

# Projektabschlussbericht

Zuwendungsgeber



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Aktenzeichen:  
**DBU 22746-23**

Zuständig:  
Herr Dipl.-Ing. Franz-Peter Heidenreich



Koopmann's Bush Fire Top  
Line GmbH & Co. KG  
Franz-sin-Damm 19

26169 Markhausen

Ansprechpartner:  
Herr Alfons Koopmann (GF)



**Universität  
Bremen**

Ansprechpartner:  
Dr. Michael Schirmer  
Institut f. Ökologie u.  
Evolutionbiologie  
Abt. Aquatische Ökologie  
bzw. Dipl.-Biologe Jürgen Lange

Projekttitlel

**„Mobiles Verfahren zur schnellen Erhöhung des Sauerstoffgehaltes  
in stehenden Gewässern in akuten Gefährdungssituationen“.**

Projektzeitraum

**01.07.2005 bis 30.06.2008**

Zeitlicher Projektlauf

1. Projektabschnitt: 01.07.2005 bis 15.02.2006 (7,5 Monate)
2. Projektabschnitt: 16.02.2006 bis 30.03.2007 (13,5 Monate)
3. Projektpause wegen Insolvenz der Koopmann Fensterbau GmbH
4. Projektabschnitt: 01.04.2007 bis 30.06.2008 (15 Monate)

## **Gesamtziel des Projektes**

Ziel des Verbundprojektes „Mobiles Verfahren zur schnellen Erhöhung des Sauerstoffgehaltes in stehenden Gewässern in akuten Gefährdungssituationen“ war die Entwicklung eines wirtschaftlichen Verfahrens zur Belüftung von Gewässern, um eine schnelle Erhöhung des Sauerstoffgehalts im Wasser zu erreichen.

An stehenden und fließenden Gewässern jedweder Größenordnung kommt es aus verschiedenen Ursachen immer wieder zu erniedrigten Sauerstoffgehalten, mitunter sogar zu völligem Sauerstoffschwund. Klassischerweise sind direkte oder diffuse Einträge von organischen Stoffen die Ursache, die den Sauerstoffhaushalt von Gewässern beeinträchtigen, indem sauerstoffzehrende mikrobielle Abbauprozesse gefördert werden. Bei Erwärmung des Wassers, sei es durch Sonneneinstrahlung oder auch durch Wärmeeinleitung, werden die Stoffwechselraten der abbauenden Mikroben beschleunigt und ihr Sauerstoffverbrauch erhöht, während gleichzeitig die physikalische Löslichkeit des Sauerstoffes im Wasser abnimmt. Bei Unterschreiten von gewissen Sauerstoff-Mindestkonzentrationen kommen die Wassertiere in Atemnot und wandern oder sterben ab. Diese Mindestkonzentrationen unterscheiden sich von Art zu Art und auch von Entwicklungsstadium zu Entwicklungsstadium.

Das zu entwickelnde Verfahren wird eingesetzt, um den Sauerstoffgehalt in solchen notleidenden Gewässern rasch und effizient zu erhöhen. Ziel ist es dabei, akute Sauerstoffmangelsituationen im Sinne eines Noteingriffes unter Kontrolle zu bekommen, zu beseitigen und damit den Verlust von Wasserorganismen einzugrenzen. Insbesondere sollen Fischsterben vermieden werden.

## **Projektarbeitsplan- und Ablauf**

*Siehe auch beigefügte Abbildungen 1 bis 13*

### **Arbeitspaket 1**

Zeitraum: 01.07.2005 – 31.10.2005 (4 Monate, überlappend mit AP 2)

Es erfolgte im Rahmen des ersten Arbeitspaketes die Konzeption und die Planung des Gesamtverfahrens, zunächst noch ohne Wasser-Luft Mischsystem. Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden damit die Grundlagen für die weiteren Arbeiten gelegt.

Es erfolgte darüber hinaus am 7. Oktober 2005 in Markhausen ein vorbereitendes Arbeitsgespräch mit dem Projektpartner Herrn Dr. Schirmer von der Universität Bremen. Hierbei wurden die Kooperationsvereinbarung zwischen beiden Partnern und der weitere Projektverlauf abgestimmt.

## **Arbeitspaket 2**

Zeitraum: 01.10.2005 – 31.12.2005 (3 Monate, überlappend mit AP 1)

Im Rahmen des zweiten Arbeitspaketes begann die Entwicklung und der Bau von Komponenten der Versuchs-Anlage als Basisvariante sowie die Durchführung von ersten „Trockenlauf-Funktions-Tests“.

Es handelt sich dabei um nachstehende Komponenten:

- **1 Druckluft-Schraubenkompressor** (Pos.3)  
(max. Leistungsdaten: 6.000 l Luftmenge/Min., 8 bar)  
**1 Antrieb: ölgekühlter Deutz-Industriemotor für Kompressor** (Pos.4)  
(4-Zylinder, 70 PS, geringe Geräuschemission)
- **1 Selbstansaugende Kreiselpumpe** (Pos.1)  
(Leistungsdaten: ca. 2.000 l Wasser / Min., 8 bar) angetrieben durch  
**1 Perkins-Diesel-Motor für Pumpe** (Pos.2)  
(4-Zylinder Diesel, 70 PS, wassergekühlt)
- **1 Übersetzungsgetriebe**  
1:1,5 (2.000 min<sup>-1</sup> auf 3.000 min<sup>-1</sup>)
- **1 Tragrahmen** (Pos.8)  
aus stabilen geschweißtem Profilstahlrohr.  
Alle Komponenten der Anlage wurden mit der Struktur des Tragrahmens fest verbunden. Die Profiltröhre dienen darüber hinaus auch als internes Wasser-  
verteilungssystem (als Alternative zur Rohrleitungen).

Darüber hinaus fand am 10. November 2005 ein weiteres Arbeitstreffen mit Herrn Dr. Schirmer und Mitarbeitern aus seiner Arbeitsgruppe statt. Dabei erfolgte eine Abstimmung der Projektplanung der beiden Projektpartner. Des Weiteren wurden bereits vier geeignete Gewässer für die im Rahmen der Test- und Versuchsphase durchzuführenden Praxisversuche vor Ort in Augenschein genommen, und auf „Projekttauglichkeit“ hin geprüft.

### **Arbeitspaket 3**

Zeitraum: 01.01.2006 - 15.02.2006, dann Weiterführung ab 01.04.2007 - 30.06.2007 (gesamt: 1,5 + 3 Monate)

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurden weitere wichtige Bauteilen/Komponenten für die Versuchsanlage entwickelt, gebaut, und getestet. Die Integration dieser Bauteile in die komplexe Versuchsanlage - durch die mechanische und funktionelle Kopplung mit den anderen Komponenten - wurde ebenfalls in diesem Arbeitspaket umgesetzt.

- **1 Wasser-Luft Mischsystem** (Pos.5)  
bestehend aus mehreren verbundenen Verwirbelungs-Kammern. Gereinigte Luft\* und das angesaugte Wasser werden mit 8 bar Druck (Idealwert) hineingepumpt und blasenfrei miteinander vermischt.  
Das bewirkt die gleichmäßige Sauerstoffanreicherung des Wassers mit einem **Sättigungsgehalt von 90 %**.  
Funktionsweise:
  1. Schritt: Filterung der Luft von Schadstoffen um bis zu 99,9 % mittels des Spezial-Druckluft-Filters\* (Pos.6).
  2. Schritt: Vormischung von gefilterter Druckluft und Wasser
  3. Schritt: Unter hohem Druck wird die Vormischung durch mehrere nacheinander geschaltete Verwirbelungs-Kammern gepumpt und bewirkt dadurch eine Sauerstoffanreicherung des Wassers. Max. 8 bar Wasserdruck und 8 bar Luftdruck.
  
- **1 Spezial-Druckluftfilter mit Ölabscheider\*** (Pos.6)  
Zur Filterung der Schadstoffe aus der angesaugten Außenluft, sowie von Schmierstoffe aus dem Druckluft-Schraubenkompressor (Pos.3) (wie z.B. Öl). Dadurch werden 99,9 % der Luftschadstoffe abgesondert.  
Dies ist hinsichtlich der Rückführung und Einleitung von unbelastetem Wasser besonders wichtig, um eine Verunreinigung der Gewässers zu vermeiden.

Nach der Integration der Komponenten in die Versuchsanlage wurden zunächst einige grundsätzliche Funktionstests (in der Werkstatt) durchgeführt.

Daran anschließend wurden mit der **Versuchs-Anlage erste Praxisversuche an einem ausgewählten Gewässer durchgeführt** (Teich), um Funktion und Wirkung - unter Berücksichtigung des Zusammenspiels der Komponenten - unter praxisrelevanten Bedingungen unter Beweis zu stellen.

Es zeigte sich dabei, dass an der Versuchsanlage eine Reihe von Änderungen und Weiterentwicklungen durchgeführt werden mussten.

Darüber hinaus wurden Tests zusammen mit Dr. Schirmer (von der Uni Bremen) im Hafen von Oldenburg durchgeführt.

## **Arbeitspaket 4**

Zeitraum: 01.07.2007 – 30.09.2007 (3 Monate)

Es erfolgten weitere Vortests und Vorversuche an unterschiedlichen Gewässern. Dabei wurden:

- Weitere Anwendungstests mit dem Schwerpunkt:  
**Wasser-Luft Mischsystem** (Pos.5) durchgeführt.  
Unterschiedliche Wasser-Durchsatzmenge, Drücke und Mischungsverhältnisse mussten sich bewähren.

Die Versuchsanlage wurde mit:

- **2 Auffangwannen** (Pos.7) ausgerüstet.

Zweck:

Aufnahme von eventuell auslaufende Betriebsstoffe aus den Baugruppen:

- Druckluft-Schraubenkompressor (Pos.3)
- Ölgekühlter Deutz-Industriemotor (Pos.4)
- Selbstansaugende Kreiselpumpe (Pos.1)
- Perkins-Diesel-Motor (Pos.2)
- Übersetzungsgetriebe

## **Arbeitspaket 5**

Zeitraum: 01.09.2007 – 31.12.2007 (4 Monate)

Im Rahmen des Arbeitspaketes 5 erfolgte:

- die **Zwischenauswertungen aller durchgeführten Testläufe**.  
Diese Zwischenergebnisse führten zur der Konsequenz:
- **Technische Optimierung und Weiterentwicklungen**  
an den Bauteilen, den Komponenten und an der gesamten Versuchsanlage durchzuführen um die gewünschten technischen Funktionen und ökologischen Wirkungen zu erzielen.
- **Das Wasser-Luft Mischsystems** (Pos.5)  
wurde weiterentwickelt, d.h. die Geometrie der Verwirbelungskammern und deren konstruktive Ausführen mussten mehrfach geändert werden um die gewünschte Wirkung in vollem Umfang zu erzielen.  
Dadurch erzielten wir eine Anreicherung des Wassers mit Sauerstoff bis zur Sättigungsgrenze von 90 %.

## Arbeitspaket 6

Zeitraum: 01.01.2008 – 30.06.2008 (6 Monate)

*Die wissenschaftliche Versuchsbegleitung und die Durchführung der Messungen vor Ort erfolgten durch Herrn Dipl.-Biol. Jürgen Lange (Mitarbeiter von Herrn Dr. Schirmer / Uni Bremen). Ein entsprechender bewertender Bericht liegt vor, der nachfolgend mit seinen wichtigsten Erkenntnissen zusammengefasst wird:*

Es erfolgten die abschließenden technischen Entwicklungsarbeiten des Verfahrens sowie die Bereitstellung **einer Versuchsanlage durch die Fa. Koopmann's Bush Fire Top Line**. Dabei wurde auch ein optimierter **Ausströmer** konzipiert und entwickelt. Diese besteht aus einer rautenförmigen Rohrkonstruktion mit Ausströmöffnungen, die so angeordnet sind, dass durch das Ausströmen ein Vortrieb erreicht werden kann. Es ist damit also möglich, den Ausströmer mobil durch das Gewässer „fahren“ zu lassen. (Abb. 1) Man ist damit nicht auf eine rein stationäre Anwendung des Ausströmers beschränkt.



Abb. 1: Der getauchte Ausströmer in Betrieb, er wird mittels Schwimmern auf etwa 40 cm Tiefe gehalten.

Des Weiteren wurde als ergänzende Alternative zu diesem im Wasserkörper einsetzbaren Ausströmer eine **Versprühungsvorrichtung** entwickelt und gebaut. Diese ist dann sinnvoll einsetzbar, wenn der zu behandelnde Wasserkörper so flach ist, dass der Ausströmer im Betrieb das **Sohlsubstrat aufwirbelt**. Eine Aufwirbelung von sauerstofffreiem Faulschlamm im Gewässer **führt unweigerlich zu einem Anfa-**

**chen der Abbauprozesse und einem beschleunigten Sauerstoffschwund**, ist also geradezu kontraindiziert. Für diese Fälle steht die Besprenkelungseinrichtung zur Verfügung, die das behandelte, sauerstoffgesättigte Wasser mittels eines Feldsprengers auf die Wasseroberfläche regnen lässt. Dabei bleibt das Sohlsubstrat des Gewässers unbeeinflusst. (Abb. 2)



Abb. 2: Der Flachwasserbereich am Westufer des Sees mit einsatzbereiter Besprenkelungsanlage.

Abschließende Praxistests und Versuche zum Nachweis der Wirkung der Versuchsanlage wurden im Juni 2008 durchgeführt.

Als Versuchsgewässer wurde der private Baggersee Lindemann in Markhausen gewählt, ein etwa 1,8 ha und maximal 14 m tiefer ehemaliger Sandentnahmesee (Abb. 3).



Abb. 3: Baggersee Lindemann, Blick entlang des Nordufers, Juni 2008

Dieses Gewässer war besonders geeignet, da es einerseits in seinem Tiefwasserbereich über eine der Sommerstagnation gemäßigter Seen entsprechende Stratifizierung in Epi- und Hypolimnion verfügte. Andererseits befindet sich an seinem Westufer als gewässerbauliche Gestaltung ein ausgedehnter Flachwasserbereich mit maximal 2,50 m Wassertiefe. In diesen beiden weitgehend voneinander getrennten Wasserkörpern wurde die Testanlage mit den beschriebenen beiden Ausbringvorrichtungen mit Erfolg getestet.

Die Messreihen im Tiefwasserbereich umfassten die großflächige Erfassung der Sauerstoff- und Temperaturverteilung im Gewässer mittels der Erstellung von neun Tiefenprofilen. Daneben wurde die Trübung des Gewässers kontrolliert. Dieses Messprogramm erfolgte vor, während und nach Einsatz der Testanlage. Während des Belüftungsbetriebes wurde insbesondere die Ausbreitung des eingebrachten Sauerstoffes messtechnisch verfolgt.

Im Flachwasserbereich wurde an verschiedenen Stellen oberflächennah die Sauerstoffsättigung erfasst und nach Einsatz der Testanlage mit der Versprühvorrichtung kontrolliert.

In beiden Fällen, im Flachwasser und im Tiefwasserbereich, konnte eine deutliche Anhebung des Sauerstoffgehaltes im Gewässer erreicht werden. Im Flachwasserbereich, wo etwa 90 l/m<sup>2</sup> sauerstoffgesättigtes Wasser aufgesprüht wurden, wurde nach Beendigung der Belüftung eine bis zu 10 cm mächtige oberflächennahe Schicht mit Sauerstoffsättigungen um 90% registriert, während etwas tiefer weiterhin die wie zuvor im gesamten Flachwasserbereich vorgefundenen Werte unter 80% lagen.



Im Tiefwasserbereich wurden insgesamt ca. 62,5 m<sup>3</sup> sauerstoffgesättigtes Wasser eingebracht, das sich **kreisförmig um den Ausströmer in etwa 1 m Tiefe ausbreitete**. Auch in den Kontrollmessungen der Tiefenprofile, die z. T. über 1,5 h nach Beendigung des Testbetriebes erfolgten, waren um die Einsatzposition des Ausströmers herum erhöhte Sauerstoffwerte nachweisbar, während entferntere bzw. tiefere Messstellen gegenüber den Eingangsmessungen unverändert blieben. Die Trübung und auch die Schichtungsverhältnisse im See blieben unbeeinflusst.

Durch Herrn Lange erfolgte die folgende Bewertung der Messergebnisse:

„Die Einbringung des zur Sauerstoffsättigung gebrachten Seewassers mit dem Ausströmer **zeigt einen unmittelbaren und deutlichen Effekt auf die gemessenen Sauerstoffwerte** im geschichteten Bereich des Sees. Die Ausbreitung erfolgt dabei offensichtlich in einer **kreisförmigen „Welle“**, die sich **in etwa einem Meter Tiefe** am schnellsten fortbewegt, während die darüber liegenden Bereiche sukzessive bis zur Sättigung nachziehen. Dieses „Einschießen“ des aufgefrischten Wasser in einem Meter Tiefe dürfte den Temperaturverteilungen gehorchen.

Da das Seewasser aus etwa dieser Tiefe entnommen wurde, fließt es nachfolgend in dieser Tiefe wieder ein, da es sich **entsprechend seiner temperaturabhängigen Dichte in die bestehende Temperaturschichtung an der Einbringungsstelle einfügt**.

Dies ist eine wichtige Erkenntnis für eine zukünftige Anwendung des Belüftungsgerätes in geschichteten Stillgewässern, denn das einzubringende sauerstoffreiche Wasser wird sich relativ unabhängig von der Tiefeneinstellung des Ausströmers in jener Tiefe ausbreiten, in der die entsprechende Wassertemperatur vorliegt. Insofern bestimmt man mit der Tiefe der Ansaugstelle auch direkt jene Tiefe, in der sich das angereicherte Wasser an der Ausströmstelle ausbreitet. Für die Praxis leitet sich daraus die Empfehlung ab, dass die Tiefeneinstellungen von Ansaug- und Ausströmstelle nicht zu sehr differieren sollten, da man sonst vertikale Ausgleichsströmungen an der Ausströmstelle verursacht. Außerdem sollte die Ansaugstelle nicht so tief gewählt werden, dass man unter, in oder auch nur in die Nähe der Sprungschicht gerät, um diese nicht zu stören und ggf. die Schichtung des zu behandelnden Gewässers zu destabilisieren. Die Ansaugstelle sollte nicht tiefer als einen Meter gelegt werden.

Gleichzeitig lässt sich beobachten, dass sich eine **relativ stabile „Blase“ sauerstoffreichen Wassers um die Ausströmstelle in das Gewässer legt**. Die Kontrollmessungen im Bereich der Transektkreuzung, also der Ausströmstelle, erfolgten z.T. erst 1,5 h nach Beendigung der Belüftung, dennoch wird eine relativ scharfe Abgrenzung zwischen deutlich sauerstoffreicherem (eingebrachtem) und weitgehend unverändertem Wasser registriert. Das spricht deutlich gegen nennenswerte Diffusionsraten zwischen belüftetem und unbehandeltem Wasser. Zwar ist dabei zu berücksichtigen, dass hier ein ohnehin relativ gut mit Sauerstoff versorgtes Gewässer behandelt wird und dementsprechend das Diffusionsgefälle zwischen angereicherterem und unbehandeltem Wasser nur gering ist.

Dennoch spricht einiges dafür, dass sich eingebrachtes sauerstoffgesättigtes Wasser auch in einem unter Sauerstoffschwund leidenden Gewässer ähnlich verhält. Daraus leitet sich für die Praxis an Stillgewässern die Empfehlung ab, den Ausströmer tatsächlich langsam durch das zu behandelnde Gewässer fahren zu lassen, um möglichst schnell möglichst flächendeckend sauerstoffreiches Wasser im Gewässer zu verteilen, denn es ist nicht davon auszugehen, dass beispielsweise an Sauerstoffnot leidende Fische noch aktiv schwimmend eine womöglich entfernte Blase sauerstoffgesättigten Wassers im Gewässer orten und erreichen können. Wohl aber dürften auch geringere Anreicherungsraten eines vorbeifahrenden Ausströmers zunächst stabilisierend auf eine notleidende Gewässerfauna wirken, bis die Gewässerbehandlung durchschlagenden Erfolg erzielt.

Als **überraschend effektiv erweist sich die Besprenkelung im Flachwasserbereich**. Hier wird in relativ kurzer Zeit mit einer vergleichsweise geringen Menge gesättigtem Wasser ein deutlicher Effekt erzielt. Hier dürfte ein gewisser zusätzlicher physikalischer Sauerstoffeintrag an der Gewässeroberfläche durch die Turbulenzen beim Auftreffen des verspritzten Wassers induziert werden. Allerdings wird nur eine sehr begrenzte Tiefenwirkung erzielt.“

Damit sind Einsatzerfolg und Effektivität sowie bei sachgemäßer Bedienung die gewässerökologische Unschädlichkeit des entwickelten Belüftungsverfahrens dokumentiert.

## Ökologische und ökonomische Bilanzierung

### Ökologische Bilanz

Wir haben erreicht, dass einer **schnelle und deutliche Anhebung des Sauerstoffgehalts von Gewässern** (bzw. von Teilbereichen) mit unserer Versuchsanlage umgesetzt und auch nachgewiesen werden konnte.

Herr Dr. Schirmer von der Uni Bremen bzw. Herr Dipl. Biologie Lange haben unser Projekt wissenschaftlich betreut. Insbesondere die Versuchsbegleitung hinsichtlich der Gewässer-Limnologie bei den praxisrelevanten Versuchen an geeigneten Gewässern (*Abb.3*) hat entscheidend dazu beigetragen die Wirkung unserer Versuchsanlage zu erfassen, zu bewerten und zu dokumentieren.

Die gewonnenen positiven Projekt-Erfolge im Einzelnen:

- Mit dem Verfahren ist es uns gelungen **größere Mengen Wasser aus einem See anzusaugen**, und mittels der neuentwickelten Technik der Versuchsanlage **den Sauerstoffgehalt auf 90% zu erhöhen**, und dieses gesättigte Wasser (praktisch in einer Art Kreislaufführung) **gezielt in den See zurückzuführen, und dadurch nachweislich Teilbereiche des Gewässers mit Sauerstoff anzureichern**.

- Die **Art der Einleitung** des gesättigten Wassers in den See sollte nach der Gewässertiefe unterschiedlich gehandhabt werden:

- Für Flachwasserbereiche** unter 2,50 m tiefe = **Aufsprüh- bzw. Besprenkelungs-Verfahren** (*Abb.2*).

- Für **Tiefwasserbereiche** über 2,50 m Tiefe = Einleitung mittels **Ausströmer in ca. 0,4 bis 1,0 m Tiefe** (*Abb1.*).

Begrünung:

- Für **Flachwasserbereiche** haben wir auf eine direkte Einleitung unter Wasseroberfläche verzichtet, weil diese Methode zu einer Aufwirbelung von sauerstofffreiem Faulschlamm, und somit zu Sauerstoffabbau im Gewässer führen würde. Hier haben wir gute Ergebnisse erzielt, in dem das angereicherte Wasser auf die Oberfläche des Sees gesprüht wurde. Eine Menge von 90 Ltr./m<sup>2</sup> aufgesprühtes Wasser bewirkte nachweislich eine Anreicherungsschicht von ca. 10 cm Tiefe.

- Für **Tiefwasserbereiche** haben wir das angereicherte Wasser durch einen Ausströmer in ca. 0,40 bis 1,00 m Tiefe in Gewässer zurückgeführt. Dabei konnten wir eine relativ **gleichmäßige Ausbreitung in Form einer kreisförmigen „Sauerstoff-Blase“ um den Ausströmer** feststellen. Eine Vermischung mit den angrenzenden Wasserschichten fand nicht statt. Bei 1-stündigem Dauerbetrieb hatte die Blase einen Durchmesser von ca. 12,5 m und eine Tiefe von ca. 1 m. Daraus folgt ein Wasser-Volumen von ca. 120 m<sup>3</sup> pro Betriebs-Stunde der Anlage.

Interessanterweise positionierte sich das zurückgeführte, angereicherte Wasser in einer „vertikalen Höhenschichtung im Gewässer“ der der Ansaugstelle entspricht. Das erklärt sich - nach Aussage von Herrn Dipl.-Biol. Lange - damit, dass die **temperaturabhängige Wasserdichte des „Entnahmewassers“ die spätere Tiefenschichtung des zurückgeführten, angereicherten Wassers vorgibt**. Eine Vermischung mit dem sauerstoffärmeren Wasser-

schichten fand nicht statt.

- Weiterhin konnten wir Ableiten: Die **Tiefe der Ansaugstelle bestimmt der Tiefenschichtung der späteren „Sauerstoffblase“** im Gewässer.

- Die **Kontrollmessungen der Tiefenprofile, die z. T. über 1,5 h nach Beendigung des Testbetriebes** ergaben - um die Einsatzposition des Ausströmers herum - **erhöhte Sauerstoffwerte**, während weiter entfernte bzw. tiefere Mess-Stellen gegenüber den Eingangsmessungen unverändert blieben.

- Bei ca. 50% der maximalen Diesel-Motordrehzahl (entspricht einem Energieeffizienten Wirkungsgrad) können in **1 Std. ca. 120 m<sup>3</sup> Wasser** angesaugt und mit 90%igen Sauerstoff angereichert, und zurückgepumpt worden. Das entspricht einem durchschnittlichen Dieserverbrauch von ca. 10 Ltr./Std. Daraus errechnet sich ein **spezifischer Treibstoffverbrauch von ca. 1 Ltr. pro 12 m<sup>3</sup> Wasser**.

- Das zurückgepumpte, angereicherte Wasser führte **nicht zur einer Beinträchtigung der Gewässer-Qualität**, wie z.B. Gewässerfauna, Wasserorganismen, etc.

- Die Druckluft zur Sauerstoffanreicherung wird vor dem Mischprozess mittels des Spezial-Druckluftfilters (Pos.6) von Verunreinigungen zu 99,9 % gesäubert. Insbesondere das Absondern von Schmierstoffen des Kompressors wird dadurch verhindert. **Ölhaltiges Wasser** könnte zu erheblichen Schäden führen.

- Zur Verhinderung das eventuell austretende Betriebsstoffe in den Boden bzw. in das Gewässer gelangt ist die Anlage mit 2 Auffangwannen (Pos.7) ausgerüstet worden.

- Die beiden Dieselmotoren können mit umweltfreundlichem **Bio-Diesel** betrieben werden.

### Ökonomische Bilanz

Der energetische Aufwand von ca. 1 Ltr. Diesel zur Anreicherung von 12 m<sup>3</sup> Wasser - mit einem Sättigungsgrad von 90% - ist aus unserer Sicht wirtschaftlich im Vergleich zu den bekannten Verfahren. Um dieses Ziel zu erreichen haben wir leistungsstarke Dieselmotoren mit einem günstigen Drehmoment bzw. hoher Leistungsabgabe verwendet.

Sämtliche Maschinen-Komponenten sind auf einem Stahl-Profilrohr-Tragrahmen als **kompakte Anlage montiert worden**

Die Einsatzmöglichkeiten: als **Mobile- , bzw. Stationäre Einheit**.

Für den Mobil-Betrieb kann die Komplettanlage auf einem **PKW-Anhänger** oder einen **LKW** positioniert, transportiert und an beliebigem Einsatzorten betrieben werden.

Der Antrieb der Anlage erfolgt mittels 2 Dieselmotoren (Pos.2 und 4), welche direkt mit dem Kompressor (Pos.3) und der Pumpe (Pos.1) formschlüssig gekoppelt sind.

Dadurch wird ein unnötiger Energieverlust (z.B. über den „Umweg“ Stromgenerator und E-Motore) vermieden.

Eine externe Energieversorgung zum Betrieb vor Ort (z.B. über Stromleitungen, etc.) ist nicht erforderlich. Das Eigengewicht der Komplettanlage liegt bei ca. **2,2 to**.

Zur Bedienung reicht 1 Person aus.

### **Gesamtbewertung**

Die von uns zu Projektbeginn für die Realisierung der Entwicklungsziele festgelegten Verfahrensziele konnten **sowohl in ökologischer, als auch in ökonomischer Hinsicht erfolgreich umgesetzt werden**. Das System ist geeignet, eine **schnelle, effektive Erhöhung des Sauerstoffgehaltes von Gewässern in Notfallsituationen durchzuführen**.

Die konstruktive Gestaltung des Systems - als **mobile, bzw. stationäre energieautarke Anlage** - ermöglicht ein schnelles Eingreifen in Notsituationen. Das schnelle Transportieren der Anlage - auf einem PKW-Anhänger (*siehe beigefügte Fotos*) - zum Einsatzort ist dafür eine wichtige Voraussetzung.

Messungen der durchgeführten Versuche in geeigneten Gewässern durch die Mitarbeiter der Uni Bremen haben ergeben, dass eine gezielte Sauerstoffanreicherung, in definierten „Bereichen“ eines Gewässers - innerhalb einer bestimmten Zeit - mit unserer Versuchsanlage realisiert werden kann.

Für die **zukünftigen Anwendung** der neuartigen Anlage sehen wir derzeit zwei Möglichkeiten:

1.) **Als Dienstleister**: In dem die Leistung unserer Anlage gegen Kostenaufwand vor Ort angeboten wird, z.B. bei:

- Kleineren Hafenbecken
- Fischteichen
- Seen
- Flüssen
- Kanälen

2.) Oder die Anlage als **Komplett-System** anbieten, bauen und an Interessenten **verkaufen**.

### Weitere geplante Arbeiten für zukünftige Anlagenausführungen:

Ein gegenüber der Versuchsanlage noch leistungsfähigere Variante ist geplant. Eine schwimmfähige Ausführung mit eigenem Fahrtrieb ist als weitere Entwicklungsvariante ebenfalls in der Planung.

### Verbreitung der Vorhabensergebnisse

Zur Verbreitung des Verfahrens und die Präsentation der Möglichkeiten des Einsatzes soll über Fach-Zeitschriften bzw. über entsprechende Sendungen in TV-Medien erfolgen, um möglichst viele Interessenten anzusprechen.

### Zusammenstellung System-Parameter:

#### **Gewässer-Sauerstoffanreicherung:**

In „Tiefwasserbereich“ / Anreicherungsschicht: bis 1 m Tiefe :

Über 2,50 m Wassertiefe

Eintrag: durch **Ausströmer**

Wasser-Eintragstiefe: etwa **0,40 bis 1,00 m**

Wasser-Eintragsmenge: max. **120 m<sup>3</sup> pro Std.**

Luft-Eintragsmenge in Mischsystem: max. **360 m<sup>3</sup> pro Std.**

Mischungsverhältnis: **3:1** (Idealwert)

Sauerstoffsättigungsgrad des Wassers: **90 %**

Wasser-Entnahmetiefe: **0,40 bis 1,00 m**

Anreicherungsschicht mit 90 % gesättigten Wasser: bis **1 m Wassertiefe**,

Verteilung: Als kreisförmige „Sauerstoffblase“ um Ausströmer

In „Flachwasserbereich“ / Anreicherungsschicht bis 10 cm Tiefe:

Unter 2,50 m Wassertiefe

Einsatz: Bei flachen Wasserkörper um Aufwirbelungen von sauerstofffreiem Faulschlamm zu verhindern.

Eintragungsmethode:

Durch **Aufsprühen / Besprenkelung** v. sauerstoffgesättigten Wasser auf Oberfläche

Wasser-Aufsprüh-, bzw. Eintragsmenge: **90 Ltr. pro m<sup>2</sup>**

Anreicherungsschicht mit 90 % gesättigten Wasser: **10 cm Wassertiefe**

#### **Einsatzfelder:**

- Kleinere Hafenbecken
- Fischteiche
- Seen
- Flüsse
- Kanäle

#### **Einsatzgebiete:**

- Notfallsystem (z.B. Havarie)
- Akuten Gewässergefährdung
- Kritische Gewässersituationen (z.B. durch hohe Wassertemperaturen im Sommer)

**Maschinen-Anlage (Abb. 4 bis 13):**

*Konzeption, Bauweise, Einsatzmöglichkeiten:*

Sämtliche Maschinen-Komponenten sind auf einem Stahl-Profilrohr-Tragrahmen montiert.

Die Komplettanlage ist als:

**kompakte, „energie-autarke“ Einheit** konzipiert und gebaut worden.

Einsatzmöglichkeiten: **Mobil oder Stationär.**

Für Mobil-Betrieb kann Komplettanlage (mit Gabelstapler oder Kran) auf: Fahrzeug, wie z.B. **PKW-Anhänger** oder **LKW** positioniert, transportiert und an beliebigen Einsatzorten betrieben werden.

Für Stationär-Betrieb kann Anlage in Ufernähe auf Boden abgestellt werden.

Die Energieversorgung aller Aggregate erfolgt mittels 2 Dieselmotoren.

Eine externe Energieversorgung zum Betrieb vor Ort (z.B. über Stromleitungen, etc.) ist nicht erforderlich.

Eigengewicht Komplettanlage: ca. **2,2 to**

*Maschinen-Komponenten:*

**1 WASSER-KREISELPUMPE (Pos.1)**

mit Wasseranschluss-System, Selbstansaugend,

Wasserdurchsatzmenge: bis zu **2.000 Ltr. / Min (120 m<sup>3</sup> / Std.)**, Druck: 8 bar

Antrieb für Kreiselpumpe:

**1 Dieselmotor** (Perkins), **70 Ps** (51,5 kW) Leistung, 4 Zylinder, Wassergekühlt (Pos.2)

**1 DRUCKLUFT-SCHRAUBENKOMPRESSOR (Pos.3)**

Luftdurchsatzmenge: bis zu **6.000 Ltr. / Min (360 m<sup>3</sup> / Std.)**, Druck: 8 bar

Antrieb für Schraubenkompressor:

**1 Dieselmotor** (Deutz), **70 Ps** (51,5 kW) Leistung, 4 Zylinder, Ölgekühlt (Pos.4)

**1 WASSER-LUFT-MISCHSYSTEM - Verwirbelungs-System - (Pos.5)**

Bestehend aus mehreren verbundenen Verwirbelungs-Kammern.

In diesem System wird Luft und das angesaugte Wasser hineingepumpt.

Kammerdruck: Ideal **8 bar**, kann variiert werden.

Die Mischung von Luft und Wasser erfolgt unter Druck im komplexen Verwirbelungskammer-System.

Dadurch gleichmäßige Sauerstoffanreicherung des zu regenerierende Wasser mit **Sättigungsgehalt von 90 %**.

Konzeption und Ausführung basieren auf unseren Schutzrechten:

DE 103 12 827, EP 1 610 887 und WO 2004/082816

**1 ÜBERSETZUNGSGETRIEBE**

**Übersetzungsverhältnis: 1 : 1,5** (von  $n = 2.000 \text{ min}^{-1}$  auf  $3.000 \text{ min}^{-1}$ )

**1 SPEZIAL-DRUCKLUFTFILTER mit Ölabscheider (Pos.6)**

Funktion: Abscheidung von Schadstoffen aus der angesaugten Außenluft

und von Schmierstoffen aus dem Druckluft-Schraubenkompressor (wie z.B. Öl).

Luft-Reinigungsgrad: bis zu 99,9 %.

Beachten: Ist besonders wichtig um eine Verunreinigung des Gewässers durch Schadstoffe im zurückströmenden Wasser zu verhindern.

**2 AUFFANGWANNEN** (Pos.7)

Zur Aufnahme von eventuell auslaufenden Betriebsstoffen (z.B. Öl)

**1 TRAGRAHMEN** (Pos.8)

aus geschweißtem Profilstahlrohr.

Zur Aufnahme der Anlage mit allen Komponenten.

Die Profilrohre dienen darüber hinaus auch als Wasserverteilungssystem der Anlage.

Markhausen, den .....

Unterschrift: .....

(Alfons Koopmann, Geschäftsführer)