



Fachhochschule Köln
Cologne University of Applied Sciences

Campus Gummersbach

Online Messung und mathematische Analyse von chemischen
und physikalischen Daten zur Bestimmung des
Betriebszustandes einer kommunalen Kläranlage

Bachelorarbeit

vorgelegt an der Fachhochschule Köln
Campus Gummersbach
im Studiengang Elektrotechnik
Fachrichtung Automatisierungstechnik

Ausgearbeitet von:

Benjamin Lauff©

Prüfer:

Prof. Dr. Ing. Michael Bongards

Prof. Dr. Ing. Frithjof Klasen

Gummersbach, im Mai 2013

Abkürzungsverzeichnis

ASM	Active Sludge Modell
BSB	Biochemischer Sauerstoffbedarf
CSB	Chemischer Sauerstoffbedarf
CSV	Comma separated values
E&H	Endress und Hauser
FNU	Formazine Nephelometric Units
FW	Frostwetter
H	Wasserstoffion
ISE	Ionenselektive Elektrode
KA	Kläranlage
LF	Leitfähigkeit
MTS	Messtechnik Schwartz GmbH
N	Stickstoff
NH ₄ ⁺	Ammonium
NH ₄ -N	Ammoniumstickstoff
nm	Nanometer
NO ₃ ⁻	Nitrat
NO ₃ -N	Nitratstickstoff
ORM	Optische Rückreflexions Messung
P	Phosphor
Q	Durchflussmenge
RMSE	Root Mean Squared Error
RS232	Radio Sector 232
RW	Regenwetter
T _{Abw}	Rohabwassertemperatur
TS	Trockensubstanzgehalt
TW	Trockenwetter
µm	Mikrometer
WTW	Wissenschaftlich – Technische Werkstätten GmbH

3.2 Installation der Messtechnik

Die Messtechnik der Firma Endress und Hauser, sowie die Messtechnik von TriOS, wurden schon vorab installiert und bedurften keiner weiteren Montage. Die Messtechnik der Firma MTS Messtechnik Schwartz GmbH, mittlerweile SEQUIP Sensor & Equipment GmbH, benötigte allerdings einer umfangreicheren Installation.

Mittels der nebenstehenden Konstruktion, welche der Aggerverband eigens für vorherige Versuchsreihen anfertigte, wurde die Partikelmesssonde am Geländer des letzten Beckens der Belebung befestigt. Um möglichst optimale Ergebnisse zu erzielen, ist die Partikelmesssonde extra in einem 45° Winkel am Fuße der Halterung montiert. Über eine angebrachte Eisenkette kann die Laser-Partikelmesssonde variabel nach Belieben in ihrer Wasserstandhöhe angepasst werden. Andererseits dient sie dazu, die Laser-Partikelmesssonde aus dem Wasser zu ziehen, beispielsweise für Wartungs- bzw. Reinigungsarbeiten.



Abbildung 4: SEQUIP Partikelmesssonde

- Elektronikeinheit
- Lichtwellenleiter

- Kabeltrommel
- SPS
- Pelicase
- Laptop
- USB / RS232
Konverter

- Kompressor

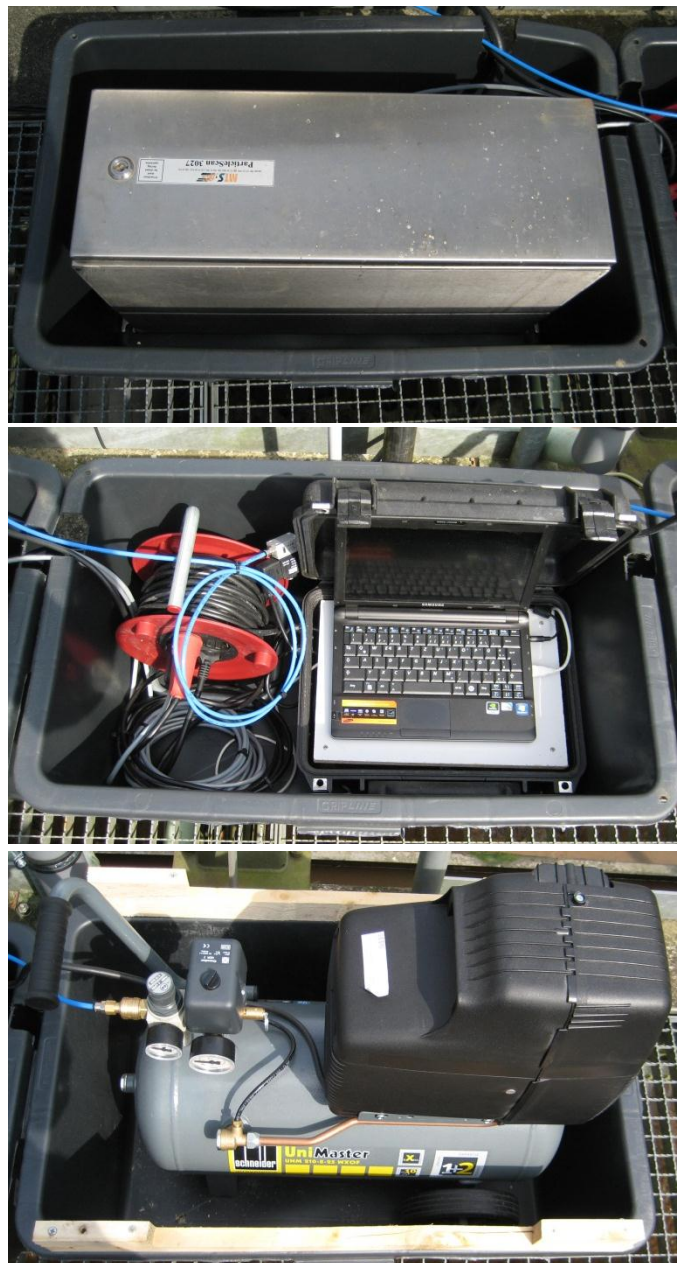


Abbildung 5: Wasserdichter Aufbau der Messelektronik der Partikelmesssonde im Ablauf der KA Rospe

In der obigen Abbildung 5 ist zu sehen, wie die gesamte Messtechnik, die für den Betrieb der SEQUIP Partikelmesssonde erforderlich ist, untergebracht ist. Um den sensiblen elektronischen Aufbau vor äußerer Witterung zu schützen, wurde die verwendete Technik in handelsüblichen, rechteckigen Mörtelwannen untergebracht. In der ersten von oben abgebildeten Mörtelwanne befindet sich die SEQUIP Elektronikeinheit, welche die Stromversorgung zur Laser-Partikelmesssonde aber auch den Datenaustausch über einen Lichtwellenleiter sicherstellt. In der mittigen

Mörtelwanne befindet sich der Hauptstromverteiler für die verwendeten elektronischen Geräte. Über einen USB zu RS232 Konverter werden die Daten von der SEQUIP Elektronikeinheit auf einen Laptop, welcher in einem Pelicase⁷ untergebracht ist, übertragen. Ebenso befindet sich eine kleine SPS⁸ in diesem Pelicase, welche die Druckluftzufuhr vom Kompressor (untere Mörtelwanne) zu der Laser-Partikelmesssonde steuert. Die SPS ist so programmiert, dass die Partikelmesssonde alle 30 Minuten für je fünf Sekunden per Druckluft gereinigt wird. Der Inhalt des Pelicases ist in der untenstehenden Abbildung 6 zu sehen.

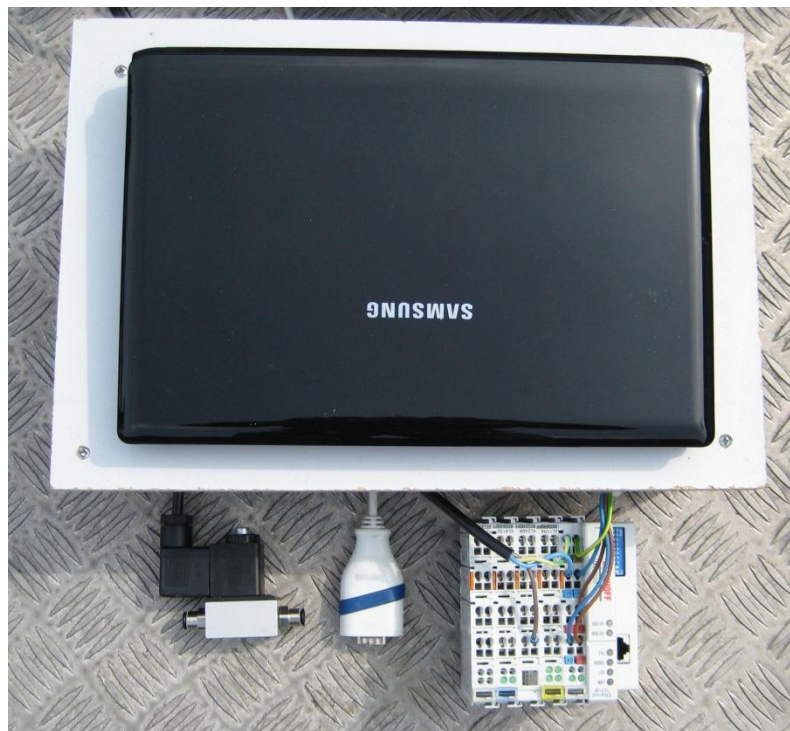


Abbildung 6: Inhalt vom Pelicase

⁷ Pelicase: schlagfester, wasser- und luftdichter Kunststoffkoffer

⁸ SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung

3.3 Messverfahren

Bei den im Kapitel zuvor aufgezeigten Messsystemen kommen verschiedene Messverfahren zum Einsatz: Ionenselektive Messung (ISE), Spektralmessung, Trübungsmessung mittels Streulicht und die 3D ORM Technologie.

Die Messsonden der Messsysteme sind extra für den Messeinsatz in Kläranlagen ausgelegt und leisten auch unter extremen Bedingungen zuverlässig ihre Dienste. Jedoch brauchen die Messsysteme mitunter eine intensive Wartung, da sie durch massive Verschmutzung, wie zum Beispiel Papier und Klärschlamm, zugesetzt werden können und in Folge dessen unbrauchbare oder keine Messwerte liefern.

3.3.1 Ionenselektive Messung

Die ionenselektive Messung ist entsprechend der untenstehenden Abbildung 7 aufgebaut und setzt sich hauptsächlich aus einer ionenselektiven- und Referenzelektrode zusammen.

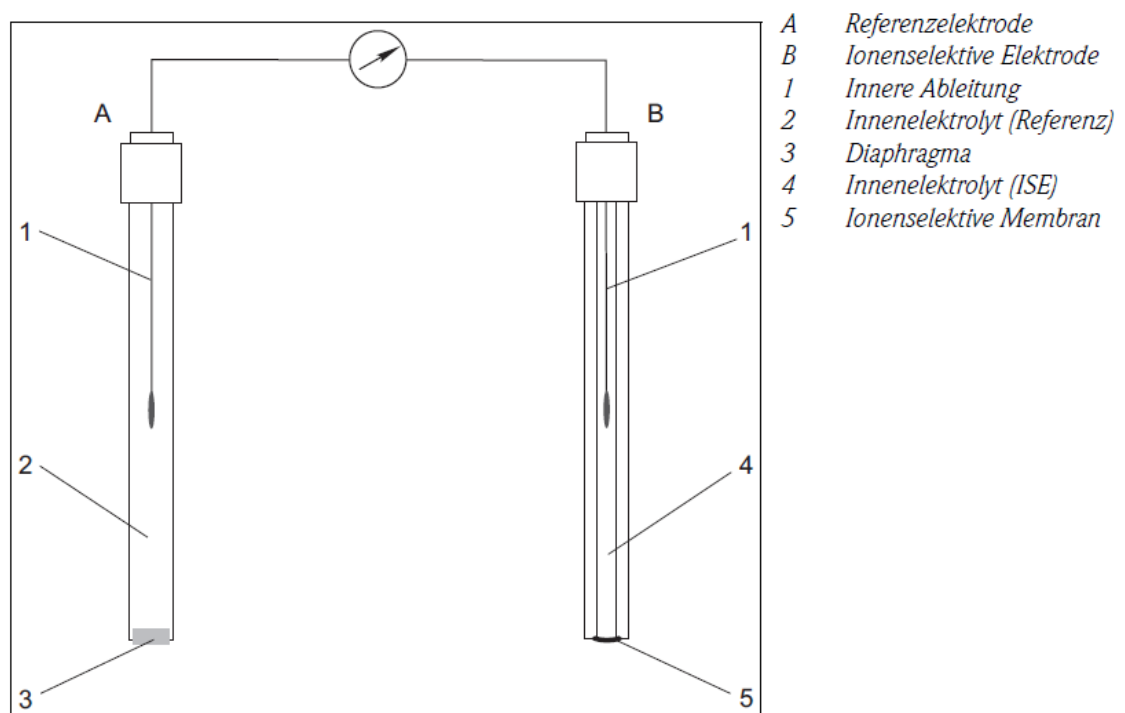


Abbildung 7: Allgemeines Messprinzip einer ionenselektiven Elektrode [3]

Die ionenselektive Elektrode besteht aus einem speziellen Innenelektrolyt (4) und einer inneren Ableitung (1), um die elektrische Ladung zu erfassen. Der Aufbau einer

3.3.4 3D ORM Technologie

Die 3D Optische Rückreflexions Messung (ORM) Technologie wurde 1999 in den USA von SEQUIP Sensor & Equipment GmbH, früher MTS-Schwartz, patentiert und basiert auf der Reflexion von eingestrahltm Laserlicht [48, 49].

Mit einer Laserdiode wird ein Licht von 780 nm Wellenlänge und 10 Milliwatt Intensität emittiert und über einen Lichtwellenleiter in den Sensor geleitet [50]. Wie in Abbildung 11 zu erkennen ist, wird dieser Laserstrahl durch einen Strahlteiler geteilt und durch eine einkoppelnde Linse aufgeweitet und danach gleich wieder fokussiert [51]. Durch die rotierende Optik bzw. die Linsen wandert der Fokus mit 2,0 m/s in horizontaler und radialer Richtung, so dass ein 3D Messraum erzeugt wird [49]. Passieren Partikel den Fokus, so wird das Licht reflektiert. Dieses gelangt auf gleiche Weise wieder zurück in den Lichtwellenleiter und wird von einem Fotodetektor erfasst [51]. Die Auswertungseinheit errechnet anhand der Intensität, der Dauer und der relativen Geschwindigkeit des Partikels zum Laserstrahl die Sehnenlänge, aus welcher wiederum die Partikelgrößenverteilung errechnet werden kann [49]. Die Partikelgrößenverteilung nimmt Werte zwischen 0,04 und 4000 μm an und kann unterschiedlich nach Anzahl, Größe, Volumen und Länge gewichtet werden [49]. Die Darstellung und Auswertung wird durch die Software WinORM 5.1 build 376 realisiert [51].

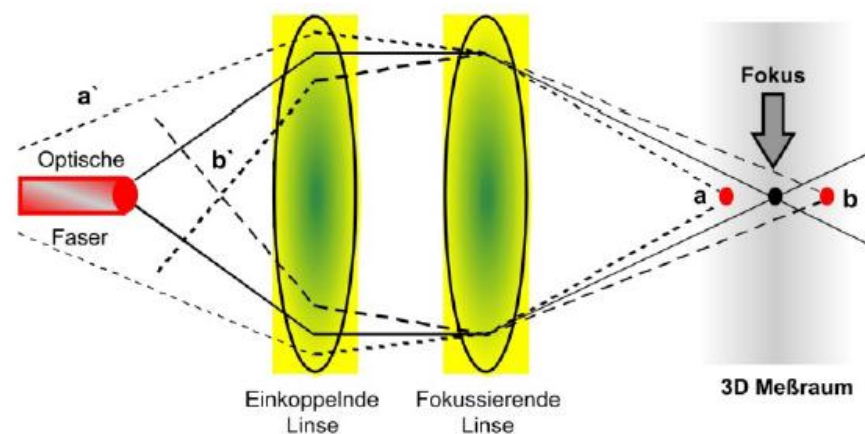


Abbildung 11: Grundprinzip der 3D ORM Technologie [6]

5. Datenanalyse der laserbasierten Partikelmessung

Bei der 3D ORM-Technologie der Messsonde der SEQUIP Sensor & Equipment GmbH lassen sich die aufgezeichneten Partikeldaten nach verschiedenen Mengenarten in 255 verschiedene Klassen, angefangen von 0,00-1,00 μm bis hin zu 3968-4032 μm , der Größe nach sortieren [57]:

- Z = 0: Number (Anzahl)
- Z = 1: Length (Länge)
- Z = 2: Area (Fläche)
- Z = 3: Volume (Volumen)

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde die Mengenart Z=3, das Volumen, ausgewählt. Die Partikel werden dem Volumen nach im 3D-Messraum vom rotierenden Laser erfasst und den fest vordefinierten Kanalbreiten bzw. Kanalgrößen zugeordnet. Abbildung 28 zeigt die Klassierung der Anzahl der gemessenen Partikel über den ganzen Messzeitraum nach deren zugehörigen Partikelgrößen.

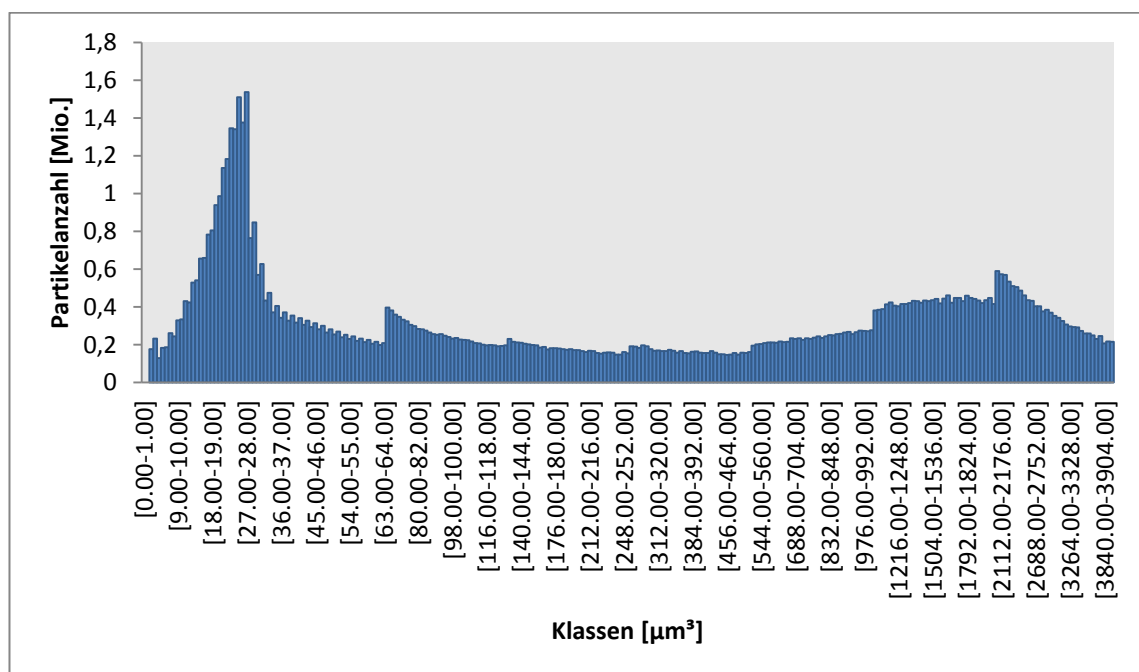


Abbildung 28: Verteilung der Partikelanzahl nach deren Volumen

Es ist zu erkennen, dass mehrere größere und kleinere Peaks herausstechen. Der große Peak im Anfangsbereich zwischen 11 und 36 μm^3 sowie der größere Peak im Endbereich zwischen den Klassen 1024 und 2816 μm^3 sind Bestandteil der Betrachtung.

Auch die Betrachtung über den gesamten Klassenbereich sowie der Bereich der Größenklasse einer Belebtschlammflocke zwischen 50 und 300 μm^3 werden für die Betrachtung der laserbasierten Partikelmessung herangezogen. Die Analyse wird auf Basis der Mittelwerte der Partikel in den einzelnen Betrachtungsgrenzen geführt.

Nachfolgend werden die verschiedenen laserbasierten Partikelklassen aus Übersichtsgründen aufsteigend nach der Größenverteilung mit Partikelklasse 1 bis 4 bezeichnet. Korrelationswerte werden auf Grund der unruhigen Verläufe der Partikelmessungen bereits bei Werten ab 0,30 grünfarbig hervorgehoben.

5.1 Zusammenhang zwischen Partikelgrößenverteilung und Ablaufqualität

Durch die nachfolgenden Korrelationsvergleiche und die Anwendung des linearen multiplen Regressionsmodells wird erwartet, dass sich Zusammenhänge zwischen Partikelgrößenverteilung und Ablaufqualität erkennen lassen.

5.1.1 Korrelation

Wie in Tabelle 11 zu erkennen ist, bewegen sich die Korrelationen nur in einem sehr niedrigen Bereich. Die Klassenbereiche 11 bis 36 μm^3 (Partikelklasse 1) und 50 bis 300 μm^3 (Partikelklasse 2) lassen im Vergleich zu den anderen beiden Klassenbereichen noch die höchsten Korrelationen erkennen.

		Partikelklassen [μm^3]			
		11 bis 36	50 bis 300	1024 bis 2816	Alle Klassen
Biologie	NH ₄ -N	-0,22	0,09	-0,05	0,05
	NO ₃ -N	-0,28	-0,21	0,04	-0,21
	O ₂	-0,10	0,27	-0,19	-0,03
	TS	0,27	-0,28	0,14	-0,06

Tabelle 11: Korrelation der Partikelklassen und der Ablaufparameter

Es fällt auf, dass sich die Merkmalsbeziehungen je nach Klassengröße stark unterscheiden. Zum einen sind Korrelationen gleichläufig, zum anderen gegenläufig. In Abbildung 29 ist ein Negativbeispiel mit einer Korrelation von -0,03 zwischen der

10. Literaturverzeichnis

- [1] Abwasserreinigung Kloten/Opfikon, *Fadenbakterien*, o.J. [Online] <http://www.klaeranlage.ch/?page=4&topPage=25> (2013, Apr. 05).
- [2] Der Aggerverband, *KA Rospe*. o.O, 2013.
- [3] Endress+Hauser, *Technische Information ISEmax CAS40D*, 2011. [Online] https://portal.endress.com/wa001/dla/5000396/7198/000/00/TI491CDE_0111.pdf (2013, Jan. 30).
- [4] Endress+Hauser, *Technische Information STIP-scan CAM74/CAS74*. [Online] https://portal.endress.com/wa001/dla/5000417/6881/000/02/TI423CDE_1311.pdf (2013, Feb. 15).
- [5] Endress+Hauser, *Technische Information Turbimax CUS51D*. [Online] https://portal.endress.com/wa001/dla/5000321/3681/000/02/TI461CDE_1412.pdf (2013, Feb. 19).
- [6] Sequip S+E GmbH, *Sequip Prospekt NEU 2012*, 2012. [Online] <http://www.sequip-particle-technology.de/app/download/5789554339/Sequip+Prospekt+NEU+2012.pdf> (2013, Jan. 30).
- [7] A. u. A. e. V. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, *Leistungsvergleich kommunaler Kläranlagen 2011*, 2011. [Online] http://de.dwa.de/tl_files/_media/content/PDFs/Abteilung_WAW/mj/Leistungsvergleich_2012_LOW.pdf (2013, Apr. 11).
- [8] M.-C. Wewel, *Statistik im Bachelor-Studium der BWL und VWL: Methoden, Anwendung, Interpretation ; mit herausnehmbarer Formelsammlung*, 2nd ed. München, Boston [u.a.]: Pearson Studium, 2011.
- [9] F. Sieker, *Naturnahe Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten: Grundlagen und Anwendungsbeispiele - neue Entwicklungen ; mit 39 Tabellen*, 3rd ed. Renningen: expert-Verl, 2003.
- [10] J. W. v. Goethe, *Faust: Der Tragödie erster und zweiter Teil, Urfaust*. München: Beck, 2010.
- [11] S. R. Laskowski, *Das Menschenrecht auf Wasser: Die rechtlichen Vorgaben zur Sicherung der Grundversorgung mit Wasser und Sanitärleistungen im Rahmen einer ökologisch-nachhaltigen Wasserwirtschaftsordnung*. Tübingen: Mohr Siebeck, 2010.
- [12] F. Kürschner-Pelkmann, *Das Wasser-Buch: Kultur, Religion, Gesellschaft, Wirtschaft*, 2nd ed. Frankfurt am Main: Lembeck, 2007.