



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Fakultät Life Sciences

# Untersuchung zur Reproduzierbarkeit von Sedimenttoxizitätsdaten unter Anwendung mikrobiologischer Testverfahren

Bachelorarbeit

Im Studiengang Umwelttechnik

Vorgelegt von

**Wittig, Nicole**



Hamburg, Bergedorf

am 25.April 2017

**Gutachterin:** Prof. Dr. Heise, Susanne (HAW Hamburg)

**Gutachterin:** Prof. Dr. habil. Witt, Gesine (HAW Hamburg)

# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>I</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>II</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>III</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>V</b>
<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MATERIAL UND METHODEN</b> .....	<b>4</b>
2.1 PROBENAHEME .....	4
2.2 ORTE DER PROBENAHEME .....	6
2.2.1 <i>Krankenhaus Groß Sand – Veringkanal</i> .....	6
2.2.2 <i>Alte Süderelbe</i> .....	10
2.3 PROBENVORBEREITUNG.....	13
2.4 ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	14
2.5 LEUCHTBAKTERIENTEST.....	20
2.6 RÖNTGENFLUORESZENZANALYSE .....	24
<b>3. ERGEBNISSE</b> .....	<b>25</b>
3.1 GROßSANDER WETTERN.....	26
3.2 ALTE SÜDERELBE .....	31
3.2.1 <i>Algenwachstumshemmtest</i> .....	31
3.2.2 <i>Leuchtbakterientest mit Eluaten</i> .....	36
3.2.3 <i>Leuchtbakterientest mit Extrakten</i> .....	41
3.3 NORMALISIERUNG.....	45
3.3.1 <i>Röntgenfluoreszenzanalyse</i> .....	45
3.3.1 <i>Anpassung der Schichten</i> .....	55
<b>4. DISKUSSION</b> .....	<b>62</b>
<b>5. ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>69</b>
<b>6. LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>70</b>
<b>7. ANHANG</b> .....	<b>74</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AGI	Algenwachstumshemmtest
ASW	Artificial Sea Water
HCl	Salzsäure
LBT	Leuchtbakterientest
MeOH	Methanol
NaCl	Natriumchlorid
NaOH	Natriumhydroxid
VarK	Variationskoeffizient

## Abbildungsverzeichnis

<b>ABBILDUNG 1:</b> LAGE DES VERINGKANALS IN HAMBURG .....	6
<b>ABBILDUNG 2:</b> VERLAUF DES VERINGKANALS .....	7
<b>ABBILDUNG 3:</b> LAGE DER PROBENAHME AM GROßSANDER WETTERN IN HAMBURG – WILHELMSBURG .....	8
<b>ABBILDUNG 4:</b> GROßSANDER WETTERN PROBENAHMEORT – AUS SÜDLICHER RICHTUNG AM 16. MÄRZ 2017 FOTOGRAFIERT .....	9
<b>ABBILDUNG 5:</b> LAGE DER ALTEN SÜDERELBE IN HAMBURG .....	10
<b>ABBILDUNG 6:</b> VERLAUF DER ALTEN SÜDERELBE .....	11
<b>ABBILDUNG 7:</b> PROBENAHMEORT AN DER ALTEN SÜDERELBE .....	12
<b>ABBILDUNG 8:</b> VEGETATION AN DER ALTEN SÜDERELBE – AUS WESTLICHER RICHTUNG AM 13. FEBRUAR 2017 .....	13
<b>ABBILDUNG 9:</b> PIPETTIERSHEMA DER KONTROLLPLATTE IM AGI.....	16
<b>ABBILDUNG 10:</b> PIPETTIERSHEMA DER POSITIVKONTROLLE MIT 3,5-DCP IM AGI	17
<b>ABBILDUNG 11:</b> PIPETTIERSHEMA DER ELUATE IM AGI.....	18
<b>ABBILDUNG 12:</b> GRUNDSHEMA DER BELEGUNG DER 96-WELL-PLATTE .....	20
<b>ABBILDUNG 13:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DES GROßSANDER WETTERN IM ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	28
<b>ABBILDUNG 14:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DES GROßSANDER WETTERN IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT ELUATEN.....	29
<b>ABBILDUNG 15:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DES GROßSANDER WETTERN IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT EXTRAKTEN.....	30
<b>ABBILDUNG 16:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE I IM ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	33
<b>ABBILDUNG 17:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE II IM ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	34
<b>ABBILDUNG 18:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE III IM ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	35
<b>ABBILDUNG 19:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE I IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT ELUATEN .....	38

<b>ABBILDUNG 20:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE II IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT ELUATEN .....	39
<b>ABBILDUNG 21:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE III IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT ELUATEN .....	40
<b>ABBILDUNG 22:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE I IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT EXTRAKTEN .....	42
<b>ABBILDUNG 23:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE II IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT EXTRAKTEN .....	43
<b>ABBILDUNG 24:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER ALTEN SÜDERELBE III IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT EXTRAKTEN .....	44
<b>ABBILDUNG 25:</b> VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER QUOTIENTEN AUS BLEI UND RUBIDIUM IN DEN DREI PROBENAHMEN DER ALTEN SÜDERELBE .....	49
<b>ABBILDUNG 26:</b> VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER QUOTIENTEN AUS KUPFER UND RUBIDIUM IN DEN DREI PROBENAHMEN DER ALTEN SÜDERELBE .....	54
<b>ABBILDUNG 27:</b> VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER HEMMUNGEN IM AGI IN DER ALTEN SÜDERELBE NACH DER ANPASSUNG DER SCHICHTEN .....	57
<b>ABBILDUNG 28:</b> VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER HEMMUNGEN IM LBT MIT ELUATEN IN DER ALTEN SÜDERELBE NACH DER ANPASSUNG DER SCHICHTEN ...	59
<b>ABBILDUNG 29:</b> VERGLEICHENDE DARSTELLUNG DER HEMMUNGEN IM LBT MIT EXTRAKTEN IN DER ALTEN SÜDERELBE NACH DER ANPASSUNG DER SCHICHTEN .....	61

## Tabellenverzeichnis

<b>TABELLE 1:</b> ÜBERSICHT PROBENAHMEN .....	5
<b>TABELLE 2:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE IM ALGENWACHSTUMSHEMMTEST UND IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT ELUATEN UND EXTRAKTEN DES GROßSANDER WETTERN .....	27
<b>TABELLE 3:</b> BEZEICHNUNG DER PROBENAHMEN AN DER ALTEN SÜDERELBE .....	31
<b>TABELLE 4:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE IM ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	32
<b>TABELLE 5:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT ELUATEN .....	36
<b>TABELLE 6:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT EXTRAKTEN .....	41
<b>TABELLE 7:</b> NORMALISIERUNG DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE ANHAND DER BILDUNG DES QUOTIENTEN AUS BLEI UND RUBIDIUM .	45
<b>TABELLE 8:</b> ÜBERSICHT DER MÖGLICHKEIT DER ANPASSUNG DER SCHICHTEN ZWISCHEN DEN DREI PROBENAHMEN DER ALTEN SÜDERELBE AUF BASIS DES QUOTIENTEN AUS BLEI UND RUBIDIUM .....	48
<b>TABELLE 9:</b> NORMALISIERUNG DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE ANHAND DER BILDUNG DES QUOTIENTEN AUS KUPFER UND RUBIDIUM .....	50
<b>TABELLE 10:</b> ÜBERSICHT DER MÖGLICHKEIT DER ANPASSUNG DER SCHICHTEN ZWISCHEN DEN DREI PROBENAHMEN DER ALTEN SÜDERELBE AUF BASIS DES QUOTIENTEN AUS KUPFER UND RUBIDIUM .....	53

## 1. Einleitung

Sedimente sind im Gegenteil zu Luft und Wasser ein unbeweglicher Bestandteil eines Ökosystems (Ahlf et al. 2004) und hat eine große Bedeutung für die Bewertung von Gewässern. Zum einen dienen sie als Habitat für Organismen sowie als Nährstoffquelle (Hollert et al. 2009) und zum anderen als Reservoir für Schadstoffe, die hier umfangreich akkumulieren können (Rocha 2009). Sedimente agieren sowohl als Senke für in Wasser gelöste Stoffe als auch als Schadstoffquelle (Hollert et al. 2009). Bis nach dem zweiten Weltkrieg gab es kein großes Umweltverständnis, sodass die Beeinträchtigung der Umwelt die Folge war. Bias (2007) schreibt über den schlechten Gewässergütezustand, welcher in den 60er Jahren zum Beispiel in der Nord- und Ostsee durch den „Anstieg epidemischer Erkrankungen von Fischen“ publik wurde. Grund dafür seien anthropogene Einflüsse gewesen. Auch Sturm (2003) berichtet über anthropogene Einträge von Schwermetallen, Chlororganika und Radionuklide in die Nord- und Ostsee. Da Schadstoffe, wie oben erwähnt, ein hohes Potential zur Akkumulation in Sedimenten aufweisen, konnten sich diese Schadstoffe in den Sedimenten ablagern. Dies zeigten auch die Ergebnisse chemischer Analysen von hohen organischen und anorganischen Schadstoffen in dem Sediment der Elbe in den 1970er Jahren (Förstner & Müller 1974). Durch Hochwasser oder Aufwirbelungen können diese Schadstoffe wieder in die wässrige Phase übergehen und bzw. oder biologisch wieder verfügbar werden (Rocha 2009). Bis in die 1990er Jahre wurde eine Bewertung des Sediments mit Hilfe chemischer Analysen zur zeitlichen und räumlichen Verteilung als ausreichend erachtet. Mitte der 1990er stellte sich aber heraus, dass die Bewertung durch Biotest in Deutschland ebenfalls eine wichtige Rolle darstellen sollte (Calmano 1996). Biotests, die eine Wirkung von Umweltproben auf Testorganismen detektieren, haben gegenüber chemischer Analysen den Vorteil, dass nur die bioverfügbaren Schadstoffe wahrgenommen werden, und die Effekte von Mischtoxizitäten gemessen werden können (Ahlf et al. 2002). Jedoch wird, so Hollert et al. (2009), in Deutschland weiterhin der chemische Ansatz zur Beurteilung von Sedimenten bevorzugt. Um eine Beurteilung von Sedimenten durchzuführen, sollten zusätzlich biologische Testverfahren durchgeführt werden, um die toxische Wirkung auf Organismen und damit ebenfalls die Bioverfügbarkeit der Schadstoffe im Sediment feststellen zu können. Die toxische Wirkung von resuspendierten Sedimenten wird z.B. von Eluaten simuliert, indem das Sediment mit Wasser vermischt und für eine

definierte Zeit geschüttelt wird (Ahlf & Förstner 1989). Weitergehend kann aber auch durch den Einsatz von Lösungsmitteln wie Aceton oder Methanol versucht werden, „die langfristige Schädigung von Organismen durch überwiegend fettlösliche Substanzen und eine kurze Exposition gegenüber den potenziell verfügbaren Schadstoffen nachzuahmen“ (Hollert et al. 2009 S.164). Die Durchführung mit den Eluaten und bzw. oder Extrakten sollte einer Kombination aus mehreren Testkombinationen angepasst sein und die Zielsetzung der jeweiligen Arbeit verfolgen (Ahlf et al. 2002 und Pfeifer et al. 2000). Zudem sollte eine Testbatterie zur Bewertung eines Sedimentes genutzt werden, um eine hinreichend sichere Bewertung zu erlangen (Pfeifer et al. 2000). Trotz der steigenden Bedeutung der biologischen Testverfahren gibt es weiterhin Kritiken an den Ergebnissen der Tests. Claus et al. (2009) zeigen auf, dass die Ergebnisse aus dem Algenwachstumshemmtest im Elbgebiet räumlich und zeitlich gesehen deutlich schwanken. Die Hamburg Port Authority (HPA) weist in ihrem Abschlussbericht ebenfalls auf die hohen Schwankungen innerhalb des Algenwachstumshemmtests hin. Die Hafenbehörde des Hamburger Hafens beklagt zudem die möglichen Falschaussagen der Belastung des zu verklappenden Baggerguts aus der Elbe anhand des Algentests (Hamburg Port Authority 2017). Auf Grund dieser Einschränkungen kann es zu der Einschätzung einzelner Institutionen oder Personen kommen, dass biologische Testverfahren zur Beurteilung von Sedimenten nicht geeignet sein. Ziel dieser Arbeit ist, mit Hilfe der Durchführung von biologischen Testverfahren die Reproduzierbarkeit der Testergebnisse mit verschiedenen Biotests zu untersuchen. Insgesamt wurden dafür innerhalb von acht Wochen in einem Abstand von zwei Wochen vier Sedimentkerne genommen. Um die Testbedingungen im Feld und im Labor zu definieren, wurde eine „Übungsprobe“ am Großsander Wettern genommen und unter Testbedingungen beprobt. Die weiteren drei Proben für die Arbeitshypothese wurden an der Alten Süderelbe auf Höhe der Aluminiumwerke genommen. Die Sedimentkerne wurden im Algenwachstumshemmtest mit *Raphidocelis subcapitata* und im Leuchtbakterientest mit *Aliivibrio fischeri* mit Eluaten untersucht, außerdem wurden sie im Leuchtbakterientest ebenfalls mit Extrakten untersucht. Um einen Vergleich zwischen den drei Sedimentkernen an der Alten Süderelbe zu ermöglichen, wurde nach einer Möglichkeit gesucht, die „gleichen Schichten“ (trotz unterschiedlicher Sedimentationsrate bzw. Ablagerung unterschiedlicher Feinkornanteile) zu identifizieren. Dazu wurden Tiefenprofile von Blei, Kupfer und Rubidium mit Hilfe einer



mobilen Röntgenfluoreszenzanalyse aufgenommen. Blei und Kupfer sind Schwermetalle, die in dieser Region einem anthropogenen Einfluss unterliegen. Rubidium hingegen ist ein nicht anthropogen beeinflusstes Schwermetall und kommt in natürlicher Weise in Sedimenten vor, weswegen es sich für die Normalisierung von Blei und Kupfer eignet (Grant & Middleton 1990). Die Identifizierung sich entsprechender Sedimenttiefen, deren Biotestergebnisse dann einander gegenübergestellt werden, findet ausschließlich anhand der Bildung von Quotienten statt. Eine Betrachtung der Sedimentationsrate und eine multivariate Analyse hätte den Rahmen dieser Arbeit überschritten.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Probenahme

Innerhalb eines Zeitraums von acht Wochen wurden vier Sedimentproben genommen. Die erste Probenahme am 30. Januar 2017 erfolgte als Übung für die Probenahme und der Durchführung des AGI und LBT in unmittelbarer Nähe zum Krankenhaus Groß Sand an einem Zufluss zum Veringkanal (vgl. Kapitel 2.2). Die anderen drei Probenahmen erfolgten am 13. Februar, 27. Februar und 13. März 2017 an der Alten Süderelbe auf der Höhe der Aluminiumwerke „Trimet Aluminium SE“ (vgl. Kapitel 2.3) als Grundlage der Bewertung der These.

Die Sedimentkerne wurden als Punktproben mit Hilfe eines Sedimentstechrohrs, dem Multisampler (EIJKELKAMP), genommen. Das Gerät ist für „die Beprobung von nassem Fest- oder Flüssigmaterial [...] bis zu einer Wassertiefe von 5 m geeignet“ (EIJKELKAMP, 2017a). Gestochen werden kann ein Sedimentkern mit einem Durchmesser von 40 mm und einer maximalen Länge von 1 m (EIJKELKAMP, 2008). Die Probenahme erfolgt, indem der Multisampler auf den Boden aufgesetzt wird und dann das Plexiglasrohr in das Sediment gedrückt wird, während gleichzeitig der „Sauger“ (EIJKELKAMP, 2017a) innerhalb des Rohres über eine Stange auf der gleichen Höhe festgehalten wird, sodass der Sedimentkern durch den entstehenden Unterdruck in das Rohr gezogen wird. Aufgrund der Beschaffenheit des Sediments und des mit der Probenahme verbundenen Kraftaufwandes kann es zu unterschiedlichen Größen des Sedimentkerns kommen (vgl. Tabelle 1 Probenmenge).

Die Probenahme am 30. Januar am Krankenhaus Groß Sand – Veringkanal erfolgte von einem Steg aus. Am 13. Februar war es durch die Wetterlage möglich, eine Probenahme auf der zugefrorenen Alten Süderelbe durchzuführen. Dabei wurde die tragende Eisschicht mit einem Hammer punktförmig durchbrochen und durch dieses Loch der Sedimentkern genommen. Für die weiteren beiden Probenahmen am 27. Februar und 13. März musste der Probenehmer in die Alte Süderelbe hineinwaten.

Am 30. Januar und am 13. Februar wurden die genommenen Sedimentkerne vor Ort in 2 cm tiefe Schichten geteilt. Diese wurden vor Ort in unsterile Mehrzweckbecher mit einem Volumen von 125 ml (CARL ROTH GMBH + CO. KG, Artikelnummer YP06.1) überführt. Die letzten beiden Proben von der Alten Süderelbe, die am 27. Februar und 13. März genommen wurden, wurden an der HAW geschlachtet. Ansonsten fanden

alle weiteren Probenaufbereitungen und -vorbereitungen im Forschungslabor der HAW Hamburg am Campus Bergedorf statt (vgl. Kapitel 3). Jede Tiefenprobe erhielt eine interne Kennung der Art „H01-17“. Der Buchstabe „H“ steht für die interne Bezeichnung für HAW Hamburg und bleibt bei allen Proben gleich. Die Zahl nach dem H wird fortlaufend durchnummeriert. Die „-17“ am Ende der Kennung gibt verkürzt das Jahr an, in dem die Probe genommen wurde und bleibt bei den Proben gleich. In der nachstehenden Tabelle können alle Informationen über die jeweiligen Proben zusammenfassend entnommen werden.

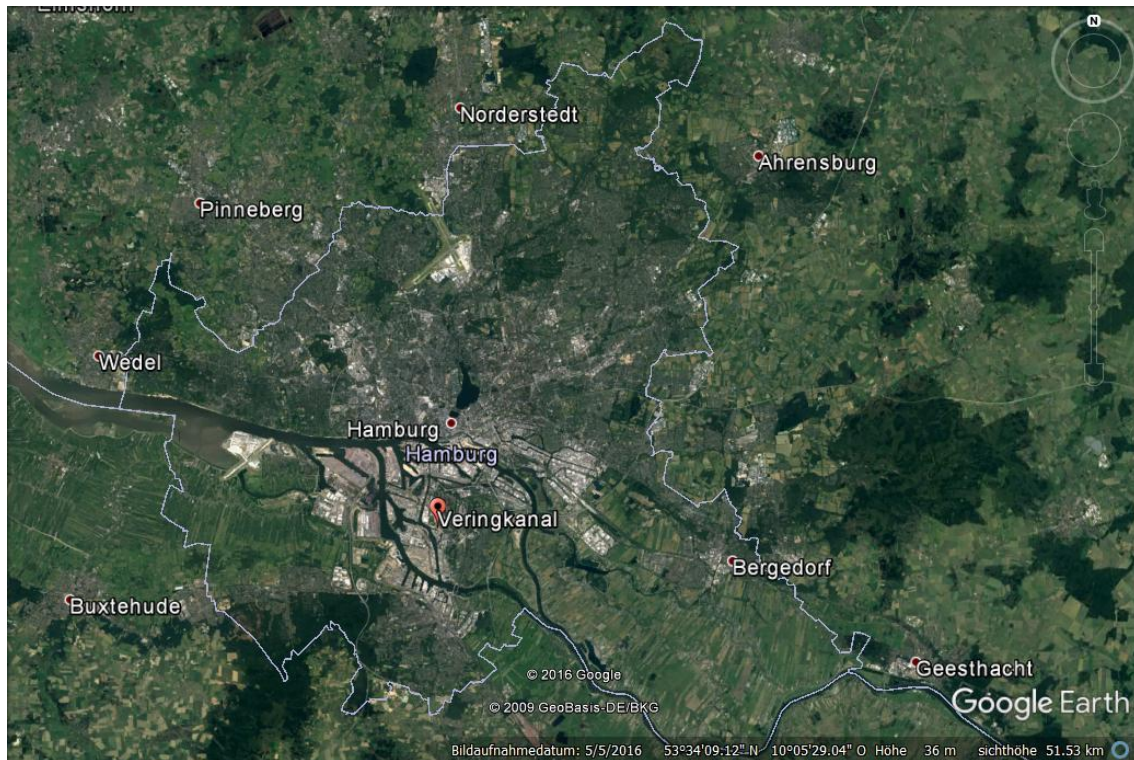
**Tabelle 1:** Übersicht Probenahmen

Datum	Ort	GPS-Koordinaten	Probenmenge
<b>30. Januar 2017</b>	Krankenhaus Groß Sand – Veringkanal	N53.50280° E009.98517°	50 cm Sedimentkern H01-17 bis H25-17
<b>13. Februar 2017</b>	Alte Süderelbe	N53.51186° E009.88350°	62 cm Sedimentkern H26-17 bis H56-17
<b>27. Februar 2017</b>	Alte Süderelbe	N53.51189° E009.88384°	60 cm Sedimentkern H57-17 bis H86-17
<b>13. März 2017</b>	Alte Süderelbe	N53.51190° E009.88368°	88 cm Sedimentkern H87-17 bis H130-17

## 2.2 Orte der Probenahme

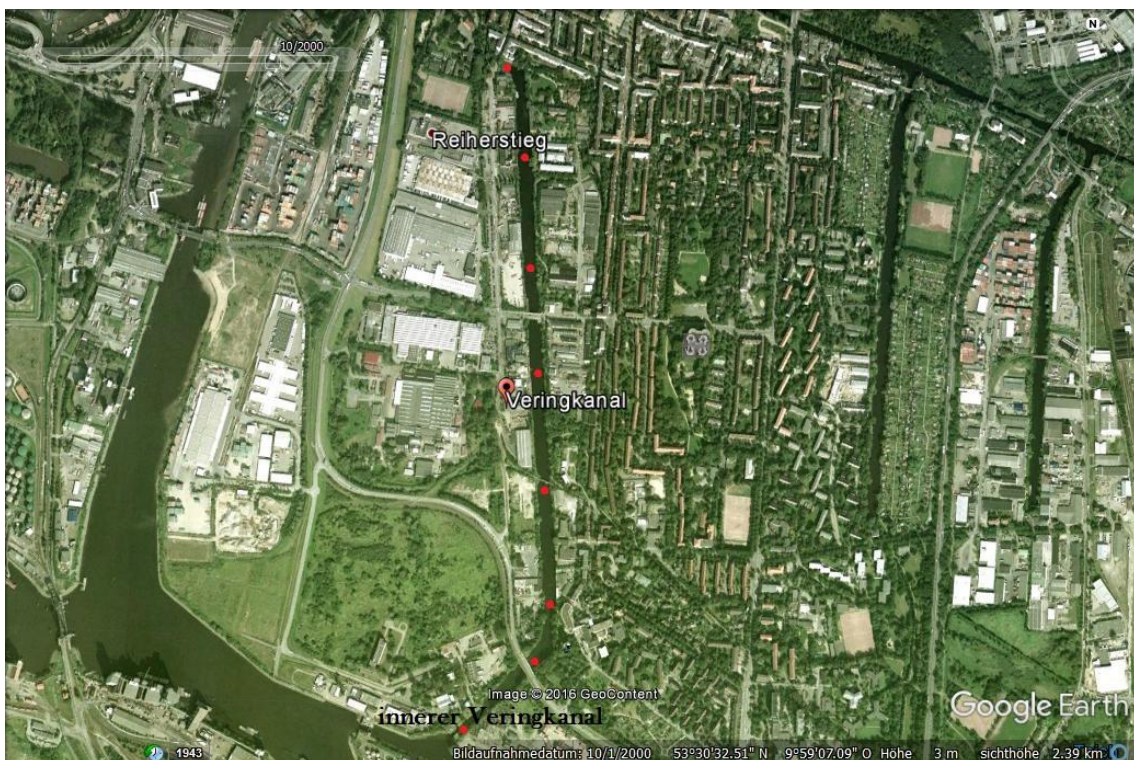
### 2.2.1 Krankenhaus Groß Sand – Veringkanal

Der Veringkanal befindet sich auf der Hamburger Elbinsel im Stadtteil Wilhelmsburg. Er liegt eingebettet zwischen der Norder- und Süderelbe (vgl. Abbildung 1) und ist von der Industrie geprägt worden.



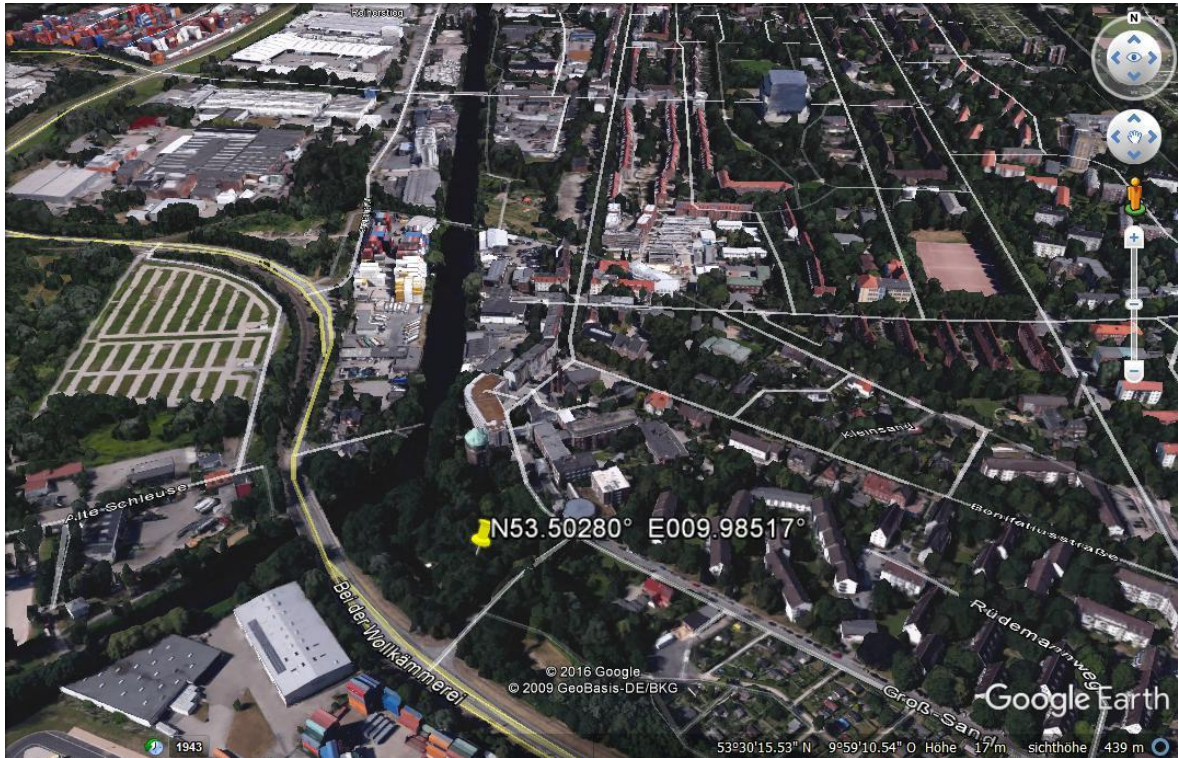
**Abbildung 1:** Lage des Veringkanals in Hamburg (Quelle: Google Earth, 2017)

Der Veringkanal wurde im Jahr 1894 von Hermann Vering und seinem Bruder Carl Vering im Nordwesten des Stadtteils geplant und geschaffen. Der Kanal diente als Verkehrsweg für Industriegüter und als Anbindung an die Elbe (Geschichtswerkstatt Wilhelmsburg, 2016). Zudem ist er auch heute noch das Bindeglied zwischen Industrie, Kultur und Wohnraum (Zukunft Elbinsel Wilhelmsburg e.V., 2013). Insgesamt erstreckt sich der Kanal über eine Länge von ca. 1,8km (vgl. Abbildung 2). Im Norden endet der Kanal an der alten Honigfabrik und im Süden wird der Kanal durch eine Schleuse vom mit der Nordereibe verbundenen Reiherstieg getrennt.



**Abbildung 2:** Verlauf des Veringkanals (Quelle: Google Earth – verändert)

Am südlichen Ende des Veringkanals vor dem äußeren Veringkanal liegt das Krankenhaus Groß Sand und der alte Wasserturm. Am Fuße des Wasserturms laufen zwei kleine Kanäle zusammen und münden in den Veringkanal. Zum einen ist dies der aus Nordosten kommende Bauwiesenwetter und zum anderen der aus Südosten kommende Großsander Wettern (vgl. Abbildung 3).



**Abbildung 3:** Lage der Probenahme am Großsander Wettern in Hamburg – Wilhelmsburg (Quelle: Google Earth, 2017)

Am nördlichen Ufer des Großsander Wettern (N53.50280°; E009.98517) wurde am 30. Januar 2017 der erste Sedimentkern genommen. Das Ufer ist von Laubbäumen geprägt. Die Fußgängerwege führen in unmittelbarer Nähe zum Ufer entlang (vgl. Abbildung 4). Die Hauptverkehrsstraße „Bei der Wollkämmerei“ führt südwestlich direkt an der Grünanlage vorbei. Diese Straße stellt die direkte Verbindung zwischen der Bundesstraße 75 und dem Hafen her. Die Bundesstraße verbindet den südlichen Hamburger

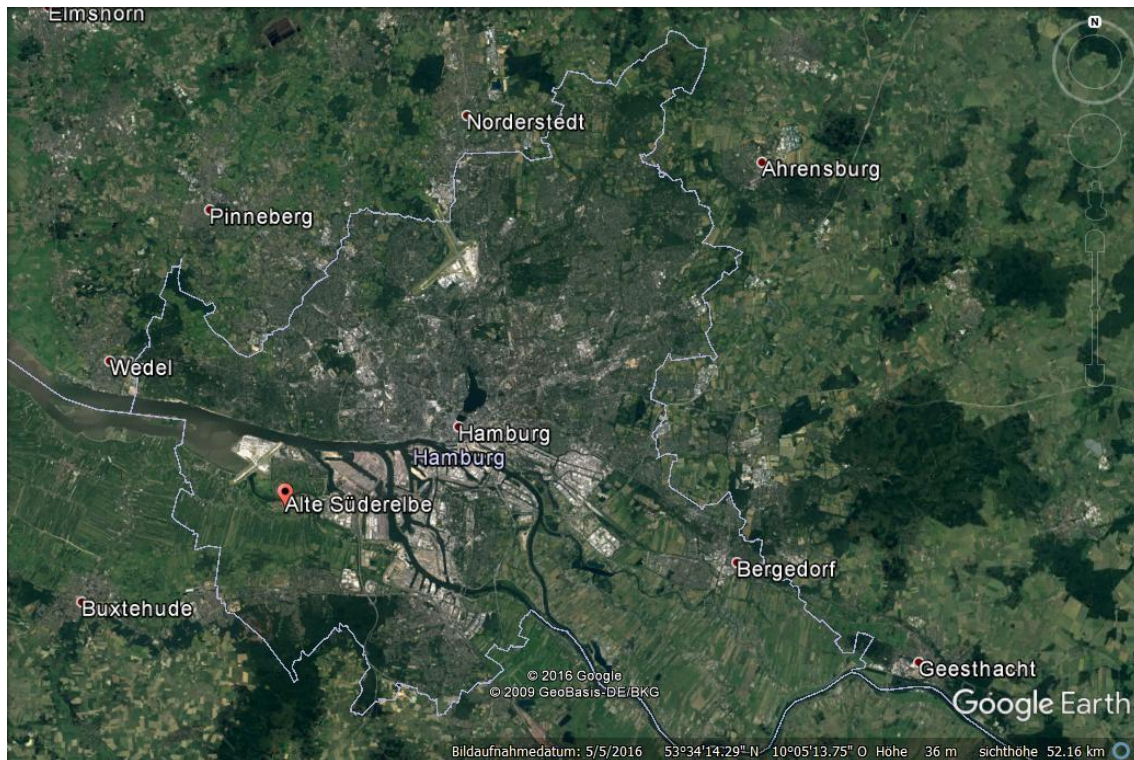


**Abbildung 4:** Großsander Wettern  
Probenahmeort – aus südlicher Richtung am 16.  
März 2017 fotografiert

Stadtteil Harburg mit der Innenstadt. Die Abfahrt Wilhelmsburg und der Weg über „Bei der Wollkämmerei“ dient vielen LKW- Fahrer als direkte Verbindung zu den Containerterminals im Hafen. Der Großsander Wettern selbst wird von der Verkehrsstraße Groß Sand gekreuzt, die das Krankenhaus von der südlichen Seite her anbindet.

## 2.2.2 Alte Süderelbe

Die Alte Süderelbe liegt im Westen der Hansestadt Hamburg südlich des Hauptstroms der Elbe (vgl. Abbildung 5).



**Abbildung 5:** Lage der Alten Süderelbe in Hamburg (Quelle: Google Maps, 2017)



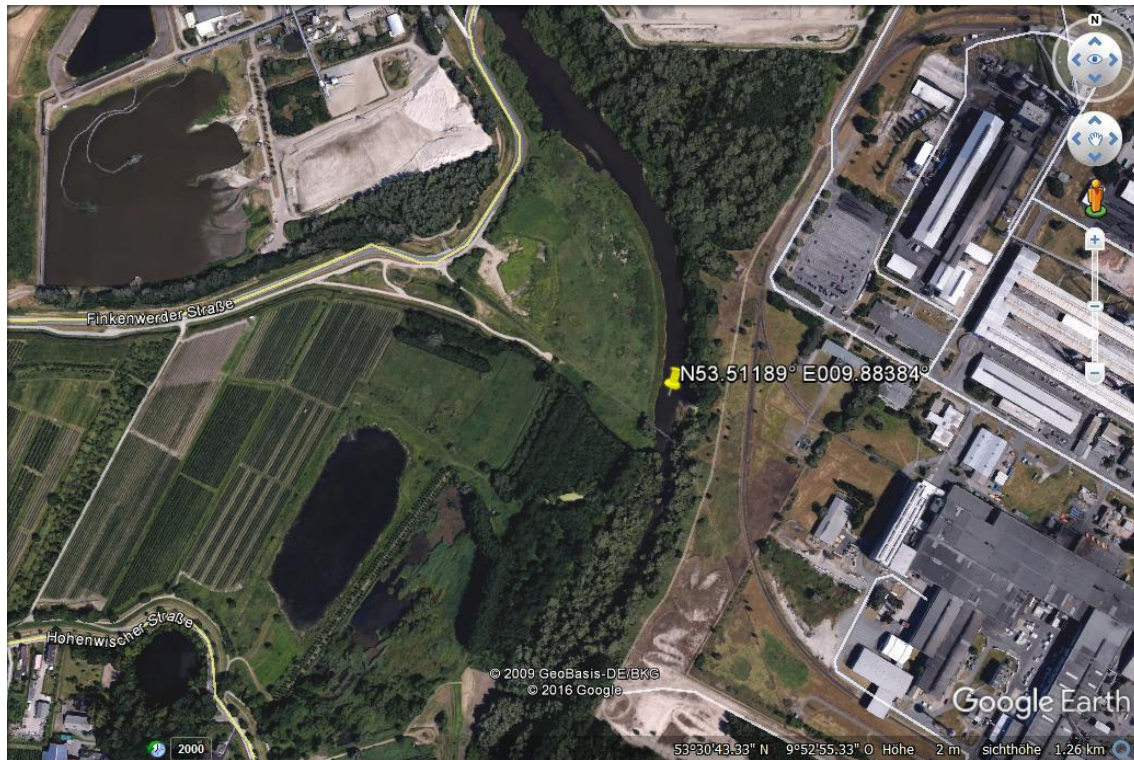
Sie ist ein stehendes Gewässer und somit ein langgezogener See zwischen den Hamburger Stadtteilen Finkenwerder und Francop. Im Westen grenzt die Alte Süderelbe an die Start- und Landebahn des Airbus- Geländes, im Osten verbindet das Sperrwerk Storchennest die Alte Süderelbe über die Aue mit dem Finkenwerder Vorhafen. Die Alte Süderelbe endet parallel verlaufend östlich der A7 und südlich der Autobahnausfahrt HH- Waltershof im Stadtteil Altenwerder (vgl. Abbildung 6).



**Abbildung 6:** Verlauf der Alten Süderelbe (Quelle: Google Earth, 2017 – verändert)

Im Jahre 1962 wurde die Alte Süderelbe durch einen Damm von dem Hauptstrom getrennt (Freie und Hansestadt Hamburg 1997). Damit bildeten sich über die Zeit zwei wertvolle Naturschutzgebiete (Hilmer, 2016). Zum einen ist dies das Naturschutzgebiet Westerweiden (vgl. Abbildung 6) und zum anderen südlich davon direkt angrenzend auf der nördlichen Uferseite der Alten Süderelbe das Naturschutzgebiet Finkenwerder Süderelbe (Google Earth, 2017).

Die erste Probenahme ist unter den Koordinaten N53.51186° und E009.88350° zu finden (vgl. Abbildung 7), die zweite Probenahme am 27. Februar 2017 unter den Koordinaten N53.51189° und E009.88384° und die dritte unter N53.51190° und E009.88368°. Da die Orte der Probenahme nahe beieinanderliegen, wird nur der erste Standort in der Abbildung dargestellt.



**Abbildung 7:** Probenahmeort an der Alten Süderelbe (Quelle: Google Earth, 2017)

Der Probenahmestandort an der Alten Süderelbe ist über die Hohenwischer Straße südwestlich der Alten Süderelbe zu erreichen. Ein Fußweg von ca. 15 Minuten bis zur Probenahmestelle führte über landwirtschaftlich genutzte Flächen hinweg. Diese Flächen werden vorwiegend von Obstbauern genutzt.

Das Ufer der Alten Süderelbe ist mit Gras und Sträuchern gesäumt. Laubbäume sind auf der gegenüberliegenden Uferseite in übersichtlicher Zahl vorhanden (vgl. Abbildung 8).



**Abbildung 8:** Vegetation an der Alten Süderelbe – aus westlicher Richtung am 13. Februar 2017

### 2.3 Probenvorbereitung

Unmittelbar nach der Schlachtung des Sedimentkerns wurden im Labor pH-Wert und Redoxpotential der einzelnen Sedimenttiefenproben gemessen. Das Probenmaterial wurde am Anfang einmal homogenisiert, zwischen den Entnahmen von Unterproben im Labor bei 8 °C gelagert und innerhalb von maximal 2 Wochen untersucht.

Der miniaturisierte Algenwachstumshemmtest (AGI) wurde mit Eluaten durchgeführt, während im miniaturisierten Leuchtbakterientest (LBT) neben den Eluaten auch Extrakte untersucht wurden.

Für die **Eluate** werden nach Simpson et al. (2005) im Verhältnis 1:4 hergestellt, indem 5 cm<sup>3</sup> Unterproben mit 20ml Reinstwasser versetzt werden und, wie das Department of Ecology (2003) angibt, für 24 Stunden auf einem Überkopfschüttler durchmischt werden. Anschließend werden die Unterproben zentrifugiert und die Überstände für die Versuchsreihen dekantiert. Der Algentest wurde im direkten Anschluss angesetzt. Der Leuchtbakterientest wurde jeweils am Folgetag durchgeführt, da das Eluat maximal einen Tag im Kühlschrank aufbewahrt werden sollte.

Die **Extrakte** werden nach Kwan und Dutka (1990) mit 5 g Unterproben und 15 ml Methanol (MeOH) hergestellt und für eine Stunde geschüttelt. Danach wird der Überstand des zentrifugierten Sediments dekantiert und mit 2 g aktiviertem Kupfer (Anleitung siehe Anhang) pro Extrakt für weitere 24 h geschüttelt. Pardos et al. (1999) haben dies durchgeführt, um Schwefel aus dem Extrakt zu entfernen (Heise 2013). Danach wird das MeOH-Extrakt ohne Kupfer in Glas-Bördelröhrchen (HEADSPACE VIAL) mit einem Volumen von 20 ml überführt, verschlossen und im Gefrierschrank bis zur Nutzung gelagert.

## 2.4 Algenwachstumshemmtest

Der Algenwachstumshemmtest wird in Anlehnung an die DIN EN ISO 8692:2012 aus dem Jahre 2012 durchgeführt. Durchgeführt wird der Test mit der einzelligen Grünalge *Raphidocelis subcapitata* (M.D. Guiry, 1996-2017) (früher *Pseudokirchneriella subcapitata*). Die Algen werden von der Abteilung Experimentelle Phykologie und Sammlung von Algenkulturen (EPSAG) der Universität Göttingen bezogen. Die Kulturen werden im Forschungslabor der HAW in 50 ml Kuhl- Lorenzen- Medium (KL-Medium) in 100 ml Kolben gezogen und monatlich in neues Medium überimpft. Für den AGI werden ca. 3 Monate alte, dicht gewachsene Kulturen genutzt.

Für die Durchführung des Tests wird eine Algenvorkultur benötigt, die, wie in der DIN angegeben, 2 bis 4 Tage vor Testbeginn angesetzt werden muss. Das Wachstumsmedium wird einen Tag vor Ansetzen der Vorkultur, anders als in der DIN beschrieben, mit einem Volumen von 100 ml in einem sterilen 250 ml Kolben angesetzt. Dazu werden 98,2 ml steriles Reinstwasser mit 1 ml Makro- Nährstoffen (DIN 1), 0,1 ml Fe- EDTA (DIN 2), 0,1 ml Spurenelementen (DIN 3) und 0,6 ml  $\text{NaHCO}_3$  (DIN 4) versetzt. Das Wachstumsmedium wird über Nacht offen stehen gelassen, sodass sich der pH- Wert über den Carbonatpuffer einstellen kann. Am Folgetag wird der pH-Wert, wenn nötig, durch HCl oder NaOH auf einen Wert von  $8,1 \pm 0,2$  eingestellt und danach mit 1 ml einer ca. drei Monate alten, dicht gewachsenen Algenkultur überimpft. Am Testtag werden die Algen anhand der Fluoreszenz auf einen Wert von  $12400 \pm 200$ , was einer Dichte von  $10^4$  Zellen entspricht, eingestellt und im Anschluss 1:5 mit einfach konzentriertem Wachstumsmedium verdünnt.

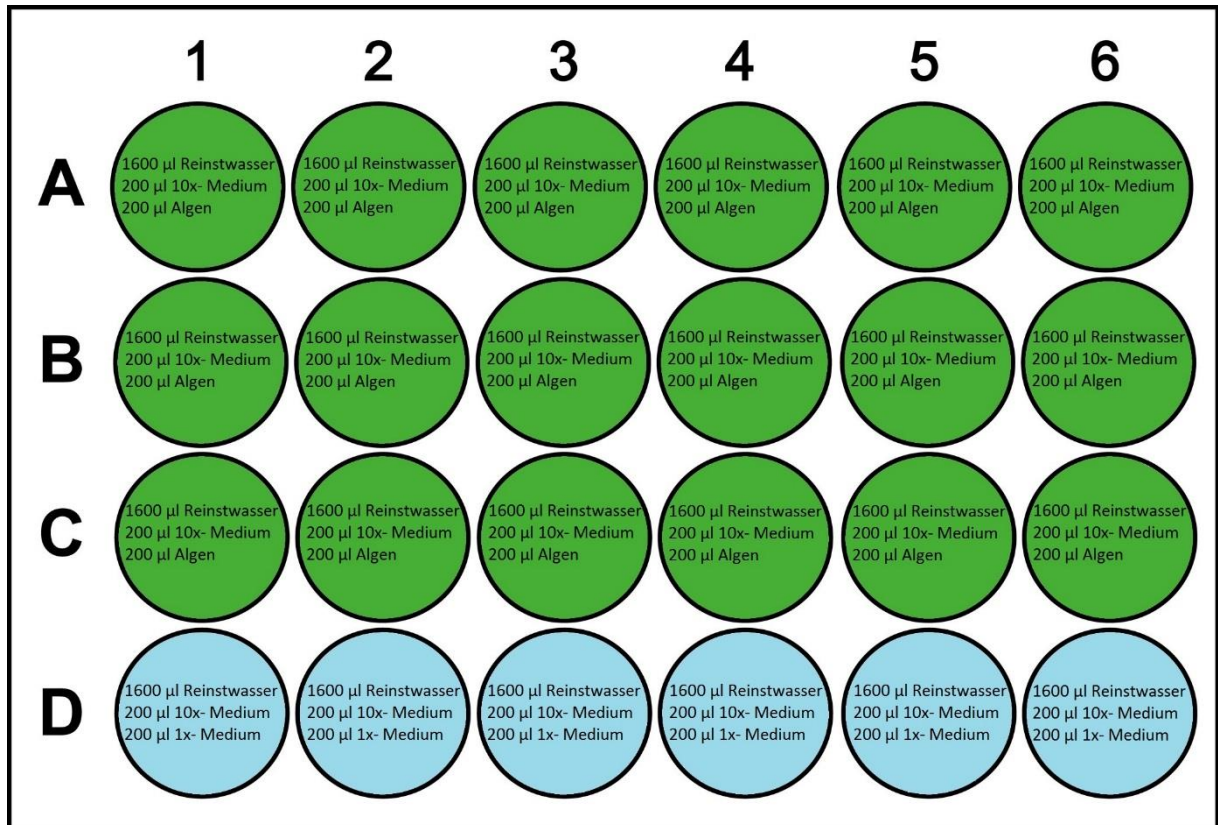
Am Vortag des Testbeginns muss ein zehnfach konzentriertes Wachstumsmedium hergestellt werden. Dazu wird das sterile Reinstwasser auf 82 ml reduziert und die

DIN- Stammlösungen in zehnfacher Menge hinzugegeben, sodass sich ein Volumen von 100 ml ergibt. Damit sich der pH-Wert regulieren kann, wird das Medium über Nacht offen stehen gelassen und am Testtag der pH-Wert durch HCl bzw. NaOH auf  $8,1 \pm 0,2$  eingestellt.

Die pH- Werte der Eluate werden, wie in der DIN beschrieben, gemessen und notiert. Eine Korrektur auf einen Wert von  $8,1 \pm 0,2$  wäre nur von Nöten, wenn der pH- Wert deutlich von dieser Spanne abweicht.

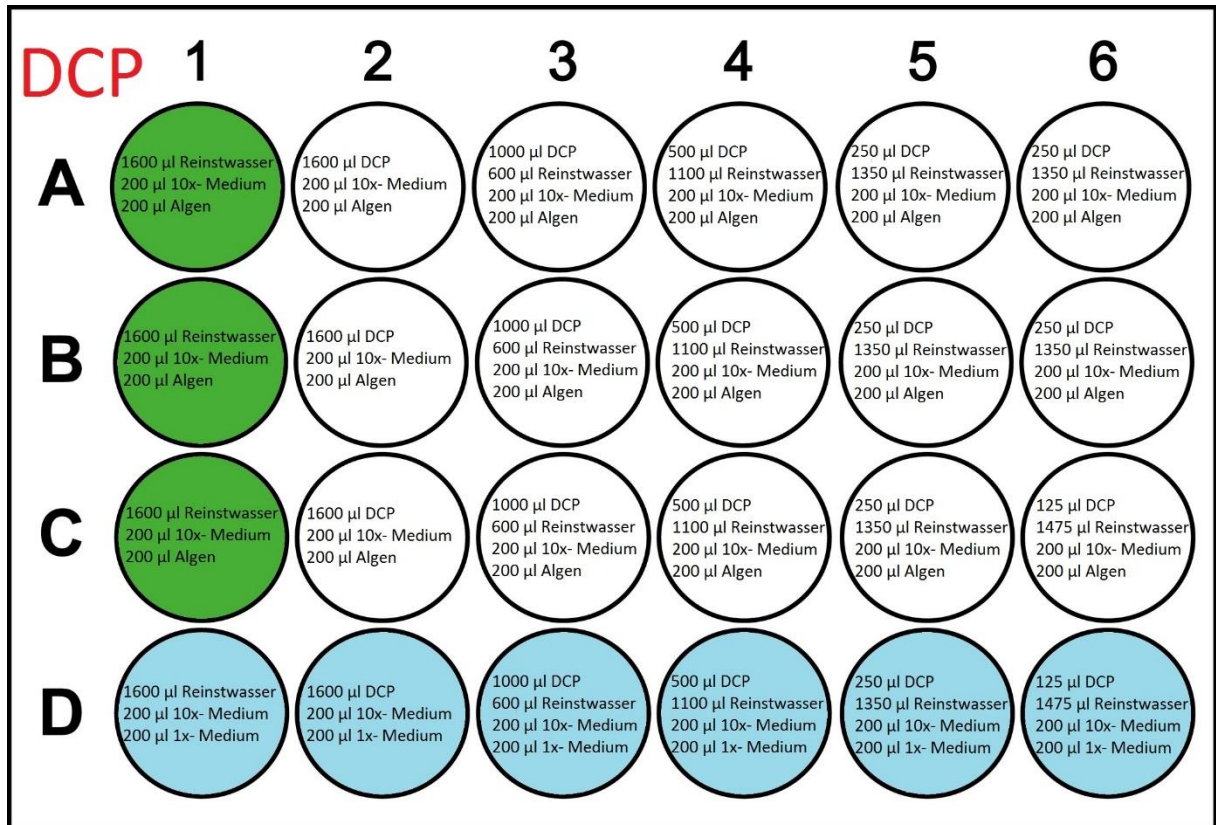
Durchgeführt wird der Test in 24-Well-Platten der Firma COSTAR® (No. 3524) Jedes Well enthält ein Volumen von 2 ml, welches sich durch 1,6 ml Probe, 0,2 ml 10x-Medium und 0,2 ml Algen bzw. 1x- Medium zusammensetzt. Insgesamt können acht Platten verwendet werden, da das Licht in dem Algenschrank zwei Schüttler mit je vier Platten abdecken kann. Zwei der acht Platten werden als Kontrollplatte bzw. als Positivkontrolle mit 3,5-Dichlorphenol (DCP) benötigt.

Jedes Replikat der Kontrollplatte wird mit 1,6 ml Reinstwasser und 0,2 ml 10x- Medium befüllt. Die Reihen A, B und C werden mit 0,2 ml Algen angeimpft, während die Reihe D mit 0,2 ml 1x- Medium auf 2 ml aufgefüllt wird (vgl. Abbildung 9). Die Reihe D dient in allen Schemata als Blindwert.



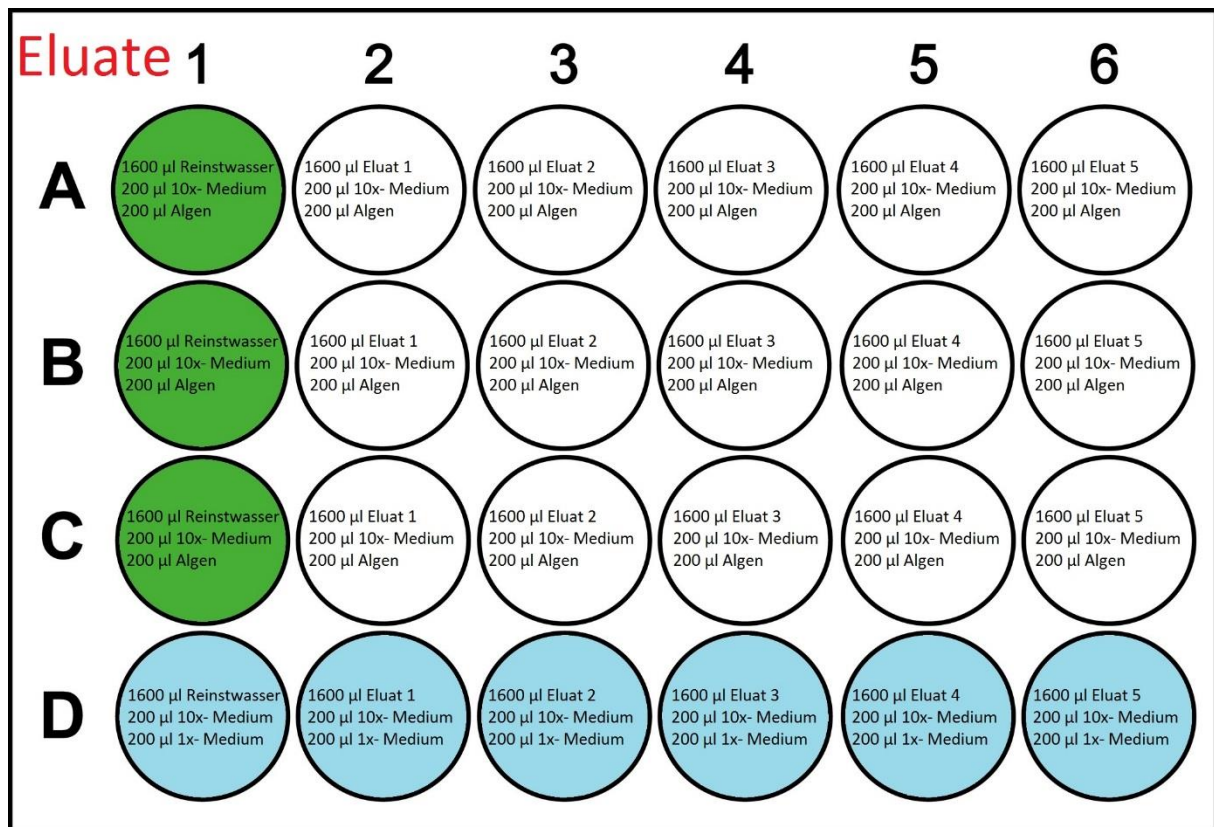
**Abbildung 9:** Pipettierschema der Kontrollplatte im AGI

Die Verdünnungsreihen der Positivkontrolle mit DCP werden, wie in Abbildung 10 aufgezeigt, in der 24- Well- Platte hergestellt. Alle Replikate enthalten zudem 0,2 ml 10x- Medium. Die Reihen A, B und C werden mit Algen angeimpft, die Reihe D dient wiederum als Blindwert (vgl. Abbildung 8).



**Abbildung 10:** Pipettierschema der Positivkontrolle mit 3,5-DCP im AGI

Die Probenplatten werden, anders als in der DIN vorgegeben, unverdünnt angesetzt (vgl. Abbildung 11). Die Spalte 1 dient als Kontrolle, die Reihe D dient als Blindwert.



**Abbildung 11:** Pipettierschema der Eluate

Gemessen wird der Algenwachstumshemmtest mit einem Multimodereader der Firma INFINITE® zu Beginn des Tests zum Zeitpunkt t0, zum Zeitpunkt t1 nach 24 Stunden, zum Zeitpunkt t2 nach 48 Stunden und zum Endpunkt t3 nach 72 ± 2 Stunden. Hierbei kann die Messung t2, anders als gefordert, auch vernachlässigt werden, da die Hemmung über das Wachstum nach t3 bestimmt wird und nicht über die Wachstumsrate. Während des Tests werden die Mikrotiterplatten entgegen der DIN mit Parafilm verschlossen, um Verdunstung zu reduzieren.



Die gemessenen Werte werden innerhalb des Tabellenkalkulationsprogramms Excel ausgewertet. Die Auswertung bezieht sich auf das Wachstum nach t3. Somit wird zuerst der Variationskoeffizient (VarK) jeder einzelnen Unterprobe nach 72 h berechnet (Gleichung (1)), indem der Quotient zwischen der Standardabweichung und dem Mittelwert drei Replikate gebildet wird.

$$VarK = \frac{\text{Standardabweichung}}{\text{Mittelwert}} \quad (1)$$

Um die Hemmung (H%) der jeweiligen Unterprobe nach 72 h berechnen zu können, muss der Blindwert von den jeweiligen Werten der Replikate abgezogen und aus diesen neuen Werten der Mittelwert gebildet werden. Dies muss auch für die Kontrolle durchgeführt werden. Danach kann der Mittelwert der Replikate auf den Mittelwert der Kontrolle auf der Platte bezogen werden (vgl. Gleichung (2)).

$$H\% = 100 - \frac{\text{Mittelwert Replikate}}{\text{Mittelwert Kontrolle}} \cdot 100 \quad (2)$$

Die Wachstumsrate wird anhand der logarithmischen Darstellung der Fluoreszenz der Kontrollplatte gegen die Zeit bestimmt. Die Fluoreszenz dient dabei als Maß für die Biomasse der Algen. Die Regressionsgerade der Daten weist ein exponentielles Wachstum auf, deren Steigung der Wachstumsrate entspricht. Die Wachstumsrate wird zwischen t1 und t3 gebildet, da sich zu Beginn eine lag- Phase befindet.

Der AGI wird als gültig angesehen, wenn:

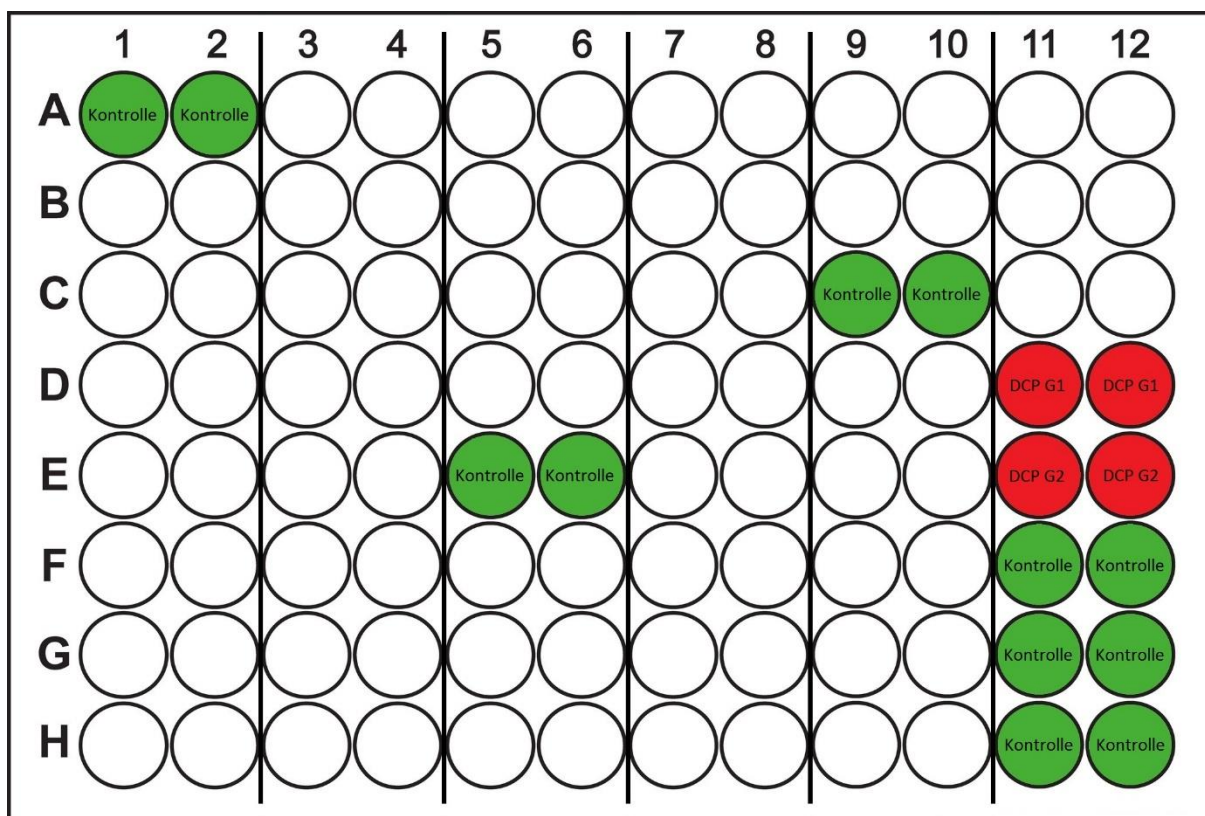
- Die mittlere Wachstumsrate der Kontrollansätze mindestens 1,4 je Tag beträgt
- Der Variationskoeffizient für das Wachstum in den Kontrollansätzen 5% nicht überschreitet
- Der pH- Wert in den Kontrollansätzen im Verlauf des Tests um nicht mehr als 1,5 ansteigt.

Die grafische Auswertung der Ergebnisse findet mit Hilfe der Software GraphPad Prism 5 (Version 5.03, 10. Dezember 2010) statt.

## 2.5 Leuchtbakterientest

Der Leuchtbakterientest wird in Anlehnung an die DIN EN ISO 11348-2 aus dem Jahre 2009 mit flüssiggetrockneten Leuchtbakterien *Aliivibrio fischeri* (NRRL B-11177, früher *Vibrio fischeri* bzw. *Photobacterium fischeri*) durchgeführt. Genutzt werden flüssiggetrocknete Leuchtbakterien der Firma HACH und Lange, die für die Durchführung der DIN EN ISO 11348 geeignet sind.

Der Test wird, anders als in der DIN angegeben, miniaturisiert in einer weißen 96-Well-Platte der Firma COSTAR® (No. 3912) durchgeführt. Das grundlegende Pipettierschema ist sowohl bei den Eluaten als auch bei den Extrakten gleich, sodass die Abbildung 12 als Grundschemata gilt.



**Abbildung 12:** Grundschemata der Belegung der 96-Well-Platte (Quelle: Eigene Darstellung, 2017)

Die Proben werden anhand der Anzahl der Probenteile auf die weißen Wells verteilt, sodass jede Probe mindestens einmal im LBT anhand einer Doppelbestimmung untersucht wird. Die restlichen Wells werden gleichmäßig über die gesamte Tiefe des Sedimentkerns verteilt doppelt belegt. Insgesamt können maximal 40 Probenteile in einer 96-Well-Platte untersucht werden.

Zur Durchführung des LBT wird in jedem Well ein definiertes Volumen von 50µl Leuchtbakteriensuspension mit 200µl Probe über eine Dauer von 30 Minuten in Kontakt gebracht. Die **Kontrollen** beinhalten dabei lediglich ASW (grüne Wells) und die **DCP**- Wells (rote Wells) enthalten zwei Verdünnungsstufen der Positivkontrollen (vgl. Abbildung 2). Dabei entspricht G1 einer Konzentration von 1 mg/100 ml und G2 einer Verdünnung von 188 µl G1 und 112 µl ASW auf ca. 0,62 mg/100 ml, sodass der EC50- Wert von DCP bestimmt werden kann. Die **Eluate** werden vor dem Einsatz im LBT mit Hilfe von Natriumchlorid (NaCl) auf eine Salinität von 2,0 bis 2,2% aufgesalzen und der pH-Wert wird mit Hilfe von Natriumhydroxid (NaOH) und -Salzsäure (HCl) auf 7,0±0,2 eingestellt. Die **Extrakte** werden vor dem Einsatz auf 3% in ASW verdünnt. Der von der DIN vorgeschriebene pH-Wert der Probe von 7,0±0,2 wird im Falle der Extraktverdünnung durch die Zugabe eines MOPS-Puffer zum ASW eingehalten. Dazu wird 50 µl MOPS- Puffer in 5 ml ASW gegeben und diese Stammlösung 1:20 verdünnt. Zudem wird die Kontrolle ebenfalls mit 3% MeOH in ASW durchgeführt. Die **Leuchtbakteriensuspension** wird hergestellt, indem auf die gefriergetrockneten Leuchtbakterien 500µl Rekonstitutionslösung gegeben und diese nach einer Inkubationszeit von 5 Minuten bei 15°C mit 4,5ml Artificial Sea Water (ASW) verdünnt wird. Nach einer weiteren Inkubationszeit von mindestens 10 Minuten kann die Leuchtbakteriensuspension im LBT verwendet werden. Bevor die Leuchtbakterien mit den Proben in Kontakt kommen, inkubieren sie weitere 15 Minuten in der 96-Well-Platte. Vor dem Testbeginn wird, wie in der DIN beschrieben, die Ausgangsfluoreszenz gemessen. Dies erfolgt mit einem Multimode Reader (F200) der Firma INFINITE®. Danach startet mit der Zugabe der Proben die Testdauer von 30 Minuten, nach der wiederum mit dem Multimode Reader die Fluoreszenz gemessen wird.

Um die Fluoreszenzdaten der Proben auswerten zu können, muss der Korrekturfaktor  $f_{kt}$  der Kontrollen über die Gleichung (3) berechnet werden.

$$f_{kt} = \frac{I_{kt}}{I_0} \quad (3)$$

Dabei ist

$f_{kt}$  der Korrekturfaktor für die Kontaktzeit nach 30 Minuten;

$I_{kt}$  die Leuchtintensität im Kontrollansatz nach Ablauf der Kontaktzeit von 30 Minuten, in relativen Leuchteinheiten;

$I_0$  die Leuchtintensität in der Kontrollsuspension unmittelbar vor Zugabe der Proben, in relativen Leuchteinheiten.

Aus vier der sechs Kontrollen wird der Mittelwert  $\bar{f}_{kt}$  der einzelnen Korrekturfaktoren berechnet. Die Berechnungen der einzelnen  $f_{kt}$ -Werte sowie des daraus resultierenden Mittelwertes erfolgen innerhalb der Tabellenkalkulation Excel nach der unter 2 angegebenen Formel und der Mittelwertbildung zwischen vier Werten.

Die Abweichung der Einzelmessungen von dem Mittelwert wird anhand Gleichung (4) innerhalb der Software Excel berechnet.

$$\frac{(\bar{f}_{kt} \pm f_{kti})}{\bar{f}_{kt}} \cdot 100 \quad (4)$$

Dabei ist

$\bar{f}_{kt}$  der Mittelwert der einzelnen Korrekturfaktoren;

$f_{kti}$  einer der beiden Einzelwerte des Korrekturfaktors.

Der Mittelwert des Korrekturfaktors wird im Folgenden (Gleichung (5)) benutzt, um den „Drift“ der Kontrollen bei der Leuchtintensität der Proben nach 30 Minuten zu berücksichtigen.

$$I_{ct} = I_0 \cdot \bar{f}_{kt} \quad (5)$$

Dabei ist

$\bar{f}_{kt}$  der Mittelwert von  $f_{kt}$ ;

$I_0$  die Leuchtintensität von Testsuspensionsansätzen unmittelbar vor Zugabe der Proben, in relativen Leuchteinheiten;

$I_{ct}$  der korrigierte Wert für  $I_0$  von Testsuspensionsansätzen unmittelbar vor Zugabe der Proben, in relativen Leuchteinheiten.

Gleichung (6) berechnet die prozentuale Hemmung, indem die gemessene Leuchtintensität nach 30 Minuten auf den korrigierten Wert aus Gleichung (5) bezogen wird. Diese Hemmung wird für jedes einzelne Replikat berechnet.

$$H_t = \frac{(I_{ct} - I_t)}{I_{ct}} \cdot 100 \quad (6)$$

Dabei ist

$H_t$  die Hemmwirkung des Testansatzes nach Ablauf der Kontaktzeit von 30 Minuten, in Prozent (%);

$I_{ct}$  der korrigierte Wert für  $I_0$  von Testsuspensionsansätzen unmittelbar vor Zugabe der Proben, in relativen Leuchteinheiten;

$I_t$  die Leuchtintensität des Testansatzes nach Ablauf der Kontaktzeit von 30 Minuten, in relativen Leuchteinheiten.

Die arithmetische Abweichung der Einzelwerte der Parallelbestimmungen der Hemmwirkung wird von ihrem Mittelwert  $\bar{H}_t$  über die Gleichung (7) berechnet.

$$\bar{H}_t(\%) - H_{ti}(\%) \quad (7)$$

Dabei ist

$\bar{H}_t$  der Mittelwert der einzelnen Hemmwirkungen;

$H_{ti}$  einer der beiden Einzelwerte der Hemmwirkung der Probe.

Die Berechnungen der korrigierten Werte der Testsuspensionsansätze (Gleichung (5)) sowie die Berechnung der Hemmung (Gleichung (6)) und der Abweichung zwischen den Parallelbestimmungen (Gleichung (7)) erfolgen nacheinander innerhalb der Tabellenkalkulation Excel.

Die Gültigkeit des Tests wird von dem Mittelwert des Korrekturfaktors  $\bar{f}_{kt}$ , der Abweichung in den Kontrollansätzen, der Abweichung in den Parallelbestimmungen und der Hemmwirkung des DCP in der Positivkontrolle bestimmt.

Der Test ist gültig, wenn:

- der Korrekturfaktor im Mittel zwischen 0,6 und 1,3 liegt
- die Abweichung in den Parallelbestimmungen der Kontrollansätze nicht mehr als 3% beträgt
- die Abweichung in den Parallelbestimmungen der Testansätze nicht mehr als 3% beträgt
- die Hemmwirkung von 3,5- Dichlorphenol in G2 zwischen 20 und 80% liegt.

Die grafische Auswertung der Ergebnisse findet mit Hilfe der Software GraphPad Prism 5 (Version 5.03, 10. Dezember 2010) statt.

## 2.6 Röntgenfluoreszenzanalyse

Die Röntgenfluoreszenzanalyse wurde mit getrockneten Proben durchgeführt. Die Unterproben wurden alle bei 50 – 60 °C für 48 Stunden getrocknet.

Die Messung erfolgte anhand des mobilen Röntgenfluoreszenzanalysators Delta Professional (OLYMPUS), das eine Leistung von 4 W bei 40 kV aufweist. Die Proben wurden in einer auf dem Gerät positionierten Bleikammer gemessen. Jede Unterprobe wurde dreimal über einen Zeitraum von 90 Sekunden mit zwei unterschiedlichen Beams gemessen. Der Beam 1 misst über einen Zeitraum von 30 Sekunden und ist primär darauf ausgelegt, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn und Sb zu messen. Der zweite Beam misst für 60 Sekunden und misst primär Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, As, Se, Pb und Rb. Nach jedem Messzyklus wurde die Probe neu positioniert. Das Messprogramm gibt sowohl Einzeldaten als auch errechnete Mittelwerte heraus.

Das Messprinzip des Gerätes beruht darauf, dass mit Hilfe von Röntgenstrahlung Elektronen aus den Schalen der Atome, auf die sie trifft, herausgeschlagen werden. Die dadurch entstandene „Lücke“ wird von Elektronen der darüber liegenden Schalen gefüllt, da diese auf Grund ihrer Lage im Atom ein höheres Energieniveau innehaben und durch das Abgeben von Energie das niedrigere Energieniveau annehmen können. Das Elektron, welches die Lücke füllt gibt bei dem „Herabfallen“ die Strahlung ab, die der Energiedifferenz zwischen beiden Schalen entspricht. Diese Strahlung kann mit Hilfe elektrischer Messgeräte detektiert werden (Hahn- Weinheimer et al. 1984). Die

Identifizierung der Elemente in der exponierten Matrix erfolgt darüber. Dass freiwerdende Röntgenfluoreszenzstrahlung charakteristisch ist für den Übergang zwischen den Elektronenschalen und für die Ordnungszahl eines Atoms (Mosleysches Gesetz).

### 3. Ergebnisse

Dargestellt werden in diesem Kapitel die Ergebnisse der AGIs, der LBTs sowie ausgewählte Ergebnisse der Schwermetalluntersuchung. Am Anfang werden alle Ergebnisse des Großsander Wettern dargestellt. Danach folgen die Ergebnisse der Alten Süderelbe sortiert nach AGI, LBT mit Eluat und LBT mit Extrakt. Zudem wird am Ende des Kapitels die Anpassung der Schichten dargestellt. Unterstützend können im Anhang die pH – Werte und die grundlegenden Daten der Auswertung der Biotests entnommen werden. Im digitalen Anhang befinden sich außerdem die Auswertungen in Form von Excel- Dateien.

Bei der Auswertung des AGIs innerhalb der Tabellenkalkulation Excel wurden einzelne Ausreißer aus der Berechnung herausgenommen. Die nachfolgenden Grafiken zeigen jeweils die prozentualen Hemmungen über die Tiefe jeder Probenahme. Um die erhaltenen Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wurden die Hemmungen in % verglichen unter der Bedingung, dass der pH – Wert der Eluate sich nicht um mehr als 0,2 voneinander unterscheidet. Ist die Bedingung des pH – Wertes erfüllt, gilt als weiteres Kriterium der neu gebildete Variationskoeffizient. Liegt dieser unterhalb von 5 %, kann der Mittelwert der Hemmungen genutzt werden. Liegen die pH – Werte zu weit auseinander bzw. ist der Variationskoeffizient nicht eingehalten, wurde die Hemmung anhand des geringeren Variationskoeffizienten gewählt (vgl. Anhang).

Der LBT wurde sowohl mit Eluaten als auch mit Extrakten durchgeführt. Die Ergebnisse werden unabhängig voneinander dargestellt, indem die Hemmung in % in Abhängigkeit der Tiefe in cm aufgetragen wird. Da die freien Wells auf einer 96- Well-Platte doppelt belegt wurden, konnten Mittelwerte unter der Voraussetzung, dass der Variationskoeffizient der neu gebildeten Werte 3 % nicht überstieg, gebildet werden. Wenn eine zweite Testdurchführung stattfand, musste zudem festgestellt werden, ob der Unterschied in dem pH – Wert nicht mehr als 0,2 betrug (s.o.).

### 3.1 Großsander Wettern

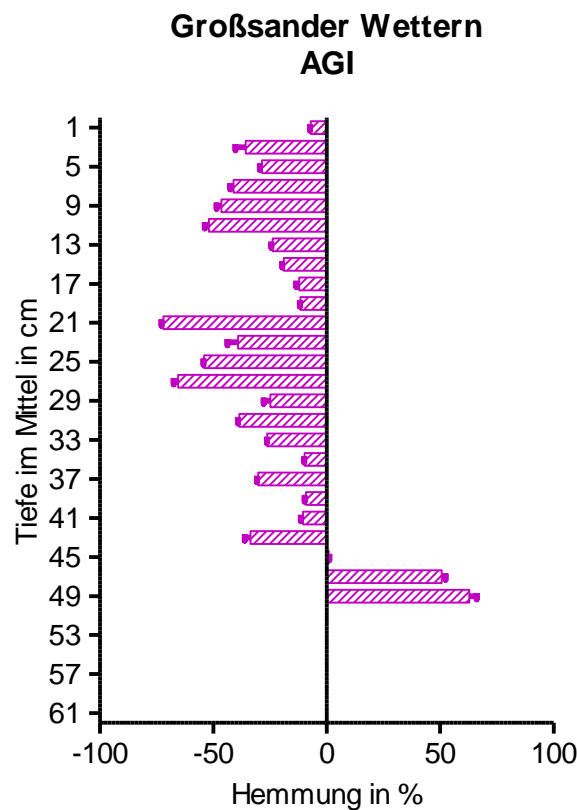
Die Großsander Wettern diente als Möglichkeit der ersten Beprobung und als Übung der Durchführung der biologischen Testverfahren. Dargestellt werden in diesem Unterkapitel die Hemmungen in % in Abhängigkeit der Tiefe in cm der Großsander Wettern. In Tabelle 2 sind alle Hemmungen numerisch aufgetragen. Die Eluate der Unterproben H05–17 und H22–17 wurden ein zweites Mal hergestellt und in einem weiteren LBT mit den Extrakten zusammen nochmals untersucht. Im Anhang, Kapitel 1 Tabelle 1, können die pH – Werte zur Probenahmestelle entnommen werden. Die pH – Werte für die beiden Wiederholungen von H05–17 liegen mit 7,18 und 6,96 so, dass ein Mittelwert zwischen den Wiederholungen gebildet werden kann. Jedoch wurde die Unterprobe innerhalb der ersten Versuchsreihe doppelt durchgeführt, demnach muss zuerst der Mittelwert zwischen den Replikaten gebildet werden, da die Hemmungen aus dem gleichen Eluat entstanden. Der Mittelwert zwischen den Replikaten der Hemmungen von 16,50 % und 24,65 % ergibt einen Wert von 20,58 %. Der daraus resultierende Variationskoeffizient (VarK) wird berechnet, indem die Differenz zwischen dem Mittelwert und einer der Ausgangshemmungen gebildet wird. Daraus folgt ein Wert von 4,08 %. Dieser Wert überschreitet die Bedingung durch die DIN von 3 %. Für die Unterprobe H05–17 wird deswegen vorerst der Wert ausgewählt, welcher zwischen den Probenparallelen eine geringere Abweichung aufweist. Dies ist der Wert aus dem zweiten Replikat mit 0,09 % bei einer Hemmung von 24,65 %. Werden nun die Wiederholungen der Unterprobe miteinander verglichen, liegen die Hemmungen von 24,65 % und -5,11 % deutlich auseinander, sodass ein VarK von über 3 % vorliegt. Bei weiterer Betrachtung der VarK der Probenparallelen liegt der Wert der ersten Hemmung mit 0,09 % geringer als der der Wiederholung mit 0,34 %. Für die Unterprobe H22–17 liegen die pH – Werte mit 6,84 und 7,03 nah genug beieinander, sodass die Hemmungen zwischen den Wiederholungen verglichen werden können. In der ersten Durchführung lag die Hemmung bei 31,03 % und in der Wiederholung bei 10,27 %. Der Mittelwert liegt bei 20,65 % und damit der VarK bei 10,38 %, weswegen die Hemmung anhand des geringeren VarK der Probenparallelen ausgewählt wird. Für H22–17 liegt der VarK in der Wiederholung mit 0,37 % deutlich geringer als in der ersten Durchführung mit 4,01 %. Im Anhang auf CD können im Ordner Großsander Wettern die Originaldaten und Auswertungstabellen der Biotests eingesehen werden, in denen die Hemmungen und die Variationskoeffizienten einsehbar sind.



**Tabelle 2:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe im Algenwachstumshemmtest und im Leuchtbakterientest mit Eluaten und Extrakten des Großsander Wettern

v	Tiefe im Mittel in cm	AGI – Hemmung in %	LBT Eluate – Hemmung in %	LBT Extrakte – Hemmung in %
H01-17	1	-7,04	44,43	15,63
H02-17	3	-35,65	32,92	6,24
H03-17	5	-28,53	21,19	3,82
H04-17	7	-41,03	26,25	6,16
H05-17	9	-46,39	24,62	7,48
H06-17	11	-51,96	26,18	8,13
H07-17	13	-23,91	34,39	10,99
H08-17	15	-18,10	41,49	11,74
H09-17	17	-12,15	42,55	13,46
H10-17	19	-11,62	39,03	8,80
H11-17	21	-72,05	33,99	8,99
H12-17	23	-39,05	33,92	9,13
H13-17	25	-54,02	32,58	10,21
H14-17	27	-65,43	41,16	13,56
H15-17	29	-24,88	35,48	15,82
H16-17	31	-38,48	30,18	15,48
H17-17	33	-26,32	32,75	9,66
H18-17	35	-9,70	34,96	9,37
H19-17	37	-30,27	33,54	14,63
H20-17	39	-9,11	28,76	11,03
H21-17	41	-10,48	29,50	9,70
H22-17	43	-33,59	10,27	16,20
H23-17	45	0,91	31,24	8,23
H24-17	47	50,72	24,84	5,58
H25-17	49	62,87	25,52	6,81

Der Algenwachstumshemmtest wurde für die Unterproben am Großsander Wettern einmal durchgeführt. Die Abbildung 13 zeigt die prozentuale Hemmung der Eluate im AGI. Auffällig ist, dass bis zu einer Tiefe von 43 cm Stimulationen der Algen auftreten. Dabei liegen bei 21 cm mit -72,05 % und bei 27 cm mit -65,43 % die höchsten Hemmungen. Erst in den letzten beiden Tiefen des Sedimentkerns zeigen sich deutliche Hemmung der Algen von über 50 % (vgl. Tabelle 2).

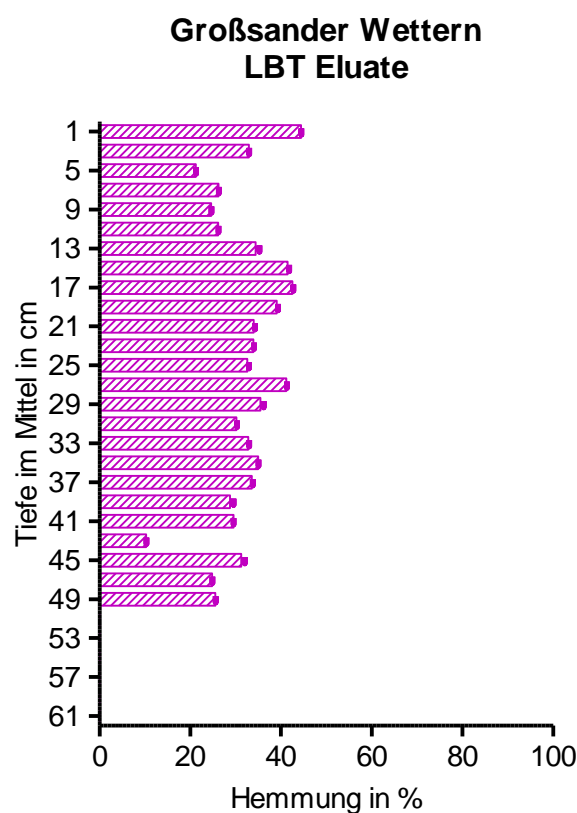


**Abbildung 13:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe des Großsander Wettern im Algenwachstumshemmtest

Die Wachstumsrate der Kontrollen im Testdurchlauf lag bei 1,28, welche damit zu gering ist. Die Gültigkeitskriterien des AGI sehen eine Wachstumsrate von 1,4 vor. Der Variationskoeffizient der Kontrolle liegt mit 6,22 % über 5 % und erfüllt damit die Gültigkeitskriterien ebenfalls nicht. Die pH- Differenz darf höchstens bei 1,5 liegen, da ansonsten der Test durch die Änderung des pH- Wertes beeinflusst werden kann. Die pH- Differenz liegt in dieser Testdurchführung bei maximal 2,73. Bei Testbeginn wurde der pH- Wert der Kontrolle mittels pH – Papier bestimmt und lag bei 6-7, nach Ende des Tests wurde der pH – Wert mittels pH – Sonde gemessen und lag bei 8,73. Die

Gültigkeitskriterien sind auf Grund der Wachstumsrate und der pH – Differenz nicht erfüllt (vgl. Anhang Tabelle 2).

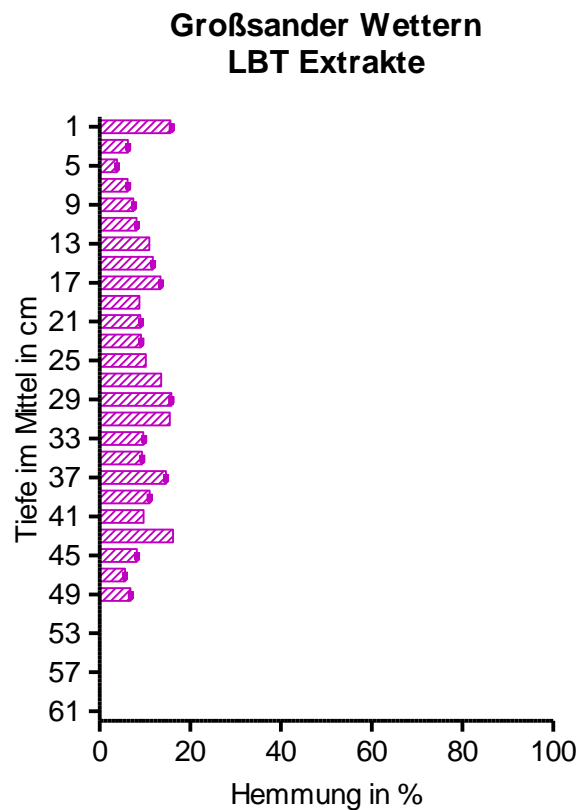
Die Abbildung 14 stellt die Hemmungen in % der Eluate im Leuchtbakterientest über die Tiefe dar, wobei Hemmung für H22–17 der Hemmung der Wiederholung entspricht. Es fällt auf, dass alle Hemmungen unter 50 % liegen. Die Oberfläche wirkt mit 44 % am toxischsten auf die Leuchtbakterien und die mittleren Tiefen 15 cm, 17 cm, 19 cm und 27 cm liegen ebenfalls bei 40 % Hemmung (vgl. Tabelle 2 und Abbildung 14). Zudem tritt in einer Tiefe von 43 cm eine Hemmung von 10,27 % auf, die damit deutlich geringer ist als die der anderen Schichten.



**Abbildung 14:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe des Großsander Wettern im Leuchtbakterientest mit Eluaten

In beiden Versuchsdurchführungen wurden die Gültigkeitskriterien erfüllt (vgl. Anhang Tabelle 3 und Tabelle 4).

Der Leuchtbakterientest mit Extrakten wurde einmal mit allen Unterproben durchgeführt. Es treten keine Hemmungen über 20 % auf, wobei die Hemmungen an der Oberfläche und in den Tiefen 29 cm sowie 43 cm mit 15,63 %, 15,82 % sowie 15,48 % am höchsten sind (vgl. Tabelle 2 und Abbildung 15).



**Abbildung 15:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe des Großsander Wettern im Leuchtbakterientest mit Extrakten

Die Gültigkeitskriterien für den LBT wurden eingehalten (vgl. Anhang Tabelle 4).

**Zusammenfassung:** Die Großsander Wettern diente als Probenahmeübung und Übung der Testdurchführungen und zur Definition der Testbedingungen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Probenahme mit Hilfe des Multisamplers geeignet ist und der Sedimentkern gut aufgeteilt werden kann. Zudem erfolgte durch die Probenahme ein Ablaufplan für die Probenaufteilung und die Durchführung der Biotests. Der Algenwachstumshemmtest muss auf Grund der nicht erfüllten Gültigkeitskriterien im Weiteren der Untersuchungen detailliert betrachtet werden. Die Ergebnisse des Standortes am Großsander Wettern weisen allgemein keine hohen Hemmungen auf.

### 3.2 Alte Süderelbe

Die Alte Süderelbe wurde dreimal im Abstand von jeweils zwei Wochen beprobt. Im Folgenden werden die Beprobungen der Alten Süderelbe mit Alte Süderelbe I (erste Beprobung), Alte Süderelbe II (zweite Beprobung) und Alte Süderelbe III (dritte Beprobung) betitelt (vgl. Tabelle 3).

**Tabelle 3:** Bezeichnung der Probenahmen an der Alten Süderelbe

Bezeichnung	H-Kennungen	Datum	Probenmenge
<b>Alte Süderelbe I</b>	H26-17 bis H56-17	13. Februar 2017	62 cm Sedimentkern
<b>Alte Süderelbe II</b>	H57-17 bis H86-17	27. Februar 2017	60 cm Sedimentkern
<b>Alte Süderelbe III</b>	H87-17 bis H116-17	13. März 2017	88 cm Sedimentkern

Im Folgenden werden die Ergebnisse aus den AGIs und LBTs dargestellt und beschrieben. Die Ergebnisse dienen im Weiteren zur Beurteilung der These, ob die Ergebnisse eines Biotests reproduzierbar sind. Die Probenahmen fanden nicht an einem Tag statt, da die Ergebnisse an einem Standort über einen längeren Zeitraum wiederholt werden sollen.

#### 3.2.1 Algenwachstumshemmtest

Der Algenwachstumshemmtest wurde für die Proben der Alten Süderelbe I (H26–17 bis H56–17) insgesamt zweimal durchgeführt, indem alle Eluate ein zweites Mal hergestellt wurden. Es wurde jeweils die Unterprobe H41–17 in einer Tiefe in 31 cm vernachlässigt, da für den AGI nur 30 Unterproben eingesetzt werden konnten. Da vor allem die Oberfläche und die Tiefe für die Aussage der Reproduzierbarkeit als wichtig erachtet wurden, wurde eine Probe aus der Mitte des Sedimentkerns vernachlässigt. Wenn zwischen den Durchführungen Mittelwerte nach den oben angegebenen Kriterien gebildet wurden, beziehen sich die Gültigkeitskriterien auf die erste Testdurchführung. Die Angaben dazu und die Auswahl der Daten können auf der CD in der Datei „AGI“ eingesehen werden.

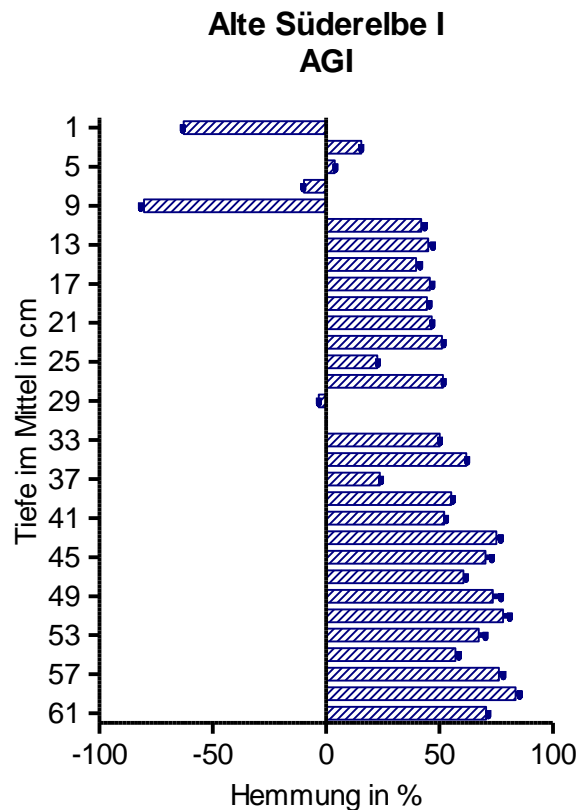
Für die Alte Süderelbe II (H57–17 bis H86–17) wurden die Unterproben H63–17, H67–17, H68–17, H69–17 und H82–17 mit neuen Eluaten wiederholt, da Auffälligkeiten in den Kontrollen auffielen (vgl. Anhang Tabelle 12). Um die Hemmungen zwischen den Wiederholungen der Testdurchführungen zu vergleichen, wird das gleiche Schema befolgt wie bei der Großsander Wettern (vgl. Kapitel 3.1). Es sollte jedoch bedacht werden, dass der VarK zwischen den Wiederholungen beim AGI bei 5 % liegen darf.

Die pH – Werte als Kriterium können im Anhang (Tabelle 5 und Tabelle 11) eingesehen werden. Die Ergebnisse der AGIs können auf der CD im Anhang eingesehen werden. Die Hemmungen in % in Abhängigkeit der Tiefe können der Tabelle 4 entnommen werden.

**Tabelle 4:** Prozentuale Hemmungen der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe in Abhängigkeit der Tiefe im Algenwachstumshemmtest

Tiefe im Mittel in cm	AGI – Hemmung in % Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	AGI – Hemmung in % Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	AGI – Hemmung in % Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	-62,74	98,14	97,21
3	15,51	99,20	-13,27
5	3,87	99,54	10,12
7	-9,70	-15,76	0,39
9	-80,35	-13,15	22,87
11	41,99	95,37	34,77
13	45,09	-4,51	46,52
15	39,62	59,89	28,94
17	45,78	53,84	34,31
19	44,51	48,81	41,40
21	46,58	16,03	-4,69
23	51,05	-1,24	3,61
25	22,58	0,82	3,54
27	51,53	42,43	-1,73
29	-3,21	65,58	-14,41
31		69,52	1,50
33	50,11	71,63	18,14
35	61,84	80,96	26,25
37	23,70	80,96	38,72
39	55,25	77,32	63,20
41	52,10	81,32	46,12
43	75,13	70,60	50,85
45	70,33	71,23	42,29
47	60,61	59,98	23,59
49	73,60	41,70	30,01
51	78,05	30,97	30,79
53	67,29	39,07	39,80
55	57,08	61,59	52,93
57	76,18	63,20	54,15
59	83,55	63,89	63,38
61	70,54		

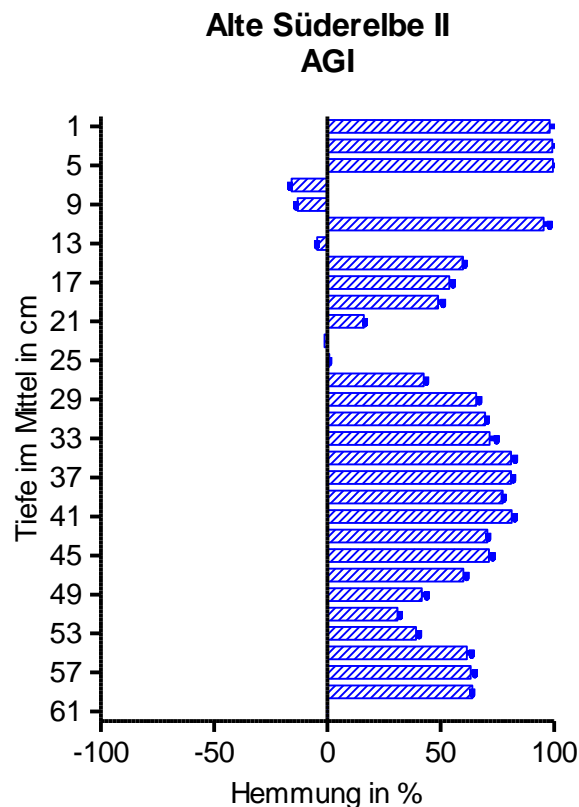
Die erste Probenahme an der Alten Süderelbe zeigt geringe Hemmungen bzw. Stimulationen in den ersten zehn Zentimetern. Danach treten Hemmungen von bis zu 50 % bis zu einer Tiefe von 28 cm auf. Auffällig ist eine geringe Stimulation in einer Tiefe von 29 cm. Ab einer Tiefe von 39 cm sind durchweg Hemmungen über 50 % zu verzeichnen (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 16).



**Abbildung 16:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe I im Algenwachstumshemmtest

Die Gültigkeitskriterien beider durchgeführter AGIs sind nicht erfüllt. In der ersten Versuchsdurchführung liegt die Wachstumsrate bei 1,37 und der Variationskoeffizient der Wachstumsrate bei 11,15. In der zweiten Versuchsdurchführung wurde nur t0 und t3 nach 72 Stunden gemessen und die Wachstumsrate liegt bei 1,16 mit einem Variationskoeffizienten von 2,01. Die pH- Differenz jedoch ist in beiden Durchführungen eingehalten (vgl. Anhang Tabelle 6 und Tabelle 7).

Die zweite Probenahme an der Süderelbe zeigt sehr hohe Hemmungen über 90 % in den ersten sechs Zentimetern sowie in der Schicht von 10 bis 12 cm (vgl. Tabelle 3). Zudem ist der „Bauch“ mit ansteigenden und wieder fallenden Hemmungen in den Schichten zwischen 27 cm und 51 cm auffällig (vgl. Abbildung 17). Dabei treten Hemmungen von knapp über 80 % in den mittleren Tiefen von 35 cm, 37 cm und 41 cm auf. Außerdem ist die Stimulation in einer Tiefe von 23 cm und der darauffolgenden geringen Hemmung auffällig.

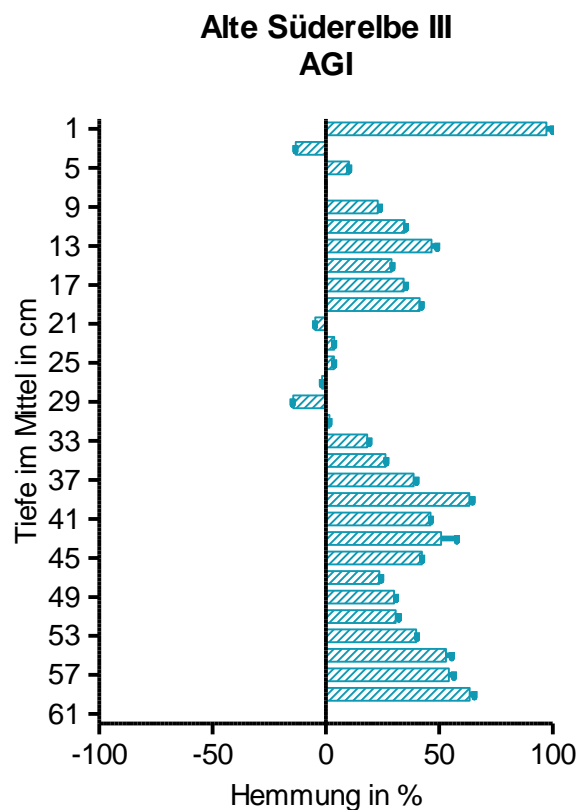


**Abbildung 17:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe II im Algenwachstumshemmtest

Die Gültigkeitskriterien sind für beide Versuchsdurchführungen, die stattgefunden haben, erfüllt (vgl. Anhang Tabelle 12 und Tabelle 13).



Der AGI der dritten Probenahme (Alte Süderelbe III, H86–17 bis H116–17) weist eine hohe Hemmung von 97 % in der ersten Schicht auf. Ab acht Zentimetern tritt ein erster „Bauch“ auf, der bis 20 cm anhält, wobei eine Hemmung von 50 % nicht überschritten wird (vgl. Tabelle 3 und Abbildung 18). Die Hemmung steigt an, um dann wieder auf eine geringere Hemmung zurück zu fallen. Die Tiefen von 21 cm bis 31 cm sind auffällig, da Stimulationen und geringe Hemmungen auftreten. Ab der Tiefe von 32 cm bis zu einer Tiefe von 48 cm tritt ein weiterer „Bauch“ auf, in dem auch Hemmungen von über 50 % auftreten. Danach steigt mit der Tiefe auch die Hemmung (vgl. Abbildung 18).



**Abbildung 18:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe III im Algenwachstumshemmtest

Die Gültigkeitskriterien des AGI sind erfüllt (vgl. Anhang Tabelle 18).

**Zusammenfassung:** Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in den drei Probenahmen merkbliche Hemmungen auftreten. Zudem ist in allen drei Durchführungen auffällig, dass es in verschiedenen Tiefen Stimulationen und geringe Hemmungen gibt. Jedoch liegen diese Auffälligkeiten in dieser Betrachtung in

unterschiedlichen Tiefen. Zudem sind die hohen Hemmungen in den ersten drei Schichten in der Alten Süderelbe II gegenüber den anderen beiden Probenahmen auffällig. Insgesamt kann anhand der Ergebnisse keine Vergleichbarkeit der Hemmungen erkannt werden. Eine Anpassung der Schichten sollte mit Hilfe der Normalisierung durchgeführt werden und die drei Probenahmen nochmals miteinander verglichen werden.

### 3.2.2 Leuchtbakterientest mit Eluaten

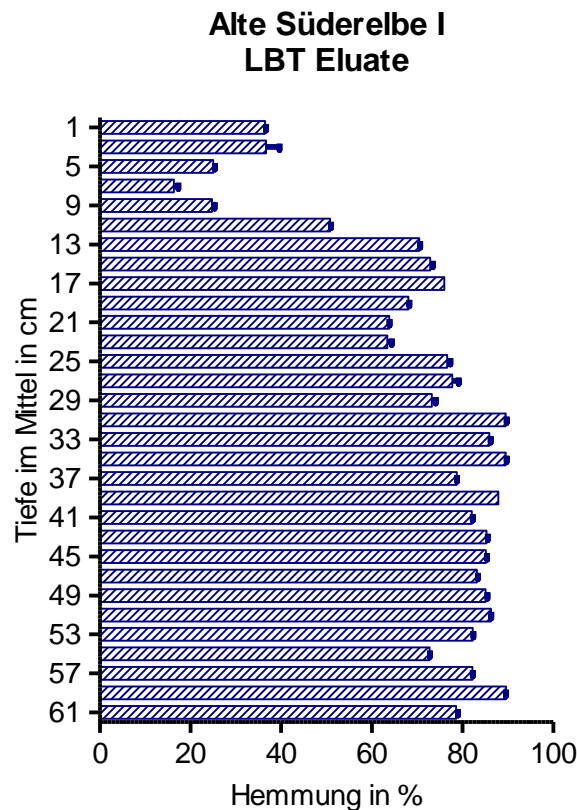
Der Leuchtbakterientest mit Eluaten wurde für die Unterproben H27–17 und H29–17 wiederholt, da die VarK über 3 % lagen. Diese Wiederholung fand in einem LBT mit Extrakten statt. Die pH – Werte als Kriterium der Mittelwertbildung können im Anhang in der Tabelle 5 eingesehen werden. Da jedoch die Gültigkeitskriterien der Wiederholung nicht erfüllt waren, wurden die Hemmungen der ersten Durchführung für die Ergebnisdarstellung genutzt. Die Hemmungen werden in den folgenden Grafiken in Abhängigkeit der mittleren Tiefe dargestellt. Der Tabelle 5 können die Hemmungen in % entnommen werden. Die Originaldaten und Auswertungsdaten der LBTs können im Anhang auf der CD entnommen werden.

**Tabelle 5:** Prozentuale Hemmungen der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe in Abhängigkeit der Tiefe im Leuchtbakterientest mit Eluaten

Tiefe im Mittel in cm	LBT Eluat – Hemmung in % Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	LBT Eluat – Hemmung in % Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	LBT Eluat – Hemmung in % Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	36,44	80,90	68,90
3	36,68	84,82	15,34
5	24,99	81,02	30,21
7	16,33	18,54	31,34
9	24,72	19,95	49,40
11	50,76	51,61	59,56
13	70,45	50,91	67,15
15	72,84	74,02	57,92
17	75,98	66,83	60,91
19	68,07	61,32	73,37
21	63,80	73,13	79,14
23	63,38	69,19	75,13
25	76,61	69,80	72,04
27	77,71	74,66	61,41
29	73,24	80,28	60,53
31	89,53	80,82	61,62
33	85,94	78,14	54,63
35	89,49	72,68	62,75

37	78,71	72,60	62,11
39	87,88	75,48	69,61
41	82,02	90,98	68,97
43	85,30	77,06	67,38
45	85,11	80,44	63,16
47	83,14	68,18	32,28
49	85,10	36,08	31,08
51	86,27	34,63	30,73
53	82,24	38,09	32,03
55	72,71	43,04	46,60
57	82,15	49,99	55,72
59	89,58	59,63	52,78
61	78,59		

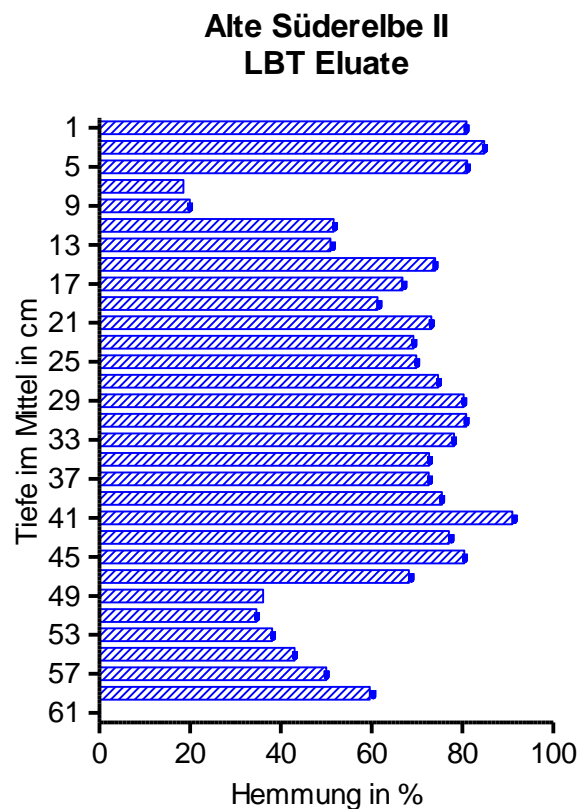
Die Alte Süderelbe I ist im LBT mit Eluaten vor allem durch die geringen Hemmungen in den ersten 10 cm gegenüber den anderen Schichten gekennzeichnet. Die Hemmungen in den tieferen Schichten liegen deutlich über 50 % (vgl. Abbildung 19). In den Tiefen von 31 cm, 35 cm und 59 cm liegen mit über 89 % die höchsten Hemmungen (vgl. Tabelle 4).



**Abbildung 19:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe I im Leuchtbakterientest mit Eluaten

Die Gültigkeitskriterien wurden in der ersten Testdurchführung eingehalten (vgl. Anhang Tabelle 8), jedoch wurden bei der Wiederholung der Eluate H27–17 und H29–17 die Gültigkeitskriterien nicht eingehalten. Der  $f_{kt}$  – Wert liegt zwar mit 0,82 innerhalb der Gültigkeit, jedoch ist die Abweichung der Kontrollen mit 5,72 % zu groß und die Hemmung in der zweiten Verdünnungsstufe des DCP mit 13,76 % zu gering (vgl. Anhang Tabelle 9). Bei der Auswahl der Hemmung für H27–17 und H29–17 wurden die Gültigkeitskriterien einbezogen, weswegen trotz der schlechten VarK der Probenparallelen die Hemmungen aus der ersten Versuchsdurchführung ausgewählt wurden.

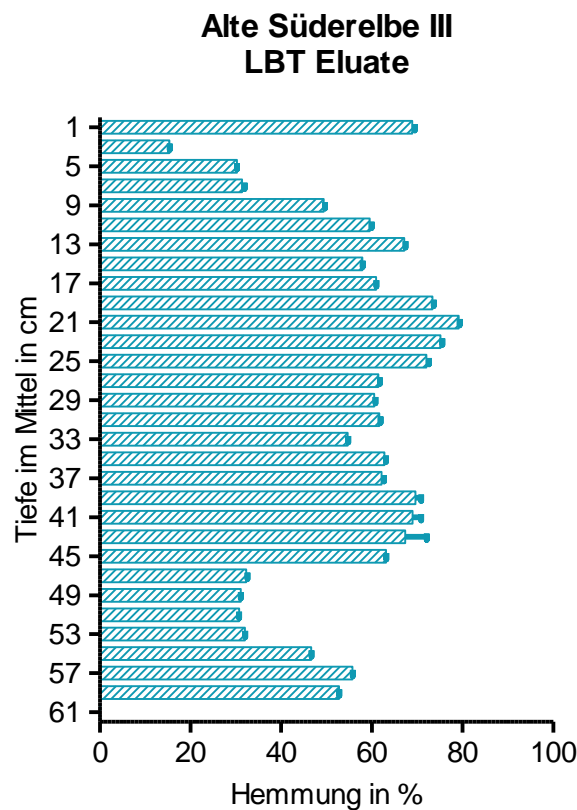
Der LBT der zweiten Probenahme wird durch die hohen Hemmungen in den ersten drei Schichten sowie des „Bauches“ ab 8 cm bis 52 cm charakterisiert. Die Hemmungen in den ersten drei Schichten liegen alle über 80 % (vgl. Tabelle 5). Der „Bauch“ ist ab 16 cm durch Hemmungen über 60 % gekennzeichnet, welche jedoch schwanken (vgl. Abbildung 20). Zudem liegt in der mittleren Tiefe von 41 cm das Maximum der gesamten Messung mit über 90 % Hemmung (vgl. Wert in Tabelle 4). Nach dem Abklang der hohen Hemmungen steigen diese wieder stetig ab einer Tiefe von 52 cm (vgl. Abbildung 20).



**Abbildung 20:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe II im Leuchtbakterientest mit Eluaten

Die Gültigkeitskriterien sind für den LBT der Unterproben H57–17 bis H86–17 erfüllt (vgl. Anhang Tabelle 14).

Die Alte Süderelbe III (dritte Probenahme) gliedert sich in eine hohe Anfangshemmung und zwei „Bäuche“. Die Hemmung in der ersten Schicht liegt mit 69% deutlich höher als die direkt darunter liegenden Schichten (vgl. Tabelle 5). Ab 3 cm beginnt der erste Bauch mit einer maximalen Hemmung von 79 %. Der Bauch tritt bis 33 cm auf. Danach folgt sofort der zweite Bauch bis zu einer Tiefe von 48 cm (vgl. Abbildung 21). In den letzten drei Schichten treten zudem noch einmal Hemmungen bis zu 55 % auf.



**Abbildung 21:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe III im Leuchtbakterientest mit Eluaten

Die Gültigkeitskriterien sind eingehalten (vgl. Anhang Tabelle 19).

**Zusammenfassung:** In allen drei Durchführungen der LBTs mit Eluaten treten sehr hohe Hemmungen auf. Bei der Alten Süderelbe II und III fällt zudem auf, dass bei beiden ein Einbruch der hohen Hemmungen auftritt. Dieser liegt bei der Alten Süderelbe II bei 49 cm und bei der Alten Süderelbe III bei 47 cm. Diese Bäuche geben ein Indiz auf die Vergleichbarkeit der Proben, aber die Proben müssen im Folgenden über die Normalisierung noch einmal miteinander verglichen werden.

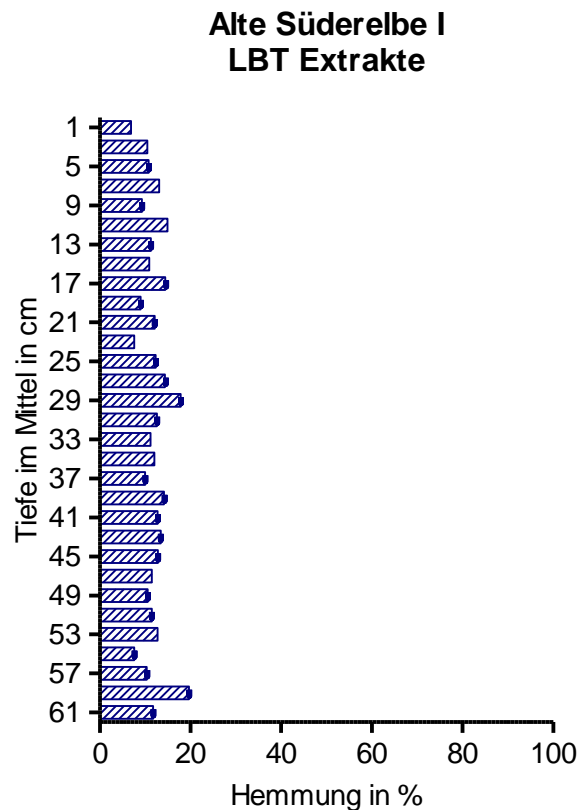
### 3.2.3 Leuchtbakterientest mit Extrakten

Der LBT mit Extrakten wurden mit allen Proben durchgeführt. Die Extrakte der ersten Probennahme an der Alten Süderelbe (H26–17 bis H56–17) wurden im LBT komplett wiederholt, da die Gültigkeitskriterien für die erste Durchführung nicht eingehalten wurden. Die Hemmungen aller Extrakte im LBT können der Tabelle 6 entnommen werden. Die Originaldaten, Auswertungen und Erläuterungen der Hemmungen finden sich auf der CD als Anhang.

**Tabelle 6:** Prozentuale Hemmungen der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe in Abhängigkeit der Tiefe im Leuchtbakterientest mit Extrakten

Tiefe im Mittel in cm	LBT Extrakt – Hemmung in % Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	LBT Extrakt – Hemmung in % Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	LBT Extrakt– Hemmung in % Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	6,90	14,06	22,16
3	10,50	14,71	16,24
5	10,78	15,21	15,61
7	13,08	24,73	18,51
9	9,28	13,08	16,57
11	14,91	22,94	24,66
13	11,28	25,41	25,55
15	10,89	31,44	21,49
17	14,46	21,48	22,81
19	9,03	15,23	20,62
21	12,10	20,10	20,88
23	7,58	21,09	20,61
25	12,28	15,58	20,23
27	14,39	18,51	20,25
29	17,79	22,06	18,59
31	12,60	22,91	9,93
33	11,18	19,67	21,97
35	12,02	19,52	18,34
37	9,98	19,93	19,74
39	14,14	20,53	20,73
41	12,77	23,21	19,93
43	13,42	23,03	19,13
45	12,81	25,15	19,10
47	11,45	18,98	8,90
49	10,52	14,09	11,87
51	11,44	15,87	14,78
53	12,72	14,77	9,04
55	7,59	15,98	13,95
57	10,33	15,91	14,59
59	19,66	13,58	14,90
61	11,77		

Die Extrakte der ersten Probenahme an der Alten Süderelbe kennzeichnen sich durch geringe Hemmungen unter 20 % über die gesamte Tiefe des Sedimentkerns. In einer Tiefe von 59 cm ist die höchste Hemmung mit 20 % zu verzeichnen (vgl. Tabelle 6). Bis auf die Hemmung in der mittleren Tiefe von 29 cm mit 18 % liegen alle weiteren Hemmungen der Extrakte unterhalb von 15 % (vgl. Abbildung 22).

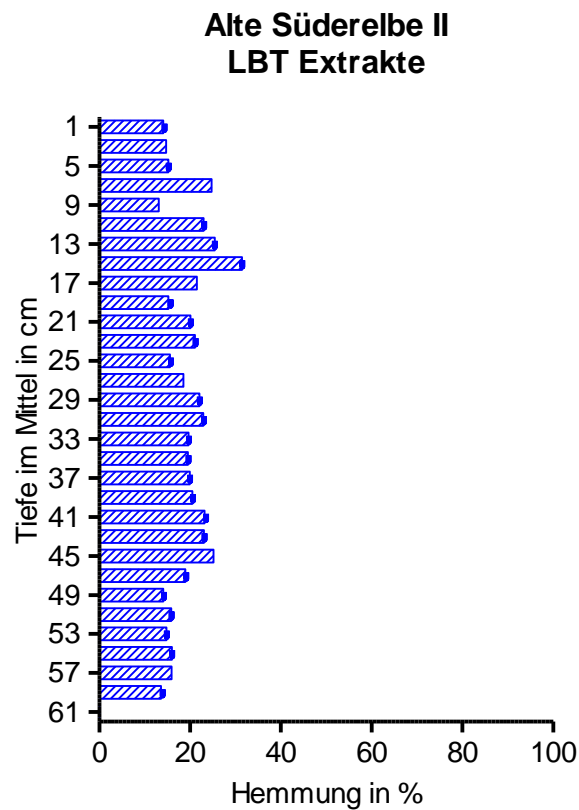


**Abbildung 22:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe I im Leuchtbakterientest mit Extrakten

Die Gültigkeitskriterien für beide Versuchsdurchführungen sind nicht eingehalten (vgl. Anhang Tabelle 9 und Tabelle 10). In der ersten Versuchsdurchführung liegt der  $f_{kt}$  – Wert bei 0,82, die Abweichung der Kontrollen vom Mittelwert bei 5,72 % und die Hemmung von der zweiten Verdünnungsstufe von DCP bei 13,76 %. Bei der zweiten Versuchsdurchführung liegt der  $f_{kt}$  – Wert bei 0,82, die Abweichung der Kontrollen vom Mittelwert bei 1,76 % und die DCP- Hemmung bei 14,81 %.



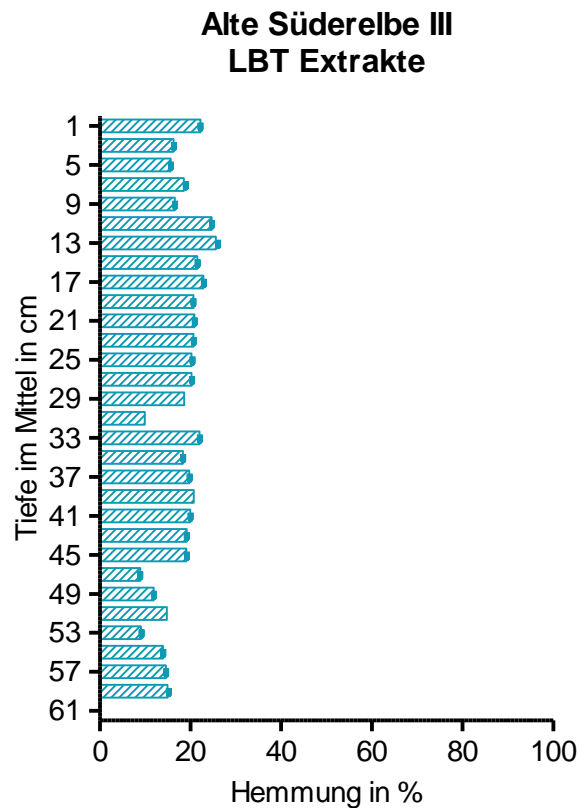
Die Extrakte der zweiten Probenahme kennzeichnen sich ebenfalls durch geringe Hemmungen über die Tiefe (vgl. Tabelle 6). Auffälligkeiten können kaum ausgemacht werden, da die Hemmungen alle ungefähr gleich sind, jedoch sticht die Hemmung von 31 % in der Tiefe von 15 cm als die höchste hervor (vgl. Abbildung 23).



**Abbildung 23:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe II im Leuchtbakterientest mit Extrakten

Die Gültigkeitskriterien wurden für den LBT eingehalten. Die Berechnung der Hemmung des DCPs erfolgte jedoch über eine Kontrolle, die ohne Methanol versetzt wurde. Dadurch ergibt sich für die Positivkontrolle DCP eine Hemmung von 37,86 %. Die Berechnung über ASW als Kontrolle diente dazu, den LBT mit den anderen LBTs vergleichbar zu belassen. Die Berechnung über die Kontrolle mit Methanol ergab eine Hemmung von 19,98 % (vgl. Anhang Tabelle 15 (Hemmungen) und Tabelle 16 (Positivkontrolle DCP – Berechnung)).

Der LBT mit Extrakten der Alten Süderelbe III zeichnet sich ebenfalls durch geringe Hemmungen aus. Diese liegen unterhalb von 30 % (vgl. Tabelle 6). Die höchste Hemmung mit 26 % liegt in der mittleren Tiefe von 13 cm. Außerdem ist auffällig, dass in den tiefsten Schichten die Hemmung geringer ist als in den darüber liegenden (vgl. Abbildung 24).



**Abbildung 24:** Prozentuale Hemmungen in Abhängigkeit der Tiefe der Alten Süderelbe III im Leuchtbakterientest mit Extrakten

Die Gültigkeitskriterien wurden für den LBT eingehalten. Die Berechnung der Hemmung des DCPs erfolgte jedoch über eine Kontrolle, die ohne Methanol versetzt war. Dadurch ergibt sich für DCP eine Hemmung von 38,97 %. Die Berechnung über die Kontrolle mit Methanol ergab eine Hemmung von 23,66 % (vgl. Anhang Tabelle 20 (Hemmungen) und Tabelle 21 (Positivkontrolle DCP – Berechnung)).

**Zusammenfassung:** Die Ergebnisse der Untersuchung der Extrakte im LBT können damit zusammengefasst werden, dass alle Hemmungen gering sind und nahe beieinanderliegen. Eine Vergleichbarkeit zwischen den Probenahmen scheint nicht vorzuliegen, da keine auffälligen Merkmale zu erkennen sind.

### 3.3 Normalisierung

Mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse wurden Tiefenprofile von Blei, Kupfer und Rubidium erstellt. Blei und Kupfer stehen hierbei für industriell beeinflusste Metalle, während für Rubidium keine anthropogenen Einträge bekannt sind (Grant & Middleton 1990) und daher als Indikator für Feinkornanteile genutzt werden kann.

#### 3.3.1 Röntgenfluoreszenzanalyse

Um die Ergebnisse aus dem AGI und den LBTs auswerten zu können, soll anhand der o.g. Schwermetalle eine Identifizierung sich entsprechender Tiefenschichten durchgeführt werden. Da die Sedimentation von feinem Material an den drei Probenahmestellen unterschiedlich gewesen ist, soll dieser Effekt mit Hilfe der Bildung eines Quotienten mit Rubidium herausgerechnet werden. Schiff und Weisberg (1991) haben diese Normalisierung mit Hilfe von Eisen für Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Blei, Nickel, Silber und Zink durchgeführt. Eisen ist Bestandteil des Feinkorns, weswegen es zur Normalisierung geeignet ist. Rubidium hat gegenüber Eisen den Vorteil eines geringeren Redoxpotentials und kann deswegen zur Normalisierung anderer Schwermetalle genutzt werden (Grant & Middleton 1990). Blei und Kupfer werden somit auf Rubidium bezogen. Im Anhang, Kapitel 5, können die Ergebnisse der Blei-, Kupfer- und Rubidium- Messungen eingesehen werden. In den folgenden Abbildungen werden die Quotienten grafisch dargestellt und ausgewertet, um anschließend eine Anpassung der Schichten innerhalb des AGI und LBT durchführen zu können. Die Tabelle 7 beinhaltet die Quotienten aus Blei und Rubidium, die Tabelle 9 die Quotienten aus Kupfer und Rubidium.

**Tabelle 7:** Normalisierung der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe anhand der Bildung des Quotienten aus Blei und Rubidium

Tiefe im Mittel in cm	Blei/Rubidium Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	Blei/Rubidium Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	Blei/Rubidium Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	0,9985	0,9370	0,9511
3	1,0621	0,9889	1,3162
5	1,0838	1,0901	1,6604
7	1,0699	1,0917	1,5240
9	1,2094	1,1483	1,6406
11	1,4037	1,1788	1,6760
13	1,5661	1,3121	1,7083
15	1,4080	1,8522	1,1817
17	1,5950	1,1049	1,1062
19	1,2408	1,1618	1,3581

21	1,1785	1,9019	1,6367
23	0,7580	1,9737	1,7184
25	1,5677	1,7308	1,7370
27	1,8473	2,1038	1,7682
29	1,6763	2,2237	1,6129
31	2,1907	1,9608	1,7340
33	2,0801	1,7228	1,6309
35	2,0170	1,5298	1,6968
37	1,6539	1,5877	1,7535
39	1,5301	1,6283	1,5932
41	1,7005	2,3560	1,5238
43	1,6967	1,1717	1,5358
45	1,7345	1,2807	1,4452
47	1,6963	1,2217	1,2415
49	1,7743	1,4790	1,4110
51	1,8412	1,3937	1,1674
53	1,2160	1,3516	1,1158
55	0,9499	1,4558	1,2776
57	1,0722	1,4838	1,0625
59	1,8449	1,5359	1,0660
61	1,3316		1,1028
63			1,3894
65			1,3011
67			1,4325
69			1,3023
71			0,8041
73			0,8087
75			0,8851
77			1,0010
79			1,0515
81			1,0586
83			1,3063
85			1,3697
87			1,3412

Bei der Betrachtung der vergleichenden Darstellungen der Quotienten aus Blei und Rubidium der Alten Süderelbe (vgl. Abbildung 25) fallen Gemeinsamkeiten und kleine Unterschiede auf. Die **Alte Süderelbe I** zeigt in den oberen Schichten einen Anstieg des Quotienten und dieser sinkt bis in die Schicht von 23 cm wieder (Wert: 0,7580). Dieser Wert ist gleichzeitig auch der geringste Quotient innerhalb des gesamten Verlaufes. Danach steigen die Werte mit Schwankungen wieder bis zu einer Tiefe von 31 cm an, um danach wieder bis in die Tiefe von 39 cm abzusinken. Das gleiche Verhalten ist auch im Folgenden noch einmal zu erkennen, da die Werte ab 39 cm

schwankend ansteigen und dann wieder bis 55 cm absinken (vgl. Abbildung 25 Alte Süderelbe I).

Die **Alte Süderelbe II** zeigt einen Anstieg innerhalb der ersten Schichten bis zu einer Tiefe von 15 cm (Wert: 1,8522). In der direkt folgenden Schicht von 17 cm liegt der geringste Quotient mit einem Wert von 1,1049. Im Folgenden steigen die Quotienten bis zu einer Tiefe von 29 cm mit Schwankungen an um von da an bis in eine Tiefe von 35 cm wieder abzusinken. Etwas Ähnliches lässt sich in den Tiefen zwischen 35 cm und 43 cm feststellen, aber das Maximum innerhalb dieses Bauches liegt deutlich höher als die anderen Quotienten der dazu gehörenden Tiefen. Nach dem Minimum in einer Tiefe von 43 cm steigen die Quotienten wieder mit Schwankungen an (vgl. Abbildung 25 Alte Süderelbe II).

In der **Alten Süderelbe III** lassen sich in den ersten drei Schichten stete Erhöhungen der Quotienten erkennen. Danach schwanken die Werte leicht, bis sie ab einer Tiefe von 15 cm deutlich abfallen und bei 17 cm ihr Minimum von 1,1062 erreichen. Danach steigen die Quotienten wieder bis zu einer Tiefe von 27 cm und sinken bei 29 cm wieder ab. Danach ist weiterhin ein abnehmender Trend der Quotienten zu erkennen, der bis zu einer Tiefe von 47 cm anhält. Zwei erhöhte Werte in den Tiefen von 49 cm und 55 cm unterbrechen den stetigen Abfall der Quotienten (vgl. Abbildung 25 Alte Süderelbe III). In den Tiefen von 63 cm bis 69 cm zeigen sich nochmals erhöhte Quotienten und danach direkt sehr geringe. Die Quotienten ab 71 cm steigen bis zum Ende der Messungen wieder ab.

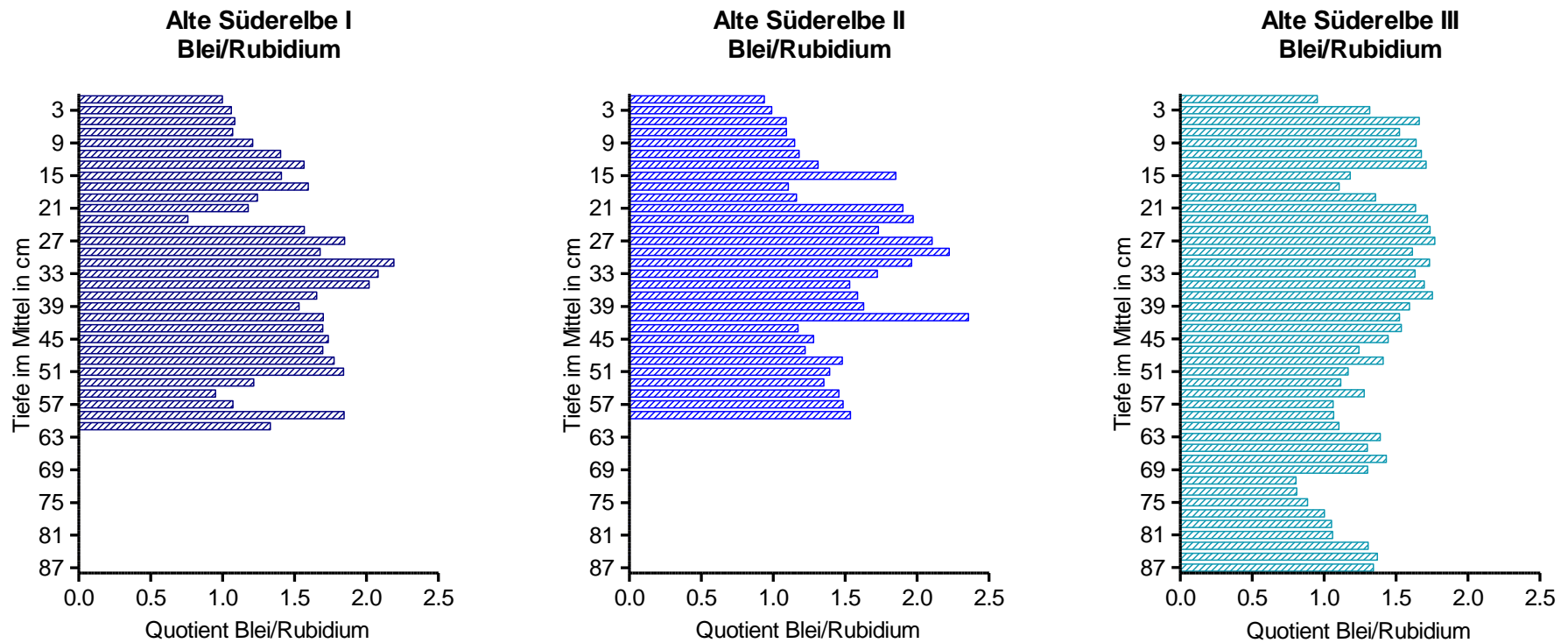
**Vergleich der drei Probenahmen:** Alle drei Profile zeigen Eigenschaften, die die anderen auch zeigen. Ab der Oberfläche steigen die Quotienten an und sinken daraufhin wieder. Der geringste Wert in den oberen Schichten fällt somit auch am meisten auf, da dieser sich von dem darüber liegenden Maximum deutlich unterscheidet. In der Alten Süderelbe I liegt der niedrigste Wert in der Tiefe von 23 cm, in der Alten Süderelbe II bei 17 cm und in der Alten Süderelbe III ebenfalls in einer Tiefe von 17 cm. Dies entspricht einem Abstand von 6 cm zwischen der Alten Süderelbe I und der Alten Süderelbe II und III. Innerhalb der ersten und der zweiten Alten Süderelbe lassen sich zudem deutlich zwei Bäuche erkennen. In der Alten Süderelbe I beginnt dieser bei 23 cm und endet bei 39 cm, in der Alten Süderelbe II beginnt er bei 17 cm und endet bei 35 cm. Wird der Unterschied zwischen den

Probenahmen betrachtet, fällt auf, dass zwischen 23 cm und 17 cm in etwa der gleiche Abstand vorliegt wie zwischen 39 cm und 35 cm. Anhand dieser Merkmale sind die Alte Süderelbe I und II gut zu vergleichen. Der zweite Bauch ist in der Alten Süderelbe I in den Tiefen von 39 cm bis 55 cm auszumachen, bei der Alten Süderelbe II von 35 cm bis 43 cm. Der zweite Bauch der Alten Süderelbe II liegt damit anders als der der Alten Süderelbe I. Bei Betrachtung der Alten Süderelbe III scheint auf den ersten Blick ein großer Bauch in der Mitte des Profils auffällig zu sein. Wird jedoch ein wenig genauer hingeschaut, lassen sich auch zwei schwach ausgeprägte Bäuche erkennen, der erste Bauch erstreckt sich über einen kurzen Bereich von 17 cm bis 29 cm und der zweite von den Tiefen 29 cm bis 47 cm. Der Unterschied zwischen den Enden der ersten Bäuche zwischen der Alten Süderelbe I ist unterschiedlich, da dieser zwischen 39 cm (Alte Süderelbe I) und 29 cm (Alte Süderelbe II) liegt. Wird zusätzlich jedoch das Ende des zweiten Bauches miteinander verglichen, lässt sich der Trend aus den Minima wiederum feststellen. Das Ende des zweiten Bauches in der Alten Süderelbe I liegt bei 55 cm, der der Alten Süderelbe III bei 47 cm, was dem Abstand von 8 cm entspricht. Dies kann als gleicher Trend angesehen werden.

**Zusammenfassung:** Es kann festgehalten werden, dass anhand der Quotienten aus Blei und Rubidium eine Anpassung der Schichten möglich ist. Tabelle 8 zeigt die Werte auf, welche für die Anpassung möglich wären. Die erste Möglichkeit spricht dafür, dass die Tiefe von 23 cm in der Alten Süderelbe I einer Tiefe von 17 cm in der Alten Süderelbe II entspricht. Diese Tiefen würden dann wiederum einer Tiefe von 17 cm in der Alten Süderelbe III entsprechen. Anhand der zweiten und dritten Möglichkeit wird dieser Trend unterstützt, da die Abstände zwischen der Alten Süderelbe I und II bzw. zwischen der Alten Süderelbe I und III in etwa gleich sind.

**Tabelle 8:** Übersicht der Möglichkeit der Anpassung der Schichten zwischen den drei Probenahmen der Alten Süderelbe auf Basis des Quotienten aus Blei und Rubidium

	Alte Süderelbe I	Alte Süderelbe II	Alte Süderelbe III
<b>1. Möglichkeit</b>	23 cm	17 cm	17 cm
<b>2. Möglichkeit</b>	39 cm	35 cm	-
<b>3. Möglichkeit</b>	55 cm	-	47 cm



**Abbildung 25:** Vergleichende Darstellung der Quotienten aus Blei und Rubidium in den drei Probenahmen der Alten Süderelbe

Die Tabelle 9 stellt die Quotienten aus Kupfer und Rubidium dar.

**Tabelle 9:** Normalisierung der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe anhand der Bildung des Quotienten aus Kupfer und Rubidium

Tiefe im Mittel in cm	Kupfer/Rubidium Alte Süderelbe I H26-17 bis H56-17	Kupfer/Rubidium Alte Süderelbe II H57-17 bis H86-17	Kupfer/Rubidium Alte Süderelbe III H87-17 bis H116-17
1	1,3950	1,0542	0,8908
3	1,3241	0,9795	1,3162
5	1,1272	1,1483	1,6226
7	1,1127	1,0480	1,4889
9	1,1947	1,1483	1,5402
11	1,3225	1,0881	1,6983
13	1,5429	1,3002	2,0080
15	1,3258	2,0749	1,0847
17	1,7104	0,9459	1,0088
19	1,2132	0,9959	1,3841
21	0,9933	1,7464	1,5569
23	0,7121	1,7544	1,6519
25	1,4995	1,3636	1,7122
27	1,8103	2,1311	1,6249
29	1,5173	2,2372	1,5350
31	2,2165	1,9730	1,6297
33	2,4031	1,6839	1,4306
35	2,0778	1,4173	1,5577
37	1,6031	1,3892	1,6391
39	1,4458	1,3339	1,5932
41	1,6216	2,1885	1,4497
43	1,5270	0,9628	1,3311
45	1,6595	1,1853	1,1772
47	1,3905	0,9502	0,9453
49	1,5196	1,0706	0,9854
51	1,7509	1,1292	0,9251
53	1,0700	1,0771	0,8947
55	0,7513	1,0750	0,9375
57	0,9125	1,1151	0,7679
59	1,9392	1,1396	0,8806
61	1,1524		0,9028
63			1,1155
65			0,9228
67			1,0858
69			0,9030
71			0,5567
73			0,5596
75			0,5460
77			0,6997
79			0,7153



<b>81</b>			0,7980
<b>83</b>			0,9844
<b>85</b>			0,9221
<b>87</b>			0,8353

Bei der Betrachtung der vergleichenden Darstellungen der Quotienten aus Kupfer und Rubidium der Alten Süderelbe (vgl. Abbildung 26) fallen Gemeinsamkeiten und kleine Unterschiede auf. Die **Alte Süderelbe I** zeigt einen kleinen Abfall der Werte in den ersten drei Schichten der Oberfläche. Danach steigen die Quotienten mit sichtbaren Schwankungen auf einen erhöhten Wert (1,7104) in der Tiefe von 13 cm an. Bis in eine Tiefe von 23 cm sinkt der Quotient stark auf einen Wert von 0,7121 ab. Im weiteren Verlauf über die Tiefe zeigen sich drei Auffälligkeiten: Die erste sind die Tiefen von 25 cm bis 29 cm, die wie ein kleiner Bauch erscheinen. Die Zweite liegen zwischen den Schichten von 29 cm und 39 cm, in denen ein weiterer Bauch sichtbar ist. Und Drittens schwanken die Quotienten, bis bei 55 cm nochmals ein geringerer Wert auftritt (vgl. Abbildung 26 Alte Süderelbe I).

Die **Alte Süderelbe II** zeigt Schwankungen der Quotienten bis in die Tiefe von 15 cm, in der ein erhöhter Wert mit 2,0749 erkennbar ist. Der folgende Quotient in einer Tiefe von 17 cm liegt mit 0,9459 deutlich geringer. Danach steigen die Werte bis in eine Tiefe von 23 cm an, sinken bei 25 cm jedoch wieder ab. Das gleiche Merkmal, aber über mehrere Tiefen, findet sich von 25 cm bis 39 cm. Dabei steigen die Werte der Quotienten bis in die Tiefe von 29 cm und sinken dann wieder. Nach einem weiteren erhöhten Wert in der Tiefe von 41 cm schwanken die restlichen Werte ohne große Unterschiede (vgl. Abbildung 26 Alte Süderelbe II).

In der **Alten Süderelbe III** steigen die Werte der Quotienten bis in die Tiefe von 13 cm mit leichten Schwankungen auf einen Wert von 2,0080 an. Danach fällt der Wert auf 1,0088 in einer Tiefe von 17 cm. Von 17 cm an bildet sich auf den ersten Blick ein langgezogener Bauch bis in eine Tiefe von 47 cm. Bei genauerem Hinschauen lässt sich ein Bauch durch das Ansteigen und wieder Absinken bis in eine Tiefe von 33 cm erkennen und ein weiterer bis in eine Tiefe von 47 cm. Ab der Tiefe von 47 cm schwanken die Quotienten bis in die Tiefe von 71 cm, wo nochmals ein deutlich geringerer Wert erkennbar ist (vgl. Abbildung 26 Alte Süderelbe III).

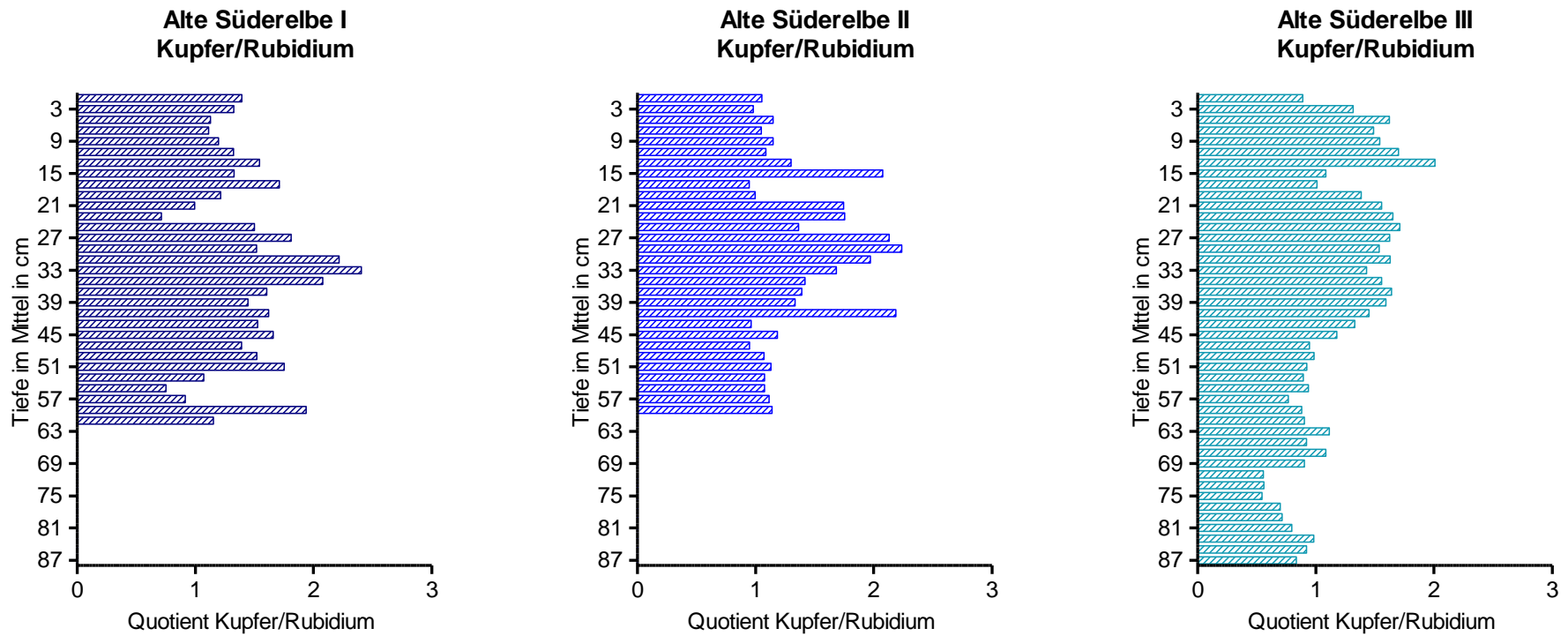
**Vergleich der drei Probenahmen:** Alle drei Probenahmen zeigen ein deutliches Merkmal, welches auch in den jeweils anderen Profilen erkennbar ist. Dieses Merkmal ist der erste geringe Wert. In der Alten Süderelbe I liegt dieser Wert in einer Tiefe von 23 cm, in der Alten Süderelbe II in 17 cm und in der Alten Süderelbe III in 17 cm. In der Alten Süderelbe I folgen darauf zwei schwach ausgeprägte Bäuche zwischen 23 cm und 29 cm sowie zwischen 29 cm und 39 cm. Der erste Bauch findet sich auch in der Alten Süderelbe II wieder. Dieser liegt in den Tiefen zwischen 17 cm bis 25 cm. Der zweite Bauch in der Alten Süderelbe II liegt zwischen 25 cm und 37 cm und ist damit über mehr Schichten verteilt als der Bauch in der Alten Süderelbe I. In der Alten Süderelbe III sind beide Bäuche über mehr Schichten verteilt als in der Alten Süderelbe I. Trotzdem sind in allen drei Probenahmen die gleichen Trends zu erkennen, sodass die Profile miteinander in Verbindung gebracht werden können. Am besten vergleichbar ist der geringe Wert in den oberen Tiefen, da sich aus den Werten zwischen hoher Hemmung und geringer Hemmung jeweils eine Differenz von ca. 1 ergibt. In der Alten Süderelbe I liegt die Differenz zwischen 1,7104 (17 cm) und 0,7121 (23 cm), in der Alten Süderelbe II zwischen 2,0749 (15cm) und 0,9459 (17 cm) und in der Alten Süderelbe III zwischen 2,0080 (13 cm) und 1,0088 (17 cm). Damit ist in allen drei Probenahmen die gleiche Tendenz der Abnahme zu erkennen.

**Zusammenfassung:** Mit Hilfe der Bildung von Quotienten aus Kupfer und Rubidium lassen sich die Schichten aneinander anpassen. In Tabelle 10 sind die beiden Möglichkeiten dieser Darstellung aufgezeigt. Da die Alte Süderelbe III in ihrer Auffälligkeit vor allem über den geringen Wert in den ersten Tiefen mit den anderen beiden Probenahmen verglichen werden kann, liegt die erste Möglichkeit zur Anpassung nahe. Die zweite Möglichkeit zeigt auf, dass die Vergleichbarkeit der Alten Süderelbe I und II auch über einen weiteren markanten Punkt gegeben ist, da der Abstand zwischen den Schichten mit 4 cm nahe der 6 cm aus der ersten Möglichkeit liegt. Die angegebenen Tiefen in der Tabelle 10 würden sich somit entsprechen. Das bedeutet, die Tiefe von 23 cm in der Alten Süderelbe I entspricht einer Tiefe von 17 cm in der Alten Süderelbe II und ebenfalls einer Tiefe von 17 cm in der Alten Süderelbe III.

**Tabelle 10:** Übersicht der Möglichkeit der Anpassung der Schichten zwischen den drei Probenahmen der Alten Süderelbe auf Basis des Quotienten aus Kupfer und Rubidium

	Alte Süderelbe I	Alte Süderelbe II	Alte Süderelbe III
<b>1. Möglichkeit</b>	23 cm	17 cm	17 cm
<b>2. Möglichkeit</b>	29 cm	25 cm	-

**Vergleich Blei/Rubidium und Kupfer/Rubidium:** Werden die Profile aus den Quotienten aus Blei und Rubidium und Kupfer und Rubidium verglichen, fällt auf, dass die geringen Werte in den oberen Tiefen identisch liegen. In der Alten Süderelbe I ist dies bei 23 cm, in der Alten Süderelbe II bei 17 cm und in der Alten Süderelbe III ebenfalls bei 17 cm. Zudem sind auch die Profile zwischen den jeweiligen Probenahmen identisch, weswegen die Anpassung der Schichten über das Schema „23 – 17 – 17“ durchgeführt werden sollte. Das bedeutet, dass die Tiefe von 23 cm in der Alten Süderelbe I einer Tiefe von 17 cm in der Alten Süderelbe II und 17 cm in der Alten Süderelbe III entsprechen sollte.



**Abbildung 26:** Vergleichende Darstellung der Quotienten aus Kupfer und Rubidium in den drei Probenahmen der Alten Süderelbe

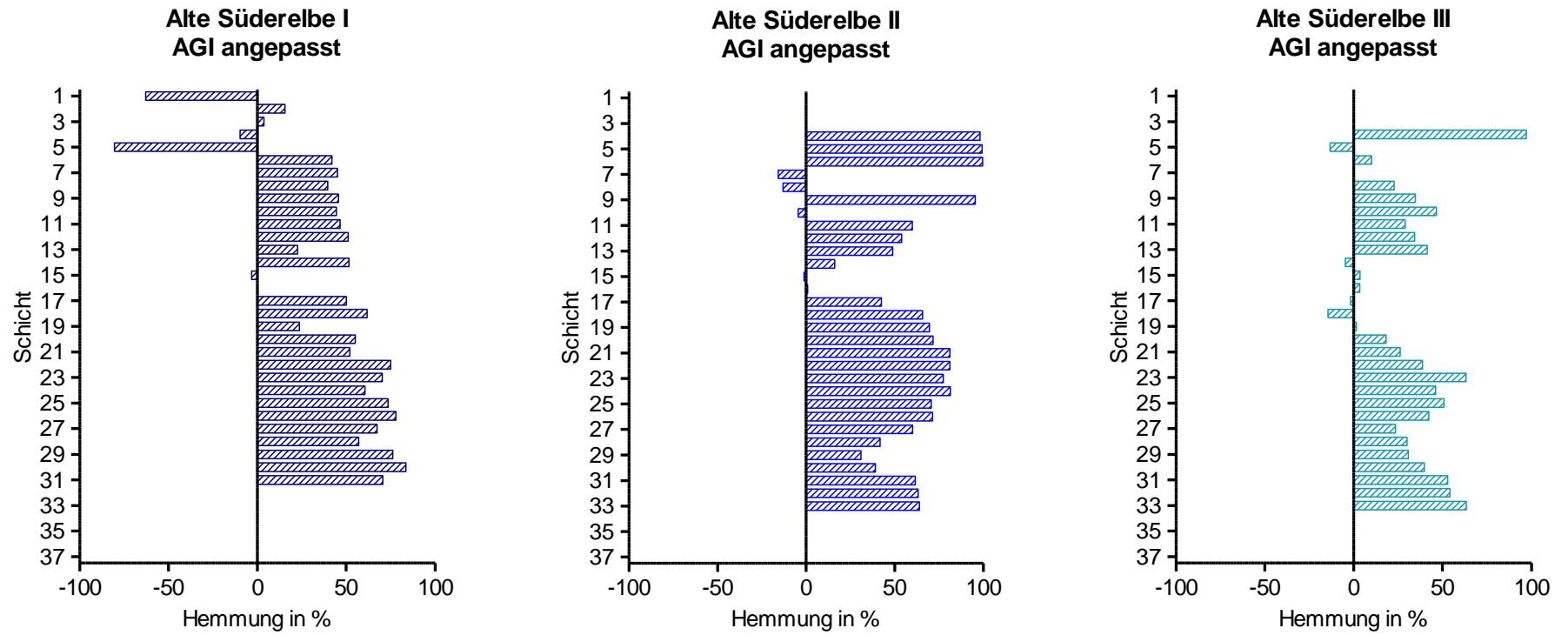
### 3.3.1 Anpassung der Schichten

Die Anpassung der Tiefen erfolgte anhand des oben genannten Schemas von „23 – 17 – 17“. Im Folgenden werden die Ergebnisse der Anpassung in Form von vergleichenden Darstellungen in den Abbildungen 27, 28 und 29 dargestellt. Die Abbildungen zeigen die prozentuale Hemmung in Abhängigkeit von der Schicht. Da eine Festlegung einer „Referenzprobenahme“ nicht möglich ist, werden die Tiefen in cm durch Schichten ersetzt, welche durchnummeriert sind.

Im **AGI** der **Alten Süderelbe I** zeigen sich in den ersten fünf Schichten Stimulationen und geringe Hemmungen. Bis in die 14. Schicht treten Hemmungen bis 50 % auf, jedoch ist auffällig, dass in der Schicht Nummer 15 eine geringe Stimulation vorkommt. Die darauffolgende Schicht wurde im AGI nicht beprobt, sodass sie nicht einbezogen werden kann. Ab der 17. Schicht steigen die Hemmungen an, sinken und steigen wieder. Bis in die Schicht von 27 lässt sich dadurch ein schwach ausgeprägter Bauch erkennen (vgl. Abbildung 27 Alte Süderelbe I und Anhang Tabelle 22). Im **AGI** der **Alten Süderelbe II** zeigen sich nach der Anpassung hohe Hemmungen von fast 100 % in den Schichten vier, fünf und sechs. Darauf folgen Stimulationen, eine weitere sehr hohe Hemmung, eine Stimulation und wiederum Hemmungen, die aber mit jeder tieferen Schicht weiter abnehmen. In der 15. und 16. Schicht treten keine Hemmungen und keine deutlichen Stimulationen auf. Ab der Schicht von 17 steigen die Hemmungen und sinken in Form eines Bauches bis in die Schicht von 29 ab. Am Ende des Profils steigen die Hemmungen wieder an (vgl. Abbildung 27 Alte Süderelbe II). Im **AGI** der **Alten Süderelbe III** zeigt sich eine hohe Hemmung in der obersten Schicht und schwankende Hemmungen bis in die 13. Schicht. In den Schichten von 13 bis 19 zeigen sich schwache Hemmungen und Stimulationen. Danach steigen die Hemmungen bis in die Schicht 23 wieder auf eine Hemmung von über 50 % an, um dann wieder bis in die Schicht 27 in Form eines Bauches abzunehmen (vgl. Abbildung 27 Alte Süderelbe III).

**Zusammenfassung AGI:** Werden die drei Profile der Probenahmen miteinander in Zusammenhang gestellt, fällt auf, dass in der Schicht um 15 herum Stimulationen bzw. geringe Hemmungen auftreten, die sich von den unmittelbar angrenzenden Schichten deutlich unterscheiden. In der Alten Süderelbe I tritt dieser Effekt am geringsten, in der Alten Süderelbe III am stärksten auf. Bis in die 15. Schicht sind kaum merkliche

Gemeinsamkeiten zu erkennen. Die Schichten weisen in der Alten Süderelbe I Hemmungen auf, während in den Schichten der Alten Süderelbe II wiederum auch eine Stimulation auftritt. Prinzipiell ist aber ein Trend zu erkennen, welcher sich wie ein Bauch kennzeichnet. Dieser Trend lässt sich auch in den tieferen Schichten erkennen. Nach den Hemmungen in den Schichten von 15 bzw. 16 bilden sich in allen drei Profilen Bäuche. In der Alten Süderelbe I und II endet der Bauch in der 29. Schicht, in der Alten Süderelbe III in der 27. Schicht.

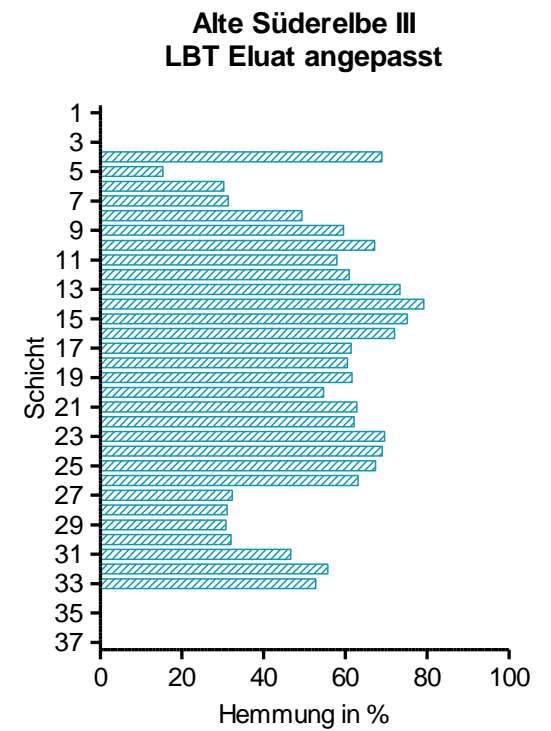
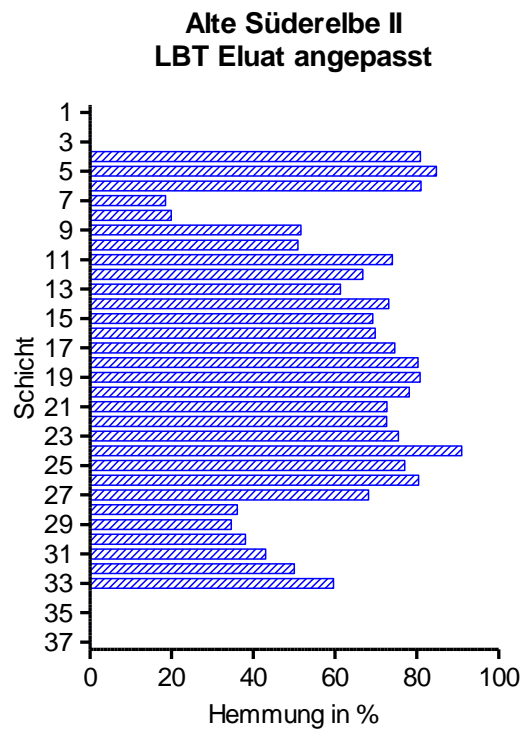
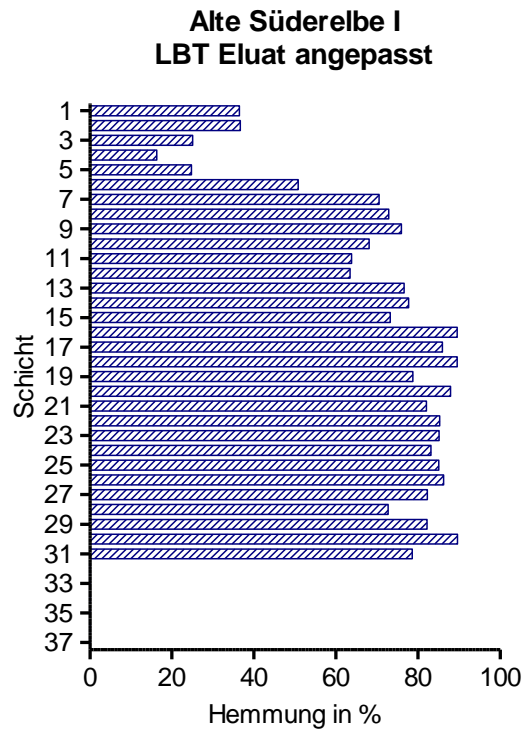


**Abbildung 27:** Vergleichende Darstellung der Hemmungen im AGI in der Alten Süderelbe nach der Anpassung der Schichten

Der **LBT mit Eluaten** der **Alten Süderelbe I** weist in den ersten fünf Schichten geringere Hemmungen auf. Ab der 4. Schicht steigen die Hemmungen und sinken in der 11. Schicht wieder ab, sodass sich ein Bauch bildet. In den darunter liegenden Schichten schwanken die Hemmungen, ohne bestimmte Merkmale aufzuweisen (vgl. Abbildung 28 Alte Süderelbe I und Anhang Tabelle 22). Im **LBT mit Eluaten** der **Alten Süderelbe II** fallen in den Schichten vier, fünf und sechs sehr hohe Hemmungen von über 80 % auf. In den beiden folgenden Schichten hingegen ist die Hemmung verhältnismäßig gering. In den Schichten neun bis dreizehn lässt sich ein Bauch erkennen. Danach treten Schwankungen auf, welche keine bestimmten Merkmale aufzeigen. Insgesamt kann der ganze Abschnitt von Schicht sieben bis Schicht 28 auch als großer Bauch angesehen werden. In der Schicht 29 liegt nochmals eine geringe Hemmung, von der aus die Hemmungen im weiteren Verlauf bis zu der Schicht 33 wieder zunehmen (vgl. Abbildung 28 Alte Süderelbe II). Im **LBT mit Eluaten** der **Alten Süderelbe III** zeigt sich in der obersten Schicht (vier) eine verhältnismäßig hohe Hemmung. In der 5. Schicht zeigt sich die Hemmung deutlich geringer und steigt dann bis in die Schicht 10 an. Dieser Anstieg der Hemmungen bildet mit der geringeren Hemmung in der 11. Schicht einen kleinen Bauch. Im weiteren Verlauf treten höhere und tiefere Hemmungen auf, welche im Gesamten aber keine deutlichen Merkmale zeigen. Insgesamt kann aber der Bereich von Schicht fünf bis Schicht 27 auch als großer Bauch angesehen werden. In der Schicht 27 weist das Profil eine geringe Hemmung auf. Über die untersten Schichten steigen die Hemmungen wieder (vgl. Abbildung 28 Alte Süderelbe III).

**Zusammenfassung LBT Eluate:** Werden die drei Profile der Probenahmen miteinander in Zusammenhang gestellt, fällt auf den ersten Blick auf, dass alle hohe Hemmungen zeigen, die in dem mittleren Bereich der Schichten liegen. Die Alte Süderelbe II und III zeigen beide einen großen Bauch, welcher in den Schichten jedoch verschoben ist. Der Bauch in der Alten Süderelbe II beginnt in der 8. Schicht, in der Alten Süderelbe III beginnt dieser jedoch schon in der 5. Schicht. In der Alten Süderelbe I beginnt ein „Bauch“ in der 4. Schicht, hat aber kein deutlich bestimmendes Ende. Die Alte Süderelbe II und die Alte Süderelbe III sind gut miteinander vergleichbar, da neben dem großen Bauch auch die unteren Schichten miteinander in Einklang gebracht werden können.

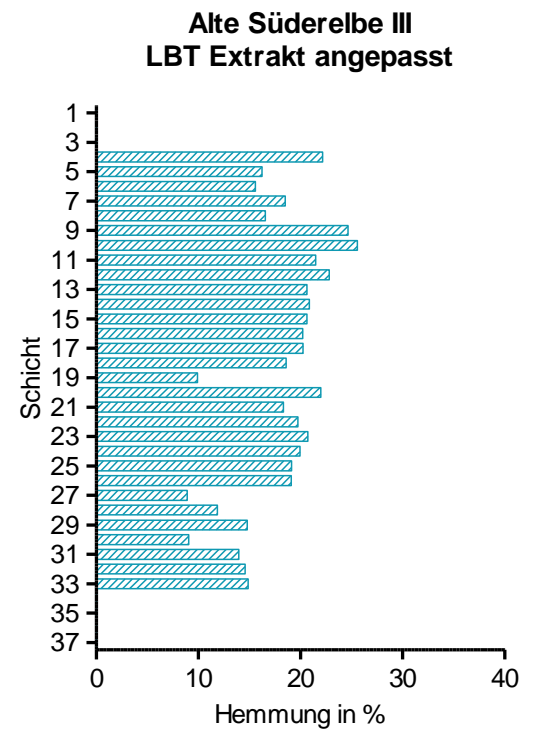
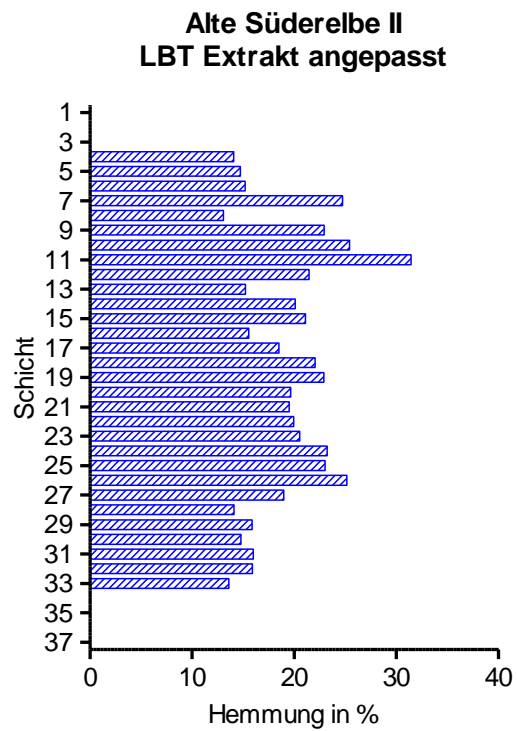
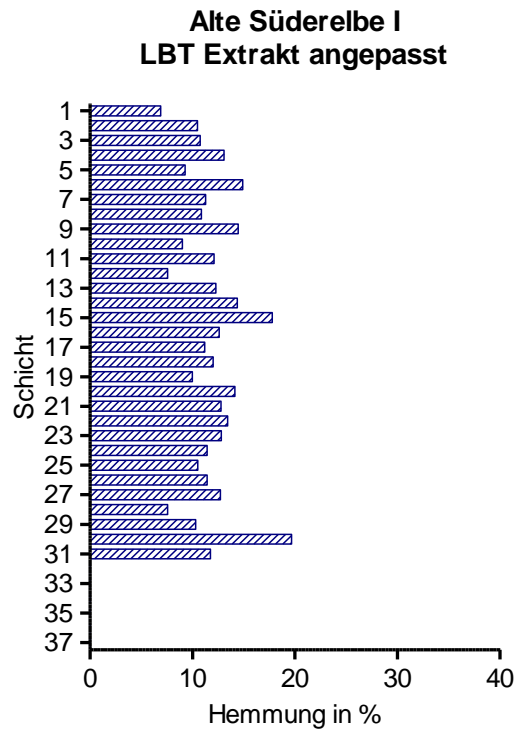




**Abbildung 28:** Vergleichende Darstellung der Hemmungen im LBT mit Eluaten in der Alten Süderelbe nach der Anpassung der Schichten

Das Profil im **LBT mit Extrakten** der **Alten Süderelbe I** weist geringe Hemmungen von bis zu 20 % auf. Über die gesamten Schichten schwanken die Hemmungen als kleine Bäuche ohne deutliche Merkmale. In der Schicht 15 und 30 fallen durch erhöhte Werte die Hemmungen auf (vgl. Abbildung 29 Alte Süderelbe I und Anhang Tabelle 22). Im **LBT mit Extrakten** der **Alten Süderelbe II** zeigt sich eine erhöhte Hemmung in der Schicht 11 mit 30 %. In den herumliegenden Schichten finden sich geringere Hemmungen, wodurch sich von der 8. Schicht bis zur 13. Schicht ein Bauch bildet. Im weiteren Verlauf fallen keine weiteren derart auffälligen Merkmale auf (vgl. Abbildung 29 Alte Süderelbe II). Der **LBT mit Extrakten** der **Alten Süderelbe III** weist ebenfalls kaum Auffälligkeiten auf. In der 10. Schicht liegt die höchste Hemmung vor (vgl. Abbildung 29 Alte Süderelbe III).

**Zusammenfassung LBT Extrakte:** Die drei Profile der Alten Süderelbe im LBT mit Extrakten können nur schwierig miteinander verglichen werden. In allen drei Profilen fallen keine deutlich sichtbaren Merkmale auf, die sich in dem Profil einer anderen Beprobung ebenfalls wiederfinden.



**Abbildung 29:** Vergleichende Darstellung der Hemmungen im LBT mit Extrakten in der Alten Süderelbe nach der Anpassung der Schichten

## 4. Diskussion

Die Alte Süderelbe ist ein alter Nebenarm der Elbe (Nixdorf et al. 2004) und war somit lange Zeit mit dem Hauptstrom verbunden. Dass die Elbe mit Schadstoffen kontaminiert ist, zeigen unter anderem die Publikationen von Ahlf und Förstner (1989) und Nixdorf et al. (2004). Zudem zeigt die Elbe über ihren gesamten Verlauf von ihrer Quelle bis zur Mündung in die Nordsee Schwermetallbelastungen (Müller und Furrer 1994). Die Wahrscheinlichkeit, dass die Alte Süderelbe somit auch mit Schwermetallen kontaminiert ist, liegt nahe und wurde als Grundlage der Auswahl des Standortes genutzt. Eine Belastung mit Schwermetallen ist für die Auswertung zwingend notwendig, sodass die Sedimentkerne miteinander verglichen werden können. Alle produzierten Ergebnisse wurden unter den gleichen Bedingungen erlangt. Das Stechen und Aufteilen des Sedimentkerns, die Probenverarbeitung und Lagerung im Labor und die Testdurchführungen des AGI und LBT wurden für jeden Sedimentkern gleich durchgeführt, was der Anforderung durch Pfeifer et al. (2002) in Teilen entspricht. Sie sehen es als ein Muss an, dass die Durchführung der Probenahme europaweit gleich sein sollte.

Im **Algenwachstumshemmtest** zeigten sich in allen drei Probenahmen gleiche Trends. Die Hemmungen der unterschiedlichen Sedimentkerne lagen in der Alten Süderelbe III geringer als in den anderen beiden, jedoch kann in allen Proben die gleiche Tendenz erkannt werden. Die Oberfläche ist hingegen von deutlichen Unterschieden in den Hemmungen gekennzeichnet. Diese hohen Hemmungen können auf Grund der Aufwirbelung der Schichten bei der Probenahme zustande gekommen sein. Der erste Sedimentkern (Alte Süderelbe I) konnte auf der zugefrorenen Alten Süderelbe genommen werden, wodurch eine „ungestörte Probenahme“ mit dem Multisampler (EIJKELKAMP 2017b) erfolgen konnte. Bei der zweiten und dritten Beprobung hingegen musste in die Alte Süderelbe hineingewatet werden, um einen Sedimentkern zu stechen. Dabei kommt es zu Aufwirbelungen und Beeinflussung des Sediments. Diese Beeinflussung kann sich in Form einer hohen Hemmung widerspiegeln, da durch die Aufwirbelung Schadstoffe tieferer Schichten wohlmöglich in den oberen Schichten des gestochenen Kerns wieder abgelagert werden. Bei der Beprobung mit Eluaten werden diese dann wiederherum biologisch verfügbar und wirken sich auf die Algen aus. Der Unterschied in den oberen Schichten kann

somit an der Art der Probenahme liegen. Im weiteren Vergleich der AGIs miteinander fiel ein „Einbruch“ der Hemmungen in der 15. Schicht auf. Diese geringen Hemmungen traten in der Alten Süderelbe III über einen breiteren Bereich von mehreren Schichten auf. An dieser Stelle müsste eine weitere Ergebnisanalyse anhand von Sedimentationsraten und auch in der Form einer multivariaten Analyse stattfinden, um die Ergebnisse noch detaillierter miteinander vergleichen und die Schichtdicken anpassen zu können. Trotz dessen kann dem AGI in allen drei Probenahmen die gleiche Tendenz entnommen werden. Die Höhe der Hemmung sollte bei der Beurteilung eine geringfügigere Rolle spielen, da eine durchschnittliche Abweichung von  $\pm 20\%$  bedacht werden sollte (Liebenstein et al. 2009).

Die Ergebnisse der Hemmungen der Alten Süderelbe I stammen aus zwei AGIs. Der zweite AGI wurde mit neuen Eluaten auf Grund der nicht eingehaltenen Gültigkeitskriterien in der ersten Durchführung wiederholt. Im zweiten AGI wurde nur der Zeitpunkt  $t_0$  und  $t_3$  gemessen, wodurch sich eine geringe Wachstumsrate der Algen in der Kontrollplatte ergab. Algen haben die Eigenschaft am Anfang nur langsam zu wachsen und damit die Wachstumsrate stark zu beeinflussen, weswegen der Zeitpunkt  $t_0$  nicht in die Berechnung eingeschlossen wird. In den anderen Testdurchführungen können neben der Wachstumsrate zwischen  $t_1$  und  $t_3$  auch die Werte der Wachstumsrate zwischen  $t_0$  und  $t_3$  eingesehen werden (Tabellen im Anhang auf CD). Bei der Betrachtung der verschiedenen Wachstumsraten im Vergleich fällt auf, dass in den gültigen AGIs in der Alten Süderelbe II und III der Unterschied bei mindestens einem Wert von 0,3 liegt. Wird das auf die zweite Testdurchführung der Alten Süderelbe I bezogen, kann festgehalten werden, dass die lag Phase die Wachstumsrate deutlich mindert (Wachstumsrate: 1,16) und die Wachstumsrate über 1,4 liegen müsste. Anhand dieser Einschätzung wären die Gültigkeitskriterien erfüllt und können für die Beurteilung der Reproduzierbarkeit genutzt werden. Trotz der nicht eingehaltenen Gültigkeitskriterien in der ersten Versuchsdurchführung für die Alte Süderelbe I wurden die Hemmungen zwischen den beiden Testdurchführungen miteinander verglichen. Mittelwerte wurden jedoch nur gebildet, wenn die pH – Abweichung zwischen den Eluaten der Wiederholungen nicht größer als 0,2 ist. Die Abweichung zwischen den pH – Werten sollte nicht zu groß sein, da der pH – Wert einen Einfluss auf den AGI hat. Ändert sich der pH – Wert im Testverlauf stark, kann es zu der Dissoziation von Ammonium zu Ammoniak kommen

(Wahrendorf et al. 2005), welches wiederum toxisch auf die Algen wirkt und damit die Testergebnisse beeinflussen würde. Ebenfalls gilt, dass der pH- Wert des Testmediums durch die Probe nicht allzu stark beeinflusst werden sollte, weswegen die Unterscheidung zwischen den pH – Werten der Eluate getroffen werden sollte. Unter der Bedingung, dass der Mittelwert einen zu hohen Variationskoeffizienten mit sich zieht, wird die Hemmung mit dem geringeren Variationskoeffizienten zwischen den Probenparallelen als Kriterium für die Auswahl genutzt. Der Variationskoeffizient spricht für die Streuung zwischen drei Replikaten im AGI. Umso geringer der Wert ist, desto näher liegen die Werte beieinander und signalisieren somit, dass die gemessenen Werte zueinander passen. In der ersten Testdurchführung der Alten Süderelbe II traten in den Proben H63–17, H67–17, H68–17, H69–17 und H82–17 geringe Hemmungen auf, die im Vergleich zu den drum herum liegenden Schichten auffielen. Zudem fielen sehr schlechte Kontrollen auf den Probenplatten auf, die auf Ausdünstungen innerhalb der Probenplatte hinweisen könnten. Dadurch bedingt können auch die Hemmungen in den anderen Proben beeinflusst sein. Durch die Wiederholung der oben angegebenen Proben wurde sowohl das Ausdünsten als auch die Auffälligkeit im Profil untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass die Hemmungen für H67–17 und für H82–17 denen der ersten Durchführung entsprachen. Die Hemmungen der Proben H68–17 und H69–17 lagen in der ersten Durchführung deutlich höher als in der Wiederholung, wodurch sich die Vermutung der Ausdünstung von schädlichen Stoffen innerhalb der Probenplatte vermuten ließ. Jedoch kann dies auf Grund der Probe H67–17 nicht unterstützt werden, da diese Probe in der Wiederholung die gleiche Hemmung aufwies. In der Durchführung des AGIs mit den Proben der Alten Süderelbe III weisen die Proben H93–17, H103–17 und H108–17 einen Variationskoeffizienten  $> 5 \%$  auf. Sie wurden aber auf Grund der gültigen Testbedingungen nicht wiederholt.

Werden die Werte mit hohem Variationskoeffizienten nochmals auf die Auswertung der Hemmungen im Profil bezogen, können keine Auffälligkeiten in den Profilen der Alten Süderelbe II und III anhand dieser Werte erläutert werden. Zudem sind die Profile der drei Sedimentkerne der Alten Süderelbe schon vor der Betrachtung der auffälligen Werte miteinander vergleichbar.

Im **Leuchtbakterientest mit Eluaten** zeigen sich ebenfalls gleiche Trends zwischen den drei Sedimentkernen. Die oberen Schichten der Alten Süderelbe II und III zeigen

wie auch im AGI hohe Hemmungen, welche durch die Aufwirbelung durch das Hineinwaten beeinflusst sein können. Der Trend in allen drei Beprobungen zeigt einen Bauch, welcher sich über den Großteil der Profile der Alten Süderelbe II und III erstreckt und in der Alten Süderelbe I nicht vollendet scheint. Der Beginn der jeweiligen Bäuche liegt in jedem Profil anders. Mit Hilfe einer weiterführenden Sedimentationsratenanalyse könnten die Schichtdicken angepasst werden, sodass eine noch detailliertere Aussage über die Vergleichbarkeit der Sedimentkerne zueinander gemacht werden könnte. Diese Analyse würde aber den Rahmen dieser Arbeit überschreiten. Anhand der in dieser Arbeit vorliegenden Ergebnisse können jedoch Trends erkannt werden, dass sich die Sedimentkerne ähneln und in ihrem Profil gleiche Merkmale aufweisen.

In der Alten Süderelbe I treten zwei Proben auf, in denen der Variationskoeffizient von 3 % überschritten ist. Die Wiederholung der beiden Proben H27–17 und H29–17 innerhalb eines Testdurchlaufes mit Extrakten führte zu Ergebnissen, die nicht genutzt werden konnten, da die Gültigkeitskriterien im LBT mit Extrakten nicht eingehalten wurde. In der Alten Süderelbe III fällt die Probe H108–17 mit einem Variationskoeffizienten von 6,94 % aus den Gültigkeitskriterien heraus. Bei einer weiteren Betrachtung der Profile der Alten Süderelbe mit Augenmerk auf die drei Proben, die Unsicherheiten aufweisen, konnten keine Auffälligkeiten ausgemacht werden, die durch diese erklärt werden könnten. Insgesamt würden sich die Merkmale des LBT mit Eluaten nicht anhand von diesen Werten verändern.

Im **Leuchtbakterientest mit Extrakten** konnten keine besonderen Merkmale zwischen den Sedimentkernen ausgemacht werden. Vergleichbar sind aber die Hemmungen, welche in allen drei Sedimentkernen gering ausfielen. Anhand dieser Aussage können aber keine Schichten miteinander in Bezug gebracht werden. Bei einer möglichen weiterführenden Auswertung unter Einbezug der Sedimentationsrate und der multivariaten Analyse sollten die Ergebnisse jedoch wieder mit einbezogen werden. Im Folgenden muss jedoch der Einfluss von Methanol auf den Leuchtbakterientest diskutiert werden, da sich innerhalb der Durchführungen Probleme mit den Positivkontrollen ergaben.

Der Einfluss von MeOH zeigt sich anhand des Vergleichs der fkt – Werte zwischen Eluat und Extrakt erkennen, dass die Leuchtbakterien sensitiver auf MeOH reagieren.

Kwan und Dutka (1990) haben festgelegt, dass die Methanolkonzentration in der Testdurchführung mit den Leuchtbakterien unterhalb von 4 % liegen sollte, damit das Lösungsmittel keine Auswirkungen auf die Organismen hat. Bei näherer Betrachtung der fkt – Werte kann jedoch trotzdem ein Einfluss festgestellt werden. Bei der Durchführung mit Eluaten lag der fkt – Wert in allen Durchführungen bei einem Wert von ungefähr 1, bei der Durchführung mit Extrakten zwischen 0,72 und 0,82. Der fkt – Wert gibt die Verknüpfung zwischen Anfang und Ende des Tests an. Ergibt der Quotient einen Wert von 1 liegt der Endzustand der Leuchtbakterien im Bereich des Anfangszustandes. Liegt der Wert jedoch unterhalb von 1 bedeutet diese eine Abnahme der Leuchtbakterien. Ein Wert über 1 dementsprechend eine Zunahme. Da die fkt – Werte für die Durchführungen der Extrakte jeweils unter 1 lagen, die Versuchsbedingungen im Vergleich zu den Eluaten jedoch bis auf die Versetzung der Kontrollen mit Methanol die gleichen waren, ergibt sich, dass das Methanol einen Einfluss auf die Leuchtbakterien aufzeigt. Für die Ergebnisse wird dieser Einfluss mit Hilfe des fkt – Wertes innerhalb der Berechnungen herausgerechnet. Bei einem Vergleich zwischen der Durchführung mit Eluat und Extrakt fiel weitergehend auf, dass die DCP- Wells alle ohne Methanol hergestellt wurden, die Kontrollen hingegen aber mit. Um die Vergleichbarkeit zwischen den Tests herstellen zu können, müssen jedoch alle DCP- Positivkontrollen einen gleichen Bezug haben. Die Vergleichbarkeit war somit in den ersten drei Durchführungen mit den Extrakten nicht gegeben. Werden die Ergebnisse der DCP- Werte innerhalb des LBT auf reines ASW bezogen, ergeben sich Hemmungen im Bereich der Gültigkeit.

Trends innerhalb der Biotest zwischen den unterschiedlichen Sedimentkernen können erst durch die **Anpassung der Schichten** direkt miteinander verglichen. Die Trends sind in den Originaldaten zwar vorhanden, aber sie liegen in unterschiedlichen Tiefen und können nicht einfach miteinander verglichen werden. Durch die Schwermetallanalyse besteht die Möglichkeit der direkten Vergleichbarkeit der Schichten. Mit Hilfe einer Normierung kann der Feinkornanteil heraus gerechnet werden und darüber Auffälligkeiten ausgemacht werden, die sich in den verschiedenen Ergebnissen wiederholen. Dabei gibt es jedoch verschiedene Auffassungen, mit welchem Element normiert werden kann. Schiff und Weisberg (1999) führen die Normierung mit Eisen durch, Soto- Jiménez und Páez- Osuna (2001) hingegen mit Aluminium und Lithium. Grant und Middleton (1990) führten eine Normierung anhand



von Rubidium durch, da dieses keines anthropogenen Ursprungs ist und gut geeignet, um die Korngrößen anzupassen. Für die Normalisierung sind unter anderem Blei und Kupfer geeignet, da sie anthropogenen Ursprungs sind (Schiff & Weisberg 1999). Da die Schwermetallkonzentrationen für Rubidium in den Ergebnissen Auffälligkeiten zeigten, wurde das Element zur Normierung genutzt. Die Notwendigkeit des Detektierens von Blei, Kupfer und Rubidium durch das mobile Röntgenfluoreszenzspektrometer liegt nahe. Mit dem Beam 1, der für 30 Sekunden misst, können primär die Elemente Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, An und Sb identifiziert werden. Der Beam 2 misst für 60 Sekunden und detektiert dabei primär die Elemente Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Hg, As, Se, Pb und Rb. Die drei für diese Arbeit genutzten Elemente wurden somit vorwiegend durch den Beam 2 gemessen. Die Tiefenprofile der Schwermetalle Blei, Kupfer und Rubidium müssten weitergehend mit einer multivariaten Analyse ausgewertet werden. Zudem sollte ebenfalls die Sedimentationsrate einbezogen werden. Dies ist auf Grund des festgelegten Umfangs dieser Arbeit nicht getätigt worden.

Die Möglichkeit der mobilen Röntgenfluoreszenzanalyse hat eine hohe Auflösung und wird zudem in letzter Zeit verstärkt genutzt (Pearson et al. 2017, Udeigwe et al. 2015). Da die Eindringtiefe der Röntgenstrahlen gering ist (Potts 2008) wird auch nur wenig Probenmaterial benötigt (Hahn- Weinheimer 1984). Dies ist anhand der Tatsache, dass für jede Unterprobe ca. 25 cm<sup>3</sup> zur Verfügung stehen, ein wichtiger Aspekt. Mit Hilfe des Multisamplers kann eine Probe mit einem Durchmesser von maximal 4 cm genommen werden und die Proben werden in 2 cm große Stücke aufgeteilt. Da die Unterproben sowohl als Eluat als auch als Extrakt angesetzt werden und weitergehend auch eine einfache Trockengewichtsbestimmung durchgeführt wurde, wäre die Probe nicht ausreichend gewesen für eine Schwermetallbestimmung mit Königswasseraufschluss.

**Zusammenfassend** können anhand der durchgeführten Testverfahren und der Auswertung mit Hilfe eines Schwermetallprofils Reproduzierbarkeiten in Form von Trends innerhalb des Algenwachstumshemmtests und des Leuchtbakterientests mit Eluaten erkannt werden. Der Leuchtbakterientest mit Extrakten zeigt in allen Sedimentkernen geringe Hemmungen, aber kein Profil, welches sich vergleichen lassen könnte. Anhand der Ergebnisse im Algentest werden die Aussagen von Claus et al. (2009) und Hamburg Port Authority (2017) in Frage gestellt, dass der Algentest

räumliche und zeitliche Schwankungen aufweist. Eben der Algentest erwies sich in dieser Arbeit als der Test, welcher am besten reproduzierbar war. Die schwankenden Hemmungen treten in allen drei Sedimentkernen auf, womit sie nicht als Messfehler angesehen werden können und genau diese Schwankungen charakterisieren die Sedimentkerne der Alten Süderelbe.

Innerhalb dieser Arbeit wurden die Erkenntnisse erlangt, dass

- die Messung nach 24 Stunden im Algenwachstumshemmtest zwingend erforderlich ist, um die „lag – Phase“ der Algen in der Auswertung einbeziehen und herausrechnen zu können.
- bei der Wiederholung von Testdurchführungen mit neuen Eluaten darauf geachtet werden sollte, dass der pH – Wert dem der ersten Durchführung entspricht, sodass die Hemmungen der beiden Testdurchführungen miteinander vergleichbar sind. Eine Angleichung des pH – Werts sollte mit Hilfe von HCl bzw. NaOH durchgeführt werden.
- eine Analyse der Sedimentationsrate und eine multivariate Analyse weiterführende Analyseschritte innerhalb der Auswertung der Tiefenprofile von Schwermetallen sind.
- Ergebnisse im AGI und im LBT mit Eluaten reproduzierbar sind, wobei dies vor allem in Form von Trends innerhalb der Profile erkennbar ist.

## 5. Zusammenfassung

Sedimente haben eine große Bedeutung für die Bewertung von Gewässern auf Grund ihrer Eigenschaft als Senke für in Wasser gelöste Stoffe (Hollert et al. 2009). Die Elbe weist hohe organische und anorganische Schadstoffe im Sediment auf (Förstner & Müller 1974) und auch Schwermetallbelastungen sind von der Quelle bis zu Mündung von Müller und Furrer (1994) nachgewiesen worden. Bis in die 1990er Jahre wurden chemische Analysen als ausreichende Bewertung von Sedimenten in Deutschland angesehen, bis sich Mitte der 1990er herausstellte, dass auch Biotests eine wichtige Rolle in der Bewertung spielen sollten (Calmano 1996). Jedoch weisen Claus et al. (2009) und Hamburg Port Authority (2017) auf zeitliche und räumliche Schwankungen in den Ergebnissen von Biotests hin, weswegen der Eindruck erweckt werden kann, dass eine biologische Bewertung von Sedimenten nicht geeignet sei. Ziel dieser Arbeit ist, mit Hilfe der Durchführung von biologischen Testverfahren die Reproduzierbarkeit der Testergebnisse mit verschiedenen Biotests zu untersuchen. Für die Bewertung der Zielsetzung wurden drei Sedimentkerne im Abstand von je zwei Wochen aus der Alten Süderelbe genommen und als Eluate im Algenwachstumshemmtest mit *Raphidocelis subcapitata* und als Eluate und Methanolextrakte im Leuchtbakterientest mit *Aliivibrio fischeri* untersucht. Zusätzlich wurden Tiefenprofile von Blei, Kupfer und Rubidium mit einem mobilen Röntgenfluoreszenzspektrometer aufgenommen. Rubidium kann zur Normalisierung von Blei und Kupfer genutzt werden (Grant & Middleton 1990), um die Schichten zwischen den drei Sedimentkernen anzupassen. Im Algentest und im Leuchtbakterientest mit Eluaten konnten gleiche Trends zwischen den Sedimentkernen erkannt werden. Im Leuchtbakterientest mit Extrakten zeigten sich keine wiederkehrenden Merkmale zwischen den Sedimentkernen, da die Hemmungen alle im gleichen Bereich lagen. Im Algentest ist auf Grund der geringen Hemmungen in ungefähr der Mitte jedes Kerns die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse am besten zu erkennen.

Entgegen der Stimmen, dass besonders der Algentest sich mit zeitlich und räumlich unterschiedlichen Ergebnissen innerhalb einer Biotestbatterie kennzeichnet, stellt diese Arbeit das Gegenteil da. Unter gleichen Bedingungen in der Probenahme und Testdurchführung lassen sich die Testergebnisse verschiedener Sedimentkerne von verschiedenen Tagen an ungefähr dem gleichen Ort im Algentest reproduzieren.

## 6. Literaturverzeichnis

- Ahlf, W.; Förstner, U., 1989. *Studie zum Einsatz von Biotests zur Beurteilung von kontaminierten Sedimenten aus dem Hamburger Hafen*. Hamburg.
- Ahlf, W.; Hollert, H.; Neumann- Hensel, H.; Ricking, Mathias, 2002. A Guidance for the Assessment and Evaluation of Sediment Quality: A German Approach Based on Ecotoxicological and Chemical Measurements. *JSS – J Soils & Sediments*, Vol 2, pp. 37 – 42.
- Ahlf, W.; Braunbeck, T.; Heise, S.; Hollert, H., 2004. Sediment and Soil Quality Criteria. *Environmental Monitoring Handbook*. Chapter 17.
- Bias, W. R., 2007. Umweltbewusstsein und Ökotoxikologie in unserer Gesellschaft. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox*, Vol. 19, Sonderheft Nr. 1, S. 24 – 29.
- Calmano, W., 1996. Notwendigkeit einer ökotoxikologischen Beurteilung von Sedimenten: Positionspaper des Fachausschusses "Gewässersedimente" der Fachgruppe Wasserchemie in der GDCh. *Acta hydrochimica et hydrobiologica*, Vol 24 (2), pp. 101 – 103.
- Claus, E.; Neumann- Hensel, H.; Heininger, P.; Schwarzbauer, J., 2009. Effektorientierte Untersuchungen zur Algentoxizität fraktionierter Porenwässer und Eluate aus Elbsedimenten. *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung*. Vol. 21, pp. 267 – 271.
- Department of Ecology, 2003. *An Assessment of Laboratory Leaching Tests for Predicting the Impacts of Fill Material on Ground Water and Surface Water Quality. A Report to the Legislature*. Olympia, Washington. Publication No. 09-09-107.
- EIJKELKAMP, 2008. *Gebrauchsanweisung, 12.42 Multisampler*. Giesbeek (NL).
- EIJKELKAMP, 2017a. *Allgemeines* [online]. Verfügbar unter <https://de.eijkelkamp.com/produkte/wasser-boden-probennehmer/multisampler.html>. [Zugriff am 02. März 2017].

- EIJKELKAMP, 2017b. *Technische Daten* [online]. Verfügbar unter <https://de.eijkelkamp.com/produkte/wasser-boden-probennehmer/technische-daten-multisampler.html>. [Zugriff am 02. März 2017].
- Förstner, U.; Müller, G., 1974. *Schwermetalle in Flüssen und Seen als Ausdruck der Umweltverschmutzung*. Berlin: Springer.
- Freie und Hansestadt Hamburg, 1997. *Die Umweltverträglichkeitsstudie: Bewertung der Gutachter*. Faltblatt Nr. 4. Hamburg: Freie und Hansestadt Hamburg, Wasserwirtschaftsbehörde, Strom und Hafenausbau, Umweltbehörde.
- Grant, A.; Middleton, R., 1990. An Assessment of Metal Contamination of Sediments in the Humber Estuary, U.K.. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 31, pp. 71 – 85.
- Hahn- Weinheimer, P.; Hirner, A.; Weber- Diefenbach, K., 1984. *Grundlagen und praktische Anwendung der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)*. Braunschweig: Vieweg.
- Hamburg Port Authority, 2017. *Umgang mit Baggergut aus dem Hamburger Hafen – Teilbericht: Umlagerung von Baggergut nach Neßsand*. [PDF]. Hamburg. Verfügbar unter <http://www.hamburg-port-authority.de/de/presse/studien-und-berichte/Documents/2017/Jahresbericht%202016%20Nesssand.pdf> [Zugriff am 22. April 2017]
- Heise, S., 2013. *Durchführung einer Sondierungsuntersuchung zum Risiko durch eine Schadstoffremobilisierung aus Seitenstrukturen der Elbe*. ELSA Schadstoffsanierung Elbsedimente, HAW Hamburg.
- Hilmer, A., 2016. *Gutachten: Alte Süderelbe an Elbe anschließen*. Hamburger Abendblatt am 10. September 2017. Verfügbar unter <http://www.abendblatt.de/hamburg/harburg/article208214269/Gutachten-Alte-Suederelbe-an-Elbe-anschiessen.html>. [Zugriff am 03. März 2017].
- Hollert, H.; Ernst, M.; Ahlf, W.; Dürr, M.; Erdinger, L.; Grund, S.; Keiter, S.; Kosmehl, T.; Seiler, T. B.; Wölz, J.; Braunbeck, T., 2009. Strategien zur Sedimentbewertung – ein Überblick. *Environmental Sciences Europe*, Vol 21, pp. 160 – 176.

- Kwan, K. K.; Dutka, B. J., 1990. Simple Two- Step Sediment Extraction Procedure for Use in Genotoxicity and Toxicity Bioassays. *Toxicity Assessment: An International Journal*, Vol. 5, pp. 395 – 404.
- Liebenstein, A.; Pesch, R.; Schmidt, G.; Schröder, W.; Manz, W.; Wahrendorf, D. – S., 2009. Miniaturisierung des Wachstumshemmtestes mit der Grünalge *Desmodesmus subspicatus* nach DIN 38412 Teil 33. *Environmental Sciences Europe*, Vol. 21, pp. 504 – 515.
- Müller, G.; Furrer, R., 1994. Die Belastung der Elbe mit Schwermetallen. Erste Ergebnisse von Sedimentuntersuchungen. *Naturwissenschaften*, Vol. 81, S. 401 – 405.
- Nixdorf, B.; Hemm, M.; Hoffmann, A.; Richter, P., 2004. *Dokumentation von Zustand und Entwicklung der wichtigsten Seen in Deutschland. Teil 3. Hamburg*. Berlin: Umweltbundesamt.
- Pardos, M.; Benninghoff, C.; Thomas, R. L.; Khim- Heang, S., 1999. Confirmation of elemental sulfur toxicity in the Mikrotox<sup>®</sup> assay during organic extracts assessment of freshwater sediments. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 18, pp. 188 – 193.
- Pearson, D.; Chakraborty, S.; Duda, B.; Li, B.; Weindorf, D. C.; Deb, S.; Brevik, E.; Ray, D. P., 2017. Water analysis via portable X-ray fluorescence spectrometry. *Journal of Hydrology*, Vol 544, pp. 172 – 179.
- Pfeifer, F.; Haake, F.; Kördel, W.; Eisenträger, A., 2000. Untersuchung der Rückhaltefunktion von Böden mit quatischen Testsystemen. In: Heide, S; Erb, R.; Dott, W.; Eisenträger, A., Hrsg. *Toxikologische Beurteilung von Böden – Leistungsfähigkeit biologischer Testverfahren*. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.. Kapitel 1.
- Potts, P. J., 2008. Introduction, Analytical Instrumentation an Application Overview. In: Potts, P. J. und West, M., Hrsg. *Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry: Capabilities for In Situ Analysis*. Cambridge: RSCPublishing. Kapitel 1.

- Rocha, P.S., 2009. *Sediment ecotoxicology: Identification of hazard factors and ecotoxicological risks in the Tietê River Basin (Brazil)*. Dissertationsarbeit an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.
- Schiff, K. C.; Weisberg, S. B., 1999. Iron as a reference element for determining trace metal enrichment in Southern California coastal shelf sediments. *Marine Environmental Research*, Vol 48, pp. 161 – 176.
- Simpson, S. L.; Batley, G. E.; Chariton, A. A.; Stauber, J. L.; King, C. K.; Chapman, J. C.; Hyne, R. V.; Gale, S. A.; Roach, A. C.; Maher, W. A., 2005. *Handbook for Sediment Quality Assessment*. Bangor, NSW: CSIRO.
- Soto- Jiménez, M. F.; Páez- Osuna, F., 2001. Distribution and Normalization of Heavy Metal Concentration in Mangrove and Lagoonal Sediments from Mazatlán Harbor (SE Gulf of California). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol.53, pp. 259 – 274.
- Sturm, K., 2003. Die umwelt- und gesundheitspolitische Relevanz der Ökotoxikologie. *UWSF – Z Umweltchem Ökotox*, Vol 15, p. 140.
- Udeigwe, T. K.; Young, J.; Kandakji, T.; Weindorf, D. C.; Mahmoud, M. A.; Stietiya, M. H., 2015. Elemental quantification, chemistry, and source apportionment in golf course facilities in a semi-arid urban landscape using a portable X-ray fluorescence spectrometer. *Solid Earth*, Vol 6, pp. 415 – 424.
- Wahrendorf, D. S.; Krebs, F.; Manz, W., 2005. *Wirkung von Ammonium- Stickstoff auf den Wachstumshemmtest mit der Grünalge Desmodesmus subspicatus nach DIN 38412 – L33*. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde.
- Zukunft Elbinsel Wilhelmsburg e.V., 2013. *Wie wohnverträglich sind die Nordischen Ölwerke?* [online]. Verfügbar unter <http://zukunft-elbinsel.de/wie-wohnvertraeglich-sind-die-nordischen-oelwerke/>. [Zugriff am 03. März 2017].

## 7. Anhang

### Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	I
TABELLENVERZEICHNIS .....	II
1. KUPFERAKTIVIERUNG .....	1
2. GROßSANDER WETTERN .....	2
2.1 ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	3
2.2 LEUCHTBAKTERIENTEST ELUATE .....	4
2.3 LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE .....	5
3. ALTE SÜDERELBE I .....	6
3.1 ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	7
3.2 LEUCHTBAKTERIENTEST ELUATEN .....	10
3.3 LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTEN .....	11
4. ALTE SÜDERELBE II .....	13
4.1 ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	14
4.2 LEUCHTBAKTERIENTEST ELUATE .....	17
4.3 LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE .....	18
5. ALTE SÜDERELBE III .....	19
5.1 ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	20
5.2 LEUCHTBAKTERIENTEST ELUATE .....	22
5.3 LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE .....	23
6. RÖNTGENFLUORESZENZANALYSE.....	25
6.1 BLEI .....	25
6.2 KUPFER .....	27
6.3 RUBIDIUM .....	28
7. ANPASSUNG DER SCHICHTEN .....	29
7.1 ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	29
7.2 LEUCHTBAKTERIENTEST ELUATE .....	30
7.3 LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE .....	31



## Tabellenverzeichnis

<b>TABELLE 1:</b> PH- WERTE DES SEDIMENTS UND DER ELUATE SOWIE EXTRAKTE IN DER GROßSANDER WETTERN .....	2
<b>TABELLE 2:</b> TESTPROTOKOLL ALGENWACHSTUMSHEMMTEST ELUAT SÜßWASSER – GROßSANDER WETTERN.....	3
<b>TABELLE 3:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST ELUATE – GROßSANDER WETTERN .....	4
<b>TABELLE 4:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE – GROßSANDER WETTERN .....	5
<b>TABELLE 5:</b> PH- WERTE DES SEDIMENTS UND DER ELUATE SOWIE EXTRAKTE IN DER ALTEN SÜDERELBE I.....	6
<b>TABELLE 6:</b> TESTPROTOKOLL ALGENWACHSTUMSHEMMTEST ELUAT SÜßWASSER – ALTE SÜDERELBE I – 1.DURCHFÜHRUNG .....	7
<b>TABELLE 7:</b> TESTPROTOKOLL ALGENWACHSTUMSHEMMTEST ELUAT SÜßWASSER – ALTE SÜDERELBE I – 2.DURCHFÜHRUNG .....	8
<b>TABELLE 8:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST ELUATE – ALTE SÜDERELBE I .....	10
<b>TABELLE 9:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE – ALTE SÜDERELBE I – 1.DURCHFÜHRUNG .....	11
<b>TABELLE 10:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE – ALTE SÜDERELBE I – 2.DURCHFÜHRUNG .....	12
<b>TABELLE 11:</b> PH- WERTE DES SEDIMENTS UND DER ELUATE SOWIE EXTRAKTE IN DER ALTEN SÜDERELBE II.....	13
<b>TABELLE 12:</b> TESTPROTOKOLL ALGENWACHSTUMSHEMMTEST ELUAT SÜßWASSER – ALTE SÜDERELBE II – 1.DURCHFÜHRUNG.....	14
<b>TABELLE 13:</b> TESTPROTOKOLL ALGENWACHSTUMSHEMMTEST ELUAT SÜßWASSER – ALTE SÜDERELBE II – 2.DURCHFÜHRUNG.....	15
<b>TABELLE 14:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST ELUAT – ALTE SÜDERELBE II .....	17
<b>TABELLE 15:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE – ALTE SÜDERELBE II .....	18
<b>TABELLE 16:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE – ALTE SÜDERELBE II – BEZUG DER POSITIVKONTROLLE AUF KONTROLLEN OHNE METHANOL .....	19
<b>TABELLE 17:</b> PH- WERTE DES SEDIMENTS UND DER ELUATE SOWIE EXTRAKTE IN DER ALTEN SÜDERELBE III.....	19
<b>TABELLE 18:</b> TESTPROTOKOLL ALGENWACHSTUMSHEMMTEST ELUAT SÜßWASSER – ALTE SÜDERELBE III .....	20

<b>TABELLE 19:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST ELUAT – ALTE SÜDERELBE III.....	22
<b>TABELLE 20:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKT – ALTE SÜDERELBE III.....	23
<b>TABELLE 21:</b> TESTPROTOKOLL LEUCHTBAKTERIENTEST EXTRAKTE – ALTE SÜDERELBE II – BEZUG DER POSITIVKONTROLLE AUF KONTROLLEN OHNE METHANOL .....	24
<b>TABELLE 22:</b> BLEIKONZENTRATIONEN IN MG/KG IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE .....	25
<b>TABELLE 23:</b> KUPFERKONZENTRATIONEN IN MG/KG IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE .....	27
<b>TABELLE 24:</b> RUBIDIUMKONZENTRATIONEN IN MG/KG IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE .....	28
<b>TABELLE 25:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE IN ABHÄNGIGKEIT DER SCHICHT IM ALGENWACHSTUMSHEMMTEST .....	29
<b>TABELLE 26:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT ELUATEN.....	30
<b>TABELLE 27:</b> PROZENTUALE HEMMUNGEN DER DREI PROBENAHMEN IN DER ALTEN SÜDERELBE IN ABHÄNGIGKEIT DER TIEFE IM LEUCHTBAKTERIENTEST MIT EXTRAKTEN.....	31

## 1. Kupferaktivierung

Step 1: Aktivierung des Kupfers:

Kupfer mit 32 %iger HCl überschichten, 5 min Ultraschallbad

→ HCl in eine Becherglas dekantieren (mit Wasser vorlegen)

→ Solange mit HCl waschen (ohne Ultraschall), bis der Überstand klar und farblos ist.

Step 2: Kupfer mit Reinstwasser „neutralisieren“:

Kupfer mit Reinstwasser überschichten, 5 min Ultraschallbad, Überstand anfänglich in den Säureabfall geben.

→ Kupfer mehrfach mit Reinstwasser waschen, bis mit dem pH-Papier Neutralität angezeigt wird (Überstände ab pH 5 in den Ausguss)

→ Nun kann das Kupfer sofort verwendet werden.

Step 3: bei längerer Standzeit:

Soll das Kupfer länger „aktiviert“ bleiben, mit MeOH überschichten und kurz (!! , wird warm, Explosionsgefahr) ins Ultraschallbad halten.

→ Dann mehrfach mit MeOH waschen, um das restliche Wasser zu entfernen. Sonst läuft das Kupfer schnell wieder an.

→ Zum Schluss mit MeOH überschichten und im Abzug bis zum nächsten Tag abgedeckt lagern.

## 2. Großsander Wetterern

**Tabelle 1:** pH- Werte des Sediments und der Eluate sowie Extrakte in der Großsander Wetterern

H- Kennung	pH- Wert Sediment	pH- Wert Eluat – AGI	pH- Wert Eluat eingestellt – LBT 1.Versuchsreihe	pH- Wert Eluat eingestellt – LBT 2.Versuchsreihe	pH- Wert Extrakt Stammlösung
H01-17	7,31	7,80	6,94		6,92
H02-17	7,19	7,97	6,91		
H03-17	7,58	8,06	6,86		
H04-17	7,43	8,11	6,86		
H05-17	7,54	7,98	7,18	6,96	
H06-17	7,47	8,01	7,05		
H07-17	7,53	8,07	7,03		
H08-17	7,09	8,08	6,98		
H09-17	7,18	7,90	6,88		
H10-17	7,06	8,03	6,97		
H11-17	7,38	8,17	7,06		
H12-17	7,05	8,07	6,96		
H13-17	7,04	7,80	6,88		
H14-17	6,97	7,97	6,86		
H15-17	7,49	7,72	6,89		
H16-17	7,30	7,89	6,86		
H17-17	7,00	7,85	6,93		
H18-17	7,10	7,83	6,96		
H19-17	7,08	7,72	6,94		
H20-17	7,08	7,90	7,06		
H21-17	7,08	7,92	6,98		
H22-17	7,26	7,69	6,84	7,03	
H23-17	7,00	7,70	6,99		
H24-17	7,03	7,87	7,10		
H25-17	7,21	7,91	6,81		

## 2.1 Algenwachstumshemmtest

Tabelle 2: Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser – Großsander Wettern

Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser							
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll							
Institut:	HAW						
Proben-Nr. extern:	DCP 10mg/L						
Proben-Nr. intern:	DCP	H1-H5	H6-H10	H11-H15	H16-H20	H21-H25	0
Gültigkeitskriterien:							
Kontrolle pH-Wert T0	6-7						
Kontrolle pH-Wert T3	8,73						
Wachstumsrate Kontrollplatte (>1,4)	1,26						
Variationskoeffizient Kontrolle (<5%)	6,22						
Wachstumsrate Kontrolle (>1,4)	1,26	1,30	1,28	1,17	1,54	1,17	
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)	5,50	2,96	1,74	8,46	11,35	9,95	
Ergebnis							
Fluoreszenz am T3	DCP 10mg/L	0	0	0	0	0	0
Mittelwert Fluoreszenz Hemmung [%] in:	DCP	H1-H5	H6-H10	H11-H15	H16-H20	H21-H25	
G1	99,66	-7,04	-51,96	-72,05	-38,48	-10,48	
G2	83,98	-35,65	-23,91	-39,05	-26,32	-33,59	
G4	15,35	-28,53	-18,90	-54,02	-9,70	0,91	
G8	-31,47	-41,03	-12,15	-65,43	-30,27	50,72	
G16	-6,62	-46,39	-11,62	-24,88	-9,11	62,87	
EC-50-Wert	35,06						
VarK % (< 5 %) am T3 in:	DCP	H1-H5	H6-H10	H11-H15	H16-H20	H21-H25	
G1	0,33	3,76	3,50	1,09	1,63	9,53	

<b>G2</b>		2,75	12,66	1,97	11,89	0,41	7,40
<b>G4</b>		14,51	3,33	4,04	0,59	1,86	18,07
<b>G8</b>		1,80	3,66	10,27	3,13	1,62	3,32
<b>G16</b>		6,34	4,54	2,22	11,66	6,61	5,08

## 2.2 Leuchtbakterientest Eluate

**Tabelle 3:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Eluate – Großsander Wettern

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H1-H5	H6-H10	H11-H15	H16-H20	H21-H25	H2,H24,H1,H3,H5	H7,H9,H11,H13,H15	H17,H19,H21,H23,H25	DCP
Gültigkeitskriterien:									
Ausgangsleuchten (> 500)	656822,625								
fK-Wert (0,6-1,3)	1,02								
DCP G2 20-80%	40,70								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	0,66								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	0,60	0,74	3,52	2,73	4,01	5,36	0,32	2,44	0,94
Ergebnis									
Mittelwert H30 [%] in:	H1-H5	H6-H10	H11-H15	H16-H20	H21-H25	H2,H24,H1,H3,H5	H7,H9,H11,H13,H15	H17,H19,H21,H23,H25	DCP
<b>G1</b>	44,25	26,18	34,74	30,18	29,61	32,63	31,98	33,51	74,85
<b>G2</b>	33,21	36,80	33,92	31,98	31,03	31,14	42,19	34,25	40,70
<b>G3</b>	20,85	41,49	31,49	34,96	33,59	44,61	33,23	29,38	
<b>G4</b>	26,25	42,90	41,16	32,83	24,84	21,53	33,67	28,88	
<b>G6</b>	16,50	39,03	37,32	28,76	25,72	24,65	33,63	25,31	
EC-50-Wert									64,10

## 2.3 Leuchtbakterientest Extrakte

**Tabelle 4:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Extrakte – Großsander Wettern

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H1-H5	H6-H10	H11-H15	H16-H20	H20-H25	E5,E22,H1 ,H3,H5	H7,H9,H11, H13,H15	H17,H19.H21, H23,H25	DCP
Gültigkeitskriterien:									
Ausgangsleuchten (> 500)	458100								
fK-Wert (0,6-1,3)	,72								
DCP G2 20-80%	25,56								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	1,37								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	2,05	1,40	1,19	0,67	1,23	0,54	1,24	0,35	2,35
Ergebnis									
Mittelwert H30 [%] in:	H1-H5	H6-H10	H11-H15	H16-H20	H20-H25	E5,E22,H1 ,H3,H5	H7,H9,H11, H13,H15	H17,H19.H21, H23,H25	DCP
G1	18,90	8,13	10,73	15,48	9,67	-5,11	10,99	11,26	73,33
G2	6,24	18,24	9,13	8,05	16,20	10,27	14,04	14,63	25,56
G3	5,20	11,74	10,21	9,37	7,34	15,63	7,25	9,72	
G4	6,16	12,87	13,56	6,91	5,58	2,44	4,16	9,11	
G6	9,06	8,80	15,82	11,03	6,81	5,90	6,27	-3,41	
EC-50-Wert									72,34

### 3. Alte Süderelbe I

**Tabelle 5:** pH- Werte des Sediments und der Eluate sowie Extrakte in der Alten Süderelbe I

H-Kennung	pH- Wert Sediment	pH- Wert Eluat – AGI		pH- Wert Eluat eingestellt – LBT		pH- Wert Extrakt Stammlösung 1.Versuchsreihe	pH- Wert Extrakt Stammlösung 2.Versuchsreihe
		1.Versuchsreihe	2.Versuchsreihe	1.Versuchsreihe	2.Versuchsreihe		
H26-17	6,79	7,21	6,85	7,12		6,92	7,03
H27-17	6,80	6,84	6,70	7,09	7,18		
H28-17	6,89	6,81	6,77	7,08			
H29-17	6,95	7,01	7,02	6,98	6,95		
H30-17	7,04	7,20	7,19	7,02			
H31-17	6,85	7,43	7,51	6,95			
H32-17	7,01	7,51	7,52	6,94			
H33-17	6,86	7,51	7,55	7,13			
H34-17	6,81	7,54	7,53	7,11			
H35-17	6,95	7,63	7,63	7,13			
H36-17	6,92	7,58	7,65	6,84			
H37-17	6,84	7,58	7,79	7,1			
H38-17	7,01	7,62	7,65	7,12			
H39-17	6,92	7,58	7,88	7,1			
H40-17	7,05	7,52	7,90	7,01			
H41-17	7,16	7,43	7,63	7,06			
H42-17	6,89	7,71	7,73	6,98			
H43-17	7,20	7,73	7,69	7,2			
H44-17	7,05	7,65	7,72	7,09			
H45-17	7,11	7,78	7,73	7,15			
H46-17	7,35	7,80	7,82	7,18			
H47-17	7,24	7,78	8,14	7,19			
H48-17	7,45	7,86	7,86	6,81			
H49-17	7,05	7,80	7,90	6,96			
H50-17	7,54	7,74	7,87	6,84			
H51-17	7,30	7,89	8,18	6,82			



H52-17	7,16	7,89	8,15	6,9		
H53-17	7,03	7,87	8,23	umgekippt, im Rest war kein pH mehr messbar		
H54-17	7,21	7,85	8,02	6,91		
H55-17	7,16	7,87	7,92	6,94		
H56-17	7,09	7,85	7,76	7,01		

### 3.1 Algenwachstumshemmtest

Tabelle 6: Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser – Alte Süderelbe I – 1.Durchführung

Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser							
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll							
Institut:	HAW						
Proben-Nr. extern:	DCP 10mg/L						
Proben-Nr. intern:	DCP	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H42-H46	H47-H51	H52-H56
Gültigkeitskriterien:							
Kontrolle pH-Wert T0	6-7						
Kontrolle pH-Wert T3	6-7						
Wachstumsrate Kontrollplatte (>1,4)	1,37						
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)	11,15						
Wachstumsrate Kontrolle (>1,4)	1,40	1,01	1,36	1,04	1,26	1,21	1,42
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)	3,30	4,61	9,46	15,66	11,57	2,56	4,35
Ergebnis							
Fluoreszenz am T3	DCP 10mg/L	0	0	0	0	0	0
Mittelwert Fluoreszenz Hemmung [%] in:	DCP	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H42-H46	H47-H51	H52-H56

G1	99,81	-178,04	22,38	23,49	33,38	75,13	66,71
G2	89,00	-124,26	40,50	8,36	62,56	66,32	63,25
G4	16,60	-114,51	34,94	22,58	23,70	58,88	69,55
G8	0,54	-84,64	48,11	21,02	56,32	68,72	81,31
G16	3,61	-80,35	42,10	-3,12	39,79	78,05	70,39
EC-50-Wert	<b>26,98</b>	<b>0,00</b>					
<b>VarK % (&lt; 5 %) am T3 in:</b>	<b>DCP</b>	<b>H26-H30</b>	<b>H31-H35</b>	<b>H36-H40</b>	<b>H42-H46</b>	<b>H47-H51</b>	<b>H52-H56</b>
G1	2,15	4,07	3,91	2,06	1,81	2,50	4,91
G2	30,56	9,20	4,56	2,57	4,91	15,23	4,38
G4	9,24	5,65	0,97	1,50	2,32	4,57	4,59
G8	5,82	11,16	3,44	1,71	5,85	7,36	1,20
G16	8,97	1,74	1,75	2,09	3,60	3,87	0,27

Tabelle 7: Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser – Alte Süderelbe I – 2.Durchführung

<b>Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser</b>							
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll							
Institut:	HAW						
Proben-Nr. extern:	DCP 10mg/L						
Proben-Nr. intern:	DCP	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H42-H46	H47-H51	H52-H56
<b>Gültigkeitskriterien:</b>							
Kontrolle pH-Wert T0	6-7						
Kontrolle pH-Wert T3	6-7						

Wachstumsrate Kontrollplatte (>1,4)	1,16						
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)	2,01						
Wachstumsrate Kontrolle (>1,4)							
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)							
<b>Ergebnis</b>							
Fluoreszenz am T3	DCP 10mg/L	0	0	0	0	0	0
Mittelwert Fluoreszenz Hemmung [%] in:	DCP	H26-H30	H31-H35	H36- H40	H42- H46	H47- H51	H52- H56
G1	99,74	-62,74	41,99	46,58	50,11	41,43	67,29
G2	70,73	15,51	49,67	51,05	61,11	74,34	57,08
G4	17,90	3,87	44,30	47,74	62,60	62,33	76,18
G8	18,90	-9,70	43,44	51,53	54,17	78,48	85,78
G16	20,94	-28,14	46,92	60,34	52,10	77,90	72,02
EC-50-Wert	21,32						
VarK % (< 5 %) am T3 in:	DCP	H26-H30	H31-H35	H36- H40	H42- H46	H47- H51	H52- H56
G1	1,79	0,71	3,46	0,58	0,17	13,48	4,44
G2	3,43	0,45	7,47	1,51	3,97	1,10	2,56
G4	3,05	4,55	2,02	5,37	2,90	7,70	2,71
G8	4,30	3,55	7,63	0,49	3,58	2,31	0,60
G16	3,88	2,25	3,46	3,21	1,71	5,88	3,06

### 3.2 Leuchtbakterientest Eluaten

**Tabelle 8:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Eluate – Alte Süderelbe I

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H41-H45	H46-H50	H51-H55	H56,H26,H30, H34,H38	H42,H46,H50, H54,H56	DCP
Gültigkeitskriterien:									
Ausgangsleuchten (> 500)	403451								
fK-Wert (0,6-1,3)	,99								
DCP G2 20-80%	40,60								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	1,12								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	5,96	1,11	1,88	0,50	0,41	0,19	0,15	0,20	1,75
Ergebnis									
Mittelwert H30 [%] in:	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H41-H45	H46-H50	H51-H55	H56,H26,H30, H34,H38	H42,H46,H50, H54,H56	DCP
G1	37,12	50,76	63,80	89,53	81,74	86,27	79,10	85,61	76,26
G2	38,68	70,45	68,38	86,27	85,30	82,24	35,76	82,30	40,60
G3	24,99	72,84	75,72	89,49	85,11	72,71	22,42	85,53	
G4	16,33	75,95	77,71	78,71	83,14	82,05	76,01	82,24	
G6	27,01	68,07	73,24	87,88	84,67	89,58	77,50	78,08	
EC-50-Wert								1,33	63,78

### 3.3 Leuchtbakterientest Extrakten

**Tabelle 9:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Extrakte – Alte Süderelbe I – 1.Durchführung

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H41-H45	H46-H50	H51-H55	H56,H26,H31, E27,E29	H36,H41,H46, H51,H56	DCP
Gültigkeitskriterien:									
Ausgangsleuchten (> 500)	558787,2 5								
fK-Wert (0,6-1,3)	,82								
DCP G2 20-80%	13,76								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	5,72								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	5,91	6,56	4,71	7,06	5,57	5,75	4,19	4,78	12,97
Ergebnis									
Mittelwert H30 [%] in:	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H41-H45	H46-H50	H51-H55	H56,H26,H31, E27,E29	H36,H41,H46, H51,H56	DCP
G1	9,68	19,57	0,15	15,25	10,33	15,38	17,50	11,03	70,83
G2	11,88	14,01	11,60	16,30	12,89	17,13	15,09	10,31	13,76
G3	15,67	10,92	6,94	17,71	13,78	9,20	18,91	17,07	
G4	10,66	-10,66	12,45	6,84	14,89	10,85	-5,94	13,78	
G6	11,69	15,94	12,91	17,67	20,11	23,51	-7,72	15,14	
EC-50-Wert									78,00

**Tabelle 10:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Extrakte – Alte Süderelbe I – 2.Durchführung

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H41-H45	H46-H50	H51-H55	H56,H26,H30, H34,H38	H42,H46,H50, H54,H56	DCP
Gültigkeitskriterien:									
Ausgangsleuchten (> 500)	559778								
fK-Wert (0,6-1,3)	,82								
DCP G2 20-80%	14,81								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	1,76								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	0,62	0,28	1,10	0,83	0,77	0,45	3,87	3,13	4,14
Ergebnis									
Mittelwert H30 [%] in:	H26-H30	H31-H35	H36-H40	H41-H45	H46-H50	H51-H55	H56,H26,H30, H34,H38	H42,H46,H50, H54,H56	DCP
G1	6,90	14,91	12,10	12,62	13,34	11,44	11,77	10,98	70,77
G2	10,50	11,28	7,58	11,37	13,42	12,72	3,19	12,20	14,81
G3	10,78	10,89	11,60	12,02	12,81	7,59	8,68	9,80	
G4	13,08	15,79	14,39	9,98	11,45	8,63	13,12	12,03	
G6	9,28	9,03	17,79	14,14	11,24	19,66	12,96	8,36	
EC-50-Wert									77,64

#### 4. Alte Süderelbe II

**Tabelle 11:** pH- Werte des Sediments und der Eluate sowie Extrakte in der Alten Süderelbe II

H- Kennung	pH- Wert Sediment	pH- Wert Eluat – AGI 1.Versuchsreihe	pH- Wert Eluat – AGI 2.Versuchsreihe	pH- Wert Eluat eingestellt – LBT	pH- Wert Extrakt Stammlösung
H57-17	6,90	6,71		6,97	7,10
H58-17	6,96	6,77		7,07	
H59-17	6,95	6,95		6,93	
H60-17	7,02	7,00		6,94	
H61-17	6,99	7,08		7,08	
H62-17	6,94	7,22		7,12	
H63-17	6,90	7,25	7,80	7	
H64-17	7,01	7,43		6,88	
H65-17	7,04	7,45		7,01	
H66-17	6,85	7,45		6,89	
H67-17	6,93	7,27	7,60	7,08	
H68-17	7,01	7,22	7,57	6,92	
H69-17	7,07	7,18	6,97	6,86	
H70-17	7,21	7,26		7,03	
H71-17	7,35	7,31		7,16	
H72-17	7,20	7,40		7,12	
H73-17	7,25	7,45		7,06	
H74-17	7,13	7,47		6,87	
H75-17	7,54	7,46		7,15	
H76-17	7,31	7,51		7,15	
H77-17	7,44	7,56		7,07	
H78-17	7,02	7,50		6,97	
H79-17	7,05	7,63		7,17	
H80-17	7,16	7,64		7,04	
H81-17	7,58	7,59		7,08	
H82-17	7,54	7,55	7,92	6,99	
H83-17	7,53	7,60		7,14	
H84-17	7,16	7,60		7,15	

H85-17	7,08	7,65		6,99	
H86-17	7,22	7,65		6,99	

#### 4.1 Algenwachstumshemmtest

Tabelle 12: Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser – Alte Süderelbe II – 1.Durchführung

Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser							
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll							
Institut:	HAW						
Proben-Nr. extern:	DCP 10mg/L						
Proben-Nr. intern:	DCP	H57-H61	H62-H66	H67-H71	H72-H76	H77-H81	H82-H86
Gültigkeitskriterien:							
Kontrolle pH-Wert T0	6-7						
Kontrolle pH-Wert T3	6-7						
Wachstumsrate Kontrollplatte (>1,4)	1,49						
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)	3,11						
Wachstumsrate Kontrolle (>1,4)		1,40	0,98	0,95	1,14	1,05	1,11
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)		1,65	3,09		2,20	2,82	5,06
Ergebnis							
Fluoreszenz am T3	DCP 10mg/L	0	0	0	0	0	0
Mittelwert Fluoreszenz Hemmung [%] in:	DCP	H57-H61	H62-H66	H67-H71	H72-H76	H77-H81	H82-H86
G1	99,65	98,14	95,37	16,03	69,52	81,32	26,68
G2	69,42	99,20	-4,51	11,58	71,63	70,60	39,07
G4	-22,63	99,54	59,89	14,11	80,96	71,23	61,59



G8	-27,70	-15,76	53,84	42,43	80,96	59,98	63,20
G16	-9,73	-13,15	48,81	65,58	77,32	41,70	63,89
EC-50-Wert	<b>44,83</b>						
<b>VarK % (&lt; 5 %) am T3 in:</b>	<b>DCP</b>	<b>H57-H61</b>	<b>H62-H66</b>	<b>H67-H71</b>	<b>H72-H76</b>	<b>H77-H81</b>	<b>H82-H86</b>
G1	0,49	1,91	2,85	2,83	1,29	1,67	<b>5,26</b>
G2	<b>11,81</b>	1,73	3,48	4,85	4,28	0,60	3,72
G4	0,28	2,01	1,22	<b>11,93</b>	2,37	2,46	3,40
G8	<b>11,19</b>	4,35	3,10	2,74	1,28	2,36	3,02
G16	<b>23,31</b>	<b>5,22</b>	4,58	2,15	0,65	<b>5,11</b>	0,16

Tabelle 13: Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser – Alte Süderelbe II – 2.Durchführung

<b>Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser</b>		
<b>Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll</b>		
Institut:	HAW	
Proben-Nr. extern:	DCP 10mg/L	
Proben-Nr. intern:	DCP	63,67,68,69,82
<b>Gültigkeitskriterien:</b>		
Kontrolle pH-Wert T0	6-7	
Kontrolle pH-Wert T3	6-7	
Wachstumsrate Kontrollplatte (>1,4)	1,62	
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)	4,41	
Wachstumsrate Kontrolle (>1,4)	<b>1,32</b>	1,47
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)	1,98	2,61
<b>Ergebnis</b>		

<b>Fluoreszenz am T3</b>	DCP 10mg/L	<b>0</b>
<b>Mittelwert Fluoreszenz Hemmung [%] in:</b>	<b>DCP</b>	<b>63,67,68,69,82</b>
<b>G1</b>	99,38	-17,75
<b>G2</b>	61,74	16,49
<b>G4</b>	-2,72	-1,24
<b>G8</b>	-12,54	0,82
<b>G16</b>	-15,50	30,97
<b>EC-50-Wert</b>	<b>46,91</b>	
<b>VarK % (&lt; 5 %) am T3 in:</b>	<b>DCP</b>	<b>63,67,68,69,82</b>
<b>G1</b>	2,52	12,61
<b>G2</b>	0,19	9,67
<b>G4</b>	4,90	0,74
<b>G8</b>	3,92	9,27
<b>G16</b>	1,78	3,62

## 4.2 Leuchtbakterientest Eluate

**Tabelle 14:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Eluat – Alte Süderelbe II

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H57-H61	H62-H66	H67-H71	H72-H76	H77-H81	H82-H86	H57,H60,H63, H66,H69	H74,H77,H80, H83,H86	DCP
Gültigkeitskriterien:									
Ausgangsleuchten (> 500)	461345,5								
fK-Wert (0,6-1,3)	1,00								
DCP G2 20-80%	43,07								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	0,45								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	0,32	1,06	0,27	0,36	0,68	0,45	0,80	1,42	0,76
Ergebnis									
Mittelwert H30 [%] in:	H57-H61	H62-H66	H67-H71	H72-H76	H77-H81	H82-H86	H57,H60,H63, H66,H69	H74,H77,H80, H83,H86	DCP
<b>G1</b>	80,94	51,61	73,13	80,82	90,39	34,63	80,85	72,94	74,47
<b>G2</b>	84,82	51,97	69,19	78,14	77,06	37,50	18,46	91,56	43,07
<b>G3</b>	81,02	74,02	70,12	72,42	80,44	43,04	49,85	69,10	
<b>G4</b>	18,61	66,83	74,66	72,60	67,25	49,99	60,69	38,67	
<b>G6</b>	19,95	61,94	80,28	75,48	36,08	60,89	69,47	58,36	
EC-50-Wert									62,62

### 4.3 Leuchtbakterientest Extrakte

**Tabelle 15:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Extrakte – Alte Süderelbe II

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H57-H61	H62-H66	H67-H71	H72-H76	H77-H81	H82-H86	H57,H60,H63, H66,H69	H74,H77,H80, H83,H86	DCP
Gültigkeitskriterien:									
Ausgangsleuchten (> 500)	612272								
fK-Wert (0,6-1,3)	,76								
DCP G2 20-80%	19,98								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	0,57								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	1,69	0,70	0,71	0,61	1,55	0,79	1,51	2,88	3,13
Ergebnis									
Mittelwert H30 [%] in:	H57-H61	H62-H66	H67-H71	H72-H76	H77-H81	H82-H86	57,60,63,66,69	74,77,80,83,86	DCP
G1	12,00	22,94	20,10	22,91	24,65	15,87	16,12	18,72	74,26
G2	14,71	25,41	21,09	19,67	23,03	15,54	24,73	21,76	19,98
G3	15,21	31,44	16,64	20,31	25,15	15,98	18,93	18,16	
G4	16,66	21,48	18,51	19,93	19,79	15,91	12,30	14,00	
G6	13,08	18,16	22,06	20,53	14,09	16,43	14,52	10,72	
EC-50-Wert									74,17

**Tabelle 16:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Extrakte – Alte Süderelbe II – Bezug der Positivkontrolle auf Kontrollen ohne Methanol

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>	
<b>Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll</b>	
<b>Gültigkeitskriterien:</b>	
Ausgangsleuchten (> 500)	583005,6667
fK-Wert (0,6-1,3)	1,08
DCP G2 20-80%	37,86
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	1,58

## 5. Alte Süderelbe III

**Tabelle 17:** pH- Werte des Sediments und der Eluate sowie Extrakte in der Alten Süderelbe III

H-Kennung	pH- Wert Sediment	pH- Wert Eluat – AGI	pH- Wert Eluat eingestellt – LBT	pH- Wert Extrakt Stammlösung
H87-17	7,10	7,21	7,13	7,04
H88-17	7,06	7,02	6,96	
H89-17	6,93	7,23	7,13	
H90-17	7,06	7,47	7,15	
H91-17	6,91	7,53	7,02	
H92-17	7,07	7,41	7,19	
H93-17	7,11	7,50	6,97	
H94-17	6,97	7,46	7,17	
H95-17	6,92	7,49	7,12	
H96-17	6,99	7,47	7,14	
H97-17	7,09	7,44	7,02	
H98-17	7,02	7,37	7,16	
H99-17	7,07	7,31	7,19	
H100-17	7,08	7,36	7,07	
H101-17	7,13	7,36	7,19	
H102-17	7,23	7,35	7,14	
H103-17	7,15	7,31	7,17	

H104-17	7,37	7,37	6,83
H105-17	7,09	7,45	7,15
H106-17	7,11	7,54	7,16
H107-17	7,14	7,52	7,02
H108-17	7,06	7,63	7,16
H109-17	7,35	7,75	7,09
H110-17	7,12	7,87	7,18
H111-17	7,25	7,77	6,92
H112-17	7,81	7,90	6,87
H113-17	7,07	7,83	6,82
H114-17	7,03	7,78	6,8
H115-17	7,09	7,77	6,87
H116-17	7,45	7,86	6,91

## 5.1 Algenwachstumshemmtest

Tabelle 18: Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser – Alte Süderelbe III

Testprotokoll Algenwachstumshemmtest Eluat Süßwasser							
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll							
Institut:	HAW						
Proben-Nr. extern:	DCP 10mg/L						
Proben-Nr. intern:	DCP	H87-H91	H92-H96	H97-H101	H102-H106	H107-H111	H112-H116
Gültigkeitskriterien:							
Kontrolle pH-Wert T0	6-7						
Kontrolle pH-Wert T3	7,5						
Wachstumsrate Kontrollplatte (>1,4)	1,40						
Variationskoeffizient Kontrolle (< 5 %)	2,54						

<b>Wachstumsrate Kontrolle (&gt;1,4)</b>	1,44	1,35	1,37	1,20	1,28	1,24	1,34
<b>Variationskoeffizient Kontrolle (&lt; 5 %)</b>	2,97	1,50	1,69	7,09	3,71	4,41	4,62
<b>Ergebnis</b>							
<b>Fluoreszenz am T3</b>	DCP 10mg/L	0	0	0	0	0	0
<b>Mittelwert Fluoreszenz Hemmung [%] in:</b>	<b>DCP</b>	<b>H87-H91</b>	<b>H92-H96</b>	<b>H97-H101</b>	<b>H102-H106</b>	<b>H107-H111</b>	<b>H112-H116</b>
<b>G1</b>	98,90	97,21	34,77	-4,69	1,50	46,12	30,79
<b>G2</b>	86,28	-13,27	46,52	3,61	18,14	50,85	39,80
<b>G4</b>	15,12	10,12	28,94	3,54	26,25	42,29	52,93
<b>G8</b>	-1,89	0,39	34,31	-1,73	38,72	23,59	54,15
<b>G16</b>	-2,96	22,87	41,40	-14,41	63,20	30,01	65,38
<b>EC-50-Wert</b>	<b>35,33</b>						
<b>VarK % (&lt; 5 %) am T3 in:</b>	<b>DCP</b>	<b>H87-H91</b>	<b>H92-H96</b>	<b>H97-H101</b>	<b>H102-H106</b>	<b>H107-H111</b>	<b>H112-H116</b>
<b>G1</b>	2,62	2,87	1,33	3,64	1,74	0,45	4,57
<b>G2</b>	4,91	0,60	5,54	1,60	6,07	13,43	1,19
<b>G4</b>	2,41	2,30	1,65	3,06	1,83	0,38	4,80
<b>G8</b>	3,00	4,29	2,84	2,33	3,14	3,76	4,22
<b>G16</b>	0,81	4,42	2,00	1,63	2,27	3,23	3,39

## 5.2 Leuchtbakterientest Eluate

Tabelle 19: Testprotokoll Leuchtbakterientest Eluat – Alte Süderelbe III

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H87-H91	H92-H96	H97-H101	H102-H106	H107-H111	H112-H116	H87,H90,H93, H96,H99	H104,H107,H110, H113,H116	DCP
Gültigkeitskriterien:									
Ausgangsleuchten (> 500)	466666,5								
fK-Wert (0,6-1,3)	1,06								
DCP G2 20-80%	40,03								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	0,89								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	0,47	2,31	0,64	1,85	6,94	0,56	0,55	0,86	1,13
Ergebnis									
Mittelwert H30 [%] in:	H87-H91	H92-H96	H97-H101	H102-H106	H107-H111	H112-H116	H87,H90,H93, H96,H99	H104,H107,H110, H113,H116	DCP
G1	68,10	59,56	79,14	61,62	66,19	30,73	69,70	63,34	75,11
G2	15,34	66,78	75,13	54,63	67,38	31,95	33,21	71,74	40,03
G3	30,21	57,92	71,23	62,16	63,16	46,60	67,52	33,24	
G4	29,46	60,91	61,41	62,11	31,32	55,72	73,69	32,11	
G6	49,40	73,04	60,53	69,61	31,08	52,80	72,84	52,75	
EC-50-Wert		78,76	11,47	98,62	38,39			39,72	64,44



### 5.3 Leuchtbakterientest Extrakte

**Tabelle 20:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Extrakt – Alte Süderelbe III

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>									
Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll									
Institut:	HAW								
Proben-Nr. extern:									
Proben-Nr. intern:	H87-H91	H92-H96	H97-H101	H102-H106	H107-H111	H112-H116	H87,H90,H93, H96,H99	H104,H107,H110, H113,H114	DCP
<b>Gültigkeitskriterien:</b>									
Ausgangsleuchten (> 500)	573063,1 667								
fK-Wert (0,6-1,3)	,81								
DCP G2 20-80%	23,66								
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	2,08								
Abw. d. Probenparallelen v. Mittel [Prozentpunkte](<3)	0,80	0,90	0,56	0,37	0,55	0,47	1,30	2,41	0,88
<b>Ergebnis</b>									
Mittelwert H30 [%] in:	H87-H91	H92-H96	H97-H101	H102-H106	H107-H111	H112-H116	H87,H90,H93, H96,H99	H104,H107,H110, H113,H114	DCP
<b>G1</b>	14,40	24,66	20,88	19,93	20,21	14,78	22,16	18,64	71,48
<b>G2</b>	16,24	23,50	20,61	21,97	19,13	11,18	21,05	19,64	23,66
<b>G3</b>	15,61	21,49	21,27	18,04	19,10	13,95	27,59	8,44	
<b>G4</b>	15,97	22,81	20,25	19,74	9,35	14,59	20,80	6,90	
<b>G6</b>	16,57	20,44	18,59	20,73	11,87	16,80	19,18	12,99	
EC-50-Wert									73,94

**Tabelle 21:** Testprotokoll Leuchtbakterientest Extrakte – Alte Süderelbe II – Bezug der Positivkontrolle auf Kontrollen ohne Methanol

<b>Testprotokoll Leuchtbakterientest ELUATE SW</b>	
<b>Angaben zur Probenahme, Probe, Eluat-Herstellung + Eigenschaften siehe Extraprotokoll</b>	
<b>Gültigkeitskriterien:</b>	
Ausgangsleuchten (> 500)	542831
fK-Wert (0,6-1,3)	1,10
DCP G2 20-80%	38,97
Abw. d. Kontrolle v. Mittel [%](<3%)	1,28

## 6. Röntgenfluoreszenzanalyse

### 6.1 Blei

**Tabelle 22:** Bleikonzentrationen in mg/kg in Abhängigkeit der Tiefe der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe

Tiefe im Mittel in cm	Pb – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	Pb – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	Pb – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	68	64	66,2
3	77	62,6	87
5	75	75	132
7	75	75	130
9	82	79	147
11	121	91	150
13	135	111	171
15	137	183	134
17	152	139	125
19	135	140	157
21	140	159	164
23	99	135	155
25	161	99	140
27	150	154	148
29	116	165	145
31	170	160	133
33	161	133	114
35	166	136	122
37	130	144	138
39	127	177	141
41	151	225	144
43	160	129	135
45	162	94	124
47	172	81	109
49	195	134	126
51	204	137	106
53	125	128	106
55	110	130	139
57	141	165	119
59	176	186	92
61	104		79,4
63			142
65			172
67			157
69			137
71			39
73			44,8
75			61,6
77			103
79			147
81			130
83			142

<b>85</b>			<b>153</b>
<b>87</b>			<b>114</b>

## 6.2 Kupfer

**Tabelle 23:** Kupferkonzentrationen in mg/kg in Abhängigkeit der Tiefe der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe

Tiefe im Mittel in cm	Cu – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	Cu – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	Cu – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	95	72	62
3	96	62	87
5	78	79	129
7	78	72	127
9	81	79	138
11	114	84	152
13	133	110	201
15	129	205	123
17	163	119	114
19	132	120	160
21	118	146	156
23	93	120	149
25	154	78	138
27	147	156	136
29	105	166	138
31	172	161	125
33	186	130	100
35	171	126	112
37	126	126	129
39	120	145	141
41	144	209	137
43	144	106	117
45	155	87	101
47	141	63	83
49	167	97	88
51	194	111	84
53	110	102	85
55	87	96	102
57	120	124	86
59	185	138	76
61	90		65
63			114
65			122
67			119
69			95
71			27
73			31
75			38
77			72
79			100
81			98
83			107
85			103
87			71

### 6.3 Rubidium

**Tabelle 24:** Rubidiumkonzentrationen in mg/kg in Abhängigkeit der Tiefe der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe

Tiefe im Mittel in cm	Rb – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	Rb – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	Rb – Konzentration in mg/kg Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	68,1	68,3	69,6
3	72,5	63,3	66,1
5	69,2	68,8	79,5
7	70,1	68,7	85,3
9	67,8	68,8	89,6
11	86,2	77,2	89,5
13	86,2	84,6	100,1
15	97,3	98,8	113,4
17	95,3	125,8	113
19	108,8	120,5	115,6
21	118,8	83,6	100,2
23	130,6	68,4	90,2
25	102,7	57,2	80,6
27	81,2	73,2	83,7
29	69,2	74,2	89,9
31	77,6	81,6	76,7
33	77,4	77,2	69,9
35	82,3	88,9	71,9
37	78,6	90,7	78,7
39	83	108,7	88,5
41	88,8	95,5	94,5
43	94,3	110,1	87,9
45	93,4	73,4	85,8
47	101,4	66,3	87,8
49	109,9	90,6	89,3
51	110,8	98,3	90,8
53	102,8	94,7	95
55	115,8	89,3	108,8
57	131,5	111,2	112
59	95,4	121,1	86,3
61	78,1		72
63			102,2
65			132,2
67			109,6
69			105,2
71			48,5
73			55,4
75			69,6
77			102,9
79			139,8
81			122,8
83			108,7
85			111,7
87			85

## 7. Anpassung der Schichten

### 7.1 Algenwachstumshemmtest

**Tabelle 25:** Prozentuale Hemmungen der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe in Abhängigkeit der Schicht im Algenwachstumshemmtest

Schicht	AGI – Hemmung in % Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	AGI – Hemmung in % Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	AGI – Hemmung in % Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	-62,74		
2	15,51		
3	3,87		
4	-9,70	98,14	97,21
5	-80,35	99,20	-13,27
6	41,99	99,54	10,12
7	45,09	-15,76	0,39
8	39,62	-13,15	22,87
9	45,78	95,37	34,77
10	44,51	-4,51	46,52
11	46,58	59,89	28,94
12	51,05	53,84	34,31
13	22,58	48,81	41,40
14	51,53	16,03	-4,69
15	-3,21	-1,24	3,61
16		0,82	3,54
17	50,11	42,43	-1,73
18	61,84	65,58	-14,41
19	23,70	69,52	1,50
20	55,25	71,63	18,14
21	52,10	80,96	26,25
22	75,13	80,96	38,72
23	70,33	77,32	63,20
24	60,61	81,32	46,12
25	73,60	70,60	50,85
26	78,05	71,23	42,29
27	67,29	59,98	23,59
28	57,08	41,70	30,01
29	76,18	30,97	30,79
30	83,55	39,07	39,80
31	70,54	61,59	52,93
32		63,20	54,15
33		63,89	63,38
34			
35			
36			
37			

## 7.2 Leuchtbakterientest Eluate

**Tabelle 26:** Prozentuale Hemmungen der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe in Abhängigkeit der Tiefe im Leuchtbakterientest mit Eluaten

Schicht	LBT Eluat – Hemmung in % Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	LBT Eluat – Hemmung in % Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	LBT Eluat – Hemmung in % Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	36,44		
2	36,68		
3	24,99		
4	16,33	80,90	68,90
5	24,72	84,82	15,34
6	50,76	81,02	30,21
7	70,45	18,54	31,34
8	72,84	19,95	49,40
9	75,98	51,61	59,56
10	68,07	50,91	67,15
11	63,80	74,02	57,92
12	63,38	66,83	60,91
13	76,61	61,32	73,37
14	77,71	73,13	79,14
15	73,24	69,19	75,13
16	89,53	69,80	72,04
17	85,94	74,66	61,41
18	89,49	80,28	60,53
19	78,71	80,82	61,62
20	87,88	78,14	54,63
21	82,02	72,68	62,75
22	85,30	72,60	62,11
23	85,11	75,48	69,61
24	83,14	90,98	68,97
25	85,10	77,06	67,38
26	86,27	80,44	63,16
27	82,24	68,18	32,28
28	72,71	36,08	31,08
29	82,15	34,63	30,73
30	89,58	38,09	32,03
31	78,59	43,04	46,60
32		49,99	55,72
33		59,63	52,78
34			
35			
36			
37			



### 7.3 Leuchtbakterientest Extrakte

**Tabelle 27:** Prozentuale Hemmungen der drei Probenahmen in der Alten Süderelbe in Abhängigkeit der Tiefe im Leuchtbakterientest mit Extrakten

Schicht	LBT Extrakt – Hemmung in % Alte Süderelbe I H26- 17 bis H56-17	LBT Extrakt– Hemmung in % Alte Süderelbe II H57- 17 bis H86-17	LBT Eluat – Hemmung in % Alte Süderelbe III H87- 17 bis H116-17
1	6,90		
2	10,50		
3	10,78		
4	13,08	14,06	22,16
5	9,28	14,71	16,24
6	14,91	15,21	15,61
7	11,28	24,73	18,51
8	10,89	13,08	16,57
9	14,46	22,94	24,66
10	9,03	25,41	25,55
11	12,10	31,44	21,49
12	7,58	21,48	22,81
13	12,28	15,23	20,62
14	14,39	20,10	20,88
15	17,79	21,09	20,61
16	12,60	15,58	20,23
17	11,18	18,51	20,25
18	12,02	22,06	18,59
19	9,98	22,91	9,93
20	14,14	19,67	21,97
21	12,77	19,52	18,34
22	13,42	19,93	19,74
23	12,81	20,53	20,73
24	11,45	23,21	19,93
25	10,52	23,03	19,13
26	11,44	25,15	19,10
27	12,72	18,98	8,90
28	7,59	14,09	11,87
29	10,33	15,87	14,78
30	19,66	14,77	9,04
31	11,77	15,98	13,95
32		15,91	14,59
33		13,58	14,90
34			
35			
36			
37			