

Abschlussbericht zum Forschungsprojekt

AZ 27072-23

Entwicklung einer Trübungsmessung für die kontinuierliche Betriebskontrolle vollbiologischer Kleinkläranlagen für den Gewässerschutz

Teilbereiche: Administration und Entwicklung durch IPSF und WHOrga



Auftraggeber: **Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)**

An der Bornau 2
49090 Osnabrück



Auftragnehmer: **IP Safety First e.K. (IPSF)**

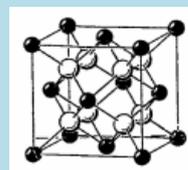
Ketscher Landstraße 8
68804 Altlußheim



Projektleitung: Iris Pleus

Kooperationspartner 1: **WHOrga-Consult (WHOrga)**

Ketscher Landstraße 8
68804 Altlußheim



Projektleitung: Wolfgang Eberhard Henkel

Kooperationspartner 2: **Bauhaus-Universität Weimar (BUW)**

Professur Siedlungswasserwirtschaft
Coudraystraße 7
99423 Weimar



Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. J. Londong
Sachbearbeiter: Dipl. Ing. Matthias Hartmann

Altlußheim, den 26.08.2010

Iris Pleus (IPSF)

Wolfgang Eberhard Henkel

Bezugsquelle:

**IP Safety First e.K. Iris Pleus
Ketscher Landstraße 8
68804 Altlusheim**

Fon +49(0)6205 – 32927

Fax +49(0)6205 – 2860915

E-Mail info@ipsafety-first.de

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



AZ	27072	Referat	23	Fördersumme	124.529,00 €
----	--------------	---------	-----------	-------------	---------------------

Antragstitel **Entwicklung einer Trübungsmessung für die kontinuierliche Betriebskontrolle vollbiologischer Kleinkläranlagen für den Gewässerschutz**

Stichworte Abwasser, Kläranlage

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
18	29.01.2009	28.07.2011	

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Iris Pleus - IP Safety First e. K. Ketscher Landstr. 8	Tel 06205 - 32927
		Fax 06205 - 2860915
		Projektleitung

Iris Pleus

Bearbeiter

68804 Altlussheim

Kooperationspartner Wolfgang E. Henkel - WHOrga-Consult
Bauhaus-Universität Weimar - Professur Siedlungswasserwirtschaft

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

In der Novellierung der Abwasserverordnung vom 15. Oktober 2002 wurden u. a. die Anforderungen an dezentrale Kleinkläranlagen (KKA) in Bezug auf Einbau, den Betrieb und die Wartung festgelegt. Grundsätzlich ist der Betreiber für die ordnungsgemäße Funktion verantwortlich und nachweispflichtig. Dazu fehlt den Betreibern aber meistens die fachliche Kompetenz. Deshalb ist eine kontinuierliche Kontrolle durch ein Messgerät von herausragender Bedeutung, um die Umweltbelastung durch die Einleitung ungeklärter Abwässer zu verhindern. Allerdings fehlt es bislang an kostengünstigen und robusten Messverfahren bzw. -geräten, welche die Aufgabe übernehmen könnten.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Die Professur Siedlungswasserwirtschaft der Bauhaus-Universität Weimar (BUW) konnte in einem vom Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt (TMLNU) geförderten Forschungsprojekt nachweisen, dass die Trübungsmessung eine geeignete Methode zur Betriebskontrolle für KKA's ist. Hierbei zeigte sich, welche Anforderungen an ein Trübungsmessgerät für KKA's zu stellen sind.

In der Auslaufkontrolle von großen Kläranlagen ist die Trübungsmessung bereits Standard. Die dort verwendeten Geräte sind aber zu teuer (> 2.500 €) und müssen sehr häufig gereinigt und nachkalibriert werden.

Deshalb setzt der Antragsteller des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten jetzigen Forschungsprojektes, zusammen mit den Kooperationspartnern, konsequent auf die Entwicklung eines kostengünstigen Trübungsmessgerätes mit hoher Funktionssicherheit, einfache Bedienung und langen Wartungsintervallen.

Damit soll zur nachhaltigen Umweltentlastung erreicht werden, dass kein ungeklärtes Abwasser durch den Betrieb von KKA's eingeleitet werden kann.

Ergebnisse und Diskussion

Das Ergebnis der Entwicklung ist ein kostengünstiges Kompakt-Trübungsmessgerät, welches leicht zu bedienen ist und eine lange Standzeit ermöglicht. Zur Unterdrückung der Entstehung von Biofilmen, die die Messung beeinträchtigen, wurde eine Bestrahlung der Optik mit UVC-Licht (253,7 nm) von 2 x 2 Stunden/Tag gewählt. Versuche haben gezeigt, dass damit eine Standzeit bis zu einem Jahr erreicht werden kann und sich die Lebensdauer der UVC-Lampe wesentlich verlängert.

Kernstück des Messgerätes ist ein Messkopf aus Borosilikatglas, in dem die optische Messstrecke, unter Benutzung des Prinzips der Totalreflektion, direkt im Werkstück vorgesehen ist.

Konstruiert ist das Gerät als Baukastensatz und benötigt dadurch eine sehr kurze Herstellungszeit.

Die eingebaute Elektronik beinhaltet die Selbstüberwachung, Datenlogger, Alarmausgänge, Schnittstelle RS 485 und einen zusätzlichen Analogausgang 0...10 V.

Damit ist das Gerät bereits für Datenfernübertragung (DFÜ) und Fernwartung geeignet und kann herstellerübergreifend sowohl für Nachrüstung als auch bei Neuanlagen eingesetzt werden.

Das Trübungsmessgerät meldet den Schlammabtrieb bei Versagen der Biologie oder der Nachklärung, was ein Überschreiten der geforderten Grenzwerte bedeutet. Es verhindert damit zuverlässig, dass kein ungeklärtes Abwasser eingeleitet wird.

Die unterschiedliche Einbausituation in KKA's machten zwei verschiedene Einbauvorrichtungen notwendig:

- Durchlaufarmatur zur Wandmontage mit eingebauter UVC-Lampe und Trübungsmessgerät
- Kompakt-Trübungsmessgerät mit angebaute UVC-Lampe zur Direktmontage in den Revisionsschacht

Eine Diskussion sollte darüber geführt werden, ob mit anderen Lichtwellenlängen, oder einer Kombination mit anderen Messverfahren eine bessere Korrelation zu den Ablaufwerten in CSB bzw. BSB5 erreicht werden kann.

Es wäre eine interessante Forschungsaufgabe die Labormessung von CSB und BSB5 mit einem Onlinemessgerät möglich zu machen.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das Trübungsmessgerät wurde bereits im BDZ-Arbeitskreis „Betriebskonzepte für Kleinkläranlagen“ vorgestellt. Veröffentlichungen in Fachzeitschriften und Mailingaktionen an mögliche Kunden werden folgen. Die Präsentation wird durch die Teilnahme an Fachmessen, z.B. TerraTec und IFAT unterstützt. Entsprechende Verkaufsunterlagen sind in Arbeit.

Fazit

Mit dem Einsatz der Trübungsmessung im Ablauf erhöht sich die Betriebssicherheit der KKA's. Außerdem wird der Betreiber bei seiner Verantwortung und Nachweispflicht unterstützt. Die Anzahl der jährlichen Wartungen könnten reduziert werden, was zur Verringerung von Wartungskosten und Umweltbelastungen führt. Der Einsatz einer Datenfernübertragung wird durch diese Trübungsmessung sinnvoll ermöglicht.

Teil I

***Abschlussbericht zum Forschungsprojekt
AZ 27072-23***

Teilbereiche: Administration und Entwicklung durch IPSF und WHOrga

		Seite
1.	Anlass und Zielsetzung	1
2.	Lösungsansätze	
2.1	Messsonde.....	2
2.2	Einbauanordnung.....	2
2.3	Auswerteeinheit.....	2
3.	Vorversuche	
3.1	Erster Vorversuch mit UVC.....	2-4
3.2	Zweiter Vorversuch mit UVC.....	5-6
3.3	Dritter Vorversuch mit UVC.....	6-11
4.	Entwicklung von Versuchsmustern der Sonde	11
4.1	Messkopf.....	11-13
4.2	Sondenkörper.....	14-18
4.3	Messelektronik Anforderungen an die Elektronik (Pflichtenheft).....	18-20
5.	Einbausituation in KKA´s	21-22
6.	Messwertauswertung, Netzteil, Datenfernübertragung	22
7.	Entwicklung des Prototyps (Fertigungsmuster)	23
7.1	Sonde.....	23
7.1.1	Messkopf.....	23
7.1.2	Sondenkörper.....	24
7.1.3	Leiterplatte und Messelektronik.....	24-30
7.1.4	Verschraubung.....	30
7.1.5	Anschlussleitungen.....	30
7.1.6	Typschild Teil 1 und Teil 2.....	30
8.	Resümee	31-36

Teil 2 Abschlussbericht BUW

	Seite
Foto 1	Anordnung des 1. Vorversuchs..... 3
Foto 2	Referenzglasrohr nach der 4. Woche..... 3
Foto 3	UVC-Lampe nach 4 Wochen..... 4
Foto 4	Aufbau 2. Vorversuch..... 5
Foto 5	Aufbau 3. Vorversuch..... 6
Foto 6	Referenz 3. Vortest nach 4 Wochen..... 7
Foto 7	Testrohr UVC-Bestrahlung 2x2h/Tag nach 4 Wochen..... 8
Foto 8	3. Vortest Auswertung nach 8 Wochen..... 9
Foto 9	3. Vortest 2x2h/Tag UVC-Bestrahlung nach 8 Monaten..... 10
Foto 10	3. Vortest – Referenzanordnung nach 8 Monaten..... 11
Zeichnung 1	Entwurf Messkopf..... 12
Zeichnung 2	Messkopf aus Epoxydharz..... 13
Zeichnung 3	Entwurf Trübungssonde..... 14
Zeichnung 4	Entwurf Sonde mit waagerechter Messstrecke und angebauter UVC-Lampe..... 15
Zeichnung 5	Entwurf Sonde mit senkrechter Messstrecke und angebauter UVC-Lampe..... 16
Foto 11	Testsonde..... 17
Foto 12	komplette Messeinrichtung, Prototyp..... 22
Zeichnung 6	Messkopf aus Borosilikatglas..... 23
Zeichnung 7	Sondendeckel..... 24
Zeichnung 8.1	Leiterplatte – Umriss..... 24
Zeichnung 8.2	Schaltung Voltage-Regulation..... 25
Zeichnung 8.3	Schaltung μ C..... 26
Zeichnung 8.4	Schaltung RS485 / Watchdog..... 27
Zeichnung 8.5	Schaltung ANALOG IN..... 28
Zeichnung 8.6	Schaltung ANALOG OUT..... 29
Zeichnung 9	Tl. 1 + 2 Typschilder..... 30
Foto 13	Kompakt-Trübungsmessgerät „SAFETY-TOP TSA1“ 32
Foto 14	Testsonde 3. Vorversuch nach 12 Monaten..... 33
Foto 15	Referenz nach 12 Monaten..... 34
Foto 16	Referenz aus 1. Vorversuch nach 18 Monaten..... 34
Foto 17	Komplette Messeinrichtung (Fertigungsmuster)..... 35

BUW	Bauhaus-Universität Weimar Professur Siedlungswasserwirtschaft 1. Kooperationspartner im F+E-Vorhaben (Autor Abschlussbericht BUW)
BDZ	Bildungs- und Demonstrationszentrum für dezentrale Abwasserbehandlung e.V., Leipzig
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt – Osnabrück (Auftraggeber des F+E-Vorhabens)
DFÜ	Datenfernübertragung
IPSF	IP Safety-First e.K., Altlusheim Auftragnehmer des F+E-Vorhabens (Mitautor dieses Berichts)
KKA	Kleinkläranlage
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
UVC	Ultraviolettes Licht (hier mit 253,7 nm)
WHOrga	WHOrga-Consult, Altlusheim 2. Kooperationspartner des F+E-Vorhabens (Mitautor dieses Berichts)

Abschlussbericht für DBU Projekt 27072-23
Entwicklung einer Trübungsmessung für die kontinuierliche
Betriebskontrolle vollbiologischer Kleinkläranlagen für den
Gewässerschutz

*Autoren: Iris Pleus, IP Safety First e.K., Eberhard W. Henkel, WHOrga-Consult
Im Anhang der Abschlussbericht der Bauhaus-Universität Weimar*

- 1. Anlass und Zielsetzung des Vorhabens**
- 2. Lösungsansätze**
- 3. Vorversuche**
- 4. Entwicklung von Versuchsmustern der Sonde**
- 5. Einbausituation in KKA's**
- 6. Messwertauswertung, Netzteil, Datenfernübertragung (DFÜ)**
- 7. Entwicklung des Prototyps (Fertigungsmuster)**
- 8. Resümee**

1. Anlass und Zielsetzung des Vorhabens

In einem Forschungsprojekt konnte die Professur für Siedlungswasserwirtschaft der Bauhaus Universität Weimar (BUW) nachweisen, dass die Trübungsmessung eine geeignete Methode zur Betriebskontrolle für KKA's ist.

Die auf dem Markt angebotenen Trübungsmessgeräte sind aber auf Grund des optischen und mechanischen Aufwandes für diesen Einsatz viel zu teuer (ab € 2,500,00). Außerdem machen Verschmutzungen durch Entstehung von Biofilmen aufwändige, mechanische Reinigungsrichtungen notwendig (z. B. Scheibenwischer, Ultraschall). Diese Vorrichtungen führen zur weiteren Verteuerung. Außerdem sind trotzdem relativ häufige Wartungen notwendig. Deshalb musste ein Trübungsmessgerät entwickelt werden, dass folgende Anforderungen erfüllt:

- Alarmierung des Schlammabtriebs bei Versagen der Biologie oder Nachklärung in der KKA
- Einhaltung einer Preisobergrenze von € 600,00
- Standzeit: 12 Monate

Zusätzlich ergaben sich weitere Aufgaben:

- geeignete Montage in KKA's und einfache Handhabung
- elektronische Eigenüberwachung
- Weitergabe der Messdaten an eigene oder fremde Auswertegeräte mit oder ohne Datenfernübertragung
- Möglichkeit der Nachrüstung in bereits bestehende KKA's

2. Lösungsansätze

2.1 Messsonde

- 2.1.1 Integration der optischen Messstrecke in einen Messkopf aus Glas oder Kunststoff mit Umlenkspiegeln in Winkeln von 45 Grad
- 2.1.2 Vermeidung von Biofilmbildung durch den Einsatz von UVC-Bestrahlung der Messstrecke von innen oder von außen mit angebautem UVC-Strahler. Zusätzliche Suche nach biofilmunterdrückender Oberflächenbeschichtung.
- 2.1.3 Messelektronik, Auswertung und Messausgänge auf einer Leiterplatte in die Sonde eingebaut. Versorgungsspannung 24 V DC, mit Schnittstelle analog oder/und digital.
- 2.1.4 Sondenkörper aus Kunststoffspritzteil oder Edelstahl-Feinguss
- 2.1.5 Konstruktion zum Aufbau der Sonde im Baukastensystem

Dadurch ergäbe sich ein preiswertes Kompakt-Trübungsmessgerät, welches an alle geeigneten Auswertgeräte angeschlossen werden könnte (z.B. SPS).

2.2 Einbauanordnung zur Montage der Sonde in die KKA

- 2.2.1 Einbau in den Revisionschacht
- 2.2.2 Einbau direkt in den Ablauf

2.3 Auswerteeinheit im Wandgehäuse außerhalb der KKA

- 2.3.1 Netzteil 230 V/24 V DC mit integriertem Akku zur Störmeldung bei Netzausfall
- 2.3.2 Anzeige der auflaufenden Alarme
- 2.3.3 Möglichkeit zum Anschluss weiterer Sonden mit Analog- oder/und Digitalausgängen
- 2.3.4 Möglichkeit der Integration von Datenfernübertragung (DFÜ) mit Steckplätzen für verschiedene Prinzipien (z.B. Modem, USB usw.)

3. Vorversuche (siehe Lösungsansätze 2.1.2)

Da für den Einsatz von UVC-Licht für die Unterdrückung der Bildung von Biofilmen auf Trübungsmessgeräte noch keinerlei Erfahrungen vorlagen, war es notwendig geeignete Vorversuche durchzuführen.

3.1 1. Vorversuch durch IP Safety First und WHOrga-Consult

Eine UVC-Lampe "PURITEC", welche auch zur Trinkwasser-Desinfektion eingesetzt wird, wurde in einem von Teichwasser durchflossenen Kunststoffkanister mit 12 Liter Inhalt eingebaut. Dieser Versuch sollte nach 4 Wochen beurteilt werden, aber dann bis zum Projektabschluss weiterlaufen (siehe Foto 1). Leider wurde dieser Vorversuch durch den strengen Frost im Januar 2010 zerstört.

Versuchsbeginn: 02.03.2009

Einschaltdauer der UVC-Lampe: 24 Stunden

Referenz: 1 Glasrohr wurde in 500 mm Tiefe direkt in den Teich gehängt



Foto 1

Anordnung des 1. Vorversuchs

Das Bild zeigt den Zustand nach 8 Wochen Testdauer.

An den Wänden des Kanisters zeigt sich starke Biofilmbildung in den Bereichen, in denen das UVC-Licht keine Wirkung mehr hat. In den Bereichen, in denen das UVC-Licht wirkt, hat sich dagegen kein Biofilm gebildet.

Nach 4 Wochen zeigte das Referenzrohr deutlichen Bewuchs, während die Testlampe fast keinen Bewuchs zeigte (siehe Foto 2 und 3).



Foto 2

Am Referenzglasrohr zeigt sich bereits nach 4 Wochen deutlicher Bewuchs von Biofilm



Foto 3 Nach 4 Wochen Testdauer zeigt sich auf der UVC-Lampe kein Biofilm

Dieses gute Ergebnis veranlasste uns eine Versuchsreihe aufzubauen, um eine optimale Beleuchtungsdauer zu finden.

3.2 2. Vorversuch durch IP Safety First und WHOrga-Consult

Da die UVC-Lampen von den Herstellern mit einer Lebensdauer von 6000 bis 8000 Betriebsstunden (ca. 300 Tage) angegeben sind, musste in einem Langzeitversuch ermittelt werden, mit welchen Einschaltintervallen eine ausreichende Unterdrückung von Biofilm erzielt und die Lebensdauer auf 5 – 6 Jahre ausgedehnt wird.

Dazu wurde je eine UVC-Lampe mit 253,7 nm in ein Rohr aus Borosilikatglas montiert und in 4 Kanister zu 12 Liter eingebaut. Diese wurden mit einer geringen Strömung mit Teichwasser durchflossen (siehe Foto 4).



Foto 4 Aufbau 2. Vorversuch

Testbeginn: 05.04.2009

Einschaltdauer: 1 x 30', 2 x 30', 3 x 30', 24 h

Testdauer: bis Projektabschluss

Beobachtungsintervall: jeweils eine Woche

Dieser Versuch musste aber am 05.05.2009 abgebrochen werden, weil wir bei unserem Besuch bei der Firma ZED, Langwiesen, festgestellt haben, dass Borosilikatglas für UVC nicht durchlässig ist. Wir hätten Rohre aus Quarzglas verwenden müssen.

Das hat uns zwar für unsere Vortests zurückgeworfen, aber für die weitere Entwicklung stellte sich dieser Umstand als positiv mitentscheidend heraus.

Durch diesen Abbruch wurde die Konstruktion und der Aufbau einer umfangreicheren Testreihe mit Quarzglasrohren notwendig.

3.3 3. Vorversuchsreihe durch IP Safety First und WHOrga-Consult

Nach der Besprechung mit ZED wurde auch die Idee geboren, den Messkopf von außen durch das UVC-Licht zu bestrahlen (siehe Lösungsansätze 2.1.2).

Um diese Idee simulieren zu können, wurden in der Versuchsreihe Glasrohre eingesetzt, weil noch kein Messkopf vorlag.

Parallel zu den UVC-Lampen wurden im Abstand von 18 mm Rohre aus Borosilikatglas in 5 Batterien zu je 4 Kanistern von 12 Litern eingebaut (siehe Foto 5) die mit Teichwasser durchflossen sind.

Als tägliche Einschaltdauer wurde gewählt: 1 x 30', 2 x 30', 3 x 30', 4 x 30', 24 h

Der dazu erforderliche Schaltschrank wurde von WHOrga-Consult aufgebaut (siehe Foto 5)



Foto 5 *Aufbau 3. Vorversuch*
5 Batterien mit je 4 Kanistern/12 Liter wurden relativ gleichmäßig mit Teichwasser durchströmt. die Strömungsgeschwindigkeit wurde mit ca. 5 Litern pro Stunde eingestellt

Versuchsbeginn: 15.06.2009
Versuchsdauer: bis Projektende
Kontrollintervalle: 1 Woche

Nach 4 Wochen wurde festgestellt, dass die Einschaltintervalle zu kurz gewählt waren. Lediglich die Einschaltdauern von 4 x 30´ und 24 h zeigten ein ordentliches Ergebnis. Daher wurden für den weiteren Versuchsverlauf folgende Einschaltdauern gewählt: 2 x 2 h/Tag, 3 x 2 h/Tag, 4 x 2 h/Tag, 24 h
In einer der 5 Batterien wurden als Referenz die UVC-Lampen nicht eingeschaltet.

Versuchsbeginn: 16.07.2009
Versuchsdauer: bis Projektende
Kontrollintervalle: jeweils 1 Woche

Schon nach den ersten Auswertungen wurde festgestellt, dass die Einschaltdauer von 2 x 2 h/Tag die ideale Kombination im Hinblick auf die Unterdrückung von Biofilmen und der Verlängerung der Lebensdauer der UVC-Lampen ist (siehe Fotos 6 und 7).

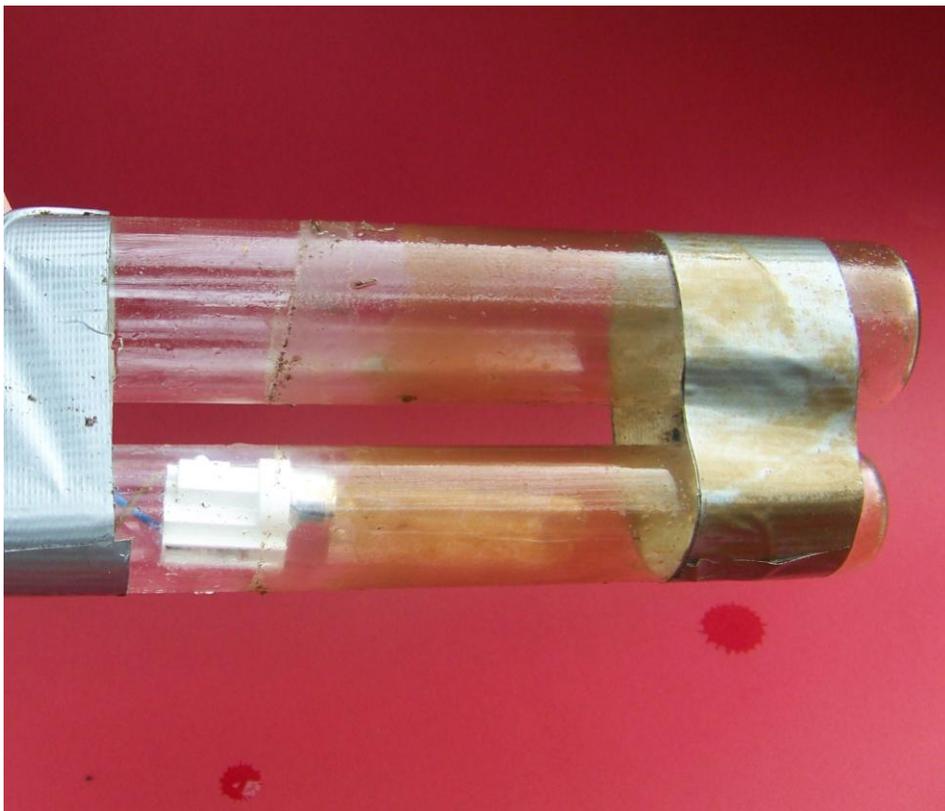


Foto 6 *Referenz 3. Vortest – Zustand nach 4 Wochen*
Die Referenzanordnung zeigt bereits nach 4 Wochen einen deutlichen Bewuchs mit Biofilm.
Bei dieser Anordnung ist die UVC-Lampe nie eingeschaltet



Foto 7 *UVC-Bestrahlung 2 x 2 h/Tag nach 4 Wochen*
Die durch UVC bestrahlte Fläche des Borosilikatrohres zeigt keinen Biofilm. Lediglich an der UVC-„Schattenseite“ hatte sich leichter Biofilm entwickelt. Das ist ein hoffnungsvolles Ergebnis

Weitere Auswertung erfolgte 4 Wochen später (siehe Foto 8).

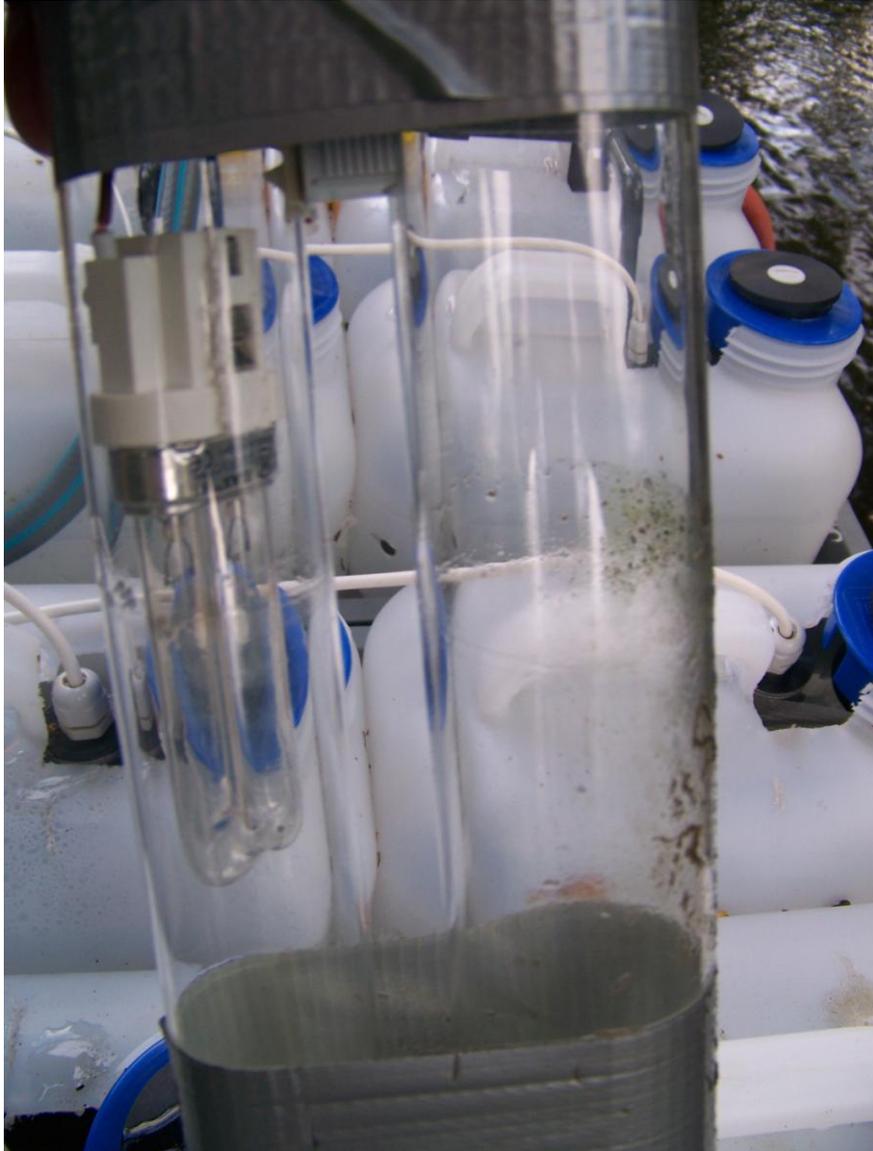


Foto 8 3. Vortest – Auswertung nach 8 Wochen
Auch hier zeigt der Aufbau an der Bestrahlungsfläche
keinen Biofilm

Die Auswertung am 22.03.2010 zeigte immer noch ein sehr gutes Ergebnis (siehe Foto 9 + 10)



Foto 9

3. Vortest 2 x 2 h/Tag Beleuchtungsdauer

Auswertung am 22.03.2010

Auch nach 8 Monaten Testdauer hat sich kein Biofilm an der Anordnung gebildet, der die Trübungsmessung beeinträchtigen würde. Das zeigt, dass wir weiterhin auf dem Wege sind, eine Standzeit von 12 Monaten zu erreichen



Foto 10 *3. Vortest – Referenzanordnung*
Auswertung am 22.03.2010
Hier zeigt sich nach 8 Monaten Testdauer ein so deutlicher Biofilm, welcher eine Trübungsmessung verhindert hätte

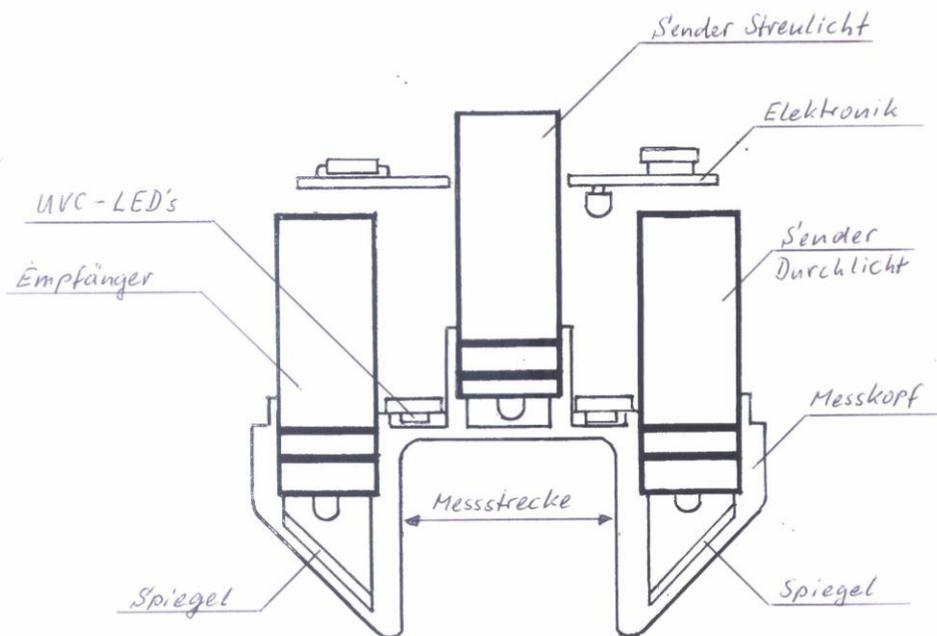
Parallel zu den Versuchen bei IP Safety First und WHOrga-Consult wurden bei der BUW weitere Versuchsreihen durchgeführt.

4. Entwicklung von Versuchsmustern der Sonde

4.1 Messkopf (siehe Lösungsansätze 2.1.1)

Bei bekannten Trübungsmessgeräten ist ein erheblicher mechanischer Aufwand bei der optischen Messstrecke notwendig. Das führt zu hohen Kosten.

Die Idee bei dieser Entwicklung war aber, einen Messkopf zu entwickeln, in dem die optische Messstrecke integriert ist und aus transparentem Werkstoff (Kunststoff oder Glas) in einem Stück gefertigt werden kann. Dabei war vorgesehen, dass die UVC-Strahler in Form von UVC-LED's im Zentrum angeordnet sind und auf die Messstrecke strahlen (siehe Zeichnung 1).



Zeichnung 1 Entwurf Messkopf

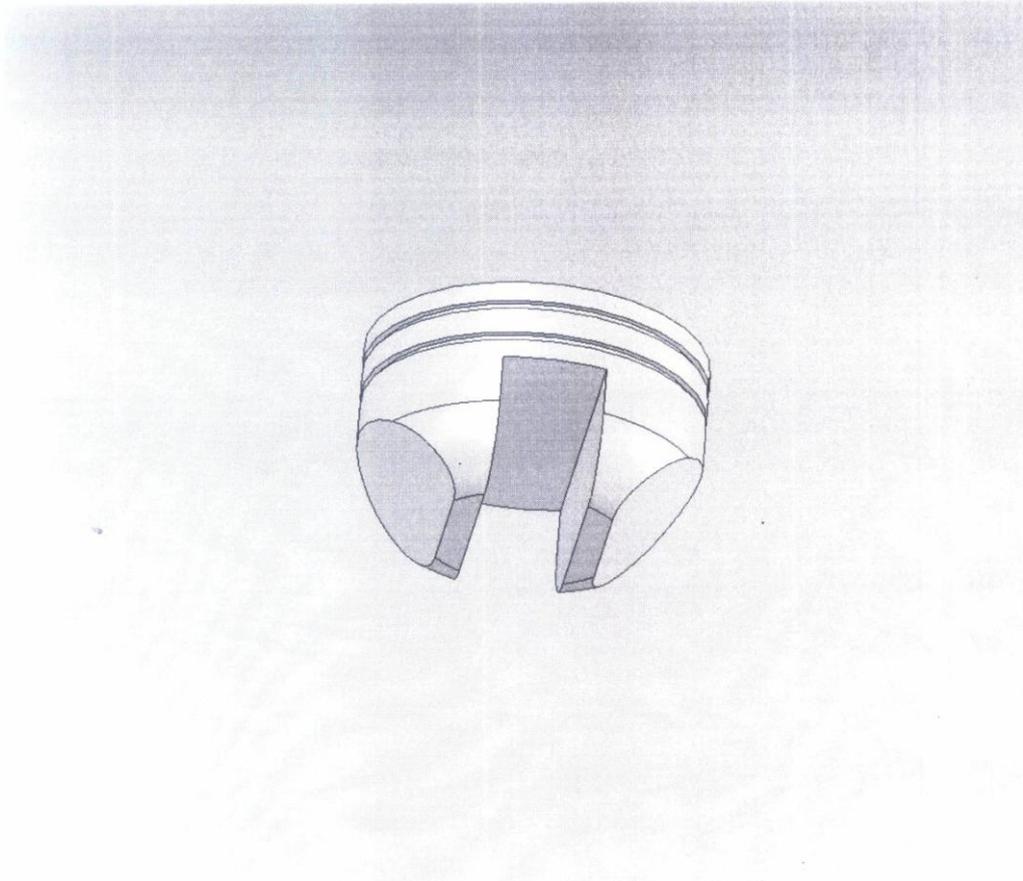
Internetrecherchen ergaben aber, dass UVC-LED's viel zu teuer und nur von kurzer Lebensdauer sind. Außerdem hätte der Messkopf aus UVC-durchlässigem Kunststoff oder Glas hergestellt werden müssen. Nachteilig hätte sich die direkte UVC-Bestrahlung auf andere elektronische Bauteile ausgewirkt, die gegen UVC-Licht nicht beständig sind. Also musste die UVC-Bestrahlung von außen erfolgen, was sich bei der weiteren Entwicklung als Vorteil heraus gestellt hat.

Als Messprinzip für die Trübungsmessung wurde die bekannte Kombination von Durchlicht- und Streulichtmessung mit Licht im nahen Infrarotbereich von 860 nm gewählt, weil damit schon hinreichend Erfahrung vorlag.

Das Ergebnis der Überlegungen, Materialrecherchen und Konstruktion war der Messkopf aus Borosilikatglas. Dieser Werkstoff hat den großen Vorteil, dass er UVC-undurchlässig ist, was die innenliegenden Bauteile schützt, aber für das zur Messung benutzte Infrarotlicht durchlässig ist.

Die integrierte Messstrecke wird dadurch erzielt, dass auf den beiden 45°-Flächen Spiegelfolie aufgeklebt wird. Dadurch wird die optische Messstrecke auf dem Prinzip der Totalreflektion kostengünstig verwirklicht.

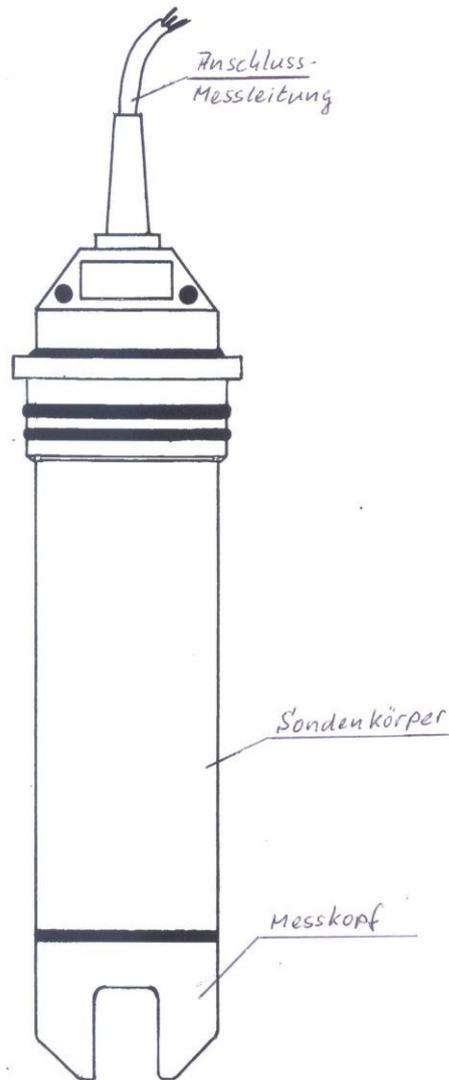
Für die ersten Versuche des Aufbaus einer Testsonde wurden im „Rapid Prototyping-Verfahren“ Messköpfe aus Epoxydharz beschafft (siehe Zeichnung 2).



Zeichnung 2 Messkopf aus Epoxydharz im „Rapid-Prototyping“ hergestellt

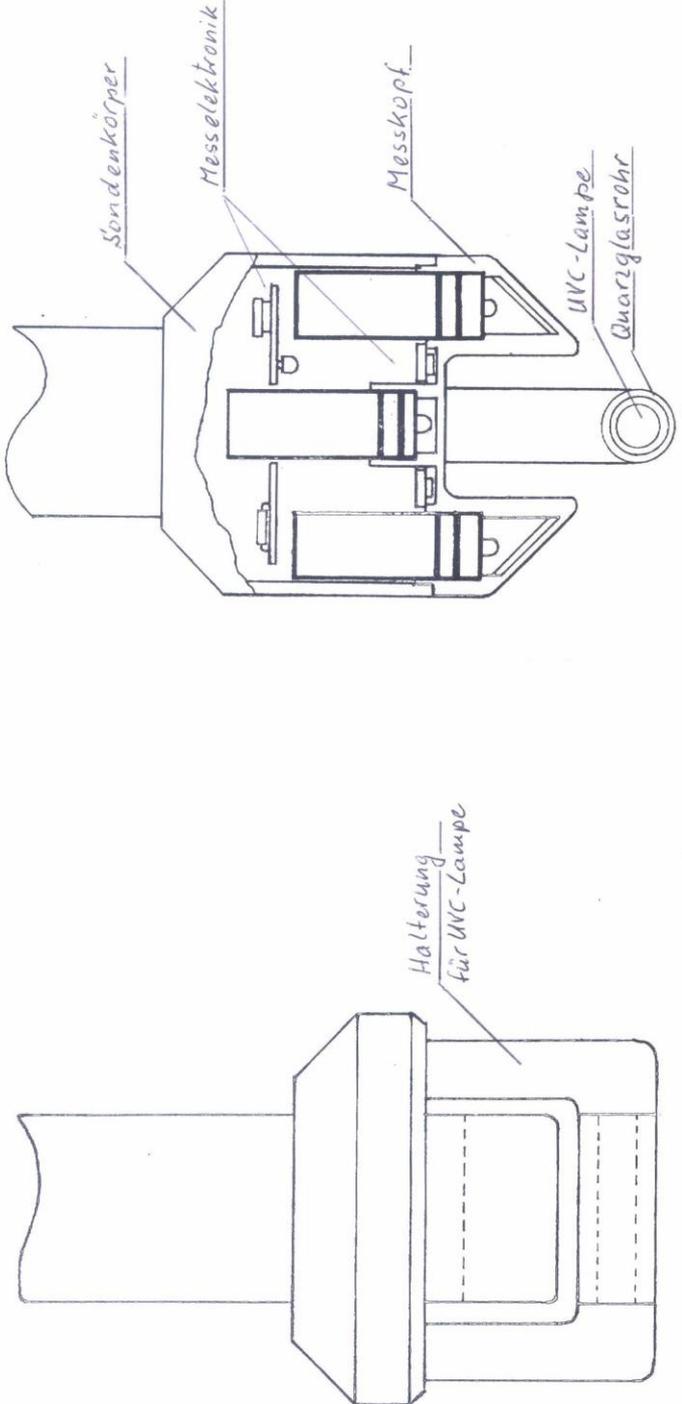
4.2 Sondenkörper

Zwischenzeitlich wurde der Sondenkörper konstruiert (siehe Zeichnung 3) und die erste Messelektronik in Auftrag gegeben.

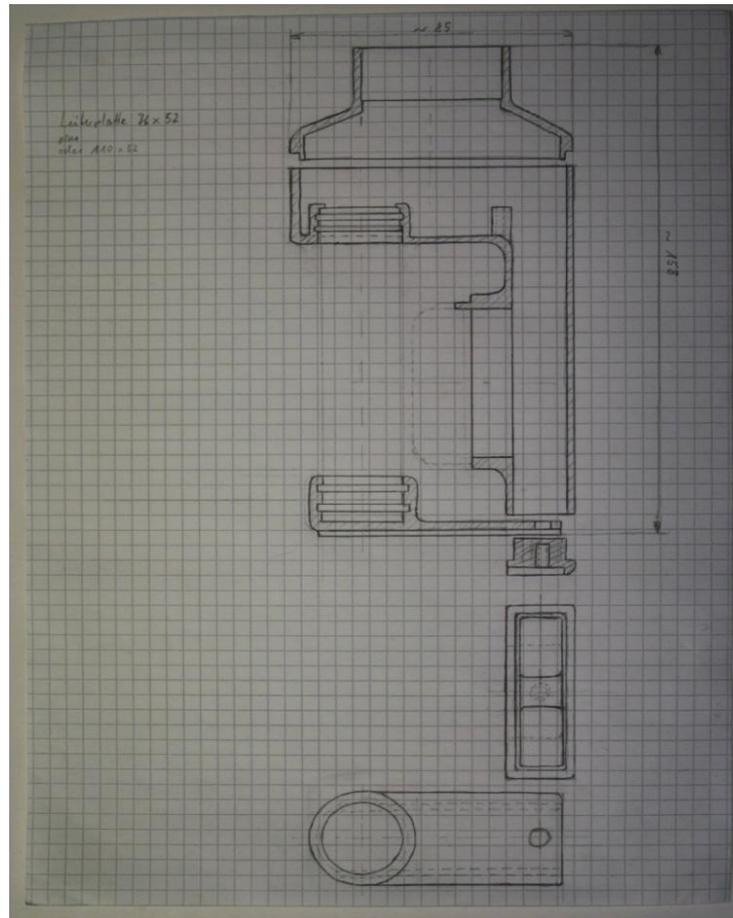


Zeichnung 3 Entwurf Trübungssonde

Als nächstes wurde eine Anordnung konstruiert, bei der die UVC-Lampe unterhalb des Messkopfes angebracht ist (siehe Zeichnung 4 + 5).



Zeichnung 4 Entwurf Sonde mit waagerechter Messstrecke und angebauter UVC-Lampe



Zeichnung 5 *Entwurf einer Sonde mit senkrechter Messstrecke und angebauter UVC-Lampe*

Später wurden diese Versionen aufgrund der Baugröße, der Einbausituation in KKA's und der Stoßempfindlichkeit wieder verworfen (siehe 5.0).

Nachdem bei einem der Gespräche bei der BUW wurde über die Einbaumöglichkeit der Sonde in die KKA die Idee entwickelt, die Sonde direkt in eine Durchflussarmatur im Auslauf der KKA zu montieren (siehe Lösungsansätze 2.2 + Einbausituation 5.0).

Deshalb konzentrierte sich die weitere Entwicklung der Sonde auf die Montage in eine Durchlaufarmatur. Das Ergebnis zeigt Foto 12.



Foto 11 **Testsonde**

Testsonden zur Ermittlung der Messbereiche und Vergleich mit Trübungsmessgeräten TURBISENS von IER, sowie Messungen in Abwässern und FORMAZIN-Lösungen

Solche Testsonden wurden auch der BUW für ihre Messungen zur Verfügung gestellt.

Des Weiteren stand die Überlegung an, ob der Sondenkörper aus Kunststoff oder Edelstahl gefertigt werden soll (siehe Lösungsansätze 2.1.4).

Umfangreiche Recherchen über einsetzbare Kunststoffe ergaben, dass zwar UV-stabilisierte, spritzfähige Kunststoffe auf dem Markt erhältlich sind, aber für unseren Einsatz eigene Langzeittests notwendig gemacht hätten, die die Projektdauer weit überschreiten würden.

Deshalb haben wir uns entschieden die Sonden letztlich aus Edelstahl zu fertigen.

Zunächst dachten wir an einen kompletten Sondenkörper als Feingussteil. Die Suche nach Lieferanten und die Auswertung der Angebote ergaben aber, dass ein komplettes Teil zu teuer würde. Deshalb entschlossen wir uns die Sonde aus zwei Teilen zu konstruieren. Das Ergebnis wird unter Punkt 7 „Prototyp“ beschrieben.

Die Verwendung von Edelstahl hat noch zwei weitere Vorteile gegenüber Kunststoff:

1. Der Messkopf kann eingeklebt werden (siehe Punkt 7 „Prototyp“)
2. Der Körper aus Edelstahl dient hervorragend der Erzielung der „elektromagnetischen Verträglichkeit“ (EMV), die ja Voraussetzung für das Anbringen des CE-Zeichens ist.

Der Lösungsansatz 2.1.5 (Konstruktion der Sonde im Baukastensystem) wird ausführlich in Punkt 7 „Entwicklung des Prototyps“ beschrieben.

4.3 Messelektronik (siehe Lösungsansätze 2.1.3)

Als erstes mussten die vorläufigen Anforderungen (Pflichtenheft) an die Messelektronik gestellt werden:

Anforderung an die Elektronik für das Trübungsmessgerät für KKA`s

1.0 Messkopf

2.0 Verarbeitung der Messsignale und Signalausgänge der Sonde

3.0 Box für Stromversorgung und Signalisierung

1.0 Messkopf

Der Messkopf wird aus Borosilikatglas gefertigt

Die Messung besteht aus zwei Infrarot - LED`s als Sender und einem Fotosensor als Empfänger.

Diese Sensoren und die Auswertung sollen auf einer LP im Messkopf zusammen gefasst sein.

1.1 Messprinzip:

Trübung mit Streulicht und Durchlicht mit zwei Sendern und einem Empfänger

1.1.1 Streulicht

Die Sende - LED ragt senkrecht in die Bohrung 8mm Durchmesser und leuchtet in die vom Abwasser durchflutete Messstrecke. Trubstoffe im Abwasser streuen das Licht Winkel von 90° auf die Spiegelfläche von 45°. Von dort strahlt das Licht auf den darüber sitzenden Empfänger. Ansteigende Trübung im Abwasser erhöht die gestreute Lichtmenge am Empfänger. Die Erhöhung der Lichtmenge erfolgt nicht linear, sondern im Quadrat zur

Zunahme der Trübung. Diese Kurve muss über mehrere Messpunkte linearisiert werden. Die Streulichtmessung eignet sich aber nur für Messungen < 200 NTU. Je nach Lichtintensität erfolgt in der Messstrecke eine Sättigung durch steigende Trübung, so dass immer weniger Lichtstrahlen den Streubereich für den Empfänger erreichen d.h., die Messung läuft wieder gegen Null. Deshalb muss ab > 200 NTU die Messung vom Durchlicht übernommen werden.

1.1.2 Durchlicht

Die Sende - LED für die Durchlichtmessung leuchtet auf die 45° Spiegelflächen wird dadurch zweimal um 90° umgelenkt und trifft auf den Empfänger. Im Gegensatz zur Streulichtmessung, bei der bei zunehmender Trübung eine Erhöhung der empfangenen Lichtmenge am Empfänger erfolgt, wird bei der Durchlichtmessung bei steigender Trübung das Licht absorbiert und der Empfänger muss auf abnehmende Lichtmenge reagieren.

Beide Messwerte sollen für die weiteren Tests und deren linearen Darstellung vor dem Prozessor abgreifbar sein. Diese Ausgänge können in mA oder mV dargestellt sein.

2.0 Verarbeitung der Messwerte und Signalausgänge der Sonde

Die Versorgungsspannung von 24 V DC wird vom externen Auswertegerät 3.0 geliefert. Die beiden Messungen sollen im sog. Wechsellicht ausgelegt sein, d.h., dass in einem noch festzulegenden Intervall entweder Streulicht bzw. Durchlicht gemessen und ausgewertet wird.

Vorgesehen ist, dass die Elektronik zwischen langsam ansteigender Trübung und sprunghaftem Anstieg unterscheiden kann. Langsamer Anstieg deutet auf Verschmutzung der Messstrecke hin, während ein sprunghafter Anstieg durch Versagen der KKA erfolgt. Ob beide Messungen zu einer gemeinsamen Kurve zusammengefasst und angezeigt werden sollen, muss noch diskutiert werden. In jedem Fall liegt der Alarm für das Versagen der KKA im Bereich der Durchlicht – Messung. Ob die Streulicht – Messung auch für eine Aussage der Ablaufqualität (BSB- und CSB – Wert) des Abwassers herangezogen werden kann, ist vorerst fraglich, weil die Korrelation nur ca.65% beträgt.

2.1 Aufbau der Leiterplatte:

- Vorschaltgerät für die UVC – Lampe
- Prozessor für die Auswertung und Darstellung der Ausgänge.
- Bargraph oder alpha - numerische Anzeige. Diese muss durch den transparenten Deckel des Gehäuses lesbar sein
- Über einen Magneten von außen einstellbarer Alarmpunkt und Zeiteinstellung für die UVC-Lampe. Als ideal hat sich durch Versuche 2 x 2´h/Tag herausgestellt
- Ein Reedkontakt oder Hallsensor, der so positioniert ist, dass das Verlassen eines in der

Halterung der Sonde eingebauten Magnets, die UVC-Lampe abschaltet

2.2 Ausgänge:

- 4 -20 mA für die Trübung
- einen quasikontinuierlichen Stromausgang, der in Stufen die einzelnen Alarmzustände melden kann.
- „ Messstrecke verschmutzt“
- „ Messstrecke oder Sonde defekt“
- „ Sonde ausgebaut“
- „ Trübung zu hoch“

3.0 Box für Stromversorgung und Signalisierung

Untergebracht werden soll dieses in ein handelsübliches Kunststoffgehäuse IP 67 mit Klarsichttür, z.B. Bopla, Fibox o.ä. Die Verbindung zwischen Box und Sonde soll ein an die Sonde fest angeschlossenes Kabel sein. Typ, Aderzahl und Länge muss noch festgelegt werden.

Eingebaut sein soll:

- Netzteil Eingang 230 V AC, Ausgang 24 V D
- Klemmleiste für Netzanschluss, Sondenversorgung, Messeingänge und Ausgänge
- Steckplätze für Optionen z.B. Datenlogger, DFÜ
- Ausgang Sammelalarm im Ruhestromprinzip, eingebauter Akku m.Ladeelektronik
- elektronisches akustisches Signal
- Display mit Quittiertaste und LED- Anzeigen:

„ Betrieb“ blinkt bei Netzausfall

„ Sonde verschmutzt“

„ Sonde defekt“

„ Sonde ausgebaut“

„ Trübung zu hoch“

„ Kabelbruch“

„ Kabelschluss“

Diese LED´s blinken nach der Quittierung des akustischen Signals weiter, bis die entsprechende Störung behoben ist

IP Safety First wurde Mitglied im BDZ und zusammen mit WHOrga-Consult auch Mitglied im BDZ Arbeitskreis „KKA Betriebskonzepte“.

In diesem Arbeitskreis wird darüber diskutiert, wie eine vernünftige und bezahlbare Datenfernübertragung (DFÜ) verwirklicht werden kann.

Voraussetzung dafür sind Messwertaufnehmer, die den Zustand der KKA erfassen können. Ein wichtiger Beitrag dazu ist die von uns zu entwickelnde Trübungssonde im Ablauf.

Dazu ist es notwendig, die Anforderung an die Elektronik für die DFÜ anzupassen.

Wir entschlossen uns, die Elektronik außer mit einem Ausgang 0...10 V, zusätzlich mit einer Schnittstelle RS 485 zu versehen. Damit ist unser Gerät auf die Anforderung für eine DFÜ und zusätzlich noch für Fernwirktechnik vorgesehen.

Außerdem erreichen wir damit, dass die Sonde völlig unabhängig von einem eigenen Auswertgerät arbeiten und Hersteller übergreifend eingesetzt werden kann.

Die endgültige Ausführung der Elektronik wird in Punkt 7 „Prototyp“ dargestellt.

Zunächst war aber die erste Messelektronik nicht einsetzbar, weil sie nicht EMV-fest war und daher keine brauchbaren Messergebnisse erzielbar waren.

Das hat uns in der Entwicklung zeitlich zurückgeworfen. Vor allem konnten wir der BUW nicht rechtzeitig die versprochenen Testsonden zur Verfügung stellen.

In aller Eile wurde eine Ersatzelektronik fertig gestellt, mit der die Trübungsmessung mit einer Auswertung von 0...5 V möglich waren.

Entsprechende Messkurven und Vergleichsmessungen wurden von der BUW durchgeführt.

Die Messungen bei der BUW ergaben, dass die Streulichtmessung für unseren Zweck überflüssig ist, weil die Durchlichtmessung alleine ein zufrieden stellendes Ergebnis liefert.

Deshalb wurde bei der Weiterentwicklung der Elektronik die Streulichtmessung nicht weiter verfolgt. Vielleicht könnte sie bei Nachfolgegeräten wieder aktiviert werden.

5. Einbausituation in KKA´s

Vorgesehen war die Sonde in einen separaten Revisionschacht außerhalb der KKA im Auslauf zu installieren. Das hätte zu zusätzlichen Kosten geführt und wurde deshalb verworfen. Weiter wurde diskutiert, wo innerhalb der KKA die Sonde eingebaut werden kann.

Die meisten KKA´s haben eine Entnahmestelle. Darin könnte die Sonde eintauchen, wäre aber nicht immer benetzt und könnte abtrocknen. Das würde aber wiederum zu zusätzlichen Reinigungsintervallen führen.

Deshalb entschieden wir uns, unabhängig von den vorhandenen Einbaumöglichkeiten eine eigene Durchlaufarmatur zu konstruieren (siehe Foto 12). Darin sind die Sonde und die UVC-Lampe integriert. Beides ist einfach herausnehmbar gestaltet.

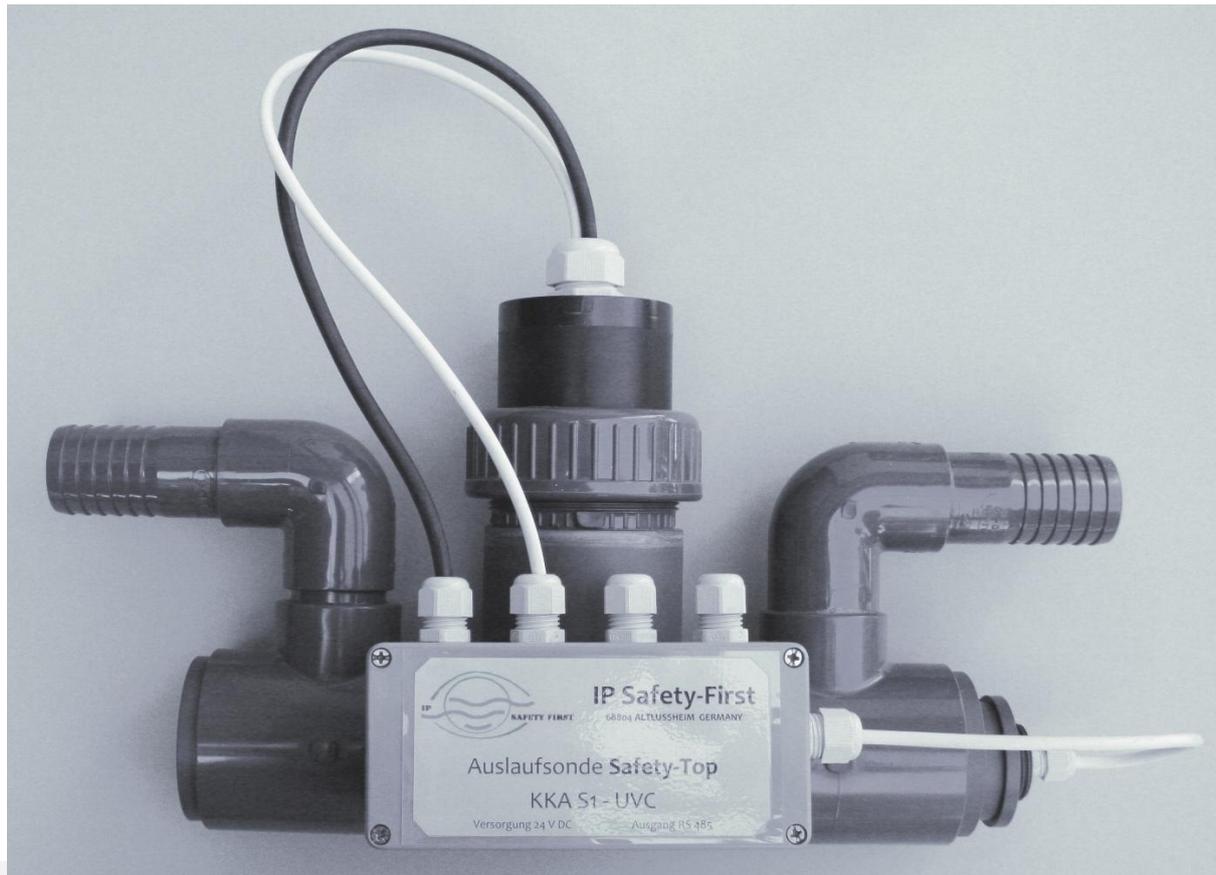


Foto 12 *komplette Messeinrichtung, Prototyp*

Außerdem ist ein Gehäuse befestigt, welches das EVG für die UVC-Lampe und eine Anschlussplatine mit einem Steckplatz für den Wandler 0...10 V: 0/4...20 mA enthält.

Diese Armatur ist mit Anschlüssen DN 40 versehen. Sie kann so direkt in die Pumpenleitung oder im Bypass für eine Gefälleleitung im Auslauf montiert werden.

6. Messwertauswertung, Netzteil, Datenfernübertragung (DFÜ) (siehe Lösungsansatz 2.3)

Da die Sonde alleine ein Kompakt-Trübungsmessgerät darstellt und dadurch Hersteller unabhängig an alle entsprechenden Auswertegeräte angeschlossen werden kann, haben wir ein eigenes Auswertegerät als untergeordnetes Entwicklungsziel angesehen. Die Entwicklung des eigenen Auswertegerätes ist aber im Wesentlichen konzipiert. Wir haben aber für die Fertigstellung kaum Zeit investiert und so gut wie keine Mittel aufgewendet.

Deshalb wird dieses Gerät auch in der Zeit nach Projektabschluss weiter entwickelt und hergestellt.

7. Entwicklung des Prototyps (Fertigungsmuster)

Im Laufe der Entwicklungszeit kristallisierte sich unter Einbeziehung der Lösungsansätze die endgültigen Prototypen des Trübungsmessgerätes und der Durchlaufarmatur heraus.

Manches wurde verworfen, manches wurde verbessert und führte zu Preisreduzierungen.

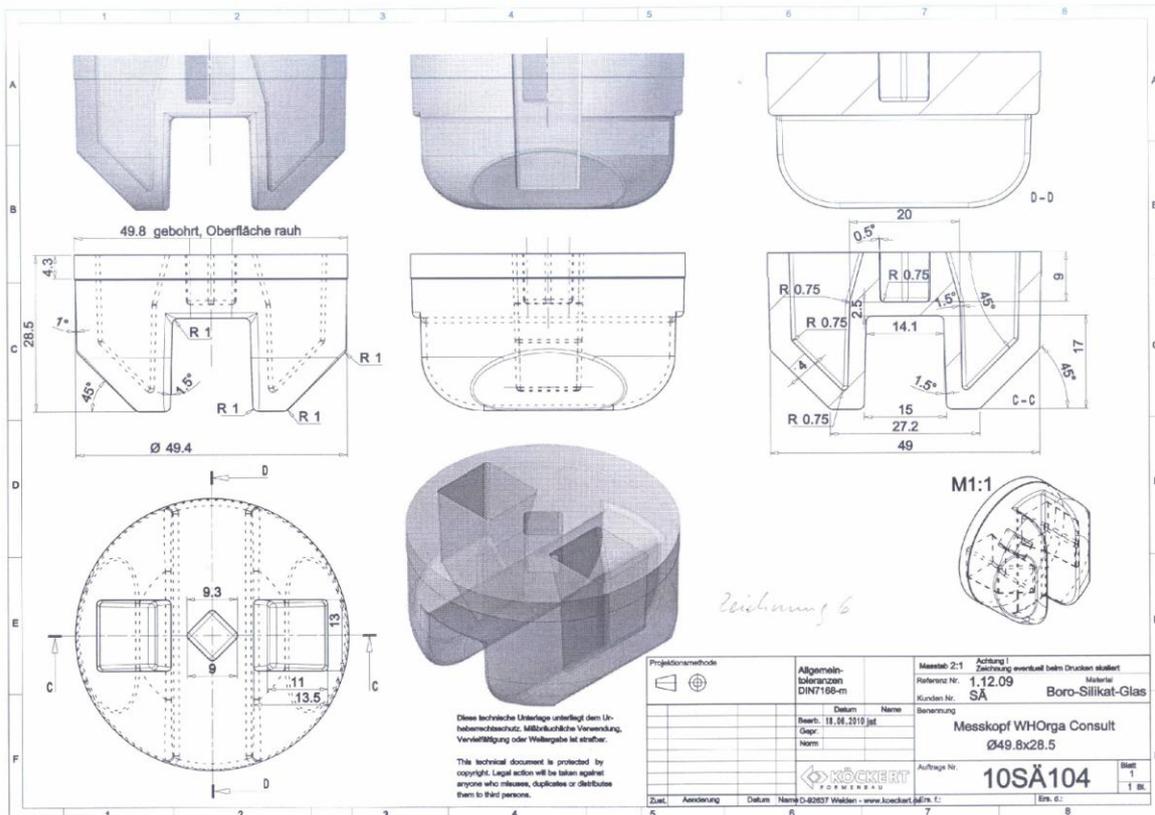
7.1 Sonde

Ansatz war, die Sonde im Baukastensystem kostengünstig aufzubauen.

Sie besteht aus nur sechs „Bausteinen“, die in wenigen Arbeitsschritten in ca. 15 Minuten zusammen gefügt werden.

7.1.1 Messkopf

Der Messkopf ist als Pressteil aus Borosilikatglas ausgeführt (siehe Zeichnung 6). In diesem sind auf den 45°-Flächen Spiegel angebracht. Der Messkopf wird als letzter Arbeitsschritt in den Sondenkörper eingelebt.

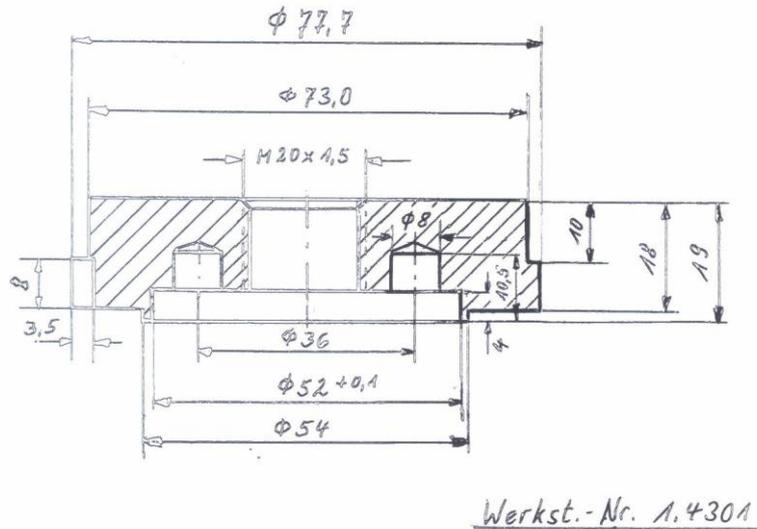


Zeichnung 6 Messkopf aus Borosilikatglas

7.1.2 Sondenkörper mit Deckel

Der Sondenkörper besteht aus einem Stück Edelstahlrohr mit einer Eindrehung für den Messkopf.

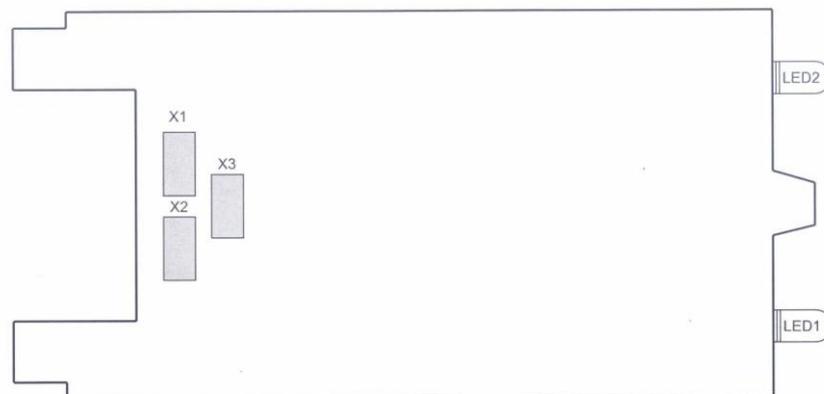
Der Deckel ist ein Edelstahl-Feingussteil mit Gewinde für die Kabelverschraubung und Fixierungen für die Leiterplatte (siehe Zeichnung 7). Sondenkörper und Deckel werden miteinander bei WHOrga-Consult verschweißt.



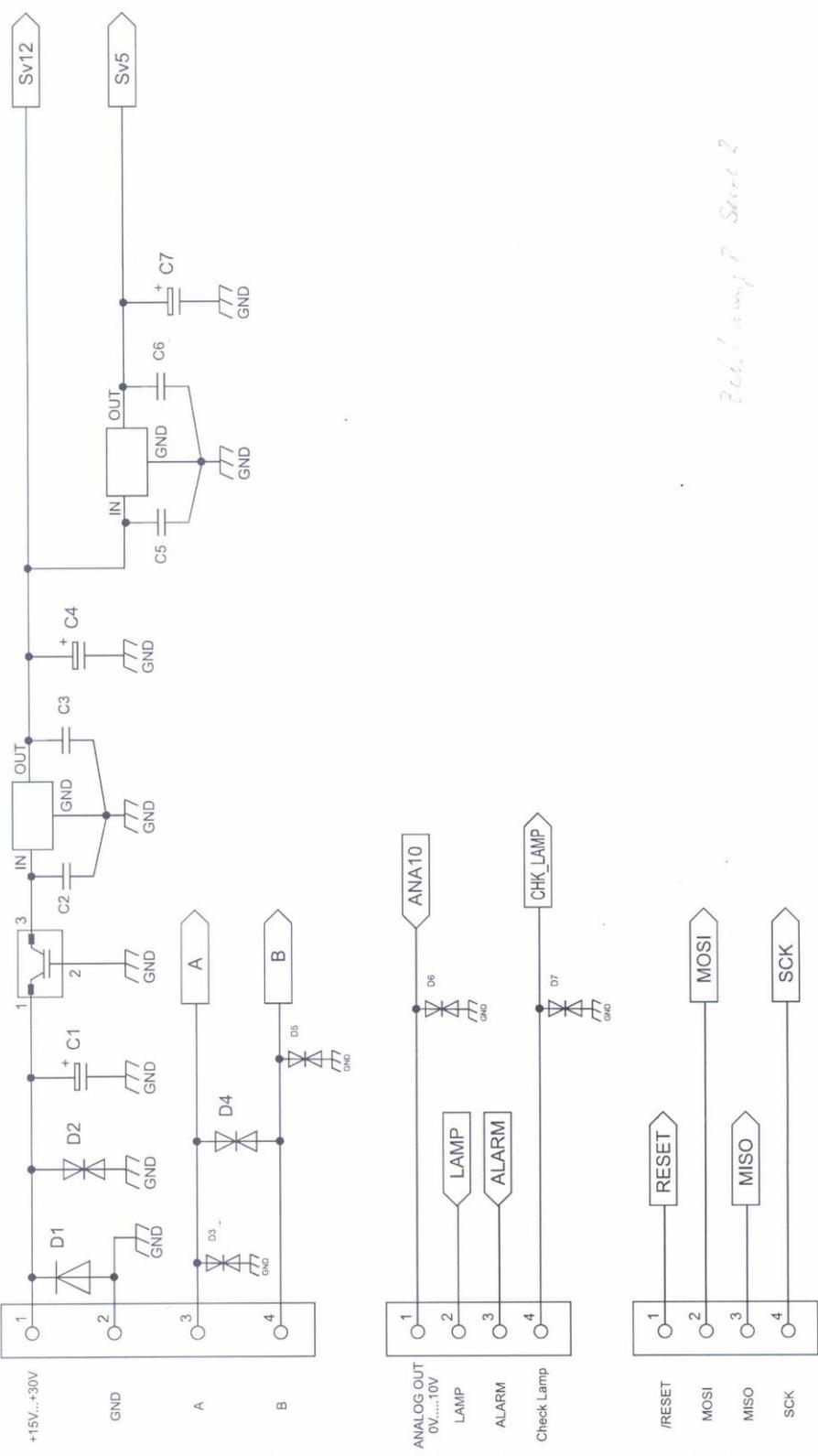
Zeichnung 7 Sondendeckel Schnitt

7.1.3 Leiterplatte

Auf der Leiterplatte sind die Konturen der Führungsnasen gefräst (siehe Zeichnung 8.1) Außer der Messelektronik (siehe Zeichnungen 8.2 – 8.6) befinden sich darauf die Sensoren und die Anschlussstecker für die Messleitung.



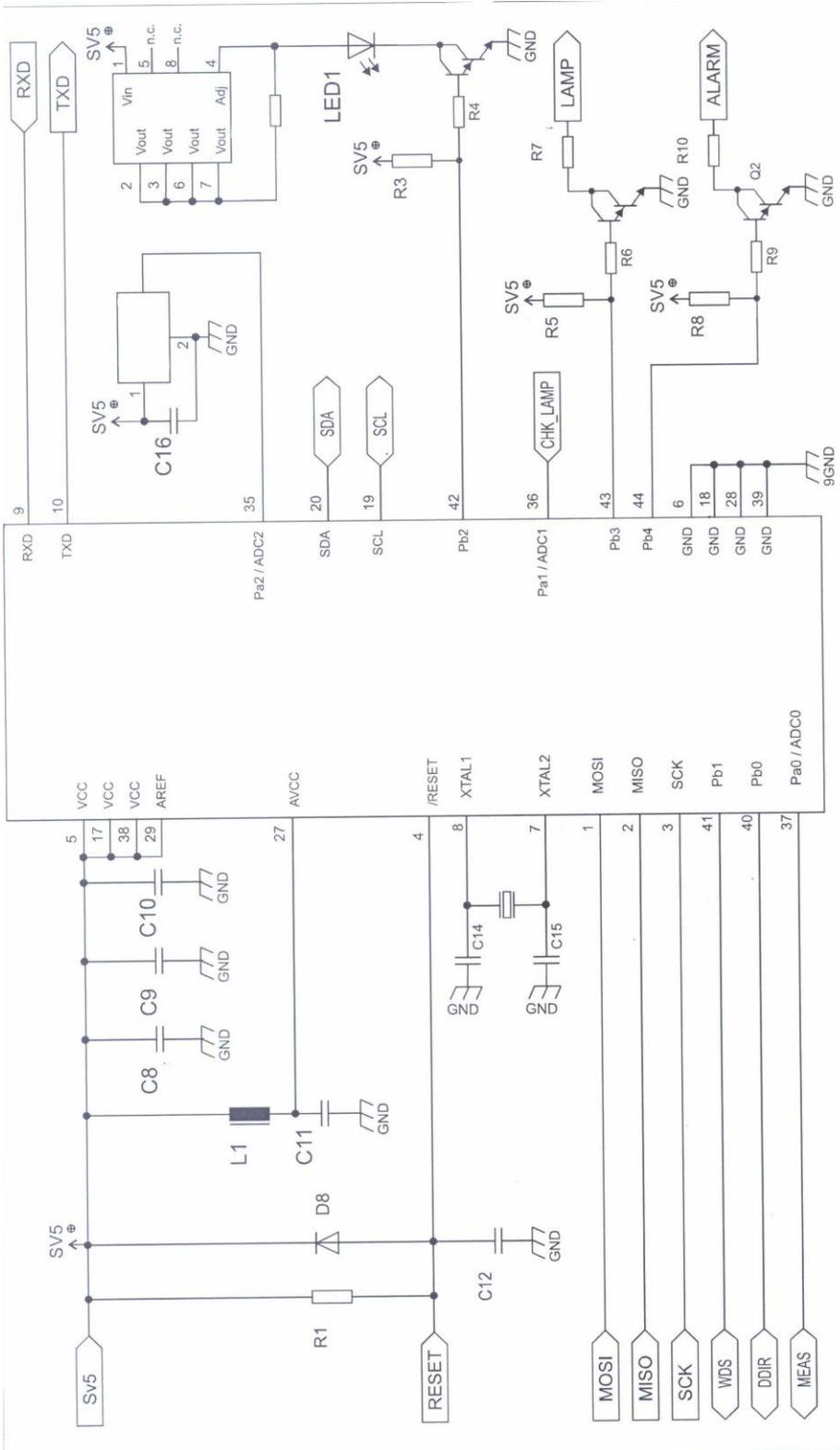
Zeichnung 8.1 Leiterplatte Umriss



Beispielung P Seite 2

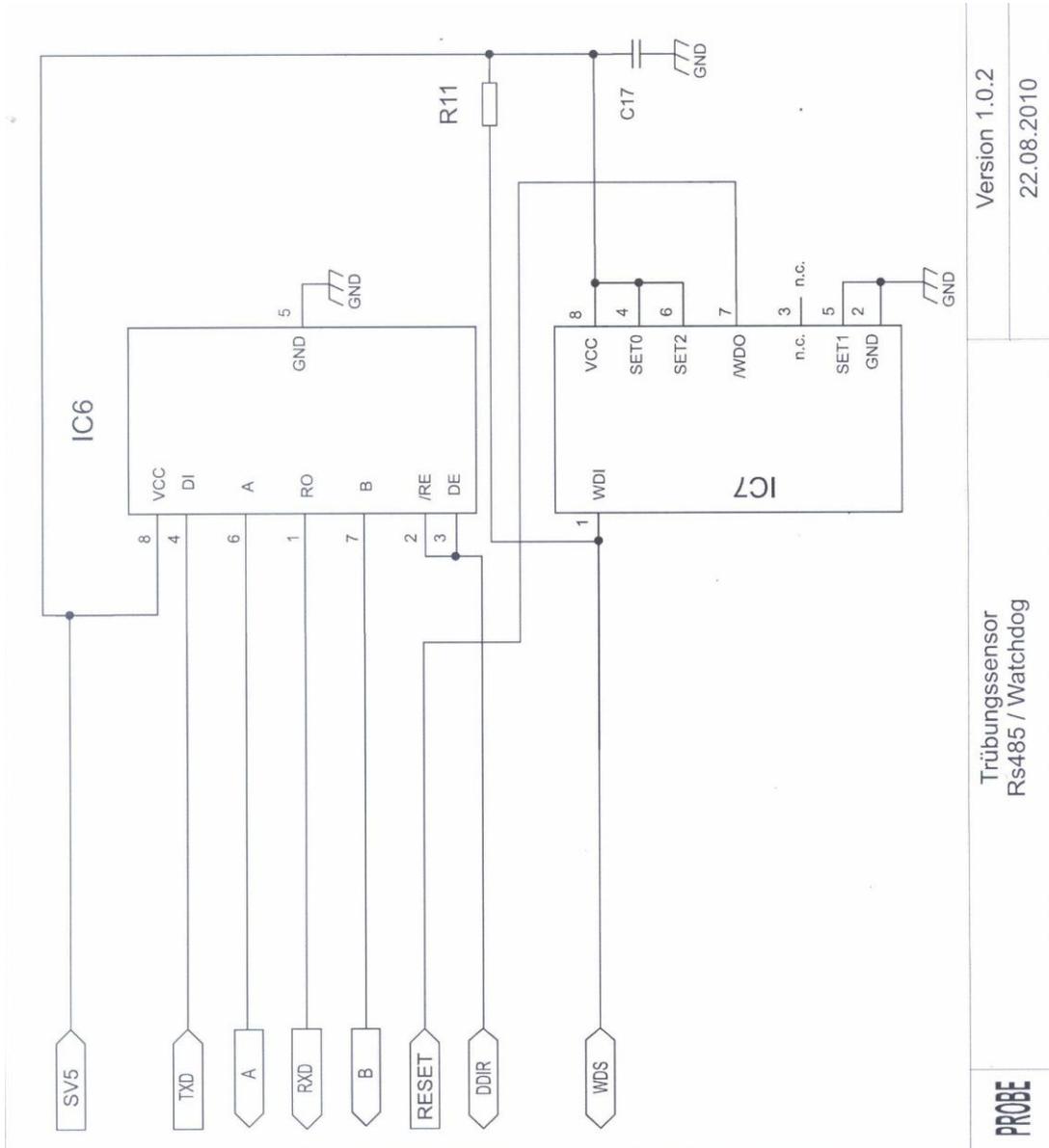
Zeichnung 8.2

PROBE	Trübungssensor Voltage-Regulation		Version 1.0.2	(C) 2010 PCS-Jöckle
			22.08.2010	Seite 2



Zeichnung 8.3

PROBE



Zeichnung 8.4

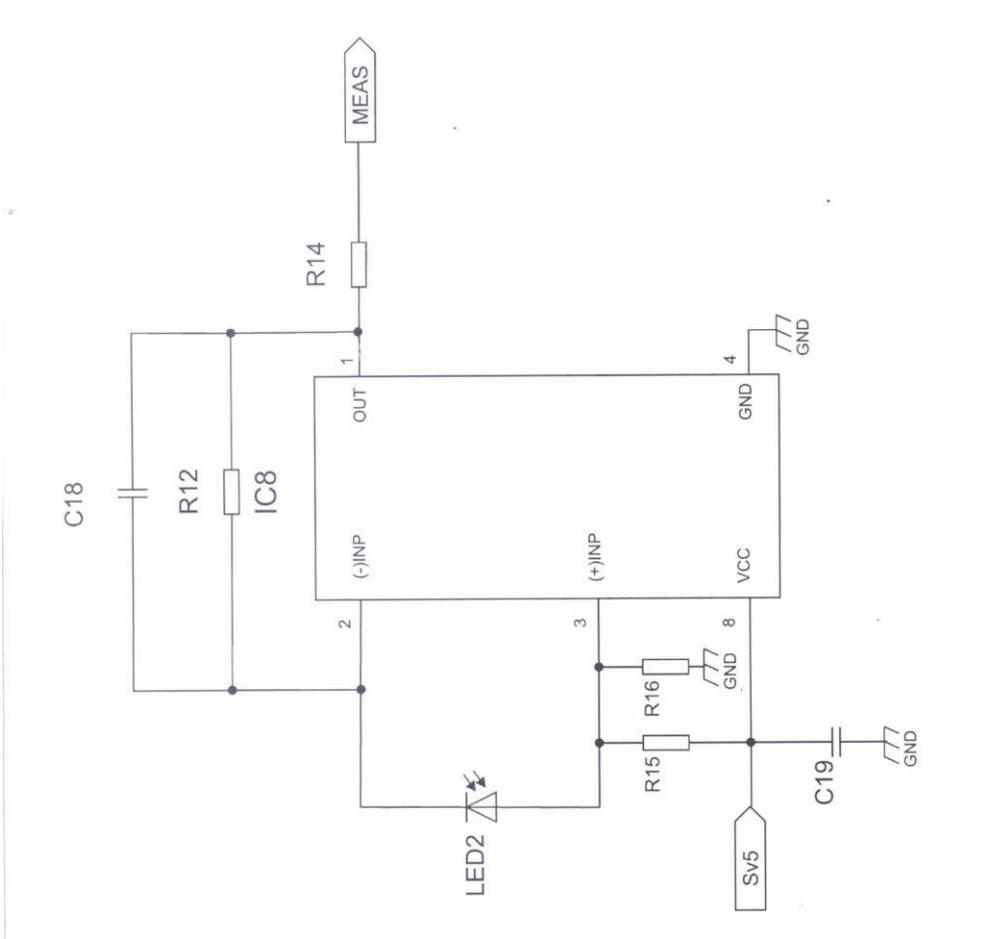
Trübungssensor
Rs485 / Watchdog

Version 1.0.2

22.08.2010

PROBE

Zeichnung 8.5

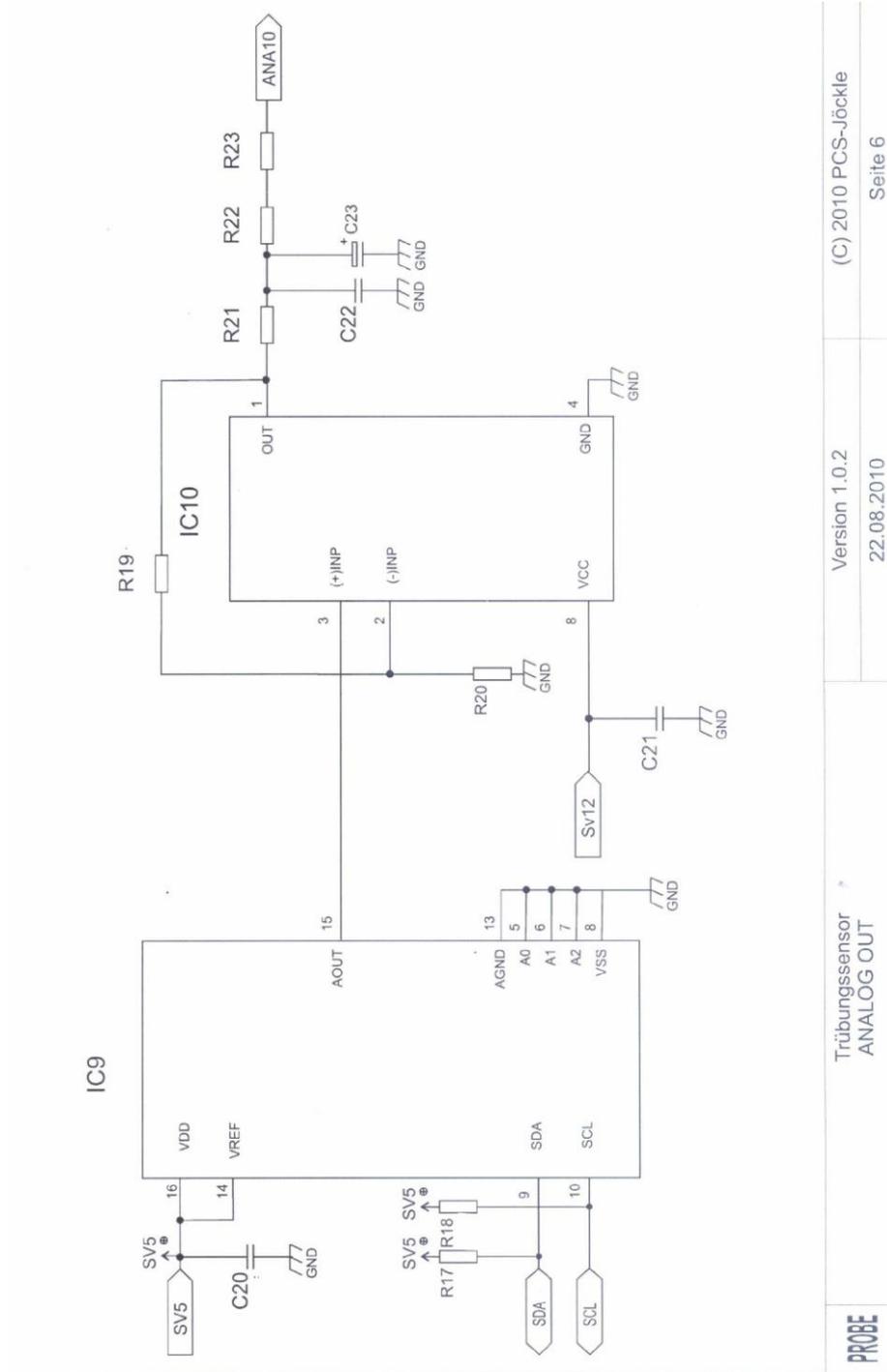


Trübungssensor
ANALOG IN

Version 1.0.2

22.08.2010

Zeichnung 8.6



Trübungssensor
ANALOG OUT

Version 1.0.2
22.08.2010

(C) 2010 PCS-Jöckle

Seite 6

PROBE

Die Elektronik enthält die Verarbeitung der Trübungsmesswerte, die Darstellung der Schnittstelle RS 485, den Analogausgang 0...10 V, sowie Digitalausgänge für „Alarmsonde ausgebaut“ und „UVC-Lampe defekt“. Außerdem enthält die Elektronik den auslesbaren Datenlogger.

7.1.4 Verschraubung

Im Deckel des Sondenkörpers befindet sich ein Gewinde für die Ms-Verschraubung M 20x1,5 mit Abschirmanschluss, Schutzart IP 67.

7.1.5 Anschlussleitung

Die vorkonfektionierte Anschluss- und Datenleitung wird mit den Steckverbindern auf die Leiterplatte gesteckt und die Verschraubung zuge dreht.

7.1.6 Typschild

Das Typschild (siehe Zeichnung 9, Teil 2) wird auf den Sondendeckel aufgeklebt.



Zeichnung 9

Letzter Arbeitsschritt ist der Abgleich der Elektronik mit einem PC mittels eines Kunststoff-Festkörpers, der eine bestimmte Trübung erzeugt. Die Endkontrolle über die Funktion der Sonde wird ebenfalls mit dem PC durchgeführt.

Diese Aufstellung stellt das Kompakt-Trübungsmessgerät vom Typ „Ablaufsonde SAFETY TOP TSA 1“ dar.

8. Resümee

Nach Ende dieses Förderprojekts stellt sich die Frage: Haben wir die gesteckten Ziele erreicht?

- **Alarmierung des Schlammabtriebs?**

Durch Einsatz des entwickelten Kompakt-Trübungsmessgerätes „SAFETY-TOP TSA1“ wird die steil ansteigende Trübungsmesskurve als Schlammabtrieb erkannt und als Alarm ausgegeben.

Das Gerät ist selbstüberwachend ausgelegt.

Störungen in der Elektronik, Ausbau der Sonde, Defekt der UVC-Lampe und Verschmutzung der Messstrecke werden als erkennbare Meldungen ausgegeben.

Ein auslesbarer Datenlogger speichert die Zustandsdaten des Trübungsmessgeräts.

Durch die Schnittstelle RS 485 können die Daten für eine DFÜ genutzt werden.

Die Sonde ist ebenfalls bereits für Fernwirktechnik ausgerüstet, so dass die Alarmpunkte anlagenspezifisch über die Datenleitung einstellbar sind.

Durch den weiteren Analogausgang 0...10 V ist das Trübungsmessgerät auch für bereits bestehende KKA's ohne DFÜ nachrüstbar ausgelegt.

Der dargestellte Prototyp dient als Fertigungsmuster für die Geräte die im September 2010 auf den Markt gebracht werden (siehe Foto 13).



Foto 13 Kompakt-Trübungsmessgerät „SAFETY-TOP TSA 1“

- **Einhaltung der Preisobergrenze von € 600,00 ?**

Der Messkopf aus Borosilikatglas und die darin integrierte, optische Messstrecke ist das „Herzstück“ und Basis für die Erzielung eines günstigen Preises.

Das Baukastensystem, mit nicht mehr als sechs Bausteinen, ermöglicht eine Montagezeit von nicht mehr als 15 Minuten.

Nach Einschätzung einiger der führenden Hersteller von KKA´s wird das Trübungsmessgerät zunächst in größeren, vorwiegend gewerblich genutzten KKA´s eingesetzt werden. Deshalb ist der momentan kalkulierte Preis angemessen. Durch die erwarteten höheren Stückzahlen in der Zukunft, ergibt sich automatisch Einsparungspotential, so dass das Gerät auch für kleine und kleinste KKA´s preislich attraktiv gestaltet werden kann.

- **Standzeit 12 Monate und geeignete Montage in KKA´s ?**

Durch den Einsatz von UVC-Licht mit 253,7 nm und Beleuchtungszeit von 2x2 h/Tag wurde über 12 Monate im dritten Vorversuch keine Entstehung von Biofilm auf den Glasoberflächen beobachtet (siehe Fotos 14 - 16).

Dieses lässt darauf schließen, dass das auch im Auslauf der KKA´s nicht anders ist, obwohl dort unterschiedlichere Bakterienstämme sind als bei Teichwasser.



Foto 14 Testsonde 3. Vorversuch nach 12 Monaten mit UVC-Beleuchtung



Foto 15 *Referenz ohne UVC-Beleuchtung nach 12 Monaten*



Foto 16 *Referenz aus Vorversuch 1 – Laufzeit 18 Monate*

Einige der Hersteller von KKA's und Servicefirmen haben sich bereit erklärt, einen Langzeittest durchzuführen, der mit den Geräten der Nullserie ab Ende September 2010 begonnen werden soll.

Eingebaut sind die UVC-Lampen in einer einfachen Durchlaufarmatur Typ Safety-Top KKA-DL1-UVC.

Das Trübungsmessgerät wird von oben in die Armatur eingebaut (siehe Foto 17). Die UVC-Lampe strahlt von unten auf die Messstrecke.



Foto 17 komplette Messeinrichtung (Fertigungsmuster)

Die Durchflussarmatur wird in der KKA an der Wand oder auf der Trennwand befestigt. Das Abwasser aus der Nachklärung läuft durch die Armatur. Bei entstehendem Schlammabtrieb erzeugt das Trübungsmessgerät einen Alarm.

Eine montierte Kunststoffbox enthält das elektronische Vorschaltgerät (EVG) für die UVC-Lampe und eine Anschlussplatine für die Netzversorgung und Datenleitung. Zusätzlich einen Steckplatz für einen optionalen Wandler 0...10 V auf 0/4...20 mA für die Nachrüstung bei KKA's, deren Steuerungen mit einem Analogeingang von 0/4...20 mA arbeiten.

Alles ist in Schutzart IP 67 ausgelegt.

Bei steigenden Stückzahlen steckt in der Ablaufarmatur das höchste Potential für Preisreduzierungen. In der Zukunft soll dann die jetzige Durchlaufarmatur ersetzt werden durch eine Ausführung, die im Wirbelsinterspritzverfahren aus Kunststoff hergestellt wird.

Die an diesem Entwicklungsprojekt beteiligten Kooperationspartner sind der Meinung, dass es gelungen ist ein funktionsfähiges, marktreifes Trübungsmessgerät zur Überwachung von KKA's zu entwickeln und damit die gesteckten Ziele erreicht zu haben.

Ohne die finanzielle Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt wäre das Erreichen der Ziele nicht möglich gewesen. Wir sind der Deutschen Bundesstiftung Umwelt zu großem Dank verpflichtet.

Der Abschlussbericht des dritten Kooperationspartners, der Professur für Siedlungswasserwirtschaft der Bauhaus-Universität Weimar, ist im Anhang beigefügt.