

Aus dem Institut für Angewandte Botanik der Universität Hamburg

# Untersuchungen zum Einfluß schwerer Verölungen des Deichvorlandes auf die Möglichkeit und Durchführbarkeit schneller Rekultivierungen von Pflanzenbeständen mittels unterschiedlicher Verfahren\*

Von Monika Jittler-Strahlendorff und Lars Neugebohrn

## 1 Einleitung

Die Rohstoffversorgung der Bundesrepublik Deutschland und anderer westeuropäischer Staaten erfolgt zum größten Teil über den Seeweg, und so zählen der Ärmelkanal und die Deutsche Bucht zu den am meisten befahrenen Schifffahrtsstraßen der Welt.

Wegen der Enge mancher Schifffahrtsrouten und der sich besonders in den Flußmündungen kreuzenden Schifffahrtswege (Elbe, Weser, Jade, Ems) ist ständig die Gefahr einer Kollision oder einer Grundberührung (Auflaufen) gegeben. Die hierbei austretenden Treibstoffe (Schiffsdiesel, Schweröl) bzw. die aus Tankern bei Beschädigung der Transportbehälter ausfließenden Rohöle stellen eine erhebliche Gefährdung des Ökosystems Wattenmeer dar. Hierzu gehören auch die Leckagen der vielen in der Nordsee arbeitenden Bohrschiffe und das verbotene – aber ständig praktizierte – Ablassen der meist ölhaltigen Bilgewässer. Die Zerstörung des Lebensraumes Wattenmeer durch antreibende Mineralöle bedroht nicht nur die im Tidebereich lebende Pflanzenwelt, sondern kann auch für die Tierwelt – besonders für die ständig hier lebenden bzw. durchziehenden Vögel – sowohl durch den Verlust der Nahrungsressourcen oder Brutgebiete als auch durch direkte Ölkontakte – existenzbedrohend sein.

Seit 1979 wird im Institut für Angewandte Botanik der Universität Hamburg – mit finanzieller Unterstützung des Umweltbundesamtes und des Bundesministeriums für Forschung und Technologie – an der Problematik des Einflusses und der Auswirkung von Rohöl auf die Vegetation der Salzwiese und möglicher Rekultivierungsmaßnahmen gearbeitet (GOLOBEK 1980; GOLOBEK und NEUGEBOHRN 1984; JITTLE-STRAHLENDORFF und NEUGEBOHRN 1984; NEUGEBOHRN et al. 1986). Ein Eintrag von Kohlenwasserstoffen in das vegetationsbedeckte Vorland oder auf die Deiche führt immer zum Absterben der Pflanzenbestände und damit einerseits zum Verlust der vegetationsbedingten

Schutzfunktion gegen die Wellenenergie des Meeres, andererseits auch zum Verlust der Nahrungsgrundlage vieler Herbivoren. Bei geringfügigen Verölungen im Salzwiesen- und Deichbereich kommt es allerdings in der Regel innerhalb eines Jahres zur fast vollständigen Regeneration der geschädigten Flächen, wenn auch mit deutlichen Artenverschiebungen (GOLOBEK 1980).

Der Einfluß »schwerer« Verölungen konnte bisher nicht untersucht werden; deren Auswirkungen und die Möglichkeit mittels biologischer Methoden eine schnelle Wiederbegrünung und damit eine natürliche »Selbstreinigung« des Ökosystems in Gang zu setzen, sollte Ziel dieses Projektes sein. Zwecks Aufklärung dieser Problematik erfolgten die notwendigen Versuche sowohl im Freiland als auch in einer Tidesimulationsanlage des Instituts für Angewandte Botanik. An dieser Stelle wird über die Rekultivierung mit Hilfe von Soden-Transplantaten berichtet.

Die notwendigen Freiland-Versuche erfolgten mit freundlicher Genehmigung der Nationalparkverwaltung Schleswig-Holsteins im beweideten Vorland des Kaiser-Wilhelm-Kooges.

## 2 Material und Methodik

### 2.1 Feldversuche

#### 2.1.1 Einfluß von Rohöl auf Pflanzen des Salzrasens (*Puccinellietum maritimae* [Warming 1890] Wi. Christiansen 1927)

Die Freiland-Versuchsflächen liegen außerhalb des Kaiser-Wilhelm-Kooges (Schutzzone II des Nationalparks Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer), ca. 10–20 cm oberhalb der MThw-Linie. In dieser Höhe wird die Vegetation naturgemäß seltener und überwiegend im Winterhalbjahr überflutet. Entsprechend dem pflanzensoziologischen System handelt es sich bei der Vegetation um die Degenerationsphase des *Puccinellietum maritimae* (Warming 1890) Wi. Christiansen 1927 (Andelrasen).

Die Bestimmung der Pflanzenarten erfolgte nach KLAPP (1974), HUBBARD (1973) und GARCKE (1972). Die Namensgebung der Arten folgte EHRENDORFER (1973). Die Deckungsanteile der Arten wurden in Prozent nach ELLENBERG (1956) geschätzt.

Arten unter 1% Deckungsanteil wurden mit »+« angegeben (siehe Tab. 1).

Für die geplanten Versuche wurde eine kleine Landzunge zum Schutz der weidenden Tiere (Schafe und Gänse) abgezaunt, auf der am 28.5.1986 eine 3x3 m große Fläche mit 9 l Rohöl/m<sup>2</sup> verölt wurde. Diese ausgebrachte Menge wurde dabei als untere Grenze einer »schweren« Verölung festgelegt, da in früheren Projekten (GOLOBEK und NEUGEBOHRN 1984; JITTLE-STRAHLENDORFF und NEUGEBOHRN 1984) 3 l Rohöl/m<sup>2</sup> aufgrund einer Vereinbarung des Arbeitskreises »Chemische Verfahren zur Bekämpfung von Meeresverschmutzungen« als »mittelschwere« Verölung deklariert wurde.

Bei dem verwendeten Rohöl handelte es sich um ein ungealtertes, d.h. frisches Rohöl (FULMAR K 207) aus der Nordsee (wir danken der Firma ESSO AG für die zur Verfügungstellung des Rohöles). Das Rohöl wurde vor der Kontamination in einem 120-l-Faß im Verhältnis 1:1 mit Seewasser möglichst homogen vermischt. Die Durchmischung erfolgte in dem Faß – ähnlich wie beim ehemals gebräuchlichen Butterherstellungsverfahren – mit Hilfe einer beweglichen Stange, an deren Ende eine durchlöchernte Plastikscheibe aus PVC befestigt war. Die Stange verlief durch eine Bohrung im Faßdeckel und war am anderen Ende mit einem Griff versehen. Unter ständiger kräftiger vertikaler Bewegung dieser Stange wurde das Rohöl in das Seewasser gegeben und anschließend noch 4 Min. durchmischt. Danach erfolgte eine möglichst gleichmäßige Ausbringung des Öl-/Wassergemisches über einen Schlauch mit einer regulierbaren Düse, angetrieben von einer kräftigen 12-Volt-Pumpe (Fa. MARCO). Während der Kontaminationsphase wurde die Emulsion im Faß weiterhin kräftig durchmischt, um die Trennung in eine wäßrige bzw. ölige Phase zu verhindern. Das Aufspritzen der Mischung erfolgte in 2 Durchgängen mit einer einstündigen Pause, da das Öl in den wassergesättigten Boden nur langsam einsickerte und ohne diese Unterbrechung oberflächlich in die umliegenden Gruppen abgeflossen wäre (siehe Abb. 1).

In regelmäßigen Zeitabständen wurden später aus der Versuchsfläche Bodenproben gezogen und mittels eines IR-Spek-

\* Die vorliegende Arbeit wurde gefördert vom Bundesministerium für Forschung und Technologie. Förderkennzeichen: 01 ZV 85082; Untersuchungszeitraum: 1. Januar 1986 bis 1. Mai 1988

Tab. 1: Vegetationszusammensetzung der Freiland-Versuchsfläche im Kaiser-Wilhelm-Koog/Marne (Degenerationsphase des *Puccinellietum maritimae* [Warming] Christiansen und ihre Entwicklung nach der Kontamination mit 9 l Rohöl/m<sup>2</sup>). Deckungsanteile der einzelnen Arten in Prozent geschätzt nach ELLENBERG (1956), Deckungsanteil unter 1% = »+«:

|                                                                     | Mai 86 | Okt. 86 | Okt. 87 |
|---------------------------------------------------------------------|--------|---------|---------|
| Gesamtdeckung in %:                                                 | 100    | –       | –       |
| Artenanzahl:                                                        | 5      | –       | –       |
| soziol.<br>Kennz.                                                   |        |         |         |
| 2.612 <i>Festuca rubra</i> ssp. <i>litoralis</i> (G.F.W. Mey.) Aug. | 70     | –       | –       |
| 2.611 <i>Puccinellia maritima</i> (Huds.) Parl.                     | 29     | –       | –       |
| 2.6 <i>Spergularia media</i> (L.) K. Presl                          | +      | –       | –       |
| 2.6 <i>Glaux maritima</i> L.                                        | +      | –       | –       |
| 3.72 <i>Agrostis stolonifera</i> L.                                 | +      | –       | –       |

trometers (PERKIN-ELMER 257) auf ihren Cyclohexan- und Paraffingehalt untersucht (ROTTERI in: ALBAIGES, FREI and MARIAN [Eds.] 1983). Auf diese Ergebnisse kann im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden.

2.1.2 Untersuchung zur Möglichkeit einer Wiederbesiedlung mittels Soden-Transplantaten

Aus angrenzenden, nicht kontaminierten Pflanzenbeständen wurden reichlich bewässerte Impfbäder (= Transplantate) von 10 cm Breite und 33 cm Länge (in Anlehnung an WOHLBERG 1969) herausgelöst und auf der verölten Fläche zu ca. 1 m Länge zusammengelegt.

Die erwartete Wiederbesiedlung der kontaminierten Fläche mit Hilfe von Transplantaten sollte in 2 verschiedenen Versuchsreihen getestet werden, um zu prüfen, ob eine Durchwurzelung eines verölten Substrates auch ohne Entfernung der verölten Bodenschichten möglich wäre:

Bei der 1. Versuchsreihe betrug die Höhe der Transplantate nur 2 cm, wobei vor deren Verlegung die verölte, abgestorbene Vegetation in der Größe des Transplantates samt Substrat 2 cm tief abgetragen wurde.

Die Transplantate der 2. Versuchsreihe mit einer Höhe von 5 cm wurden dagegen direkt auf die verölte, abgestorbene Vegetation aufgebracht.

Wegen der geringen Sturmflutgefährdung während der Versuchszeit wurden die Transplantate nicht gegen Welleneinwirkung gesichert.

Um das mögliche unterschiedliche Anwachsverhalten der beiden vorherrschenden Arten – *Puccinellia maritima* (Huds.) Parl. (= Andel) und *Festuca rubra* ssp. *litoralis* (G.F.W. Mey.) Aug. (= Rot-Schwingel) – zu überprüfen, wurden die Transplantate aus Gebieten zum einen mit dem Andel und zum anderen mit dem Rot-Schwingel (70%) als dominierende Art gewonnen. Die Andel-Transplantate enthielten als weitere nur Art *Salicornia europaea* agg. (= Queller, 1%), während die Rot-Schwingel-Transplantate den Andel (29%), wenige Exemplare *Glaux maritima* L. (= Meeresstrand-Milchkraut) und

*Spergularia media* (L.) K. Presl (= Flügel-samige Schuppenmiere, 1%) enthielten. Im vierwöchigen Abstand erfolgten weitere Ausbringungen.

2.2 Untersuchung zur Möglichkeit einer Wiederbesiedlung mittels Soden-Transplantaten in einer Tidesimulationsanlage

2.2.1 Aufbau der Tidesimulationsanlage

Der Einsatz der Tidesimulationsanlage ermöglicht die Durchführung von Verölungsversuchen mit anschließenden Rekultivierungsmaßnahmen unter kontrollierten Bedingungen.

Die einzelnen Flutbecken, deren Länge x Breite x Höhe in ca. (= LxBxH) 220x120x35 betrug, waren mit einer ölresistenten Polyäthylenfolie ausgekleidet (UROS-PLAST EN, HDPE, Dicke: 1,00 mm) und zusätzlich mit einer 10 cm hohen Blähton-/Kiesschicht aufgeschüttet worden, die vom ab- bzw. auflaufenden Wasser passiert werden mußte. Die Ab- bzw.

Zuläufe der Becken waren jeweils von einem halbkreisförmigen PVC-Rohr umgeben, das in die Blähton-/Kiesschicht hineinragte und 2 cm oberhalb des Beckenbodens endete. Auf diese Weise verblieb das auf die Versuchssoden ausgebracht Öl im Becken und war auch mit Hilfe eines IR-Spektrometers im abgelaufenen Wasser nicht mehr nachweisbar. In Abweichung zu den Freiland-Versuchen wurden nur 5 l Rohöl zur Kontamination verwendet, weil die leichtflüchtigen, hochtoxischen Bestandteile des frischen Rohöles eine Gefährdung der übrigen im Gewächshaus kultivierten Pflanzen darstellten.

2.2.2 Untersuchung zur Möglichkeit einer Wiederbesiedlung mittels Soden-Transplantaten

In 3 Becken der Tidesimulationsanlage wurde jeweils eine 1 m<sup>2</sup> große und 10 cm hohe Sode aus dem Vorland des Kaiser-Wilhelm-Kooges ausgelegt.

Alle 12 Stunden erfolgte entsprechend der Überflutungsdauer der oberen Zone des Andels eine Überstauung der Soden für 30 Min. mit 600 l künstlichem Meerwasser (Salzgehalt 16‰, WIMEX-Meer-salz, Fa. H. Wiegandt). Die zusätzliche Beleuchtungsstärke pro m<sup>2</sup> lag zwischen 7000–8000 Lux und betrug 14 Stunden (Lampen: Fa. Siemens Typ 5 NA 717-4; HQ I-T 400 W/DH).

Nach einer vierwöchigen Eingewöhnungszeit wurden je 5 l Rohöl/m<sup>2</sup> (FULMAR K 207) mit Seewasser gemischt und in 2 Durchgängen gleichmäßig über die Soden in den Becken I und II verteilt (SOLO-Baumspritze 455). Im Becken III verblieb eine unbehandelte Kontrollsode.

4 Wochen nach der Kontamination erfolgten die ersten Rekultivierungsversuche mittels kleiner Sodentransplantate

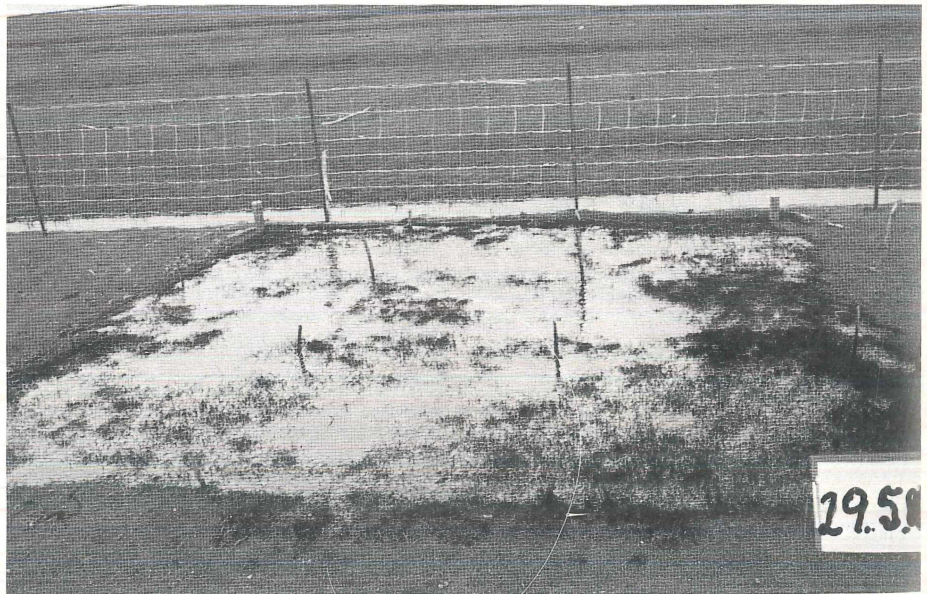


Abb. 1: Versuchsfläche im Kaiser-Wilhelm-Koog/Marne nach der Verölung mit 9 l Rohöl/m<sup>2</sup> (29.5.1986).

Fig. 1: Artificially oil sites in the field (Kaiser-Wilhelm-Koog/Marne, 9 l crude oil/m<sup>2</sup>, 05-29-1986).

(LxBxH in cm: 30x10x5; 30x10x2), die einerseits ohne vorheriges Abschälen der verölten Vegetation (Becken I), andererseits aber nach einer 2 cm dicken Abschälung (Becken II) auf die Restunterlage festgeklopft wurden. Die verwendeten Transplantate wurden von der Kontroll-sode gewonnen.

Im Dezember 1986 wurde die Beleuchtungsdauer auf Kurztag (8 Stunden) reduziert, um beim Andel die typische Ausläuferbildung auszulösen (v. WEIHE 1969). Im März 1987 erfolgte wieder eine Umstellung auf Langtag (14 Stunden) mit gleichzeitiger Einschränkung der Überflutungshäufigkeit und -dauer (1x Tag für 30 Min.). Am Ende des Versuches wurden alle Ausläufer vorsichtig abgeschnitten und die Knoten pro Ausläufer ausgezählt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Feldversuche

##### 3.1.1 Aussehen und Entwicklung der verölten Versuchsfläche innerhalb des Untersuchungszeitraumes

Das versprühte Rohöl-/Seewasser-Gemisch drang nur langsam in den feuchten Boden ein. Ein großer Teil des Öles staute sich bis auf Pflanzenhöhe in der ca. 2 cm hohen Vegetation auf und wandelte sich in den nächsten Tagen langsam in eine asphaltähnliche, die Vegetation völlig bedeckende, Masse um. Die blauschwarze Farbe der Versuchsfläche (Öl) wechselte erst durch die laufenden Überschlickungen während der Winterhochwässer nach schmutziggrau (Schlick).

Sämtliche Pflanzen starben schon nach wenigen Tagen ab und ließen auch

2 Jahre nach der Verölung keine Anzeichen eines natürlichen Wiederaustriebes erkennen (Tab. 1).

Im 2. Jahr nach der Verölung liefen allerdings aus den Entnahmestellen der Bodenproben durch die Tide eingeschwemmte Samen des Andels und zwischen den Transplantaten Samen des Quellers auf. Letztere stammten mit großer Wahrscheinlichkeit von den Queller-Pflanzen der Transplantate. Von diesen Transplantaten und den nicht verölten Versuchsrändern drangen im 2. Jahr außerdem Ausläufer des Andels ca. 20 cm in die kontaminierte Versuchsfläche vor. Diese von den Rändern einsetzende Wiederbesiedlung war möglich, weil die Fläche regelmäßig in den Winterhalbjahren 1986/87 und 1987/88 überflutet worden war und sich so über der Ölschicht eine 3–4 cm hohe unkontaminierte Schlickschicht ablagern konnte (siehe Abb. 2).

##### 3.1.2 Untersuchung zur Möglichkeit einer Wiederbesiedlung mittels Soden-Transplantaten

###### a) 1986

Die in monatlichen Abständen ausgelegten Transplantate benötigten jeweils ca. 4 Wochen, um in ihrer ganzen Länge und Breite anzuwachsen. Die Transplantate aus der 1. Serie (ausgelegt 4 Wochen nach der Verölung) hatten dabei – zusätzlich zum Ölstreif – noch stark unter der sommerlichen Trockenheit zu leiden und waren 14 Tage nach der Auslegung fast ausgetrocknet. Unterschiede zwischen den durch Andel bzw. Rot-Schwingel dominierten Transplantaten zeigten sich nicht.

Auf allen Transplantaten kamen – wie auch in der ungestörten Umgebung – der Queller, das Milchkraut, die Schuppenmiere, der Rot-Schwingel und der Andel zur Blüte und Reife. Der Andel bildete im Herbst die für den Kurztag typischen Wintertriebe aus. Die durch das aufgesprühte Rohöl verursachte blauschwarze Färbung der Versuchsfläche war durch die Schlicksedimentation während der Winterhochwässer überdeckt worden. Die jetzt grau-braune Fläche zeigte aber keine Anzeichen einer natürlichen Wiederbesiedlung (Stand: Dezember 1986).

###### b) 1987

Die schlicküberzogenen Transplantate waren während der winterlichen Hochwässer nicht losgerissen worden. Die Ausläufer des Andels waren allerdings noch recht kurz (ca. 10 cm) und hatten bis dahin keinen Bodenkontakt. Generell wiesen die Pflanzen der 5 cm hohen Transplantate im April 2–3 cm längere Ausläufer auf als die 2 cm hohen.

Im Mai zeigten alle Transplantate einen leicht grünen Austrieb, wobei sich aus den Andel-Soden schon 20 cm lange Ausläufer gebildet hatten. Die unbepflanzte verölte, aber mit Sediment bedeckte, Kontrollfläche wies an der Oberfläche Schrumpf- und Trockenrisse auf.

Die Transplantate entwickelten sich im Juni und Juli gut weiter. Die oberirdischen Ausläufer des Andels verbreiteten sich in alle Richtungen locker auf dem Boden, zeigten aber noch keine Wurzelbildung.

In den Bohrlöchern der Bodenprobenentnahmestellen waren im Winterhalbjahr Früchte des Andels eingespült worden, die sich zu Jungpflanzen entwickelt hatten. Der Queller lief sowohl auf den Transplantaten als auch in den Freiflächen dazwischen auf. Seine Früchte stammten mit großer Wahrscheinlichkeit von den Pflanzen der Transplantate. Auf den Transplantaten selbst gelangten im Juli das Milchkraut, die Schuppenmiere, der Andel und der Rot-Schwingel wieder zur Blüte. Bis zum Oktober hatten die Ausläufer des Andels sowohl vom Flächenrand als auch von den Transplantaten aus die Wiederbesiedlung des rekultivierten Teiles der Versuchsfläche fast vollständig abgeschlossen, wobei die Einzeltriebe bereits ineinander übergingen (siehe Abb. 3).

Die durchschnittlichen Längenzunahmen der Transplantate betrug in den 2 Versuchsjahren zwischen 4 und 10%; die größte Längenzunahme wiesen dabei die Transplantate der 1. Versuchsreihe auf. Die durchschnittliche Zunahme in der Breite lag sogar zwischen 30–90%. Dabei nahmen die 2 cm hohen Transplantate durchschnittlich um 63% und die 5 cm hohen um 66% zu. Die vom Rot-Schwingel dominierten Soden wiesen sowohl bei den 2 cm als auch bei den 5 cm hohen Transplantaten die gleiche Zuwachsrate von 58% auf. Demgegenüber zeigten vom Andel dominierte Soden bei den 5 cm hohen Transplantaten eine bessere Breitenzu-



Abb. 2: Soden-Transplantate im Juni 1987. In den Bohrlöchern der Bodenprobenentnahmestellen ist der Andel eingewandert.

Fig. 2: Roll-on grassed strips in June 1987. In the sampling boreholes the common salt marsh grass is immigrated.

nahme (60%) als die 2 cm hohen (53%). Aus den Daten ergibt sich somit, daß sich eine Entfernung der verölten abgestorbenen Vegetation + Substrat nur unwesentlich positiv auf die Entwicklung sowohl der 2 cm als auch der 5 cm hohen Transplantate auswirkte. Der Unterschied im Breiten- und Längenwachstum war bei beiden gering.

#### c) April 1988

Die Transplantate waren nicht so stark vollgeschlickt wie im Jahr zuvor. Während sich zwischen der 3. und 4. Versuchsreihe noch größere Lücken befanden, waren die 2 cm hohen Transplantate aus der 1. und 2. Versuchsreihe fast zusammengewachsen. Auf der Kontrollfläche setzte vom Gruppenrand her mit 20 cm langen und

schon bewurzelten Ausläufern des Andels eine natürliche Wiederbesiedlung in die Versuchsfläche ein.

Die 20–25 cm tiefen Löcher der Bodenprobenentnahmestellen waren zugeschllickt. Die sich im Frühjahr 1987 aus Früchten des Andels entwickelten Pflanzen hatten Ausläufer gebildet, die sich von den Löchern her über die vegetationsfreie Versuchsfläche ausbreiteten. Auch diese Ausläufer hatten bereits an den Knoten kräftige Jungpflanzen entwickelt (siehe Abb. 4 und 5).

Ein kleines Bodenprofil in der Versuchsfläche ergab eine ca. 4–5 cm hohe Aufschlickung, die in den Winterhalbjahren 1986/87 und 1987/88 stattgefunden hatte. Noch bis in eine Tiefe von 20 cm roch der

Boden nach Öl. Es fanden sich in einer Tiefe von 5–6 cm reduzierte, blauschwarze Mangan- und Eisenschwefel-Verbindungen, die für ein sauerstoffarmes Milieu sprechen. Diese blauschwarzen Flecken wurden in mehreren Kontrollgrabungen außerhalb der Versuchsfläche nicht gefunden und scheinen daher durch die Verölungen hervorgerufen worden zu sein. Vereinzelt wurden auch noch leicht schmierige Klümpchen eines Öl-/Schlick-Gemisches gefunden.

### 3.2 Untersuchung zur Möglichkeit einer Wiederbesiedlung mittels Soden-Transplantaten in einer Tidesimulationsanlage

Der Einsatz einer Tidesimulationsanlage gestattete die Durchführung von Rekultivierungsmaßnahmen auf verölter Vegetation unabhängig von äußeren Faktoren – wie zu geringe Niederschläge, zu niedrige Temperaturen, zu starken Wellenschlag etc.

Die beiden in diesem Versuch verölten Soden wiesen eine Gesamtdeckung von 95% auf, wobei der Andel mit 70% bzw. mit 65% dominierte. Der Rot-Schwingel war jeweils mit 25% vertreten, während die Schuppenmiere in einer Sode mit 1% und in der anderen mit »+«, das Milchkraut in beiden Soden jeweils mit »+«, und *Agrostis stolonifera*. (=Ausläufer-Straußgras) nur einmal mit 3% gefunden wurden.

Nach der am 3. 10. 1986 durchgeführten Verölung mit 5 l Rohöl/m<sup>2</sup> starb die Vegetation erwartungsgemäß nach einigen Tagen ab. Vier Wochen später wies nur die Versuchsfläche im Becken IV über das Milchkraut mit 2 Pflänzchen eine geringe natürliche Wiederbesiedlung auf, die aber nach wenigen Tagen wieder beendet war. Eine echte, langandauernde Wiederbesiedlung aus den Achselknospen bzw. unterirdischen Organen der Pflanzen war in beiden Soden auch im Mai 1987 nicht zu erkennen. Man muß also davon ausgehen, daß es selbst bei Einsatz von 5 l Rohöl/m<sup>2</sup> zu einer letalen Schädigung aller Pflanzenteile (Wurzeln und Rhizome) kommt.

Die am 3. 11. 1986 direkt bzw. nach einer 2 cm tiefen Entfernung der Vegetation aufgetragenen Transplantate waren bereits 3 Wochen später gleichmäßig angewachsen. Im Unterschied zum Freiland fand aber in der Tidesimulationsanlage während der Versuchsdauer keine Sedimentation von Schlick auf der verölten Versuchsfläche statt. Die sich bildenden Ausläufer des Andels wiesen an den Knoten nicht die geringsten Anzeichen einer Wurzelbildung über dem überölten Substrat auf. Erst nachdem auf der einen Seite der Transplantate die verölte Vegetation mit dem Substrat 2 cm tief abgeschält worden war und die Überflutungsdauer eingeschränkt wurde, ließen sich bis Juni des Folgejahres an den Ausläuferknoten leichte Wurzelbildungen erken-

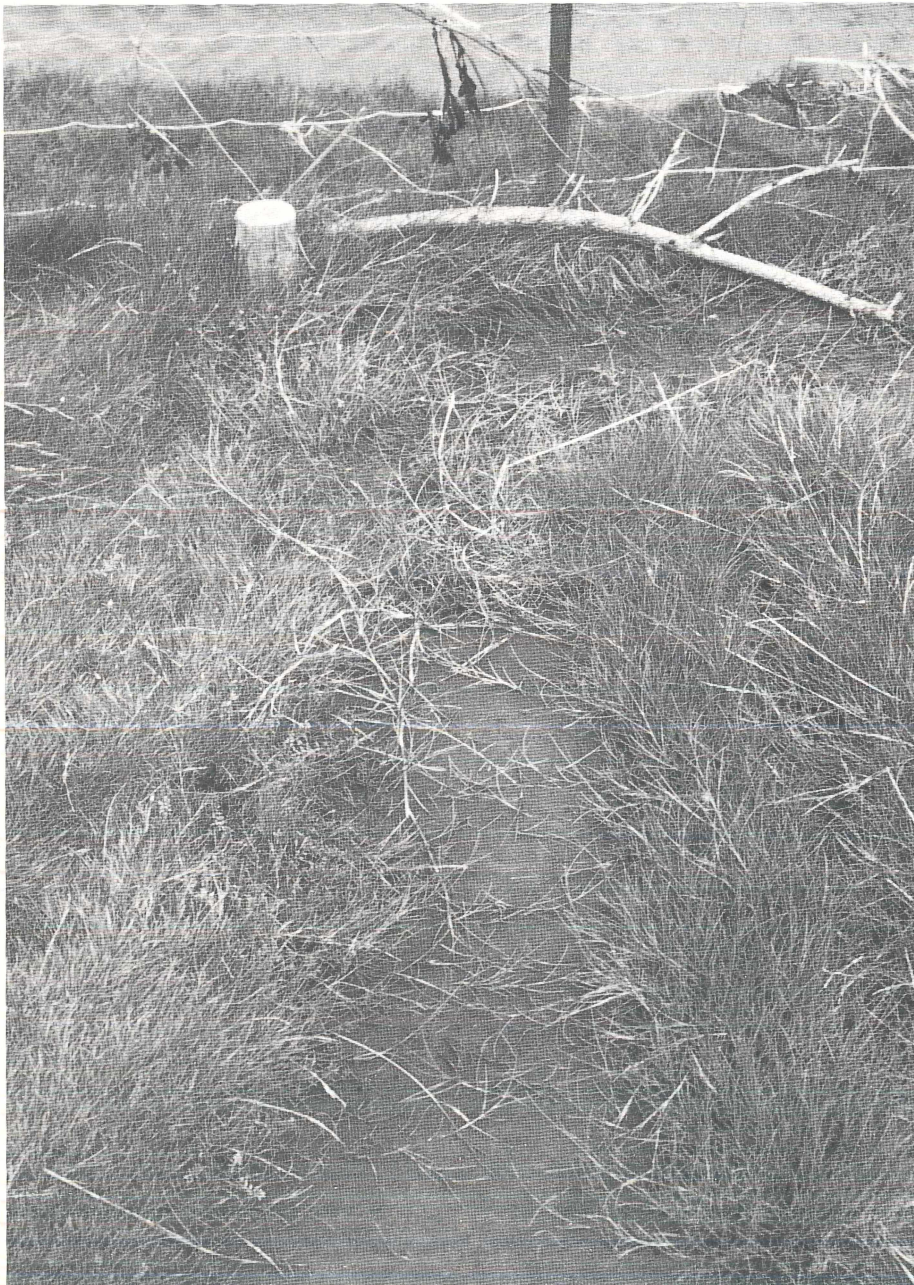


Abb. 3: Wiederbesiedlung der verölten Fläche durch den Andel sowohl vom Rand als auch von den Soden-Transplantaten aus (9. 9. 87).

Fig. 3: Natural recovery of the artificially oiled site of common salt marsh grass from the uncontaminated edge and the roll-on grassed strips (09-09-1989).

nen. Ende Juli waren alle gebildeten Ausläufer fest auf dem Substrat angewachsen.

Um einen eventuell vorhandenen Einfluß des Rohöls im Substrat auf das Wachstum der Ausläufer feststellen zu können, wurden bei Versuchsende alle Ausläufer abgeschnitten, vermessen und die Knoten pro Ausläufer gezählt. Von der unveröhlten Kontrollsode kamen 492 Ausläufer und von den Soden-Transplantaten 193 (Becken I) bzw. 276 (Becken II) zur Auswertung. Die Einteilung der Daten erfolgte nach Bonitierungsklassen.

Die Auswertungen ergaben für die Meßwerte der Ausläufer der Kontrollsode eine größere Homogenität als für die der Transplantate. 80% wiesen eine Knotenanzahl

von 7–12 und eine Länge von 10–50 mm auf. Diese Homogenität war bei den Ergebnissen der Transplantate-Ausläufer nicht mehr gegeben. Sie wiesen in ihren Werten eine größere Streuung mit der Tendenz zum Längenwachstum und eine Vermehrung der Knotenanzahl auf.

#### 4 Diskussion

Die Schifffahrtswege in der Deutschen Bucht sind die am meisten befahrenen Wasserstraßen der Welt. Dieser dichte Schiffsverkehr stellt zum einen wegen der potentiellen Kollisionsgefahr und zum anderen wegen des unerlaubten Ablassens ölhaltiger Bilgewässer und anderer Ölrückstände eine ständige Gefährdung des

hochsensitiven Ökosystems Wattenmeer dar. So zählte die Luftüberwachung entlang der deutschen Küste allein für das Jahr 1984 entlang der Hauptschiffahrtswege 186 Ölverschmutzungen (BRENK 1987), und die Ölanalyse verendeter Seevögel ergab, daß 90% der Vögel durch Rückstandsöle und weniger als 5% durch Rohöl umgekommen waren. Während diese bewußt herbeigeführten Ölverschmutzungen häufig schon nach einigen Stunden vom Flugzeug aus nicht mehr wahrzunehmen sind, werden das Deichvorland und die Deiche erst durch größere Ölundfälle (Tankerkollisionen, Bohrsinselunfälle etc.) oder bei Kollisionen dicht unter Land gefährdet.

Steinige und felsige Küsten (energiereiche Systeme) weisen durch die dort höhere Wellenenergie eine relativ schnelle Selbstreinigung auf, dies gilt jedoch nicht für die sandigen und schlickigen Vorländer (energiearme Systeme) der Deutschen Bucht. In Abhängigkeit von der Korngröße (OWENS and ROBILIARD 1981) dringt das Öl dabei in sandige Sedimente schneller und tiefer ein als in schlickige, kann aber in beiden über Jahrzehnte verbleiben. Bei der natürlichen Selbstreinigung spielt die Erosion durch Wellenenergie somit eine geringere Rolle als die der ölabbauenden Mikroorganismen (LONG et al. 1981 a; VANDERMEULEN 1980; GUNDLACH et al., 1982). Aufgrund der geringen Selbstreinigungskraft ist daher in der Deutschen Bucht nach einer schweren Verölung ein menschlicher Eingriff bezüglich Reinigung und schneller Wiederbesiedlung unbedingt erforderlich. Die Pflanzen, die das Eulitoral des Wattenmeeres zwischen – 70 cm MThw bis zum Deichfuß besiedeln, sind zwar an ihren extremen Standort außergewöhnlich gut angepaßt, können aber einen Ölstreß nicht überleben. Selbst in energiearmen Systemen ist nach einer Ölverschmutzung sorgfältig abzuwägen, wann und wo mechanische Reinigungsarbeiten erforderlich werden, da diese – besonders bei Nutzung von schwerem Gerät – sehr oft zu starken Schädigungen an den Überdauerungsorganen der Pflanzen führen. Gleichzeitig wird bei diesen Arbeiten der Boden verdichtet und das Öl tiefer eingearbeitet (BAKER 1975; eigene Untersuchungen: Unfall der »Heinrich Heine« 1988, Brunsbüttel, unveröff.).

#### 4.1 Feldversuche

##### 4.1.1 Einfluß von Rohöl auf Pflanzen des Deichvorlandes

Eine Pflanzengemeinschaft ist der lebende Ausdruck der Summe aller einwirkenden Standortfaktoren. Ändern sich diese Faktoren oder auch nur ein einziger – wie z.B. durch den Eintrag größerer Kohlenwasserstoffmengen in das Ökosystem –, so kann es zu einer erheblichen Artenverschiebung bis hin zum Absterben aller kontaminierten Individuen kommen.

Während nach einer Öleinwirkung von 3 l Rohöl/m<sup>2</sup> nach drei Monaten eine natür-

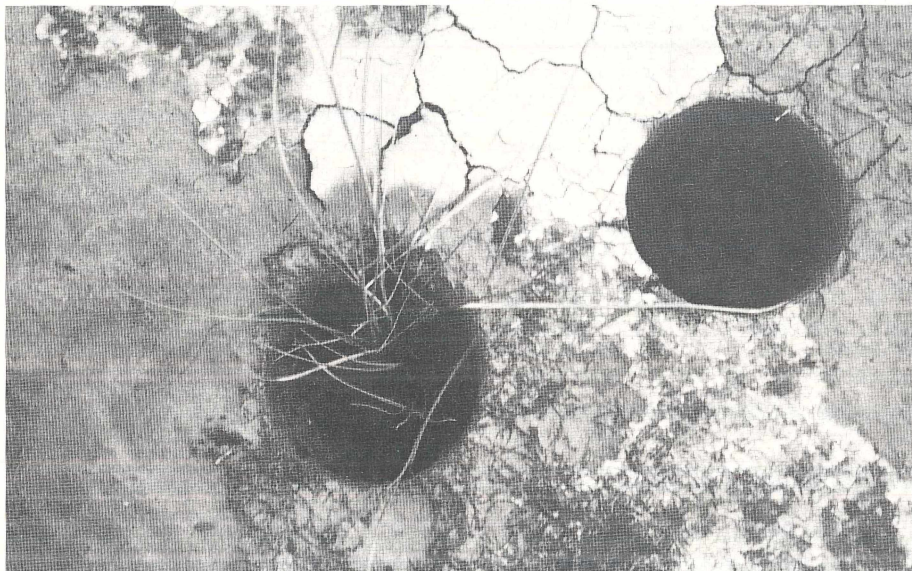


Abb. 4, 5: Natürliche Wiederbesiedlung über Saatgut des Andels, das von der Tide oder vom Regen in die Bohrlöcher eingewaschen wurde.

Fig. 4, 5: Natural recovery as a result of germination of common salt marsh grass seeds washed by the tide or rain into the sampling boreholes.

liche Wiederbesiedlung (25% Gesamtdeckung) zwar mit veränderter Artenzusammensetzung einsetzt (GOLOBEK und NEUGEBOHRN 1984; JITTLE-STRAHLENDORFF und NEUGEBOHRN 1984), ließ die mit 9 l Rohöl/m<sup>2</sup> verölte Vegetation auch nach zwei Jahren nicht die geringsten Anzeichen eines natürlichen Wiederaustriebes erkennen. Selbst geringste Ölmengen können die Blütenbildung bei dem Rot-Schwingel (BAKER 1970; JITTLE-STRAHLENDORFF und NEUGEBOHRN 1984), dem Andel (GOLOBEK und NEUGEBOHRN 1984), *Lolium perenne* L. (= Deutsches Weidelgras) und *Poa pratensis* L. (= Wiesen-Rispengras) (JITTLE-STRAHLENDORFF und NEUGEBOHRN 1984) unterdrücken.

Die Toxizität eines Rohöles ist dabei von seiner chemischen Zusammensetzung und seinem Alter abhängig. Je frischer, d. h. ungealterter ein Rohöl ist, desto höher ist sein Gehalt an kurzketigen, leichtflüchtigen Stoffen und Aromaten, d. h. desto toxischer wirkt es auf Organismen (COWELL 1969). All diese hochgiftigen Verbindungen können nur von extrem spezialisierten Mikroorganismen und Pilzen abgebaut werden.

Die grundlegende toxische Wirkung der Kohlenwasserstoffe auf Pflanzen beruht in der Zerstörung der Biomembranen der Zellen und damit im Verlust ihrer Semipermeabilität. Schon DALBYN (1953) stellte fest, daß Öle mit einer geringeren Toxizität wegen ihrer höheren Viskosität überwiegend in die Stomata der Pflanzen eindringen, während hochtoxische Öle direkt von der Kontaktstelle aus die Zellen schädigen. Damit soll allerdings die rein mechanische Blockierung der Stomata und Interzellularräume durch Öl nicht vernachlässigt werden. Allein schon durch die Herabsetzung der Transpiration und die Blockierung des Gasaustausch wird die Photosyntheserate reduziert, unabhängig von der direkten Zerstörung der Chloroplastenmembranen (VAN OVERBEEK und BLONDEAU 1954 in BAKER 1971 a). Eine gelegentliche Erhöhung der Respirationsrate nach Öleinfluß läßt auf eine Schädigung der Mitochondrien schließen (BAKER 1971a; DICKS 1976; JITTLE-STRAHLENDORFF und NEUGEBOHRN 1984).

Bleiben die unterirdischen Pflanzenteile (Wurzeln und Rhizome) von direktem Kontakt mit dem Rohöl verschont, weil der Boden z. B. von sehr feinkörniger Textur ist und das Öl somit nur sehr langsam eindringen kann, können die Pflanzen aus unterirdisch liegenden Knospen neue oberirdische Triebe bilden.

Dringt jedoch das Öl auch in den Boden ein, so wird in diesen Zonen der Sauerstoffpartialdruck soweit herabgesetzt, daß selbst Spezialisten wie *Spartina townsendii* agg. (= Schlickgras) – bekannt dafür, Sauerstoff über die Aerenchyme in den Boden zu transportieren – möglicherweise durch eine jetzt einsetzende Freisetzung von Sulfiden geschädigt werden (GOODMAN und WILLIAMS 1961; BAKER 1971 b). Unter anaeroben Verhältnissen können Kohlenwasserstoffe jahrzehnte-

lang im Substrat verbleiben, da sie nur bei ausreichend Sauerstoff- und Nährstoffgehalten (Stickstoff, Phosphate) mikrobiell abgebaut werden (WAGNER 1987).

#### 4.1.2 Untersuchung zur Möglichkeit einer Wiederbesiedlung mittels Soden-Transplantaten

Im Gegensatz zu WOHLBERG (1969) wurden zur Wiederbegrünung nur 5 cm hohe bzw. 2 cm hohe Transplantate verwendet. Bereits vier Wochen nach ihrer Ausbringung waren alle Transplantate an einigen Stellen, nach sechs Wochen über ihre ganze Fläche angewachsen. Sowohl in der Anwuchsschnelligkeit als auch in der Wuchsleistung ließen sich keine Unterschiede zwischen den monatlich ausgebrachten Transplantaten erkennen. Damit wiesen die Wiederbegrünungsversuche verölter Flächen mittels Transplantaten die gleichen Erfolge auf wie die Rollrasenversuche, die nach einer Kontamination mit 5 l Rohöl/m<sup>2</sup> ohne Entfernung der verölten Vegetation auf Deichabschnitten in Marne bzw. Petersgroden ausgeführt worden waren (JITTLE-STRAHLENDORFF und NEUGEBOHRN 1984). Besonders muß aber das schnelle Anwachsen der am Ende der Vegetationsperiode (27. 9. 1986) ausgebrachten Transplantate hervorgehoben werden, da hierdurch Rekultivierungen auch noch am Ende der Vegetationsperiode möglich erscheinen.

Erst in der 2. Vegetationsperiode wiesen alle Transplantate Zuwachsstleistungen auf, und es bildeten sich die typischen und für die Rekultivierung notwendigen Ausläufer des Andels aus. Vermutlich liegt dies daran, daß die Pflanzen der Transplantate in der 1. Vegetationsperiode ihre Nährstoffreserven für ein verstärktes Wurzelwachstum verbrauchten. Die Ausläufer der 2 cm hohen Transplantate erreichten den Boden schneller als die 5 cm hohen und bewurzelten sich deshalb auch eher (PETERMANN 1969). PETERMANN stellte fest, daß die Ausläuferlänge vom Andel durch hohe Temperaturen und gute Nährstoffversorgung gefördert wird, während sich Streßfaktoren wie Tritt, Verbiß, Konkurrenz durch andere Pflanzen sowie abnehmende Tageslänge hemmend auswirkten.

Ein schwieriges Problem für diese Art der Wiederbegrünung kann die notwendige Wasserversorgung der Transplantate werden. Die Pflanzen haben zwar Bodenkontakt, können aber mit Hilfe ihrer Wurzeln über die verölte Vegetation und Bodenoberfläche kein Wasser aus dem unter den Soden befindlichen Substrat entnehmen. Sie sind somit auf ausreichende Feuchtigkeit durch Oberflächenwasser angewiesen und müßten in trockenen Jahreszeiten entweder vertrocknen oder aber künstlich bewässert werden. Im Falle einer vorherigen Entfernung der abgestorbenen Vegetation und der oberen Substratschicht ist dagegen eine künstliche Wasserversorgung nur bei längerer Trockenheit erforderlich.

Von den Rändern der Versuchsfläche her war eine langsame, natürliche Wiederbesiedlung durch Ausläufer des Andels zu beobachten, die im Untersuchungszeitraum eine Breite von ca. 20 cm erreichte.

#### 4.2 Untersuchung zur Möglichkeit einer Wiederbesiedlung mittels Soden-Transplantaten in einer Tidesimulationsanlage

Obwohl die Soden in der Tidesimulationsanlage »nur« mit 5 l Rohöl/m<sup>2</sup> kontaminiert wurden, zeigten sich auf ihnen auch nach fünf Monaten nicht die geringsten Anzeichen einer Wiederbesiedlung. Die abgestorbene, verölte Vegetation war nicht zusammengebrochen, sondern blieb während des Untersuchungszeitraumes unverändert starr aufrecht stehen. Die auf diesen Soden ausgebrachten Transplantate waren nach 3 1/2 Wochen angewachsen. Im Gegensatz zu den Versuchen im Freiland erfolgte auf den Soden in der Tidesimulationsanlage keine Sedimentation, d. h. das öhlhaltige Substrat wurde nicht überschlickt. Zwar lag eine ausreichende Nährstoffversorgung der Transplantate mit der regelmäßigen, künstlichen Tide und dem monatlichen Wasseraustausch vor, dennoch zeigten die sich bildenden Ausläufer des Andels keine Wurzelbildungen an den Knoten, sondern blieben locker auf der abgestorbenen, verölten Vegetation liegen. Da die Bewurzelung der Knoten aber nur bei Bodenkontakt einsetzt (PETERMANN 1969) und dieser durch die abgestorbene Vegetation verhindert wurde, konnte eine Bewurzelung der Ausläufer erst nach Entfernung der Vegetation einsetzen. Sollte also nach einer Ölkatastrophe mit Hilfe des Transplantat-Verfahrens eine Rekultivierung durchgeführt werden, sollte die verölte Vegetation in Gebieten mit geringer Sedimentation zumindest teilweise entfernt werden.

Eine Auswertung der Ausläufer auf Länge und Knotenanzahl ergab einen gewissen Einfluß des inzwischen im Boden gealterten Rohöles auf deren Entwicklung. Die Ausläufer der Transplantate wiesen dabei zwar nicht die Homogenität der Ausläufer der Kontrollsode auf, eine Verölung scheint aber zu einer Verlängerung der Ausläufer mit verstärkter Knotenbildung zu führen. Inwieweit dieses Verhalten auf den wachstumsfördernden Einfluß von Kohlenwasserstoffen zurückzuführen ist (BAKER 1971 c), konnte nicht geklärt werden.

### 5 Empfehlungen für Rekultivierungsmaßnahmen ölkontaminierter Küstenstreifen (Salzrasen)

Die hier zusammengestellten Empfehlungen sind immer im Rahmen der Versuchsbedingungen zu verstehen. Die Rekultivierungsmaßnahmen wurden in der Salzmarsch im Kaiser-Wilhelm-Koog/Marne

durchgeführt. Das Vorland wird von Schafen und Gänsen beweidet, so daß sich die Vegetation durchschnittlich nur zu einer Höhe von 2 bis 3 cm entwickelt. Angelandetes Öl wird von der Vegetation kaum zurückgehalten, sondern dringt sofort und relativ tief in den Boden ein. Das eingebrachte Öl tötet neben den unterirdischen Pflanzenorganen (Rhizome und Wurzeln) auch die Fauna ab (VAN BERNEM 1984 u.a.). Nur wenige Kohlenwasserstoffe abbauende Mikroorganismen überleben. Eine natürliche Wiederbesiedlung erfolgt in einem derart geschädigten Ökosystem nur langsam vom nicht kontaminierten Rand her.

Eine Säuberung des Vorlandes mit schwerem Gerät ist wegen des hohen Wasserstandes und des hohen Tonanteils im Boden äußerst problematisch. Die dadurch hervorgerufenen Zerstörungen können oft schlimmer als die Schäden durch Öleinwirkungen sein (das gilt u.a. besonders für Röhrichte). Mechanische Säuberungen sollten mit einfachem Handgerät oder mit sehr leichten Maschinen durchgeführt werden (VANDERMEULEN et al. 1981).

Bei sehr schweren Verölungen sollte gegebenenfalls die verölte und abgestorbene Vegetation zusammen mit ca. 2 cm Substrat entfernt werden.

Für eine Rekultivierung mittels Soden-Transplantaten genügen 4 bis 5 cm hohe Streifen – unter günstigen Voraussetzungen (maximale Wasserversorgung) – kann die Höhe auch weiter reduziert werden, die 2 cm Höhe sollte aber nicht unterschritten werden. Bei Einsatz von hohen Soden-Transplantaten bräuchte die obere ölkontaminierte Boden-/Vegetationsschicht möglicherweise zuvor nicht entfernt zu werden.

Für die Rekultivierung mittels Saatgut hat sich durch Zufall gezeigt, daß sich aus dem Saatgut des Andels, das in Bodenlöcher eingeschwemmt wurde, normale Pflanzen entwickeln, die mit Hilfe ihrer Ausläufer von den Löchern aus die Flächen wiederbesiedeln. Die Herstellung von Bohrlöchern bietet sich somit sowohl als Unterstützung für eine natürliche Wiederbesiedlung kontaminierter Flächen als auch zur Ausbringung von Saatgut in Freiflächen an. Empfohlen wird eine Aussaatmenge von 10 g Saatgut/m<sup>2</sup> für das Deichgrünland bis in das *Juncetum gerardii* (= Bottenbinsenwiese) und 5 g/m<sup>2</sup> für die Salzwiese.

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde versucht, mittels verschiedener Verfahren künstlich verölte Flächen im Freiland (Kaiser-Wilhelm-Koog/Marne, 9 l Rohöl/m<sup>2</sup>) und in einer Tidesimulationsanlage (5 l Rohöl/m<sup>2</sup>) wieder zu begrünen. Die Kontamination erfolgte mit frischem, d. h. ungealtertem Nordsee-Rohöl (FULMAR K 207). Die Wiederbegrünung wurde mittels Soden-Transplantaten (Länge x Breite x Höhe in cm: 100x10x2 bzw. 100x10x5 im

Freiland, 30x10x2 bzw. 30x10x5 in der Tidesimulationsanlage) durchgeführt. Bei den 2 cm hohen Transplantaten wurde vorher die verölte, abgestorbene Vegetation entfernt, während die 5 cm hohen Transplantate direkt auf die verölte, abgestorbene Vegetation aufgebracht wurden. Die Untersuchungen führten zu folgenden Ergebnissen:

### Freiland-Versuche:

1. Nach der Ausbringung von 9 l Rohöl/m<sup>2</sup> starb die gesamte Vegetation innerhalb weniger Tage ab. Auch nach zwei Jahren waren noch keine Anzeichen einer natürlichen Regeneration aus den kontaminierten Beständen zu erkennen.
2. Die Pflanzen der Transplantate kamen noch in der 1. Vegetationsperiode zur Blüte und Reife. Es zeigten sich dabei keine Unterschiede zwischen den 2 cm und den 5 cm hohen Transplantaten. Alle auf die Freiland-Versuchsfläche ausgebrachten Transplantate wuchsen an und zeigten von der 2. Vegetationsperiode an Zuwachseleistungen.
3. Die Ausläufer des Andels der 5 cm hohen Soden-Transplantate waren im Vergleich zu den 2 cm hohen im Durchschnitt kürzer, wiesen aber eine höhere Knotenanzahl auf.
4. Aus Saatgut, das in den Entnahmestellen der Bodenproben auskeimte, entwickelten sich intakte Pflanzen, die eine Regenerationskeimzelle darstellten.
5. Auf der Freiland-Versuchsfläche fand eine starke Überschlickung der Ölschicht statt (4 cm in zwei Jahren), die einerseits für eine ausreichende Nährstoffversorgung der Pflanzen und andererseits für das notwendige Substrat zum Anwachsen der Ausläufer des Andels sorgte.
6. Für den Erfolg dieser Wiederbegrünungsmethode ist eine ausreichende Wasserversorgung von entscheidender Bedeutung, da die Pflanzen durch die verölten oberen Bodenschichten hindurch kein Wasser aufnehmen können.
7. Das Rohöl im Boden war in dem zweijährigen Untersuchungszeitraum zum größten Teil abgebaut, d. h. es konnte optisch nicht mehr festgestellt werden; dagegen roch es in 18 cm Tiefe noch nach Öl. In 6 bis 7 cm Tiefe hatte sich ein Reduktionshorizont ausgebildet, der für anaerobe Verhältnisse – evtl. durch das Öl hervorgerufen – und für eine eingeschränkte Mikroorganismen-Tätigkeit spricht.

### Tidesimulationsanlage:

8. Die auf den verölten Soden ausgelegten Transplantate wuchsen an, und der Andel bildete seine typischen Ausläufer aus. Im Gegensatz zu dem Freilandversuch starben die Seitentriebe der Ausläufer nach Kontakt mit dem verölten Substrat ab; sie bewurzelten sich erst nach Entfernung der verölten Ve-

getation und der oberen 2 cm Bodenschicht.

9. Die Entwicklung der Ausläufer auf den verölten Soden wies im Vergleich zur Kontrollsode eine Inhomogenität auf, die sich in einer größeren Streuung der Länge und Knotenanzahl zeigte.

## 7 Summary

»Studies on the effects of critical oil contamination on the FRG's foreshore on the feasibilities and practicabilities of fast recultivations of stands using different methods«

Various procedures for recultivating artificially oiled sites were tested in the field (Kaiser-Wilhelm-Koog/Marne, 9 l crude oil/m<sup>2</sup>) and in the tide simulator (5 l crude oil/m<sup>2</sup>). Fresh North Sea crude (Fulmar K 207) was used as contaminant. Vegetation cover was restored both by applying roll-on grassed strips – »Soden-Transplantate« – (LxBxH in cm: 100x10x2 and 100x10x5 respectively in the field; 30x10x2 and 30x10x5 respectively in the tide simulator). In the case of the 2 cm deep grassed strips, the dead oiled vegetation was removed prior to application, while the 5 cm deep strips were rolled directly over the dead cover.

The results of the experiments are as follows:

### Field trials

- 1) All the vegetation died within a few days of application of 9 l crude oil/m<sup>2</sup>. There were still no signs of natural regeneration from the contaminated stock two years later.
- 2) The 5 cm strips had been applied directly on the oiled vegetation, while the dead vegetation was removed with its substrate to a depth of 2 cm before the 2 cm strips were placed in position. All the grassed strips applied in the field trials took, and the plants grew in the second vegetation period. During the first vegetation period, the plants produced flowers and seeds. There were no differences between the 2 cm and 5 cm strips.
- 3) The stolons of *Puccinellia maritima* (Huds.) Parl. (= Common Salt Marsh-Grass) on the 5 cm strips were shorter on average than those on the 2 cm strips, but had more nodes.
- 4) Natural recovery began on the oiled test site as a result of germination of the Common Salt Marsh-Grass seeds washed by the tide or rain into the sampling boreholes.
- 5) A considerable build-up of sediment on the oily layer took place in the field (4 cm in 2 years), which provided both the supplied nutrients for the plants and necessary substrate for growth of the Common Salt Marsh Grass stolons.
- 6) An adequate water supply is crucial to the success of this recultivation method, as the plants are unable to take

up water through the oiled upper layer of the soil.

- 7) The crude oil in the soil was largely broken down during the two-year test period, i.e. it was no longer optically apparent. However, the odour could still be detected to depth of 18 cm. A reduction horizon had formed at a depth of 6–7 cm, indicative of anaerobe conditions – possibly due to the oil – and limited activity of microorganisms.

#### Tide simulation plant

- 8) The grassed strips applied to the oiled sods took, and Common Salt Marsh Grass formed its characteristic stolons. In contrast to the field trials, the lateral shoots of the stolons died on contact with the oiled substrate; they developed roots after the oiled vegetation and the top 2 cm of soil were removed.
- 9) Compared with the control, the stolons on the oiled sods showed an inhomogeneous development with regard to length and number of nodes.

Recommendations for recultivation of oil-contaminated coastal areas (grazed salt marsh)

The recommendations are valid for the specific test conditions. The recultivation measures were carried out in the salt marsh at Kaiser-Wilhelm-Koog/Marne. The area is grazed by sheep and geese, the vegetation cover normally reaching a height of 2–3 cm. Oil washed ashore is scarcely retained by the vegetation, but immediately penetrates fairly deep into the soil, where it kills the subterranean plant organs (rhizoms and roots) and the soil fauna. Only some hydrocarbon decomposers survive. Natural recovery in an ecosystem subjected to this type of damage sets in slowly from the uncontaminated periphery.

Clean-up of the foreshore with heavy machinery is extremely problematic owing to the high water table and the clay composition of the soil. The resulting damage can be worse than that caused by the oil spill (particularly in the case of reeds). Mechanical clean-up should be carried out with simple manual equipment or very light machines (VANDERMEULEN et al. 1981).

In the case of serious oil spills, the dead vegetation should, if necessary, be removed together with about 2 cm of substrate.

## 8 Literatur

BAKER, J.M. (1970): The Ecological Effects of Oil Pollution on Littoral Communities. – In: E. B. COWELL (Ed., 1971).

BAKER, J.M. (1971): The Effects of Oil Pollution and Cleaning on the Ecology of Salt-marshes. – Ph. D. Thesis, Univ. Coll. S. Wales, Swansea.

BAKER, J.M. (1971 a): The Effects of Oils on Plant Physiology. – In: E. B. COWELL (Ed., 1971) Ecological Effects of Oil Pollution, 88–101.

BAKER, J.M. (1971 b): Oil and Salt Marsh Soil. – In: E. B. COWELL (Ed., 1971) Ecological Effects of Oil Pollution: 62–71.

BAKER, J.M. (1971 c): Growth Stimulation Following Oil Pollution. – In: E. B. COWELL (Ed., 1971) Ecological Effects of Oil Pollution: 72–77.

BAKER, J.M. (1971 d): Comparative Toxicities of Oils, Oil Fractions, and Emulsifiers. – In: E. B. COWELL (Ed., 1971) Ecological Effects of Oil Pollution: 78–87.

BAKER, J.M. (1975): Effects on Shore Live and Amnities. – In: H. A. COLE (Ed.): Petroleum and the Continental Shelf of North-West Europe, Vol. 2, John Wiley and Sons, New York: 85–91.

BRENK, V. (1987): Statusbericht zum Forschungsprogramm »Meeresverschmutzungen durch den Seeverkehr«.

COWELL, E.B. (1969): The Effects of Oil Pollution on Salt Marshes Communities in Pembrokeshire and Cornwall. – J. Appl. Ecol. 6: 133–142.

COWELL, E.B. (Ed., 1971): Ecological Effects of Oil Pollution. – Institute of Petroleum, London.

DALBYN, S. (1953): Herbicidal Action of Oil. – Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Mn., Ithaca, New York.

DICKS (1976): The Effects of Refinery Effluents, Marine Ecology and Oil Pollution. – In: BAKER, J.M.: Applied Science Publishers LTD.

EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. – Verlag Gustav Fischer, Stuttgart, 2. Aufl.

ELLENBERG, H. (1956): Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

GARCKE, A. (1972): Illustrierte Flora: Deutschland und angrenzende Gebiete. – Verlag Paul Parey, Berlin u. Hamburg, 23. Aufl.

GOLOMBEK, P. (1980): Beiträge zur Morphologie und Ökologie von Arten des *Puccinellietum maritimae* (Warming) Christiansen nach Rohöleinwirkung. – Diplomarbeit, Univ. Hamburg Fachbereich Biologie.

GOLOMBEK, P. u. L. NEUGEBOHRN (1984): Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung von Rohöl und Rohöl-/Tensid-Gemischen im Ökosystem Wattenmeer. XV. Das *Puccinellietum maritimae* (Warming) Christiansen der Salzwiese. – Senckenbergiana Maritima, Bd. 16, 1/6, Frankfurt/Main: 245–266.

GOODMAN and WILLIAMS (1961): In: BAKER (1971 b).

GUNDLACH et al., (1982): In: ANONYMUS (1985): Oil in the Sea. Inputs, Fates and Effects. National Research Council. Washington, National Academy Press.

HUBBARD, C.E. (1973): Gräser. – UTB, Ulmer-Verlag, Stuttgart.

JITTLER-STRAHLENDORFF, M. u. L. NEUGEBOHRN (1984): Influence of Crude Oil and Dispersing Agents (Dispersants) on the Ecology and Physiology of Special Dike Plants. – Bericht für die Europäische Gemeinschaft 1984 in Brüssel.

KLAPP, E. (1974): Taschenbuch der Gräser. – Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin.

LONG, B.F.N. et al., (1981): In: ANONYMUS (1985): Oil in the Sea. Inputs, Fates and Effects. – National Research Council. Washington, National Academy Press.

NEUGEBOHRN, L., P. GOLOMBEK und M. JITTLER-STRAHLENDORFF (1986): Auswirkungen von Rohöl und Öl-Tensidgemischen auf die Salzwiesen und Röhrichte. – In: Chemische Verfahren zur Bekämpfung von Verschmutzungen der Deutschen Küste und der See durch Öl. Arbeitskreis Chemische Verfahren zur Bekämpfung von Meeresverschmutzung. Umweltbundesamt 1987.

OWENS, E.H. and G.A. ROBILIARD (1981): Shoreline Sensitivity and Oil Spills. – Mar. Pollut. Bull. 12 (3): 75–78.

PETERMANN, B. (1969): Anatomie und Morphologie der Ausläufer von *Puccinellia maritima* (Huds.) Parl. in Abhängigkeit vom Standort. – Diplomarbeit Universität Hamburg.

ROTTERI, C.S.: In: Ed. J. ALBAIGES, R.W. FREI u. E. MARIAN (1983): Chemistry and Analysis of Hydrocarbons in the Environment. – Gordon and Breach Science Publ. New York-London-Paris-Montreal-Tokyo.

VAN BERNEM, K.-H. (1984): Experimentelle Untersuchungen zur Wirkung von Rohöl und Rohöl-/Tensidgemischen im Ökosystem Wattenmeer. II. Eindringverhalten und Persistenz von Rohölkohlenwasserstoffen in Sedimenten nach experimenteller Kontamination. – Senckenbergiana mar., 16, (1/6): 13–30.

VANDERMEULEN, J.H. (1980): Chemical Dispersions of Oil in Coastal Low-Energy Systems: Saltmarshes and Tidal Rivers. – In: D. MACKAY et al. (Eds.): Chemical Dispersion of Oil Spills. Publ. No. EE-17. Institute of Environmental Studies, Univ. of Toronto in Oil in the Sea.

VANDERMEULEN, J.H., B.F.N. LONG and T.P. AHERN (1981): Bioavailability of stranded »Amoco Cadiz« oil as a function of environmental self-cleaning, April 1978 – Jan. 1979. – In: »Amoco Cadiz«: Fates and Effects of the Oil Spill, CNEXO, Paris: 585–592.

VAN OVERBEEK, J. and R. BLONDEAU (1954): Mode of action of phytotoxic oils. – Weeds 3: 55–65.

WAGNER, F. (1987): Mikrobieller Abbau von Kohlenwasserstoffen. – In: M. WUNDERLICH, (Ed.) Chemische Verfahren zur Bekämpfung von Verschmutzungen der deutschen Küste und der See durch Öl. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsbericht 10204216/05: 311–315.

WEIHE, K. von (1969): Morphologische und ökologische Grundlagen der Vorlandsicherung durch *Andel* (Gramineae). – Helgoländer wiss. Meeresunters. 32: 239–254.

WOHLBERG, E. (1969): Landgewinnung durch biogene Verlandung. – In: BUCHWALD, K. u. W. ENGELHARDT (Eds.): Handbuch für Landschaftspflege u. Naturschutz in der Praxis, Bd. 4, BLV-Verlag, München: 194–203.

#### Anschrift der Verfasser:

Institut für  
Angewandte Botanik  
Postfach  
Marseiller Straße 7  
2000 Hamburg 36

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Seevögel - Zeitschrift des Vereins Jordsand zum Schutz der Seevögel und der Natur e.V.](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [10\\_3\\_1989](#)

Autor(en)/Author(s): Jittler-Strahlendorff Monika, Neugebohrn Lars

Artikel/Article: [Untersuchungen zum Einfluß schwerer Verölungen des Deichvorlandes auf die Möglichkeit und Durchführbarkeit schneller Rekultivierungen von Pflanzenbeständen mittels unterschiedlicher Verfahren\\* 33-40](#)