


# Einsatzmöglichkeiten der Rollenpflückertechnologie für das Entfernen und Verdichten von invasiven Wasserpflanzen (Rollenpflücker)

## Abschlussbericht

Bewilligungsempfänger und Verfasser: <i>RWTH Aachen – Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA)</i> <i>Mies-van-der-Rohe-Str. 1</i> <i>52074 Aachen</i>
Kooperationspartner: <i>Lutat Fluid Technologie UG</i> <i>Am Predigtstuhl 23</i> <i>40822 Mettmann</i>
Förderkennzeichen: Az 34064/01
Laufzeit des Vorhabens: 08.2017 - 12.2019

Aachen, den 30.11.2020

  
apl. Prof. Dr. Volker Linnemann  
(Institutsleitung)

Institut  
für Siedlungswasserwirtschaft  
Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen  
Direktor Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnenkamp  
52056 Aachen

  
Regina Dolny, M.Sc.  
(Projektleiterin)



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

Gefördert durch:

## Inhalt

Abbildungsverzeichnis .....	2
Tabellenverzeichnis .....	4
1. Zusammenfassung .....	5
2. Anlass und Zielsetzung des Projektes .....	7
3. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden.....	8
4. Ergebnisse und Diskussion.....	14
Arbeitspaket 1: Prototyp und Testfahrten.....	14
Arbeitspaket 2: Rollenverdichter samt Presswasser und Biomassenanalyse .....	21
Arbeitspaket 3: Bewirtschaftung des Hiltruper Sees & Monitoring .....	25
Arbeitspaket 4: Biomassenverwertung (Gärtests).....	35
Arbeitspaket 5: Testfahrten auf dem Unterbacher See und dem Baldeneysee.....	37
5. Öffentlichkeitsarbeit .....	46
6. Fazit .....	46
7. Literatur.....	48
8. Anlagen.....	50
a. Presswasser-Ergebnisse .....	50
b. Analysenergebnisse Hiltruper See.....	52
c. Analysenergebnisse Unterbacher See.....	70
d. Analysenergebnisse Baldeney See .....	72
e. Zeitungsausschnitt.....	74
f. Projektsteckbrief .....	75
g. Projektbeschreibung .....	76
h. Artikel in gwf Wasser+Abwasser.....	77

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bewuchs des Hiltruper Sees im Mai 2018 [ISA] .....	7
Abbildung 2: 3-D Modell der Gesamtanlage (ohne Aufbauten) [LFT].....	9
Abbildung 3: Prototyp des Rollenpflückers beim Testeinsatz im Sommer 2018 [LFT] ..	10
Abbildung 4: Elodeazucht im Technikum des ISA [ISA] .....	12
Abbildung 5: Hauptkomponenten vor dem Abtransport zum Unterbacher See [LFT]....	14
Abbildung 6: Auf- und Abladevorgang [LFT] .....	15
Abbildung 7: Impressionen des Praxistests der Schwimmbehälter [LFT].....	15
Abbildung 8: Zopfbildung vor dem Rollenpflücker [WDR Lokalzeit Münsterland].....	17
Abbildung 9: Vorentwurf des Greifers [LFT] .....	19
Abbildung 10: CAD Modell Greifer [LFT].....	19
Abbildung 11: CAD Modell Greifer mit Rolleneinheit [LFT] .....	19
Abbildung 12: Fertiggestellter Greifer [LFT] .....	19
Abbildung 13: Abgerissenen und komplette Pflanzen auf dem Förderband [LFT] .....	20
Abbildung 14: Entwürfe des Rollenverdichters (Version 2018) [LFT].....	21
Abbildung 15: Zeichnung des Rollenverdichters mit modularen Rollen und Federkraftdruckerzeugung Laborversion (Version 2019) [LFT].....	22
Abbildung 16: Presswasser aus Versuchen mit dem Rollenverdichter [ISA].....	24
Abbildung 17: Probenahme in der Wassersäule [ISA] .....	25
Abbildung 18: Luftaufnahmen des Hiltruper Sees [2018, Stadt Münster].....	26
Abbildung 19: Probenahmestellen am Hiltruper See in Münster [ELWAS-WEB].....	27
Abbildung 20: Korngrößenverteilung der Sedimente im Hiltruper See (Mittelwerte) .....	28
Abbildung 21: Korngrößenverteilung vor und nach dem Pflücken an Stelle 1.....	29
Abbildung 22: Korngrößenverteilung vor und nach dem Pflücken an Stelle 2.....	29
Abbildung 23: Vor dem Einsatz im September 2018 am Hiltruper See [ISA] .....	30
Abbildung 24: Aufteilung der Kohlenstofffraktionen im Sediment (Mittelwerte) .....	31
Abbildung 25: Aufteilung der Kohlenstofffraktionen vor und nach dem Pflücken (Stelle 1 n=2).....	32
Abbildung 26: ausgewählte Schwermetalle im Sediment vor/nach dem Pflückvorgang (SB = Schwankungsbereich LAWA).....	33
Abbildung 27: Biogaserträge der Elodea bezogen auf ihre FM und ihre oTS [ISA].....	35
Abbildung 28: Probenahmestellen im Unterbacher See [ELWAS-WEB].....	37
Abbildung 29: Darstellung der Kohlenstoffverteilung im Sediment.....	39
Abbildung 30: Probenahmestelle im Baldeneysee am Essener Yacht-Club [ELWAS- WEB].....	40
Abbildung 31: Drohnenaufnahme der Elodea-Ausbreitung im Baldeneysee [ISA].....	41
Abbildung 32: Drohnenaufnahme des Elodeabewuchses im Baldeneysee [ISA].....	41
Abbildung 33: Korngrößenverteilung im Sediment.....	42

Abbildung 34: Übersicht der Kohlenstoffverteilung im Sediment.....	43
Abbildung 35: Elementkonzentrationen für Barium, Kupfer und Zink im Presswasser (--- Grenzwerte der AbwV Anhang 51) [ISA].....	50
Abbildung 36: Stoffkonzentrationen im Presswasser (--- Grenzwerte der AbwV Anhang 1 und 51) [ISA].....	50
Abbildung 37: CSB und BSB Konzentrationen im Presswasser [ISA].....	51

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtkosten (Vergleich ohne und mit Rollenverdichter).....	25
Tabelle 2: Probenahmen am Hiltruper See .....	26
Tabelle 3: Auswahl an Analysenergebnisse (Mittelwerte) der Sedimentuntersuchungen (ausführliche Tabelle unter 8.b).....	31
Tabelle 4: Jahreszeitlicher Vergleich der Vor-Ort-Parameter an Stelle 1 .....	33
Tabelle 5: Vergleich einiger Parameter vor und nach dem Pflücken (Stelle 1, n=2; Stelle 2, n=1).....	34
Tabelle 6: Biogaserträge aus Versuchsergebnissen und Literaturwerten .....	36
Tabelle 7: Ergebnisse der Wasserproben im Unterbacher See (07.05.2018) .....	38
Tabelle 8: Schwermetalle in der Wasserphase im Unterbacher See (07.05.2018) .....	38
Tabelle 9: Ergebnisse der Sedimentproben im Unterbacher See (07.05.2018) .....	39
Tabelle 10: Ergebnisse (Schwermetalle) der Sedimentproben im Unterbacher See (07.05.2018).....	40
Tabelle 11: Ergebnisse der Sedimentproben aus dem Baldeneysee.....	43
Tabelle 12: Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen im Sediment des Baldeneysees.....	44

## 1. Zusammenfassung

Viele Binnengewässer sind aufgrund der fortschreitenden Eutrophierung von der massiven Ausbreitung nicht heimischer invasiver Wasserpflanzen wie *Elodea canadensis* bzw. *Elodea nuttallii* (im Folgenden Elodea genannt) und den damit einhergehenden stark eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten betroffen. Unter Naturschutzgesichtspunkten kann das extreme Wachstum der Elodea-Spezies eine Gefahr für die natürliche Flora in Schutzgebieten darstellen. Die aktuelle Methode des „Mähens“ hat nur sehr eingeschränkten Erfolg bzgl. der Nachhaltigkeit und der Nährstoffreduktion.

Die Lutat Fluid Technologie UG (LFT) hat daher das Konzept des Rollenpflückers entwickelt. Die Basisinnovation sind zwei gegenläufige flexibel absenkbare Rollen (Rollenpflücker), welche die Pflanzen greifen und nahezu vollständig mit der Wurzel durch Zug roden, so dass in Folge die Pflanzen deutlich länger für die Wiederansiedlung brauchen. Durch weitere mechanische Entwässerungsmaßnahmen und Entsorgung aller anfallenden Teilströme könnten die Entsorgungskosten weiter gesenkt und eine stofflich-energetische Weiterverwertung der Biomasse ermöglicht werden. Hierzu hat die LFT im Rahmen des Projektes den Prototypen eines „Rollenverdichters“ entwickelt, der ebenfalls aufbauend auf dem Prinzip der gegenläufigen Rollen das Mähgut presst und entwässert, um es dann einer potentiellen Verwertung zuzuführen.

Die Technologie wurde unter Berücksichtigung aller umweltrelevanter Prozesse (Nährstoffreduktion, Biomasseentfernung und -verwertung, Wiederbewuchs) zu einem einsatzfähigen Prototyp inkl. Verwertungskonzept weiterentwickelt. Dabei wurde ein mehrjähriges Monitoring-Programm der Wasser- und Sedimentphase während des ganzen Prozesses vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University (ISA) durchgeführt. Die Wiederbewuchsrate wurde vergleichend photographisch dokumentiert. Durch Untersuchungen zur Verwertung der Biomasse und Qualität der Pressabwasserströme konnten Verwertungs- und Entsorgungspotentiale (z.B. Biogaserzeugung aus der Biomasse, Entsorgung der Abwasserströme in kommunales Abwassernetz) aufgezeigt werden.

Es erfolgten Probenahmen zur Erprobung im Baldeney See in Essen und im Unterbacher See in Erkrath. Die erste Probenahme im Hiltruper See in Münster erfolgte im späten Frühling 2018 (Mai), um eine erste Status Quo Aufnahme des Gewässers zu erlangen. Die zweite Probenahme erfolgte im gleichen Jahr im Herbst (September). Hierbei wurde ebenfalls mit dem Rollenpflücker gearbeitet, so dass ein Vergleich vor und nach der Rodung erfolgte. Die weiteren Probenahmen erfolgte im Februar, September und Oktober 2019, sowie im Februar 2020. Somit konnten alle Jahreszeiten, vergleichend über Jahre beprobt werden und der Einfluss des Pflückens dokumentiert werden.

Die erste Erprobung des Rollenpflückverfahrens kam dabei zu dem Ergebnis, dass der Anteil der Wasserpflanzen, die mit Wurzel entfernt werden konnten zu gering ist, um eine signifikante Verlangsamung des erneuten Wachstums gegenüber dem herkömmlichen Mähverfahren zu erzielen. Zur Effizienzsteigerung wurde im zweiten Jahr ein Greifer eingesetzt, der die Pflanzen vom Boden wegkratzt bevor diese durch die Rollen endgültig entfernt wurden. Die Pflanzen wurden zwar besser gegriffen; der Wurzelanteil, der für die Geschwindigkeit des Nachwachsens entscheidend ist, konnte hierdurch aber nicht deutlich erhöht werden. Vor dem Hintergrund des deutlich höheren maschinellen Aufwands beim Rollenpflücken gegenüber dem Mähen, ist ein wirtschaftlicher Einsatz des Rollenpflückverfahrens in der untersuchten Form aktuell nicht realisierbar.

Bei der Förderung und dem Transport haben sich aber einige Innovationen bewährt, die zukünftig Einzug in den Mähbootbetrieb finden könnten. So verhindert das geschlossene Transportband mit den Förderharken die Verteilung des Mähguts im Gewässer und erlaubt größere Fördertiefen und steilere Förderwinkel. Der Abtransport des Mähguts in Schwimmrahmen ohne, dass das Boot zum Entladen wieder ans Ufer fahren muss, hat sich ebenfalls bewährt.

Die Gewässerbelastung durch das Rollenpflücken war erfreulich gering und eine nachhaltige Störung des Ökosystems konnte nicht beobachtet werden.

Das Mähgut ließ sich durch das Rollenverdichten prinzipiell entwässern und für eine nachfolgende Vergärung nutzen. Die Belastung mit Schwermetallen war in einem vertretbaren Rahmen, allerdings ist das Presswasser stark organisch belastet und die Einleitung ins Abwasser wird daher von vielen Entsorgungsbetrieben nicht akzeptiert. Zudem beginnt unmittelbar nach dem Pressen ein Gärvorgang mit starker Geruchsentwicklung. Die rechtliche Situation der Einleitererlaubnis müsste geklärt werden, bevor das Verfahren weiterentwickelt werden kann.

## 2. Anlass und Zielsetzung des Projektes

Viele Gewässer sind aufgrund der massiven Ausbreitung invasiver Wasserpflanzen wie *Elodea canadensis* und *Elodea nuttallii* (im Folgenden Elodea genannt) von stark eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten betroffen (Abbildung 1). Unter Naturschutzgesichtspunkten stellt das extreme Wachstum der Elodea eine Gefahr für die natürliche Flora in Schutzgebieten dar, da es im Sommer zu erhöhter Biomassenproduktion führen kann (STENGERT ET AL. 2007, WEYER & HUSSNER 2007). Im Winter steigt somit die Gefahr der Eutrophierung durch Freisetzung von Nährstoffen und Elementen aus abgestorbenen Pflanzenresten, da die Pflanzen in der Wachstumsphase vorher Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor ebenso wie Schwermetalle aus der Wasserphase gebunden haben (OZIMEK ET AL. 1993, ROBACH ET AL. 1995, PODRAZA ET AL. 2008, MORE VIRTUALITY AGENCY 2017). Aus diesem Grund wird die Elodea regelmäßig aus den Gewässern entfernt. Die aktuelle Methode des „Mähens“ hat dabei nur einen sehr eingeschränkten Erfolg, da lediglich der oberste Teil (30 % - 50 %) der Pflanzen entfernt wird und die Pflanzen sehr schnell wieder nachwachsen.



Abbildung 1: Bewuchs des Hiltruper Sees im Mai 2018 [ISA]

Anlass des Projektes „Rollenpflücker“ waren erfolgreiche Vorversuche des Hiltruper Segelclubs (HiSC) zur Entfernung der Elodea durch händisches Pflücken mit Harken, um die quantitative starke Zunahme der Pflanzen im Hiltruper See in Münster zu begrenzen. Daher hat die Lutat Fluid Technologie UG (LFT) das Konzept des Rollenpflückers



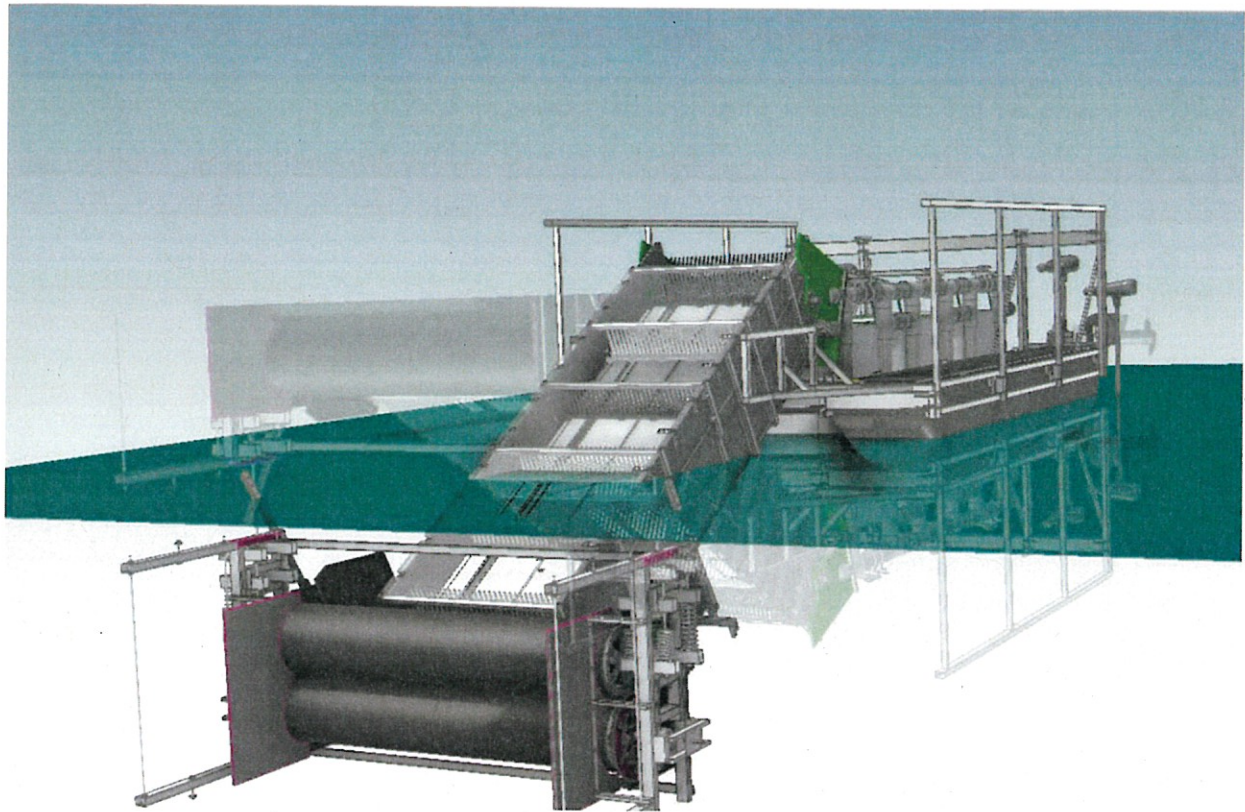
entwickelt. Die Basisinnovation sind zwei gegenläufige flexibel absenkbar Rollen, welche die Pflanzen greifen und nahezu vollständig mit der Wurzel durch Zug roden. Das Verfahren wurde von der LFT zum Patent eingereicht und unter der Nr. EP 3 295 785 B1 erteilt. Das Mähgut verursacht derzeit hohe Kosten in der Entsorgung. Die Verwertung z.B. in Biogasanlagen ist derzeit nicht möglich, da der Wasseranteil zu hoch ist. Daher lag der Gedanke nahe das Mähgut bereits vor Ort zu entwässern (ebenfalls mittels zweier gegenläufiger Rollen aber mit deutlich erhöhtem Druck). Durch die Entsorgung des Presswassers in die lokale Kanalisation könnten so die Transportkosten deutlich gesenkt werden. Zudem könnte das entwässerte und zerkleinerte Mähgut, dann in der Biogaserzeugung eingesetzt werden.

Im Vergleich zur aktuellen Mähtechnik kann bereits früh in der Wachstumsperiode mit der Rodung durch den Rollenpflücker begonnen werden, da ein bodennahes Pflücken durch die höhenvariable Rolleneinheit im Vergleich zu einem Mähwerk möglich sein sollte. Die Rodungsvorgänge müssten hiermit deutlich seltener durchgeführt werden (1-2 x/ a) im Gegensatz zum Mähen (3-4 x/ a). Der Rollenpflücker-Rodungsprozess ist somit nachhaltiger und umweltfreundlicher als das Mähen, da man durch die selteneren Einsätze Energie und Personal einspart und insbesondere die Anzahl der Eingriffe in das Ökosystem See deutlich verringert. Hierdurch könnten auch in Gewässern ohne hohe wirtschaftliche Nutzung, pflegende Maßnahmen zur Reduzierung invasiver Wasserpflanzen überhaupt erst ermöglicht werden.

Während des Projektes wurde ein mehrjähriges Monitoring-Programm der Wasser- und Sedimentphasen vom ISA der RWTH Aachen durchgeführt. Die Wiederbewuchsrate wurde vergleichend photographisch dokumentiert. Durch Untersuchungen zur Verwertung der Biomasse und Qualität der Pressabwasserströme sollten Verwertungs- und Entsorgungspotentiale (z.B. Biogaserzeugung aus der Biomasse, Entsorgung der Abwasserströme im kommunalen Abwassernetz) aufgezeigt werden.

### 3. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Basierend auf Vorversuchen wurden die Konstruktionsunterlagen (3-D Modelle und Fertigungszeichnungen) für den ersten Prototyp eines Rollenpflückers erstellt (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** 3-D Modell der Gesamtanlage (ohne Aufbauten) [LFT]

Der Rollenpflücker besteht aus je drei Fertigrumpfeinheiten die in der Mitte Platz für die Aufnahme der Transportbehälter haben (Abbildung 3). Um den Einsatz in Wasserschutzgebieten ohne Probleme zu ermöglichen, wird die Plattform von insgesamt sechs Elektromotoren angetrieben. Vier Stück für den Vortrieb und jeweils zwei Querstahlantriebe für das aktive Manövrieren. Der notwendige Strom wird durch ein Flüssiggas betriebenes Stromerzeugungsaggregat erzeugt. Eine Gewässerverunreinigung durch Treibstoff ist somit ausgeschlossen. Auch wurde aus Gründen des Gewässerschutzes auf den Einsatz von Hydraulik verzichtet. Aus Kostengründen wurde beim Prototypen lediglich eine Antriebsleistung von 5 kW vorgesehen. Diese ist bei normalen Wind- und Strömungsverhältnissen zur Erprobung des Verfahrens ausreichend. Für einen zügigen wirtschaftlichen Betrieb wäre eine Erhöhung der Antriebsleistung jedoch sinnvoll.

Die bootsinterne Steuerung versorgt die Antriebs- und die Fördermotoren sowohl mit 24V Gleichstrom als auch mit 400V Drehstrom, je nach Anwendungsfall und ist in beiden Fällen stufenlos regelbar.



**Abbildung 3:** Prototyp des Rollenpflückers beim Testeinsatz im Sommer 2018 [LFT]

Das Förderband ist ein geschlossenes Kettenband mit einer Testlänge von 3 m. Dieses Band ist bis zu 45 Grad absenkbar und kann somit Pflanzen aus bis zu 1,8 m Tiefe entfernen. Grundsätzlich sind auch längere Förderbänder denkbar, um die bis in 5 m Edelstahlketten laufen; an denen Harken angebracht sind, die die Wasserpflanzen greifen. Angetrieben wird das Band von einem 1,5 kW 400 V Frequenz gesteuerten Industriemotor der Schutzklasse IP 67.

Das Förderband ist mit einer Verkleidung aus PVC-U (Trinkwasserqualität) unten und an den Seiten versehen, sowie mit einer Abdeckung aus Acrylglas von oben, um den Transportprozess einsehen zu können. Im vorderen Bereich befindet sich eine passive Zufuhreinrichtung, um das Mähgut von der Mähbreite 1,8 m zur Förderbreite von 80 cm reduzieren zu können. Die Seitenteile sind zu Wartungszwecken abnehmbar.

Das Förderband ist gelenkig mit dem Bootsrumf verbunden und kann im Transportfall durch die Entfernung von zwei Bolzen demontiert werden. Der Auftrieb des Förderbandes und der Pflückerinheit wird durch zwei Fertigrumpfeinheiten an der Seite des Bandes gewährleistet. Von dort aus kann das Band dann mittels einer Winde auf Arbeitshöhe abgelassen werden.

Die Rollenpflückerinheit besteht aus zwei gegenläufigen Rollen aus Edelstahl. Diese sind aus Gewichtsgründen hohl gestaltet und werden mit einstellbaren Federn gegeneinandergedrückt. Angetrieben wird nur eine Rolle. Der elektrische Motor befindet sich oberhalb der Wasserlinie und die Leistung wird mittels einer Transmissionswelle und einem Kettenantrieb auf die Rolle übertragen.

Eine Beschichtung der Rollen mit einer 5 mm Gummischicht, die mit Spezialkleber und Nieten auf der Rolle angebracht worden ist, soll den Griff der Rollen verstärken und den Anpressdruck gleichmäßig verteilen.

Der Winkel der Rolleneinheit ist ebenfalls einstellbar, sodass eine Ausrichtung in Wuchsrichtung der Pflanzen möglich ist. Beim Prototypen erfolgt dies noch manuell, für den Dauerbetrieb wäre eine Automatisierung sinnvoll.

Das geförderte Mähgut wird zwischen den beiden Rümpfen in Schwimmcontainern gesammelt. Diese können abtransportiert werden, während das Mähboot weiterarbeitet. Das Mähgut wird dabei in schwimmenden wasserdurchlässigen Säcken aufbewahrt. Das Mähgut befindet sich während des Transports unterhalb der Wasserlinie und die Container können zu zugähnlichen Einheiten zusammengekoppelt werden und mit jedem beliebigen Wasserfahrzeug in Richtung Ufer transportiert werden. Hierdurch ist eine Verdoppelung der Einsatzzeiten des Mähbootes möglich; eine Vorgehensweise, die auch für konventionelle Mähboote eine Option darstellt.

In der zweiten Mähseason (2019) wurde ein Greifer zum Einsatz gebracht, der die Pflanzen den Rollen aktiv zuführt. Die Zufuhr der Pflanzen sollte hierdurch optimiert werden und es sollte ermöglicht werden, dass die Pflanzen geerntet werden können, bevor sie die Wasseroberfläche erreichen. Zudem sollte das Ausreißen der Wurzel in eher lehmigen Untergründen erleichtert werden.

Die Entwicklung des Prototypen des Rollenpflückers begann mit Projektstart im September 2017. Die Fertigung des Rollenpflückers erfolgte dann in der ersten Jahreshälfte 2018 bevor dann Erprobungsfahrten im Sommer 2018 am Unterbacher See (technische Erprobung und Funktionstest) durchgeführt werden konnten. Im Spätsommer 2018 konnten dann erste Erprobungsfahrten in ergiebigen Elodeafeldern am Baldeneysee und am Hiltruper See durchgeführt werden. In 2019 fanden weitere Fahrten in Münster statt. Am Baldeneysee in Essen wurde der Rollenpflücker ebenfalls im Rahmen von Vergleichstest des Ruhrverbands eingesetzt.

Einige Fahrten wurden wissenschaftlich vom ISA RWTH Aachen begleitet. Vor und nach dem Einsatz des Rollenpflückers wurde zu verschiedenen Jahreszeiten 7 Messkampagnen vom ISA untersucht und das Wachstum der Elodea mittels einer Flugdrohne dokumentiert. Wasserproben wurden mit einem Wasserprobennahmegerät nach Ruttner (Abbildung 17) und Sedimentproben mit einem Sedimentgreifer genommen. Im Messprogramm wurden PAK (Polyzyklisch Aromatische Kohlenwasserstoffe nach DIN 38407, Teil 39), PCB (Polychlorierte Biphenyle nach DIN 38407, Teil 37), verschiedenen Elemente (DIN EN ISO 11885), TOC/ TNb (DIN 19536/ DIN 19539 für Feststoffe; DIN EN 1484/ DIN EN 12260 für flüssige Proben) in Wasser und Sediment gemessen. Zusätzlich wurde für das Sediment noch die Korngröße bestimmt und in der Wasserphase der

AFS/AFS<sub>63</sub> (Hausmethode), Trübung (DIN EN 7027), Phosphat (DIN EN ISO 6878-7), Ammonium und verschiedenen Ionen (DIN ISO 15923-1) untersucht.

Zur Nachbehandlung (Entwässerung) des Mähguts wurde ein Rollenverdichter konzipiert (Abbildung 15). Dieser presst ebenfalls auf dem Prinzip zweier gegenläufiger, federnd gelagerter Rollen das Mähgut unter hohem Druck zusammen. Zur Ermittlung von Grundlagenparametern für die Nachbehandlung wurde ein klein skaliertes Versuchsmodell eines Rollenverdichters entworfen und gefertigt. 2019 wurden die grundsätzlichen Eigenschaften des Verfahrens untersucht. Die Anlage besitzt eine Breite von ca. 40 cm. Der Anpressdruck erfolgt mittels verstellbarer Federn. Die Rollen aus massivem Stahl mit 70 mm Durchmesser sowie die erzielbaren Kräfte entsprechen bereits einer Anlage, die potentiell kommerziell einsatzfähig ist. Durch eine Erhöhung der Rollenbreite und durch die der Antriebsleistung und damit der Pressgeschwindigkeit können dann die Ergebnisse der Untersuchung auf eine kommerzielle Anlage extrapoliert werden. Verfahrensparameter wurden erprobt und Versuche zur weiteren Nutzung bzw. Entsorgung des Pressgutes wurden durchgeführt und dokumentiert. Der Rollenverdichter wurde im Winter 2018/19 konstruiert und gefertigt. Ebenfalls in der Wintersaison 2018/19 wurde der Greifer zur optimierten Pflanzenzufuhr konstruiert und gefertigt und in das vorhandene Gerät integriert.

Für die Laborversuche mit dem Rollenverdichter wurde vorgezuchtete Elodea verwendet (Abbildung 4), welche aus einem Teich in Düren – Obermaubach geholt und in einen oben geöffneten IBC-Tank mit Belichtung, Sauerstoffpumpe und Heizelement in ein Sediment aus Sand und Kies gepflanzt wurden.

Zusätzlich wurden Elodeapflanzen aus dem Kemnader See in Bochum bezogen. Diese wurden für die zweite Versuchsreihe sowie die Gärversuche verwendet. Dazu wurden die Elodea mit einem Mähboot geerntet, in Transportgefäße umgefüllt und innerhalb von 1-2 Tagen mittels Rollenverdichter gepresst. Es ergab sich, dass die Wasserpflanzen am besten vom Rollenverdichter eingezogen werden konnten, wenn sie unverdichtet in den in den Zuführtrichter gegeben werden. Nach dem Pressen wurde die Masse auf einem 5 mm Lochsieb aufgefangen und in einer Box gesammelt. Das Presswasser wurde dabei unter dem Lochsieb gesammelt und analytisch charakterisiert. Bis zum Beginn der Analytik wurde das Pressgut in Kunststoffflaschen und das Presswasser in 2 L Glasflaschen kühl gelagert. Ein Teil der Elodea wurde ungepresst in den gleichen Gefäßen aufbewahrt. Vor jeder neuen Federeinstellung wurden Rollenverdichter sowie



Abbildung 4: Elodeazucht im Technikum des ISA [ISA]

Boxen, Sieb und Trichter mit Wasser gereinigt. Zur Ermittlung der zu entsorgenden Abwassermenge pro Kilogramm Feuchtmasse wurde für jede Federeinstellung 8 kg Elodea gepresst und die Presswassermenge gemessen. Darüber hinaus wurde für jede Pressung der Trockenrückstand der gepressten und ungespressten Elodea bestimmt und daraus die Wassergehaltsänderung ermittelt. Es wurden außerdem die Schüttdichte und die Transportdichte pro Federeinstellung des Rollenverdichters bestimmt.

Zur Charakterisierung des Presswassers wurden die Parameter mit Güteanforderungen in gemäß Entwässerungssatzung der Stadt Münster (EWS) und der Anhänge 1 und 51 der Abwasserverordnung (AbwV) untersucht. Dabei wurden im Presswasser der pH-Wert (DIN EN ISO 10523), die Summenparameter Absetzbare Stoffe (DIN EN 14702-1) sowie TOC/TNb/BSB<sub>5</sub>/CSB (DIN EN 1484/DIN EN 12260/DIN EN 1899-1/DIN ISO 15705), die Elemente (DIN EN ISO 17294) und Nährstoffe Nitrat, Nitrit, Ammonium, Phosphor, Sulfat (DIN ISO 15923-1, DIN EN ISO 6878) analysiert. Zusätzlich wurde noch Fluorid (DIN EN 10304-1) und Sulfid (DIN 38405-27) bestimmt.

Da eine Nutzung der Biomasse als Substrat für Biogasanlagen untersucht werden sollte, wurde die Biomasse auf folgende Parameter analysiert: Kohlenstoff und Stickstoff (DIN EN 15936/DIN EN 16169) sowie die Elemente nach Königswasseraufschluss (DIN EN ISO 17294/DIN EN ISO 11885). Zusätzlich wurde die Trockenmasse und der Glühverlust nach DIN 38409-2 bzw. DIN 38409-2: 1987-03 bestimmt.

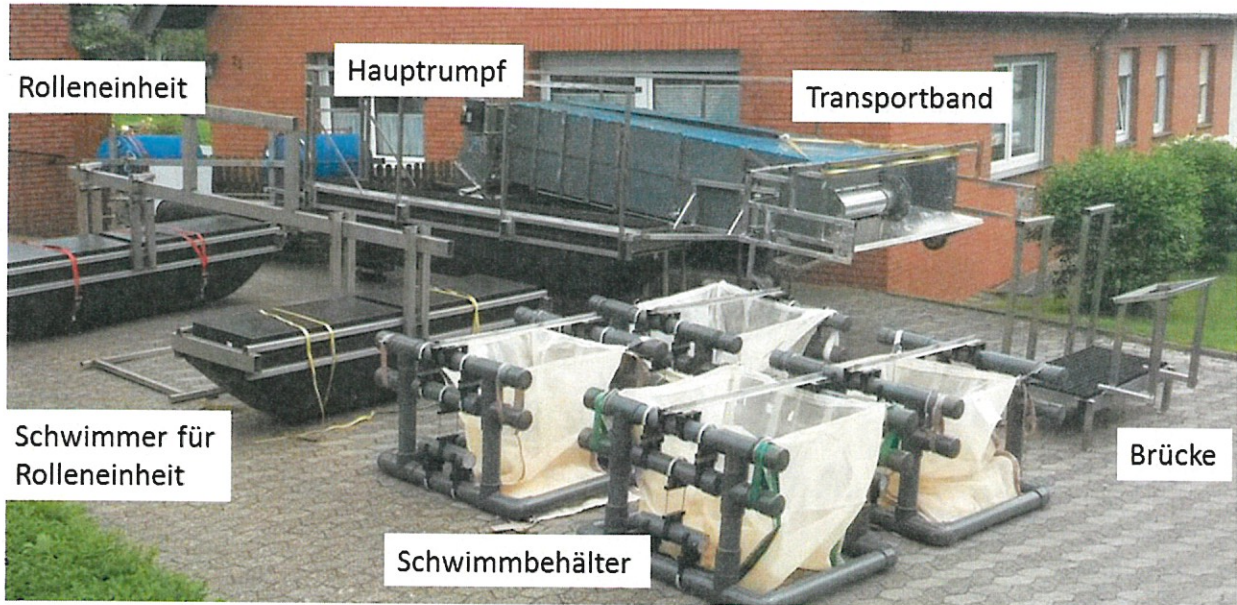
Mit der gepressten und ungespressten Elodea aus dem Kemnader See wurde der GB<sub>21</sub>-Gärtest nach DIN 38414-8 zur Faulgasbestimmung durchgeführt. Dabei wurde jeweils in drei Ansätzen parallel das in 21 Tagen entstehende Gasvolumen gemessen. Dazu kamen jeweils zwei Ansätze für den Impfschlamm und die Referenz. Um die Funktionstüchtigkeit des Testes nachzuweisen musste die Gasausbeute der Referenz mehr als 400 NL/kg (Normliter/Kilogramm) betragen. Vom Gasvolumen der Tests musste das Gasvolumen (Mittelwert) der Impfschlammansätze subtrahiert werden und in Normliter umgerechnet werden. Die Ergebnisse wurden dann auf die oTS (organische Trockensubstanz) und die FM (Frischmasse) bezogen. Im Ansatz 50 g Probe, 50 mL Impfschlamm wurde Abweichend von der DepV nicht mit Leitungswasser auf 300 mL aufgefüllt, stattdessen wurden 200 mL Leitungswasser hinzugegeben.

Die bei der Entsorgung anfallenden Kosten wurden aus Betreibersicht untersucht. Dabei wurden die Miete für den Rollenverdichter, Entsorgungsgebühren für das Presswasser, Transportkosten sowie Abnahmegebühren der Kompost- beziehungsweise Biogasanlage berücksichtigt. Die Kosten für den Rollenverdichter konnten lediglich schätzungsweise angegeben werden. Die Entsorgungskosten des Presswassers wurden anhand der Schadstoffbelastung ermittelt. Transportkosten und Kompostierungskosten wurden bei mehreren Anbietern in Nordrhein-Westfalen erfragt. Die Kosten für die Entsorgung per Biogasanlage wurden mit Hilfe des Fachverband Biogas e.V. erstellt.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### Arbeitspaket 1: Prototyp und Testfahrten

Die Endmontage des Rollenpflückers wurde am Unterbacher See durchgeführt (Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Hauptkomponenten vor dem Abtransport zum Unterbacher See [LFT]

Hierbei konnten auch erste Erfahrungen mit dem Transport des Rollenpflückers gesammelt werden. Dabei kam ein herkömmlicher Abschleppwagen oder LKW mit Kranausleger zum Einsatz, ein Transportmittel, welches fast überall zeitnah zur Verfügung steht. Die Schwimmbehälter wurden im späteren Verlauf nicht mehr eingesetzt, da die Säcke auch ohne Rahmen funktionierten. Das Auf- und Abladen gelang ohne Probleme (Abbildung 6). Für den Be- und Endladevorgang werden ca. 1,5 Stunden benötigt, sodass ein flexibler Einsatz ohne aufwendige Logistik wie bei anderen Mähbooten möglich war.



**Abbildung 6:** Auf- und Abladevorgang [LFT]

In Abbildung 7 sind Praxistests der Elodea-Schwimmbehälter mit Rohrstabilisatoren dargestellt. Es standen vier Schwimmbehälter mit verschiedenen großen Netzeinsätzen für die geplanten Pflückversuche zur Verfügung.



**Abbildung 7:** Impressionen des Praxistests der Schwimmbehälter [LFT]

Im Rahmen der durchgeführten Probefahrten konnten erste wichtige Erfahrungen in der Bedienung des Rollenpflückers gewonnen werden. Neben den üblichen Erfahrungen bei der Inbetriebnahme von Prototypen (Stillstandzeiten durch Probleme mit Kleinteilen), konnten auch schon Erfahrungen mit der Verpackung und dem Transport des Mähguts



gesammelt werden. Der Klappmechanismus für das hintere Querstrahlruder wurde vereinfacht, sodass dieser Antrieb mit einem Handgriff hochklappbar wurde.

Eine Art Greifer kann bei Bedarf vor den Rollen montiert werden. Hierdurch wird das Greifen der ersten Pflanze erleichtert und die Mähleistung kann erhöht werden.

Einige Details der Befestigung der Schwimmcontainer wurden in der Projektphase verbessert um das Nachladen der Pufferbehälter zu beschleunigen.

Nach Fertigstellung des Prototypen des Rollenpflückers konnten erste Demonstrations- und Erprobungsfahrten am Baldeneysee und am Hiltruper See durchgeführt werden. Anfänglich waren die Einsatzzeiten auch dort aufgrund mechanischen Start-Problemen noch begrenzt. Hierbei handelte aber im wesentlichen um Kleinigkeiten, wie lockere Schrauben, die jedoch die tatsächlichen Testzeiten begrenzt haben. In den noch zur Verfügung stehenden Einsatzzeiten konnte der Rollenpflücker jedoch zufriedenstellende Testmengen an Elodea fördern. In der Regel konnte man auch das Wurzelwerk, bzw. den Schlick im Mähgut erkennen.

Die Elodea wurdemeist gut gegriffen; weniger gut ließ sich das im Baldeneysee ebenfalls vorkommende Hornkraut oder das im Unterbacher See häufige Pfeilkraut greifen.

Auf Basis des geförderten Mähguts wurden nur wenig Beifang festgestellt, die durch den Rollenpflücker ebenfalls dem Ökosystem ungewollt entnommen wurden. In größerer Zahl wurden Schnecken gesichtet und es gab vereinzelte Sichtungen von Flusskrebsen.

In stark verkrauteten Gewässern, wie dem Hiltruper See war der Start des Bootes direkt im zugewachsenen Bereich schwierig. Zudem kam es zeitweise zu einer Art Zopfbildung von Wasserpflanzen vor den Rollen sodass die Pflanzen selber teilweise die Zufuhr von weiteren Pflanzen blockiert haben (Abbildung 8). Zwar lässt sich dieses Problem durch Vor- und Zurückfahren des Mähbootes reduzieren. Trotzdem wurde für die zweite Saison ein Greifer vor den Rollen installiert, um die Pflanzenzufuhr zu optimieren.



**Abbildung 8:** Zopfbildung vor dem Rollenpflücker [WDR Lokalzeit Münsterland]

Aus Kostengründen war die Antriebsleistung des Rollenpflückers auf 5 kW begrenzt. Diese Leistung stellte sich auch im Erprobungsbetrieb als relativ knapp für einen ausreichenden Vorschub heraus. Aufgrund des nicht vergleichbaren hydrodynamischen Widerstands des Rollenpflückers mit konventionellen Bootskörpern, konnte die erforderliche Leistung im Vorfeld nur grob abgeschätzt werden. Mit den bei den Erprobungsfahrten gewonnenen Erfahrungen sollte ein Mähboot auf Rollenpflückerbasis bei gleicher Größe mit einer Mindestleistung von ca. 50 kW ausgestattet werden, um eine hinreichende Mähgeschwindigkeit zu erreichen.

Die ersten Fahrversuche des Rollenpflückers wurden mit einer 5 mm Gummibeschichtung durchgeführt. Diese Beschichtung erwies sich im Rahmen der Erprobung als kaum vorteilhaft. Zum einen bewuchs die Rolle sehr schnell mit einer dünnen „Schleimschicht“ sodass der Vorteil der größeren Reibung durch das Gummi kaum zum Tragen kommen konnte. Eine Erhöhung des Anpressdrucks der Federn war einfacher und hatte den gleichen Effekt bezogen auf die erreichbaren Zugkräfte. Zudem wurden mehrfach Teile der Gummibeschichtung durch harte Fremdkörper abgelöst.

Als Folge dieser Beobachtung wurde schließlich die gesamte Gummibeschichtung entfernt. Stattdessen wurde nur eine Speziallackierung auf Basis eines Gummimetallklebers verwendet. Dieser sorgte im Gegensatz zum reinen Gummi für eine

raue Oberfläche und war unempfindlich gegenüber harten Gegenständen. Zudem stellt die direkte Beschichtung die potentiell kostengünstigere Alternative dar.

Sobald die Federkraft einen Minimalwert überstieg fingen die Rollen an die Pflanzen zu greifen. Eine weitere Erhöhung der Anpresskraft hatte dann kaum noch Einfluss auf den Mähprozess. Der Anstellwinkel sollte auf die Mähtiefe angepasst werden, so dass die Pflanzen in einem Winkel zur Wasseroberfläche von ca. 30 Grad gegriffen werden.

Die Funktion des Förderbandes war insgesamt zufriedenstellend. Das abgeschnittene Mähgut wurde zuverlässig nach oben transportiert. Gelegentlich haben feste Gegenstände den Zinken eines Harkenelements verbogen. Diese konnten jedoch mit einfachstem Bordwerkzeug schnell wieder repariert werden. Das Förderband ist stufenlos in der Geschwindigkeit regelbar und im Normalbetrieb waren Fördergeschwindigkeiten von 0,2 bis 1 m/s erforderlich. Die Antriebsleistung des Bandes war jederzeit ausreichend. Zu Beginn wurden einige Versuche mit Abstreifern unternommen um das Mähgut von den Harken möglichst vollständig zu entfernen. Diese Abstreifer erwiesen sich aber als störanfällig. Schließlich wurde auf Abstreifer ganz verzichtet mit erstaunlich guten Ergebnissen. Zwar wird so ein Teil der Mähgutes wieder zurück nach unten ins Wasser gefördert. Beim nächsten Rundlauf ist dann die Fördersektion mehr dichter gefüllt und das Mähgut fällt beim zweiten Mal von allein durch die Schwerkraft vom Band und landet in den Transportkörben. Im Gegensatz zum herkömmlichen Mähboot ist das Förderband oben und unten geschlossen. Das zunächst nicht abgeladene Mähgut fällt nicht wie bislang üblich zurück in das Gewässer, sondern wird einfach nur ein zweites Mal auf dem Band transportiert.

Das System der schwimmenden Netzkörbe hat sich als sehr hilfreich erwiesen. Allerdings sind die schwimmenden Netzsäcke mit einem Volumen von 1 m<sup>3</sup> bei einem dichten Gewässerbewuchs recht schnell innerhalb weniger Minuten gefüllt. Der Transport zum Ufer und die Bergung des Mähgutes ist ohne große Schwierigkeiten möglich.

Beim Prototypen gab es keine Alternative zu der Größe von 750 L bis 1.000 L, da auf am Markt verfügbare Netzbehälter zurückgegriffen werden musste. Die einzigen Transportsäcke, die wasserdurchlässig sind und eine Traglast von bis zu einer Tonne tragen können sind Lagersäcke für Feuerholz in der Forstindustrie.

Bei einer Weiterentwicklung des Rollenpflückers ist eine kundespezifische Fertigung größerer Behälter bei entsprechender Mindeststückzahl möglich. Bei kleinen Transportsäcken war der Transportrahmen sogar entbehrlich. Bei größeren Einheiten ab ca. 3 m<sup>3</sup> ist der Einsatz aber empfehlenswert.

Zur besseren Zufuhr des Mähgutes, insbesondere zur Vermeidung von Verzopfungen vor den Rollen, wurde ein Greifer entwickelt, der vor den Mährollen montiert werden kann (Abbildung 9 bis Abbildung 12). Bezüglich der Wurmbildung konnte der Greifer auch

seinen Zweck erfüllen und einen Stau von Wasserpflanzen vor den Rollen verhindern bzw. beenden. Die zweite Funktion, die Pflanzen unter Wasser besser zu greifen gelang indes nicht. Es konnte keine Erhöhung der Pflanzen mit Wurzeln im Mähgut festgestellt werden.

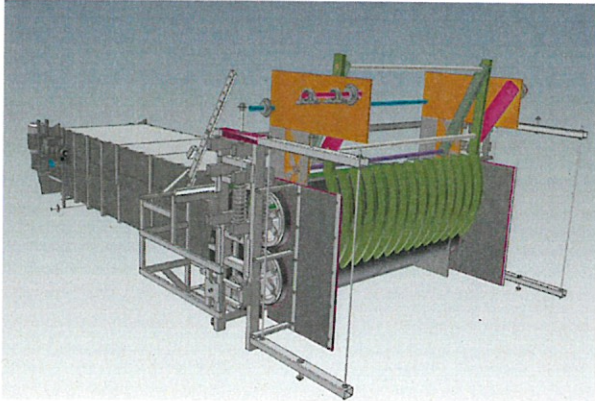


Abbildung 9: Vorentwurf des Greifers [LFT]

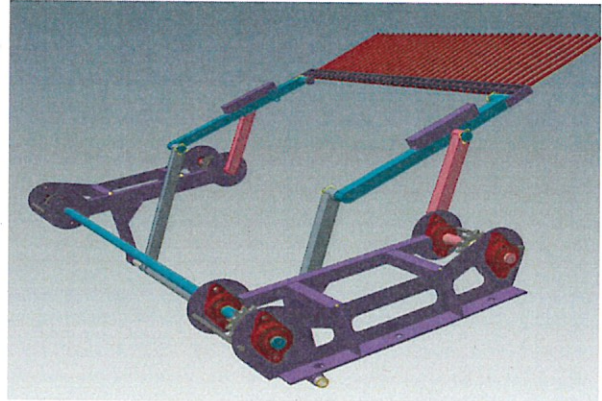


Abbildung 10: CAD Modell Greifer [LFT]

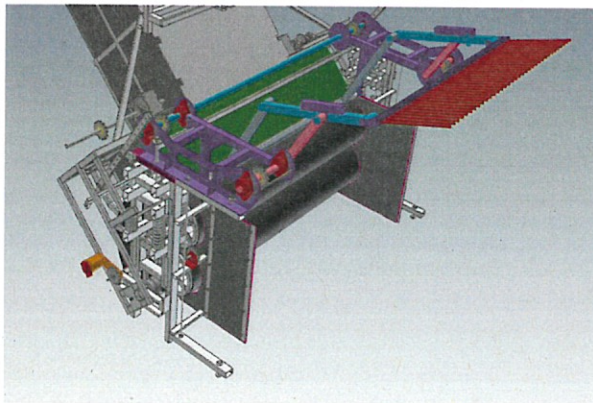


Abbildung 11: CAD Modell Greifer mit Rolleneinheit [LFT]



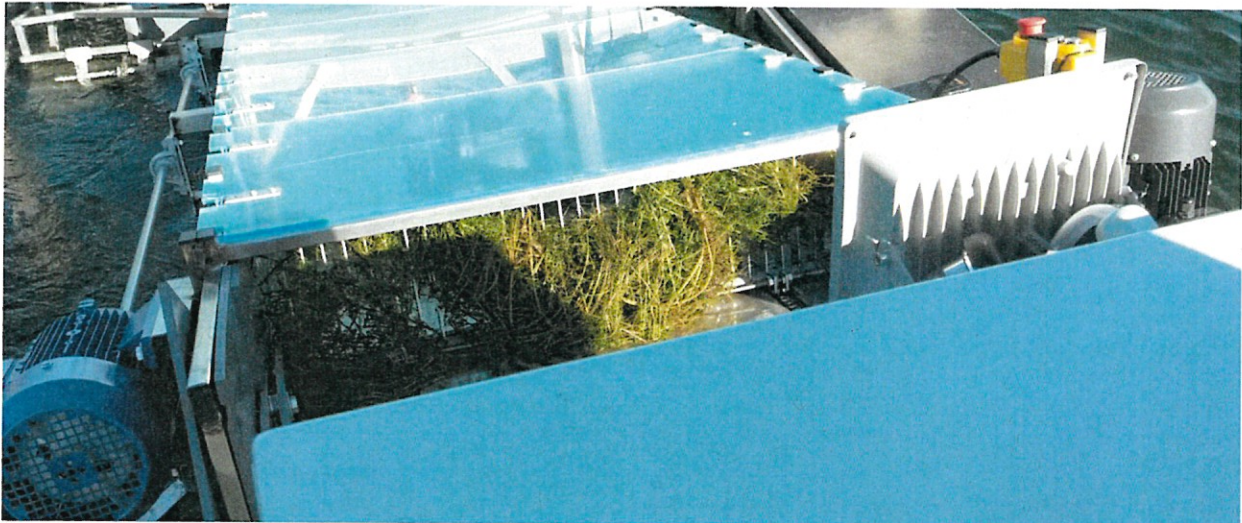
Abbildung 12: Fertiggestellter Greifer [LFT]

Das Verfahren des Rollenpflückens konnte erfolgreich in einem Prototypen umgesetzt und erprobt werden. Die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Verfahrens konnte nachgewiesen werden. Allerdings konnte die erhoffte größere Nachhaltigkeit des Pflückens gegenüber dem Mähen nicht erreicht werden. Entgegen den Erwartungen war der Anteil der Pflanzen, die komplett aus dem Boden entfernt werden konnten, eher gering.

Wir hatten erst im zweiten Jahr die Möglichkeit, die gemähten Felder unter Wasser begutachten zu können und bereits im Vorjahr befahrene Strecken ein zweites Mal befahren zu können. Bei der Zweitbefahrung waren leider nur wenig geringe Erntemengen gegenüber nicht gepflückten Strecken zu beobachten, sodass auf Basis

des derzeitigen Erkenntnisstandes das Rollenpflücken leider keinen signifikanten Vorteil gegenüber dem bereits etablierten Mähen erkennen ließ.

Zudem ist das zeitliche und lokale „Funktionsfenster“ des Rollenpflückens vergleichsweise klein. Ist der Gewässerboden zu lehmig oder anderweitig verfestigt, lassen sich nur sehr wenige Pflanzen mit Wurzel entfernen. Zusätzlich sind die Pflanzen zu Beginn der Saison noch wenig mechanisch belastbar und ebenfalls zum Ende der Saison, wenn diese plötzlich brüchig werden (Abbildung 13).



**Abbildung 13:** Abgerissenen und komplette Pflanzen auf dem Förderband [LFT]

Bezüglich des Transportes des Mähguts konnten einige Fortschritte gegenüber den etablierten Verfahren erreicht werden. Das absenkbare geschlossene Förderband und der Abtransport des Mähguts in Schwimmsäcken oder bei größeren Einheiten in offenen Schwimmcontainern hat sich bewährt und kann auch in die etablierten Mähverfahren potentiell integriert werden.

Im Rahmen der Analyse der Untersuchungsergebnisse gab es Überlegungen, das Verfahren weiter zu entwickeln. Zum Einsammeln bereits aus dem Untergrund gelöster Pflanzen eignet sich das Rollenkonzept durchaus. Aber das Freilegen der Wurzeln benötigt eine unterstützende Technologie.

So könnten Unterwasser-Hochdruckdüsen die Wurzeln der Elodea freispülen (das Verfahren wurde im Projekt Elodea II der Ruhrverbandes getestet, ein Abschlußbericht ist noch nicht erschienen) oder mechanische Harken könnten den Untergrund so lockern, dass die Pflanzen fast freischweben. Es müssten hierfür verschiedene Harkentypen getestet werden. Der Eingriff in die Unterwasserfauna wäre gegenüber dem Rollenpflücken wahrscheinlich deutlich erhöht und es wäre ebenfalls erforderlich, die Umweltauswirkungen der neuen Verfahren nochmals zu untersuchen.

## Arbeitspaket 2: Rollenverdichter samt Presswasser und Biomassenanalyse

Parallel zum Rollenpflücker wurden die Entwürfe für den Rollenverdichter erstellt (Abbildung 14). Der Rollenverdichter arbeitet mit Rollen aus Vollmaterial. Von der ursprünglich geplanten Variante mit einem Hydraulikzylinder und einem Blasenspeicher wurde Abstand genommen, da es gelungen ist mit Federelementen den notwendigen Anpressdruck bei gleichzeitiger Reaktion auf inkompressible Druckkörper zu realisieren. Zusätzlich wurde die Welle modular aufgebaut, um sie später potentiellen Kunden in diversen Größen anbieten zu können. Zur optimalen Zuführung der Elodea in die Rollen wurde eine klappbare Greifharke ergänzt.

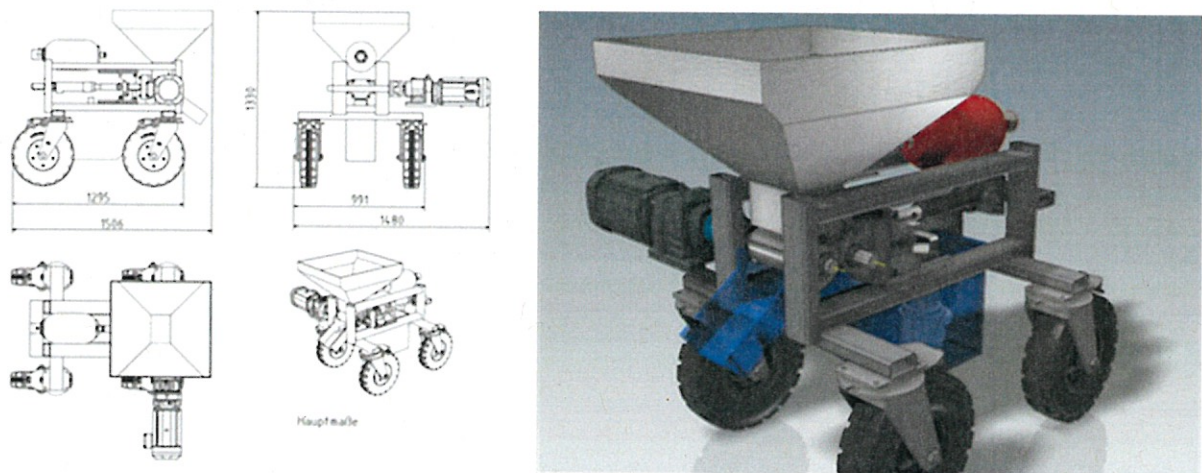
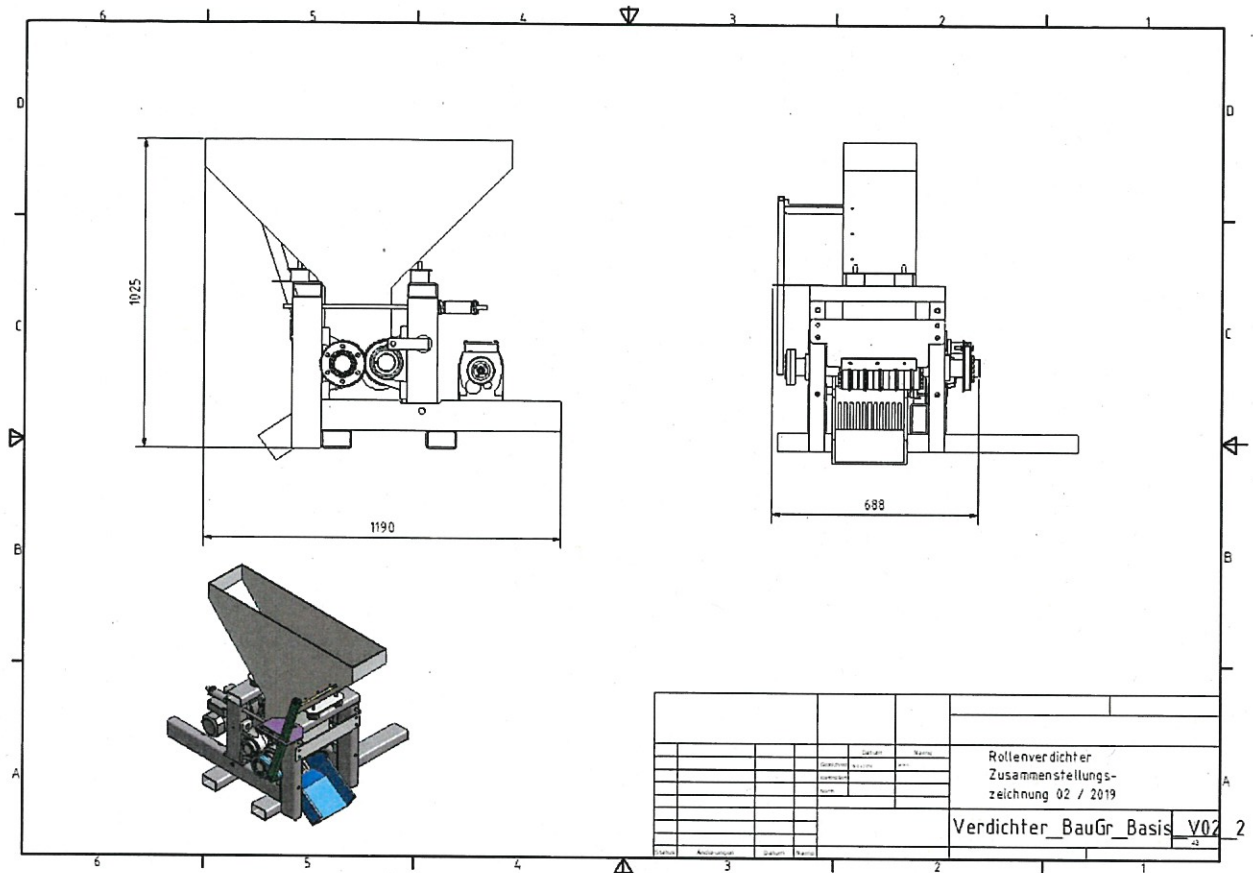


Abbildung 14: Entwürfe des Rollenverdichters (Version 2018) [LFT]



**Abbildung 15:** Zeichnung des Rollenverdichters mit modularen Rollen und Federkraftdruckerzeugung Laborversion (Version 2019) [LFT]

Das mechanische Verfahren des Rollenverdichten konnte erfolgreich umgesetzt werden. Die Wasserpflanzen wurden durch die Rollen gepresst und der Wassergehalt konnte gesenkt werden. Zu Beginn gab es Zufuhrprobleme, die durch einen aktiven Schieber reduziert werden sollten. Der Schieber zeigte jedoch nicht die gewünschte Wirkung. Schließlich ließ sich das Problem durch einen kurzen Richtungswechsel des Antriebs alle 20 Sekunden steuerungstechnisch lösen.

Beim Prototypen wurde das gepresste Mähgut allein durch ein Abtropfblech vom Wasser getrennt und enthielt noch vergleichsweise viel Flüssigkeit. Hier wäre eine zweite Entwässerungsstufe für die nun eher pastöse Masse, ähnlich wie bei der Papierherstellung zur Verbesserung des Wirkungsgrades ggf. sinnvoll.

Der Laborprozess lief mit einer schmalen Anlage mit einer sehr geringen Drehzahl. Hierdurch konnten die Produktionskosten für den Prototypen in vertretbarem Rahmen gehalten werden. Gleichzeitig waren die Kernparameter (Anpressdruck und Rollendurchmesser) schon entsprechend einer großtechnischen Anlage.

Begrenzt wäre die Leistungsfähigkeit einer Großanlage dann gegenüber der Laboranlage nur durch die verfügbare elektrische Leistung beim Endverbraucher. Hierbei sollten

20 kW bei 400 V nicht überschritten werden, da ansonsten zu häufig mit großen mobilen Stromversorgern gearbeitet werden müsste.

Gegenüber den Laborantrieben von 120 W ist somit eine Durchsatzerhöhung um den Faktor >150 möglich. Bei den Versuchen am ISA ergaben sich jedoch Probleme mit der Geruchsbelästigung des gepressten Mähguts und mit dem im Presssaft enthaltenen organischen Verbindungen.

Das Verfahren des Rollenverdichtens konnte als technisch machbar demonstriert werden. Allerdings stehen einer Weiterentwicklung (Kapazitätserhöhung, zweite Entwässerungsstufe) derzeit zwei grundsätzliche Überlegungen entgegen:

Aufgrund der derzeitigen Rechtslage ist die Einleitung des Presswassers in die lokale Kanalisation ohne Sondergenehmigung nicht möglich. Würde man das Presswasser separat abfahren, wären die wirtschaftlichen Vorteile des Verdichtens weitestgehend wieder verloren.

Das Mähgut neigt nach dem Pressen sehr schnell zur Geruchsentwicklung. Hier müssten noch grundlegende Überlegungen zum Verfahren durchgeführt werden oder ein unmittelbarer Abtransport nach Pressung müsste garantiert sein.

Am ISA wurden die stofflich-energetischen Verwertungsmöglichkeit für Wasserpflanzenabfälle, inklusive Abtransport des anfallenden Mähgutes untersucht. Dabei wurden die Abfälle jeweils ungepresst und mithilfe des Rollenverdichters gepresst analysiert und verglichen, wobei vier verschiedene Federlängen von 105 (starker Anpressdruck), 115, 125 und 135 mm (weniger starker Anpressdruck) genutzt und das Mähgut so unterschiedlich stark gepresst wurde. Durch das Auspressen sollte der Wasseranteil an der Feuchtmasse verringert und so die Transport- und Entsorgungskosten gesenkt, beziehungsweise das Pressgut an die jeweiligen Anforderungen angepasst werden (Abbildung 16). Als Entsorgungsbeispiele wurden dabei die Kompostierung und Zuführung als Substrat einer Biogasanlage betrachtet. Die Kompostierung war u.a. am Hiltruper See oder Ruhrsee der bisherige Verwertungsweg der Wasserpflanzen. Nach Recherchen und Interviews mit Kompostierungsanbietern hat der Wassergehalt des Mähguts jedoch keinen relevanten Einfluss auf die Weiterverarbeitung, da dieses nur einen geringen prozentualen Anteil an der Gesamtmasse der ganzen Kompostanlage hätte.





**Abbildung 16:** Presswasser aus Versuchen mit dem Rollenverdichter [ISA]

Anders verhält es sich bei der Biogasherstellung. Der Wasseranteil sollte hierbei auf das jeweilige Verfahren abgestimmt werden. Wedwitschka et al. (2017) zufolge ist der Methanertrag der Elodea-Silage pro Tonne organischer Trockensubstanz (oTS) vergleichbar mit dem von Mais-Silage, wodurch die Elodea als potentiell geeignetes Substrat wäre. Da Betreiber von NawaRo-Biogasanlagen durch den Einsatz von Elodea potentiell staatliche Förderung für den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen verlieren könnten und eine Zulassung als Substrat zeit- und kostenintensiv ist sind sie der Elodea-Verwertung eher abgeneigt.

Unabhängig von der weiteren Verwendung würde bei Einsatz des Rollenverdichters eine tägliche Leihgebühr anfallen, sofern das Gerät nicht gekauft würde. Das Presswasser des Rollenverdichters wurde einer chemischen Analyse unterzogen, wobei sich herausstellte, dass die Grenzwerte der Abwasserverordnung (Anhang 1 und Anhang 51) bzw. der kommunalen Kanalanschlusssatzungen bei mehreren Parametern, darunter Phosphor und Ammonium, überschritten wurden (Anhang: Abbildung 35, Abbildung 36, Abbildung 37). Darüber hinaus wurden die Grenzwerte für die chemische- und biologische Sauerstoffzehrung bei weitem überschritten. Aufgrund dessen ist eine Einleitung in das öffentliche Kanalnetz oder eine Rückführung in das Gewässer ausgeschlossen. Das Presswasser müsste von einem Entsorgungsunternehmen entsorgt werden, was zu weiteren Kosten führen würde. Das Pressen der Elodea konnte ebenfalls nicht zu einer Verringerung der Transportkosten beitragen, da die Abrollcontainer meist unabhängig von der Größe einen Pauschalpreis von 120 €/Container haben. Die Füllmenge darf dabei maximal 10 t betragen, wodurch im Versuchsdurchlauf jeweils zwei Container pro Tag benötigt wurden. Die errechneten Kosten wurden in Tabelle 1 zusammengefasst.

**Tabelle 1: Gesamtkosten (Vergleich ohne und mit Rollenverdichter)**

Rollenpflücker vorgeschaltet	-	+	+	+	+
Entwässerungsmodus [Federspannung]	-	135 mm	125 mm	115 mm	105 mm
Rollenverdichter	-	1.200,00 €	1.200,00 €	1.200,00 €	1.200,00 €
Abwasserentsorgung	-	292,03 €	357,31 €	505,04 €	535,96 €
Transport	240,00 €	240,00 €	240,00 €	240,00 €	240,00 €
Gebühren Kompost-/ Biogasanlage	947,76 €	847,06 €	824,55 €	773,61 €	762,95 €
<b>Gesamtkosten</b>	<b>1.187,76 €</b>	<b>2.579,09 €</b>	<b>2.621,86 €</b>	<b>2.718,65 €</b>	<b>2.738,91 €</b>

In dem zweiten gewählten Szenario wurden die Kosten für Miete beziehungsweise Kauf des Rollenverdichters vernachlässigt sowie von einer Einleitungserlaubnis des Presswassers in die Kanalisation ausgegangen. Trotzdem ergab sich ein maximaler Kostenvorteil von unter 40 €. Der Rollenverdichter senkt demnach nicht die Entsorgungskosten, sondern kann diese potentiell verdoppeln.

### Arbeitspaket 3: Bewirtschaftung des Hiltruper Sees & Monitoring

Im Rahmen des Projektes wurden am ISA ein Wasserprobennehmer (Abbildung 17) und eine Seccischeibe zur Bestimmung der Sichttiefe angeschafft. Beide Geräte wurden im Vorfeld getestet und bei den Probenahmen erfolgreich eingesetzt. Zudem wurde sich für eine Flugdrohne zur Erstellung von Luftaufnahmen der Seen entschieden.

Der Hiltruper See (seit 1914, Abbildung 18) in Münster ist ein künstlich angelegtes Gewässer, welches von einem Landschaftsschutzgebiet und Trinkwasserschutzgebiet (Hohe Ward) umschlossen ist. Der See hat eine Größe von 16 ha und eine maximale Wassertiefe von 4,5 m. Als Trinkwassergewinnung stellt dieser Ausgrabungssee eine große Bedeutung für die Stadtwerke Münster dar. Seit 1968 betreibt der Hiltruper Segelclub e.V. den See. Seit 1992 wird der See einmal jährlich im Spätsommer untersucht. Im Jahr 2012 wurde ein Ultraschallsender an



**Abbildung 17:** Probenahme in der Wassersäule [ISA]

einem Steg befestigt um den massenhaften Wuchs von Cyanobakterien entgegenzutreten. (Stadt Münster 2020)



Abbildung 18: Luftaufnahmen des Hiltruper Sees [2018, Stadt Münster]

Zu verschiedenen Jahreszeiten wurden an maximal 4 Stellen Wasser- und Sedimentproben am Hiltruper See entnommen (Tabelle 2, Abbildung 19). Aufgrund eines Defektes des Sedimentgreifers, konnten im Mai 2018 keine Sedimentproben entnommen werden. Zum Teil konnten Stellen nicht angefahren werden, da der Elodea-Bewuchs im Wasser kein Durchkommen ermöglichte. Der Rollenpflücker hatte aufgrund des enormen Wuchses deutliche Probleme bei der Fahrt. Selbst mit dem Ruderboot war es ein Kraftaufwand durch die Pflanzen zu rudern, da die Ruder immer feststeckten. Auch die Probenahmen (Wasserphase und Sediment) waren dadurch erschwert, da die Pflanzen die Gerätschaften blockierten. Alle Analyseergebnisse sind detailliert in Anlage 8. b tabellarisch aufgeführt.

**Tabelle 2: Probenahmen am Hiltruper See**

Probenahmen im Hiltruper See					
2018		2019			2020
Mai	September	Februar	September	Oktober	Februar

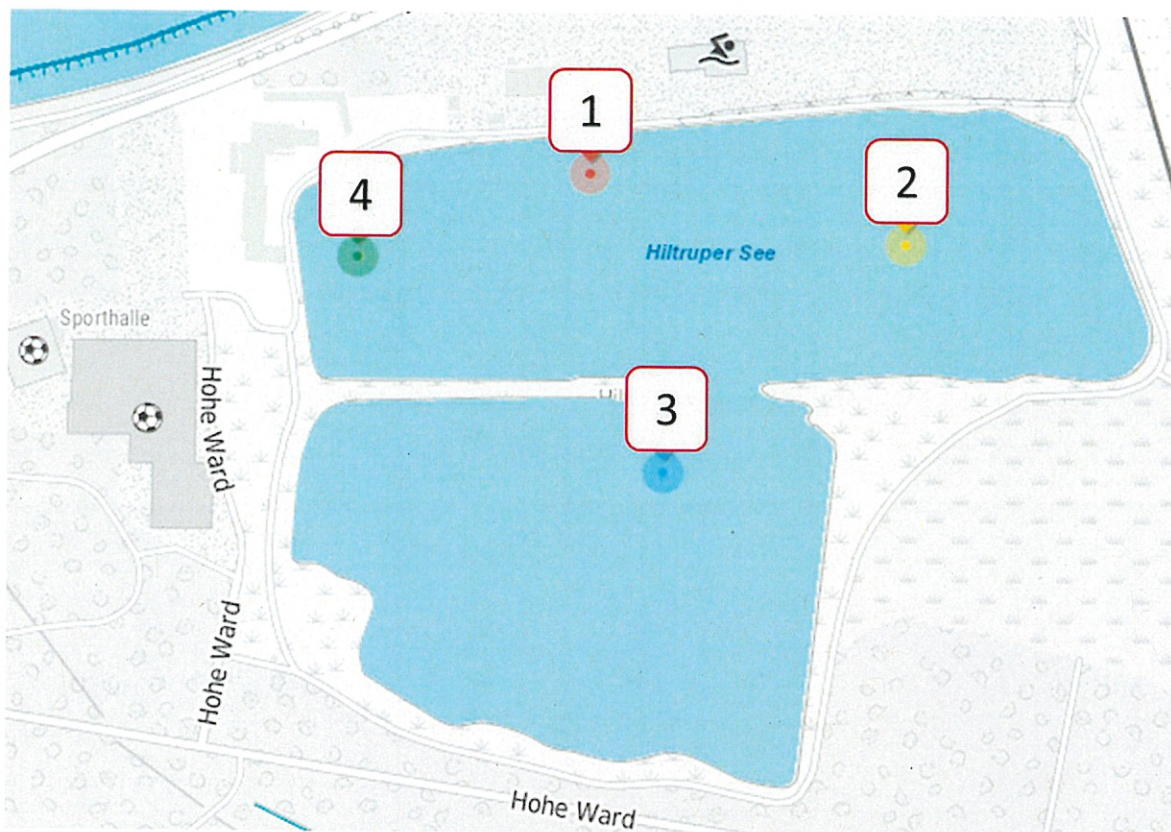


Abbildung 19: Probenahmestellen am Hiltruper See in Münster [ELWAS-WEB]

Die Probenahmestellen wurden im See verteilt festgelegt (Abbildung 19). Stelle 3 sollte als Referenz dienen, da diese Stelle im hinteren Bereich liegt und dort seit Jahren kein Segelboot oder Ruderboot mehr gefahren ist.

Die erste Erprobung des Rollenpflückverfahrens kam dabei zu dem Ergebnis, dass der Anteil der Wasserpflanzen, die mit Wurzel entfernt werden konnten zu gering ist, um eine signifikante Verlangsamung des erneuten Wachstums gegenüber dem herkömmlichen Mähverfahren zu erzielen. Zur Effizienzsteigerung wurde im zweiten Jahr ein Greifer eingesetzt, der die Pflanzen vom Boden wegkratzt bevor diese durch die Rollen endgültig entfernt wurden. Die Pflanzen wurden zwar besser gegriffen; der Wurzelanteil, der für die Geschwindigkeit des Nachwachsens entscheidend ist, konnte hierdurch aber nicht deutlich erhöht werden.

Flüge mit der Drohne wurden von Land aus gestartet. Hier diente das Clubhaus des Hiltruper Segelclub e.V., welches direkt an Stelle 1 liegt, als Startpunkt. Mithilfe der Drohne konnte vor der Bootsfahrt ein Überblick des gesamten Sees gewonnen werden und das Wachstum der Wasserpflanzen fotografisch festgehalten werden. Leider sind die Bild- und Videoaufnahmen aufgrund der Spiegelung (ausgenommen Aufnahmen aus September 2018, Abbildung 23) nicht dazu geeignet eine Wiederbewuchsrate zu errechnen.

Durch die Korngrößenverteilung (Abbildung 20) zeigte sich, dass Probenahmestellen 1, 2 und 4 im Anteil der Grob- und Feinfraktion sehr ähnlich sind (Grob 0,20 mm – 2,00 mm; Fein < 0,02 mm – 0,125 mm). Probenahmestelle 3, welche sich im hinteren Teil des Sees befindet, weicht von den anderen Stellen deutlich ab. Die drei Stellen im vorderen See haben einen Grobfraktionsanteil von 31-36 % und entsprechend einen Feinanteil von 64-69 %. Stelle 3 hingegen eine Grobfraktion von 51 % und eine Feinfraktion von 49 %, folglich homogen auf die beiden Fraktionen verteilt. An allen Probenahmestellen machen die Fraktionen 0,20 mm und 0,125 mm den größten Anteil mit zusammen 70 % aus.

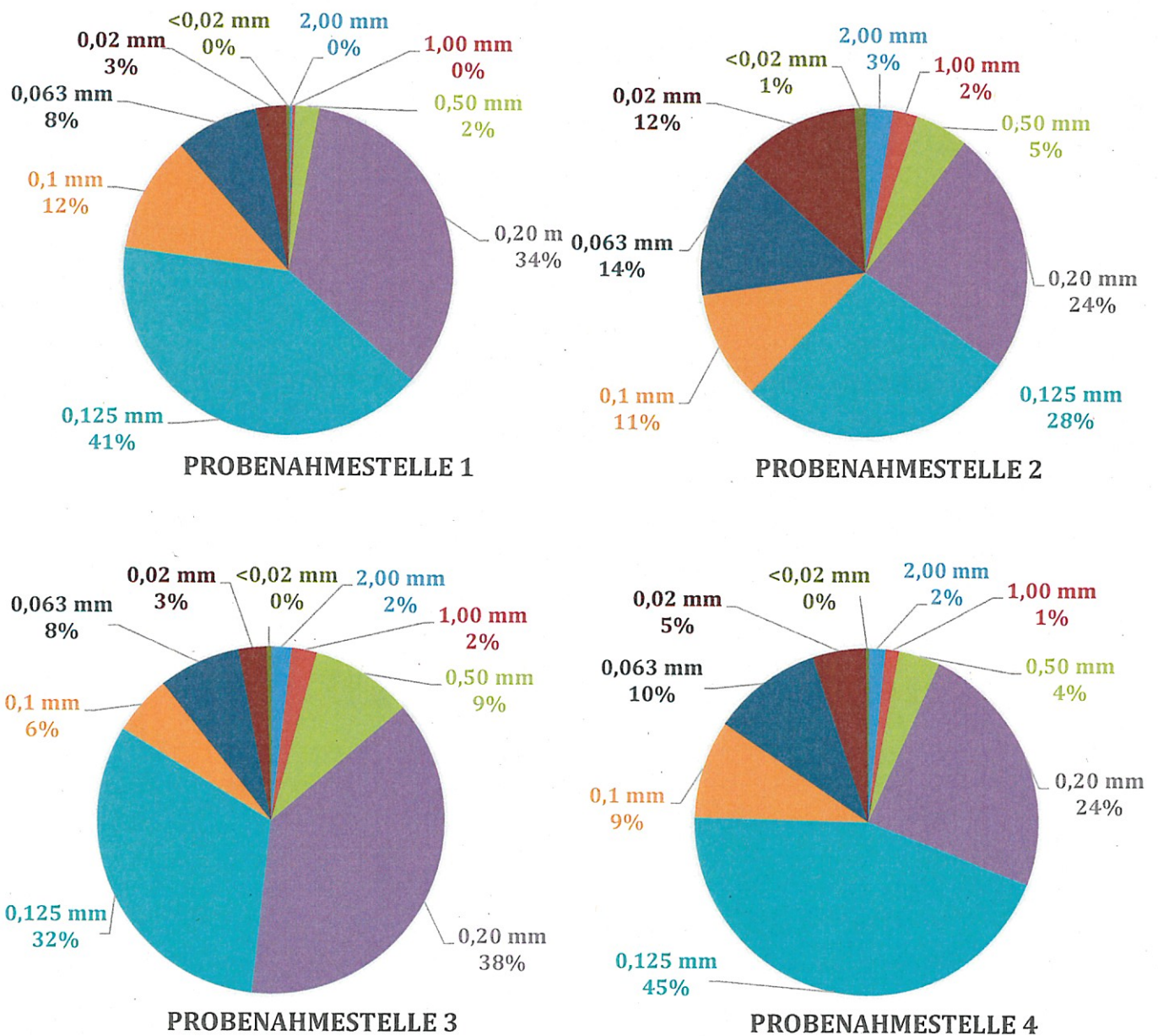


Abbildung 20: Korngrößenverteilung der Sedimente im Hiltruper See (Mittelwerte)

Im Vergleich vor und nach dem Pflücken, was die Korngröße betrifft, gab es deutlich Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Stellen 1 und 2. Bei Probenahmestelle 1 (Abbildung 21) lag das Verhältnis von groben zu feinen Fraktionen bei 26:74 %, nach dem Pflücken bei 61:39 %. Das Verhältnis hat sich demzufolge gedreht. Vor allem die Fraktion 0,20 mm hat sich von 22 auf 42 % erhöht und die Fraktion 2,00 mm um 12 % erhöht. Nach dem Pflücken waren folglich mehr größere Steinchen etc. auf dem Gewässerboden zu finden. Eine Ursache könnten abgesunkene Pflanzenteile sein, die in der Sedimentprobe nicht aussortiert werden konnten und so mitgemessen wurden. Feinsediment wurde nach dem Pflücken nicht aufgewirbelt.

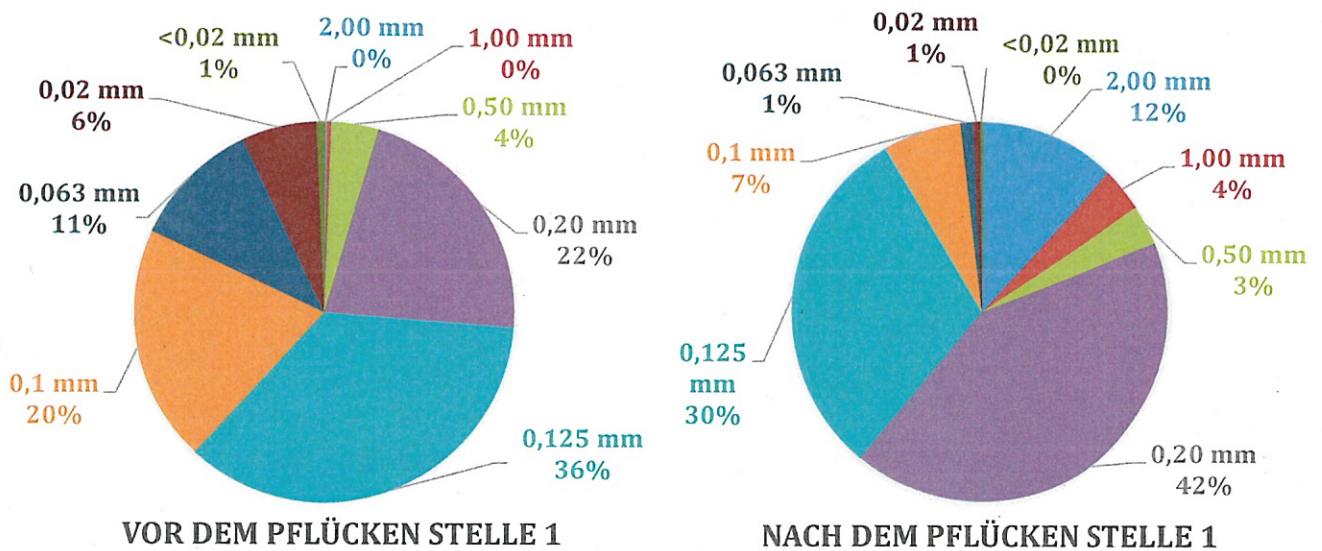


Abbildung 21: Korngrößenverteilung vor und nach dem Pflücken an Stelle 1

Bei Probenahmestelle 2 zeigte sich ein anderes Bild (Abbildung 22). Das Verhältnis lag vor dem Pflücken bei 18:84 % der Grob- zu Feinfraktion. Nach dem Pflücken zeigte sich eine ähnliche Verteilung von 14:86 %. Verändert haben sich deutlich die Fraktionen 0,125 mm, welche von 26 % auf 48 % gestiegen ist und die Fraktion 0,02 mm, die von

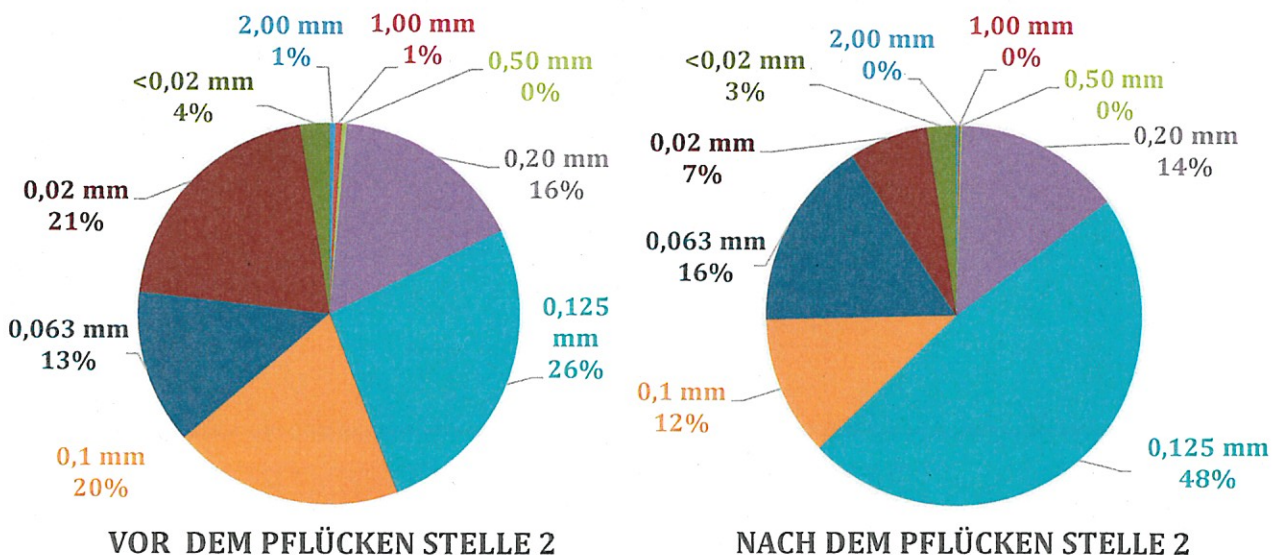


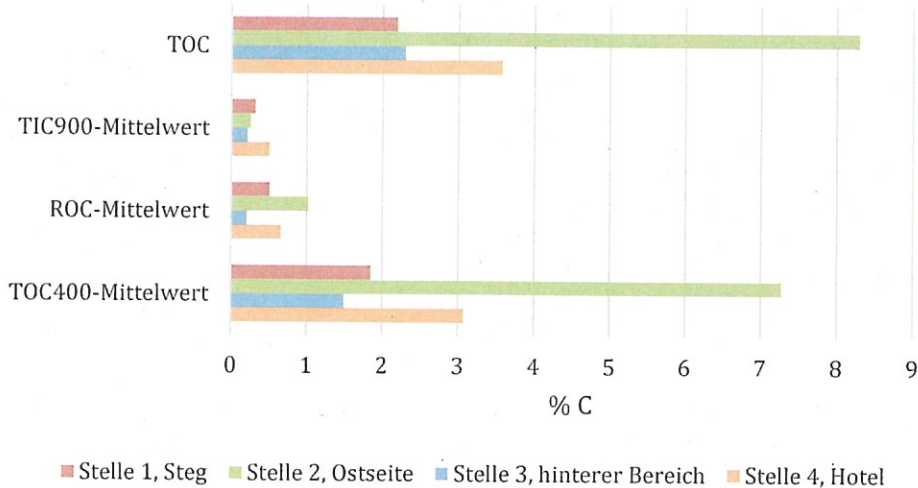
Abbildung 22: Korngrößenverteilung vor und nach dem Pflücken an Stelle 2

21 % auf 7 % gesunken ist. Eventuell hat der Pflückvorgang nicht richtig funktioniert. Aufgrund des enormen Elodea- Bewuchses war es schwierig mit dem Boot zur Stelle zu kommen (Abbildung 23). Der Rollenpflücker hatte Probleme die Menge zu fassen, es haben sich Zöpfe gebildet, so dass eine richtige Rodung nicht möglich war (Abbildung 8).



**Abbildung 23:** Vor dem Einsatz im September 2018 am Hiltruper See [ISA]

Zusätzlich zum Antrag wurde neben der TOC und TNb Bestimmung das TOC-Gradientenverfahren zur Charakterisierung der Kohlenstofffraktionen nach DIN 19539 im Seesediment durchgeführt (Abbildung 24). Der TOC400 beschreibt dabei die umweltrelevante Kohlenstofffraktion des organischen Kohlenstoffs. Der ROC (residual organic carbon) beinhaltet schwerer oxidierbare organische Kohlenstoffverbindungen wie zum Beispiel Kohlen oder Black Carbon. Letztere sind mittel und kurzfristig für biologische Umsetzungen weniger verfügbar. Im TIC900 sind alle Carbonate erfasst die sich bis 900°C thermisch zersetzen lassen. Der TOC umfasste bisher sowohl die leichter als auch die schwerer oxidierbare Kohlenstofffraktion in Böden und Sedimenten. Somit ist in erster Näherung der TOC gleich der Summe des TOC400 und des ROC. Für die Beurteilung der Umweltauswirkungen z.B. biologische Umsetzungen ist allerdings der TOC400 die relevante Messgröße.



**Abbildung 24:** Aufteilung der Kohlenstofffraktionen im Sediment (Mittelwerte)

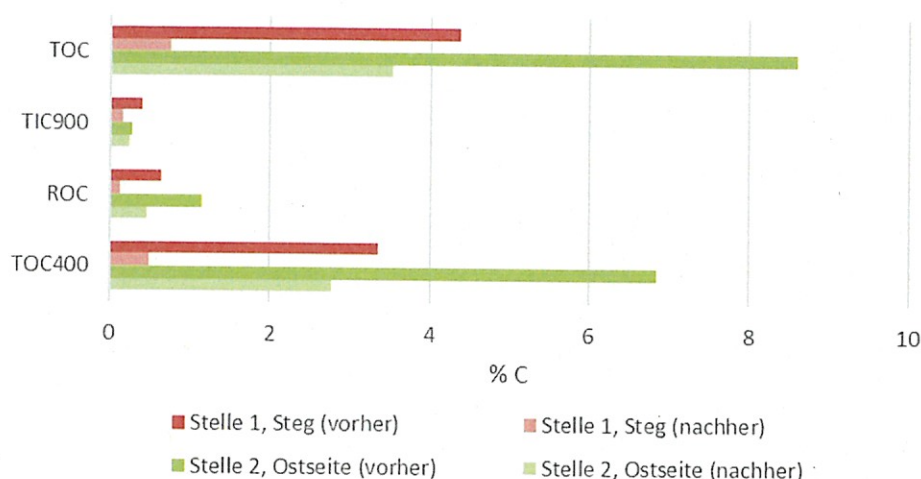
Insgesamt betrachtet weist der See einen niedrigen Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt auf. Eine Ausnahme bildet die Ostseite des Sees. Hier ist ein sehr hoher Anteil an Organik im Sediment enthalten. Der Bewuchs mit Elodea sank vom Steg (1), über die Ostseite (2), Hotel (4) bis zum hinteren Bereich (3). Da am Steg allerdings am meisten Elodea unterjährig für und durch die Seebenutzer entnommen wurde, sind hier die Gehalte an Organik im Sediment nicht mit der Bewuchsrate korrespondierend. Da der Untergrund überwiegend mineralischen Ursprungs ist, sind die TOC400 und TOC Gehalte auf absinkende und absterbende Biomasse in den Wintermonaten zurückzuführen.

**Tabelle 3:** Auswahl an Analyseergebnisse (Mittelwerte) der Sedimentuntersuchungen (ausführliche Tabelle unter 8.b)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente):			
	Stelle 1	Stelle 2	Stelle 3	Stelle 4
TOC [%C]	2,2	8,3	1,5	3,6
TNb [%N]	0,76	0,99	0,2	0,6
TC [%]	2,3	8,0	1,2	3,9
Mineralik [%]	97,75	91,45	98,64	96,23



Die Ergebnisse in Abbildung 25 zeigen, dass mit dem Pflücken der Elodea überwiegend die anhaftende Organik am Wurzelwerk mit aus dem Sediment entfernt wird. Für alle Kohlenstofffraktionen sinken die Gehalte an der Probe deutlich.



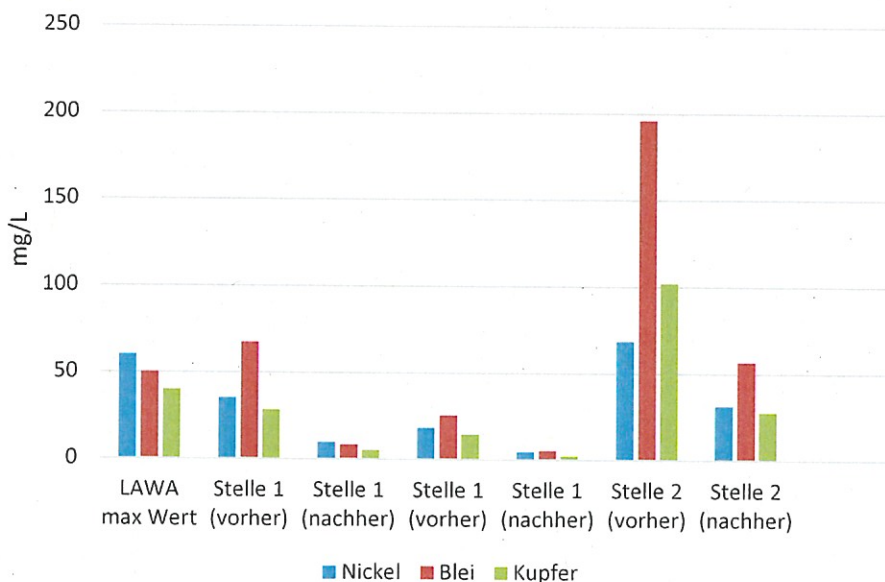
**Abbildung 25:** Aufteilung der Kohlenstofffraktionen vor und nach dem Pflücken (Stelle 1 n=2)

In Tabelle 4 sind exemplarisch an Stelle 1 die Vor-Ort-Parameter der verschiedenen Probenzeitpunkte aufgeführt. Sowohl die Werte im Februar als auch im September liegen jeweils in einem ähnlichen Bereich. Dies bedeutet, dass die Probenahmen zur gleichen Jahreszeit, jedoch in verschiedenen Jahren repräsentativ durchführbar sind. Durch die geringe Sichttiefe und die hohen Außentemperaturen im Frühling und Sommer lag auch die Wassertemperatur während der Probenahme (meist gegen die Mittagszeit) recht hoch. Laut Oberflächengewässerverordnung (OGewV) wird der See als künstlicher See deklariert und hat somit keine Referenzdaten. Im Vergleich zu den Daten zu norddeutschen Tiefland Seen liegen die gemessenen Werte innerhalb der Grenzen. Daten einer limnologischen Untersuchung von öKon GmbH im Jahr 2000 zeigen Anfang Juni Temperaturen von  $\approx 20,4$  °C auf. In dieser Untersuchung wurden ebenfalls die Leitfähigkeit ( $\approx 334$   $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) und der pH-Wert (etwa 8,87) bestimmt und eine Sichttiefe von 3,3 m festgestellt. Im Vergleich zu den erworbenen Daten im Projekt liegen die Werte in einem ähnlichen Bereich. Nasschemische Parameter (Ammonium, Nitrit, Nitrat, ortho-Phosphat, Phosphor) lagen bei allen Messungen unterhalb oder in der Nähe der Bestimmungsgrenze. Auch Chlorid, Fluorid und Brom waren unauffällig. Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) sind in nur geringer Konzentration in der Wasserphase im Hiltruper See enthalten. Da die meisten PAK, ausgenommen Pyren, nicht wasserlöslich sind, war dies zu erwarten. In den Sedimenten wurden PAKs in nicht auffälligen Konzentrationen gefunden. Auch Polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden nicht, bzw. zu sehr geringen Gehalten gefunden, sowohl in der Wasserphase als auch im Sediment (Anlage 8.b).

**Tabelle 4:** Jahreszeitlicher Vergleich der Vor-Ort-Parameter an Stelle 1

	Wassertemperatur °C	pH - Wert	Leitfähigkeit µS/cm	Sichttiefe m	Sauerstoff mg/L
Mai 2018	26,1	9,8	216	1,5	-
September 2018	17,5	-	-	1,5	-
Februar 2019	7,1	8,2	281	2,2	11,7
September 2019	20,4	8,3	240	0,5	6,69
Oktober 2019	13	7,5	233	1,7	8,13
Februar 2020	6	8,2	299	1,5	9,70

Im Vergleich mit den angegebenen Schwankungsbereichen für Schwermetallkonzentrationen unbelasteter Wässer und Sedimente der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) überschreiten alle Stellen die Werte zu verschiedenen Probenahmezeitpunkten. Auffällig vor allem das Sediment an Stelle 2, welche eine deutlich höhere Grundbelastung aufweist. Cadmium, Blei und Zink überschritten hier zu jedem Zeitpunkt deutlich die Grenzwerte. Quecksilber-Werte wurden zu keinem Zeitpunkt an keiner Stelle im Sediment überschritten. Ebenfalls auffällig war das Sediment an Stelle 3, da hier Grenzwerte zu keiner Zeit überschritten wurden. (Abbildung 26, Anlage 8.b) Aufgrund der Schwermetallergebnisse könnte darauf geschlossen werden, dass die Pflanzenwurzeln im Sediment bestimmte Metalle inkorporiert haben, wie zum Beispiel Blei, Nickel oder Kupfer und diese durch das Pflücken aus dem Sediment entfernt werden (Abbildung 26).



**Abbildung 26:** ausgewählte Schwermetalle im Sediment vor/nach dem Pflückvorgang (SB = Schwankungsbereich LAWA)

Die Sichttiefe hat sich nach dem Pflücken an beiden Stellen verbessert, was auf die Entnahme der Pflanzen und so einer besseren Sicht zu schließen ist. Der AFS und AFS<sub>fein</sub> Gehalt sank unerwarteter Weise nach dem Pflücken. Die Trübung ist entweder gesunken oder annähernd gleichgeblieben. Zum einen können aufgewirbelte Pflanzenreste nach dem Pflücken die Trübung verschlechtern, zum anderen sind durch den Wasserprobenehmer auch vor dem Pflücken Schwebstoffe, welche auf den Pflanzen abgelagert waren, aufgewirbelt worden. (Tabelle 5) Anhand der Elemente konnte kein großer Unterschied vor und nach dem Pflücken festgestellt werden (Anlage 8.b).

**Tabelle 5:** Vergleich einiger Parameter vor und nach dem Pflücken (Stelle 1, n=2; Stelle 2, n=1)

	Stelle 1 (vorher)	Stelle 1 (nachher)	Stelle 2 (vorher)	Stelle 2 (nachher)
Sichttiefe [m]	1,0	1,5	1,0	2,0
AFS [mg/L]	515	11	6,7	3,4
AFS <sub>fein</sub> [mg/L]	98	3,3	4,8	< 1,7
Trübung	6,51	4,8	2,8	3,8

Aufgrund der Untersuchungen lässt sich schließen, dass der Hiltruper See eine gewisse Inhomogenität und Varianz an den verschiedenen Stellen aufweist, welche in einem See auch zu erwarten waren. Stelle 3 hingegen war doch sehr deutlich von den anderen Stellen zu unterscheiden, so dass diese nicht als Referenzstelle verwendet werden konnte. Möglicherweise ist die Varianz aufgrund der im hinteren Bereich des Sees nicht vorhandenen Befahrung jedoch einer Vielzahl von Wasservögeln im Vergleich zum vorderen See zu erklären. An Stelle 1 ist im Vergleich zu den anderen Stellen zu beachten, dass hier die meiste Wasserbewegung (da direkt am Steg) und somit Befahrung stattfindet. Zusätzlich ist hier eine Ultraschallsonde angebracht, welche ebenfalls Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse haben kann.

Die Wurzeln der Elodea sind fein und dringen nicht tief ins Sediment, somit findet durch den Ruppvorgang kein Aufwirbeln von Schadstoffen und keine Remobilisierung in die Wasserphase statt. Eventuell wird durch das Aufwirbeln der Schwebstoffe auf den Pflanzen, welches sich im Anschluß absetzt, frisches Sediment gebildet. Auch wenn Werte der Oberflächengewässerverordnung zum Teil überschritten werden, wird die Problematik durch das Roden nicht verschlimmert. Der Rollenpflückvorgang stellt demnach kein umwelttechnisches Problem dar.

## Arbeitspaket 4: Biomassenverwertung (Gärtests)

Für den Rollenverdichter wurde u.a. eine Zucht mit Elodea angelegt, um für Laborversuche genügend und geeignetes Pflanzenmaterial zur Verfügung zu haben und damit jahreszeitenunabhängig zu sein. Die Effektivität des Rollenverdichters und der Presswasserqualität wurde untersucht (AP 2), sowie die Biomassenverwertungsmöglichkeit mittels Labor-GB<sub>21</sub>-Gärtests (DIN 38414-8). Die Zusammenstellung der rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für Abwasser- und Biomassenentsorgung erfolgte am Beispiel der Stadt Münster, um die Ergebnisse am Hiltruper See einordnen zu können.

Die Biogasausbeute der Elodea liegt laut Zehnsdorf und Moeller (2018) bei 406 ( $\pm 15$ ) Normliter (NL) pro kg oTS. Zum Vergleich wurde ein GB<sub>21</sub>-Gärtest mit Elodea aus dem Kemnader See (Stadt Münster) durchgeführt. Dabei wurde über 21 Tage das entstehende Gasvolumen der ungepressten sowie mit den vier Federeinstellungen des Rollenverdichters gepressten Elodea gemessen. Zusätzlich gab es zwei Ansätze für den Impfschlamm (ausgefaulter Schlamm, der durch regelmäßige Zugabe geringer Mengen Rohschlamm biologisch aktiv gehalten wird) und die Referenz (mikrokristalline Cellulose). Die Anwendbarkeit bzw. Gültigkeit des Tests gilt als eingehalten sobald die Referenz mehr als 400 NI/kg produziert. Es wurden im Mittel jedoch nur 100,12 NL/kg in der Referenz produziert, wodurch die Ergebnisse als nicht valide eingestuft werden. Die Versuchsergebnisse sind in Abbildung 27 dargestellt.

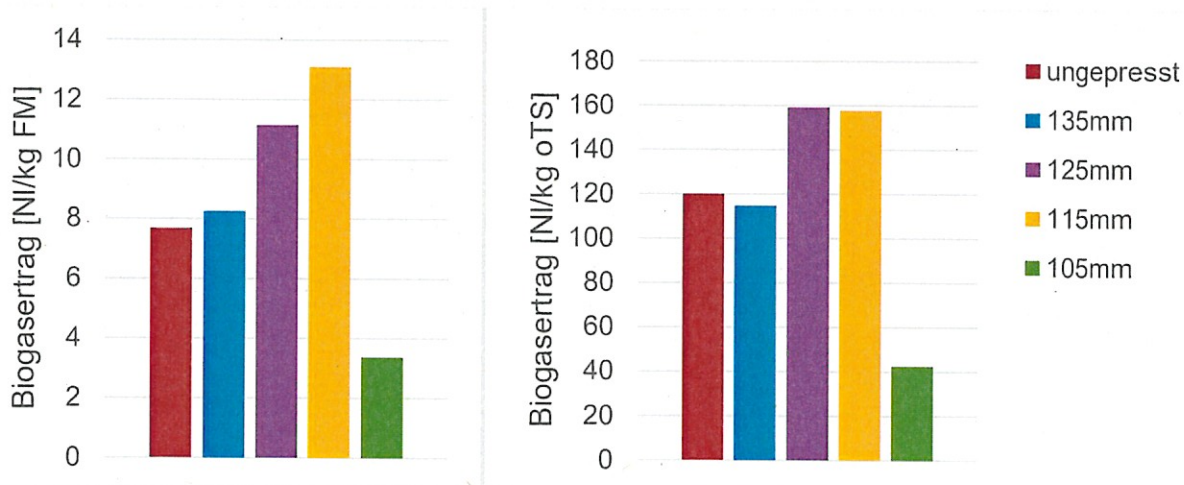


Abbildung 27: Biogaserträge der Elodea bezogen auf ihre FM und ihre oTS [ISA]

In Abbildung 27 ist zu erkennen, dass die Gaserträge alle deutlich unter dem Literaturwert von 406 ( $\pm 15$ ) Normliter (NL) pro kg oTS liegen. Zudem führt ein stärkeres Pressen nicht unbedingt zu höheren Erträgen. So lagen beim stärksten Anpressdruck (Federspannung 105 mm) die geringsten Gasausbeuten vor. Die Erträge sind im Vergleich zu etablierten Substraten im besten Fall ähnlich hoch. Gerade in Bezug auf die FM (Frischmasse in kg) weist die Elodea mit ihrem hohen Wassergehalt jedoch einen bedeutend geringeren

Ertrag auf als zum Beispiel Mais-Silage (Tabelle 6). Dazu kommen die höheren Kosten in der Substratherstellung (Pressung) und Entsorgung des Presswassers. Aus o.g. Gründen ist die Elodea als Substrat für die Biogas-Gewinnung nicht geeignet bzw. nicht wirtschaftlich.

**Tabelle 6:** Biogaserträge aus Versuchsergebnissen und Literaturwerten

Substrat	Biogasertrag		Quelle
	[NL/kg oTS]	[NL/kg FM]	
Vorliegende Versuchsergebnisse	42 - 159	3,4 - 13	
<i>Elodea nuttallii</i>	406 ± 15	21 ± 1	Zehnsdorf und Moeller 2018
Biotonne	150 - 600	80 - 120	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. 2006
Gras-Silage	550 - 600	170 - 200	
Mais-Silage	450 - 700	170 - 200	
Rindergülle	200 - 500	20 - 30	

## Arbeitspaket 5: Testfahrten auf dem Unterbacher See und dem Baldeneysee

Der **Unterbacher See** ist ein Baggersee in Düsseldorf mit einer Fläche von 84 ha und einem Volumen von 4.110.000 m<sup>3</sup>. Verwaltet wird der See durch den *Zweckverband Erholungsgebiet Unterbacher See*. Im Mai 2018 wurden Probenahmen im Unterbacher See durchgeführt (Abbildung 28). An 2 Probenahmestellen wurden sowohl eine Probe aus der Wassersäule, als auch eine Sedimentprobe genommen. An Probenahmestelle 1 wurde eine Sichttiefe von 4,5 m und eine Wassertiefe von 13 m aufgenommen, an der zweiten Stelle eine Sichttiefe von 5,0 m und eine Wassertiefe von 5,5 m. Im Vergleich zu nährstoffreichen Seen im Sommer, die weniger als 1 cm Sichttiefe aufweisen, hat der See eine normale Sichttiefe. Laut LAWA wird der See als Sondertyp 99: künstlicher See deklariert und hat somit keinen Referenzzustand mit dem das Gewässer verglichen werden kann. Bei Norddeutschen Tiefland Seen soll die Sichttiefe jedoch zwischen 1,5-5,5 m betragen, welche im Unterbacher See eingehalten werden kann.



Abbildung 28: Probenahmestellen im Unterbacher See [ELWAS-WEB]

In Tabelle 7 sind einige Analysenergebnisse der Wasserproben des Unterbacher Sees zusammengefasst. Ein Unterschied zwischen den Probenahmestellen oder der Wassertiefe war nicht zu sehen. Im Vergleich zu Untersuchungen des Stadtentwässerungsbetriebs Düsseldorf im März 2018 liegen die Werte des pH Werts und der Leitfähigkeit (pH 8,1-8,2; Leitfähigkeit 390  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), sowie des Ammonium-Stickstoffs ( $\text{NH}_4\text{-N} < 0,03 \text{ mg}/\text{L}$ ) und Nitrat-Stickstoffs ( $\text{NO}_3\text{-N} 0,28 \text{ mg}/\text{L}$ ) oberhalb unserer gemessenen Werte. Gesamtphosphor ( $\text{P}_{\text{ges}} < 0,02 \text{ mg}/\text{L}$ ) wurde in den Untersuchungen weniger gefunden. Die Werte liegen dennoch in einem ähnlichen

Bereich. Zusätzlich sind auch die verschiedenen Analysemethoden zu beachten, welche zum Teil andere Bestimmungsgrenzen aufzeigen.

Die Analyseergebnisse der Wasserproben lagen zwischen den Stellen in einem ähnlichen Bereich (Tabelle 7). Die Trübung ist an Stelle 2 hingegen deutlich erhöht.

**Tabelle 7:** Ergebnisse der Wasserproben im Unterbacher See (07.05.2018)

Parameter	Probenahmestelle: Wassertiefe	
	Stelle 1: 7 m	Stelle 2: 3 m
pH (Labormessung)	7,4	7,5
Leitfähigkeit (Labormessung) [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	363	359
Trübung	17	30
P <sub>ges</sub> ([mg/L])	< 0,13	< 0,13
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1
NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	0,016	0,017
NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	0,14	0,12
Chlor [mg/L]	39	39
Sulfat [mg/L]	46	48
TOC [mg/L]	52	52
TNb [mg/L]	< 1	< 1
Summe PCBs [ng/L]	0,0-7,0	0,0-7,0
Summe PAK [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	0,0260-0,166	0,0113-0,161

Ebenfalls ist an Stelle 2 der Zinkgehalt im Vergleich zu Stelle 1 erhöht (Tabelle 8). Die Schwellenwerte der LAWA werden an beiden Stellen für Quecksilber deutlich überstiegen. Magnesium, Kalium, Natrium, Eisen, Aluminium, Barium, Mangan, Strontium und Bor wurden ebenfalls gemessen und unterscheiden sich zum Teil zwischen den Stellen. Diese Daten und alle anderen Analysedaten sind 8.c in zu finden.

**Tabelle 8:** Schwermetalle in der Wasserphase im Unterbacher See (07.05.2018)

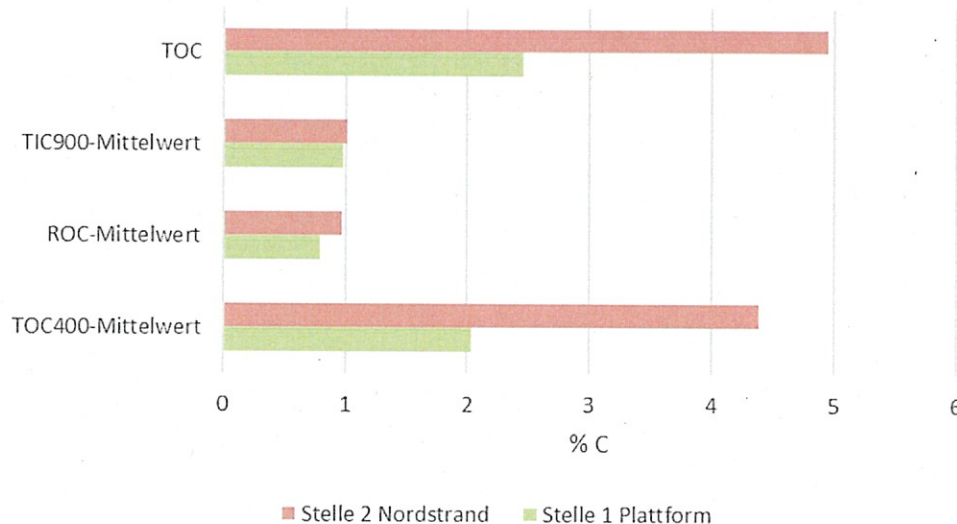
Parameter / HG gesamt [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	Probenahmestelle: Wassertiefe	
	Stelle 1: 7 m	Stelle 2: 3 m
Quecksilber / < 0,01 – 0,01	0,557	0,267
Cadmium / < 0,03 – 0,02	< 1	< 1
Chrom / < 0,1 – 4,7	< 1	< 1
Kupfer / < 0,5 – 2,2	1,79	< 1
Nickel / < 0,3 – 9,5	< 1	< 1
Blei / < 0,2 – 1,5	< 1	< 1
Zink / < 3 – 5,5	1,93	3,06

In Tabelle 9 und Tabelle 10 sind die Analysenergebnisse der Sedimentproben im Unterbacher See aufgeführt.

**Tabelle 9:** Ergebnisse der Sedimentproben im Unterbacher See (07.05.2018)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe	
	Stelle 1: 13 m	Stelle 2: 5,5 m
TOC [%C]	2,46	4,95
TNb [%N]	7,48	< 1
TC [%]	3,82	6,37
Mineralik [%]	96,19	93,63
Summe PCB [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0000 – 0,0060	0,0110 – 0,0140
Summe PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,392-0,512	0,670-0,770

Es zeigte sich eine deutliche Heterogenität im Seesediment (Abbildung 29, Tabelle 9). Der See wurde deshalb für Vergleichsuntersuchungen als schlecht geeignet eingestuft. Die Probenahmestelle 2 lag in der Badebucht des Sees und wies auch in der Wasserphase eine hohe Trübung auf. Hinzu kommt noch die geringere Tiefe an Probenahmestelle 2, die ein besseres Pflanzenwachstum vom Untergrund an die Wasseroberfläche ermöglicht. Da dieser See jedoch nur zu technischen Testfahrten diente, stellte dies kein Problem dar.



**Abbildung 29:** Darstellung der Kohlenstoffverteilung im Sediment

Im Sediment werden die Schwankungsbereiche (SB) der Hintergrundwerte der von der LAWA an Stelle 1 für Cadmium und Chrom, an Stelle 2 für Cadmium und Blei überschritten (Tabelle 10). Weitere Elemente wurden ebenfalls gemessen und zeigten je nach Stelle ein unterschiedliches Bild (Anlagen 8.c). Im Vergleich zum Baldeneysee ist die Hintergrundbelastung hier deutlich geringer. Potentiell würden demnach auch weniger Schwermetalle bei einem Rupfvorgang in die Wasserphase remobilisiert werden können.



**Tabelle 10:** Ergebnisse (Schwermetalle) der Sedimentproben im Unterbacher See (07.05.2018)

Parameter / SB [mg/kg]	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe	
	Stelle 1: 13 m	Stelle 2: 5,5 m
Quecksilber / 0,1-0,4	0,12	0,172
Cadmium / 0,15-0,6	0,721	1,12
Chrom / 40-160	200	150
Kupfer / 10-40	27,9	39
Nickel / 10-60	48,1	55
Blei / 12,5-50	42,5	61,6
Zink / 50-200	121	195

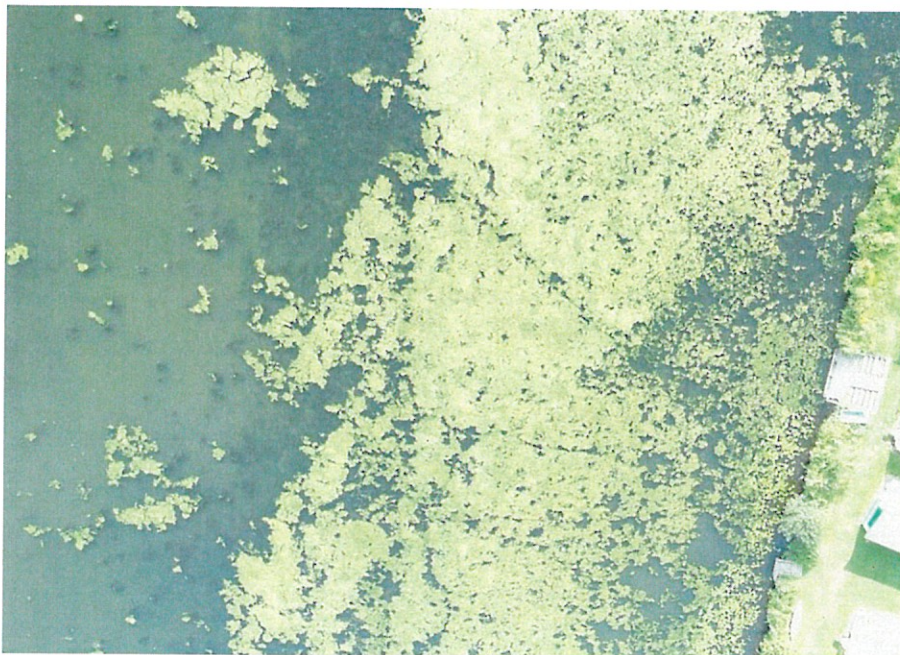
Im Unterbacher See ist eine Grundbelastung anhand der Analysedaten zu erkennen. Zwischen den Stellen zeigt sich eine Varianz und eine Inhomogene Verteilung im See, welche zu erwarten war. Für Seeuntersuchungen bedeutet dies, dass nicht immer ein Kontrollfeld im Vergleich zu einem Testfeld Aussagekraft besitzt.

Im August 2019 wurden Probenahmen im **Baldeneysee** durchgeführt. Dieser Stausee liegt im Süden der Stadt Essen und wird durch den Ruhrverband betrieben. Der See hat einen Speicherraum von 7,6 Mio. m<sup>3</sup> und eine Wasserfläche von 2,64 km<sup>2</sup> und ist somit der größte Ruhrstausee. Aufbauend auf Versuchen des Ruhrverbandes wurde eine Sedimentprobe in einem Kontrollfeld genommen und eine Sedimentprobe in einem Testfeld, welches zuvor mit dem Rollenpflücker bearbeitet wurde (Abbildung 30).



**Abbildung 30:** Probenahmestelle im Baldeneysee am Essener Yacht-Club [ELWAS-WEB]

Das Kontrollfeld und das Testfeld lagen direkt nebeneinander um eine bestmögliche Referenz zu erhalten. Anhand der Drohnenaufnahmen ist zu erkennen, dass die Wasserpflanzen bereits bis zur Oberfläche gewuchert waren und sich wie ein Teppich ausbreiteten (Abbildung 31).



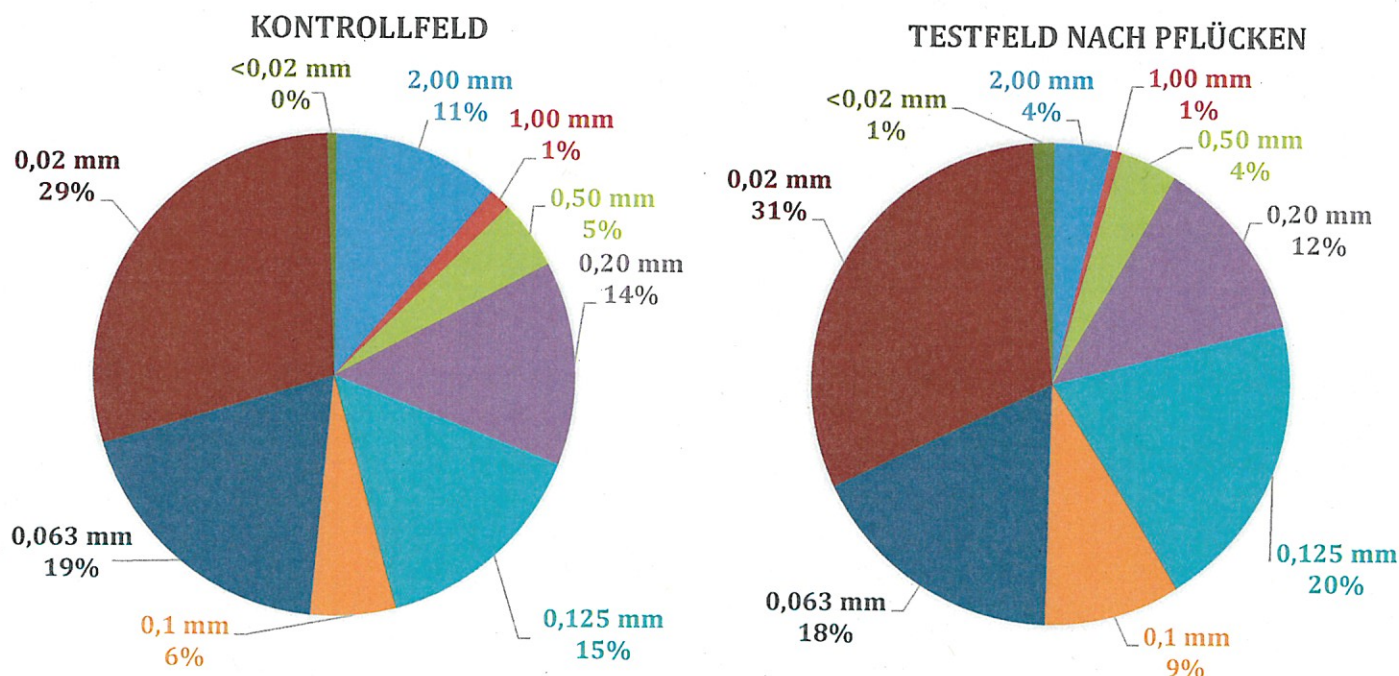
**Abbildung 31:** Drohnenaufnahme der Elodea-Ausbreitung im Baldeneysee [ISA]

Zum Zeitpunkt der Aufnahme war circa 1/3 der Seeoberfläche bewuchert (Abbildung 32), so dass Freizeitaktivitäten dennoch ausgeübt werden konnten.



**Abbildung 32:** Drohnenaufnahme des Elodeabewuchses im Baldeneysee [ISA]

Anhand der Korngrößenverteilung konnte festgestellt werden, dass es durch das Pflücken eine minimale Verschiebung zu kleineren Fraktionen gab. Die Grobfraction (0,20 mm bis 2,00 mm) machte im Kontrollfeld in Summe 31 % aus, im Testfeld nur noch 21 %. Die Feinfraction (< 0,02 mm bis 0,125 mm) nahm im Testfeld entsprechend 10 % zu (Abbildung 33).



**Abbildung 33:** Korngrößenverteilung im Sediment

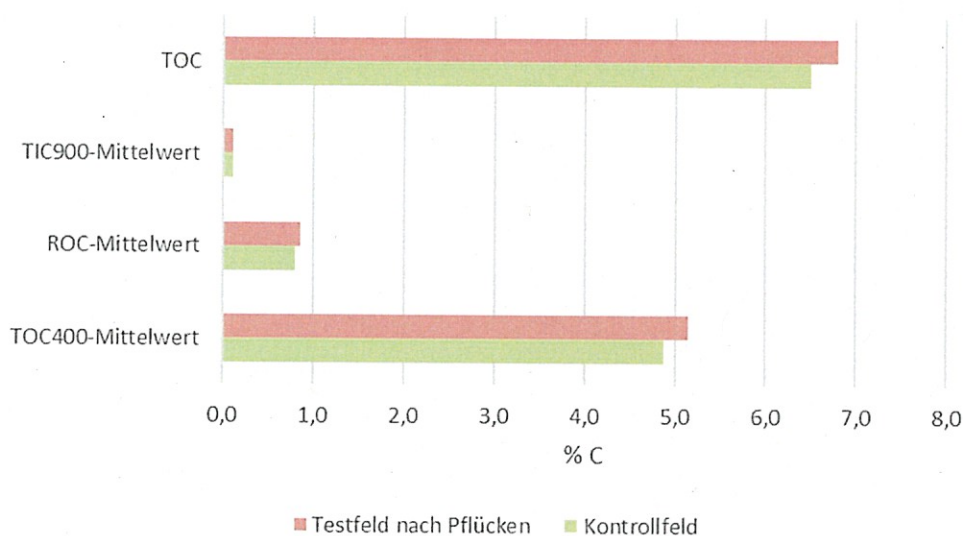
Die Verteilung im Testfeld und im Kontrollfeld sind demnach sehr ähnlich, so dass durch das Pflücken kein Feinsediment aufgewirbelt wurde. Aufgrund der mündlichen Aussagen des Ruhrverbandes, die mit Tauchern die Felder optisch kontrolliert haben, hat jedoch auch kein richtiger Ruppvorgang stattgefunden, was die Ergebnisse ebenfalls widerspiegeln würden.

Die chemischen Analysenergebnisse der Sedimentproben sind in Tabelle 11 und Tabelle 12 aufgelistet (PAK Auflistung unter 8. Anlagen). Das Sediment ist stark sandhaltig und mineralisch. Die Mineralik, sowie PCB und PAK Werte zeigen in Summe im Kontrollfeld und im Testfeld keinen signifikanten Unterschied zu einander. Eine leichte Schwankung ist sowohl durch die normale Messunsicherheit der Analyse und auch der Varianz im Seesediment normal. Eine phänologische Umschichtung hat nicht stattgefunden.

**Tabelle 11:** Ergebnisse der Sedimentproben aus dem Baldeneysee

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente):	
	Stelle: Kontrollfeld	Stelle: Testfeld <u>NACH</u> Pflücken
TOC [%C]	6,5	6,8
TNb [%N]	0,51	0,51
TC [%C]	5,80	6,12
Mineralik [%]	94,2	93,9
Summe PCBs [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,021	0,015
Summe PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	4,07	4,22

In Abbildung 34 wird deutlich, dass durch das Pflücken keine Sedimentbewegung und keine Veränderungen stattgefunden haben, da die Elodea vermutlich kaum erfasst wurden. Das zeigen auch die Daten in der oberen Abbildung (Abbildung 33).



**Abbildung 34:** Übersicht der Kohlenstoffverteilung im Sediment

Auch durch die Ergebnisse der Schwermetallanalysen (Tabelle 12) konnte zwischen den Feldern kein signifikanter Unterschied dargelegt werden. Eine gewisse Varianz und Inhomogenität in Seen wurden erwartet. Im Falle des Baldeneysees waren die Felder jedoch sehr homogen. Dennoch wurden die von der LAWA genannten Schwankungsbereiche (SB) für sechs von den sieben aufgeführten Metallen deutlich überschritten, was auf eine sehr hohe Grundbelastung des Sediments hindeutet. Eisen, Arsen, Antimon, Selen, Thallium, Molybdän, Cobalt, Barium, Vanadium, Strontium, Bor und Titan wurden ebenfalls gemessen. Diese Metalle und alle Analyseergebnisse sind in Anlage 8.d zu finden.

**Tabelle 12:** Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen im Sediment des Baldeneysees

Parameter / SB [mg/kg]	Probenahmestelle (Sedimente):	
	Stelle: Kontrollfeld	Stelle: Testfeld <u>NACH</u> Pflücken
Quecksilber / 0,1-0,4	0,298	0,291
Cadmium / 0,15-0,6	4,19	4,36
Chrom / 40-160	272	290
Kupfer / 10-40	156	147
Nickel / 10-60	70,9	71
Blei / 12,5-50	141	129
Zink / 50-200	990	921

Sowohl die Korngrößenverteilung als auch die Ergebnisse der chemischen Analyse zeigen, dass sich das Kontrollfeld vom Testfeld nicht signifikant unterscheidet. Zum einen spiegelt es die Tatsache wider, dass der Rupfvorgang mit dem Rollenpflücker wahrscheinlich nicht funktioniert hat und zum anderen, dass die Störung des Habitats durch Befahren und Arbeiten in den Pflanzen keinen Einfluss auf das Sediment hatte. Zugleich konnte festgestellt werden, dass das Sediment des Baldeneysees eine starke Grundbelastung aufweist.

### Zielerreichung

Das Verfahren des Rollenpflückens konnte erfolgreich in einem Prototypen umgesetzt und erprobt werden. Die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Verfahrens konnte nachgewiesen werden. Allerdings konnte die erhoffte größere Nachhaltigkeit des Pflückens gegenüber dem Mähen nicht erreicht werden. Entgegen den Erwartungen war der Anteil der Pflanzen, die komplett aus dem Boden entfernt werden konnten, eher gering.

Es ergab sich erst im zweiten Jahr die Möglichkeit, die gemähten Felder unter Wasser begutachten zu können und bereits im Vorjahr befahrene Strecken ein zweites Mal befahren zu können. Bei der Zweitbefahrung waren leider nur wenig geringe Erntemengen gegenüber nicht gepflückten Strecken zu beobachten, sodass das Rollenpflücken leider keinen signifikanten Vorteil gegenüber dem bereits etablierten Mähen erkennen lässt.

Zudem ist das zeitliche und lokale „Funktionsfenster“ des Rollenpflückens vergleichsweise klein. Ist der Gewässerboden zu lehmig oder anderweitig verfestigt, lassen sich nur sehr wenige Pflanzen mit Wurzel entfernen. Zudem sind die Pflanzen zu Beginn der Saison noch wenig mechanisch belastbar und ebenfalls zum Ende der Saison, wenn diese plötzlich brüchig werden. Die Wurzeln der Elodea sind fein und

dringen nicht tief ins Sediment, somit findet durch den Rupfvorgang kein Aufwirbeln von Schadstoffen und keine Remobilisierung in die Wasserphase statt. Eventuell wird durch das Aufwirbeln der Schwebstoffe auf den Pflanzen, welches sich im Anschluß absetzt, frisches Sediment gebildet. Auch wenn Werte der Oberflächengewässerverordnung zum Teil überschritten wurden, wird die Problematik durch das Roden nicht verschlimmert. Der Rollenpflückvorgang stellt demnach kein umwelttechnisches Problem dar.

Bezüglich des Transportes des Mähguts konnten einige Fortschritte gegenüber den etablierten Verfahren erreicht werden. Das absenkbare geschlossene Förderband und der Abtransport des Mähguts in Schwimmsäcken oder bei größeren Einheiten in offenen Schwimmcontainern hat sich bewährt und kann auch in die etablierten Mähverfahren potentiell integriert werden.

Im Rahmen der Analyse der Untersuchungsergebnisse gibt es Überlegungen, das Verfahren weiter zu entwickeln. Zum Einsammeln bereits aus dem Untergrund gelöster Pflanzen eignet sich das Rollenkonzept durchaus. Aber das Freilegen der Wurzeln benötigt eine unterstützende Technologie.

So könnten Unterwasser-Hochdruckdüsen die Wurzeln der Elodea freispülen oder mechanische Harken könnten den Untergrund so lockern, dass die Pflanzen fast frei schweben. Es müssten verschiedene Harkentypen getestet werden. Allerdings gibt es bezüglich derartiger Verfahren noch keine Erfahrungen und es müssten Grundlagenuntersuchungen durchgeführt werden, die nicht Bestandteil dieses Projekts waren. Es würde sich dabei um ein unabhängiges neues Projekt handeln. Der Eingriff in die Unterwasserfauna wäre gegenüber dem Rollenpflücken deutlich erhöht und es wäre ebenfalls erforderlich, die Umweltauswirkungen der neuen Verfahren nochmals zu untersuchen.

#### Rollenverdichter

Das Verfahren des Rollenverdichtens konnte als technisch machbar demonstriert werden. Allerdings stehen einer Weiterentwicklung (Kapazitätserhöhung, zweite Entwässerungsstufe) derzeit zwei grundsätzliche Überlegungen entgegen, wie sie in der Bachelorarbeit dargestellt wurden:

Aufgrund der derzeitigen Rechtslage ist die Einleitung des Presswassers in die lokale Kanalisation ohne Sondergenehmigung nicht möglich. Würde man das Presswasser separat abfahren, wären die wirtschaftlichen Vorteile des Verdichtens weitestgehend wieder verloren.

Das Mähgut neigt nach dem Pressen sehr schnell zur Geruchsentwicklung. Hier müssten noch grundlegende Überlegungen zum Verfahren durchgeführt werden oder ein unmittelbarer Abtransport nach Pressung müsste garantiert sein.

## 5. Öffentlichkeitsarbeit

Die lokale Presse in Münster hat über den Projektstart am Referenzsee, dem Hiltruper See berichtet (Anlagen 8.e). Ein Projektsteckbrief und eine Beschreibung des Projektes wurde auf der Internetseite des ISA hochgeladen (8.f und 8.g).

Die Lokalzeit Ruhr (WDR) hat am 18.09.2018 über den Rollenpflücker im Baldeneysee informiert. Die Lokalzeit Münsterland (WDR) hat ihrerseits am 22.08.2018 und am 03.09.2019 über die Tätigkeiten am Hiltruper See berichtet.

Im Januar 2019 fand ein Erfahrungsaustausch mit dem Ruhrverband statt. Der Ruhrverband hat in dem Projekt „Untersuchungen zur Massenentwicklung von Wasserpflanzen in den Ruhrstauseen und Gegenmaßnahmen“, bereits viel Erfahrungen mit der Elodea gewinnen können. Im aktuellen Projekt des Ruhrverbandes „Elodea II: Erprobung und Bewertung innovativer Methoden zur Eingrenzung des massenhaften Wachstums von *Elodea nuttallii* in den Ruhrstauseen“ werden verschiedene Techniken zur Entfernung und Eindämmung des Wachstums der Elodea untersucht. Es wurde besprochen, dass die Ergebnisse der Projekte beiderseits ausgetauscht werden, so dass eine komplexere Auswertung und Darstellung möglich sein kann. Der Bericht des Ruhrverbandes wird erst 2021 fertiggestellt werden, so dass für den vorliegenden Bericht leider kein umfassender Vergleich durchgeführt werden konnte.

Ein Artikel über das Projekt erschien im September 2019 in der Zeitschrift gwf Wasser+Abwasser (8.h).

Die gesamte Bauphase des Rollenpflückers wurde bereits filmisch dokumentiert und das Material kann für eine zukünftige Öffentlichkeitsarbeit verwendet werden.

## 6. Fazit

Die grundsätzliche Funktionsfähigkeit des Verfahrens konnte nachgewiesen werden. Allerdings konnte die erhoffte größere Nachhaltigkeit des Pflückens gegenüber dem Mähen nicht erreicht werden. Entgegen den Erwartungen war der Anteil der Pflanzen, die komplett aus dem Boden entfernt werden konnten, eher gering. Es waren auch keine kleineren Erntemengen gegenüber nicht gepflückten Strecken zu beobachten, sodass das Rollenpflücken leider keinen signifikanten Vorteil gegenüber dem bereits etablierten Mähen erkennen lässt. Teile der gewonnenen Erkenntnisse können zur Optimierung der bereits etablierten Mähboottechnologie genutzt werden. Aus den gewonnenen Erkenntnissen der Rollenpflückversuche ergeben sich Ansätze für weitere Verfahren zur Elodeaentfernung. Eine Erprobung dieser Verfahren würde nach aktuellen Schätzungen der Fluid Technologie UG ein Budget von 350.000 EUR benötigen, zuzüglich der

notwendigen wissenschaftlichen Begleitung. Selbst bei einer 50 %tigen Förderung ist das unternehmerische Risiko für die Lutat Fluid Technologie vor dem Hintergrund des ungewissen Ausgangs und der Projektgröße nicht tragbar. Auch im Bereich der mittelständischen Mitbewerber ist derzeit kein potentieller Partner erkennbar, der vor dem Hintergrund der aktuellen wirtschaftlichen Situation bereit wäre, in ein Folgeprojekt einzusteigen.

Beim Rollenverdichten führt die organische Belastung dazu, dass für die Einleitung ins Abwasser Sondergenehmigungen notwendig sind und oft das potentielle Genehmigungsverfahren mit ungewisser Dauer und Ausgang einem wirtschaftlichen Einsatz entgegensteht. Zudem ist das Thema Geruchsbelästigung nach dem Pressvorgang ein noch nicht gelöstes Problem.



## 7. Literatur

ELWAS-WEB (o. J.): Elektronisches wasserwirtschaftliches Verbundsystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in NRW. Online verfügbar unter <https://www.elwasweb.nrw.de/elwas-web/index.jsf>, Zugriff am: 17.11.2020

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.v. (Hrsg.) (FNR) (2006): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. 3. überarbeitete Auflage, (Bioenergie). ISBN 3000143335.

Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (1998): Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer Band II: Anleitung und Erprobung von Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer für die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber und Zink. Kulturbuchverlag Berlin GmbH

More virtual agency (2017): Seen und Badeseen in Nordrhein-Westfalen. (<http://www.seen.de/seen-in-deutschland/nordrhein-westfalen/>) 19.09.2017

Ozimek, T., van Donk, E., Gulati, R. D. (1993): Growth and nutrient uptake by two species of Elodea in experimental conditions and their role in nutrient accumulation in a macrophyte-dominated lake. In *Hydrobiologia* (251), Seite 13-18

öKon GmbH (2000): Limnologische Untersuchung des Hiltruper Sees – halbjahresstudie; beauftragt durch die Stadt Münster

Podraza, P., Brinkmann, T., Evers, P., von Felde, D., Frost, U., Klopp, R., Knotte, H., Kühlmann, M., Kuk, M., Lipka, P., Nusch, E.A., Stengert, M., Wessel, M., van de Weyer, K. (2008): Abschlussbericht – Untersuchungen zur Massenentwicklung von Wasserpflanzen in den Ruhrstauseen und Gegenmaßnahmen. F&E-Vorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) – Aktenzeichen: 54.173/25-5230

Robach, F., Hajsek, I., Eglin, I., Trémolières, M. (1995): Phosphorus sources for aquatic macrophytes in running waters: water or sediment? In *Acta Botanica Gallica* 142 (6), Seite 719-731

Stadtentwässerungsbetrieb Landeshauptstadt Düsseldorf (2018): Untersuchungsergebnisse Unterbacher See – März 2018; beauftragt durch Zweckverband Erholungsgebiet Unterbacher See

Stadt Münster (2020): <https://www.stadt-muenster.de/umwelt/wasser/gewaesseroekologie/hiltruper-see.html> Zugriff am 09.01.2020

Stengert, M., Podraza, P., van de Weyer, P. (2007): Die Entwicklung von *Elodea nuttallii* (PLANCH.) ST. JOHN in den Ruhrstauseen unter dem Einfluss von Hochwasserereignissen im Frühjahr 2006 bzw. Sommer 2007. DGL Jahrestagungen 2007/2008 (Münster, Werden).

Wedwitschka, H.; Gießmann, M.; Gallegos, D.; Rajendran, P. K.; Stinner, W. (2017): In Mischung konservieren. Praxisgerechte Silierung von Substrat für Biogasanlagen. In: Moeller, L.; Zehndorf, A. (Hrsg.): Wasserpflanzenmanagement – Themenheft zum AquaMak-Forschungsprojekt. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung – UFZ Leipzig.

Weyer, P. van de, Hussner, A. (2007): Die aquatischen Neophyten (Gefäßpflanzen, Armeleuchteralgen und Moose) Deutschlands - eine Übersicht. DGL Jahrestagungen 2007/2008 (Münster, Werden).

Zehndorf, A.; Moeller, L. (2018): Schlussbericht zum Verbundvorhaben: Aquatische Makrophyten – ökologisch und ökonomisch optimierte Nutzung Teilvorhaben 1: Nutzung aquatischer Makrophyten – Potenzialabschätzung aus Standgewässern, Analyse und Konservierung.

## 8. Anlagen

### a. Presswasser-Ergebnisse

Im Vergleich zur Abwasserverordnung Anhang 1 und 51

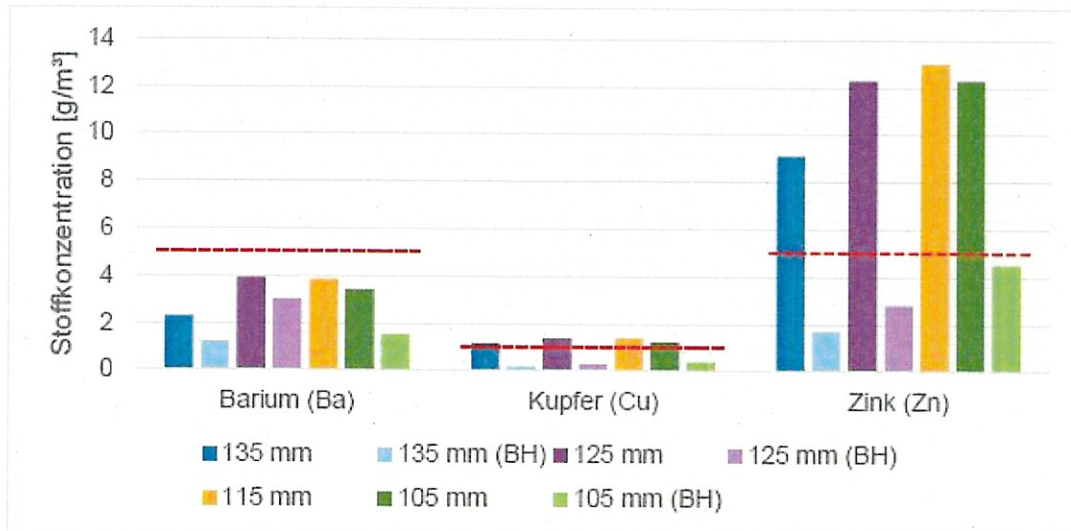


Abbildung 35: Elementkonzentrationen für Barium, Kupfer und Zink im Presswasser (---- Grenzwerte der AbwV Anhang 51) [ISA]

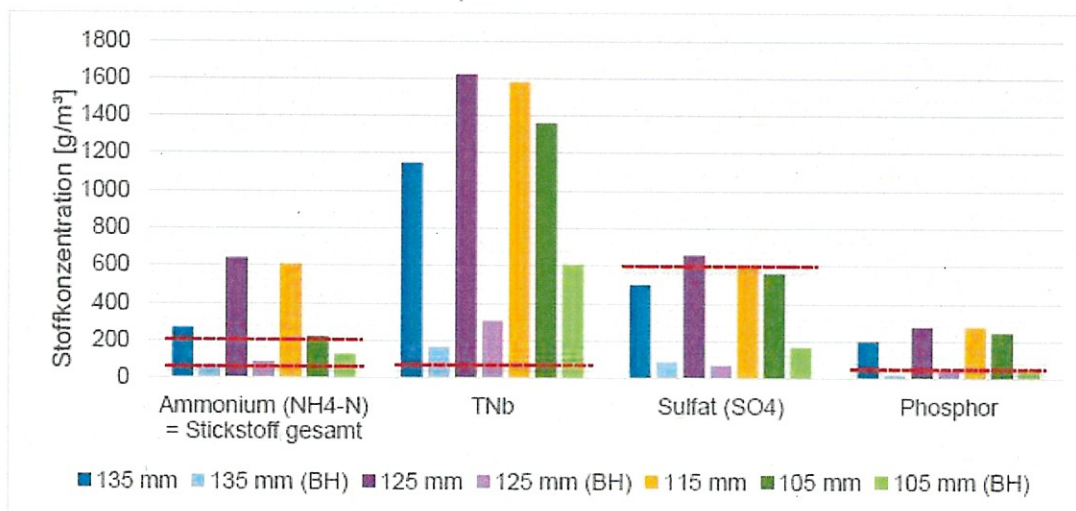


Abbildung 36: Stoffkonzentrationen im Presswasser (---- Grenzwerte der AbwV Anhang 1 und 51) [ISA]

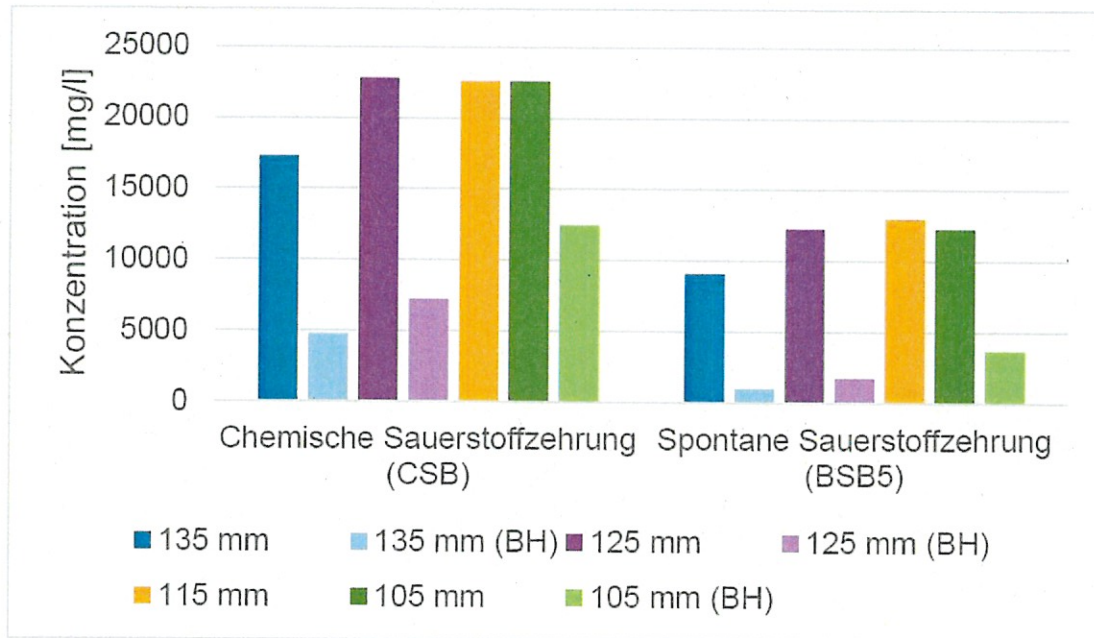


Abbildung 37: CSB und BSB Konzentrationen im Presswasser [ISA]

Anhang 1 der AbwV fordert max. Konzentrationen an BSB5 von 40 mg/l und CSB von 150 mg/l, Anhang 51 von BSB5 20 mg/l und CSB 200 mg/l .

## b. Analysenergebnisse Hiltruper See

Ergebnisse der Wasserproben Hiltruper See (30.05.2018)

Parameter	Probenahmestelle: Wassertiefe			
	Stelle 1: Oberfläche	Stelle 2: 2 m	Stelle 3: Oberfläche	Stelle 4: 1 m
Wassertemperatur [°C]	26,1	24,3	26,5	24,6
pH [20 °C]	9,83	9,64	9,99	8,72
Leitfähigkeit [µS/cm]	216	222	223	231
Sichttiefe [m]	1,5	3,5	0,9	1,5
Trübung [FAU]	46	33	16	< 10
TOC [mg/L]	62	65	66	63
TNb [mg/L]	< 1	< 1	< 1	< 1
P <sub>ges</sub> [mg/L]	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,13
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chlorid [mg/L]	16	16	17	16
Sulfat [mg/L]	44	45	43	43
Quecksilber [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cadmium [µg/L]	< 0,01	0,101	< 0,01	0,102
Chrom [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Kupfer [µg/L]	0,495	0,598	0,515	1,27
Nickel [µg/L]	0,752	5,97	0,758	1,38
Blei [µg/L]	< 0,1	0,285	0,156	0,751
Zink [µg/L]	1,05	1,57	< 1	1,81
Calcium [µg/L]	20.200	21.100	20.500	20.900
Magnesium [µg/L]	3.060	3.150	3.040	3.170
Eisen [µg/L]	79,9	103	144	124
Arsen [µg/L]	< 1	1,1	1,21	1,01
Antimon [µg/L]	0,225	0,232	0,227	0,229
Selen [µg/L]	< 1	< 1	< 1	< 1
Thallium [µg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Molybdän [µg/L]	0,34	0,33	0,308	0,303
Aluminium [µg/L]	12,7	7,68	22,6	11,4
Cobalt [µg/L]	0,134	0,15	0,221	0,155
Barium [µg/L]	18,7	20,5	18,1	19,5
Mangan [µg/L]	4,07	5,11	9,79	6,28
Vanadium [µg/L]	0,962	0,897	1,88	0,854
Strontium [µg/L]	212	217	216	218

Bor [µg/L]	24	25,6	24,6	26,2
Uran [µg/L]	0,176	0,187	0,154	0,155
Summe PCB [ng/L]	0,0-7,0	0,0-7,0	0,0-7,0	0,0-7,0
Summe PAK [µg/L]	0,000-0,160	0,0125-0,163	0,0373-0,167	0,0122-0,162
Naphthalin [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Acenaphthylen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Acenaphthen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fluoren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Phenanthren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Anthracen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fluoranthren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Pyren [µg/L]	< 0,01	0,0125	0,0139	0,0122
Benz(a)anthracen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Chrysen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Benzo(b)fluoranthren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	0,0119	< 0,01
Benzo(k)fluoranthren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Benzo(a)pyren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	0,0115	< 0,01
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Dibenz(a,h)anthracen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Benzo(g,h,i)perylen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Ergebnisse der Sedimentproben im Hiltruper See (30.05.2018)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe	
	Stelle 1: 2 m	Stelle 2: 4,5 m
Tiefe [m]	1,5	3,5
TOC [%C]	1,17	10,3
TNb [%N]	< 1	< 1
TOC <sub>400</sub> -Mittelwert [%C]	0,96	9,07
ROC-Mittelwert [%C]	0,32	1,285
TIC <sub>900</sub> -Mittelwert [%C]	0,255	0,43
TC [%C]	1,54	10,8
Mineralik [%]	98,47	89,22
Quecksilber [mg/kg]	0,00861	0,256
Cadmium [mg/kg]	0,417	3,08
Chrom [mg/kg]	36,1	159
Kupfer [mg/kg]	5,9	60,8
Nickel [mg/kg]	8,56	68,4
Blei [mg/kg]	13,1	138
Zink [mg/kg]	67,5	553

Eisen [mg/kg]	10.700	88.900
Arsen [mg/kg]	6,43	46,7
Antimon [mg/kg]	0,423	4,05
Selen [mg/kg]	0,556	5,95
Thallium [mg/kg]	0,113	0,744
Molybdän [mg/kg]	0,299	1,96
Aluminium [mg/kg]	5.470	43.100
Cobalt [mg/kg]	4,73	32
Barium [mg/kg]	27,6	189
Vanadium [mg/kg]	21,3	187
Strontium [mg/kg]	24,4	110
Bor [mg/kg]	18,4	102
Uran [mg/kg]	0,447	2,99
Summe PCB [µg/g]	0,0000-0,0060	0,0048-0,0088
Summe PAK [µg/g]	0,114-0,314	1,42-1,48
Naphthalin [µg/g]	< 0,02	0,0288
Acenaphthylen [µg/g]	< 0,02	< 0,02
Acenaphthen [µg/g]	< 0,02	< 0,02
Fluoren [µg/g]	< 0,02	0,019
Phenanthren [µg/g]	0,0174	0,149
Anthracen [µg/g]	< 0,02	0,0211
Fluoranthren [µg/g]	0,0284	0,345
Pyren [µg/g]	0,0228	0,263
Benz(a)anthracen [µg/g]	< 0,02	0,0947
Chrysen [µg/g]	< 0,02	0,127
Benzo(b)fluoranthren [µg/g]	0,0169	0,161
Benzo(k)fluoranthren [µg/g]	< 0,02	0,0506
Benzo(a)pyren [µg/g]	0,0149	0,0473
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/g]	< 0,02	0,0473
Dibenz(a,h)anthracen [µg/g]	< 0,02	< 0,02
Benzo(g,h,i)perylene [µg/g]	0,0138	0,0486

Ergebnisse der Wasserproben vor und nach dem Pflückvorgang im Hiltruper See (06.09.2018)

Parameter	Probenahmestelle: Wassertiefe			
	Stelle 1: 1 m (vor)	Stelle 1: 1 m (nach)	Stelle 2: 2 m (vor)	Stelle 2: 2 m (nach)
Wassertemperatur [°C]	17,5	17,5	19	19
pH [20 °C]	7,12	7,13	7,38	7,0
Leitfähigkeit [µS/cm]	223	206	333	214
Sichttiefe [m]	1,5	1,9	1,0	2,0
Trübung [FAU]	6,51	5,01	2,81	3,84
TOC [mg/L]	8,8	9,2	10	8,6
TNb [mg/L]	< 1	1,2	1,5	< 1
AFS [mg/L]	170	12	6,7	3,4
AFS <sub>fein</sub> [mg/L]	160	3,8	4,8	< 1,7
P <sub>ges</sub> [mg/L]	< 0,13	< 0,13	< 0,13	< 0,13
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	0,046	< 0,1	0,077	0,0099
NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	0,14	< 0,1	0,28	< 0,1
Chlorid [mg/L]	20	19	33	19
o-PO <sub>4</sub> [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sulfat [mg/L]	37	37	35	36
Fluorid [mg/L]	0,25	0,25	0,25	0,23
Bromid [mg/L]	0,20	0,21	0,23	0,22
Quecksilber [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,1	0,0101
Cadmium [µg/L]	1,47	0,909	1,96	1,57
Chrom [µg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Kupfer [µg/L]	0,271	0,353	0,436	0,336
Nickel [µg/L]	2,04	2,05	2,16	2,03
Blei [µg/L]	0,623	0,48	0,433	0,541
Zink [µg/L]	1,84	2,23	4,03	4,16
Eisen [µg/L]	233	318	266	420
Arsen [µg/L]	1,57	1,74	1,63	1,93
Antimon [µg/L]	0,262	0,249	0,254	0,273
Selen [µg/L]	0,174	0,205	0,134	0,196
Thallium [µg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Molybdän [µg/L]	0,49	0,42	0,406	0,541
Aluminium [µg/L]	17,2	17,5	12,1	13,9
Cobalt [µg/L]	< 0,1	0,107	0,1	0,135
Barium [µg/L]	29,9	30,5	34,1	32,2
Mangan [µg/L]	20,6	24	15,7	56,4



Vanadium [µg/L]	0,497	0,603	0,57	0,623
Strontium [µg/L]	256	251	296	249
Bor [µg/L]	33,4	29,8	30	32,6
Uran [µg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Summe PCB [ng/l]	0,0-7,0	0,0-7,0	0,0-7,0	0,0-7,0
Summe PAK [µg/L]	0,000-0,160	0,000-0,160	0,000-0,160	0,000-0,160

Ergebnisse der Sedimentproben im Hiltruper See, vor und nach dem Pflücken (06.09.2018)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe			
	Stelle 1: 2,5 m (vor)	Stelle 1: 2,5 m (nach)	Stelle 2: 3,5 m (vor)	Stelle 2: 3,0 m (nach)
TOC [%C]	5,46	1,03	8,60	3,53
TNb [%N]	0,76	0,255	1,065	0,51
TOC <sub>400</sub> [%C]	4,46	0,705	6,85	2,78
ROC [%C]	0,655	0,125	1,15	0,46
TIC <sub>900</sub> [%C]	0,54	0,235	0,28	0,24
TC [%C]	5,66	1,07	8,28	3,48
Mineralik [%]	94,35	98,94	91,72	96,52
Quecksilber [mg/kg]	0,17	0,0259	0,342	0,142
Cadmium [mg/kg]	1,74	0,247	3,12	1,61
Chrom [mg/kg]	48,6	13	98,5	45,8
Kupfer [mg/kg]	28,4	5,31	102	27,7
Nickel [mg/kg]	35,1	9,76	68,5	31,4
Blei [mg/kg]	67,3	8,34	196	56,6
Zink [mg/kg]	264	51,8	524	244
Eisen [mg/kg]	47.700	12.600	94.900	43.200
Arsen [mg/kg]	25,6	6,85	52,5	23,7
Antimon [mg/kg]	1,91	0,363	4,87	1,9
Selen [mg/kg]	3,48	0,742	7,4	3,16
Thallium [mg/kg]	0,409	0,122	0,741	0,401
Molybdän [mg/kg]	1,01	0,588	2,6	2,07
Aluminium [mg/kg]	20.600	5.210	47.200	19.900
Cobalt [mg/kg]	18,1	4,23	34,7	18,4
Barium [mg/kg]	97,5	24,4	188	86
Mangan [mg/kg]	280	113	450	286
Vanadium [mg/kg]	92,6	23,6	196	89,6
Strontium [mg/kg]	91,5	56,4	91	52,2
Bor [mg/kg]	59,3	16,7	118	51,5
Uran [mg/kg]	1,53	0,51	3,36	1,48

Summe PCB [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0000-0,0060	0,0000-0,0060	0,0000-0,0060	0,0000-0,0060
Summe PAK [ $\mu\text{g/L}$ ]	0,927-0,928	0,0843-0,0903	1,61	1,08
Naphthalin [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00363	< 0,001	0,00429	0,00264
Acenaphthylen [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Acenaphthen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00372	< 0,001	0,00727	0,00393
Fluoren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00713	< 0,001	0,0114	0,0065
Phenanthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0588	0,0085	0,1	0,0663
Anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00819	< 0,001	0,0149	0,0104
Fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,164	0,0152	0,312	0,193
Pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,124	0,0124	0,233	0,147
Benz(a)anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0641	0,00535	0,112	0,0772
Chrysen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0824	0,00713	0,15	0,0984
Benzo(b)fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,154	0,0123	0,271	0,179
Benzo(k)fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0571	0,00513	0,089	0,068
Benzo(a)pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0652	0,00566	0,111	0,0813
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0519	0,00641	0,0758	0,0553
Dibenz(a,h)anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,02	< 0,01	0,025	0,0202
Benzo(g,h,i)perylene [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,063	0,0062	0,0969	0,007

Ergebnisse der Wasserproben im Hiltruper See (21.02.2019)

Parameter	Probenahmestelle: Wassertiefe			
	Stelle 1: 1,5 m	Stelle 2: 2 m	Stelle 3: 1,5 m	Stelle 4: 1,5 m
Wassertemperatur [°C]	7,1	6,9	7,3	6,6
pH [20 °C]	8,2	8,4	8,8	8,5
Leitfähigkeit [µS/cm]	281	285	282	278
Sichttiefe [m]	2,2	3,2	2,0	1,5
Sauerstoff [mg/L]	11,7	11,6	11,6	12,2
Trübung [FAU]	5,47	2,11	3,32	4,68
TOC [mg/L]	6,0	6,6	7,8	6,6
TNb [mg/L]	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,1
AFS [mg/L]	21	5,3	6,9	17
AFS fein [mg/L]	5	< 2,7	3,5	< 2,6
P <sub>ges</sub> [mg/L]	0,13	0,13	0,13	0,13
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	0,43	0,61	1,3	0,56
Chlorid [mg/L]	18	19	18	18
Sulfat [mg/L]	39	38	38	39
Fluorid	0,12	0,11	0,11	0,11
Bromid	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Quecksilber [µg/L]	0,0475	0,0217	0,0262	0,0319
Cadmium [µg/L]	0,4	0,353	0,342	0,353
Chrom [µg/L]	0,859	0,843	0,927	0,921
Kupfer [µg/L]	3,3	3,33	4,85	5,18
Nickel [µg/L]	2,51	2,96	4,18	4,72
Blei [µg/L]	0,33	0,326	0,995	0,945
Zink [µg/L]	13,5	12,1	46,5	17,3
Arsen [µg/L]	0,481	0,456	0,493	0,513
Antimon [µg/L]	0,242	0,212	0,228	0,212
Selen [µg/L]	0,349	0,315	11	2,48
Thallium [µg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Molybdän [µg/L]	0,282	0,219	0,199	0,183
Cobalt [µg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Barium [µg/L]	19,6	18,4	20,3	21
Vanadium [µg/L]	0,779	0,832	0,975	0,757
Bor [µg/L]	22,8	17,6	17,3	16,2
Summe PCB [ng/l]	0,0-0,7	0,0-0,7	0,0-0,7	0,0-0,7

Summe PAK [µg/L]	0,218-0,308	0,0172-0,157	0,0254-0,155	0,0279-0,158
Naphthalin [µg/L]	0,0444	0,00894	0,00986	0,00869
Acenaphthylen [µg/L]	0,00588	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Acenaphthen [µg/L]	0,0149	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fluoren [µg/L]	0,0296	< 0,01	0,00492	0,00606
Phenanthren [µg/L]	0,0857	0,00824	0,0106	0,0131
Anthracen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Fluoranthren [µg/L]	0,0182	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Pyren [µg/L]	0,0191	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Benz(a)anthracen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Chrysen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Benzo(b)fluoranthren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Benzo(k)fluoranthren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Benzo(a)pyren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Dibenz(a,h)anthracen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Benzo(g,h,i)perylen [µg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Ergebnisse der Sedimentproben im Hiltruper See (21.02.2019)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe			
	Stelle 1: 2,5 m	Stelle 2: 4,1 m	Stelle 3: 2 m	Stelle 4: 2,3 m
TOC [%C]	0,77	10	2,3	1,2
TNb [%N]	< 0,10	1,0	0,20	< 0,10
TOC <sub>400</sub> [%C]	0,31	7,7	1,5	0,63
ROC [%C]	< 0,10	1,2	0,21	< 0,10
TIC <sub>900</sub> [%C]	< 0,10	0,22	0,22	0,15
TC [%C]	0,31	9,18	1,92	0,77
Mineralik [%]	99,49	90,83	98,08	99,13
Quecksilber [mg/kg]	0,0146	0,338	0,0482	0,0263
Cadmium [mg/kg]	0,195	2,77	0,244	0,203
Chrom [mg/kg]	9,89	95,8	22,7	9,2
Kupfer [mg/kg]	2,68	61,5	6,41	3,44
Nickel [mg/kg]	4,78	69,3	12,9	5,11
Blei [mg/kg]	5,49	149	12,7	6,89
Zink [mg/kg]	31,5	498	50,6	33,1
Eisen [mg/kg]	6.920	98.600	16.500	6.580
Arsen [mg/kg]	3,01	45,4	8,51	3,02
Antimon [mg/kg]	0,189	3,95	0,484	0,266

Selen [mg/kg]	0,322	6,69	0,905	0,35
Thallium [mg/kg]	0,0584	0,67	0,144	0,0662
Molybdän [mg/kg]	0,125	1,96	0,301	0,158
Aluminium [mg/kg]	3.790	49.200	11.600	4.070
Cobalt [mg/kg]	2,62	31,7	6,67	2,84
Barium [mg/kg]	16,4	192	42,8	18,9
Mangan [mg/kg]	48,8	570	144	54,5
Vanadium [mg/kg]	12,3	210	40,4	15,3
Bor [mg/kg]	11,6	109	26,1	11,7
Titan [mg/kg]	262	678	400	319
Summe PCB [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0000-0,0060	0,0000-0,0060	0,0000-0,0060	0,0000-0,0060
Summe PAK [ $\mu\text{g/L}$ ]	0,0237-0,0247	0,500-0,501	0,0471-0,0476	0,0381-0,0391
Naphthalin [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,000587	0,00354	0,0008	0,000513
Acenaphthylen [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005	< 0,0005
Acenaphthen [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,0005	0,00366	0,000492	< 0,0005
Fluoren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,000694	0,00667	0,000965	0,000775
Phenanthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0035	0,0521	0,00425	0,00341
Anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,000617	0,00687	0,000826	0,000734
Fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00464	0,113	0,00968	0,0071
Pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00334	0,0839	0,00698	0,00497
Benz(a)anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00138	0,0313	0,00262	0,00216
Chrysen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00192	0,0563	0,00496	0,0036
Benzo(b)fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0024	0,0503	0,00615	0,00556
Benzo(k)fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00133	0,0267	0,00332	0,00282
Benzo(a)pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,00143	0,0267	0,00225	0,00243
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,000685	0,0149	0,00178	0,00161
Dibenz(a,h)anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,000537	0,00668	0,000578	0,000741
Benzo(g,h,i)perylene [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0006	0,0176	0,00144	0,00171

Ergebnisse der Wasserproben vor dem Pflücken im Hiltruper See (03.09.2019)

Parameter	Probenahmestelle: Wassertiefe			
	Stelle 1: 1,5 m VOR	Stelle 1: 1,5 m NACH	Stelle 2: 2 m	Stelle 4: 1,5 m
Wassertemperatur [°C]	20,4	20,4	20,8	20,6
pH [20 °C]	8,3	8,3	8,3	8,1
Leitfähigkeit [µS/cm]	240	243	234	242
Sichttiefe [m]	0,5	1,1	1,1	1,5
Sauerstoff [mg/L]	6,69	6,43	7,9	6,3
Trübung [FAU]	140	4,6	5	7,4
TOC [mg/L]	51	7,6	8	7,7
TNb [mg/L]	6,2	< 1	< 1	< 1
AFS [mg/L]	860	9,3	4,6	5,6
AFS fein [mg/L]	36	2,7	2,3	3,4
P <sub>ges</sub> [mg/L]	0,45	0,13	0,13	0,13
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	0,022	0,04	0,011	0,014
NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chlorid [mg/L]	22	23	20	22
Sulfat [mg/L]	36	33	33	32
Fluorid	0,16	0,16	0,16	0,17
Bromid	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Quecksilber [µg/L]	0,104	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Cadmium [µg/L]	1,69	0,947	0,918	0,924
Chrom [µg/L]	26,8	4,92	5	5,82
Kupfer [µg/L]	20,1	4,75	3,57	3,43
Nickel [µg/L]	32,7	7,25	7,62	5,49
Blei [µg/L]	30,8	0,984	1,19	1,24
Zink [µg/L]	189	17,6	22	105
Magnesium [µg/L]	4650	3690	3540	3470
Eisen [µg/L]	18000	440	257	599
Arsen [µg/L]	13,8	3,62	3,38	3,19
Antimon [µg/L]	1,2	0,302	0,326	0,299
Selen [µg/L]	0,885	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Thallium [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Molybdän [µg/L]	2,6	< 0,25	1,89	< 0,25
Silber [µg/L]	0,269	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Aluminium [µg/L]	9510	118	49,6	119
Cobalt [µg/L]	7,55	< 0,25	< 0,25	< 0,25

Barium [µg/L]	75,6	25	23,6	24,5
Mangan [µg/L]	129	24,9	42,6	21,3
Beryllium [µg/L]	1,29	0,248	0,399	< 0,25
Vanadium [µg/L]	55,1	11,4	9,48	8,97
Strontium [µg/L]	248	236	235	238
Bor [µg/L]	609	378	304	212
Uran [µg/L]	0,795	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Titan [µg/L]	210	3,86	2,66	3,18
Summe PCB [ng/l]	0,11-0,71	0,23-0,73	0,23-0,73	0,21-0,71
Summe PAK [µg/L]	0,0749-0,110	0,0939-0,144	0,0604-0,110	0,0448-0,0948
Naphthalin [µg/L]	< 0,005	0,0304	0,0102	0,00705
Acenaphthylen [µg/L]	0,00638	0,00927	0,00909	0,00771
Acenaphthen [µg/L]	0,00951	0,0274	0,0125	0,00611
Fluoren [µg/L]	0,00506	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Phenanthren [µg/L]	0,0101	0,0134	0,0147	0,0117
Anthracen [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Fluoranthren [µg/L]	0,0143	0,00769	0,00792	0,00702
Pyren [µg/L]	0,0108	0,00569	0,00594	0,00525
Benz(a)anthracen [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Chrysen [µg/L]	0,00609	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo(b)fluoranthren [µg/L]	0,00751	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo(k)fluoranthren [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo(a)pyren [µg/L]	0,00511	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Dibenz(a,h)anthracen [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo(g,h,i)perylene [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Ergebnisse der Sedimentproben vor und nach dem Pflücken im Hiltruper See (03.09.2019)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe			
	Stelle 1: 2,0 m VOR	Stelle 1: 2,0 m NACH	Stelle 2: 3,3 m	Stelle 4: 2,3 m
TOC [%C]	3,30	0,46	10	5,5
TNb [%N]	< 0,5	< 0,5	1,04	0,53
TOC <sub>400</sub> [%C]	2,2	0,28	8,0	3,6
ROC [%C]	0,61	< 0,1	1,1	1,0
TIC <sub>900</sub> [%C]	0,25	0,10	0,21	0,48
TC [%C]	3,10	0,38	9,30	5,10
Mineralik [%]	96,9	99,52	90,7	94,9

Quecksilber [mg/kg]	0,0589	0,0111	0,282	0,153
Cadmium [mg/kg]	0,755	0,191	2,99	2,34
Chrom [mg/kg]	167	48,2	150	143
Kupfer [mg/kg]	14,5	2,25	68,6	39,2
Nickel [mg/kg]	18,3	4,53	71,6	47,4
Blei [mg/kg]	25,4	5,12	142	79
Zink [mg/kg]	130	25,9	518	332
Eisen [mg/kg]	22.600	6.130	97.800	51.800
Arsen [mg/kg]	10,4	3,22	50,2	25,4
Antimon [mg/kg]	0,843	0,189	4,12	2,4
Selen [mg/kg]	0,811	0,102	4,37	2,09
Thallium [mg/kg]	0,194	n.b.	0,711	0,501
Molybdän [mg/kg]	0,125	n.b.	1,48	0,676
Aluminium [mg/kg]	11.300	2.880	48.100	24.000
Cobalt [mg/kg]	9,02	2,87	34	22,3
Barium [mg/kg]	52,7	13,1	183	94,4
Mangan [mg/kg]	113	41,9	491	230
Vanadium [mg/kg]	43,4	12,3	206	97,6
Bor [mg/kg]	32,2	9,05	116	58,7
Titan [mg/kg]	417	299	690	523
Summe PCB [µg/g]	0,0088-0,0089	0,0014-0,0017	0,014	0,0080-0,0081
Summe PAK [µg/g]	0,693	0,127	2,17	1,39
Naphthalin [µg/g]	0,016	0,00516	0,0407	0,0265
Acenaphthylen [µg/g]	0,00816	0,00463	0,013	0,0104
Acenaphthen [µg/g]	0,00576	0,00197	0,0203	0,00964
Fluoren [µg/g]	0,0135	0,00559	0,0402	0,0257
Phenanthren [µg/g]	0,048	0,00957	0,182	0,109
Anthracen [µg/g]	0,0145	0,00614	0,0378	0,0262
Fluoranthren [µg/g]	0,102	0,0151	0,00759	0,00851
Pyren [µg/g]	0,0684	0,0107	0,0141	0,0117
Benz(a)anthracen [µg/g]	0,0477	0,00901	0,191	0,122
Chrysen [µg/g]	0,0562	0,0102	0,213	0,133
Benzo(b)fluoranthren [µg/g]	0,104	0,0143	0,511	0,324
Benzo(k)fluoranthren [µg/g]	0,0389	0,00689	0,171	0,11
Benzo(a)pyren [µg/g]	0,0523	0,0105	0,192	0,131
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/g]	0,0139	0,00331	0,0536	0,035
Dibenz(a,h)anthracen [µg/g]	0,0527	0,00722	0,256	0,159
Benzo(g,h,i)perylen [µg/g]	0,0505	0,00661	0,23	0,149



Ergebnisse der Wasserproben im Hiltruper See (25.10.2019)

Parameter	Probenahmestelle: Wassertiefe			
	Stelle 1: 1,8 m	Stelle 2: 2 m	Stelle 3: 1 m	Stelle 4: 1,5 m
Wassertemperatur [°C]	13	11	11	13
pH [20 °C]	7,5	7,4	7,6	7,6
Leitfähigkeit [µS/cm]	233	238	244	232
Sichttiefe [m]	1,7	1,5	1,0	1,6
Sauerstoff [mg/L]	8,13	8,21	7,88	8,57
Trübung [FAU]	19	2,2	3	3,8
TOC [mg/L]	8,4	7,3	7,5	7,8
TNb [mg/L]	< 1	< 1	< 1	< 1
AFS [mg/L]	72	3,9	4,5	10
AFS fein [mg/L]	7	< 1,9	< 2,2	2,5
P <sub>ges</sub> [mg/L]	0,13	0,13	0,13	0,13
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Chlorid [mg/L]	19	19	20	19
Sulfat [mg/L]	35	35	34	35
Fluorid	0,093	0,075	0,079	0,072
Bromid	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Quecksilber [µg/L]	0,0262	< 0,025	< 0,025	< 0,025
Cadmium [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Chrom [µg/L]	6,25	4,79	6,92	5,13
Kupfer [µg/L]	4,54	5,4	3,71	4,37
Nickel [µg/L]	7,11	10,5	9,93	7,93
Blei [µg/L]	3,74	1,33	2,05	6,02
Zink [µg/L]	26,6	30,7	30,9	20,6
Magnesium [µg/L]	3520	3420	3560	3420
Eisen [µg/L]	1610	192	266	341
Arsen [µg/L]	3,37	2,35	2,49	2,61
Antimon [µg/L]	0,348	0,31	0,291	0,292
Selen [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Thallium [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Molybdän [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Silber [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Aluminium [µg/L]	650	29,8	51,7	79,7
Cobalt [µg/L]	0,746	< 0,25	< 0,25	< 0,25

Barium [µg/L]	35	30	31,8	32,8
Mangan [µg/L]	30,1	16,9	23,6	22,2
Beryllium [µg/L]	< 0,25	0,256	< 0,25	< 0,25
Vanadium [µg/L]	11,5	7,69	7,82	8,34
Strontium [µg/L]	242	232	247	232
Bor [µg/L]	126	85,6	74,3	62,7
Uran [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Titan [µg/L]	16,8	4,91	2,43	1,9
Summe PCB [ng/l]	0,0-3,5	0,0-3,5	0,0-3,5	0,0-3,5
Summe PAK [µg/L]	0,0406-0,0956	0,0360-0,0910	0,0226-0,0876	0,0223-0,0873
Naphthalin [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Acenaphthylen [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Acenaphthen [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Fluoren [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Phenanthren [µg/L]	0,0095	0,00776	0,00778	0,00826
Anthracen [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Fluoranthren [µg/L]	0,00671	0,00527	< 0,005	< 0,005
Pyren [µg/L]	0,00621	0,00502	< 0,005	< 0,005
Benz(a)anthracen [µg/L]	0,011	0,0103	0,00834	0,00809
Chrysen [µg/L]	0,00722	0,00769	0,00646	0,00596
Benzo(b)fluoranthren [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo(k)fluoranthren [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo(a)pyren [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Dibenz(a,h)anthracen [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Benzo(g,h,i)perylene [µg/L]	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005

Ergebnisse der Sedimentproben im Hiltruper See (25.10.2019)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe			
	Stelle 1: 2 m	Stelle 2: 3,7 m	Stelle 3: 1,5 m	Stelle 4: 1,7 m
TOC [%C]	1,9	3,0	0,7	1,5
TNb [%N]	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
TOC <sub>400</sub> [%C]	1,3	2,4	0,44	1,0
ROC [%C]	0,44	0,60	< 0,1	0,22
TIC <sub>900</sub> [%C]	0,23	0,12	0,11	< 0,1
TC [%C]	1,93	3,07	0,55	1,19
Mineralik [%]	98,08	96,93	99,36	98,71

Quecksilber [mg/kg]	0,0448	0,104	0,0146	0,0272
Cadmium [mg/kg]	0,762	1,51	n.b.	0,356
Chrom [mg/kg]	81,9	201	50,6	127
Kupfer [mg/kg]	11,9	26,3	1,62	6,99
Nickel [mg/kg]	13,1	34,9	2,84	9,7
Blei [mg/kg]	21,6	52,2	2,85	12,1
Zink [mg/kg]	120	243	10,6	59,2
Eisen [mg/kg]	15.200	46.200	4.210	11.300
Arsen [mg/kg]	8,62	21,4	1,83	5,2
Antimon [mg/kg]	0,671	1,69	0,115	0,422
Selen [mg/kg]	0,537	1,57	n.b.	0,363
Thallium [mg/kg]	0,194	0,44	n.b.	0,104
Molybdän [mg/kg]	n.b.	0,418	n.b.	n.b.
Aluminium [mg/kg]	8.490	20.900	2.720	5.610
Cobalt [mg/kg]	7,97	17,3	1,56	4,75
Barium [mg/kg]	39,7	78,9	13,1	25,7
Mangan [mg/kg]	110	290	33,1	59,3
Vanadium [mg/kg]	31,6	83,6	9,1	23,1
Bor [mg/kg]	17,3	47,6	2,4	6,82
Titan [mg/kg]	510	452	170	410
Summe PCB [µg/g]	0,0057	0,0013	0,0014-0,0018	0,0022-0,0026
Summe PAK [µg/g]	0,692	1,84	0,123-0,124	0,358
Naphthalin [µg/g]	0,00398	0,00773	0,00921	0,00443
Acenaphthylen [µg/g]	0,00299	0,00361	0,00362	0,00283
Acenaphthen [µg/g]	0,00292	0,00653	0,00166	0,00224
Fluoren [µg/g]	0,00667	0,0144	0,00578	0,00425
Phenanthren [µg/g]	0,0514	0,123	0,024	0,0319
Anthracen [µg/g]	0,00557	0,0187	0,00525	0,00242
Fluoranthren [µg/g]	0,125	0,339	0,0238	0,0692
Pyren [µg/g]	0,0869	0,241	0,0174	0,0485
Benz(a)anthracen [µg/g]	0,0532	0,15	0,00779	0,0298
Chrysen [µg/g]	0,0603	0,159	0,0105	0,035
Benzo(b)fluoranthren [µg/g]	0,124	0,327	0,00944	0,0656
Benzo(k)fluoranthren [µg/g]	0,0383	0,1	0,00171	0,0191
Benzo(a)pyren [µg/g]	0,0481	0,139	0,00162	0,0241
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/g]	0,00615	0,0206	< 0,0005	0,003
Dibenz(a,h)anthracen [µg/g]	0,0337	0,0845	0,000769	0,0192
Benzo(g,h,i)perylene [µg/g]	0,0425	0,102	0,0005583	0,0238

Ergebnisse der Wasserproben im Hiltruper See (18.02.2020)

Parameter	Probenahmestelle: Wassertiefe			
	Stelle 1: 1,5 m	Stelle 2: 2 m	Stelle 3: 1 m	Stelle 4: 1,5 m
Wassertemperatur [°C]	6	6	6	7
pH [20 °C]	8,2	8,8	8,2	8,1
Leitfähigkeit [µS/cm]	299	320	299	297
Sichttiefe [m]	1,5	1,8	1,5	1,7
Sauerstoff [mg/L]	9,7	10,1	9,6	9,1
Trübung [FAU]	2,72	2,99	9,88	75,6
TOC [mg/L]	6,4	6,6	6,3	19
TNb [mg/L]	< 1	< 1	1,0	2,5
AFS [mg/L]	13	6,6	27	140
AFS fein [mg/L]	< 6,3	< 3,2	< 5,3	18
P <sub>ges</sub> [mg/L]	< 0,13	< 0,13	< 0,13	0,35
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	0,011	0,013	< 0,01	< 0,01
NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	0,61	0,65	0,55	0,63
Chlorid [mg/L]	18	19	18	18
Sulfat [mg/L]	36	37	35	36
Fluorid	0,17	0,18	0,17	0,17
Bromid	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Quecksilber [µg/L]	< 0,025	< 0,025	0,0375	0,0526
Cadmium [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	0,311
Chrom [µg/L]	93,5	5,38	6,74	15,5
Kupfer [µg/L]	7,75	6,23	7,29	14,4
Nickel [µg/L]	55	11,4	3,98	11,3
Blei [µg/L]	5,33	4,96	14,8	16,1
Zink [µg/L]	14,5	51,5	24,8	89,7
Magnesium [µg/L]	3570	3660	3550	4260
Eisen [µg/L]	607	230	965	10.400
Arsen [µg/L]	0,702	0,646	1,15	7,02
Antimon [µg/L]	0,312	0,282	0,362	0,647
Selen [µg/L]	0,254	< 0,25	< 0,25	0,896
Thallium [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Molybdän [µg/L]	10,6	0,458	0,845	0,885
Silber [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Aluminium [µg/L]	74,8	101	608	4.880
Cobalt [µg/L]	2,6	< 0,25	0,504	3,86

Barium [µg/L]	33,5	33,4	36,3	64,4
Mangan [µg/L]	18,6	10,5	25,2	253
Beryllium [µg/L]	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
Vanadium [µg/L]	8,65	8,08	10,6	29,7
Strontium [µg/L]	254	261	256	274
Bor [µg/L]	< 2,55	0,498	0,654	8,55
Uran [µg/L]	0,263	0,298	0,297	0,557
Titan [µg/L]	1,77	1,63	15,1	112
Summe PCB [ng/l]	1,1-3,6	0,0-3,5	0,0-3,5	1,0-4,0
Summe PAK [µg/L]	0,0478-0,102	0,0408-0,100	0,0492-0,103	0,0726-0,121
Naphthalin [µg/L]	0,00967	0,0141	0,0134	0,0146
Acenaphthylen [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Acenaphthen [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Fluoren [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Phenanthren [µg/L]	0,0116	0,00666	0,00738	0,00979
Anthracen [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Fluoranthren [µg/L]	0,00658	0,00594	0,00589	0,0112
Pyren [µg/L]	0,00547	< 0,0054	< 0,0054	0,00865
Benz(a)anthracen [µg/L]	0,00886	0,00873	0,00846	0,0101
Chrysen [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Benzo(b)fluoranthren [µg/L]	0,00559	0,0054	0,00548	0,00834
Benzo(k)fluoranthren [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Benzo(a)pyren [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	0,00859	0,0099
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Dibenz(a,h)anthracen [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054
Benzo(g,h,i)perylene [µg/L]	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054	< 0,0054

Ergebnisse der Sedimentproben im Hiltruper See (18.02.2020)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe			
	Stelle 1: 2 m	Stelle 2: 4 m	Stelle 3: 1,6 m	Stelle 4: 2,2 m
TOC [%C]	0,6	7,9	1,4	6,1
TN <sub>b</sub> [%N]	< 0,25	0,87	< 0,25	0,63
TOC <sub>400</sub> [%C]	< 0,25	9,6	1,02	7,1
ROC [%C]	< 0,25	0,80	< 0,25	0,77
TIC <sub>900</sub> [%C]	< 0,25	0,27	< 0,25	0,88
TC [%C]	< 0,25	10,7	1,02	8,70
Mineralik [%]	99,25	89,29	98,48	92,18
Quecksilber [mg/kg]	0,00841	0,164	0,0253	0,134

Cadmium [mg/kg]	0,197	2,17	0,262	2,56
Chrom [mg/kg]	9,74	70,6	27,3	58,7
Kupfer [mg/kg]	2,41	46,1	5,68	43,4
Nickel [mg/kg]	4,21	57	13,8	48,1
Blei [mg/kg]	6,58	99,9	15,4	93,8
Zink [mg/kg]	30,2	384	54,6	396
Eisen [mg/kg]	6.500	71.300	16.100	57.700
Arsen [mg/kg]	2,95	36,7	8,76	29,3
Antimon [mg/kg]	0,19	2,87	0,525	2,78
Selen [mg/kg]	0,119	2,87	0,496	2,56
Thallium [mg/kg]	0,0538	0,538	0,165	0,506
Molybdän [mg/kg]	0,141	1,51	0,388	1,83
Aluminium [mg/kg]	3.100	32.500	14.100	24.700
Cobalt [mg/kg]	2,53	28,8	6,71	25,1
Barium [mg/kg]	15,8	132	53	113
Mangan [mg/kg]	56,3	526	115	273
Vanadium [mg/kg]	12,8	141	45,6	113
Bor [mg/kg]	13,4	85,5	27,4	54,4
Titan [mg/kg]	426	539	410	629
Summe PCB [µg/g]	0,0080-0,0090	0,0092-0,0093	0,0034-0,0035	0,010-0,011
Summe PAK [µg/g]	0,202-0,203	0,820	0,121-0,122	0,333-0,334
Naphthalin [µg/g]	0,000838	0,00493	0,00143	0,00409
Acenaphthylen [µg/g]	< 0,0005	0,000745	< 0,0005	< 0,0005
Acenaphthen [µg/g]	< 0,0005	0,00406	< 0,0005	0,00347
Fluoren [µg/g]	0,000643	0,00668	0,000925	0,00506
Phenanthren [µg/g]	0,0194	0,07	0,0096	0,0474
Anthracen [µg/g]	0,00246	0,0108	0,00299	0,00432
Fluoranthren [µg/g]	0,0768	0,177	0,0169	0,0875
Pyren [µg/g]	0,0417	0,127	0,0116	0,0678
Benz(a)anthracen [µg/g]	0,00677	0,0617	0,00854	0,0162
Chrysen [µg/g]	0,0116	0,0696	0,013	0,019
Benzo(b)fluoranthren [µg/g]	0,0165	0,126	0,0225	0,0314
Benzo(k)fluoranthren [µg/g]	0,00536	0,0368	0,00705	0,00957
Benzo(a)pyren [µg/g]	0,00619	0,048	0,00929	0,0121
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [µg/g]	0,00157	0,00706	0,00215	0,00307
Dibenz(a,h)anthracen [µg/g]	0,0057	0,0332	0,00732	0,0108
Benzo(g,h,i)perylen [µg/g]	0,00631	0,0365	0,00788	0,0144

### c. Analysenergebnisse Unterbacher See

Ergebnisse der Wasserproben im **Unterbacher See**, (07.05.2018)

Parameter	Probenahmestelle: Wassertiefe	
	Stelle 1: 7 m	Stelle 2: 3 m
pH (Labormessung)	7,4	7,5
Leitfähigkeit (Labormessung) [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]	363	359
Trübung	17	30
P <sub>ges</sub> [mg/L]	< 0,13	< 0,13
NH <sub>4</sub> -N [mg/L]	< 0,1	< 0,1
NO <sub>2</sub> -N [mg/L]	0,016	0,017
NO <sub>3</sub> -N [mg/L]	0,14	0,12
Chlor [mg/L]	39	39
Sulfat [mg/L]	46	48
TOC [mg/L]	52	52
TNb [mg/L]	< 1	< 1
Summe PCBs [ng/L]	0,0-7,0	0,0-7,0
Summe PAK [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	0,0260-0,166	0,0113-0,161
Naphthalin [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Acenaphthylen [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Acenaphthen [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Fluoren [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Phenanthren [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Anthracen [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Fluoranthren [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Pyren [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	0,0142	0,0113
Benz(a)anthracen [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Chrysen [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Benzo(b)fluoranthren [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	0,0118	< 0,01
Benzo(k)fluoranthren [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Benzo(a)pyren [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Dibenz(a,h)anthracen [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Benzo(g,h,i)perylene [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 0,01	< 0,01
Quecksilber [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	0,557	0,267
Cadmium [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 1	< 1
Chrom [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 1	< 1
Kupfer [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	1,79	< 1
Nickel [ $\mu\text{g}/\text{L}$ ]	< 1	< 1

Blei [µg/L]	< 1	< 1
Zink [µg/L]	1,93	3,06
Magnesium [µg/L]	9.880	9.820
Kalium [µg/L]	5.920	4.740
Natrium [µg/L]	14.500	17.500
Eisen [µg/L]	12,9	51,1
Arsen [µg/L]	< 10	< 10
Antimon [µg/L]	< 1	< 1
Selen [µg/L]	< 10	< 10
Thallium [µg/L]	1,73	< 1
Molybdän [µg/L]	< 1	< 1
Aluminium [µg/L]	10,5	7,93
Cobalt [µg/L]	< 1	< 1
Barium [µg/L]	28,1	27,7
Mangan [µg/L]	22,7	2,73
Vanadium [µg/L]	< 1	< 1
Strontium [µg/L]	189	187
Bor [µg/L]	50,3	49,6
Uran [µg/L]	< 1	< 1

Ergebnisse der Sedimentproben im **Unterbacher See** (07.05.2018)

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente): Tiefe	
	Stelle 1: 13 m	Stelle 2: 5,5 m
TOC [%C]	2,46	4,95
TNb [%N]	7,48	< 1
TOC <sub>400</sub> -Mittelwert [%C]	2,035	4,385
ROC-Mittelwert [%C]	0,795	0,975
TIC <sub>900</sub> -Mittelwert [%C]	0,985	1,01
Mineralik [%]	96,19	93,63
Quecksilber [mg/kg]	0,12	0,172
Cadmium [mg/kg]	0,721	1,12
Chrom [mg/kg]	200	150
Kupfer [mg/kg]	27,9	39
Nickel [mg/kg]	48,1	55
Blei [mg/kg]	42,5	61,6
Zink [mg/kg]	121	195
Eisen [mg/kg]	41.800	44.200
Arsen [mg/kg]	30,2	36,1



Antimon [mg/kg]	1,52	1,96
Selen [mg/kg]	1,17	2,00
Thallium [mg/kg]	0,318	0,417
Molybdän [mg/kg]	0,763	0,993
Cobalt [mg/kg]	17,1	21,3
Barium [mg/kg]	161	180
Vanadium [mg/kg]	46,5	62,2
Strontium [mg/kg]	99,3	95,1
Summe PCB [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0000 – 0,0060	0,0110 – 0,0140
Summe PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,392-0,512	0,670-0,770
Naphthalin [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0388	0,0356
Acenaphthylen [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,02	< 0,02
Acenaphthen [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,02	< 0,02
Fluoren [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,02	< 0,02
Phenanthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0317	0,0479
Anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,02	< 0,02
Fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0716	0,115
Pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0622	0,101
Benz(a)anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0295	0,0475
Chrysen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0241	0,0456
Benzo(b)fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0546	0,101
Benzo(k)fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,02	0,0314
Benzo(a)pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0307	0,0541
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0235	0,0448
Dibenz(a,h)anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	< 0,02	< 0,02
Benzo(g,h,i)perylene [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0252	0,0465

#### d. Analysenergebnisse Baldeney See

Ergebnisse der Sedimentproben im **Baldeneysee**

Parameter	Probenahmestelle (Sedimente):	
	Stelle: Kontrollfeld	Stelle: Testfeld <u>NACH</u> Pflücken
TOC [%C]	6,5	6,8
TNb [%N]	0,51	0,51
TOC <sub>400</sub> -Mittelwert [%C]	4,9	5,1
ROC-Mittelwert [%C]	0,81	0,86
TIC <sub>900</sub> -Mittelwert [%C]	0,11	0,12
Mineralik [%]	94,2	93,88
Summe PCBs [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,021	0,015

Summe PAK [ $\mu\text{g/g}$ ]	4,07	4,22
Naphthalin [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0513	0,0634
Acenaphthylen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0211	0,0258
Acenaphthen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0191	0,0232
Fluoren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0444	0,0498
Phenanthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,31	0,368
Anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0614	0,0641
Fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,651	0,721
Pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,452	0,502
Benz(a)anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,314	0,341
Chrysen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,403	0,227
Benzo(b)fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,612	0,65
Benzo(k)fluoranthren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,215	0,228
Benzo(a)pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,291	0,306
Indeno(1,2,3,c,d)pyren [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,0674	0,0667
Dibenz(a,h)anthracen [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,279	0,295
Benzo(g,h,i)perylene [ $\mu\text{g/g}$ ]	0,277	0,288
Quecksilber [mg/kg]	0,298	0,291
Cadmium [mg/kg]	4,19	4,36
Chrom [mg/kg]	272	290
Kupfer [mg/kg]	156	147
Nickel [mg/kg]	70,9	71
Blei [mg/kg]	141	129
Zink [mg/kg]	990	921
Eisen [mg/kg]	33.100	35.000
Arsen [mg/kg]	9,25	9
Antimon [mg/kg]	2,15	2,12
Selen [mg/kg]	1,66	1,68
Thallium [mg/kg]	0,793	0,806
Molybdän [mg/kg]	1,84	1,9
Cobalt [mg/kg]	16,8	15,6
Barium [mg/kg]	477	441
Vanadium [mg/kg]	67	62,6
Strontium [mg/kg]	71,6	73,3
Bor [mg/kg]	42,2	38,5
Titan [mg/kg]	564	544

e. Zeitungsausschnitt



# „Wenn die Wasserpest kommt, sind wir da“

MÜNSTER-HILTRUP. Der Hiltruper Segelclub kämpft für seinen Sport und erhält kräftige Unterstützung

Wer derzeit ins Kino geht, um den Film „Münster Above“ zu sehen und die Schönheit Münsters aus der Luft zu genießen, der wird auf ein Problem des Hiltruper Sees regelrecht gestoßen. „Unübersehbar“ sei die Wasserpest aus der Luft, erzählt Martin Schuster von den Stadtwerken Münster. Der ungebremste Wuchs der Elodea, wie die Wasserpest auch genannt wird, bereitet Seglern und Naturschützern, der Stadt Münster,

dem Hotel Krautkrämer und den Stadtwerken Münster gleichermaßen Sorge. Deshalb unterstützen sie das Vorhaben, mit unkonventionellen Mitteln dem Problem zu Leibe zu rücken. Ein neu entwickelter Rollenpflücker soll im Sommer erstmals zum Einsatz kommen. Der Clou dabei: Die Wasserpflanze wird nicht gemäht, sondern samt ihrer Wurzel aus dem Seegrund gerissen. Entwickelt wurde der Rollenpflücker vom Maschinen-

bauer Jörn Lutat. Finanziell unterstützt wird das Vorhaben durch die Bundesstiftung Umwelt. Das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen wird das Projekt zudem zweieinhalb Jahre wissenschaftlich begleiten. **Dringlichkeit** Martin Wurzer-Berger, Vorsitzender des Hiltruper Segelclubs versammelte jetzt alle Akteure an einen Tisch und zeigte die Dringlichkeit auf. Im vergangenen Sommer ha-

be man allein bei einer Entkrautungsaktion rund um den Bootssteg 18 Kubikmeter Elodea aus dem See geholt. Man sei froh, den Zuschlag für die Förderung erhalten zu haben. Denn: „Wir brauchen eine Perspektive für unseren Sport.“ 2017 sei man auf den Aasee ausgewichen. Noch einmal soll das nicht passieren: „Wenn sich die Wasserpest im Sommer kommt, sind wir da.“ Der Rollenpflücker soll seine Nagelprobe bestehen. *Michael Grottendieck*

Westfälische Nachrichten: <http://www.wn.de/Muenster/Stadtteile/Hiltrup/3193418-Hiltruper-See-Kampf-gegen-die-Wasserpest>

## f. Projektsteckbrief

veröffentlicht auf

<https://www.isa.rwth-aachen.de/forschung/umweltanalytik/rollenpfluecker>

### PROJEKTSTECKBRIEF



<b>Titel</b>	Einsatzmöglichkeiten der Rollenpflückertechnologie für das Entfernen und Verdichten von invasiven Wasserpflanzen (Rollenpflücker)
<b>Projektleiter</b>	Univ.-Prof. Dr.-Ing. J. Pinnekamp
<b>Verantwortlicher Projektbearbeiter</b>	Regina Dolny, M. Sc. Mail: dolny@isa.rwth-aachen.de FON: +49 (0)241 80 25158
<b>Projektpartner</b>	Lutat Fluid Technologie UG
<b>Mittelgeber</b>	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
<b>Laufzeit</b>	07.08.2017 – 07.12.2019
<p>Viele Gewässer sind aufgrund der massiven Ausbreitung invasiver Wasserpflanzen stark eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten betroffen. Unter Naturschutzgesichtspunkten stellt das extreme Wachstum eine Gefahr für die natürliche Flora in Schutzgebieten dar. Die aktuelle Methode des mehrfachen „Mähens“ pro Jahr hat nur einen sehr eingeschränkten Erfolg. Ziel ist es eine Technologie zu entwickeln, welche die Pflanzen vollständig entfernen kann, den Arbeitsaufwand reduziert, keinen Schaden im Gewässer hinterlässt und wenn möglich Kosten reduziert.</p> <p>Die Lutat Fluid Technologie UG hat das Konzept des Rollenpflückers entwickelt. Die Basisinnovation sind zwei gegenläufige, flexibel absenkbare Rollen (Rollenpflücker), welche die Pflanzen greifen und nahezu vollständig mit der Wurzel durch Zug roden. Durch anschließende mechanische Entwässerungsmaßnahmen und Entsorgung aller anfallenden Teilströme können die Entsorgungskosten gesenkt werden und eine Eutrophierung des Gewässers minimiert werden. Eine stofflich-energetische Weiterverwertung der Biomasse wird geprüft.</p> <p>Das ISA koordiniert das Projekt und wird Untersuchungen zur Umweltverträglichkeit der neuen Technologie durchführen. Vor und nach dem Einsatz des Rollenpflückers werden in verschiedenen Jahreszeiten zwei Jahre lang 7 Messkampagnen durchgeführt. Das Wachstum der Elodea wird dokumentiert. Im Messprogramm werden PAK, PCB, verschiedenen Elemente, TOC/ TNb in Wasser und Sediment gemessen. Zusätzlich wird für das Sediment die Korngröße bestimmt und in der Wasserphase werden der AFS/AFS<sub>23</sub>, Trübung, Ammonium, Phosphat und verschiedene Ionen untersucht. Die Wiederbewuchsrate wird vergleichend ausgewertet (Luftaufnahmen).</p>	

## g. Projektbeschreibung

veröffentlicht auf <https://www.isa.rwth-aachen.de>

### „Einsatzmöglichkeiten der Rollenpflückertechnologie für das Entfernen und Verdichten von invasiven Wasserpflanzen“

Seit August 2017 beschäftigt sich das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University (ISA) auch ein wenig abseits der Abwasserpfade mit dem Thema der invasiven Wasserpflanzen. Das zweijährige Projekt „Einsatzmöglichkeiten der Rollenpflückertechnologie für das Entfernen und Verdichten von invasiven Wasserpflanzen“ wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

Viele Binnengewässer sind aufgrund der fortschreitenden Eutrophierung von der massiven Ausbreitung nicht heimischer invasiver Wasserpflanzen wie *Elodea canadensis* bzw. *Elodea nuttallii* und den damit einhergehenden stark eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten betroffen. Unter Naturschutzgesichtspunkten kann das extreme Wachstum der Elodea-Spezies eine Gefahr für die natürliche Flora in Schutzgebieten darstellen. Auf der einen Seite eliminieren die Pflanzen im Sommer Stickstoff und Phosphor unter großem Biomassenzuwachs aus der Wasserphase. Auf der anderen Seite werden im Winter diese eingelagerten Nährstoffe durch die abgestorbenen Pflanzenreste auf dem Seegrund wieder freigesetzt und stellen damit ganzjährig betrachtet keine Nährstoffreduktion dar.

Die aktuelle Methode des „Mähens“ hat nur sehr eingeschränkten Erfolg bzgl. der Nachhaltigkeit und der Nährstoffreduktion, da nur der oberste Teil der Pflanzen entfernt wird und damit die Pflanzen sehr schnell wieder nachwachsen.



Abbildung 1: Entnahme einer Wasserprobe aus 2 m Tiefe im Hiltruper See

Daher hat die Lutat Fluid Technologie UG (LFT) das Konzept des Rollenpflückers entwickelt und erste Vorstufen erfolgreich erprobt. Die Basisinnovation sind zwei gegenläufige flexibel absenkbare Rollen (Rollenpflücker) auf einem Transportponton, welche die Pflanzen greifen und nahezu vollständig mit der Wurzel durch Zug roden. Dabei wird das entfernte Pflanzenmaterial bereits teilentwässert und verdichtet. Durch weitere mechanische Entwässerungsmaßnahmen und Entsorgung aller anfallenden Teilströme können die Entsorgungskosten weiter gesenkt und eine stofflich-energetische Weiterverwertung der Biomasse ermöglicht werden.

Die Technologie soll unter Berücksichtigung aller umweltrelevanter Prozesse (Nährstoffreduktion, Biomasseentfernung und -verwertung, Wiederbewuchs) zu einem einsatzfähigen Prototypen inkl. Verwertungskonzept weiterentwickelt werden. Dabei wird ein mehrjähriges Monitoring-Programm der Wasser- und Sedimentphase während des ganzen Prozesses vom ISA durchgeführt. Die Wiederbewuchsrate wird vergleichend photographisch ausgewertet. Durch Untersuchungen zur Verwertung der Biomasse und Qualität der Pressabwasserströme sollen Verwertungs- und Entsorgungspotentiale (z.B. Biogaserzeugung aus der Biomasse, Entsorgung der Abwasserströme in kommunales Abwassernetz) aufgezeigt werden.

## h. Artikel in gwf Wasser+Abwasser

09/2019 Jahrgang 160 ISSN 0016-3651

# Einsatzmöglichkeiten der Rollenpflücker- technologie für das Entfernen und Verdichten von invasiven Wasserpflanzen

Seit August 2017 beschäftigt sich das Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University (ISA) zusammen mit der Lutat Fluid Technologie UG auch ein wenig abseits der Abwasserpfade mit dem Thema der invasiven Wasserpflanzen. Das zweijährige Projekt „Einsatzmöglichkeiten der Rollenpflückertechnologie für das Entfernen und Verdichten von invasiven Wasserpflanzen“ wird von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

Viele Binnengewässer sind aufgrund der fortschreitenden Eutrophierung von der massiven Ausbreitung nicht heimischer invasiver Wasserpflanzen wie *Elodea canadensis* bzw. *Elodea nuttallii* und den damit einhergehenden stark eingeschränkten Nutzungsmöglichkeiten, z. B. für den Wassersport, betroffen (Bild 1). Unter Naturschutzgesichtspunkten stellt das extreme Wachstum der

*Elodea* eine Gefahr für die natürliche Flora in Schutzgebieten dar, da es im Sommer zu erhöhter Biomassenproduktion führen kann [1, 2]. Im Winter steigt somit die Gefahr der Eutrophierung durch abgestorbene Pflanzenreste, da die Pflanzen Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor ebenso wie Schwermetalle aus der Wachstumsphase in der Wachstumsphase binden [3-5].

Die aktuelle Methode des „Mähens“ für das Entfernen von invasiven Wasserpflanzen hat nur sehr eingeschränkten Erfolg bzgl. der Nachhaltigkeit und der Nährstoffreduktion, da nur der oberste Teil der Pflanzen (30-50 %) entfernt wird und damit die Pflanzen sehr schnell wieder nachwachsen und die abtreibenden Pflanzenreste neue Flächen besiedeln. Die Lutat Fluid Technologie UG (LFT) hat daher das Konzept des Rollenpflückers entwickelt (Bild 2).



Bild 1: Bewuchs des Hiltruper Sees im Mai 2018



Bild 2: Prototyp des Rollenpflückers beim Testeinsatz im Sommer 2018

Die Basisinnovation sind zwei gegenläufige flexibel absenkbare Rollen (Rollenpflücker), welche die Pflanzen greifen und nahezu vollständig mit der Wurzel durch Zug roden. Durch weitere mechanische Entwässerungsmaßnahmen und Entsorgung aller anfallenden Teilströme sollen die Entsorgungskosten weiter gesenkt und eine stofflich-energetische Weiterverwertung der Biomasse ermöglicht werden.

Im Vergleich zur aktuellen Mähtechnik kann bereits früh in der Wachstumsperiode mit der Rodung durch den Rollenpflücker begonnen werden, da ein bodennahes Pflücken durch die höhenvariable Rolleneinheit im Vergleich zu einem Mähwerk möglich ist. Die Rodungsvorgänge müssten hiermit deutlich seltener durchgeführt werden (1-2x/a) im Gegensatz zum Mähen (3-4x/a). Der Rollenpflücker-Rodungsprozess ist somit nachhaltiger und umweltfreundlicher als das Mähen, da man durch die selteneren Einsätze Energie und Personal einspart und insbesondere die Anzahl der Eingriffe in das Ökosystem See deutlich verringert. Hierdurch könnten auch in Gewässern ohne hohe wirtschaftliche Nutzung pflegende Maßnahmen zur Reduzierung invasiver Wasserpflanzen überhaupt erst ermöglicht werden.

Die Technologie wird im Projekt unter Berücksichtigung aller umweltrelevanter Prozesse (Nährstoffreduktion, Biomasseentfernung und -verwertung, Wiederbewuchs) zu einem einsatzfähigen Prototypen inkl. Verwertungskonzept weiterentwickelt. Dabei wird ein mehrjähriges Monitoring-Programm der Wasser- und Sedimentphase während des ganzen Prozesses vom Institut für

Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen University (ISA) durchgeführt. Die Wiederbewuchsraten werden vergleichend photographisch ausgewertet. Durch Untersuchungen zur Verwertung der Biomasse und Qualität der Pressabwasserströme werden auch Verwertungs- und Entsorgungspotentiale (z. B. Biogas-erzeugung aus der Biomasse, Entsorgung der Abwasserströme in kommunales Abwassernetz) aufgezeigt.

[1] Stengert, M., Podraza, P., van de Weyer, P. (2007): Die Entwicklung von *Elodea nuttallii* (FLANCH.) ST. JOHN in den Ruhrauseen unter dem Einfluss von Hochwasserereignissen im Frühjahr 2006 bzw. Sommer 2007. DGL Jahrestagungen 2007/2008 (Münster, Werden).

[2] Weyer, P. van de, Hussner, A. (2007): Die aquatischen Neophyten (Gefäßpflanzen, Armleuchteralgen und Moose) Deutschlands - eine Übersicht. DGL Jahrestagungen 2007/2008 (Münster, Werden).

[3] Ozimek, T., van Donk, E., Gulati, R.D. (1993): Growth and nutrient uptake by two species of *Elodea* in experimental conditions and their role in nutrient accumulation in a macrophyte-dominated lake. In *Hydrobiologia* (251), Seite 13-18.

[4] Rabach, F., Hajnsek, J., Eglin, J., Trémalières, M. (1995): Phosphorus sources for aquatic macrophytes in running waters: water or sediment? In *Acta Botanica Gallica* 142 (6), Seite 719-731.

[5] Podraza, P., Blinkmann, T., Evers, P., van Felde, D., Frost, U., Klopp, R., Knotte, H., Kühlmann, M., Kuk, M., Lipta, P., Nusch, E.A., Stengert, M., Wessel, M., van de Weyer, P. (2008): Abschlussbericht - Untersuchungen zur Massenentwicklung von Wasserpflanzen in den Ruhrauseen und Gegenmaßnahmen. F&E-Vorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) - Aktenzeichen: 54.173/25-5230.