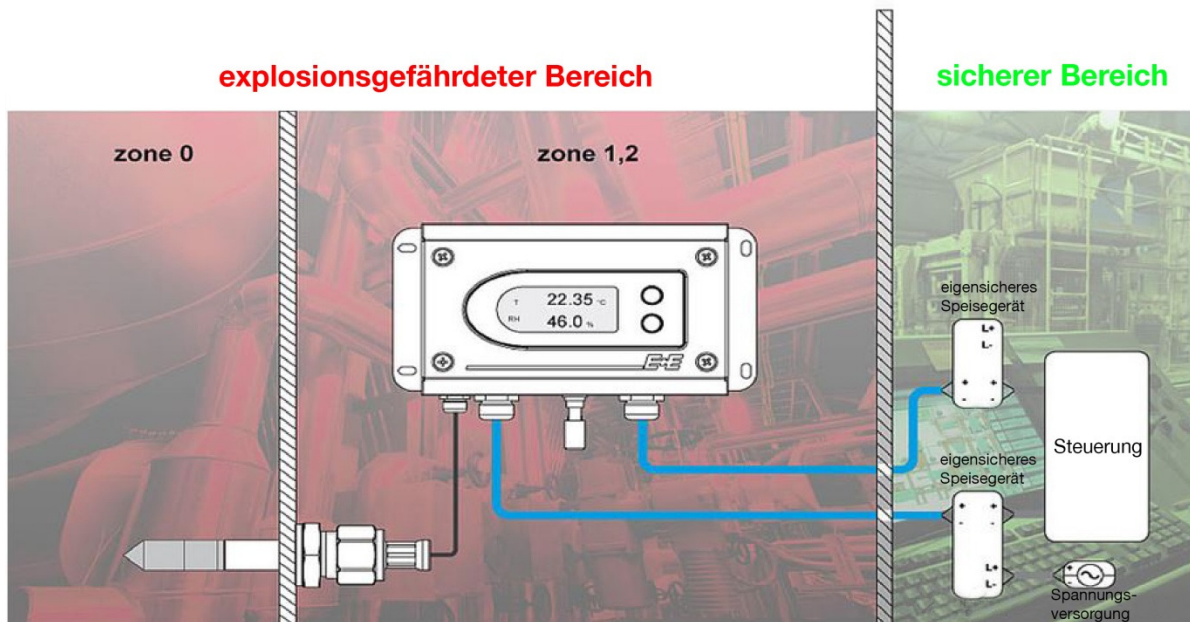
- richtige Auswahl Feldgeräte (Einsatzbereich)
- Feldgeräte im Ex-Bereich
- eigensichere Stromkreise
- Anforderungen an Kabel und Leitungen
- Erdung eigensicherer Stromkreise
- Erdung leitender Schirme
- Feldgeräte mit „SIL-Level“
- Überspannungsschutz
- Datenübertragung
- serielle Kommunikation
- Ethernet - Standardprotokolle
- Sicherheit der Buskommunikation
- kabellose Datenübertragung
- elektromagnetische Störeinflüsse
- speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)
- redundante Alarmierungsgeräte
- Datensicherung
- Einbindungsmöglichkeiten zum Prozessleitsystem

4 Feldgeräte

Auf Grund der rauen Umwelteinflüsse werden an elektrische Feldgeräte in der Abwassertechnik hohe Anforderungen an Qualität, Robustheit und Verfügbarkeit bei nicht unüblichen, je nach Einsatzgebiet erforderlichen Zulassungen für Umgebungstemperaturen von – 20 Grad C bis + 85 Grad C, gestellt.

4.1 Feldgeräte im „EX-Bereichen“

Entsprechend der EX-Zoneneinteilung aus dem EX-Schutzdokument laut VEXAT ist der Einsatz von Sensorik und gegebenenfalls auch der Auswertegeräte in der geforderten Sicherheitsstufe erforderlich.



(Montagebeispiel eines Sensors in der Zone 0)

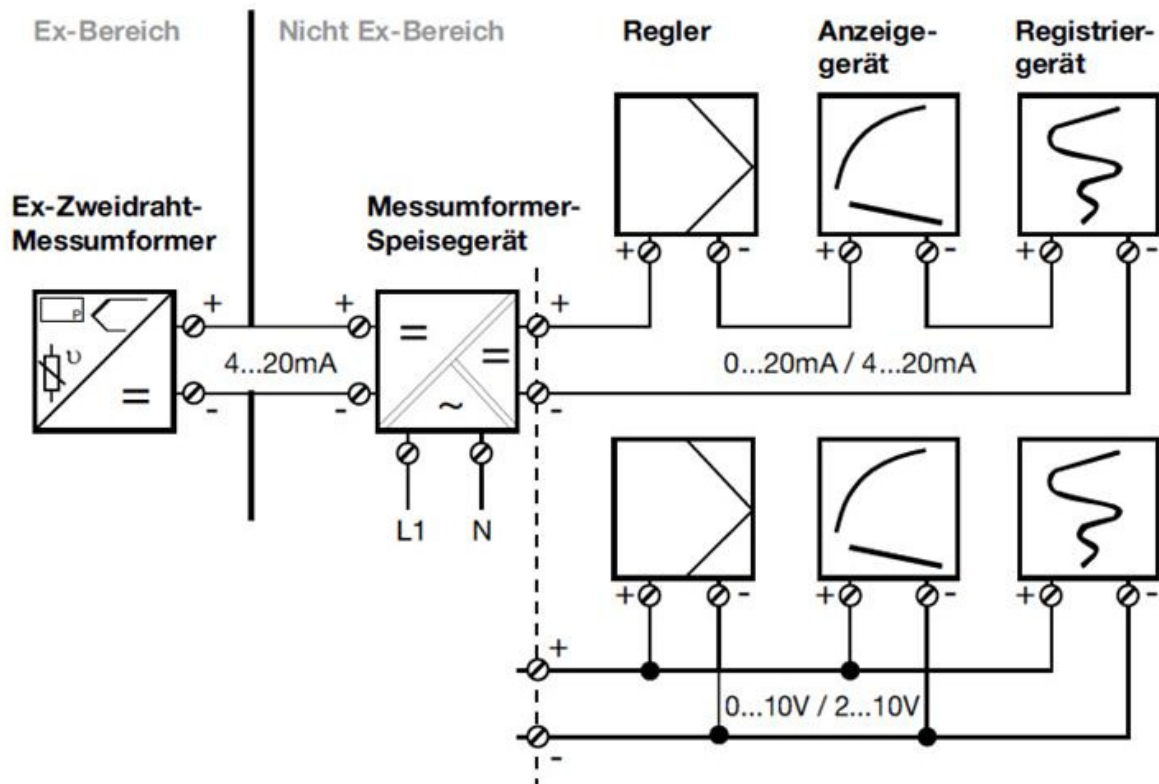
Der Sensor befindet sich mit der Kategorie 1G im explosionsgefährdeten Bereich der Zone 0 (ständig, über lange Zeit oder häufig vorhandene explosionsfähige Atmosphären).

In der Zone 1 kann unter Einhaltung der Kategorie 1G oder 2G das Auswertegerät in jenem Bereich situiert werden, in welchem sich bei Normalbetrieb gelegentlich explosionsfähige Atmosphären bilden können.

Im sicheren Bereich sind die eigensicheren Speisegeräte und die Steuerung mit der erforderlichen Spannungsversorgung installiert.

4.2 Eigensichere Stromkreise

Da von elektrischen Anlagen eine Zündgefahr ausgehen kann, sind geeignete Maßnahmen zu treffen, um das Risiko einer Entzündung auf ein akzeptables Maß zu reduzieren.



(Grundstruktur eines eigensicheren Stromkreises)

Die Mindestzündenergie ist die unter vorgeschriebenen Versuchsbedingungen ermittelte, kleinste in einem Kondensator gespeicherte elektrische Energie, die bei einer Entladung ausreicht, das zündwilligste Gemisch einer explosionsfähigen Atmosphäre zu entzünden.

4.2.1 Unzulässig hoher Energieeintrag in „Ex i-Kreise“

Im einfachsten Fall besteht ein eigensicherer Stromkreis aus einem Speisegerät (Quelle), einem Feldgerät (Verbraucher) und einer Verbindungsleitung (Kabel). Aus dem physikalischen Aspekt der Eigensicherheit lässt sich ableiten, dass die Werte Spannung U , Strom I und Leistung P durch das Speisegerät bestimmt werden; Induktivität L und Kapazität C jedoch hauptsächlich durch das Feldgerät und die Leitung.

Aus dem Funktionsprinzip wird auch klar, dass nicht nur bei der Zusammenstellung der Bestandteile eines Ex i-Kreises einige Besonderheiten zu beachten sind, sondern darüber hinaus auch dafür zu sorgen ist, dass es nicht zu einem unzulässig hohen Energieeintrag in solche Stromkreise kommt. Ursachen hierfür können sein:

- elektromagnetische Einkopplung von außen
- Verbindung mit anderen Stromkreisen (z.B. durch Beschädigung)
- Bauteilefehler in den eigensicheren Betriebsmitteln selbst

4.2.2 Installationsanforderungen in den Zonen 1 und 2

Tiefstehende Anforderungen für die Zonen 1 und 2 verstehen sich nur sinngemäß und auszugsweise erläutert. Detaillierter Normwortlaut ist der Bezug habenden EN 60079-14 zu entnehmen.

Anforderungen an Betriebsmittel

- eigensichere und zugehörige Betriebsmittel müssen für Zone 2 mindestens Schutzniveau ic entsprechen
- eigensichere und zugehörige Betriebsmittel müssen für Zone 1 mindestens Schutzniveau ib, entsprechen
- für einfache Betriebsmittel ist keine Prüfung oder Kennzeichnung erforderlich, sie müssen aber den Anforderungen weiterer Normen entsprechen, sofern die Eigensicherheit davon abhängt
- zugehörige Betriebsmittel ohne zusätzliche Zündschutzart sind außerhalb des explosionsgefährdeten Bereiches zu installieren
- maximale Speisespannung nicht größer als die sicherheitstechnische Maximalspannung „Um“ des zugehörigen Betriebsmittels

Anforderungen an Kabel und Leitungen

- nur isolierte Kabel und Leitungen (Prüfspannung ≥ 500 V AC oder 750 V DC)
- Minstdurchmesser Einzelleiter im explosionsgefährdeten Bereich 0,1 mm
- die elektrischen Kennwerte (Cc und Lc) oder (Cc und Lc/Rc) müssen bestimmt werden
- Schutz eigensicherer Stromkreise gegen äußere elektrische oder magnetische Felder durch Einsatz von Schirmen und/oder verdrehten Adern oder durch Einhaltung eines ausreichenden Abstandes
- zusätzlich zu den Anforderungen zur Vermeidung von Beschädigungen sind
 - Kabel und Leitungen mit eigensicheren Stromkreisen von allen Kabeln und Leitungen mit nichteigensicheren Stromkreisen getrennt zu führen oder
 - Kabel und Leitungen der eigensicheren oder der nichteigensicheren Stromkreise sind bewehrt, metallummantelt oder geschirmt.
- Aderleitungen von eigensicheren und nichteigensicheren Stromkreisen dürfen nicht in derselben Leitung geführt werden
- Trennung eigensicherer und nichteigensicherer Stromkreise in Kabelbündeln oder -kanal durch Isolierstoffzwischenlage oder geerdete Metall-

Zwischenlage (nicht erforderlich bei Schirmung oder Mänteln für eigensichere oder nichteigensichere Stromkreise)

- unbenutzte Adern mehradriger Kabel sind zueinander und gegen Erde (wenn im Kabel z.B. über ein zugehöriges Betriebsmittel bereits eine Erdverbindung existiert) durch geeignete Abschlüsse zu isolieren
- Kabel und Leitungen eigensicherer Stromkreise müssen gekennzeichnet sein
- wenn Mäntel oder Umhüllungen durch eine Farbe gekennzeichnet sind, muss die verwendete Farbe hellblau sein
 - in diesem Falle dürfen hellblau ummantelte Kabel und Leitungen nicht für andere Zwecke verwendet werden
- bei Vorhandensein eines blauen Neutralleiters in MSR-Schränken, Schalt- oder Verteilungsanlagen sind Maßnahmen gegen eine Verwechslung zu treffen, z.B. durch gemeinsame Verlegung der Adern in hellblauem Kabelbaum, Beschriftung oder übersichtliche Anordnung und räumliche Trennung.

Anschluss eigensicherer Stromkreise

- Anschlussklemmen für eigensichere Stromkreise müssen als solche gekennzeichnet sein
- zuverlässige Trennung der Anschlussklemmen eigensicherer von nichteigensicheren Stromkreisen (z. B. durch Trennwand oder Fadenmaß ≥ 50 mm)
- Mindestluftstrecke 3 mm zwischen nichtisolierten leitenden Teilen und geerdeten oder anderen leitfähigen Teilen, zwischen nichtisolierten leitenden Teilen und getrennten eigensicheren Stromkreisen 6 mm

Erdung eigensicherer Stromkreise

- die Stromkreise sind entweder erdfrei zu errichten oder an einer Stelle an das Potenzialausgleichssystem anzuschließen
- Widerstände von 0,2 - 1 M Ω zur Ableitung elektrostatischer Ladungen gelten nicht als Erdung
- eine aus Sicherheitsgründen erforderliche Erdung muss auf kürzest möglichem Weg an das Potentialausgleichssystem angeschlossen werden
- eine Mehrfacherdung ist dann zulässig, wenn der Stromkreis in mehrere galvanisch getrennte Teilstromkreise aufgeteilt wurde, von denen jeder nur an einer Stelle geerdet ist
- Erdverbindungsquerschnitt (Kupfer): 2 x mindestens 1,5 mm² oder 1 x mindestens 4 mm²

Erdung leitender Schirme

- ein erforderlicher leitender Schirm darf nur an einer Stelle geerdet sein; üblicherweise am Ende im nicht explosionsgefährdeten Bereich
- falls ein geerdeter eigensicherer Stromkreis in einem geschirmten Kabel verläuft, sollte der Schirm an der gleichen Stelle wie der eigensichere Stromkreis geerdet sein
- ein robuster isolierter Erdungsleiter vorliegt (mindestens 4 mm²)
- die Isolationsprüfung mit 500 V in verschiedenen Prüfungen bestanden wird
- der isolierter Erdungsleiter und Schirm nur an einem Punkt (normalerweise am Ende des Kabels im nicht explosionsgefährdeten Bereich) mit der Erde verbunden sind

4.3 Feldgeräte mit „SIL-Level“

Seit dem Inkrafttreten der IEC 61508 ist das Thema „Funktionale Sicherheit“ auf Abwasserreinigungsanlagen stark in den Vordergrund getreten. Die IEC 61508 wird auf sicherheitsbezogene Systeme angewendet und betrachtet mögliche Risiken die durch den Ausfall von Sicherheitsfunktionen verursacht werden.

Die vier Sicherheitsstufen des Safety Integrity Level (SIL) zur Risikobeherrschung sind in der IEC 61508 und IEC 61511 definiert, wobei die Stufe 4 die höchste Risikoreduzierung darstellt.



Das Risiko eines gefährlichen Prozesses ist bestimmt durch die Wahrscheinlichkeit, mit der ein gefährlicher Vorfall ohne vorhandene Schutzmaßnahmen auftreten könnte, multipliziert mit der Auswirkung des gefährlichen Vorfalls. Es ist zu ermitteln wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, die zu einem gefährlichen Zustand führen kann. Diese Wahrscheinlichkeit kann unter Anwendung quantitativer Risikobeurteilungsmethoden abgeschätzt werden und mit einem numerischen Grenzwert festgelegt werden.

Ein Safety Instrumented System (SIS) wird eingesetzt, um einen gefährlichen Prozess abzusichern und das Risiko eines Unfalls zu reduzieren.

Prozessinstrumente sind Bestandteil eines Safety Instrumented System. Dieses besteht aus den wesentlichen Komponenten einer gesamten sicherheitsrelevanten Prozesseinheit.

- Sensor
- fehlersichere Verarbeitungseinheit (SPS-Anlage)
- Aktor

Durch eine quantitative Methode kann die Wahrscheinlichkeit durch

- Analyse der Ausfallraten in vergleichbarer Situationen
- Daten aus relevanten Datenbanken
- Berechnung unter Anwendung angemessener Vorhersagemethoden

bestimmt werden.



Da die Thematik sehr komplex ist, sollten hier nur die Grundlagen aufgezeigt werden. (Die genauen Berechnungsmethoden sind in der IEC 61508 im Teil 5 detailliert beschrieben.)

Tabelle 1: (Qualitative Methode als vereinfachtes Modell – Bestimmung SIL-Level)

				W3	W2	W1
Ausgangspunkt der Risikoab- schätzung	Ca			a	-	-
		Aa	Ga	1	a	-
	Cb	Ab	Gb	2	1	a
	Cc	Aa	Ga	3	2	1
	Cd	Ab	Ga	4	3	2
			Gb	b	4	3

Legende:

Kennbuchstabe Kennziffer	Sicherheitsanforderung SIL-Level
a	keine spezielle Anforderung
b	ein einzelnes Safety Instrumented System (SIS) nicht ausreichend
1, 2, 3, 4	Safety Integrity Level (SIL)
	Schadensausmaß
Ca	leichte Verletzung einer Person, kleinere schädliche Umwelteinflüsse
Cb	schwere Verletzung oder Tod einer Person
Cc	Tod mehrerer Personen
Cd	Tod sehr vieler Personen
	Aufenthaltsdauer einer Person im gefährlichen Bereich
Aa	selten bis häufig
Ab	häufig bis dauernd
	Gefahrenabwendung
Ga	möglich unter bestimmten Bedingungen
Gb	kaum möglich

	Eintrittswahrscheinlichkeit
W1	sehr gering
W2	gering
W3	relativ hoch

4.3.1 Nachweis der SIL-Bescheinigung

Die Anlagenbetreiber benötigen einen Nachweis über die SIL-Klassifizierung der vom SIS (Safety Instrumented System) eingesetzten Komponenten. Nach IEC 61511 sind hierfür Herstellererklärungen völlig ausreichend.

Zertifikate sind weder gesetzlich vorgeschrieben noch von der Norm gefordert. Um eine Herstellererklärung oder ein Zertifikat ausstellen zu können, bedarf es einer technischen Beurteilung der einzusetzenden Sicherheitskomponente.

4.3.2 Ausstellung von SIL-Zertifikaten

Im Gegensatz zu Herstellererklärungen dürfen Zertifikate nur von einer akkreditierten Organisation (z.B. TÜV) ausgestellt werden. Je höher die geforderte Sicherheit einer Anlage ist, desto unabhängiger muss die Person sein, die eine Beurteilung der funktionalen Sicherheit ausstellt.

Tabelle 2: (Berechtigte zur Ausstellung von SIL-Zertifikaten)

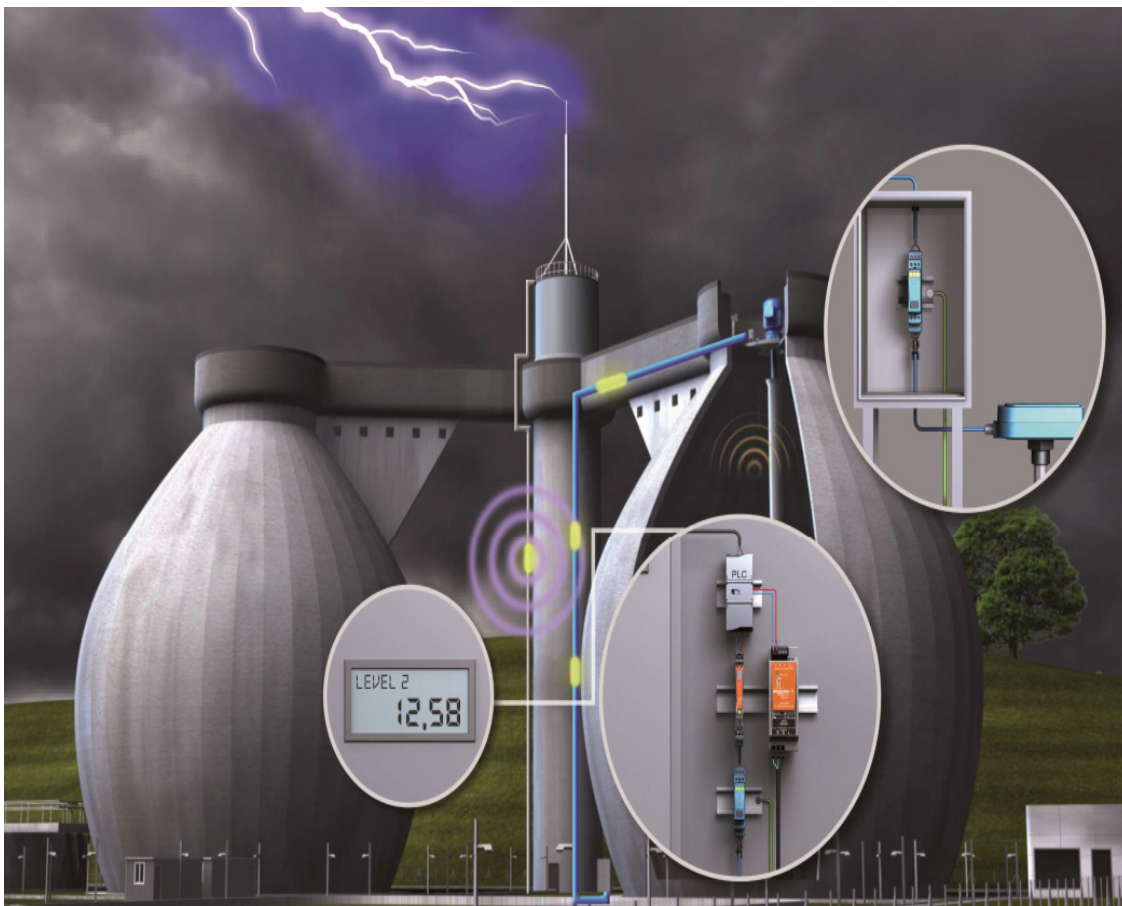
SIL-Stufe / Kategorie	Beurteilende Instanz
SIL 1	unabhängige Person
SIL 2	unabhängige Abteilung
SIL 3	unabhängige Organisation
SIL 4	unabhängige Organisation
Konformitätserklärung (Herstellererklärung)	Der Hersteller bescheinigt, dass nach seinen Überprüfungen und Berechnungen oder aufgrund von Betriebsbewährung eine bestimmte SIL-Stufe erreicht wird.
Zertifikat	Wird durch eine unabhängige, akkreditierte Organisation ausgestellt. (z.B. TÜV)

Die Betriebsbewährung gilt nur für die Version/Release des Produktes für die der Nachweis erfolgt ist. Alle zukünftigen Änderungen des Produkts müssen anschließend gemäß IEC 61508 durchgeführt werden.

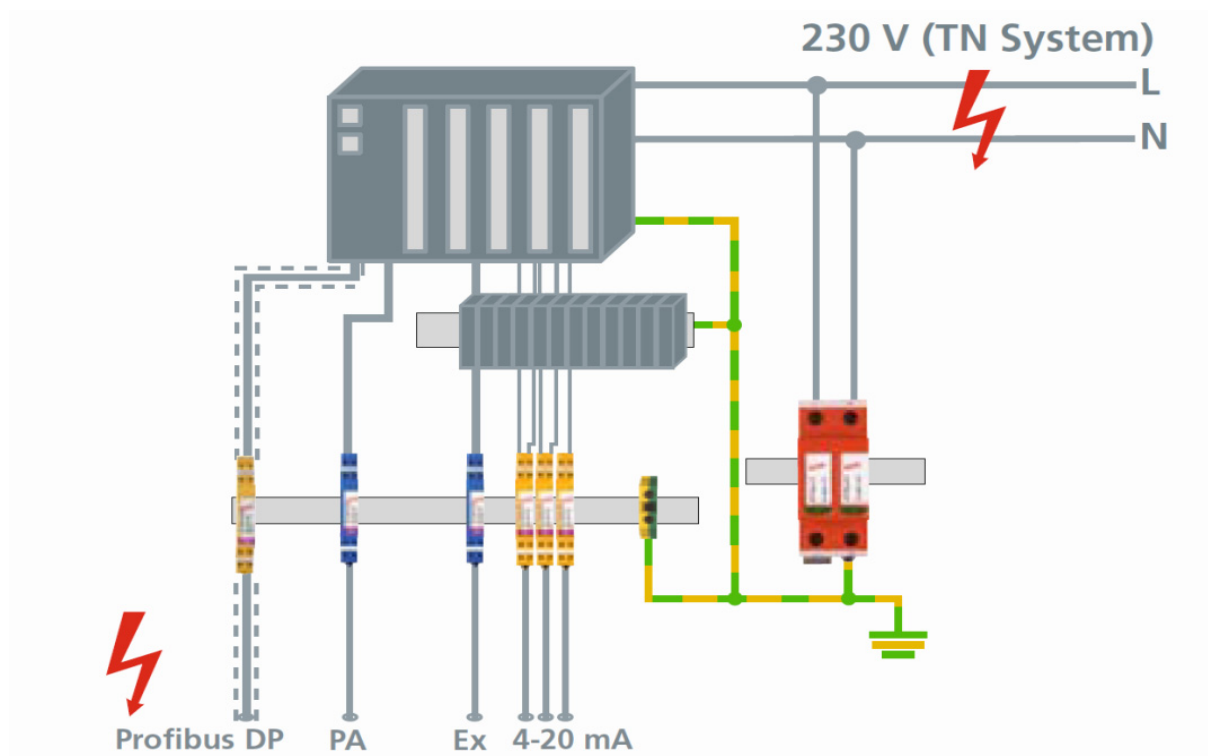
4.4 Überspannungsschutz in der Messtechnik

Gerade in prozesstechnischen Anlagen ist der uneingeschränkte und sichere Betrieb von wesentlicher Bedeutung. Daher müssen die Signale der Feldgeräte stets verfügbar und unverfälscht sein und daher wirkungsvoll vor Überspannungen geschützt werden.

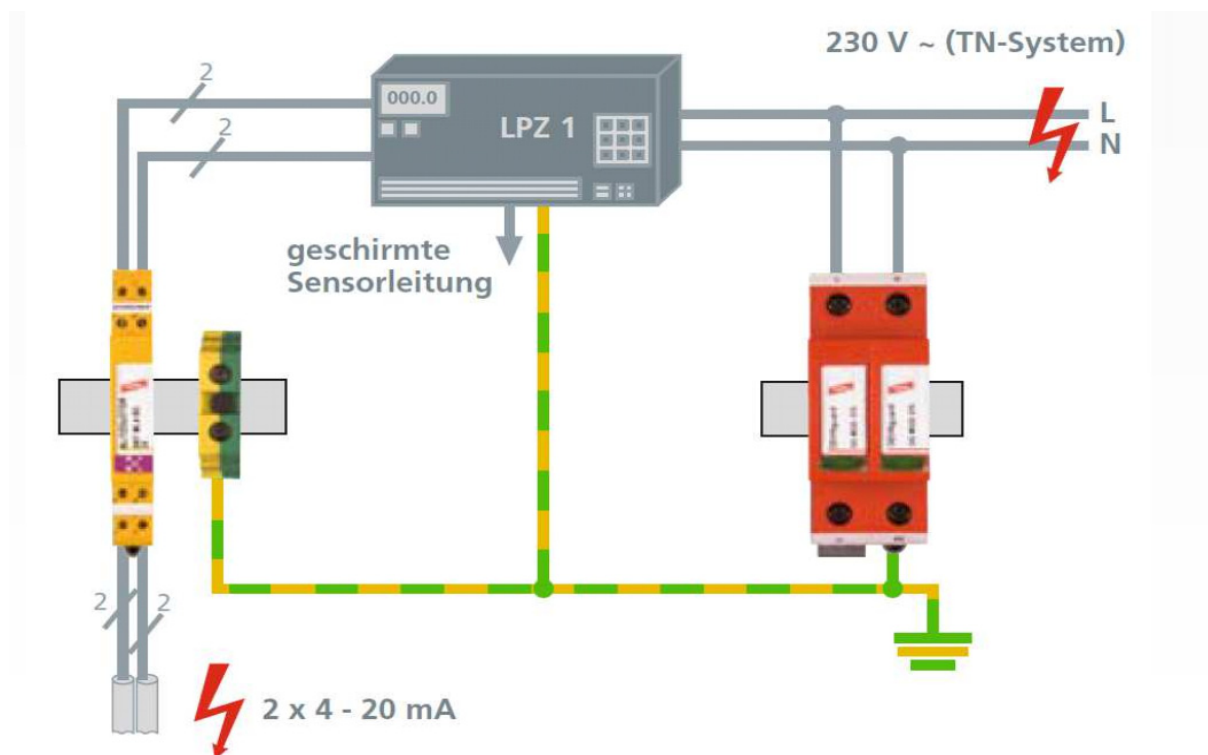
Prozesstechnische Anlagen wie Abwasserreinigungsanlagen oder Biogasanlagen müssen kontinuierlich betrieben werden. Jegliche Ausfälle oder Stillstände bringen hohe Kosten und schlimmstenfalls sogar Versorgungsengpässe mit sich. Gerade in diesem Bereich sollten daher Komponenten eingesetzt werden, die verhindern, dass Blitze und Überspannungen die teils sehr aufwändigen und teuren Messgeräte zerstören oder die Signale verfälschen.



4.4.1 Beispiel eines Überspannungsschutzkonzepts (Schaltschrank mit SPS)



4.4.2 Beispiel – Überspannungsschutz 4-20 mA und Energieversorgung



5 Datenübertragung

Die Datenübertragung von Sensorik über Messverstärker und Auswertegeräte über SPS-Anlagen bis zum Prozessleitsystem (PLS) erfolgt entsprechend dem Errichtungszeitpunkt der Bestandsanlagen in unterschiedlicher Form.

5.1 Serielle Kommunikation

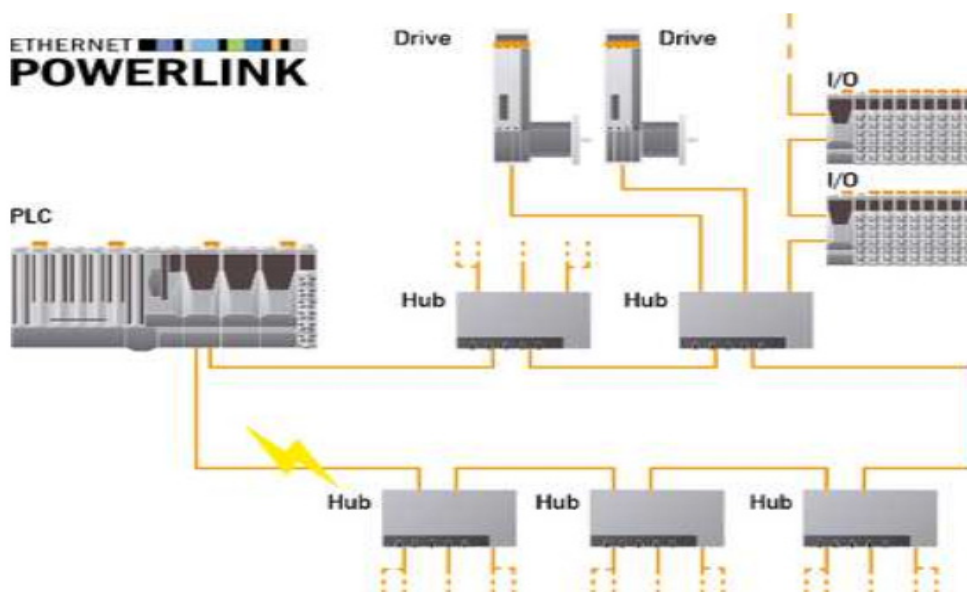
Nach wie vor haben die Schnittstellen wie RS232, RS422 und RS485 ihren festen Platz in der Datenübertragungswelt. Robust, einfach und dennoch leistungsfähig sind sie noch immer weit verbreitet.

Die klassische RS232-Schnittstelle ist ebenso ein vollwertiger Zugang zum Programmieren und Warten von Systemen.

5.2 Ethernet (Variante POWERLINK)

Mit der Variante POWERLINK steht ein Standardprotokoll für Fast-Ethernet zur Verfügung, welches seine Echtzeiteigenschaften in vielen Anlagen unter Beweis gestellt hat.

Durch die Offenheit und ständige Weiterentwicklung über die Ethernet POWERLINK Standard Group (EPSG) kann dieses auf Standard Ethernet basierende System als zweite Generation der Feldbusse bezeichnet werden. Der Einsatzbereich reicht über Antriebssteuerung bis zur Visualisierung und Datenaustausch zwischen SPS-Anlagen.



5.3 Sicherheit der Buskommunikation

In der Abwassertechnik ist ein klarer Trend erkennbar, dass zwischen den Komponenten immer mehr Daten übertragen werden. Dies geschieht über die verschiedensten Protokolle, wie HART, PROFIBUS oder Foundation Fieldbus - mit entweder auf dem analogen 4 bis 20 mA Signal aufmodulierten digitalen Signalen oder über Buskommunikation mit einem Feldbus. Aufgrund der Vielfalt von Fehlermöglichkeiten, wie z.B. elektromagnetische Einstrahlung (EMV) und der Komplexität des Bussystems erfolgt die Übertragung der Daten bei herkömmlichen Bussystemen nicht fehlersicher.

Für eine sichere Datenkommunikation über einen Bus oder Feldbus bedarf es daher spezieller Software-Algorithmen, die eine gesicherte Übertragung gewährleisten können. Ein Protokoll, das diese Anforderungen derzeit erfüllt ist PROFIBUS mit einem PROFIsafe Profil. In der Fertigungsindustrie hat sich für sicherheitsgerichtete Anwendungen PROFIsafe bereits seit längerer Zeit bewährt.

Bei Abwasserreinigungsanlagen gewinnt PROFIsafe zunehmend mit der immer größer werdenden Zahl an verfügbaren Feldgeräten an Bedeutung und trägt dazu bei, die Vorteile der Feldbustechnik auch in sicherheitsgerichteten Systemen nutzen zu können.

5.4 Kabellose Datenübertragung

Bei der elektrotechnischen Installation von MSR-Komponenten auf Abwasserreinigungsanlagen besteht z.B. im Bereich von Nachklärbeckenmessungen und anderen Feldbereichen die Notwendigkeit einer kabellosen Datenübertragung, welche bei Anpassungen bestehender Anlagen immer öfter Berücksichtigung findet.

Unabhängig von der jeweiligen Anwendung bestehen die Umsetzungsmöglichkeiten von der „Punkt-zu-Punkt-Verbindung“ über ein Gateway mit einem bzw. mehreren Knoten und entsprechender Netzwerkarchitektur.

Die Einbindung von nachträglichen Messungen und die Erfordernis von Rückmeldungen von Zusatzautomatisierungsgeräten werden in einfacher Weise über die zur Verfügung stehenden Binär-Ein- und Ausgänge, oder Analogsignale realisiert.

Komplexe Automatisierungsaufgaben können durch die drahtlose Übertragung der digitalen Protokolle RS232 oder RS485 über eine Netzwerkvariante umgesetzt werden.

5.5 Elektromagnetische Störeinflüsse

Obwohl die meisten Hersteller ihre Komponenten für den Einsatz in industrieller Umgebung entwickelt haben und hohe EMV-Anforderungen erfüllen, sollten vor der Installation der SPS-Steuerung entsprechende EMV-Planungen durchgeführt werden und mögliche Störquellen erfasst und berücksichtigt werden.

5.5.1 Definition EMV

EMV (elektromagnetische Verträglichkeit) beschreibt die Fähigkeit eines elektrischen Geräts, in einer vorgegebenen elektromagnetischen Umgebung fehlerfrei zu funktionieren, ohne vom Umfeld beeinflusst zu werden und ohne das Umfeld in unzulässiger Weise zu beeinflussen.

Tabelle 3: (Mögliche EMV-Störeinwirkungen auf SPS-Anlagen)

Mögliche Störeinwirkung	Einwirkungsgrund
Elektromagnetische Felder	direkt auf die SPS-Anlage, durch ungeeigneten Montageort in der Verteileranlage
EMV-Störeinwirkungen	Einschleusung über Bussignale (z.B. PROFIBUS-DB)
EMV-Störeinwirkungen	Einschleusung über die Prozessverdrahtung
EMV-Störeinwirkungen	Einschleusung über die Stromversorgung
EMV-Störeinwirkungen	Einschleusung über die Schutzerdung

In den meisten Fällen kann die EMV durch Beachtung einfacher Maßnahmen sichergestellt werden.

Tabelle 4: (Maßnahmen zu Sicherstellung der elektromagnetischen Verträglichkeit)

Maßnahme	Umsetzung
Flächenhafte Masseverbindung	Verbindung aller inaktiven Metallteile
Leitungsführung	Trennung von Stromversorgungs- und Datenleitungen
Auflegen der Leitungsschirme	Verbindung von Schirm- und Schutzleiterschiene
EMV-Spezialmaßnahme	Beschaltung aller Induktivitäten mit Löschgliedern
Einheitliches Bezugspotential	keine Potentialdifferenzen zwischen Anlagenteilen

6 Speicherprogrammierbare Anlagen (SPS)

Moderne Steuerungssysteme setzen neue Maßstäbe in Bezug auf Flexibilität, Leistungsfähigkeit und Kompatibilität.

6.1 Mindestanforderungen an SPS-Anlagen

Eine wesentliche Anforderung im Bereich der Abwassertechnik stellen dynamische Speicher in den CPU-Modulen zur lückenlosen Datenaufzeichnung über längere Zeiträume bei möglichen Ausfällen von Kommunikationsstrecken dar.

Weitere Leistungsanforderungen sind

- neueste Prozessortechnologie, dynamische Speicherverwaltung
- Hochsprachenprogrammierbarkeit
- Modularität & Skalierbarkeit

6.2 Anforderungen an die SPS-Hardware

Mit dem Ziel einer einfachen und wirtschaftlichen, aber auch sicheren Anwendbarkeit verfügen Steuerungssysteme der „letzten Generation“ über

- integrierte Feldbusankopplungen
- leistungsfähige Ankopplung von Bedien- und Visualisierungssystemen
- mögliche Controller- und Netzwerkredundanz
- mögliche Beschichtung der Elektronik-Baugruppen (aggressive Atmosphäre)

6.3 Anforderungen an die SPS-Software

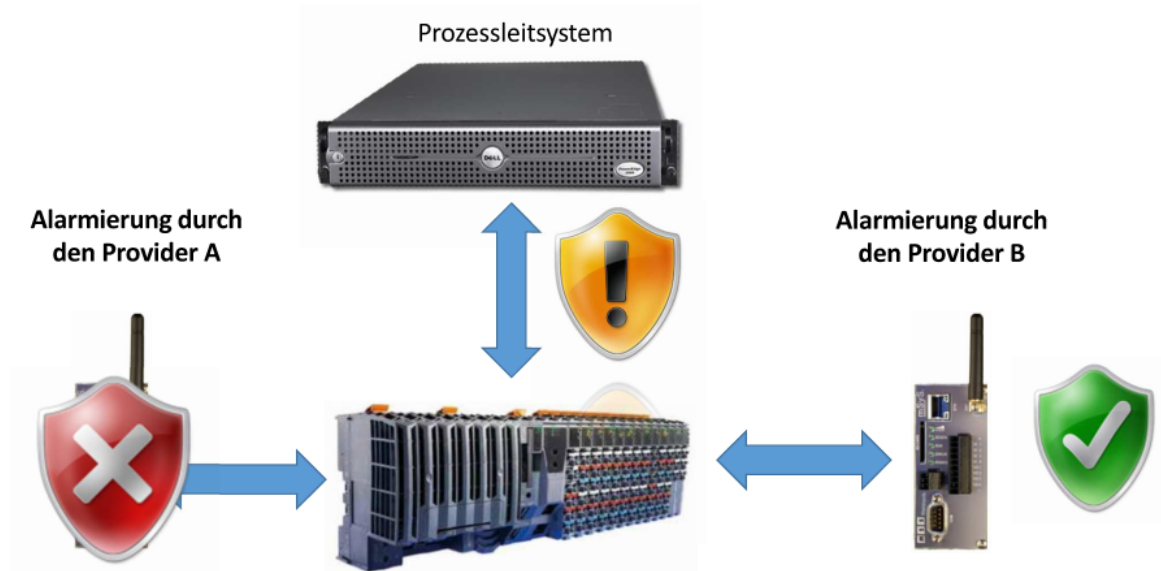
Unter Verwendung der Programmiersprachen nach IEC 61131-3 und ANSI-C in Verbindung moderner Architektur und Strukturierung der Programmumgebung wird ein Zugriff auf idente Datentypen unter Bezug auf Bibliotheken und Variablen.

Weitere Merkmale sind

- integrierte Visualisierung sowie Diagnose
- Echtzeit – Betriebssystem
- Fernwartung (Durchgängig vom Prozess bis zum Firmwaretausch)

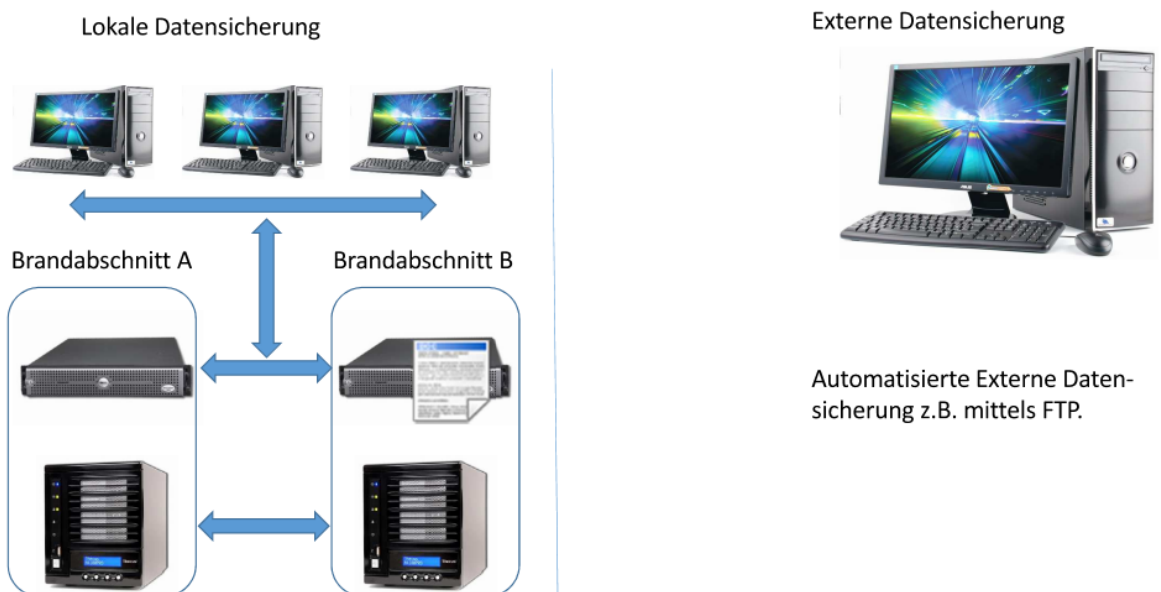
7 Redundante Alarmierungsgeräte

Besondere Bedeutung kommt der „gesicherten“ Alarmierung des Betreiberpersonals im Fehler- und Störfall auf Abwasserreinigungsanlagen zu.



8 Datensicherung

Den unterschiedlichen Datensicherungsmöglichkeiten liegt in jedem Fall die Notwendigkeit einer brandabschnittmäßigen Trennung der „lokalen Datensicherung“ zu Grunde.



9 Einbindungsmöglichkeiten zum Prozessleitsystem

In Anbetracht der vielen Systemsprachen (Protokolle) müssen die proprietären oder genormten Kommunikationsprotokolle in das Prozessleitsystem eingebunden werden können.

ETHERNET
POWERLINK



DeviceNet™

PROFI®
PROCESS FIELD BUS
BUS

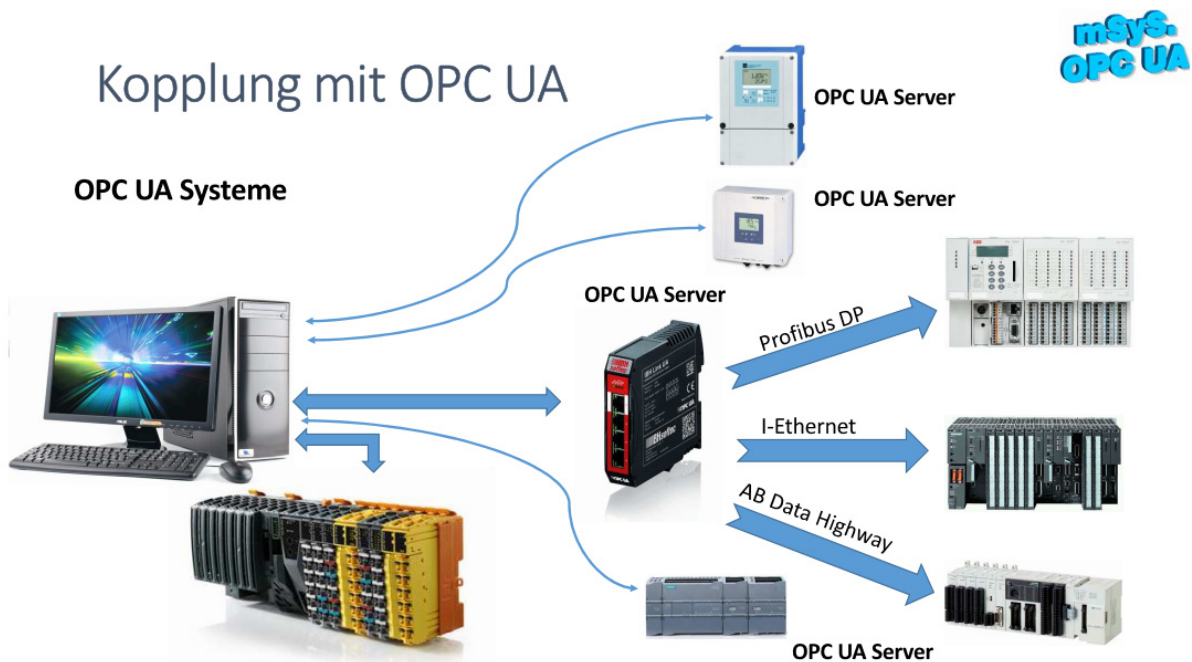
mSys.
OPC UA

CAN

PROFI
INDUSTRIAL ETHERNET
NET

9.1 Kopplungsmöglichkeiten über „OPC UA“

Die Einbindung unterschiedlicher Systemfamilien erfolgt über sogenannte OPC UA-Server, wobei einige Hersteller ihre Produkte standardmäßig mit den Anschaltemodulen für OPC UA ausstatten, bzw. entsprechende Baugruppen zur Verfügung stellen.

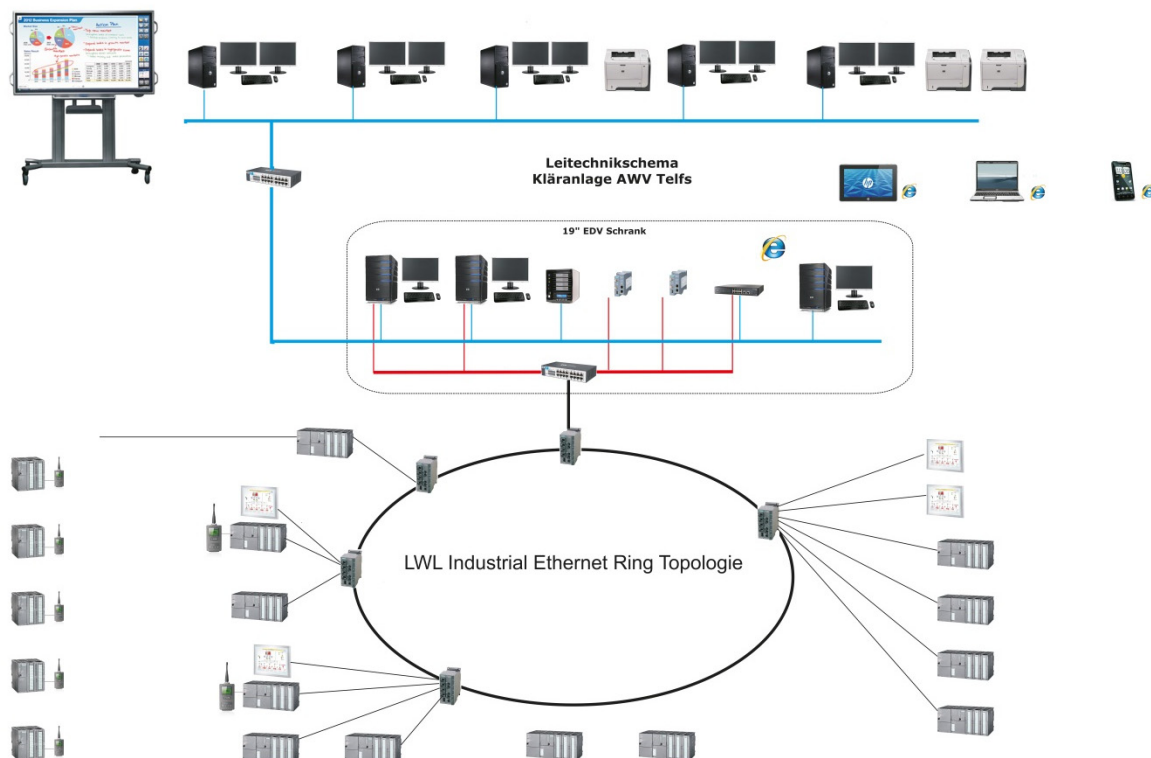


9.2 Beispiel einer umgesetzten Anlage mit „OPC UA“

Der Abwasserverband Telfs und Umgebung setzte im Zuge der Anlagenanpassung an den Stand der Technik den Prozessleitsystemtausch und die Einbindung der bestehenden SPS-Anlagen auf der Kläranlage Telfs in Tirol mit Kopplungen über „OPC UA“ um.

Der Systemaufbau besteht im Wesentlichen aus

- LWL-Ring (Industrial Ethernet)
- 10 Stück Einbindungen SPS-Anlagen (Bestand – leitungsgebunden)
- 5 Stück Einbindungen SPS-Anlagen (Bestand – Drahtloseinbindung)
- 2 Stück Einbindungen SPS-Anlagen (Bestand – I/O hartverdrahtet)
- SPS – Netzwerk, PLS – Netzwerk
- 2 Stück OPC UA-Server
- 1 Stück NAS-PLS
- 1 Stück Server - Büronetzwerk
- 2 Stück redundante Alarmierungsgeräte
- Fernwartung über Notebook, Tablet-PC und Smartphone
- 5 Stück Doppelbildschirmarbeitsplätze
- 3 Stück Drucker
- 1 Stück 60“-LCD-Touch Screen



10 Literatur

COMOS Datenplattform (SIEMENS AG)

SIMIT – Simulation (SIEMENS AG)

PCS7 (SIEMENS AG, Prozessleitsystem – Stand 2016)

MSYS (MSS Elektronik, Prozessleitsystem – Stand 2016)

Zündschutzart EX-Schutz (PEPPERL+FUCHS – Grundlagen EX-Schutz)

DEHN – Überspannungsschutz (Blitzschutz / Erdung)

Korrespondenz an:

ETS - Claus Salzmann

Planungsbüro für Elektrotechnik

Lofererstraße 9

5760 Saalfelden

Tel.: 0043-(0)6582/73410

Mail: claus@ets-salzmann.at

Simulation zur Optimierung der Steuerung und Regelung von Kläranlagen

Dr. Jens Alex

ifak – Institut für Automation und Kommunikation e.V.

Magdeburg

Abstract: Steigende Anforderungen an Kläranlagen (Einhaltung von Spitzenwerten, verschärfte Ablaufwerte etc.) lassen sich auch bei nicht zu knapp bemessenen Kläranlagen zunehmend nur mit einem abgestimmten und gut funktionierenden MSR Konzept garantieren. Dies zu erreichen ist eine herausfordernde Ingenieuraufgabe die mit dem Werkzeug dynamische Simulation unterstützt werden kann. Um realistisch MSR Funktionen analysieren und entwerfen zu können, müssen in der Simulation neben den verfahrenstechnischen Prozessen auch Eigenschaften der Mess- und Stelltechnik und der maschinentechnischen Ausrüstung, insbesondere des Belüftungssystems, abgebildet werden.

Key Words: Simulation, Automatisierung, Belüftung

1 Motivation

Systeme zur Abwasserableitung und Reinigung sind wichtige Komponenten der urbanen Infrastruktur und sollen zunächst die Gesundheit und Sachwerte des Menschen schützen, die Lebensqualität verbessern und auf der anderen Seite den natürlichen Zustand der Umwelt erhalten. Die Planung guter Abwassersysteme erfordert zunächst, dass vorausbestimmt werden kann, mit welchen Maßnahmen (Art und Größe von Kläranlagen, Dimension und Struktur von Kanalnetzen) welche technische Effekte (z. B. chemische Ablaufqualität des gereinigten Abwassers) erzielt werden können. Diese Aufgabe wird mit dem erreichten Stand der Wissenschaft mit vereinfachten Bemessungsansätzen und durch dynamische Modelle, die als Computersimulation gerechnet werden, gelöst. Steigende Anforderungen an Kläranlagen (Einhaltung von Spitzenwerten, verschärfte Ablaufwerte etc.) lassen sich auch bei nicht zu knapp bemessenen Kläranlagen zunehmend nur mit einem abgestimmten und gut funktionierenden MSR Konzept

garantieren. Auch bei bei nicht kritisch belasteten Kläranlagen ist trotz der bei den biologischen Prozessen einer Kläranlage gegebenen Einschränkungen ein interessantes Verbesserungspotenzial durch steuerungs- und regelungstechnische Maßnahmen gegeben. Dieses Potential kann zur Verbesserung der Ablaufwerte und des Energieeinsatzes genutzt werden.

Die optimale Hebung dieses Potentials ist allerdings eine herausfordernde interdisziplinäre Ingenieursaufgabe. Bei Gewährleistung, besser noch Verbesserung, der verfahrenstechnischen Funktion der Kläranlage als Aufgabe für den Verfahreningenieur (Siedlungswasserwirtschaftler) muss eine abgestimmte Maschinenteknik (Pumpenstaffeln, Belüfterelemente, Belegungsdichte, Luftverteilsystem, Gebläsestaffel, Schieberauslegung) installiert werden, um die Anforderungen mit hohem Wirkungsgrad umsetzen zu können, und letztlich muss eine darauf abgestimmte Automatisierungstechnik mit Hilfe der Ausrüstung das Verfahren stabil, schnell und lastabhängig in den jeweils besten Arbeitspunkten halten. Ein leistungsfähiges Werkzeug für alle drei Aufgaben ist die Nutzung des Werkzeugs der Simulation. Um die Interaktionen zwischen Verfahren, Ausrüstung und Automation analysieren zu können, wird entsprechend ein Simulationswerkzeug benötigt, mit dem das Zusammenspiel aller Komponenten beschrieben werden kann. Im Folgenden werden aktuelle Entwicklungen hierzu vorgestellt (SIMBA[#] Siehe [Alex 2015]).

In Anbetracht des sich verändernden Energiemarktes und steigender Anforderungen an den wirtschaftlichen Betrieb rückt auch das Thema Energieeffizienz auch auf Kläranlagen zunehmend in den Fokus des wirtschaftlichen Handelns. Mit Hilfe von Energieanalysen sollen Energieeinsparpotentiale aufgedeckt werden, wobei jedoch die Sicherstellung der Wasserreinigung gemäß der Abwasserverordnung stets oberste Priorität hat. Grundlage für die energetische Einordnung von Kläranlagen ist hauptsächlich das Handbuch „Energie in Kläranlagen“ [Müller et al. 1999]. Weitere Hinweise geben das Arbeitsblatt DWA-A 216 – Energiecheck und Energieanalyse [DWA-A 216 2013], derzeit noch im Gelbdruck vorliegend, und diverse Forschungsberichte (z.B. [Haber Kern et al. 2008]).

2 Modelle und Simulationswerkzeuge

2.1 Verfahrenstechnische Modelle

Wie einleitend dargestellt ist bei jeder regelungstechnischen Maßnahme die verfahrenstechnische Funktion der Anlage zumindest sicherzustellen, wenn möglich zu verbessern und der Anlagenbetrieb möglichst ökonomisch zu

gestalten (Energieeinsatz, Fällmittel, Schlammproduktion, Gaserzeugung). Die Auswirkung der unterschiedlichen möglichen Maßnahmen auf die Funktion (u.a. Ablaufwerte) der Anlage ist mit einfachen stationären Überlegungen meist nicht zu quantifizieren. Hier muss in der Regel mit dem Werkzeug der dynamischen Simulation gearbeitet werden, alternativ bleibt nur die Methode „Try and Error“ an der realen Anlage.

Für die Abbildung der biologischen Abbauprozesse liegen verlässliche und seit vielen Jahren bewährte Belebtschlammmodelle vor [Henze et al. 2000]. Für die vereinfachte Anwendung liegen mit [Ahnert et al 2015] und [Alex et al.2015] aktuelle Hinweise vor, die in der Hochschulgruppe „Simulation“ (HSGSim) entwickelt wurden. Zur Beschreibung der Prozesse des Abbaus von Kohlenstoffverbindungen und des Abbaus von Stickstoff (Nitrifikation und Denitrifikation) liegt mit dem ASM3 (Activated Sludge Model No. 3) eine verlässliche Modellgrundlage vor. Dieses einfache Modell sollte für die meisten Fragestellungen, die im Zuge der automatisierungstechnischen und verfahrenstechnischen Optimierung auftreten, verlässliche Antworten liefern. Falls die detaillierte Beschreibung der Prozesse der erweiterten biologischen P Elimination erforderlich wird, kann u.a. mit dem erweiterten ASM3 [Rieger 2006] gearbeitet werden.

In dem in Deutschland verbreitet genutzten Simulationswerkzeug SIMBA[#] (u.a. [Alex 2015]) sind diese Modelle und die Methoden zur vereinfachten Anwendung implementiert. Ergänzt werden die Belebtschlammmodelle durch Modelle der Vorklärung, Nachklärung, Abwasserverteilung, Faulung etc., um die verfahrenstechnische Seite einer Kläranlage vollständig beschreiben zu können.

Immer wenn Modelle eingesetzt werden, muss auch berücksichtigt werden, welche Aspekte der Realität abgebildet werden und welche Aspekte ausgeklammert sind. Für die erwähnten Modelle ist u.a. nicht berücksichtigt, wie sich betriebliche Veränderungen (z.B. Energiesparmaßnahmen) auf die Absetzbarkeit des Schlammes auswirken (Gefahr vermehrten Auftretens von fädigen Organismen etc.). Ebenfalls vernachlässigt werden im ASM3 viele Zwischenprodukte der Nitrifikation und Denitrifikation, da angenommen wird, dass diese Zwischenprodukte normalerweise nicht in erhöhter Konzentration auftreten. Hier sind insbesondere Nitrit (NO₂-) und Lachgas (N₂O) zu nennen. Da vermutet werden kann, dass übermäßiges Absenken von Sauerstoffkonzentrationen in der Belebung – eine wirksame Maßnahme zur Energieeinsparung – möglicherweise ein erhöhtes Auftreten dieser beiden Zwischenprodukte bewirken kann, ist hier Klärungsbedarf. International und national laufen daher mehrere Studien, die insbesondere das Thema erhöhter

Lachgasemissionen (als starkes Treibhausgas) analysieren. Eines dieser Projekte ist das F/E-Projekte NoNitriNox („NoNitriNox – Planung und Betrieb von ressourcen- und energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen“), durch das BMBF gefördert (Fördermaßnahme: „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (INIS)“).

2.2 Simulation Maschinentechnik

Für die Funktion einer Kläranlage und insbesondere die Funktion der Automatisierungstechnik muss die maschinentechnische Ausrüstung der Kläranlage (Belüftung, Pumpen, Stellventile etc.) geeignet gestaltet sein. Von besonderer Bedeutung ist hierbei das Belüftungssystem. Zur Simulation des Verhaltens von Belüftungssystemen werden zurzeit die erforderlichen Modelle in SIMBA[#] implementiert und getestet. Die neue Modellbibliothek beinhaltet Komponenten zur Beschreibung von

- Gebläsen und Gebläsesteuerungen,
- Rohrleitungen mit typischen Einbauten,
- Regelventilen (konventionell und Neuentwicklungen) und
- Belüfterelementen (Einrichtungen zum feinblasigen Eintrag von Luft in Belebungsbecken),

die untereinander oder aber in Verbindung mit einem verfahrenstechnischen Kläranlagenmodell verschaltet werden können. Selbstverständlich kann auch die Funktion der Automatisierungstechnik bis ins Detail berücksichtigt werden. Mit dieser Erweiterung können nun

- Belüftungssysteme energieeffizienter gestaltet werden,
- häufige Planungsfehler, die zu ungünstigem Betriebsverhalten führen, vermieden werden,
- künftig steigende Anforderungen an starke Lastschwankungen bei Extremregenereignissen (Anpassung an Klimawandel) besser erfüllt werden,
- Energiebezug flexibler gestaltet werden (Energiemanagement, Teilnahme am Energiemarkt),
- planerisch analysiert werden, wie Kläranlagen intelligenter reagieren (Industrie 4.0 Konzepte).

Diese neue erweiterte Version wurde in [Schraa et al. 2015] vorgestellt. Wichtige Komponente dieser Modellbibliothek sind Modelle von Belüfterelementen. Belüfter sind Einrichtungen zum feinblasigen Eintrag von Luft in

Belebungsbecken (u.a. Membranbelüfter, Tellerbelüfter, Rohrbelüfter, Keramikkerzen). Die betrachteten Modelle realisieren die

- Beschreibung des Druckabfalls bei unterschiedlicher Beaufschlagung,
- Beschreibung der Effizienz des Sauerstoffeintrages, abhängig von Modelltyp, Beaufschlagung, Belegungsdichte, Betriebsbedingungen, Aufstellungshöhe etc.

In Abbildung 1 ist der Parametrierungsdialog dieses Modells dargestellt.

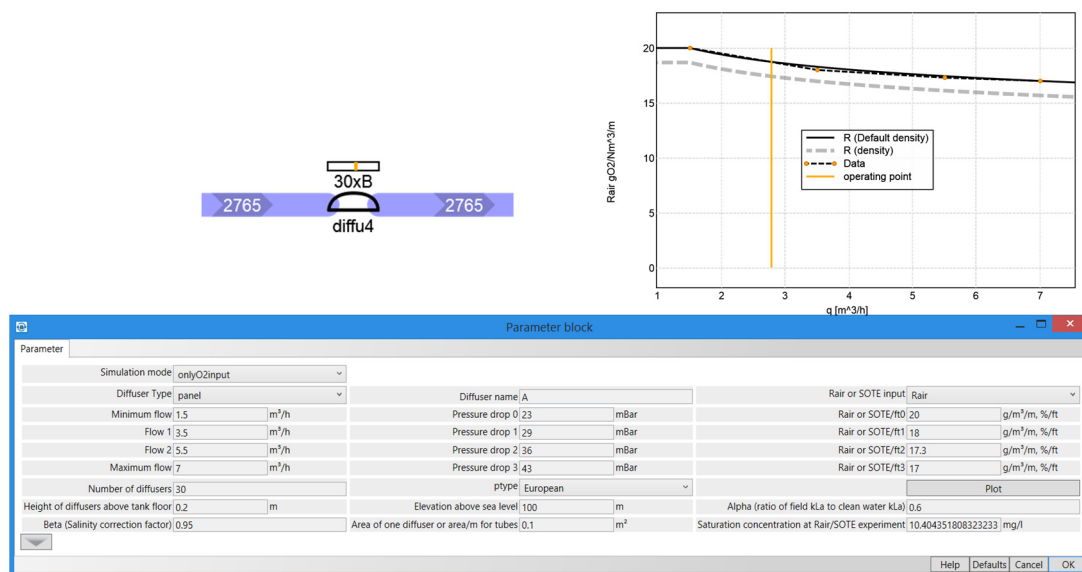


Abbildung 1: Parametrierung Belüftermodell, Kennlinie Belüftungseffizienz

Zur Anpassung an den jeweiligen Ausrüster, können jeweils 4 Punkte der

- Kennlinie zur Beschreibung der Belüftungseffizienz (g Sauerstoffeintrag je Normkubikmeter Luft und Meter Einblastiefe) als Funktion der Beaufschlagung (Nm^3/h Luft je Belüfter oder je m Belüfterlänge) und der
- Kennlinie zur Beschreibung des Druckabfalls in mbar als Funktion der Beaufschlagung vorgegeben werden.

Ebenfalls in Bild 1 ist die aus den 4 vorgegebenen Punkten resultierende Effizienzkurve für ein Beispiel dargestellt. Das Modell des Sauerstoffeintrags berücksichtigt weiterhin die Belegungsdichte, den Salzgehalt, die Temperatur, den Luftdruck, den Alpha-Wert, den Wasserstand und die aktuelle Sauerstoffkonzentration im Becken. Die aktuelle Beaufschlagung und damit die gerade erzielte Effektivität ist in der Abbildung als vertikale orange Linie dargestellt.

Für die Analyse des Energiebedarfs ist hier die detaillierte Berücksichtigung des Sauerstofftrags aus der eingetragenen Luft relevant.

Zur Beschreibung des Transportes von Luft in Rohrleitungen wurden Modelle implementiert, die unter Nutzung von Gasgleichungen, der Luftfeuchte und der Temperatur den

- Druckabfall in Rohrleitungen (Reibungsverluste) und den
- Einfluss von Einbauten (Bögen, Armaturen etc.)

beschreiben.

Um die Anpassung der Luftverteilung in verschiedene Stränge abzubilden, müssen unterschiedliche Bauformen von Stellventilen abgebildet werden können. Das Modell erlaubt z. Z. die folgenden Kennlinienformen:

- Gleichprozentige Kennlinie,
- Lineare und quadratische Kennlinie,
- Spezielle Kennlinien (e.g. Jet).

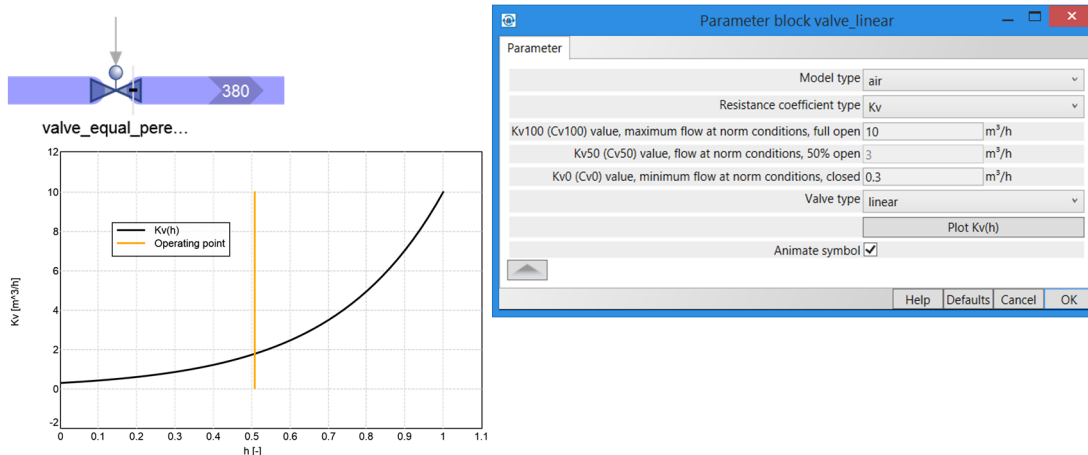


Abbildung 2: Modell Stellventil

Zur Bereitstellung verdichteter Luft werden vorrangig Turboverdichter oder Drehkolbengebläse eingesetzt. Die erforderlichen Modelle (xxx) beschreiben

- den Regelbereich,
- Wirkungsgrade,
- Energieverbrauch und
- Anlaufverhalten und kritische Betriebspunkte

dieser Aggregate.

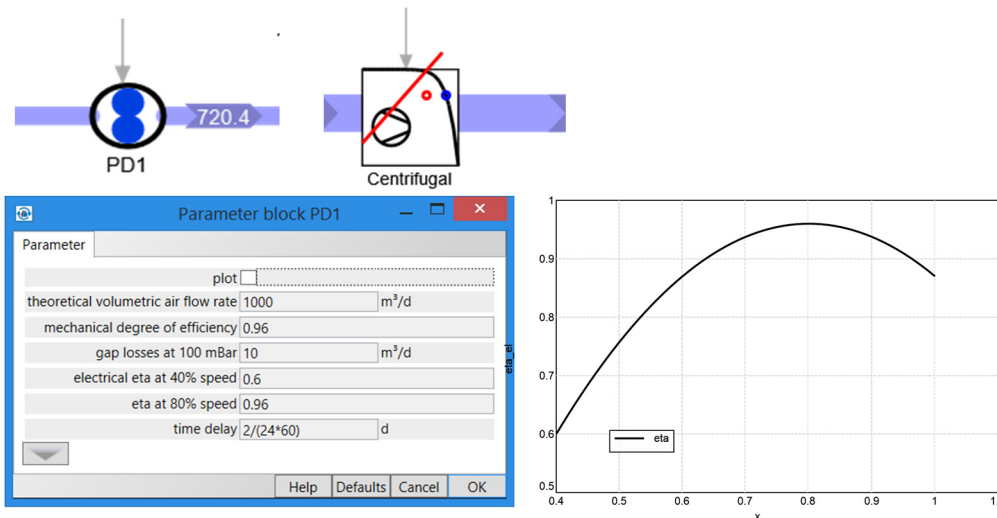


Abbildung 3: Gebläsemodell (Parameter (Drehkolben), Wirkungsgrad)

Um die Koordinierung einer Staffel von Gebläsen (bzw. auch einer Pumpenstaffel für die Abwasserförderung) zu beschreiben, wurde ein optimierter Staffelregler entwickelt:

- Universeller Block zur Koordinierung einer Gebläsestaffel,
- Konfiguration in Excel,
- Optimierung Wirkungsgrad,
- Stetiger Regelbereich,
- Hysterese bei Konfigurationsumschaltung.

In Abbildung 4 ist die abgebildet, wie durch den Staffelregler ein rampenförmig steigender und fallender Luftbedarf durch 4 Verdichter bereitgestellt wird.

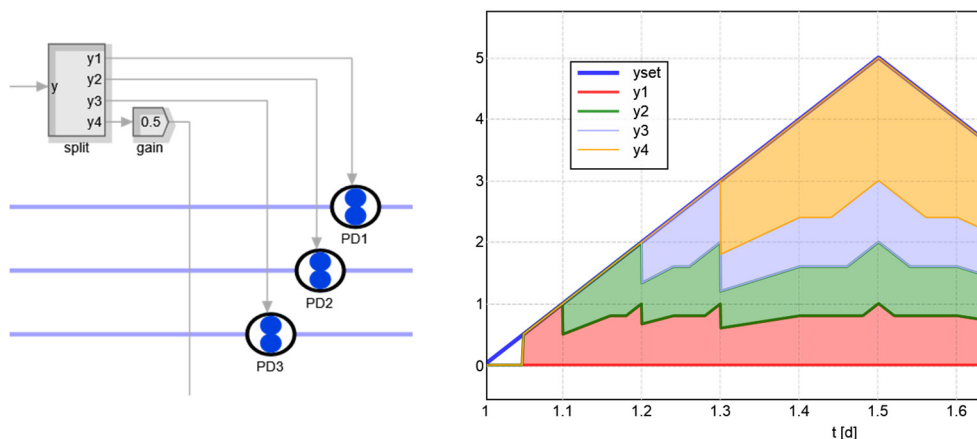


Abbildung 4: Staffelregler, hier zur Ansteuerung von drei Drehkolbengebläsen, rechts Beispiel resultierende Luftanteile 4er Staffel

Mit dem Prototyp dieser Erweiterung wurden bereits einige Studien durchgeführt. Insbesondere wurden und werden Varianten der Regelung der Luftbereitstellung analysiert (Siehe unten).

Zur Berechnung des Energiebedarfs bzw. der Effektivität von Pumpen ist neben der Pumpencharakteristik auch die Kenntnis der jeweiligen Förderhöhe unter Betriebsbedingungen erforderlich. Auch hierfür wurden vereinfachte Modelle entwickelt.

Um letztlich aus dem Energiebedarf auf die Kosten zu schließen, muss ein Modell der Tarifberechnung genutzt werden. Hier kommen dann Aspekte der Tageszeit, Spitzenbedarfsfaktoren, Strafanteile etc. zum Tragen. Eine technisch vorteilhafte Lösung ist nicht automatisch gleichbedeutend mit deiner kostenoptimalen Lösung. Aktuell laufen daher Entwicklungen, diese Tarifberechnung als Komponente der Simulation zur Verfügung zu haben.

In Kooperation mit H2Office wurde aktuell auch an Komponenten wie Lastabwurfsregler, Gasspeicher, BHKW als Module für die Simulation gearbeitet.

2.3 Modelle von MSR Komponenten

Um die Auswirkung regelungstechnischer Maßnahmen in der Simulation beschreiben zu können, müssen automatisierungstechnische Funktionen abgebildet werden.

Für viele Anwendungen ist die Beschreibung der regelungstechnischen Funktionen als Funktionsblockdiagramm sinnvoll. Eine Standardbibliothek grundlegender Funktionsblöcke liegt in SIMBA[#] vor. Es sind Blöcke für grundlegende mathematische Funktionen, Signalverarbeitung, dynamische Funktionen wie allgemeine Übertragungsfunktionen, Kennlinienblöcke sowie Standardregler vorhanden.

Dieser Funktionsblock-orientierte Ansatz ist insbesondere für kontinuierliche Steuerungen/ Regelungen und einfache logische Operationen zielführend. Für die Beschreibung von Ablaufsteuerungen sind jedoch andere Beschreibungsformen sinnvoll. Zur Beschreibung von Ablaufsteuerungen sind unterschiedliche Ansätze denkbar. In der neu entwickelten Simulationsplattform SIMBA[#] wird ein Petri-Netz-basierter Ansatz verfolgt. Mit Petri-Netzen lassen sich Abläufe, auch parallel ablaufende, grafisch beschreiben, wobei sich als Untermenge auch ein Automatengraph definieren lässt (nur eine Marke). Mit diesem Beschreibungsmittel lassen sich elegant sequentielle Abläufe beschreiben, beispielsweise die Phasen einer SBR-Anlage und alternierende/intermittierende Reinigungsverfahren.

Um den einfachen Transfer von Steuerungsalgorithmen, die simulativ entwickelt und erprobt wurden, in praktische Anwendungen zu ermöglichen, ist in SIMBA[#] ein spezieller Block entwickelt worden, dessen Funktion über eine der

standardisierten SPS-Programmiersprachen (IEC61131 ST – Strukturierter Text [IEC 61131-3 2002]) definiert werden kann. Dies ist eine Hochsprache (Pascal-ähnlich), die zur Formulierung des Steuerungscode verwendet werden kann.

Mit diesem Ansatz lassen sich dann aber auch beliebig komplexere Algorithmen implementieren. Der entwickelte und getestete Funktionsblock kann später als Quellcode den implementierenden Ingenieuren übergeben werden und dient dann entweder als eindeutige Funktionsbeschreibung oder der Code wird direkt in die SPS-Programmierungsumgebung kopiert.

Mit modellgestützter Regelung können auch schwierige Regelungsaufgaben gelöst werden. Hier existieren verschiedenste Varianten, die aber alle gemein haben, dass als Bestandteil des Reglers ein vereinfachtes Modell des Prozesses verwendet wird. Ein Beispiel ist ein allgemeiner nicht-linearer prädiktiver Regler (non-linear MBPC). Das interne Modell des Reglers wird als separates Simulationsmodell mit derselben Simulationsumgebung erstellt und als Parameter dem MBPC-Block vorgegeben. Ein prädiktiver Regler benutzt ein internes Modell der Regelstrecke, um für eine vorgegebene Stellfolge den Verlauf der Regelgröße zu berechnen. Der berechnete Verlauf von Regel- und Stellgröße wird in einem Gütefunktional bewertet.

Auch für weitere Anwendungen können interne Modelle (Modell als Bestandteil der Automatisierung) sinnvoll eingesetzt werden:

- Beobachtermodelle, um „virtuelle Messgrößen“ zu berechnen,
- Modelle, um externe Störgrößen zu schätzen,
- Diagnosemodell, um Sensorausfälle oder Prozessstörungen zu detektieren,
- Modelle, um künftiges Prozessverhalten vorherzusagen (Prädiktivregler, siehe oben).

Mit der entwickelten Simulationsplattform lassen sich all diese Varianten simulativ erproben. Eine ausführlichere Beschreibung findet sich in [Alex 2015].

3 Sauerstoffregelung

Für einen wirtschaftlichen Betrieb von Belebungsanlagen sind die Auslegung und Betriebsweise der Belüftungseinrichtungen von zentraler Bedeutung. Neben Beckenvolumen, die ständig belüftet sind, werden häufig zeitweise belüftete Becken eingebunden, um die jeweils erforderlichen aeroben oder anoxischen Bereiche für die Nitrifikation und Denitrifikation zu schaffen. Über die Belüftungseinrichtungen ist der aktuell vorhandene Sauerstoffbedarf der Biologie einzubringen, wobei in Abhängigkeit von der Abwasserbelastung, von der

Temperatur, von der Betriebsweise und von weiteren Einflussfaktoren der Sauerstoffbedarf im Tages-, Wochen- und Jahresgang stark schwankt. Ein zu hoher Sauerstoffeintrag ist sowohl aus verfahrenstechnischen als auch wirtschaftlichen Gründen zu vermeiden. Die Automatisierung der Sauerstoffversorgung muss neben dem zeitlich schwankenden Sauerstoffbedarf auch die örtliche Verteilung berücksichtigen.

Wichtige Fragestellungen, die für die verfahrenstechnische Funktion von Sauerstoffregelungen aber auch für den Energiebedarf relevant sind:

- Anzahl, Messort von O₂-Sonden, Wahl der Regelgröße,
- Anzahl und Stellbereich von Luftzuleitungen zu Beckenkaskaden,
- Belegungsdichte der Belüfter in den jeweiligen Beckenabschnitten,
- Vorgabe geeigneter Sauerstoffsollwertprofile (örtliche Verteilung).

In größeren Anlagen wird die als Stellgröße für die Sauerstoffregelungen der Sollwert für die eingeblasene Luftmenge bzw. die Stellung eines Regulierschiebers der entsprechenden Stichleitung genutzt. Bei kleineren Anlagen werden einzelne direkt Belüfter zur Luftversorgung eines Beckenabschnittes über den Drehzahlsollwert bzw. Frequenz des Frequenzumformers genutzt. Mit einer gut funktionierenden Sauerstoffregelung wird in der Regel auch eine bestimmte Qualität der Stickstoffelimination sichergestellt, mit Anpassungen der Sauerstoffsollwerte lassen sich aber deutliche Verbesserungen erreichen (Siehe Folgeabschnitt).

4 Steuerung Regelung der Stickstoffelimination

Basierend auf Gütemessungen können weitergehende Regelungskonzepte für die Stickstoffelimination eingesetzt werden, die neben der Verbesserung der Reinigungsleistung eine Reduktion des Energieverbrauchs zum Ziel haben. Die Motivation für derartige Verfahrensregelungen liegt bei gering belasteten Anlagen in der

- optimalen Nutzung des existierenden Becken-Volumens,
- Maximierung der N-Elimination, Energieminimierung,
- sicheren Nitrifikation,
- Beherrschung von Lastspitzen,
- hohen mittleren Nitrifikationsleistung

und bei hoch belasteten Anlagen in der sicheren Einhaltung der Grenzwerte durch

- sichere Nitrifikation und
- Reduktion von Ablaufspitzen.

Wichtige Fragen, die sich vor der Einführung entsprechender Maßnahmen stellen, sind:

- Wie groß ist das mögliche Potential von Steuerungen und Regelungen bezüglich der Ablaufwerte und des Energieeinsatzes?
- Was ist notwendig, um vorhandenes Potential ausreichend zu nutzen?

Hintergrund dieser Hinterfragung ist die Tatsache, dass auf Kläranlagen das Verbesserungspotential prinzipiell begrenzt ist. Das Leistungspotential wird letztlich durch Mikroorganismen bestimmt, wobei Schlammalter und die mittlere Zulaufkraft die maximale Leistung festlegen. Anpassungen sind nur begrenzt möglich, da die Dynamik der Mikroorganismenpopulation deutlich langsamer ist als der Tagesgang der Zulaufkraft. Der zu optimierende Energieeinsatz ist zudem eng gekoppelt mit der Reinigungsleistung und ergibt sich weitgehend aus einem stöchiometrisch fixierten Sauerstoffbedarf für Nitrifikation und Kohlenstoffelimination.

Um neben der Anpassung der Luftmenge an die jeweilige Last auch eine optimale Nutzung der Anlagenkapazität (Balance Nitrifikation/Denitrifikation) und eine Reduktion des Energiebedarfs für die Belüftung in lastschwachen Zeiten zu ermöglichen, wird häufig die Realisierung einer ammonium-geführten Anpassung des Sollwertes der Sauerstoffregelung erwogen. Es wird hierzu die Ammoniumkonzentration am Ablauf der Belebung gemessen und über einen Regler der Sollwert der Sauerstoffkonzentration angepasst, sodass eine gewünschte, ausreichend niedrige Ammoniumkonzentration eingestellt wird. Aus Sicht der Regelungstechnik wird ein derartiges Konstrukt als Kaskadenregelung bezeichnet.

Als Nachteil dieser Regelung kann unter Umständen das Zulassen einer nicht vollständigen Nitrifikation angesehen werden (mittlerer Ablaufwert von ca. 1 mg/l). Dies führt zu einem reduzierten Nitrifikantenwachstum. Teilweise ausgeglichen wird dies jedoch durch eine reduzierte Sterberate der Nitrifikanten bei reduzierter Belüftung. Das Energieoptimum des Anlagenbetriebs wird bei möglichst weitgehender Denitrifikation erreicht. Für typische Anlagen sind erfahrungsgemäß Einsparungen um die 10%-15% bezüglich des Energiebedarfs für die Belüftung zu erwarten.

Für einen derartigen Regler stellt sich u.a. die Frage, mit welchem Reglertyp die Anpassung des Sauerstoff-Sollwertes erfolgen sollte.

Diese Diskussion ist nicht ohne praktische Bedeutung, da in der Ausschreibungspraxis durch Bauingenieure Funktionsbeschreibungen erarbeitet werden die auf P- oder I-Reglerverhalten hinauslaufen. In Abbildung 5 sind zwei Beispiele aus Pflichtenheften dargestellt (Siehe auch Alex et al. 2004), wie eine Ammoniumregelung, die als Kaskadenregelung auf den Sollwert einer unterlagerten Sauerstoffregelung wirkt, implementiert werden soll.

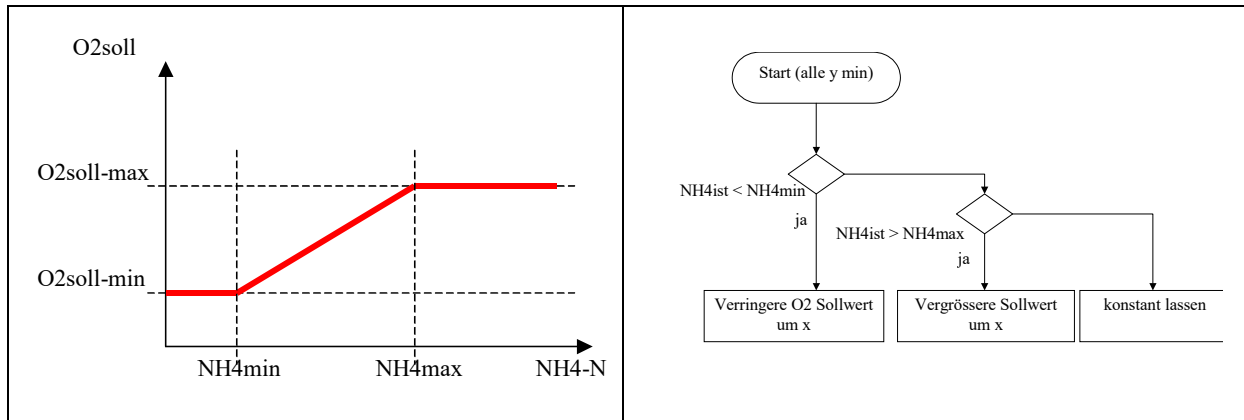


Abbildung 5: Zwei häufige Vorschläge für Ammoniumregler

Eines dieser Mittel ist die Beschreibung eines hypothetischen Programmablaufes, z.B. mit einem Programmablaufplan (PAP) (Abbildung 5, rechts). Dieser Programmablaufplan beschreibt ein zyklisch ausgeführtes Programm, das bei Über- oder Unterschreitung von bestimmten Schwellwerten bezüglich der Ammoniumkonzentration den Sauerstoff-Sollwert um einen bestimmten Betrag vergrößert oder verkleinert. Dies entspricht grob einem integral wirkenden Regler. Im Gegensatz dazu beschreibt die Kennlinie auf dem linken Teil der Abbildung einen P-Regler.

In [Alex et al. 2004] wird z.B. demonstriert, dass ein P-Regler für diese Aufgabe geeignet ist, ein I Regler dagegen nicht. Die inkrementelle Erhöhung von Sauerstoffwerte führt entweder zu eine extrem langsamen Anpassung der Belüftung an die Last, mit der Lastspitzen nicht zu beherrschen sind, oder aber der Regler wird instabil und implementiert eine Art intermittierende Belüftung die ungewollt durch aus positive Effekte erzielen kann. Die gezielte Planung der Funktion ist letztlich nur mit dem Werkzeug Simulation leistbar, alternativ bleiben nur langwierige Inbetriebnahme-Versuche an der realen Anlage bei permanent wechselnden Bedingungen.

5 Belüftungsregelung

5.1 Problemstellung

Bei Belebtschlamm-Kläranlagen wird der Sauerstoff meist über eine feinblasige Belüftung eingebracht. Bei größeren Anlagen werden die einzelnen Beckenabschnitte mit Stichleitungen versorgt, für die die eingebrachte Luftmenge mittels Blendenregulierschiebern oder Klappen verstellt werden kann. Die Stichleitungen werden über eine Luftsammelschiene versorgt. Die Luft auf der Sammelschiene wird durch mehrere Drehkolbengebläse oder Turboverdichter bereitgestellt. Die eingebrachte Luftmenge in die einzelnen Beckenabschnitte muss an den momentanen Sauerstoffbedarf angepasst werden.

Für die hier beschriebene verfahrenstechnische Lösung werden in der Literatur unterschiedliche Regelungskonzepte vorgeschlagen. Als Anforderung an eine entsprechende Regelung können folgende Punkte genannt werden

- Schutz der Stalleinrichtungen (Verdichter vor Überdrücken, Blendenregulierschieber vor permanenter Bewegung und Belüfter vor zu hoher Beaufschlagung und bei bestimmten Belüftern vor zu niedriger Beaufschlagung)
- Ausreichend schnelle Bereitstellung von Sauerstoff mit individuellen Sollwerten in unterschiedlichen Beckenabschnitten als Voraussetzung zur Vermeidung von Ammoniumablaufspitzen
- Möglichst minimaler Energieeinsatz zur Bereitstellung der verfahrenstechnisch benötigten Luft
- Einfache und robuste Parametrierung und Transparenz des Regelungskonzeptes

In der Praxis muss man feststellen, dass installierte Regelungskonzepte diesen Anforderungen oft nicht genügen. Für eine gut funktionierende Belüftungsregelung sind einige Aspekte zu beachten (z.B. Braun et al. 2002, Zettl 2014). In [Alex et al. 2015a] werden Standardvarianten für diese Aufgabe analysiert, einfache Einstellregeln abgeleitet und drei ausgewählte Vorschläge für alternative Konzepte untersucht.

Mit dem Werkzeug Simulation besteht die Möglichkeit Implementierungsvarianten für diese Aufgabe zu analysieren, Vor- und Nachteile zu bewerten und einfache Einstellregeln abzuleiten.

5.2 Varianten

Unzählige Varianten existieren in Praxis, drei typische Vertreter werden im Folgenden exemplarisch getestet:

Konstantdruckregelung: In den zu versorgenden Beckenabschnitten wird jeweils eine Sauerstoffmessung an repräsentativer Stelle eingesetzt und ein Sauerstoffregelkreis installiert. Die Stellgröße jedes dieser Regelkreise ist entweder die Stellung des Luftschiebers oder der Sollwert eines unterlagerten Luftmengenregelkreises. Zur Sicherstellung eines ausreichenden Druckes auf der Sammelleitung wird der Druck in der Sammelleitung gemessen und über einen Druckregelkreis konstant gehalten. Als Stellgröße für diesen Regelkreis wird die Gesamtluftmenge der Gebläsestaffel verwendet. Diese Stellgröße ist über eine Steuerung auf einzelne beteiligte Gebläse aufzuteilen. Dies kann als die Standardvariante betrachtet werden. Die implementierte Version wurde wie in Abbildung 6 dargestellt installiert, für den Betrieb als Konstantdruckregelung muss der MOV-Regler auf Handbetrieb gestellt werden.

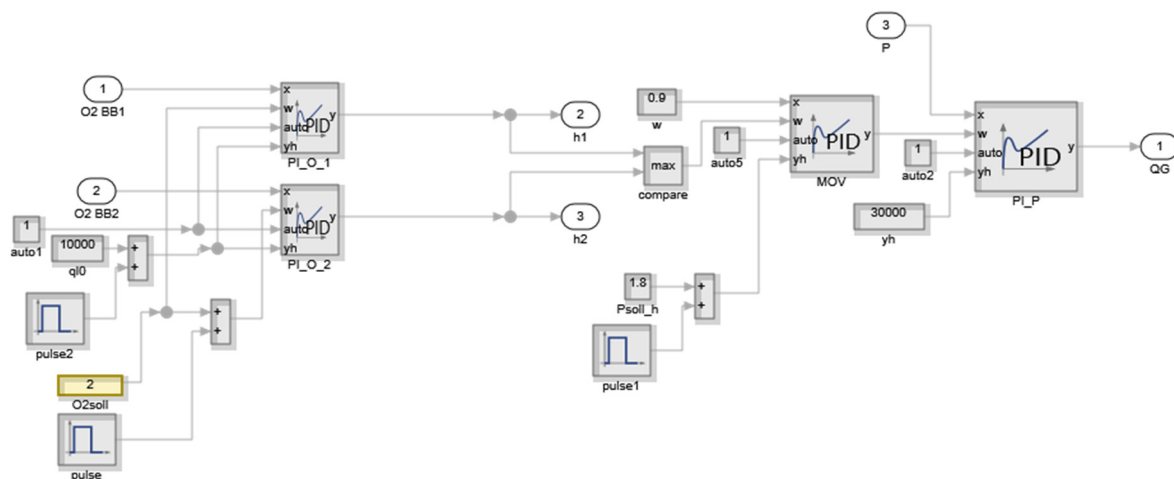


Abbildung 6: Blockschaltbild von Konstantdruck- und Gleitdruckregelung

Gleitdruckregelung: Um die Bereitstellung der Luft energieeffizienter zu realisieren, wird als Erweiterung dieses Konzeptes häufig eine Gleitdruckregelung (oder MOV – most open valve Konzept) vorgeschlagen. Hier wird zusätzlich die Stellung aller Blendenregulierschieber ausgewertet, das Maximum dieser Werte bestimmt und über einen weiteren Regler die Stellung dieses Schiebers auf einen Sollwert (nahezu ganz offen) geregelt. Die Stellgröße dieses zusätzlichen Reglers ist der Sollwert des Druckreglers (siehe auch Abbildung 1).

Luftverteilerregelung: Bei einer Umstellung von einer druckgesteuerten Gebläseregelung auf eine Luftverteilerregelung werden die Regelarmaturen von der Abdrosselung des Anteils für die Druckhaltung in der Sammelleitung entbunden.

Die Regelung der Verdichter erfolgt nun ausschließlich über die Sauerstoffmessungen in den Becken. Als Folge kann das System mit einem geringeren Druck gefahren werden (Siehe z.B. Kohler 2009).

Die Struktur des Regelkonzepts der Luftverteilerregelung besteht aus zwei getrennten Regelaufgaben, der Luftverteilung aus den verketteten Sauerstoff-Einzelreglern mit je einer Luftregelarmatur als Stellglied sowie der Luftmengenregelung (Förderstrom) über einer Sauerstoff-Mittelwert-Regelung zur Einstellung der Gesamtluftmenge über die Gebläse. Bei einer, hier betrachteten Variant besitzt jeder Beckenabschnitt einen eigenen Sollwert (siehe Abbildung 3).

Die drei Varianten (Konstantdruckregelung, Gleitdruckregelung und Luftverteilerregelung) werden auch im neuen Arbeitsblatt DWA-A 268 beschrieben, welches sich zurzeit im Beteiligungsverfahren befindet (DWA, 2015).

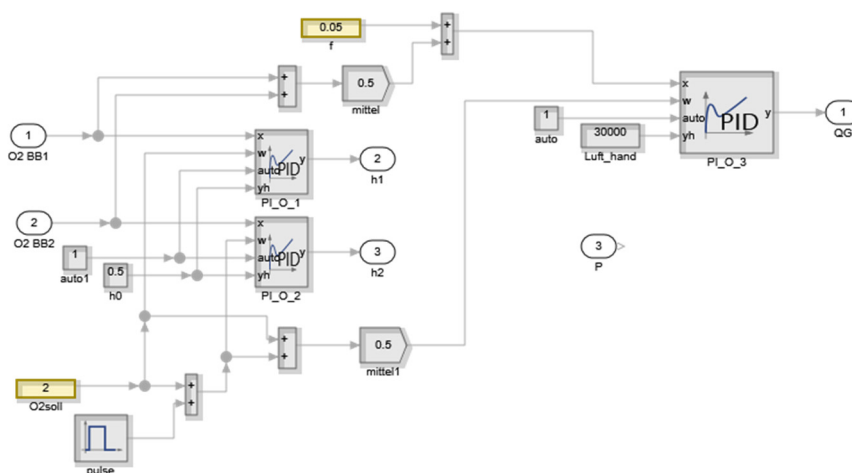


Abbildung 7: Blockschaltbild Luftverteilerregelung

5.3 Simulativer Test

Um die Vorschläge detailliert analysieren zu können, wurde ein generisches Modell einer Belebtschlamm-Kläranlage erstellt und um ein vereinfachtes Modell des Belüftungssystems ergänzt (siehe auch Alex et al. 2013, Alex et al. 2002, Rieger et al. 2005).

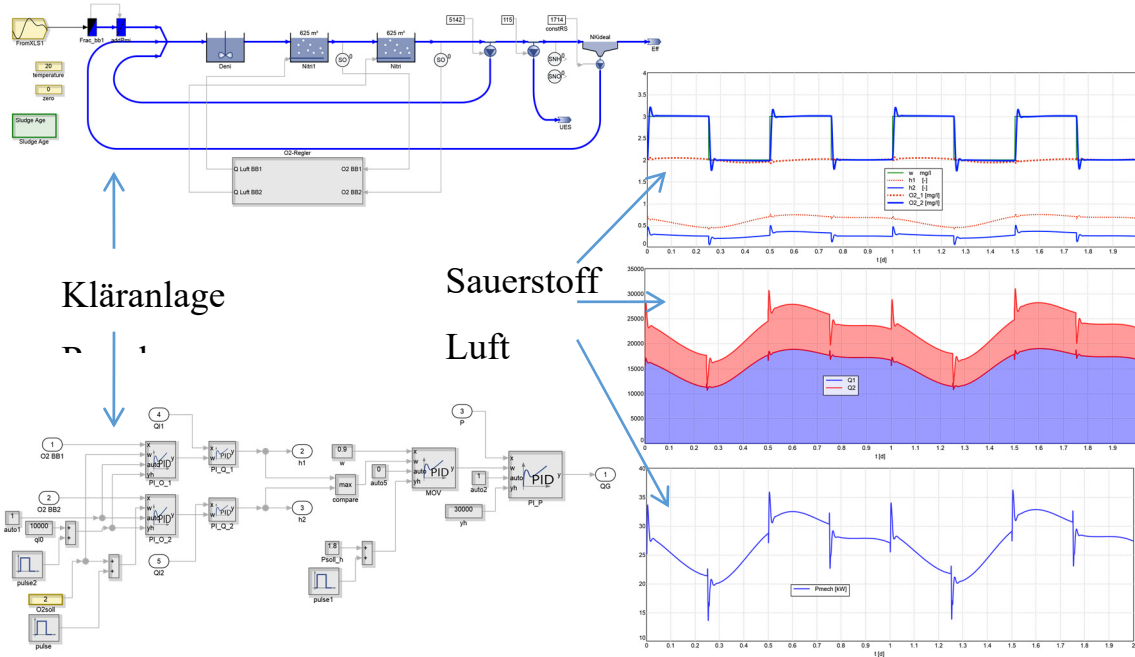


Abbildung 8: Simulationsmodell

Das Modell des Belüftungssystems besteht aus einem einfachen Modell der Sammelleitung (idealer Speicher) mit der Zuleitung der Gesamtluftmenge und der Entnahme über zwei Stichleitungen. Für die zu untersuchenden Regelungsvarianten wird nur der Block-Regler durch die jeweilige Regelungsvariante ersetzt. Für eine realistische Analyse des Regelverhaltens des Systems wurden in das Modell Blöcke zur Abbildung der Dynamik von Messeinrichtungen und der Stellglieder aufgenommen. Der Reglerblock wird für die zu untersuchenden Varianten jeweils mit den oben dargestellten Modellen ersetzt.

Zum Test der einzelnen Reglervarianten wurde die simulierte Kläranlage eingefahren um den Test vorzubereiten. In Abbildung 9: Verhalten Konstantdruckregelung ist für Trockenwetterbedingungen beispielsweise das Verhalten der Konstantdruckregelung bei Sollwertsprüngen für die Sauerstoffkonzentration im zweiten Beckenabschnitt dargestellt.

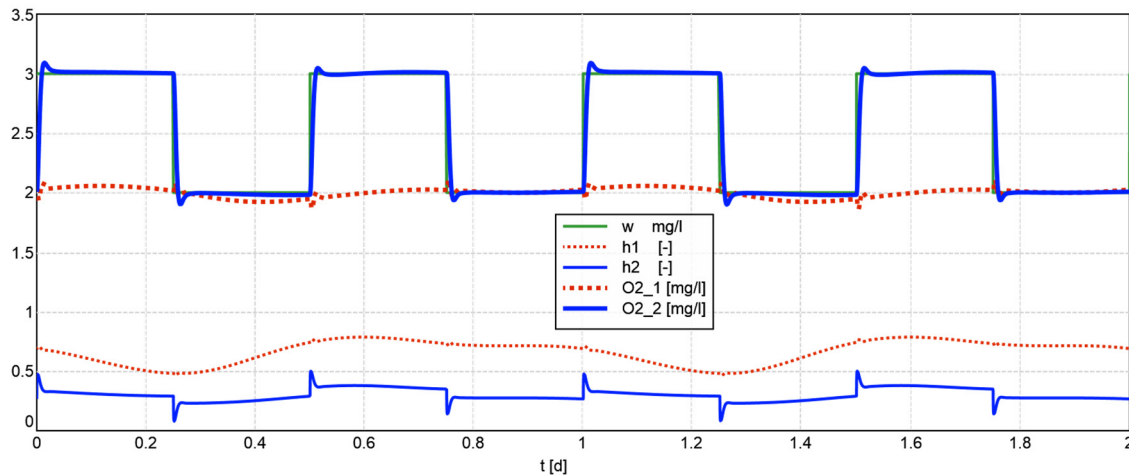


Abbildung 9: Verhalten Konstantdruckregelung (Sauerstoff Ist- und Sollwerte, Ventilstellungen h1 und h2)

Es konnte bestätigt werden, dass sowohl mit einer Gleitdruckregelung als auch mit einer Luftverteilregelung signifikante Energieeinsparungen möglich sind (>10%). Weiterhin konnte konstatiert werden, dass mit der Luftverteilregelung ein aus regelungstechnischer Sicht unmögliches System (überbestimmt, asymptotisch instabil), unter Kenntnis der Randbedingungen praktisch sehr wohl funktionieren kann. Regelungstechnisch analysiert läuft der eine instabile Mode in eine Stellgrößenbegrenzung, damit ist diese Stellgröße determiniert. Ab dann ist das System nicht mehr überbestimmt und stabil regelbar. Die Parametrierung ist in verschiedener Hinsicht einfacher und robuster als bei einer Gleitdruckregelung, aber auch bei dieser Variante müssen Kompromisse eingegangen werden.

Mit der in [Alex et al. 2015a] vorgestellten Analyse liegen unterschiedliche Implementierungsvarianten für eine Belüftungsregelung mit variablem Druck auf der Sammelleitung vor. Darüber hinaus werden einfache und übertragbare Einstellungsempfehlungen gegeben. Mit diesen Varianten ist aus Sicht der Autoren die Anforderungsliste, die im Abschnitt Motivation vorgestellt wurde, gut zu erfüllen. Eine sorgfältige Planung, Analyse und Inbetriebnahme ist und bleibt erforderlich, um Belüftungssysteme und ihre Regelung optimal zu betreiben.

Die Untersuchungen werden im Rahmen des F/E-Projektes NoNitriNox („NoNitriNox – Planung und Betrieb von ressourcen- und energieeffizienten Kläranlagen mit gezielter Vermeidung umweltgefährdender Emissionen“) durch das BMBF gefördert (Fördermaßnahme: „Intelligente und multifunktionelle Infrastruktursysteme für eine zukunftsfähige Wasserversorgung und Abwasserentsorgung (INIS)“).

6 Zusammenfassung

Die dargestellten Beispiele zeigen für jeweils ausgewählte Aspekte, dass mit dem Werkzeug dynamische Simulation alle relevanten Details einer Kläranlage beschrieben werden können, die zur Abschätzung der verfahrenstechnischen Funktion und des hierfür erforderlichen Energiebedarfs notwendig sind.

Potential zur Minimierung des Energiebedarfs versteckt sich in vielen Details von Verfahrensgestaltung, Betriebsführung, Ausrüstung und Automatisierung:

- Optimale O₂-Profile, Variable Anpassung des O₂-Niveaus der Anlage,
- Maximale Denitrifikation,
- Angepasste Belegungsdichte der Belüfter, Anpassung an typische Betriebspunkte,
- Dimensionierung der Gebläse, Auslegung Staffel,
- Regelungskonzept Luftbereitstellung (e.g. Gleitdruck),
- Einsatz optimierter Stelleinrichtungen (Schieber) usw.

Für alle diese Fragestellung erweist sich die Nutzung von Simulationsmodellen als leistungsfähiges Ingenieurwerkzeug. Die Nutzung der Simulation ist für einen einzelnen, isolierten Aspekt vermutlich nicht kosteneffektiv, aber die gemeinsame Beantwortung einer Vielzahl von Fragestellungen in Kombination mit der verfahrenstechnischen Optimierung ist sehr häufig angezeigt. Mit den aktuellen Hinweisen zur aufwandsarmen Realisierung von Simulationsstudien [Ahnert et al. 2015], [Oppermann, Hurzlmeier 2015]) kann eingeschätzt werden, dass aus den Betriebsdaten einer Kläranlage schnell die Datenbasis für ein Simulationsmodell generiert werden kann, mit dem sich neben verfahrenstechnischen Fragestellungen auch eine geeignete Automatisierung, die Ausrüstung und der Energiebedarf analysieren lassen.

Dass geplante MSR-Konzepte dann in der Praxis auch funktionieren, kann nicht als selbstverständlich betrachtet werden. Es gibt viele Details, die sinnvoll gestaltet werden müssen, um am Ende einen optimalen automatischen Betrieb zu gewährleisten. Mit dem Werkzeug der dynamischen Simulation ist ein Ingenieurwerkzeug für diese Aufgabe verfügbar. Als einzige Alternative hierzu kann nur die aufwändige Erprobung unter Betriebsbedingungen gesehen werden.

7 Literatur

- [Ahnert et al. 2015] Ahnert, M.; Alex, J.; Dürrenmatt, D.J.; Langergraber, G.; Hobus, I.; Schmuck, S.; Spering, V.: Dynamische Simulation als Bestandteil einer Kläranlagenbemessung nach DWA-A 131. KA – Korrespondenz Abwasser Abfall 62(7):615-624, 2015
- [Alex et al. 2015] Alex, J.; Dürrenmatt, D.J.; Langergraber, G.; Hobus, I.; Spering, V.: Voraussetzungen für eine dynamische Simulation als Bestandteil einer Kläranlagenbemessung nach DWA-A 131. KA – Korrespondenz Abwasser, Abfall 62(5):436-446, 2015
- [Alex 2015] Alex, J.: Simulationsplattform zum integrierten Prozess- und Automatisierungsentwurf von Abwassersystemen. at – Automatisierungstechnik 63(7):553-563, 2015
- [Alex et al 2015a] Alex, J.; Morck, T.; Zettl, U.: Modelltechnische Überprüfung energieeffizienter Luftverteilerregelungen bei Druckbelüftung. DWA-GMA-Gemeinschaftstagung "Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen", Kassel, DWA, 2015
- [Alex et al. 2004] Alex, J.; Winkler, S.; Rieger, L.: Auswirkungen von Sensor- und Stellgliedeigenschaften auf das Regelverhalten typischer Regelungen im abwassertechnischen Bereich. Tagung „Datengewinnung, -verwaltung und -nutzung in der Wassergütwirtschaft; 3./4.3.2004; Wiener Mitteilungen.
- [ATV-DVWK A131 2000] "ATV-DVWK Arbeitsblatt A 131: Bemessungen von einstufigen Belebungsanlagen." DWA, Hennef.
- [DWA A 268 2015] DWA (2015): Arbeitsblatt DWA-A 268 – Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen, Entwurf, Mrz. 2015
- [DWA-A 216 2013] Arbeitsblatt DWA-A 216: Energiecheck und Energieanalyse – Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen. 2013. Entwurf. ISBN: 978-3-942964-87-6
- [EPA 1989] Fine Pore Aeration Systems. Design manual. U.S. Environmental Protection Agency, EPA/625/1-89/023, Cincinnati, OH, 1989
- [Haberker et al. 2008] Haberker, B., Maier, W. Schneider, U.: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Forschungsbericht 205 26 307. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Texte 11/08. Dessau-Roßlau. 2008. ISSN 1862-4804. Online verfügbar: <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/steigerung->
- [Henze et al. 2000] Henze, M., Gujer, W., Mino, T. and van Loosdrecht, M. (2000): Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D and ASM3. IWA Scientific and Technical Report No.9. IWA Publishing, London, UK.
- [IEC 61131-3 2002] IEC 61131-3: Programmable controllers – Part 3: Programming languages, 2nd Edition, International Electrotechnical Commission, Genf, 2002
- [Kohler 2009] Kohler, J.: Automatisierungslösungen für Belüftungssysteme. In Baumann, P.: MSR-Technik in abwasser-technischen Anlagen, Kontakt & Studium, Band 664, expert Verlag, 2009
- [Müller et al. 1999]: Müller, E.A. et al.: Energie in Kläranlagen Handbuch. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf, 1999

- [Oppermann, Hurzlmeier 2015] Oppermann, J. und Hurzlmeier, S.:
Kläranlagenoptimierung mit Hilfe der dynamischen Simulation. DWA-GMA-
Gemeinschaftstagung "Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen
Anlagen", Kassel, DWA, 2015
- [Rieger 2006] Rieger, L.: The EAWAG Bio-P Module for Activated Sludge Model No. 3.
Water Research 35 (2006), S. 3887–3903.
- [Schraa et al. 2015] Schraa, O.; Rieger, L.; Alex, J.: A Comprehensive Aeration System
Model for WRRF Design and Control. WEFTEC, 28.-30.09.2015, Chicago, USA,
WEFTEC, 2015

Korrespondenz an:

Jens Alex

ifak e.V. Magdeburg
Werner-Heisenberg-Str. 1
D-39106 Magdeburg,
Deutschland

Tel.: +49 391 9901469

Mail: jens.alex@ifak.eu

Fallstudie Modellierung und Planung

DI Dr. Stefan Haider, DI Florian Praxmarer

Ingenieurbüro H₂Office in A-1150 Wien und D-9155 Simmelsdorf

Abstract: Im vorliegenden Beitrag soll gezeigt werden, in welcher Weise die Anwendung der dynamischen Simulation die Tätigkeit des beratenden und planenden Ingenieurs in wertvoller Weise unterstützen kann. Aus einer Mehrzahl durchgeführter Simulationsprojekte wurden zwei sehr unterschiedliche Fallbeispiele näher beschrieben. So wurde in einem Fall gezeigt, wie mit Hilfe der Simulation kritische Lastzustände und Schwachstellen in der biologischen Stufe einer kommunalen Kläranlage erkannt und wirksame und vergleichsweise günstige Ertüchtigungsmaßnahmen ausgearbeitet werden konnten. Diese werden derzeit umgesetzt.

Im anderen Fall wird der Einsatz der Simulation für die Planung und den Betrieb einer BHKW-Anlage gezeigt. Indem neben den technischen Kenndaten auch die spezifischen Wartungskosten verschiedener BHKW-Größen und -Typen berücksichtigt werden, können die optimale Auslegung einerseits und die bestmögliche Regelung andererseits auch mit einem recht zuverlässigen Wirtschaftlichkeitsvergleich verknüpft werden. Je schwankender der Gasanfall, je kleiner der Gasspeicher, je größer die Schwankungen im Strombedarf der Kläranlage und je näher der Eigenstromversorgungsgrad bei 100 % liegt, desto größer ist hier der Nutzen einer dynamischen Simulation.

Key Words: Simulation, Planung und Betrieb von Kläranlagen, BHKW, Energie

1 Einleitung

Die Anwendung der dynamischen Simulation in der Planung von Abwasserreinigungsanlagen war im deutschsprachigen Raum lange Zeit eher auf Großkläranlagen beschränkt. In Österreich wurde sie z.B. für die Kläranlagen Wien (HKA2), Linz und Salzburg eingesetzt. Der Autor des vorliegenden Artikels, Dr. Stefan Haider, hat die Planung einer kleineren Anlage erstmals in den Jahren 1998 bis 2004 mit Hilfe der Simulation unterstützt, nachdem Herr Dipl.-Ing. Johann Jaklin dem WV Ossiacher See empfohlen hatte, für die Variantenuntersuchung zum Ausbau der Kläranlage Feldkirchen auf 50.000 EW die dynamische Simulation einzusetzen. Hauptgrund waren damals die

ungewöhnlich strengen Vorgaben an die Reinigungsleistung infolge des kleinen Vorfluters (siehe auch HAIDER, 2009).

In der Ausgabe der ATV-DVWK-A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“ vom Mai 2000 wurde der Dynamischen Simulation erstmals ein eigenes Kapitel gewidmet. Noch etwas skeptisch wurden die Voraussetzungen angesprochen, unter denen mit der dynamischen Simulation die Auslegung von Belebungsanlagen hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit optimiert werden kann. Im Entwurf zur neuen DWA-A 131 vom März 2015 wird bereits an mehreren Stellen empfohlen, unter gewissen Umständen eine dynamische Simulation durchzuführen. Z.B. bei ausgeprägten Schwankungen der Stickstoff-Zulauffracht und strengeren NH₄-N-Überwachungswerten oder bei großen Vorklärbecken für den Lastfall eines einsetzenden Mischwasserzuflusses. In einem eigenen relativ ausführlichen Kapitel werden Vorteile der Anwendung im Rahmen einer Planung, insbesondere einer Erweiterungsplanung unter Nutzung des Altbestandes, beschrieben. Wesentlich erleichtert wird die Anwendung mittlerweile aufgrund der Aktivitäten der Hochschulgruppe Simulation, die u.a. zu einer direkten Vergleichbarkeit von Bemessung nach A 131 und Simulationsmodell geführt haben (ALEX et al. 2015).

2 Übersicht über Fallbeispiele

Seit dem o.g. ersten Einsatz der dynamischen Simulation für die Planung und den Betrieb von Kläranlagen wurde vom Autor bzw. den Autoren des vorliegenden Artikels im Rahmen der Ingenieurstätigkeit eine Reihe von weiteren Simulationsprojekten durchgeführt.

Tabelle 1: Überblick über einige von H₂Office durchgeführte Simulationsaufgaben und deren Rolle innerhalb der Projektphasen

Bezeichnung Kläranlage (Ausbaugröße) Zeitraum	Projektphase			
	Vorplanung	Detail- planung	Errichtung	Betrieb, Optimierung
Geldersheim (50.000 EW) 2015 - 2016	Auslegung BHKW			Entwicklung, Realisierung Regelung
Heidenfeld (13.000 EW) 2015	Konzept für neue O ₂ - Regelung	Lastenheft neue O ₂ - Regelung		

Haßfurt (28.000 EW) 2015	Auslegung BHKW			
München I (2 Mio.EW) 2012 – 2013 2014 - 2016	Absicherung Planung (2 biol.Stufen)	Auslegung Verdichter + Belüfter, MSR-Konzept	Betrieb während Umbau	Modell für Betriebs- personal
Fürstfeldbruck (100.000 EW) 2013 - 2014	Schwachstellen- analyse + Optimierungs- vorschläge	Auslegung MT, Konzeption Regelung		
Rottweil (50.000 EW) 2006 – 2007 2012	Umstellung von vorg. DN auf intermittierende Belüftung	Auslegung Gebläse + Belüfter		Optimierung O2-Regelung
Villach (200.000 EW) 2010 - 2011	Variantenstudie energetische Optimierung Belüftung	Luftmengen f. Auslegung Gebläse + Belüfter		
KA Feldkirchen (50.000 EW) 2002-2004, 2007-2008	Variantenstudie zum Ausbau, Nachweis für Behörde	Auslegung Belüftung, Pflichtenheft O2-Regelung		Optimierung: Regelung O2, RS, Rezi, Energie

Darüber hinaus wurde die dynamische Simulation für besondere Fragestellungen (z.B. Untersuchung der intermittierenden Belüftung auf der KA Bad Mergentheim 2006-2007) und Forschungsvorhaben (z.B. die Modellentwicklung für die Co-Fermentation 2008-2011) angewendet. Seit 2010 wurden von H₂Office sukzessive Modelle für die energetische Betrachtung wesentlicher Anlagenbereiche (Gebläse- und Verdichterstationen sowie Pumpwerke) (siehe auch Praxmarer und Haider, 2011) sowie des Gesamtsystems Kläranlage entwickelt und eingesetzt. Im Jahr 2015 wurde im Rahmen eines durch die FFG geförderten F&E-Projektes Modelle & Regler für ein optimales Energie- und Lastmanagement auf Kläranlagen in Zusammenarbeit mit dem ifak Magdeburg entwickelt. Die Ergebnisse werden derzeit großtechnisch erprobt (siehe Fallstudie Kap.4).

Die eigene Erfahrung zeigt, dass die Abbildung und Optimierung der MSR-Technik auf Kläranlagen im Simulationsmodell immer mehr Raum einnimmt. Die Möglichkeiten moderner Online-Messtechnik und Automatisierungs-

systeme spiegeln sich in der zunehmenden Komplexität von Simulationsmodellen wider. Das chemisch-biologische Modell selbst rückt für den Anwender etwas mehr in den Hintergrund. Doch obwohl die Online-Messtechnik eigentlich Simulationen erleichtern sollten, gilt es häufig zuerst Messfehler insbesondere von Nährstoffsonden in der Belebung zu erkennen und zu beheben. Auf der anderen Seite wird mit der größeren Verbreitung auch die Bedienerfreundlichkeit der Simulationssoftware (z.B. durch die Entwicklung von SIMBA# durch das ifak) immer mehr verbessert. Dies kommt auch Anlagenbetreibern zu Gute. So hat H₂Office für das Betriebspersonal des (2-stufigen) Klärwerks München I das entwickelte Modell so angepasst, dass es jetzt für die Betriebsführung problemlos verwendbar ist.

3 Fallstudie 1 – Ertüchtigung KA Fürstenfeldbruck

3.1 Aufgabenstellung

Gegen Ablauf des gültigen Wasserrechtsbescheides war die Stadt Fürstenfeldbruck aufgefordert, den Nachweis für die künftige Einhaltung niedrigerer Grenzwerte für NH₄-N und Gesamtstickstoff zu erbringen und unter der Leitung der Ingenieurgesellschaft Dr.-Ing. Steinle mbH entsprechende Ertüchtigungsmaßnahmen auszuarbeiten.

Da der Abwasseranfall und dessen Zusammensetzung stark von Indirekteinleitern aus der Getränkeindustrie geprägt sind, unterliegt der Kläranlagenzulauf ständigen, ausgeprägten Änderungen, die mit Hilfe statischer Bemessungsansätze nur schwer zu erfassen sind. Die Wasserrechtsbehörde hat daher empfohlen, eine Simulationsstudie durchzuführen, bei der die spezifische Zulaufsituation, die Vorklärung und die biologische Reinigung der Kläranlage Fürstenfeldbruck im Modell abgebildet werden sollte.

Aufgabe der Simulation war es,

- kritische Belastungszustände zu erkennen
- die Ursachen zu analysieren
- Strategien zur Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlage zu entwickeln, möglichst ohne größere bauliche Maßnahmen
- den glaubwürdigen Nachweis zur künftigen Einhaltung verschärfter Reinigungsanforderungen zu erbringen
- Grundlagen für die weitere Planung zu schaffen

Die Simulation wurde durch H₂Office zwischen 2013 und 2014 durchgeführt.

3.2 Abbildung der Anlage im Modell

Die KA Fürstenfeldbruck hat eine Ausbaugröße von 100.000 EW und ist eine Belebungsanlage mit Vorklärung, 2-stufiger und 2-straßiger Belebungs, Nachklärung und Schlammbehandlung. Die vorgeschalteten Belebungsbecken 1 + 2 sind unbelüftet und dienen der biologischen Phosphorentfernung sowie der vorgeschalteten Denitrifikation. Über das Zwischenpumpwerk 2 wird der Belebtschlamm in die Belebungsbecken 3+4 gefördert, welche über Online-Sonden gesteuert mit intermittierender Belüftung betrieben werden und der Nitrifikation und Denitrifikation dienen. Die 2 Becken werden meist alternierend belüftet, da die Luftversorgung (über eine gemeinsame Luftleitung) für den gleichzeitigen Betrieb nicht ausreicht.

Der Zulauf ist durch die Kombination von kommunalem (häuslichem) Abwasser und betrieblichem Abwasser aus der Getränkeindustrie geprägt.



Abbildung 1: Lageplan der Kläranlage Fürstenfeldbruck

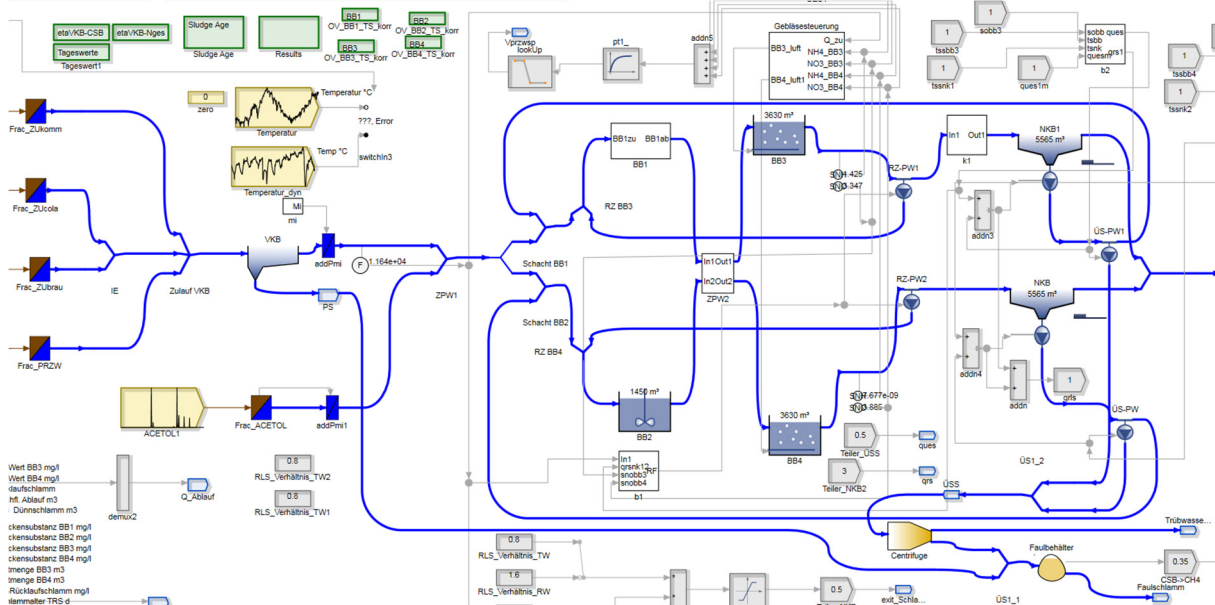


Abbildung 2: Simulationsmodell (oberste Ebene) der KA Fürstenfeldbruck, mit getrennter Erfassung der beiden Getränkemittelindustrien

3.3 Analyse kritischer Lastzustände

Nach Kalibrierung des Simulationsmodells anhand des Bestandes (Simulationszeitraum fast 1 Jahr) wurden verschiedene kritische Lastzustände untersucht. Diese betrafen vor allem die während der Woche stark schwankenden Abwässer der Getränkeindustrie, Mischwasserereignisse und Prozesswassereinleitung unter dem Hintergrund beschränkter Kapazitäten bei der Belüftung, der internen Rezirkulation und der Prozesswasserspeicherung.

Dabei wurde z.B. festgestellt, dass aufgrund der hydraulischen Begrenzung des Zwischenpumpwerk 2 die interne Rezirkulation immer dann kaum betrieben wurde, wenn sie am meisten gebraucht wurde. Die Nitrat-Konzentration in den unbelüfteten Umlaufbecken 1+2 war in der Regel gleich Null. Diese Becken wurden folglich als Anaerobbecken betrieben, was sich in der erhöhten BioP-Elimination und im geringeren Fällmittelbedarf widerspiegelte. In der Simulation wurde gezeigt, dass eine gezielte Erhöhung der Rezirkulationsmenge bei hoher Belastung zu einer deutlich besseren Stickstoffelimination führt, ohne jedoch die Voraussetzungen für die BioP-Elimination wesentlich zu verschlechtern.

In Bezug auf die Nitrifikationsleistung der Kläranlage wurde deutlich erkannt, unter welchen Umständen diese nicht mehr ausreicht, um den zukünftigen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Grenzwert von 5 mg/l (in der 2-h-Mischprobe) einzuhalten und wie dem entgegengewirkt werden kann. Dies wird anhand der nachfolgenden Abbildungen versucht zu zeigen.

CSB Fracht (kg/d)

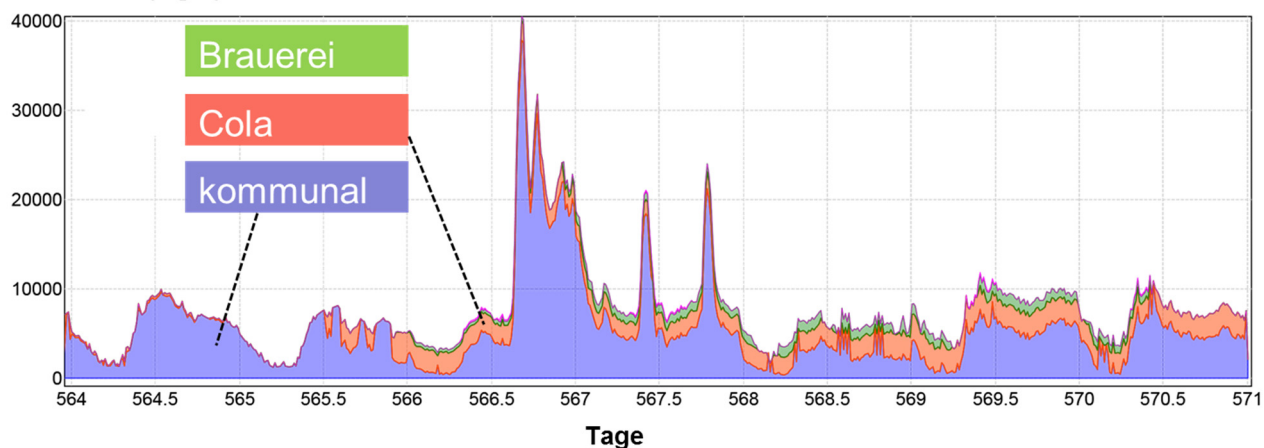


Abbildung 3: Ganglinie CSB-Fracht im Zulauf KA vom 19.-25.7.2014 mit Mischwasserereignis und Frachtanteile der Industrie

Nges Fracht (kg/d)

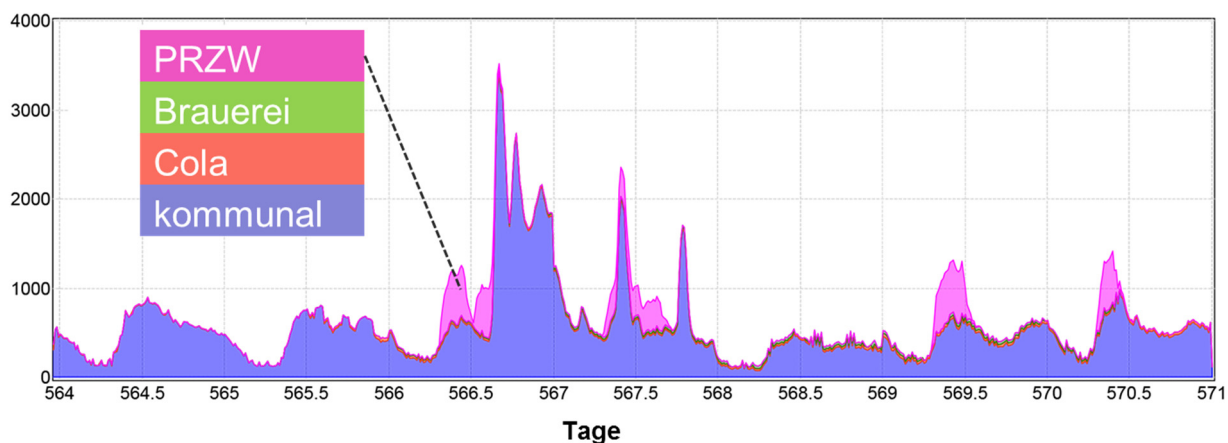


Abbildung 4: Ganglinie Nges-Fracht im Zulauf KA vom 19.-25.7.2014 mit Mischwasserereignis und Frachtanteile der Industrie sowie Prozesswasser aus der Faulschlammwässerung

Die Simulation gab auch ein klares Bild hinsichtlich der Abbauege von CSB und Stickstoff in Abhängigkeit von der Betriebsweise. Die CSB- und N-Entfernung lässt sich auf Primärschlamm, Überschussschlamm, Belebung 1+2, Belebung 3+4, Nachklärung (Denitrifikation) und Kläranlagenablauf.

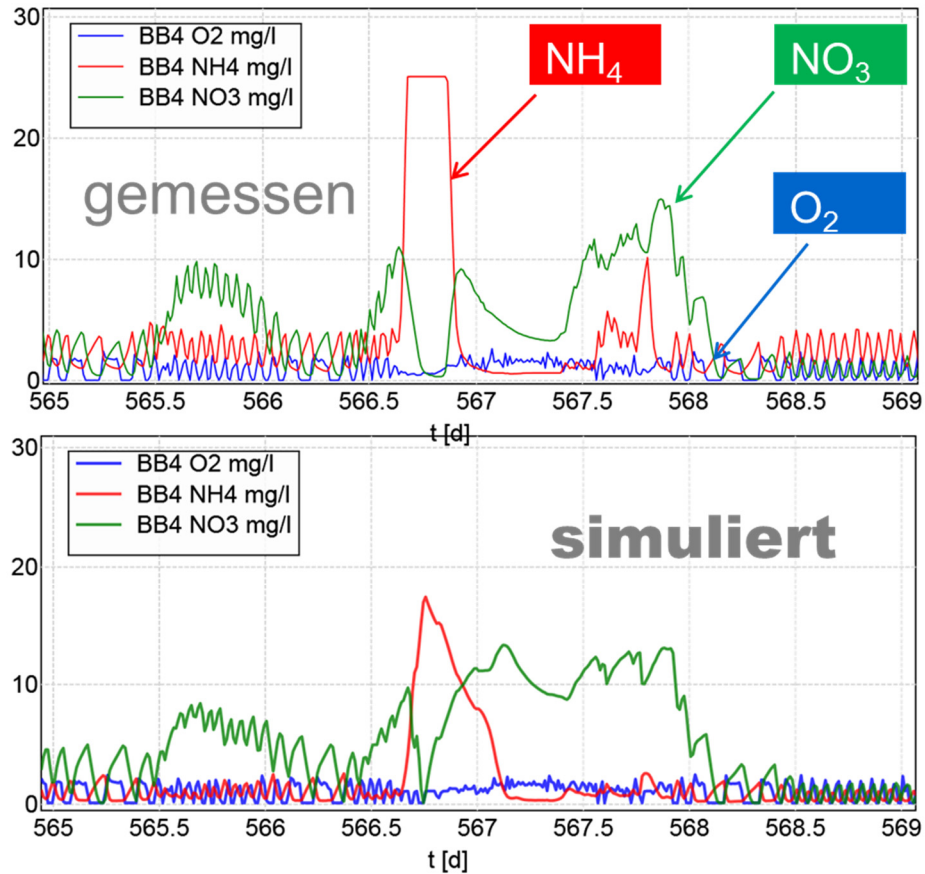


Abbildung 5: Gemessener und simulierter Anstieg von $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NO}_3\text{-N}$ in Becken 4 infolge des Mischwasserereignisses am 21.7.2014

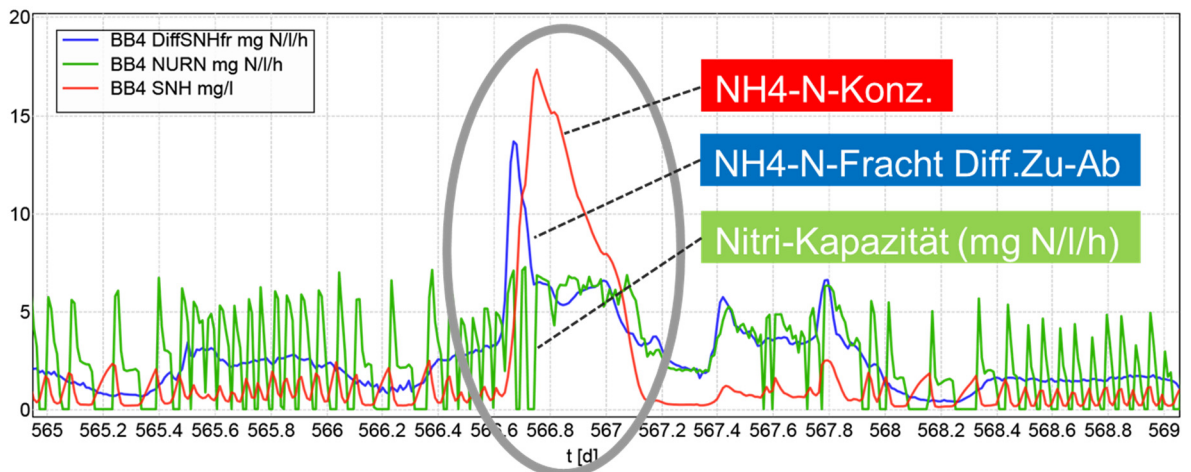


Abbildung 6: Während des Mischwasserereignisses übersteigt die zugeführte $\text{NH}_4\text{-N}$ -Fracht die Nitrifikationskapazität und es kommt zur Ammoniumspitze im Ablauf Belebung

3.4 Lösungsvorschläge und ihre Auswirkungen

Auf Basis der aus der Simulation erzielten Erkenntnisse betreffend kritischer Lastzustände und Schwachstellen bzw. Engpässe bei der bestehenden MSR-Technik, Hydraulik und Belüftung wurden mit Hilfe der Simulation Lösungsvorschläge ausgearbeitet. Diese enthielten im Wesentlichen:

- getrennte Regelbarkeit der Belüftung von Belebungsstufen 3 + 4 und die Erhöhung der maximalen Gesamtluftmenge zur Verbesserung der Nitrifikationsleistung aber auch der Stickstoffelimination
- Anpassung der Regelung der intermittierenden Belüftung, z.B. durch niedrigere Ein- und Ausschaltgrenzen bezüglich $\text{NH}_4\text{-N}$ und einem variablen O_2 -Sollwert, der nicht mehr linear von $\text{NH}_4\text{-N}$ und auch von der Gesamtluftmenge abhängig ist (Vermeidung von Leistungsspitzen)
- Umbau des Zwischenpumpwerks 2 zur Erhöhung der Rezirkulationsmenge abhängig von NO_3 in Belebungsstufen 3+4
- Regelung des Rücklaufschlammes nach dem TS Gehalt im Rücklaufschlamm (verlängert die Eindickzeit im NKB und erleichtert die Steuerung des ÜS-Abzuges zur Einstellung des optimalen Schlammalters) (FRIEDRICH, 2007)
- Bewirtschaftung der Einleitung von Prozesswasser durch Umbau des bestehenden Schlammeindickers, um insbesondere bei Belastungsschüben eine weitere Aufstockung der N-Fracht zu vermeiden. Regelung abhängig von NH_4+NO_3 Ablauf Belebungsstufe.

Durch die Anwendung von Energiemodellen für Gebläsestation, Zwischenpumpwerk 2, RS-Pumpwerk und Rührwerke konnte bei allen Simulationsläufen auch die Auswirkung auf den Stromverbrauch verfolgt werden.

Auswirkungen der vorgeschlagenen Optimierungen:

- Optimierung Belüftung, Rezirkulation und RS-Menge: Verbesserung der Stickstoffentfernung und der Nitrifikation \Leftrightarrow im Ablauf weniger Nitrat (-27%) und Nges (-21%) sowie weniger Ammonium (Mittel -12%; Maximum -11%); mehr Energie für Rücklaufschlamm (+4%) und ZPW2 (+38%), weniger Energie für Gebläse (-45%), mehr CSB-Fracht im ÜSS (+7%)
- Zusätzliche Effekte durch Optimierung Prozesswasserbewirtschaftung: weniger $\text{NH}_4\text{-N}$ (-6%), Reduktion $\text{NH}_4\text{-N}$ -Spitzen (-40%), weniger $\text{NO}_3\text{-N}$ (-11%) und Nges (-9%), Vergleichmäßigung des N-Frachtganges

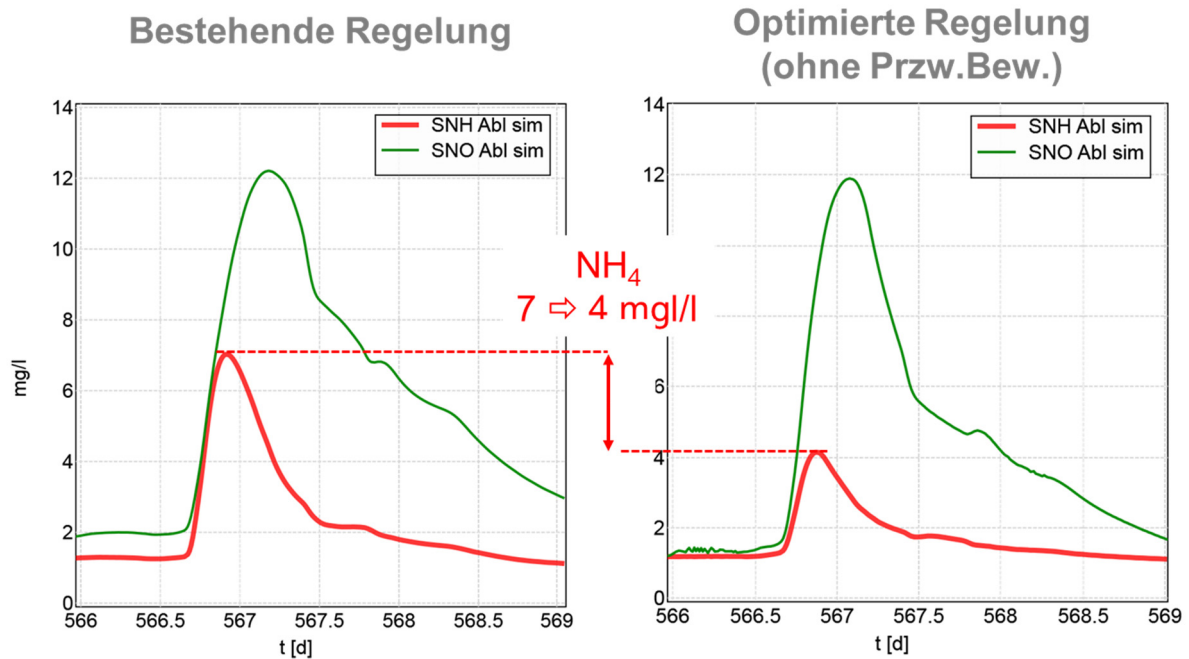


Abbildung 7: Deutlich reduzierte NH₄-N-Ablaufwerte beim Mischwasserereignis am 21.7.2014 durch Optimierung der Regelung (noch ohne Prozesswasserbewirtschaftung) im Simulationsmodell

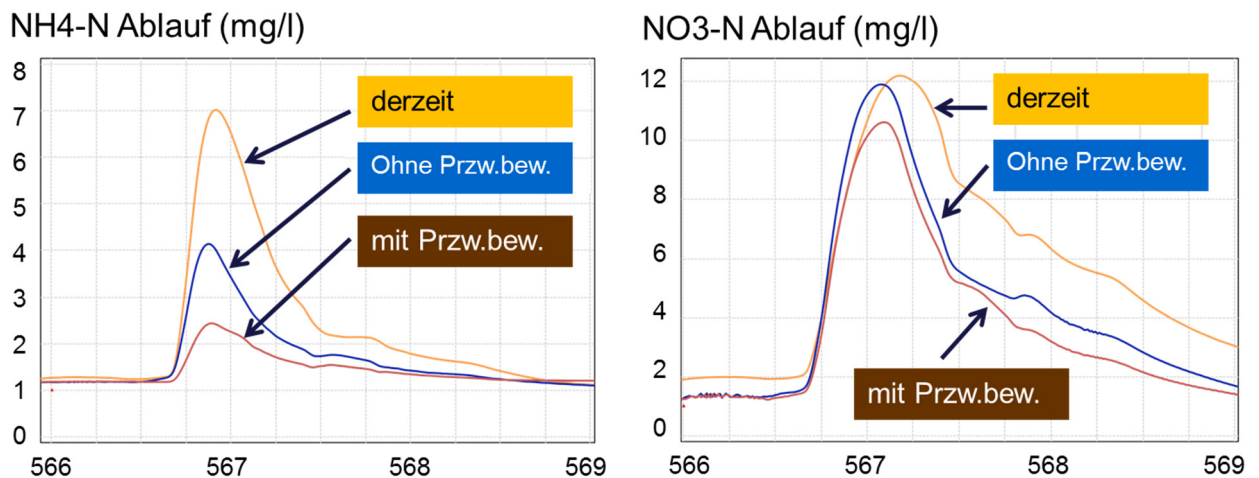


Abbildung 8: Effekte der Optimierungsmaßnahmen auf NH₄-N und NO₃-N während des Mischwasserereignisses im Simulationsmodell

Die Simulation zeigt deutlich, dass der Bau zusätzlichen Beckenvolumens für die Einhaltung der künftig geforderten Reinigungsleistung nicht erforderlich ist. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Möglichkeit der vorgeschalteten Denitrifikation entsprechend genutzt und die Belüftung der beiden N/DN-Becken unabhängig voneinander optimal geregelt werden.

Eine weitere Senkung der Ammonium-Spitzen ist bei Umsetzung einer Prozesswasserbewirtschaftung zu erwarten.

Voraussetzung für das gute Funktionieren der empfohlenen Regelungen ist, dass die Onlinesonden in den Belebungsbecken zuverlässig funktionieren. Mit Hilfe der Simulation konnte gezeigt werden, dass die vorhandenen Ammoniumsonden stark driften und falsche Absolutwerte anzeigen, was in einer Messkampagne bestätigt wurde.

3.5 Umsetzung der Optimierungsvorschläge

Die Ergebnisse der Simulationsstudie und die Optimierungsvorschläge wurden sowohl vom Anlagenbetreiber als auch von der Wasserrechtsbehörde sehr positiv aufgenommen. Beiden Seiten war bewusst, dass es ohne die Simulation sehr wahrscheinlich zur baulichen Erweiterung der Belebung gekommen wäre. Bis auf die Prozesswasserbewirtschaftung werden alle Maßnahmen 2016 umgesetzt. Die Prozesswasserbewirtschaftung wird voraussichtlich zu einem etwas späteren Zeitpunkt realisiert.

Die Simulation lieferte auch die Grundlagen für die Detailplanung und Ausschreibung, wie z.B. den künftige Luftmengenbedarf für die Auslegung der neuen Gebläsestation (siehe Abbildung 9).

Insgesamt konnten durch die Erkenntnisse der Simulation und der damit verbundenen Nachweisführung ca. 2 Mio. EUR an Investitionskosten eingespart werden.

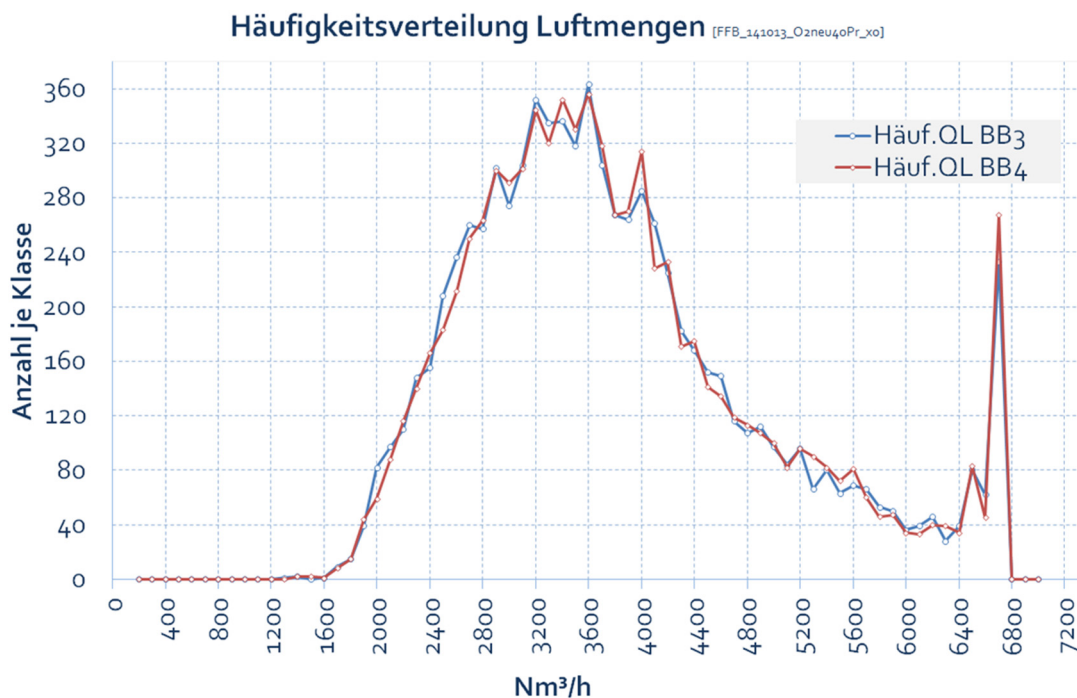


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilung der simulierten Luftmengen bei optimaler Regelung als Grundlage für die Auslegung der neuen Gebläsestation

4 Fallstudie 2 – BHKW-Anlage KA Geldersheim

4.1 Aufgabenstellung

Auf der Kläranlage Geldersheim werden ein kleineres neueres BHKW (Inbetriebnahme 2012) sowie ein größeres altes BHKW (Baujahr 1988) für die Stromerzeugung eingesetzt. Das größere BHKW ist eigentlich nur für den Notstromfall gedacht, wurde jedoch aufgrund des in den letzten Jahren infolge Co-Fermentation stark gestiegenen Gasanfalls zuletzt auch für den Regelbetrieb eingesetzt. Allerdings ist es aufgrund des geringen elektrischen Wirkungsgrades (ca. 23 %) und der hohen Nennleistung (240 kW) keine optimale Ergänzung des vorhandenen kleineren BHKWs (max. 100 kW). Letzteres reicht mittlerweile nicht mehr aus, um den hohen Gasanfall vollständig zu verwerten.

Mit Unterstützung der Simulation sollten folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Wirtschaftlichkeit einer kompletten Erneuerung des alten BHKWs anstelle einer Generalüberholung.
- Optimale Auslegung eines neuen BHKWs unter der Vorgabe, dass weiterhin für den Notstrombetrieb gesorgt ist
- Sanierung oder Erneuerung des vorhandenen relativ kleinen Gasspeichers (verfügbares Volumen 400 m³)
- Regelbarkeit des Strombezugs durch die beiden BHKWs beim vorhandenen kleinen Gasspeicher, möglichst unter Vermeidung von Stromrückspeisung bei einem künftig hohen Eigenstromerzeugungsgrad nahe 100 % (derzeit 75 % im Mittel)

Dabei war zu berücksichtigen, dass aufgrund der gestiegenen Nachfrage seitens privater Entsorger von Fettabscheiderinhalten die Co-Substratübernahme und folglich die Gasproduktion auf der Kläranlage weiter ansteigen kann. Mit der Errichtung einer Fettabscheider-Übernahme- und Dosierstation im Jahr 2014 wurden zwar optimale Randbedingungen für die Co-Fermentation geschaffen, allerdings unterliegt die Fettanlieferung durch die unterschiedlichen Entsorger starken Schwankungen, welche durch den Fettbehälter (35 m³) nur teilweise ausgeglichen werden können.

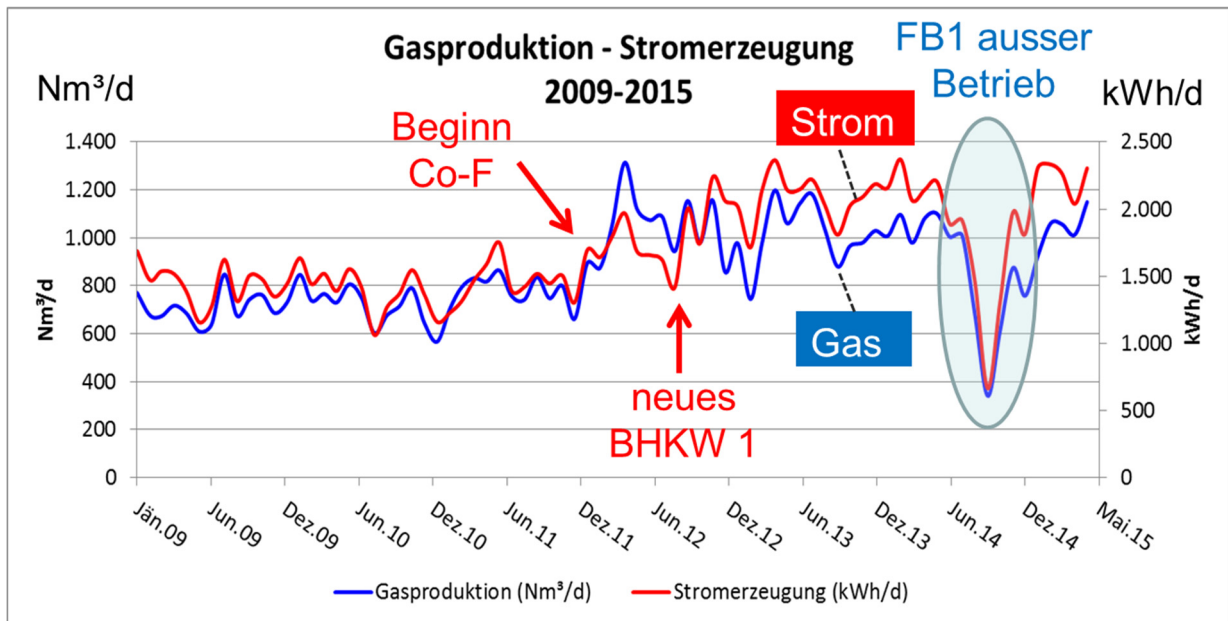


Abbildung 10: Entwicklung von Gasanfall und Stromproduktion seit 2009

4.2 Abbildung der Anlage im Modell

Die KA Geldersheim hat eine Ausbaugröße von 50.000 EW und ist eine einstufige Belebungsanlage mit Vorklärung, 2-straßiger (hoch gestellter) Belebung und Nachklärung sowie Schlammbehandlung. Die Besonderheit ist die seit Jahren betriebene Co-Fermentation von Fettabscheiderinhalten, die zu einem hohen spezifischen Gasanfall von ca. 35 l/EW/d führt.

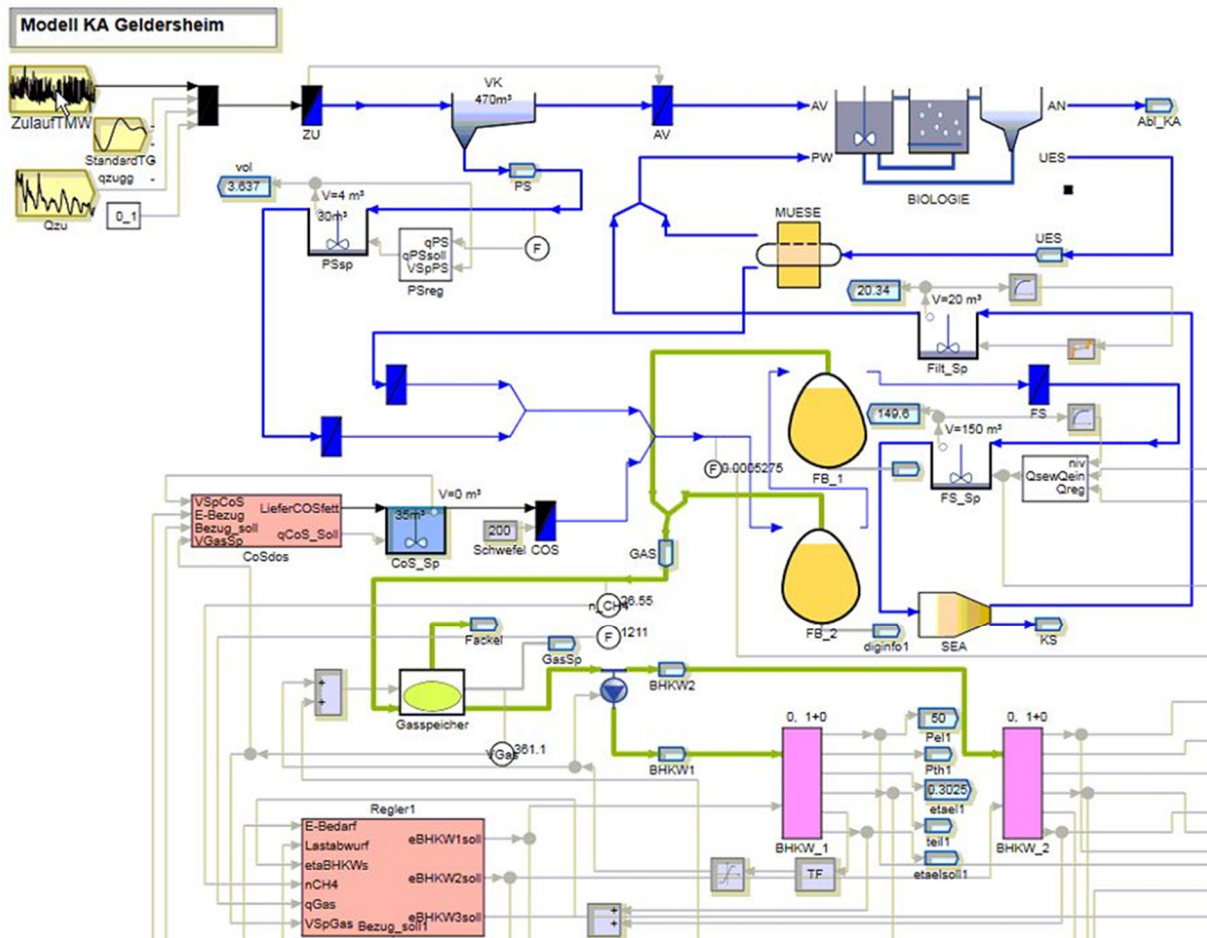


Abbildung 11: Simulationsmodell (oberste Ebene) der KA Geldersheim, mit Schlammbehandlung, Co-Fermentation und Faulgasverwertung

Obwohl für die bloße Betrachtung der Faulgasverwertung eine Simulation der biologischen Stufe nicht erforderlich ist, wurde in diesem Fall die Gesamtanlage simuliert. Für alle wesentlichen Stromverbraucher wurden Energiemodelle integriert. Damit kann bei Bedarf das gesamte Lastmanagement (z.B. Abschalten von Stromverbrauchern zur Vermeidung von Stromspitzen) der Kläranlage optimiert werden (siehe Abbildung 12).

Für die Auslegung des neuen BHKWs und die Entwicklung und Erprobung eines optimalen Regelungskonzeptes wurden später nur noch die in Abbildung 13 gezeigten Anlagenteile im Modell inkludiert. Die wichtigsten Eingangsgrößen für die Simulation sind

- Gemessener Gasanfall (Messdaten vorher auf Plausibilität prüfen!!)
- Verfügbares und gemessenes Gasspeichervolumen
- Kenndaten der BHKWs (Leistung, Wirkungsgrade über gesamten Regelbereich, Wartungskosten pro Betriebsstunde)
- Strombedarf der Kläranlage (zur Ermittlung und Regelung des Strombezugs), Strompreis (Arbeitspreis, Leistungspreis, Messpreis)

- Füllstand Fettbehälter (für die gezielte Zudosierung zum Faulbehälter)
- Primärschlamm, sofern variabler Abzug aus Vorklärung möglich

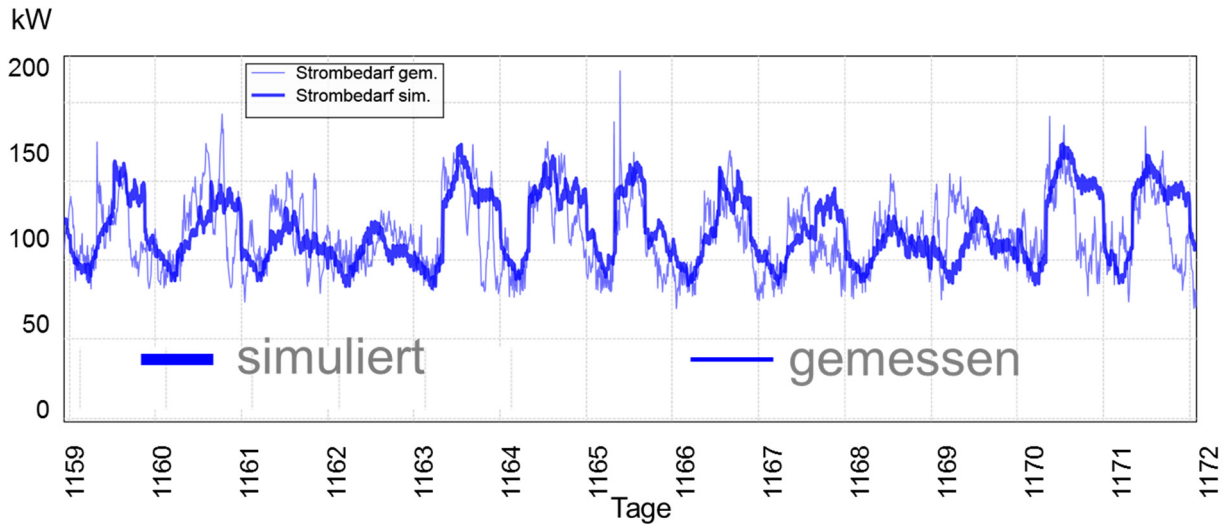


Abbildung 12: Vergleich von simuliertem und gemessenem Strombedarf der Kläranlage (2-wöchiger Ausschnitt aus Simulationszeitraum)

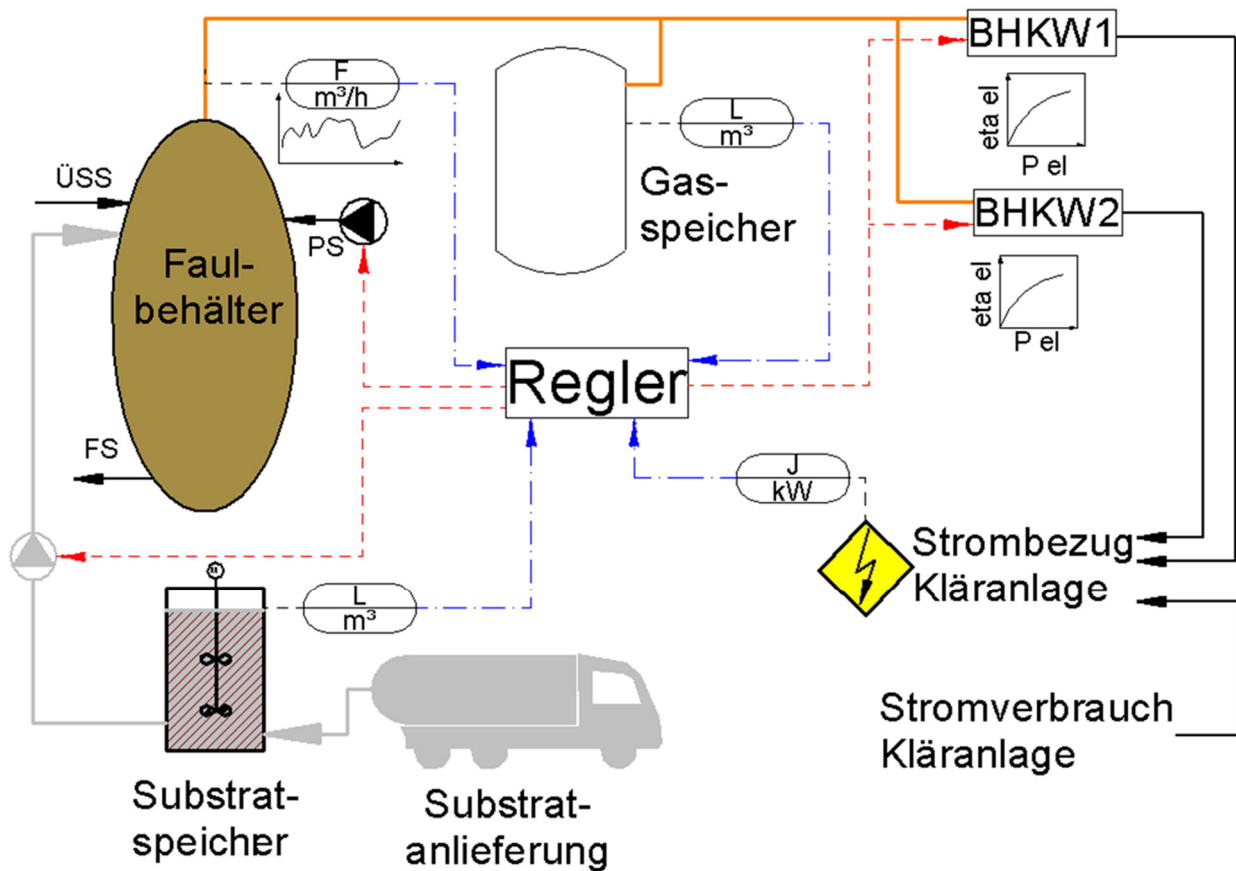


Abbildung 13: In Simulation erfasste Anlagenteile sowie Ein- und Ausgänge für den im Modell entwickelten Regler

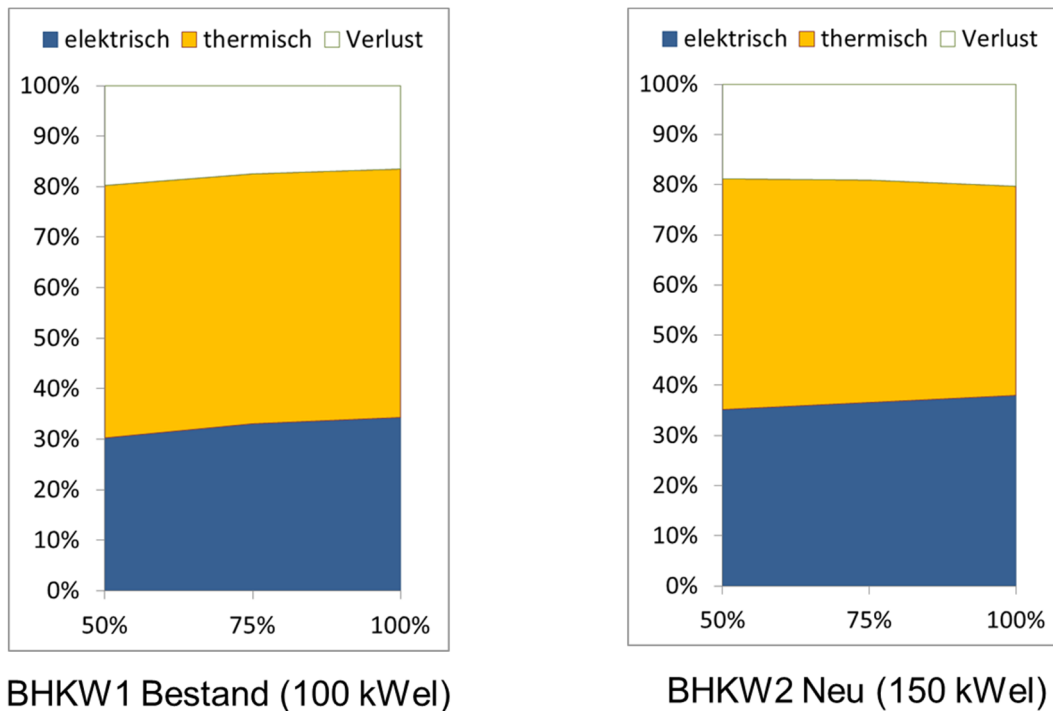


Abbildung 14: In der Simulation verwendete elektrische und thermische Wirkungsgrade der beiden BHKWs über den Regelbereich (gemäß Leistungsnachweis BHKW1 bzw. Garantiewerte BHKW2)

4.3 Ergebnisse der Simulation

Auf Basis des Gasanfalls der letzten 2 Jahre wurden simulationsgestützt 9 Varianten einer Wirtschaftlichkeitsbewertung im Vergleich zum Bestand unterzogen. Dabei wurden unterschiedliche Konzepte der Notstromversorgung einschließlich des Einsatzes von Dieselaggregaten geprüft. Als technisch und wirtschaftlich beste Lösung ging der Austausch des alten Notstrom-BHKWs gegen ein neues BHKW mit ca. 150 kW elektrischer Leistung hervor. Ein 2-Gas-Betrieb ermöglicht die Weiternutzung des bestehenden Flüssiggas-Tanks und den Notstrombetrieb auch dann, wenn kein Faulgas zur Verfügung steht. Das neue BHKW stellt eine ideale Ergänzung zum kleinen BHKW für den Regelbetrieb dar.

Auf eine Erneuerung des Gasspeichers wird vorerst verzichtet und stattdessen versucht, die Steuerung/Regelung von Gas- und Stromproduktion mit Hilfe der dynamischen Simulation zu optimieren. Abbildung 15 zeigt, dass bei Einsatz des entwickelten Reglers die Stromproduktion zeitweise dem Strombedarf angepasst, der Strombezug insgesamt stark vergleichmäßigt und das Rückspeisen von erzeugtem Strom ins öffentliche Netz minimiert werden kann.

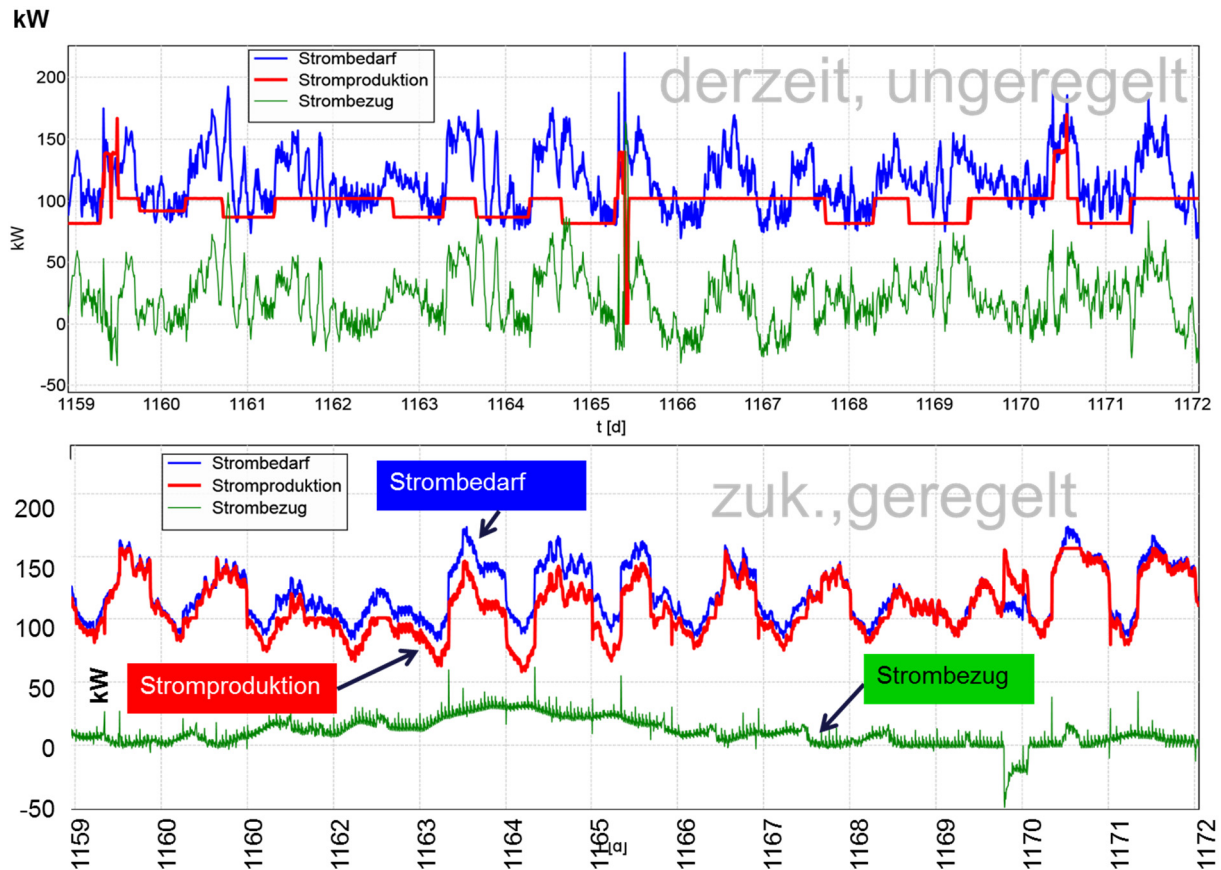


Abbildung 15: Strombedarf, Stromproduktion und Strombezug DERZEIT (Betriebsdaten) und ZUKÜNFTIG (simuliert, mit neuem BHKW und optimaler Regelung der Gesamtanlage)

4.4 Umsetzung

4.4.1 Errichtung des neuen BHKWs

Die Detailplanung des neuen BHKWs durch H₂Office samt maschinen-technischer und elektrotechnischer Anbindung und die Vergabe des neuen BHKWs ist mittlerweile abgeschlossen. Die Neuanlage soll bis Ende Juli 2016 in Betrieb gehen. Der mit der Simulation entwickelte Regler wird derzeit großtechnisch getestet (siehe nachfolgendes Kapitel).

4.4.2 Implementierung des neuen Reglers

Aufgrund der Komplexität und Neuheit des entwickelten Reglers wurde dieser nicht direkt auf SPS/PLS-Ebene der Kläranlage (Siemens S7, WinCC) programmiert, sondern in Zusammenarbeit zwischen H₂Office, Siemens Würzburg, ifak Magdeburg und inCTRL Solutions (Kanada) auf einem eigenen Rechner mit Simulationssoftware über OPC-Schnittstelle angebunden. Über OPC werden Istwerte auf den Regler übertragen und Stellgrößen ausgegeben.

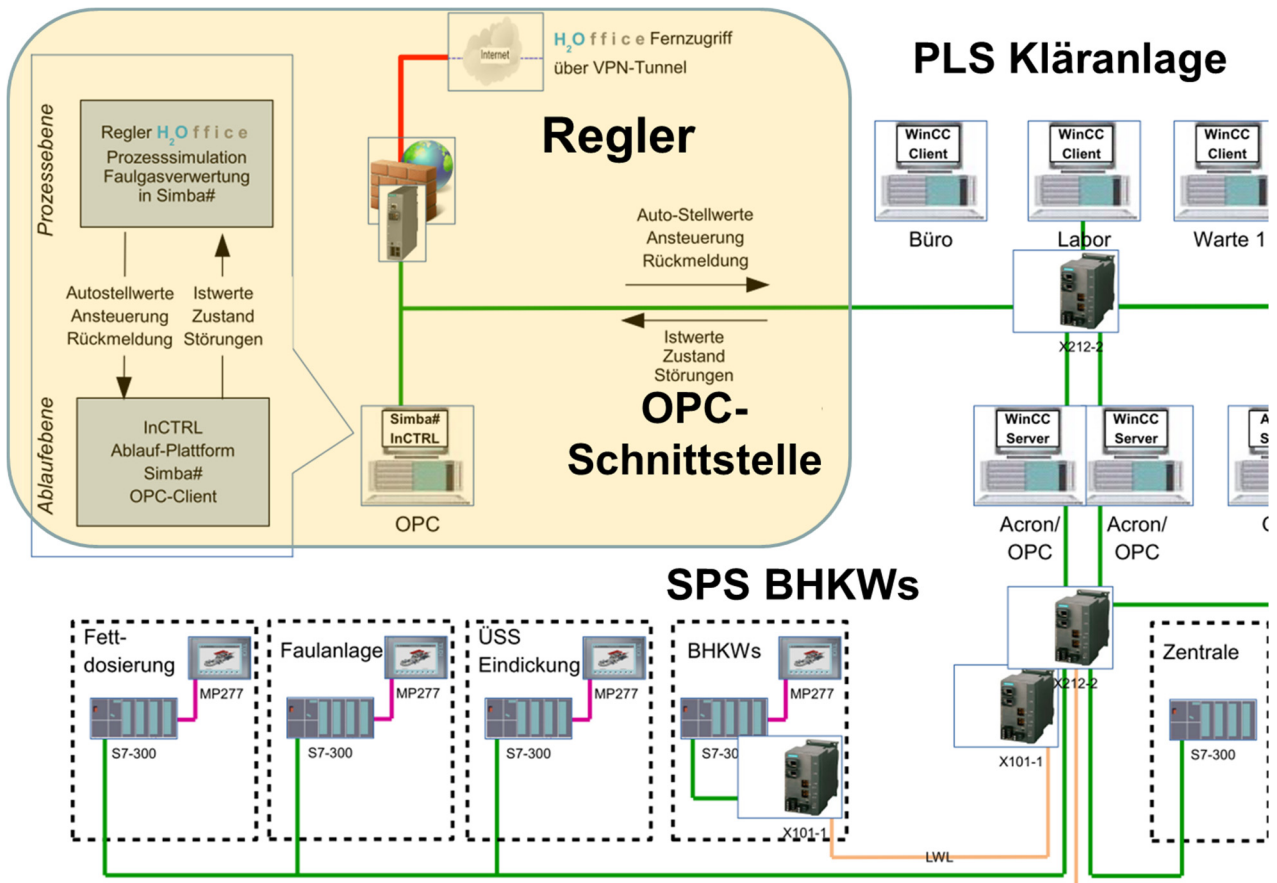
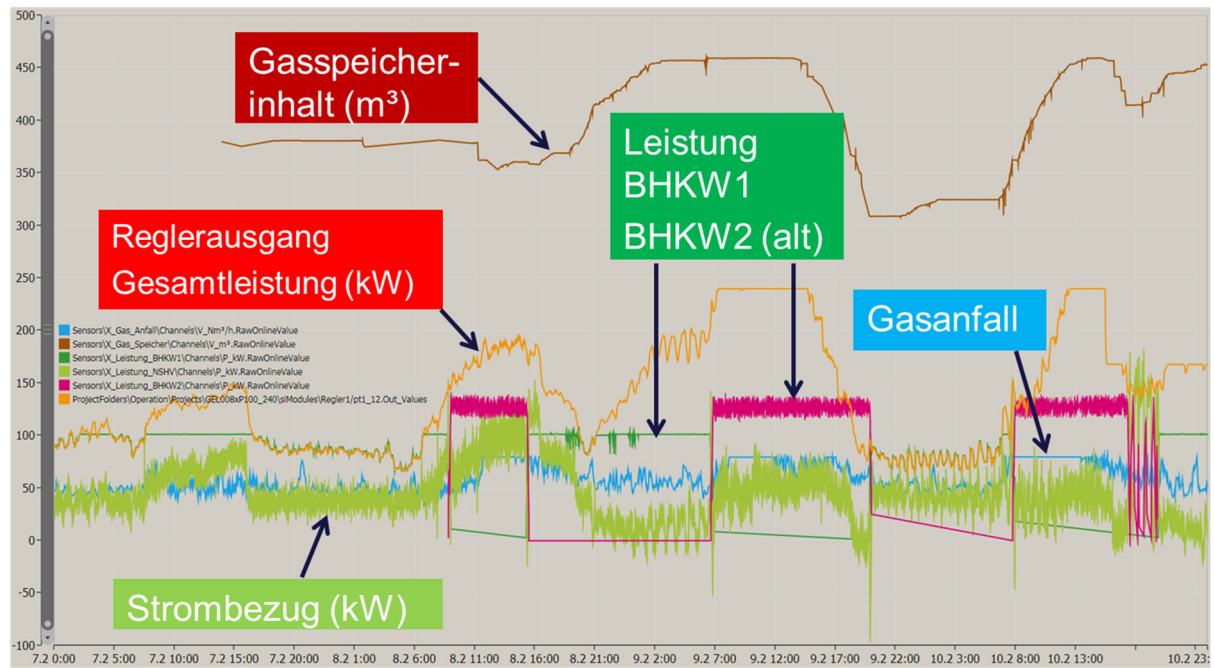


Abbildung 16: Anbindung des simulationsbasierten Reglers über OPC-Schnittstelle an das Automatisierungssystem der Kläranlage

500 kW bzw. m³



-100 kW bzw. m³ Tage 7.-10.2.2016

Abbildung 17: Erste Testergebnisse mit neuem Regler und bestehenden BHKWs

Der so implementierte Regler wurde im Januar 2016 problemlos in Betrieb genommen und wird derzeit optimiert, soweit es das alte noch bestehende große BHKW zulässt (minimaler Regelbereich). Die Einbeziehung der Co-Substratdosierung erfolgt erst in einem nächsten Schritt. Ein gewisses Problem bedeutet derzeit das automatische Umschalten vom großen auf das kleine BHKW. Das große BHKW soll sich erst abschalten, wenn das kleine BHKW stabil läuft. Dabei kommt es bei gleichzeitigem Betrieb offenbar beim kleinen BHKW zu Problemen mit dem Gasdruck.

4.5 Vergleich unterschiedlicher Regelungsstrategien

Aufgrund der Tatsache, dass der wirtschaftlichste Betrieb eines BHKWs grundsätzlich der Volllastbetrieb ist (größter Wirkungsgrad, geringste Betriebsstunden und folglich Wartungskosten), in der Realität der Teillastbetrieb jedoch häufig unumgänglich ist, wurden diese beiden Betriebsweisen anhand der Neuanlage der Kläranlage Geldersheim im Simulationsmodell untersucht. Dabei wurde im Modell der oben beschriebene Regler für die Steuerung der BHKWs (siehe Abbildung 13) verwendet.

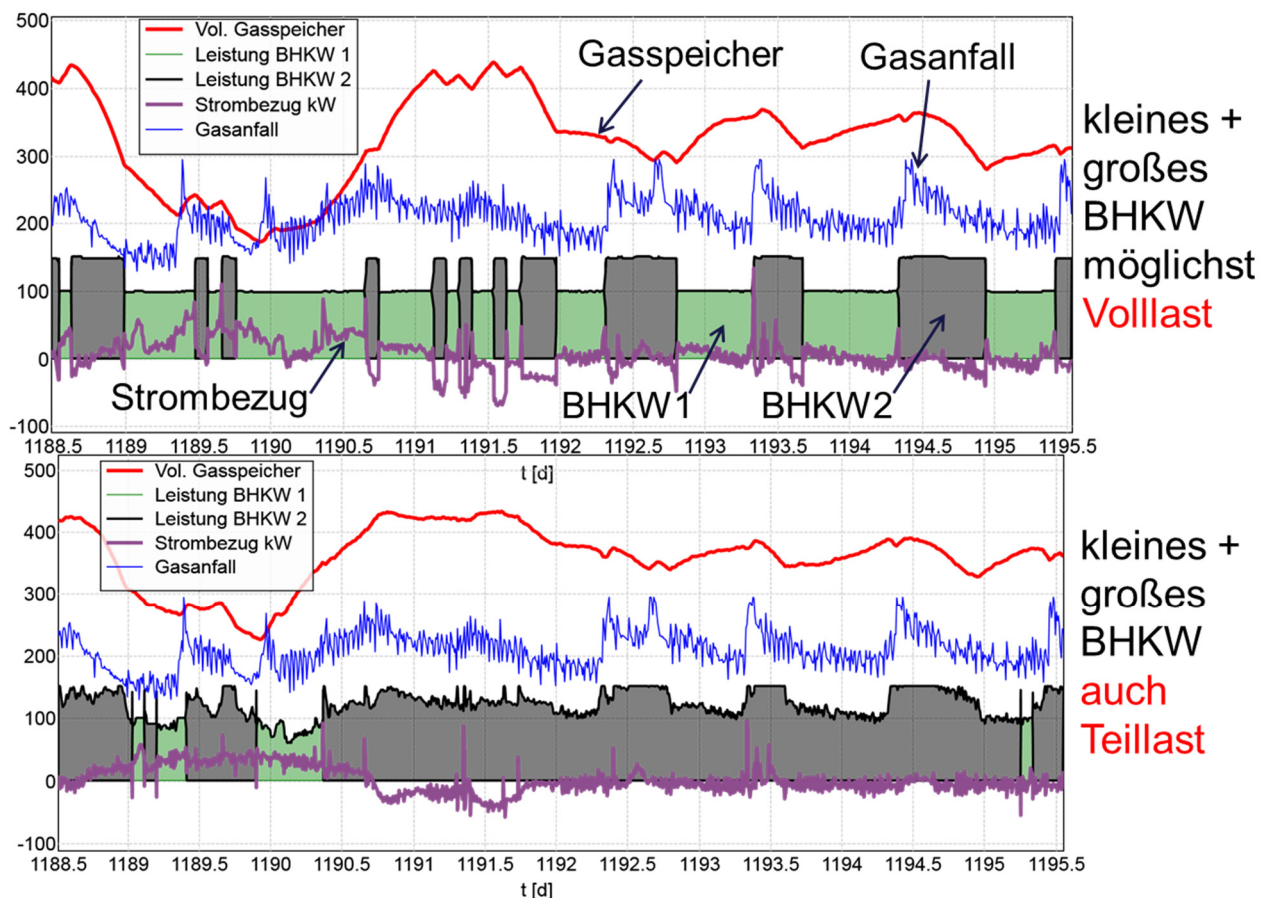


Abbildung 18: Simulierter BHKW-Betrieb, Gasspeicherinhalt und Strombezug bei unterschiedlicher Regelungsstrategie (7 Tage dargestellt)

Die Wirkungsgrade des alten kleinen BHKWs 1 und des neuen großen BHKW2 wurden entsprechend Abbildung 14 festgelegt. Für den Wirtschaftlichkeitsvergleich wurden die aktuellen Stromkosten von rd. 23 c/kWh brutto sowie Wartungskosten gemäß eigenen Erfahrungen sowie ASUE (2014) von 2,5 c/Bh (BKHW1) bzw. 2,86 c/Bh (BHKW2) brutto eingesetzt. Der Regler berücksichtigt auch wählbare minimale Pausen- und Betriebszeiten der BHKWs. Der Bestand wurde entsprechend den aufgezeichneten Betriebsdaten unregelmäßig nachsimuliert (mit einem Wirkungsgrad von 22 % und 2,86 c/Bh für das alte BHKW2).

Wie Abbildung 18 zeigt, belaufen sich beim bestehenden Betrieb die spezifischen Kosten für die Stromversorgung auf ca. 8,3 c/kWh bezogen auf den Gesamtstrombedarf der Kläranlage. Ca. 77 % davon resultieren aus dem Strombezug, der Rest aus den Wartungskosten. In 88 % der Zeit ist das BHKW1 in Betrieb, bei einer mittleren Leistung von 93 kW.

Betriebsweise	Nennleistung	Elektr. Wirkungsgrad Volllast	Mittlere elektr. Leistung	Max. elektr. Leistung	Mittlerer elektr. Wirkungsgrad	mittlere Betriebsstunden	Aufteilung der Kosten Stromversorgung	Kosten Stromversorgung
	kWel		kWel	kWel		% /Tag		c/kWh Bedarf
IST (Handbetrieb)								
Kein BHKW in Betrieb						2,0%		
BHKW1 in Betrieb	100	34,3%	92,7			88,3%		
altes BHKW2 in Betrieb	240	28,0%	93,3			9,7%		
Stromproduktion ges.			91,3		32,0%		23,4%	
Strombezug ges.			31,9	206			77,5%	8,25 c/kWh
Stromrückspeisung							-0,9%	
VOLLAST (geregelt)								
Kein BHKW in Betrieb						2,9%		
BHKW1 in Betrieb	100	34,3%	98,5			54,3%		
neues BHKW2 in Betrieb	151	38,0%	149,0			42,8%		
E-Produktion			116,2		35,9%		40,2%	
E-Bezug			7,8	228			65,1%	5,19 c/kWh
E-Rückspeisung							-6,0%	
TEILLAST (geregelt)								
Kein BHKW in Betrieb						0,1%		
BHKW1 in Betrieb	100	34,3%	80,9			24,4%		
neues BHKW2 in Betrieb	151	38,0%	131,9			75,5%		
E-Produktion			119,3		36,8%		46,1%	
E-Bezug			4,8	172			59,7%	4,84 c/kWh
E-Rückspeisung							-6,2%	

Abbildung 19: Vergleich derzeitiger Betrieb – geregelter Volllastbetrieb – geregelter Teillastbetrieb hinsichtlich Betriebsdaten und Kosten der Stromversorgung (Betrieb BHKW + Strombezug) bezogen auf den Strombedarf der Kläranlage (c/kWh) (Simulationszeitraum 134 Tage)

Beim geregelten Volllastbetrieb ergeben sich die Kosten für die Stromversorgung mit ca. 5,2 c/kWh. Ca. 65 % davon resultieren aus dem Strombezug, der überwiegende Rest aus den Wartungskosten. Ein kleiner Teil des erzeugten Stromes wird ins öffentliche Netz rückgespeist, was zu geringeren Einsparungen führt. Im Mittel ist in 54 % der Zeit das BHKW1 in Betrieb, in 43 % das BHKW2, in 3 % der Zeit ist kein BHKW in Betrieb.

Beim geregelten Teillastbetrieb ergeben sich die Kosten für die Stromversorgung mit nur ca. 4,8 c/kWh, da die Regelung überwiegend das BHKW2 (ca. 75 % der Zeit) anfordert. Die höheren Wartungskosten werden durch die Einsparungen beim Strombezug mehr als kompensiert. Der Anteil der Rückspeisung ist mit 6,2 % etwa gleich. Die Stillstandszeit der BHKW-Anlage ist gleich Null.

Besteht eine BHKW-Anlage nur aus einem BHKW, so mag der Vergleich der beiden Regelungsstrategien je nach Strompreis und Stromrückspeisung zu anderen Ergebnissen führen. Wobei zu lange Stillstandszeiten schon aufgrund des kontinuierlichen Wärmebedarfs der Kläranlage nicht möglich sein werden.

4.6 Problematik der Messungen von Gasanfall und Gasspeicherinhalt

Gasmengenmessungen weisen auf Kläranlagen meist eine geringe Verlässlichkeit auf. Besonders im Bereich des Gasanfalls, wo oft ungereinigtes, feuchtes Rohgas gemessen werden muss, sind derzeit keine entsprechenden Messprinzipien verfügbar, die mit diesen Umgebungsbedingungen zu Rande kommen und verlässliche Werte für das Normvolumen (Nm^3) ausgeben. Die vorhandenen Messungen weisen oftmals auch nicht die entsprechenden Beruhigungsstrecken auf, die für ein exakteres Messergebnis benötigt werden. Es ist daher nicht verwunderlich, wenn Gasanfalls- und Gasverbrauchsmessungen selten übereinstimmen, außer die eine Messung wird bewusst an die andere angepasst.

Für die richtige Auslegung eines BHKWs und die optimale Regelung ist eine verlässliche Gasanfallsmessung jedoch entscheidend.

Ebenso wichtig ist für die Regelung die möglichst genaue Erfassung des Gasspeicherinhalts, insbesondere wenn aufgrund des kleinen Speichervolumens Minima und Maxima ausgereizt werden sollen. Im Fall Geldersheim wurde durch die Simulation erstmals klar erkannt, dass es aufgrund der unzuverlässigen Messung auch zum Abblasen von Gas über das Überdruckventil des drucklosen Gasspeichers kommen kann, bevor noch die Gasfackel anspringt. Wie in Abbildung 20 gezeigt, bleibt der Messwert zeitweise „stehen“, obwohl kein BHKW in Betrieb ist und der Faulbehälter

laufend Gas produziert oder der Gasanfall den Gasverbrauch des kleinen BHKWs übersteigt. Plötzlich kommt es dann zum Sprung nach oben und es wird die Vollfüllung des Gasspeichers angezeigt. Dies ist für jede Steuerung, ob manuell oder automatisch, zu spät, um ein Abfackeln oder Anspringen des Überdruckventils zu verhindern. Der Grund für diese Messprobleme liegt im drucklosen Gasspeicher, wo die Membran auf die Seite kippen kann oder das Stahlseil, an dem die Membran aufgehängt ist, nicht ordentlich gestrafft ist.

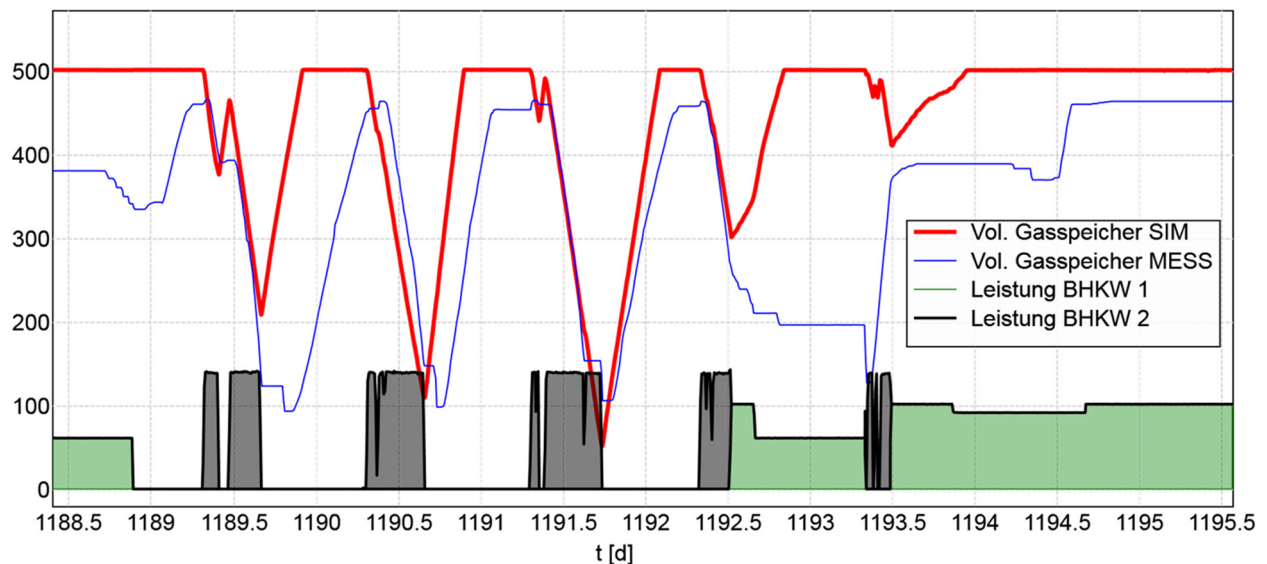


Abbildung 20: Verlauf des gemessenen Gasspeichervolumens (dünne Linie) abhängig vom Betrieb von BHKW1 und 2 im Vergleich zur Simulation

5 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag soll gezeigt werden, in welcher Weise die Anwendung der dynamischen Simulation die Tätigkeit des beratenden und planenden Ingenieurs in wertvoller Weise unterstützen kann. Aus einer Mehrzahl durchgeführter Simulationsprojekte wurden zwei sehr unterschiedliche Fallbeispiele näher beschrieben. So wurde in einem Fall gezeigt, wie mit Hilfe der Simulation kritische Lastzustände und Schwachstellen in der biologischen Stufe einer kommunalen Kläranlage erkannt und wirksame und vergleichsweise günstige Ertüchtigungsmaßnahmen ausgearbeitet werden konnten. Diese werden derzeit umgesetzt.

Im anderen Fall wird der Einsatz der Simulation für die Planung und den Betrieb einer BHKW-Anlage gezeigt. Indem neben den technischen Kenndaten auch die spezifischen Wartungskosten verschiedener BHKW-Größen und -Typen berücksichtigt werden, können die optimale Auslegung einerseits und die bestmögliche Regelung andererseits auch mit einem recht zuverlässigen

Wirtschaftlichkeitsvergleich verknüpft werden. Je schwankender der Gasanfall, je kleiner der Gasspeicher, je größer die Schwankungen im Strombedarf der Kläranlage und je näher der Eigenstromversorgungsgrad bei 100 % liegt, desto größer ist hier der Nutzen einer dynamischen Simulation.

Mit den wachsenden Möglichkeiten der Mess-Steuer-Regelungstechnik nimmt die Komplexität des Anlagenbetriebes und somit auch der Simulationsmodelle, welche diese Anlagen abbilden sollen, zu. Auf der anderen Seite ist auch die Bedienerfreundlichkeit von Simulationssoftware gestiegen. Es ist zu erwarten, dass die Anwendung der Simulation bei der Ingenieurstätigkeit auch im deutschsprachigen Raum zunehmend an Bedeutung gewinnt.

6 Literatur

- ALEX J., AHNERT M.; DÜRRENMATT D., LANGERGRABER G., HOBUS I., SCHMUCK S., SPERING V. (2015): *Voraussetzungen für eine dynamische Simulation als Bestandteil einer Kläranlagenbemessung nach DWA-A 131*. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 2015 (62), 5
- ASUE (2014): *BHKW-Kenndaten 2014/2015. Module, Anbieter, Kosten*. Info-Broschüre der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V (ASUE)
- ATV-DVWK-A-131 (Mai 2000): *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*. Arbeitsblatt
- DWA-A 131 (März 2015): *Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen*. Entwurf Arbeitsblatt
- HAIDER S. (2009): *Optimales Planen, Betreiben und Verstehen von Abwasserreinigungsanlagen durch Simulation*. ÖWAV-Seminar „Vorstellung ÖWAV-Regelblatt 11, Simulationen in der Abwasserableitung und –behandlung“, Innsbruck
- FRIEDRICH, M. (2007): *Rücklaufschlammregelung nach TS RS*. DWA u. VDI/VDE Gemeinschaftstagung „Mess- und Regelungstechnik in abwassertechnischen Anlagen“, 20./21. Nov. 2007, Wuppertal
- PRAXMARER F, HAIDER S. (2011): *Wirtschaftliche Gebläseauslegung mit Unterstützung der dynamischen Simulation unter Verwendung von Energiemodellen für drehzahlgeregelte Aggregate*. SIMBA-Anwendertreffen, Magdeburg

Korrespondenz an:

Dipl.-Ing. Dr. Stefan Haider

Ingenieurbüro Dr. Haider – H₂Office
Stutterheimstrasse 16-18/2/15h, A-1150 Wien

Niederlassung Nürnberg:
Utzmannsbach 39, D-91245 Simmelsdorf

Tel.: +43/664-3458718 oder +49/157-83998991

Mail: s.haider@h2office.com

Web: www.h2office.com

Energiegeführtes Schlammmanagement

Prof. Dr.-Ing. Peter Hartwig

aqua consult Ingenieur GmbH, Mengendamm 16, 30177 Hannover

Abstract:

Im Hinblick auf eine energetische Gesamtoptimierung einer Kläranlage mit weitergehender Schlammbehandlung (Faulung, ggf. Trocknung) kommt der Abstimmung der verschiedenen Behandlungsstufen eine besondere Bedeutung zu. Die wesentlichen Komponenten sind im Folgenden unter Benennung der Auswirkungen aufgeführt. Als Beispiel für die biologische Stufe wurde hier eine Belebungsanlage gewählt, die Betrachtung ist aber auf andere Behandlungssysteme übertragbar.

Vorklärung

Der Wirkungsgrad ergibt sich aus der Aufenthaltszeit und einer ggf. ergänzenden Dosierung von Fällmitteln zur Erhöhung des Wirkungsgrades. Die Aufenthaltszeit kann z. B. über eine Bypassführung beeinflusst werden. Einer erhöhten Primärschlammabscheidung steht eine ggf. nicht mehr für eine vollständige Denitrifikation ausreichende BSB₅-Fracht gegenüber.

Speicherung

Durch eine Vergleichmäßigung des Trockenwetterzuflusses ist eine, energetisch betrachtet, wirtschaftlichere Fahrweise der Kläranlage möglich.

Belebungsanlage

Als maßgebliche Einflussfaktoren sind das Volumen (Mischenergie) und die erforderliche Belüftung zu nennen. Das Volumen wird im Wesentlichen durch die gewählte Verfahrenstechnik beeinflusst, die Belüftung neben der installierten Verfahrenstechnik durch die organische Last und die gewählte Belüftungssteuerung.

Hydrolyse

Durch einen Aufschluss des Schlammes wird die Biogasproduktion erhöht, die weiter zu behandelnde Schlammmasse reduziert und die Rückbelastung durch Schlammwässer (N, P, Inert CSB) erhöht.

Faulbehälter

In Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit wird der anaerobe Abbau durchgeführt (Biogasproduktion, Reduzierung der organischen Masse).

Co-Fermentate

Durch die Dosierung von Co-Fermentaten kann die spezifische Biogasproduktion eines Faulbehälters erhöht werden (bis zu Faktor 2,5). Auswirkungen auf den verbleibenden Schlamm und die Rückbelastung sind fallspezifisch zu berücksichtigen und zu bewerten.

Trocknung

Im Falle einer Schlamm-trocknung kann das Biogas oder bei Gasnutzung zur Stromerzeugung die Abwärme von BHKWs für die Schlamm-trocknung genutzt werden.

Behandlung der Schlammwässer

Im Hinblick auf die Rückbelastung der Kläranlage durch Stickstoff und auf das Ziel eines Phosphorrecyclings werden die Schlammwässer aus Anlagen zur weitergehenden Schlammbehandlung in der Regel separat zu behandeln sein. Hierdurch kann auch die mindestens für die biologische Abwasserbehandlung noch erforderliche Substratmenge beeinflusst werden.

Alle genannten Komponenten sind voneinander abhängig. Im Hinblick auf eine Gesamtoptimierung ist deshalb ein übergreifendes Steuer- und Regelungskonzept erforderlich. Am Beispiel des Erweiterungskonzeptes für die Kläranlage Ljubljana (550.000 EW) wird dieses Konzept erläutert.

Key Words: Kläranlage, Energieeffizienz, CSB-Bilanz, Schlammmanagement

1 Einleitung

Die Energiekosten machen einen erheblichen Anteil an den Gesamtbetriebskosten einer Kläranlage aus.

Im Abwasser selbst ist Energie insbesondere in Form von energiereichen Kohlenstoffverbindungen, von Wärme und von potentieller Energie der Lage enthalten. Ein Teil der im kommunalen Abwasser enthaltenen Energie kann bei Kläranlagen durch eine anaerobe Schlammstabilisierung oder in warmen Klimata durch anaerobe Abwasserbehandlung im Vollstrom genutzt werden.

Auf Basis einer CSB-Bilanzierung ist der Energiefluss während der Abwasserreinigung, der Schlammbehandlung und der Gasverwertung nachvollziehbar. Über eine anaerobe Schlammbehandlung kann ein Anteil der für die Abwasserreinigung erforderlichen elektrischen Energie von ca. 2/3 selbst erzeugt werden. Anhand der CSB-Bilanz ist erkennbar, dass ein energieautarker Betrieb am Kläranlagenstandort nur über die vollständige energetische Nutzung der im

Faulschlamm enthaltenen Energie und die Zuführung externer Energieträger (Co-Fermentation, Windkraft, etc.) zu erreichen ist.

Zum wirtschaftlichen Betrieb einer Kläranlage und im Hinblick auf einen energieautarken Betrieb ist eine energetische Optimierung unerlässlich. Für einzelne Komponenten und insbesondere für die biologische Stufe von Belebungsanlagen stehen vielfach erprobte Regelungsstrategien zur Energieoptimierung zur Verfügung.

Durch eine gezielte Abstimmung der einzelnen Verfahrensstufen aufeinander kann die Energieausbeute optimiert werden. Hier bieten insbesondere die inzwischen bewährten Verfahren der Stickstoffbehandlung im Teilstrom (Nitritation/Denitritation, Deammonifikation) neue verfahrenstechnische Möglichkeiten. Darüber hinaus kann durch die Zuführung von Co-Substraten in den Faulbehälter der erforderliche Energiefremdbezug minimiert werden. Bei Verfügbarkeit entsprechender Substrate und geeigneter Verfahrenstechnik ist eine vollständige Abdeckung des Energiebedarfs für die Abwasser- und Schlammbehandlung und fallweise darüber hinaus eine Netzeinspeisung möglich. Die Co-Fermentation ist inzwischen in vielen Praxisbeispielen erfolgreich eingesetzt worden. An einem Fallbeispiel (KA Rheda-Wiedenbrück) wird der energieautarke Betrieb (mittels Co-Fermentation von Flotatschlamm aus Schlachthofabwasser) dargestellt, die eingesetzte Verfahrenstechnik zur N-Elimination im Schlammwasserteilstrom erläutert (Nitritation/ Denitritation, Deammonifikation) und auf Praxiserfahrungen eingegangen.

Im Hinblick auf die Schlammbehandlung gewinnt durch die im Koalitionsvertrag festgelegte Zielsetzung einer Beendigung der landwirtschaftlichen Verwertung und die Forderung nach Phosphorrecycling die Schlamm Trocknung an Bedeutung. Nachteil einer Schlamm Trocknung ist der hohe Energiebedarf. Auf einer Kläranlage mit anaerober Faulung ist das Biogas als Energieträger verfügbar. Durch verfahrenstechnische Beeinflussung kann der Gasanfall beeinflusst werden. Am Beispiel der Kläranlage Ljubljana wird dargestellt, mit welchen Komponenten ein Schlammmanagement durchgeführt werden kann um eine vollständige Abdeckung der erforderlichen Energie für eine Schlamm Trocknung auf der Kläranlage selbst zu erzeugen.

2 Energiebedarf auf Kläranlagen

Der Stromverbrauch einer Kläranlage macht etwa 1/5 des Elektrizitätsverbrauches der öffentlichen Gebäude und Anlagen aus. Der Stromverbrauch wird von Haberkern et al., 2006 mit durchschnittlich 35 kWh/(EW·a) angegeben, in anderen Studien liegen der spezifische Verbrauch in ähnlichen Größenordnungen bei 36-51 kWh/(EW·a) bzw. zwischen 30 und 60 kWh/(EW·a), im Mittel bei etwa 40 kWh/(EW·a) [MUNLV, 1999, MUFV-RLP, 2007]. Der größte Teil des Stromverbrauchs auf Kläranlagen machen mit etwa 86 % die Anlagen der Größenklassen 4 und 5 aus, wovon wiederum mehr als ein Drittel durch industriell-gewerbliches Abwasser verursacht wird [Haberkern et al., 2006].

Insgesamt macht der Stromverbrauch deutscher Kläranlagen damit etwa 0,75 % des Gesamtstromverbrauchs bzw. 3,1 % des Stromverbrauchs in Haushalten aus. Zusätzlich zum Bedarf an elektrischer Energie gibt es einen hohen Wärmebedarf, der aber zu einem großen Teil von den Kläranlagen selbst gedeckt werden kann [Kaste et al., 2006, BMU, 2006, MUNLV, 1999]. Weiterer Energiebedarf ergibt sich durch den Treibstoffverbrauch, der von Schröder (2007) mit 1-2 kWh/(E·a) für die Kläranlage direkt inkl. Schlammtransport und für den Betrieb des Kanalnetzes mit 5-7,5 kWh/(E·a) (abhängig von Kanallänge) abgeschätzt wurde.

Der Energiebedarf auf konventionellen kommunalen Kläranlagen wird im Wesentlichen durch den Betrieb der folgenden Komponenten (soweit vorhanden) erzeugt:

- Abwasser- und Schlammförderung
- Betrieb von Rechen-, Sandfang- und Räumerinstallationen
- Belüftung in der biologischen Stufe
- Umwälzung (z.B. Denitrifikation, Faulbehälter)
- Filtration
- Desinfektion (z.B. bei UV-Anlagen)
- Schlammeindickung und -entwässerung, Schlamm Trocknung.

3 Möglichkeiten der Energieeinsparung

Zu einem energieautarken Betrieb kann die maschinen- und verfahrenstechnische Optimierung einer Kläranlage einen wesentlichen Beitrag leisten.

Maßnahmen zur Einsparung von Energie auf Kläranlagen werden in unterschiedlichen Studien genannt [Thöle et al., 2004, Haberkern et al., 2006, MUFV-RLP, 2007]. In MUFV-RLP, 2007 werden diese Maßnahmen in verfahrenstechnische und maschinentechnische Maßnahmen unterteilt. Bei den verfahrenstechnischen Maßnahmen werden im Wesentlichen die folgenden Punkte genannt:

- Durch eine Vergleichmäßigung der Belastung mittels Speicherung ist es möglich, die biologischen Teilprozesse mit relativ konstanten Betriebs-einstellungen im optimierten Betriebspunkt zu fahren. Jegliche Belastungsschwankung vermindert im Vergleich dazu den Wirkungsgrad und erhöht den Energiebedarf. Besonders wirtschaftlich kann es sein, bereits auf der Kläranlage vorhandene aber für den Reinigungsprozess ansonsten nicht genutzte Behältervolumen zu nutzen. Bei der Beschickung der Speicherung ist zu berücksichtigen, dass bereits vor Vollenfüllung des Speichers der Zustrom zur Hauptanlage erhöht wird, um hydraulische Stoßbelastungen zu vermeiden.
- Der energetische Vorteil einer Vorklärung besteht darin, dass energiereicher Primärschlamm aus dem Abwasser abgetrennt und zur Biogaserzeugung genutzt werden kann. Gleichzeitig wird der Energiebedarf für die Belüftung der biologischen Stufe reduziert. Limitiert wird der erreichbare Wirkungsgrad durch die hydraulischen Randbedingungen (Aufenthaltszeit in der Vorklärung), den Anteil absetzbarer Feststoffe im Zulauf zur Vorklärung und das Erfordernis einer Kohlenstoffquelle für die Denitrifikation. Der Wirkungsgrad der Vorklärung kann durch eine unterstützende Fällung erhöht werden. Die Effektivität der Denitrifikation kann über den Nitratblaufwert überprüft werden. Eine Optimierung des Wirkungsgrades der Vorklärung ist daher möglich, indem durch eine kontinuierliche Nitratüberwachung die maximal mögliche Kohlenstoffreduzierung in der Vorklärung eingestellt wird. Eine Optimierung der Aufenthaltszeit der Vorklärung reduziert den Energiebedarf der biologischen Stufe (beispielsweise um ca. 5 % bei einer Verlängerung der Aufenthaltszeit von 0,5 auf 1,5 h) und erhöht die Eigenstromproduktion um ca. 2 kWh/(E·a).

- In der Praxis wird in vielen Fällen ein höheres Schlammalter gefahren als notwendig. Wird dieses im Rahmen von Optimierungsmaßnahmen angepasst und reduziert, so ist zum einen ein geringerer Sauerstoffeintrag in das Belebungsbecken notwendig, zum anderen kann sich ein Schlamm mit höherem oTR-Gehalt entwickeln, der einen potentiell höhere Gasertrag hat. Im Rahmen der Energieanalyse des MUFV-RLP, 2007 konnte durch die Reduzierung des Schlammalters von 17 auf 11 d bei einer Temperatur von 15 °C der Sauerstoffeintrag in das Belebungsbecken um 4 % gesenkt werden. Laut ATV, 1997 reduziert sich der Sauerstoffbedarf für die Kohlenstoffelimination aufgrund der verminderten endogenen Atmung bei 12°C von ~1,4 kg O₂/kg BSB₅ bei einem Schlammalter von 15 d auf ~1,1 bei 8 d um etwa 20 %. Wird angenommen, dass die Kohlenstoffelimination etwa 60 % am Gesamtsauerstoffverbrauch ausmacht, kann eine Reduzierung des Sauerstoffverbrauchs – zumindest in den Sommermonaten um etwa 10 % erreicht werden. Zusätzlich erhöht sich auch der Biogasanfall in den Faulbehältern von 15 L/(E·d) auf 17 L/(E·d), was einem zusätzlichen Energieertrag von ~2 kWh/(E·a) entspricht.
- Eine Anpassung und Regelung des Sauerstoffgehalts kann ebenfalls zu erheblichen Einsparungen führen. Die Sauerstoffkonzentration in der Nitrifikation sollte zwischen 1,5 und 2 mg/l liegen, bei höheren Konzentrationen verbessern sich die Umsatzraten der Nitirifikanten nur geringfügig. Über eine Gleitdruckregelung kann energieeffizient belüftet werden.
- Bei Rührwerken ist ein spezifischer Energieeintrag von 1,5-2 W/m³ [MUNLV, 1999] ausreichend, bei größeren Becken sind noch geringere spezifische Energieeinträge erfolgreich realisiert worden (Beispiel KA Athen, 0,8 W/m³). Die Rührwerke können in belüfteten Teilen häufig ausgeschaltet, in unbelüfteten reduziert werden. In jedem Fall ist jedoch eine ausreichende Durchmischung zu gewährleisten. [Thöle et al., 2004, MUFV-RLP, 2007]
- Durch Anpassung des Rücklaufschlammstromes an den Zulauf wird die Fördermenge reduziert, was wiederum einen geringeren Energiebedarf nach sich zieht. Eine entsprechende Steuerung der Rücklaufschlamm-pumpe ist erforderlich. [MUFV-RLP, 2007]

Zu den maschinentechnischen Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz gehören insbesondere der Einsatz von Belüftungselementen mit höherem spezifischem Sauerstoffeintrag, eine bedarfsgerechte Auslegung, Steuerung und Regelung der Gebläse und ein Betrieb von Kreisel- und Schneckenpumpen und Rührwerken im Bereich der höchsten Effizienz.

Neben den genannten Möglichkeiten können auch durch den Einsatz anderer Verfahren und Konzepte größere Mengen an Energie eingespart werden: Ein wichtiger Punkt ist hier zunächst die Vorbehandlung von Industrieabwässern, bevor diese in die Kanalisation und damit in die kommunale Kläranlage geleitet werden. Durch eine separate Behandlung dieser häufig hoch konzentrierten Abwässer unter Einsatz von z. B. anaeroben Verfahren, lässt sich zum einen auf der kommunalen Kläranlage der Energiebedarf reduzieren und zum anderen in Form von Biogas Energie gewinnen. Auch auf der kommunalen Kläranlage selbst ist in vielen Fällen die separate Behandlung von Teilströmen an Bedeutung sinnvoll. Im Schlammwasser fallen beispielsweise erhebliche Stickstofffrachten (etwa 20 % der Gesamtfracht) an, die mit Hilfe von neueren Verfahren – Nitritation/ Denitritation, Deammonifikation – energetisch günstiger behandelt werden können.

Bezüglich einer Schlamm Trocknung hängt der erforderliche Energiebedarf vom Entwässerungsgrad des zu trocknenden Schlammes, dem Trocknungsziel und der Verfahrenstechnik ab.

Grundsätzlich ist bei Anlagen mit anaeroben Schlammbehandlung und Schlamm Trocknung festzulegen, wie das energiereiche Klärgas vorrangig verwendet wird – zur Erzeugung von Elektrizität, zur Erzeugung von Trocknungswärme oder in einer Kombination von Beidem. Dieses kann nur fallspezifisch beantwortet werden, weil wesentliche Randbedingungen wie zum Beispiel die Stromkosten anlagenspezifisch deutliche Unterschiede aufweisen.

4 Anaerobe Schlammbehandlung, Co-Fermentation und Hydrolyse

Neben der Zusammensetzung der Biomasse haben die Faulzeit und die Temperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Biogasentwicklung bei der anaeroben Schlammbehandlung. Bei einer Reaktortemperatur von 38°C ist eine Faulzeit von 20 Tagen ausreichend – eine höhere Faulzeit würde die Gasentwicklung nur unwesentlich erhöhen. Die Daten unterschiedliche Faulbehälter zeigen jedoch, dass diese häufig mit Aufenthaltszeiten von bis zu 60 Tagen oder mehr gefahren werden, so dass sich erhebliche Kapazitäten ergeben.

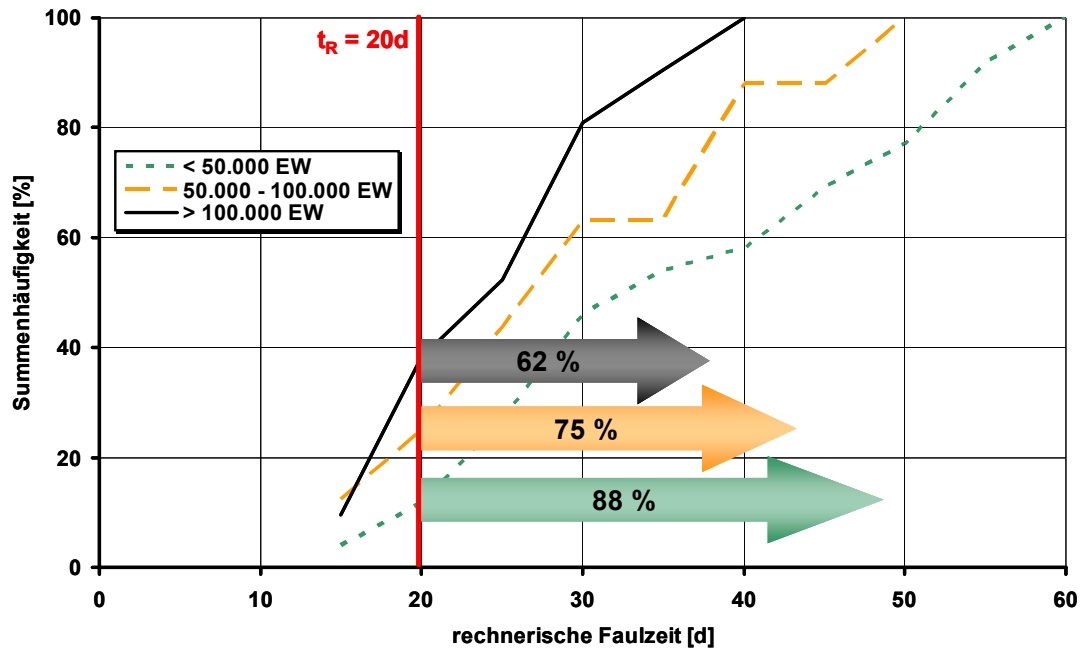


Abbildung 1: Faulgasentwicklung freie Kapazitäten in kommunalen Faulbehältern [ISAH-Umfrage, 2000]

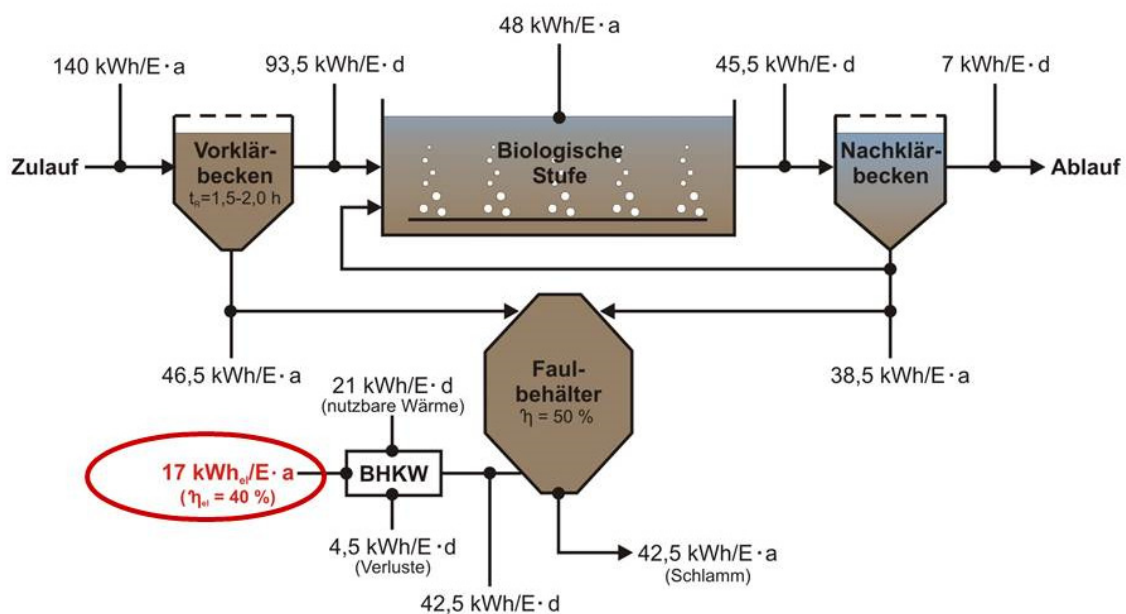
In Abhängigkeit von der bestehenden Verfahrenstechnik für die Schlammfäulung, insbesondere bezüglich der Umwälzeinrichtungen, und der Charakteristik des zugeführten Substrates kann die spezifische Klärgasproduktion eines Faulbehälters von $0,5 - 1,0 \text{ m}^3 \text{ Klärgas/m}^3 \text{ Faulbehältervolumen/d}$ durch eine Co-Fermentation auf bis zu $2,5 \text{ m}^3 \text{ Klärgas/m}^3$ erhöht werden.

Durch eine thermische Hydrolyse werden Inhaltsstoffe aufgeschlossen, was zu einer erhöhten Gasproduktion und einer Verminderung der zu entsorgenden Schlammfracht führt. Weiterhin kann die Entwässerungsfähigkeit des Schlammes verbessert werden. Durch Einsatz einer Hydrolyse kann die erforderliche Aufenthaltszeit in einer Fäulung deutlich reduziert werden (z. B. von 20 auf 12 Tage) und damit Behandlungskapazität in einer bestehenden Anlage erzeugt werden. Weiterhin kann mittels einer Hydrolyse bei geeigneter Verfahrensführung eine Hygienisierung der zu behandelnden Schlämme und Co-Substrate erreicht werden. Bei Einsatz einer Hydrolyse werden die Rückbelastung und der Gehalt an inertem CSB erhöht, dieses ist bei der Auslegung zu berücksichtigen.

5 CSB-Bilanz zur Energieanalyse

CSB-Bilanzierungen werden standardmäßig insbesondere in Simulationsmodellen für Belebungsanlagen verwendet, um die Energie- und Stoffströme während des Abwasserreinigungsprozesses verfolgen zu können. Die CSB-Bilanzierung kann auf den gesamten Klärprozess einschließlich der Schlammbehandlung und Schlamm Trocknung ausgeweitet werden, um eine Abschätzung der Möglichkeiten und Grenzen eines elektrisch und/ oder wärmebezogen energieautarken Kläranlagenbetriebes aufzuzeigen.

Energiebilanzierung auf der Kläranlage (Basis:CSB)



Richtwert für Energiebedarf: 26 kWh/EW·a (> 100.000 EW)

Abbildung 2: CSB-Bilanz

6 Energieautarker Kläranlagenbetrieb – Fallbeispiel Kläranlage Rheda-Wiedenbrück

In Rheda-Wiedenbrück wird auf dem Standort der kommunalen Kläranlage das Abwasser eines Schlachtbetriebes (ca. 650.000 EGW) vorbehandelt und dann gemeinsam mit dem kommunalen Abwasser (76.000 EW) gereinigt. Das Schlachthofabwasser wird über eine 2,3 km lange Druckleitung pneumatisch zum Standort der Vorbehandlungsanlage direkt neben der kommunalen Anlage gefördert. Über einen Hydrozyklon werden die Druckluftpolster entspannt und das Abwasser einer Siebung zugeführt. Mit einer chemisch-physikalischen Flo-

tationsanlage werden ca. 90 % der CSB-Fracht und ca. 60 % der N-Fracht aus dem Schlachthofabwasser entfernt, als Co-Substrat in den Faulbehälter gegeben und dort zusammen mit dem Primär- und Überschussschlamm der kommunalen Stufe und dem Überschussschlamm aus der biologischen Behandlung des flo- tierten Schlachthofabwassers anaerob behandelt.

Das produzierte Biogas wird über BHKW's (installierte Kapazität insgesamt ca. 4 MW_{el}) verstromt, zur Deckung des Eigenenergiebedarfes der Kläranlage (ca. 1,2 MW_{el}) verwendet und die überschüssige Energie ins Netz eingespeist.



Abbildung 3: Kläranlage Rheda-Wiedenbrück mit Co-Fermentation

7 Co-Fermentation

Neben der zuvor beschriebenen Co-Fermentation von Reststoffen aus der Schlachthofabwasserbehandlung werden zwei weitere Beispiele aufgeführt, um das Potential der Co-Fermentation darzustellen.

Co-Fermentation von Rückständen aus der Penicillinherstellung

Für eine der weltgrößten Produktionsstätten für Penicillin wird der biotoxische Produktionsrückstand mit Klärschlamm aus der Produktionsabwasserbehandlung zusammen anaerob behandelt. Der Rückstand nach der Vergärung ist nicht mehr biotoxisch.

Es wurden drei Faulbehälter á 5.000 m³ Nutzvolumen errichtet. Das Biogas wird zur Dampferzeugung für den Produktionsprozess verwendet.



Abbildung 4: Co-Fermentation von Rückständen aus der Penicillinproduktion in Shijiazhuang/ China

Co-Fermentation der organischen Abfallfraktion

Ein weiteres geeignetes Substrat für eine Co-Fermentation ist die organische Abfallfraktion, die bei ansonsten nicht geordneter Abfallentsorgung eine erhebliche Umweltbelastung darstellt (Sickerwasser, Geruchsemissionen, Methanemissionen).

Durch eine Zusammenführung von Abwasser- und Abfallbehandlung (DUPLEX-Technologie) können erhebliche Synergieeffekte genutzt werden. Ein entsprechender Standort für ein Entsorgungsgebiet ist energiepositiv.

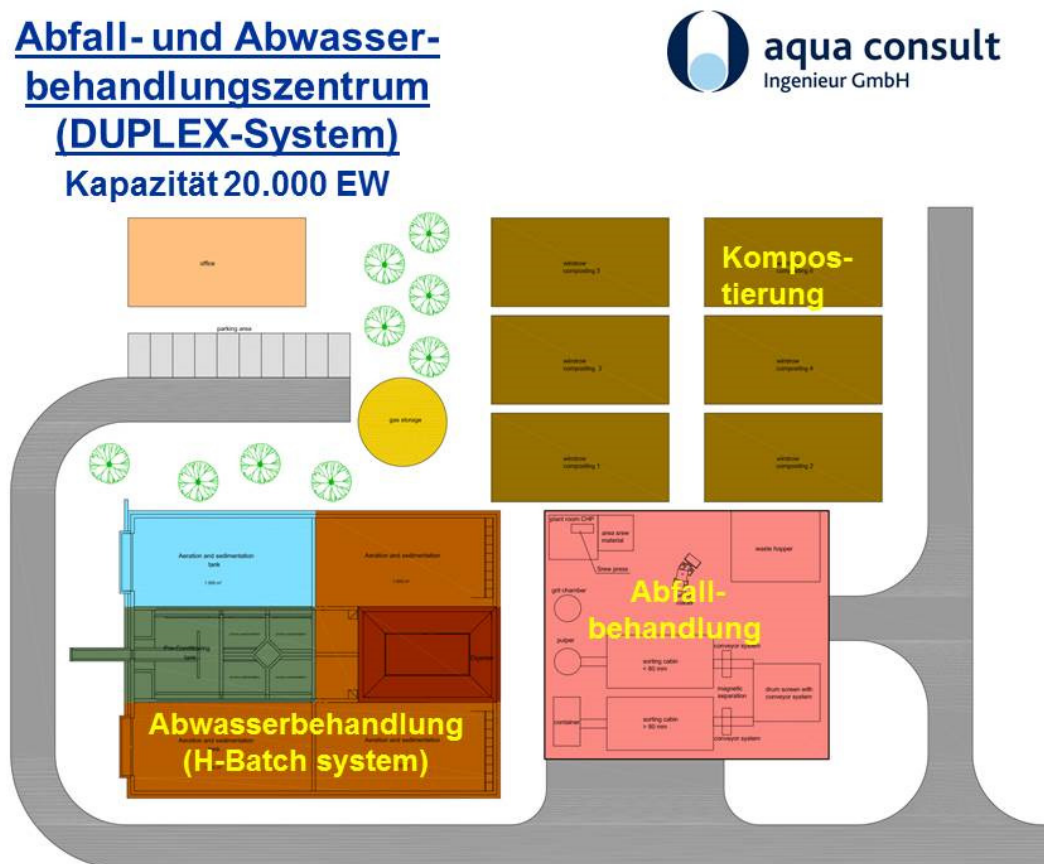


Abbildung 5: Gemeinsame Behandlung von Klärschlamm und der organischen Abfallfraktion (DUPLEX-Technologie)

8 Energiebedarfsgeführtes Schlammmanagement

Die Kläranlage Ljubljana wird derzeit von 430.000 auf 555.000 EW erweitert. Neben der Errichtung einer Vorklärung wird die biologische Kapazität der vorhandenen Anlage durch die Nachschaltung einer Tuchfiltration erhöht (Erhöhung des Feststoffgehaltes in der Biologie) und Maßnahmen zur Schlammbe-

handlung durchgeführt. Ziel der Maßnahmen in der Schlammbehandlung ist es, die Trocknung unabhängig von Erdgasbezug aus dem Netz zu realisieren.

Die Kläranlage Ljubljana verfügt über zwei Faulbehälter mit einem Volumen von zusammen 14.800 m³. Die Trocknungsanlage aus der Kläranlage Ljubljana (Trommeltrocknung Fa. Andritz) hat eine Kapazität von 3 t Wasserverdampfung pro Stunde und wird je nach Klärschlammanfall über 4 – 6 Tage pro Woche betrieben.

Zur Erhöhung der Biogasproduktion und der Anlagenwirtschaftlichkeit ist neben einer Co-Fermentation geplant, eine thermische Hydrolyse zwischen den beiden in Reihe gefahrenen Faulbehältern zu installieren. Der erste Faulbehälter wird mit Primärschlamm und den Co-Substraten beschickt. Der eingedickte Überschussschlamm wird zusammen mit dem eingedickten Ablauf des ersten Faulbehälters einer kontinuierlich betriebenen thermischen Hydrolyse (Typ Exelys) zugeführt und danach in den zweiten Faulbehälter geleitet.

Eine Anpassung der Klärgasproduktion wird durch die Speicherung von Primärschlamm und Co-Substraten ermöglicht. Als verfahrenstechnische Planungsgrundlage wurde dabei davon ausgegangen, dass ein stabiler Betrieb der Faulbehälter mit einer täglichen Belastungsschwankung von +/- 30 % der mittleren Beschickungsfracht mit organischen Feststoffen möglich ist. Im Zusammenwirken der flexiblen Faulbehälterbeschickung mit dem Gasspeichervolumen (später 6.500 m³) ist planmäßig eine vollständige Abdeckung des zur Schlamm-trocknung erforderlichen Klärgasvolumens gegeben.

9 Ausblick

Im Hinblick auf einen energieeffizienten Betrieb einer Kläranlage kann neben den verfahrenstechnischen und maschinentechnischen Optimierungen im Abwasserweg die Konzeption der Schlammbehandlung mit flexibler wärmeenergiebedarfsgeführter Betriebsmöglichkeit einen wichtigen Beitrag leisten. Wesentliche Komponenten sind dabei eine Primärschlamm-speicherung, eine Co-Fermentation und eine thermische Hydrolyse. Bei geeigneten Randbedingungen ist es möglich, den Wärmeenergiebedarf für die Trocknung vollständig auf der Kläranlage selbst zu decken.

10 Literatur

- ATV, (1997)
- BMU (2006): Erneuerbare Energien in Zahlen, Stand: Mai 2006
- DWA-M 210 (1997). Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb
- DWA-A 131 (2000). Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen
- Haber Kern et al., 2006: Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 26 307, 2006
- Kaste, Müller, Kobel (2006): Verfahrenstechnische Potenziale bestehender Kläranlagen – Auswertung von mehr als 100 Energieanalysen, MUNLV, 39. Essener Tagung, 2006
- Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (1999). Handbuch, Energie in Kläranlagen.
- MUFV-RLP, (2007): Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft – Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen, Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (Hrsg.), Remscheid, 2007
- MUNLV (1999): Handbuch Energie in Kläranlagen, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, 1999
- Schröder (2007): Klärschlamm als Energieträger, KA 10/2007
- Thöle et al., (2004): Praktische Erfahrungen mit der Umsetzung von Energiesparmaßnahmen auf Kläranlagen, KA – Abwasser, Abfall, 2004 (51), Nr. 6, S. 619-624

Korrespondenz an:

Prof. Dr.-Ing. Peter Hartwig

aqua consult Ingenieur GmbH
Mengendamm 16
30177 Hannover

Tel.: +49 (0) 511 96251-13

Mail: hartwig@aquaconsult.de

Universelle Regler für Kläranlagen

Dipl.-Ing. Detlef Wedi

Ing.-Büro ATM Abwassertechnik, Braunschweig

Abstract: Durch die zunehmend kostengünstigere Mess- und Analysetechnik einerseits und immer leistungsfähigere Computer andererseits lassen sich vermehrt höherwertige Regelungsaufgaben auf Kläranlagen implementieren. Die Anwendung komplexer Regelungen wird in Verbindung mit der zunehmend vereinheitlichten Kommunikation auf den Anlagen erheblich verbessert. Es ist daher möglich, Aufgaben relevanter Steuerungen und Regelungen zur Abwasserbehandlung in die Feldebene auszulagern. Während dies bei Teilprozessen und Systemkomponenten z.B. zur mechanischen Abwasserbehandlung üblich ist, überwiegen vor allem bei der biologischen Abwasserreinigung oftmals projektspezifische Einzellösungen. Als Alternative zur Implementierung der Regelungssoftware als klassische SPS-Lösung bietet sich der Einsatz universeller Regler mit konfigurierbaren Softwaremodulen für einfache und auch sehr komplexe Aufgaben und Teilprozesse an.

Key Words: Abwasserbehandlung, Mess- und Regelungstechnik, universelle Regler

1 Allgemeines

Die Prozesse der Abwasserbehandlung sowie deren Anlagen sind verschiedensten und vorab nur eingeschränkt prognostizierbaren äußeren Einwirkungen ausgesetzt. Diese Einwirkungen führen zu dynamischen Beeinflussungen der gewünschten und erforderlichen Prozesse. Mit Hilfe der Automatisierungs- und Regelungstechnik soll das Anlagen- und Prozessverhalten zeitlich oder auch räumlich zielgerichtet beeinflusst werden. Störungen an der Ausrüstung, den Messwerten oder den Prozessen sind zudem zu berücksichtigen. Um das gewünschte Verhalten ermöglichen zu können, sind geeignete Messungen und Analysen von Prozess- und Zustandsgrößen vorzunehmen und zu werten. Die Differenzen zwischen erforderlichen und tatsächlichen Zuständen müssen mit systematischen Methoden in Form von Algorithmen bewertet und veränderbaren Größen zugeführt werden. Dies führt zu den relevanten Regelkreisen des betrachteten Systems.

Man kann aktuell davon ausgehen, dass bei den Steuerungs- und Regelungsaufgaben einer Abwasserbehandlungsanlage in der überwiegenden Anzahl weitgehend vorkonfektionierte Programme und Algorithmen eingesetzt werden. Diese können inzwischen technisch gleichwertig sowohl in klassischen SPS-Lösungen als auch in sogenannten Industrie-PC (IPC) implementiert werden.

In den letzten Jahren nimmt das Auslagern spezieller Aufgaben bis in die Feldebene hinein auch dank der zunehmend vereinheitlichten Kommunikationstechnologie grundsätzlich zu. Diese Lösungen erscheinen bei mehr oder weniger geschlossenen Prozesskomponenten, wie Sieb- und Rechenanlagen, Aggregaten zur Schlammverdickung und -entwässerung, BHKW-Anlagen oder Dosiereinheiten, nahezu selbstverständlich zu sein.

Es ist davon auszugehen, dass sich diese Tendenz auch für komplexere Verfahren und Prozesse weiter verstärkt. Sowohl aus Gründen der Gewährleistung als auch der erforderlichen Detailkenntnisse erscheint es allgemein mindestens zweckmäßig, für separate Prozesse weitestgehend vorkonfektionierte Steuerungs- und Regelungseinheiten z.B. für Filtrationsverfahren oder für die Technologie einer sog. 4. Reinigungsstufe einzusetzen.

Während der Einsatz vorgefertigter Software bei den vorgenannten Technologien quasi Standard ist, werden die Steuerungs- und Regelungsprozesse gerade der biologisch-chemischen Abwasserbehandlung, speziell des Belebungsverfahrens, oftmals projektspezifisch und stark auf den Einzelfall bezogen entwickelt und ausgeführt. Aus technischer Sicht ergeben sich so oftmals sehr gute und praktikable Lösungen. Diese erfordern jedoch eine exakte und detaillierte Abstimmung der wesentlich Beteiligten, vor allem Verfahrensplaner, Ausrüster, Betriebspersonal und Softwareentwickler betreffend. Da aber auch bei diesen Lösungen inzwischen auf teilweise vorgefertigte Softwarebausteine zurückgegriffen werden kann, ist der Übergang zum Einsatz weitgehend vorkonfektioniierter Software in Form allgemein verfügbarer Steuerungs- und Regelungsmodule inzwischen als fließend zu betrachten.

Hintergrund sind sowohl die wiederkehrend einzusetzende Art und Anzahl technischer Prozesse und korrespondierender regelungstechnischer Lösungen als auch die Verfügbarkeit zuverlässiger Hardwareeinheiten. Diese werden bevorzugt ausgeführt als Industrie-PC mit hoher Zuverlässigkeit und der Anwendung sog. höherer Programmiersprachen und moderner Datenbanksysteme.

Es ist natürlich zu berücksichtigen, dass mit vorkonfektionierten bzw. mehr universellen Reglern nicht die Gesamtheit aller Abwasserbehandlungsprozesse technisch bzw. wirtschaftlich abgedeckt werden kann. Sei es aus historischen Gege-

benheiten und Entwicklungen heraus oder aufgrund der Berücksichtigung außergewöhnlicher Technologien, wird es immer auch eine Vielzahl projektspezifischer Lösungen für den Einzelfall geben.

2 Erste Anwendungen universeller Regler

Grundlage verallgemeinerter Anwendungen von Einheiten zur Steuerung und Regelung von Abwasserbehandlungsverfahren war und ist die Beschreibung systematischer Funktionen und charakteristischer Phänomene. Letztere werden heutzutage als Regelungen auf Basis von Ersatzgrößen bezeichnet. Sie bildeten aber die Anfänge der universellen Regler, da spezifische Messungen der Nährstoffparameter noch nicht oder nicht in wirtschaftlich vertretbarer Weise verfügbar waren.

Der vermutlich erste praxistaugliche Regler zum Betrieb einer Belebtschlammanlage zur Energieminimierung und zur simultanen Stickstoffelimination geht auf Arbeiten der TU Wien auf der Kläranlage Wien-Blumental zu Beginn der 1970er Jahre zurück (v. d. Emde, 1975).

In einem gleichmäßig beschickten Kontrollbecken mit konstanter grobblasiger Sauerstoffzufuhr wurde der Sauerstoffgehalt kontinuierlich gemessen.

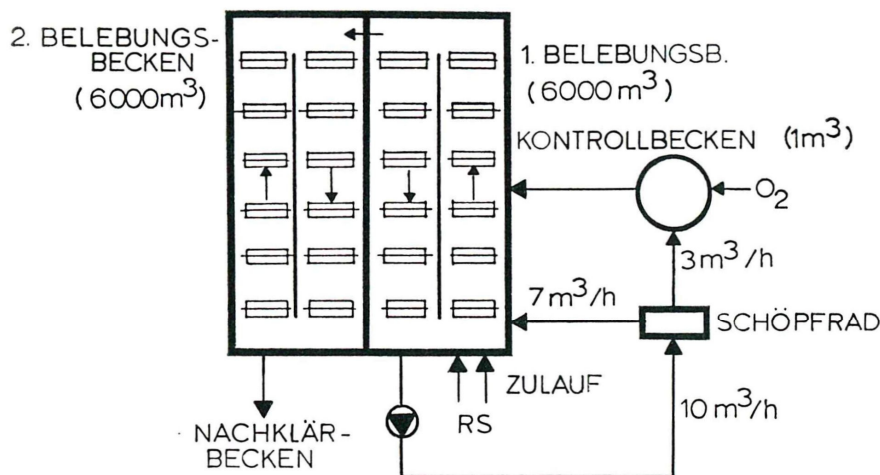


Abbildung 1: Messaufbau zur Sauerstoffverbrauchsmessung nach v. d. Emde (1975)

Aus der bekannten Sauerstoffzufuhr und der Sauerstoffkonzentration im Kontrollbecken konnte nach Burchard (1971) auf den Sauerstoffverbrauch im Belebungsbecken geschlossen werden. Anhand dieses Verbrauches bzw. des Sauerstoffgehaltes im Kontrollbecken wurde eine Steuerung der Mammutrotoren entwickelt,

um sowohl einen energetisch günstigen Betrieb als auch eine weitgehende Stickstoffelimination von etwa 80% zu erzielen.

Diese robuste Methodik wurde später an der TU Braunschweig weiter entwickelt (Kayser, 1987), indem das Kontrollbecken mit nur 40 l Inhalt direkt in das Belebungsbecken eingehängt und mit einem Schöpfarm kontinuierlich beschickt wurde. Ein Kleinkompressor sorgte für eine konstante grobblasige Belüftung. Aus dem sich ergebenden Sauerstoffsättigungsdefizit, welches proportional zum Sauerstoffverbrauch der Anlage ist, wurde ein Grenzwertregler abgeleitet, der die Rotoren bei bestimmten Sättigungsdefiziten zu- oder abschaltete.

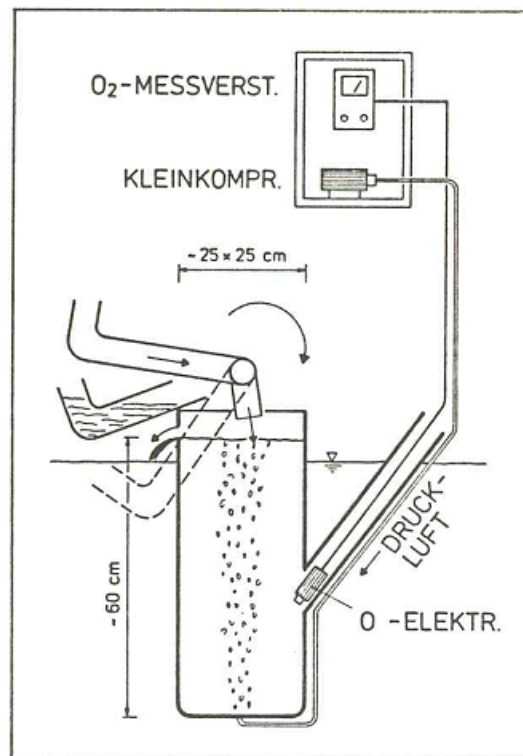


Abbildung 2: Sauerstoffverbrauchmessgerät nach Kayser (1987)

Eine Regelungseinheit auf Basis einer Trübungsmessung war die Grundlage des sog. O₂-Minimators der Fa. Schreiber in den frühen 1980er Jahren. Ein Absetzbecken wurde konstant mit belebtem Schlamm aus einem bevorzugt intermittierend belüfteten Belebungsbecken beschickt. Mit dem Erreichen des Nitratnullpunktes kam es vermutlich zu einem leichten Flockenzerfall, der mit der Trübungssonde detektiert werden sollte. Dieser Anstieg der Trübung beschrieb das Ende der anoxischen Phase und die Belüftung wurde gestartet bzw. intensiviert.

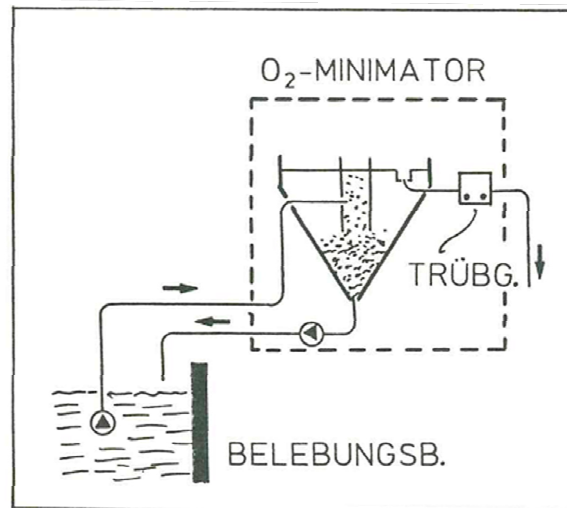


Abbildung 3: Apparatur des O₂-Minimators der Fa. Schreiber (nach Kayser 1987)

Auf Basis der Beobachtungen von Charpentier u.a. (1987) ergab sich ein charakteristischer Zusammenhang des Verlaufes der Redoxspannungen und des Nitratnullpunktes im belebten Schlamm, da die Redoxspannungen einen scharfen Abfall zeigen, sobald die oxidierten Stickstoffverbindungen komplett denitrifiziert wurden. An der TU Braunschweig wurden diese Effekte daraufhin systematisch untersucht und eine erste Regelungsanwendung erprobt.

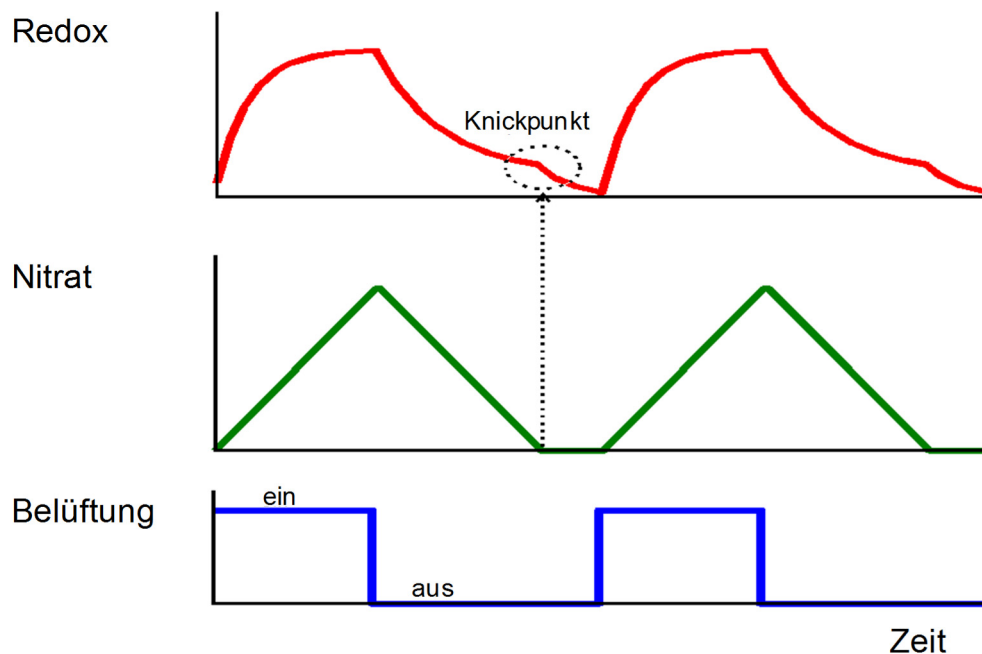


Abbildung 4: Charakteristischer Zusammenhang der Redoxspannung und des Nitratverlaufes zur Regelung

Obwohl der sog. Redox-Regler noch immer verfügbar ist, gilt die ab 1989 kommerziell vertriebene Ursprungsvariante dieses Reglers in vielerlei Hinsicht als

Vorläufer heute aktueller universeller Regler. Im Folgenden wurde daraus ein eigen entwickelter Mikrocomputer mit einer Standardsoftware als Redox-Regler vertrieben, um den Teilprozess der Denitrifikation zuverlässig und kostengünstig regeln zu können. Die eingesetzte Software wies u.a. mit Begrenzungen zulässiger Größen, zulässigen Minimal- und Maximalzeiten, Ersatzwertstrategien, Plausibilitätsauswertungen und der Kommunikation mit vorhandener Schaltechnik bereits einen Großteil der heute üblichen Funktionalitäten moderner Regler für Abwasserbehandlungsprozesse auf. Ziel der kostengünstigen Anwendungen waren prinzipbedingt Anlagen mit intermittierender Stickstoffelimination kleinerer und mittlerer Ausbaugröße.

Regelungen auf Basis von Zehrungsmessungen werden im Regelfall nicht mehr angeboten. Der Redoxregler erhielt durch kostengünstige Analysemethoden speziell der Stickstoffverbindungen in Form verschiedener Sonden, verbunden mit dem Nachteil einer letztlich unspezifischen Messung der Redoxspannung, erhebliche Konkurrenz und wird zunehmend weniger nachgefragt.

3 Aktuelle universelle Regler

Bei abwassertechnischen Anlagen stehen die grundsätzlichen Forderungen, wie

- die sichere Einhaltung der erforderlichen Ablaufwerte bei allen auftretenden Randbedingungen,
- die Einsparung von Energie, Hilfsstoffen oder Aufwand,
- eine Verbesserung der Regelgüte und
- ein schonender Betrieb aller Einrichtungen

im Vordergrund.

Automatisierungs- und Regelungskonzepte bzw. deren Ausrüstungen sind jedoch nicht geeignet, verfahrenstechnische oder ausrüstungstechnische Defizite oder Mängel an den Anlagen zu kompensieren.

Die Leistungsfähigkeit moderner Hardware in Verbindung mit standardisierter Kommunikation, der Einbindung in vorhandene Schalt- und Steuerungsanlagen und der inzwischen verfügbaren, vereinfachten Analysemethoden ermöglicht auch eine Vielzahl unterschiedlich komplexer und konfigurierbarer Regelungsvarianten und -systeme.

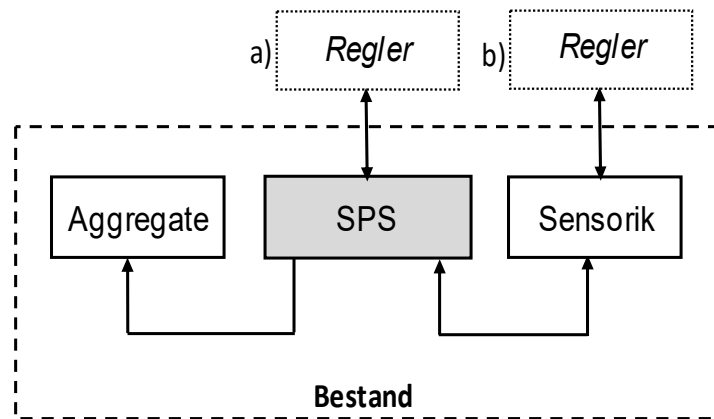


Abbildung 5: Verallgemeinerte Integration universeller Regler in den Bestand

Die Implementierung der Steuerungs- und Regelungsalgorithmen erfolgt gegenwärtig bevorzugt durch parametrierbare Software-Module. Unabhängig davon, an welcher Stelle und in welcher Form diese Programmbausteine in die Leit- und Automatisierungstechnik integriert sind, wird gem. dem DWA Merkblatt M 253 bzw. dem Arbeitsblatt A 268 die konsequente Nutzung vorbereiteter Module und Modulbibliotheken empfohlen. Es ist dabei zunehmend von untergeordneter Bedeutung, in welcher Form die Architektur des Automatisierungssystems erfolgt.

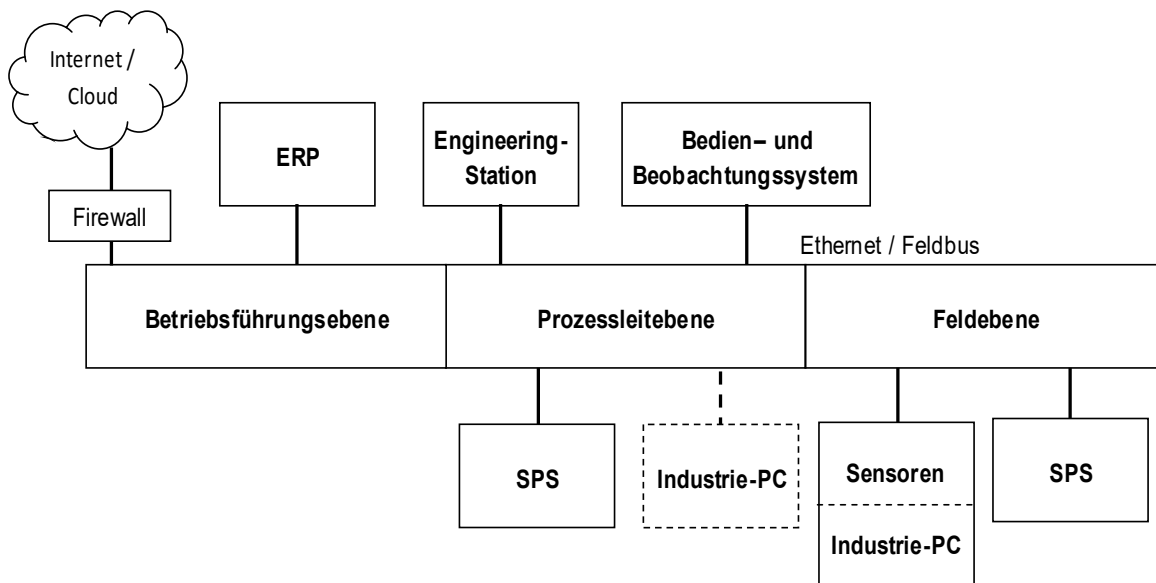


Abbildung 6: Internet-Protokoll als gemeinsame Grundlage des Informationsaustausches (mod. nach DWA M 253)

Auf einer unteren Ebene universeller Regler stehen relativ einfache, allgemein verwendbare Bausteine mit vorbereiteten Algorithmen als Eingrößenregler z.B. zur ausschließlichen Ansteuerung der Gebläseleistung einer Sauerstoff- bzw. Nitrifikationsregelung oder einer Chemikaliendosierung anhand kontinuierlich gemessener Phosphatkonzentrationen. Solche regelungstechnischen Standardelemente als Teil der Schaltanlage sind im Lieferprogramm verschiedener Hersteller verfügbar, entsprechen aber in ihrer Grundausführung nicht mehr oder nur noch

eingeschränkt den umfassenden Anforderungen moderner Abwasserbehandlungsverfahren.

Es ist aber andererseits auch ein Trend zu erkennen, spezielle Funktionalitäten bereits in den technischen Ausrüstungen als Gesamtpaket zu integrieren. Zu erwähnen sind als Beispiele Steuerungsanlagen für Pumpstationen oder erste Anwendungen bei Gebläsen, bei denen neben der Schaltanlage auch eine Überwachungseinheit mit Busanbindungen und optionalen Regelungsfunktionen z.B. für eine Sauerstoffregelung vorkonfiguriert sein können. Grenzen sind diesen Lösungen spätestens dann aufgezeigt, wenn gegenläufige Prozesse, z.B. Sauerstoffversorgung und zu hohe Nitratkonzentrationen oder Effekte der biologischen P-Elimination, nicht in Einklang mit dem gesamten Prozesszustand gebracht werden können.

4 Höherwertige Regelungen

Obwohl die grundsätzlichen Entwicklungen bereits in den frühen 1990er Jahren begannen, setzen sich unterstützt durch moderne Kommunikationstechniken höherwertige universelle Regler erst in den letzten Jahren verstärkt am Markt durch.

Diese werden zusammenfassend als Familie der Echtzeit-Regler (Real-Time-Controller, RTC) oder gemäß DWA M 253 auch als Advanced Process Controller (APC) bezeichnet. Inzwischen gibt es für eine Fülle an Teilaufgaben geeignete Softwaremodule auch verschiedener Hersteller. Werden diese einzelnen Module miteinander verknüpft, ergeben sich für Kläranlagen nahezu aller Ausbaugrößen geeignete und effektive Einsatzmöglichkeiten. In der Regel werden diese Module in Industrie-PC implementiert, mittelfristig vermutlich verstärkt auch in der Feldebene und mit direkter Anbindung an Sensoren und Aktoren.

Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden beispielsweise folgende Softwaremodule an fortgeschrittenen bzw. höherwertigen universellen Regler für die Abwasserbehandlung angeboten:

- Nitrifikations- und Denitrifikationsregelung mit und ohne Regelung der Belüftung,
- chemische und biologische Phosphatelimination,
- Feststoffmanagement bzw. Regelung des Schlammalters,
- Schlammentwässerung und Schlammeindickung,
- Dosierung von Alkalien oder Konditionierungsmitteln,

- Prozesswassermanagement,
- Regelungen zur Schlammrückführung,
- Regelungen zum optimierten Betrieb von Sedimentationseinrichtungen,
- Steuerungen und Regelungen zur Aufteilung des Zuflusses,
- Regelungssysteme zum Energiemanagement,
- Regelungen zur Optimierung der Abwasserableitung und der -reinigung.

Um diese Regler auf den Anlagen zu implementieren, sind gem. DWA M 253 folgende Varianten möglich:

- Nutzung der bestehenden Leit- und Automatisierungstechnik,
- zusätzliche Softwaremodule entweder in der Leittechnik oder auf gekoppelter Hardware,
- „*Black-Box-Systeme*“ mit eigenständiger Erfassung von Messwerten, Signal-Verarbeitung und Ausgabe von Stellsignalen, in der Regel ohne Offenlegung des Algorithmus,
- sogenannte „*Smart-Controller*“ als integraler Bestandteil intelligenter Messwert-Controller.

Allgemein ist festzustellen, dass die gegenwärtig verfügbaren, höherwertigen universellen Regler dem Wesen nach meist auch die Merkmale von Mehrgrößenregler aufweisen. Bei den Prozessen der Abwasserbehandlung müssen oftmals mehrere Größen gleichzeitig geregelt werden, wobei diese Größen voneinander abhängig sein können, wie es zum Beispiel bei der Stickstoffelimination und der Sauerstoffversorgung oder der Chemikaliendosierung auf den pH-Wert usw. der Fall sein kann. Bei Änderung einer Eingangsgröße können somit eine oder auch mehrere Ausgangsgrößen beeinflusst werden.

Gegenwärtig werden überwiegend folgende typische Methoden und Verfahren für die höherwertigen universellen Regler eingesetzt:

- Vermaschte Regelungen,
- Modellbasierte und modellprädiktive Regler,
- Computational Intelligence (Fuzzy-Logic, Neuronale Netze).

Es ist aktuell auch festzustellen, dass die drei hier exemplarisch aufgezählten Methoden zunehmend miteinander verknüpft werden und eine eindeutige Trennung dieser Verfahren nicht immer möglich ist.

4.1 Vermaschte Regelungen

Einschleifigen Regelungen sind besonders dann Grenzen gesetzt, wenn große Störungen auftreten und zwischen der Eingriffsmöglichkeit auf das Stellglied und der Reaktion am Messglied große Verzögerungen auftreten, was für viele Prozesse der Abwasserbehandlung zutrifft. Eine Verbesserung lässt sich erzielen, wenn an der Regelstrecke zusätzliche Zustands- und Störgrößen messbar sind oder auf die Regelstrecke an zusätzlichen Stellen mit weiteren Stellgliedern eingewirkt werden kann. Dies führt gem. DWA A 268 zu folgenden Grundprinzipien für vermaschte Regelkreise:

- Nutzung möglichst aller vorhandenen Informationen über den Prozess, äußere Störungen oder innere Zustandsgrößen,
- Messung dort, wo die früheste Information verfügbar ist, und Stelleingriff dort, wo die schnellste Reaktion am Ausgang zu erwarten ist,
- Vereinfachung der Regelungsaufgabe durch Aufteilen in Unterregelkreise.

Die Verwendung zusätzlicher Informationen aus Eingangsgrößen ergibt eine Kombination von Regelung und Steuerung in Form von Störgrößen- oder Führungsgrößenaufschaltung als sog. Vorsteuerung. Die Einbeziehung zusätzlicher innerer Schleifen zur Umgehung von Verzögerungen führt zu Regelkreisen mit Hilfsstell- bzw. Hilfsregelgrößen, z.B. dem Sonderfall der Kaskadenregelung. Die häufig eingesetzte Sauerstoffregelung mit überlagerter Führung durch die Ammonium-Konzentration ist ein einfaches und prominentes Beispiel für eine vermaschte Regelung.

4.2 Modellbasierte und modellprädiktive Regler

Das grundlegende Verfahren der sog. Modellgestützten Prädiktiven Regelung (MPR) wurde Ende der 1970er Jahre entwickelt und wird auch seit Langem für die Abwasserreinigung eingesetzt. Dabei bezeichnet MPR kein spezifisches Regelungsverfahren sondern vielmehr eine ganze Klasse an Regelungsmethoden. Sie basieren auf der Nutzung eines Modells des zu regelnden Prozesses, um mit diesem das Verhalten relevanter Prozessgrößen vorhersagen und mit minimierenden Funktionen bewerten zu können.

Mit der Verfügbarkeit günstiger Analysengeräte wurden die Grundvoraussetzungen geschaffen, eine ausreichende Anzahl an Eingangssignalen für Simulationsprogramme zur Verfügung zu stellen. Dieses bildet die Basis zur prädiktiven Ermittlung des Prozessverhaltens und der Prozesszustände, um zu einem möglichst frühen Zeitpunkt bereits optimale Einstellungen der Stellglieder abzuleiten. Die mathematische Beschreibung biologischer Prozesse erfolgt in der Regel auf Basis des Activated Sludge Models (z.B. ASM 1, Henze et. al., 1987), das je nach Prozess zum Teil auch vereinfacht implementiert wird.

Eine anspruchsvolle Aufgabe bei diesen Regelungen stellt insbesondere die grundlegende Festlegung und Prüfung der biokinetischen Parameter dar, die eine gewisse Kenntnis der fraglichen Anlage und des Verfahrens erfordern.

Typischerweise werden die dem Wesen nach vorrangigen MPR-Steuerungen mit nachgelagerten Regelungen zur Erfolgskontrolle verknüpft, um Regelabweichungen, die sich aus den Vorausberechnungen ergeben können, effektiv mindern zu können.

Eine häufig eingesetzte Variante ist die modellbasierte Optimierung der erforderlichen Nitrifikationsleistung, vor allem bei kaskadierten oder mehr propfenartig durchströmten Anlagen. Bereits auf Basis der gemessenen zufließenden Stickstofffracht können z.B. die aeroben Zonen vergrößert oder auch die Sauerstoffkonzentrationen angehoben werden. Rein ablaufseitig bestimmte Konzentrationen und darauf basierende Regelungen hätten vor allem bei nicht voll durchmischten Systemen einen deutlich zu späten Regelungseingriff zur Folge.

4.3 Computational Intelligence (Fuzzy-Logic, Neuronale Netze)

Im Gegensatz zu den modellprädikativen Reglern setzen die Methoden der Computational Intelligence (CI) darauf, dass die vielfältigen und oft unsteten Prozesse der biologisch-chemisch-physikalischen Abwasserbehandlung mathematisch nicht oder nur sehr schwer zu beschreiben sind.

Intelligente Sensoren sind nach Bongers (2003) zunächst einmal alle Systeme, die in irgendeiner Form intelligente Elektronik enthalten. Computational Intelligence oder Soft-Computing sind die Oberbegriffe für informationstechnische Methoden zur Handhabung von Wissen und Lernmethoden wie Fuzzy-Logik, Neuronale Netze und Evolutionsstrategien sowie für ihre Anwendungen. Sie ermöglichen die erfolgreiche automatische Verarbeitung von unscharfen, ungenauen und auch fehlerbehaftete Daten, von Wissen und Schätzwerten sowie das automatische Trainieren und Anpassen von Automatisierungssystemen an komplexe Aufgabenstellungen.

Sowohl die Fuzzy-Logik als auch die neuronalen Netze sind relativ fehlertolerant und können ungenaue Daten verarbeiten. Zwischen diesen Techniken besteht aber ein entscheidender Unterschied:

- **Fuzzy-Logik** verarbeitet strukturiertes Wissen, das in Form von Regeln vorliegen muss. Prozessdaten werden in bewertete Aussagen gewandelt und über das Regelwerk auf konkrete Stellgrößen zurückgeführt.
- **Neuronale Netze** verarbeiten unstrukturiertes Wissen: Bezogen auf Kläranlagen sind Messdaten zur Vorhersage des Prozessverhaltens theoretisch ausreichend. Das Netzwerk bestimmt die Zusammenhänge zwischen Ein- und Ausgangsgrößen.

Beiden Methoden gemeinsam ist eine gewisse Abstraktheit, die eine eingeschränkte Transparenz der Vorgänge mit sich bringt. In jedem Fall ist bei Anwendung dieser Methoden eine breite Daten- und Informationsbasis erforderlich und der Betrieb dieser Regler benötigt Erfahrung sowie laufende Kontrolle.

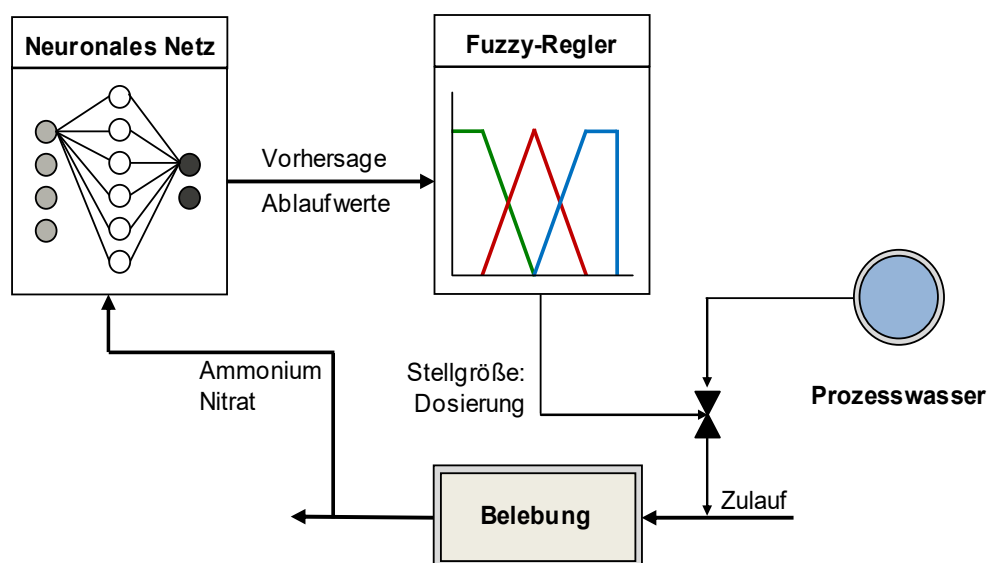


Abbildung 7: Beispiel für eine Anwendung der CI auf Kläranlage (nach Bongers, 2003)

5 Konzeption und Planung

Regelungen bzw. Regelungssysteme inklusive der erforderlichen Messtechnik sind sowohl für Neubau- als auch für Ertüchtigungsmaßnahmen zu einem frühest möglichen Zeitpunkt in die konzeptionelle Auslegung und die Entwurfsplanungen einzubeziehen.

Das Bedienkonzept ist, sofern generell möglich, nicht nur auf den Bestand anzupassen, sondern sollte vordringlich mit dem dafür verantwortlichen Personal abgestimmt sein.

Die Integration aller Regler in abwassertechnische Leit- und Automatisierungssysteme erfordert gem. DWA M 253 folgenden Anforderungen:

- Vollständige Dokumentation des Steuerungs- und Regelungsverfahrens sowie aller Ein- und Ausgabeparameter,
- Beschreibung der regelungstechnischen Eigenschaften und der Einflussgrößen im Hinblick auf den Prozess,
- Verwendung offener und standardisierter Schnittstellen und Protokolle, wie Feldbusse, Ethernet und OPC,
- Anzeige und Signalisierung der Statusinformation,
- Bereitstellung von Ersatzwertstrategien und Sicherheitskonzepten, Rückfall-Strategien, Einsatz von Methoden der Messwertvalidierung,
- Backup-Funktionen für alle Einstellungen und Parameter,
- Bediener-Interface für Diagnose, Parametrierung und Konfiguration.

6 Ausblick und Schluss

Die verfügbaren universellen Regelungssysteme basieren heutzutage auf den grundlegenden Prinzipien sowohl der Abwasser- als auch der Regelungstechnik. In den meisten Fällen führt der Einsatz zu den gewünschten Erfolgen. Die Vielzahl der möglichen oder erforderlichen Analysen, Parameter, Stellgrößen usw. führt aber wiederum zu notwendigen Folgeaktionen, die oftmals unterschätzt werden. So stellen allein moderne Analysengeräte nicht nur die Messwerte zur Verfügung. Es wird zudem eine Fülle auch an internen Informationen ausgegeben, die z.B. den Zustand des Messgerätes und günstigstenfalls auch den Gültigkeitsstatus beschreiben.

Das Datenvolumen ist dabei noch von untergeordneter Bedeutung. Es ist vielmehr vor allem die Plausibilität der Eingangssignale kontinuierlich zu bewerten. Erfolgt dies nicht, können sich bei unkritischer Nutzung fatale Fehleinschätzungen mit der Gefahr unzulänglicher oder auch unzulässiger Betriebseinstellungen ergeben. Flankierend zu den Regelungsmethoden ist es daher erforderlich, nicht nur technisch abgesicherte Rückfallebenen und Ersatzwertstrategien sondern darüber hinaus auch eine systematische Evaluierung der Messsignale zu implementieren. Dies hat auch zur Folge, dass die bereits in der späten 1980er Jahren erstmals für den Bereich der Abwasserbehandlung untersuchten Expertensysteme in modifizierter Form und auf Basis moderner Datenbanksysteme wieder sinnvolle Anwendung finden sollten bzw. müssen. Langfristig werden dadurch auch die Grundüberlegungen zum Einsatz adaptiver Mehrgrößenregelungen gestützt.

Der programmtechnische Aufwand für diese flankierenden Absicherungen und die Verwaltung relevanter Hintergrundinformationen übersteigt nicht nur bei den Mehrgrößenreglern oftmals denjenigen der eigentlichen Regelungsalgorithmen. Vor allem die Anbindung an das Internet ermöglicht es inzwischen aber auch, ggf. dezentrale Service- und Supportangebote gerade hinsichtlich der Systempflege, Evaluierungen und Optimierungen in Anspruch zu nehmen.

Die inzwischen verfügbaren universellen Regler sind als externe Erweiterung regelungstechnisch mindestens als gleichwertig zu den klassischen SPS-Programmen einzustufen. Sie bieten zudem meist den Vorteil, in konsequenter „Modulbauweise“ von spezialisierten Firmen oder Gruppen erstellt worden zu sein, die Erfahrung mit der interdisziplinären Schnittmenge der Verfahrens- und Regelungstechnik aufweisen.

Die oftmals geäußerte Scheu gerade im Hinblick auf sog. Black-Box-Lösungen greift meist zu kurz. Auch und vielleicht sogar gerade traditionelle SPS-Lösungen sind in einem hohen Maße vom erstellenden Personal abhängig und stellen in der Regel singuläre, projektspezifische Einzelanwendungen dar. Für viele Projekte erscheint es daher durchaus zweckmäßig, die ggf. einfach zu beeinflussende Verfahrenstechnik in besonderer Weise den Möglichkeiten und Varianten der Analysen- und Regelungstechnik anzupassen.

7 Literatur

- Bongers, M., (2003): Betriebsoptimierung von Kläranlagen mit selbstlernenden Reglersystemen, wwt-awt Industrieabwasser, Special 2003, S. 14-17
- Burchard, C.H., (1971): Über den Aussagewert von Ganglinien der Sauerstoffkonzentration im Belebungsbecken, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 46
- Charpentier, J., Florentz, M., David, G. (1987): Oxidation Reduction Potential Regulation, A way to optimize Pollution Removal and Energy, Prog. Wat. Techn., Vol 19, S. 645-655
- DWA Arbeitsblatt A 268 (2015): Automatisierung von einstufigen Belebungsanlagen, Gelbdruck, DWA Hennef
- DWA Merkblatt M 253 (2011): Leit- und Automatisierungstechnik auf Abwasseranlagen, DWA Hennef, ISBN 978-3-941897-70-0
- Henze, M., Grady, C.P.L. Jr, Gujer, W., Marais, G.v.R. and Matsuo, T. (1987): Activated Sludge Model No. 1, (IAWPRC Scientific and Technical Report No. 1.), London: IAWPRC
- Kayser, R. (1987): Regelung der Belüftung von Belebungsanlagen zur Stickstoffelimination, Veröffentlichungen des Institutes für Stadtbauwesen der TU Braunschweig, Heft 42, S. 84-98
- v. d. Emde, W. (1975): Die Kläranlage Wien Blumental-Betriebsergebnisse einer Belebungsanlage ohne Vorklärung zur weitergehenden Entfernung von Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen, Österreichische Abwasserrundschau, Jubiläumsausgabe 1975, S. 73-82

Korrespondenz an:

Dipl.-Ing. Detlef Wedi

Ing.-Büro ATM Abwassertechnik

Friedrich-Seele-Straße 1b

D-38122 Braunschweig

Tel.: +49 (0)531 57 33 43

E-Mail: info@ib-wedi.de

MSR-Technik am Beispiel einer Wasseraufbereitungsanlage in Saudi Arabien

Dr Florian Hell

VA TECH WABAG GmbH

Abstract: Eine Grundwasseraufbereitungsanlage in Saudi Arabien zur Entfernung von Nitrat, Arsen und Verkeimungspotential sollte selektiv und mit höchster Wasserausbeute realisiert werden. Diese Forderungen konnten mit dem WABAG-BIODEN-Verfahren in vollem Umfang erfüllt werden. Neben der klassischen Instrumentierung wurden zahlreiche Online-Analysengeräte zur Überwachung, Steuerung und Regelung der Anlage eingesetzt. Damit kann nicht nur ein stabiler und störungsfreier Betrieb sichergestellt werden, sondern es wird auch eine umfangreiche Qualitätsüberwachung gewährleistet. Die Anlage ist seit September 2010 in Betrieb.

Key Words: Grundwasseraufbereitung, Nitratentfernung, Arsenentfernung, BIODEN, Online Analytik

1 Einleitung

Vergleicht man verfahrenstechnische Anlagen mit lebenden Organismen, so stellen die Instrumente die Sinnesorgane dar, die der Steuerung, dem Gehirn, Informationen über äußere und innere Parameter des verfahrenstechnischen Prozesses liefern. Nur auf Basis dieser Informationen kann der Prozess vorausschauend gesteuert, über Rückmeldungen geregelt und sein Ergebnis beurteilt werden.

Für die Planung der Instrumentierung müssen daher zunächst alle erfassbaren relevanten Parameter der verfahrenstechnischen Prozesse ermittelt werden. Dabei kann man unterscheiden in Parameter für die Steuerung und Regelung, Alarmwerte, Überwachungswerte sowie Parameter zur Ergebnisdarstellung.

Bei der Auswahl der Messgeräte und deren Messprinzipien ist auf erforderliche Genauigkeit, Messbereich, Verfügbarkeit und Wartungsintensität zu achten.

Im Folgenden soll die MSR-Technik und insbesondere die Online-Analytik einer Grundwasseraufbereitungsanlage in Saudi Arabien vorgestellt werden.

2 Die NPPP-Anlage

2.1 Verfahrensauswahl

Die Aufgabe der Anlage ist die Behandlung eines mit erhöhten Nitrat- und Arsengehalten belasteten Grundwassers. Dabei muss die natürliche Wassercharakteristik erhalten bleiben und maximale Wasserausbeute erzielt werden. Diese Forderungen konnten mit dem WABAG BIODEN-Verfahren (F. Hell) erfüllt werden. Die biologische Denitrifikation stellt die selektivste Form der Nitratentfernung dar (Rohmann Sontheimer). Die Flockungsfiltration mit Eisen-III-chlorid der aeroben Nachreinigung ist ein übliches Verfahren zur Arsenentfernung (Gimbl at al.). Die Rückgewinnung der Filtrerrückspülwässer ist ein integraler Bestandteil des BIODEN-Verfahrens, wodurch, im Vergleich zu anderen Verfahren, die höchste Wasserausbeute erzielt wird. Da der Kunde jedoch den Begriff „Biologisch“ mit Abwasserbehandlung verband, wurde das Projekt „Natural Purification and Polishing Plant“ kurz NPPP genannt. Das BIODEN-Verfahren wurde um zwei Besonderheiten ergänzt. Zum einen wurde, aufgrund der hohen Temperatur von durchschnittlich 32°, eine zweite Belüftungsstufe nach der Mehrschichtfiltration eingebaut. Wobei beide Belüftungsstufen mit sauerstoffangereicherter Luft betrieben werden. Zum anderen werden zusätzlich Arsenadsorptionsfilter verwendet. Dies soll einerseits den geforderten Grenzwert von 5µg/l sicherstellen und andererseits die Arsenkonzentration im Abwasserstrom verringern, zumal die Abwassermenge besonders niedrig ist.

2.2 Anlagenkonzept

Das Anlagenkonzept ist in Abbildung 1 und Abbildung 2 dargestellt. Das Rohwasser wird über eine Fernleitung in zwei parallele Rohwassertanks gepumpt. Mittels Rohwasserpumpen wird dann die Anlage gespeist. Zunächst wird der Rohwasserstrom im ersten Split geteilt. Ein Teilstrom fließt über den ersten Arsenadsorptionsfilter. Der zweite Teilstrom durchläuft die Denitrifikation. Da die Denitrifikation nahezu vollständig erfolgt, wird über diesen ersten Split der Nitratgehalt im Produktwasser eingestellt.

Dem Teilstrom der Denitrifikation wird zunächst das Klarwasser aus der Rückspülwasserrückgewinnung zugegeben. Danach erfolgt die Nährstoffdosierung, welche auf Basis der Nitratfracht gesteuert wird. Der Nitratabbau erfolgt in einem abwärtsdurchströmten Festbettfilter. Das denitrifizierte Wasser durchläuft dann die erste Blasensäule zur Sauerstoffanreicherung. Die hohe Turbulenz in der Blasensäule wird auch zur Einmischung von Eisendreichlorid zur Flockung und Arsenadsorption genutzt.

In der anschließenden Zweischichtfiltration erfolgt die Trübstoffabscheidung und aerobe Nachreinigung zum Abbau allfälligen Restsubstrats und Nitritoxidation. Wegen der Sauerstoffzehrung im Zweischichtfilter wird das Wasser sodann wieder mit Sauerstoff angereichert.

Das denitrifizierte Wasser wird schließlich mit dem Ablauf des ersten Arsenadsorptionsfilters vermischt und durchläuft dann die erste Aktivkohlestufe. Die Aktivkohlefiltration dient vor allem als Sicherheitsstufe und der Feinreinigung des aufbereiteten Wassers.

Im zweiten Split wird ein Teilstrom über den zweiten Arsenadsorptionsfilter geleitet. Mittels dieses Splits wird der Arsengehalt des Produktwassers eingestellt. Danach durchläuft das Wasser eine UV-Desinfektion, bevor es in den Produktwassertanks zwischengespeichert wird.

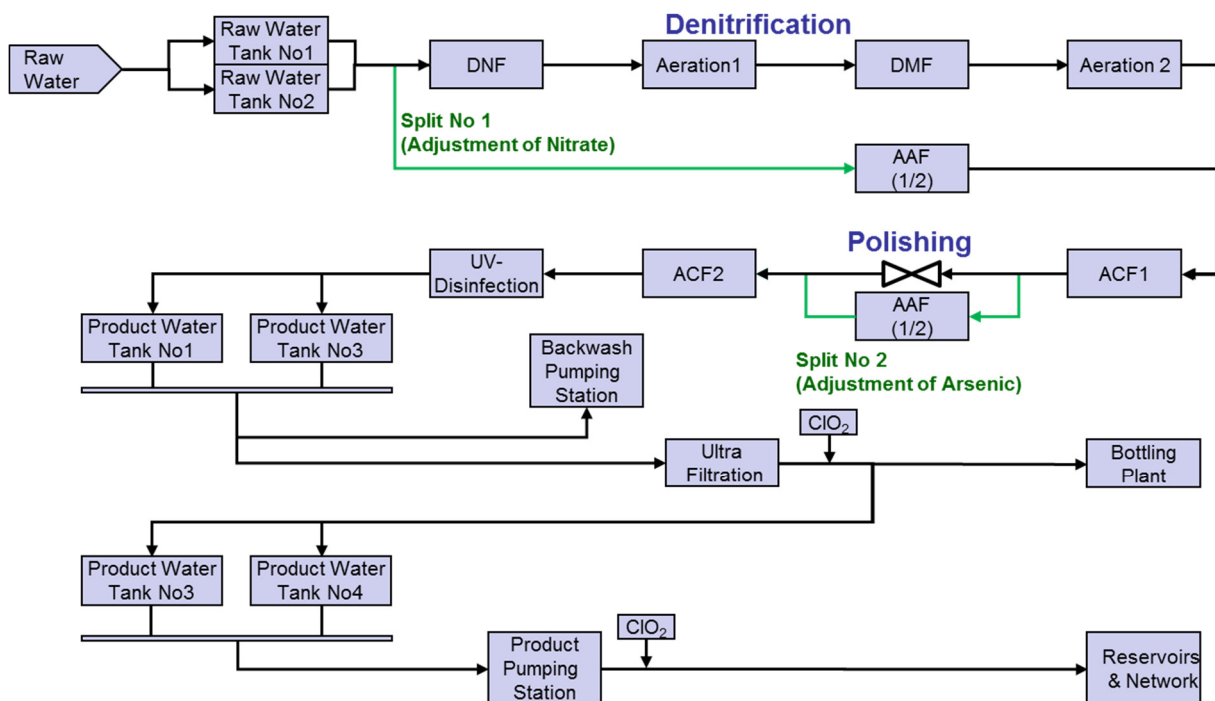


Abbildung 1: NPPP-Blockdiagramm

Im Betrieb zeigte sich jedoch, dass das Produktwasser, vor allem aufgrund der hohen Temperatur und der unzureichenden Filtration der Tank Be- und Entlüftung, nicht keimfrei gehalten werden konnte. Daher wurden als zusätzliche Maßnahmen Chlordioxid dosierungen und eine Ultrafiltration installiert.

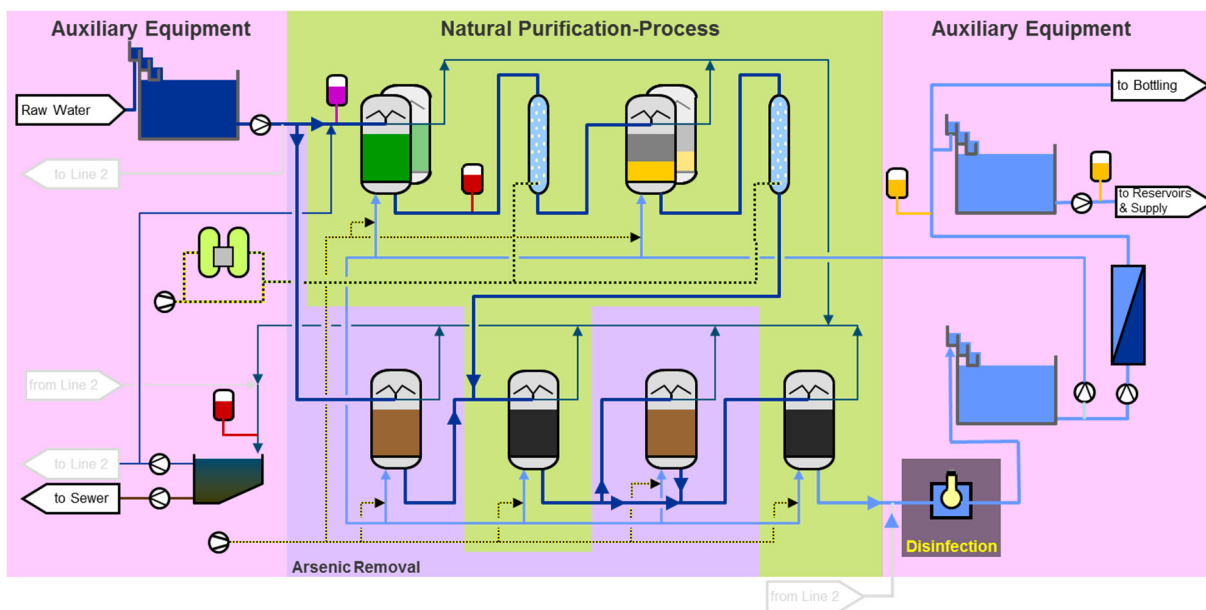


Abbildung 2: Schema der NPPP-Anlage



Abbildung 3: Bild der NPPP-Anlage

Zwei Produktwassertanks dienen als Vorlage für die Ultrafiltration. Im Ablauf der Ultrafiltration wird Chlordioxid dosiert. Danach wird ein Teil des Wassers in Flaschen abgefüllt. Der andere Teil des Produktwassers wird in zwei weiteren Produktwassertanks gespeichert und sodann mittels Produktwasserpumpen in das Verteilnetzwerk gespeist.

Die Rückspülwässer der Tiefenfilter (Denitrifikationsfilter, Zweischichtfilter, Aktivkohlefilter und Arsenadsorptionsfilter) sowie das Rückspülwasser der Ultrafiltration werden über Absetzbecken in den Aufbereitungsprozess zurückgeführt. Nur der Schlamm aus den Absetzbecken wird in die Kanalisation abgeleitet.



Abbildung 4: Bild der NPPP-Ultrafiltration

3 Messtechnik in der NPPP-Anlage

3.1 Instrumentierung

In der konventionellen Instrumentierung werden Durchflüsse magnetisch-induktiv gemessen, Füllstände mittels Ultraschall oder hydrostatisch bestimmt und Drücke piezoelektrisch oder mit Rohrfedermanometern gemessen. Füllstandniveaus, die eine Aktion in der Steuerung auslösen wurden mit Schwimmerschaltern oder kapazitiven Messsonden realisiert.

3.2 Online Analytik

In der NPPP-Anlage ist jedoch vor allem die Online-Analytik interessant.

Im Zulauf und Ablauf der NPPP-Anlage ist jeweils ein Messpanel für fünf Parameter installiert (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5: Messpanel für Nitrat, Trübung, pH-Wert, Sauerstoff und Leitfähigkeit

Ein Probenstrom wird kontinuierlich aus dem Hauptstrom abgezogen und über die Sensoren auf dem Messpanel geleitet. Dabei werden Nitrat, Trübung, pH-Wert, Sauerstoff und Leitfähigkeit kontinuierlich gemessen.

Nitrat wird mittels spektraler Absorption bestimmt. Die Trübung wird mit dem Prinzip der Streulichtmessung ermittelt. Der pH-Wert wird potenziometrisch und der gelöste Sauerstoff wird amperometrisch gemessen. Für die Temperaturkompensation, zur Bestimmung des pH-Wertes und des gelösten Sauerstoffs, ist eine Temperaturmessung erforderlich. Dieser Temperaturmesswert wird ebenfalls an die zentrale Datenerfassung übermittelt.

Die Leitfähigkeit und damit ein Maß für den Salzgehalt des Wassers werden mittels Konduktivitätsmessung bestimmt.

Die Nitratmessung des Rohwasserpanels dient der Steuerung der Substratdosierung. Dabei wird aus Nitratkonzentration und Durchfluss des Denitrifikationsteilstromes die Nitratfracht errechnet und diese bestimmt dann die erforderliche Substratdosierung.

Im Ablauf der Denitrifikationsfilter ist eine weitere Online-Nitratmessung zusammen mit einer Online-Nitritmessung installiert. Diese Messwerte dienen als Rückmeldung zur Feinjustierung der Regelung für die Substratdosierung.

Weiters wurden zur Überwachung der Roh- und Reinwassers Online-Analysatoren für Härte, gelöstes Eisen und Arsen installiert.

Die Online-Messungen von Nitrit, Härte und Eisen wurden mittels automatisierter colorimetrischer Messungen realisiert (siehe Abbildung 6).



Abbildung 6: Colorimetrischer Online Analysator

Bei dieser Art der Messung wird dem Hauptstrom ein kleiner definierter Probenstrom entnommen und in einem Reaktionsgefäß mit entsprechenden Analysechemikalien versetzt. Je nach Konzentration des zu analysierenden Stoffes tritt eine bestimmte Färbung auf, welche photometrisch bestimmt wird und daraus wird die Konzentration ermittelt.

Die Online-Arsenmessung (Abbildung 7) erfolgt mittels elektrochemischer Messung (Coulometrie). Eine Probe wird automatisch aus dem Wasserstrom entnommen. Das Wasser wird in eine Messzelle mit Detektionselektroden gepumpt. Die Elektroden messen die Konzentration der Metalle in kurzer Zeit. Dieses Verfahren wird zum Beispiel jede Stunde wiederholt, um Schwankungen im Tagesverlauf ermitteln zu können. Die Elektroden werden automatisch gereinigt, damit immer eine optimale Analyse gewährleistet werden kann. Die Qualität d.h. Genauigkeit des Ergebnisses ist mit der aus dem Labor vergleichbar.



Abbildung 7: Online-Arsen-Analysator

3.3 Labor Analytik

Neben der umfangreichen Online-Analytik ist die NPPP-Anlage auch mit einem Betriebslabor ausgestattet. Dies dient zur weiteren Überwachung des Prozesses und zur Überwachung und Kalibrierung der Online-Messtechnik.

Die Laborausrüstung umfasst mobile Geräte zur Messung von, pH-Wert, Leitfähigkeit und Sauerstoff, ein Labortrübungsmessgerät, einen Messkoffer zur Arsenanalyse und ein Photometer für Küvettentests. Standardanalysen sind hier die Parameter Nitrat, Nitrit, Phosphat, Eisen und Arsen.

Die Proben für die Laboranalytik werden normalerweise während der Routinekontrollen gezogen. Die Anlage ist jedoch auch mit zwei automatischen Probenahmegegeräten für Rohwasser und Produktwasser ausgerüstet, welche Proben in variablen Zyklen oder Tagesmischproben nehmen können.

Grundsätzlich ist das Betriebslabor auch mit einem Autoklaven und Sterilfiltrationsgerät zur Keimzahlbestimmung mittels Nährkartonscheiben ausgerüstet. Die Hygienischen Analysen werden jedoch im übergeordneten Qualitätslabor, welches auch die die Flaschenabfüllanlage, die Rohwasserversorgung und das Verteilnetzwerk überwacht, durchgeführt.

4 Ergebnisse und Betriebserfahrungen

4.1 Allgemeine Ergebnisse

Die Anlage ist seit September 2010 in Betrieb und hatte bis Ende 2015 einen Gesamtdurchsatz von 3.618.200 m³.

Tabelle 1 zeigt einen Vergleich der Design-Daten mit den durchschnittlichen Betriebsdaten. Aufgrund der Brunnenschüttung ist die Aufbereitungskapazität auf maximal 3000 m³/d limitiert.

Beim Parameter Nitrat wurde seit Betriebsbeginn eine allmähliche Halbierung des anfänglichen Rohwasserwertes von 100 mg/l auf 55 mg/l festgestellt. Der Arsengehalt im Rohwasser ist relativ stabil. Die Verkeimung des Rohwassers kann aufgrund der zahlreichen Barrieren in der Aufbereitung zuverlässig entfernt werden. Nährstoffe werden vollständig entfernt. Jedoch hat sich gezeigt, dass für einen zuverlässigen Netzschutz und zur Sicherung der Langzeitstabilität des Produktwassers eine geringe Chlordioxid dosierung erforderlich ist.

Sonstige Parameter und damit die Charakteristik des Wassers werden durch die Aufbereitung nicht verändert, unterliegen jedoch einer gewissen Schwankungsbreite.

Tabelle 1: Vergleich der Design und Betriebsdaten der NPPP-Anlage

Parameter	Design	Betrieb
Tagesdurchsatz	2 x 3000 m ³ /d	Mittelwert: 1 900 m ³ /d Minimum: 1 000 m ³ /d Maximum: 3 300 m ³ /d
Nitrat Rohwasser	Bis zu 200 mg/l	Mittelwert: 71,5 mg/l Minimum: 45,0 mg/l Maximum: 102,0 mg/l
Nitrat Produktwasser	≤ 45 mg/l	Mittelwert: 32 mg/l Minimum: 17 mg/l* Maximum: 40 mg/l
Arsen Rohwasser	45 µg/l	Mittelwert: 34 µg/l Minimum: 12 µg/l* Maximum: 43 µg/l
Arsen Produktwasser	≤ 5 µg/l	Mittelwert: 4 µg/l Minimum: 0 µg/l Maximum: 9 µg/l
Temperatur	Bis zu 38°	30 – 34°C
Keimzahl Rohwasser	Nicht auszählbar	Nicht auszählbar
Keimzahl Produktwasser	0	0

*Verdünnung durch Produktrezirkulation

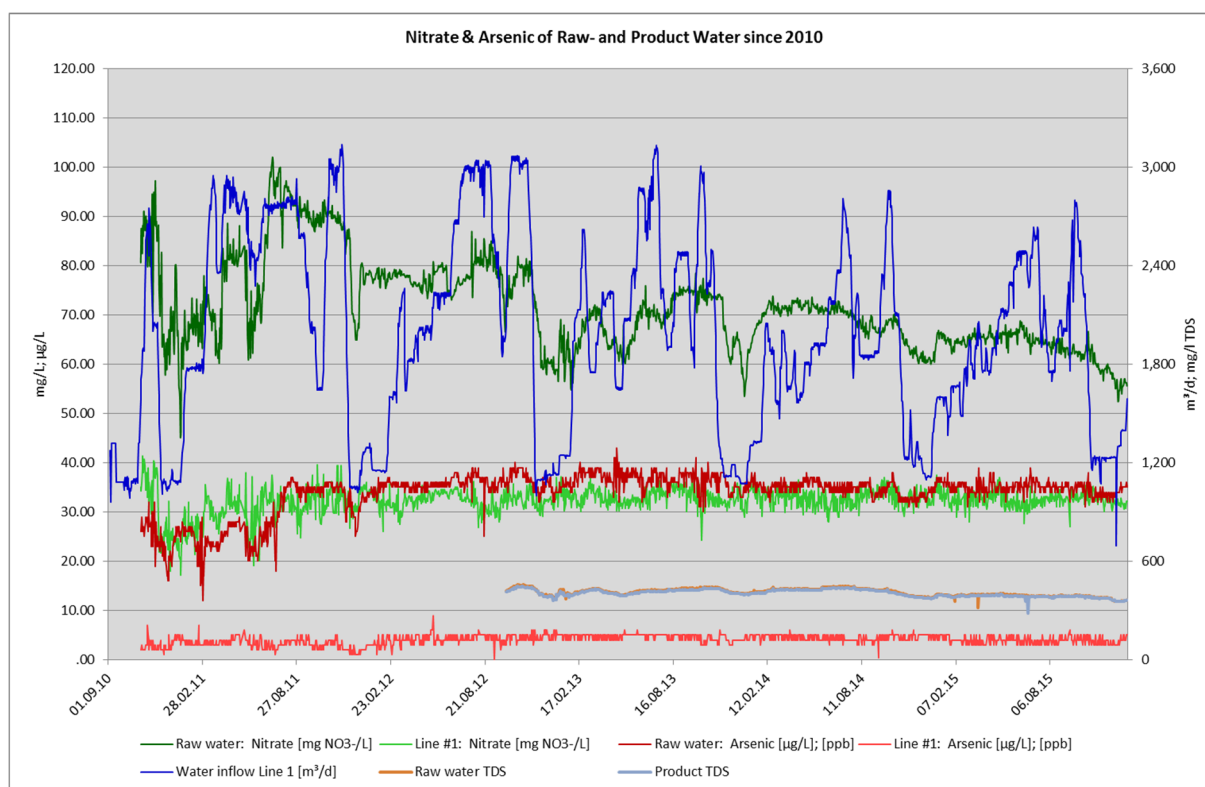


Abbildung 8: Betriebsdaten der NPPP-Anlage 2010 bis 2015

Abbildung 8 zeigt eine Zusammenfassung der Betriebsdaten der NPPP-Anlage in der Zeit von September 2010 bis 31. Dez. 2015. Der Anlagendurchsatz unterliegt sehr starken saisonalen Schwankungen. Auch der Nitratgehalt des Rohwassers schwankt erheblich und zeigt generell fallende Tendenz. Die Produktkonzentration wurde jedoch konstant auf den Zielwert knapp über 30 mg/l eingestellt. Der Arsengehalt des Rohwassers ist relativ konstant und wurde zuverlässig auf den Zielwert von 5 µg/l eingestellt. Der Salzgehalt des Wassers weist eine geringe natürliche Schwankung auf, wird jedoch durch die Aufbereitung nicht verändert.

4.2 Betriebserfahrungen mit der Online-Analytik

Bei entsprechender Wartung funktionieren alle installierten Online-Analysengeräte sehr zuverlässig. Jedoch konnten Spezialchemikalien nicht importiert werden. Einige gängige Chemikalien und Reagenzien, wie etwa Küvettentests oder Pufferlösungen, konnten am lokalen Markt beschafft werden. Die Reaktionschemikalien und Standards der Online-Analysatoren für Nitrit, Härte, Eisen und Arsen waren allerdings nicht erhältlich. Daher mussten diese Geräte nach dem Verbrauch der Erstfüllungen außer Betrieb genommen werden. Da der Prozess sehr stabil läuft und Änderungen geplant und mit langsamer Auswirkung auftreten, konnte der Ausfall dieser Online-Geräte sehr gut durch die Laboranalytik kompensiert werden.

Grundsätzlich sollte bereits bei der Planung der Instrumentierung, insbesondere der Online-Analytik, auf die spätere Verfügbarkeit von Verbrauchsmaterialien, Verschleißteilen und Ersatzteilen geachtet werden. Im Zweifelsfall sollte auf Geräte, welche Spezialchemikalien benötigen, verzichtet werden. Wenn es Alternativen gibt, sind diese zu bevorzugen. So gibt es z.B. mittlerweile auch Nitrit-messungen auf Basis der spektralen Absorption. Bei der Prozessanalytik ist in jedem Fall entsprechende Redundanz durch Laboranalytik vorzusehen.

5 Literatur

Gimbel, Jekel und Gießfeld, "Wasseraufbereitung – Grundlagen und Verfahren" pp.: 562-567, Oldenbourg Industrieverlag GmbH 2004

F. Hell, "Biological denitrification of ground water – 8 years full scale experiences with the BIODEN-process", Biofiltration Congress Mülheim / Ruhr; IWA Publishing 2006. Published by IWA Publishing, London, UK

Rohmann und Sontheimer, "Nitrat im Grundwasser – Ursachen, Bedeutung, Lösungswege"; DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte Institut der Univ. Karlsruhe 1985

Korrespondenz an:

Dr. Florian Hell

VATECH WABAG GmbH

Dresdnerstrasse 87-91

A-1200 Wien

Tel.: +43-1-25105-4375

Mail: florian.hell@wabag.com

Einsatz moderner MSR-Technik zur Überwachung der Leistungsfähigkeit von Nachklärbecken

André Spindler, Martin Armbruster

hydrograv GmbH, Dresden

Abstract: Nachklärbecken bilden die Schnittstelle zwischen Kläranlage und Umwelt. Ihre Leistungsfähigkeit hängt von der gegebenen Geometrie, der aktuellen Zulaufmenge sowie der Konzentration und den Absetzeigenschaften des Belebtschlammes ab. Konkurrierende Optimierungsziele – ein hoher TS-Gehalt in der Belebung wirkt sich günstig auf die Ablaufqualität aus, führt in Verbindung mit einem ungünstigen Schlammindex aber auch schnell zu Flocken- oder Schlammabtrieb im Mischwasserfall – stellen eine große Herausforderung für einen sicheren Anlagenbetrieb dar. Zur Gewährleistung eines zuverlässigen Betriebes von Nachklärbecken auch im Grenzbereich ihrer Belastbarkeit wird ein System zur Prognose der zu erwartenden Schlamm Spiegel bei Mischwasserzufluss vorgestellt. Auf Anlagen mit festem Maximalzulauf ermöglicht es eine frühzeitige Einschätzung der verbleibenden Leistungsreserven der Nachklärbecken. Für Anlagen mit variablem Mischwasserzufluss wird die maximal mögliche Zulaufmenge ausgegeben. Die Prognosen beruhen auf 2-dimensionalen strömungsmechanischen Simulationen. Das System läuft auf einem separaten, eigenständigen Rechner. Die erforderlichen Eingangsdaten werden kontinuierlich und automatisch über eine geeignete (unidirektionale) Schnittstelle vom Leitsystem übernommen. Warnungen bei kritischen Betriebszuständen können per E-Mail oder SMS versandt werden.

Key Words: Strömungssimulation, Schlammmanagement, Prädiktives Steuern

1 Einleitung

Die Abwasserreinigung nach dem Belebtschlammverfahren unterliegt vielfältigen Randbedingungen. Diese sind ihrerseits starken Veränderungen auf unterschiedlichsten Zeitskalen, von wenigen Minuten über Tage bis hin zu jahreszeitlichen Einflüssen, ausgesetzt. Die bescheidgemäße Reinigung des Abwassers ist trotz der stark variablen Zulaufcharakteristik insbesondere des Kläranlagenzuflusses Q_{KA} , der Stofffrachten aus dem Einzugsgebiet und der

Temperatur jederzeit aufrecht zu erhalten. Im Belebtschlammverfahren bestimmt diese Vorgabe nicht nur die biologisch-chemisch dominierten Prozesse im Belebungsbecken. Auch der störungsfreie Ablauf der strömungsmechanisch dominierten physikalischen Prozesse in den Nachklärbecken (NKB) ist unter allen Randbedingungen zu gewährleisten. Dabei stellen die NKB in aller Regel die Schnittstelle der Kläranlage zur Umwelt dar, haben als „letzte Barriere“ also eine besonders exponierte Stellung.

Die variablen Zulaufmengen zur Kläranlage stellen nicht nur wechselnde Anforderungen an die Biozönose im Belebungsbecken. Sie verändern im Zusammenspiel mit dem Jahresgang der Temperatur und anderen betrieblichen Einflüssen auch direkt die mikroskopischen und makroskopischen Eigenschaften des Belebtschlammes. Dadurch variieren der Trockensubstanzgehalt in den Belebungsbecken (TS_{BB}) sowie der Schlammindex ISV in einem teils erheblichen Ausmaß, eine Verdoppelung bzw. Halbierung im Verlauf eines Jahres lässt sich regelmäßig beobachten (Abbildung 1).

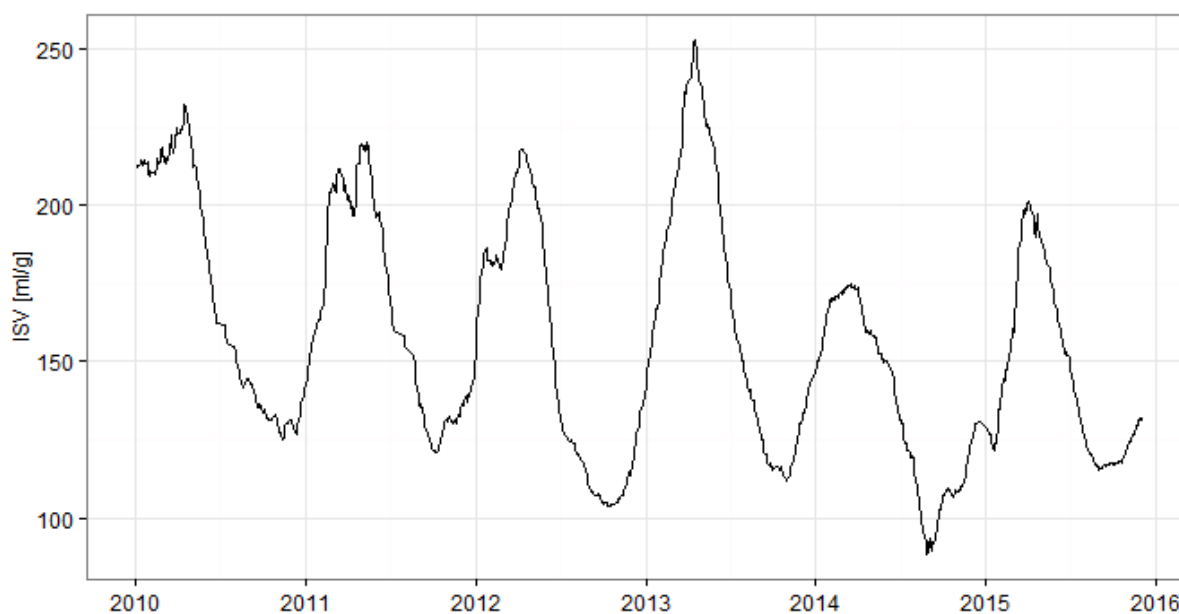


Abbildung 1: Beispiel starker jahreszeitlicher Schwankungen des ISV, geglättete Werte einer realen Kläranlage.

Die verschiedenen dynamischen Einflussfaktoren auf den Prozess der Abwasserreinigung haben unterschiedliche, teils konträre Auswirkungen. Dadurch wird die Gewährleistung eines jederzeit betriebssicheren Gesamtsystems sowohl für den Planer als auch für den Betreiber wesentlich komplexer als es die statische Betrachtungsweise gemäß den einschlägigen Bemessungsvorschriften nahelegt. So wird im Betrieb vieler Kläranlagen häufig ein Schlammalter deutlich über dem Bemessungswert gewählt. In vielen Fällen kommt dies der subjektiven

Wahrnehmung (des Betreibers) eines „sicheren“ Anlagenbetriebes entgegen. Ob sich ein TS-Gehalt über dem biologisch erforderlichen Wert negativ auf den Energieverbrauch auswirkt, ist noch nicht vollständig geklärt [1]. Die hydraulische Belastbarkeit der Nachklärbecken und somit der gesamten Kläranlage wird hingegen durch einen unnötig hohen TS-Gehalt (bei konstantem ISV) unmittelbar reduziert.

Das minimal notwendige Schlammalter und damit der minimal erforderliche TS-Gehalt der Belebungsstufe ergeben sich aus der Forderung nach weitgehender Nitrifikation und hängen insbesondere von der realen Wachstumsgeschwindigkeit der nitrifizierenden Biomasse ab. Das maximal zulässige Schlammalter einer Belebungsstufe wird dagegen im Wesentlichen durch die hydraulischen Bedingungen im Nachklärbecken (NKB) definiert. Das Arbeitsblatt DWA-A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“ definiert die Grenzen der Schlammvolumenbeschickung dabei auf Basis einer pauschalen statischen Betrachtung. Aus der Forderung nach Einhaltung einer maximalen Schlammvolumenbeschickung ergibt sich unter Annahme eines (konstanten) ISV direkt der maximal zulässige Trockensubstanzgehalt des Belebtschlammes. Dieser bestimmt bei gegebenem Belebungsvolumen wiederum das maximal erreichbare Schlammalter.

Die Grenzen dieser statischen Betrachtungsweise werden in Abbildung 2 deutlich. In diesem Beispiel herrschen – aus Sicht der statischen Bemessung – völlig identische Randbedingungen, die Schlammvolumenbeschickung beträgt $502 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, dies entspricht der zulässigen Grenzbelastung. Die Schlammvolumenbeschickung q_{SV} ist proportional dem Produkt aus der Zulaufmenge Q_{KA} und dem Schlammvolumen $V_{\text{SV}_{\text{BB}}}$, wobei das Schlammvolumen wiederum durch den Trockensubstanzgehalt TS_{BB} und die Absetzeigenschaften des Belebtschlammes (ISV) bestimmt wird. Die gleiche Schlammvolumenbeschickung kann also durch unterschiedliche Kombinationen aus TS_{BB} und ISV erreicht werden. Allein eine moderate Variation dieser beiden Kennwerte bestimmte in der strömungsmechanischen Simulation im Beispiel (Abbildung 2) den Unterschied zwischen einem Versagen des Nachklärbeckens (Schlammabtrieb) und einem zuverlässigen Betrieb.

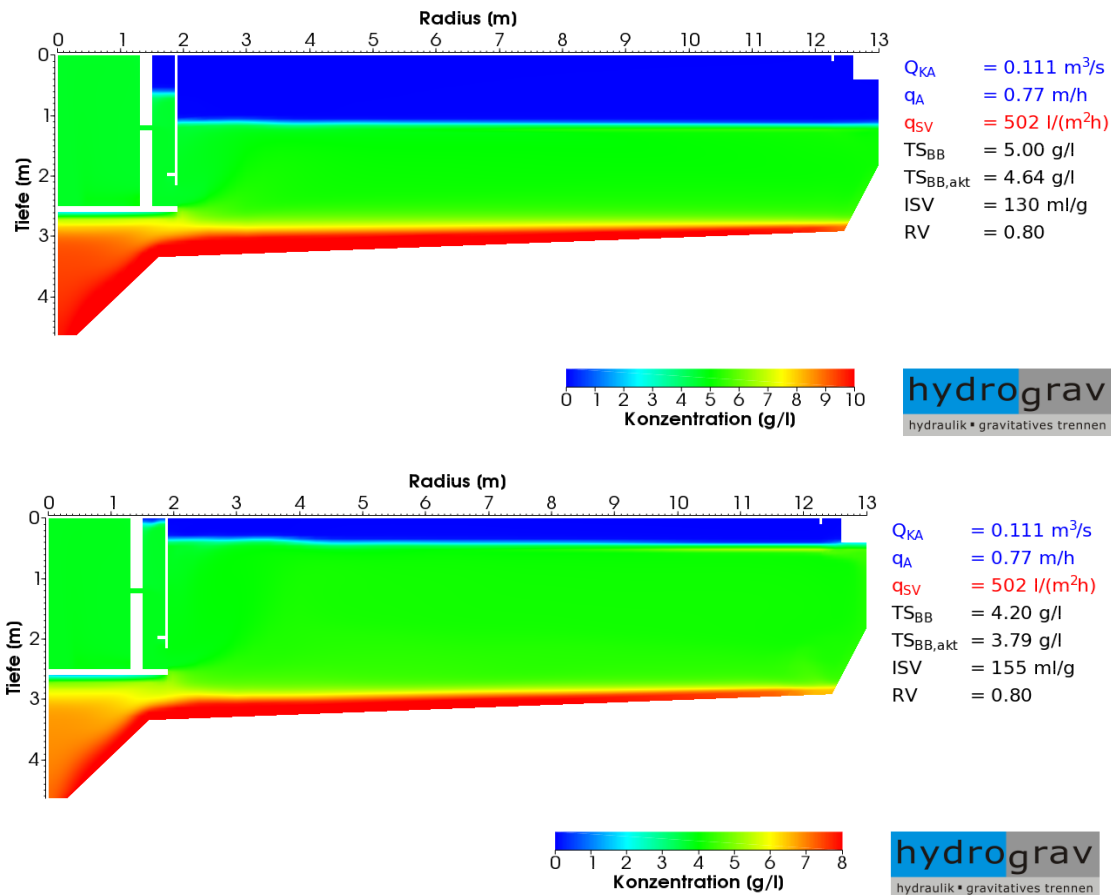


Abbildung 2: Ergebnisse einer numerischen Strömungssimulation. Lediglich TS_{BB} und ISV wurden variiert, die Schlammvolumenbeschickung bleibt konstant.

Zusätzlich zu dieser Betrachtung ist anzumerken, dass der statische Bemessungsansatz lediglich auf das 85 %-Perzentil des ISV abstellt, obwohl die Nachklärbecken selbstverständlich auch bei den höchsten auf der Kläranlage auftretenden Schlammindezes, also dem 100 %-Perzentil des ISV , Mischwasserbelastungen betriebssicher behandeln müssen. Dieser Anspruch wird (in Deutschland) durch das Abwasserabgabengesetz (§4 Abs.4) untermauert, welches eine drastische Erhöhung der Abwasserabgabe bereits im einmaligen Versagensfall (z.B. durch Überlastung der NKB) vorsieht.

Die tatsächliche betriebssichere Belastungsgrenze der Nachklärbecken ist von verschiedenen Randbedingungen abhängig, die die statische Bemessung nicht berücksichtigt. Dies sind zum Beispiel die Detailgeometrie der Nachklärbecken und der Einlaufbauwerke, das Volumenverhältnis von Belebungsbecken und Nachklärbecken sowie die aktuelle „Vorgeschichte“ der Belastung, also zum Beispiel die Schlammverlagerung zu Beginn einer Belastungserhöhung oder auch aktuelle Außerbetriebnahmen von Teilen der Belebungsbecken.

Während also das kleinste erforderliche Schlammalter explizit auf Grundlage der bekannten biologischen Zusammenhänge in Abhängigkeit der

Umgebungsvariablen (insbesondere der Temperatur) berechnet werden kann, ergibt sich die obere Grenze des Schlammalters de facto aus einem Grenzwert, der nur ansatzweise die Geometrie sowie die hydraulische Beschickung des Nachklärbeckens einbezieht. Die selteneren, mit 15 % Anteil aber immer noch an 55 Tagen im Jahr tatsächlich auftretenden hohen Schlammindizes werden lediglich mit einer impliziten pauschalen „Sicherheitsreserve“ berücksichtigt. Die vielfältigen internen Strömungsprozesse, die direkten Einfluss auf die Belastbarkeit eines Nachklärbeckens haben, werden in einer statischen Abschätzung nicht beachtet (vgl. dazu [2]).

Der vorliegende Beitrag beschreibt einen Ausweg aus diesem Dilemma. Auf Grundlage aktueller Belastungswerte kann mittels Strömungssimulationen die aktuelle hydraulische Belastbarkeit der Nachklärbecken – und damit der gesamten Kläranlage – ermittelt werden. Numerische Strömungssimulationen sind ein bewährtes Werkzeug zur Abbildung der physikalischen Prozesse in Nachklärbecken (sowie anderen Bauwerken einer KA). Dies wurde im Rahmen zahlreicher Optimierungsprojekte bestätigt. CFD-Simulationen werden heute zur Dimensionierung von Nachklärbecken ebenso erfolgreich eingesetzt wie zur strömungsmechanischen Optimierung der Einlauf- und Ablaufbauwerke.

2 Ziele

Im hier beschriebenen Anwendungsfall ist die laufende Überwachung der Leistungsfähigkeit der Nachklärbecken einer Anlage Gegenstand der Untersuchung. In Abhängigkeit der jeweils aktuellen Eigenschaften des Belebtschlammes soll stets die maximal behandelbare Menge an Mischwasser übernommen werden. Dies wird durch permanent parallel zum Kläranlagenbetrieb laufende Strömungssimulationen verwirklicht. Alle bekanntermaßen für die Belastbarkeit der NKB relevanten Randbedingungen werden online erfasst und fließen unmittelbar in prognostizierende Strömungssimulationen ein. Die numerische Strömungssimulation bietet hierbei im Vergleich zur statischen Berechnung eine deutlich genauere Vorhersage der jeweils aktuellen hydraulischen Belastbarkeitsgrenze des NKB. Dies erlaubt, im Fall drohender Überlastung bereits vor einem Mischwasserereignis Gegenmaßnahmen zu ergreifen oder wie im gegenständlichen Fall die Übernahme der behandelten Mischwassermenge anzupassen. Durch die Übernahme der hydraulisch jeweils maximal möglichen Abwassermenge wird ein wesentlicher Beitrag zur Reduktion von Mischwasserentlastungen in die Vorfluter geleistet.

3 Methoden

Zur Umsetzung der beschriebenen Ziele wurde die Software *hydrograv proload.sms* entwickelt. Sie ermöglicht die laufende Überwachung der Leistungsfähigkeit der Nachklärbecken auf Grundlage von Online-CFD-Simulationen. Es können einerseits Szenarien für die Variation von Zulaufmenge, RV, TS und ISV definiert und anschließend simuliert werden. Andererseits kann die maximal mögliche Zulaufmenge bei den gegenwärtigen Schlamm-eigenschaften ermittelt werden. Dazu ist eine ständige Erfassung der Eingangsgrößen für die Simulation erforderlich. Die einzelnen Simulationen werden in geeigneten Intervallen auf Grundlage der jeweils aktuellen Parameter gestartet.

Der modulare Aufbau der Überwachungssoftware ermöglicht die Implementierung zusätzlicher Funktionalitäten. Eine Gegenüberstellung des tatsächlichen mit dem erforderlichen Schlammalter wurde kürzlich implementiert und demnächst ausgeliefert. Dem Anlagenbetreiber werden damit die notwendigen Informationen zu Verfügung gestellt, die einen optimalen Betrieb im Spannungsfeld zwischen erforderlichem und zulässigem Trockensubstanzgehalt in der Belebungsstufe ermöglichen. Zum gegenwärtigen Entwicklungsstand sind keine Eingriffe der Überwachungssoftware in die Anlagensteuerung vorgesehen.

Das System zur Überwachung der Leistungsfähigkeit von Nachklärbecken mittels Online-CFD-Simulationen besteht aus der Datenübernahme vom bestehenden Prozessleitsystem (über Soft-SPS), einem Dienst für das Datenmanagement und den Versand von Meldungen (Backend), der Simulationsumgebung sowie einer grafischen Benutzeroberfläche (GUI). Zur Entkoppelung der Computersysteme auf der Kläranlage wird die gesamte Installation auf einem eigenen Server aufgelegt, welcher u.a. die entsprechenden Datenbanken und eine virtuelle Maschine als Simulationsserver beinhaltet. Eine direkte Einbindung in das bestehende Prozessleitsystem zur Darstellung der Simulationsergebnisse ist ebenfalls möglich, für die Funktion des Systems an sich aber nicht erforderlich.

3.1 Datenanforderungen und –management

Folgende Mess- und Anlagenkennwerte sind als Eingangsparameter für die hydraulische Simulation erforderlich:

- Zulaufvolumenstrom (Wert aus Online-Messung)
- Rücklaufschlammvolumenstrom bzw. Rücklaufverhältnis (Wert aus Online-Messung)
- TS-Gehalt im Zulauf zum Nachklärbecken (Wert aus Online-Messung)

- Schlammvolumenindex (Laborwert, wird über eine Eingabemaske an das System übergeben)
- Aktueller Schlamm Spiegel im Nachklärbecken (Wert aus Online-Messung bzw. Ersatzwert aus Simulation des IST-Zustandes)
- Beckengeometrie – insbesondere Volumen, Oberfläche, Gestaltung von Einlauf- und Ablaufbauwerken (aus Bestandsunterlagen)

Die benötigten Daten werden regelmäßig nacheinander vom PLS übernommen und in einer separaten Datenbank gespeichert. Von dort aus können sie für die Erstellung der Simulationen herangezogen werden. In diese Datenbank werden auch die Simulationsergebnisse für die weitere Verwendung durch die Benutzeroberfläche zurückgeschrieben.

3.2 CFD-Simulationen

Der Simulationsserver ist ein leistungsstarkes Computersystem mit einer Simulationsumgebung, die automatisiert strömungsmechanische Simulationen durchführt. Dabei kommt der numerische Solver *hydrograv proload.cfd* zum Einsatz. Dieser beinhaltet das gesamte Wissen der Firma *hydrograv* im Bereich der strömungsmechanischen Effekte und des Schlammabsetzverhaltens in der Nachklärung. Das System ermittelt in regelmäßigen Zeitintervallen den Betriebszustand der Nachklärbecken, erstellt aus den ermittelten Daten CFD-Simulationen und führt diese anschließend selbstständig aus.

Drei unterschiedliche Varianten hydraulischer Simulationen kommen zum Einsatz. Die initiale Simulation des IST-Zustandes dient der laufenden Modell-Verifizierung und Kontrolle der gemessenen Schlammspiegellagen. Sind Schlammspiegelmessungen nicht vorhanden oder unplausibel, liefert sie die Ausgangsdaten (Zustandsvariablen) für die Prognosesimulationen. Die Simulation des IST-Zustandes wird mit den zum Zeitpunkt des Simulationsbeginns aktuellen Betriebswerten bis zum Gleichgewichtszustand gerechnet (konstante Schlammspiegellage). Der TS-Gehalt im Zulauf des Nachklärbeckens entspricht dem aktuellen Messwert.

Als Zweites wird die Schlammspiegellage bei Mischwasserzufluss prognostiziert. Auch diese Simulation rechnet bis zum Gleichgewichtszustand. Dabei wird der Effekt der Schlammverlagerung aus dem BB ins NKB beachtet, der am Beginn von Niederschlagsereignissen im Regelfall zu einer deutlichen Abnahme des TS-Gehaltes im Zulauf zur Nachklärung führt (Abbildung 3). Der Gleichgewichtszustand der Schlammspiegellage ist gleichzeitig der maximal erreichbare Schlamm Spiegel bei gegebener Zulaufmenge, Rücklaufverhältnis und Schlammeigenschaften. Daher

können die Prognosen als konservativ gelten. In der Realität wird der entsprechende maximale Schlamm Spiegel nur bei lang anhaltenden Mischwasserzuflüssen erreicht.

Drittens erfolgt eine Abschätzung des maximal möglichen Mischwasserzuflusses. Dazu wird in der Simulation, wiederum ausgehend vom simulierten IST-Zustand, schrittweise die Zulaufmenge bis zum Versagen des Nachklärbeckens erhöht. Auch bei dieser Simulation wird der Rückkopplungseffekt auf den TS-Gehalt im Zulauf der Nachklärung beachtet.

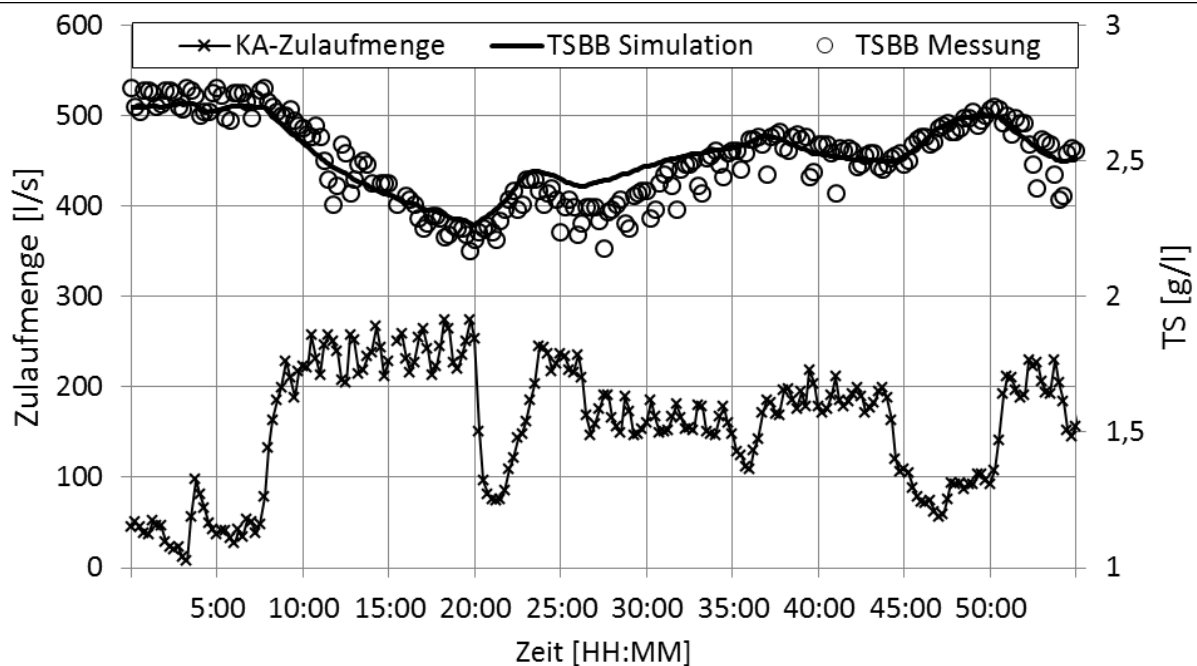


Abbildung 3: Der Effekt der Schlammverlagerung führt zu einer Reduktion der TS-Konzentration im Belebungsbecken bei Mischwasserzufluss. Im dargestellten Ereignis bedeutet die Reduktion des TS_{BB} von 2,7 auf 2,3 g/l eine Verlagerung von 15% des gesamten Belebtschlammes in die Nachklärung.

3.3 Technische und fachliche Begleitung

Mit dem Schlammmanagementsystem *hydrograv proload.sms* wurde ein neuartiges Werkzeug zur vorausschauenden Überwachung der Absetzvorgänge in Nachklärbecken entwickelt. Um die dauerhafte Zuverlässigkeit des noch jungen Systems zu gewährleisten und mit Blick auf die weitere Optimierung erfolgt derzeit eine ständige technische und fachliche Begleitung durch die Firma *hydrograv*. So werden beispielsweise die berechneten Prognosen für Mischwasserereignisse mit den tatsächlich erzielten Schlammspiegellagen abgeglichen. Das implementierte Datenmanagement erlaubt die Wiederholung einzelner Simulationen mit identischen Ausgangsparametern. Eine entsprechende Auswertung ist in Abbildung 4 dargestellt, sie zeigt in grau die Ablaufmenge der KA und dazu die gemessenen Schlamm Spiegel (SS) im NKB sowie die Prognosen der Schlammspiegellage im IST-Zustand sowie im Mischwasserfall

($Q_M \approx 800 \text{ m}^3/\text{h}$). Gemessener und simulierter Schlamm Spiegel zeigen eine gute Übereinstimmung, die Simulation erweist sich wie erwartet als konservativ.

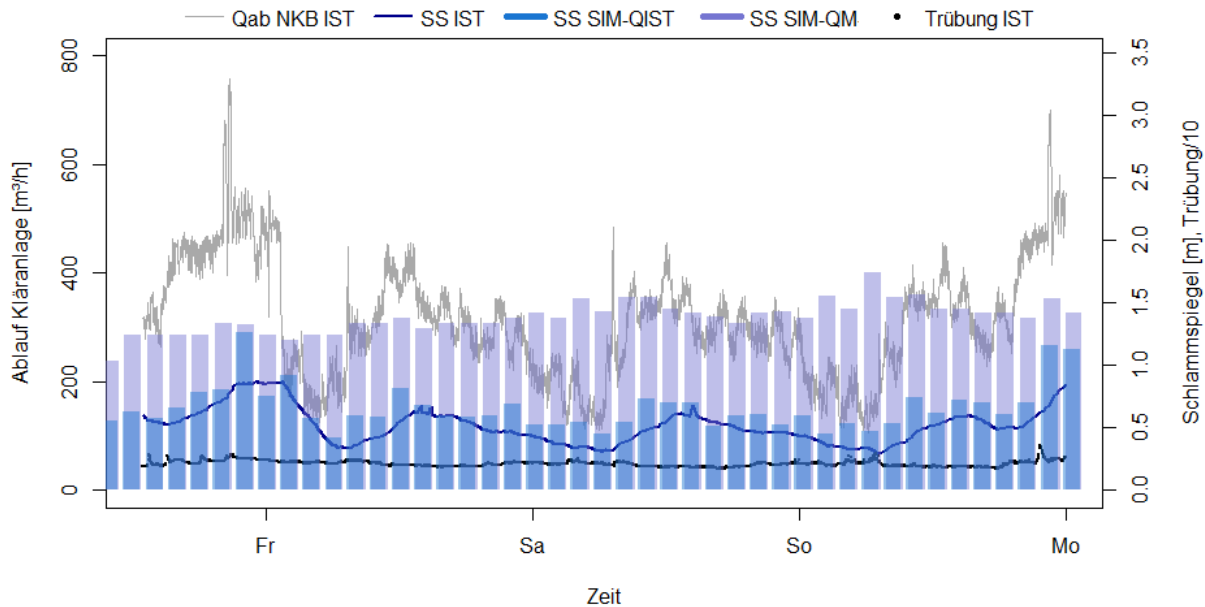


Abbildung 4: Auswertung der Simulationsergebnisse und Abgleich mit Messwerten im Rahmen der technischen und fachlichen Begleitung.

4 Anwendung

Zur Darstellung der Prognosen über die Leistungsfähigkeit der Nachklärbecken greift „proload.sms“ auf die grafische Benutzeroberfläche *hydrograv Manager* zurück. Dieser wurde für die Überwachung der adapt-Bauwerke (höhenverstellbare Einlaufbauwerke für NKB) entwickelt. Er bietet neben einer Darstellung der wesentlichen Betriebsparameter eine Übersicht der aktuellen und prognostizierten Schlammspiegellagen (Abbildung 5). Eine wahlweise grafische oder tabellarische Darstellung sämtlicher relevanter Betriebsparameter (inkl. Export-Funktion) ermöglicht die Analyse zurückliegender Ereignisse.

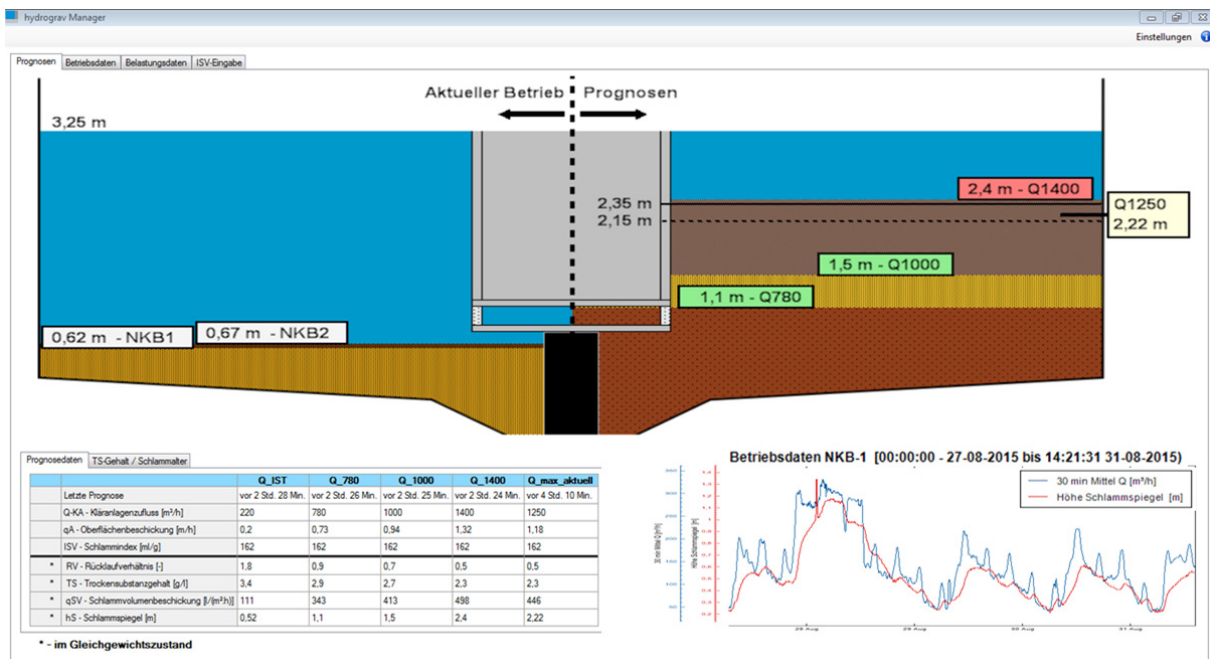


Abbildung 5: Grafische und tabellarische Darstellung der Mess- und Simulationsergebnisse im *hydrograv Manager*

Die im Labor zu bestimmenden Schlammvolumenindizes (ISV) werden über eine Eingabemaske wahlweise direkt eingegeben oder vom Programm aus den Messwerten des Trockensubstanzgehaltes sowie des Vergleichsschlammvolumens berechnet. Der jeweils aktuellste Wert wird für die Simulationen herangezogen. Über ein Einstellungs Menü können darüber hinaus Warn- und Alarmgrenzen für bestimmte Simulationsergebnisse definiert werden, um das Betriebspersonal rechtzeitig über kritische Zustände zu informieren (E-Mail bzw. SMS).

5 Ausblick

Derzeit wird der Einsatz des Schlammmanagementsystems *hydrograv proload.sms* auf weiteren Kläranlagen vorbereitet. Darunter befinden sich auch solche, auf denen die Nachklärbecken mit adaptiven Einlaufbauwerken ausgerüstet sind. Es handelt sich häufig um Anlagen mit ungünstigen Absetzeigenschaften des Belebtschlammes, hohen Anforderungen bzgl. abfiltrierbarer Stoffe (afS) im Ablauf oder hoher hydraulischer Belastung im Mischwasserfall.

Eine geplante Erweiterung des Funktionsumfangs von *hydrograv proload.sms* sieht eine kontinuierliche begleitende Simulation des IST-Zustandes vor. Gegenwärtig wird in geeigneten Intervallen eine Simulation unter den aktuellen, aber konstanten Belastungsparametern bis zur Gleichgewichtslage des

Schlammspiegels durchgeführt. Indem diese durch eine kontinuierliche Simulation – inklusive Abgleich mit dem gemessenen Schlamm Spiegel – ersetzt wird, steht eine genauere Abschätzung des Ausgangszustandes für die Prognosesimulationen zur Verfügung. Damit wird die dynamische Strömungssimulation noch präzisere Aussagen über die Zuverlässigkeit von Nachklärbecken im Grenzbereich ihrer Belastbarkeit ermöglichen.

Die Belastbarkeit der Nachklärbecken stellt jedoch nur einen Zwangspunkt beim Betrieb der biologischen Abwasserreinigung dar. Ebenso gilt es, das erforderliche Schlammalter zu beachten, um stets eine möglichst vollständige Nitrifikation zu gewährleisten. Auch zur Vorhersage der Auswirkung von Einzelereignissen auf die biologische Reinigungsleistung (z.B. im Mischwasserfall) ist der herkömmlich statische Bemessungsansatz nicht geeignet. Daher wird auf mittlere Sicht auch die Prognose der Auswirkungen von Mischwasserereignissen auf die gelösten Ablaufkonzentrationen, insbesondere Ammonium-Stickstoff, angestrebt. Dazu ist die dynamische biologische Simulation mit der Strömungssimulation zu verknüpfen.

Die Bypassführung zusätzlichen Mischwassers direkt in die Nachklärbecken ist eine weitere, noch wenig verbreitete Möglichkeit, die Belastung der empfangenden Gewässer bei Regenereignissen spürbar zu reduzieren (siehe u.a. [3]). Auch in diesem Bereich konnten bei der Firma *hydrograv* bereits Erfahrungen gesammelt werden, die erforderlichen Anpassungen können im konkreten Anwendungsfall schon heute in die Simulation integriert werden.

6 Literatur

DWA-A 131 „Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen“.

- [1] Henkel, J. (2010). Oxygen Transfer Phenomena in Activated Sludge. Dissertation. IWAR 210. TU Darmstadt.
- [2] Armbruster M. (2004). Untersuchung der möglichen Leistungssteigerung von Nachklärbecken mit Hilfe numerischer Simulationen. Dissertation, Universität Karlsruhe.
- [3] Günther N., Ahnert M., Kühn V. (2014). Bypassführung von Mischwasser - Möglichkeiten und Grenzen. KA Korrespondenz Abwasser, Abfall 61 (4) 300-309.

Korrespondenz an:

Dr. Martin Armbruster

hydrograv GmbH

Eisenstückstr. 46

01069 Dresden

Deutschland

Tel.: +49 (351) 811 355-0

Mail: m.armbruster@hydrograv.com

Aktuelle Technologien zur Regelung der Sauerstoffzufuhr

Wilhelm Frey

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung, Leobendorf

Abstract: Im vorliegenden Beitrag werden die anlagentechnischen Komponenten von Druckbelüftungssystemen behandelt. Der Schwerpunkt liegt auf den Belüfterelementen, den Gebläsen sowie den Einrichtungen zur Luftvolumenstromverteilung. Es werden die Einsatzbereiche im Hinblick auf das Regelverhalten aufgezeigt. Insbesondere wird die Veränderung der Wirtschaftlichkeit der Komponenten bei unterschiedlicher Belastung besprochen.

Key Words: Belüfterelemente, Gebläse, Verdichter, Regelbereich, Wirtschaftlichkeit

1 Einführung

Zur Anpassung der Sauerstoffzufuhr an den Sauerstoffverbrauch sind Veränderungen in der Betriebsweise des Belüftungssystems erforderlich. Im Focus der Überlegungen steht die Auswahl der Komponenten des Belüftungssystems. Im Rahmen dieses Vortrages soll der Einfluss der Systemkomponenten im Regelbereich auf die Wirtschaftlichkeit beschrieben werden.

2 Belüfterelemente

Auf Kläranlagen werden Belüfterelemente aus starrporösem Material (z.B. mineralische Körner, gebranntes Material, Kunststoffgranulat) und Elastomeren verwendet. An Bauformen werden häufig Belüfterelemente in Form von Tellern, Rohren und Platten eingesetzt. In diesem Beitrage wird nur eine Kurzdarstellung gegeben. Weiterführende Informationen findet man z.B. im DWA Regelwerk [1].

2.1 Material

2.1.1 Starrporöse Belüfterelemente

Bei starrporösen Belüfterelementen bestimmt die Korngröße die Größe der Hohlräume und damit die Blasengröße und den Druckverlust.

Bei grober Körnung ergeben sich große Zwischenräume und es entstehen große Blasen. Belüfter mit großen Körnern haben eine geringere Verstopfungsanfälligkeit aber auch im Betrieb eine geringe Wirtschaftlichkeit.

Diese Belüfterelemente werden in der Regel für kontinuierliche Belüftung verwendet. Bei intermittierendem Betrieb tritt Schlamm in die Poren ein und die Belüfter können verstopfen.

2.1.2 Belüfterelemente aus Elastomeren

Alle auf Elastomeren basierenden Belüftungselemente sind für den intermittierenden Betrieb geeignet, da sie beim Abschalten weitgehend selbstabdichtend sind.

Folgende Elastomere werden für Belüfterelemente (Membranbelüfter) eingesetzt:

- EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Terpolymer)
- PU (Polyurethan)
- Silikon

Belüfterelemente aus EPDM haben eine gute Beständigkeit gegen übliche Abwasserinhaltsstoffe und eine hohe mechanische Festigkeit. EPDM ist kein „reiner“ Kunststoff, sondern besteht aus einigen „Zutaten“. Je nach Rezeptur und Verarbeitung ergeben sich Unterschiede in den Gebrauchseigenschaften.

Polyurethan (PU) ist sehr reißfest und gegen viele Chemikalien beständig. Die Einsatztemperatur von PU ist mit ca. 30°C nach oben begrenzt, darüber ist die Dauerfestigkeit reduziert.

Abwasserbelüfter aus Silikon sind chemisch sehr beständig und werden daher gerne bei Vorhandensein von besonderen Abwasserinhaltsstoffen (Industrieabwasser) eingesetzt. Im Vergleich zu anderen Materialien hat Silikon eine geringere Weiterreißfestigkeit und muss sorgfältig verarbeitet werden.

2.2 Bauform

Die häufigsten Bauformen von Belüfterelementen sind:

- Rohrbelüfter (Quarzsand/Kunstharzgemisch, Elastomere mit Stützkörper):
Durchmesser: 50 mm - 100 mm; Länge: 500 mm - 1.000 mm
- Tellerbelüfter (Quarzsand/Kunstharzgemisch, Elastomere):
Durchmesser: 200 - 500 mm
- Plattenbelüfter (Elastomere):
Breite: 100 mm bis 1000 mm; Länge: 2.000 mm bis 4.000 mm

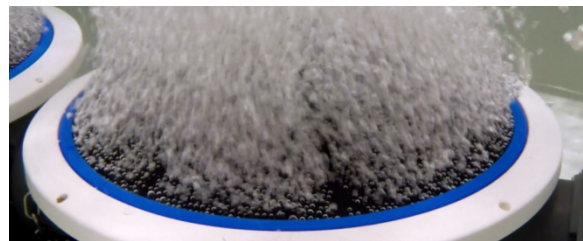
Der Grundkörper bei einem Membranbelüfter besteht in der Regel aus Kunststoff.

2.3 Betriebseigenschaften

Belüfterelemente haben eine minimale und eine maximale Luftbeaufschlagung mit der sie betrieben werden können. Die Spreizung des minimalen zum maximalen Luftdurchsatz beträgt bei Teller- und Rohrbelüftern ca. 1:5 und bei Plattenbelüftern ca. 1:8. Außerhalb dieses Betriebsbereiches kann ungleichmäßiges Abgasen auftreten. In Abbildung 1 ist der selbe Belüfter mit unterschiedlicher Luftbeaufschlagung zu sehen.



ca. 1,5 m³/h



ca. 4,0 m³/h

Abbildung 1: Abgasen bei unterschiedlicher Luftbeaufschlagung

Der Druckverlust von Belüfterelementen steigt mit der Luftbeaufschlagung. Die Sauerstoffausnutzung sinkt mit der Luftbeaufschlagung. Aufgrund dieser Tatsachen nimmt die Wirtschaftlichkeit mit zunehmender Luftbeaufschlagung ab.

Der Druckverlust eines Belüfterelementes setzt sich aus dem Druckverlust des Grundkörpers und dem Druckverlust der Membran bzw. des Frittenkörpers zusammen. Der Druckverlust des Grundkörpers wird wesentlich vom Vorhandensein einer Notlaufkonstruktion und/oder einer Rückschlagsicherung bestimmt. Bei großen Luftdurchsätzen wird der Druckverlust der Drossel größer als der Druckverlust der Membran.

Systembedingt verfügen bestimmte Membranbelüfter über eine Notlaufeinrichtung (Drossel) und/oder eine Rückschlagsicherung. Die Notlaufeinrichtung reduziert den Luftdurchsatz, falls die Membran beschädigt wird. Die Rückschlag-

sicherung verhindert das Eindringen von Wasser (und Schlamm) in das Rohrleitungssystem bei Beschädigungen der Membran oder bei intermittierendem Betrieb. In Abbildung 2 ist für einen Tellerbelüfter der Druckverlust des Grundkörpers und der Druckverlust der Membran getrennt dargestellt.

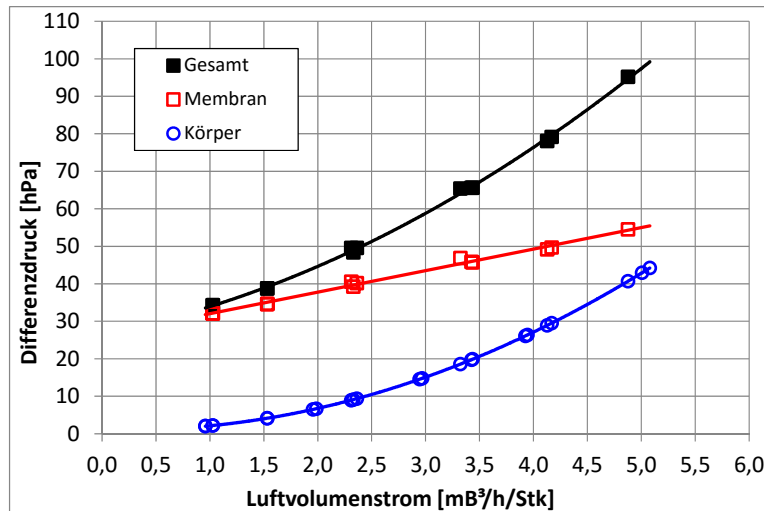


Abbildung 2: Druckverlust Grundkörper - Membran

Wird eine Membran beschädigt, nimmt der Druckverlust der Membran deutlich ab. In diesem Fall steigt der Luftvolumenstrom durch den Belüfter und es steigt der Druckverlust des Körpers bis der Gesamtdruck so groß ist wie der Druckverlust eines unbeschädigten Belüfterelementes. Im gezeigten Beispiel (Abbildung 2) ist das bei ca. 3 – 4 fachem Luftvolumenstrom der Fall.

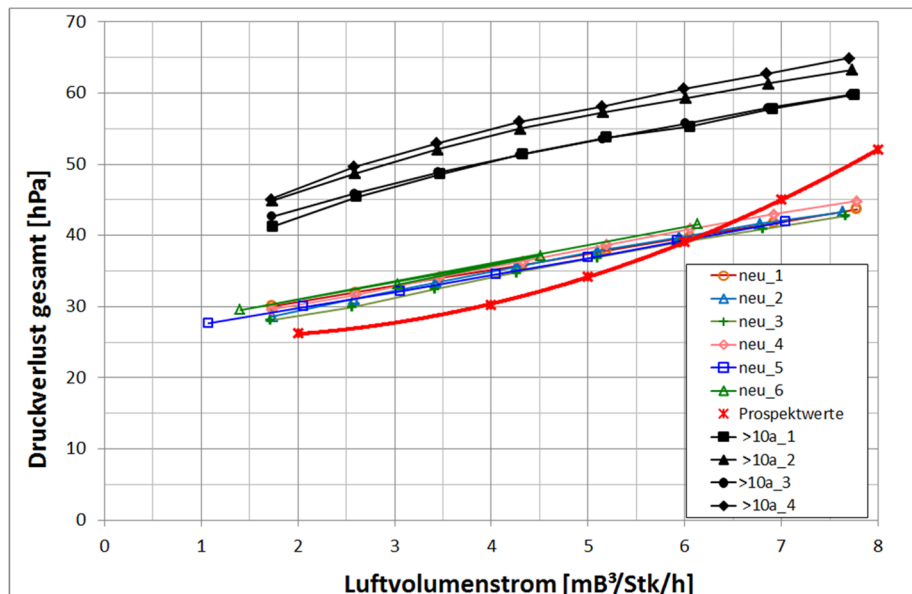


Abbildung 3: Druckverlust bei unterschiedlicher Luftbeaufschlagung

In der Abbildung 3 ist der Druckverlust von EPDM Tellerbelüftern in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung zu sehen. Es sind der im Prospekt angegebene Wert, eigene Messwerte mehrerer neuer Referenzbelüfter und der Druckverlust

gebrauchter Belüfter nach einer Einsatzdauer von mehr als 10 Jahren eingetragen.

In der Abbildung 4 sind verschiedene Ausführungen von Notlaufeinrichtungen zu sehen. Die einfachste Form ist eine Drosselbohrung, der Druckverlust steigt bei größer werdendem Luftdurchsatz rasch an. Andere Systeme haben im üblichen Betriebsbereich aufgrund variabler Strömungsquerschnitte einen flacheren Verlauf des Druckanstieges.

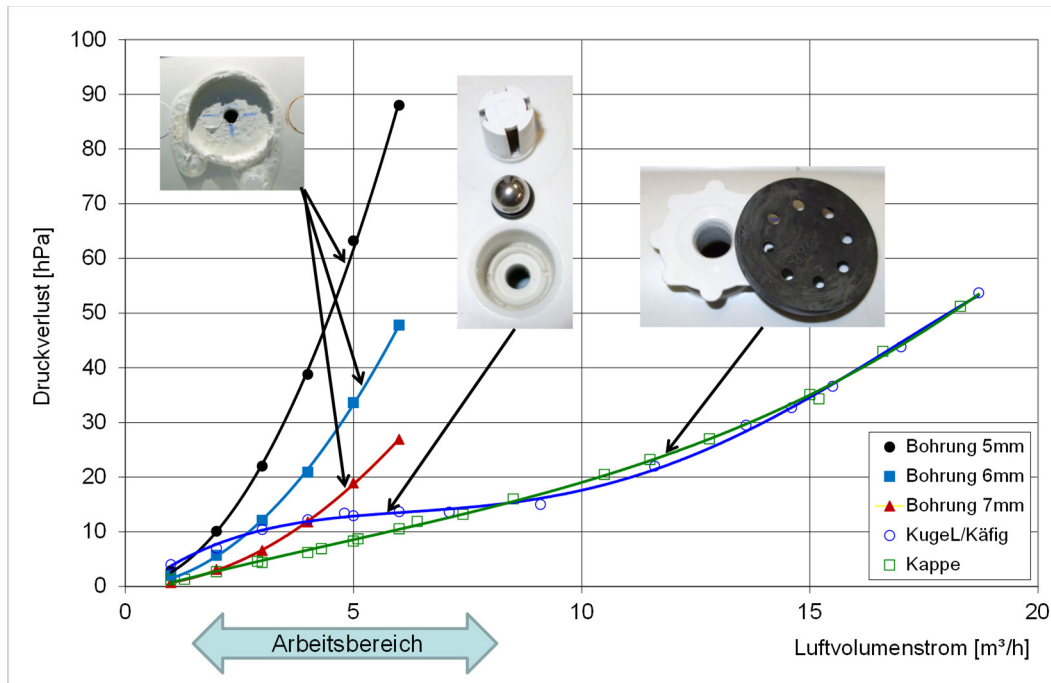


Abbildung 4: Druckverlust der Notlaufeinrichtung

Der Druckverlust der Rohrleitungen und Armaturen muss kleiner sein als der Druckverlust der Belüfterelemente, da es sonst zu einer ungleichmäßigen Luftverteilung kommen kann. Der Druckverlust der Belüfterelemente ist daher wichtig für die Luftverteilung innerhalb eines Beckens bzw. Belüfterfeldes.

In der Abbildung 5 ist die Sauerstoffausnutzung von EPDM Tellerbelüftern in Abhängigkeit der Luftbeaufschlagung zu sehen. Es sind der im Prospekt angegebene Wert und eigene Messwerte an neuen Referenzbelüftern bei unterschiedlicher Belegungsdichte und Einblastiefe zu sehen.

Die Wirtschaftlichkeit eines Druckbelüftungssystems wird mit dem Sauerstoffertrag angegeben.

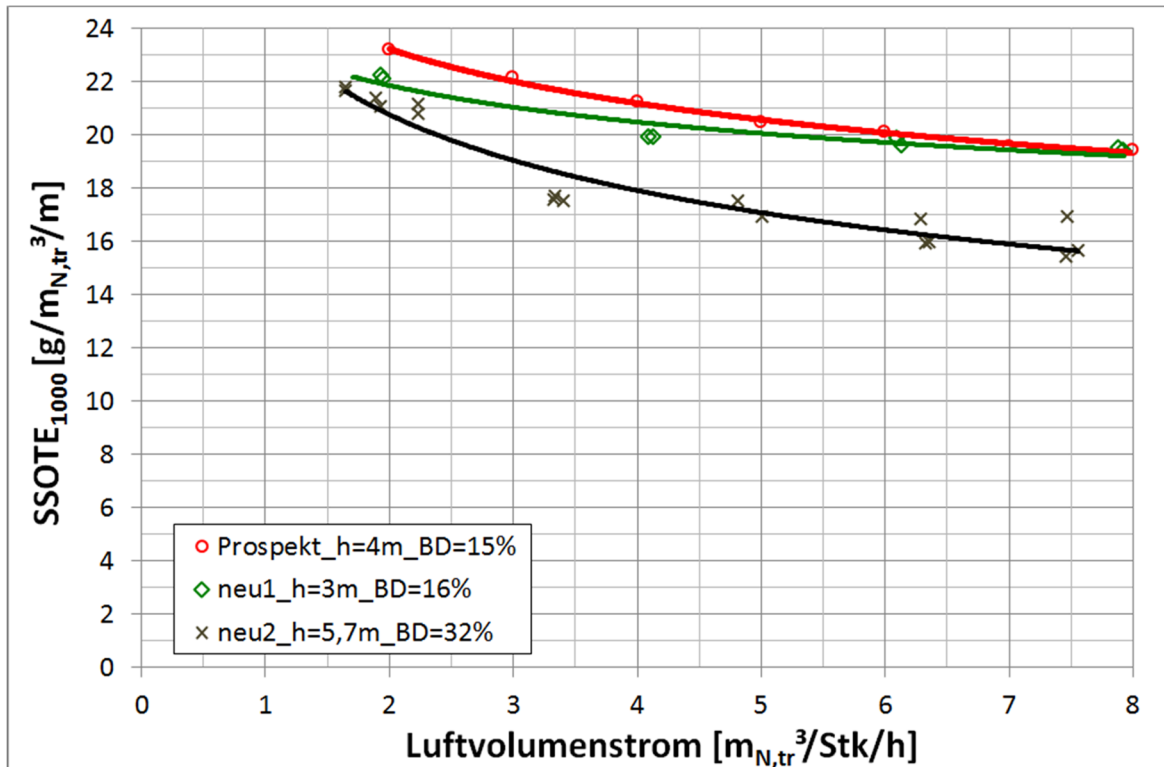


Abbildung 5: Sauerstoffausnutzung bei unterschiedlicher Luftbeaufschlagung

In der Abbildung 6 ist auf Basis der Prospektwerte von EPDM Belüfterelementen für ein Beispiel (Einblastiefe, Zustandsgrößen der Luft, Belegungsdichte, etc.) die Abhängigkeit des Sauerstoffertrages (in Reinwasser) von der Luftbeaufschlagung dargestellt.

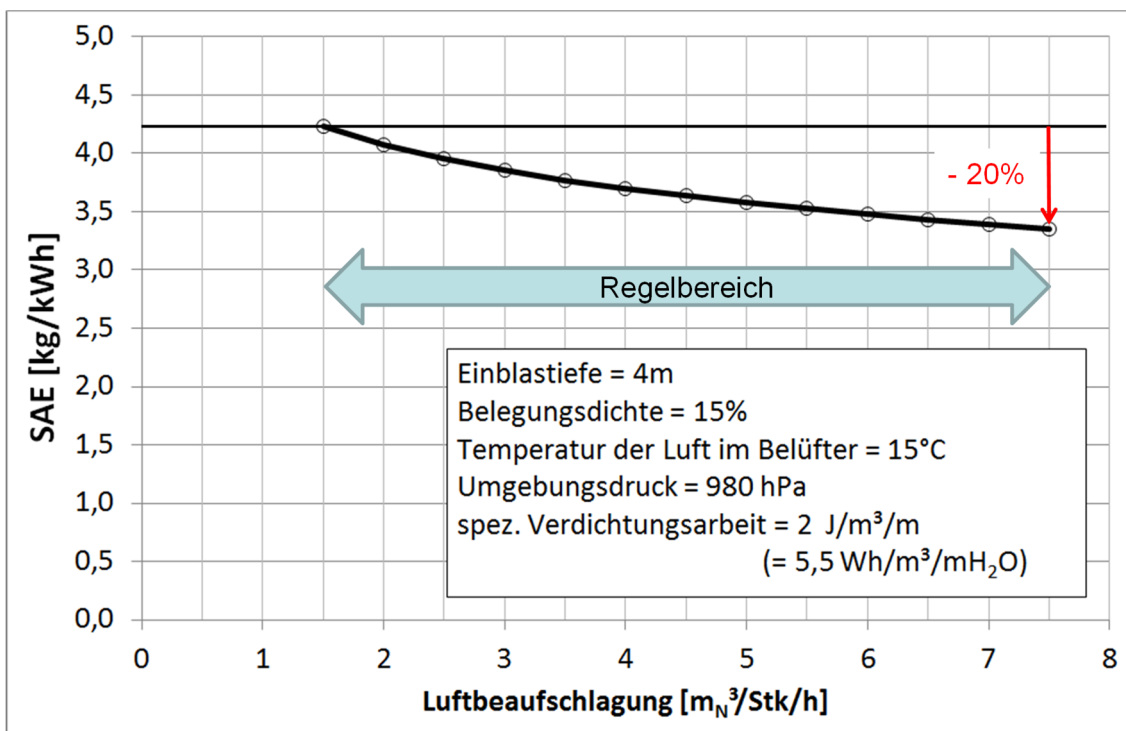


Abbildung 6: Sauerstoffertrag bei unterschiedlicher Luftbeaufschlagung

Der wirtschaftliche Betrieb erfordert eine sorgfältige und realistische Festlegung der erforderlichen Sauerstoffzufuhr. Wird das Belüftungssystem zu groß dimensioniert treten Probleme mit ungleichförmigem Abgasen auf. Es wurde auch beobachtet, dass Belüfterelemente die lange Zeit nur mit minimaler Luftbeaufschlagung betrieben wurden einen größeren Druckverlust haben, als solche die mit etwas höherer Luftbeaufschlagung betrieben wurden.

Wird das Belüftungssystem zu klein dimensioniert, sinkt die Wirtschaftlichkeit durch die größere Luftbeaufschlagung. Beide Fälle sind auf Kläranlagen anzutreffen.

Günstig ist es die Belüfter in Feldern zusammenzufassen und bei Bedarf die Anzahl der beaufschlagten Felder zu verändern. So kann die Luftbeaufschlagung in einen günstigen Bereich verschoben werden.

Regelmäßige Kontrollen des Systemdruckes lassen eine Beeinträchtigung der Wirtschaftlichkeit eines Belüftungssystems erkennen. Erforderliche Wartungsmaßnahmen und Entscheidungshilfen zur Festlegung des Austauschzeitpunktes findet man in der Literatur z.B. [2], [3], [4].

3 Gebläse

Je nach Wassertiefe und Anlagengröße kommen unterschiedliche Druckluftheizer (Gebläse, Verdichter) zum Einsatz.

Es kann eine Einteilung nach dem Druckverhältnis vorgenommen werden. Danach wird zwischen

- Ventilator: Enddruck p_2 /Anfangsdruck p_1 kleiner 1,1 (1,3)
- Gebläse: p_2/p_1 ca. 1,1 bis 2,0 (3,0)
- Verdichter: p_2/p_1 ca. 3 bis 50 bar

unterschieden. Diese Einteilung wird im täglichen Sprachgebrauch nicht immer korrekt verwendet. Auch im vorliegenden Beitrag wird nicht immer exakt zwischen Gebläse und Verdichter unterschieden.

Zur Belüftung der Belebungsbecken werden auf Kläranlagen überwiegend folgende Maschinen eingesetzt:

- Drehkolbengebläse mit geraden Kolbenflanken
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 500 - 5.000 m³/h und einem Überdruck von max. 1000 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 25 – 100%.

- Drehkolbengebläse mit verschraubten Kolbenflanken
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 500 - 5.000 m³/h und einem Überdruck von max. 1500 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 25 – 100%.
- Schraubenverdichter
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 1.000 - 8.000 m³/h und einem Überdruck von max. 2.000 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 25 – 100%.
- Strömungsgebläse (Turboverdichter einstufig) mit konstanter Drehzahl, mit Vorleitgitter und Diffusor
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 3.000 - 30.000 m³/h und einem Überdruck von max. 2.000 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 40 – 100%.
- Strömungsgebläse (Turboverdichter einstufig) mit variabler Drehzahl (Frequenzumrichter), ohne Vorleitgitter und Diffusor
Typische Einsatzbereiche liegen bei einem Luftvolumenstrom von 2.000 - 15.000 m³/h und einem Überdruck von max. 1.000 hPa. Der Regelbereich beträgt ca. 40 – 100%.

Der Verdichtungsprozess in einer Drehkolbenmaschine unterscheidet sich deutlich vom Verdichtungsprozess in einem Turbogebläse [5]. Bei gleichem nutzbaren Luftvolumenstrom und gleichen Randbedingungen benötigt die Turbomaschine weniger Antriebsleistung. Der Unterschied wird durch steigenden Differenzdruck und sinkenden Ansaugdruck verstärkt.

Die Wirtschaftlichkeit der Druckluftherzeugung kann durch die spezifische Verdichtungsarbeit angegeben werden [6]. Es wird empfohlen die spezifische Verdichtungsarbeit in SI Einheiten anzugeben. Man erhält dann eine dimensionslose Kennzahl für die Verdichtungsarbeit, es gilt: $1 \text{ [J/m}^3\text{/Pa]} = 1 \text{ [-]}$. Für die Umrechnung können die Faktoren aus Tabelle 1 verwendet werden:

Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren für die spezifische Verdichtungsarbeit

	J/m ³ /Pa	Wh/m ³ /bar	Wh/m ³ /mH ₂ O
1 J/m ³ /Pa	1	27,78	2,725
1 Wh/m ³ /bar	0,036	1	0,0981
1 Wh/m ³ /mH ₂ O	0,367	10,2	1

Weitere Details zu den eingesetzten Gebläsen findet man in [7].

3.1 Gebrauchseigenschaften von Verdrängergebläsen im Regelbetrieb

Die Anpassung der Druckluftherzeugung an den Luftbedarf, erfolgt bei Verdrängermaschinen durch Veränderung der Kolbendrehzahl.

Ein Aggregat mit niedriger spezifischer Verdichtungsarbeit hat einen guten Wirkungsgrad und benötigt weniger Antriebsleistung.

Einen grundlegenden Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Aggregates hat die Antriebseinheit (Elektromotor, Frequenzumrichter, etc.).

Die spezifische Verdichtungsarbeit steigt, d.h. die Wirtschaftlichkeit sinkt, mit sinkendem Ansaugluftdruck und steigender Ansaugtemperatur

Bei Drehkolbenmaschinen steigt die spezifische Verdichtungsarbeit im Regelbetrieb mit steigender Druckerhöhung (Spaltverluste) und mit sinkender Kolbendrehzahl.

Aus der Abbildung 7 ist ersichtlich, dass je nach Baugröße ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Minimum der spezifischen Verdichtungsarbeit, in Abhängigkeit des Betriebspunktes vorhanden ist. Einzelne Maschinen benötigen im Teillastbetrieb eine 10 - 20% größere spez. Verdichtungsarbeit. Dieser Sachverhalt ist bei Gebläseauswahl zu berücksichtigen.

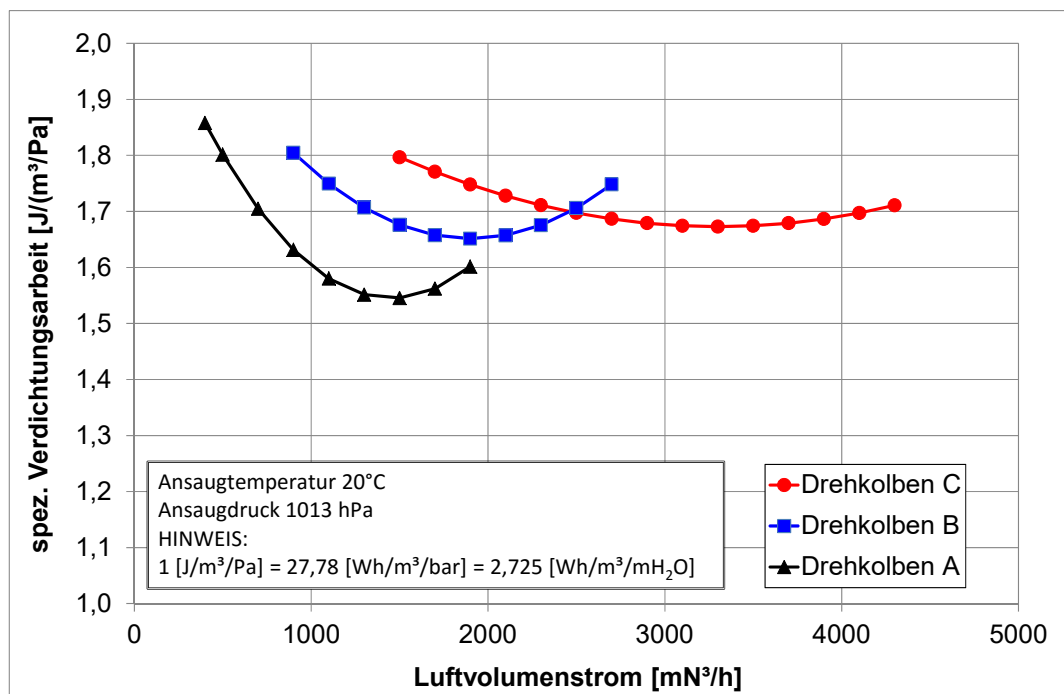


Abbildung 7: Drehkolbengebläse; spez. Verdichtungsarbeit in Abhängigkeit des Luftvolumenstromes

Drehkolbengebläse können in kurzen Zeiträumen ein- und wieder ausgeschaltet werden. Eine Limitierung ist durch die thermische Belastung des Aggregates gegeben.

3.2 Gebrauchseigenschaften von Strömungsgebläsen im Regelbetrieb

3.2.1 Turbogebläse mit starrer Drehzahl

Diese Maschinen werden ohne Frequenzumrichter mit konstanter Drehzahl betrieben, sie haben ein Vorleit- und ein Nachleitgitter (Diffusor). Mit dem Vorleitgitter erhält der angesaugte Luftstrom einen Vordrall, wodurch die Verluste beim Eintritt in das Laufrad minimiert werden. Die Veränderung des Luftvolumenstromes erfolgt mit einem Nachleitapparat (Diffusor). Die Stellungen beider Leitgitter werden von einem Optimierungsrechner so angepasst, dass die spezifische Verdichtungsarbeit minimiert wird.

3.2.2 Turbogebläse mit variabler Drehzahl

Die Anpassung des Luftvolumenstromes an den Luftbedarf erfolgt hier durch eine Drehzahländerung mit einem aggregatspezifischen Frequenzumrichter. Diese Aggregate haben keine Leitapparate.

In der Abbildung 8 ist das Kennfeld eines Turbogebläses mit variabler Drehzahl zu sehen. Der theoretische Arbeitsbereich wird von folgenden Grenzen gebildet:

- Pumpgrenze (partielles Rückströmen verdichteter Luft durch das Laufrad)
- Schluckgrenze (Stopfgrenze; Auftreten von Überschallgeschwindigkeiten)
- maximale und minimale Antriebsdrehzahl
- maximale Antriebsleistung

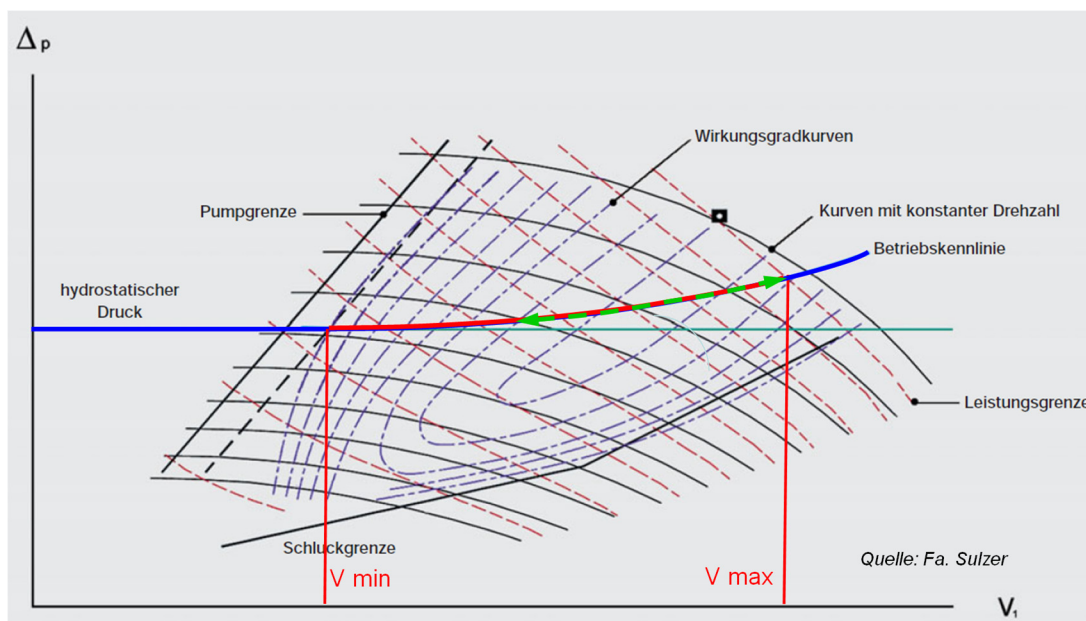


Abbildung 8: Kennfeld Turbogebläse mit variabler Drehzahl

In Abhängigkeit der Betriebs-/Anlagenkennlinie erhält man den minimalen und maximalen Förderstrom. Wie aus der Abbildung 8 ersichtlich ist, nimmt die Wirtschaftlichkeit der Maschine in der Nähe des minimalen Luftvolumenstromes deutlich ab (die Wirkungsgradkurven liegen eng nebeneinander).

Durch Verstopfungen in den Belüfterporen oder Materialveränderungen kann ein Druckanstieg der Belüfterelemente verursacht werden. Der dynamische Druckverlust der Belüfterelemente steigt und die Anlagenkennlinie wird steiler (Abbildung 9). Der Arbeitsbereich des Gebläses wird kleiner und er verschiebt sich in den Bereich niedrigerer Wirkungsgrade.

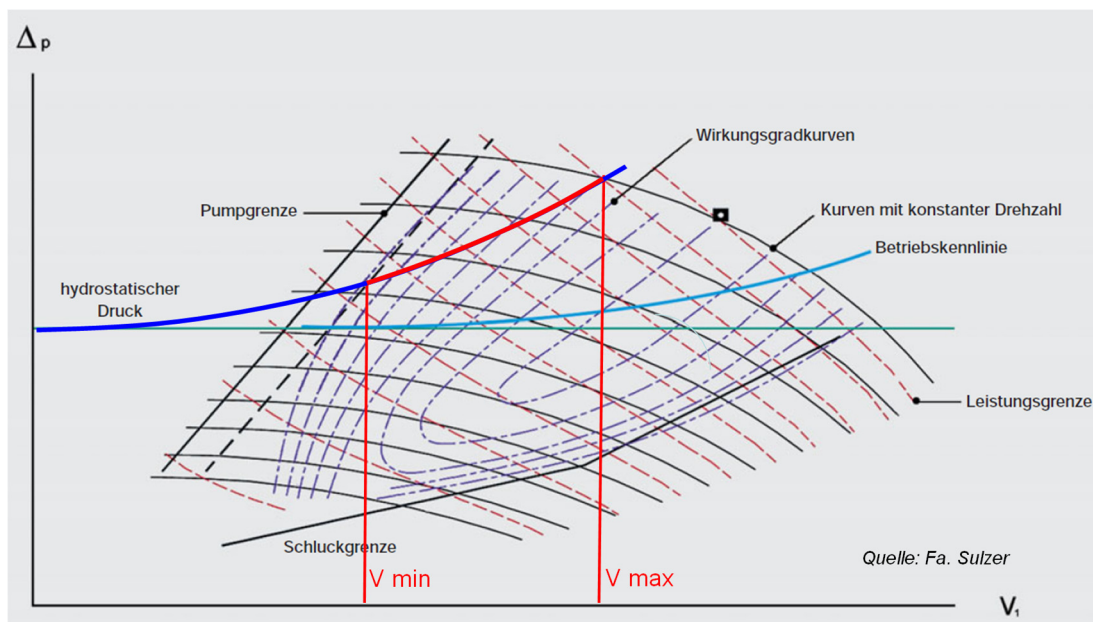


Abbildung 9: Kennfeld Turbogebälse mit variabler Drehzahl, bei verstopften Belüftern

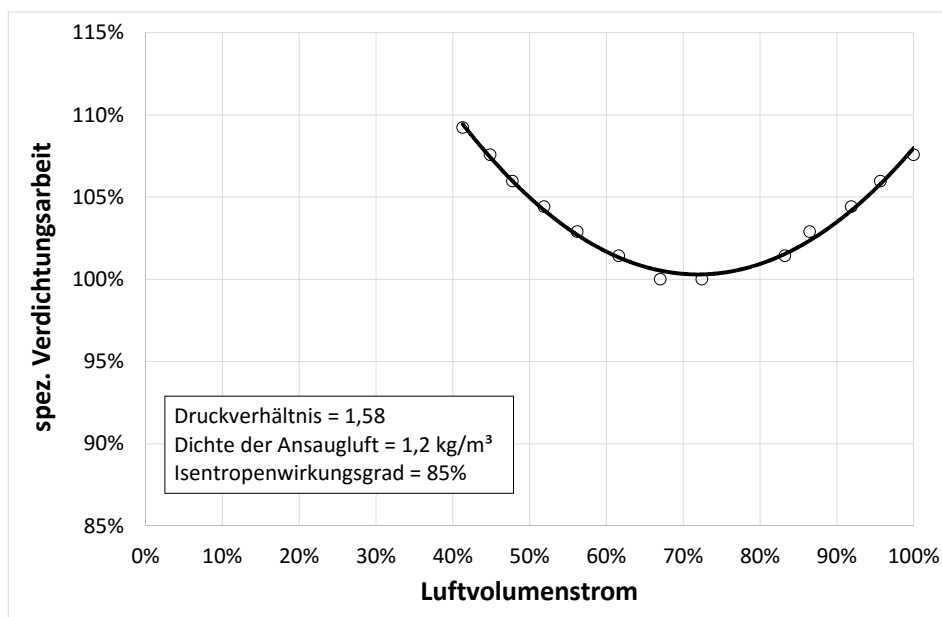


Abbildung 10: Strömungsgebälse; spez. Verdichtungsarbeit in Abhängigkeit des Luftvolumenstromes

Ausgehend von der isentropen Verdichtungsarbeit und entsprechenden Annahmen zur Druckerhöhung und den Zustandsgrößen der Ansaugluft kann die Abbildung 10 erhalten werden. Darin ist die Veränderung der spez. Verdichtungsarbeit in Abhängigkeit des Luftvolumenstromes zu sehen.

Ähnlich wie bei den Drehkolbengebläsen haben auch Strömungsverdichter ein mehr oder minder stark ausgeprägtes Minimum der spezifischen Verdichtungsarbeit. Festzuhalten ist, dass dieses Minimum nicht bei maximalem Luftvolumenstrom auftritt.

Strömungsgebläse sind aufgrund Ihrer Bauweise (z.B. Lagerung) nicht dafür geeignet in kurzen Zeitintervallen ein- und ausgeschaltet zu werden.

3.3 Staffelung von Gebläsen

Die Gebläseauswahl kann nach verschiedenen Methoden erfolgen:

- Diskrete Zuordnung von Gebläsen zu einzelnen Becken oder Beckengruppen. Daraus resultiert in der Regel eine große Anzahl kleiner, praktisch identischer, Gebläse. Im Regelfall kann auf eine Luftverteilerregelung mit Luftvolumenstrommessung und Regelventilen verzichtet werden.
- Errichtung einer zentralen Gebläsestation für die gesamte Anlage. Diese Vorgangsweise ermöglicht eine Zusammenstellung einer geringen Anzahl verschiedener, an den Betrieb angepasster, Gebläse. Eine Regelung der Luftherzeugung und/oder eine Luftverteilerregelung ist in der Regel notwendig.

Jedenfalls muss die Gebläseauswahl auf Basis einer realistischen Berechnung/Abschätzung, unter Berücksichtigung der Entwicklung der Belastung, erfolgen. Zu große Maschinen mit hoher Schalzhäufigkeit die überwiegend in energetisch ungünstigen Betriebspunkten laufen sind zu vermeiden.

Bei der Ertüchtigung von bestehenden Belüftungssystemen/Gebläsestationen sollte eine Analyse der Belastung und Auswertung der Betriebsdaten (Häufigkeit der auftretenden Luftvolumenströme) erfolgen [8].

Bei der Maschinenauswahl ist darauf zu achten, dass

- die Umschaltung/Zuschaltung von Gebläsen nicht bei häufig auftretenden Luftvolumenströmen erfolgt.
- seltener auftretende Luftvolumenstrombereiche können mit weniger effizienten aber leicht und robust zu betreibenden Maschinen abgedeckt werden.
- die Luftvolumenstrombereiche, die mit großer Häufigkeit auftreten, mit einem effizienten Aggregat (Betriebspunkt mit gutem Wirkungsgrad) abgedeckt werden können.

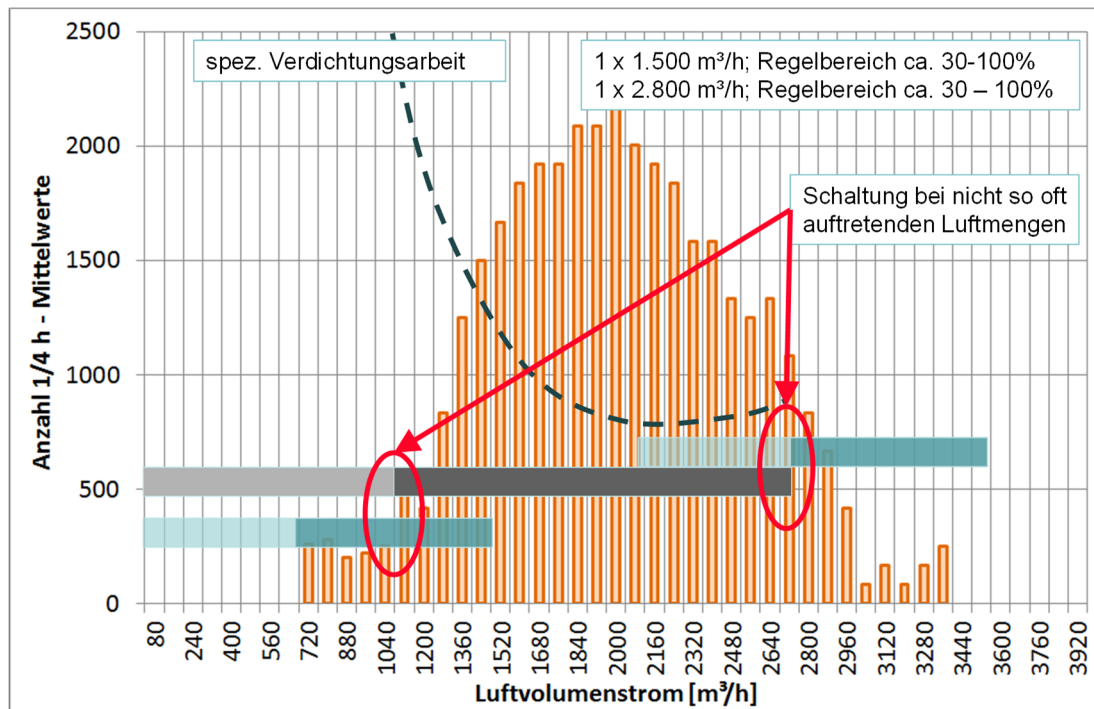


Abbildung 11: Häufigkeit der Luftvolumenströme - Umschaltunkte

In der Abbildung 11 sind für ein Beispiel die Häufigkeiten der auftretenden Luftvolumenströme und die Umschaltunkte eingetragen. Wenn es nun noch gelingt ein Aggregat zu finden, dass bei den häufig auftretenden Luftvolumenströmen um $1.900\text{m}^3/\text{h}$ eine niedrige spez. Verdichtungsarbeit hat, hat man eine gute Wahl getroffen.

4 Sonstige Komponenten

Für ein wirtschaftliches Belüftungssystem sind auch die Funktion, der Wartungsaufwand und die Zuverlässigkeit der, für eine Luftverteilregelung, eingesetzten Systemkomponenten wichtige Faktoren.

Wichtig für Funktion und den wirtschaftlichen Einsatz der Mess- und Regeltechnischen Komponenten sind die örtlichen Rahmenbedingungen. Messgeräte benötigen eine angepasste Rohrleitungsführung mit Beruhigungsstrecken. In der Praxis wird diese Forderung häufig, auch bei Neubauten, nicht berücksichtigt. Noch kritischer ist die Situation bei Um- bzw. Nachrüstungen auf bestehenden Anlagen. Es wird dringen empfohlen, nicht nur auf die Qualität der Komponenten sondern auch auf die Einbaugeometrie und die Einsatzbedingungen zu achten.

Die Dimensionierung des Rohrleitungssystems wird an dieser Stelle nicht besprochen. Der Fokus liegt auf den Stellventilen und Messeinrichtungen.

4.1 Stellventile

Soll die Luft von einer Gebläsestation auf mehrere Becken oder Beckenbereiche verteilt werden sind Stellgeräte erforderlich.

In der Abbildung 12 ist das Stellverhalten verschiedener Ventilformen eingetragen.

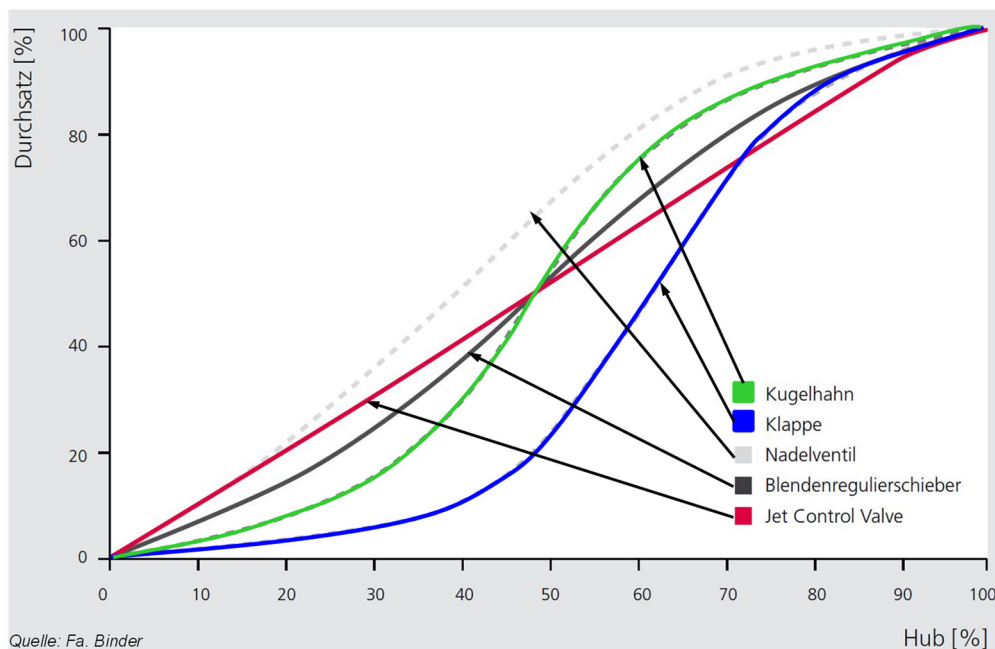


Abbildung 12: Stellverhalten verschiedener Ventilformen

Auf vielen Anlagen werden zentrische Klappenventile eingesetzt. Besser ist es Ventile mit möglichst linearem Stellverhalten einzusetzen.

Der bleibende Druckverlust bei voll geöffnetem Ventil sollte gering sein. Ein geringer Druckverlust ist für eine aktive Regelung erforderlich. Übliche Werte betragen ca. 10 hPa. Eine Sonderstellung nehmen hier die Blendenregulierschieber, mit integrierter Messung des Durchflusses auf Basis eines Drosselgerätes, ein. Um ein Messsignal zu generieren muss der Schieber ein wenig geschlossen sein (siehe auch Kapitel 4.2).

Für eine hohe Regelgüte ist auch die Reproduzierbarkeit der Druckverluste in Abhängigkeit der Position (Drehwinkel Hub, etc.) wichtig.

In der Tabelle 2 sind verschiedene Gebrauchseigenschaften von Regelventilen zusammengestellt.

Tabelle 2: Vergleich häufig eingesetzter Regelarmaturen, (Quelle: Firmenschrift Binder Engineering – modifiziert)

	Klappe	Blendenregulierschieber	Kugelhahn	Jet control valve
Regelgüte	--	++	--	+++
Druckverlust	++	0	-	+++
Regelbereich	--	++	--	+++
Installation (Gewicht)	+++	++	--	++
Geräusch	+	+++	+	+++
Korrosionsbeständigkeit	++	+	+++	+++
Investitionskosten	+++	+	-	--
Betriebskosten	---	++	-	+++
Wartungskosten	+	+	0	+++

Legende:

exzellent	+++	limitiert	-
sehr gut	++	kritisch	--
gut	+	nicht akzeptabel	---
akzeptabel	0		

Details zum Regelverhalten von Ventilen findet man z.B. in [9]. Für eine detaillierte Betrachtung wird auf [10] und [11] verwiesen.

4.2 Messeinrichtungen

Der Einsatz von Luftvolumenstrommesseinrichtungen bietet betriebliche Kontroll- und Optimierungsmöglichkeiten [12], dazu zählen:

- eine Verbesserung der Regelgüte, die Regelung wird schneller
- eine Veränderung der Betriebseigenschaften (z.B. Druckverlust) der Belüfterelemente kann frühzeitig erkannt werden
- Kontrolle der Luftverteilung bei Abwasserverteilung auf parallele Belegungsstraßen
- Durchführung von Plausibilitätsprüfungen, z.B. Zusammenhang zwischen Luftmenge und Sauerstoffkonzentration
- Wirtschaftliche Kennzahlen (z.B. Verdichtungsarbeit) können gemessen und für die Instandhaltung des Belüftungssystems genutzt werden

Das Volumen gasförmiger Medien ist von der Dichte und damit von der Gaszusammensetzung, dem Druck und der Temperatur abhängig.

Wichtig für die Sauerstoffzufuhr ist der Massenstrom an Sauerstoff der in das Becken geleitet wird und nicht der Volumenstrom. Daher wird bei Gasen der Volumenstrom im Normzustand angegeben, d.h. der Volumenstrom wird auf die Normtemperatur (0° Celsius = 273,15 Kelvin) und den Normdruck (1013,25 hPa

absolut) umgerechnet. Bei Abnahmemessungen ist es wichtig auch den Wasserdampf zu berücksichtigen und den trockenen Massenstrom zu berechnen. Details zur Umrechnung von Gasvolumenströmen findet man z.B. in [13].

Bei Messverfahren für Gase bei denen der Volumenstrom in Betriebskubikmeter ermittelt wird, ist daher auch die Messung des Systemdruckes und der Temperatur notwendig.

Zur Messung von Luftvolumenströmen an Belebungsbecken findet man häufig folgende Systeme:

- Drosselgeräte nach [14]: Blende, Venturidüse, Venturirohr
- Staurohr
- thermischer Massendurchfluss
- Ultraschall-Mitführeffekt

Details findet man z.B. in [12] und [15].

Es ist darauf hinzuweisen, dass alle Drosselgeräte nach [14] einen bleibenden Druckverlust haben der durch die Druckerhöhung der Gebläse abgedeckt werden muss. Messblenden haben, wenn sie auf einen großen Messbereich ausgelegt sind, im oberen Messbereich einen großen bleibenden Druckverlust.

Bei der Auswahl ist jedenfalls auf den durch die Messeinrichtung (inklusive Einengungen, Strömungsgleichrichter, etc.) verursachten Druckverlust zu achten. Die Messstelle muss leicht zugänglich sein und es sollte auch eine Möglichkeit zur Überprüfung vorgesehen werden.

Grundsätzlich ist das gesamte Regelkonzept auf die Notwendigkeit einer Luftvolumenstrommessung zu prüfen.

5 Literatur

- [1] DWA-M 229: Systeme zur Belüftung und Durchmischung von Belebungsanlagen; Teil 1: Planung, Ausschreibung und Ausführung (Mai 2013) und Teil 2: Betrieb (in Vorbereitung)
- [2] LOOCK, P. (2009): Veränderung der Leistungsfähigkeit feinblasiger Membranbelüftungselemente unter abwassertechnischen Bedingungen; Schriftenreihe WAR Band 202 (2009); TU Darmstadt
- [3] FREY, W.: Maßnahmen zum Erhalt der Leistungsfähigkeit von Belüftern; DWA Fachtagung: Energieeffizienz bei Belüftern und bei der Homogenisierung, 18. Juni 2009 in Neuhausen/Fildern
- [4] FREY, W.: ÖWAV Seminar „Belüftung auf Abwasseranlagen“ 19. Mai 2015 Wien, Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Belüftungssystemen in Abhängigkeit der Einsatzdauer
- [5] WESTPHAL G.: Leistungseintrag in Belebungsbecken - Eine grundlegende Darstellung, Korr. Abwasser, 1995, Nr.8, s.1353-1358
- [6] FREY, W.: Messwerte und Kennzahlen der maschinellen Ausrüstung auf Kläranlagen; ÖWAV-TU Seminar: Monitoring auf Kläranlagen, März 2011; Wiener Mitteilungen Band 224
- [7] FREY, W.: Gebläse für Belebungsanlagen, Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen; KAN Folge 20, 2012
- [8] SEIBERT-ERLING, G.: ÖWAV Seminar „Belüftung auf Abwasseranlagen“ 19. Mai 2015 Wien, Einfluss der Auslegung und Abstufung der Gebläse auf die Effizienz der Belüftungseinrichtung
- [9] KROUPA, R.: Ventiltechnologie im Anlagenbau, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1994
- [10] ON EN 60534-2-1:2012-01: Stellventile für die Prozessregelung - Teil 2-1: Durchflusskapazität - Bemessungsgleichungen für Fluide unter Betriebsbedingungen
- [11] VDI/VDE 2173: 09/2007: Strömungstechnische Kenngrößen von Stellventilen und deren Bestimmung
- [12] DWA-M264: Gasdurchflussmessungen auf Abwasserbehandlungsanlagen; (Mai 2015)
- [13] FREY W. (2010): Endbericht zum KAN Forschungsprojekt „Garantienachweise für die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen - Blockheizkraftwerke“ (www.kan.at → KAN Materialien → Berichte;
http://www.kan.at/KAN.aspx_param_target_is_84630_and_Title_is-Berichte.v.aspx)
- [14] EN ISO 5167 Teil 1-4:2003: Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt
- [15] BONFIG, W.: Technische Durchflussmessung, Vulkan Verlag Essen, 3. Auflage, 2002

Korrespondenz an:

Wilhelm Frey, Dipl.-Ing. Dr.

Abwassertechnische Ausbildung und Beratung
Leobendorf / Hofgartenstraße 4/2
A-2100 Korneuburg

Tel.: +43 664 142 0181

Mail: aab.frey@aon.at

Homepage: www.aabfrey.com

3D- Fluoreszenzspektroskopie zur Prozesskontrolle der Spurenstoffentfernung mit granulierter Aktivkohle und Ozon aus kommunalem Kläranlagenablauf

L. Kornfeind*, H. Schaar*, J. Haslinger*, A. Winkelbauer*, C. Walder**, E. Saracevic*, N. Kreuzinger* und J. Krampe*

* Institut für Wassergüte Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU Wien, Karlsplatz 13/226, 1040 Wien, Österreich

** VA Tech WABAG GmbH, Dresdner Strasse 87-91, 1200 Vienna, Austria

Abstract: Die 3D-Fluoreszenzspektroskopie als neue Methode zur Quantifizierung des DOC bietet ein großes Potential hinsichtlich der Prozesskontrolle von Spurenstoffentfernungsverfahren in der Abwassertechnik. Aufgrund der hohen Sensitivität gegenüber unterschiedlichen Fraktionen des Summenparameters DOC eröffnen sich neue Möglichkeiten, die über klassische Methoden wie z.B. UV/Vis-Spektroskopie hinausreichen. Die 3D-Fluoreszenzspektroskopie bietet hier einerseits die Möglichkeit der Kontrolle der Spurenstoffentfernung mittels Ozonung und andererseits die Überwachung des Durchbruchverhaltens von nachgeschalteten Aktivkohlefiltern.

Key Words: Fluoreszenzspektroskopie, Abwasser, granuliert Aktivkohle, Ozonung

1 Einleitung

Die Forschungen bezüglich Spurenstoffentfernung mit unterschiedlichen Verfahrenstechniken (v.a. Ozonung und Aktivkohle) verstärken in den letzten Jahren das Bedürfnis nach akkurater Prozesskontrolle mit sensitiven Messsystemen (Bahr *et al.* 2007). Zur klassischen Überwachung dienen hierfür UV bzw. UV/Vis-Spektrometer, die eine etablierte Online-Messmethode zur indirekten Bestimmung des DOC darstellen. Basierend auf multivariaten Spektralanalysen werden sogenannte Äquivalentparametermodelle erstellt, die je nach Messort an die jeweilige Abwassermatrix angepasst und validiert werden müssen.

Die aufkommende Methode der DOC-Messung via 3D-Fluoreszenzspektroskopie erlaubt eine präzise quantitative Detektion der DOC-Reduktion bei der

weitergehenden Abwasserreinigung zur Spurenstoffentfernung und gibt Hinweise zum Durchbruchverhalten von Aktivkohlefiltern (Zhang *et al.* 2008). Die Vorteile der Methode liegen in ihrer höheren Sensitivität gegenüber dem DOC im Vergleich zu klassischen Messmethoden, da verschiedene Kohlenstofffraktionen, die Bestandteil des DOC sind, unterschiedliche Fluoreszenzintensitäten aufweisen. Somit können nicht nur quantitative Analysen, sondern auch qualitative Abschätzungen über die Zusammensetzung des Summenparameters getroffen werden (Anumol *et al.* 2015).

Da die anfallende Datenmenge im Gegensatz zu anderen spektralen Verfahren (UV/Vis) sehr hoch ist und die Messwertaufnahme dementsprechend lange dauert, wurde mittels statistischer Methoden eine Datenreduktion angestrebt. Mittels Linearisierung des Datenpools und einer iPLSR (intervall partial least square regression) kann messortabhängig der Datensatz auf einige wenige Anregungs- und Emissionswellenlängen reduziert werden (Stedmon *et al.* 2011).

2 Methodik

2.1 3D-Fluoreszenzspektrometrie

2.1.1 Allgemein

Als Fluoreszenz bezeichnet man die Lichtemission nach vorheriger Absorption eines Lichtquants, wenn die Abklingdauer der Strahlung sehr kurz ist (in der Größenordnung von Nanosekunden). Die Intensität der Fluoreszenzstrahlung ist direkt proportional zur Intensität der Anregungsstrahlung. Die Anregung benötigt Energie, daher sind die Emissionswellen zu längeren Wellenlängen verschoben. Moleküle, die passend auseinanderliegende Schwingungsniveaus besitzen, können bei hinreichender Nähe die Energie strahlungsfrei übernehmen und damit zur Fluoreszenzlöschung (Quenching) führen (Otto *et al.* 2006).

2.1.2 Geräteaufbau

Der Aufbau eines Fluoreszenzspektrometers ist ähnlich dem eines Photometers, wobei jedoch die Fluoreszenz mit bestimmter Emissionswellenlänge (Emission) stets im Winkel von 90° gemessen wird, um die Anregungsstrahlung nicht mit zu erfassen (Abbildung 1). Im Unterschied zur Photometrie wird hierbei die Strahlungsintensität der Emission senkrecht zur Richtung der Anregungsstrahlen gemessen (Otto *et al.* 2006).

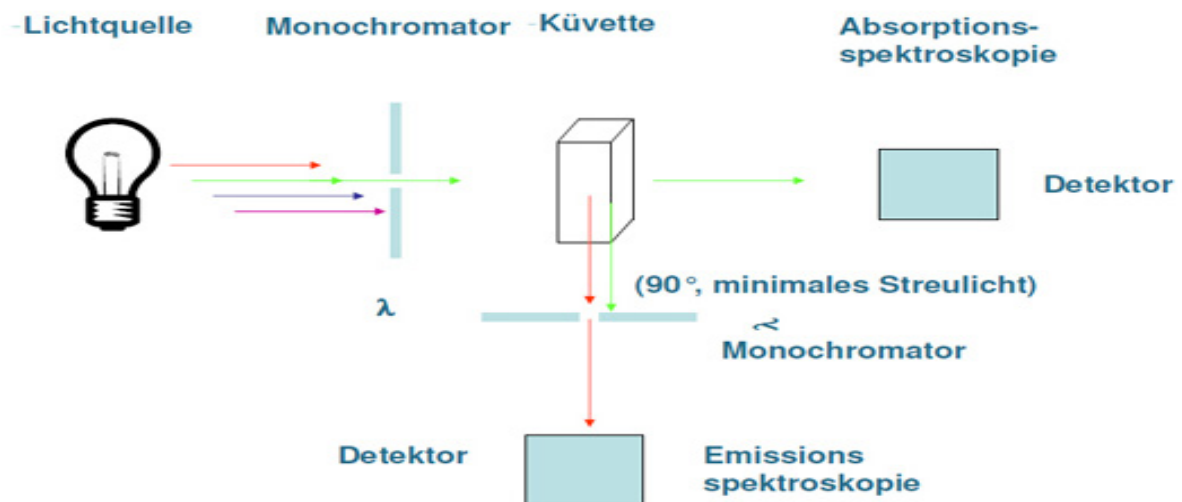


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Fluoreszenzspektrometers

In der 3D-Fluoreszenzspektrometrie wird im Gegensatz zur klassischen Fluoreszenzmessung mit einer Anregungswellenlänge nicht nur eine Emissionswellenlänge detektiert, sondern ein komplettes Emissionsspektrum aufgenommen (Abbildung 2). Man spricht hier von einer sogenannten Excitation-Emission-Matrix (EEM).

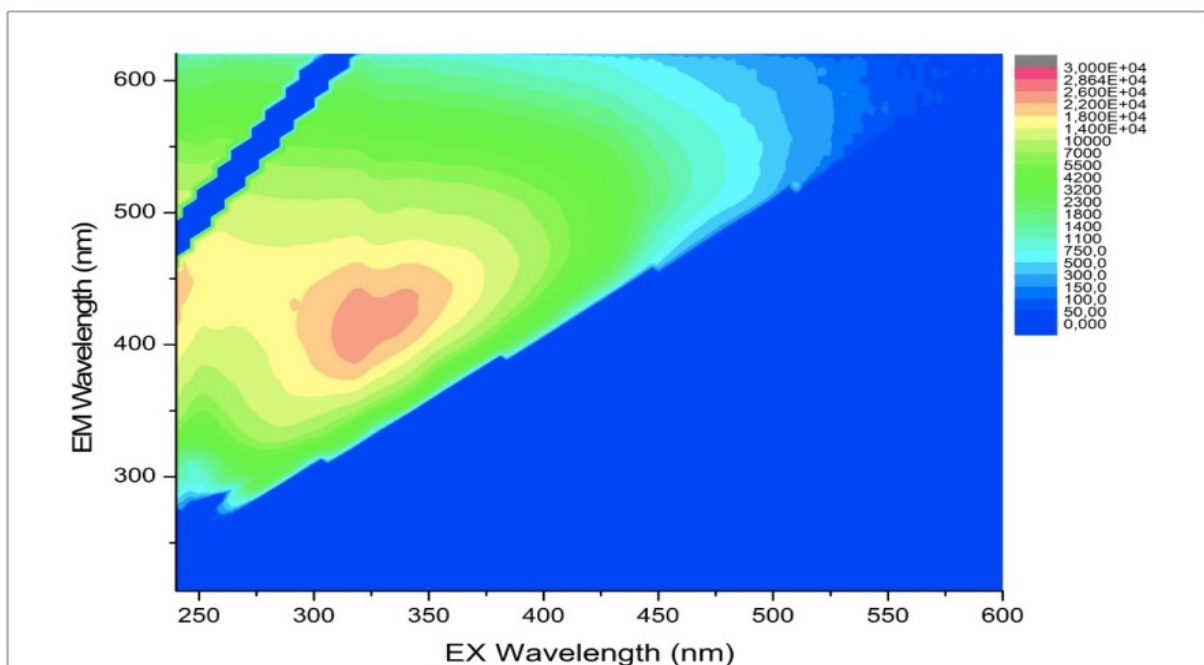


Abbildung 2: Excitation-Emission-Matrix (EEM)

Die nachfolgend angeführten Messungen wurden mit dem Aqualog© der Firma Horib durchgeführt (Abbildung 3). Im Gegensatz zu klassischen Fluoreszenzspektrometern verzichtet dieses Gerät auf einen Emissionsmonochromator, da es das ganze Emissionsspektrum auf einen CCD-

Detektor leitet. Diese Methode hat bei gleicher Sensitivität den Vorteil einer schnelleren Messwerterfassung und bewirkt dadurch geringeres Photobleaching durch UV-Strahlung. Parallel zur Fluoreszenzmessung wird ein Absorptionsspektrum aufgenommen, um über statistische Algorithmen organische Quenchingeffekte auszuschließen.

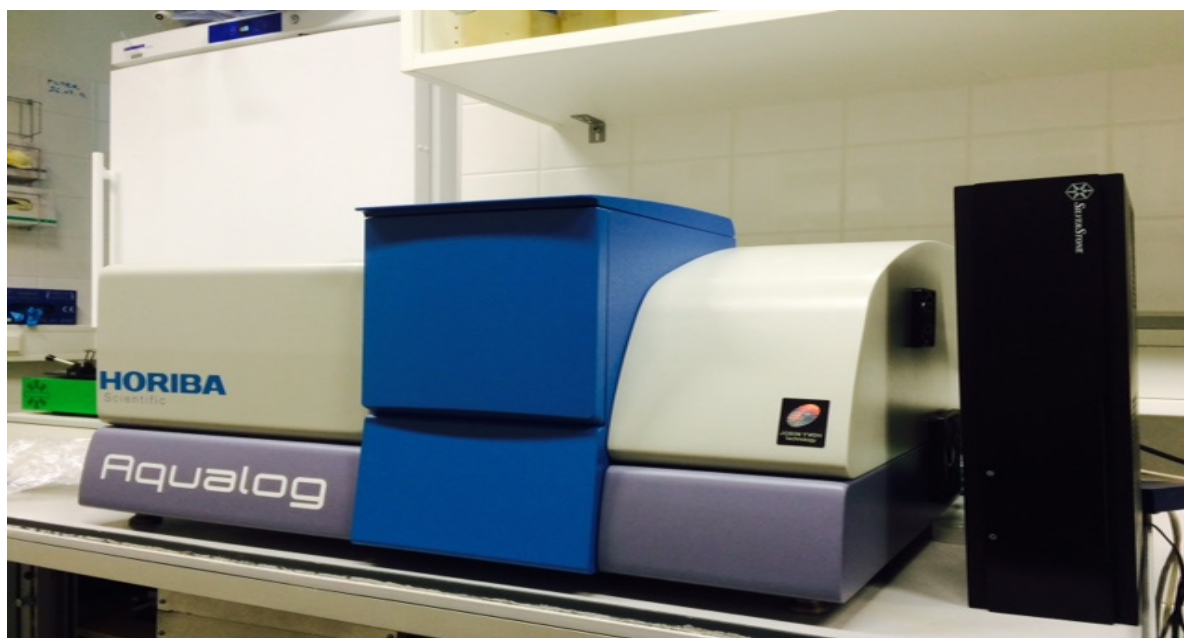


Abbildung 3: 3D-Fluoreszenzphotometer Labor Institut für Wassergüte TU Wien

2.2 UV/Vis-Spektroskopie

Im Gegensatz zum SAK₂₅₄, wo eine einzelne Absorptionswellenlänge (254 nm) eingesetzt wird, erfolgt bei der UV/Vis-Spektroskopie eine Absorptionmessung über den gesamten ultravioletten und sichtbaren Bereich des Lichts (200-750 nm). Wie die UV-Spektroskopie ist die UV/Vis-Messung ebenfalls als Onlinemessung verfügbar, sodass sie durch die rasche Verfügbarkeit der Messsignale ebenfalls als Steuer- bzw. Überwachungsparameter einsetzbar ist. Der höhere Informationsgehalt der erhaltenen Spektren erlaubt jedoch im Gegensatz zur reinen SAK₂₅₄-Messung eine detailliertere und genauere Auswertung von DOC-Äquivalenten, die im Zulauf der Pilotanlage als Basis für den Ozoneintrag als Steuergröße benötigt werden. Die dafür verwendeten Wellenlängen lagen im für aromatische Kohlenstoffverbindungen üblichen Bereich von 250-310 nm (Kreuzinger *et al.* 2015).

2.3 Versuchsanlage

Im Rahmen des Projektes wurde an einer kommunalen Kläranlage eine Pilotanlage (Abbildung 4) im industriellen Maßstab zur Untersuchung der Spurenstoffentfernung mit Ozonung und Aktivkohle durchgeführt. Hier wurde

der Ablauf der kommunalen Kläranlage über Ozonreaktoren geführt, welche seriell und parallel betrieben werden konnten. Den Ozonreaktoren nachgeschaltet befanden sich Abklingbehälter, ein granulierter Aktivkohlefilter und ein Anthrazitfilter zur Ozon-Nachbehandlung. Ein zweiter Mengenstrom wurde parallel zur Ozonung direkt über einen granulierten Aktivkohlefilter (ohne vorherige Ozonung) geführt (Kreuzinger *et al.* 2015).

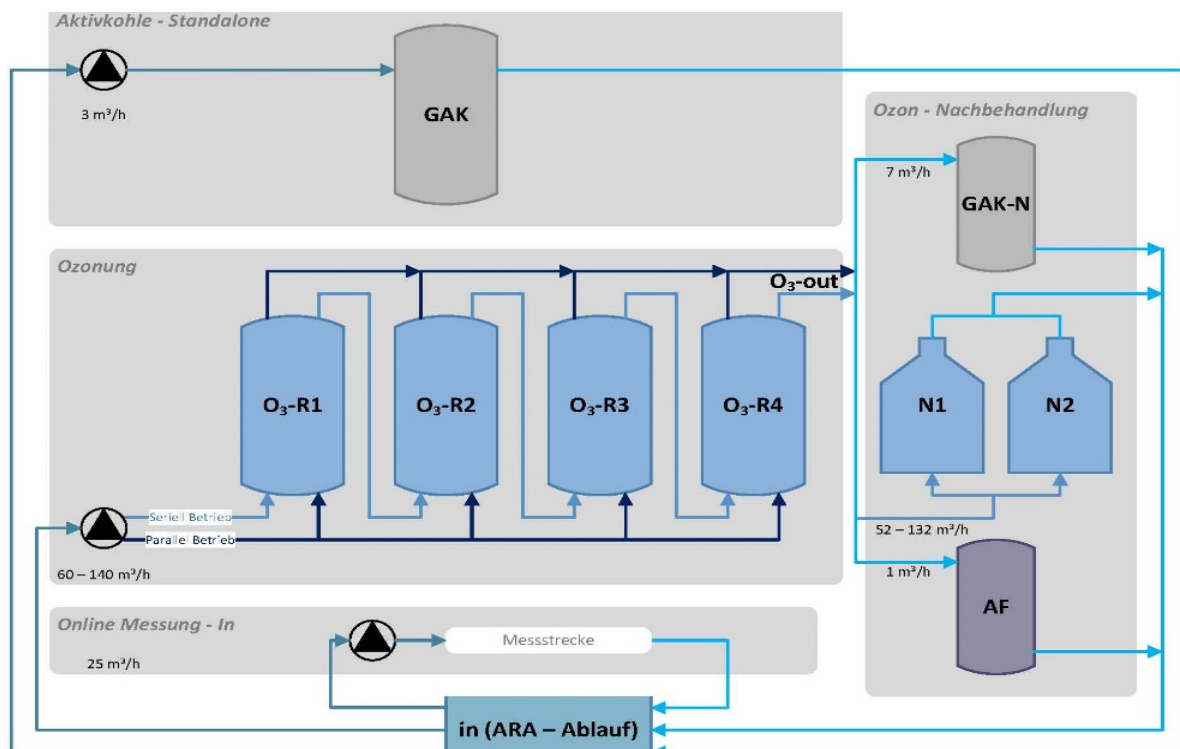


Abbildung 4: Fließschema Pilotanlage zur Spurenstoffentfernung

2.4 Probenahme und Messung

Nach den einzelnen Behandlungsstufen der Pilotanlage waren Probenahmestellen eingerichtet. Im laufenden Projekt wurden mindestens einmal wöchentlich Proben genommen und zeitnah im Labor auf wichtige Prozessparameter (DOC, NO₂-N, etc.) und Spurenstoffe (Carbamazepin, Benzotriazol, etc.) analysiert. Gleichzeitig wurde ein Teil der filtrierte Probe mit dem Fluoreszenzspektrometer gemessen. Es erfolgte eine Aufnahme der 3D-Fluoreszenz im Bereich von 240 bis 600 nm bei je nach Probenahmestelle belastungsangepassten Integrationszeiten (Belichtungsdauer).

2.5 Statistische Auswertung der Messungen

Wie bei allen Spektralverfahren stellt die Auswertung der Messungen eine gewisse Herausforderung dar. Da die Datenmengen in der 3D-

Fluoreszenzspektroskopie ca. zwanzigfach höher sind als in der klassischen UV/Vis-Spektroskopie, werden die Anforderungen an die multivariaten Methoden deutlich. Da hier der Fokus auf der Darstellung des DOC lag, wurde nicht mit den für die Fluoreszenzspektroskopie üblichen Verfahren der qualitativen Beurteilung, wie beispielsweise parallele Faktorenanalyse (PARAFAC), gearbeitet, sondern mit einer klassischen -Methode, die häufig zur Quantifizierung des DOC eingesetzt wird (Norgaard *et al.* 2000, Stedmon *et al.* 2008). Dafür müssen die Datensätze linearisiert werden, um anschließend mittels eines statistischen Verfahrens in definierten Wellenlängen-Intervallen nach der besten Korrelation gescreent zu werden. Der hierfür entscheidende Parameter ist der Vorhersagefehler (RMSECV) des Modells (Leardi *et al.* 2001). Üblicherweise werden zur Modellierung anschließend Kombinationen der Intervalle mit dem niedrigsten Vorhersagefehler verwendet. Dieses Verfahren wurde genauso für die UV/Vis-Spektroskopie eingesetzt, um einen direkten Vergleich zur 3D-Spektroskopie zu erhalten (Abbildung 5).

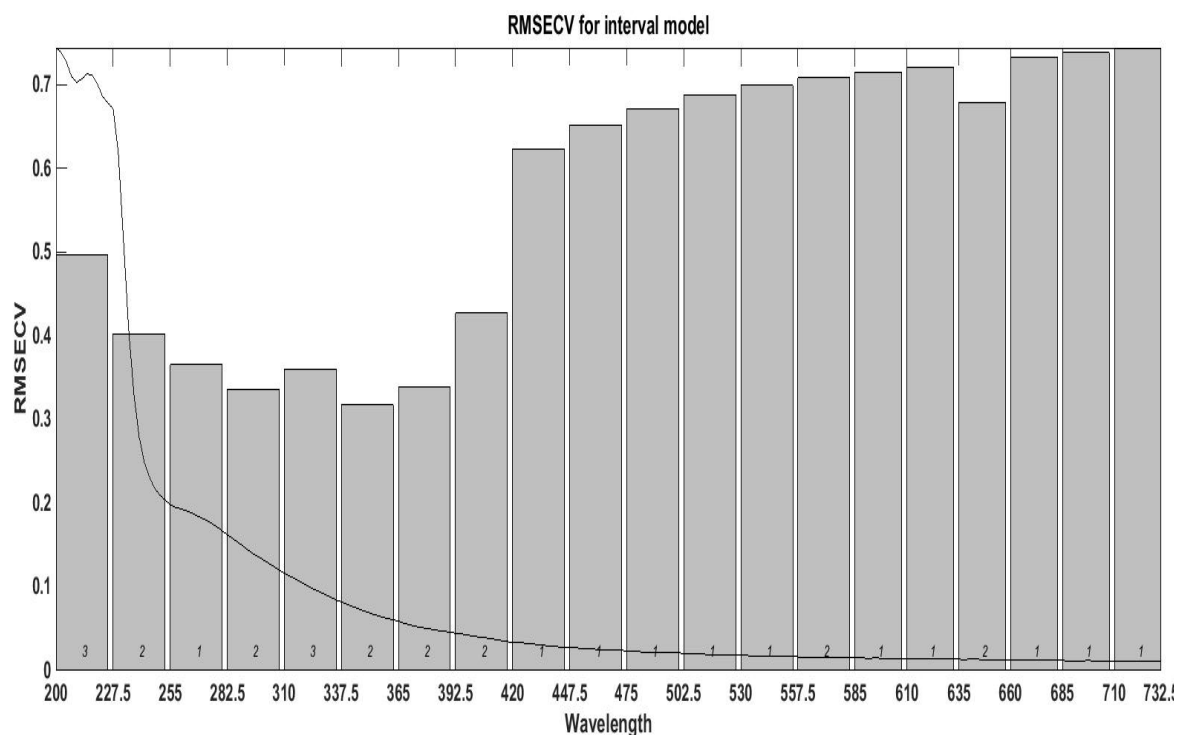


Abbildung 5: Schematische Darstellung einer Wellenlängenauswahl der iPLS in der UV/Vis-Spektroskopie

Aus Darstellungsgründen wurde hier die Wellenlängenauswahl der UV/Vis-Spektroskopie genommen, da die Grunddatenmenge der Fluoreszenzspektroskopie schlecht zu visualisieren ist. Die grauen Balken zeigen den Vorhersagefehler in definierten Wellenlängenbereichen.

3 Ergebnisse

Aus den unterschiedlichen Anforderungen für Ozonung und Aktivkohle ergaben sich verschiedene Fragestellungen, jedoch wurde in beiden Fällen der DOC als robust messbarer Online-Parameter herangezogen.

- Wie kann der DOC als essentieller Prozessparameter von weitergehenden Abwasserreinigungsstufen (Ozonung, granuliert Aktivkohle) präzise und genau gemessen werden?
- Wie kann die notwendige Ozondosis kalkuliert bzw. gesteuert werden, mittels einer vorgegebenen spezifischen Ozondosis (zspec) und einer Online-DOC Messung
- Wie kann die operative Kontrolle für die Ozonung zur Verfügung gestellt werden?
- Wie kann der Durchbruchpunkt der organischen Spurenstoffe im Aktivkohlefilter (GAK) gemessen werden?

Im Folgenden sollen nun diese Fragestellungen behandelt werden.

3.1 Ozonung

Wie in Abbildung 6 ersichtlich, stellt der DOC den zentralen Parameter für das Regelungskonzept der Modellanlage dar. Ermöglicht wurde dies im ersten Schritt durch die UV/Vis-OnlineMessung. Die daraus kalkulierte DOCEq-Fracht lieferte bei vorgegebener spezifischer Ozondosis und voreingestellter Gasmenge die notwendige Ozonkonzentration und somit die Vorgabe an die Umrichterleistung des Ozongenerators.

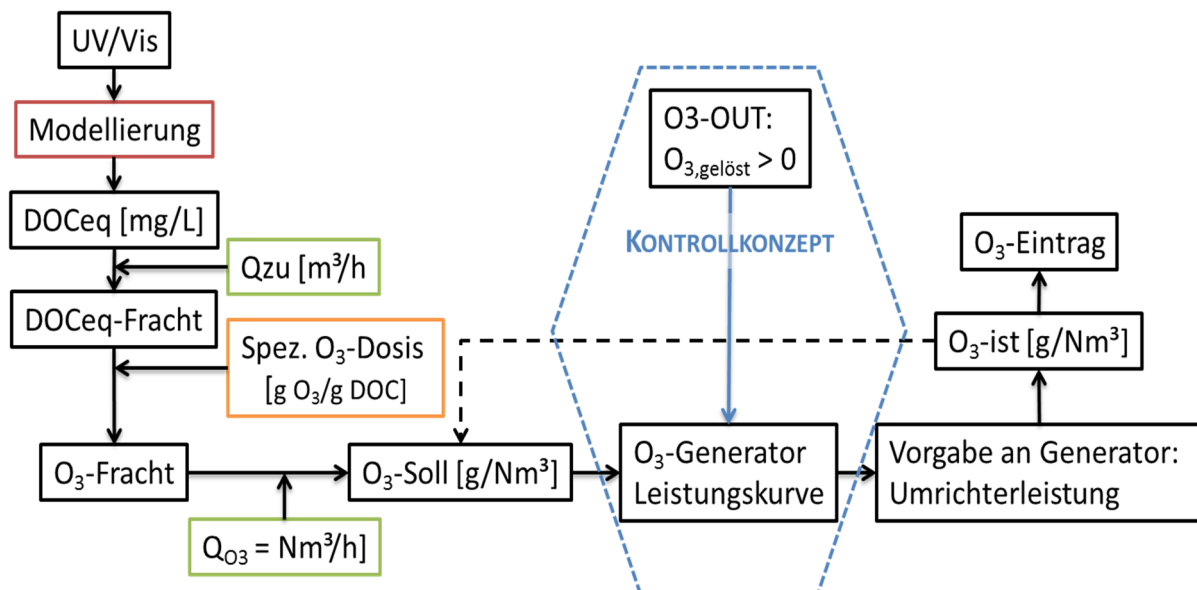


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Regelungskonzepts der Ozonung

3.1.1 Regressionsanalyse der Spektraldaten

Mittels Regressionsanalysen wurden multivariate Modelle der UV/Vis-Spektren und den DOC-Laborwerten des Kläranlagenablaufs erstellt. Die daraus resultierenden Wellenlängengewichtungen wurden an einem separaten Validierdatensatz angewandt, um durch unabhängige Korrelation zu den Laborwerten die Robustheit des Modelles zu überprüfen (siehe Abbildung 7) (Kessler *et al.* 2007).

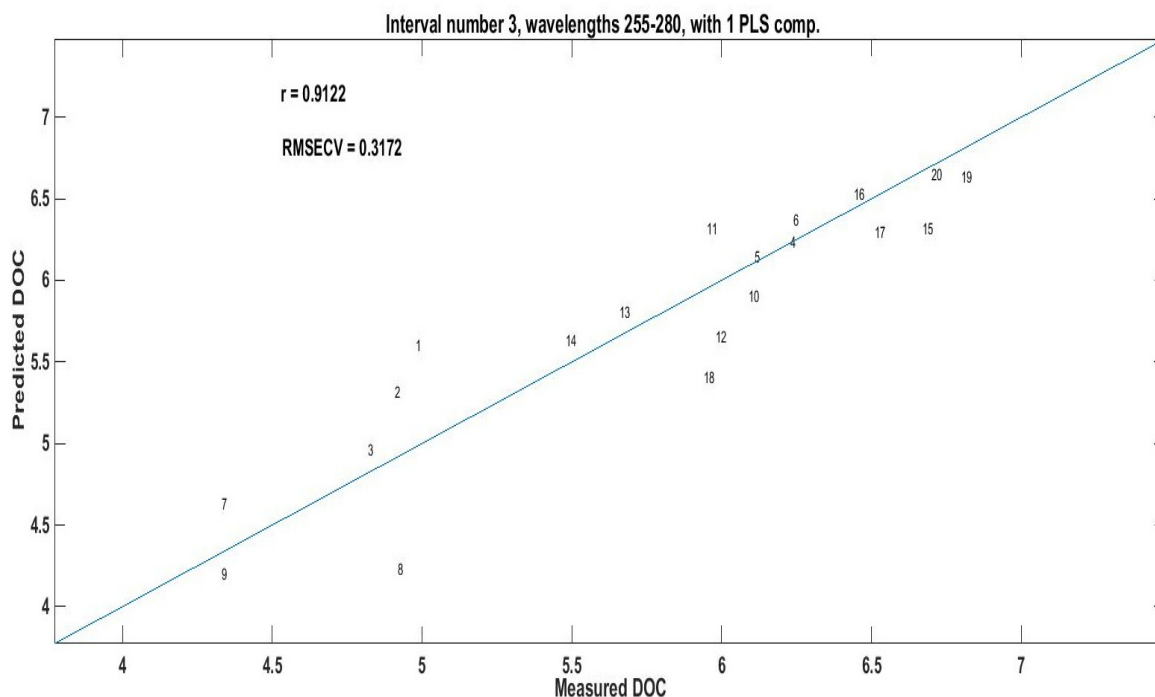


Abbildung 7: Korrelation des Validierdatensatzes der DOC-Laborwerte mit den UV/Vis-DOC_{eq}-Werten

Die resultierende Robustheit des Modells wurde statistisch signifikant angenommen ($r = 0,9122$), auch wenn leichte Streuungen im niedrigen Messbereich (<5 mg DOC/l) auftraten.

Dieser Vorgang wurde ebenso mit den 3D-Fluoreszenzdaten (EEMs) durchgeführt. Es standen allerdings weniger Datensätze zur Verfügung. Die Ergebnisse zeigten eine signifikantere Korrelation ($r = 0,9916$) zu den DOC-Laborwerten im Vergleich zur UV/Vis-Spektroskopie (Abbildung 8).

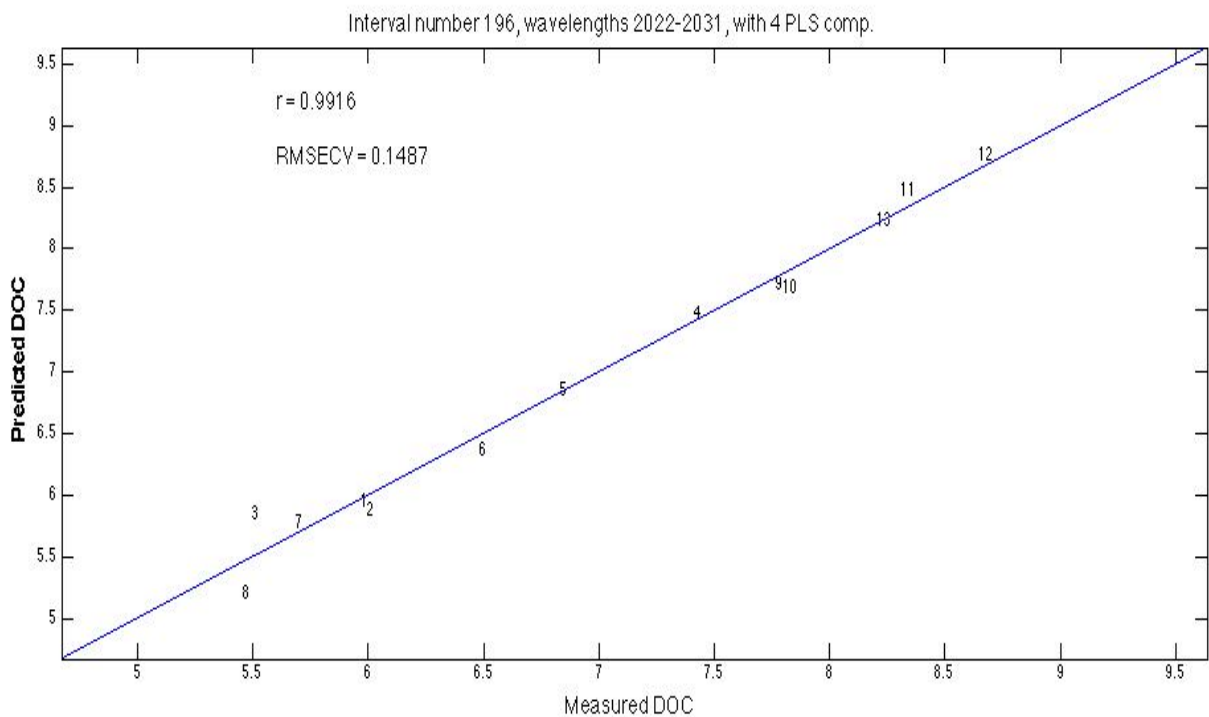


Abbildung 8: Korrelation des Validierdatensatzes der DOC-Laborwerte mit den EEMs

Der eingesetzte Datenpool konnte mit der Intervall-Regression auf einige wenige Wellenlängen herabgesetzt werden (Reduktion von >5.000 Datenpunkten auf <10). Diese lagen im fluoreszenzspezifischen Bereich von Huminsäuren, die auch zumeist die größte Fraktion des Kläranlagenablaufs darstellen (Coble *et al.* 1996).

3.1.2 Transformation des DOC während der Ozonung

Während der Ozonung kommt es zu einer deutlichen Änderung der Fluoreszenzintensität über den gesamten Messbereich. Somit greift Ozon alle molekularen Bereiche des DOC an bzw. transformiert höhermolekulare in niedermolekulare Verbindungen. Diese Umlagerung des DOC wurde durch gleichzeitig ermittelte Laborwerte bestätigt (Vergleich Abbildung 9 und Abbildung 10). Die zugrundeliegenden Daten sind mit Rayleigh-Maskierungs- und organischen Quenching-Filtern vorbehandelt und zur direkten Vergleichbarkeit auf dieselbe Intensitätsskala normiert.

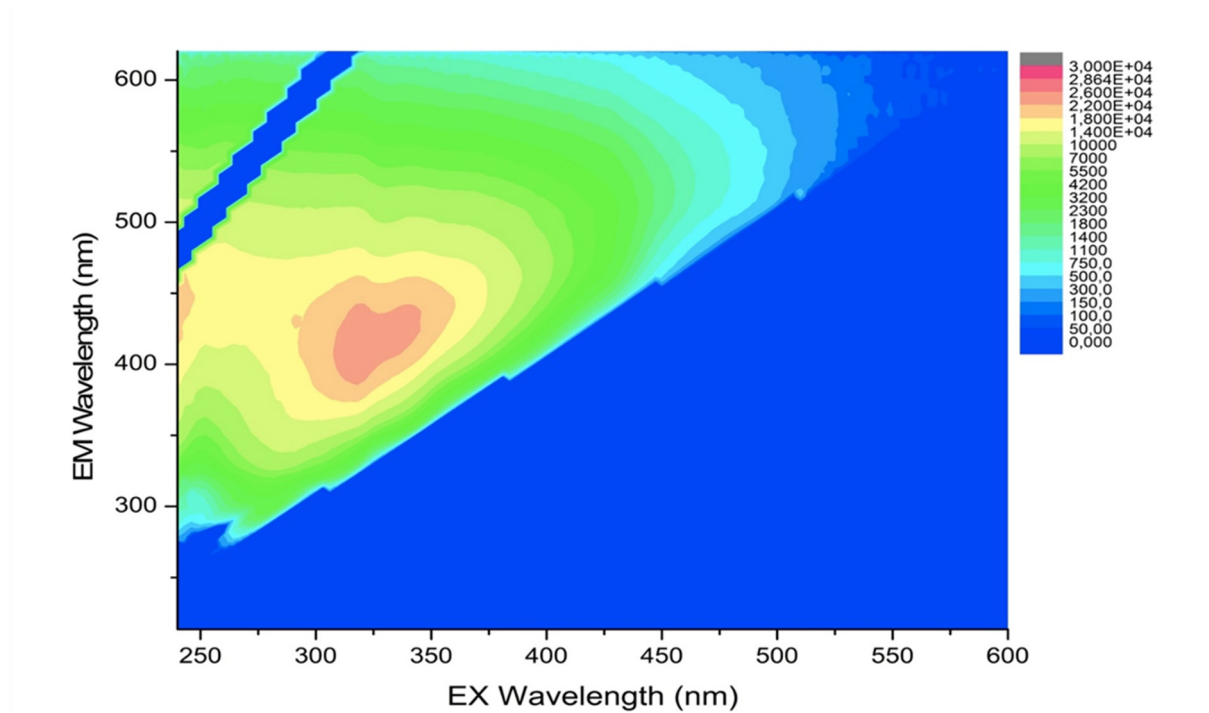


Abbildung 9: EEM des Kläranlagenablaufs vor der Ozonung

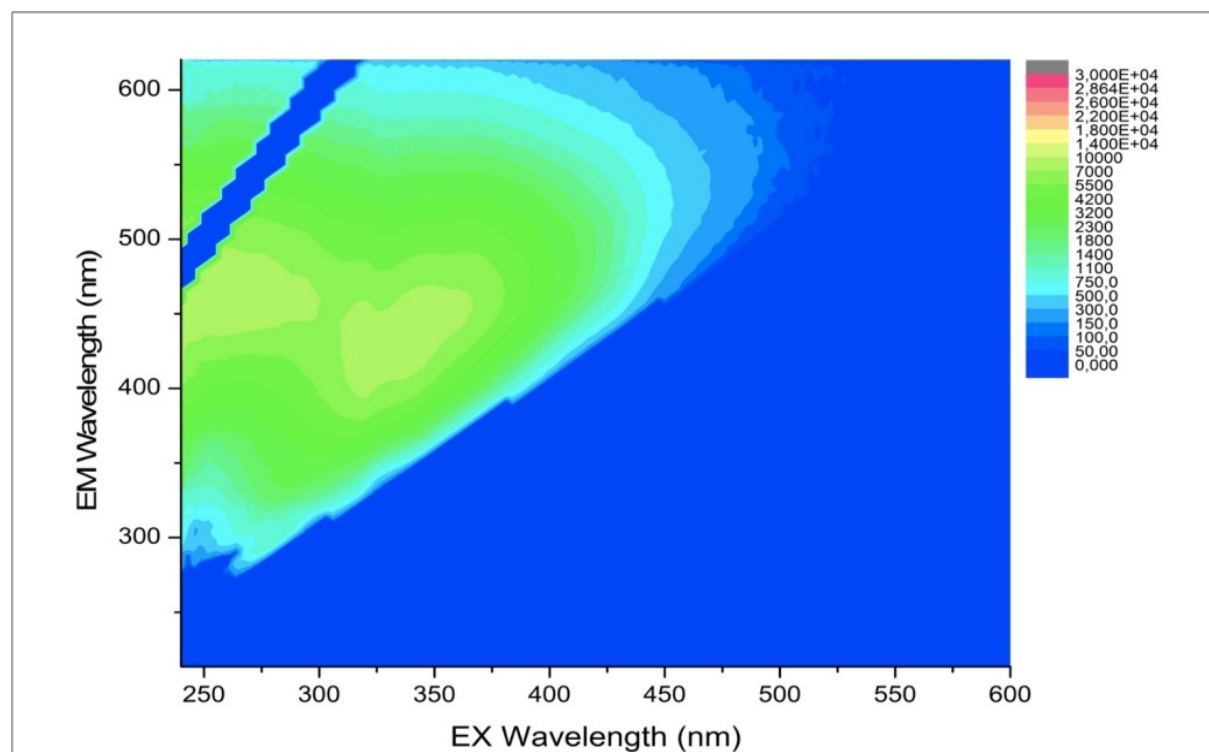


Abbildung 10: EEM des Kläranlagenablaufs nach der Ozonung

3.1.3 Änderung der Fluoreszenz nach der Ozonung

Wie beschrieben, wurde ein Teilstrom des ozonierten Kläranlagenablaufs über einen granulierten Aktivkohlefilter bzw. über einen Anthrazitfilter geführt. Hier

zeigte sich, dass durch die Aktivkohle (nachgeschaltet) eine vergleichbar gute DOC-Entfernung erreicht wurde wie mit dem alleinstehenden Aktivkohlefilter. Allerdings ist eine direkte Vergleichbarkeit aufgrund der unterschiedlichen Filterauslegung und der unterschiedlichen Kontaktzeit nicht möglich.

Der Anthrazitfilter zeigte keine deutliche Veränderung in der Fluoreszenzintensität und somit der DOC-Entfernung nach der Ozonung (vergleiche Abbildung 10 und Abbildung 11).

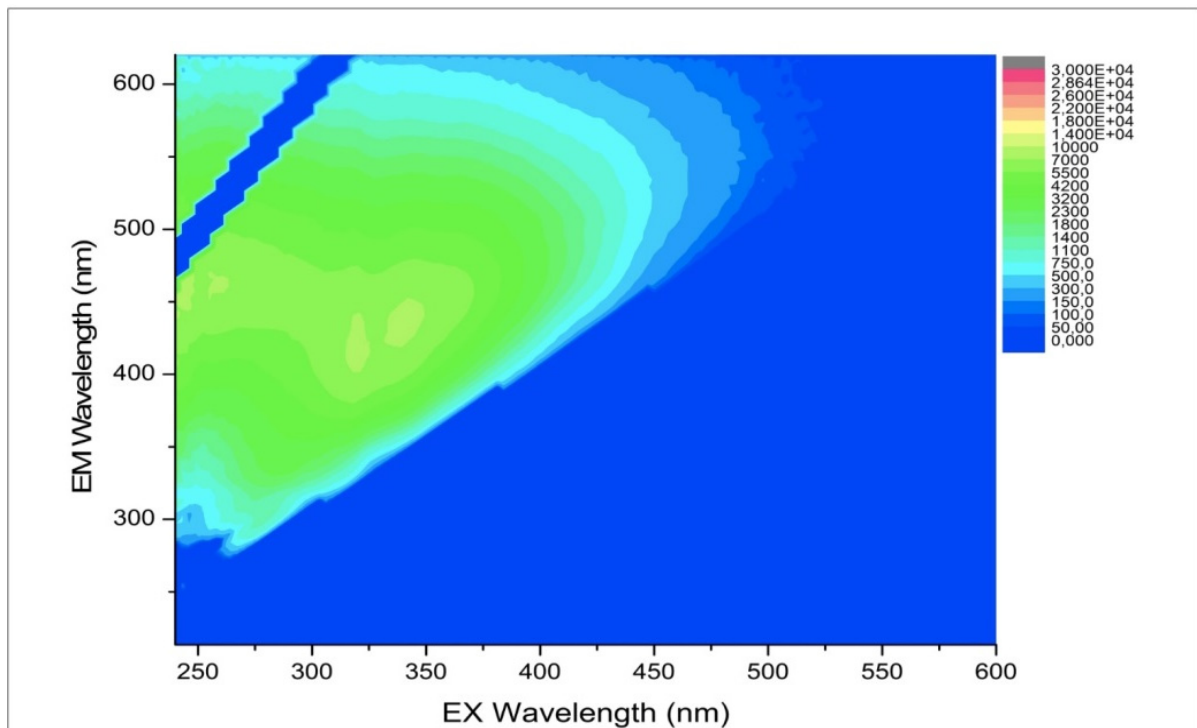


Abbildung 11: EEM des ozonierten Kläranlagenablaufs nach dem Anthrazitfilter

3.2 Aktivkohle

3.2.1 Veränderung der Fluoreszenz im laufenden Betrieb des Aktivkohlefilters

Während des laufenden Betriebs wurden Laborproben analysiert, um kontinuierlich Referenzwerte zur Überwachung der organischen Spurenstoff- und DOC-Entfernung zu generieren. Ebenso wurden von denselben Proben EEMs aufgenommen, um im kontinuierlichen Betrieb den Durchbruchpunkt des Aktivkohlefilters zu finden.

Zu diesem Zweck werden im Folgendem fünf typische Stadien, die das Verhalten des Aktivkohlefilters mit steigendem Bettvolumina (Bettvolumen = m³ Durchsatz/m³ Füllvolumen) darstellen, visualisiert:

- 200 Bettvolumina: Anlaufphase
- 2.000 Bettvolumina: Auftauchen höhermolekularer Kohlenstofffraktionen

- 4.000 Bettvolumina: Fluoreszenzintensität steigt über den ganzen Messbereich
- 8.000 Bettvolumina: Auftauchen weiterer hochmolekularer Intensitätspeaks
- 10.000 Bettvolumina: Unzureichende Adsorptionswirkung

Genau wie im Kapitel Ozonung (siehe 3.1.2) wurden der Zulauf der Pilotanlage (Ablauf der kommunalen Kläranlage) normiert.

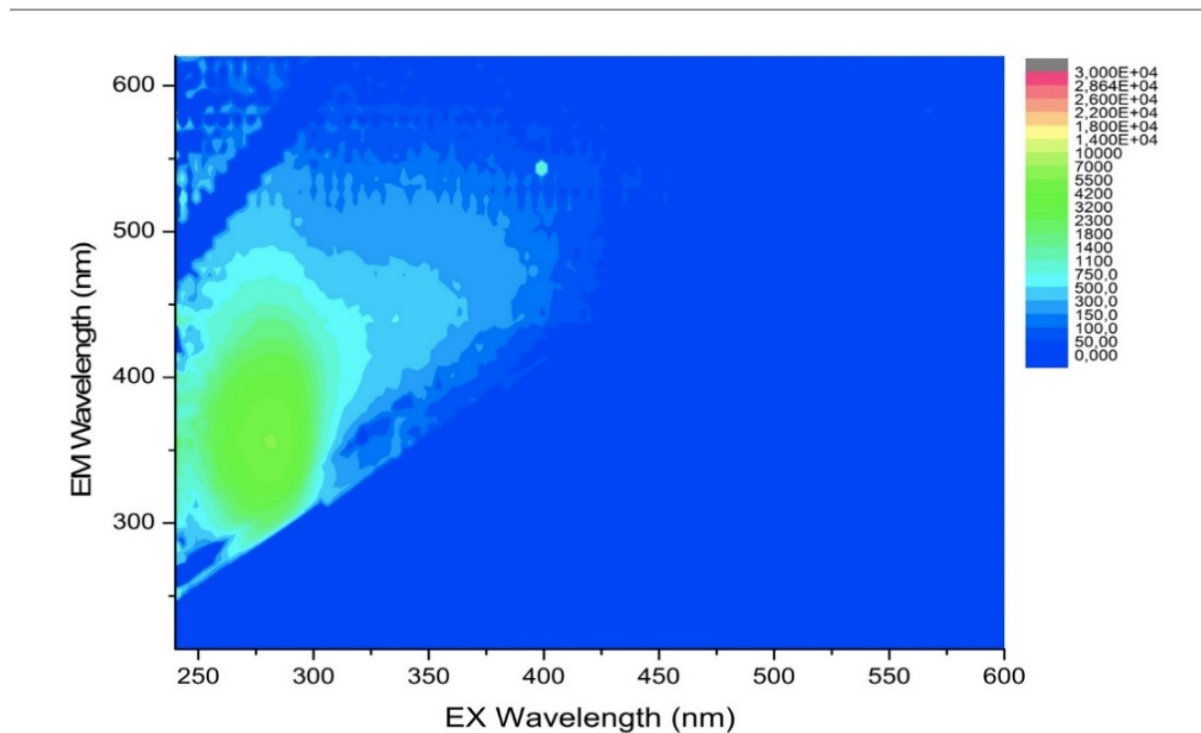


Abbildung 12: 200 Bettvolumina: Anlaufphase

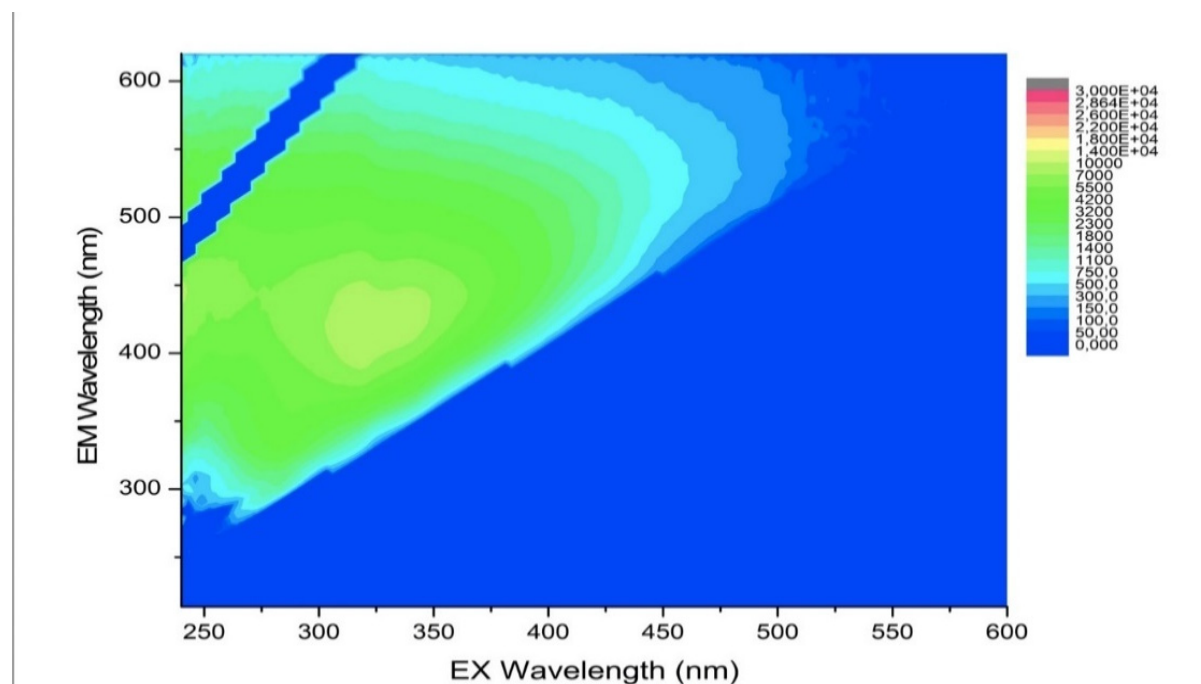


Abbildung 13: 2.000 Bettvolumina: Auftauchen höhermolekularer Kohlenstofffraktionen

Bereits nach 2.000 Bettvolumina ist ein deutliches Wiederkehren der hoch molekularen Kohlenstoffverbindungen erkennbar (vergleiche Abbildung 12 und Abbildung 13). Die Ausbreitung der Fluoreszenzintensität in Regionen höherer Anregungs- und Emissionswellenlängen (Ex/Em: 350) zeigt ein Wiederauftreten von Huminstoffen. Dies kann durch verminderte Adsorptionsleistungen der Aktivkohle bzw. durch Desorptionsvorgänge auftreten.

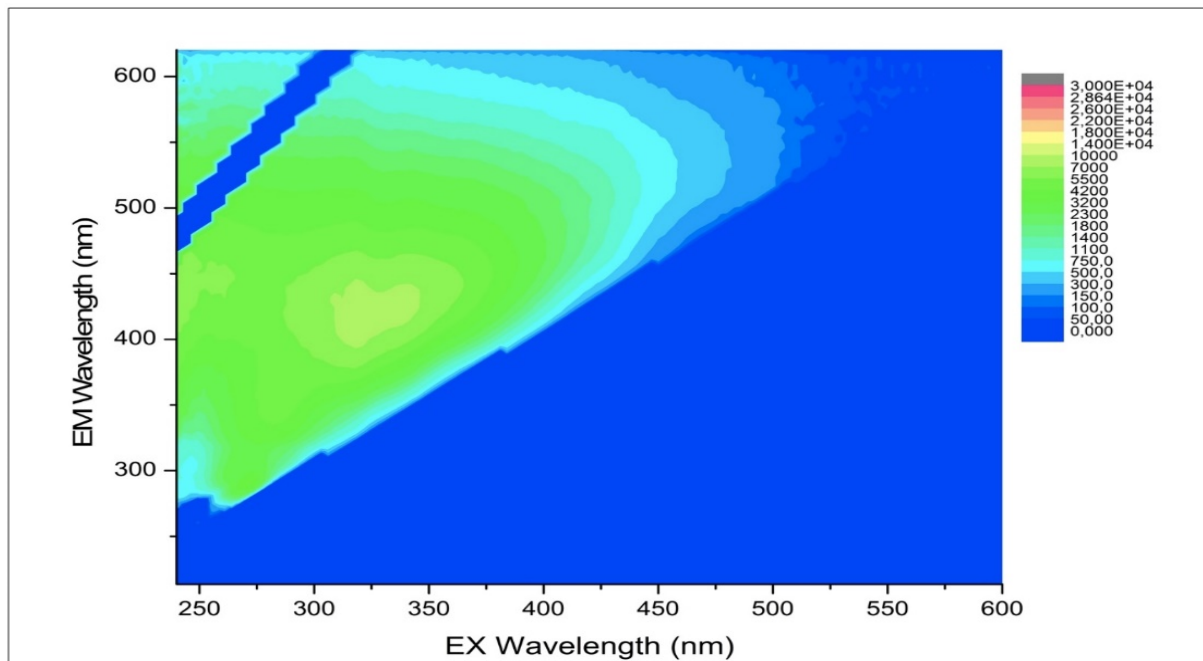


Abbildung 14: 4.000 Bettvolumina: Fluoreszenzintensität steigt über den ganzen Messbereich

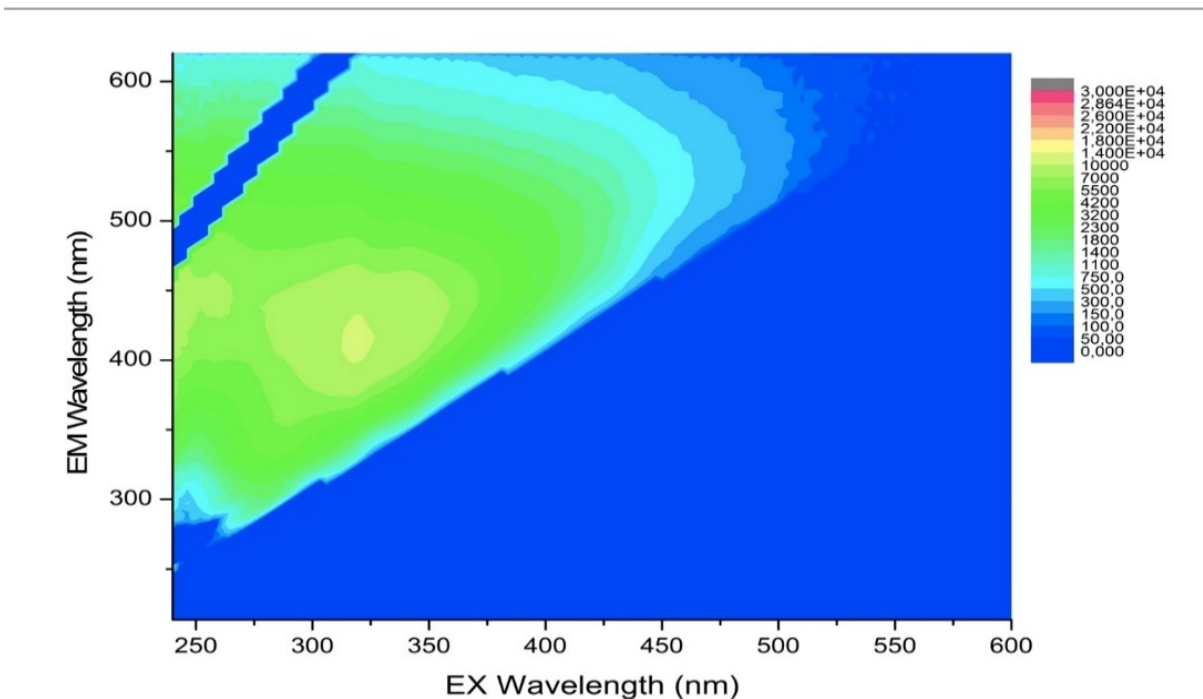


Abbildung 15: 8.000 Bettvolumina: Auftauchen weiterer hochmolekularer Intensitätspeaks

Zwischen 2.000 und 4.000 Bettvolumina sind keine grundlegenden Veränderungen im Fluoreszenzmuster erkennbar, jedoch steigt die Grundintensität, was für eine Verminderung der DOC-Entfernung bzw. auf einen Rückgang der Spurenstoffentfernung schließen lässt (vergleiche Abbildung 13 und Abbildung 14).

Nach 8.000 Bettvolumina tritt bereits ein zweiter Peak, der zuvor auch im Zulauf des Aktivkohlefilters (=Kläranlagenablauf) detektiert wurde, wieder auf (siehe Abbildung 15). Nach 10.000 Bettvolumina ist der Rückgang in der Adsorptionsleistung feststellbar, da das Fluoreszenzmuster dem Eingangsmuster entspricht (siehe Abbildung 16).

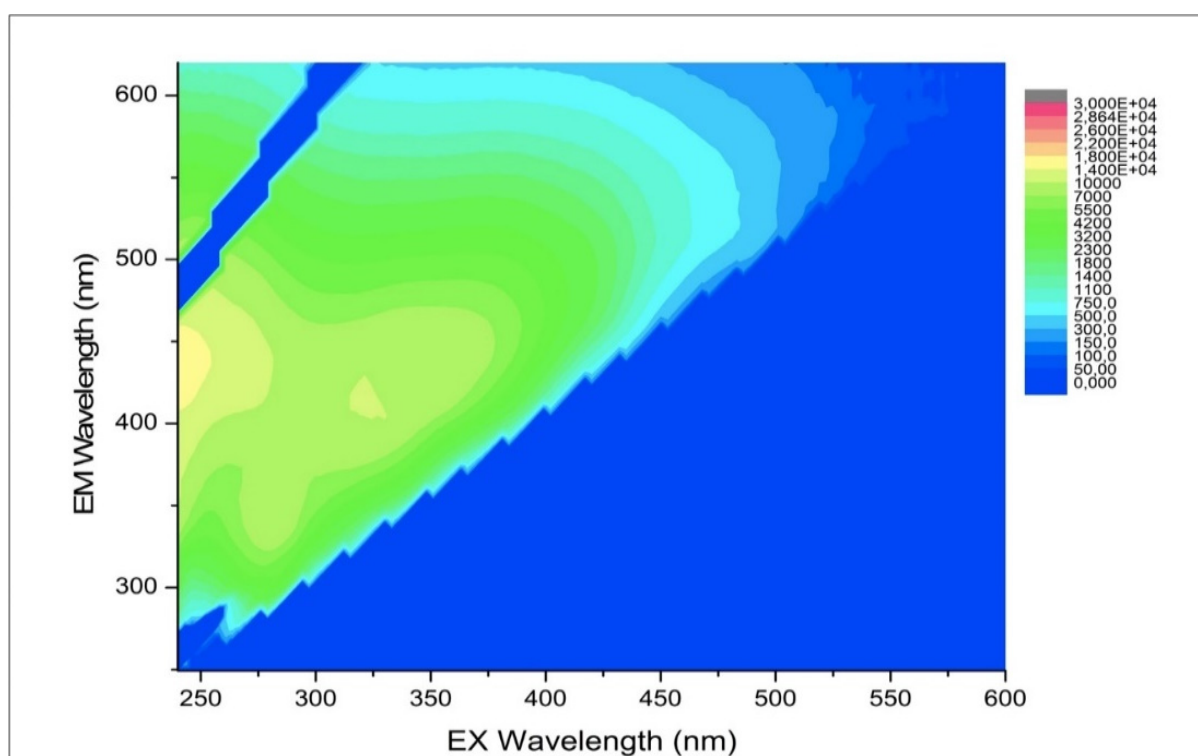


Abbildung 16: 10.000 Bettvolumina: Unzureichende Adsorptionswirkung

3.2.2 Ergebnisse der DOC- und organischen Spurenstoffentfernung zur Bestätigung des Fluoreszenzverhaltens

Durch die im laufenden Betrieb genommenen Proben und die durchgeführte Referenzanalytik konnte das Verhalten der fluoreszenzspektroskopischen Untersuchungen bestätigt werden. Wie in Abbildung 17 gezeigt, steigt die normierte Ablaufkonzentration des DOC mit den Bettvolumina. Mit steigendem Bettvolumen nimmt die Adsorptionsleistung ab und das Verhältnis von Eingangszu Ausgangskonzentration zu. Die dunklen Punkte in der Abbildung stellen die aufgezeichneten EEMs dar (siehe auch Abbildung 12, 13, 14, 15 und 16). Zwischen 200 und 2.000 Bettvolumina ist ein deutlicher Anstieg der relativen DOC-Ablaufkonzentration erkennbar, welcher sich ebenso im Verhalten der

EEMs widerspiegelt. Ebenso ist ein Anstieg zwischen 8.000 und 10.000 Bettvolumina zu erkennen, deutliche Reduktion der Adsorptionsleistung darstellt.

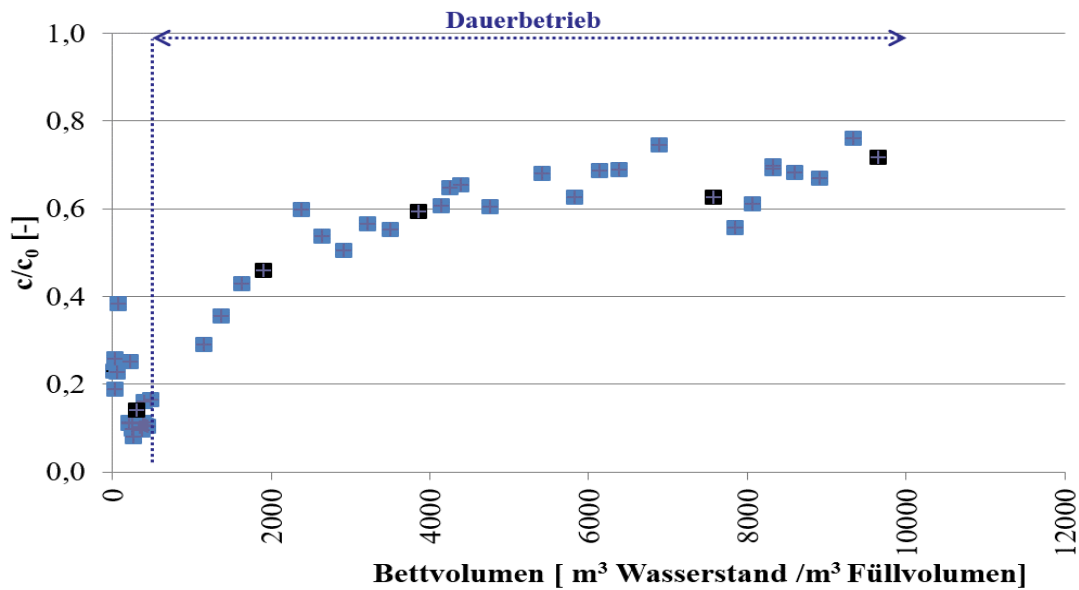


Abbildung 17: Relative DOC-Ablaufkonzentration über spezifischem Durchsatz

Ebenso wie die DOC-Entfernung zeigen die organischen Spurenstoffe bei ansteigendem Bettvolumen eine verminderte Adsorption. Die Ausprägung ist nicht so deutlich erkennbar, da die ausgewählten Spurenstoffe nur einen geringen Anteil an den adsorbierenden Stoffen darstellen und ihre Adsorptionseigenschaften stark variieren (siehe Abbildung 18).

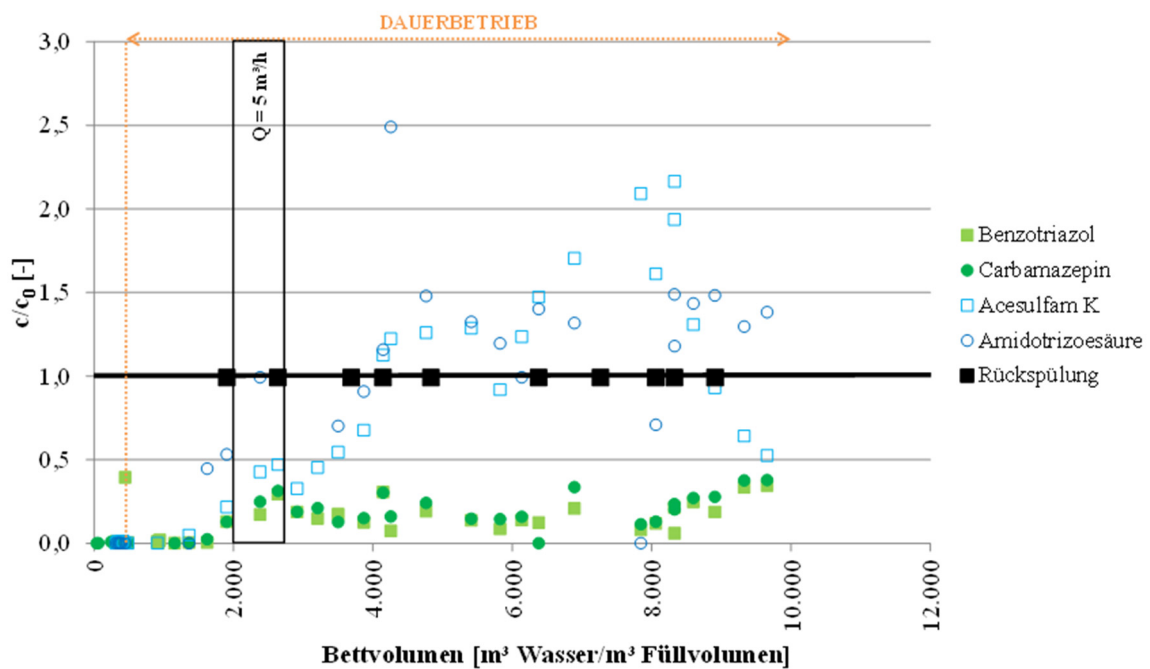


Abbildung 18: Relative Ablaufkonzentrationen ausgewählter Spurenstoffe über spezifischem Durchsatz

4 Conclusio

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse zeigte sich, dass die Fluoreszenzspektroskopie im Vergleich zur UV- bzw. UV/Vis-Spektroskopie eine deutlich höhere Sensitivität gegenüber der DOC-Konzentration aufweist. Im Speziellen durch ihre Eigenschaft, die Änderungen der molekularen Fraktionen des Summenparameters zu detektieren, welche von klassischen Methoden wie UV/Vis- und UV-Spektroskopie kaum nachweisbar sind. Wie bereits in den Abbildungen 12 und 13 ersichtlich, spricht die Fluoreszenzspektroskopie bereits auf sehr geringe Änderungen in der molekularen Zusammensetzung der DOC-Ausgangskonzentration des Aktivkohlefilters an. Da diese Änderungen bereits mit einer geringen Anzahl an Anregungs- und Emissionswellenlängen detektiert werden können, könnte hier eine Onlineüberwachung mit Fluoreszenzspektrometern angedacht werden. Vor allem Grenzwertüberwachungen würden zeitnah den Durchbruchpunkt der Aktivkohle erkennen.

In Bezug auf die Ozonung würde aufgrund der hohen Sensitivität zum DOC und dem statistisch signifikanten multivariaten Modell die Fluoreszenzspektroskopie einen akkuraten Überwachungsparameter zur Prozesskontrolle darstellen. Ebenso wie beim Aktivkohlefilter würden einige Wellenlängen ausreichen, um eine technisch vereinfachte zeitnahe Messung zu gewährleisten. Bei der Ozonung würden diese Wellenlängen allerdings in einem anderen Bereich angesiedelt sein, da hier als Eingangsparameter die DOC-Fraktion der hochmolekularen Stoffe (Huminsäuren) relevant ist. Dennoch müsste bei einem Onlinesensor eine Vorfiltration oder eine Trübungskompensation angedacht werden, da die Fluoreszenzspektroskopie aufgrund der Messmethode trübungsempfindlicher ist. Würde dies nicht berücksichtigt werden, könnte es durch unerwartete Trübungsanstiege (z.B. im Mischwasserfall) zu einer Überschätzung der DOC-Konzentration führen. Dies hätte eine Überdosierung von Ozon zur Folge, welche zur Bildung von hochreaktiven Nebenprodukten mit toxikologischer Relevanz führen kann (Buffle *et al.* 2006).

Zurzeit ist die 3D-Fluoreszenzspektroskopie noch eine Labormethode. Diese Untersuchungen sollten zeigen, dass dieses Verfahren vereinfacht werden kann und somit technische Möglichkeiten bestehen, es auch im Onlinebetrieb einzusetzen.

5 Literatur

- C. Bahr, J. Schumacher, M. Ernst, F. Luck, B. Heinzmann und M. Jekel (2007). "SUVA as control parameter for the effective ozonation of organic pollutants in secondary effluent." *Water Science and Technology*, Volume 55, Issue 12, Pages 267-274
- Tao Zhang, Jinfeng Lu, Jun Ma, Zhimin Qiang (2008). "Fluorescence spectroscopic characterization of DOM fractions isolated from a filtered river water after ozonation and catalytic ozonation." *Chemosphere*, Volume 71, Issue 5, Pages 911-921
- Colin A. Stedmon, Bożena Sereżyńska-Sobecka, Rasmus Boe-Hansen, Nicolas Le Tallec, Christopher K. Waul, Erik Arvin (2011). "A potential approach for monitoring drinking water quality from groundwater systems using organic matter fluorescence as an early warning for contamination events." *Water Research*, Volume 45, Issue 18, Pages 6030-6038
- Tarun Anumol, Massimiliano Sgroi, Minkyu Park, Paolo Roccaro, Shane A. Snyder (2015). "Predicting trace organic compound breakthrough in granular activated carbon using fluorescence and UV absorbance as surrogates." *Water Research*, Volume 76, Pages 76-87
- Waltraud Kessler, *Multivariate Datenanalyse für die Pharma-, Bio- und Prozessanalytik*, Deutschland 2007, Wiley- VCH
- Matthias Otto, *Analytische Chemie*, Deutschland 2006, Wiley-VCH
- Coble PG (1996) Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation-emission matrix spectroscopy. *Mar Chem* 51:325–346.
- Buffle, M.-O., Schumacher, J., Meylan, S., Jekel, M. und von Gunten, U. (2006). "Ozonation and Advanced Oxidation of Wastewater: Effect of O₃ Dose, pH, DOM and HO•-Scavengers on Ozone Decomposition and HO• Generation." *Ozone: Science & Engineering* 28(4): 247-259.
- Colin A. Stedmon¹ and Rasmus Bro Characterizing dissolved organic matter fluorescence with parallel Limnol. Oceanogr.: Methods 6, 2008, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc
- L. Nørgaard, A. Saudland, J. Wagner, J.P. Nielsen, L. Munck and S.B. Engelsen, Interval Partial Least Squares Regression (iPLS): A Comparative Chemometric Study with an Example from Near-Infrared Spectroscopy, *Applied Spectroscopy*, 54, 413-419, 2000.
- R. Leardi and L. Nørgaard, Sequential application of backward interval-PLS and Genetic Algorithms for the selection of relevant spectral regions, *Journal of Chemometrics*, in press.
- N. Kreuzinger, J. Haslinger, L. Kornfeind, H. Schaar, E. Saracevic, A. Winkelbauer, Komozak Endbericht, Weitergehende Reinigung kommunaler Abwasser mit Ozon sowie Aktivkohle für die Entfernung organischer Spurenstoffe, 2015
<https://www.bmlfuw.gv.at/service/publikationen/wasser/KomOzAk--Kurzfassung.html>

Korrespondenz an:

L. Kornfeind, J.Krampe

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

TU Wien, Karlsplatz 13/E226 –1

1040 Vienna, Austria

Kapillarelektrophorese in der Wasser- und Abwasseraufbereitung

Roland Fuiko

Technische Universität Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

Karlsplatz 13/226-1 - 1040 Wien

Abstract: Die Kapillarelektrophorese ist seit über 30 Jahren ein bekanntes elektrokinetisches Analyseverfahren zur Trennung und Quantifizierung chemischer Bestandteile in untersuchten Proben. Im gegenständlichen Projekt wird die Kapillarelektrophorese dazu eingesetzt anorganische Verbindungen in Wasser- und Abwasserproben über automatisierte sequentielle Analysen in einer Quarzglaskapillare aufzutrennen. Ammonium (NH_4^+), Phosphat (PO_4^{3-}), Nitrat (NO_3^-) und Nitrit (NO_2^-) sind die umweltrelevanten Kernparameter, die in einem Laboraufbau gemessen werden. Zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit der Messergebnisse, die oft ein wesentliches Problem bei elektrophoretischen Analysen darstellt, wird ein Prototyp eingesetzt, der am Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft entwickelt, aufgebaut und getestet wurde. Durch gezielte Methodenentwicklung und chemischer Auslegung des eingesetzten Elektrolyten werden die Sensitivität sowie die Auftrennleistung auf den Einsatz in Wasser- und Abwasserbehandlungsanlagen optimiert. In der Abwasserreinigung erreicht man dadurch mit einem Gerät für alle relevanten Parameter neue und notwendige Einblicke in Prozessabläufe. Das ist zum aktuellen Zeitpunkt nicht möglich und kann deshalb als wesentlicher Baustein für Prozessoptimierung und Überwachung angesehen werden. Durch die daraus resultierende Kostenreduktion in der Prozessanalytik bei gleichzeitiger Steigerung der Informationsdichte hat das System ein enormes wirtschaftliches und wissenschaftliches Potential.

Key Words: Kapillarelektrophorese, Abwasser, Wasseranalytik, anorganische Ionenanalyse, Abwasserreinigung

1 Motivation und Zielsetzung

Energieeinsparungen bei der Abwasserreinigung (z.B. Optimierung der Belüftung oder Hauptstromdeammonifikation) und die Minimierung von direkten und indirekten Treibhausgasemissionen (z.B. Lachgasemissionen, Fällmittel- und Polymereinsatz) aus Kläranlagen erfordern eine immer bessere und engere Prozesskontrolle. Während frühere Prozessanalytoren zunächst nur der Messwertermittlung und dem Prozessverständnis dienten, werden die Geräte

heute zunehmend in das Prozessleitsystem eingebunden, wodurch sehr hohe Anforderungen an die Messgenauigkeit und die Stabilität des Messsystems gestellt werden. Die derzeit verfügbaren Geräte erfüllen diese hohen Ansprüche nur unzureichend und es ist eine Vielzahl an unterschiedlichen Geräten erforderlich um alle relevanten Parameter zuverlässig zu bestimmen. Durch den Einsatz mehrerer Geräte für diese Parameter ergeben sich für die Betreiber von Wasser- und Abwasserbehandlungsanlagen hohe Investitions- und Betriebskosten, die den Einsatz der Geräte zum Teil unwirtschaftlich machen. An dieser Stelle setzt dieses Projekt an, mit dem die Entwicklung eines automatisierten Multiparametersystems auf Basis der Kapillarelektrophorese für die Anwendung in der Wasser- und Abwasseraufbereitung vorangetrieben werden soll.

Aus der Sicht der Wassergütewirtschaft sind folgende Parameter relevant: Ammonium (NH_4^+), Phosphat (PO_4^{3-}), Nitrat (NO_3^-), Nitrit (NO_2^-), Chlorid (Cl^-), Bromid (Br^-), Kalium (K^+) und Sulfat (SO_4^{2-}). Für diese Parameter stehen derzeit folgende Messprinzipien zur Verfügung, die auch unter Feldbedingungen einsetzbar sind [1]:

- Photometrie: NH_4^+ , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-}
- Potentiometrie: NH_4^+ , NO_3^- , Cl^- , Br^- , K^+
- Spektrometrie: NO_3^- , NO_2^-

Derzeit gibt es kein Verfahren welches geeignet ist eine kontinuierliche Messung aller wesentlichen Wassergüteparameter in einem Gerät durchzuführen. Marktübliche photometrische Analysatoren liefern nur eine limitierte Anzahl an Parametern, da für die Bestimmung jedes Parameters ein gewisses Set an Chemikalien eingesetzt werden muss, um eine parameterspezifische Farbreaktion zu erzeugen. Um mehrere Parameter photometrisch in einem Analysator zu untersuchen, müssen dementsprechend Dosierpumpen, Ventile etc. installiert werden, was zu einer hohen Komplexität der Anwendung führt.

Das potentiometrische Messprinzip wird bei ionensensitiven Elektroden (ISE) für unterschiedliche Parameter eingesetzt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Die Limitierungen dieser Elektroden im Feldeinsatz ist eine zu hohe Quantifizierungsgrenze, Querempfindlichkeit auf andere gelöste Ionen und geringe mechanische Belastbarkeit.

Spektrometrie kann für den Nachweis von Nitrat und Nitrit eingesetzt werden [2]. Ähnlich wie bei ISE Elektroden ist die Spektrometrie sehr stark Matrix sensitiv und benötigt zusätzlich ein Kalibrationsmodell, welches über Referenzmessungen im Labor auf den speziellen Anwendungsfall angepasst werden muss.

Die Kapillarelektrophorese ermöglicht die Analyse aller relevanter Parameter in einem Aufbau und mit nur einem Elektrolyten. Durch das Einbringen der Probe im Nanoliterbereich in eine mit Elektrolyt gefüllte Quarzglaskapillare wandern die Analyten, durch das Anlegen eines elektrischen Feldes in jene Richtung, die eine entgegengesetzte Polarität aufweist. An dieser Stelle ist üblicherweise ein Detektor positioniert, der eine Quantifizierung der Analyten ermöglicht. Die Migrationsgeschwindigkeit der Analyten ist abhängig von ihrer Ladung, der Ionengröße und der Stärke des elektrischen Feldes. Die Quantifizierungsgrenze reicht bis in den unteren $\mu\text{mol/L}$ Bereich, bei gleichzeitig sehr niedrigem Elektrolyt- und Probenbedarf. Die Kosten für den Aufbau eines Messsystems für alle wesentlichen Nährstoffparameter sind vergleichbar mit dem Anschaffungspreis eines Analysators zur Messung eines einzelnen Nährstoffparameters.

2 Grundlagen der Kapillarelektrophorese

Allgemein wandern geladene Teilchen in einer Lösung unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in unterschiedliche Richtungen. Diese Gesetzmäßigkeiten der Ionenwanderungen wurden vor mehr als 100 Jahren von Kohlrausch untersucht und entsprechend festgehalten [3]. Durch die entsprechende Ladung der Ionen ist deren Bewegungsrichtung im elektrischen Feld vorgegeben, Unterschiede in der Wandergeschwindigkeit haben hingegen zwei Ursachen. Verschiedene Ladungszahlen ergeben unterschiedliche elektrophoretische Mobilitäten im elektrischen Feld, oder die Ionen widersetzen sich der elektrophoretischen Migration durch unterschiedliche Reibungswiderstände aufgrund ihrer Größe bei gleicher effektiver Ladung [4]. Abbildung 1 zeigt einen kleinen Ausschnitt aus einer Quarzglaskapillare während der Auftrennung eines Analyten, der aus positiv (+), negativ (-) und ungeladenen (N) Teilchen besteht. Positiv geladene Teilchen bewegen sich in Richtung der negativ geladenen Elektrode, die Ionen mit negativer Ladung wandern zur positiven geladenen Elektrode. Die ungeladenen Teilchen werden nur durch den elektroosmotischen Fluss (EOF) bewegt, sie besitzen keine elektrophoretische Mobilität.

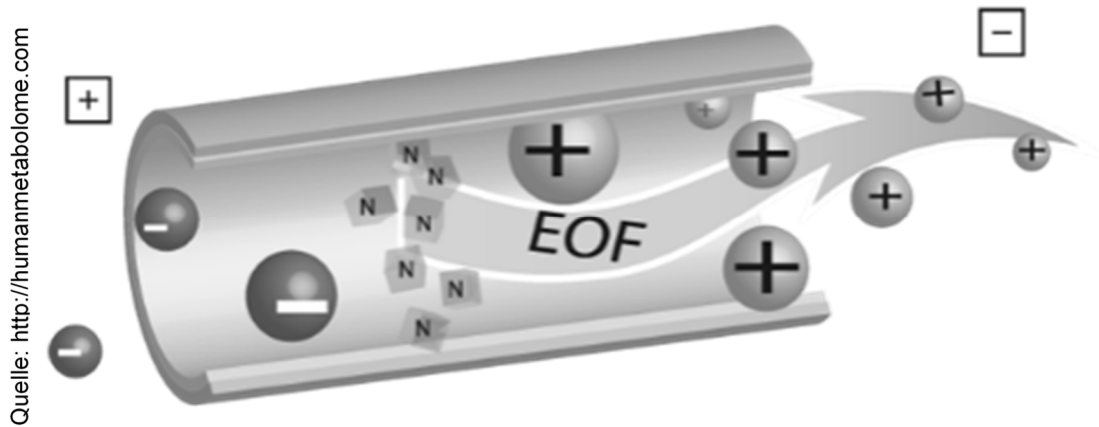


Abbildung 1: Schematische Darstellung einer elektrophoretischen Auftrennung in einer Quarzglas Kapillare.

Der elektroosmotische Fluss entsteht als Grenzflächenphänomen zwischen der Kapillarwand und dem Elektrolyten der sich in der Kapillare befindet unter Einwirkung eines elektrischen Feldes. Quarzglas Kapillaren aus amorphem Glas besitzen eine negative Oberflächenladung, die im Zusammenspiel mit dem eingesetzten Elektrolyten eine sogenannte Doppelschicht an der Kapillarwand ausbilden. Nachdem die Ladungen an der Kapillarwand ortsgebunden sind, werden die beweglichen Ladungen an dieser Grenzschicht durch das elektrische Feld in Bewegung gesetzt. Der Transport der Flüssigkeit im inneren der Kapillare wird durch die aufgebaute Doppelschicht bewerkstelligt und führt zu einem sehr flachen Strömungsprofil entlang der Kapillare. Dieser Effekt führt zu einer sehr hohen Trennschärfe zwischen einzelnen Analyten bei der elektrophoretischen Auftrennung.

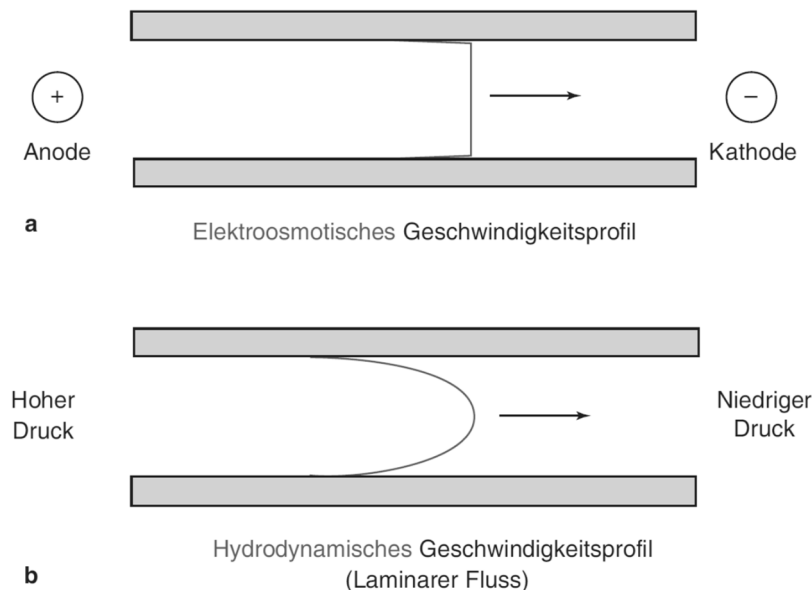


Abbildung 2: Vergleich der Geschwindigkeitsprofile zwischen einem elektroosmotischen Profil und einem hydrodynamischen Strömungsprofil (Abbildungsquelle [6])

In Abbildung 3 ist eine Apparatur für die Kapillarelektrophorese dargestellt. Die Kapillare befindet sich an beiden Enden in Gefäßen die mit Elektrolyt gefüllt sind. Auch die Kapillare selbst ist mit Elektrolyt gefüllt. An einem Ende der Kapillare wird durch Austausch des Gefäßes gegen die Probenlösung und anschließendes Anheben vom Probengefäß der für die Injektion des Probenvolumens notwendige hydrostatische Druck aufgebaut. Dieser Druck wird dazu benötigt, um die entsprechende Probenmenge (im Nanoliter Bereich) in die Kapillare zu drücken. Am zweiten Ende der Kapillare wird ein Detektor angebracht, um die aufgetrennten Ionenpakete, welche durch die Kapillare wandern, zu detektieren. In beiden Elektrolytgefäßen befinden sich die Elektroden, um das zur Auftrennung notwendige elektrische Feld entlang der Kapillare, über eine Hochspannungsquelle, anzulegen. Durch gezieltes Umpolen der Elektroden lassen sich wahlweise Anionen oder Kationen detektieren.

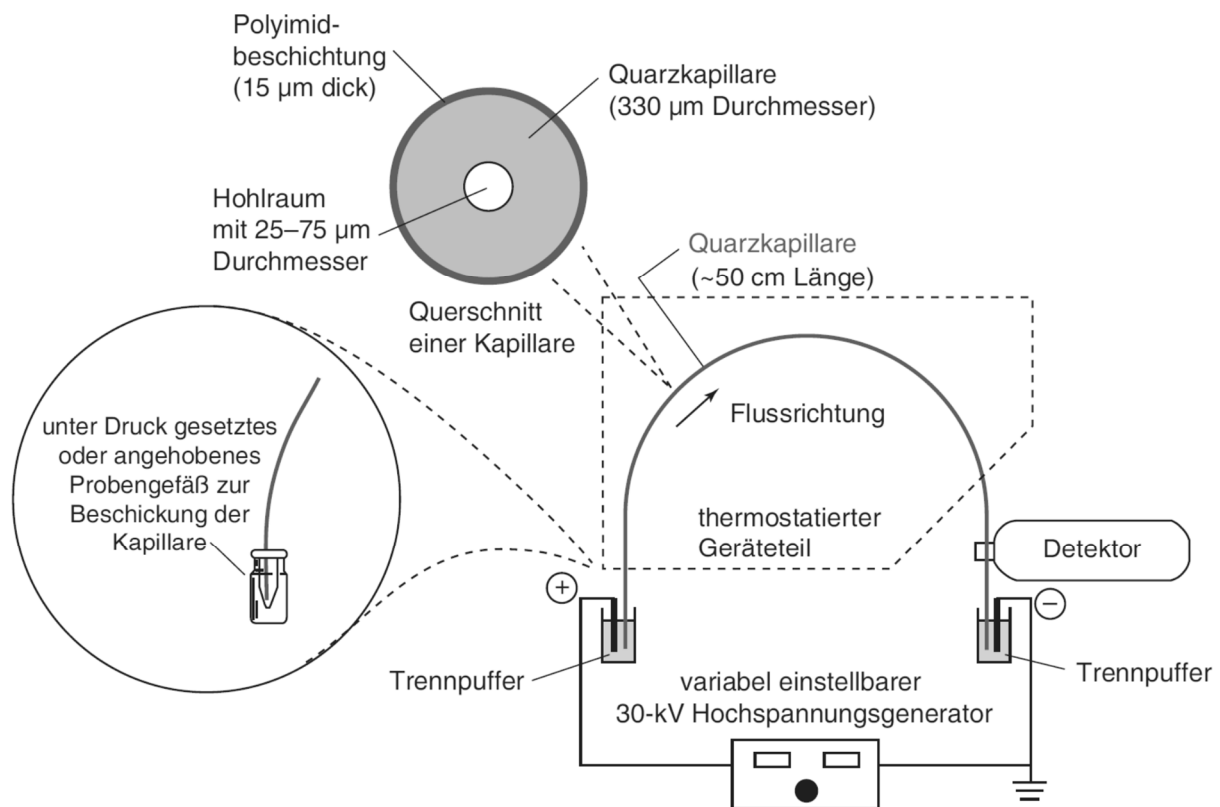


Abbildung 3: Versuchsanordnung zur Realisierung einer elektrophoretischen Auftrennung (Abbildungsquelle [5])

Aus den bekannten und beherrschbaren elektrophoretischen Effekten, im Zusammenspiel mit geeigneten Methoden und Apparaturen, ergeben sich vielfältige Anwendungsgebiete und Trennungsmöglichkeiten unterschiedlichster Probeninhaltsstoffe. Zur Detektion von anorganischen Ionen wird in den letzten Jahren verstärkt die kontaktlose Leitfähigkeitsdetektion eingesetzt. Diese hat gegenüber optischen oder amperometrischen Systemen den Vorteil, dass der

Detektor keinerlei Kontakt zum Elektrolyten oder zum Analyten hat und damit eine sehr robuste und vor allem wartungsfreie Methode der Detektion darstellt.

Unter dem Terminus Kapillarelektrophorese werden allgemein viele unterschiedliche Trenntechniken zusammengefasst. Die am häufigsten eingesetzte Methode ist derzeit die Kapillarzonenelektrophorese (CZE), die auch für dieses Projekt Anwendung findet.

3 Stand der Technik

Seit der ersten bahnbrechenden Veröffentlichung von Jorgenson 1981 [6] zum Thema Kapillarelektrophorese (im Folgenden „CE“ genannt) sind bereits über 30 Jahre vergangen. Die Erwartungen an dieses analytische Trennverfahren waren sehr hoch, konnten aber aus unterschiedlichen Gründen nicht vollends erfüllt werden. In den letzten Jahren gab es jedoch signifikante Fortschritte in der Weiterentwicklung der Verfahren, vor allem in Hinblick auf die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse, die die größte Herausforderung dieser Technik darstellt [7]. Die Reproduzierbarkeit wird hauptsächlich durch die Probeninjektion in die Kapillare bestimmt. Das Probenvolumen beträgt üblicherweise ~1 % des Gesamtvolumens der Kapillare und liegt abhängig von der eingesetzten Kapillare bei wenigen Nanolitern [8]. Die Probeninjektion wird entweder hydrodynamisch oder elektrokinetisch durchgeführt und erreicht Reproduzierbarkeiten (relative Standardabweichung – RSD) zwischen 5 - 10 % RSD [7]. Im Vergleich dazu erreichen HPLC Systeme Reproduzierbarkeiten < 1 % RSD. Bei den Angaben in der Literatur zur Reproduzierbarkeit von CE Systemen sind aber sehr starke Streuungen zu beobachten. In einer Studie von Kunkel et al. [9] wurde von Reproduzierbarkeiten der Peakflächen von 0,5 % RSD mit einem kommerziell verfügbaren Gerät berichtet. Mopper et al. [10] und Boone et al. [11] berichten von 7 % RSD und 17,7 % RSD mit dem gleichen CE System. Im vorliegenden Projekt wurde eine hydrodynamische Injektion gewählt, um den Injektionsfehler („sample composition bias“), der bei einer elektrokinetischen Injektion unvermeidbar auftritt, auszuschließen. Dieser „sample composition bias“ hat wesentliche Auswirkungen auf die Ergebnisse bei quantitativen Analysen [12]. Die Reproduzierbarkeit der Messungen ist aber nicht ausschließlich von der Probeninjektion abhängig, sondern auch von anderen Faktoren, wie Änderungen im elektroosmotischen Fluss (EOF) durch Temperaturschwankungen und den damit verbundenen Änderungen in der Viskosität. Ebenso negative Auswirkungen hat die Adsorption von Probenbestandteilen an der Kapillarwand, falsche Pufferwirkung des Elektrolyten und Elektrolyseeffekte während der Auftrennung. Diese Aspekte stellen ein

wesentliches Risiko dar, dieses System als kontinuierlich messendes Analyseverfahren für die Prozessmesstechnik einzusetzen.

Der Einsatz kapazitiv gekoppelter kontaktloser Leitfähigkeitsdetektoren (C4D) ermöglicht eine direkte Detektion anorganischer Kationen und Anionen. Anfänglich wurden UV-Detektoren in Verbindung mit speziellen Elektrolytlösungen (Komplexbildung zur optischen Detektion) für diese Anwendung eingesetzt, um diese Ionen zu detektieren, was eine indirekte Detektion darstellt und Auswirkungen auf die Sensitivität hat. Durch die rein kapazitive Kopplung des Detektorsignals in den Innenraum der Kapillare [13] kann im Gegensatz zur optischen, potentiometrischen oder amperometrischen Detektion eine Verunreinigung des Detektors ausgeschlossen werden [14].

Zahlreiche wissenschaftliche Studien wurden über die Detektion von Ammonium (NH_4^+), Ortho-Phosphat (PO_4^{3-}), Nitrat (NO_3^-) und Nitrit (NO_2^-) in Wasserproben unter Einsatz unterschiedlicher Elektrolyten und Detektionslimits (LOD) veröffentlicht [16,17,18]. Die Kationen Ammonium und Kalium migrieren gemeinsam durch den Detektor. Über die Beigabe von 18-Crown-6 (Kronether) wird ein Kaliumkomplex gebildet. Dieser Komplex zeigt eine geringere Mobilität, was eine Detektion ermöglicht [18]. Zur Detektion von Anionen werden EOF Modifier eingesetzt, die den elektroosmotischen Fluss umkehren, wodurch sich der EOF und die Analyten in die gleiche Richtung bewegen. Den gesamten dynamischen Bereich der Analyten in Abwassermatrix abzudecken stellt bei der Auftrennung und Elektrolytentwicklung die größte Herausforderung dar. Than Duc Mai et al. zeigen in [19] einen Versuchsaufbau mit sequentieller Injektionsanalyse und C4D Detektion. Die LOD für $\text{PO}_4\text{-P}$ wird in dieser Publikation mit 0,15 mg / L angegeben und wurde durch eine Erhöhung der injizierten Probenmenge erreicht. Die vollständige Auftrennung aller gelösten Inhaltsstoffe war in diesem Fall nicht möglich. Mit entsprechenden Injektionsparametern wurden für die Nährstoffparameter $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ LOD's bis in den unteren μMol Bereich berichtet.

Im diesem Projekt wurde das Verfahren von Than Duc Mai et al. modifiziert und erweitert. Durch die Implementierung eines Druckreglers wird eine flexible Probeninjektion sowie eine effiziente Spülung der Kapillare mit Elektrolyt erzielt. Die Fluidmanipulation wurde auf ein Unterdrucksystem geändert, womit eine Probenschleife („holding coil“) entfällt und der Messzyklus verkürzt wird. Der aktuelle Versuchsaufbau ist in Abbildung 4 dargestellt.

4 Prototypenentwicklung

Während den Vorarbeiten zu diesem Projekt wurde in enger Zusammenarbeit und basierend auf Vorarbeiten der CE Arbeitsgruppe von Prof. Peter C. Hauser der Universität Basel – Institut für Chemie, ein Versuchsaufbau realisiert, der eine sequentielle Analyse von Proben ermöglicht (Abbildung 4). Basierend auf dem System der „sequential injection analysis“ in Kombination mit der elektrophoretischen Analyse ist der Aufbau der Versuchsanordnung sehr einfach gehalten (im Vergleich zur HPLC Technik oder CFA Methoden). Zum Einsatz kommt eine Spritzenpumpe mit eingebautem 2-Wege Ventil, ein ansteuerbares 6-Wege Ventil, ein 3/2-Wege Ventil (V1), ein Druckminderer und ein Feindruckregler. Die Fluidmanipulation erfolgt über die Spritzenpumpe, die Probeninjektion und das Spülen der Quarzglaskapillare wird über den Feindruckregler mit komprimiertem Stickstoff durchgeführt, um einerseits eine reproduzierbare Probenmenge zu injizieren und andererseits den Druck im System während des Spülvorgangs der Kapillare niedrig zu halten. Eine Spülung der Kapillare mit der Spritzenpumpe erzeugt, aufgrund des geringen Durchflusses durch die Kapillare, hohe stoßförmige Druckbelastungen, was zu Schäden und Undichtheiten an den Ventilen und Fittings führen würde. Eine steuerbare Hochspannungsquelle liefert je nach Einstellung eine positive oder negative Auftrennungsspannung an die Elektrode, die sich im Behälter mit der Elektrolytlösung befindet. Dieser Behälter befindet sich in einer Acrylglas Box mit Sicherheitsschalter, der beim Öffnen der Box die Spannungsversorgung der Hochspannungsquelle unterbricht.

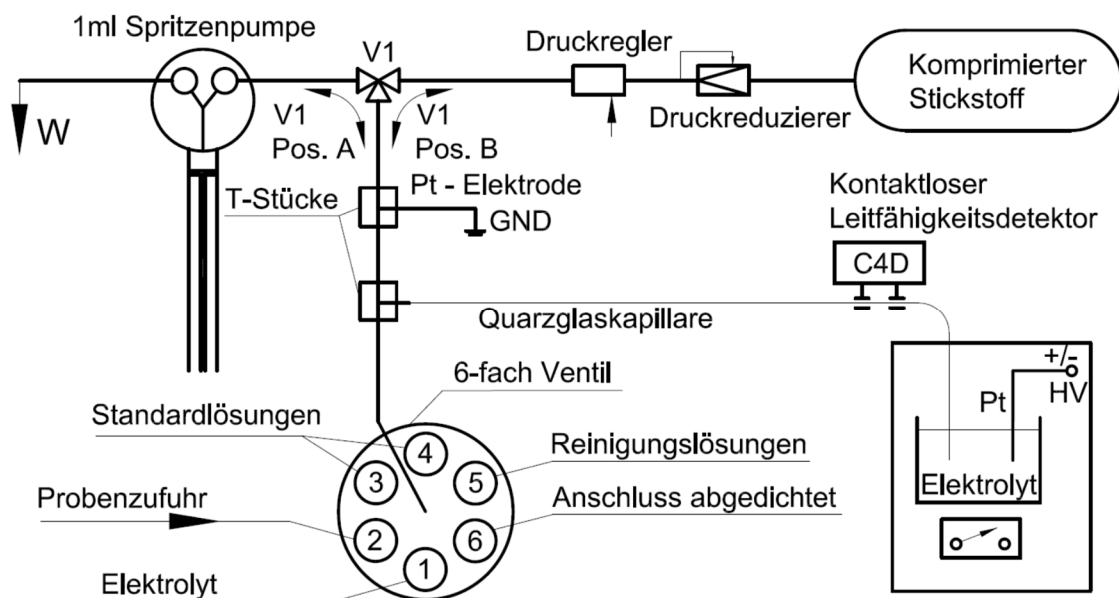


Abbildung 4: Aktuell realisierter Versuchsaufbau an der TU – Wien. Pt: Platinelektrode, HV: Hochspannungsanschluss

Ein Messzyklus beginnt mit dem Spülen der beiden T-Stücke mit der Elektrolytlösung. Am ersten T-Stück ist die Kapillare angeschlossen, am zweiten T-Stück eine Platin Elektrode. Um den Spülvorgang zu starten, fährt die Spritzenpumpe nach unten und saugt den Elektrolyten vom 6-fach Ventil durch das System. Die Pumpe fährt wieder in ihre Ausgangsposition und befördert den Spülrückstand in ein Auffangbehältnis (W). Es folgt die druckgestützte Spülung der Kapillare, indem das Ventil V1 in Position B bewegt wird und ein entsprechender Druck über den Druckregler aufgebaut wird. Im nächsten Schritt wird die Probe vom 6-fach Ventil aufgezogen und zum Kapillareingang in das T-Stück transportiert. Durch das Anlegen von Überdruck über den Feindruckregler wird die entsprechende Probenmenge in die Kapillare gepresst. Die Probenrückstände werden im Anschluss durch das Ansaugen der Elektrolytlösung wieder aus den T-Stücken entfernt. Um mit der Auftrennung zu beginnen, wird über eine Hochspannungsquelle eine definierte Spannung an den Platinelektroden angelegt und der Prozess der elektrophoretischen Auftrennung beginnt.

Unter dem Einfluss des elektrischen Feldes, welches entlang der Kapillare über die Platinelektroden angelegt wird, beginnen die Ionen in Richtung der entgegengesetzt geladenen Elektrode zu wandern. Die Migrationsgeschwindigkeit der Ionen, die sich in der injizierten Probe befinden, ist abhängig von deren Ladung, Ionengröße und der Stärke des elektrischen Feldes. Aufgrund der unterschiedlichen Migrationsgeschwindigkeiten der Ionen, werden sie entlang der Kapillare voneinander getrennt und erreichen zu unterschiedlichen Zeiten das Ende der Kapillare beziehungsweise den kontaktlosen Leitfähigkeitsdetektor (C4D).

Die Messablaufsteuerung für den gezeigten Versuchsaufbau wird über eine Arduino Physical-Computing-Plattform in Verbindung mit einem PC durchgeführt. Die Software basiert auf einem Open Source Python Framework [20].

5 Ergebnisse

Am Institut für Wassergüte Ressourcenschutz und Abfallwirtschaft der TU-Wien wurde bereits Anfang 2014 mit der Entwicklung und dem Aufbau eines Prototyps begonnen, mit dem Ziel, autonom sequentielle Analysen von Wasser- und Abwasserproben durchzuführen. Durch ständige Optimierung des Versuchsaufbaus wurde mittlerweile ein sehr kompakter und mobiler Prototyp entwickelt der sich auch für kurze Messperioden für den Feldeinsatz eignet. Für die folgend angeführten Resultate wurde ein Elektrolyt auf der Basis von 2-(N-

Morpholino)ethansulfonsäure (MES) sowie Tris(hydroxymethyl)-aminomethan (TRIS) eingesetzt und damit die Auftrennungen von Abwasserproben und Standardlösungen durchgeführt. Mit dieser Elektrolytzusammensetzung wurde eine Separation aller Ionenpakete über eine effektive Trennstrecke von 48 cm bei einem Innendurchmesser der Kapillare von 20 μm erreicht.

5.1 Analysen von Standardlösungen

Die ersten Messungen, um den korrekten Aufbau und die Messmethode zu überprüfen, wurden mit Standardlösungen durchgeführt. Dafür wurde deionisiertes Wasser mit bekannten Konzentrationen von Kaliumdihydrogenphosphat (KH_2PO_4), Ammoniumchlorid (NH_4Cl), Natriumnitrat (NaNO_3) und Natriumnitrit (NaNO_2) eingesetzt.

Als Elektrolyt wurde eine Lösung mit 20mM MES und 100mM TRIS eingesetzt. Um Anionen zu detektieren, die für die aktuelle Anwendung die meiste Relevanz haben, ist es notwendig den elektroosmotischen Fluss umzukehren. Dadurch wird gewährleistet, dass die Anionen auch den Detektor erreichen. Eine optimale Flussumkehr wurde durch die Zugabe von 0.01 mM Cetyltrimethylammoniumbromid erreicht.

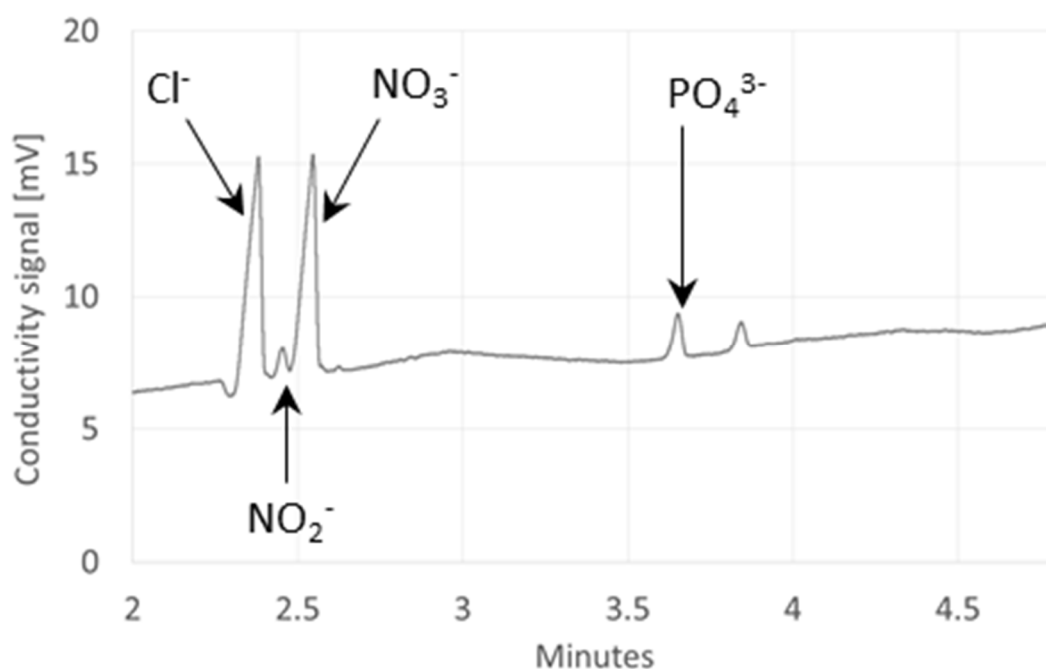


Abbildung 5: Leitfähigkeitssignal des Detektors während einer Auftrennung von Standardlösung

Nachdem Chlorid das kleinste Ion mit der höchsten Mobilität ist, erreicht es auch als erstes den Detektor, gefolgt von Nitrit, Nitrat und Phosphor. Die Konzentrationen der Standardlösungen für die in Abbildung 5 dargestellte Auftrennung ist in Tabelle 1 festgehalten.

Tabelle 1: Konzentrationen einzelner Ionen in der Standardlösung

Parameter	Konzentration [mg / L]
Cl	12
NO ₂ -N	0,5
NO ₃ -N	5
PO ₄ -P	1,5

5.2 Sytemkalibrierung durch Standardlösungen

Zur direkten Umrechnung von Peakflächen aus den gewonnenen Elektropherogrammen auf Ionenkonzentrationen, muss zu den ermittelten Peakflächen eine Kalibrationsfunktion bekannt sein. Durch Auftrennung unter gleichen Randbedingungen wurde bei unterschiedlichen Konzentrationen, der eingesetzten Standardlösungen, die Linearität des Systems überprüft.

Es hat sich gezeigt, dass die gemessenen Peakflächen in linearem Zusammenhang zu den Konzentrationen der Standardlösungen stehen. In Abbildung 6 wird die integrierte Peakfläche den Ionenkonzentrationen der Standardlösungen gegenübergestellt und daraus die gesuchte Kalibrationsfunktion für das jeweilige Ion berechnet.

Eine Kalibration des Messsystems lässt sich, diesen Ergebnissen folgend, über zwei Standardlösungen mit unterschiedlichen Ionenkonzentrationen durchführen. Die linearen Funktionen die in Abbildung 6 angeführt sind, zeigen, dass die berechnete Funktion für die untersuchten Ionen, bis auf Chlorid, alle den Nullpunkt durchschreiten. Für diese Ionen besteht daher die Möglichkeit eine Kalibration nur mit einer Standardlösung durchzuführen und damit nur die Steilheit des Systems vor den Messungen zu überprüfen.

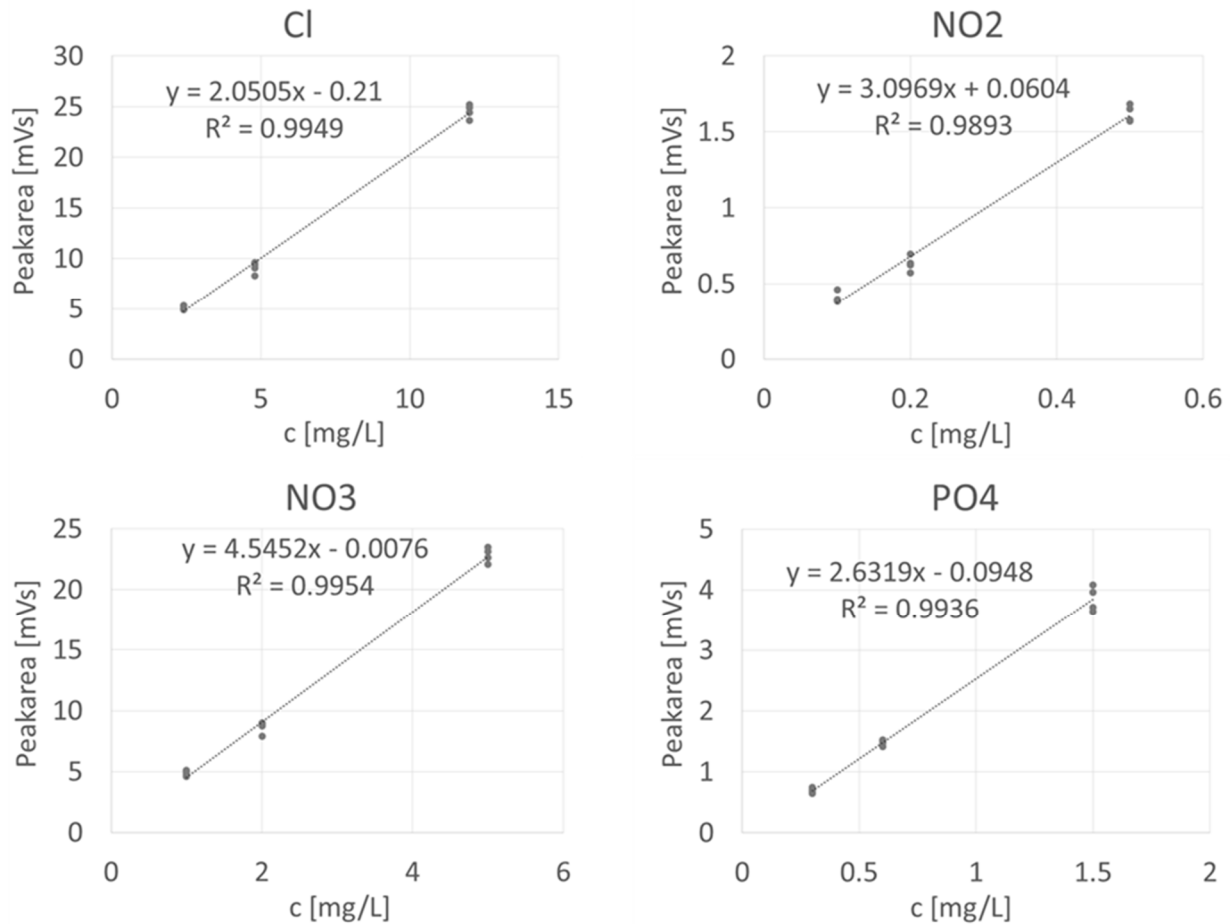


Abbildung 6: Überprüfung der Linearität des Systems anhand von Messungen mit Standardlösungen (KH_2PO_4 , NH_4Cl , NaNO_3 , NaNO_2)

5.3 Auftrennung von Abwasserproben

Werden die Peakflächen der Auftrennung von einer Abwasserprobe (Abbildung 7) über die zuvor gezeigte Kalibration ausgewertet, ergeben sich die Konzentrationen aus Tabelle 2. Die Chlorid Konzentration wurde bei der untersuchten Probe vom Labor nicht analysiert, daher ist hier kein Vergleichswert vorhanden. Die Nitrit-Stickstoff Konzentration lag bei der Labormethode unter der Nachweisgrenze. Die Nitrat-Stickstoff und Ortho-Phosphat Messwerte zeigen sehr gute Übereinstimmung mit der eingesetzten Labormethode. Für Nitrat-Stickstoff wurde eine Abweichung von 4,5 % und für Ortho-Phosphat von 5,8 % erreicht. Die relative Standardabweichung (RSD) bei 4 Wiederholungen der Messung liegt unter 2 %. Die Messungen haben durchschnittliche Messabweichungen kleiner 10 % im Vergleich zur Referenzanalyse.

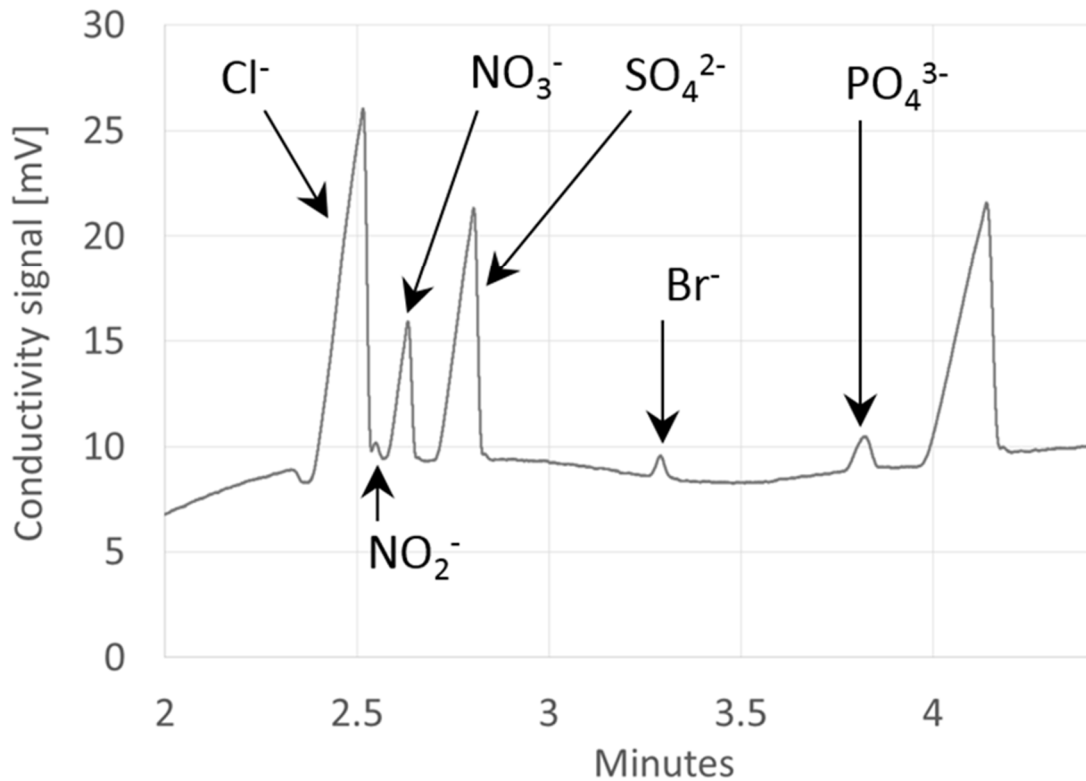


Abbildung 7: Unbearbeitete Rohdaten des Leitfähigkeitsdetektors. Probe: Kläranlagen Zulauf, Trennungsspannung 25kV, Injektion 1,5s mit 15psi, eff. Kapillarlänge 48cm, ID: 20µm

Der Bromid Peak zwischen Sulfat und Phosphor ist bisher noch nicht bestätigt. Dies wäre möglich indem man die eingesetzte Standardlösung um diesen Stoff erweitert, sofern er für die entsprechende Anwendung relevant ist. Die Herkunft des massiven Peaks nach dem Phosphor ist bisher noch nicht restlos geklärt.

Tabelle 2: Auswertung einer Auftrennung über 2 Punkt Kalibration und Gegenüberstellung zu einer Referenzanalyse

	Cl [mg/L]	NO ₂ -N [mg/L]	NO ₃ -N [mg/L]	PO ₄ -P [mg/L]
Auftrennung	42.14	0.1	1.8	1.64
Laboranalyse	nicht bestimmt	nicht nachweisbar	1.72	1.55

6 Herausforderungen

Für den Feldeinsatz der Kapillarelektrophorese werden in einem laufenden FFG Projekt der Technische Universität Wien - Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft noch einige Randbedingungen geprüft um das tatsächliche Potential dieses Verfahrens abschätzen zu können.

6.1 Probenvorbereitung – Probenfiltration

Die Probe kann bisher nicht unvorbereitet an den bestehenden Prototypen übergeben werden. Durch die eingesetzten Kapillaren, mit einem Innendurchmesser zwischen 20µm und 50µm, ergibt sich eine maximal zulässige Partikelgröße die in der Probe an das System übergeben werden kann. Daher wird der Einsatz marktverfügbarer Methoden zur Probenfiltration und Probenvorbereitung geprüft, evaluiert und gegebenenfalls an diese Anwendung angepasst.

6.2 Automatisierung der Datenauswertung

Die messtechnisch aufgezeichneten Peaks müssen erkannt und interpretiert werden. Die Fläche unter den Peaks gibt Aufschluss über die molare Konzentration der jeweils in der Probe vorkommenden Ionen. Dazu ist die Entwicklung einer Software geplant, die die einzelnen Peaks zunächst detektiert, hinsichtlich ihrer Relevanz selektiert und die entsprechende Konzentration errechnet.

6.3 Temperaturverhalten des Gesamtsystems

Während den Vorversuchen wurden alle Messungen bei Raumtemperatur durchgeführt. Die Spannungen während der Auftrennung wurden unter 25 kV gehalten um das sogenannte „joule heating“, das Erwärmen der Kapillare, auszuschließen. Geklärt werden muss, wie sich Änderungen der Umgebungstemperatur auf das Messverhalten auswirken.

7 Literatur

- [1] Winkler, S., 2009. Water quality sensors for long term field monitoring: Development, state of the-art and future perspectives, Keynote presentation at the 10th international IWA conference on Instrumentation, Control and Automation, 15-17 June 2009, Cairns, Australia
- [2] Winkler, S., Rieger, L., Saracevic, E., Pressl, A., Gruber, G., 2004. Application of ion-sensitive sensors in water quality monitoring. *WatSciTech* 50(11), pp. 105-114
- [2] Rieger, L., Langergraber, G., Thomann, M., Fleischmann, N., Siegrist, H., 2004. Spectral in-situ analysis of NO₂, NO₃, COD, DOC and TSS in the effluent of a WWTP. *Water Science and technology* 50, 143–152.
- [3] Kohlrausch, F., Brodhun, E., & Henning, F. (1935). *Praktische Physik zum Gebrauch für Unterricht - Forschung und Technik* (Siebzehnte vollständig neu bearbeitete Aufl. / unter Mitarb. von E. Brodhun [et al.]; hrsg. von F. Henning.). Teubner.

- [4] Kuhn, R., 1995. *Kapillarelektrophorese: Methoden und Möglichkeiten*. Heinz Engelhard, Wolfgang Beck and Thomas Schmitt Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden, 1994; pp. 206, Hardcover DM 72–, ISBN 3-528-06597-4. *ELECTROPHORESIS* 16, 158–159.
- [5] Harris, D.C., 2014. *Lehrbuch der quantitativen Analyse*. Springer-Verlag.
- [6] Jorgenson, J.W., Lukacs, K.D., 1981. Zone electrophoresis in open-tubular glass capillaries. *Anal. Chem.* 53, 1298–1302. doi:10.1021/ac00231a037
- [7] Kubáň, P., Seiman, A., Kaljurand, M. 2013. Sampling and Quantitative Analysis in Capillary Electrophoresis, in *Capillary Electrophoresis and Microchip Capillary Electrophoresis: Principles, Applications, and Limitations* (eds C. D. García, K. Y. Chumbimuni-Torres and E. Carrilho), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA. doi: 10.1002/9781118530009.ch3
- [8] Altria, K.D., 2002. *LC-GC Eur.* 9, 1-5.
- [9] Kunkel, A., Degenhardt, M., Schirm, B., Wätzig, H., 1997. Performance of instruments and aspects of methodology and validation in quantitative capillary electrophoresis an update. *Journal of Chromatography A* 768, 17–27. doi:10.1016/S0021-9673(97)00068-X
- [10] Mopper, B., Sciacchitano, C., 1996. Capillary electrophoresis for regulatory analysis: is it ready? Problems encountered during an interlaboratory study utilizing capillary electrophoresis. *Journal of capillary electrophoresis* 4, 73–76.
- [11] Boone, C.M., Franke, J.-P., de Zeeuw, R.A., Ensing, K., 2000. Intra- and interinstrument reproducibility of migration parameters in capillary electrophoresis for substance identification in systematic toxicological analysis. *ELECTROPHORESIS* 21, 1545–1551. doi:10.1002/(SICI)1522-2683(20000501)21:8<1545::AID-ELPS1545>3.0.CO;2-6
- [12] Huang, X., Gordon, M.J., Zare, R.N., 1988. Bias in quantitative capillary zone electrophoresis caused by electrokinetic sample injection. *Analytical Chemistry* 60, 375–377.
- [13] Kubáň, P., Hauser, P.C., 2015. Contactless conductivity detection for analytical techniques—Developments from 2012 to 2014. *ELECTROPHORESIS* 36, 195–211. doi:10.1002/elps.201400336
- [14] Kappes, T., C. Hauser, P., 1998. Portable capillary electrophoresis instrument with potentiometric detection. *Anal. Commun.* 35, 325–329. doi:10.1039/A806680I
- [15] Torres, N.T., Hauser, P.C., Furrer, G., Brandl, H., Muller, B., 2013. Sediment porewater extraction and analysis combining filter tube samplers and capillary electrophoresis. *Environ. Sci.: Processes Impacts* 15, 715–720. doi:10.1039/C3EM00068K
- [16] Torres, N.T., Och, L.M., Hauser, P.C., Furrer, G., Brandl, H., Vologina, E., Sturm, M., Burgmann, H., Muller, B., 2014. Early diagenetic processes generate iron and manganese oxide layers in the sediments of Lake Baikal, Siberia. *Environ. Sci.: Processes Impacts* 16, 879–889. doi:10.1039/C3EM00676J

- [17] Mai, T.D., Hauser, P.C., 2011. Anion separations with pressure-assisted capillary electrophoresis using a sequential injection analysis manifold and contactless conductivity detection. *ELECTROPHORESIS* 32, 3000–3007.
doi:10.1002/elps.201100200
- [18] Camilleri, P., 1997. *Capillary electrophoresis: theory and practice*. CRC press.
- [19] Mai, T.D., Pham, T.T.T., Pham, H.V., Sáiz, J., Ruiz, C.G., Hauser, P.C., 2013. Portable Capillary Electrophoresis Instrument with Automated Injector and Contactless Conductivity Detection. *Anal. Chem.* 85, 2333–2339.
doi:10.1021/ac303328g
- [20] Koenka, I.J., Sáiz, J., Hauser, P.C., 2014. Instrumentino: An open-source modular Python framework for controlling Arduino based experimental instruments. *Computer Physics Communications* 185, 2724–2729. doi:10.1016/j.cpc.2014.06.007

Korrespondenz an:

Roland Fuiko

Technische Universität Wien

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft

Karlsplatz 13/226-1

1040 Wien

Tel.: +43 1 588 01-22635

Mail: rfuiko@iwag.tuwien.ac.at

Vollautomatisierte und zeitnahe Bestimmung von Enzymaktivitäten in Wasserressourcen

Stadler P.^{1,2}, Ryzinska-Paier G.³, Kornfeind L.², Nemeth L.², Lendenfeld T.⁴, Vogl W.⁵, Blaschke A.P.^{6,7}, Kreuzinger N.¹, Farnleitner A.H.^{3,7} & Zessner M.^{1,2}

¹ TU Wien, Centre for Water Resource Systems, A-1040, Wien, Österreich

² TU Wien, Institut für Wassergüte, Abfallwirtschaft und Ressourcenmanagement, Karlsplatz 13, A-1040 Wien, Österreich

³ TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und technische Biowissenschaften, Forschungsgruppe Biotechnologie und Mikrobiologie, Gumpendorferstraße 1a, 1060 Wien, Österreich

⁴ WSB Labor-GmbH, Steiner Landstraße 27a, 3500 Krems, Österreich

⁵ Vienna Water Monitoring, Dorfstrasse 17, A-2295 Zwerndorf, Österreich

⁶ TU Wien, Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, E222/2, Karlsplatz 13 A-1040 Wien, Österreich

⁷ Interuniversity Cooperation Centre for Water and Health, TU Wien & Medizinische Universität Wien, Gumpendorferstraße 1a, 1060 Wien, Österreich

Abstract: Labormethoden zur Bestimmung enzymatischer Aktivitäten in Wasserproben wurden in den letzten Jahrzehnten in der Fachliteratur mehrfach beschrieben und ihr Einsatz als Surrogat für das Erfassen von mikrobiologischer Verschmutzungen diskutiert. Aktuelle Technologien ermöglichen seit neuestem die vollautomatisierte Messung von Enzymaktivitäten, wodurch die Voraussetzung für den Einsatz dieser Methodik in Feld-Messstationen und zur zeitnahen Generierung von Messwerten geschaffen wurde. Sowohl Labor- als auch automatisierte enzymatische Untersuchungen basieren auf der Detektion von fluorogenen Substraten zur spezifischen Bestimmung der enzymatischen Aktivität, wie zum Beispiel der beta-D-Glucuronidase (GLUC), der beta-D-Galactosidase oder der Esterase Aktivität. In diesem Beitrag werden Ergebnisse rezenter Studien zusammengeführt um folgende Schwerpunkte herauszuarbeiten: (i) die technische Realisierung und Anwendung von automatisierten Messungen enzymatischer Aktivitäten an unterschiedlichsten, technisch fordernden Standorten, (ii) die Eignung der GLUC Aktivität als Proxyparameter für kultivierungsbasierte Nachweise von *E.coli*, sowie (iii), die Zeigerwirkung der automatisch erfassten GLUC Aktivität für fäkale Kontamination von Wasserressourcen.

Es wird gezeigt, dass die technische Anwendung von Messgeräten zur automatisierten und zeitnahen Bestimmung von Enzymaktivitäten in Wasser an

verschiedensten Standorten durchgeführt werden konnte und, dass die technische Robustheit der Geräte einen Einsatz von Grundwassermonitoring bis hin zur Überwachung von Kläranlagenablauf ermöglicht. Durch die automatisierte Messungen der GLUC Aktivität in unterschiedlichen Testgebieten wurde erstmals gezeigt, dass die Korrelation zwischen GLUC Aktivität und kultivierungsbasierten Nachweisen von *E.coli* vom Habitat abhängig ist. Dementsprechend konnte die Eignung von automatisierten GLUC Messungen als Proxy für kultivierungsbasierte *E.coli* Nachweise nicht bestätigt werden. Die vor Ort und in hoher zeitlicher Auflösung gemessenen Enzymaktivitäten können dennoch eine sehr wertvolle Ergänzung in der Überwachung der Wasserqualität darstellen. Zukünftige Anwendungs- und Entwicklungsmöglichkeiten werden diskutiert.

Key Words: Beta-D-glucuronidase, *E.coli*, Enzymaktivität, fäkale Verschmutzung, hygienisch-mikrobiologische Wasserqualität

1 Einleitung

Die sensitive und schnelle Erkennung von mikrobiologischer Kontamination ist unverzichtbar für ein nachhaltiges und proaktives Management von Wasserressourcen. Kultivierungsbasierte Standardmethoden sind zur schnellen Bewertung der mikrobiologischen Wasserqualität nur sehr bedingt geeignet, da sie keine taggleichen Ergebnisse liefern (Cabral, 2010). In den letzten zwei Jahrzehnten wurden Labormethoden zur Messung der enzymatischen Aktivität in Wasserproben getestet und ihre Eignung zur Bestimmung der mikrobiologischen Belastung vorgeschlagen (Farnleitner et al., 2002; Fiksdal et al., 1994a; Fiksdal and Tryland, 2008; George et al., 2001; Garcia-Armisen et al., 2005). Diese Verfahren bedürfen einer Laboreinrichtung und aufwendiger Probenentnahme und sind daher zu zeitaufwändig für zeitnahe Bestimmungen.

Moderne Technik ermöglicht neuerdings die vollautomatisierte Messung von Enzymaktivität und deren Nutzen für zeitnahe Monitoring (Koschelnik et al., 2015; Ryzinska-Paier et al., 2014; Zibuschka et al., 2010). Messergebnisse können in einem Zeitraum von weniger als einer Stunde verfügbar sein. Daher hat diese Methodik ein ausgesprochen großes Potential für die Implementierung in Frühwarnsysteme oder zur Prozessüberwachung. Auch in Hinblick auf wissenschaftliche Fragestellungen, betreffend Transportprozesse von Verschmutzung und Einzugsgebietscharakterisierung, ist die automatisierte Messung der Enzymaktivität von großem Interesse. Daher waren Tests des Betriebs dieser automatisierten Prototypen von Nöten. Besonders Informationen über Robustheit im langzeitigen Feldbetrieb, die Übereinstimmung und

Vergleichbarkeit von Messergebnissen sowie die Proxytauglichkeit für kultivierungsbasierte mikrobiologische Analytik sind von Bedeutung. In den letzten Jahren wurden an der TU Wien Studien und Feldversuche durchgeführt die eben diese Fragen behandeln und Prototypen zur automatisierten Messung der Enzymaktivität an unterschiedlichsten Standorten testeten: Ryzinska-Paier et al. (2014) testeten den Einsatz dieser Methodik im Karst- und Porengrundwasser, Stadler et al. (2016) im schwebstoffreichen Oberflächengewässer und Kornfeind et al. (2016) im Kläranlagenablauf. Die Testgebiete dieser Studien unterscheiden sich grundlegend bezüglich der Wasserqualität und der Wassermatrix, mikrobieller Einträge, Hydrologie und Nutzung. Um die Anwendungstechnik von automatisierten enzymatischen Methoden zu erörtern werden in diesem Beitrag Versuchsergebnisse aus den oben erwähnten Arbeiten zusammengeführt.

2 Methodik

2.1 Datengrundlage

Die Datengrundlage für diesen Beitrag bilden aktuelle Studien, welche die Realisierung von automatischen Messungen von Beta-D-Glucuronidase (GLUC) Aktivität an unterschiedlichsten Standorten beschreiben. Diese Studien wurden von Ryzinska-Paier et al. (2014), Stadler et al. (2016) und Kornfeind et al. (2016) an der TU Wien durchgeführt. Der Entschluss diese Grundlage zu verwenden begründet sich wie folgt: Die drei Studien wurden an Standorten durchgeführt die sich grundlegend bezüglich Wasserqualität, Mikrobiologie und Dynamik unterscheiden und durch ihre Gegensätzlichkeit technisch fordernde Standorte repräsentieren. Die Prototypen die während dieser Studien getestet wurden verwendeten alle ein Substrat zur Bestimmung der GLUC Aktivität. Da Daten aus Laboranalysen zur GLUC Messung in der Literatur vorliegen (Farnleitner et al., 2002; Garcia-Armisen et al., 2005; George et al., 2000; Ouattara et al., 2011) ist ein Vergleich zwischen Labor- und automatisierter vor Ort Messung möglich.

2.2 Versuchsgebiete

Karst Aquifer: Die Karstquelle LKAS2 entspringt in den nördlichen Kalkalpen. Ihr hydrogeologisches Einzugsgebiet hat eine ungefähre Größe von 60 km² und erstreckt sich auf bis 2200 m.ü.A. Das hydrologische Regime ist charakterisiert durch eine karsttypische hohe Abflussdynamik und zeichnet sich durch rasches Ansprechverhalten auf Niederschlagsereignisse aus (Stadler et al., 2008).

Während der Testphase wurde ein Schüttungsmaximum von 30 m³/s und ein –minimum von 1.1 m³/s aufgezeichnet. Die Wassertemperatur von LKAS2 ist über das Jahr weitgehend konstant und der Median von 5.4°C widerspiegelt ein alpines Einzugsgebiet in dieser Region. Bedingt durch Starkregenereignisse wurden Trübungswerte bis 4.5 FNU gemessen. Die Hauptquelle für fäkale Belastung stellt oberflächenassoziiertes Eintrag, durch Niederschlagsereignisse, während der Weidezeit in den Sommermonaten dar (Reischer et al., 2008).

Porengrundwasser: Der Brunnen PGAW1 liegt im alluvial geprägten Rückstaubereich der Donau, südlich von Wien (Vierheilig et al., 2013). Die Wasserqualität ist das Jahr hindurch konstant. Fäkale Belastung sind über weite Strecken nicht gegeben. Eine Kontamination des Aquifers tritt nur sehr vereinzelt durch große Hochwässer der Donau auf (Kirschner et al., 2014)

Oberflächengewässer: MW ist eine Messstation an einem Gerinne, welches ein landwirtschaftlich geprägtes Einzugsgebiet mit einer Größe von 66 ha entwässert. Das HOAL (Hydrological Open Air Laboratory, Blöschl et al., 2015) ist ein Versuchseinzugsgebiet in Niederösterreich und ist charakterisiert durch hohe Abflussdynamik mit unmittelbarem Ansprechverhalten auf Niederschlagsereignisse (Exner-Kittridge et al., 2013). Während der Testphase wurde ein Abflussmaximum von 73 l/s und ein –minimum von 0.5 l/s aufgezeichnet. Während Starkregenereignissen können im Bachwasser Trübungswerte von bis zu 3210 FNU erreicht werden. Die Wassertemperatur bewegt sich zwischen 0.2 °C und 20°C und folgt dem jährlichen Verlauf der Lufttemperatur. Die Hauptquelle für fäkale Belastung von Grund- und Oberflächengewässer am HOAL ist die periodische Ausbringung von Gülle auf den Feldern (Stadler et al., 2016).

Kläranlage: Die Messstation WWTP befindet sich am Ablauf einer kommunalen Kläranlage. Es wurden Differenzmessungen zwischen Zu- und Ablauf einer Ozonbehandlung und einer Aktivkohlefiltration realisiert.

Tabelle 1: Überblick über hydrologische Parameter und *E.coli* an drei Messstationen

	LKAS2 (2010-2011)			PGWA1 (2010-2011)			MW (2014-2015)		
	median	min	max	median	min	max	median	min	max
Abfluss (LKAS2, MW) Förderrate (PGWA1) [l/s]	4107	1112	29795	65	0	262	2.3	0.5	73.4
Trübung [FNU]	0.3	0.0	4.5	0.2	0.1	0.9	8	0	3210
Leitfähigkeit [µS/cm]	195	159	222	563	493	650	769	260	856

Wassertemperatur [°C]	5.4	4.9	5.9	11.4	9.8	13.1	10.7	0.2	20
<i>E.coli</i> [MPN/100ml]	0	0	435	0	0	0	172	0	3450

2.3 Automatisierte Messung der GLUC Aktivität

Zur automatisierten Messung der Enzymaktivität wurden Prototypen mit zwei unterschiedlichen Konstruktionen verwendet (BACTcontrol: MicroLAN, Netherlands; ColiMinder: VWM, Austria). Beide Designs sind für die Bestimmung von Beta-D-Glucuronidase Aktivität ausgelegt, ermitteln und übermitteln die Messergebnisse in naher Echtzeit. Eine photometrische Messkammer in den Geräten ermöglicht eine hochaufgelöste Fluoreszenzmessung. Während des Messzykluses wird die Wasserprobe mit speziellen Reagenzien und dem geeigneten Substrat vermischt, dadurch wird bei erreichter Reaktionstemperatur ein ansteigendes Fluoreszenzsignal generiert, welches über eine bestimmte Zeit erfasst wird und das die enzymatische Aktivität der Wasserprobe darstellt. Metadaten, die als interne Kontrollparameter dienen, werden bei jeder Messung zusätzlich erfasst, diese sind unter anderem die Linearität des aufgezeichneten Fluoreszenzsignals, Messdauer, Temperatur in der Messkammer, Temperatur im Gehäuse und Leerwertmessungen. Die Messgeräte sind mittels GPRS-Modem für kabellosen Datentransfer und on-line Zugriff ausgerüstet. Ein vollständiger Messzyklus bei den ColiMinder Geräten dauert 30 bis 40 Minuten (Koschelnik et al., 2015) wobei eine Probenmenge von 6.5 ml genützt wird, bei den BACTcontrol Geräten dauert er 180 Minuten und die Probenmenge kann zwischen 100 ml und 5000 ml eingestellt werden (Ryzinska-Paier et al., 2014; Zibuschka et al., 2010). BACTcontrol Geräte die für Quell- und Grundwassermonitoring genutzt wurden nutzten interne Filtration von 1000 ml Probe, beim Oberflächengewässermonitoring wurden 100 ml Probe, ohne interne Filtration, analysiert.

ColiMinder nutzt die Einheit Modified Fishman Units (MFU/100ml) basierend auf der Einheit für enzymatische Aktivität laut Fishman and Bergmeyer, 1974 und Bergmeyer, 2012. BACTcontrol liefert die Messergebnisse in pmol/min/100ml. Stadler et al. (2016) konnten ein generelles ein zu eins Verhältnis zwischen mMFU/100ml und pmol/min/100ml im Gerätevergleich feststellen.

An den Messstationen PGAW1 und LKAS2 waren ausschließlich BACTcontrol Geräte im Einsatz (Testphase 2010 bis 2011). An der Messstation MW waren BACTcontrol und ColiMinder von 2014 bis 2015 parallel im Einsatz. Bei Station WWTP wurde ausschließlich ein ColiMinder Gerät genutzt (2015).

Automatisierte GLUC Messungen an allen Standorten wurden durch parallel erfasste physiko-chemische Parameter ergänzt.

GLUC Messungen bei MW, die mit zwei unterschiedlichen Konstruktionen erfasst wurden, wurden miteinander Verglichen (lineare Korrelationsanalyse).

3 Ergebnisse

3.1 Betrieb von Geräten zur automatisierten Messung von Enzymaktivität

3.1.1 Technische Anwendung

Vom technischen Standpunkt betrachtet waren alle getesteten Geräte für den langzeitigen Betrieb an den unterschiedlichsten Standorten geeignet. Messabläufe und Reinigungszyklen wurden autonom und zu den angegebenen Intervallen durchgeführt. Messergebnisse wurden über das GPRS Netzwerk übermittelt und waren on-line abrufbar. Die nötigen Abstände für manuelle Reinigung von Leitungen waren im Betrieb am Oberflächengewässer und am Kläranlagenablauf deutlich kürzer als im Grundwassermonitoring.

Messergebnisse konnten ohne technische Ausfälle für bis zu 6 Monate gesammelt werden, sogar unter technisch sehr fordernden Bedingungen wie 3 g/l TSS (total suspended solids) im Probenwasser.

Bei Station PGAW1 wurde das technische Limit hinsichtlich Bestimmungsgrenze erreicht. An der Station MW wurde festgestellt, dass für die Messung in schwebstoffreichen Gewässern eine Probenvorbereitung, in Form von Vorfiltration (1 mm bei ColiMinder, 0.1 mm bei BACTcontrol) nötig ist um einen langzeitigen Betrieb der Geräte zu gewährleisten (Stadler et al., 2016). Eine entsprechende Vorbehandlung führt jedoch zu keiner Beeinträchtigung des Messsignals (Stadler et al., 2016).

Tabelle 2: Technische Eckdaten der Testgeräte (verändert nach Stadler et al., 2016)

	ColiMinder	BACTcontrol
Messstation	<i>MW, WWTP</i>	<i>PGAW1, LKAS2, MW</i>
Hersteller	Vienna Water Monitoring (Österreich)	MicroLan (Niederlande)
Getestetes Substrat	beta-d-glucuronidase (GLUC)	beta-d-glucuronidase (GLUC)

Parameter	mMFU/100ml	pmol/min/100ml
Bestimmungsgrenze	0.8 mMFU/100ml	1.5 pmol/min/100ml
Zeitliche Auflösung	60 min	180 min
Datenübermittlung	GPRS Modem	GPRS Modem
Miterfasste Kontrollparameter (Metadaten)	Fluoreszenzsignal, Steigung des Signals, Temperatur, Messdauer, Leerwert	Fluoreszenzsignal, Steigung des Signals, Temperatur, Messdauer, Leerwert
Leerwertmessung (einstellbar)	Alle 12 Stunden	Alle 24 Stunden
Laufzeit	<u>MW</u> : 12 Monate	<u>MW</u> : 6 Monate * <u>PGAW1, LKAS2</u> : 12 Monate
2 Geräte im Parallelbetrieb	<u>MW</u> : ColiMinder-01, ColiMinder-02	<u>MW</u> : BACTcontrol-01, BACTcontrol02
Serviceintervalle (z.B. Reagenzientausch, Reinigung von Leitungen)	<u>MW</u> : vierzehntägig	<u>MW</u> : vierzehntägig <u>PGAW1, LKAS2</u> : monatlich
Technische Service (z.B. Rekalibrierung)	3 – 6 Monate	6 – 12 Monate

3.1.2 Vergleich von automatisch generierten GLUC Messungen

An Station MW wurden insgesamt vier Geräte mit zwei unterschiedlichen Konstruktionen im Parallelbetrieb getestet (2x BACTcontrol, 2x ColiMinder) (Stadler et al., 2016). Durch lineare Regressionsanalyse der Messdaten wurde eine sehr gute Übereinstimmung der Messsignale von Geräten der gleichen Konstruktion festgestellt. Ein Bestimmtheitsmass von 0.94 wurde für die beiden ColiMinder Geräte und 0.96 für die beiden BACTcontrol Geräte errechnet (alle p-Werte < 0.001) (Stadler et al., 2016). Die Korrelation zwischen Messdaten von Geräten unterschiedlicher Konstruktionen ist mit einem Bestimmtheitsmass von 0.71 gegeben und zeigt vergleichbare Ergebnisse an (Abbildung 1).

Die schwächere Korrelation von 0.71 kann dadurch erklärt werden, dass BACTcontrol und ColiMinder Geräte die Proben von gegenüberliegenden Seiten des Gerinnes zogen und Messerzeitpunkte bis zu 60 Minuten voneinander abweichen (zu diesem Zeitpunkt noch kein konsequenter Zeitstempel bei

ColiMinder). Generell zeigte sich aber ein sehr symmetrischer Verlauf der GLUC Signale.

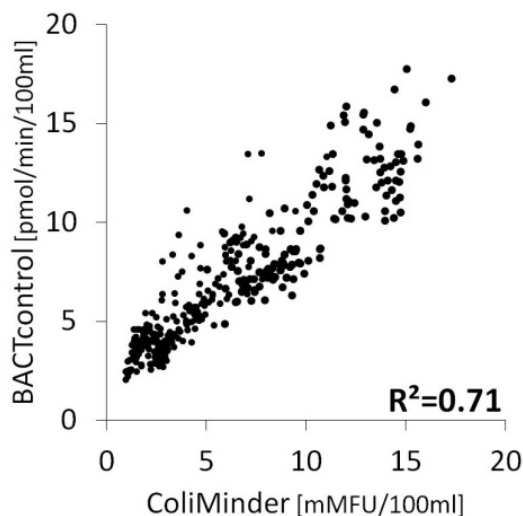


Abbildung 1: Vergleich von Ergebnissen unterschiedlicher Geräte (verändert nach Stadler et al., 2016)

3.2 Größenordnung und Dynamik der GLUC Signale

Die an den vier Messstellen gewonnenen GLUC Signale unterscheiden sich grundlegend in ihrer Größenordnung und Dynamik.

GLUC Werte von PGAW1 (Abbildung 2) liegen für den gesamten Testzeitraum konstant unterhalb der Bestimmungsgrenze (Ryzinska-Paier et al., 2014). Bei Station LKAS2 (Abbildung 2) widerspiegelt das gemessene GLUC Signal das hydrologisch hoch dynamische Regime eines Karstaquifers. Besonders während intensiver Niederschläge in den Sommermonaten traten Spitzen der Enzymaktivität auf und erreichten Maxima von bis zu 6.0 pmol/min/100ml. Aber auch im Winter traten bei Starkregenereignissen GLUC Werte von bis zu 2.5 pmol/min/100ml auf. Der Verlauf von GLUC Aktivität im Bachwasser, gemessen an Station MW (Abbildung 2), ist hoch dynamisch. Einzelne Regenereignisse bedingen hier einen unmittelbaren Anstieg der enzymatischen Aktivität. Weiters charakteristisch für dieses Testgebiet ist der Anstieg der Basis-GLUC-Aktivität, die in den Sommermonaten August/September ihr Maximum erreicht, rückläufig im Herbst ist und ihr Minimum im späten Winter hat. BACTcontrol lieferten Messwerte zwischen 1.1 und 108 pmol/min/100ml und ColiMinder zwischen 0.8 und 120 mMFU/100ml. Die erfassten GLUC Signale bei LKAS2 und MW spiegelten im Wesentlichen hydrologische Dynamiken wider, die durch physiko-chemischen Parametern erfasst wurden.

Bei Station WWTP zeigte sich durch Ozonung (Abbildung 3) und Aktivkohlefiltration eine deutliche Verminderung des GLUC Signals.

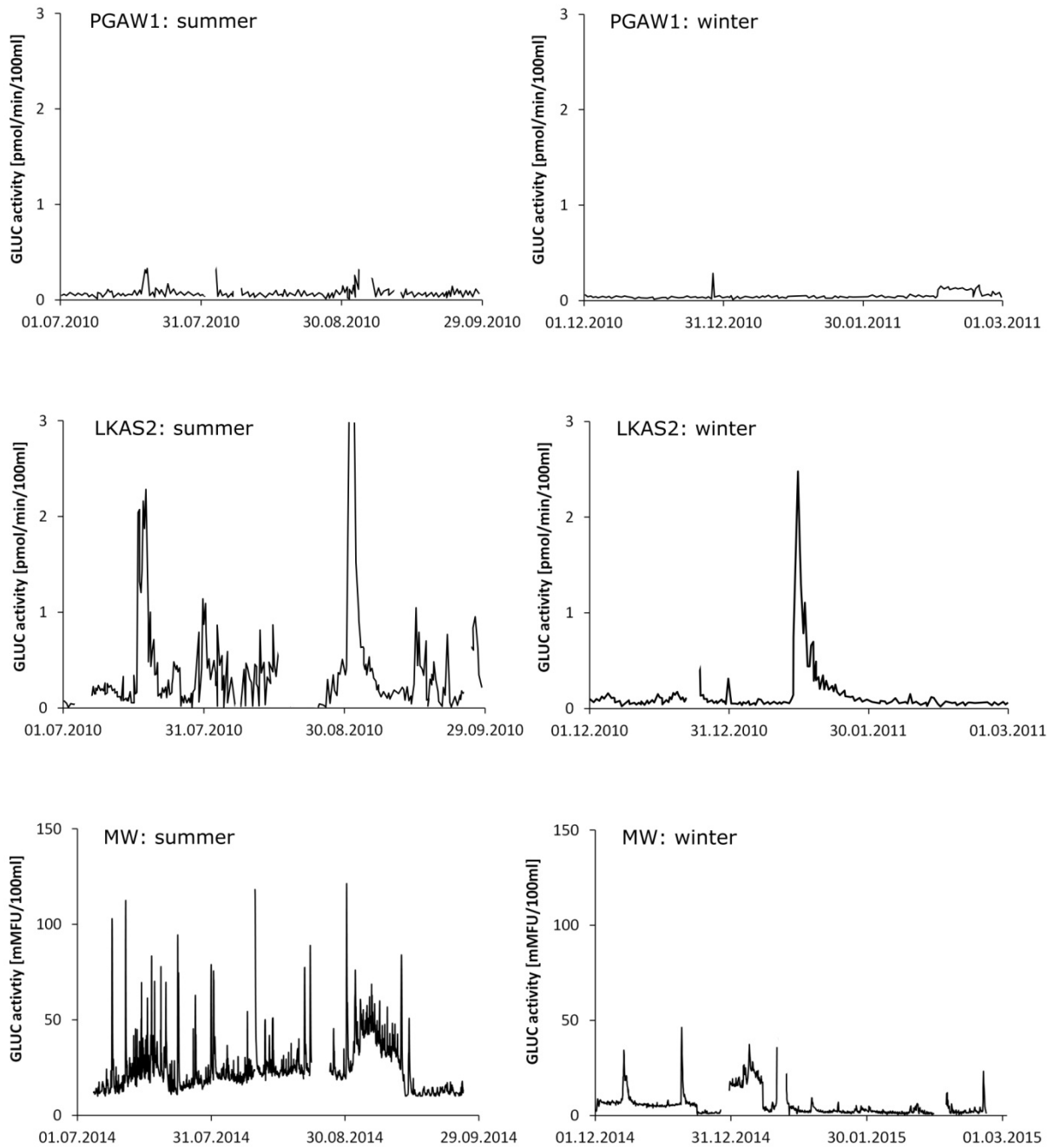


Abbildung 2: Verlauf von automatisch und vor-Ort gemessener GLUC Aktivität an Messstellen PGAW1, LKAS1 und MW.

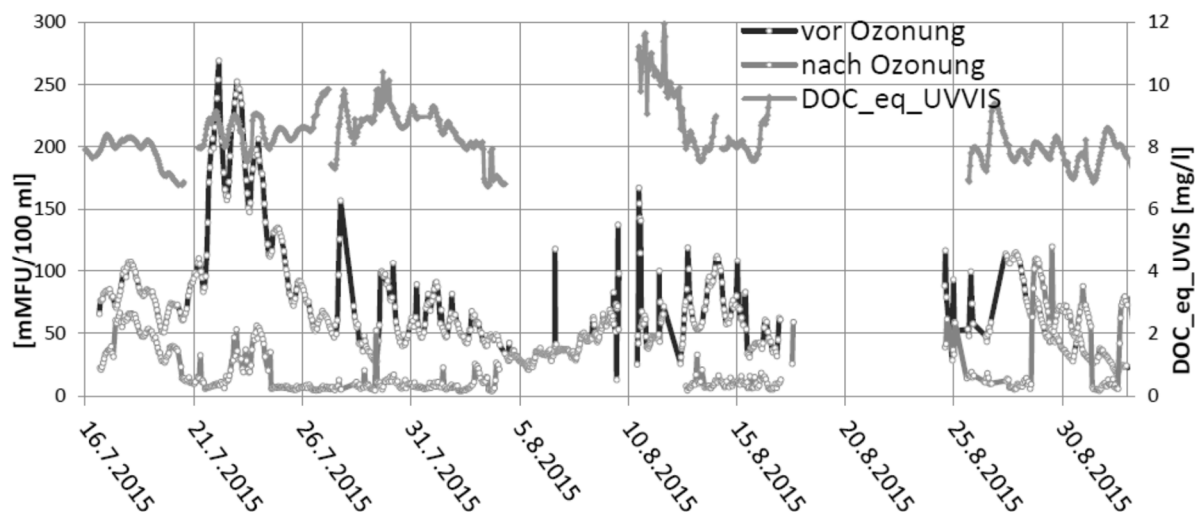


Abbildung 3: Auswirkung von Ozonung auf die Enzymaktivität des Kläranlagenablaufs (Kornfeind et al., 2016).

3.3 Vergleich der GLUC Signale mit Umweltparametern

Bei PGAW1 konnten über den Testzeitraum keine *E.coli* nachgewiesen werden und GLUC Werte lagen unterhalb der Nachweisgrenze.

Die *E.coli* Konzentrationen bei LKAS1 bewegten sich zwischen unterer Nachweisgrenze und 435 MPN/100ml. Bei Station MW wurden *E.coli* Konzentrationen zwischen unterer Nachweisgrenze und 3450 MPN/100ml ermittelt.

Die Korrelationsanalyse (Spearman's rank, Tabelle 3) zwischen *E.coli* und zeitgleichen GLUC Werten ergibt ein ρ von 0.53 für LKAS2 (Ryzinska-Paier et al., 2014), bei MW ein ρ von 0.71 für BACTcontrol und ein ρ von 0.83 für ColiMinder. Neben der unterschiedlichen Korrelation zwischen *E.coli* und GLUC an den verschiedenen Messstellen zeigen die Ergebnisse auch, dass der Zusammenhang zwischen GLUC und physiko-chemischen Parametern zum Teil höher, oder ähnlich korreliert wie GLUC mit *E.coli* Analysen. So korreliert bei LKAS1 die enzymatische Aktivität an stärksten mit hydrologischen Parametern wie Schüttung, bei MW hingegen sind die GLUC Signale beider Messgeräte am stärksten mit *E.coli* assoziiert. Generell zeigt sich aber, dass das GLUC Signal an den Messstellen LKAS1 und MW im Wesentlichen die hydrologische Dynamik widerspiegelt. Als Proxy-Parameter müsste ein Zusammenhang (GLUC vs. *E.coli*) von mindestens 0.90-0.95 bestehen.

Im Kläranlagenablauf wurde durch vierzehn Vergleichsmessungen mit Colilert18 ein ρ von 0.90 zwischen *E.coli* und GLUC Aktivität (Tabelle 3) ermittelt. Durch Ozonung und Aktivkohlefiltration konnte die Enzymaktivität im Ablauf signifikant vermindert werden.

Tabelle 3: Vergleich von GLUC Messungen mit hydrologischen Parametern und mit *E.coli* (ρ =Spearman's rank Korrelationskoeffizient, n=Anzahl der Proben, P= p-Wert: **<0.001, *<0.05).

	LKAS2			MW			MW			WWTP		
	BACTcontrol			BACTcontrol			ColiMinder			ColiMinder		
	n	ρ	P	n	ρ	P	n	ρ	P	n	ρ	P
GLUC vs. Abfluss	1804	0.77	**	846	0.08	*	1564	0.17	**			
GLUC vs. Trübung	1804	0.69	**	846	0.35	**	1564	0.72	**			
GLUC vs. Wassertemp.				846	0.43	**	1564	0.35	**			
GLUC vs <i>E.coli</i>	113	0.53	**	52	0.71	**	52	0.83	**	14	0.90	**

4 Diskussion

4.1 Technische Anwendung

Die getesteten Geräte zur automatischen Messung von Enzymaktivität zeigten sich für den langzeitigen Betrieb an den unterschiedlichen Messstationen technisch geeignet. Der nötige Aufwand um die Geräte periodisch manuell zu reinigen und die Reagenzien aufzufüllen ist für Feld-Messgeräten im Dauerbetrieb verhältnismäßig einfach und kann vom Anwender durchgeführt werden. Der Vergleich von Messdaten, die mit unterschiedlichen Konstruktionen gewonnen wurden, zeigt, dass vergleichbare Messergebnisse erzielt werden und Dynamiken sehr ähnlich erfasst werden. Die an den unterschiedlichen Messstellen gemessenen GLUC Signale erwiesen sich als plausibel, in Bezug auf Amplitude, Dynamik sowohl im Vergleich mit parallel erfassten physiko-chemischen Parametern aber auch im Vergleich mit Ergebnissen aus der Fachliteratur.

4.2 Größenordnung der GLUC Werte

GLUC Werte von bis zu 106 pmol/min/100ml werden in der Fachliteratur für Messungen von Abwasser erwähnt (Farnleitner et al., 2002; Garcia-Armisen et al., 2005; George et al., 2000; Ouattara et al., 2011). Im Kläranlagenablauf (Station WWTP) wurden Maximalwerte von 270 mMFU/100ml gemessen. Nach Ozonung wurden Maximalwerte von 60 mMFU/100ml und nach Aktivkohlefiltration 75 mMFU/100ml gemessen. GLUC Spitzen wurden von 108 pmol/min/100ml und 120 mMFU/100m wurden bei Station MW, während einzelner Starkregenereignisse erfasst erscheinen für ein landwirtschaftlich geprägtes

Einzugsgebiet in dem periodische Gülleausbringung stattfindet, plausibel. Im Karstwasser von LKAS1 erreichten die GLUC Werte ein Maximum von 6 pmol/min/100ml und im Porengrundwasser wurde die Nachweisgrenze nicht überschritten. Diese Größenordnungen erscheinen im Vergleich zueinander plausibel.

4.3 GLUC als Indikator für fäkale Verunreinigung von Wasser

Die Auswertung der Messdaten zeigt bedeutende Unterschiede im Zusammenhang zwischen GLUC Werten und *E.coli*, abhängig vom Testgebiet, auf. Dementsprechend kann die automatische Messung von beta-D-Glucuronidase Aktivität derzeit nicht als Proxy für kultivierungsbasierte mikrobiologische Analytik herangezogen werden. Die hier gezeigten Ergebnisse sind widersprüchlich zu bisherigen Berichten in der Fachliteratur, die eine hohe Korrelation zwischen GLUC und *E.coli* beschrieben und enzymatische Methoden als Surrogat für mikrobielle Standardanalytik vorschlugen (Farnleitner et al., 2002, 2001; Fiksdal et al., 1994; George et al., 2001). Diese Diskrepanz wurde erst durch die Verfügbarkeit von automatisierten Methoden zur Bestimmung der Enzymaktivität an unterschiedlichen Standorten und Habitaten deutlich. Vergleicht man die Ergebnisse dieser Studie mit denen aus der Literatur, so lässt sich folgende Systematik erkennen: Analysen von Wässern, die durch frische fäkale Abwasserquellen kontaminiert sind und die im Einzugsgebiet einfache Fließpfade aufweisen, ergeben den stärksten Zusammenhang zwischen GLUC Messungen und kultivierungsbasierten *E.coli* Untersuchungen. Je komplexer die Entwässerungsdynamik, das System von Fließpfaden und je diverser die Quellen von fäkaler Belastung sind, umso schwächer wird diese Korrelation. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Korrelation von GLUC und *E.coli* besonders abhängig vom beobachteten Habitat ist. Das lässt sich mit jetzigem Wissenstand hauptsächlich dadurch erklären, dass durch enzymatische Methoden alle stoffwechselaktiven Zielbakterien erfasst werden, auch die sogenannte VBNC-Subpopulation (Cabral, 2010). VBNC (viable but non-cultivable) beschreibt Bakterien die noch einen Stoffwechsel aufweisen, jedoch nicht kultivierbar sind. Dieser Anteil der Gesamtpopulation kann mit kultivierungsbasierten Analysen folglich nicht erfasst werden.

Das Kriterium dass durch GLUC Messungen ausschließlich fäkal assoziierte *E.coli* nachgewiesen werden – und diese Methodik als spezifischer Indikator für fäkale Verunreinigung dient konnte bis jetzt nicht erwiesen werden. Nichtsdestotrotz widerspiegeln die GLUC Signale von allen Teststationen die generellen hydrologischen Bedingungen im Einzugsgebiet, bzw. zeigten die Wirkung von Nachbehandlung, wie Ozonung oder Aktivkohlefiltration, auf den Kläranlagenablauf auf.

Querempfindlichkeiten und Interferenzeffekte von nicht fäkal assoziierten Stoffen, wie z.B. Algen oder organische Material auf die gemessene GLUC Aktivität werden in der Fachliteratur ebenfalls erwähnt (Biswal et al., 2003; Fiksdal and Tryland, 2008; Molina-Munoz et al., 2007) und spielen bezüglich Korrelation von GLUC mit *E.coli* wahrscheinlich eine weiter wichtige Rolle. Auch die aktivitätshemmende Wirkung von gelösten Ionen im Wasser wurde von Togo et al., 2010, beschrieben.

5 Zusammenfassung

In diesem Beitrag konnte gezeigt werden, dass der Betrieb von vollautomatisierten Messgeräten zur Bestimmung von Enzymaktivitäten vor Ort und in hoher zeitlicher Auflösung möglich ist. Die technische Realisierung von automatischen Enzymaktivitäts-Messungen ist äußerst erfolgreich verlaufen. Weiterer Forschungsbedarf bezüglich der GLUC Aktivität als Parameter für fäkale mikrobiologische Verschmutzungen ist jedoch notwendig. Nachbehandlungsverfahren von Kläranlagenablauf, wie Ozonung oder Aktivkohlefiltration, zeigten eine deutliche Reduktion der GLUC Enzymaktivität.

Es wird empfohlen, dass die Entscheidung derartige Messgeräte zu nutzen abhängig von Fragestellung sowie Anwendung und in Anbetracht von Potential und Limitierung bereits etablierter Proxy-Parameter (z.B. SAK 254, (Stadler et al., 2008)) gefällt wird. Auch sollte die Interpretation und Auswertung der Messdaten je nach Einsatzorte und Nutzen durchgeführt werden. Zurzeit stellt dieser biochemische Indikator einen höchst interessanten Parameter dar, der in verschiedensten Feldern der Qualitätsüberwachung von Nutzen sein kann, besonders da er on-line und in hoher zeitlicher Auflösung verfügbar ist.

Es ist davon auszugehen, dass automatisierte Messmethoden in der Mikrobiologie zunehmend an Bedeutung gewinnen werden. Diesbezüglich kann die beschriebene Methodik wahrscheinlich einen bedeutenden Beitrag leisten. Die Weiterentwicklung von Substraten und die Anwendung von neu entwickelten Substraten könnte darüber hinaus die spezifischere Erfassung spezieller mikrobiologischer Kontaminationen erlauben.

Danksagung

Wir danken Alexander Haider für die technische Unterstützung bei den BACTcontrol Geräten sowie Monika Kumpan, Günther Schmid und Silvia Jungwirth für die Unterstützung in Petzenkirchen.

Die beschriebenen Studien wurden finanziell unterstützt vom FWF, der TU Wien und dem FFG und sind teilweise aus der Zusammenarbeit des ICC (Interuniversity Cooperationcenter Water & Health) hervorgegangen.

Literaturangaben

- Bergmeyer, H.-Ui., 2012. *Methods of Enzymatic analysis*. Elsevier.
- Biswal, N., Gupta, S., Ghosh, N., Pradhan, A., 2003. Recovery of turbidity free fluorescence from measured fluorescence: an experimental approach. *Opt. Express* 11, 3320–3331. doi:10.1364/OE.11.003320
- Blöschl, G., Blaschke, A.P., Broer, M., Bucher, C., Carr, G., Chen, X., Eder, A., Exner-Kittridge, M., Farnleitner, A., Flores-Orozco, A., Haas, P., Hogan, P., Kazemi Amiri, A., Oismüller, M., Parajka, J., Silasari, R., Stadler, P., Strauß, P., Vreugdenhil, M., Wagner, W., Zessner, M., 2015. The Hydrological Open Air Laboratory (HOAL) in Petzenkirchen: a hypotheses driven observatory. *Hydrological Earth Syst Sci Discuss* 12, 6683–6753. doi:10.5194/hessd-12-6683-2015
- Cabral, J.P.S., 2010. Water microbiology. Bacterial pathogens and water. *Int. J. Environ. Res. Public. Health* 7, 3657–3703.
- Exner-Kittridge, M., Salinas, J.L., Zessner, M., 2013. An evaluation of analytical streambank flux methods and connections to end-member mixing models: a comparison of a new method and traditional methods. *Hydrological Earth Syst. Sci. Discuss.* 10, 10419–10459. doi:10.5194/hessd-10-10419-2013
- Farnleitner, A. h., Hocke, L., Beiwl, C., Kavka, G. c., Zechmeister, T., Kirschner, A. k. t., Mach, R. l., 2001. Rapid enzymatic detection of Escherichia coli contamination in polluted river water. *Lett. Appl. Microbiol.* 33, 246–250. doi:10.1046/j.1472-765x.2001.00990.x
- Farnleitner, A.H., Hocke, L., Beiwl, C., Kavka, G.G., Mach, R.L., 2002. Hydrolysis of 4-methylumbelliferyl- β -d-glucuronide in differing sample fractions of river waters and its implication for the detection of fecal pollution. *Water Res.* 36, 975–981. doi:10.1016/S0043-1354(01)00288-3
- Fiksdal, L., Pommepuy, M., Caprais, M.P., Midttun, I., 1994. Monitoring of fecal pollution in coastal waters by use of rapid enzymatic techniques. *Appl. Environ. Microbiol.* 60, 1581–1584.
- Fiksdal, L., Tryland, I., 2008. Application of rapid enzyme assay techniques for monitoring of microbial water quality. *Curr. Opin. Biotechnol.* 19, 289–294. doi:10.1016/j.copbio.2008.03.004
- Fishman, W.H., Bergmeyer, H.U., 1974. B-glucuronidase. *Methods Enzym. Anal.* 2, 929.
- Garcia-Armisen, T., Lebaron, P., Servais, P., 2005. Beta-D-glucuronidase activity assay to assess viable Escherichia coli abundance in freshwaters. *Lett. Appl. Microbiol.* 40, 278–282. doi:10.1111/j.1472-765X.2005.01670.x
- George, I., Crop, P., Servais, P., 2001. Use of beta-D-galactosidase and beta-D-glucuronidase activities for quantitative detection of total and fecal coliforms in wastewater. *Can. J. Microbiol.* 47, 670–675.

- George, I., Petit, M., Servais, P., 2000. Use of enzymatic methods for rapid enumeration of coliforms in freshwaters. *J. Appl. Microbiol.* 88, 404–413. doi:10.1046/j.1365-2672.2000.00977.x
- Kornfeind, L., Stadler, P., Kreutzinger, N., Zessner, M., 2016. Bestimmung der beta-Glucuronidase Aktivität im Ab- und Zulauf bei einer Ozon/Aktivkohlenachreinigung von kommunalen Abwasser, Projektbericht, Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft, TU-Wien
- Koschelnyk, J., Vogl, W., Epp, M., Lackner, M., 2015. Rapid analysis of β -D-glucuronidase activity in water using fully automated technology. pp. 471–481. doi:10.2495/WRM150401
- Molina-Munoz, M., Poyatos, J.M., Vilchez, R., Hontoria, E., Rodelas, B., Gonzalez-Lopez, J., 2007. Effect of the concentration of suspended solids on the enzymatic activities and biodiversity of a submerged membrane bioreactor for aerobic treatment of domestic wastewater. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 73, 1441–1451.
- Ouattara, N.K., Passerat, J., Servais, P., 2011. Faecal contamination of water and sediment in the rivers of the Scheldt drainage network. *Environ. Monit. Assess.* 183, 243–257. doi:10.1007/s10661-011-1918-9
- Ryzinska-Paier, G., Lendenfeld, T., Correa, K., Stadler, P., Blaschke, A.P., Mach, R.L., Stadler, H., Kirschner, A.K.T., Farnleitner, A.H., 2014. A sensitive and robust method for automated on-line monitoring of enzymatic activities in water and water resources. *Water Sci. Technol. J. Int. Assoc. Water Pollut. Res.* 69, 1349–1358. doi:10.2166/wst.2014.032
- Stadler, H., Skritek, P., Sommer, R., Mach, R.L., Zerobin, W., Farnleitner, A.H., 2008. Microbiological monitoring and automated event sampling at karst springs using LEO-satellites. *Water Sci. Technol. J. Int. Assoc. Water Pollut. Res.* 58, 899.
- Stadler, P., Blöschl, G., Vogl, W., Koschelnyk, J., Epp, M., Lackner, M., Oismüller, M., Kumpan, M., Nemeth, L., Strauss, P., Sommer, R., Ryzinska-Paier, G., Farnleitner, A.H. and Zessner, M.: Real-time monitoring of beta-D-glucuronidase activity in sediment laden streams: A comparison of prototypes. Submitted to *Water Research*, 2016.
- Togo, C.A., Wutor, V.C., Pletschke, B.I., 2010. Properties of in situ *Escherichia coli*-D-glucuronidase (GUS): evaluation of chemical interference on the direct enzyme assay for faecal pollution detection in water. *Afr. J. Biotechnol.* 5.
- Vierheilig, J., Frick, C., Mayer, R.E., Kirschner, A.K.T., Reischer, G.H., Derx, J., Mach, R.L., Sommer, R., Farnleitner, A.H., 2013. *Clostridium perfringens* Is Not Suitable for the Indication of Fecal Pollution from Ruminant Wildlife but Is Associated with Excreta from Nonherbivorous Animals and Human Sewage. *Appl. Environ. Microbiol.* 79, 5089–5092. doi:10.1128/AEM.01396-13
- Zibuschka, F., Lendenfeld, T., Lindner, G., 2010. Near Real Time Monitoring von *E. coli* in Wasser. *Österr. Wasser- Abfallwirtsch.* 62, 215–219. doi:10.1007/s00506-010-0240-z

Korrespondenz an:

Philipp Stadler, MSc

Center for Water Resource Systems

TU Wien

Karlsplatz 13 / 222

1040 Wien

Mail: stadler@waterresources.at

Der Erfolg einer Revolution – 10 Jahre Memosens/Liquiline

Endress+Hauser

Die Memosens/Liquiline Analysenmessstellen bestehen seit 10 Jahren am Markt. Sie haben die Handhabung und Wartung in der Flüssigkeitsanalyse revolutioniert. Im Rahmen des Geburtstags veröffentlicht Endress+Hauser nun eine Liste der häufigsten Anwendungen dieser Produkte.

Ihren Anfang nahm die Geschichte von Memosens/Liquiline 1999 durch die Idee, die herkömmlichen Anschluss- und Übertragungstechniken in der Wasseranalyse zu revolutionieren. Nach 5 Jahren der Forschung und Entwicklung wurden zunächst Sensoren mit Memosens-Technologie eingeführt und ein Jahr später Liquiline Messumformer, die nun alle Vorteile von Memosens nutzen können.

Die Revolution der Flüssigkeitsanalyse

Im Frühjahr 2004 begann mit der Markteinführung der Memosens-Technologie durch Endress+Hauser eine Erfolgsgeschichte, die es mittlerweile zum De-facto-Industriestandard geschafft hat. Jedes zweite verkaufte Gerät ist heute mit Memosens-Technologie ausgestattet. Memosens steht für die Digitalisierung der Messwerte direkt im Sensorkopf, für die kontaktlose, digitale Signalübertragung sowie für die Speicherung aller sensorrelevanten Daten direkt im Sensor. Das Produktprogramm an Sensoren und Parametern, sowie passende, auf Branchenbedürfnisse abgestimmte Messumformer ist stetig weiterentwickelt worden. Heute stehen für alle relevanten Parameter komplette Messstellen mit Memosens-Technologie zur Verfügung.

Am Anfang war das Papier

Seit den Anfängen der pH-Wert-Messung gab es mehrere Entwicklungsschritte, die zu einer Verbesserung der Technologie im Sinne einer Online-Prozessmessung beigetragen haben. Etwa 1920 traten die so genannten pH-Elektroden in Konkurrenz zu den pH-Papieren und wurden in der Regel von der Glasbläserei an einem Chemiestandort hergestellt. Um ein vernünftiges

Messergebnis zu erhalten, mussten eine Referenz-Elektrode und eine pH-Messelektrode zusammengeschaltet werden und die Temperatur des Mediums bekannt sein. Mit den vergleichsweise großen pH-Membranen ließ sich allerdings noch nicht richtig online messen. Hinzu kam die extreme Hochohmigkeit der Messung, die sie sehr empfindlich gegen Störungen jeglicher Art machte. In den 60er Jahren kamen die Einstab-Messketten (Kombi-Elektroden) auf, bei denen Referenzsystem und pH-Messelektrode in einem Sensor verschaltet waren – ein großer Schritt in Richtung Prozesstauglichkeit. Zu dieser Zeit setzten sich die heute noch üblichen Abmessungen durch (12 mm Durchmesser und 120 mm Länge).

Anfang der 80er Jahre begannen sich die Sensoren mit integrierten Temperaturfühlern durchzusetzen – die ersten wirklich onlinefähigen Sensoren. Nach wie vor ungelöst war aber das prinzipbedingte Problem des hochohmigen Messverfahrens. Die Anwender arrangierten sich und nahmen häufiges Kalibrieren und einen gelegentlichen Kabel austausch in Kauf.

Die weiteren Entwicklungen konzentrierten sich auf die Optimierung der Steckverbindung. Im Wesentlichen wurde daran gearbeitet, die Qualität der Steckverbindung zu sichern und gegen Feuchtigkeit zu schützen, damit eine sichere Übertragung der Spannung und der Temperatur zum Messverstärker möglich ist. Die Memosens-Entwicklung verfolgte eine andere Strategie: Das Problem der hochohmigen Datenübertragung grundsätzlich zu lösen und Speicherchips so zu miniaturisieren, dass sie in den Stecker und die Kabelkupplung einer Elektrode passen. Die Voraussetzung dafür war mit den immer kleineren und temperaturbeständigeren Elektronik-Komponenten ab dem Jahr 2000 gegeben.

Im Jahr 2004 ist es dann soweit. Nach Jahren der Forschung wird der erste Sensor auf der INTERKAMA präsentiert. Diese neuen Sensoren sind die Ersten, die das Speichern von wichtigen Daten direkt im Sensor ermöglichen. Aber sie können noch mehr: Die Steckverbindung ist komplett vergossen und die bidirektionale Datenübertragung zwischen Sensor und Messumformer erfolgt kontaktlos und induktiv. Das garantiert störungsfreie Messsignale und eine äußerst einfache Handhabung der Sensoren.

2005 entfaltet die Messstelle dann erstmals alle Vorteile der Memosens-Technologie mit der Einführung des neuen Messumformers Liquiline. Der neue Zweidraht-Messumformer „Liquiline M“ CM42 für pH-, Leitfähigkeits- und Sauerstoffmessung bietet eine einzigartig einfache Bedienung. Das große Klartext-Display zeigt die Messwerte in einer Größe von 28 mm an und lässt sich somit mühelos ablesen. Die menügeführte Bedienung führt den Anwender

Schritt-für-Schritt durch die Konfiguration. Bedienfehler lassen sich dadurch nahezu ausschließen.

Ausgezeichnete Technologie

Produktqualität, Umweltschutz und Sicherheit sind einige von vielen Gründen warum die Analyse von Flüssigkeiten so wichtig ist. In vielen Anwendungen bringen bessere, genauere und nachvollziehbare Messungen einen erheblichen Mehrwert. Memosens und Liquiline geben der täglichen Analyse von Wasser, Getränken, Arzneimitteln und Co die Sicherheit, dass die Messwerte nicht weiter von Faktoren wie Feuchtigkeit oder Temperatureinwirkung verfälscht werden oder die Messung gar total ausfällt.

- Nie mehr falsche Messwerte: Kontaktlose, digitale Messwertübertragung schützt vor unerwünschten Einflüssen durch Feuchtigkeit, Korrosion und Salzbrücken; aktive Meldung bei Störungen der Signalübertragung.
- EMV-Sicherheit garantiert: Perfekte galvanische Trennung von Medium und Messumformer.
- Nutzerfreundliche Handhabung: Laborkalibrierung unter optimalen Bedingungen, verdrehsicherer Bajonettverschluss, automatische Sensorerkennung im Messumformer durch echtes Plug & Play.
- Reduzierte Betriebskosten: Sensortausch mit vorkalibrierten Sensoren minimiert Prozessstillstände, regelmäßige Regenerierung verlängert Sensorlebensdauer.
- Datenmanagement vom Feinsten: Speicherung von Kalibrier-, Sensor- und Prozessdaten ermöglicht genaueres Prozessmanagement und optimierte Wartungsstrategien (vorausschauende und vorbeugende Wartung).

Für einen neuen Standard braucht es mehr als einen Anbieter

Auch eine ausgezeichnete Technologie kann sich nicht zum Standard entwickeln, wenn sie nur von einem Unternehmen angeboten wird. Bei Memosens sieht das anders aus. Zunächst schlossen sich die Anbieter Knick und Endress+Hauser zusammen. Als zentrale Ziele der Zusammenarbeit definierten die Partner neben der Weiterentwicklung der Technologie die Durchsetzung eines geöffneten Industrie-Standards auf Grundlage des bestehenden Memosens-Protokolls und die Garantie für den Anwender, auf der Grundlage von Memosens eine durchgängige und weitreichend kompatible Technologie zu

erhalten. Um mit Memosens einen geöffneten Standard auf breiter Ebene zu etablieren, wurde die Technologie auch anderen Herstellern zugänglich gemacht. Gemeinsam bilden heute die bedeutenden Marktteilnehmer Endress+Hauser, Knick, Hamilton und SI Analytics eine Kooperation zur gemeinsamen Etablierung des neuen Standards in der Analysenmesstechnik.

Die aktuellen Produkthighlights

Seit 2005 wurden Memosens und Liquiline kontinuierlich weiterentwickelt. Memosens umfasst heute Sensoren mit induktivem Steckkopf sowie Festkabelsensoren mit Memosens Protokoll für alle relevanten Parameter der Flüssigkeitsanalyse.

Die Liquiline Familie bietet heute Messumformer für alle Branchen, vom 1-Kanal-Gerät für einfache Anwendungen über den Zweidraht-Messumformer für hygienische oder Ex-Bereiche bis zum Mehrkanal-Multiparameter-Messumformer.

Zu den neusten Produkten der Memosens-Technologie gehört der Mitte 2013 vorgestellte „Liquiline CM44R“. Die volle Leistung eines Feldgeräts, verpackt in einem kleinen, kompakten Gehäuse. Auch Probenehmer und Analysatoren teilen dasselbe Bedienkonzept und können mit Memosens-Sensoren bestückt werden. So ist zum Beispiel seit April 2014 der Ammonium-Analysator Liquiline System CA80 verfügbar, der zum ersten Mal wartungsarme, nasschemische Analyse mit der Messung von Memosens-Sensoren kombiniert. Und seit Juni 2015 liefert das Multiparameter-Handmessgerät Liquiline To Go jederzeit und überall die richtigen Prozessinformationen.

März 2004	Erste pH-Glas-Sensoren mit Memosens
März 2005	Präsentation des Liquiline CM42 Zweidraht-Messumformer mit einem Kanal
Juni 2006	Vorstellung der pH-ISFET-Sensoren mit Memosens Oxymax COS21D Sauerstoffsensoren mit Memosens in 12mm-Design Memocheck und Memocheck Plus Tools zur Messstellenprüfung und -qualifizierung
März 2007	Produkteinführung des amperometrischen Sauerstoffsensors Oxymax COS51D mit Memosens
Juni 2007	Memobase Software für zentrales Daten- und Sensormanagement vorgestellt
Dezember 2007	Erste konduktive Leitfähigkeitssensoren mit Memosens
Dezember 2008	Premiere des Chlorsensors Chloromax CCS142D mit Memosens
Februar 2010	Festkabelsensoren mit Memosens für Leitfähigkeit, Sauerstoff, Trübung und Nitrat
Februar 2010	Neuer Liquiline CM442 Multiparameter-Zweikanal-Messumformer
April 2010	Markteinführung der Probenehmer Liquistation und Liquiport
Dezember 2010	Memocheck Sim komplettiert die Memocheck Prüftools
April 2011	Ceramax CAS40D ionenselektiver Sensor mit Memosens präsentiert
Oktober 2011	Einführung des Liquiline CM14 1-Kanal-Messumformer für Standardanwendungen
Dezember 2011	Liquiline CM444 und CM448 Multiparameter-Achtkanal-Messumformer
Oktober 2012	Premiere des Memobase Plus CYZ71D Tool zum Messen, Kalibrieren und Management von Sensoren
Juli 2013	Launch Liquiline CM44R Hutschienengerät mit bis zu 8 Kanälen
April 2014	Liquiline System CA80 Ammonium-Analysator und Probenaufbereitung
Juni 2015	Produkteinführung Liquiline To Go Multiparameter-Handmessgerät

Der Weg ist lang

Damit sich eine neue Technologie in der Analysenmesstechnik durchsetzen kann, muss sie die wesentlichen Parameter abdecken, die in der Industrie gebraucht werden.

Die Voraussetzungen sind geschaffen und das Portfolio wächst weiter. So wird die Liquiline-Memosens-Plattform immer mehr Anwendern die tägliche Arbeit in der Flüssigkeitsanalyse erleichtern und die Sicherheit ihrer Prozesse erhöhen.



10 Jahre Liquiline und Memosens

WIENER MITTEILUNGEN

WASSER • ABWASSER • GEWÄSSER

Eine von den Wasserbauinstituten an der Technischen Universität Wien, den Instituten für Wasserwirtschaft der Universität für Bodenkultur und dem Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband herausgegebene Schriftenreihe

Band Nr		Preis €
1	Das Wasser (1968) Kresser W.	vergriffen
2	Die Gesetzmäßigkeiten der stationären Flüssigkeitsströmung durch gleichförmig rotierende zylindrische Rohre (1968) Breiner, H.	vergriffen
3	Abwasserreinigung - Grundkurs (1969) von der Emde, W.	vergriffen
4	Abwasserreinigungsanlagen - Entwurf-Bau-Betrieb (1969) 4. ÖWWV-Seminar, Raach 1969	vergriffen
5	Zukunftsprobleme der Trinkwasserversorgung (1970) 5. ÖWWV-Seminar, Raach 1970	vergriffen
6	Industrieabwässer (1971) 6. ÖWWV-Seminar, Raach 1971	vergriffen
7	Wasser- und Abfallwirtschaft (1972) 7. ÖWWV-Seminar, Raach 1972	vergriffen
8	Das vollkommene Peilrohr (Zur Methodik der Grundwasserbeobachtung) (1972) Schmidt, F.	vergriffen
9	Über die Anwendung von radioaktiven Tracern in der Hydrologie (1972) Pruzinsky, W. Über die Auswertung von Abflußmengen auf elektronischen Rechenanlagen Doleisch, M.:	18
10	1. Hydrologie-Fortbildungskurs (1972)	vergriffen

Band Nr		Preis €
11	Vergleichende Untersuchungen zur Berechnung von HW-Abflüssen aus kleinen Einzugsgebieten (1972) Gutknecht, D.	vergriffen
12	Uferfiltrat und Grundwasseranreicherung (1973) 8. ÖWWV-Seminar, Raach 1973	vergriffen
13	Zellstoffabwässer-Anfall und Reinigung (1972) von der Emde W., Fleckseder H., Huber L., Viehl K.	vergriffen
14	Abfluß - Geschiebe (1973) 2. Hydrologie-Fortbildungskurs 1973	vergriffen
15	Neue Entwicklung in der Abwassertechnik (1973) 9. ÖWWV-Seminar, Raach 1974	vergriffen
16	Praktikum der Kläranlagentechnik (1974) von der Emde W.	vergriffen
17	Stabilitätsuntersuchung von Abflußprofilen mittels hydraulischer Methoden und Trendanalyse (1974) Behr, O.:	18
18	Hydrologische Grundlagen zur Speicherbemessung (1975) 3. Hydrologie-Fortbildungskurs 1975	vergriffen
19	Vorhersagen in der Wasserwirtschaft (1976) 1. Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1976	10
20	Abfall- und Schlammbehandlung aus wasserwirtschaftlicher Sicht (1976) 11. ÖWWV-Seminar, Raach 1976	vergriffen
21	Zur Theorie und Praxis der Speicherwirtschaft (1977) 2. Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1977	22
22	Abwasserreinigung in kleineren Verhältnissen (1977) 12. ÖWWV-Seminar, Raach 1977	vergriffen
23	Methoden zur rechnerischen Behandlung von Grundwasserleitern (1977) Baron W., Heindl W., Behr O., Reitingner J.	vergriffen
24	Ein Beitrag zur Reinigung des Abwassers eines Chemiefaserwerkes, eines chemischen Betriebes und einer Molkerei (1978) Begert A.	vergriffen

Band Nr		Preis €
25	Ein Beitrag zur Reinigung von Zuckerfabriksabwasser (1978) Kroiss H.	vergriffen
26	Methoden der hydrologischen Kurzfristvorhersage (1978) Gutknecht D.	vergriffen
27	Wasserversorgung-Gewässerschutz (1978) 13. ÖWWV-Seminar, Raach 1978	vergriffen
28	Industrieabwasserbehandlung - Neue Entwicklungen (1979) 14. ÖWWV-Seminar, Raach 1979	vergriffen
29	Probleme der Uferfiltration und Grundwasseranreicherung mit besonderer Berücksichtigung des Wiener Raumes (1979) Frischherz H.	vergriffen
30	Beiträge zur Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft (1979) o. Univ.-Prof. DDr. Werner Kresser zum 60. Geburtstag	vergriffen
31	Grundwasserströmungsverhältnisse bei Horizontalfilterrohrbrunnen (1980) Schügerl W.	vergriffen
32	Grundwasserwirtschaft (1980) 3. Hydrologisches Seminar des ÖWWV 1980	25
33	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (1) (1980)	vergriffen
34	Behandlung und Beseitigung kommunaler und industrieller Schlämme (1980) 15. ÖWWV-Seminar, Raach 1980	vergriffen
35	Faktoren, die die Inaktivierung von Viren beim Belebungsverfahren beeinflussen (1980) Usrael G.	vergriffen
36	Vergleichende Kostenuntersuchungen über das Belebungsverfahren (1980) Flögl W.	vergriffen
37	Ein Beitrag zur Reinigung und Geruchsfreimachung von Abwasser aus Tierkörperverwertungsanstalten (1980) Ruider E.	vergriffen
38	Wasserwirtschaftliche Probleme der Elektrizitätserzeugung (1981) Schiller, G.:	vergriffen

Band Nr		Preis €
39	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (1981) Teil 2	vergriffen
40	Wasseraufbereitung und Abwasserreinigung als zusammengehörige Techniken (1981) 16. ÖWWV-Seminar, Raach 1981	vergriffen
41	Filterbrunnen zur Erschließung von Grundwasser (1981) ÖWWV-Fortbildungskurs 1981	29
42	Zur Ermittlung von Bemessungshochwässern im Wasserbau (1981) Kirnbauer R.	22
43	Wissenschaftliche Arbeiten, Zeitraum 1977 bis 1981 (1981)	25
44	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft - heute (1981) Teil 3	25
45	Verbundwirtschaft in der Wasserversorgung (1982) ÖWWV-Fortbildungskurs 1982	29
46	Gewässerschutzplanung, deren Umsetzung und Zielkontrolle im Einzugsgebiet des Neusiedler Sees (1982) Stalzer W.	vergriffen
47	Wechselwirkung zwischen Planung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen, Erfahrungen und Probleme (1982) 17. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1982	vergriffen
48	Kleinwasserkraftwerke - Notwendigkeit und Bedeutung (1982) Flußstudien: Schwarza, kleine Ybbs, Saalach	vergriffen
49	Beiträge zur Wasserversorgung, Abwasserreinigung, Gewässerschutz und Abfallwirtschaft (1982) o. Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. v.d. Emde zum 60. Geburtstag	vergriffen
50	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft - heute (1982) Teil 4	vergriffen
51	Sicherung der Wasserversorgung in der Zukunft (1983) 18. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1983	vergriffen
52	Thermische Beeinflussung des Grundwassers (1983) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1983	vergriffen

Band Nr		Preis €
53	Planung und Betrieb von Regenentlastungsanlagen (1984) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1984	vergriffen
54	Sonderabfall und Gewässerschutz (1984) 19. ÖWWV-Seminar, Gmunden 1984	vergriffen
55	Naturnahes Regulierungskonzept "Pram" (1984)	26
56	Blähschlamm beim Belebungsverfahren (1985) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1985	vergriffen
57	Chemie in der Wassergütewirtschaft (1985) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1985	vergriffen
58	Klärschlamm - Verwertung und Ablagerung (1985) 20. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1985	vergriffen
59	Wasserkraftnutzung an der Thaya (1985) Pelikan B.	23
60	Seminar "Wasser - Umwelt - Raumordnung" (1985)	16
61	Gewässerschutz im Wandel der Zeit Ziele und Maßnahmen zu ihrer Verwirklichung (1985) Fleckseder, H.	vergriffen
62	Anaerobe Abwasserreinigung (1985) Kroiss H.	vergriffen
63	Kleine Belebungsanlagen mit einem Anschlußwert bis 500 Einwohnergleichwerte (1985) Begert A.	vergriffen
64	Belüftungssysteme beim Belebungsverfahren (1986) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1986	vergriffen
65	Planung und Betrieb von Behandlungsanlagen für Industrieabwässer (1986) 21. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1986	vergriffen
66	Ausspracheseminar Grundwasserschutz in Österreich (1986) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1986	29
67	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (5) (1986)	vergriffen

Band Nr		Preis €
68	Zur mathematischen Modellierung der Abflusstehung an Hängen (1986) Schmid B.H.	22
69	Nitrifikation - Denitrifikation (1987) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1987	vergriffen
70	Flußbau und Fischerei (1987)	vergriffen
71	Wasserversorgung und Abwasserreinigung in kleinen Verhältnissen (1987) 22. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1987	vergriffen
72	Wasserwirtschaft und Lebensschutz (1987) Wurzer E.	vergriffen
73	Anaerobe Abwasserreinigung Grundlagen und großtechnische Erfahrung (1988) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1988	vergriffen
74	Wasserbau und Wasserwirtschaft im Alpenraum aus historischer Sicht (1988)	22
75	Wechselbeziehungen zwischen Land-, Forst und Wasserwirtschaft (1988) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1988	vergriffen
76	Gefährdung des Grundwassers durch Altlasten (1988) 23. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1988	vergriffen
77	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (6) (1987)	vergriffen
78	Wasserwirtschaftliche Planung bei mehrfacher Zielsetzung (1988) Nachtnebel, H.P.	25
79	Hydraulik offener Gerinne (1989) Symposium, 1989	vergriffen
80	Untersuchung der Fischaufstiegshilfe bei der Stauhaltung im Gießgang Greifenstein (1988) Jungwirth M., Schmutz S.	vergriffen
81	Biologische Abwasserreinigung (1989) ÖWWV-Fortbildungskurs, 1989, TU-Wien	vergriffen
82	Klärschlamm Entsorgung (1989) 24. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1989	vergriffen

Band Nr		Preis €
83	Viruskontamination der Umwelt und Verfahren der Kontrolle (1990) 2. Symposium	18
84	Schadstofffragen in der Wasserwirtschaft (1989) ÖWWV-Fortbildungskurs 1989, TU-Wien	29
85	Schlußbericht zum Forschungsvorhaben Trinkwasseraufbereitung mit Ultraschall, Projekt Abschnitt I (1989) Frischherz H.; Benes E.; Ernst J.; Haber F.; Stuckart W.	18
86	Umfassende Betrachtung der Erosions- und Sedimentationsproblematik (1989) Summer W.	25
87	Großräumige Lösungen in der Wasserversorgung (1990) 25. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1990	vergriffen
88	Revitalisierung von Fließgewässern (1990) Beiträge zum Workshop Scharfling, 1989	vergriffen
89	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (1990) Teil 9	vergriffen
90	A Study on Kinematic Cascades (1990) Schmid B.H.	18
91	Snowmelt Simulation in Rugged Terrain - The Gap Between Point and Catchment Scale Approaches (1990) Blöschl G.	18
92	Dateninterpretation und ihre Bedeutung für Grundwasserströmungsmodelle (1990) Blaschke A.P.	nicht erschienen
93	Decision Support Systeme für die Grundwasserwirtschaft unter Verwendung geografischer Informationssysteme (1990) Fürst J.	18
94	Schlußbericht zum Forschungsvorhaben Trinkwasseraufbereitung mit Ultraschall; Projekt-Abschnitt 1990 (1990) Frischherz H., Benes E., Stuckhart W., Ilmer A., Gröschl M., Bolek W.	18
95	Anaerobe Abwasserreinigung - Ein Modell zur Berechnung und Darstellung der maßgebenden chemischen Parameter (1991) Svardal K.	22

Band Nr		Preis €
96	EDV-Einsatz auf Abwasserreinigungsanlagen (1991) ÖWWV-Fortbildungskurs 1991, TU-Wien	29
97	Entfernung von Phosphorverbindungen bei der Abwasserreinigung (1991) ÖWWV-Fortbildungskurs 1991, TU-Wien	25
98	Auswirkungen der Wasserrechtsgesetznovelle 1990 auf Behörden, Planer und Betreiber kommunaler Abwasserreinigungsanlagen - aus technischer, rechtlicher und wirtschaftlicher Sicht (1991) 26. ÖWWV-Seminar, Ottenstein 1991	36
99	Geruchsemissionen aus Abwasserreinigungsanlagen (1991) ÖWWV-Fortbildungskurs 1991,	22
100	Anpassung von Kläranlagen an den Stand der Technik (1992) ÖWWV-Fortbildungskurs 1992, TU-Wien	vergriffen
101	Umweltbezogene Planung wasserbaulicher Maßnahmen an Fließgewässern (1992) Pelikan B.	18
102	Erfassung hydrometeorologischer Elemente in Österreich im Hinblick auf den Wasserhaushalt (1992) Behr O.	i.V.
103	Wasser- und Abfallwirtschaft in dünn besiedelten Gebieten (1992) 27. ÖWWV-Seminar Ottenstein 1992	36
104	Virus Contamination of the Environment (1992) Methods and Control	vergriffen
105	Fließgewässer und ihre Ökologie (1993) ÖWAV-Fortbildungskurs 1992, TU-Wien	22
106	Festlegung einer Dotierwassermenge über Dotationsversuche (1992) Mader H.	22
107	Wasserrechtsgesetznovelle 1990 und neue Emissionsverordnungen (1992) Vorträge anlässlich der UTEC 1992	29
108	Chemische Analytik für einen zeitgemäßen Gewässerschutz (1992) Vorträge anlässlich der UTEC 1992	29
109	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (1994) Teil 10 - Beiträge zum Seminar an der Universität für Bodenkultur im November 1994	i.V.

Band Nr	Preis €
110 Bemessung u. Betrieb von Kläranlagen zur Stickstoffentfernung (1993) ÖWAV-Seminar 1993, TU-Wien	36
111 Wasserreserven in Österreich - Schutz und Nutzung in Gegenwart und Zukunft (1993) 28. ÖWAV-Seminar Ottenstein 1993	vergriffen
112 Contamination of the Environment by Viruses and Methods of Control (1993)	18
113 Wasserkraft () O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. S. Radler anlässlich seiner Emeritierung	vergriffen
114 Klärwärter-Grundkurs (1994) 2. Auflage 1994	vergriffen
115 Beitrag zur Reduzierung der Abwasseremissionen der Bleicherei beim Sulfatverfahren (1994) Urban W. ISBN 3-85234-001-2	22
116 Eigenüberwachung von Abwasserreinigungsanlagen für den Gewässerschutz (1994) ÖWAV-Seminar 1994, TU-Wien ISBN 3-85234-002-0	25
117 Abwasserreinigungskonzepte - Internationaler Erfahrungsaustausch über neue Entwicklungen (1995) ÖWAV-Seminar 1994, TU Wien ISBN 3-85234-003-9	25
118 3 Jahre WRG-Novelle (1994) 29. ÖWAV-Seminar: Ottenstein 1994 ISBN 3-85234-004-7	19
119 Landeskulturelle Wasserwirtschaft (1994) anlässlich der Emeritierung von o.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. Supersperg	vergriffen
120 Gewässerbetreuungskonzepte - Stand und Perspektiven (1994) Beiträge zur Tagung an der BOKU 1994 ISBN 3-85234-010-1	32
121 Generelle Entwässerungsplanung im Siedlungsraum (1996) ÖWAV-Seminar 1995, TU Wien ISBN 3-85234-011-X	29

Band Nr	Preis €
122 Bedeutung von geowissenschaftlicher Zusatzinformation für die Schätzung der Transmissivitätsverteilung in einem Aquifer (1994) Kupfersberger H.	18
123 Modellierung und Regionalisierung der Grundwassermengenbildung und des Bodenwasserhaushaltes (1994) Holzmann, H.	22
124 Pflanzenkläranlagen - Stand der Technik, Zukunftsaspekte (1995) ÖWAV-Seminar, BOKU Wien ISBN 3-85234-014-4	22
125 Abwasserreinigung - Probleme bei der praktischen Umsetzung des Wasserrechtsgesetzes, (1995) ÖWAV-Seminar 1995, TU-Wien ISBN 3-85234-015-2	32
126 Konfliktfeld Landwirtschaft - Wasserwirtschaft (1995) 30. ÖWAV-Seminar, Ottenstein 1995 ISBN 3-85234-016-0	29
127 Alte und neue Summenparameter (1995) ÖWAV-Seminar 1995, TU-Wien ISBN 3-85234-017-9	29
128 Viruskontamination der Umwelt und Verfahren der Kontrolle (deutsch oder englisch) (1995) 4. Symposium Univ.Prof.Dr. R. Walter ISBN 3-85234-019-5	0
129 Einfluß von Indirekteinleitungen auf Planung und Betrieb von Abwasseranlagen (1996) ÖWAV-Seminar 1996, TU-Wien ISBN 3-85234-020-9	vergriffen
130 Zentrale und dezentrale Abwasserreinigung (1996) 31. ÖWAV-Seminar, Ottenstein 1996 ISBN 3-85234-021-7	36
131 Methoden der Planung und Berechnung des Kanalisationssystems (1996) ÖWAV-Seminar 1996, BOKU-Wien ISBN 3-85234-022-5	29

132	Scale and Scaling in Hydrology (1996) Blöschl G. ISBN 3-85234-023-3	vergriffen
133	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (11) (1996) Integrale Interpretation eines zeitgemäßen Gewässerschutzes ISBN 3-85234-024-0	12
134	Ein Beitrag zur Charakterisierung von Belüftungssystemen für die biologische Abwasserreinigung nach dem Belebungsverfahren mit Sauerstoffzufuhrmessungen (1996) Frey W. ISBN 3-85234-025-X	22
135	Nitrifikation im Belebungsverfahren bei maßgebendem Industrieabwassereinfluß (1996) Nowak O. ISBN 3-85234-026-8	36
136	1. Wassertechnisches Seminar (1996) Nebenprodukte von Desinfektion und Oxidation bei der Trinkwasseraufbereitung ISBN 3-85234-027-6	i.V.
137	Modellanwendung bei Planung und Betrieb von Belebungsanlagen (1997) ÖWAV - Seminar 1997, TU-Wien ISBN 3-85234-028-4	32
138	Nitrifikationshemmung bei kommunaler Abwasserreinigung (1997) Schweighofer P. ISBN 3-85234-029-2	25
139	Ein Beitrag zu Verständnis und Anwendung aerober Selektoren für die Blähschlammvermeidung (1997) Prendl L. ISBN 3-85234-030-6	22
140	Auswirkungen eines Kläranlagenablaufes auf abflußschwache Vorfluter am Beispiel der Kläranlage Mödling und des Krottenbaches (1997) Franz A. ISBN 3-85234-031-4	25
141	Neue Entwicklungen in der Abwassertechnik (1997) ÖWAV - Seminar 1997, TU-Wien ISBN 3-85234-032-2	36

Band Nr		Preis €
142	Kulturtechnik und Wasserwirtschaft heute (11) (1997) Abfallwirtschaft und Altlastensanierung morgen ISBN 3-85234-033-0	18
143	Abwasserbeseitigung und Wasserversorgung in Wien (1997) Eine ökonomische Beurteilung der Einnahmen, Ausgaben und Kosten Kosz M. ISBN 3-85234-034-9	22
144	Raum-Zeitliche Variabilitäten im Geschiebehaushalt und dessen Beeinflussung am Beispiel der Drau (1997) Habersack H. ISBN 3-85234-035-7	29
145	Fortbildungskurs: Biologische Abwasserreinigung (1998) ÖWAV - Seminar 1998, TU-Wien ISBN 3-85234-036-5	40
146	2. Wassertechnisches Seminar (1998) Desinfektion in der Trinkwasseraufbereitung ISBN 3-85234-037-3	i.V.
147	Eigenüberwachung und Fremdüberwachung bei Kläranlagen (1998) 32. ÖWAV-Seminar , Linz 1998 ISBN 3-85234-038-1	36
148	Grundwasserdynamik (1998) ISBN 3-85234-039-C	36
149	Die Tradition in der Kulturtechnik (1998) Kastanek F. Simulationsanwendung bei der Störung durch poröses Medium (1998) Loiskandl W. ISBN 3-85234-040-4	22
150	Auswirkungen von Niederschlagsereignissen und der Schneeschmelze auf Karstquellen (1998) Steinkellner M. ISBN 3-85234-041-1	36
151	Experiences with soil erosion models (1998) ISBN 3-85234-042-X	29

Band Nr	Preis €
152 Ein Beitrag zur Optimierung der Stickstoffentfernung in zweistufigen Belebungsanlagen (1998) Dornhofer K. ISBN 3-85234-043-8	25
153 Hormonell aktive Substanzen in der Umwelt (1998) ÖWAV / UBA Seminar 1998, BOKU Wien ISBN 3-58234-044-6	vergriffen
154 Erfassung, Bewertung und Sanierung von Kanalisationen (1998) ÖWAV Seminar 1999, BOKU Wien ISBN 3-8523-045-4	29
155 Nährstoffbewirtschaftung und Wassergüte im Donaauraum (1999) ÖWAV - Seminar 1999, TU-Wien ISBN 3-85234-046-2	32
156 Der spektrale Absorptionskoeffizient zur Bestimmung der organischen Abwasserbelastung (1999) UV-Seminar 1998, Duisburg ISBN 3-85234-047-0	22
157 Bedeutung und Steuerung von Nährstoff- und Schwermetallflüssen des Abwassers (1999) Zessner M. ISBN 3-85234-048-9	25
158 Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Stoffbilanzen in der Abfallwirtschaft (1999) Rechberger H. ISBN 3-85234-049-7	vergriffen
159 Sicherheit und Gesundheitsschutz auf Abwasseranlagen und deren Evaluierung (2000) ÖWAV – Seminar 2000, TU-Wien ISBN 3-85234-050-0	22
160 Auswirkungen von Klimaänderungen auf die Hydrologie alpiner Einzugsgebiete (2000) Hebenstreit K. ISBN 3-85234-051-9	25

-
- | | | |
|-----|--|------------|
| 161 | Innovative Messtechnik in der Wasserwirtschaft (2000)
Präsentation eines Forschungsprojektes
ÖWAV – Seminar 2000, BOKU – Wien
ISBN 3-85234-052-7 | vergriffen |
| 162 | Sickerwasser und Oberflächenabdichtung auf Reaktordeponien (2000)
ÖWAV - Seminar 2000, Wirtschaftskammer Wien
ISBN 3-85234-053-5 | 25 |
| 163 | Abfall- und Abwasserentsorgung in kleinen Verhältnissen (2000)
ÖWAV - Seminar 2000, Ottenstein
ISBN 3-85234-054-3 | 25 |
| 164 | Niederschlag-Abfluss-Modellierung – Simulation und Prognose (2000)
ÖWAV-Seminar 2000, TU Wien
ISBN 3-85234-055-1 | i.V. |
| 165 | Mehrdimensionale Abflussmodellierung am Beispiel der Lafnitz (2000)
Habersack, H. / Mayr, P. / Girlinger, R. / Schneglberger, St.
ISBN 3-85234-056-x | 25 |
| 166 | Anpassung von Kläranlagen – Planung und Betrieb (2001)
ÖWAV-Seminar 2001, TU Wien
ISBN 3-85234-057-8 | 40 |
| 167 | Bepflanzte Bodenfilter zur weitergehenden Reinigung von Oberflächenwasser und Kläranlagenabläufen (2001)
Laber J.
ISBN 3-85234-058-6 | 25 |
| 168 | Kanalbetrieb und Niederschlagsbehandlung (2001)
ÖWAV-Seminar 2001, BOKU Wien.
ISBN 3-85234-059-4 | 29 |
| 169 | Development of a Simulation Tool for Subsurface Flow Constructed Wetlands (Entwicklung eines Simulationsmodells für bepflanzte Bodenfilter) (2001)
Langergraber G.
ISBN 3-85234-060-8 | 25 |
| 170 | Simulation von Niederschlagszeitreihen mittels stochastischer Prozess-modelle unter Berücksichtigung der Skaleninvarianz (2001)
Bogner
ISBN 3-85234-061-6 | i.V. |
| 171 | Sewage Sludge Disposal – Sustainable and/or Reliable Solutions (2001)
ÖWAV / EWA Workshop 2001, TU-Wien
ISBN 3-85234-062-4 | 25 |

Band Nr		Preis €
172	Stickstoffentfernung mit Biofiltern (2002) Nikolavcic B. ISBN 3-85234-063-2	30
173	Anaerobe Abwasserreinigung: Beeinflussende Faktoren der Versäuerung eines Zitronesäurefabrikabwassers (2002) Moser D. ISBN 3-85234-064-0	20
174	Gewässerschutz bei Entlastungsbauwerken der Mischkanalisation (2002) Fenz R. ISBN 3-85234-065-9	25
175	Wechselwirkung von physikalischen, chemischen und biotischen Prozessen in aquatischen Systemen (2002) Kreuzinger N. ISBN 3-85234-066-7	i.V.
176	Benchmarking in der Abwasserentsorgung (2002) ÖWAV Workshop Februar 2002, TU-Wien ISBN 3-85234-067-5	30
177	Klärschlamm (2002) Möglichkeiten und Verfahren zur Verwertung / Entsorgung ab 2004 ÖWAV Seminar April 2002, Wirtschaftskammer Österreich Schlammbehandlung und Entsorgung ÖWAV / TU – Workshop September 2000, TU-Wien ISBN 3-85234-068-3	30
178	Arzneimittel in der aquatischen Umwelt (2002) ÖWAV Seminar 2002, BOKU Wien ISBN 3-85234-069-1	30
179	Untersuchungen zur Entfernung natürlicher radioaktiver Stoffe aus Trinkwasser und Überblick zu deren Verbreitung in Österreich (2002) Staubmann, K. ISBN 3-85234-070-5	25
180	Zum Fließwiderstandsverhalten flexibler Vegetation (2002) Stephan, U. ISBN 3-85234-071-3	30
181	Understanding and Estimating Floods at the Regional Scale (2002) Merz, R. ISBN 3-85234-072-1	30

Band Nr		Preis €
182	Kanalmanagement - Neues Schlagwort oder alte Herausforderung ? (2003) ÖWAV Seminar 2003, BOKU Wien ISBN 3-85234-073-X	30
183	Fortbildungsseminar Abwasserentsorgung (2003) ÖWAV Seminar Februar 2003, TU-Wien ISBN 3-85234-074-8	40
184	Klärschlamm (2003) ÖWAV Seminar November 2003, TU-Wien ISBN 3-85234-075-6	30
185	Nachhaltige Nutzung von Wasser (2003) Endbericht zu Modul MU11 im Rahmen des Forschungsschwerpunktes „Nachhaltige Entwicklung österreichischer Kulturlandschaften“ ISBN 3-85234-076-4	30
186	Inspektion von Kanalisationen (inkl. Umsetzung ÖNORM EN 13508-2) ÖWAV-Informationsveranstaltung 2004, BOKU Wien ISBN 3-85234-077-2	30
187	Datengewinnung, -verwaltung und -nutzung in der Wassergütwirtschaft (2004) ÖWAV Seminar März 2004, TU-Wien ISBN 3-85234-078-0	40
188	CSB-Elimination in höchstbelasteten Belebungsstufen und ihre Auswirkung auf die Stickstoffelimination von zweistufigen Anlagen unter dem Gesichtspunkt der mathematischen Modellierung (2004) Haider, S. ISBN 3-85234-079-9	30
189	Beitrag zum Benchmarking von Abwasserreinigungsanlagen (2004) Lindtner, S. ISBN 3-85234-080-2	25
190	Öffentlichkeitsarbeit auf Kläranlagen (2004) ÖWAV Seminar Juni 2004, St. Pölten ISBN 3-85234-081-0	30
191	Das Verhalten ausgewählter organischer Spurenstoffe bei der biologischen Abwasserreinigung (2004) Clara, M. ISBN 3-85234-082-9	25

Band Nr	Preis €
192 Chemie in der Wassergütewirtschaft (2005) ÖWAV Seminar Februar 2005, TU Wien ISBN 3-85234-083-7	45
193 Three dimensional numerical modelling of turbulent river flow using polyhydral finite volumes (2005) Tritthart, M. ISBN 3-85234-084-5	30
194 Abwasserentsorgung im ländlichen Raum (2005) ÖWAV Seminar November 2005, BOKU Wien ISBN 3-85234-085-3	Preis auf Anfrage
195 Betriebserfahrungen moderner Kläranlagen (2006) ÖWAV Seminar Februar 2006, TU-Wien ISBN 3-85234-086-1	40
196 Kanalmanagement 2006 – Praxisberichte und Projektergebnisse (2006) ÖWAV-Informationsveranstaltung 2006, BOKU ISBN 3-85234-087-X	30
197 Methoden der hydrologischen Regionalisierung (2006) ÖWAV-Seminar 2006, TU Wien ISBN 3-85234-088-8	30
198 Process based regionalisation of low flows (2006) Laha, G. ISBN-10 3-85234-089-6 ISBN-13 978-3-85234-089-0	30
199 Hochwasservorhersage – Erfahrungen, Entwicklungen & Realität (2006) ÖWAV-Seminar 2006, TU Wien ISBN-10 3-85234-090-X ISBN-13 978-3-85234-090-6	30
200 Scale and stream network structure in geostatistical hydrological analyses (Geostatistische hydrologische Analysen unter Berücksichtigung von Skalenaspekten und Gewässernetzstruktur) (2007) Skøien, J. O. ISBN-10 3-85234-091-8 ISBN-13 978-3-85234-091-3	i.V.

201	Der kombinierte Ansatz, das Wechselspiel zwischen Emission und Immission - Neue Herausforderungen bei Abwasserentsorgung und Gewässerschutz (2007) ÖWAV Februar Seminar 2007, TU-Wien ISBN-13 978-3-85234-093-7	45
202	Betrieb von Kläranlagen - Grundkurs Neuaufgabe 2013 ISBN-13 978-3-85234-123-1	80
203	Kanalmanagement 2007 – Unterirdische Kanalsanierung (2007) ÖWAV Infoveranstaltung 17. April 2007 an der BOKU Wien ISBN-13 978-3-85234-095-1	30
204	Leitungskataster für Trink - und Abwassernetze (2007) ÖWAV Infoveranstaltung 30. Mai 2007, Wien ISBN-13 978-3-85234-096-8	30
205	Geruchs- und Korrosionsprobleme in der Kanalisation (2007) ÖWAV-Seminar 2007, TU Wien ISBN 978-3-85234-097-5	35
206	Extreme Abflussereignisse: Dokumentation – Bedeutung – Bestimmungsmethoden (2007) ÖWAV-Seminar 2007, TU Wien ISBN 978-3-85234-098-2	30
207	1. Österreichischer Kleinkläranlagentag (2007) ÖWAV-Seminar 2007, BOKU ISBN 978-3-85234-099-9	30
208	Biologische Abwasserreinigung - Aktuelle Entwicklungen (2008) ÖWAV Februar Seminar 2008, TU-Wien ISBN 978-3-85234-100-2	45
209	Kanalmanagement 2008 – Betrieb und Mischwasser (2008) ÖWAV Infoveranstaltung 27. März 2008 an der BOKU Wien ISBN 978-3-85234-101-9	30
210	2. Österreichischer Kleinkläranlagentag (2008) ÖWAV-Seminar 2008, BOKU ISBN 978-3-85234-102-6	30

Band Nr		Preis €
211	Zur Kenntnis der Schwefelwasserstoffbildung und -vermeidung in Abwasserdruckleitungen (2008) Saračević E. ISBN 978-3-85234-103-3	30
212	Neue Herausforderungen an die Wassergütwirtschaft (2009) ÖWAV Februar Seminar 2009, TU-Wien ISBN 978-3-85234-104-0	vergriffen
213	Hochwasserentstehung in der nördlichen Grauwackenzone Beobachtung - Messung – Modellierung (2009) Endbericht für Forschungsprojekte im Zeitraum 1990 bis 2008 ISBN: 978-3-85234-105-7	30
214	Linking Land Use to Stream Pollution: Pollutant Dynamics and Management Implications (2009) Yillia, Paul T. ISBN 978-3-85234-106-4	25
215	Kanalmanagement 2009 – Hauskanäle - Von der Planung bis zur Sanierung (2009) ÖWAV-Seminar 2009, BOKU ISBN 978-3-85234-107-1	30
216	Hochwässer – Bemessung, Risikoanalyse und Vorhersage (2009) ÖWAV-Seminar 2009, BOKU ISBN 978-3-85234-108-8	30
217	Einsatz der Managementmethode „Benchmarking“ in der Wasserversorgung - spezifische Aspekte der Implementierung, Anwendbarkeit und Folgewirkungen (2009) Neunteufel, R. ISBN 978-3-85234-109-5	30
218	3. Österreichischer Kleinkläranlagentag (2009) ÖWAV-Seminar 2009, BOKU ISBN 978-3-85234-110-1	30
219	Abwässer aus Gewerbe und Industrie Indirekt- und Direkteinleiter (2010) ÖWAV Februar Seminar 2010, TU-Wien ISBN 978-3-85234-111-8	vergriffen
220	Kanalmanagement 2010 – Grundlagen der Sanierungsplanung (2010) ÖWAV Seminar 1.6.2010, Wien ISBN 978-3-85234-112-5	50

Band Nr	Preis €
221 Anwendungsbezogene Aspekte der operationellen Durchflussvorhersage (2010) Drabek, U. ISBN 978-3-85234-113-2	50
222 4. Österreichischer Kleinkläranlagentag (2010) ÖWAV Seminar 2010, BOKU Wien ISBN 978-3-85234-114-9	30
223 Kanalmanagement 2011 – Pumpstationen, Mischwasserbehandlung & Vorstellung des ÖWAV-Regelblattes 42 „Unterirdische Kanalsanierung – Hauskanäle“ (2011) ÖWAV Seminar 2.2.2011, BOKU Wien ISBN 978-3-85234-116-3	40
224 Monitoring auf Kläranlagen „Daten erfassen, auswerten und anwenden“ (2011) ÖWAV Februar Seminar 2011, TU-Wien ISBN 978-3-85234-117-0	50
225 Kanalmanagement 2012 – Inspektion und Generelle Sanierungsplanung von Kanalisationen (2012) ÖWAV Seminar 1.2.2012, BOKU Wien ISBN 978-3-85234-118-7	40
226 Standortbestimmung in der Wassergütwirtschaft (2012) ÖWAV Februar Seminar 2012, TU-Wien ISBN 978-3-85234-119-4	50
227 5. Österreichischer Kleinkläranlagentag (2012) ÖWAV Seminar 2012, BOKU Wien ISBN 978-3-85234-120-0	30
228 Flussgebietsmanagement und Nährstoffe (2013) ÖWAV Februar Seminar 2013, TU-Wien ISBN 978-3-85234-121-7	vergriffen
229 Kanalmanagement 2013 – Betrieb von Kanalisationen - Präsentation des ÖWAV-Regelblattes 22 (2013) ÖWAV Seminar 9.4.2013, BOKU Wien ISBN 978-3-85234-122-4	40
230 Abwasserreinigung - Werte erhalten, Effizienz steigern und Ressourcen schonen ÖWAV Februar Seminar 2014, TU-Wien ISBN 978-3-85234- 124-8	50

Band Nr	Preis €
231 Kanalmanagement 2014 (2014) ÖWAV Seminar 24.4.2014, BOKU Wien ISBN 978-3-85234-125-5	40
232 NEW: Nährstoffe – Energie – Wasser ÖWAV Februar Seminar 2015, TU-Wien ISBN 978-3-85234- 126-2	45
233 Kanalmanagement 2015 - ÖWAV-Regelblatt 22 „Betrieb von Kanalisationen“ Was bringt es Neues? (2015) ÖWAV Seminar 21.4.2015, Wien ISBN 978-3-85234-127-9	40
234 Biogasproduktion aus organischen Reststoffen aus der Lebensmittelindustrie (2015) Brooks, L. ISBN 978-3-85234-128-6	30
235 Schlammfäulung mit erhöhtem Feststoffgehalt – Chancen, Grenzen, Herausforderungen (2015) Reichel, M. ISBN 978-3-85234-129-3	in Vorbereitung
236 Optimierung und Umsetzung des AOP-Verfahrens mit Ozon und Wasserstoffperoxid für eine kleine Einheit der Trinkwasseraufbereitung (2015) Bletterie, U. ISBN 978-3-85234-130-9	in Vorbereitung
237 Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen ÖWAV Seminar 2015, TU-Wien ISBN 978-3-85234-131-6	30
238 Abwasserwirtschaft im ländlichen Raum ÖWAV Seminar 2015, BOKU Wien ISBN 978-3-85234-133-0	30
239 Neues aus der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik ÖWAV Seminar 2016, TU-Wien ISBN 978-3-85234- 134-7	45
240 20 Jahre Kanalmanagement (2016) ÖWAV Seminar 31.3.2016, Wien ISBN 978-3-85234-135-4	40

Die Bände sind zu beziehen bei:

www.wau.boku.ac.at/wienmit.html

Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft
der Technischen Universität Wien
Karlsplatz 13/226, A-1040 Wien, Email: ihager@iwag.tuwien.ac.at

Band: 12, 15, 16, 20, 28, 34, 35, 36, 37, 47, 49, 53, 54, 56, 57, 58, 61, 62, 63, 64, 65, 69, 73, 81, 82, 84, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 105, 107, 108, 110, 114, 116, 117, 121, 125, 127, 129, 130, 134, 135, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 145, 147, 152, 153, 155, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 166, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 183, 184, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 195, 201, 202, 205, 208, 211, 212, 214, 219, 224, 226, 228, 230, 232, 234, 235, 236, 237, 239

Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie
der Technischen Universität Wien
Karlsplatz 13/222, A-1040 Wien, Email: sekr223@hydro.tuwien.ac.at

Band: 1, 2, 8, 9, 17, 21, 23, 26, 30, 31, 41, 42, 52, 66, 68, 74, 90, 91, 92, 102, 122, 132, 148, 164, 180, 181, 193, 197, 198, 199, 200, 206, 213, 216, 221

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau
der Universität für Bodenkultur,
Muthgasse 18, A-1190 Wien, Email: christina.mayer@boku.ac.at

Band: 18, 19, 32, 38, 43, 44, 45, 48, 50, 55, 59, 60, 70, 75, 78, 86, 89, 93, 101, 106, 109, 113, 123, 144, 160, 165, 167, 169

Institut für Siedlungswasserbau, Industrierwasserwirtschaft und Gewässerschutz
der Universität für Bodenkultur,
Muthgasse 18, A-1190 Wien, Email: sig-office@boku.ac.at

Band: 22, 29, 39, 40, 46, 67, 71, 72, 76, 77, 80, 83, 85, 87, 88, 94, 103, 112, 115, 118, 120, 124, 126, 128, 131, 133, 136, 142, 146, 150, 154, 163, 167, 168, 169, 178, 179, 182, 185, 186, 194, 196, 203, 204, 207, 209, 210, 215, 217, 218, 220, 222, 223, 225, 227, 229, 231, 233, 238, 240

Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft
der Universität für Bodenkultur
Muthgasse 18, A-1190 Wien, Email: dietmar.fellner@boku.ac.at

Band: 119, 149, 151, 170